平成 13~15 年度 コンクリート維持管理小委員会 中間報告書

北海道におけるコンクリート構造物の 維持管理の現状と課題

平成 16 年 6 月 21 日

北海道土木技術会コンクリート研究委員会 コンクリート維持管理小委員会 社会資本としてのコンクリート構造物のストックは,高度経済成長期以降年々増加する 一方で,国をはじめ都道府県などでは財政事情が逼迫し、社会基盤整備事業においてもこれまでのようなサイクルで更新を行うことは困難な状況となっている.

下図は,国土交通省所管の社会資本ストックについて今後25年間の維持管理・更新投資需要を推計したものであるが,維持管理と更新に要する投資額が新設投資を大きく上回ることが分かる.

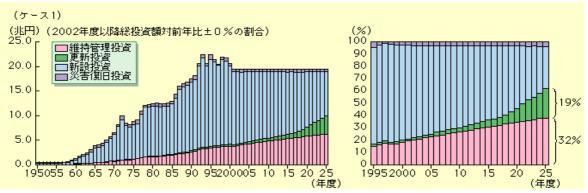


図-維持管理・更新投資需要の推計 (H14 建設白書)

このような情勢をふまえ国土交通省では、既存ストックの活用と適切な維持管理・更新を推進するため,道路施設分野では「道路施設の長寿命化、ライフサイクルコストの最小化及び更新時期の平準化を図るため、構造物の点検手法・評価手法を見直し、損傷を早期に発見して補修する計画的な道路資産管理手法(アセットマネジメント)を導入」を掲げている.

特に北海道は、本州方面に比べると若年数の割合が多いものの、広い面積を有することから、人口に比べて多くの施設を所有している。また、積雪寒冷な気象条件はコンクリート構造物の劣化を早めていると考えられる。北海道のコンクリート構造物を効率的で適切に維持管理し、長寿命化を図るためには、地域的な特異性を考慮した点検、診断、補修・補強に関する技術開発を行うとともに、これらに従事する技術者の養成や技術力の向上が求められている。

このような背景のもと,北海道土木技術会コンクリート研究委員会ではコンクリート維持管理小委員会を設け,北海道におけるコンクリート構造物の維持管理の現状と課題について研究活動を行っている.本報告書は平成13年度から平成15年度の3年間の活動報告を取りまとめたものであり,北海道内におけるコンクリート構造物の維持管理に際し,実務レベルで活用されることを期待する次第である.

平成 16 年 6 月

北海道土木技術会コンクリート研究委員会 コンクリート維持管理小委員会

委員長 柳原 優登

北海道土木技術会コンクリート研究委員会 コンクリート維持管理小委員会

	누그		
委員長	福本淳	H13,14	北海道開発局
	柳屋勝彦	H15	北海道開発局
副委員長	田口史雄		(独)北海道開発土木研究所
委員	朝倉啓仁		(株)リテック
	阿部 剛	H15	北海道開発局
	池田 隆		鹿島建設(株)
	伊藤	H13	札幌市建設局
	井村 正和	H13,14	ドーピー建設工業(株)
	内田誠二郎	H13,14	三井住友建設(株)
	江原 慎一		(株)長大
	遠藤 裕丈		(独)北海道開発土木研究所
	葛西章		(株)リテック
	河上 聖典	H13,14	北海道開発局
	木内 順司	H15	(株)開発工営社
	菊池 隆		北海道建設部
	木村 和之		(株)構研エンジニアリング
	小泉 健治	H15	札幌市建設局
	後藤 幸雄	H13	北海道開発局
	佐伯 昇		北海道大学大学院
	桜井 宏		北見工業大学
	佐々木博之		日本工営(株)
	定木 紳		清水建設(株)
	佐藤 薫	H14,15	北海道開発局
	佐野 修		北海道建設部
	嶋田 久俊		(独)北海道開発土木研究所
	相馬 英敏	H14	札幌市建設局
	高木 隆一		(株)ピーエス三菱
	高澤 昌憲	H15	オリエンタル建設(株)
	鷹巣 恵一		日本高圧コンクリート(株)
	茶家 義明	H13,14	(株)コンステック
	中川 泰孝		(株)地崎工業
	中谷 忠司	H15	日本データーサービス(株)
	中元 英樹		中央コンサルタンツ(株)
	西川忠	H15	(株)コンステック
	畑山 朗	H13,14	(独)北海道開発土木研究所
	林 秀哉		中大実業(株)
	松井 敏二	H15	ドーピー建設工業(株)
	三上 浩		三井住友建設(株)
	三田村 浩	H15	北海道開発局
	宮崎 健	H13,14	オリエンタル建設(株)
事務局	山口 光男		(株)ドーコン
2 3.3. 2	山下 英俊		(株)間組
	山田 学		ショーボンド建設(株)
	吉田 直人	H13,14	(株)開発工営社
	米澤 良一	H15	(株)プロテック
	渡辺 忠朋		北武コンサルタント(株)
	渡辺 一悟	H15	(独)北海道開発土木研究所
		- +	(50音順・敬称略)
			(30 日順・耿小哈)

WG 座 長 幹 事務局	朝木桜 佐 定高中宮 付之宏之 紳憲司健	·劣化評価 WG H15 H15 H13,14	座幹	長事	WG3:補修・補強WG 渡辺元 期 中池田田誠 H13,14 高鷹畑木巣山 H13,14 高鷹畑林上田田
,	WG2:点検・試!	験方法 WG			WG4:全体調整 WG
座長		H13,14	座	長	田口 史雄
幹事	西川 忠 葛西 章 井村 正和 江原 慎一	H15 H13,14	幹	事	朝倉 啓仁 葛西 章 嶋田 久俊
	遠藤 広丈 中川 泰孝				茶家 義明 H13,14 中元 英樹
	松井 敏二 山下 英俊	H15	事務	局	西川 忠 H15 山口 光男
	吉田直人	H13,14			渡辺 忠朋

【目 次】

第1章 はじめに	1-1
1-1 コンクリート維持管理小委員会の経緯	1-1
1-2 研究成果の概要	1-1
1-3 活動経過	1-2
第2章 北海道の地域特性 環境と骨材	2-1
2-1 はじめに	
2-2 北海道における環境条件	
2-2-1 沿岸部	
2-2-2 内陸部	
2-3 北海道産骨材の品質特性	2-8
2-3-1 骨材品質の現状	
2-3-2 アルカリ骨材反応の実態	2-10
参考文献	2-11
第3章 コンクリート劣化の調査事例分析と判定事例	2 1
3-1 はじめに	
3-1-1 コンクリート劣化評価 WG の経緯	
3-1-2 研究成果の概要	
3-2 コンクリート構造物の既存調査事例の収集	
3-2-1 既存調査事例に関するアンケートの実施	
3-2-2 既存調査事例の内訳	
3-3 既存調査事例を用いた分析	
3-3-1 中性化に関する分析	3-7
3-3-2 塩害に関する分析	3-11
3-4 コンクリート劣化の判定事例	3-25
3-4-1 日本海岸の飛来塩分の多い地域で 17 年経過した PCI 合成桁橋	3-25
3-4-2 日本海岸の飛来塩分の多い地域で 23 年経過した鋼橋 RC 床版	3-30
3-4-3 日本海岸で 14~20 年供用しているコンクリート覆道の塩害	3-33
3-4-4 桁横断方向の表面塩化物イオン量の分布事例	3-35
3-4-5 ASR劣化の健全度診断事例	3-36
3-4-6 床版橋の疲労照査事例	3-37
参考文献	3-41
第 4 章 コンクリート構造物の点検・試験方法	4-1
4-1 はじめに	4-1
4-2 点検・調査の考え方	4-2
4-2-1 調査手順	4-2
4-2-2 調査目的	4-2
4-2-3 必要な情報	4-2
4-3 調査計画	4-6
4-3-1 各種資料の調査	4-6
4-3-2 現地予備調査	4-7

4-3-3 劣化種類と調査項目	4-9
4-4 劣化因子とメカニズム	4-12
4-4-1 劣化因子の種類	
4-4-2 各劣化のメカニズム	4-13
4-4-3 乾燥収縮ひび割れと温度応力ひび割れ	4-29
4-5 凍害調査方法の現状	4-31
4-5-1 凍結融解による損傷パターン	
4-5-2 凍結融解に対して求められるコンクリートの性能	4-33
4-5-3 凍害の調査	
4-6 コンクリート構造物の各種調査方法	4-46
4-6-1 調査方法の概要	4-46
4-6-2 各調査方法の詳細	4-62
参考文献	4-126
付録 1 コア採取の方法	4-127
付 1-1 採取コアにより実施可能な測定	4-127
付 1-2 必要なコア寸法	4-128
付 1-3 コア供試体に鉄筋が含まれている場合の扱い	
付 1-4 コア採取の手順	4-129
第 5 章 コンクリート構造物の補修・補強	5-1
5-1 はじめに	
5-1-1 補修・補強 WG の経緯	
5-1-2 研究成果概要	5-1
5-2 構造物の補修・補強工法の現状	
5-2-1 概要	5-1
5-2-2 補強方法の種類	
5-2-3 補修方法の種類	5-3
5-3 要求性能と補修・補強工法	5-4
5-4 代表的劣化因子と補強工法	5-7
5-5 補修・補強工法の性能経時変化に関する考え方	5-8
5-5-1 橋脚補強工法	5-9
5-5-2 床版補強工法	5-10
5-5-3 断面修復工法	5-11
5-6 今後の検討課題(H16 以降~)	5-12
付録 1 補修補強におけるウオータージェットはつりに関する資料	5-13
付 1-1 既設はつり工の計画案	5-14
付 1-2 施工フロー及び補修要領図(案)	5-16
付 1-3 W J 施工写真他	5-19
付録 2 補修補強工法の概要	5-21

第1章 はじめに

1-1 コンクリート維持管理小委員会の経緯

コンクリート構造物のストック量が膨大なものとなり,また剥落事故などコンクリート構造物の信頼性を損ねかねない事例が発生している.今日,蓄積してきた社会資本であるコンクリート構造物をいかに維持,更新するかが求められている.

このような状況を踏まえ,積雪寒冷地である北海道においてコンクリート構造物の劣化状況の把握,耐久性診断技術・補修補強技術の研究および普及を目的とし「コンクリート維持管理小委員会」を平成13年11月立ち上げた.

小委員会の研究活動は,平成15年度までの3年間を目途にマニュアル整備に必要となる研究活動を行い,その後平成17年度までの2年間で(仮称)コンクリート構造物維持管理マニュアルの作成を目標としている.

1-2 研究成果の概要

本報告書は北海道におけるコンクリート構造物の維持管理の現状と課題についての平成 13~15 年度,3 年間の活動報告であり,積雪寒冷地である北海道におけるコンクリート構造物の劣化状況の把握,耐久性診断技術・補修補強技術に関する研究成果を取りまとめたものである.

コンクリート維持管理小委員会の研究活動はコンクリート劣化評価(WG1), 点検・試験 (WG2), 補修・補強(WG3)および全体調整(WG4)の4つのワーキンググループを構成して行われており, 研究成果の概要を表-1.1示す.

表-1.1 各WGの研究成果の概要

WG の構成	研究成果の概要
WG1	・ 既存調査図書の収集をもとに劣化の進行を支配する要因を分析
コンクリート劣化評価 WG	・ 北海道内におけるコンクリート劣化の判定事例の収集
WG2	・ 劣化環境と骨材に関する北海道の地域特性を整理
点検・試験方法 WG	・ 調査計画の立案、劣化因子とメカニズムの関係を整理
	・ 現状における凍害の調査試験方法について整理
	・ コンクリート構造物の調査、試験・分析方法をデータシート形式に分類、
	整理
WG3	・ 既存補修補強工法の適用性と留意点(含む施工)の調査
補修・補強 WG	・要求性能と補修補強工法の関係整理
	・ 代表的劣化要因別に見た補修補強工法事例の調査 , 紹介
WG4	· 各WG間の調整
全体調整 WG	・ 活動報告会,コンクリート講習会,現地見学会などによる広報活動

本報告書は表-1.2の通り各WG毎に分担して執筆している.

表- 1.2 本報告書の WG 分担

	本報告書の構成	執筆分担
第1章	はじめに	WG4;全体調整 WG
第2章	北海道の地域特性 - 環境と骨材 -	WG2;点検・試験方法 WG
第3章	コンクリート構造物の劣化の現状	WG1;コンクリート劣化評価 WG
第4章	コンクリート構造物の点検・試験方法	WG2;点検・試験方法 WG
第5章	コンクリート構造物の補修・補強	WG3;補修・補強 WG

1-3 活動経過

コンクリート維持管理小委員会の活動経過の概要を表-1.3に示す.

表- 1.3 活動経過

	日時/会場	内容
第1回小委員会	H13/11/14	・小委員会発足の趣旨説明
	KKR 札幌	・小委員会の活動内容,スケジュール等の討議
		・WG の構成
		WG1;コンクリート劣化評価 WG
		WG2;点検・試験方法 WG
		WG3;補修・補強 WG
		WG4;全体調整 WG
		・参加;27名
第2回小委員会	H14/2/28	・新委員の委託について
	KKR 札幌	・各 WG の活動報告と今後の予定・
-		・参加;23名
平成 13 年度活動報告会	H14/2/28	・コンクリート維持管理小委員会の活動報告と話題提供
	KKR 札幌	・コンクリート補修・補強に関する勉強会
		・参加;28名
現地見学会	H14/7/26	「古い PC 桁の耐久性試験現地見学会」
	R228 上磯町 ,茂辺	・非破壊による配筋調査,鉄筋腐食調査
	地大橋現場	・非破壊による衝撃弾性波探査など
		・参加;25名
第3回小委員会	H15/3/14	・新委員の委託について
	開土研講堂	・H14 年度活動状況の報告と審議
		・参加;15名
コンクリート講習会	H15/3/14	「コンクリート構造物の耐久性向上技術」
	開土研講堂	・コンクリート維持管理小委員会の取組み紹介
		・建設後 40 年を経た PC 橋の劣化調査
		・塩害環境下にある PC 橋の LCC 検討事例
		・積丹半島の橋梁計画における耐久性設計
		・コンクリート構造物の設計と維持管理の今後
************************************	U40/0/04 (7 🖶)	・参加;102名
第4回小委員会	H16/6/21(予定)	・新委員の委託について
	開土研講堂	・H15 年度活動状況の報告と審議
コンクリート講習会	H16/6/21(予定)	「北海道におけるコンクリート構造物の維持管理の現状
	開土研講堂	と課題(維持管理の平成 13~15 年度コンクリート維持管理の基準の表現の
		理小委員会中間報告)」

第2章 北海道の地域特性 環境と骨材

2-1 はじめに

北海道は、わが国の最北端に位置し、総面積83,109km²で、全国の5分の1を占める. 気候は、温帯気候の北限と亜寒帯気候の南限にあるため、地域によってかなり異なる. また、シベリア大陸からの厳しい寒冷気候の影響を受けることから、国の豪雪地帯対策特別措置法に基づく豪雪地帯にも指定されている.

人口は全国の約5%であるが,都市への人口集中度が著しく高く,広大な土地に中核都市が散在し,それらの都市を中心とした生活圏域を持つ「広域分散型社会」を形成している.これに起因し,交通需要が広域的に発生することから,生産活動や日常生活が著しく自動車交通に依存している.このため,冬期間においては,自動車交通の安全を確保するため,路面に凍結防止剤が大量に散布される.そらに,厳しい寒冷環境であることに加え,周囲を海に囲まれており,コンクリート構造物にとっては極めて過酷な環境といえる.

このことから,北海道の地域特性は本州方面に比べ,極めて特化していると言え,これら地域特性に関する情報は,北海道のコンクリート構造物の調査・点検を行う上で必要不可欠である.

コンクリートの品質や耐久性に影響を与える要因として,北海道の地域性を考えるとき, 品質面においては骨材の性状,耐久性については積雪寒冷な気象条件と海塩による塩害が 挙げられる.

コンクリートの骨材の品質低下は,全国的に切実な問題となっている.北海道は比較的 骨材事情に恵まれた地域といわれていたが,他地域と同様に品質低下の傾向にある.

また,アルカリに対する反応性を有する骨材もあり,その産地についてはほぼ把握できる用になったところである.

北海道は言うまでもなく,日本の中で最も寒冷な地域であり,コンクリートの施工や維持管理において,温暖地にはない注意が必要となる.耐久性の面では「凍害」が最も大きな問題であるが,凍害については,「第3章 コンクリート構造物の点検・試験方法」で詳説することとし,ここでは海からの飛来塩分による塩害に対する影響度について触れる.その他にも,地域を細分すると様々な地域性が現れるものと思われるが,現段階ではデータが不十分なため,以上の内容に留める.

2-2 北海道における環境条件

2-2-1 沿岸部

道路橋示方書コンクリート橋編および下部構造編いでは,塩害の影響地域を表-2.1のように分類している.このうち,北海道の影響地域に関しては,図-2.1および表-2.2のように設定している.

これによると,北海道では,猿払村から松前町にかけての日本海沿岸全域が区分B(海上部および海岸線から 300mまでの部分),これ以外の領域は区分C(海上部および海岸線から 200mの部分)に指定されている.

表_ 9 1	塩害の影響地域1)	
7X- L.I	ノ	

地域		Service 60 as a securities	塩害の影響度合いと対策区分			
区分地域	海岸線からの距離	対策区分	影響度合い			
		海上部および海岸線から 100m まで	S	影響が激しい		
В	図7.3.1の 太線に示す	100m をこえて 300m まで	- f			
地域	300m をこえて 500m まで	n	影響を受ける			
	500m をこえて 700m まで	Ш				
		海上部および海岸線から 20m まで	S	影響が激しい		
C 上記以外の 地域	20m をこえて 50m まで	I				
	地域	50m をこえて 100m まで	п	影響を受ける		
		100m をこえて 200m まで	III			

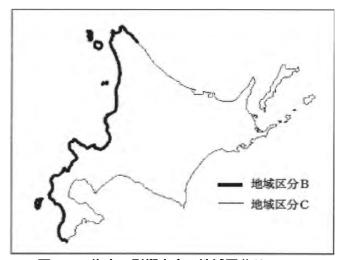


図-2.1 塩害の影響度合の地域区分1)

表-2.2 区分Bとされる道内の地域1)

- 宗谷支庁の礼文町・利尻富士町・利尻町・稚内市・猿払村・豊富町
- 留萌支庁
- 石狩支庁
- 後志支庁
- 檜山支庁
- 渡島支庁の松前町

また,北海道においては,飛来塩分による塩害に加え,凍結融解作用による凍害および 両者が同時に作用するといった複合劣化も懸念される.

表-2.3 は,北海道内の主な港湾の凍結融解回数を調べた結果の一例である²⁾.昭和62年10月~昭和63年5月を「1冬目」とし,以降,12冬目(平成10年10月~平成11年5月)まで測定が行われている.回数は,-2 を境にカウントされている.この表-2.3をみると,1冬あたりの凍結融解回数は,道南の江差港と室蘭港では平均して50回程度であるが,他の地域ではそれよりも高く,多いところでは110回程度,凍結融解の繰り返しを受けていることがわかる.

これらのことから,道内の沿岸一帯は,塩害と凍害の複合劣化が生ずる危険性は高く,特に,図-2.1に示される太線の地域は,複合劣化の発生が特に懸念されると言える.

表-2.3 道内の主な港湾における凍結融解回数2)

港湾名	冬目	回数	合計	港湾名	冬目	回数	合計	港湾名	冬目	回数	合計	港湾名	冬目	回数	合計
	1	63			1	61			1	85			1	69	
	2	84			2	2 42			2	84			2	80	
	3	76			3	27			3	66			3	73	
	4	80			4	36			4	81			4	75	
	5	86			5	60			5	98			5	77	
留萌港	6	92	957	江差港	6	50	564	浦河港	6	99	1003	紋別港	6	85	897
H 1/7/E	7	77	337	/工程/6	7	50	304	/H7-1/E	7	86	1000	MX/JJ/E	7	88	057
	8	78			8	45			8	84			8	70	
	9	80			9	39			9	77			9	65	
	10	96			10	48			10	86			10	76	
	11	61			11	42			11	67			11	63	
	12	84			12	64			12	90			12	76	
	1	69			1	64			1	101			1	75	
	2	76			2	50		705 釧路港	2	101	1208 網走		2	84	
	3	53			3	38	- 705 釧路		3	87			3	74	
	4	83			4	52			4	95			4	67	
	5	76			5	72			5	111			5	78	
石狩湾	6	90	937	室蘭港	6	73			6	109		網走港	6	80	873
新港	7	80	00.	11,378	7	58			7	102			7	80	
	8	80		-	8	55			8	96			8	64	
	9	80			9	51			9	102			9	75	
	10	102			10	67			10	116			10	67	
	11	66			11	50			11	79			11	58	
	12	82			12	75			12	109			12	71	<u> </u>
	1	65			1	106			1	104					
	2	77			2	98			2	100	.				
	3	53			3	85			3	86				,	
	4	71			4	98			4	89					
	5	85			5	102			5	102					
小樽港	6	83	862	苫小牧	6	112	1187	十勝港	6	108	1208		,		
	7	72		港	7	100	''0'		7	98					
	8	65			8	95			8 94						
	9	61			9	93			9	86		/			
	10	89			10	112			10	131		/			
	11	60			11	74			11	97					
	12	81			12	112			12	113		/			

2-2-2 内陸部

図-2.2³ は、1982年1月の平均気温分布である。これをみると、内陸部の平均気温は沿岸部に比べると低く、特に、標高が高い大雪山地域、道北の幌加内地域において、平均気温が低い傾向が顕著に表れている。

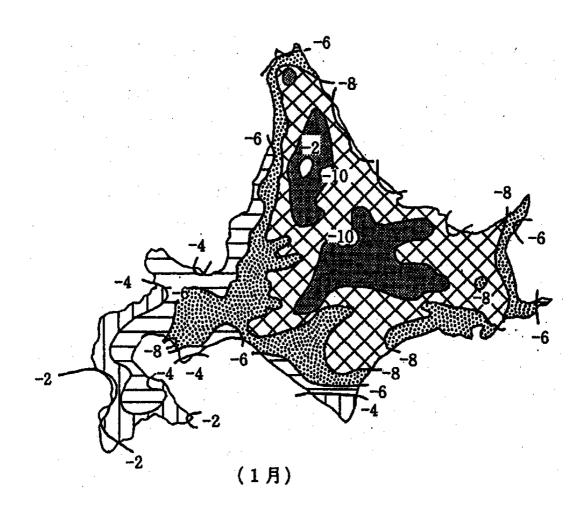
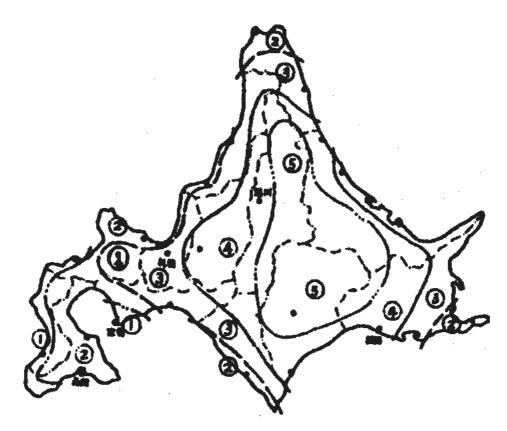


図-2.2 1982年1月の平均気温分布3)

図-2.3 は、長谷川4¹による北海道内の凍害危険度分布図である。長谷川も、標高が高い大雪山地域、道北の幌加内地域を「凍害は極めて大きいと予想される地域(危険度5)」に位置づけており、これらの地域では、凍害の発生が懸念される。



		最大水セメント比(%)			
凍害危険度	凍害の予想程度	(a)湿潤状態 の外気側コン クリート	(b)水に接し ない外気側 コンクリート	骨材	AE剤
5	凍害は極めて大きいと予想される地域	50	55	原則として 級を用いる	必要
4	凍害は大きいと予想される地域	55	60	"	"
3	凍害はやや大きいと予想される地域	60	65	"	11
2	凍害は軽微と予想される地域	60	65	級でもよい	"
1	凍害はご〈軽微と予想される地域	65	70	"	"
0	凍害はないと予想される地域	制限なし (70)	70	"	不要

図-2.3 長谷川による北海道内の凍害危険度分布4)

塩害は元来,主に沿岸地域に建設された構造物で特に問題視されてきた.

しかし,スパイクタイヤの使用禁止が法制化された平成3年以降 図-2.4に示すように, 凍結防止剤の散布量が年々増加傾向にある.このことから,内陸部においても,凍結防止 剤による凍害,および凍害と塩害による複合劣化の発生が危惧される.

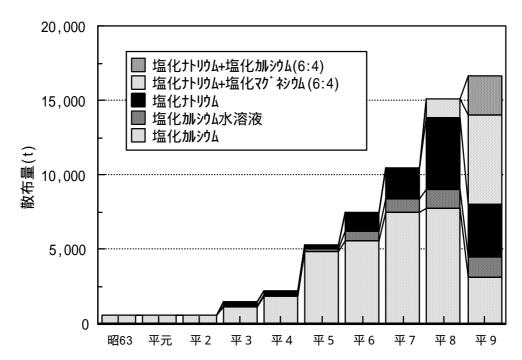


図-2.4 北海道開発局管内の凍結防止剤散布量(昭和63年~平成9年)4)

図- 2.5 は, 平成 5 年度の北海道内地域別の凍結防止剤使用量,図- 2.6 は,砂や砕石などすべり止め材の使用量を示している⁵⁾.

凍結防止剤は,車両走行路面の凍結防止を目的とした氷雪の融解,および,除雪後に生ずる残雪の融解といった面で,効果を発揮する.

これまでは、管轄路線での全線散布というより、交通事故が生ずる危険性が高い上り坂や下り坂、カーブ、日陰の地域、交差点などでスポット的な散布が行われてきた、一方、高速道や高規格幹線道では、極めて重大な交通事故の発生が懸念されるため、事故を未然に防止する観点から、路面を完全に露出させることが望ましく、これらの路線では全線散布が基本となる。

一般に,凍結防止剤は,地域特性の事情を考慮した上で選定がなされる.気温が低く, スポット的な散布を行っている地域では,即効性に優れ,発熱作用を有する塩化カルシウムが,一方,気温が比較的高い地域では,持続性に優れ,吸熱作用を有する塩化ナトリウムが使用される場合が多い.

一方,すべり止め材は,路面の凍結防止,ブラックアイスバーン路面の融解には適さない反面,路面の雪氷が厚い場合や,低温時もある程度の効果が期待できる特徴を有する.

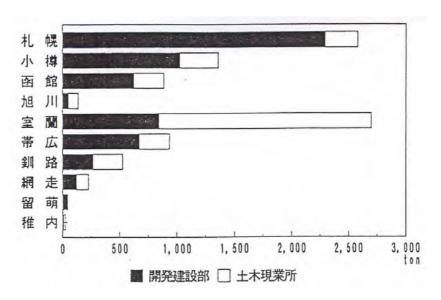


図-2.5 北海道内の地域別凍結防止剤散布量(平成5年度)6)

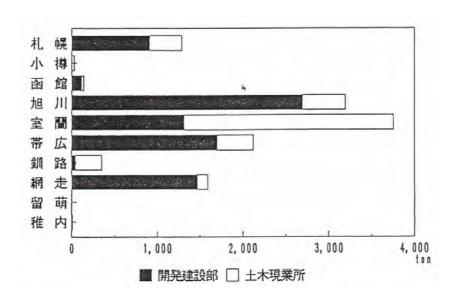


図-2.6 北海道内の地域別すべり止め材(砂および砕石)散布量(平成5年度)6)

図-2.5,図-2.6をみると,凍結防止剤と砂・砕石の双方を使用した路面管理を実施している地域は札幌,室蘭,帯広,凍結防止剤による路面管理を主としている地域は小樽,函館,砂・砕石による路面管理をメインとする地域は旭川,網走となっている.凍結防止剤は,比較的温暖な地域で多く用いられるのに対し,低温地域ではあまり用いられていない傾向が伺える.

すべり止め材は,積雪量が多く,低温な地域に適することを前述したが,地吹雪が頻発する留萌や稚内では,散布量が少なくなっており,単純に,雪が多く,気温が低い地域ですべり止め材が多く散布されているとは一概には言えない.

2-3 北海道産骨材の品質特性

2-3-1 骨材品質の現状

北海道におけるコンクリート用骨材の品質調査の成果については,現場から試料を取り寄せ,分析を行った林の報告⁵),開発局各建設部管内の主な河川・海岸を選出し,その選定地域から試料を採取して品質試験を行った岡村の報告^{7),8)},札幌地区における骨材の現状について調査した今井の報告⁹⁾,生コン工場が使用している骨材の現況調査を行った結果をもとに多変量解析を行い,総合評価を行った太田の報告¹⁰⁾などがある.

図- 2.7¹⁰⁾,図- 2.8¹⁰⁾は太田の報告の一部である.比重(現在は「密度」)に大きな異常値はみられないが,吸水率,洗い試験で失われるもの,安定性試験損失量の値には多少のばらつきがみられ,骨材の選択にあたっては,特に吟味する必要があると言える.

一方,林の報告50によると,細骨材は太平洋岸の苫小牧市と幌別町の間の海砂が最良で,粗骨材は十勝川,札内川,静内川,遠別川などの砂利が良質の部類に属するようである.また,地域別では日高山脈に源を発する河川産のものが概して良好で,地質学的にも妥当との報告がなされている.

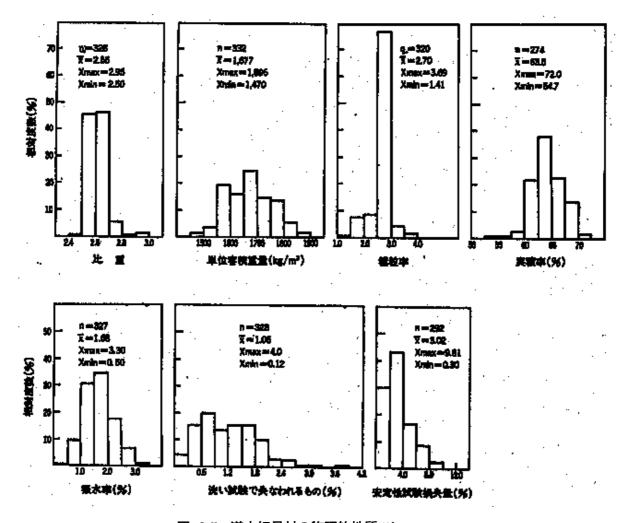


図-2.7 道内細骨材の物理的性質 10)

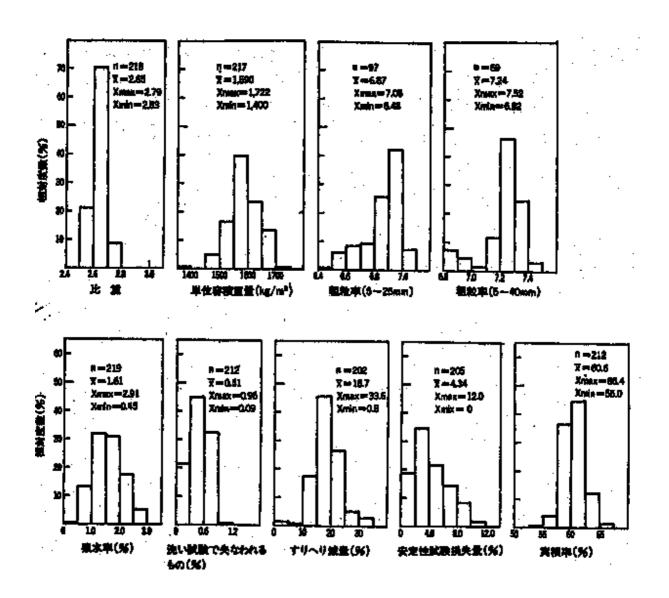


図-2.8 道内粗骨材の物理的性質 10)

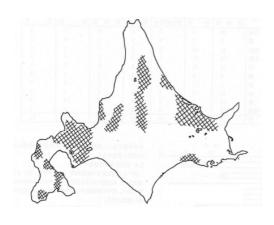
2-3-2 アルカリ骨材反応の実態

昭和58~63年度にかけて全道各地で採取した砕石(砕砂)・砂利・砂について鉱物分析・骨材の ASR 反応性試験(化学法・モルタルバー法)が実施され,試験結果より反応性骨材の分布図(1)が示され,これを図-2.9(a)に示す.網掛け部分は反応性骨材である可能性が高い地域である.

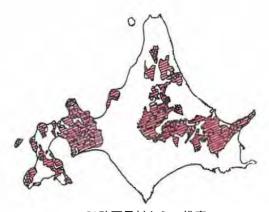
また,砕石骨材(砂,砂利を含まない)で反応性のある岩石が高率で含まれている可能性のある岩体(中新世よりも新しい火山岩類)は図-2.9(b)の赤着色の通りである12)

図-2.9の(a),(b)は調査機関や調査対象とした骨材の種類の違いより地域分布が異なっているが,両者とも反応性骨材である可能性が高い地域を表している.

尚,このほかの地域についても全く反応性骨材がないとはいえないため注意が必要である。写真-2.1 は,アルカリ骨材反応による劣化事例である。



(a) 砕石(砕砂)・砂利・砂からの推定

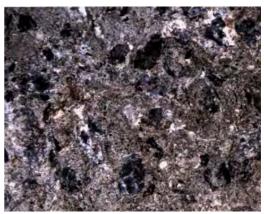


(b)砕石骨材からの推定

図-2.9 反応性骨材である可能性が高い地域



アルカリ骨材反応によるひび割れ



アルカリ骨材反応による白色ゲルの析出

写真-2.1 アルカリ骨材反応による劣化の事例

参考文献

1 道路橋示方書コンクリート編・下部構造編,社団法人日本道路協会

- 2 北海道開発局港湾部港湾建設課,寒地港湾技術研究センター:海洋環境下におけるコンクリートの耐久 性向上技術検討業務報告書,平成12年3月
- 3 土木学会: 2002 年制定コンクリート標準示方書 [施工編], 2002.3
- 4 長谷川寿夫: コンクリートの凍害危険度算出と水セメント比限界値の提案, セメント技術年報 XXIX, 昭和 50年
- 5 林正道:北海道地方に産する骨材の分布と品質,セメントコンクリート No.129,
- 6 開発土木研究所交通研究室:凍結防止剤の基礎知識,平成6年11月
- 7 岡村武:北海道産骨材の品質について,第3回北海道開発局技術研究発表会,1959
- 8 岡村武:北海道産骨材の品質について(第2報),第4回北海道開発局技術研究発表会,1960
- 9 今井益隆: 骨材問題を考える 地域別骨材事情「札幌地区」, コンクリート工学, Vol.34, No.7, 1996.7
- 10 太田利隆:北海道における骨材品質の現状:セメント・コンクリート No.415, 1981
- 11 中井俊英:北海道における ASR 反応性骨材の実態について,開発土木研究所月報, No.425, 1988.10
- 12 建設省総合技術開発プロジェクト,コンクリート耐久性向上技術の開発,アルカリシリカ反応性骨材分布図,1989.5 を元に作成

第3章 コンクリート劣化の調査事例分析と判定事例

3-1 はじめに

3-1-1 コンクリート劣化評価 WG の経緯

構造物の維持管理は,調査・点検,原因推定と劣化評価,対策工の検討,補修などの対策を通して実施されている.調査・点検結果に基づき対策を実施する際,原因の推定,劣化予測および評価・判定を適切に行うことが求められている.

この地北海道のコンクリート構造物は積雪寒冷な地域にあり凍結融解作用の影響,凍結防止剤散布の影響,また周囲を海岸線で囲まれ特に日本海岸は冬季の季節風からの飛来塩分の影響を受けるなど,コンクリート構造物に取って過酷な地理・自然条件に置かれている.

このため,北海道の地理自然条件を考慮した劣化状況の把握,原因推定と劣化評価技術を研究することは,適切な維持管理において重要な課題となっており,本 WG において調査,研究,取りまとめを行うものである.

3-1-2 研究成果の概要

コンクリート劣化評価 WG の目指す研究目標は以下とする.

- ・北海道におけるコンクリート劣化の特徴の分析
- ・コンクリート劣化の調査事例分析
- ・コンクリートの劣化評価手法の研究

なお,現時点(H16.6)での取りまとめは,既存調査図書の収集をもとに劣化の進行を支配する要因を分析すると共に,北海道内におけるコンクリート劣化の判定事例を掲載し,実務レベルでコンクリートの劣化評価を行う際の参考として活用できる内容とした.

3-2 コンクリート構造物の既存調査事例の収集

3-2-1 既存調査事例に関するアンケートの実施

平成 14 年 9 月北海道開発局建設部道路建設課より小委員会委員長名で各開発建設部にあてて、「コンクリート構造物の補修補強に関する調査依頼」のアンケートを以下の内容で実施して頂いた.

- (1) 調査または工事で,過去5カ年(平成8年~平成13年)に実施されたものを対象とした.対象構造物は以下とした.
 - ・道路構造物の内,無筋または鉄筋コンクリート構造物とする.
 - ・橋梁:コンクリート桁, RC橋台,橋脚など(鋼橋のRC床版を含む)
 - ・擁壁:重力式,L型,逆Tなど
 - ・覆道など(道路トンネルは含まない)
- (2) 記入事項は,業務名,工事名,路線,劣化要因などで,対象構造物の調査または工事の有無およびその図書有無を記入する.
 - ・コンクリートの強度などの物性に関する調査
 - ・中性化, 塩害, 凍害, アルカリ骨材反応などに関する調査
 - ・鉄筋腐食に関する調査
 - ・はく落など第3者影響度に関する調査
 - ・モニタリング, 載荷試験など
 - ・コンクリート化学組成に関する調査

このアンケートを平成 14 年 10 月中旬回収し,アンケート結果に基づき,設計図書の存在するものをすべて返却不要の形で,開土研材料研究室宛に12月を目途に送付頂いた.WG 1メンバーにて,受領図書をナンバリングし整理した.

また、WG1 メンバーにて受領図書以外の調査事例を追加した結果、表-3.1 の通り道内 49 の構造物に関する既存調査事例を収集した。

表-3.1 既存調査事例の収集結果

			調査報告書の収集
調査業務	アンケート調査		94 件 (38 構造物)
	WG1 収集	11 構造物	
	(表-3.3,表-3.4の網掛)		11 悟足物
	合計		49 構造物
		*	同一構造物の他年度に渡る調査は1構造物として集計.
	備 考	*	構造物数は構造物の名称(橋梁の場合,橋名)で集計.
		*	耐震設計,道示改訂関連は調査業務外としている.

3-2-2 既存調査事例の内訳

コンクリート調査の調査内容はコア採取による試験などの詳細調査,外観調査のみ,床版ひび割れ調査,洗掘調査,その他の5種類である.その他は,配筋調査,震災点検,塩害実態調査である.調査内容の内,詳細調査の項目としては強度試験,中性化深さの試験,塩化物イオン含有量試験が一般的に行われており,その他の試験としては配合分析,凍害,ASRに関する試験も一部実施されている.

これらのコンクリート調査の内容および詳細調査の内訳を表-3.3 に,既存調査構造物の位置図を図-3.1 に示す.図中では分析の対象とした詳細調査や外観調査を黒丸で示し,床版ひび割れや洗掘調査は分析の対象外とし白抜き印で示した.

また,詳細調査および外観調査から劣化の進行を予測する指標が分析できる構造物を抽出すると表-3.4の通りである.劣化の種類に応じて表-3.2の指標を分析した.既存調査構造物の位置図の内,劣化の種類に応じて分析した調査箇所を図-3.2~図-3.5に示す.

表-3.2 劣化の種類と分析項目

劣化の種類	詳細調査および外観調査の内容	分析項目
		(劣化の進行を予測する指標)
中性化	中性化深さ試験	中性化速度係数
	(フェノールフタレイン法による中性化深さ)	
塩害	塩化物イオン量試験	表面塩化物イオン量
	(かぶり深さ毎の塩化物イオン含有量)	見かけの拡散係数
凍害	コンクリート表面の外観(スケーリングなど)	分析可能な項目なし
ASR	ASRの判定に関する調査	分析可能な項目なし

表-3.3 既存調査事例の内訳

	調査内容			詳細調査内訳								
構造物 番号	調査部位	詳細調査	外観調査	床版ひび 割れ調査	洗掘	その他	強度試験 等	中性化深	塩化物	配合推定	凍害	ASR関連
A1	覆道											
A2 A3	覆道 覆道											
A4 A5 A6 A7	壁式橋脚											
A5	橋台 非合成箱桁											
A6 A7	親柱											
A8	PC中空床版橋	j										
B1-1 B1-2	PCI PC箱桁											
B1-3	壁式橋脚											
B2	L型擁壁											
C1-1 C1-2	PC床版橋 ハイルヘント											
C1-3	ハ'イルヘ'ント											
C1-4 C2-1	バイルヘント RC床版橋											
C2-2	橋台											
C3-1	橋台											
C3-2 C3-3	張出式橋脚 PCT											
C4-1	橋台											
C4-2 C5	非合成鈑桁 非合成鈑桁											
C6	RCT											
C7 C8	張出式橋脚											
C9	PC床版橋 非合成鈑桁											
C10	合成鈑桁											
C11 C12	合成鈑桁 合成鈑桁											
C13	合成鈑桁											
C14-1 C14-2	橋台											
C14-2	壁式橋脚 RCT											
C16-1	合成鈑桁											
C16-2 C17-1	橋台 PCI											
C17-2-1	壁式橋脚											
	壁式橋脚											
C18-1 C18-2	PCI											
C18-4	橋台											
C18-5	壁式橋脚											
C19	PCポステン中!											
D1-1 D1-2	橋台 壁式橋脚											
D1-2 D2	至 <u></u>											
D3	覆道											
D4	張出式橋脚											
<u>E1</u> F1	壁式橋脚 PCホロー											
F1 F2	PCT PCT											
F3	PCT											
G1	鈑桁											
G2 G3-1	鈑桁 PCT											
G3-1 G3-2	PCT											
G3-7	橋台											
G3-8	壁式橋脚											
G3-9 H1	壁式橋脚 合成鈑桁											
H2	合成鈑桁											
H3-1	PCホロー											
H3-2	張出式橋脚											
H4 H5	RCT 進中士棒脚											
H5 I1	張出式橋脚 張出式橋脚											
12	壁式橋脚											
J1 J2	H形鋼橋											
JZ	橋脚梁											

表-3.4 既存調査事例の分析項目

	分析項目								
構造物 番号	調査部位	中性化	塩害	中性化フロント有	凍害	コンクリート の外観	ASR		
A1	覆道					凍害無			
A2	覆道					スケーリング			
A3 A4	覆道 壁式橋脚			+		凍害無 スケーリング			
A5	香台					不明			
A6	非合成箱桁					スケーリング			
A7	親柱					不明			
A8 B1-1	PC中空床版橋 PCI	1				塗装			
B1-1	PC箱桁					塗装			
B1-3	壁式橋脚					凍害無			
B2	L型擁壁					凍害無			
C1-1 C1-2	PC床版橋					塗装 25 以 が			
C1-2	ハ'イルヘ'ント ハ'イルヘ'ント					スケーリング 凍害無			
C1-4	ハイルベント					スケーリング			
C2-1	RC床版橋					凍害無			
<u>C2-2</u>	橋台					凍害無			
C3-1 C3-2	橋台 張出式橋脚					不明 スケーリング			
C3-2	PCT					凍害無			
C4-1	橋台					不明			
C4-2	非合成鈑桁					不明	-		
<u>C5</u>	非合成鈑桁					不明不明			
C6 C7	RCT 張出式橋脚					不明			
C8	PC床版橋					不明			
C9	非合成鈑桁					不明			
C10	合成鈑桁					不明			
C11 C12	合成鈑桁					不明不明			
C12	合成鈑桁 合成鈑桁					不明			
C14-1	橋台					不明			
C14-2	壁式橋脚					木 萌			
C15	RCT					不明			
C16-1 C16-2	合成鈑桁 橋台					スケーリング 凍害無			
C10-2	PCI					凍害無			
C17-2-1	壁式橋脚					凍害無			
C17-2-2	壁式橋脚					凍害無,漏水跡			
C18-1	PCI					スケーリング			
C18-2	PCI					スケーリング			
C18-4	橋台					スケーリング			
C18-5	壁式橋脚	;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;				スケーリング			
C19 D1-1	PCポステン中! 橋台	全 体				スケーリング			
D1-1	壁式橋脚					スケーリング	-		
D1-2 D2	至以何 <i>叫</i> 覆道					スケーリング			
D3	覆道					スケーリング			
D4	張出式橋脚					凍害無			
E1	壁式橋脚					不明			
<u>F1</u>	PCホロー					不明			
F1 F2						不明			
F2 F3	PCホロー PCT PCT					不明不明			
F2 F3 G1	PCホロー PCT PCT 鈑桁					不明 不明 不明			
F2 F3 G1 G2	PCホロー PCT PCT 鈑桁 鈑桁					不明 不明 不明 不明			
F2 F3 G1 G2 G3-1	PCホロー PCT PCT 鈑桁 の大					不明 不明 不明 不明 スケーリング			
F2 F3 G1 G2 G3-1 G3-2	PCホロー PCT PCT 鈑桁 女桁 PCT PCT					不明 不明 不明 不明 スケーリング スケーリング			
F2 F3 G1 G2 G3-1 G3-2 G3-7	PCホロー PCT PCT 鈑桁 鈑桁 PCT PCT					不明 不明 不明 不明 スケーリング スケーリング			
F2 F3 G1 G2 G3-1 G3-2 G3-7 G3-8	PCホロー PCT PCT 鈑桁 鈑桁 PCT PCT 標台 壁式橋脚					不明 不明 不明 スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング			
F2 F3 G1 G2 G3-1 G3-2 G3-7 G3-8 G3-9	PCホロー PCT PCT 鈑桁 鈑桁 PCT FCT 標台 壁式橋脚					不明 不明 不明 スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング			
F2 F3 G1 G2 G3-1 G3-2 G3-7 G3-8 G3-9 H1	PCホロー PCT PCT 鈑桁 鈑桁 PCT 標台 壁式橋脚 壁式橋脚 合成鈑桁					不明 不明 不明 スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング			
F2 F3 G1 G2 G3-1 G3-2 G3-7 G3-8 G3-9 H1 H2	PCホロー PCT PCT 鈑桁 鈑桁 PCT PCT 唇管式橋脚 壁式橋脚 合成鈑桁					不明 不明 不明 スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング			
F2 F3 G1 G2 G3-1 G3-2 G3-7 G3-8 G3-9 H1	PCホロー PCT PCT 鈑桁 鈑桁 PCT PCT 樗台 壁式橋脚 全式橋脚 合成鈑桁 PCホロー					不明 不明 不明 スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング ス・リング ス・カーリング スケーリング ス・カーリング ス・カーリング ス・カーリング			
F2 F3 G1 G2 G3-1 G3-2 G3-7 G3-8 G3-9 H1 H2 H3-1	PCホロー PCT PCT 鈑桁 鈑桁 PCT PCT 唇管式橋脚 壁式橋脚 合成鈑桁					不明 不明 不明 スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング			
F2 F3 G1 G2 G3-1 G3-2 G3-7 G3-8 G3-9 H1 H2 H3-1 H3-2	PCホロー PCT PCT 鈑桁 鈑桁 PCT PCT 橋台 壁式橋脚 壁式橋脚 合成鈑桁 PCホロー 張出式橋脚					不明 不明 不明 不明 スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング 不明 ひび割れ 東害無			
F2 F3 G1 G2 G3-1 G3-2 G3-7 G3-8 G3-9 H1 H2 H3-1 H3-1 H3-1 H4 H5	PCホロー PCT PCT 飯桁 鈑桁 鈑桁 野CT PCT 橋台 壁式橋脚 合成鈑桁 今成鈑桁 PC出式橋脚 RCT 張出式橋脚 張出式橋脚					不明 不明 不明 不明 スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング 不明 不明 のび割れ 凍ま明 不明			
F2 F3 G1 G2 G3-1 G3-2 G3-7 G3-8 G3-9 H1 H2 H3-1 H3-2 H4 H5 I1	PCホロー PCT PCT 鈑桁 PCT PCT 橋台 壁式橋脚 壁式橋 板桁 PCホロー 張出式橋脚 RCT 張出式橋脚 壁式橋脚					不明 不明 不明 不明 スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング ス・アーリング ス・アールー			
F2 F3 G1 G2 G3-1 G3-2 G3-7 G3-8 G3-9 H1 H2 H3-1 H3-1 H3-1 H4 H5	PCホロー PCT PCT 飯桁 鈑桁 鈑桁 野CT PCT 橋台 壁式橋脚 合成鈑桁 今成鈑桁 PC出式橋脚 RCT 張出式橋脚 張出式橋脚					不明 不明 不明 不明 スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング スケーリング 不明 不明 のび割れ 凍ま明 不明			

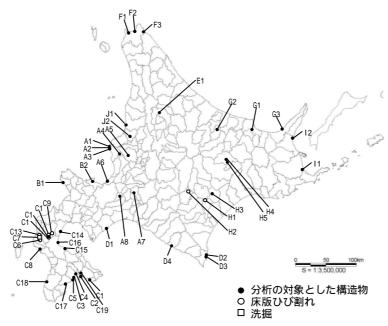


図-3.1 既存調査構造物の位置図

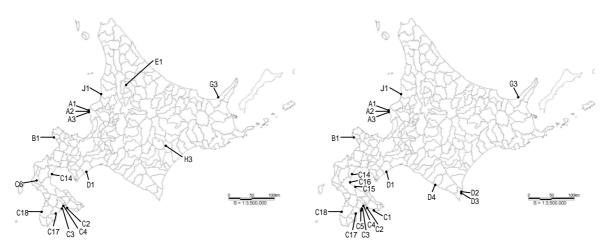


図- 3.2 中性化調査箇所

図-3.3 塩害調査箇所

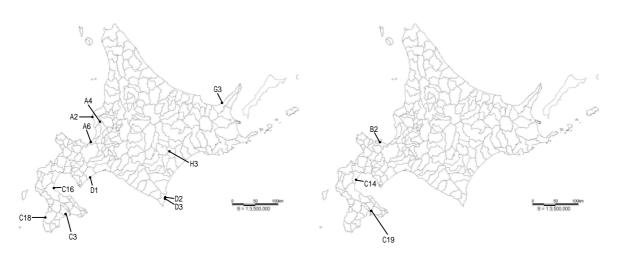


図- 3.4 凍害調査箇所

図- 3.5 ASR調査箇所

3-3 既存調査事例を用いた分析

3-3-1 中性化に関する分析

分析は既存調査事例 49 構造物の内 ,中性化深さの測定を行っている構造物の試験部位 32 箇所を対象とした .

(1) 中性化深さの分析結果

中性化深さと供用年数の関係を上部工,下部工について示す.図-3.6,図-3.7 では調査箇所が乾燥し易いか,または凍害影響を受けて中性化の促進要因がある場合を塗りつぶし丸(),逆に乾燥しづらく中性化の促進要因がない場合を白抜き丸()として示した.また,調査データの近似式(赤線)および水セメント比 W/C を 45,55%と仮定した時の中性化深さの予測式を合わせて示した.

上部工(図-3.6)では,W/C=55%(乾燥)の予測式の上方に位置する2つのデータは凍害によるスケーリングを受けて中性化が促進されたと考えられる.その他のデータはW/Cの予測式の範囲内にある.

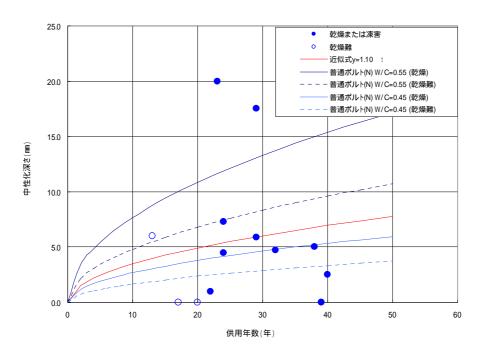


図-3.6 中性化深さの分布(上部工)

下部工・覆道(図-3.7)では,セメントの種類が不明なため W/C の予測式を普通ポルトランドセメントの場合と高炉セメントの場合を示したが,予測式上方の1つのデータを除き,W/C の予測式の範囲内にある.

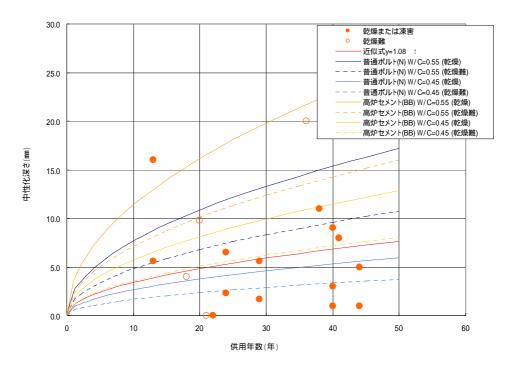


図-3.7 中性化深さの分布(下部工・覆道)

中性化深さの測定データに対応する W/C の記録がないため ,W/C による中性化深さの推定精度については明らかに出来ないが , W/C の上限(55%)による中性化深さの推定は安全側の評価を与えている. 但し, 凍害を受ける部位ではこの限りではない.

中性化の促進要因の有無による差異は明確に現れてはいない。

(2) 解説:中性化深さの予測式

中性化の進行は,一般に時間の平方根に比例するとされて t 則といわれる.中性化深さの設計値 y d (mm) $^{1)}$ は式 $^{3-1}$ で示される.

 $yd = cb \cdot dt$

式 3-1

ここに,

y d:中性化深さの設計値(mm)

本計算では,中性化深さの測定値とする.

c b:中性化深さの設計値ydのばらつきを考慮した安全係数.

本計算では,中性化深さの実測値を用いるため,1.0とする.

d:中性化速度係数の設計値(mm/ 年)

 $d = k \cdot e \cdot c$

式 3-2

k:中性化速度係数の特性値

 $k = p \cdot p$

p: pの精度に関する安全係数.一般に,1.0~1.3としてよい.

測定した中性化深さを用いる場合は1.0とする.

水セメント比による中性化速度係数の推定式を用いる場合は 1.10 とする.2)

e:環境作用の程度を表す係数.一般に,乾燥しにくい環境,北向きの面などでは1.0,乾燥しやすい環境,南向きの面などでは1.6としてよい.

本計算では,雨掛かりの環境を1.0,雨掛かりのない環境を1.6とした.

c:コンクリートの材料係数.本計算では1.0とする.

p:中性化速度係数の予測値(mm/ 年)

 $p = a + b \times W/B$

式 3-3

a, b:セメント(結合材)の種類に応じて、実績から求まる係数

a = -3.57 b = 9.0

W/B:有効水結合材比

 $= W/(Cp+k \times Ad)$

 $= W/((C - Ad) + k \times Ad)$

 $= W/(C + (k - 1) \times Ad)$

 $= 1/(1 + (k - 1) \times) \times W/C$

Cp:単位体積当たりのポルトランドセメントの質量

C:単位体積当たりの混和材料を含むセメントの質量

Ad:単位体積当たりの混和剤の質量

 $= x \times C$

x:混和材の置換率

高炉セメント B 種の混和材の置換率は JIS 規定 30~60%に対して,通常 40~45%程度を目安に生産3)されており,本計算では0.40とした.

k: 混和材の種類により定まる定数 フライアッシュの場合, k=0 高炉スラグ微粉末の場合, k=0.7

(3) 解説:中性化速度係数の算出

測定した中性化深さ(yd),供用年数(t)から中性化速度係数の設計値 dを求める式は式3-1より式 3-4となる.

尚,水セメント比(W/C)から中性化速度係数の設計値 d を推定する式は,式 3-1 より式 3-5 となる.

 $d = k \cdot e \cdot c$ = p · e · c × p = 1.1 × e × 1.0 × (-3.57+9.0 × W/B) = 1.1 × e × (-3.57+9.0 × W/C) · · · · · ・ ・ 普通ポルトランドセメント

= 1.1× e×(-3.57+9.0/0.88×W/C)・・・・高炉セメントB種

式 3-5

これを水セメント比(W/C)について示せば図-3.8の通りであり,一般に普通ポルトランドセメントに比べて高炉セメントの方が大きい中性化速度係数を示す.

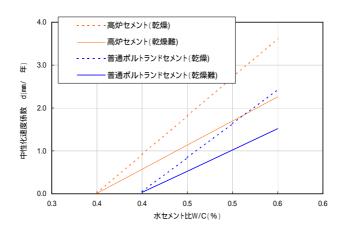


図-3.8 中性化速度係数と水セメント比との関係

また,水セメント比(W/C)は式 3-2 に式 3-3 を代入し,測定した中性化深さ(yd),供用年数(t)を用いて次式で表される.

W/C

- = [yd/(px ex t)+3.57]x[1+(k-1)x]/9.0
- = [y d/(1.1x ex t)+3.57] x 1/9.0・・・普通ポルトランドセメント
- = [y d/(1.1× e× t)+3.57] × 0.88/9.0・・高炉セメント B 種 (混和材置換率 40%)

式 3-6

3-3-2 塩害に関する分析

分析は既存調査事例 49 構造物の内,塩化物イオン量試験から表面塩化物イオン量,見かけの拡散係数の算出が可能である構造物の試験部位 34 箇所を対象とした.

塩化物イオン量試験結果に対して,初期塩化物イオン量,中性化の影響などを考慮し, Fick の拡散方程式の解を用いて,最小二乗法により,表面塩化物イオン量 (C_0) ,見かけの 拡散係数(Dc)を算出した.計算の詳細は「3-3-2(2)」以降に示す.

(1) 表面塩化物イオン量の分析結果

H14 道示の地域区分 B,C 各々に位置する構造物の分析結果と土研式,コンクリート標準示方書式にて想定している表面塩化物イオン量との関係を図-3.9 (地域区分 B,日本海岸),図-3.10 (地域区分 C,太平洋岸)に示す.

1) 日本海岸の地域区分 B の表面塩化物イオン量

日本海岸(図-3.9,青丸印)では,海上部及び海岸線から 100m までの調査がほとんどであるが,海岸線から 100m までの範囲(対策区分S)では土研式やコンクリート標準示方書式の推定値を大きく超えており,波しぶきや飛沫の影響を受けていると思われる.

また,海岸線から 300m (対策区分) 位置の約 22kg/m³の高い値は,RC 床版下面の値であるが,埋立地の干満の影響をうける河口付近に位置し,架橋位置から海岸まで遮蔽物がなく開けた地形であることが要因と思われる.

2) 太平洋岸の地域区分 C の表面塩化物イオン量

太平洋岸(図-3.10, 黄緑丸印)では,海岸線から20mまでの範囲(対策区分S)では道示やコンクリート標準示方書の推定値を大きく超えており,波しぶきや飛沫の影響を受けていると思われる.

また,海岸線から 50m (対策区分)位置の約 12~14kg/m³の高い値は,海岸線付近の河口に位置する河川橋であり,飛沫の影響を受ける特異な地形であることが要因と思われる.

海岸線から 100~400m(対策区分 および対策区分外)の 6kg/m³前後の高い値は,左から順に橋台パラペットの漏水跡で融雪剤からの塩分の供給が考えられる箇所,ASR 劣化によるひび割れを受けた箇所,路面の融雪剤の飛散による塩分の供給が考えられる地覆箇所であり,いずれも特異な条件下にあることが要因と思われる.

海岸線から 200~400m(対策区分外)の 2kg/m³前後の値は,左から順に飛沫の影響を受ける地形の河川橋,跨線橋の RC 床版橋の桁側面と橋台,跨線橋の RCT 桁側面であり,融雪剤による塩分の供給は小さいと考えられ,C 地域としては飛来塩分に由来する塩分量の高い値である.

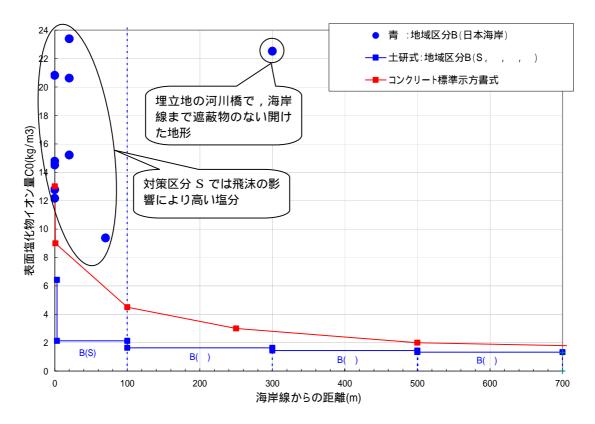


図-3.9 道示の地域区分B(日本海岸)の表面塩化物イオン量

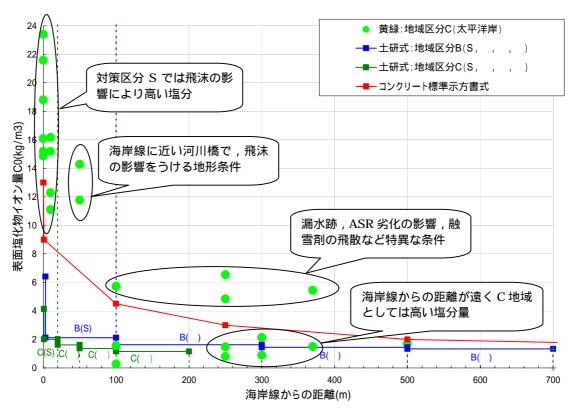


図-3.10 道示の市域区分C(太平洋岸)の表面塩化物イオン量

3) 表面塩化物イオン量のまとめ

対策区分 S の地域では波しぶきや飛沫の影響を受け土研式やコンクリート標準示方書式による推定値を超える塩分量となっている.

対策区分 S を超える距離にある場合でも,海岸線まで遮蔽物がなく開けた地形条件や海岸からの飛沫の影響を大きく受ける地形条件に位置する場合は土研式やコンクリート標準示方書式を超える塩分量となる場合がある.

また, 融雪剤を含む路面水の漏水跡や飛散の影響を受ける箇所では, 当然ながら飛来塩分の推定値を超える表面塩分量となっている.

(2) 見かけの拡散係数の分析結果

上部工(青丸印),下部工(橙丸印)毎の見かけの拡散係数と水セメント比との関係を図-3.11 に示す.ここに,水セメント比は工事記録または配合推定試験結果としたが,これらがない場合はがない場合は,上部工は普通ポルトランドセメント(N),下部工は高炉セメント(BB)と仮定して中性化深さから0.55を上限として推定した.いずれにも該当しない場合,道示の水セメント比(表-3.10)と仮定している.

表中では土研式あるいはコンクリート標準示方書に示す水セメント比による推定値(表-3.15)を合わせて示しているが,上部工(青丸印)はコンクリート標準示方書式(青実線)を上限として下方にばらついている.下部工(橙丸印)のセメントの種類を高炉セメント(BB)と仮定した場合,上部工(青丸印)よりもばらつきが大きく,また大きめの拡散係数となっている.

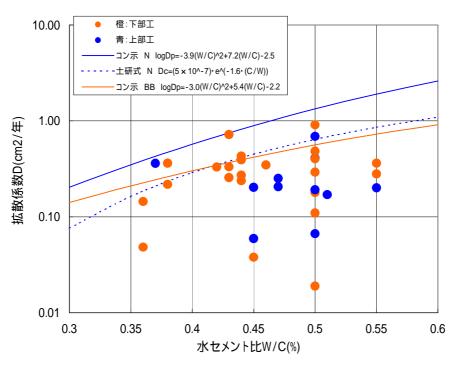


図-3.11 見かけの拡散係数と水セメント比との関係

(3) 解説:塩化物イオン量試験結果の分析方法

1) コンクリート中への塩分浸透のモデル

コンクリート中への塩分の浸透は Fickの一次元拡散方程式の解 4) で表されると仮定されている.

$$\frac{\partial c}{\partial t} = Dc \cdot \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$$
 $\equiv 3.7$

拡散係数が時間及び位置に対して一定,表面濃度が時間に対して一定,かつ拡散の媒体(コンクリート)が半無限の条件で,上記方程式の解は以下の通り与えられている.

$$c(x,t) = Co(1 - erf(\frac{x}{2\sqrt{Dc \cdot t}}))$$
 $\equiv t$ 3-8

ここに,

erf(): 誤差関数 (近似式 5)を合わせて示す。)

$$erf(s) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^s e^{-t^2} dt$$

$$=1-1/(1+0.278393s+0.230389s^2+0.000972s^3+0.078108s^4)^4$$
 \$\pm\$\$ \$\pm\$\$. 3-9

2) 表面塩化物イオン量と見かけの拡散係数の回帰計算

現地にて採取された試料の試験結果であるかぶり深さ方向の塩化物イオン濃度 C(x,t)から拡散方程式の2つの係数,すなわち

表面塩化物イオン量 Co(kg/m³)

見かけの拡散係数 Dc (cm²/年)

を最小2乗法により算出する.

土木学会から見かけの拡散係数・表面塩化物イオン量の算出プログラム $^{6)}$ が,また土木研究所からは「コンクリート中の塩化物イオン濃度分布簡易分析シート」 $^{7)}$ が提供されている.後者は設計者が C_0 , D_0 の 2 つを変数として回帰計算を収束させる必要がある.

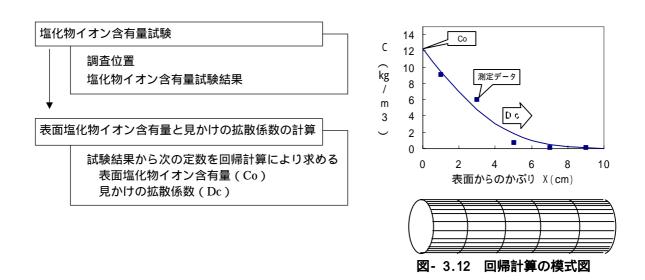
今回の最小2乗法による回帰計算はデータ解析ソフト 8)を用いて以下の通り行った.

暴露期間 t 年の複数の測定データ C(x,t)を用意する.

Co, Dc の初期値を仮定する.

暴露期間 t 年と仮定した Co, Dc を上記の拡散方程式の解に代入し,深度毎の C(x,t) の近似曲線から残差 2 乗和を計算する.

異なる Co , Dc の組み合わせについて計算を繰り返し , 残差 2 乗和が最小となる Co , Dc の組み合わせを求め解とする .



3) 初期塩化物イオン量の扱い 7)

初期塩化物イオン量はフレッシュコンクリートの時から既にコンクリート中に内在していた塩分量であり,回帰計算においては以下の通り設定した.

- i)構造物の最も内部から採取した試料で測定した塩化物イオン濃度が 0kg/m³の場合,初期塩化物イオンも 0kg/m³と推定する.
- ii)構造物の最も内部から採取した試料で測定した塩化物イオン濃度が定量下限値を示している場合は塩化物イオン濃度を 0kg/m³とし,また初期塩化物イオンを 0kg/m³と推定する.分析装置の定量下限値は試験方法・機種により異なるが約 0.5kg/m³以下である.
- iii)コンクリート内部のデータが数点連続して同程度の値を示す場合,その平均値を初期塩化物イオン量とする.

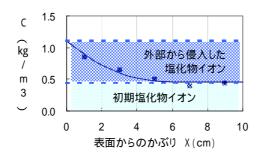


図-3.13 初期塩化物イオンの設定例1

iv) i)~)に該当しない場合,最も内部で測定した塩化物イオン濃度より内部の初期塩化物イオン濃度を 0kg/m³と仮定する.

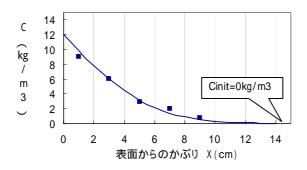


図-3.14 初期塩化物イオンの設定例2

4) 中性化深さの影響の扱い

コンクリート表面では中性化の進行により,中性化領域に含まれていた塩分が,構造物内部の未中性化領域へと移動し,中性化領域では塩化物イオン量が低下すると考えられている.これは,コンクリート中に固定化されていたフリーデル氏塩が炭酸化により分解,塩化物イオンを解離するためとされている.⁹⁾

中性化の進行が認められる場合は,図-3.15 に示す通り中性化フロント内のデータを場外して回帰計算することが推奨されている.

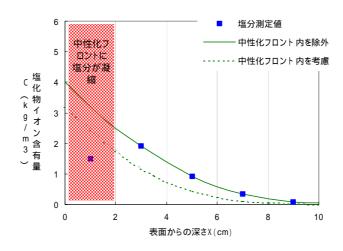


図-3.15 中性化が進行している場合の回帰計算方法

尚,中性化フロント内のデータの扱いに応じて表-3.5の通り,表面塩分量と見かけの拡 散係数が変化することになる.

表- 3.5 中性化フロントの影響

	表面塩分量 C ₀ (kg/m³)	見かけの拡散係数 Dc(cm ² /年)
	C ₀ (kg/III)	DC(CIII / +)
中性化フロントのデータを考慮	小	大
中性化フロントのデータを削除	大	/ \

今回の計算では,表-3.6に示す通り,表面付近の塩化物イオンの低下が見られない場合は有効データとして採用(回帰計算1),低下が見られる場合はこれを無効として不採用(回帰計算2)とした.

表-3.6 回帰計算ケースと採用の場合分け

			回帰計算1	回帰計算2
			表面付近の測定値を有効	表面付近の測定値を無効
			として採用	として不採用
中性化試験有	中性化の	表面塩分低下無		
	進行無	表面塩分低下有		
	中性化の	表面塩分低下無		
	進行有	表面塩分低下有		
中性化試験無		表面塩分低下無		
		表面塩分低下有		

5) 凍結融解作用の扱い

コンクリート調査報告書に記載の有る限りで主にコア採取写真などから,コンクリート表面の凍害によるスケーリング,ポップアウト,ひび割れなどの損傷の有無を確認した.

表-3.7 コンクリート表面の凍害の評価

	記載例
写真により凍害劣化が判定出来る場合	スケーリング
	ポップアウト
	ひび割れ
写真により凍害劣化が判定できない場合 写真などの判断材料が無い場合	不明

6) 拡散が明確でない場合の扱い

塩化物イオンの測定値が深さ方向に不規則に並んでいる場合には、塩化物イオンの拡散法則によって塩化物イオン濃度の分布を説明できないため、測定データを分析の対象から除外する.

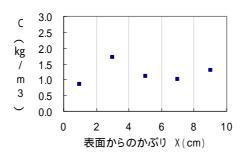


図-3.16 回帰計算の適用除外の例

(4) 解説:H14 道示の塩害対策区分

H14 道示ではこれまでの塩害損傷の実態および飛来塩分量全国調査の結果 ,コンクリートの塩分浸透試験に基づき ,

- ・設計上の目標期間を 100 年と想定 10)
- ・設計かぶり位置の塩分含有量を 1.2kg/m³以下
- ・セメントの種類はポルトランドセメント(早強を含む,高炉を含まず)
- ・かぶり算定時に想定した水セメント比は表-3.10の通り

として,塩害の地域区分を表-3.8に,最小かぶりを表-3.9の通り定めている.

表- 3.8 塩害の影響地域 (H14 道示) ¹¹⁾

地域	地域	海岸線からの距離	塩害の影響度	合いと対策区分
区分	1673	一番 一番 一番 一番 一番 一番 一番 一番	対策区分	影響度合い
	北海道のうち,宗谷支庁の	海上部及び海岸線から 100m まで	S	影響が激しい
	礼文町,利尻富士町・稚内	100m をこえて 300m まで		
В	市,猿払村・豊富町,留萌	300m をこえて 500m まで		影響を受ける ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
	支庁,石狩支庁,後志支庁,	500m をこえて 700m まで		が音で文ける
	渡島支庁の松前町			
		海上部及び海岸線から 20m まで	S	影響が激しい
C	 上記以外の地域	20m をこえて 50m まで		
C	エーローケント・ロフェビュス	50m をこえて 100m まで		影響を受ける
		100m をこえて 200m まで		



図-3.17 塩害の影響の度合いの地域区分(北海道)

表- 3.9 塩害の影響による最小かぶり(H14道示) ¹²⁾

塩害の影響度	対策区分	(1) 工場で製作される	(2) (1)以外の PC 構	(3) RC 構造
合い	対象区別	PC 構造	造	(3) 化5 保足
影響が激しい	S	70(最小かぶり 70mm と	塗装鉄筋の使用またはコ	ンクリート塗装を併用)
		50	70	
影響を受ける		35	50	70
				50
影響を受けない		道示 6.6.1「鋼材のかぶり」による		

表- 3.10 想定している水セメント比(H14道示) ¹³⁾

構造	(1) 工場で製作され る PC 構造	(2) (1)以外の PC 構造	(3) RC 構造
想定している水セメント比	36%	43%	50%

(5) 解説:表面塩化物イオン量

1) 表面塩化物イオン量(土研式)

土木研究所の共同研究報告書 ¹⁴⁾では,H14 道示に示す地域区分に応じて,飛来塩分量に 距離減衰を考慮してコンクリート表面の塩化物イオン量を設定している.尚,この土研式 による表面塩化物イオン量を元にH14 道示の塩害対策区分と最小かぶりが設定されている. 計算式は以下の通りである.

コンクリート表面における塩化物イオン濃度 C_n(kg/m³)

 $C_0 = 1.5 \times \text{Cair}^{0.4}$

ここに,

Cair:架橋地点における飛来塩分量(mdd・Cl⁻), C_{air}=C₁×d^(-0.6)

C₁: 1km 換算飛来塩分量(mdd・Cl⁻)

地域区分	地域	$C_1 (mdd \cdot CI^-)$
飛沫帯		別途設定
Α	沖縄県	0.6
В	日本海北部	0.6
С	上記以外の地域	0.2

d:海岸からの距離(km)

北海道が該当する地域区分 B,C の表面塩化物イオン量を海岸線からの距離に応じて示すと,表-3.11 の通りである.

表- 3.11 土研式による表面塩化物イオン濃度 C₀(kg/m³)

地域区分	海岸線からの距離 d(km)		C ₁ (mdd)	C _{air} (mdd)	C ₀ (mdd)
地域区分 B	波しぶきが直接かかる可能性がある箇所				13.0
	海上や海岸線で 0km の場合	0.001		37.9	6.4
	海上部および海岸線から 100m まで	0.1		2.4	2.1
	同 100m を超えて 300m まで	0.3	0.6	1.2	1.6
	同 300m を超えて 500m まで	0.5		0.9	1.4
	同 500m を超えて 700m まで	0.7		0.7	1.3
地域区分 C	波しぶきが直接かかる可能性がある箇所				13.0
	海上や海岸線で 0km の場合	0.001		12.6	4.1
	海上部および海岸線から 20m まで	0.02		2.1	2.0
	同 20m を超えて 50m まで	0.05	0.2	1.2	1.6
	同 50m を超えて 100m まで	0.1		0.8	1.4
	同 100m を超えて 200m まで	0.2		0.5	1.2

2) 表面塩化物イオン量(コンクリート標準示方書式)

2002 年制定コンクリート標準示方書[施工編] ¹⁵⁾ではコンクリート表面における想定塩化物イオン濃度を表-3.12 の通り設定している.

表- 3.12 コンクリート標準示方書式による表面塩化物イオン濃度 C₀(kg/m³)

飛沫帯	海岸線からの距離(km)					
飛冰市	汀線付近	0.1	0.25	0.5	1	
13.0	9.0	4.5	3.0	2.0	1.5	

3) 海岸線からの距離と表面塩化物イオン量との関係

H14 道示に示される地域区分で北海道が該当する地域区分 B,C について,海岸線からの距離に応じた表面塩化物イオン量の推定値を表-3.13,表-3.14,図-3.18 に示す.土研式による表面塩化物イオン量がコンクリート標準示方書式に比べ小さく設定されていることが分かる.

表- 3.13 日本海岸の地域区分 B の表面塩化物イオン量の推定値

	地域区分Bの	表面塩化物イオン	量の推定値 COkg/m3
	対策区分	土研式	土木学会式
	(表- 3.11)	(表- 3.11)	(表- 3.12)
波しぶきが直接かかる可能性がある箇所		別途設定	13.0 kg/m^3
海上や海岸線で Okm の場合	S	6.4 kg/m ³	9.0 kg/m^3
海上部および海岸線から 100m まで		2.1 kg/m ³	4.5 kg/m ³
同 100m を超えて 300m まで		1.6 kg/m ³	2.8 kg/m ³
同 300m を超えて 500m まで		1.4 kg/m ³	2.0 kg/m ³
同 500m を超えて 700m まで		1.3 kg/m ³	1.8 kg/m ³

表-3.14 太平洋岸の地域区分 C の表面塩化物イオン量の推定値

	地域区分Cの	表面塩化物イオン量	量の推定値 COkg/m3
	対策区分	土研式	土木学会式
	(表- 3.11)	(表- 3.11)	(表- 3.12)
波しぶきが直接かかる可能性がある箇所		別途設定	13.0 kg/m ³
海上や海岸線で Okm の場合	S	4.1 kg/m ³	9.0 kg/m ³
海上部および海岸線から 20m まで		2.0 kg/m ³	8.1 kg/m ³
同 20m を超えて 50m まで		1.6 kg/m ³	6.8 kg/m ³
同 50m を超えて 100m まで		1.4 kg/m³	4.5 kg/m ³
同 100m を超えて 200m まで		1.2 kg/m ³	3.5 kg/m^3

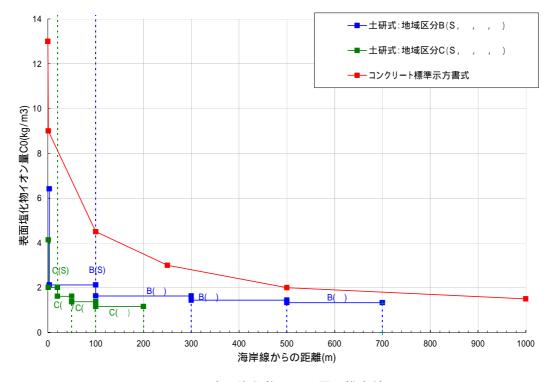


図-3.18 表面塩化物イオン量の推定値

(6) 解説:塩化物イオンの見かけの拡散係数

1) 見かけの拡散係数(土研式)

土木研究所の共同研究報告書 ¹⁵⁾では,普通ポルトランドセメントに対して見かけの拡散係数を水セメント比の逆数の関数で設定している.尚,この土研式による見かけの拡散係数を元に H14 道示の塩害対策区分と最小かぶりが設定されている.

計算式は以下の通りである.

見かけの拡散係数 Dc(cm²/sec)

ここに, C/W: 水セメント比 W/C の逆数

2) 見かけの拡散係数(コンクリート標準示方書式)

2002 年制定コンクリート標準示方書 [施工編]¹⁾では既往のコンクリート構造物中の塩化物量分布調査結果をもとに以下の回帰式を提案している.

塩化物イオンに対する拡散係数の照査は以下の通りである.

p*Dp/Dk <= 1.0 Dk= p*Dp

ここに.

p:Dpの精度に関する安全係数,Dpの推定式を用いる場合 p=1.2

Dp : 拡散係数の予測値 (cm²/年)

普通ポルトランドセメント

logDp=-3.9(W/C)^2+7.2(W/C)-2.5 式 **3-11**

高炉セメント・シリカヒューム

logDp=-3.0(W/C)^2+5.4(W/C)-2.2 式 3-12

Dk : 拡散係数の特性値(cm²/年)

W/C:水セメント比

3) 水セメント比と見かけの拡散係数の関係

塩化物イオンの見かけの拡散係数の推定式, 土研式(式 3-10), コンクリート標準示方書式(式 3-11,式 3-12)をセメントの種類, 水セメント比に応じて計算し表-3.15,図-3.19に示す.

コンクリート標準示方書式で見れば,普通ポルトランドセメント(青実線)より高炉セメント(橙実線)を用いた方が見かけの拡散係数を小さくできることが分かる.しかし, 土研式の普通ポルトランドセメント(青点線)ではコンクリート標準示方書式の高炉セメント(橙実線)程度の値となっている.

表-3.15 見かけの拡散係数の推定値

	セメント	単位			W	/C		
	の種類	半世	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55
土研式	N	cm²/年	0.076	0.16	0.29	0.45	0.64	0.86
コンクリート	N	cm²/年	0.20	0.35	0.57	0.89	1.33	1.91
標準示方書式	BB	cm²/年	0.14	0.21	0.30	0.42	0.56	0.73

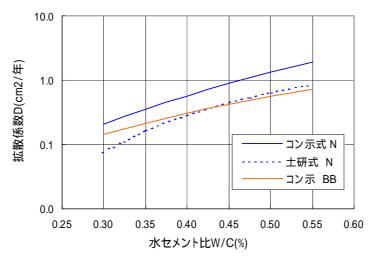


図-3.19 見かけの拡散係数の推定値

- (7) 解説:塩化物イオンの浸透予測
- 1) 表面被覆がなされていない場合 Fick の一次元拡散方程式の解(式 3-8)による.

2) 表面被覆により塩化物イオンの供給が遮断されている場合

コンクリート表面を被覆により遮塩した場合の塩化物イオンの拡散は,表面からの塩化 物イオンの浸透が無いと仮定して、一次元差分法により計算される。すなわち、コンクリ ート表面より x に分割した要素間に対して t 時間後の塩分量は式 3-13¹⁶で示される.

C(xi,t) : xi 要素、時刻 t における塩化物イオン量 (kg/m³)

C(xi,t+ t):xi 要素、時刻 t+ t における塩化物イオン量(kg/m³)

:塩化物イオンの見かけの拡散係数(cm²/年)

式 3-13 を実務上数値解析する場合,コンクリート表面付近の要素に着目すると以下の 境界条件と考えることが出来る. 例えば,要素分割幅 x=0.2cm, 経年間隔 t=0.01年とし て,市販の表計算ソフト(Excel2000)を用いて数値計算が出来る.

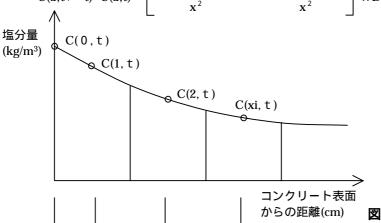
 $C(0,t+t)=C_0$: 表面被覆がなく表面要素の塩分量が一定の場合

$$C(0,t+t)=C(0,t)+$$
 $C(0,t)-C(1,t)$ $\times D \times t$

:表面被覆により表面要素への塩分の供給がない場合

$$C(1,t+t) = C(1,t) + \left[\frac{C(0,t) - C(1,t)}{(x/2)^2} - \frac{C(1,t) - C(2,t)}{x^2} \right] \times D \times t$$

$$C(2,t+t) = C(2,t) + \left[\frac{C(1,t) - C(2,t)}{x^2} - \frac{C(2,t) - C(3,t)}{x^2} \right] \times D \times t$$



からの距離(cm) 図-3.20 一次元差分法の説明図

3-4 コンクリート劣化の判定事例

3-4-1 日本海岸の飛来塩分の多い地域で 17 年経過した PCI 合成桁橋

(1) 対象構造物

調査・点検の対象構造物は,2径間連続 PCI 合成桁橋の主桁である.構造物の諸元を表-3.16に,位置図,外観写真,断面図を図-3.21,図-3.22に示す.

表- 3.16 構造物の諸元等

項目	諸元等
竣工(調査対象桁)	1984年(S59)
構造形式(調査対象桁赤字)	3 径間連続 PCI 合成桁 + 202 径間連続 PCI 合成桁 + 3 径間連続 PC 箱桁
橋長	429.0m
支間(調査対象桁赤字)	34.6+35.2+34.6/2@34.6/2@44.6/48.1+66.0+48.1
幅員	8.2m
設計荷重	TL-20
材料規格(調査対象桁)	PCI 合成桁(調査対象桁)
	コンクリート ck=400kgf/cm2
	鉄筋 SD35 エポキシ樹脂塗装鉄筋
	PC 鋼より線 12-T12.4
補修履歴(調査対象桁)	2000 年 (H12) コンクリート塗装
設計準拠規格(調査対象桁)	道路橋示方書コンクリート橋編 昭和 53 年
	道路橋の塩害対策指針(案)・同解説 昭和59年2月
周辺環境	海岸線からの距離:汀線付近
	冬季の季節風による飛沫,飛来塩分の影響が大きく,日本でも有数の厳
	しい塩害環境である.



図-3.21 対象構造物位置図



図-3.22 断面図および外観写真

(2) 調査項目,方法および結果(調査対象の PCI 合成桁)

対象橋梁は日常点検, 定期点検により維持管理されており, 本調査の前年に塩害対策と して表面被覆塗装が実施された.定期点検の結果では,塩害劣化の予測が困難であるため, 予測に必要な定量データを得るために詳細点検を行った.

रह- 3.17	計細気快の場	H , .	刀法の。	トひ結末	;
•	項目			方法	

举师上接不适口 **大**法书 Light 田

項目	方法	結果
調査時期		2001年(H13)建設後17年
水セメント比	工事記録の調査	37%(1.00)
	配合推定(セメント協会法 F-18)	41%(1.11)
セメントの種類	工事記録の調査	早強セメント
コアの外観観察	目視観察の調査	粗骨材:砕石
塩化物イオン濃度の分布	コア採取, JCI-SC4	図- 3.23
	全塩分,吸光光度法	
かぶり	設計図	純かぶり 50mm
鋼材の腐食状況	はつり , 目視	未実施
中性化深さ	フェノールフタレイン法	平均 Omm

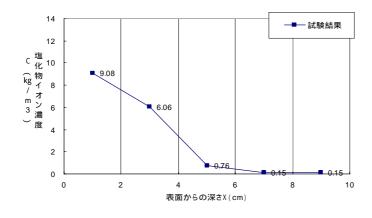


図-3.23 塩化物イオン濃度の分布

(3) 塩害劣化予測と評価および判定

点検の結果より中性化,凍害,ASR などの劣化の進行は認められなかったため,塩害に関する劣化予測として,採取したコアの塩化物イオン濃度試験結果を基に,塩化物イオンの拡散予測を行う.

1) 表面塩化物イオン濃度,見かけの拡散係数の設定

現橋は建設後 16 年目に表面被覆塗装を実施,本調査は翌年の 17 年に実施された. Fick の一次拡散方程式の解による塩化物イオンの拡散予測は,表面塩化物イオン濃度が一定の条件であることから,建設後 17 年の間表面塩化物イオン濃度が一定と仮定し表面塩化物イオン濃度(C₀)と見かけの拡散係数(D₀)を設定する.

試験結果の塩化物イオン濃度の分布図から内部奥の塩化物イオン濃度は低く硝酸銀滴定法の定量下限値を示しており 0kg/m3 と扱うこともできが,ここでは試験値を用い,初期含有塩化物イオン濃度を 0kg/m3 と仮定した.

表面塩化物イオン濃度 (C_0) と見かけの拡散係数 (D_c) の回帰計算条件と結果を表 - 3.18 , 図 - 3.24 に示す .

な。5.10 农国塩化物「カン版及こ元が17 WM散成数W国界日昇		
		条件と結果
回帰計算条件	塩化物イオン濃度分布	図- 3.24
	建設後の経過年数	T=17 年
	回帰計算	Fick の一次拡散方程式の解
回帰計算結果	表面塩化物イオン濃度:C ₀	12.3kg/m³
	見かけの拡散係数:D _c	0.378cm ² /年
	二乗誤差:r²(参考)	3.183
	相関係数(参考)	0.953

表-3.18 表面塩化物イオン濃度と見かけの拡散係数の回帰計算

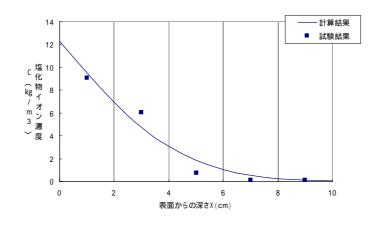


図-3.24 塩化物イオン濃度の分布

2) 塩化物イオン濃度の将来予測

対象とした PCI 合成桁の表面は塩分量調査前年に表面被覆工が施されているため,表面からの塩化物イオンの供給はなく内側へのみ拡散するとして,一次元差分法(式 3-13)により塩化物イオン濃度の拡散を計算する.表面被覆実施(建設 16 年目)後,および仮に表面被覆を実施しなかったと仮定した場合(式 3-8)について,建設 100 年後までの塩化物イオン濃度分布の予測を図-3.25, 図-3.26 に示す.

両図から鉄筋かぶりまたはシースかぶり位置の塩化物イオン濃度を比較すると,表面被覆を行ったことにより,内部に浸透する塩化物イオン濃度を抑制できることが分かる.

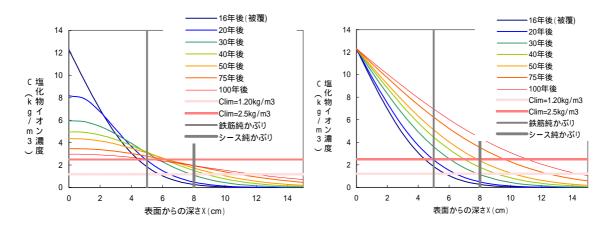


図-3.25 表面被覆後の塩化物イオン濃度の分布 図-3.26 表面被覆をしなかったと仮定した場合の 塩化物イオン濃度の分布

また,鉄筋およびPC鋼材シース位置の塩化物イオン濃度の推移を図-3.27に示す.

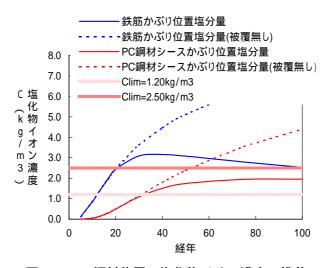


図-3.27 鋼材位置の塩化物イオン濃度の推移

3) 塩害劣化過程 (グレード)の検討

図- 3.27 の鋼材位置の塩化物イオン濃度の推移から,表面被覆により塩化物イオンの浸透は抑えられるものの,鋼材腐食発生限界塩分量(Clim=1.2kg/m³)をある時期から超過し,鋼材の腐食が始まる.

鉄筋かぶり位置の塩化物イオン濃度は現在(建設後 17 目の調査時点)すでに Clim=1.2kg/m³を超えているが,エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用しており発錆しない.このため,鉄筋について現在・将来とも腐食による劣化を生じない潜伏期と考えられる.

PC 鋼材シースかぶり位置は現在 0.3kg/m3 と少なく潜伏期と考えられるが,建設後約 32 年後に Clim=1.2kg/m³ に達し腐食が開始する進展期へと移行する.予定供用期間を建設後 100 年とすると将来は約 Clim=2.5kg/m³まで到達することはなく,進展期あるいは腐食ひび割れ発生の加速期にあると考えられる.尚,腐食ひび割れ発生以降を加速期としているが加速期となる時期を塩分量等から推定出来る技術レベルには至っていない.

塩化物イオン量に対応する鉄筋腐食状況を表-3.19に示す.

表-3.19 塩化物イオン量,鋼材の腐食可能性,劣化度と想定される状況の関係

全塩化物イオン量	塩害による鉄筋腐食の 可能性 ¹⁷⁾	劣化度18)	想定される状況19)
2.5kg/m³以上	腐食を生じうる	В	調査を実施した時点で ,腐食による鋼材の軽微 な断面欠陥が見られるなど ,構造物の劣化が進 行していると考えられる段階 .
1.2kg/m³以上 ⁴⁾ , かつ 2.5kg/m³未満	将来的に塩害による腐 食が生じる可能性が高 い	С	調査を実施した時点では,鋼材の腐食はごくわずかか,認められない状態であり,構造物が劣化しているとは判断しづらいが,今後,鋼材が腐食しやすい状態へと移行する兆候が認められる段階.
0.3kg/m³を越えて, かつ1.2kg/m³未満	何らかの原因でコンク リート中の塩化物イオ ン濃度が高いが,腐食が 生じる可能性は低い	D1	調査を実施した時点では,構造物は劣化していないと考えられる段階.ただし,劣化因子の侵入等が見られることなどから,今後,鋼材が腐食しやすい状態へと移行する可能性もある.
0.3kg/m³以下	現時点では,塩害による 腐食が生じるおそれは ない	D2	調査を実施した時点では,構造物は劣化しておらず,劣化の兆候も認められない段階.

4) 評価および判定

劣化予測による劣化グレードの評価と判定を表-3.20に示す.

表- 3.20 詳細点検における評価および判定

評価・判定時期	評価	判定
現状	鉄筋はエポキシ樹脂塗装鉄筋を使	要求性能を満足しており,応急処置の必要な
(建設後 17年)	用しており潜伏期にある.	υ.
	PC 鋼材かぶり位置の塩化物イオン	日常・定期点検を実施する.
	含有量が小さく,潜伏期にある.	
予定供用期間終	鉄筋は将来とも潜伏期にある.	塩害劣化に対しては ,劣化過程の早い段階に対
了時 (建設後 100	PC 鋼材かぶり位置の塩化物イオン	策をとることで,ライフサイクルコスト(LCC)
年)	濃度は将来 1.2kg/m³以上 , 2.5kg/m³	の低減が可能な場合があり ,最適な補修工法を
	未満であり進展期~加速期にある.	選定し維持管理する必要がある.

3-4-2 日本海岸の飛来塩分の多い地域で23年経過した鋼橋RC床版

(1) 対象構造物

調査・点検の対象構造物は,単純鋼箱桁の RC 床版である. 構造物の諸元を表-3.21 に,位置図と断面図を図-3.28 に示す.

表-	3.21	構造物の	諸元等
~~	V. Z	165 JE 177 V.	, 00 J U TT

項目	諸元等	
竣工	1980年(S55)	
構造形式	単純鋼箱桁の RC 床版	
橋長	60.3m	
支間	29.3m	
幅員	8.0m	
設計荷重	TL-20	
材料規格	コンクリート 推定 ck=240kgf/cm2	
	鉄筋 推定 SD35	
補修履歴	無し	
設計準拠規格	道路橋示方書鋼橋編 昭和 48 年	
周辺環境	海岸線からの距離:汀線付近	
	日本海側の港に面し冬季の季節風による飛沫,飛来塩分の影響が	
	大きい.	

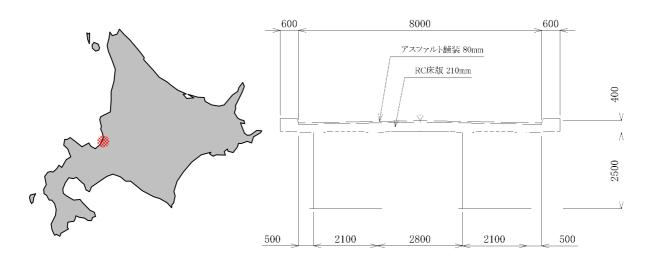


図-3.28 対象構造物の位置図,断面図

(2) 調査項目,方法および結果

対象橋梁の活荷重照査を目的として外観目視点検を実施したところ,床版下面に浮き音が確認され,劣化要因の検討のため詳細点検を行った.点検の結果より中性化,塩害,凍害による劣化の進行が考えられる.

表-3.22 詳細点検の項目,方法および結果

項目	方法	結果
調査時期		建設後 23 年
外観目視点検	近接目視,たたき検査	床版下面コンクリート表面のスケーリング たたき検査による濁音より広範囲にわたる浮き 腐食ひび割れは確認できない.
水セメント比	 工事記録の調査	│工事記録無し
7, 27, 7, 1, 10	配合推定(セメント協会法 F-18)	未実施
セメントの種類	工事記録の調査	工事記録無し 推定 普通ポルトランドセメント
コアの外観観察	目視観察の調査	粗骨材:砂利
塩化物イオン濃度の分布	コア採取, JCI-SC4, 全塩分,	図- 3.29 参照.
	塩化物イオン選択性電極を用いた電位差滴定法	塩害による鉄筋腐食の可能性がある.
かぶり	コアボーリングによる削孔	純かぶり 30mm
鋼材の腐食状況	コアボーリングによる削孔,目 視	やや厚みのある膨張性の錆が生じているが,断面 減少は比較的少ない状態.
中性化深さ	フェノールフタレイン法	20~25mm 中性化による鉄筋の腐食の可能性がある.
強度試験	JIS A 1108	設計基準強度に同等
静弾性係数試験	JIS A 1149	設計基準強度相当の静弾性係数の 0.54 倍に低下 凍害による劣化の恐れがある.

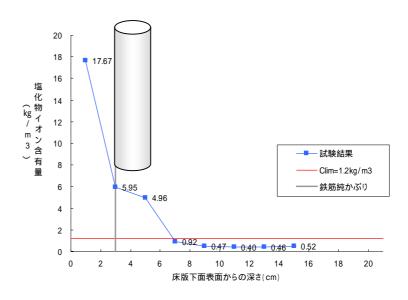


図-3.29 塩化物イオン濃度の分布

(3) 塩害に対する評価および判定

はつり後の目視調査の結果から鉄筋に浮き錆が確認され,また耐力低下を伴うような鋼材断面の減少は確認されなかった.

床版下面の鉄筋かぶり位置の塩化物イオン濃度は現在(建設後 23 目の調査時点)6kg/m³とClimを大きく超えている.

一般的に鉄筋腐食によるひび割れの発生はコンクリート表面に確認されるが,本床版の場合は打音検査の結果から,床版下面鉄筋位置の水平方向にひびわれが発達し,かぶりコンクリート全体が浮きを生じていると考えられる.

以上より,塩害の劣化過程(グレード)は腐食ひび割れ発生以降の加速期であり,また, 鉄筋に耐力低下を伴うような鋼材断面の減少は見られないことから劣化期には至っていな いと考えられる.

予定供用期間を建設後 100 年と仮定すると,腐食ひび割れの進行,鋼材断面の減少による耐力低下が想定され,予定供用期間終了時は劣化期と考えられる.

詳細点検における塩害劣化グレードの評価と判定を表-3.23に示す.

表- 3.23 詳細点検における評価および判定

評価・判定時期	評価	判定
現状	加速期にある.	多量の塩化物イオンが鉄筋位置に内在して
(建設後23年)		おり , 劣化の進行を早め耐力の低下を招くこと
		から早急に補修対策の検討が必要である.
予定供用期間終了	劣化期にある.	上記 , 補修対策後の初期点検と定期点検が必
時(建設後100年)		要である.

3-4-3 日本海岸で 14~20 年供用しているコンクリート覆道の塩害

(1) 対象構造物

調査・点検の対象構造物は,日本海岸で13~20年供用しているコンクリート覆道の柱である.構造物の諸元を表-3.24に,位置図を図-3.30示す.



表- 3.24 構造物の諸元等

(2) 塩害劣化グレードの設定

調査箇所の外観写真とコア採取により測定した全塩分(Cl'kg/m3)と電磁誘導法により非破壊で測定した鉄筋かぶりとを表-3.25に示す.

図-3.30 対象構造物の位置図

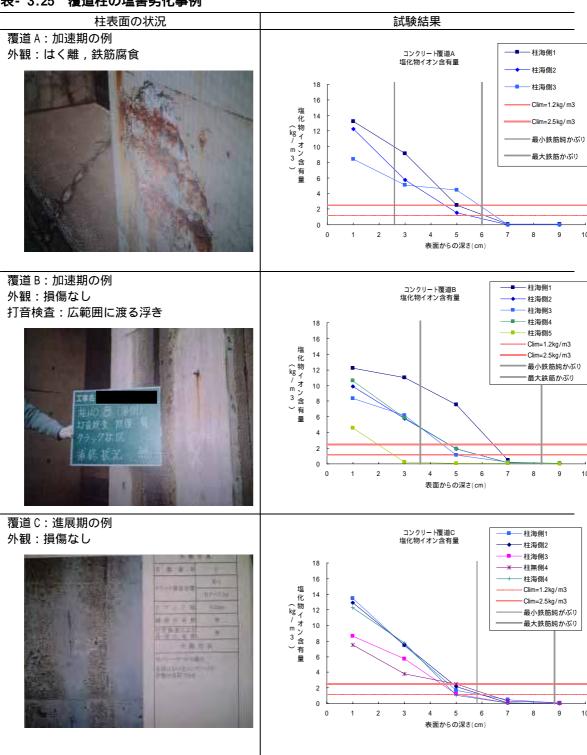
外観観察,打音検査,塩化物イオン含有量試験の結果から,塩害による劣化過程(劣化グレード)を以下の通り設定した.

覆道 A は施工時のかぶりが少ない箇所から鉄筋が腐食を開始し,はく離に至っており加速期にあると判断できる.

覆道 B は若干かぶりが大きく外観上はスペーサーの錆汁のみの変状に見えるが,打音検査では浮きが認められ,鉄筋腐食の膨張によりかぶりコンクリート全体が浮きを生じており,覆道 A と同様加速期にあると判断できる.

覆道 C は最も経過年数が少なく塩化物イオン含有量も小さいこと,最小鉄筋かぶりが 6cm 程度確保されており,調査時点で鋼材腐食発生限界塩分量に達していることから,鉄筋の腐食が開始した時点であり潜伏期から進展期に移行した時点にあると判断できる.このため,鉄筋の腐食膨張によるひび割れが生じておらず,外観上の変状も見られない.

表- 3.25 覆道柱の塩害劣化事例



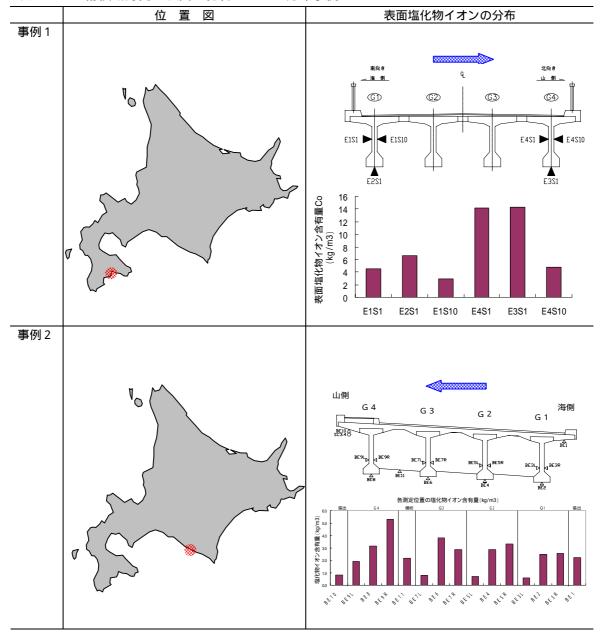
3-4-4 桁横断方向の表面塩化物イオン量の分布事例

桁橋について表面塩化物イオン量の桁横断方向の調査事例を表-3.26に示す.

両耳桁の外側は雨掛かりにより洗われることから相対的に低い表面塩化物イオン量となっているものと想定される.

両地点とも河口に近い河川橋であり桁下を潮風が吹き抜ける地形条件であり,風下側の桁下面および風を受ける桁側面が相対的に高い表面塩化物イオン量となっている.

表- 3.26 桁横断方向の表面塩化物イオンの分布事例



3-4-5 ASR 劣化の健全度診断事例

(1) 対象構造物

調査・点検の対象構造物は,河川内の橋台および橋脚の柱である.構造物の諸元を表-3.27 に,位置図を図-3.31 示す.



図-3.31 対象構造物の位置図

表- 3.27 構造物の諸元等 項目 諸元等 竣工 1957年(S32) 上部工:単純 PC プレテンション I 桁,4連 構造形式 下部工:逆丁式橋台 木杭 逆 T 式橋脚 (小判形変断面) 橋長 51.3m 支間 12.3m 7.0m 幅員 設計荷重 TL-20 材料規格 下部工: コンクリート 推定 ck=210kgf/cm2 鉄筋 不明 補修履歴 昭和 49 年 歩道添架 昭和62年 高欄取替 設計準拠規格 鋼道路橋設計示方書 昭和 31 年 5 月 海岸線からの距離:250m 周辺環境

(2) 調査項目,方法および結果

図-3.32 に示す通り,梁付根付近の小判形橋脚の周面に編目状のひび割れが見られる.

一軸圧縮強度は設計基準強度を21N/mm2と仮定すると0.7~1.4倍,ヤング係数は0.1~0.6倍とヤング係数の低下が著しい.これはアルカリ骨材反応および凍害による劣化の特徴である.

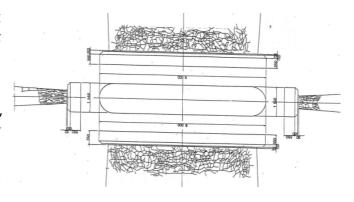


図-3.32 柱のひび割れ状況図

採取したコアの観察から粗骨材は砂利,細骨材は天然砂である.砂利を構成する岩石は 安山岩,凝灰岩を主としている.コアには深さ 20cm 以上まで幅 0.1~1mm のひび割れが発 生し,表面に近い部分では編目状であり,一部の粗骨材にもひび割れが生じている.また, 一部のひび割れは白色のゲルに充填されている.凝灰岩骨材には反応リムが見られる.

また偏向顕微鏡による観察から,粗骨材の ASR 反応性鉱物はガラス (玻璃)・微小石英であり 40%,細骨材ではガラス (玻璃)であり 9%を占めている.

3-4-6 床版橋の疲労照査事例

(1) 対象構造物

調査・点検の対象構造物は,内陸部で34年経過した3径間連続RC中空床版橋である. 構造物の諸元を表-3.28に,外観写真を図-3.33に示す.

夷-	3.28	3 構造物の	諸宗筌
AX-	J. 20) 1年1217リソノ:	泊ノレモチ

項目	諸元等
竣工	1968年(S43)
構造形式	3 径間連続 RC 中空床版橋
橋長	46.01m
支間	14.60+16.06+14.06
幅員	16.7m
設計荷重	TL-20
材料規格	コンクリート ck=280kgf/cm2
	鉄筋 SD35
補修履歴	1973 年 (S48) ロードヒーティング補修
	1985 年 (S60) 高欄塗装塗替
	1999 年 (H11) 高欄取替
設計準拠規格	鉄筋コンクリート標準示方書 昭和 31 年
	鉄筋コンクリート橋設計示方書改定案 昭和 39 年
周辺環境	内陸部,積雪寒冷地

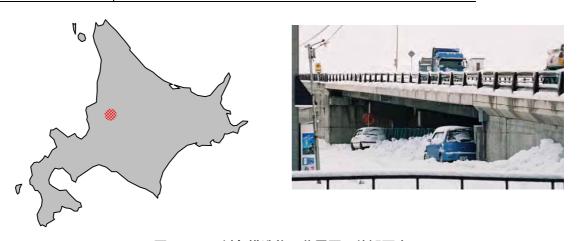


図-3.33 対象構造物の位置図,外観写真

(2) 調査項目,方法および結果

対象橋梁は日常点検,定期点検により維持管理されており,また過年度に床版橋下面の ひび割れ調査も実施されている.本調査は床版橋のひび割れ進行の有無を確認すると共に 補修・補強の要否を判定するための詳細点検である.

表-3.29 詳細点検の項目,方法および結果

項目	方法	結果
調査時期		建設後 23 年
外観目視点検	近接目視,打音検査ひび割れ密度測定	床版橋下面に橋軸直角方向を主とする網目状のひび割れが発生し、過年度調査時点より進行している。 歩車道境界の下方には通水によるエフロレッセンスが発生している。 打音検査では浮きは確認されなかった。
水セメント比	工事記録の調査	工事記録無し
	配合推定(セメント協会法 F-18)	W/C=47%
セメントの種類	工事記録の調査	工事記録無し 推定 普通ポルトランドセメント
コアの外観観察	 目視観察の調査	粗骨材:砂利
かぶり	コアボーリングによる削孔	純かぶり 40mm
鋼材の腐食状況	コアボーリングによる削孔,目	腐食なし
中性化深さ	フェノールフタレイン法	20 ~ 25mm
強度試験	JIS A 1108	設計基準強度の 1.3 倍より健全

(3) 床版橋の疲労照査による評価および判定

点検の結果より中性化などコンクリートの劣化の進行は認められなかった.ここでは活荷重による繰返し荷重作用による床版橋の劣化予測・評価と判定を累積疲労損傷度による方法で行った結果について示す.

1) 使用条件の仮定

```
a. 側径間支間の応力状態(変状の大なる側径間にて照査)
                                   コンクリート
                                                               3.8 N/mm2
                                   鉄筋
                                                                81 N/mm2
                    死活荷重時
                                   コンクリート
                                                               7.2 N/mm2
                                                               154 N/mm2
                                   鉄筋
                    応力振幅
                                   コンクリート
                                                               3.4 N/mm2
                                                               73 N/mm2
                                   鉄筋
                 b. 交通量
                    上下線合計
                                   H11センサス
                                                             9,208 台 / 昼間
                    昼夜率
                                                        =
                                                              1.36
                    交通量
                                                             12,523 台 / 日
                    大型車混入率
                                                              13.6 %
                                                        =
                    大型車交通量 = 交通量 * 混入率
                                                              1,703 台 / 日
                  c. 繰返回数
                    供用年
                                                             1,968 年
                    現在
                                                              2,003 年
                    現在の供用年数
                                                                35 年
                    応力振幅の繰返回数 n = 大型車交通量 * 365 * 供用年数
                                                       n = 2.18E+07 回
                    現在
                    100年後
                                                       n = 6.22E+07 回
2) 累積疲労強度による劣化予測20)21)
                  a. 応力振幅に対する異形鉄筋の疲労寿命 N
                                                               490 N/mm2
                    引張強度 fu
                                                        =
                    鉄筋に関する材料係数 5
                                                              1.05
                    鉄筋の設計引張強度 fud = fu/ s
                                                               467 N/mm2
                                                        =
                    設計疲労強度 fsrd (=応力振幅)
                                                               73 N/mm2
                                                        =
                                                               81 N/mm2
                    永久荷重による応力 sp
                    鉄筋径
                                                                25 mm
                    鉄筋のふしの形状に関する係数 kOf
                                                               1
                    係数 = k0f*(0.81-0.003*)
                                                              0.735
                    係数 k =
                                                              0.12
                    鉄筋の疲労寿命 N
                     = (190 * 10^{\wedge})/(1/k)
                                                           5.26E+08 回
                    累積疲労損傷度 M=n/N
                           現在
                                                              0.04 < 0.8
                           供用100年後
                                                        =
                                                              0.12 < 0.8
                  b. 応力振幅に対するコンクリートの疲労寿命 N (参考)
                    圧縮強度 f ck
                                                                28 N/mm2
                                                        =
                    k 1
                                                               0.85
                                                               1.3
                     ſ
                    f cd = f'ck/c
                                                               21.5
                    設計疲労強度 frd (=応力振幅 fr)
                                                               3.4 N/mm2
                    永久荷重による応力 sp
                                                               3.8 N/mm2
                    K(普通コンクリート)
                                                               17
                    lpgN = K*(1 - fr/(k1*f cd*(1 - p/f cd))
                                                             13.16
                    コンクリートの疲労寿命 N = 10 ^log N
                                                           1.45E+13 回
                    累積疲労損傷度 M=n/N
                           現在
                                                               0.00
                           供用100年後
                                                               0.00
```

3) 梁の疲労による劣化過程と評価および判定

応力振幅に対する異形鉄筋の疲労損傷度は現在・将来とも小さく潜伏期にあり,要求性能を満足している.

尚,荷重作用による曲げひび割れに対しては別途検討を要する.

表-3.30 梁の疲労の劣化過程

 構造物の外観上	疲労損傷度	外観による区分	安全性能	使用性能	第三者影響度
のグレード	127717712	у гип — 3 — 23	× 11130	1271312130	美観・景観
状態 - 1 (潜伏期)	M<0.2	ひび割れは生じ	-	-	-
状態 - 2 (潜伏期)	0.2 <m<0.5< td=""><td>ているが,外観上</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></m<0.5<>	ているが,外観上	-	-	-
状態 - 3 (潜伏期)	0.5 <m<0.8< td=""><td>の変状はみられ</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></m<0.8<>	の変状はみられ	-	-	-
状態 (進展期)	0.8 <m<1.0< td=""><td>ない.</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></m<1.0<>	ない.	-	-	-
状態 (加速期)	1.0 <m< td=""><td>ひび割れの進展</td><td>耐荷力の低下</td><td>剛性の低下</td><td>美観の低下</td></m<>	ひび割れの進展	耐荷力の低下	剛性の低下	美観の低下
		がみられる.	・補強鋼材に生	・ひび割れの	・ひび割れの進展
			じている疲労亀	進展	
			裂による断面減		
			少		
状態 (劣化期)		ひび割れの進	耐荷力の低下	剛性の低下	第三者への影響
		展・拡大がみられ	・はり部材内の	・補強鋼材の	・補強鋼材の破断付
		る.	一部の補強鋼材	破断	近のコンクリートの
			が疲労破断		はく離,はく落

表-3.31 詳細点検における評価および判定

評価・判定時期	評価	判定
現状	潜伏期にある	要求性能を満足しており応急処置・詳細点検
(建設後34年)		の必要なし
予定供用期間終了	潜伏期にある	要求性能を満足する
時(建設後100年)		

参考文献

1 土木学会: 2002 年制定コンクリート標準示方書[施工編], 2002.3

- 2 独)土木研究所,日本構造物診断技術協会:非破壊試験を用いた土木コンクリート構造物の健全度診断マニュアル,p55の表解-4.8 の試算例では p=1.10を仮定,2003.10,技報堂出版
- 3 十河茂幸他:現場で役立つコンクリート名人養成講座,2000.10,日経 BP 社
- 4 土木学会: 2001 年制定コンクリート標準示方書 [維持管理編], 2001.1
- 5 国土交通省土木研究所材料施工部コンクリート研究室,構造橋梁部橋梁研究室,(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会:ミニマムメンテナンスPC橋の開発に関する共同研究報告書(),2001.3
- 6 コンクリート技術シリーズ 40, 鉄筋腐食・防食および補修に関する研究の現状と今後の動向(その2) - コンクリート委員会腐食防食小委員会(2期目)報告-, 土木学会, 2000.12
- 7 土木研究所: コンクリート中の塩化物イオン濃度分布簡易分析シートおよび付録 http://www.pwri.go.jp/jpn/tech_inf/download.htm
- 8 (株)カイエンス: KyPlot
- 9 コンクリート工学協会:コンクリート診断技術 02,
- 10 道路橋示方書・同解説 , コンクリート橋編 , (社)日本道路協会 , 2002.3
- 11 道路橋示方書・同解説 , コンクリート橋編 ,表-5.2.2 ,(社)日本道路協会 ,2002.3
- 12 道路橋示方書・同解説 , コンクリート橋編 ,表-5.2.1 ,(社)日本道路協会 ,2002.3
- 13 道路橋示方書・同解説 , コンクリート橋編 , 表-解 5.2.1 ,(社) 日本道路協会 , 2002.3
- 14 国土交通省土木研究所材料施工部コンクリート研究室,構造橋梁部橋梁研究室(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会: ミニマムメンテナンス PC 橋の開発に関する共同研究報告書(), 2001.3
- 15 土木学会: 2002 年制定コンクリート標準示方書 [施工編], 2002.3
- 16 守分敦郎,長滝重義,大即信明,三浦成夫:既設コンクリート構造物の塩化物イオンの拡散過程により 評価される表面処理工法の適用性,土木学会論文集,No.520/V-28,1995.8
- 17 独)土木研究所,日本構造物診断技術協会:非破壊試験を用いた土木コンクリート構造物の健全度診断マニュアル, 表-4.2,技報堂出版
- 18 独)土木研究所,日本構造物診断技術協会:非破壊試験を用いた土木コンクリート構造物の健全度診断マニュアル, 表解-5.2,技報堂出版
- 19 独)土木研究所,日本構造物診断技術協会:非破壊試験を用いた土木コンクリート構造物の健全度診断 マニュアル, 表 5.2,技報堂出版
- 20 コンクリートライプラリー104, 2001 年制定コンクリート標準示方書 [維持管理編] 制定資料,土木学会, 2001.1
- 21 2002 制定コンクリート標準示方書 [構造性能照査編], 土木学会, 2002.3

第4章 コンクリート構造物の点検・試験方法

4-1 はじめに

コンクリート構造物を適切に維持管理するためには,日常的な点検が不可欠である.また,劣化が認められた場合,これまでは劣化原因や状況に関わらず画一的な補修が行われていた傾向があるが,補修対策等を立案するにあたっては,劣化原因や劣化の進行程度を把握する必要があり,そのための詳細調査を行う必要がある.

コンクリート構造物の点検・試験方法としては,現地にて行う方法と,現地で採取した 試料について試験室にて試験・分析する方法に大別される.いずれの分野においても新しい 手法や調査機器の開発が行われている.特に,点検業務については,昨今のコンクリート 剥落事故の影響により,最近は現地にて効率良く点検作業ができる手法の開発に力が入れ られており,大手鉄道会社を中心に検査車なども開発されている.

本章は、一般技術者がコンクリート構造物の点検調査を行う際に、調査計画の立案や、調査手法の選定を行う際の参考となることを目的としている。ここでは、鉄筋コンクリート構造物の劣化メカニズム(特に凍害)について解説するとともに、調査計画の立案方法、コンクリート構造物の点検調査方法の種類と適用方法について、データシート形式で整理している。

4-2 点検・調査の考え方

4-2-1 調査手順

本マニュアルは,北海道においてコンクリート構造物の維持管理に携わる技術者が,適切に構造物の状況を把握し,維持管理を行う上で参考になるように作成したものである.コンクリートの点検・試験方法の基本的な流れを図-4.1に示す.点検・試験を実施するに当たっては調査目的を確認し,その目的を達成するために必要な情報を整理することから始める.この情報を得るためには,事前調査,現地調査,試験体試験の中から必要な項目について実施する必要がある.本マニュアルでは,試験項目ごとに得られる情報,特徴,方法,破壊程度,普及・一般性,簡便さ・熟練度および作業効率等についても判断できるように示してある.また,試験方法ごとに詳細な試験方法や判断基準も示してあるので,後述する内容を参照してほしい.

4-2-2 調査目的

構造物を点検・試験するに当たっては、調査目的を明確にする必要がある.たとえば、構造物の劣化原因や程度などを知りたい場合、今後の劣化予測を行いたい場合、補修、補強などの対策工を選定したい場合などがあり、目的によって調査項目、数量等が異なってくる.しかし、これらの目的はすべて関連があるため、基本的な調査方法に大きな違いはないが、より詳細なデータを必要とする劣化予測とか、広い範囲のデータを必要とする対策方法の選定など、目的によって具体的な方法が異なるのは当然である.

4-2-3 必要な情報

点検・試験の項目を選定するためには,調査目的によって必要な情報を整理する必要がある.必要な情報とは,言い換えれば目的を達成するための調査項目のことであるため,手順を追って調査項目を選定することが大切である 表-4.1 に調査項目の選定例を示すが,この表は,現在の状況を知るだけでよいのか,施工時の情報が必要ないかなどを検討したものである.それぞれの調査項目は,さらに詳しい項目が必要になるため,調査項目と細目の例を表-4.2 に示す.

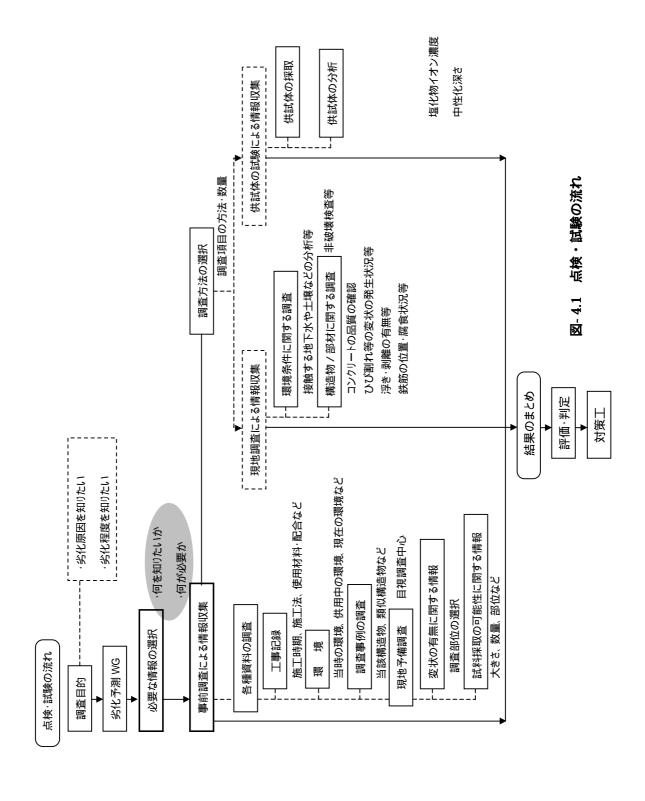
表-4.1 調査項目の選定例

	調査項目								
か 日 日 ロソ	設計仕様	使用材料	施工法	環境条件	供用条件	品質			
現状の把握									
劣化予測									
対策法の検討									

*: : 重要な項目、 : 基本的な選定項目

表- 4.2 調査項目と細目

	調査項目								
	設計	使用材料	施工法	環境条件	供用条件	品質			
調査細目	コンクリートの配合 鉄筋かぶり 鉄筋量	種類 産地	打込み方法 養生方法 養生時間	気温 日射 降水量 海岸地域 寒冷地域	荷重条件 供用期間 接触物質 凍結防止剤	物性 表面状況 鉄筋かぶり			
				温泉地域					



また,環境条件,供用条件などの外的要因から表-4.3に示すようにある程度の劣化機構が推定でき,調査項目を絞り込むことができる.さらに,劣化機構が特定できれば,表-4.4に示すように,その劣化機構による劣化程度の判断基準になる劣化要因や劣化指標が明確になるため,調査項目は相当絞り込むことが可能である.

表-4.3 外的要因によって推定される劣化機構1)

外的	要因	推定される劣化機構
	海岸地域	塩害
環境条件	寒冷地域	凍害、塩害
	温泉地域	化学的侵食
	乾湿繰り返し	アルカリ骨材反応、塩害、凍害
	凍結防止剤の使用	塩害、凍害、アルカリ骨材反応
供用条件	繰返し荷重	疲労
	二酸化炭素	中性化
	酸性水	化学的侵食

表-4.4 劣化機構と劣化指標1)

劣化機構	劣化要因	劣化指標
中性化	二酸化炭素	中性化深さ
		鉄筋かぶり
		鋼材腐食量
塩害	塩化物イオン濃度	塩化物イオン濃度
		鉄筋かぶり
		鋼材腐食量
凍害	凍結融解回数	凍害深さ
		鋼材腐食量
		凍結融解回数
化学的侵食	酸性物質	劣化因子の浸透深さ
	硫酸イオン	中性化深さ
		鋼材腐食量
アルカリ骨材反応	反応性骨材	反応性骨材の有無
	アルカリ量	アルカリ量
		膨張量
	大型車通行量	ひび割れ密度
	繰返し荷重	ひび割れパターン
		たわみ

4-3 調査計画

コンクリート維持管理における点検および試験を行うにあたり実施すべき事前調査には設計,工事履歴,環境,類似構造物変状例の調査を目的とする各種資料調査および変状の有無,点検調査および試験方法の選択,破壊試験における試料採取の可能性について目視調査を中心に行われる現地予備調査がある.

4-3-1 各種資料の調査

各種資料調査における調査項目および調査内容を以下に示す.

(1) 設計図書資料調査

対象コンクリート構造物の設計図書資料を収集し設計書における設計荷重,コンクリート設計基準強度の調査を行いその後の荷重変遷と対比し設計荷重増が劣化原因に成り得るかを把握する.また設計図における鉄筋被り,鉄筋配置および鉄筋加工を調査しコンクリートの耐久性に影響を及ぼすか否かを把握する.

(2) 工事履歴の調査

工事履歴の調査には対象コンクリート構造物の初期工事記録,補修工事記録等をもって 履歴を調査し劣化原因および劣化進行を把握する.

a.初期工事記録

初期工事における施工時期,施工法,コンクリート使用材料および配合等から施工がコンクリート構造物の劣化原因に成り得るかを把握する.

b.補修工事記録

補修工事における補修箇所および補修工法から対象コンクリート構造物の劣化部位の特定および劣化原因の把握,推定を行う.

(3) 環境の調査

環境調査には対象コンクリート構造物がおかれた地理環境調査(海岸部,山間部,市街地,温泉地域),気候環境調査(年,月,日気温変動および日照時間,日照方向性または雨量,湿度)または大気環境の調査を行うとともに,環境の経年変化をも調査し劣化機構(中性化,塩害,凍害,化学的浸食等)の外的要因となる環境条件にあるかどうかを把握する.

(4) 類似構造物変状例調査

対象コンクリート構造物の類似構造物における変状例を調査し変状要因が当該構造物に 含まれているかどうかを把握する.共通の変状要因がある場合,将来変状の可能性を示唆 するものとする.

4-3-2 現地予備調査

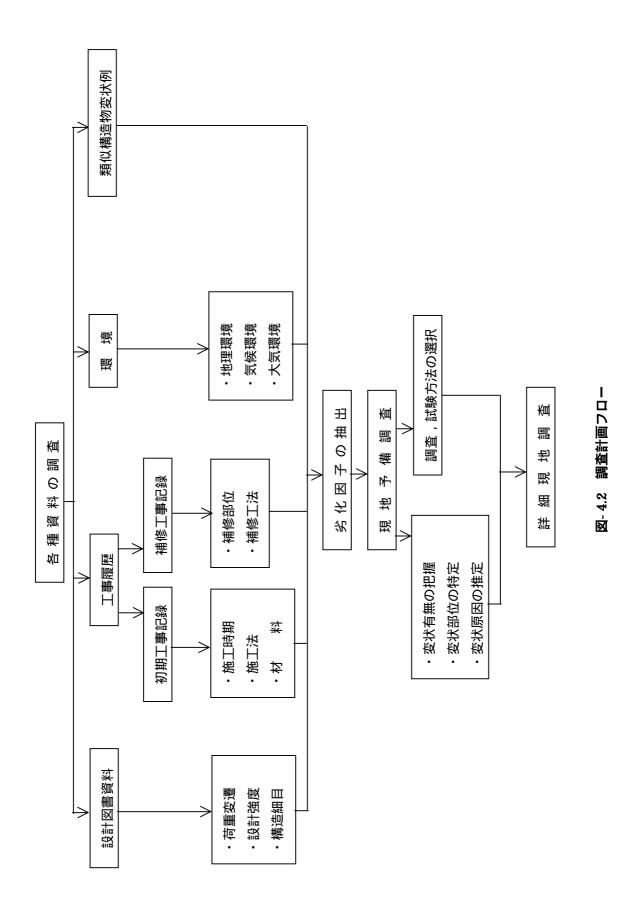
現地予備調査における調査項目および調査内容を以下に示す.

(1) 変状の有無調査

目視調査により当該コンクリート構造物の全体劣化状態および変状の有無を把握すると 共に変状部位の特定から変状原因を推定し点検調査方法および試験方法を選択する.

(2) 試料採取の可能性調査

目視調査において試験方法は破壊試験が妥当と判断した場合,試料採取(大きさ,数量,部位)の可能性についても同時に調査を行う.



4-3-3 劣化種類と調査項目

構造物が置かれている環境と劣化現象の間には密接な関係がある.構造物の劣化状態の調査と 併せて,劣化環境の調査を行う必要がある.

特に,北海道の構造物で多く見られる塩害や凍害について環境要因の影響が大きい言える.表-4.5に劣化機構と環境要因の関係を示す 既存の気象データ等により入手できる資料が多いので,調査にあたって収集することを心がけたい.

表-4.5 各種機構に及ぼす環境要因に関する調査項目

劣化機構	気象条件	土壌条件	供給塩化物量	環境と構造物の接触状況
	1.気温			
中性化	2.湿度			
中注化	3.降雨頻度			
	4.日射量			
	1.温度(気温)		1.海水接触	
	2.湿度		2.飛来塩分量	
塩害	3.降雨量		3.凍結防止剤	
	4.降雨頻度			
	5.日射量			
	1.最低気温			1.水分の供給量
凍害	2.日射量			
	3.凍結融解回数			
 化学的腐食	1.温度(気温)	1.土壌のp H		1.接触溶液・ガスの種類
10子10個長		2.含有成分		
	1.温度	1.水の供給	1.凍結防止剤	1.雨がかりの状況
アルカリ骨材反応	2.湿度	2.アルカリの供給		2.アルカリの供給
	3.日射量			
測定方法	1.気象庁の観測 データを利用	1.設計資料により 確認	1.現地での観 察・調査が基本	1.現地での観察・調査が基本
	2.現地計測	2.現地調査		

表-4.6 は劣化機構と,環境条件,構造物の初期条件,劣化現象に関わる要因,劣化程度の評価項目の関係である.

単に観察・測定を行うのではなく,最終的な劣化度評価,対策立案等を念頭に置いた上で,調査内容を検討すべきである.

表-4.6 劣化機構と調査項目・評価項目

劣化の	D種類	中性化	塩害	凍害	化学的腐食	アルカリ骨材反応	疲労
		気象条件(気温、湿 度、降雨頻度、日射 量)	海水および飛来塩分の 影響(海岸からの距 離、季節風の向き)	気象条件(気温、降水量、日射量)	コンクリートが接する液体の種類	気象条件(気温、湿度、日射量)	荷重条件 大型車の通行量
	環境	雨掛かりの状況	凍結防止剤の影響	水の供給条件	温度、湿度	雨掛かりの状況	使用条件(雨水の浸
		CO ₂ 濃度	気象条件(気温、湿 度、降雨頻度、日射 量)	凍結融解回数 最低温度	劣化因子を含む溶液 のp H、濃度	地盤中からの水分供給 条件	透、凍結防止剤の散 布)
					地下水、土壌中の成分	アルカリの供給条件	
		水セメント比	水セメント比	骨材の品質	コンクリート保護層の有	骨材の産地	コンクリート強度
		混和材の種類と量	セメントの種類	水セメント比	無と種類	セメントのアルカリ量と	コンクリートの品質
	初	かぶり厚	混和材の種類と量	空気量、気泡間隔係数	水セメント比	単位セメント量	床版厚さ
	期条	初期欠陥	初期含有塩化物イオン	かぶり厚	混和材の種類と量		配筋状況、かぶり厚
	件		濃度	コンクリートの飽水度	かぶり厚		
			かぶり厚	(含水比)	初期欠陥		
調			初期欠陥	初期欠陥			
查項		中性化深さ	塩化物イオン濃度	凍害深さ	中性化深さ	骨材のアルカリシリカ反応性(化学法、モルタ	ひび割れ状況(パター ン、深さ、幅、角欠けの
目		ひび割れ状況(幅、深 さ、密度)	中性化深さ	ひび割れ状況(幅、深 さ、密度)	劣化因子の浸透深さ	ルバー法)	ラ、床で、幅、用入りの 有無)
		C、省度)	ひび割れ状況(幅、深 さ、密度)	e、金皮)	ひび割れ状況(幅、深 さ、密度)	残存膨脹量	ひび割れの挙動、段差
		鋼材の位置と腐食状況	C、山皮)	スケーリング状況	C、山及)	ひび割れ(幅、本数、 密度)	不良音
		錆汁	鋼材の位置と腐食状況	ポップアウト状況	コンクリートの断面欠損深さ	щ ,	下面への漏水
	劣	変色、エフロレッセンス 電気化学的指標(自然 電位、分極抵抗など)	錆汁	コンクリート強度、弾性 係数		鋼材の腐食状況	路面の亀裂、陥没
	化		変色、エフロレッセンス			鋼材の降伏および破断 の有無	·
	現 象		電気化学的指標(自然電位、分極抵抗など)	鋼材の位置と腐食状況	錆汁		異常振動の有無
	30	コンクリート強度、弾性係数		たわみ、変位	変色、エフロレッセンス		
			コンクリート強度、弾性係数		電気化学的指標(自然 電位、分極抵抗など)		
		たわみ、変位	たわみ、変位		コンクリート強度、弾性	コンクリート強度、弾性 係数	
			7.21707、交应		係数	变位、变形	
					たわみ、変位	文征(文//)	
		中性化の進行程度、速	塩化物イオン濃度の深		劣化因子の浸透速度	A S R進行速度	疲労の進行度
		度	さ方向の分布	美観	中性化速度	美観	コンクリートの一体性
		鋼材の腐食グレード、	中性化の進行程度、速		鋼材の腐食グレード、	鋼材の腐食グレード	剥落危険性の有無
		腐食量	度	コンクリートの品質	腐食量	コンクリート強度、剛性	鋼材の腐食グレード
評価		美観	鋼材の腐食グレード、	コンクリート強度、剛性	部材の剛性、耐荷力		剛性、耐荷力
Ιį	Į.	コンクリートの強度、剛	腐食量		美観	部材の剛性、耐荷力	
F		性	美観	鋼材の腐食グレード、			
		部材の剛性、耐荷力	コンクリートの強度、剛	腐食量			
			性	部材の剛性、耐荷力			
			部材の剛性、耐荷力				

表-4.7 に各劣化現象の調査において,適用される頻度が多い調査方法を示した.実際には調査前の段階で劣化現象の種類を特定できないことも多いが,構造物が置かれている環境条件や使用条件から判断して,調査内容や方法を絞り込む.

表-4.7 劣化原因に応じた調査方法1)

参考文献1)をもとに加筆

		労化原因、程度の調査 労化原因、程度の調査									
	調査方法	測定·試験方法	設計任依の調査*1		全体的な 変状	中性化	塩害	凍害	化学的 腐食	アルカリ 骨材反応	疲労
* * * * * * * * * * * * * * * * * * * *	变状把握	目視、双眼鏡、デジタルカメラ									
全体的な 状況調査	受认指推	レーザー計測									
	変位測定(モニタリング)	光ファイバーによる測定									
		載荷時のひずみ測定									
	載荷試験(静的)	載荷時の変位測定・剛性評価									
力学的調 査		ひび割れ発生等の確認									
_	載荷試験(動的)	固有振動数、振動モード、剛性評価									
	AE法	破壊進行部の特定									
	電気ル学的大法	自然電位法									
	電気化学的方法	分極抵抗法									
		ひび割れ深さ測定									
	超音波法	内部欠陥調査									
		部材厚測定									
	(F- ±0.70) b) >±>±	内部欠陥調査									
非破壊調	衝擊弾性波法	部材厚測定									
查		鋼材配置測定									
	レーダー法	空隙調査									
	電磁誘導法	鋼材配置測定、径の測定									
	電気抵抗を利用する方法	含水率測定									
	打音法	打擊音、波形解析									
	反発硬度法	シュミットハンマー法									
	赤外線法	表層浮き、内部空隙調査									
	93-71 mg/74	中性化深さ測定									
破壊調査	はつり試験	鋼材の腐食状況観察									
	The state of the s	かぶり厚測定									
	採取した鋼材による試験	鋼材の引張り強度試験									
	7本4人ひ7と劉刊17日とある日本時天	中性化深さ測定									
		外観調査、ひび割れ深さ測定など									
		圧縮強度、引張り強度、静弾性係数測									
		配合分析									
		塩化物含有量									
		<u>塩化物呂有量</u> 骨材の反応性分析									
	採取したコアによる試験	膨張量測定									
採取試料 こよる測											
こよる別 定・分析		気泡間隔係数測定									
		細孔径分布測定									
		空気量測定									
		凍結融解試験									
		透水性試験									
		熱分析(TG、TDA)									
	コンクリートの化学組成	X線回析									
		元素分析(EPMA)									
		走査型電子顕微鏡(SEM)観察									

^{*1} 設計図面がない場合などに実施

[:] 構造物の状況や劣化程度に関わらず重要なデータが得られる。 : 構造物の状況や劣化程度によっては重要なデータが得られる。

4-4 劣化因子とメカニズム

4-4-1 劣化因子の種類

土木学会「コンクリート標準示方書 [維持管理編]」では,鉄筋コンクリート造構造物の劣化として,6つの現象を扱っている.

- (1)中性化
- (2)塩害
- (3)凍害
- (4)化学的腐食
- (5)アルカリ骨材反応
- (6)疲労

表-4.8 劣化機構と要因、指標、現象の関連1)

劣化機構	劣化要因	劣化現象	劣化指標
中性化	二酸化炭素	二酸化炭素がセメント水和物と炭酸化反応を起こし、 細孔溶液中のpHを低下させることで,鋼材の腐食が 促進され,コンクリートのひび割れやは〈離,鋼材の断 面減少を引き起こす劣化現象。	中性化深さ 鋼材腐食量
塩害	塩化物イオン	コンクリート中の鋼材の腐食が塩化物イオンにより促進され、コンクリートのひび割れやは〈離、鋼材の断面減少を引き起こす劣化現象.	塩化物イオン濃度 鋼材腐食量
凍害	凍結融解作用	コンクリート中の水分が凍結と融解を繰返すことに よって,コンクリート表面からスケーリング,微細ひび割 れおよびポップアウトなどの形で劣化する現象.	凍害深さ 鋼材腐食量
化学的侵食	酸性物質 硫酸イオン	酸性物質や硫酸イオンとの接触によりコンクリート硬化体が分解したり,化合物生成時の膨張圧によってコンクリートが劣化する現象.	劣化因子の浸透深さ 中性化深さ 鋼材腐食量
アルカリ骨材反応	反応性骨材	骨材中に含まれる反応性シリカ鉱物や炭酸塩岩を有する骨材がコンクリート中のアルカリ性水溶液と反応して、コンクリートに異常膨張やひび割れを発生させる劣化現象.	膨張量 (ひび割れ)
床版の疲労	大型車通行量 (床版諸元)	道路橋の鉄筋コンクリート床版が輸荷重の繰返し作 用によりひび割れや陥没を生じる現象。	ひび割れ密度 たわみ
はり部材の疲労	繰返し荷重	鉄道橋梁などにおいて,荷重の繰返しによって,引張 鋼材に亀裂が生じて,それが破断に至る劣化現象.	累積損傷度 鋼材の亀裂長

4-4-2 各劣化のメカニズム

(1) 中性化

1) 中性化の進行のメカニズム

中性化とは,主にコンクリート中のセメント水和物が大気中の炭駿ガス(二酸化炭素(CO_2))と反応して通常, $pH12 \sim 13$ の強アルカリの性質を示す水酸化カルシウム($Ca(OH)_2$)が $pH8.5 \sim 10$ 程度の炭酸カルシウムに変化してコンクリート中の pH が低下する現象を指す.

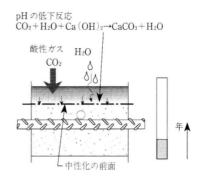
セメント水和物と二酸化炭素の代表的な反応は,次のようになる.

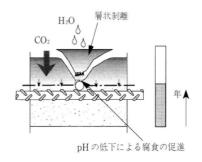
2(CaO)3SiO2 + 6H2C	(CaO)3(SiO2)2(H2O)3 + 3Ca(OH)2	式- 4.1
$2(CaO)_2SiO_2 + 4H_2O$	$(CaO)_3(SiO_2)_2(H_2O)_3 + Ca(OH)_2$	式- 4.2
$Ca(OH)_2 + CO_2$	$CaCO_3$ + H_2O	式- 4.3
2(CaO) ₂ (SiO ₂) ₂ (H ₂ O) ₂ +	$3CO_2$ $3C_3CO_2$ + $2SiO_2$ + $3H_2O$	₹-44

まず,ポルトランドセメントの主な構成化合物であるエーライト((CaO)₃SiO₂)とビーライト((CaO)₂SiO₂)が,水と反応して C-S-H ゲル ((CaO)₃(SiO₂)₂(H₂O)₃)と水酸化カルシウム(Ca(OH)₂)を生成するのが,式-4.1と式-4.2である.この水酸化カルシウムと C-S-H ゲルは,式-4.3 および式-4.4 に示すように二酸化炭素と反応して炭酸カルシウムを生成する.

このように、二酸化炭素とセメント水和物の反応は、水酸化カルシウムが炭酸カルシウムに変わる式-4.3 の反応と式-4.4 のように水酸化カルシウム以外の鉱物も二酸化炭素と反応して炭酸カルシウムを生成する.したがって、一連の反応は炭酸化反応(carbonation)と呼ばれる.

中性化の進行によって,コンクリート内部の鋼材が腐食し,ひび割れの発生,かぶりのはく離,はく落,鋼材の断面欠損による耐荷力の低下などが引き起こされる.これは鉄がpH11以上では表面に不動体を形成し,酸素が存在していても発錆しないが,pHが11以下になると鉄筋は発錆して,鉄は2~3倍の体積膨張を起こすためである.





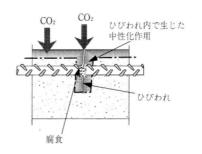


図-4.3 中性化による劣化のメカニズム2)

大気中の二酸化炭素は,コンクリートの空隙内を拡散するように侵入するので,その拡散速度はセメント硬化体の骨材の空隙量や空間構造に依存する.したがって,使用する材料や配合条件などによって大きく異なる.また,拡散速度は,気相から液相に変化すると小さくなるため,たとえば水中では炭酸化反応が緩やかに進行する.一方,炭酸化反応は炭酸イオンあるいは炭酸水素イオンとセメント水和物の反応なので,コンクリートの乾燥が進み細孔溶液量が少なくなると反応が起こり難くなり,炭酸化反応が緩やかになる.このため,中性化速度は二酸化炭素の侵入と炭酸化反応の関係から 相対湿度と中性化深さの関係は図-4.4 に示すように相対湿度 50~60%で極値を持つ分布となる.

また,中性化によって水和物の変質と細孔構造の変化が起こるため,塩素を含むセメント水和物であるフリーデル氏塩は,炭酸化によって分解するため,塩素イオンを解離し,これらのイオンは未炭酸化部分に移動・濃縮し,鋼材の腐食に影響を及ぼすことになる.

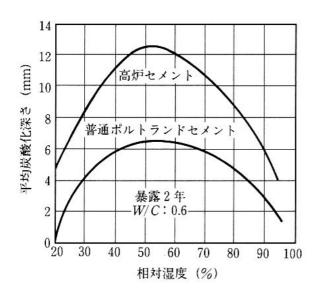
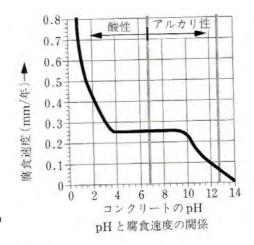


図-4.4 モルタルの中性化深さに及ぼす相対湿度の 影響³⁾



写真-4.1 中性化による鉄筋腐食



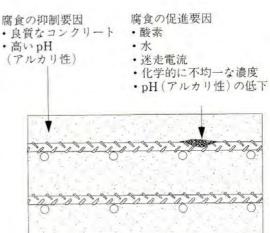


図- 4.5 コンクリートの p H と鋼材 腐食の関係²⁾

2) 中性化の進行予測

中性化は二酸化炭素がコンクリート中へ拡散することにより進行するが,図-4.6 に示すように中性化深さ C は経過時間 t の平方根に比例し, t 則と呼ばれる.

C = A t

ここで,Aは中性化速度係数と呼ばれ,Aが大きいほど中性化速度が大きくなる.したがって,環境条件やひび割れ等の状況が変化しなければ,調査時における経過年数と中性化深さから,その後の進行速度を予測することができる.

このほか,構造物の設計時や調査 データがない状態で中性化深さを 予測する式として,各種の中性化促 進試験や暴露試験に基づいた中性 化速度式が提案されている.

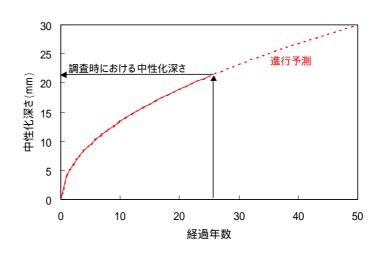


図-4.6 t 則による中性化進行予測

3) 中性化速度式

中性化速度式については,これまで多くの研究がなされているが,現在最も一般的に使用されているものとして,岸谷式が挙げられる.岸谷式は,促進中性化実験および暴露実験の結果から導き出されたもので,以下のとおりである.

$$t = \frac{0.3(1.15 + 3x)}{R^2(x - 0.25)^2} C^2 \qquad (x \ge 0.6)$$

$$t = \frac{7.2}{R^2(4.6x - 1.76)^2} C^2 \qquad (x \le 0.6)$$

ここに、t:C まで中性化する期間 (年)

x:強度上の水セメント比

C:中性化深さ(cm)

R:中性化比率

コンクリートの種類別中性化比率 R

骨材の種類	JII.	砂・川	沙利		・火山			山れ	ŧ
表面活性剤の別セメントの種類	プレーン	AE剤	AE減水 剤	プレー ン	AE剤	AE減水 剤	プレーン	AE剤	AE減水 剤
普通ポルトランドセメント	1.0	0.6	0.4	1.2	0,8	0.5	2.9	1.8	1.1
早強ポルトランドセメント	0.6	0.4	0.2	0.7	0.4	0.3	1.8	1.0	0.7
高炉セメント (スラグ30~40%)	1.4	0.8	0.6	1.7	1.0	0.7	4.1	2.4	1.6
高炉セメント (スラグ60%前後)	2.2	1.3	0.9	2.6	1.6	1.1	6.4	3.8	2.6
シリカセメント	1.7	1.0	0.7	2.0	1.2	0.8	4.9	3.0	2.0
フライアッシュセメント (フライアッシュ20%)	1.9	1.1	0.8	2.3	1.4	0.9	5.5	3,3	2,2

⁽注) 軽量コンクリート (1種および2種) の Rは、川砂・川砂利コンクリートと川砂・火山れきコンクリートの中間程度である。

4) 鉄筋コンクリート部材の寿命

中性の進行に基づく鉄筋コンクリート部材の寿命には,幾つかの考え方があるが,嵩らによる 図-4.7に示した考え方が一般的である.

すなわち,中性化が鉄筋位置にまで達すると直ちに腐食が始まり (B),腐食量が増すとその膨脹圧によってかぶりコンクリートにひび割れが生じて (C),極度な劣化に進行してゆく (D).鉄筋のかぶり厚の信頼性設計の方法は,この概念をもとにしたものである.

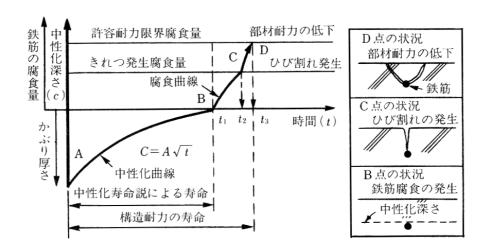


図-4.7 コンクリート中の鉄筋腐食と寿命の概念4)

(2) 塩害

1) 塩害による鋼材腐食のメカニズム

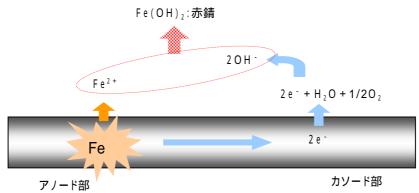
通常,高いアルカリ性環境下にあるコンクリート中の鋼材表面には,緻密な不動態被膜(厚さ3mm 程度の酸化物層)が存在し,これにより鋼材が保護され,腐食しないとされている.

しかし,塩素イオンがある濃度以上に侵入すると,酸化被膜の酸素原子に塩素イオンが割り込み,この部分で被膜の破壊を生じる.これにより鋼材の腐食が開始され,腐食生成物の体積膨張によって,コンクリートにひび割れやはく離を引き起こしたり,鋼材の断面減少などを伴うことによって構造物の性能が低下する.この現象を塩害と呼んでいる.

塩化物イオンは鋼材の腐食を促進させるだけではなく,コンクリートの組織構造を変化させる要因にもなりうるが,その影響は小さいため,一般には鋼材腐食によって引き起こされるさまざまな問題に着目すればよい.

コンクリート構造物に供給される塩化物イオンとしては,海水や凍結防止剤などのように構造物に外部の環境から供給される場合と,コンクリート製造時に海砂に付着した塩化物イオンなど材料から供給される場合がある.いずれの場合でも,基本的な劣化過程や構造物に及ぼす影響は同様である.

塩化物イオンがコンクリート中へ浸透し,やがて鋼材表面での塩化物イオン濃度が腐食発生限 界濃度以上となると鋼材は腐食を開始する.鋼材の腐食反応は図-4.8 に示すように,鋼材表面から鉄イオン (Fe^{2^+}) がコンクリートの細孔溶液中に溶け出すアノード反応と鉄イオンが鋼材申に 残した電子 $(2e^-)$ が酸素と水と反応するカソード反応が同時に起こることにより水酸化第一鉄 $(Fe(OH)_2)$ を生成し,水酸化第一鉄は水と酸素の存在下で水酸化第二鉄 $(Fe(OH)_3)$ (=赤錆)へと 変化する.

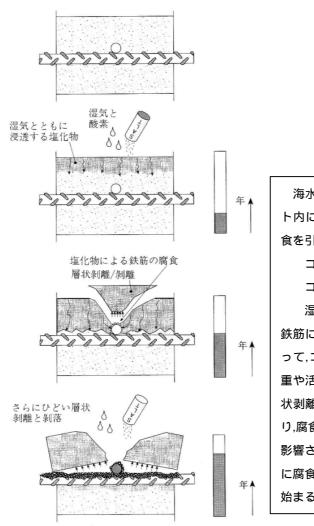


アノード反応: Fe Fe²⁺ + 2 e ²⁻

カソード反応: 1/2O₂ + H₂O + 2 e²⁻ 2OH⁻

図-4.8 塩害による劣化進行過程

鋼材が腐食し生成した腐食生成物による膨張圧がコンクリートの引張強度を超えたときにひび割れが発錆する.図-4.9に示すように,腐食ひび割れが生じると,ひび割れを通じて塩化物イオン,酸素,水分などの腐食因子が容易に供給されるようになり,鋼材の腐食遠度が著しく増大する.腐食生成物のさらなる膨張によってひび割れ幅が増大し,やがてかぶりコンクリートのはく落へと進展していく.中性化による鉄筋腐食と比べると進行速度が速い.



海水や凍結防止用の塩分によって塩化物がコンクリート内に浸透し,湿気と酸素の存在により,鉄筋に接して腐食を引き起こす.このような腐食は次の事柄に関連する.

コンクリートに浸透する塩化物の量

コンクリートの浸透性

湿気と酸素の量

鉄筋に錆の層が形成されると、その膨張による引張力によって、コンクリートにひびわれや層状剥離をもたらし、自重や活荷重によって剥落することもある. ひびわれと層状剥離が進むと、塩分、酸素および湿気が侵入しやすくなり、腐食は一層助長される. 腐食を促す塩素濃度は pH に影響され、pH が 13.2 のとき塩素イオンが 8,000pPm を境に腐食が始まり、11.6 に低下すると僅か 71ppm で腐食が始まるとの報告がある.

図-4.9 塩分浸透による鉄筋腐食とコンクリートはく離のメカニズム2)





写真-4.2 鉄筋腐食によるかぶりコンクリート 写真-4.3 鉄筋腐食によるかぶりコンクリートのはく落

2) 塩害の進行予測

コンクリート内部の水分の移動に伴う塩化物イオンの移動を無視できると仮定するならば,塩化物イオンは,コンクリート内外の濃度差を駆動力とする拡散により,時間の経過とともに内部に浸透する.塩化物イオンの浸透は以下に示す,フィックの第2法則として知られる拡散方程式を適切な境界条件で解いた解を用いて予測するのが一般的に行われている.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = Dc \left\{ \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right\}$$

ここに,C:液相の塩化物イオン濃度'

Dc: 塩化物イオンの拡散係数

×:コンクリート表面からの距離

t:時間

$$C(x,t) = Co\left\{1 - erf\frac{x}{2\sqrt{D \bullet t}}\right\}$$

ここに , C(x,t) : 深さ(cm) , 時刻(年)における塩化物イオン濃度(kg/m³)

Co: 表面における塩化物イオン濃度(kg/m³) D: 塩化物イオンの見かけの拡散係数(cm²/年)

erf:誤差関数

塩害による鉄筋の腐食は、鉄筋位置における塩化物イオンの濃度がある程度以上になったときに開始すると考えられる、塩化物濃度については各種の基準値があるが、鉄筋が腐食し始める濃度としては、1.2kg/m³が用いられることが多い、



写真-4.4 塩害と凍結融解の複合劣化環境

特に日本海側では,季節風が強いため海塩飛沫による塩害と,凍結 融解の複合劣化に対して厳しい環境条件にある.

(3) 凍害

凍害とは,コンクリート内部に含まれた水分が凍結する際の膨張圧により,コンクリートにひび割れやスケーリング,ポップアウトなどを発生する現象である.

凍害機構は、Powersによる水圧説が有名である.これは、図-4.10に示すとおり、コンクリートの細孔中の水が凍結し、その膨張分の水の移動圧によりコンクリート組織が破壊するもので、その圧力の大きさは、凍結速度、飽水度、透水性および空隙までの距離によるとしており、凍害を説明する原点とも言える().しかし、低温を持続した場合に凍害が進行することや AE コンクリートが凍結する際に観察される収縮は水圧説だけでは説明できず、その後浸透圧説で説明された.これは、毛細管中の細孔水は弱アルカリであることを指摘し、コンクリートの温度降下によりまず粗大径側の毛細管中の水が凍結するが微小な細孔にある水は凍結せず、その結果、未凍結水のアルカリ濃度は増加し、周囲の未凍結のゲル水との間に浸透圧が発生する.このため、ゲル水が毛細管の未凍結水中へ拡散し凍結が始まり、氷の成長による膨張圧でコンクリートの組織が破壊する説である().また、空気泡に拡散された水は直ちに凍結し、毛細管中の氷晶とともに周囲の水を吸収するため、空気泡中の氷晶が周囲の組織から水を吸収する場合には、空気泡が水で満たされるまで吸収する水の量だけ収縮する説である().これらの現象は同時に作用するため、コンクリートの細孔構造によりコンクリートのひずみ量は異なるのが一般的である.現在においても、これらの説により凍害機構は説明されている.

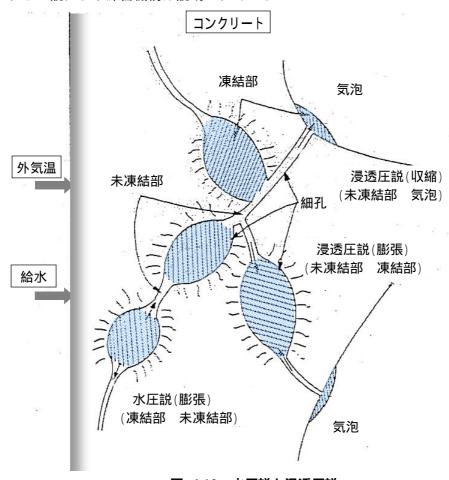


図-4.10 水圧説と浸透圧説

スケーリングを例に,その進行過程を示すと図-4.11 に示すようであり,各過程では次のような現象が起こっている.

飽水状態のコンクリートが低温環境下におかれる 水の凍結が始まると、体積が約9%膨張する。

未凍結水の移動(1)

凍結膨張圧により水のない空隙に水が移動する.水が 移動できる間は膨張圧を緩和することができる.

未凍結水の移動(2)

温度低下にしたがって,より微細な空隙にも水が移動する.径の小さい空隙ほど,内部の水が凍結する温度は低い.

内部にひび割れが発生

空隙に水が満たされ,凍結膨張圧を緩和する空隙がなくなると,静水圧が空隙内部から作用し,ひび割れが発生する.

ひび割れの進行による表層剥離

内部にひび割れが発生すると,表面からコンクリート 内部に水が容易に浸透する.さらに凍結融解を繰り返す ことにより,コンクリート表面が剥離する.

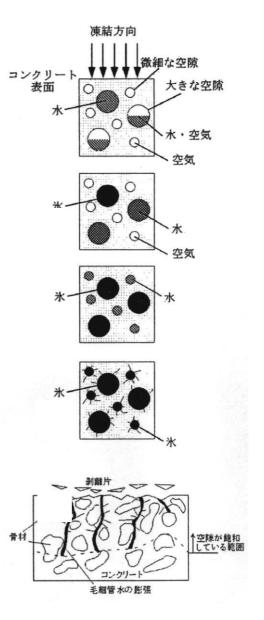


図-4.11 凍結融解による剥離発生機構2)

なお,凍害の調査診断については,「第5章 凍害調方法の現状と課題」に詳しく解説する.

(4) 化学的腐食

コンクリートは,骨材をセメント,水との反応生成物で結合したものである.しかし,セメントと水との反応生成物は,ある種の化学物質と反応して全く別の物質に変化する.この反応に伴ってセメント水和物が分解され,結合能力を失ったり,反応生成物の溶出によりコンクリート組織が粗になったり,反応に伴って膨張を生じたりして,コンクリート自体の耐力の低下,ひび割れの発生,溶解,はく落などの現象が生じる.このような現象を化学的侵食という.

コンクリートを構成する反応生成物(カルシウム化合物)はアルカリ環境下において化学的に安定であるが、中性、酸性領域では不安定となり分解が生じる.ポルトランドセメント系コンクリート中の結合材として役割を果たしている主なものは水酸化カルシウム、珪酸カルシウム水和物であり、次いでフリーデル氏塩、モノサルフェート、エトリンガイトがある.これらのカルシウム水和物が酸(H⁺)に浸食されると以下のような反応が起こり分解する.

水醸化カルシウム $Ca(OH_2) + 2H^+$ $Ca^2 + 2H_2O$

C - S - H $3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O + 6H^+ 3Ca^2 + 2SiO_2 + 6H_2O$

フリーデル氏塩 3CaO・Al₂O₃・CaCl₂・10H₂O+6H⁺

 $3Ca^{2+} + Al_2O_3 \cdot 3H_2O + CaCl_2 + 10H_2O$

モノサルフェート $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O + 6H^+$ $3Ca_2 + + Al_2O_3 \cdot 3H_2O + CaSO_4 + 12H_2O$

エトリンガイト 3CaO・Al₂O₃・3CaSO₄・32H₂O+6H⁺ 3Ca²⁺+Al₂O₃・3H₂O+3CaSO₄+32H₂O

これらは、特に水に対する溶解度が大きい塩酸や硝酸のカルシウム塩は顕著な反応となりコン

クリートを著しく劣化させる。また、一般 的に有機酸の場合は弱酸であることが多 いため、無機酸と比較すると浸食作用は緩 慢となる。しかし、有機酸のなかでも酢酸、 乳酸、クエン酸などのカルシウム塩は溶解 度が大きいため侵食は激しくなり、これに 対してししゅう酸はそのカルシウム塩が 水に難溶性であるため、コンクリート表面 を反応生成物で緻密荷化し侵食は進まな い。

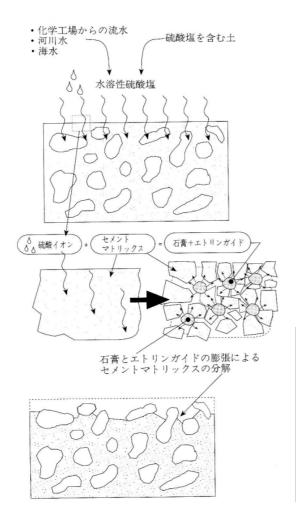


写真-4.5 硫酸塩によるし尿槽コンクリートの腐食

一方、下水道のように硫酸塩による劣化が激しい環境下においては、カルシウム水和物は以下 のように反応する。

水醸化カルシウム $Ca(OH)_2 + H_2SO_4 CaSO_4 \cdot 2H_2O + H_2O$

C - S - H $3CaO \cdot 2SO_2 \cdot 3H_2O + 6H^+ CaSO_4 \cdot 2H_2O + SiO_2 \cdot nH_2O + H_2O$



生成する CaSO4・2H2O(石こう)は水に対する溶解度が比較的小さいため、硫酸の濃度が薄い場合にはある程度コンクリートの空孔をふさぐ作用があり、初期には分解生成物の溶出を抑えたり、酸液がコンクリート中に浸透するのを抑えたりする作用を示し、見かけ上の侵食は遅れる。しかし、逆に生成した石こうがさらにセメント中の 3CaO・Al2O3と反応し、3CaO・Al2O3・3CaSO4・32H2O(エトリンガイト)に変わると、膨張圧によってコンクリートに大きな被害を及ぼす結果となる。

ナトリウムやカルシウムなどの水溶性硫酸塩は、 工業地帯の土や水に含まれる最もありふれた物質 である.硫酸塩は、セメントペースト中の石灰や水 酸化カルシウム、アルミネートと反応し、体積膨張 を伴って石膏とエトリンガイトからなる固形物を 生成し、セメントペーストに膨張力を及ぼしコン クリートの表面剥離や風化を招く.

図-4.12 硫酸塩による浸食メカニズム²⁾

(5) アルカリ骨材反応

1940 年に T.E.Stanton がアルカリ骨材反応の存在を発表して以来 ,化学反応を起こさないと考えられていたコンクリー内の骨材が化学反応を発生させる条件によっては膨張やひび割れを発生させるおそれがあることが認識されてきた .

アルカリ骨材反応は,コンクリート中の毛細管孔内の高 pH 水駿化アルカリと反応性骨材との化学反応であり,図-4.13に示すように,アルカリ,反応性を有する骨材,水分の存在によって発生する.

アルカリ骨材反応には,アルカリシリカ反応(ASR),アルカリ炭酸塩岩反応,アルカリシリケート反応の3種類があるが、わが国で主に報告されているのはアルカリシリカ反応(ASR)である.

ASR によるコンクートの異常現象は,セメント中の Na, K などのアルカリ金属が,コンクリート組織内の毛細管孔やゲル空隙にイオンとして溶出することから始まる.溶出したアルカリ金属イオンは,骨材中の可溶性シリカや SiO2 と水分の存在下で反応する.化学反応によって生成したアルカリシリカゲルは,水分が供給されると吸水膨張するため,反応性骨材粒子にアルカリシリカゲルが生成すると,水を吸収し膨張してコンクリート中の骨材粒子や周囲の組織にひび割れを発生させる.

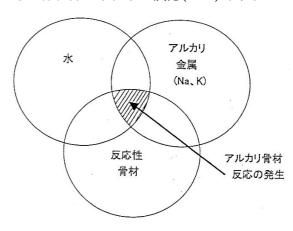
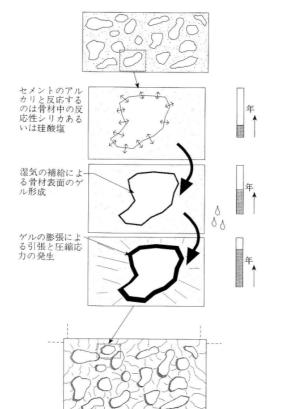


図-4.13 アルカリ骨材反応の3主要因 この3条件が揃わなければ反応は生じない.



アルカリ骨材反応によるひびわれは、未解明の部分があるが、骨材に含まれる反応性シリカが、セメントのカリウム、ナトリウムや水酸化カルシウムと反応して、骨材の周辺にゲルを形成し、それが湿気にさらされると膨張し、その引張力によってひびわれが発生する。

反応を起こした骨材の表面には,亀甲状ひびわれが現れる.いったんひびわれが発生すると,湿気の侵入によってさらに反応が助長

され、凍結融解の被害を受けることになる.アルカリ 骨材反応は数年問認められないことがある.検査法は 通常コンクリートのアルカリ骨材反応試撃によって いるが、最近より迅速かつ経済的な方法としてウラニ ウム酢酸塩蛍光方法の利用が開発されつつある.

図-4.14 アルカリ骨材反応による骨材膨張のメカニズム2)



写真-4.6 アルカリ骨材反応による亀甲状ひび割れ



写真-4.7 アルカリ骨材反応によるひび割れとゲルの析出



写真-4.8 拘束条件によるひび割れの卓越方向 水平方向に比べて高さ方向の拘束が弱い擁壁などでは, 水平方向のひび割れが卓越する.

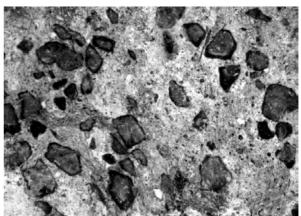


写真-4.9 粗骨材の周囲に生じた反応リム

(6) 疲労

コンクリート構造物の疲労には道路橋のコンクリート床版,鉄道橋におけるコンクリート梁部 材等が挙げられる.

道路橋の鉄筋コンクリート床版は支間長に比して厚さの薄い構造であり,変動の激しい輪荷重を直接支える部材であるため,荷重の繰り返しがもたらす疲労の影響による性能低下が顕在化する代表的な構造物といえる.また,鉄道橋のコンクリート梁部材にも比較的大きな変動荷重が繰返し加わることにより疲労損傷を受ける可能性が高い.

1) 陥没した道路橋鉄筋コンクリート床版の疲労劣化要因

【使用条件】

過積載車輌の走行

昭和30年代の高度経済成長に伴う交通量の飛躍的な増大と、積載制限を超過する車輌の影響している.

【設計】

薄い床版厚

昭和 39 年以前の鋼道路橋示方書により設計施工された鉄筋コンクリート床版は床版厚が 180mm 程度と薄く,このため大型車輌の走行により曲げひび割れが発生しやすかった.

主桁拘束の影響

鉄筋コンクリート床版では,合成桁はジベルにより,非合成桁はスラブ止めにより固定され主桁と拘束され,乾燥収縮によるひび割れが潜在的に発生しやすかった.

主鉄筋に比べ少ない配力筋

昭和39年以前の鋼道路橋示方書により設計施工された鉄筋コンクリート床版は,配力筋が主鉄筋の25%程度であり,主筋方向(橋軸直角方向)の曲げひび割れが発生しやすかった.

【施工】

コンクリートの品質

疲労損傷した床版の施工はコンクリート用の粗骨材が砂利から砕石へ移行した時期に一致し, ワーカビリティーを得るために練り混ぜ水の割り増しとセメントの増量を必要としたことから, 結果としてモルタル分の多いコンクリートとなり,乾燥収縮によるひび割れが発生しやすかった.

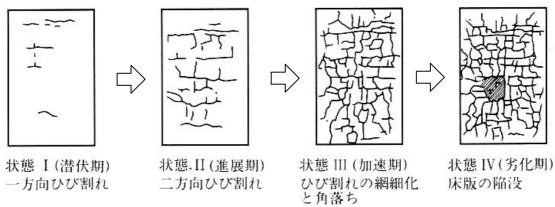


図-4.15 疲労による RC 床版の劣化進行³⁾

【環境】

雨水の浸透

乾燥収縮や荷重作用により発生したひび割れが貫通すると路面からの浸透水によりひび割れ面の摩耗が促進するとともに,鉄筋コンクリート床版上縁の圧縮側コンク'リートを分離させる骨材化現象をもたらすことから,更に疲労が促進される.

2) 比較的大きな変動荷重が繰返し加わる梁部材における疲労損傷,性能低下現象

コンクリート構造物における疲労現象は、繰り返し荷重によりその構成材料である補強鋼材(鉄筋や PC 鋼材など)に亀裂やコンクリートにひび割れが発生しこれらの疲労損傷による部材の性能低下が起こり最終的には荷重作用下において破断に至る現象である。

梁部材における疲労損傷あるいはこれによる性能低下として考えられる現象は以下がある.

引張補強鋼材の疲労破断による安全性の低下

コンクリートの圧縮疲労破壊による安全性の低下

曲げひび割れの発生・進展・拡大とこれらに伴うはりの剛性低下や第三者影響度に関する性能,美観,景観の低下

コンクリートのせん断疲労破壊(斜めひび割れの進展)による安全性の低下

せん断補強筋の疲労破断による安全性の低下

表-4.9 北海道開発局における道路橋床版の損傷程度の把握方法5)

損ラ:	傷ンク	一般的な		が幅	カ れ 間 隔	の 程 度 m ² 当 た り ひびわれ量	ランク(0)に 対する床版剛	対 策 の 要・不要	備考
	(0)		ひび割れなし。				1	不 要	
初期	(1)	,	一方向のひび割れ(主鉄筋方向または配力鉄 筋方向) が散在する。	0.1㎜以上	主げた間隔以上	6.5m/m ² 以下	iiir 1	不 要	
状態	(2)	414	一方向のひび割れ(主鉄筋方向または配力鉄 筋方向)が散在する。 ひびわれ幅の大きいところには遊離石灰、泥 状物質が見える。	0.1㎜以上	主げた間隔以内	5 2.0m/m ² 以下	<i>(3)</i> 1	場合によっては要	遊離石灰が見える ときは舗装面に注意
中期	(3)	本性	二方向のひび割れ(主鉄筋方向および配力鉄 筋方向) が発生する。	0.1 mm 以上	主げた間隔 以内 部 分 的 に 0.5m程度	2.0m/m ² 以上 3.0m/m ² 以下	1~1/2程度	場合によっては 要	
状態	(4)	はます	ひび割れが継がり、亀甲状ひび割れへと近づく。	0.1㎜以上	全体的に 0.3~0.5m 程度	3.0~5.0m/m ²	12~14程度	要	この程度から床版 剛性が著しく低下 してゆくので注意 深い観察が必要
末期	(5)	拉斯	ひび割れが亀甲状となり,間隔が狭くなる。	0.1㎜以上	鉄筋ピッチ 程度	5.0m/m ² 以上	14以下	要	
状態	(6)	4	ひび割れ幅が比較的大きな個所が多くなり、 ひび割れ部コンクリートのすりへり角落ち、そ してコンクリートの小はく離などが見られる ようになる。	0.1mm以上	鉄筋ピッチ 程度	5.0m/m ² 以上	14以下	要	なんらかの交 通規 制が必要
破壊	(7)		かぶりコンクリートが部分的に落下、床版の 変形が非常に大きくなる。 路面の陥役があり、床版が脱落寸前の状態と なる。	0.1mm以上	鉄筋ピッチ 程度	5.0m/m ² 以上	14以下	要	交通上きわめて危 険な状態である。
状態	(8)	拉斯	完全に床版コンクリートが脱落した状態。	0.1mm以上	鉄筋ピッチ 程度	5.0m/m²以上	14以下	要	交通止めをし、緊 急に応急処置を行 なう

注:(1) ひび割れの幅は目視できる程度のひび割れということで0.1mm以上とした。(2) m²当たりのひび割れ量は調査個所のひび割れ延長を純面積で除した値とする。

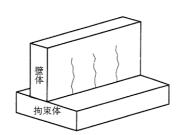
4-4-3 乾燥収縮ひび割れと温度応力ひび割れ

コンクリート構造物にはさまざまな原因によりひび割れが発生するが,一般にひび割れ発生原因として最も多いのは,コンクリート打設直後の水和熱に伴う温度応力によるひび割れと,打設後数年間の間に生じる乾燥収縮といえる.

これらのひび割れについては,発生パターンや発生時期から原因をほぼ推測できることが多い. 温度応力によるひび割れと 乾燥収縮によるひび割れの典型的なパターンを図-4.16と図-4.17 に示す.

温度応力によるひび割れには、外部拘束によるものと内部拘束によるものに分けられる.外部 拘束は、打設したコンクリートの温度下降過程において、収縮が既設コンクリートや岩盤などに 拘束されることにより生じる.したがって、既設部分や岩盤との接続部において生じやすい.

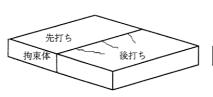
内部拘束によるひび割れは,打設したコンクリートの温度下降過程において,内外部の温度差によって生じるものであり,コンクリートの断面が大きいほど生じやすい.



下端を拘束された壁(壁厚 50 cm 以上) (擁壁・カルバートなど)



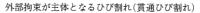
背面を拘束された壁 (連壁一体壁など)

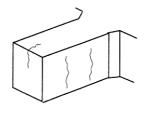


縁端を拘束されたスラブ(スラブ厚 80 cm 以上)

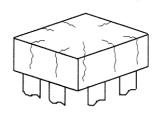


下面を拘束されたスラブ





地中梁などの断面が大きい部材



フーチングなどのマスが大きい部材

内部拘束が主体となるひび割れ(表面ひび割れ)

図-4.16 温度応力によるひび割れパターン6)

温度応力によるひび割れを防止するには,セメントの発熱を極力抑えることが肝要であり,低発熱型のセメントを使用したり,打設時のコンクリート温度を低くするなどの方法がある.

乾燥収縮によるひび割れは,コンクリート内部の余剰水が散逸するのに伴って生じる現象であり,水分が供給されない乾燥環境に置かれているほど,部材厚が薄いほど,コンクリートの単位水量が大きいほど収縮量が大きくなり,ひび割れを生じやすい.

乾燥収縮ひび割れを防止するには、単位水量を低減することが最も重要であるが、最近のコンクリートの配合に置いては、単位水量の低減は限界に近い状態にまで行われており、さらに水量を大幅に低減することは難しいといえる。その他の方法としては、収縮低減剤を使用したり、ひび割れが生じても実害のないように誘発目地を設けるといった方法が一般的である。



縁端を拘束された壁やスラブなどの部材

窓部や箱抜き,埋設物など の周囲の応力集中部

図-4.17 乾燥収縮によるひび割れパターン 6)

4-5 凍害調査方法の現状

北海道の土木構造物は,冬期間,氷点下の温度環境に置かれるため,凍結融解作用による凍害損傷を受けやすい.劣化損傷の調査診断においても,凍害による劣化について重視しなければならない.

しかし凍害については、中性化の診断における中性化深さ測定、塩害の診断における塩化物濃度の測定、アルカリ骨材反応の診断における反応性試験や促進膨張試験のような、劣化現象に直結する指標がない、そのため、環境条件や劣化パターン、コンクリートの物性などから原因や進行の拡大について総合的に判断せざるを得ない。

4-5-1 凍結融解による損傷パターン

凍結融解によるコンクリートの損傷には,次のパターンがある.

ひび割れ

スケーリング

ポップアウト

断面欠損

このうち 断面欠損は, や の現象が進行した結果である.





写真-4.10 凍結融解によるひび割れ 張り出し部など,部材断面が小さい箇所に生じやすい

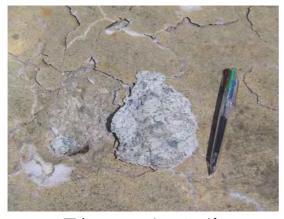


写真-4.11 スケーリング 上向き面で表面に脆弱層がある場合に生じやすい



写真- 4.12 ポップアウト 粗骨材の吸水率が大きい場合に生じやすい





写真- 4.13 断面欠損 ひび割れやスケーリングが進行した状態

4-5-2 凍結融解に対して求められるコンクリートの性能

凍結融解作用をうける地域のコンクリートに必要な耐凍害性を確保するため,土木学会,日本建築学会では,次のような設計法を示している.いずれにおいても耐凍害性を評価には<u>相対動</u>弾性係数を指標としている.

【土木学会 コンクリート標準示方書】凍結融解作用に関する照査

- (1) 構造物の所要の性能が、凍結融解作用によって損なわれてはならない。
- (2) 凍結融解作用に関する照査は、構造物中のコンクリートが劣化を受けた場合に関して、相対動弾性係数の最小限界値 Emin とその設計値 Ed の比に構造物係数 i を乗じた値が、1.0 以下であることを確かめることにより行ってよい。

i(Emin/Ed) 1.0

ここに、 i:構造物係数。一般に1.0としてよいが、重要構造物に対しては1.1とするのがよい。

Ed:相対動弾性係数の設計値(=Ek/c)

Ek: 相対動弾性係数の特性値

c: コンクリートの材料係数。一般に 1.0 としてよい。但し、上面の部位に関しては 1.3 とするのがよい。なお、構造物中のコンクリートと標準養生供試体との間で品質に差が生じない場合は、すべての部位において 1.0 としてよい。

Emin: 凍害に関する性能を満足するための相対動弾性係数の最小限界値。一般に下表によってよい。

凍害に関するコンクリート構造物の性能を満足するための壮大動弾性係数の最小限界値 Emin(%)

	気象作用が激しい 融解がしばしば繰	場合または凍結 り返される場合	気象作用が激しくない場合、氷点下の気温になることがまれな場合		
構造物の露出状態 断面	薄い場合2)	一般の場合	薄い場合2)	一般の場合	
(1)連続してあるいはしばし ば水で飽和される場合 ¹⁾	85	70	85	60	
(2)普通の露出状態にあり、 (1)に属さない場合	70	60	70	60	

1)水路、水槽、橋台、橋脚、擁壁、トンネル覆工等で水面に近く、水で飽和される部分およびこれらの構造物のほか、桁、床版等で水面から離れてはいるが、融雪、流水、水しぶき等のため、水で飽和される部分など。 2)断面の厚さが 20cm 程度以下の部分など

(3) 相対動弾性係数の特性値 Ek を 90 以上とする場合には、一般に (2) の照査を行わなくてよい。

【日本建築学会 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事】

26 節 凍結融解作用を受けるコンクリート

26.3 コンクリートの性能区分とその選定

a. コンクリートの性能区分は表 26.1 による。

表 26.1 耐凍害性の性能区分に対応するコンクリートの品質

性能区分	耐凍害性およびコンクリートの品質
А	凍結融解試験(1)において300サイクルにおける相対動弾性係数が60%以上であること。
В	凍結融解試験(1)において200サイクルにおける相対動弾性係数が60%以上であること、または26.4で規定する材料・調合に適合するコンクリートであること。
С	26.4で規定する材料・調合に適合するコンクリートであること。

[注](1)JISA1148(コンクリートの凍結融解試験方法)のA法による。

b. コンクリートの性能区分は、凍結融解作用の強さと建物および部位の重要度を総合的に考慮して特記する。

凍結融解作用指数の考え方

設計者は凍結融解作用の強さを,次式により得られる「凍結融解作用指数」と次表を参考として定め,さらに対象とする構造物や部材の重要度などを総合的に判断して,コンクリートの耐凍害性の性能区分を特記する.

(凍結融解作用指数) = - (最低気温) × (日射係数) × (部材係数)

ここに,最低気温は,気象庁資料の日本気候表またはアメダス準平年値による日最低気温の平滑平年値の極値 とする.

凍結融解作用に対応する性能選択区分の目安

凍結融解作用係数	性能区分		
2以上5未満	С		
5以上10未満	В		
10以上	AまたはB		

凍結融解作用に対応する性能選択区分の目安

凍結融解作用係数	性能区分			
2以上5未満	С			
5以上10未満	В			
10以上	AまたはB			

部材係数の参考値

水分の供給程度による部 材条件	対象となる部位、部材の例	部位係数
水と接した状態で凍結融 解作用を受ける部位	軒先、ベランダ、ひさし、パラペット笠石・笠木などの突出部、 屋上階段など	1.0
比較的水分供給の多い部位	一般的な水平部材(防水押さえなど)、斜め外壁、開口部まわり、排気口下部など	0.8
水がかりの少ない部位	一般的な外壁面など	0.3

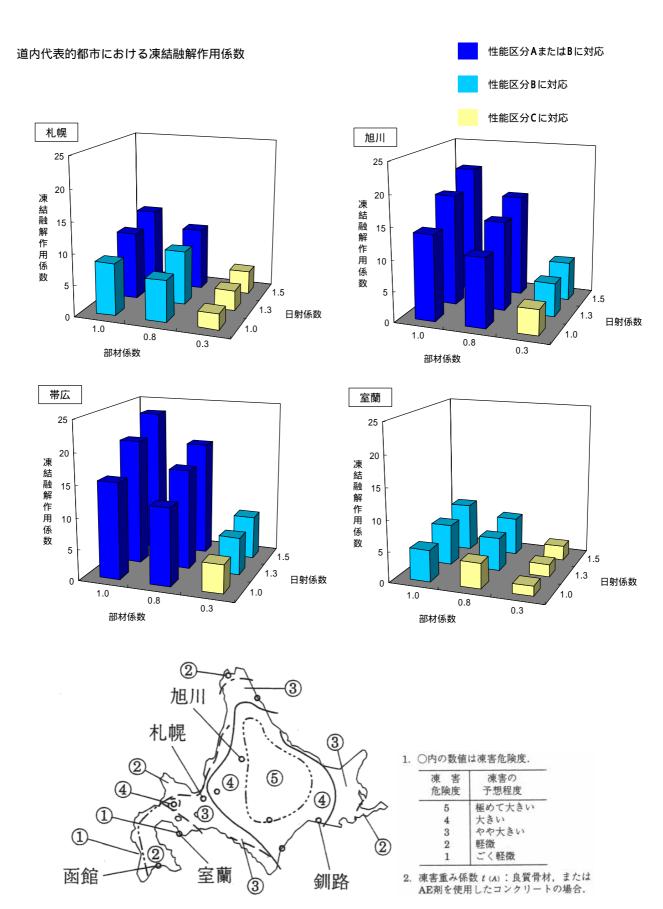


図-4.18 凍害危険度の分布図7)

4-5-3 凍害の調査

中性化については「中性化深さ」、塩害については「塩化物濃度」といった、劣化程度に直結する評価指標があるが、凍害についてはこのような指標がなく、置かれている環境や劣化状況、耐凍害性に関わるコンクリートの品質から劣化程度や進行性を評価せざるを得ない。

凍害の調査は,次の3つの内容に分類できる.

凍害環境の調査

コンクリートの耐凍害性に関する試験・分析

凍害による損傷程度の調査

凍害に関係する調査・分析項目を表-4.10に挙げる.

表-4.10 凍害の調査方法

目 的	調査·分析項目	方 法					
	気象条件に関する資料調査	気象台データ等					
凍害環境の調	水分供給、日射条件の調査	水掛かり、日射条件、積雪条件					
查	含水状態の測定	高周波水分計による含水率測定					
	当外状態の規定	サーモカメラによる表面温度測定					
	目視による外観調査	ひび割れ、スケーリング等の劣化を観察					
	打診調査	テストハンマにより浮き、表面脆弱化範囲を把握					
凍害による損		シュミットハンマによる表面反発硬度(健全部と比較)					
傷程度の調査	コンクリート強度性状	採取コアによる圧縮強度測定					
		採取コアによる静弾性係数測定					
	音速測定	超音波測定器によるコンクリート内の音速測定(健全部と比					
	空気量測定	採取サンプル(コア等)の研磨断面にて測定					
72,511	気泡間隔係数測定	採取サンプル(コア等)の研磨断面にて測定					
コンクリート の耐凍害性に	配合推定	セメント協会法等					
関する試験・ 分析	粗骨材の吸水率測定	JIS A 1110(粗骨材の比重及び吸水率試験方法)					
23.4/1	細孔径分布測定	水銀圧入法					
	凍結融解試験	JIS A 1148(コンクリートの凍結融解試験方法)					

(1) 凍害環境の調査

凍害環境の強さとしては,次のような気象条件や,構造物が置かれている条件,部材形状等が 影響する.

気象条件

最低気温の極値,凍結期間,凍結融解回数,日射量

構造物の置かれている条件

方位,水掛かりやコンクリート面への積雪の有無,日射遮蔽物の有無

部材形状等

部材断面の大きさ,部位(一般部 or 角部・端部)

複合劣化要因

塩害環境(飛来塩分,凍結防止剤)

気象条件関する資料調査

主要都市については気象台による資料があるので,容易に利用することができる.凍害環境の評価にあたって必要なデータは冬期気温の平年値であり,凍害環境の強さを評価するのにあたって,最低気温の極値や,外気温が0 をはさんで上下する日数(凍結融解回数),5.2で示した凍結融解作用指数を使用する.

最近の研究では,最低気温の極値が及ぼす影響が大きいことが知られている.

水分供給,日射条件の調査

現地において,コンクリート面への積雪や融雪水溜まり,水しぶきの掛かり具合などについて調査する.また,対象面の方位や遮蔽物の有無による日射の当たり方についても調査する.

含水状態の調査

コンクリートの含水率や湿潤状況を測定する.含水率が高ければ凍害を起こすという訳ではないが,含水率が大きく放水状態になっている方が危険性が高いとはいえる.

1) 高周波水分計

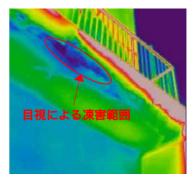
高周波水分計を使用すると 現地にて短時間で含水率を測定できる .重量法による測定に比べると測定誤差は大きいが ,簡便に測定できる利点は大きい . 測定値は表面から数十 mm の間の平均的な値として得られるので , 深部の含水率を測定することはできない .



高周波水分計 HI-520 (株)kett科学研究所)

2) サーモカメラによる表面温度計測

サーモカメラにより表面温度を測定することにより,含水率が高い範囲を視覚的に把握することができる.目視により凍害損傷が確認できる範囲よりも含水率が大きい範囲は広いことが多い.



凍害を生じたバルコニー先端 の温度分布

(2) 凍害による損傷程度の調査

目視による外観調査

ひび割れやスケーリング,ポップアウトなど凍害に特有な劣化現象の有無と程度を観察する. また,飽水状態になっているため,ひび割れにはエフロレッセンスを伴うことも多い.

打診調査

テストハンマーによりコンクリート表面を打診し,表面の脆弱化,浮き等の範囲を調査する. 進行程度が大きい部分については,テストハンマーの鋭利な側で叩くと,層状に損傷部分が剥離する.

コンクリート強度性状

1) シュミットハンマによる表面反発硬度

凍害を生じていると思われる部分と、健全部分において反発硬度を 比較することにより、コンクリート組織の損傷の有無を判定する.テ ストハンマーによる音の違いでは判断できない差でも、反発硬度によ り定量化することで判断が容易になる.比較対照とする健全部につい ては、打撃角度、部材厚さ、コンクリートの材齢、湿潤程度などがな るべく測定対象とした部分と同条件になる位置を選定する.



シュミットハンマーによる反発硬度の測定

2) 採取コアによる圧縮強度測定

凍害が進行するとコンクリート強度が低下するので,対象部分からコンクリートコアを採取し, 圧縮強度試験を行う.設計基準強度に達していれば一応問題ないと判断できるが,できれば健全 部からも採取し,両者の強度を比較するのがよい.

試験は,JIS A 1107「コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法」による.これによると,採取コアの直径は粗骨材寸法の3倍以上が必要となるので,粗骨材寸法が20mmの場合はコア径75mmまたは100mm粗骨材寸法が40mmの場合はコア径125mmまたは150mmが標準となる.



写真-4.14 100mm コアと小径コア

但し、圧縮強度試験では最終的に供試体の中央付近が破壊するため、凍害により表面側の損傷程度が大きい場合でも、その結果は試験値に反映されにくい、表面近くの状態を反映する方法として、小径コアにより圧縮強度試験を行う方法がある、小径コアによる圧縮強度策定は、直径が25mm程度で高さは直径の2倍の供試体を使用するので、表層部についての圧縮強度を測定することができ、深部までコアボーリングを行えば、同位置について表層部と深部の強度を比較することも可能である、なお、この試験方法は日本建築センター技術審査証明「小径コアによるコンクリート強度調査法『ソフトコアリング』」による、

3) 採取コアによる静弾性係数測定

凍害やアルカリ骨材反応のように,セメントペーストでマイクロクラックが成長し,組織が内部から損傷してゆくような現象に対しては,圧縮強度よりも弾性係数の方がより敏感に影響が現れる.

採取コアがあれば, b.の圧縮強度試験と同時に行うことができる.測定方法としてはコアの側面にひずみゲージを接着して加力時の圧縮ひずみを測定する方法と,コアにコンプレッソメーターを取り付けて,圧縮変位を高精度変位計(分解能 1/1000mm 程度)により測定する方法がある.ひずみゲージを貼り付ける場合は,ゲージの有効長さは 50mm 程度とする.

音速測定

凍害によりコンクリートの組織が損傷すると,弾性係数が低下するため,コンクリート内部を伝播する弾性波の速度が低下する.このことを利用して,超音波測定器により対象部を伝播する音速を測定することにより損傷度を評価する.

凍結融解試験では損傷度の指標として動弾性係数を用いるが,動弾性係数と音速は比例関係にあることから,同義の測定である.



写真- 4.15 超音波測定器による音速測定状況 柱を挟み込んで測定している

固体中における縦波の速度 C L は,理論的には次式で定義される.

$$C_L = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \times \frac{1 - \nu}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}$$

ここで,

E:縦弾性係数:ボアソン比

:密度

すなわち,凍害によりコンクリートの弾性係数が低下すると,その平方根に比例して音速も低下することになる.但し,現地における測定では,音速は複数の要因が組合わさった結果として得られるので,健全部においても測定し,その値と比較する必要がある.

なお,測定にあたっては端触子を接触させる部分は平滑でなければならないため,凍害による 損傷程度が大きく,表面が荒れている場合には適用できない.

(3) コンクリートの耐凍害性に関する試験・分析

空気量 , 気泡間隔係数

コンクリート中に微細な空気を連行することにより耐凍害性が向上することは良く知られており,JISA5803「レディーミクストコンクリートの空気量は4.5±1.5%と規定されている.図-4.19に示すように,空気量が3%を下回ると急激に耐凍害性が低下する.耐凍害性を評価するに当たっては,まず,この規定値に相当する空気量が確保されているかどうかを確認する必要がある.

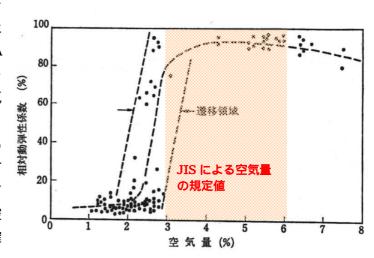


図-4.19 空気量と相対動弾性係数の関係7)

また,空気量が同量であっても,径の大きな気泡がまばらに存在するよりも,径の小さい気泡が密に存在する方が自由水の凍結による膨脹圧を緩和する効果が大きい.気泡分布の密度を表す指標が気泡間隔係数であり,隣接する気泡と気泡間の距離の平均値を表す数値である.

気泡間隔係数と耐凍害性の関係を図- 4.20 に示すが,気泡間隔が $250 \, \mu$ mの場合は耐凍 害性にすぐれており $450 \, \mu$ mより大きいと耐 凍害性が著しく低下する.

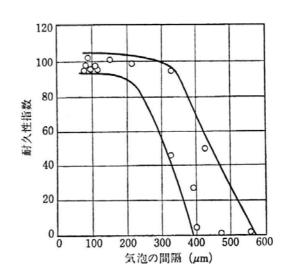


図-4.20 気泡間隔係数と耐久性指数の関係 7)

空気量と気泡間隔係数の測定方法としては,コア等の試料の研磨面について顕微鏡上で気泡間の距離を測定する方法が一般的であるが,画像解析により算出する方法もある.

顕微鏡による方法では,コンクリート供試体を数 cm にスライスし,研磨機で平滑に仕上げた表面を水平 2 方向に平滑できるステージに置き,光学顕微鏡によって気泡の分布状態を測定する.測定はコンクリート表面を一定間隔で移動させて碁盤目状に区切った区切線の交点が気泡断面に合致する割合から気泡量を求めるポイントカウント法と,区切線によって気泡上を横切る際の気泡断面の弦長の総和から空気量を算出するリニヤトラバース法がある.一方,画像処理による方法では,コンクリートの試料切片における気泡内に蛍光染料を添加した充填材で染色し,その後試料面に紫外線を照射して気泡組織のみを発光させ,その際の輝度分布を一定の閾値によって二値化し画像処理によって空気量,気泡間隔などの値を算出する.

配合推定

水セメント比が大きいコンクリートは中性化の進行速度や塩化物の浸透速度が大きいことが知られているが,凍結融解に対する抵抗力も小さい.

水セメント比を変化させた凍結融試験の結果においても,図-4.21に示すように,水セメント 比が小さいほど,耐凍害性が向上していることが解る.

日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事」では,凍結融解作用係数が5以上の場合は,水セメント比 50%以下,5未満の場合でも 55%以下とするように規定されている.

水セメント比は特にスケーリングに対する影響が大きく,凍結融解作用と海水や凍結防止剤の作用を同時に受ける場合など,激しいスケーリングが予想される場合には,水セメント比の上限を小さくする必要がある.

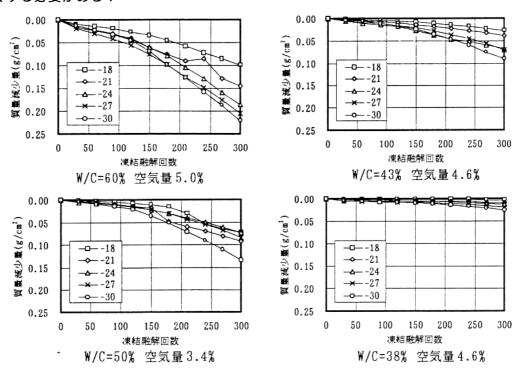


図-4.21 W/C と耐凍害性の関係8)

<参考>コンクリート中の気泡分布

硬化コンクリート中の気泡分布の状態について,一般に次のようなことが言える.

気泡分布の尺度には,気泡径別個数分布,気泡の比表面積,気泡間隔係数などが有用である.

表面活性剤を用いたコンクリートでは,表面活性剤を用いないコンクリートに比べて気泡の個数および気泡の比表面積が大きく,気泡間隔係数が小さい.

一般に A E コンクリートの気泡径は , $20 \sim 1000~\mu$ mの範囲に分布しているが , $100 \sim 400~\mu$ mのものが最も多い .

気泡径の分布は,表面活性剤の種類および銘柄によってかなり異なる場合がある.

気泡径の平均値あるいは気泡間隔係数は, A E 剤の使用量が多いほど, また水セメント比が小さいほど減少する傾向がある. 打込みや締め固め作業によって空気量が減少した場合でも, 気泡間隔係数はあまり変わらない.

空気量の値は 400 µ m以上の大きい空気泡によって支配されるため,微少な空気泡は数が多くても空気量にはほとんど、影響しない.したがって,空気量を測定するだけでは気泡径分布の傾向はわからない.

同一の空気量であっても,個々の気泡が小さくて気泡間の距離が短いほど,水圧の緩和や移動水吸収の作用が強いことから,耐凍害性に優れる.したがって,より本質的には「空気量」よりも「気泡間隔」が重要であり,その指標として気泡の平均間隔である気泡間隔係数が用いられる.下図は気泡間隔係数と耐久性指数の関係であるが,気泡間隔が250 μ m程度以下の場合には凍害を免れており,450 μ m程度以上では激しい凍害を生じている.ACIでは,気泡間隔係数が250 μ m以下になるように推奨している.

また, 気泡間隔係数は使用するAE剤の種類によっても異なる.

参考表-1 AEコンクリートの気泡分布特性の例⁹⁾

		顕微鏡法による硬化コンクリートの測定値					
		空気量	気泡の比表面積	気泡間隔係数	1cm3中に含まれる気泡の個数		
		(%)	(cm2/cm3)	(µ m)	(個/cm3)		
non - A E		1.1	143	659	2840		
	レジン系	4.3	207	239	28040		
	アルキルベンゾール系	4.0	254	200	15220		
	非イオン系	4.6	122	413	6430		

粗骨材の吸水率測定

コンクリートの耐凍害性を向上させるためには,吸水率の小さい骨材を使用する必要がある. JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」では,粗骨材の吸水率を3.0%以下,細骨材の吸水率を3.5%以下と規定している.但し,骨材全体の吸水率が基準値を満たしていても,粗骨材中に軟石が含まれていると,ポップアウトを生じやすい.

吸水率の試験は, JIS A 1110「粗骨材の比重及び吸水率試験方法」による.

細孔径分布測定

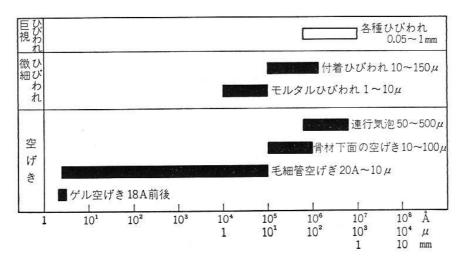
セメント硬化体中の水の凍結温度は細孔径に依存することが知られている.細孔径が小さいほど凍結温度が低くなる傾向にあり,耐凍害性の向上に寄与する.

細孔径分布を測定する方法としては,水銀の表面張力を利用して測定する水銀圧入法が最も広く利用されている.

参考図-2は,水セメント比および練り上がり温度と凍結融解試験による長さ変化率の関係, そのときのコンクリートの細孔径分布を示している.いずれも,細孔径が小さい方にシフトして いるコンクリートの方が耐凍害性に優れていることが判る.

<参考>コンクリートの細孔構造について

セメントペーストおよびコンクリートの微細な空隙組織と凍結融解現象には,参考図-1に示すような関係がある.



参考図-1 コンクリート中の各種空隙の寸法5)

毛細管空隙は常に 100%飽水しているとは限らないが,自由水が存在するとき,温度降下にともない径の小さい部分より順次凍結する.水が氷になると体積が 1.09 倍に増加するので,毛細管容積の 90%以上が水で満たされている場合,氷結の進行にともない,未氷結の水は毛細管より押し出される.この水はセメントペーストの透水性によって硬化体内部を移動し,毛細管よりはるかに大きな気泡空隙に到達したときに解放される.この水の移動は一種のポンプ作用であり,水圧を発生してセメントペーストの微細組織を破壊する.

発生する水圧の大きさには,

セメントペーストの透水性

毛細管から気泡までの移動距離

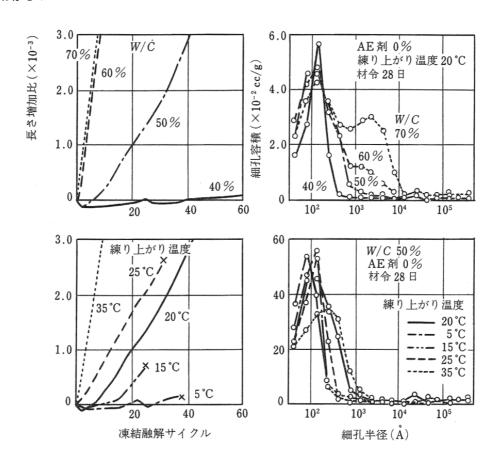
凍結速度

が関係し,多数の気泡が短い間隔で分布しているほど(=気泡間隔係数が小さいほど)水圧は緩和される.このことが,AEコンクリートの凍結融解抵抗性を改善する根拠となる.

コンクリートの細孔構造は,使用する材料,調合,養生方法などによって影響を受け,凍害や塩化物の浸透性, 透水性,二酸化炭素の浸透性などの耐久性に影響を及ぼす各種要因の評価に用いられる.

セメント硬化体中の水の凍結温度は細孔径に依存することが知られている. つまり細孔半径が小さいほど凍結温度が低くなる傾向にある. 参考図-2 にセメント硬化体の水セメント比および練り上がり温度と細孔径分布の関係例を示す.

水セメント比が小さいほど,また練り上がり温度が低いほど細孔径分布は小さい方へ偏り,耐凍害性が向上することがわかる.



参考図-2 水セメント比および練り上がり温度と細孔径分布、耐凍害性の関係10)

凍結融解試験

耐凍害性を評価するにあたって,実際の構造物からコンクリートコアを採取して凍結融解試験 を行うのも有効な方法である.

試験は,JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法」のA法(水中凍結融解試験方法)に準拠する.コンクリート示方書では耐凍害性を評価するにあたって,相対動弾性係数を指標としているが,コアを試験体とする場合,たわみ振動の計測ができないので,重量減少率を指標とすることになる.

但し,実構造物から採取した試料については,既に自然環境下で凍結融解履歴を受けていることを考慮した上で,試験結果を判断しなければならない.

なお,凍結融解試験では,一般にスケーリングによる劣化を評価していないことに注意が必要である.



写真-4.16 写真採取コアの凍結融解試験の例

4-6 コンクリート構造物の各種調査方法

4-6-1 調査方法の概要

コンクリート構造物の調査は,大きく現地における調査と,現地で採取した試料について試験 室にて行う試験・分析に分けられる.

(1) 現地調査の種類

現地調査は,次の3種類に分けられる.

構造物の全体的な変状や環境条件の調査 コンクリートの物性や劣化程度に関する調査 鉄筋の劣化程度に関する調査

(2) 試験室における試験・分析の種類

試験室における試験・分析は次の4種類に分けられる.

コンクリートの組成・品質に関する試験・分析

コンクリートの損傷度に関する試験・分析

鉄筋の物性,劣化程度に関する試験・分析

骨材の物性に関する試験・分析

ここでは,それぞれの調査,試験・分析方法について一覧を示し,その中で比較的適用する頻度が高いと思われる方法について,解説シートを添付した.

一覧表中で「破壊程度」については大・小・なしの3段階評価,「普及度・一般性」「簡便さ・熟練度」「作業効率」について ×の3段階評価を行っているが,評価の目安は次のとおりである.

破壊程度 大:はつりやコア採取など,10~数十センチの範囲の破壊を伴い,調査跡については現況と同等以上の材料(無収縮モルタルなど)による復旧が必要である.

小:数 cm 程度の破壊を伴う.調査跡については劣化因子(水,ガス等)の侵入を防止すれば,強度面での補修を要しない(シーリング材による補修など)

なし:完全に非破壊であり,損傷はない

普及度・一般性 : 一般的に行われており,各種の調査指針等にも標準的な方法として取り込まれている.

:あまり一般的ではなく,範囲や目的を限定した用途で使用されている.

×:研究開発途上の色合いが強く,実務での適用例は少ない.

簡便さ・熟練度:簡便であり, さほど熟練を要しない.

:ある程度の熟練を要するが,一般技術者で対応可能である.

×:専門技術者が行う必要がある.

作業効率 : 準備作業をほとんど必要とせず,1箇所(試料)あたりの測定時間も比較的短いので

流れ作業的に実施することができる.

: 測定前に準備作業などを必要としたり、1箇所(試料)あたりの測定時間がやや長い.

×:前日から準備作業を必要としたり,1箇所(試料)あたりの測定時間が長い.

[現地調査] 構造物の全体的な変状や環境条件の調査(1/2)

		1		1	1	1	ı
機器種類				1)N E C 三栄より数機種 2)日本アピオニクスより数機種 3)ほか、外国製品は多種類			
準拠規準・マニュアル等	特になし	特になし	特になし	1)熱赤外線法によるモルタル吹き 1)N E C 三栄より数機種付け法面の診断マニュアル 2)日本アビオニクスより。 3)ほか、外国製品は多3			
測定精度	近接程度により 差がある	距離とヶ総数に よるが、ひび割 れ幅0.5mm程 度	ひび割れ幅1 mm程度	表面から5~ 10cmまで	ひび割れ幅0.2 ~ 0.3mm	ひび割れ幅1 mm	ひび割れ幅1 mm
費用	安価	やや高価	やや高価	や高価	やや高価	やや高価	やや高価
作業効率				大工力製造			
簡便さ・熟 練度							
普及度 一般性			トンネルで				
破壊程度	なし	なし	なし	なし	は つ	なし	なし
大學	調査者が近接して変状を観察する。対象面に近接するために、各種の足場・機器をめまくる場合がある。	高解像度デジタルカメラに より対象面を撮影し、ひび 割れ等の変状を抽出する。	レーザーを照射し、その反射強度を測定することにより、ひび割れを抽出する	サーモカメラで撮影した表 面温度分布から、内部空隙 等を検出する	トンネル壁面を写真撮影し、 画像データのコンピュータ 処理により連続壁面展開図 を作成する	連続撮影したトンネル覆工 面の画像を電子データとし て記録、合成し展開画像を 作成する	連続撮影した画像を合成 し、覆工面の展開画像を作 成する。
方法	目視	デジタルカメラ	- ルーイ	赤外線	パノラマカメラ	ラインセンサカメラ	スリットカメラ
調査目的	変状分布、程度 の全体把握						
調査対象	外観の変状						
세면 (제면)	会 本						

機器種類 1)石川島検査計測㈱ 1)東横エルメス㈱ 1)東京測振㈱ 1)㈱ハザマ 準拠規準・マニュアル等 距離分解能 1m ひずみ分解能 ±30μ 変位分解能 ±20μ ひずみ分解能 ±4μ 変位分解能 ±2μ 測定精度 費用 高価 高価 高価 高価 高価 簡便さ・熟 作業効率 練度 普及度 一般性 破壊程度 なし なし なし なし なし 制加振時の応答レベルや固有周期、動荷時のたわか量から、剛性や強度低下を評価する ブラッグ光の周波数特性変 化からひずみを計測する マイクロベンディングによる 漏洩光量変化から変位を計 測する 部瑠璃案散乱光の周波数 特性変化からひずみを、も どり時間から位置を計測す 概要 構造物の全体的な変状や環境条件の調査(2/2) 光ファイバー (FBG) 載荷·振動測 定 光ファイバー (BOTDR) **米ファイバー** (OSMOS) 方法 構造耐力の低下 調査目的 構造性能 調查対象 全体

コンクリートの物性や劣化程度に関する調査(1/4)

機器種類	1)シュミットハンマー (富士物産) 2)シュミットハンマー (シュミット社)	2) 3)	1) 3)		1)コンクリートコア採取機(丸東製作所) 2)コンクリートコア切断機(丸東製作所) 3)コンクリート圧縮試験機(島津製作所)
準拠規準・マニュアル等	規1)コンクリート標準示方書 (規準編)(2002年制定) JSCE-G 504-1999 参1)コンクリート診断技術'02 p94	2) 3)	1) 3) 3)	参1)コンクリート診断技術'02 p97	規1)コンクリート標準示方書 (規準編)(2002年制定) JIS A 1107-1993. JIS A 1108-1999 参1)コンクリート診断技術 02 p90
測定精度	測定可能なコン クリート強度の 範囲は測定機 器によって異な るが、10~60N/ mm ² が適用可 能。			同部破壊法の 変動係数は約 10%以下、圧縮 強度推定の信 類限界は+- 20%以下。	
声	英	依 直	依	やや高価	やや高価
作業効率					
簡便さ・熟 練度	特別な技術を必要と しない				
普及度· 一般性		頭とんど 使用されてい ない。	我のの いこ で 世 り に り は り は り は り は が は が は り は を は な り に り に り に り に り に り に り に り に り に り		
破壞程度	\[7	\r\	\r\	小 (試験によって 生じる同部的 な損傷にコン グリー・構造体 に影響を与ぶ ないが、損傷 部を補修する 必要がある。)	中 (試験によって 生じる損傷 は、コンケリー ト構造体に影響を与えない が、損傷部を がある。)
概要	コンクリートの表面をテスト ハンマーによって打撃し, そ の反発硬度から圧縮強度を 求める。	コンクリートの表面を打撃 し、〈ぼみの深さ、直径、面 積等を測定する。	コンクリート表面にピンを賃入してその深さを測定する。	コンクリートの表層部を局部的に破壊し、破壊時の抵抗力を指標として圧縮強度を推進さる。 推定する。	コアによる強度試験はコンケリート構造物の強度を推定する方法の中で最も信頼できる方法であるが、強度はコニックが収取方法、コアのサース、養生方法等に影響を受け、これらの点等と分に理解して試験を実施する必要がある。
方法	反発硬度法 (テストハン マー法)	表面硬度法 (落下式//ンマー法, マー法, ばね式//ンマー法, マー法, 回転式//ンマー法, マー法, マー法, マー法, まず打撃法等,	買入法(局部 破壊法) (ウィンザー 法, 法, こ. P. T. ピン ラスト)	同部破壊試 験 (プルオフ 法 , ブルアウ トト法 , ブレー ケオフ法)	コア強度
調査目的	圧縮強度の推定 医(()		ywn kat √ // ID	異 職 次 上 v	
調査対象	ケ コンクリート 強度				
	ロリン ソー				

機器種類 参1)コンクリート診断技術 02 p105 マ1)コンクリートの試験・分析 マニュアル JCI 2000.5 p155 準拠規準・マニュアル等 強度判定式が 確立されていな い。単独で試験 するより精度が 良い。 強度の推定精 度は余り良くない。 測定精度 やや高価 やや高価 費用 普及度・簡便さ・熟 作業効率 一般性 練度 破壊程度 無 無 超音波法()/【超音波/(ルス(縦波,横波) ンジェット の伝播速度および波形を測 法,ソニック 定する。 ピュア法,ウ ルトラソニック テスタ法等) シュミットハンマ反発硬度法 と超音波法を測定する。 概要 コンクリートの物性や劣化程度に関する調査(2/4) 複合法(シュニットハンマ 反発硬度 法,超音波 法) 方法 調査目的 調査対象

コンクリートの物性や劣化程度に関する調査(3/4)

機器種類			1)エルソニック (東横エルメス) 2)ソニックサーチャー (三協エンジニアリング) 3)ウルコン (日本クラウトクレーマー) 4)バンジット (CNS.Electronics)			1)携帯式振動式ドリル(JIS C 9605)	1)トレント(富士物産㈱) 2)	1)水分計(㈱ケット科学研究所) 2)	
準拠規準・マニュアル等	特になし	特になし	参1)コンクリート診断技術'01p103~106	基1)ISS A 1152 コンクリート の中性化深さの測定方法	基1)ISS A 1152 コンクリート の中性化深さの測定方法	基りNDIS3419「Fリル削孔粉を用 いたコンクリート構造物の中性化 試験方法」	マ-1)コンクリートの試験・分析 マニュアル JCI 2000.5 p140	マ-1)コンクリートの試験・分析 マニュアル JCI 2000.5 p18	マーカンクリートの試験・分析 マニュアル JCI 2000.5 p19
測定精度	良い。但し調査 箇所数が限定さ れる場合が <i>多</i> い。	はつり粉により、 微細なひび割 れは観察しにく い	ひび割れ編 配 筋密度により検 知精度に差が 生じる。ヘアク ラック程の微 細なひび割れ は検知困難。	是1.1。	良い。はつり面 3 を十分に清掃す 0 る必要がある。	やや深めに評 価される		水分蒸発速度 はかなり正確に 測定できる。表 層合水率の推 定も可能。内部 の合水率を測定	あらかじめ求め た簡易吸水速 度と塩分浸透量 の結果に対応さ せ耐久性を評価する。
費用		やや高価	做 便	もも画	やや高価	か	やや高価	做	やや高価
作業効率									
簡便さ・熟 練度			ひび割れ 幅、配筋密 度により検 知精度に 差が生じる						
普及度· 一般性									
破壞程度	¥	K	なし 接触材(グリ ス)により汚れ る	+ ⊕	小~ 丫	4	小 現場で可能な 微破壊試験。		小 現場で可能な 微破壊試験。
概备	ひび割れ位置においてコア を採取し、コア側面またはコ ア採取孔におけるひび割れ 幅を実測する。	ひび割れ部でコンクリートを はつり、はつり面におけるひ び割れの状況を観察・測定 する。	超音波がひび割れ先端を 迂回する際の位相の変化ま たは、伝播時間の遅れから ひび割れ深さを推定する。	採取したコアの割裂面に フェノールフタレイン溶液を 噴霧し、非発色部の深さを 測定する。圧縮強度試験後 のコアも流用可	はつり面にフェノールフタレイン溶液を噴霧し、非発色 部の深さを測定する。	ドリル粉をフェノールフタレイン溶液を含浸させた濾紙で受け、変色時の穿孔深さを測定する測定する。		乾燥度試験紙をコンクリート表面に貼り付け色の変化から水分蒸発速度を求める。	コンクリートに開けたドリルの 削孔に栓をし注水させ、一 定量吸水するまでの時間を 測定し、簡易吸水速度を求 める。
方法	1ア採取	よつじ	超音波法	フェノールフ タレイン法 (コア)	フェノールフ タレイン法 (はつり)		透気試験	乾燥度試験 紙法 (塩化コ バルト法)	簡易吸水速度法 度法
調査目的	ひび割れ深営劣化因子の侵入強度 漏水の危険度	ひび割れ発生原旧因		鉄筋発錆危険度 の評価			透気性		吸水率
調査対象	リート ひび割れ深			中性化深さ			透気性	含 水 奉	吸 不奉

コンクリートの物性や劣化程度に関する調査(4/4)

機器種類	1)ネオサーモ(日本アピオニクス) 2)サーモトレーサー(NEC三栄) 3)その他外国製品は他種類あり	 1)エルソニック (東横エルメス) 2)ソニックサーチャー(三協エンジニアリング) 3)ウルコン(日本クラウトクレーマー) 4)パンジット(CNS.Electronics) 	1)PIT(パイルダイナミック社)	1)I-tec3(伊藤建設)	1)DSP-32/16 (日本フィジカルアコースティック)	1)ハンディーサーチ(日本無線) 2)アイアンシーカー(コマッエンジニアリング)	参1)コンクリート診断技術'02 p102 1/低エネルギーX線装置 (理学電機) 2)Model PC-101H (ポニー工業) 3)Model PI-104 (ポニー工業) 3)Model PI-104 (ポニー工業) 1/100 1/
準拠規準・マニュアル等	参1)コンクリート診断技術102 p102	参1)コンクリート診断技術 '02 p102	· 参1)コンクリート診断技術・02 p102 1)PIT(パイルダイナミック社)	参1)コンクリート診断技術'02 p102 1)I-tec3 (伊藤建設	参りコンクリート診断技術・02 p102	参1)コンクリート診断技術・02 p1021)ハンディーサーチ(日本無線2)アイアンシーカー(コマッエンジニ:	s 参1)コンクリート診断技術'02 p102
測定精度	1)測定精度や適利用限界が気象用限界が気象条件や、対象面の汚れなどに影響を受ける。	1)反射波の読み1)反射波の読み1取りにあたっては、判読のための経験が必要。	1)反射波の読み 取りにあたって は、判読のため の経験が必要。	1)打撃音の解析 にあたっては経 験が必要	1)センサの取付 位置と数、測定 対象物の大きさ により異なる	1)使用する周波 数により、検知 深さや分解能が 異なる	1)測定可能な部 材厚は400mm 程度まで
軍	やや画価	やや高価	やや高価	やや高価	更便	(単)	画
作業効率							
簡便さ・熟 練度							
普及度· 一般性							
破壊程度		″IJλΓc.					
概要	サーモカメラを用いて対象 構造物の表面温度分布を 測定し、熱画像上の異常な 温度分布から、内部欠陥の 存在を推定する。	超音波が発振端子から受信端子へ伝達される際の、伝 端子へ伝達される際の、伝 達時間やひび割れ先端を 迂回する際の位相変化、空 隙等での反射時間から内部 状況を推定する	インパクトハンマー等でコン クリート表面を打撃して弾性 波を発生させ、反射波を受 信端子で測定し、内部欠陥 もお材厚を推定する。超音 波よりも低い周波数成分を 使用する。	鉄球等でコンクリート表面を 打撃したときの打撃音をマ イクロフォンで測定し、音圧 レベルや周波数特性から内 部状況を推定する。	コンクリートのひび割れ発生時に生じる弾性波を検出し、ひび割れ発生位置を特定を持てます。こので割れ発生位置を特定する。	コンクリート内部にインパル ス状の電磁波を放射し、物 性の異なる境界面での反射 波を受信し、異物や空隙ま での距離を求める	対象面にX線を放射し、反 対面でフィルムまたはイメー ジングブレートでの膨光強 度から、内部の埋設物や空 隙の位置、形状を検出す る。
a查目的 方法 /	サーモグラ フィー法	超音波法	衝擊弾性波法	打音法	AE法	電磁波レーダー法	X線法
ille.	内部欠陥の有無、位置の検出						
調査対象	ひび割れ、剥離、空洞						
	ケイロール						

配筋状況、鉄筋の劣化程度に関する調査

機器種類		1)ポテンシャルホイール(富士物産)2)鉄筋腐食電位差計(東亜電波工業)			1)プロフォメーター(富士物産) 2)鉄筋探知器SS-30 (サン10電子研究所)	1)RCレーダ (日本無線) 2)センシオブロ1(コス)	
準拠規準・マニュアル等	参1)コンクリート診断技術'02 p150	参2)コンクリ-ト診断技術102 p160 参2)コンクリ-ト構造物の非破壊検査p25	参1)コンクリート診断技術'02 p164	参1)コンリJ-ト診断技術102 p167 参2)コンリJ-ト構造物の非破壊検査p25	参1)コンクリート診断技術'02 p121	参2)コンクリ-ト診断技術'02 p124 参2)コンクリ-ト構造物の非破壊検査p25	参1)コンクリート診断技術'02 p127 参2)コンクリート構造物の非破壊検 査 p25,p82
測定精度	良い。但し調査 : 箇所数が限定さ れる場合が多 い。	含水率による影響が大きい。判響が大きい。判断指標にあいまりいな区間が大きい。 1.1な区間が大きい。	含水率による影響が大きい。 評価については、 前については、 試案や民間レ ベルの評価基準が提案されている段階、	表面の湿潤状 態の影響が大き い。ごく表層の 電気抵抗を測 ざしているに過 ざない。	配筋ピッチが密な場合、周囲の鉄筋の影響を受け、正確な測定が正確な測定が、正確な測定が必要を受け、正確な測定が可能を必要を受け、正確な測定を表して、正確な過度を表している。	反射波を測定 する装置のた め、測定精度は 最も計測面側に 位置する鉄筋に 対して有効。	信頼性が高い。 部材が厚いほど 照射時間が増 大するため普通 コンクリートで約 350mm厚が適 用限界。
費用	安価	中やも	やや高価	中のも	做 直	田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田	画
作業効率		×					×
簡便さ・熟 練度	特別な技 術を必要と 1,ない	×					
普及度 一般性	#40-						
破損	К	小 (電極の取付 箇所で鉄筋を はつり出す)	小 (電極の取付 箇所で鉄筋を はつり出す)	J #	は	J th	なし
概要	鉄筋探査機で鉄筋位置を 確認した後、電動ピック等に よりかぶりコンクリートをはつ り、鉄筋を直接目視し、腐食 度のグレーディングや残存 断面積の測定を行う。	コンクリート表面に外部電極を当てて、網材の腐食状況を調べる方法、鋼材の腐食 した個所と腐貨していない 個所とでは、電位が異なることを利用する。	コンクリート表面に当てた外 ・部電極とコンクリート内部の ・調材との間に微弱な電流を 加えて、鋼材の形抗値から 調材の腐食する速度を推定 する方法。	コンケリートのかぶり部分の 電気抵抗を測定すること て、調材の腐傷のしやすさ を調べる方法。電気抵抗が コンケリートの組成やコンケ リート中の塩化物イオン量 含水量などによってかわる ことを利用する。	コイルをもつセンサーから磁場を発生され、鋼材などの磁性体によって生じる磁場の変化を感知して、鋼材の位置などを調える方法。	コンクリート表面からマイクロ 波を放射して、反射してきた 時間を測定。画像処理する ことによって剥離や空洞、コ ンクリート内部の鋼材の位 置を調べる方法。	コンクリート表面からX線を照射し、対面する裏面にフィルムを配置することによってびる過像を撮影し、鉄筋や配管物や配設物およびで消やむで割れ等の変状を検出する。
方法	はつり法	自然電位法	分極抵抗法	電気抵抗法	電磁誘導法	電磁波レーダ法	X線法
調査目的	残存耐力の推定 腐食の進行予測				位置、かぶり厚さ		
調査対象	腐食程度				10000000000000000000000000000000000000		
計画	鉄筋				<u> </u>		

【試験室における試験・分析】 コンクリートの組成、品質に関する試験・分析(1/2)

機器種類	1)圧縮強度試験機	1)ひずみ	1)コンゴ レッンメータ	1)圧縮強度試験機	1)気泡間隔測定装置	1)耐圧試験機を介した加圧装置	1)ポロシメータ(島津製作所)	1)細孔分布測定装置(日本ペル) 2)ガス吸着装置(ユアサアイオンクス)
準拠規準・マニュアル等	参1-コンクリート診断技術102 p90 規1-JIS A 1108 1999「コンクリート の圧縮強度試験方法」 規2-JIS A 1149 2001「コンクリート の静弾性係数試験方法」	マ1-コンクリートの試験・分析マニュア JLP152		参1・寺田, 谷川, 中込, 佐原: 小径コアによる構造体コンクリー ト強度の推定法, コンクリート工学, Vol.39,No.4,2001.4	マ1-コンクリートの試験・分析マニュア JレP47	マ1-コンクリートの試験・分析マニュアルア48	マ・-コンクリートの試験・分析マニュアルア127	マ1-コンクリートの試験・分析マニュアJLP127
測定精度	良い。ただい、コアの寸・法、養生方法等に影響・充受ける。	ゲージの貼布位置により出力値が異なる	ゲージの貼布位置によ リ出力値が異なる	点U.。		やや高価 測定精度に課題あり	点U.。	使用する気体により測 定値が異なる場合があ る。
量	中や高価	もも高価	内	放	画	中や高価	やや高価	もも画
作業効率					×	×		
調さる観点を表現を表現					熟練する	顕 法 音 音	×	×
普及度·一般 性					×	×	×	×
カカラ	採取したコンクリートのコアから 圧縮強度および弾性係数を調べる。	圧縮強度試験時の縦ひずみと 応力の関係から、静弾性係数を 縦ひすみと横ひすみの関係から ポアソン比を求める	圧縮強度試験時の縦ひずみと 応力の関係から、静弾性係数を 縦ひずみと横ひずみの関係から ガアソン比を求める	、直径20mm程度の小径コアをコア採取装置により採取した後、 圧縮強度試験を行い、その試験 結果をもとに、あらかじめ定めた 実験式を用いて補正することに より、構造体コンリート強度を 推定する調査方法である。	コンクリート試料を数cmにスライスし、研磨機で平滑に仕上げた試験体表面を気泡間隔測定装置で空気量等を測定する。	加圧装置にて供試体に水を圧入して空気量を測定する。	水銀の表面張力が大きいことを 利用して粉体の細孔に水銀を侵 人させるために圧力を加え、圧 力と圧入された水銀量から比表 面積や細孔分布を求める。	窒素吸着によるセメント硬化体の 細孔径分布および比表面積を 測定する。
方法	圧縮強度	メトレイン ツーグ ジー	コンプトッソメータ	小径コアによ る方法 あ方法	顕微鏡法	高水压法	水銀圧入法	気体(窒素) 吸着法
調査目的	压缩強度弹性係数	静弾性係数ポアソン化		圧縮強度	, 気泡間隔係数	公子	細孔径分布	
調査対象	コンク数・弾性係リート				公分量·維力 公分布			

コンクリートの組成、品質に関する試験・分析(2/2)

機器種類		1)倫光顕微鏡(ニコン)	参1-コンクリート診断技術:02 p1341)ICP発光分光分析装置(島津製作所・マ1-コンクリートの試験・分析マ パーキンエルマージャパン)ニュアルP43			1)透水試験装置	1)透気試験装置
準拠規準・マニュアル等	参1-コンクリート診断技術102 p134 マ1-コンクリートの試験・分析マニュアルP39	参1-コンクリート診断技術'02 p1341)偏光顕微鏡(ニコン)マ1-コンクリートの試験・分析マニュア J.P.P.42	参1-コンクリート診断技術102 p134 マ1-コンクリートの試験・分析マニュアJVP43	参1-コンクリート診断技術102 p134 マ1-コンクリートの試験・分析マニュアルP44	マ1-コンクリートの試験・分析マニュアルP137	マ1-コンクリートの試験・分析マニュアルP138	マ1-コンクリートの試験・分析マニュアルP140
測定精度	単位水量には相当大 きな誤差が含まれるお それがある。						
費用	9	高価	高価	やや高価	やや高価	やや高価	やや高価
作業効率	×	×	×	×			
簡便 さ・熟 練度	×	車 職を車 する要	×	×			
普及度·一般 性		×	×	×	×	×	×
概要	・打設されたコンクリートの材料構 成がどのようなものか、配(調)合 どおりのものであるか否かを把握 する。	石灰石を骨材として用いている 場合にも適用可能な硬化コンク リートの単位セメント量を推定す る方法	セメント協会法の欠点である「セメント水和物中のカルシウムと骨材中のカルシウムを区分できなけにと、の解消を図った方法である。	セメント協会法の欠点である「セメント水和物中のカルシウムと骨材中のカルシウムを区分できないこと」の解消を図った方法である。	一定の圧力の水を作用させ、一 定時間内に圧入した曽量または 浸透深さによってコンクリートの 水密性を評価する。	岩一定の圧力で直接供試体に水 を作用させ、単位時間に単位断 面を通って流出した水量を計り 圧力と流出量との関係から透水 性を求める方法	一定の圧力の空気を試験体に 作用させ、空気の流れが定常に なった後、流量を測定し、ダル シー則より透気係数を求める。
方法	セメント協会法	フッ酸法	ギ酸法	グルコン酸法	インプット法	アウトプット法	透気試験
調査目的	配合推定試験				透水係数		透気係数
調査対象	コンク 配合 リール				<u></u>		

コンクリートの損傷度に関する試験・分析(1/3)

機器種類	フェノールフタレイン1%アルコール溶液	示差熱重量分析装置	X 線マイクロアナライザ			
準拠規準・マニュアル等	マ1)JCI炭酸化研究委員会報告書:コンクリートの炭酸化に関する研究の現状、1993	参1)福島敏夫ほか、コンクリートの、 中性化深さの物理化学的意味に、コンパ、セメント・コンクリート論文 集、No43,pp.424-429,1989	参1)小林一輔、コンクリートの炭酸化に関する研究()、生産研究、VOI.40,No.11,pp.570-572,1988	規1)JCI-SC4「硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法、コンフリート構造物の腐食」防食に関する試験方法ならびに規準(案)、日本コンクリート工学協会、1987.4	現1)JCI-SC4 極化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法、コンクリート構造物の腐食・防食に関する試験方法ならびに規準(案)、日本コンクリート工学協会、1987.4	規1)JCI-SC4 ¹ 硬化コンりJート中 に含まれる塩分の分析方法、コン クリート構造物の腐食・防食に関す る試験方法ならびに規準(案)、日 本コンりJート工学協会、1987.4
測定精度	pH8.6以上で着色する。 る。	水酸化カルシウムと炭酸カルシウムの量から 割断するので、精度は 高い。	炭素の分布から中性化! 深さを求めるので精度(は高い。	他の方法とさほど差はない	他の方法とさほど差はない	他の方法とさほど差はない
費用	舟 一	即個もも	高価	中や高価	中 も ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・	甲の中の田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田
作業効率		×	×			
はは、関係は、関係は、対象を対象を対象を対象を対象を対象を対象を対象を対象を対象を対象を対象を対象を対		×	×			
普及度,一般性		×	×			
養棚	コア試験体を割製し、割裂面に フェノールフタレインアルコール 1%溶液を噴霧する。一般に PH8.6以上で赤色に着色する。 この未着色部分が中性化深さで ある。	コア試験体を深さ毎にスライスし それぞれ微粉未試料を作成す る。この試料を常温から1000 程度まで定産で昇温することに より、水酸カルシウムおよび炭酸 カルシウム量を把握するもので ある。	試験体の炭素の分布を調べるもので、その結果から炭酸化した 節で、その結果から炭酸化した 範囲を測定する。	硫酸酸性溶液中で、塩化物イオンが銀イオンと反応して生じる塩 化銀(沈観物)の重量を測定することにより、塩化物イオン量を ることにより、塩化物イオン量を 算出する。 C1-+Ag+ AgCI(白色沈殿 物)	指示薬としてクロム酸カリウムを 用い、硝酸銀溶液で塩化物イオ ンを滴定する方法である。クロム 酸イオンの存在下で塩化物イオ ンを含有した溶液に硝酸銀溶液 を滴下していく、塩化銀の方が クロム酸銀より毛溶解度が小さい ために先に沈殿が生じる。塩化 物イオンが塩化銀として完全に 沈殿した後、続けて滴下される 余剰の硝酸銀とクロム酸が反応 し、赤褐色のクロム酸が反応 し、赤褐色のクロム酸が反応 し、赤褐色のクロム酸が反応 し、赤褐色のクロム酸が生じ る。この星色をもって終点とする 方法である。	塩化物イオンを含む溶液中にクロム酸銀を加えると、塩化物イオンが塩化銀となり、クロム酸イオンが遊離生成する。このクロム酸イオンが遊離生成する。このクロム酸イオンの特性吸収液長領域における吸光度法を測定することにより、塩化物イオン量を求める方法である。
力法	フェノールフ タレイン法	示差熱重量 分析	E P M A	投會	容積法	吸光光度法
調査目的	平性化配配因の測分の 大学 の 大学			塩化物イオン濃度 の測定 鉄筋腐食の予測		
調査対象	コンク 中性化深さリートの 損傷度			福代物イオン濃度		

|AUT-501自動滴定装置;東亜電波工業 |ど エルソニック:東横エルメス 機器種類 規1)JCI-SC4⁽硬化コンクリート中 A I に含まれる塩分の分析方法、コン ど クリート構造物の腐食・防食に関する試験方法ならびに規準(案) 日本コンクリート工学協会、1987.4 参り山下英俊ほか:超音波伝播 1 速度を用いた凍害深さの推定、コンクリート工学論文集、第7巻第2号、フp.179-186,1996 規1)コンクリートの凍結融解試験 方法(JIS1148 - 2001) 準拠規準・マニュアル等 他の方法とさほど差はおない 測定精度 精度はやや高い 精度は高い 高価 凍結融解 試験36万 円/3本 高価 超時波伝 1番速度:1 0万円/館 所, 細孔 26分布:5 やや高価 費用 作業効率 × 聞さ練し熟度 × 普及度· 性 × 反応そのものは重量法と同様、 硝酸銀溶液を用いた塩化物イオンの沈殿滴定法である。反応の 当量点近傍で被測定液の特性 に大きな窓化が生じるのを電極 電位の測定から把握する方法で ある。指示率のように宝色の変 化を見るのではな、電気化学 的な変化を捉えるので微量分析 にも適用しうる。指示電極として 塩化物イオン量選択性電極を使 用する。 コングリート試料を対象として試験を行った場合、試験を行った場合、試験結果は全塩分量および可溶性塩分量として示される。 使用した骨材の物性他が吸水率3%以下、安定性損失重量12%以下、安定性損失重量1分%以下であると耐凍害性に得する。またコンクリートの場合は、凍結融解試験の結果が一般に60%以下だと耐凍害性に得する コンクリート表面から深さ毎に超 音波伝搬速度や細孔径分布を 測定する。 概要 コンクリートの損傷度に関する試験・分析(2/3) 超音波伝播 速度 . 電気化学的 方法 凍害発する可能性 骨材の品質 細孔径分布 方法 塩化物イオン濃度 の測定 鉄筋腐食の予測 調査目的 凍害深さ コンク リートの 対震度 損傷度 調查対象 凍害

コンクリートの損傷度に関する試験・分析(3/3)

機器種類				
準拠規準・マニュアル等	規1)コンクリートのアルカリシリカ反応性判定試験方法(案)(JCI-AAR-3-1987) 参1)コンクリート診断技術 02[基礎編]、日本コンクリート工学協会、pp.172	参1)コンクリート診断技術 02[基礎編]、日本コンクリート工学協会、pp.172	参1)コンクリート診断技術 02[基礎編]、日本コンクリート工学協会、pp.172	
測定精度				
費用	中心や	節値やも	更	田
作業効率				
間さば関係は	b)			
普及度·一般 性				
義	・促進条件 温度40、温度100%の条件下 にて養生 ・判定基準 阪神高速公団 全膨張量が 0.1%を超える場合、有害と判定 する。 建設省 建設省総合プロンゴか コンクリートの耐久性向上技術 の開発」では40、100%R.H.の 条件下に73週間養生し、0.65% 以上の膨張量を示すものを有害 または潜在的有害と判定する。	・促進条件 温度50 の飽和NaCl溶液中に 浸漬 ・判定基準 試験材齢3ヶ月での膨張量で以 下のように判定する。 0.4%以上:膨張性あり 0.1~0.4%:不明確 0.1~表満:膨張性なし	・促進条件 温度80 の1NのNaOH溶液中 に浸漬 ・判定基準 ASTM C 1260-94の判定基準: 試験開始後14日間での膨張量 で以下のように判定する。 0.1%以下の場合:無害 0.10~0.20の場合:無害 (この場合、14日以降も更に 試験を継続する。) 0.20%以上の場合:潜在的に	中性化深さと同じようにコア試験 体を割裂し割裂面に特殊な診断 薬をスプレーする。硫酸が浸透 でしない健全な部分でけが赤 褐色に発色し硫酸劣化している 部分は発色しない。発色しない 部分は発色しない。発色しない 部分までが劣化深さである。
	JCI-DD2法	デンマーが法	カナダ法 (NBRI法)	劣化診断等による測定
VJJ MJ V V V V V V V V V	アルカリ骨材反応今後の進行予測			1000日派さを予測 9.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2
調査対象	アルカリ骨材反応			化学的侵食

鉄筋の物性、劣化程度に関する試験・分析

	5		5	
機器種類	プラニメータ			
準拠規準・マニュアル等		良い、腐食前の鉄筋重 参・1・コンクリート診断技術で1, p155 量は通常未知なので 規・1・コンクリート中の鋼材の腐食評価計算上の値を使う。 方法」(JCI-SC1)	規-1'金属材料曲げ試験方法」 (JIS Z 2248-1996)	規-1'金属材料引張試験方法」 (JIS Z 2241-1998)
測定精度	良い。 位し調査箇所数 が限定される場合が多 い。	良い。腐食前の鉄筋重 量は通常未知なので 計算上の値を使う。	良い。	良い
重用	もも画	中やも	中でも	もも画角
作業効率				
簡 さ 練 類				
普及度·一般 性				
盤辮	コンクリート構造物から取り出し た鉄筋に対して、腐食状況を正確に写し取り展開図を作成す る。更に腐食部分の面積をプラニメータや画像処理等により測定する。	コンクリート構造物から取り出した鉄筋の表面に付着したモルタルを除去し、鉄筋重量を測定し 調を除去し、鉄筋重量を測定し 請を除去した後、再度鉄筋重量を測定する。	押曲げ法、巻付け法 Vブロック法 試験片を曲げ装置から取り外し た後、わん局部外側の裂け傷そ の他の欠点の有無を肉眼で観 察する。	オフセット法、永久伸び法全伸び法全伸び法
方法	腐食面積率	重量減少率	曲げ試験	
調査目的	コンクリート中の鋼 材の腐食評価 残存耐力の推定		残存耐力の推定	残存耐力の推定
調査対象	腐食、防食		曲げ強度	引張強度
補	袋	,		

骨材の物性に関する試験・分析

機器種類	9 偏光顕微鏡、偏光投影機 メーカー:(株)ニコン、オリンパス等 メーカー:(株)ニコン、オリンパス等 X線回折装置 メーカー:(株)川ガク、(株)島津製作所等 価格1700万~2000万程度 走査電子顕微鏡 メーカー:日本電子(株)、(株)日立製作所等 (価格:小型500万程度、大型1000万~2000	恒温水槽、電気炉等	恒温水槽、電気炉等	ピカノメーター、乾燥機等	恒温貯蔵容器、モルタル製作機器製砂器(ロッドミル等)	恒温貯蔵容器、モルタル製作機器製砂器(ロッドミル等)	69
準拠規準・マニュアル等	参-1「コンクリート診断技術'01, p16 参-2「アルカリ骨材反応の診断」/ 林一輔編集	参-1「コンクリート診断技術'01, p1 規-1「骨材のアルカリシリカ反応性 試験方法」(化学法) (JIS A 1145- 2001)	規・1・コンクリート用骨材のアルカリ シリカ反応性評価試験方法。(改良 化学法) (JSCE-C 511- 2001)	規-1「粗骨材の密度及び吸水率の 試験方法」(JIS-A-1109-1999) 規-2 細骨材の密度及び吸水率の 試験方法」(JIS-A-1110-1999)	参-1「コンクリート診断技術」01。p1 恒温貯蔵容器、モル規・1・骨材のアルカリシリカ反応性 製砂器(ロッドミル等)試験方法。(モルタルパー法)(JISA 1146-2001)	参-1・コンクリート診断技術・01, p1 規-1・骨材のアルカリシリカ反応性 試験方法, (促進モルタルパー法) (ASTM C 1260)	参-1 [・] コンクリート診断技術 ^{101, p169} 規-1 [・] 骨材のアルカリシリカ反応性 試験方法 (コンクリートプリズム法) (ASTM C 1293)
測定精度	推測程度	やや良 判定できない骨材もあることに留意する。	やや良 判定できない骨材もあることに留意する。	配	やや良 膨張の進行によっては 適切に判定できないも のがある。	やや良 膨張の進行によっては 適切に判定できないも のがある。	
世	恒	一	恒	甲	画	画	画面
作業効率	×				× 86.月間	14日間	
調ける機関が数	×						
普及度·一般性	小 実施できる機 関は限られる						1 7
大学	使用骨材の岩種や骨材に含まれる反応性鉱物の種類を調べることにより、骨材のアルカリ骨材反応性を間接的に推定する。	粒度0.15~0.3mmに調整した骨 材試料25gと1NのNaOH由応益 を80 の温度条件で24時間保 持したときに得られたアルカリ濃 度減少量と溶解シリカ量で判断 する。	化学法のアルカリ濃度減少量 (Ro)と溶解シリカ量(So)の経時変 化を求め、これらから得られる指 標RoOとSc24を用いて、コンク リートとして有害な膨張量を生じ ない原価のアルカリ量を化学的 に推定する。 (JSCE-C	吸水率試験用試料を0.19まで 計った後、105±5で一定質量 となるまで乾燥し、デジケータ - 内で室温まで冷やし,その質量 を計測する。	セメントの等価アルカリ量(Na eq.)が1.2%になるように、水酸化 ナリウムを添加したモルタル供 試体を起気箱(温度40、相対 湿度100%)に保存し、所定間隔 のでのモルタル膨張量を測定す る。	温度80 の1NのNaOH溶液中に浸漬したモルタル供試体の14日間の膨張量を測定する。 (ASTM C 1260)	コンクリート用骨材のアルカリシリカ反応性を、実際のコンクリート供試体で次試験する。
方法	編光顯微鏡 法 走查型電子 顕微鏡法 粉末×線回 折法	大学 法	改良化学法	吸水率試験	モルタル バー法	促進モルタルバー法	コンクリート プリズム法
調査目的	アルカリ骨材反応 に対する有害、無 害判定	アルカリ骨材反応に対する有害、無害判定	化学法に同様	骨材の吸水特性		アルカリ骨材反応 に対する有害、無 害判定	アルカリ骨材反応 に対する有害、無 害判定
調査対象	反応性			吸水性	モルタルの 膨張反応性		コンクリート の膨張反応 性
HD'							•

骨材用試験方法

新	が小さな	田箱任男	# #
 	1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1		
JIS A 1102	1999 骨材のふるい分け試験方法	コンクリートに用いる骨材のふるい分け試験	
JIS A 1103	1997 骨材の微粒分量試験方法	骨材に含まれる粒子のうち、網ふるレ175μmを通過するものの量を決める試験	
JIS A 1104	1999 骨材の単位容積質量及び実績率試験方法	コンクリートに用いる骨材の単位容積質量及び実績率の試験	
JIS A 1105	1993 細骨材の有機不純物試験方法	モルタル及びコンクリートに用いる細骨材の中に含まれる有機不純物の有害の概略を調べる試験	
JIS A 1109	1999 細骨材の密度及び吸水率試験方法	細骨材の密度及び吸水率試験	
JIS A 1110	1999 粗骨材の密度及び吸水率試験方法	粗骨材の密度及び吸水率試験	
JIS A 1111	2001 細骨材の表面水率試験方法	細骨材の表面水率の試験	
JIS A 1121	2001 ロサンゼルス試験機による骨材のすりへり試験方法	ロサンゼルス試験機による粗骨材のすりへり試験	
JIS A 1122	1998 硫酸ナトリウムによる骨材の安定性試験方法	硫化ナトリウムの結晶圧による破壊作用に対する抵抗性を基準とする骨材の安定性試験	
JIS A 1125	2001 骨材の含水率試験及び含水率に基づ(表面水率の試験方法	骨材の含水率を乾燥前後の質量差によって求める試験及び表面水率を含水率によって求める試験	
JIS A 1126	2001 ひっかき硬さによる粗骨材中の軟石量試験方法	ひっかき硬きによる粗骨材中の軟石量試験方法	
JIS A 1134	1999 構造用軽量細骨材の密度及び吸水率試験方法	構造用軽量細骨材の密度及び吸水率試験方法	
JIS A 1135	1999 構造用軽量粗骨材の密度及び吸水率試験方法	構造用軽量相骨材の密度及び吸水率試験方法	
JIS A 1137	1998 骨材中に含まれる粘土塊量の試験方法	骨材中に含まれる粘土破量の試験	
JIS A 1141	2001 骨材中の密度1.95g/cm³の液体に浮く粒子の試験方法	骨材中の密度198g/cm3より軽い粒子を近似的に測定する試験	
JIS A 1142	2001 有機不純物を含む細骨材モルタルの圧縮強度による試験方法	JIS A 1105において試験溶液の色が標準色より濃くなった細骨材の有機不純物の影響をモルタル圧縮強度により試験する方法	
JIS A 1143	2001 軽量粗骨材の浮粒率の試験方法	構造用軽量粗骨材の浮粒率の試験	
JIS A 1145	2001 骨材のアルカリシリカ反応性試験方法(化学法)	コンクリート用骨材のアルカリシリカ反応性を、化学的な方法によって比較的迅速に判断する試験	モルタルバー法を実施する際には高いアルカリシリカ反応性と顕著な
		粒度0.15 - 0.3mmに調整した骨材試料25gと1NのNaOH溶液25mlを80 の温度条件で24時間保持した時に得られたアルカリ濃度減少量(Rc)	ペシマム現象を留意する必要がある。
		と溶解シリカ量 (Sc)よリアルカリ骨材反応に対する反応性を判断する試験	
JIS A 1146	2001 骨材のアルカリシリカ反応性試験方法(モルタルパー法)	モルタルバーの長さ変化を測定することによって、骨材のアルカリシリカ反応性を判定する方法	判定には長時間を必要とするとともに、測定期間中に供試体内部より
		セメントの等価アルカリ量 (Na2O eq.) が1.2%nなるように、水酸化ナトリウムを添加したモルタル供試体を湿気箱(温度40 、相対湿度100%)	比較的多量の水酸化物イオンが漏出することが問題である。
		に保存し所定の間隔でモルタルの膨張量を測定してアルカリシリカ反応に対する反応性を判断する試験	
JIS A 5011-1	1997 付属書1 高炉スラグ骨材の化学成分分析		
JIS A 5011-1	1997 付属書2 高炉スラグ細骨材の貯蔵の安定性の試験		
JIS A 5011-2	1997 付属書 フェロニッケルスラグ骨材の化学成分分析方法		
JIS A 5011-3	1997 付属書 銅スラグ骨材の化学成分方法		

THE WINDE		11 4 777	
ASTM C 289	(万字法) (日本エニカニ デーン	JD A THPD コンカーコンカー I III B A THPD コンコナロアルギーコ A R D A CONTROL OF CONTROL I WAS A FILED II WAS A CONTROL II A TASE	
ACTM C 1293		なのアルカックッカ及心はを、通及。で材のアルカッショカ反応性を、実際の1	
土木学会基準			
JSCE-C 502	1999 海砂の塩化物イオン含有率試験方法(滴定法)	海砂の塩化物イオン含有率を滴定法によって測定する試験	
JSCE-C 503	1999 海砂の塩化物イオン含有率試験方法(簡易測定器法)	海砂の塩化物イオン含有率を簡易な塩化物イオン含有率測定器によって測定する試験	
JSCE-C 511	2001 コンクリート用骨材のアルカリシリカ反応性評価試験方法(改良化学法)(案)	JIS A 1145のアルカリ濃度減少量 (Rc)と溶解シリカ量 (Sc) の経時変化を求め、これから得られる指標、RcoとSc24を用いて、コンりリートとし	
		て有害な膨張を生じさせない限界のアルカリ量を化学的に推定する試験	
その色			
	岩石学的試験		
	(偏光顕微鏡観察、粉末X線回折、SEM-EDXA、赤外線吸収スペクトル分析)		

鋼材用試勵	試験方法				
州	年展	炒化酱 基	田 響 田 瀬	4 金	
JIS Z 2241	1998	金属材料引張試験方法	金属材料の引張試験		
JIS Z 2248	1996	金属材料曲げ試験方法	金属材料の曲げ試験		
JCI-SC1	1987	JCI-SC1 1987 コンクリート中の網材の腐食評価方法	鉄筋の腐食面積率および腐食による減少重量試験	一分ラニメータおよび画像処理	

4-6-2 各調査方法の詳細

各点検,調査・分析方法の詳細について,データシート形式で整理した.

- (1) 現地における調査
- 1) 構造物全体
- 2) コンクリート
- 3) 鉄筋
- (2) 試験室における試験・分析
- 1) コンクリートの品質
- 2) コンクリートの損傷度
- 3) 鉄筋
- 4) 骨材

【現地における調査】

大分類	小分類	手法		頁
			目視	4-64
			デジタルカメラ、高解像度CCDカメラによる撮影	4-65
			連続写真(パノラマカメラ)	4-66
	全体的な劣化の把握 (外観、表層の変状)		連続走査画像	4-67
。 推"生物人什	,		スリットカメラ	4-68
a.構造物全体			レーザー	4-69
			赤外線法	4-70
	A / I / / / / / / I = I = I = I		振動測定による方法	4-71
	全体的な劣化の把握 (構造的変状)		光ファイバーによるひずみ計測	4-72
	(特色的交扒)		アコースティック・エミッション法	4-73
			はつりによる方法	4-74
			コア採取による方法	4-75
	ひび割れ深さの測定		超音波法(直角回折法)	4-76
			超音波法(T-Tc法)	
			ガス検知法	4-77
	中性化物さの測字		はつり法	4-78
	中性化深さの測定		ドリル法	4-79
			反発硬度法	4-80
b . コンクリート	没 度性宁		局部破壊試験法(プルオフ法、プルアウト法、プレイクオフ法)	4-81
ロ・コングリード			超音波法(超音波伝播速度)	4-82
			複合法	4-83
	乾燥度·吸水性		乾燥度試験紙法	4-84
			高周波水分計による測定	
			簡易吸水速度法	4-85
			超音波法	
	内部空隙、版厚		弾性波法(衝擊弾性波法、打音法)	4-86
			電磁波レーダー法	4-87
			X線法	4-88
	鉄筋位置の測定		電磁誘導法	4-89
			電磁波レーダー法	4-90
			X線法	4-91
c.鉄筋			はつり法	4-92
	鉄筋腐食状況 -		自然電位法	4-93
			ハセルナンナ	1 01
			分極抵抗法	4-94

項目	目視
概要	調査員が近接して目視、または双眼鏡等を使用して観察する。
	必要に応じて、打音により浮きの有無を調査する。
適用対象·範囲	コンクリート構造物全般
機器·装置	·双眼鏡
	・必要に応じて高所作業車等の仮設足場
	・カメラ
調査方法	調査範囲の特定
	対象面の観察、記録
	必要に応じて打音調査を行う
	変状を図面上に記録する
	高所や危険箇所については調査方法自体よりも、近接方法が問題となる。
	·仮設足場、高所作業車
	・橋梁点検車、トンネル点検車
	·ラジコンへリ搭載CCDカメラ
判断基準	・各種点検マニュアル、劣化度判定基準による。
特徴	・最も簡易であり、全ての調査において基本となる調査である。
留意点	・現場での手間を要する。
	・調査員による個人差が生じる。
	・近接するための足場が必要となることがある。

項目	デジタルカメラ、高解像度CCDカメラによる撮影
概要	高解像度のデジタルカメラまたは高解像度CCDカメラにより、可視情報としての変状を記録する。パソコン処理により、展開図の作成や、ひび割れの抽出ができる。
適用対象·範囲	対象はコンクリート構造物全般であるが、トンネルや橋梁の床版における適用が進んでいる
機器·装置	・デジタルカメラ、高解像度 C C D カメラトンネルの調査は、電源、照明、撮影・記録設備を備えた専用車で行うことが多い。 営団地下鉄の例 赤外線 + C C D カメラ搭載診断車
調査方法	撮影範囲の設定 撮影・記録 画像から変状の抽出 現段階では、パソコンによる自動抽出は困難。オペレータが画像上で抽出する。 画像のデジタル処理(幾何補正、貼り合わせ等) 変状抽出図の作成、数量積算 でひかか フルドジョイン リーモグラフィー 内部欠解検知 リリカル 大海でが のがあり、フリカル 大海でが のがあり、フリカル 大海でが のがあり、フリカル 大海でが のがあり、フリカル 大海でが のがあり、フリカル 大海でが のがあり、フリカル 大海でが のがあり、フリカル 大海でが のがあり、フリカル 大海でが のがあり、フリカル 大海でが のがあり、フリカル 大海でが のがあり、フリカル 大海でが のがまた。 フリカル 大海でが 大海でが 大海に大海 大海でが 大海でが 大海でが 大海でが 大海でが 大海でが 大海でが 大海
判断基準	・各種点検マニュアル、劣化度判定基準による。 ・過去の撮影データがある場合には、経年による変化を把握しやすい。
特徴	・個人差のない客観的なデータとして保存することができる。 ・パソコン処理により、幾何補正や貼り合わせ処理、展開図の作成ができる。 ・現段階ではひび割れ幅の抽出限界は0.2mm程度。 ・今後、デジタルカメラとパソコンの性能向上により、精度と能率の向上が期待できる。
留意点	・画素数と撮影範囲の関係により、画像上で認識できるひび割れ幅が決まるので、必要な分解精度に合わせて、撮影距離やズームを設定する。 ・対象面が汚れていたり、暗いとひび割れを認識しずらくなる。

項目	連続写真(パノラマカメラ)
概要	パノラマカメラによりトンネル壁面を写真撮影し、画像データをコンピュータ処理することにより、従来の人手によるトンネルの検査・管理の合理化を図る。また、連続壁面展開図を用いて、トンネルの変状を客観的かつ正確に記録することができる。
適用対象·範囲	トンネル覆工
機器·装置	
調査方法	パノラマカメラをトンネル中心軸に据え付けて、カメラを回転させながら輪切り方向に壁面の画像を撮影する。これをパソコンに取り込んで画像処理によりつなぎ合わせ、連続壁面展開図を作成する。
判断基準	·幅0.2~0.3mmのひび割れも検出可能
特徴	・現場作業の効率化を図ることができる。 ・調査者の主観によらない視覚化ができる。
留意点	・撮影速度は一晩で1km

項目	連続走査画像
概要	高解像度電子カメラであるラインセンサカメラを用い、トンネル覆工面の画像を連続的に撮影し、電子データとして記録することにより、トンネル覆工の検査業務の合理化を図る。撮影されたデジタル画像を合成することにより、覆工面の展開画像を作成できる。
適用対象·範囲	トンネル覆工
機器·装置	
調査方法	トンネル断面方向と走査方向が一致するようにラインセンサカメラを点検車両に取り付け、走行しながらトンネル覆工の連続走査画像を撮影する。その後、撮影したデジタル画像をコンピュータを用いて合成する。この画像からオペレータが覆工の変状展開図を作成する。
判断基準	・幅1mmのひび割れまで検出可能
特徴	・現場作業の効率化を図ることができる。 ・撮影時の走行速度は30km/h ・調査者の主観によらない視覚化ができる。 ・デジタルデータなので画像の加工が自由にできる。
留意点	

a. 佣旦初主体(外	
項目	スリットカメラ
概要	スリットカメラを用いて対象面を連続撮影する。トンネルの場合は横断方向を数面に区分して撮影する。画像処理によって合成し、覆工面の展開画像を作成する。ひび割れのほか、漏水や溶脱物などをカラー情報として把握できる。
適用対象·範囲	トンネル覆工、側壁、高欄、路面等
機器·装置	
調査方法	スリットカメラはシャッターの代わりに幅の狭いスリット開口部がある。スリットカメラのフィルム送り速度を走行速度(被写体の移動速度)に同期させることにより、走行しながら被写体の連続画像を得ることができる。
判断基準	・幅1mmまでのひび割れを検出可能。
特徴	・撮影時の走行速度は30~50km/h。・現場作業の効率化を図ることができる。・調査者の主観によらない視覚化ができる。
留意点	

項目	レーザー
概要	コンクリート構造物の表面をレーザーでスキャンし、画像処理することによって、ひび割れ 展開図を作成することができる。
適用対象·範囲	トンネル覆工、側壁、高欄、路面等
機器·装置	
調査方法	レーザー光線を細かいビームスポットにしてコンクリート壁面を走査し、反射光量の強弱を順次計測することにより、壁面のひび割れを収録する。 しーザスをいて、受性的によりによる を構成して、(別様にアリットによる) はなくり、(別様にアリットによる) はなくり、(別様にアリットによる) はなくり、(別様にアリットによる) はなくり、(別様にアリットによる) はなくり、(別様にアリットによる) はなくり、(別様にアリットによる) はない、アンではおり、これにより の場合を対象として、コリットによるトンネル測定車
判断基準	・幅0.5mmのひび割れを検出できる。
特徴	・測定時の走行速度は4~7km/h以下。 ・暗所でも照明なしで使用できる。
留意点	

a . 構造物全体

項目	赤外線法
概要	サーモカメラにより表面温度分布を画像化し、表層コンクリートの剥離や漏水状況を面的に把握することができる。
適用対象·範囲	対象はコンクリート構造物全般であるが、トンネル等の温度変化の小さい構造物では人工的に加熱する必要がある。
機器·装置	 ・サーモカメラ ・デジタルカメラ(確認用) ・加熱装置(必要に応じて) 最新型サーモカメラの
調査方法	撮影対象面と最適撮影時刻の設定 日射を熱源とする場合には、対象面に当たる日射量のピーク時、日射が当たらない面については外気温のピーク時が最適撮影時刻となる。 赤外線画像の撮影 変状や汚れの確認のために、可視画像も必ず撮影する。浮き部判定の精度を上げるため、必要に応じて夜間にも撮影する。 浮き部の抽出 赤外線画像の温度分布から浮き部を抽出する。現段階で、浮き部の自動抽出は困難。 画像のデジタル処理 必要に応じて赤外線画像の幾何補正や貼り合わせ処理を行う。 浮き部抽出図の作成、数量算出 鉄道トンネルでは、人工加熱装置と一体となった測定車が実用化されている。 橋梁の赤外線画像の例
判断基準	・浮き部と認識するのに、周辺健全部との温度差が日射が当たる面では1 、日射が当たらない面または夜間では0.5 以上が必要。但し汚れ程度が大きい場合には、より大きな温度差が必要となる。
特徴	・非接触で大面積の情報を短時間で取り込むことができる。 ・検知できる浮き部の深さは、実用上は50mm程度まで。日射が当たらない面では、30mm程度まで。
留意点	・通常は日射または外気温変動が熱源となるので、赤外線画像の撮影は晴天日に行う。 ・汚れや補修跡など、浮き以外にも温度差を生じる要因があるので、可視画像や昼夜の赤外線画像を対比して、浮き部抽出時にはそれらの要因を排除する。

a. 構造物全体(構造的な変状)

項目	振動測定による方法
概要	車輌通行時、または加振装置を用いて、固有周期や応答レベルを測定する。 設計値と比較して、剛性低下の有無を評価する。
適用対象·範囲	主に橋梁
機器·装置	・振動測定器(加速度センサ、レコーダー、周波数解析装置) ・加振装置
調査方法	加速度センサの取り付け 通常状態での振動測定 必要に応じて、通行規制し、起振機による加振または重量物を落下させた場合の振動を測定する。 振動レベルおよび固有周期を求め、設計値と比較する。 剛性低下の評価
判断基準	・設計による剛性に対する低下率で評価
特徴	・全体的な剛性評価を大かがりな装置を使用せずに行える。 ・再現性が良いので、経時変化を把握するのに適している。
留意点	・局部的な損傷や、初期段階の劣化は剛性低下として現れにくい。 ・初期剛性の影響が大きいので、この結果から設計荷重時の状態を直接評価することはできない。

a. 構造物全体(構造的な変状)

項目	光ファイバーによるひずみ計測				
概要	支点間に耳	スリ付けた光ファイノ	(一のひずみを計測	 則する。	
	一時の測定	eではなく、長期の ⁻	Eニタリングに適す・	პ 。	
適用対象·範囲	橋梁、トンス	ネル、岩盤など			
機器·装置	光ファイ	バー計測方法の種	 類		
	・ファイバー	-グレーティング(F	GB)応力センサ (て)ずみ・温度・変位・	圧力)
	・ブリルアン	/散乱光応用センサ	・(ひずみ分布・温原	度分布)	
	・ラマン散き	乱光応用センサ(ひ	ずみ分布・温度分	布)	
	・レイリー散	は乱光応用センサ (光損失分布・ひがる	み・変位)	
	·光学ストラ	・ シンド(赤外線センサ	- OSMOS (ひずる	み・変位・圧力)	
				光計測システム概	元念 図
		AFRP被调	光センサ類(ひす	"み計、傾斜計、etc.) 光ファイバセンサ(1	ひずみ、温度)
	(,,(
		先才不	ネバ 0.25mm 接続BOX	接続BOX	• 0
		樹脂被覆(凸凹加工)		光信号	G-IS 監視用パソコン
		コンクリート構造物用センサケ	・一ブル 多心光 ⁵ (0~20		TDR
				(測定	器) LAN、携带電話、公衆回線
 調査方法	モニタリン	 ング位置の選定			
	光ストラン	ンドの取り付け			
	常時計測	il i			
判断基準	·対象構造	物、岩盤等の特性	による		
特徴	·電気的ノ	イズの影響を受けな	い。・長距離の何	言号伝送が可能	
	·腐食性雰	囲気での耐性に優	れる。・岩盤やト	ンネルの崩落予測Ⅰ	に適する
	・センサごと	との配線が不要(直	列配置できる)		
留意点		コンクリート構造物	に使用実績のある光ファイル	バひずみセンサの種類と主	
	項目	BOTDR	F B G	OSMOS	SOFO
	測定原理	ブルリアン散乱光の周波数 特性変化からひずみを、戻り 時間から位置を計測	ブラッグ光の波長特性変化 からひずみを計測	マイクロベンディングによる漏洩光量変化から変位を計測	伸縮による光のパスの変化から変位を計測
	計測領域	分散型 最長で数km	多点型 1点は1~10cm程度	広域型 1~10m	広域型 20cm~50 m
	11700 (St. 2-36)	5~10cm間隔で収録可能	10点程度の多重化可能	1 1 1 1 1 1 1 1	20011 3 0111
	センサの構造	通常の光ファイバを利用 (被覆加工する場合あり)	光ファイバにブラッグ格子を 加工する	光ファイバより線	端部に反射面を設けた2本 の光ファイバ
	分解性	ひずみ分解能: ±30 μ 距離分解能:1m	ひずみ分解能∶±4μ	変位分解能: ±20μm (スモールレンジ)	变位分解能: ±2μm
	容量	30000 µ (3%)	10000 μ (1%)	計測長の0.5%	伸び1%、縮み0.5%
	計測時間	5~20分(静的計測のみ)	0.02秒(動的計測可能)	0.05秒(動的計測可能)	数秒
	温度影響	20 µ / 程度 建物基礎、トンネルなど数件	10 µ / 程度	ほとんどなし 建物基礎、トンネルなど数件	影響なし 橋梁、トンネルなど数件の実
	国内実績	の実績あり	トンネルなど実績あり	の実績あり	績あり

a. 構造物全体(構造的な変状)

項目	コンクリートの損傷状況、欠陥の測定
手法名	アコースティック・エミッション法 (AE法)
概要	コンクリートのひび割れ発生にともなって発生し伝播する弾性波を検出する。
	供用中の過剰な交通荷重や地震などの異常な荷重などや鉄筋の腐食によりコンクリート に内部ひび割れが発生すれば弾性波として検出できる。
	コンクリート表面部にAEセンサを設置して計測すれば、ひび割れの常時監視に適用できる。
適用対象·範囲	
機器·装置	A E 測定に必要な計測システムは変換子 , 増幅器 , フィルターが必要である。
	検出されたAE信号は電子的に調整され、AE源の位置標定に必要な情報およびAE源の特性づけと、評価に必要な分析パラメータとして処理される。
調査方法	コンクリート表面にAE変換子を取り付け、最大変換子間隔を幾つかに等分した間隔ごとに、擬似AE源から一定振幅の擬似AE波を入力して、これをAE計測システムでAE尖頭値を測定する。
	AE計測システムの周波数帯域は、測定中に発生する外部雑音によっても支配される。そのため、AE変換子を設置した状態で測定した周波数帯域を考慮した上で選定する。
が一番作	計測機器の分解能に依存するが,市販されている機器を用いた場合にはコンクリート材料で数mmの位置誤差を生じる。
特徴	 連続監視への適用性が高いため、現在問題が指摘されている各種コンクリート構造物の
	ひび割れ診断への展開が期待されている。
留意点	

項目	ひび割れ深さの測定				
手法名	はつりによる方法				
概要	ひび割れ位置を、電動ピック等ではつり、ひび割れの深さや幅を測定する。				
適用対象·範囲	・比較的浅いひび割れの場合				
	·ひび割れが仕上げモルタルのみに生じたものか、躯体コンクリートに達しているかを判断する場合				
機器·装置	・電動ピック				
	・たがね、ハンマー(小規模な場合)				
調査方法	調査対象とするひび割れの選定				
	幅の大きいひび割れ、漏水や構造耐力に対して影響度の大きいひび割れを選定する。				
	鉄筋探査器による鉄筋位置の測定				
	少しずつコンクリートをはつる。				
	なるべく鉄筋まではつり、鉄筋の腐食状態や中性化状況を把握する。				
	はつりによるひび割れ深さの測定				
判断基準	・ひび割れ先端の深さ(かぶり厚との関係)				
	・ひび割れ幅(鉄筋腐食や漏水に対する危険度の評価)				
	・ひび割れ部近傍における中性化の状況				
特徴	・ひび割れ先端の深さと、任意の深さにおけるひび割れ幅を直接測定できる。				
	・中性化試験を行うことにより、ひび割れの影響を知ることができる。				
留意点	・破壊を伴うので、調査箇所数に制約を受けることが多い。				
	・はつり粉がひび割れに入り込むため、微細なひび割れの測定はできない。				
	・はつり箇所は速やかに無収縮モルタルで補修する。				

リ・コングリード	
項目	ひび割れ深さの測定
手法名	コア採取による方法
概要	ひび割れ位置でコアを採取し、コア側面またはコアの採取孔にてひび割れ幅をクラックスールやルーペで直接測定する。
適用対象·範囲	・ひび割れが表面に現れている場合
	・コア採取程度の破壊が許容される場合
機器·装置	・コアボーリングマシン
	採取コアの径
	ひび割れが深いと予想される場合~ 100mm程度
	ひび割れが浅いと予想される場合~ 50mm程度
調査方法	調査対象とするひび割れの選定
	幅の大きいひび割れ、漏水や構造耐力に対して影響度の大きいひび割れを選定する。
	鉄筋探査器による鉄筋位置の測定
	鉄筋を切断しない位置でコアボーリング
	部材厚が大きい場合や、貫通採取できない場合には、適当な深さでコアを折って取り出す。
	コアまたは採取孔を清水で洗浄した後、ひび割れ幅をクラックスケールやルーペで測定する。ひび割れによりコアの一体性が損なわれている場合には、採取孔で測定する。
	100mmコアによるび割れ深さの測
判断基準	・ひび割れ先端の深さ(かぶり厚との関係)
	・ひび割れ幅(鉄筋腐食や漏水に対する危険度の評価)
	・表層と深部でのひび割れ幅の差 ひび割れの原因特定の資料となる。
	・ひび割れ部近傍における中性化の状況
特徴	・ひび割れ先端の深さと、任意の深さにおけるひび割れ幅を直接測定できる。
	・中性化試験を行うことにより、ひび割れの影響を知ることができる。
67 ÷	
留意点	・破壊を伴うので、調査箇所数に制約を受けることが多い。
	・構造上必要な鉄筋を切断しない位置から採取する。
	·採取孔は速やかに、無収縮モルタルで補修する。

項目	ひび割れ深さの測定
手法名	超音波法(直角回折法)
概要	ひび割れを挟んで、発振端子と受振端子を当て、ひび割れの先端を超音波が直角に回 折するときの位相の変化により、深さを求める。
適用対象·範囲	・表面にモルタル等の仕上げ層がないコンクリート面
	・ひび割れが表面に現れている場合
機器·装置	·超音波測定器
	・スケール
調査方法	コンクリート表面が風化していたり、厚みのある塗装がある場合には、ケレンし健全なコンクリート面を露出させる。
	鉄筋が密に配筋されている場合には、鉄筋探査器により鉄筋位置を測定する。
	ひび割れを挟んで、発信端子と受振端子を当て、両端子とひび割れとの距離が常に等しくなるように、徐々に端子間の距離を広げてゆく。
	ひび割れ先端での回折波を測定器が検知した時点で、ひび割れと端子間の距離を測定する。その距離が推定ひび割れ深さとなる。
	回折波の検出が明確でない場合には、端子を当てる位置や、ひび割れに対する角度を変えて数回測定する。
	発振端子 受信端子
	直角回折法
判断基準	・ひび割れ深さとかぶり厚さの関係
	・貫通か非貫通か
特徴	・非破壊によりひび割れ深さを推定できる。
	・ひび割れ深さの推定にあたって、計算式を必要としない。
留意点	・端子を接触させる面が平滑であること
	・端子の先端に接触剤としてグリスを付けるので、測定面が汚れる。
	・ひび割れ幅が小さい場合や、鉄筋が密に配置されている場合には、測定値がばらつくことがある。

0.コンクリート	
項目	ひび割れ深さの測定
手法名	ガス検知法
概要	ひび割れが貫通しているか否かを調査する目的で使用する。
	片面からガスを(CO2など)圧入し、反対面においてガス検知センサによるひび割れからのガスの漏洩の有無を調べる。
適用対象·範囲	両面が解放されている壁面やスラブ面
機器·装置	・ガス検知装置
	・圧入ガス
	・シール材
調査方法	調査対象ひび割れの決定
	ガス注入孔の穿孔と注入側ひび割れのシール
	一方のひび割れからガス圧入、または中間部から圧入
	出口と予想されるひび割れにガス検知器を設置
	アクリートスラブ 特殊ガス 押入ノズル
判断基準	・貫通の有無
	・漏水源となっているひび割れを特定できる
 特徴	·非破壊で貫通ひび割れを判定できる。
	・漏水経路のわからない場合に、漏水源となっているひび割れを特定するのに有効。
留意点	・ある程度ひび割れの入り口側と出口側を想定する必要がある。
	・ひび割れが内部で網目状に生じている場合には、入り口と出口の特定はできない。

項目	中性化深さの測定
手法名	はつり法
概要	JIS A 1152 「コンクリートの中性化深さの測定方法」フェノールフタレイン法
	はつり面による測定
適用対象·範囲	鉄筋コンクリート構造物全般
機器·装置	・フェノールフタレイン試薬
	l·電動ピック等 l
調査方法	JIS A 1152「コンクリートの中性化深さの測定方法」フェノールフタレイン法
	指示薬とするフェノールフタレイン溶液は、95%エタノール90mlにフェノールフタレインの粉末1gを溶かし、水を加えて100mmとしたものである。供試体が乾燥している場合には、95%エタノールの量を70ml程度にするなどして、加える水の量を多くすることができる。
	調査対象位置を選定する。
	環境条件や使用条件、仕上げの有無などを考慮する。
	鉄筋探査機により鉄筋位置を測定する。
	鉄筋位置において電動ピック等によりコンクリートをはつる。
	はつり粉をプロアー等により除去する。
	フェノールフタレイン試薬を噴霧し、 赤変した位置の深さをスケールで測定する。
	測定箇所ははつり面の上下左右の4箇所程度とす。
	構造体に与える損傷を小さくしたい場合には、
	25mm程度の小径コアを採取し、その側面に フェノールフタレイン試薬を噴霧する方法もある。
判断基準	·フェノールフタレイン試薬はpH10以下で変色しなくなる。
特徴	· その場で簡便に測定値が得られる。
	・鉄筋のかぶり厚や腐食度と合わせて調査することができる。
 留意点	・はつり粉を十分に清掃する。
	 - ・時間経過とともに発色範囲が広がる場合があるが、試薬を噴霧した直後の時点で測定す
	a.
	1

項目	中性化深さの測定
手法名	ドリル法
概要	日本非破壊検査協会 NDIS3149「ドリル切削粉を用いたコンクリート構造物の中性化試験方法」
	振動ドリルにより穿孔した際の切削粉について、穿孔深さとフェノールフタレイン試薬による発色の有無により中性化深さを求める
適用対象·範囲	鉄筋コンクリート構造物全般
機器·装置	・振動ドリル・フェノールフタレイン1%エタノール溶液を含浸させた濾紙
調査方法	調査対象位置を選定する。 環境条件や使用条件、仕上げの有無などを考慮する。 10mmの振動ドリルによりコンクリートを穿孔し、フェノールフタレイン溶液を染みこませた濾紙に切削粉を落下させる。 濾紙をゆっくり回転させ、落下粉が 赤紫いろに変色した時点で切削を停止する。 ドリル刃を引き抜き、孔の深さをノギスで測定す (www.xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
判断基準	・フェノールフタレイン試薬はpH10以下で変色しなくなる。 ・割裂面による測定値よりやや大きめの値を示す傾向がある。
特徴	・測定位置の損傷を最小限にとどめることができ、補修も容易である。 ・微破壊のため、測定点数を多くすることが容易。
留意点	

コンカルーは存み割点
コンクリート強度の測定
反発硬度法
コンクリートの表面をテストハンマーで打撃し、その反発硬度から圧縮強度を求める。
測定可能なコンクリート強度の範囲は使用する測定機器によって異なるが,およそ10~60N/mm ² が適用可能な範囲とされている。
対象とするコンクリートの種類や状態によって数種類のシュミットハンマーが製造されている。 普通コンクリート用のN(R)型。軽量コンクリート用のL型。低強度コンクリート用のP型。
音通コンケッード用のN(k)型。軽量コンケッード用のL型。III、強度コンケッード用のP型。 マスコンクリート用のM型。
調査箇所の選定にあたっては、表面が平坦で縁部から離れた位置を選定する。
部材厚さが10cm以下となる所や,部材幅が15cm以下となるような小寸法の箇所は,打撃 エネルギーが逸散して測定結果に影響を及ぼすので選定しない。
浮や剥離, ひび割れ, 気泡等によって反発の程度に影響を及ぼす可能性のある箇所は 避ける。
プランジャー コンクリート カス カー
測定箇所1箇所につき20回打撃を行う。
同一点は打撃しない。
各打撃点は他の打撃による影響がないように3㎝以上距離をおく。
各測定箇所の反発度は20回の平均反発度で求める。
明らかに局部的な要因で他の値と異なる特異値は計算から除外する。
コア採取によるコンクリート強度測定と比較して試験方法が簡便なこと。
構造物を破壊することなく測定できること。
打撃時の反発の程度で強度推定を行うために、打撃力が逸散するような箇所や状態では測定が困難である。

項目	コンクリート強度の測定
	1 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10
手法名	局部破壊法(プルオフ法、プルアウト法、ブレークオフ法)
概要	局部破壊法は,コンクリートの表層部を局部的に破壊し,破壊時の抵抗力を指標として圧縮強度を推定する試験方法
適用対象·範囲	試験精度は,各試験とも試験値の変動係数約10%以下,圧縮強度推定の信頼限界は±20%以下。
機器·装置	プルオフ法: 鋼製ディスク、載荷装置および荷重計測装置からなる。ディスクの直径は50mmおよび75mmを標準とするが、骨材最大寸法の3倍以上とすることにより試験値のばらつきを低減できる。 プルアウト法: 加力プレートと引き抜きボルトからなる埋め込み具、載荷装置および荷重計
	測装置からなる。加力プレートの直径の標準値は25mmで、骨材最大寸法20mmまでのコンクリートに適用。
	ブレークオフ法:ロードセル、油圧計およびハンドポンプからなる。骨材最大寸法が大きくなると試験精度が低下するため、最大寸法25mmまでのコンクリートに適用。
調査方法	プルオフ法:鋼製ディスクに載荷装置と荷重計測装置を連結させて,載荷速度を0.05±0.03N/mm2とし、鋼片に接着されたコンクリートを引っ張り破断させる。
	プルアウト法: 埋め込む具に載荷装置と荷重計測装置を連結させ, 載荷速度は最大荷重までの時間が1.5min ± 0.5minになるように一定とする。引き抜き荷重の最大値を引き抜き耐力とする。
	ブレークオフ法: ロードセルをコア頂部にセットし、ハンドポンプによりコア軸に対して垂直に載荷する。 載荷速度は0.1 ± 0.05 kN/secとし、連続的に載荷する。
	エポキシ樹脂
	- では ・ では に が に が に が に が に が に に が に に に に に に に に に に に に に
	(a) ブルオフ法 (b) ブルオフ法 (c) 改良ブルオフ法 (c) 改良ブルオフ法 (コア語の深さと同じ深さのパイブ部 (コア語を設けて接着する方法) を持つディスクを接着する方法) (図) ブルオフ法及び改良ブルオフ法の概要
判断基準	局部破壊法の各試験とも試験値の変動係数は約10%以下、圧縮強度推定の信頼限度は ±20%以下と比較的良好である。
特徴	コンクリートの強度と直接関係する破壊時の抵抗力を指標とするため、強度の推定精度は比較的良好である。
留意点	試験によって生じる局部的な損傷は、コンクリート構造体に影響を与えない無視できるものであるが、損傷部分を補修する必要が有る。

項目	コンクリート強度の測定、品質評価
手法名	超音波法(超音波伝播速度)
概要	使用周波数が20kHz以上の超音波域と呼ばれる周波数帯を主に使用し、発信子からシリコングリスなどの接触剤を介してコンクリート中に発射された弾性波を受信子で測定する手法。
適用対象·範囲	ひび割れ、剥離、空洞(コンクリート内部および背面)を有するコンクリート構造物を対象とする。 どのようなコンクリート構造物に対しても適用可能であるが、利用する周波数単位の高いものはコンクリート中での減衰が大きいので、50kHz程度以上の高周波数を利用する場合は、部材寸法や欠陥深さが2~3m程度の範囲が限度となる。
機器·装置	弾性波発生装置…圧電素子を用いた振動子が通常用いられる。
	弾性波受信装置…圧電素子を用いた振動子が通常用いられる。
	波形表示・処理装置…パルス発振回路、受信信号増幅回路とともに波形の表示や入力信号発射から受信信号の初動開始までの時間表示を行うものもあれば、汎用のオシロスコープやFFTアナライザを用いる場合もある。
調査方法	下図に示すような測定装置により、圧電素子を用いた発信子、受信子をコンクリートに当て、発振子より発振した超音波を受振子で受振し、伝播速度などの受振振動をもとにコンクリートの強度や品質を検査する。
	時間測定回路 波形表示回路 アイド 水形表示回路 アイド
	- (図) 測定装置の機器構成
alled place deads 544	
判断基準	測定した伝播時間から伝播速度を算出し、その値により圧縮強度や水セメント比を推定する。 ・圧縮強度 …伝播速度から圧縮強度を推定しようとする試みは多く行われており、多くの関係式が提案されている。 ・水セメント比…伝播速度は骨材の影響を大きく受けるため骨材の影響を取り除いた修正伝播速度により評価する。評価は、トモグラフィー等による断面の評価が有効である。
特徴	超音波法は測定が簡易なため幅広く用いられている。
留意点	超音波伝播速度は、試験体表面の凹凸、コンクリートの含水比、温度および骨材の影響を受けるため、それらの影響度を適切に評価しなければならない。

b . コンクリート

項目	コンクリート強度の測定
手法名	複合法
概要	シュミットハンマ反発硬度法と超音波法を測定する。
	反発硬度法、超音波法 概要 を参照のこと。
適用対象·範囲	反発硬度法、超音波法 適用範囲 を参照のこと
機器・装置	反発硬度法、超音波法 機器・装置 を参照のこと
 調査方法	反発硬度法、超音波法 調査方法 を参照のこと
响直刀刀	及元陵及仏、起自及仏・明直月仏・で多点のこと
判断基準	反発硬度法、超音波法 判断基準 を参照のこと。
特徴	測定が簡便
	被測定物の形状・寸法に関係なく適用できる。
留意点	強度判定式が確立されていない。

b . コンクリート

項目	含水率
手法名	乾燥度試験紙法(塩化コバルト法)
概要	任意にその時々のコンクリートから単位時間当たりに蒸発する水分量をコンクリートに貼り付けた乾燥度試験紙の色変化により求める。
画用対象 · 範囲	コンクリートの水分蒸発速度を求める。
機器·装置	乾燥度試験紙 透明なテープ
調査方法	乾燥度試験紙を透明なテープとともに、コンクリート表面に貼る。 貼り付け後、10分経過したときの乾燥度試験紙の色を評価する。 50
判断基準	色の評価値を、あらかじめ求めておいた色の評価値とコンクリートの水分蒸発速度(含水率)との関係に対応させ、水分蒸発速度(含水率)を求める。
特徴	調合が同じコンクリートであらかじめ対応を測定してあれば、色の評価値からコンクリート表層部の含水率をおおよそ推定することもできる。 無破壊試験、試験費用は安価、測定精度は良い。 普及性・一般性 簡便さ・熟練度 作業効率 である。
留意点	内部の含水率を測定できない。

b.コンクリート

項目	含水率
手法名	簡易吸水速度法
概要	ドリルの削孔に栓をし、注水させ、一定量吸水するまでの速度により吸水性を評価する。
適用対象·範囲	構造体コンクリートの吸水性を現場で測定する。
機器·装置	簡易透気試験装置
調査方法	ドリル(10mm)でコンクリートを削孔する。 栓をし、注射器で水を注入する。 別に設けた管からオーバーフローしたとき、注水をやめ、メスピペット上で水が一定量吸水されるまでの時間を測定する。 簡易吸水速度を求める。
判断基準	測定した簡易吸水速度をあらかじめ求めた簡易吸水速度と塩分浸透量の結果に対応させ耐久性を評価する。また、相互比較などにより品質を評価する。
特徴	現場で試験が可能である。 普及性・一般性 簡便さ・熟練度 作業効率 である。
留意点	試験費用が、やや高価である。

b . コンクリート

項目	コンクリートの損傷状況、欠陥の測定
手法名	弹性波法(衝擊弾性波法·打音法)
概要	ハンマーなどによりコンクリート表面を打撃して弾性波を発生させ、これを受振子寺で測定
	する。 衝撃弾性波法では、一般的に20kHz以トの超音波域よりも低い周波数成分の多い波を 使用する。
	打音法では,可聴域と呼ばれている20Hzから20kHzの周波数域の音(弾性波)を使用する。
 機器·装置	┃ ┃一般的なハンマーも用いられているが,衝撃入力のタイミングが分かること,入力する衝撃
MH VE	そのものの周波数特性が、分かることから圧電素子や加速度計をヘッド部に内蔵したイン パルスハンマーを用いることもある。
	小型ハンマー(ヘッド重量200g程度)であっても超音波発振子に比べてエネルギーは相当大きい。
	弾性波を検出する装置としては、衝撃弾性波法では圧電素子を利用した振動子が、打音 法ではマイクロフォンが用いられる。
 調査方法	
响且 刀从	コンクリート表面から打撃等により弾性波を生じさせると、コンクリート部材の厚さ方向に半 波長の整数倍の共振が生じる。これを利用してコンクリート内部欠陥までの距離や剥離深
	さを測定する。
判断基準	共振周波数測定では、理論的には測定機器の周波数分解能に影響される。通常のFFT
	処理であれば、分解能は読み取り周波数範囲の1/400~1/1600程度の分解能となる。
	打音法では、測定周波数範囲が20kHzに限定されており,20kHzの波の半波長はおよそ
	10cmであり、これ以上短い共振の場合は通常のマイクロフォンでは測定不可能である。
特徴	
留意点	 数kHz以下の低周波数を用いる工法では,伝播速度を10m以上とすることが出来るが,測
	定速度は低下し、検出可能な欠陥の寸法は大きくなる。

b . コンクリート

項目	コンクリートの損傷状況、欠陥の測定
手法名	電磁波レーダ法
概要	電磁波レーダ法は,インパルス状の電磁波をコンクリート内へ送信アンテナから放射すると,その電磁波がコンクリートと電気的性質(比誘電率・導電率)の異なる物体との境界面で反射する。それを受信アンテナで受信し、それにかかる往復の伝播時間から反射物体までの距離を計算してその位置を求める。
適用対象 · 範囲	
機器·装置	
調査方法	電磁波レーダは、探査対象との電気的性質の違いから発生する反射波の移り変わりを見る。計測されたデータからその形状や材質を判定することは出来ない。
判断基準	平面的位置の測定精度は、コンクリート性状調査において影響が少ない。 深さ方向の位置精度は、電磁波の伝播速度に依存する。電磁波の伝播速度は比誘電率によって決定される。 探査対象であるコンクリートが均一でないため、定量化できるデータが少ない。そのため現在利用されている用途の多くが位置情報のみに限られている。
特徴	取り扱いが簡単で,かつ短時間で広範囲の調査が可能で,特別な資格・免許等を必要としない。
留意点	現在使用されている用途においても解析技術者の技量により測定精度にバラツキがある。 計測されたデータからその形状や材質を判定することが出来ない。

b . コンクリート

項目	コンクリートの損傷状況、欠陥の測定
手法名	放射線法(X線法)
概要	X線透過撮影法は内部の様子をほぼ実態に近い状態で確認できる唯一の非破壊試験方法である。 コンクリート構造物を対象とした場合、鉄筋や配管等の埋設物および空洞やひび割れ等のコンクリートの変状を検出することが出来る。
**************************************	一万からX線を照射し、対向する裏面にフイルムを配置することによって透過像を撮影す
適用対象・範囲	る. 放射線防護のための安全管理上の制限があり、実際の現場作業においては低エネルギーのX線装置の使用に限定される。
機器·装置	
調査方法	コンクリート構造物は、撮影の位置および照射方向によって鉄筋同士が重なったり、予想以外のものが存在して目的の鉄筋等が明瞭に撮影できなかったりすることもあり、現像処理は現場で行う。
	安全管理上、コンクリート壁などの仕切りがない場合は,一般的に立体半径で5m以内を立ち入り禁止区域とする。
判断基準	躯体の厚さが厚くなるにしたがって測定値の誤差が大きくなる主な要因は,透過写真の鮮鋭度の低下による読み取り誤差の増大によるものと考えられる。
	これらの測定誤差を考慮するとX線フイルムを使用した一般的なシステムの適用厚さの限界は,普通強度のコンクリートで約350mmとみることができる。
特徴	
留意点	普通コンクリートを対象とした適用限界厚さは,経済的な作業効率も考慮すると400mm程度である。
	X線透過撮影は,信頼性のある情報を提供するが,時間および費用の面で他の調査方法に比べて効率的ではない。

C . 业人月刀	
項目	鉄筋位置の測定
手法名	電磁誘導法
概要	コイルに交流電流を流すことによりコイル周辺に交番磁界を発生させ、それによりコンクリート中に渦電流を誘起する。この渦電流は鉄筋のような磁性体が存在すると乱されるという性質を有しており、この変化をコイルにインピーダンスの変化として検知する。
適用対象·範囲	コンクリート中の鉄筋探査
	鉄筋以外の埋設金属の探査
機器·装置	かぶり厚さ カップリア カップリア カップリア カップリア カップリア カップリア カップリア カップリア ション ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・
調査方法	試験プローブを用いて鉄筋に直行する方向にコンクリート表面を走査することにより鉄筋を検出する。プローブが鉄筋に近づくと、かぶり厚さの表示値が小さくなり鉄筋真上でブザーが鳴る。
判断基準	径の大きな鉄筋ほど深い位置まで探査可能であり、またかぶり厚さは薄いほど測 定精度は高い。
 特徴	↓ 非磁性体であるかぎり、仕上げ材の影響を受けない。
	コンクリート中に空洞、ジャンカ等の欠陥がある場合でも鉄筋探査が可能。
	鉄筋からの距離と磁束の変化の関係から鉄筋径とかぶり厚さの同時測定が可能。
留意点	指向性が乏しいため、配筋ピッチが密な場合、周囲の鉄筋の影響を受け、正確な測定が困難になる。
	かぶり厚さより配筋ピッチが密な場合は、測定が困難。
	空洞、ジャンカ、剥離等の探査には使用できない。
	塩ビ管のような非磁性体の探査には使用できない。
	ダブル配筋の場合、表面側の鉄筋しか検出できない。

項目	鉄筋位置の測定					
<u> </u>	電磁波レーダー法					
概要	コンクリート用電磁波レーダは、インパルス状の電磁波をコンクリート内へ送信アンテナから放射すると、その電磁波がコンクリートと電気的性質の異なる物体(例えば、鉄筋、埋設管、空洞等)との境界面で反射する。それを受信アンテナで受信し、それにかかる往復の伝搬時間から反射物体までの距離を計算することで位置を求める。					
適用対象·範囲	埋設物の平面的位置および深さ方向の位置(かぶり厚さ)の測定が可能。 埋設物の大きさに関しては、一部を除いて困難。					
機器·装置	選信アンテナ 受信アンテ 受信アンテ 受信機 受信機					
調査方法	コンクリート用電磁波レーダで最も多く使用されているパラレルアンテナでは、縦方向の操作で横方向の埋設物の位置を計測し、上下それぞれのデータから得られた埋設位置を結ぶ。・使用周波数(800MHZから2GHZ)					
判断基準	平面的位置の測定精度はアンテナの水平分解能(配筋ピッチの分解能力)によって決定する。 平面的位置精度の誤差(±10mmまたは±1.0%以内) かぶり厚さの誤差±(5mm+実かぶり厚さ0.1%)以内または±5.0%以内のいずれか精度の低い方 電磁波レーダは電磁波の反射波を測定する装置のため、測定精度は最も計測面側に位置する埋設物に対して有効					
特徴	取り扱いが簡単、かつ短期間で広範囲の調査が可能であり、特別な資格・免許等を必要とせず、すぐに結果が得られる手法である。 しかし、簡便な手法ゆえに作業者の技量や経験に依存するところの多い手法でもある。					
留意点	電磁波レーダ装置によって採取されたデータには、鉄筋等の埋設物そのものに関する情報ばかりでなく、鉄筋周りの小空隙、コンクリートの性状に関る情報も含まれるが、その解析方法が確立していないため、採取されたデータが十分に活用されているとは言えない。また、埋設物探査においても解析技術者の技量によるところは多い。					

C . 亚大月刀	
項目	鉄筋位置の測定
手法名	X線法
概要	X線(放射線)は、10 ⁻¹² ~10 ⁻⁶ cmの波長をもった電磁波であり、物体を透過する能力をもち写真を感光させたりする性質をもっている。X線が物体を透過する際にその物体に吸収される割合は透過する物質によって異なり、コンクリート中の鉄筋を通過した放射線の強さとコンクリートそのものだけを通過した放射線の強さに差ができることになる。この差がフィルム上では濃度の差として現れるため、内部の様子を画像として観察することができる。
適用対象·範囲	透過撮影は一方からX線を照射し、対向する裏面にフィルムを配置することによって透過像を撮影するため、少なくとも試験部の両面に装置とフィルムを配置するための空間が必要となる。また放射線防護のため安全管理上の制限があり、実際の現場作業においては低エネルギーのX線装置(可搬式)の使用に限定される。
機器·装置	透過写真は、二次元であり、また実体の拡大像であるため、単に撮影された透過写真を観察するだけでは、版厚を測定することはできず、また配筋状況の概要は把握できても対象物の相互間距離、深さおよび大きさを求めることはできない。したがって、更に写真解析が必要。
調査方法	コンクリート構造物は、撮影の位置および照射方向によって鉄筋同士が重なったり、予想以外のものが存在して目的の鉄筋が明瞭に撮影できなかったりすることがあるため、本撮影に先立ち、撮影条件の決定および墨出し位置修正のための試し撮りを調査個所ごとに行う。またその結果を踏まえ撮り直しする可能性もあることから現像処理は現場で行う。さらに、撮影中は安全上上の管理区域を確保しなければならない。コンクリート壁などの仕切がない場合は、一般には立体半径で5m以内を立入禁止区域とする
判断基準	高エネルギーの X 線を使用すれば 1 mを越す躯体を撮影することも可能であるが、放射線防護のための安全管理上の制約があり、実際の現場作業においては低エネルギーの X 線装置に使用が限定されている。また、厚さが厚くなるに従って透過写真の鮮鋭度の低下による読取り誤差も増大する。 これらを考慮すると、一般的なシステムの適用厚さの限界は、普通強度のコンクリートで約350mmとみることができる。
特徴	信頼性のある情報を提供するが、時間および費用の面で他の調査方法に比べて効率的ではなく、部分的な調査とならざるを得ない。したがって、効率よく有用なデータを得るには、調査の目的を明確にし、適切な調査個所を選定し、そして目的に応じた適切な方法で撮影することが必要となる
留意点	X線法はほかの試験法と異なり、人的または物的な障害に対する安全管理が特別に必要となる。したがって、調査にあたっては試験そのもののほかに放射線障害についても配慮しなければならない。また、撮影は電離放射線障害防止規則で規定されるX線作業主任者の有資格者の管理のもとに行わなければならない。

C . 业八月刀								
項目	腐食度の測定	腐食度の測定						
手法名	はつり法							
概要		直接鉄筋をコンクリート中から取り出し、鉄筋の腐食状態を調べる。調査項目としては、「鉄 筋の腐食面積率」や「鉄筋重量減少量」が挙げられる。						
適用対象·範囲	すべての鉄筋コンクリート構造物で可	J能						
	ただし、鉄筋を取り出す位置についる	ただし、鉄筋を取り出す位置については、考慮する必要がある。						
機器·装置	はつり方法							
	手ばつり 効率が悪いため	補助的な手段						
	電動ピック 破壊力はエアー	ピックより劣るものの、作業性はよい						
	エアーピック 破壊力が強いた 高強度である場	zめ、面積が大規模な場合や対象コンクリートが 合に採用						
調査方法	「腐食面積率の算出」							
		E作成する。更に腐食部分の面積をプラニメーターや 表面積で除して腐食面積率を求める。						
	腐食面積率 = (腐食鉄筋表面和	債/鉄筋表面積) × 100						
	「重量減少率の算出」							
		鉄筋の表面に付着したモルタルを除去し、鉄筋重量を測定する。その後錆びを除去し、再 度鉄筋の重量(徐錆後鉄筋重量)を測定する。						
	除去後の重量と腐食前の重量を基に、鉄筋重量減少率を算出する。							
	鉄筋重量減少率 = (腐食前鉄館	筋重量 - 除錆後鉄筋重量) / 腐食前鉄筋重量						
—————————————————————————————————————		損傷度の評価						
	鉄筋腐食度	損傷度の評価基準						
		構造物の耐久性能が著しく低下していて、耐荷性能の 低下が心配される段階						
	浅い孔食など断面欠損の軽微な腐 食	構造物の耐久性能が低下していると考えられる段階						
		構造物の耐久性能が低下しているとは判断しづらい が、その徴候は認められる段階						
	腐食なし	構造物に損傷ないと考えられる段階						
特徴	腐食状態を目視により確認することが	ができる。						
留意点	対象ヶ所・部位・路下条件・周囲の環境等によりはつり方法を適宜選択したうえで、粉塵の飛散防止策を検討する必要がある。							
	鉄筋を取り出す位置の選定にあたっては、耐荷性能に影響すると考えられる箇所は基本的にはさける必要がある。							
	非破壊検査と異なり、構造物を傷め	める。						
	1							

C · 业人为力	i						
項目	腐食度の測定						
手法名	自然電位法						
概要	鉄筋が腐食しているときは、電子は鉄筋内を流れ、イオンはコンクリート中を移動する。 これらの電子やイオンの流れが腐食電流であり、腐食反応の速さ(腐食速度)をあらわしている。 この、鉄筋が腐食することによって変化する鉄筋表面の電位から、鋼材腐食を診断しようとする電気化学的方法である。						
適用対象·範囲	調査時点での腐食の可能性について診断するものであり、構造物内で腐食の可能性が高い個所を見つけ出すために用いられる。構造物が供用開始してからの内部鉄筋が腐食し、腐食によりかぶりコンクリートにひび割れが発生するまでの、初期の段階での診断に有効。						
機器・装置	電位差計 照合電極 接触液をしみ込ませたスポンジなど 鉄筋の腐食個所						
調査方法	コンクリート中の鋼材を1ヶ所はつり出し、電位差計とコードで結び、もう一方のコードは照合電極と結んで電位値を測り、得られた自然電位値から鋼材の腐食状況を判断する。 入力抵抗が100M 以上、分解能が1mV以下の直流電圧計を使用する。						
判断基準	A S T M (米国材料記	【験学会) C 876による鉄筋腐食性評価					
	自然電位(E) (V _{VS} CSE)	鉄筋腐食の可能性					
	-0.20 < E	90%以上の確率で腐食なし					
	-0.35 < E -0.20	不確定					
	E -0.35	90%以上の確率で腐食あり					
 特徴	原理が単純で特殊な機器を必要とせず測定も簡単なことから広く用いられている。しかし、かぶりコンクリートの性状によって測定値が大きく影響を受ける。調査時点で腐食の可能性について診断するものであり、鉄筋の腐食速度を測定するものではない。コンクリートが十分に湿っている場合にのみ確かな電位の読み値が得られる。						
留意点	以下の条件下では、適用できない。	,					
	 表面が非常に乾燥し電気的に絶縁体に近い場合						
	コンクリート表面に塗装等の絶縁	材料が被覆されているような場合					
	コンクリート表面が常に水で覆わ						
	表面がコーティングされている鉄						

()							
項目	腐食度の測定						
手法名	分極抵抗法	分極抵抗法					
概要	荷したときに生じる度)と反比例の関係	コンクリート表面に当てた外部電極から内部鉄筋に微弱な電流または電位差を負荷したときに生じる電位変化量または電流変化量から、腐食速度(腐食電流密度)と反比例の関係にある分極抵抗を求め、内部鉄筋の腐食速度を推定しようとする電気化学的方法。					
適用対象·範囲	値として腐食量を推定	鉄筋の腐食速度に関する情報を得ることができる。連続測定を行うことで、その時間積分値として腐食量を推定できる可能性を有している。コンクリート構造物が腐食劣化する初期の段階での診断に有効。					
機器·装置	電位差計 WE 導電性物質 別の作品を 対極 の 別の作品を 対極 の の の の の の の の の の の の の の の の の の						
調査方法	コンクリート中の鋼材を1ヶ所はつり出し、鉄筋にリード線をつないで試料極(WE)とし、照合電極(RE)および電気を流すための対極(CE)を測りたい鉄筋のすぐ上のコンクリート表面に設置する。そして微弱な交流電流を流し、その時のインピーダンス値から腐食速度と反比例の関係にある分極抵抗を求め、コンクリート構造物の鉄筋の腐食範囲や腐食速度を評価する。						
判断基準	結果は、測定された見かけの分極抵抗()や鉄筋の単位面積あたりの分極抵抗 (cm²)を腐食速度の指標として、そのまま用いても良いが、腐食電流密度(μ A/cm²)や腐食度(mdd)、侵食度(mm/年)で整理される場合が多い。						
	应会生在测点 体	C E B (ヨーロッパ コンクリート委	長員会)による判定基 「	<u>準</u>	ſ		
	腐食速度測定値 corr	腐食速度の判定	分極抵抗 Rct	腐食度 PDY			
	(μA/cm2)	て掛約中時(原会れ))	(k cm²)	(mm/年)			
	01~0.2未満	不働態皮膜(腐食なし)	130~260より大	0.0011~0.0023未満			
	0.2以上0.5以下	低~中程度の腐食速度	52以上 130以下	0.0023以上 0.0058以下			
	0.5以上1以下	中~高程度の腐食速度 激しい、高い腐食速度	26以上 52以下 26未満	0.0058以上 0.0116以下 0.0116より大			
特徴	測定結果はその時点での腐食状況や腐食速度を評価する目安になるものなので、信頼性を向上するためには、年間を通じて異なる時期に測定を繰り返したり、1年以上長期間にわたって複数回の測定を行うことが望ましい。 かぶりコンクリートの含水率に計測結果が左右される。 コンクリート表面を湿らせた状態で計測を行うのがよい。						
留意点	絶縁体に近い場合	、被覆されている場合	は適用できない。				
	7)7/割れ.や凹凸か	「なく滑らかでなければ	ならない				
		ない得らかでなければ は接触していなければ	•				
		場合は適用できない。	.c.⊃.cv.10				
			は担が作用してい	スレニスでもってけから	: <i>†</i> > 1 \		
		ているところや、強い磁	は场かTF用してい	るこころ じのつ しはなり	っない。		

C . 亚大月刀	_							
項目	腐食度の測定							
手法名	電気抵抗法							
概要		電気抵抗法とは、かぶりコンクリートの電気抵抗を測定することによって、その 腐食性および鉄筋の腐食進行のしやすさについて評価する電気的方法。						
適用対象·範囲	環	大気中にあるコンクリート構造物を対象に、鉄筋などの鋼材を取り巻〈コンクリートの腐食 環境因子の状況について診断する。電気抵抗は主にコンクリートの含水量や塩化物含有 量などの影響を包括したような特性値である。						
機器·装置		電流線等電位線						
調査方法	~	等間隔aに一列に並べた4本の電極のうち、両端の電極A、B間に直流あるいは周波数10~100Hz程度の交流を流して、その電流量Iと内側の2本の電極C、D間で測定される電位差から比抵抗を求める。						
判断基準			こついて検討	つ比抵抗(抵抗 対された例を以	下に示す。	される。このb き評価の例	比抵抗と鉄筋	
		Gavalier an	d Vassie	Taylor Woodro	ow Res.Lab	武若および	が小林	
		比抵抗の範囲	腐食性	比抵抗の範囲	腐食性	比抵抗の範囲	腐食性	
		> 12,000	微候なし	> 20,000	なし	> 10,000	小さい	
		5000 42 000	在除州本 13	10000 ~ 20,000	小さい	F000 10 000	不確定	
		5000 ~ 12,000	危険性あり	5000 ~ 10,000	大きい	5000 ~ 10,000	不確実	
		< 5,000	確実	< 5,000	非常に大	< 5,000	大きい	
							_	
特徴	抵記	電極の間隔や電極先端の湿潤状態の広がり具合などによっては、どのような回路の電気抵抗を測定しているのか保証がなく、どちらかというとごく表層の電気抵抗を測定しているに過ぎない。 電気抵抗は鉄筋そのものの腐食状態を直接表すものではない。						
留意点		コンクリート表面に各電極間をつなぐような浮き水があってはならない。 コンクリート表面の湿潤状態の影響が出やすい。						

【試験室における試験・分析】

大分類	小分類	手法		頁
			採取コアによる圧縮強度試験	4-97
	強度·弾性		採取コアによる静弾性係数測定	4-98
			小径コアによる測定	4-99
			気泡間隔係数測定(顕微鏡法)	4-100
	 空気量、気泡分布		空気量(高圧水法)	4-101
	エメル里、メルビカル		細孔径分布測定(水銀圧入法)	4-102
a . コンクリート			細孔径分布測定(窒素橋着法)	4-103
の品質			セメント協会法	4-104
	 配合推定		フッ酸法	4-105
	化口托化		ギ酸法	4-106
			グルコン酸法	4-107
			透水係数測定(インプット法)	4-108
	透水性·透気性		透水係数測定(アウトプット法)	4-109
			透気係数測定	4-110
			フェノールフタレイン法	4-111
	中性化		熱分析法	4-112
>			EPMAによる面分析	4-113
b.コンクリート の劣化度			全塩分分析	4-114
	塩化物の浸透		可溶性塩分分析	4-115
			蛍光X線分析	4-116
	アルカリ骨材反応		促進膨張試験	4-117
	腐食度		抜き取った鉄筋の腐食度測定	4-118
c.鉄筋	強度		金属材料引張り試験	4-119
	迅反		金属材料曲げ試験	4-120
d . 骨材			化学法	4-121
			モルタルバー法	4-122
	アルカリに対する反応 性		偏光顕微鏡観察	4-123
			粉末X線回折試験	4-124
			走查型電子顕微鏡観察·SEM試験	4-125

	·
項目	圧縮強度、静弾性係数
手法名	採取コアによる方法
概要	採取したコンクリートのコアから圧縮強度試験機を用いコンクリートの圧縮強度を測定する。実験値の圧縮強度と設計基準強度(構造計算の設計値)を比較しコンクリートの品質を 判断する。
適用対象·範囲	構造体強度の把握が第1の目的であり、他の試験方法に比べて、正確に構造体の強度を評価できる方法である。結果としてアルカリ骨材反応により劣化した構造物の強度や劣化の度合いの評価にも適用できる。
	構造体の強度を推定する試験方法としては、他の方法より正確ではあるが、 部材の種類、部材の厚さ、部材中の部位、欠陥部(ひび割れ、コールドジョイント等)等に影響を受けるので、これらの要因を考慮して、構造体の強度を評価する必要がある。
機器·装置	鉄筋探査計(鉄筋の位置、間隔、かぶり厚の測定が可能なもの)
	コンクリート用コアドリル
	コンクリートカッター
	キャッピング用器具または端面研磨器具
	圧縮試験機
調査方法	コア径およびコア採取箇所の選定
	・JIS A 1107- 1993「コンクリートからコア及びはりの切取り方法並びに強度試験方法」
	・JCI-DD1「コンクリート構造物からのコア採取方法(案)」 📗 🐅 📗
	鉄筋探査計による鉄筋位置、間隔、かぶり厚の推定
	コア採取位置の決定
	圧縮強度試験
	・JIS A 1108 1999「コンクリートの圧縮強度試験方法」
	・JIS A 1149 2001「コンクリートの静弾性係数試験方法」
	試験結果の整理
判断基準	圧縮強度と圧縮弾性係数の測定値を用いて判定す
	採取したコアによって得られた E c/ c との関係に 1,200 (健全なコンクリート曲線から下方にプロットされると 骨材反応によるコンクリートの劣化が進行しているこ している。
	0 200 400 600 σ. (kgf/cm²)
特徴	多くの試験施設などで実施可能な汎用的方法である。
留意点	粗骨材の大きさにより供試体の大きさが限定される。
	強度はコアの採取方法、コアの寸法、養生方法等に影響を受ける。
	コアを採取する場合は、コアを完全に抜き切るか、途中でねじり切るかの判 断が必要である。
	橋脚や橋台などでは、鉄筋のかぶりも大きいので、通常の鉄筋探査径では配筋を調べることは困難である。このような場合には、高性能の鉄筋探査計を使用するか、または配筋図によるチェックが必要不可欠である。

項目	静弾性係数測定
手法名	ストレインゲージ、コンプレッソメータ
概要	圧縮強度試験時の縦ひずみと応力の関係から、静弾性係数を縦ひずみと横ひずみの関係からポアソン比を求める。 それぞれのひずみはストレインゲージまたはコンプレッソメータで測定する。
適用対象·範囲	鉄筋コンクリート構造物で可能
機器·装置	圧縮試験器 ひずみ測定器
調査方法	JIS A 1149 2001「コンクリートの静弾性係数試験方法」 (1)試験の準備 ・成形した供試体あるいはコア供試体を圧縮試験を行う時と同様な方法で準備する。 ・供試体の長さおよび直径を0.2mmまで測定する。 ワイヤーストレインゲージを用いた場合 ・供試体表面の相対する位置に2枚ずつ、計4枚のゲージを接着剤を用いて張り付ける。 ・接着剤が完全に硬化した後、ゲージのリード線を静ひずみ測定器に取り付け、試験準備をする。 コンプレッソメータを用いる場合 ・コンプレッソメータを供試体に取り付ける。 ・装置を正しく調整し、供試体に生じた変形を正確に測定できるように準備する。 (2)載荷ならびに変形測定試験 ・供試体を載荷し、その都度縦ひずみ、横ひずみを測定す ・求めた結果から静弾性係数、ポアソン比を計算する。
 判断基準	構造物コンクリートの配合推定の評価に用いる。
 特徴	コンプレッソメータは簡易に測定することができる。
留意点	ストレインゲージを貼るのに手間がかかる。 ストレインゲージの場合は貼る場所によって骨材の影響を受ける場合がある ので、極力骨材のないところを選んで貼るとよい。 コンプレッソメータは正しく調整して取り付ける必要がある。 偏圧がかかると相対ひずみ量が異なることがあるので、基本的には平均値を用

項目	圧縮強度
手法名	小径コアによる試験
概要	直径20mm程度の小径コアをコア採取装置により採取した後、圧縮強度試験を行い、その 試験結果をもとに、あらかじめ定めた実験式を用いて補正することにより、構造体コンク リート強度を推定する調査方法である。
適用対象·範囲	・強度推定法の適用範囲は、10~60N/mm ² である。(実験により確認)
	・粗骨材の最大寸法20mmの砕石、25mm程度の川砂利および軽量粗骨材を用いたコンクリート
機器·装置	市販の小型ダイヤモンドコアドリル
	圧縮試験機 100コア(左)と小径コア(中、右)
 調査方法	コアの採取
	供試体の成型
	圧縮強度試験
	・JIS A 1108 1999「コンクリートの圧縮強度試験方法
	試験結果の整理 小径コア供試体の圧縮試験状況
	(現場での試験も可能)
判断基準	小径コアの直径、コンクリートの強度レベルならびに圧縮試験方法ごとに下式の ように表す。
	$f c = f c - a + b \times h/d$
	ここに、
	fc :構造体コンクリート強度(N/mm²)
	fc:小径コア供試体の強度(N/mm²)
	h/d:小径コア供試体の高さhと直径dの比
	a,b:基礎実験により定められた定数
	なお、定数aおよびbは、室内試験の結果から定められたものであり、小径コアの 直径、コンクリートの強度レベルおよび圧縮試験方法によって異なる。
特徴	コアの直径が小さいので、構造体の耐力を損なうことなく、柱、はりなどの主 要構造部材からもコアを採取できる。
	コアの直径が一般の鉄筋ピッチより小さいので、鉄筋切断の可能性が少ない。
	簡易なドリルを用いて容易にコアを採取することができ、採取跡の補修も容易 である。
	圧縮試験器の容量が小さくて済むので、簡易な試験器を用いて、現場において 容易にコンクリート強度を推定できる。
留意点	

項目	空気量·気泡間隔係数·細孔構造
手法名	顕微鏡法
概要	コンクリート試料を数cmにスライスし、研磨機で平滑に仕上げた試験体表面を気泡間隔測定装置で空気量等を測定する。
適用対象·範囲	鉄筋コンクリート構造物で可能
機器·装置	コンクリート表面を水平の直角2方向に平滑に移動できるステージをもつ気泡間隔 測定装置によって測定する。 画像処理による 気泡間隔測定装
調査方法	試料採取 ・コンクリート供試体を数cmにスライスし、研磨機で平滑に仕上げた供試体を作
	成する。 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
	方法
	コンクリート表面を一定間隔に区切った区切線上の気泡を測定する。
	・ポイントカウント法:基盤上の区切った区切線の交点が気泡断面に合致する割合から空気量を求める。
	・リニアトラバース法:区切線によって気泡上をよぎる際の気泡断面の弦長の総和から空気量を求める。 ・画像処理法:コンクリート試料切片の気泡内に蛍光塗料を添加し、紫外線を照射して気泡を発行させ、顕微鏡により倍率を上げたCCDカメラで発光状態を撮影し、画像処理について空気量を求める。
判断基準	一般に凍結融解の繰り返し作用を受ける恐れがある場合には、気泡間隔係数を200 μm以下となることが必要である。
特徴	ポイントカウント法、リニアトラバース法による測定には一試料2~3時間必要である。
	ポイントカウント法、リニアトラバース法による測定結果にはほとんど差は 生じない。
留意点	コンクリートの研磨作業や測定に熟練を要する。 画像処理法は、測定を手軽に短時間で行えるようになったが、骨材とペーストの界面などの本来気泡でない部分もカウントすることがあり、気泡間隔係数は少なめに評価されることがある。

項目	空気量・気泡間隔係数・細孔構造
手法名	高水圧法
概要	加圧装置にて供試体に水を圧入して空気量を測定する。
適用対象·範囲	鉄筋コンクリート構造物で可能
機器·装置	供試体の周囲に水をめぐらした密閉室に、耐圧試験機を介した加圧装置によって 水を圧入する装置
調査方法	 試料採取 10×20cm程度を確保する。 方法 ・コンクリート試料に300kgf/cm²程度の高水圧をかけ、コンクリートに浸透圧入される水量から空気量を求め
判断基準	空気量の目標値は粗骨材の最大寸法が20~40mmの一般的な普通コンクリートでは4~7%を標準
特徴	顕微鏡法に比べて簡便に行える。
留意点	測定値のキャリブレーションの方法、測定精度に課題あり。

項目	空気量·気泡間隔係数·細孔構造
手法名	水銀圧入法
概要	水銀の表面張力が大きいことを利用して粉体の細孔に水銀を侵入させるために圧力を加え、圧力と圧入された水銀量から比表面積や細孔分布を求める。
適用対象·範囲	鉄筋コンクリート構造物で可能
機器・装置	ポロシメータ
調査方法	コア(100mm、 30~50mmでも可)を抜き取る。 所定の部分にコンクリートカッターで切断した後、2.5~5mmに粉砕する。 アセトンおよびD-dry乾燥によって水和を停止させた試料とする。 試料の細孔構造を水銀圧入法により測定する。 塩酸もしくはグルコン酸ナトリウム溶液を用いて、試料中の骨材量を測定する。 有効細孔量として整理する。
判断基準	
特徴	細孔径分布、総有効細孔量、メジアン半径などの細孔構造の指標を再現性良く測定できる。
留意点	

項目	空気量·気泡間隔係数·細孔構造
手法名	気体(窒素)吸着法
概要	窒素吸着によるセメント硬化体の細孔径分布および比表面積を測定する。
適用対象·範囲	鉄筋コンクリート構造物で可能
機器·装置	細孔分布測定装置
調査方法	(1)コンクリートのモルタル部分を試料容器に入る大きさに切断機を用いて切断するか、鉄乳鉢を用いて粗砕し測定試料とする。
	(2)測定試料をD-乾燥して水和を停止する。
	(3)D-乾燥した測定試料を量り採り、窒素を吸着する。
	細孔径分布測定の場合
	平衡圧 P が $P/P_0(P_0$ は飽和蒸気圧が 0.95 となるまで平衡圧と吸着量を測定する。
	B.E.T.法による比表面積の測定の場合 多点法で測定する場合は平衡圧PがP/P ₀ (P ₀ は飽和蒸気圧)で0.05~0.35の範囲内で 数点(4~6点)、平衡圧と吸着量を測定する。1点法で測定する場合は平衡圧がP/P ₀ が0.3~0.35となる窒素を吸着させ、その時の平衡圧と吸着量を測定する。また、 吸着量の測定は熱伝導度検出器(TCD)を用いて吸着量の測定を行う流動法で測定し てもよい。
	(4)平衡圧と吸着量の関係から細孔径分布の計算または比表面積の計算を行う。 細孔径分布の計算
	計算方法はいくつかの方法があるので目的、計算ができる細孔径の範囲に応じて 計算方法を選択する。計算結果は単位試料質量当りかまたは単位試料体積当りで 示し、計算方法を明記する。
	B.E.T.法による比表面積の場合
	B.E.T.式によって比表面積(単位試料質量当りの表面積)を算出する。
判断基準	
特徴	B.E.T.法による表面積の測定は一般的な方法である。
留意点	細孔径分布の測定は P/P_0 が 0.95 となるまで測定する必要があり、測定時間が長い。
	気体吸着は使用する気体により吸着性状が異なるため、試料によっては比表 面積等の測定値が異なる場合がある。

項目	配合推定
手法名	セメント協会法
概要	打設されたコンクリートの材料構成がどのようなものか、配(調)合どおりのものであるか否かを把握する。
適用対象·範囲	普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートに適用する。
機器·装置	通常の化学分析を行えるレベルの機器・試薬で行うことができる。
調査方法	コンクリートの単位容積質量を測定後、微粉砕して希塩酸に熔解し、不溶残分と酸化カルシウム量を測定する。 別に強熱減量を求める。 単位容積質量、吸水率、付着水、不溶残分、酸化カルシウムより、配(調)合を算出する。
判断基準	構造物コンクリートの配合推定の評価に用いる。
特徴	試験が比較的簡便であり、特殊な技能、分析装置を必要としない。 比較的短時間で試験結果が得られる。
留意点	使用材料の入手、分析を行って補正する必要があり、また骨材比率が既知でないと、細、粗骨材の推定が困難である。 貝殻を含んだ石灰石系骨材を使用した場合には、ほぼ推定が困難である。 単位水量は、フレッシュの状態で封緘された以外、誤差が多く、ほぼ推定不可能である。 近年の多様な混和材、剤が使用されている場合、滴定法による酸化カルシウムの定量ができない場合がある。

項目	配合推定
手法名	フッ酸法
概要	石灰岩を骨材として用いている場合にも適用可能な硬化コンクリートの単位セメ ント量を推定する方法。
適用対象·範囲	コンクリートに使用した材料が入手できなくても推定が可能であり、骨材が石灰岩系でも配(調)合推定は可能である。 単位水量はセメント量、細・粗骨材量を求めた残量としているため推定精度は高められない。 なお本試験方法では、コンクリートが中性化していても推定精度は未中性化の場合と同程度と考えられる。
機器·装置	偏光顕微鏡
調査方法	モルタル部を切り出し、薄片を作製後、偏光顕微鏡を用いて測線上の細骨材の長さ、岩石種、鉱物種を記録する。 コンクリート断面に見られる粗骨材をトレースし粗骨材容積占有率を推定後、粗骨材を取り出し比重・吸水率・酸化カルシウム量を測定する。コンクリート試料を微粉砕後、フッ化水素酸で分解し酸化カルシウムをEDTA滴定法で定量する。
判断基準	構造物コンクリートの配合推定の評価に用いる。
特徴	石灰岩糸骨材使用の場合でも、単位セメント量、単位細・粗骨材量を推定できる。 小溶残分を定量しないため、溶解性の大きい骨材を使用していても誤差はない。 い。 中性化に伴うセメント水和物分解によるシリカゲルの生成は誤差にならない。
留意点	細骨材を偏光顕微鏡で観察するため、時間と専門的知識を要する。 粗骨材のトレース、薄片の作製、酸化カルシウムの定量の順で行い、同時平 行では行えないため、時間を要する。または複数の試験体を必要とする。

項目	配合推定
手法名	ギ酸法
概要	セメント協会法の欠点である「セメント水和物中のカルシウムと骨材中のカルシ ウムを区分できないこと」の解消を図った方法である。
適用対象·範囲	鉄筋コンクリート構造物で可能
機器·装置	ICP発光分光分析装置
調査方法	真空吸水 - 真空乾燥によって単位容積質量を求める。コンクリート粉末をDTA-TGにより強熱減量を求め、一方0.5%ギ酸で分解し、シリカ量を求める。計算により、単位水量、単位セメント量、単位骨材量を求める。
判断基準	構造物コンクリートの配合推定の評価に用いる。
特徴	試験が比較的簡便であり、特殊な技能を必要としない。機器はICPを用いるが、吸光光度法でも代用できる。 石灰岩質骨材を使用していても推定可能である。 比較的短期間で試験結果が得られる。 骨材のシリカをわずかしか溶解しないため精度よくセメント量が推定できる。
留意点	中性化したコンクリート、アルカリシリカ反応性を生じているコンクリートについては推定不能である。

項目	配合推定
手法名	グルコン酸法
概要	セメント協会法の欠点である「セメント水和物中のカルシウムと骨材中のカルシウムを区分できないこと」の解消を図った方法である。
適用対象·範囲	ポルトランドセメントで普通、石灰岩、貝殻を含む骨材を使用した硬化コンクリートの配(調)合推定が可能である。 混合セメントについては単位セメント量が小さくなる。また中性化したコンクリートには適応できない。
機器·装置	通常の化学分析を行えるレベルの機器・試薬で行うことができる。
調査方法	コンクリートコア供試体(100mm、30~50mmでも可)を抜き取る。 全量を粉砕する。 所定の温度で、コンクリート粉末をグルコン酸ナトリウムで溶解する。 不溶残分から単位セメント量を計算する。
判断基準	構造物コンクリートの配合推定の評価に用いる。
特徴	単位セメント量を±10%で推定できる。
留意点	石灰石骨材などを含んでいても分析が可能であるが、中性化が進行したコンク リートには適用できない。

項目	透水性
手法名	インプット法(浸透深さによる方法)
概要	インプット法(浸透深さによる方法)によって拡散係数を求めて透水係数を算定する。その結果、コンクリートの水密性を評価する。
	鉄筋コンクリート構造物で可能
機器·装置	
調査方法	直径と高さがほぼ等しい円柱供試体を所定の養生を行った後、7日間20~25の室内で乾燥させる。 1~2N/mm²の水圧を48時間加える。 供試体を割裂し、水の平均浸透深さを測定する。 次式により、拡散係数を測定する。 i²= ・Dm²/4t² ここに、i²:拡散係数(cm/sec²),Dm:平均浸透深さ(cm),t:水圧を加えた時間(sec), は係数で下記の表による 表 水圧を加えた時間 f による a の値 t (sec) 1 24×60² 48×60² 72×60² 120×60² 312×60² a 1 130.5 175.7 209.0 259.6 391.8 表 水圧1 kg/cm² とした場合の f の値 を 水圧1 kg/cm² とした場合の f の値 を 水圧1 kg/cm² とした場合の f の値 の (kg/cm²) 2.5 5 10 15 20 1.386
判断基準 特徴	コンクリートの水密性を判断する。
留意点	

	D
項目	透水性
手法名	アウトプット法
概要	一定の圧力で直接供試体に水を作用させ、単位時間に単位断面を通って流出した 水量を計り、圧力と流出量との関係から透水性を求める方法。
適用対象 · 範囲	鉄筋コンクリート構造物で可能
機器·装置	透水試験装置 加圧式透水試験機
調査方法	透水試験装置に供試体を加熱したアスファルトまたはパラフィンとロジンの 質量比1:1の混合物等で固定する。
	透水試験を恒温室内で実施する。透水係数は、流入量と流出量がほぼ等しくなった時点の透水量により次式により求める。 $K = \times (L/P) \times (Q/A)$ ここに、K:透水係数(cm/sec) : 水の密度(0.001kgf/cm³) L:試験体厚さ(cm) P:水圧(kgf/cm²) Q:透水量(cm³/sec) A:試験体の断面積(cm²)
判断基準	コンクリートの水密性を判断する。
特徴	
留意点	

項目	透気性
手法名	透気試験
概要	一定の圧力の空気を試験体に作用させ、空気の流れが定常になった後、流量を測 定し、ダルシー則より透気係数を求める。
適用対象·範囲	鉄筋コンクリート構造物で可能
機器·装置	透気試験装置
調査方法	透気試験装置に供試体を加熱したアスファルトまたはパラフィンとロジンの質量比1:1の混合物等で固定する。
判断基準	コンクリートの水密性を判断する。
特徴	
留意点	

項目	中性化·炭酸化				
手法名	フェノールフタレン噴霧法によるコンクリートの中性化深さの測定				
概要	構造物からコアを採取したりして、大気中の炭酸ガスなどの作用によって、コンクリートのアルカリ性が失われた範囲を測定する。				
適用対象·範囲	すべての鉄筋コンクリート構造物で可能。基本的には構造物からコア試験体を採取し、その試験体で測定する。				
機器·装置	フェノールフタレイン1%アルコール溶液をコア試験体の割裂面に噴霧する。				
調査方法	1.構造物からコア試験体を採取する。(原則粗骨材径の3倍以上のコアを採取する。 2.コア試験体が外気に接しないようにサランラップ等で養生して試験室に持ち運ぶ。 3.アムスラー等でコア試験体を割裂する。 4.割裂面にフェノールフタレイン1%アルコール溶液を噴霧する。 5.コンクリート表面から赤紫色に着色したところまでの距離を測定する。その距離が中性化深さである。				
判断基準	中性化深さの測定例を写真に示す。 中性化部分 未中性化部分 上面(コンクリート表面)から 赤紫色着色面までの距離を測定 する。これが中性化深さであ				
特徴	簡易に中性化範囲を測定できる				
留意点	(1)コアの採取やはつりなど、ある程度の破壊を伴う。 (2)フェノールフタレンが赤紫色に変色するPHは8.6以上であり、鉄筋が腐食する雰囲気にあるかどうかの判定には役立つが、中性化の原因についての情報は得られない。				

項目	中性化・炭酸化			
手法名	熱分析法による炭酸化範囲の測定			
概要	熱分析法によって、水和組織中のCaCO3の含有割合の分布を測定し炭酸化の範囲を推する。炭酸化の範囲は、健全部との比較によって判定する。			
適用対象·範囲	すべての鉄筋コンクリート構造物で可能。構造物からコア試験体を採取し、その試験体を 分析する。			
機器·装置	図に示す示差熱重量分析装置で試験を行う。			
調査方法	(1)重液分離によって分別された試料(番号:D-14参照)をメノウ乳鉢によって固結部分を軽くほぐす程度にすりつぶす。その際、炭酸化を受けないように注意する。 (2)熱分析装置(TG-DTA)を用い、試料20~30mgについて、10 /minの昇温速度の			
	条件下で室温から1000 までの重量変化を測定する。(番号: D-16参照)			
	(3)次式からCa(OH) ₂ 量とCaCO ₃ 量を算出する。			
	Ca(OH)₂量:(Ca(OH)₂による減量/試料の質量)×(1/0.24)×100%			
	CaCO₃量:(CaCO₃による減量/試料の質量)×(1/0.44)×100%			
判断基準	(1)促進中性化試験を行った試験体における炭酸化範囲の調査例			
	健全部の例 中性化部の例			
特徴				
留意点	(1) 炭酸化による $Ca(OH)_2$ 含有量の減少程度はわかるが、 $C-S-H$ の変質程度までは判定できない。 (2) 石灰接骨剤や混和剤として石灰石微粉末が使われている場合は、中性化で生成した $CaCO_3$ 量の算出は困難である。			

項目	中性化·炭酸化
手法名	EPMAによる炭酸化範囲の推定
概要	最大で10cmまでの試験片を対象として、中性化範囲ではなく、炭素の分布を調査した結果から炭酸化した範囲を推定する。
適用対象·範囲	すべての鉄筋コンクリート構造物で可能。構造物からコア試験体を採取し、その試験体で分析を行う。
機器·装置	図に示す X 線マイクロアナライザーで試験を行う。 X 線マイクロアナライザー
調査方法	炭酸化の範囲を調査したい試験片の表面を研磨した後、金を蒸着して、EPMA装置によって炭素の濃度分布を測定する。 (測定条件の例) 加圧電圧:15kV 試料電圧:5×10 ⁻⁷ A、 プロープ径100 μ m ピクセル数:200×780、ピクセルサイズ:100 μ m
判断基準	(1) 促進中性化試験を行った打継ぎ面付近の炭酸の分布の例 286. 216. 175. 148. 炭素の量が多い部分が白く表現されているため、打ち継ぎ部が中性化していることが分かる。 E PMA測定結果の例
特徴	
留意点	(1)通常は5cm程度(最大でも10cmまで)の大きさの試験片にしか適用できない。 (2)研磨の際、試験体に樹脂を含浸させた場合は、樹脂中の炭素も測定されるので注意 が必要である。

項目	塩化物濃度					
手法名	全塩分					
概要	硬化コンクリート中に含まれる塩分の全量を分析する方法について示す。					
適用対象·範囲	べての鉄筋コンクリート構造物で可能。構造物から試料を採取し、その試験体を分析す					
機器·装置	自動滴定装置等を用いる。					
調査方法	(1)試料調整					
	構造物から採取したコンクリートコアやその他のコンクリート塊を、塩分の溶出を防ぐため水冷式のカッターなどを使用しないで、タガネなどを用いて割裂する。次いでジョークラッシャーや鉄乳鉢(ステンレス乳鉢)を用いて、約5mm以下に粗粉砕して風乾する。振動ミルや鉄乳鉢(ステンレス乳鉢)を用いて149 µ mのふるいを全通するように粉砕する。一昼夜風乾したものを試料とする。					
	(2)塩化物イオンの抽出					
	骨材の結晶内で置換固溶している微量の、鉄筋の腐食に無関係な固定化された塩分を溶出させずに、施工およびその後に混入してくる塩分のみを完全に溶解する。試料に硝酸溶液(2N)を加えてpH値を3以下とし、加熱煮沸して全塩分を溶解する。					
	(3)塩化物量の測定					
	a)塩化物イオン選択性電極を用いた電位差滴定法					
	試料を硫酸で溶解した溶液を、ろ過洗浄する。ろ過を分取し塩化物イオン選択性電極 を備えた電位差滴定装置を用いてN/200硝酸銀溶液で電位差滴定する。滴定量から 塩分量を算出する。					
	b)クロム酸銀 - 吸光光度法					
	試料を硫酸で溶解した溶液に炭酸カルシウムを少量づつ加えて再び煮沸して冷却した後、吸引ろ過洗浄する。ろ液を分取しクロム酸銀(粉末)を加えて呈色させる。上澄み液を加圧してろ過して吸光度を測定する。吸光度から塩分量を算出する。					
	c)硝酸銀滴定法					
	試料を硝酸で溶解した溶液に炭酸カルシウムを少量づつ加えて再び煮沸して冷却した後、吸引ろ過洗浄する。ろ液を分取しクロム酸カリウムを指示薬としてN / 10 硝酸銀標準溶液で滴定する。滴定量から塩分を算出する。					
	(4)注意事項					
	無色透明あるいは淡黄色の液体である硝酸は赤褐色の特有の臭気を持つガスを発生する。皮膚に触れると直ちに皮膚が腐食され、目に入れば失明するおそれがあるので、取り扱いは十分慎重に行うこと。					
判断基準	コンクリート構造物への塩化物イオンの浸入量、浸入深さの調査					
	塩化物イオンの硬化コンクリート中の移動に関する検討					
特徴						
留意点	塩化物イオンの定量は所有する装置や経験などにより選択する余地がある。					
	塩化物イオンの形態により抽出の挙動が異なるので抽出条件を明示する必要がある。					
	操作が比較的煩雑である。(このため簡易な方法も検討されている。[2])					

項目	塩化物濃度
手法名	可溶性塩分
概要	硬化コンクリート中に含まれる50 の温水に可溶な塩分量を分析する方法について示す。
適用対象·範囲	すべての鉄筋コンクリート構造物で可能。構造物から試料を採取し、その試料を分析する。
機器·装置	自動滴定装置等
調査方法	(1)試料調整
	全塩分に示す試料調整法と同一である。
	(2)塩化物イオンの抽出
	一般に水または温水により容易に抽出される塩分はイオン化した状態にあるものが多く、 鋼材の腐食に直接関与すると考えられている。
	(3)塩化物量の測定
	a)塩化物イオン選択性電極を用いた電位差滴定法
	試料から温水を用いて塩分を抽出した溶液を吸引ろ過する。ろ液を分取し硝酸溶液(2N)を加えて酸性にした後、塩化物イオン選択性電極を備えた電位差滴定装置を用いてN/200硝酸銀溶液で電位差滴定する。滴定量から塩分量を算出する。
	b)クロム酸銀 - 吸光光度法
	試料から温水を用いて塩分を抽出した溶液を吸引ろ過する。ろ液を分取し硝酸溶液(2N)を加えて酸性にする。炭酸カルシウムを加えて静かに沸騰させた後、常温まで冷却しろ過洗浄する。ろ液を分取しクロム酸銀(粉末)を加えて呈色させ、加圧ろ過して400mm付近で吸光度を測定する。吸光度から塩分量を算出する
	c)硝酸銀滴定法
	試料から温水を用いて塩分を抽出した溶液を吸引ろ過する。ろ液を分取し硝酸溶液(2N)を加えて酸性にする。炭酸カルシウムを加えて静かに沸騰させた後、常温まで冷却しろ過洗浄する。ろ液を分取しクロム酸カリウムを指示薬としてN/10硝酸銀標準溶液で滴定する。滴定量から塩分を算出する。
	(4)注意事項
	50 で抽出中の温度の変化に留意する。室温などを50 に設定できないときは保温容器 [2]などを利用する必要がある
判断基準	コンクリート構造物への塩化物イオンの浸入量、浸入深さの調査
	塩化物イオンの硬化コンクリート中の移動に関する検討
特徴	
留意点	全塩分に示す全塩分の分析の場合と同様である。
	ただし可溶性塩分については文献[1]のなかで簡易法は開発されていない。

項目	塩化物濃度
手法名	蛍光X線分析による塩化物の分析
概要	(目的、特徴、適用限界、定量の範囲、精度など) 硬化体(ペースト、モルタル、コンクリート)中の塩素の全量分析
適用対象·範囲	すべての鉄筋コンクリート構造物で可能。構造物から試料を採取し、その試料を分析する。
機器·装置	自動滴定装置等
調査方法	操作
	セメント硬化体中の塩素の蛍光 X 線分析に関しては公定法はないので「含塩素スラグ中の定量」[2]で報告されている方法をモルタルに適用したところ、比較的再現性良く測定することが可能であることがわかった。したがって本項ではこの方法について示す。
	塩化物含有量が異なる試料を湿式分析により塩素量を定量する。湿式分析方法はJCI - SC4硬化コンクリート中に含まれる塩素の分析方法に準拠して行う。
	によって塩化物含有量が既知となった試料と融剤、剥離促進剤を容器に測りとり、ガラスビード作成装置にてビードを作成する。ビード作成温度や作成方法については文献[2]を参考とする。
	蛍光X線装置にて で作成したビードのX線強度を測定し、湿式分析値とエッX線強度値から検量線を作成する。塩素の蛍光X線の測定方法はJIS等に規定されていないので文献[2]の方法を参考にして分光結晶や検出器を選定する。
	測定試料に関しても 法でガラスビードを作製し、蛍光X線装置X線強度を測定し、で得られた検量線から含有量を定量する
判断基準	鉄筋コンクリート中の塩分濃度の測定 他。
 特徴	迅速分析が可能である。
留意点	試料調整温度により塩素の揮散量が異なるため、厳密な温度管理が必要である。
	検量線作成のため濃度既知試料が必要であり、湿式分析技術も必要である。
	測定条件設定に習熟が必要である。
	装置が高価であり、試験機関が限られる。

0.コンクリートの	摂 						
項目	アルカリ骨材反	アルカリ骨材反応					
手法名	コア試料による	コア試料による膨張率の測定方法					
概要	アルカリ骨材反法である。	応を生じた構造	物から記	(料を採取し、コアの膨張率について測定する方			
適用対象·範囲	アルカリ骨材反	応が生じた、あ	るいは疑	われる構造物			
機器·装置	恒温恒湿漕						
調査方法	1.構造物から	コア試験体を採り	取し、図1	こ示すゲージを取り付ける。			
	2.取り付けた時	2.取り付けた時点の基長をコンタクトゲージ等で測定する。					
	3.湿潤状態で 測定を行う。	養生し、試験室	(20 —	-定)に保管するし、膨張が収束するまで定期的に			
	定を続ける。(こ	.の方法がJCI法	である。	95%以上)を保ったまま保管し、定期的に6ヶ月測 類似な方法として50 のNaCI溶液で3ヶ月間保管 気に2週間保管するのがカナダ法である。)			
	\$ 100 m	100					
判断基準	各機関によって異なるが、たとえば以下のような例がある。						
		促進養生の条件		判定基準			
		温度 40 、湿度	阪神高速 道路公団	全膨脹量が0.1%を超える場合、有害と判定する。			
	JCI-DD2法	100%の条件下にて 養生	建設省	建設省総合プロジェクト「コンクリートの耐久性康応技術の開発」では 40度、100%RHの条件下に13週間養生し、0.05%以上の膨張量を示 すものを有害または潜在的有害と判定する。			
	デンマーク法	温度 50 の飽和 NaCl 溶液中に浸漬	すものを有害なたは周田田り有害と判定する。 試験材齢3ヶ月での膨張量で以下のように判定する。 0.4%以上: 膨張性あり。 0.1~0.4%: 不明確。 0.1%未満: 膨張性なし。 ASTM S 1260-94 の判定基準: 試験開始後14日間での膨張量で以下のように判定する。 0.1%以下の場合: 無害。 0.1%以下の場合: 無害。 0.10~0.20%の場合: 有害と無害な骨材が含まれる。 (この場合、14日以降もさらに試験を継続する)。 0.20%以上の場合: 潜在的に有害な膨張率				
	カナダ法(NBRI法)	温度 80 の 1N の NaOH 溶液中に浸漬					
 特徴	カナダ法は、短	カナダ法は、短期間で測定できる。					
	1. 各方法の保	 管する溶液の種	類による	影響を十分に考慮する必要がある。			
	2.JCI法以外は、あまり一般化されていないので、対応できる研究施設は少ない。						

c. 鉄筋の損傷度

項目	鉄筋腐食度							
	コンクリート中の鋼材の腐食評価							
概要	コンクリート構造物から取り出した鉄筋に対して、腐食状況を確認する。							
1970	1) 腐食面積率							
	2)鋼材断面減少							
	2) 鋼材断 田 瀬少							
海田社会 祭田	3) 重重減少率 全ての鋼材に適用可能							
適用対象·範囲		-						
機器·装置	プラニメータ	9					000	
	画像処理装置							
	ポイントマイクロメータ	1						
			プラ	ラニメータ		画像処理	里装	
調査方法	1)腐食面積率							
	コンクリート構造物から取り出した鎖する。 更に腐食部分の面積をプラニ						以以展開図を作成	
	 2)鋼材断面減少							
	 酸類等により腐食生成物を除去した マイクロメータ、400倍程度の顕微鏡						直径を , ポイント	
	3) 重量減少率	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,		9E C 1371.	, , ,	117/37		
	腐食生成物を除去した後の鋼材重 材重量を計測する。	量と	当初の	重量との)差か	ら、腐食によ [、]	って損失した鋼	
判断基準	鉄筋腐食量が大きい場合は構		要-4.8 鋼材質食状況評価の目安 ¹⁰⁷⁻¹¹⁷					
	造的な欠陥につながる。また、 腐食面積率が高いものは、環 境状況やかぶり厚との関連を	獨 1 目3	t状況評価の g	著しい腐食と れない 現状で十分使		著しく疑り	をしている 交換・補修等が必要	
		質1	変の形態評価 関食グレー		ĝ.	D TI	A A	
	合わせて考えると、耐久性能が	省食調査基本	関食による 鋼材断面の 減少			明らかに断面の減少が見 以上欠損していることが	 られる。厚の場合は 1 mm 多い	
	低下していると考えられるもの もある。一方、腐食減量が集中		重量変化率 齊 食 度			~ 8 %	左以上 d 以上	
	しているものは外観状ひび割	項目	侵食度	0.15 mm	年以下	0.15 mm	7年以上	
	れ発生の位置と関連しているも のが多いと考えられる。	-	腐食電位コンクリー	-{		E<-).35 V ひぴわれが発生していた ら必ずw.逆にwであれ ぱ.おおむねひぴわれ発	
			トのひびわ れ有無 コンクリー	1		ひびわれ発生開始 コンクリート内部へ拡散	ひびわれに沿って拡散,	
			トのさび拡 散 異形	トの界面にと	どまる 	開始	コンクリート表面ににじ み出る	
		構造物としての検討項目	4			とんど変化せず きくなるに従い,むしろ増大する		
		検討	強度 丸鋼	100	付着強度」	比 (Iを100とする) 166	139	
		ã			ほとんど		腐食鍼囊に比例して低下	
						降伏点が現 断面欠損がなければ強さ	れにくくなる	
		***	引張強さ	ほとんど変		の低下は無視しうる	かなり低下する	
特徴	コンクリートのはつりが必要となる。							
留意点	鉄筋を取り出す位置の選定にあたっては、耐荷性能に影響すると考えられる箇所は基本的に裂けるべきである。ただし、影響すると考えられる箇所を切り出す場合は、構造的な安全性を照査し、必要に応じて補強を考えなければならない。							

(.鉄筋の損傷度

項目	鋼材の強度
手法名	金属材料引張試験
概要	コンクリート構造物から取り出した鉄筋に対して、残存耐荷力を確認する。
適用対象·範囲	全ての鋼材に適用可能
機器・装置	引張試験機(JIS B 7721)
調査方法	オフセット法、永久伸び法、全伸び法 (JIS Z 2241)
判断基準	試験結果による
 特徴	コンクリートのはつりが必要
	コンファーロのはフッル必女
留意点	

(.鉄筋の損傷度

項目	鋼材の強度			
手法名	金属材料曲げ試験			
概要	コンクリート構造物から取り出した鉄筋に対して、残存曲げ耐力を確認する。			
適用対象·範囲	全ての鋼材に適用可能			
機器·装置	曲げ試験機 鉄筋曲げ試験機			
調査方法	押曲げ法、巻付け法、Vプロック法			
判断基準	試験結果による			
 特徴	コンクリートのはつりが必要			
留意点	7// 10/10//11/20			
⊞ Æ5.⊼\\				

項目	アルカリ骨材反応
手法名	化学法
概要	コンクリートからはつりとられたコンクリート塊から骨材を取り出し5%程度の希塩酸に浸漬し、骨材に付着したセメントペースト分を完全に溶解させ、骨材のみを取り出して反応性を確認する。この方法は、試験値を判定図(ASTM C 289)にプロットして、反応性を判断するが、アルカリ骨材反応は種々の条件が重なって起こるので、この試験での「有害」、「無害」の判定は、その可能性が強いという意味に解釈すべきである。『ASTM C 289』、『JIS A 1145-2001』
適用対象·範囲	コンクリート用骨材のアルカリシリカ反応性を、化学的な方法で迅速に判断できる
機器·装置	資料調整用装置
	破砕機(ジョークラッシャー)、微粉砕装置
	恒温水槽、原子吸光光度計、光電光度計
	電気炉等
調査方法	試料を粉砕機で粉砕し、粒度0.3~0.15mmに調整した後、水洗し、温度105 ±5 の乾燥器内で20時間乾燥させる。試料25gと1規定(40g/I)の水酸化ナリュウム水溶液25mlをステンレススチール製反応容器に入れ80 ±1 の恒温浴槽中温度で24時間保持後、試料原液を吸引濾過する。
	原料原液を希釈し、分光光度計や原子吸光光度計を用い、あるいは重量法分析によって溶解シリカ量(Sc)を測定し、アルカリ濃度減少量(Rc)は希塩酸で滴定して測定する。この値を判定図にプロットして判断する。試験値を大きく左右する要因の一つに骨材試料の粉砕方法にある。
	粗骨材に付着するセメント硬化体をハンドグラインダーで研磨除去する方法
	コンクリートをハンマーで粗破砕し、さらに粗骨材に付着するモルタルを小型ダイヤモンドハンマーでできるだけ除く。 その後、 小型ダイヤモンドハンドグラインダーで付着物をさらに研磨除去し付着物の有無は、 時々 ルーベあるいは実態顕微鏡で確認する。
	粗骨材に付着したセメント硬化体を塩酸で溶解除去する方法
	ハンマーを用いてできるだけ粗骨材とモルタル部を分離し、粗骨材に付着する付着物はさらに鋭利なハンマーを使って除く。その後1 + 1の塩酸に1時間程度浸漬した後水洗いする。
判断基準	骨材のアルカリシリカ反応性の判断は、測定項目における定量値の平均値を用いて判断する。 溶解シリカ量 10mmol/Iかつアルカリ濃度減少量 < 700mmol/Iで溶解シリカ量(Sc)/アルカリ濃度減少量(Rc) 2で「無害と判断する」。
	図 6.12 骨材の有害度の判定図 (JIS A 5308 附属書 7)
特徴	短期間に結果が得られる。化学法によるアルカリシリカ反応性試験用試料は、0.3~0.15mmときわめて狭い粒度範囲のものを用いるので、元の骨材試料から0.3~0.15の試料をどれだけ調整できたか、つまり0.3~0.15mmの試料の歩留りが問題となる。現在一般的に行われている粉砕方法では、0.3~0.15mm試料の歩留りは平均37%前後であり、骨材によっては0.3~0.15mmの範囲に砕けやすい部分だけを試験することになるので、できるだけ歩留りをあげる必要がある。
留意点	全ての骨材のアルカリシリカ反応性の判定に適しているわけではなく、判定することができない種類の骨材もあることに留意する。骨材中に粘土鉱物など微少鉱物が含まれていると、鉱物中の塩酸と反応しやすいアルミナや鉄が塩酸と反応して溶出し、シリカは溶出せずに留まる。このような骨材についてはアルカリシリカ反応性試験(化学法)を行うと「溶解シリカ量」の値が大きくなるので、骨材の構成鉱物をよく調べてから実施する必要がある。

項目	アルカリ骨材反応				
手法名	モルタルバー法				
概要	モルタル供試体を作製して骨材のアルカリ骨材反応性を調べる方法である。『ASTM C 227』、 『JIS A 1146-2001』に準拠する。				
	 ₹ルタルパーの長さ変化を測定することによって、 骨材のアルカリシリカ反応性を判定する。				
機器·装置	粗骨材から細骨材を製造する製砂機(ロッドミル、ジョークラッシャー、ディスク型製砂機、ロール型製砂機)、ふるい『JIS Z 8801-1』4.75mm、2.36mm、1.18mm、600μm、300μmおよび150μm モルタルの機械練り用練混機『JIS R 5201 8.1(2)』、型枠『JIS R 5201 10.1(2)』、ダイヤルケージ『JIS A 1129-3』、および温度40±2、相対湿度は95%に保持できる貯蔵容器				
調査方法	試験用試料は表に示す粒度となるように調製する。 型枠は40×40×160mmの型枠で、両端に長さ変化 測定用が - ジブラグを埋め込めるよう、加工してあるも 通過 残留 (%)				
	のを用いる。使用セメントは、アルカリ量0.65±0.05%、 Na2O(%): K2O(%)=1:2±0.5の範囲にあるアルカリ量が 4.75mm 2.36mm 10%				
	明らかなボルトランドセメントを用い、水酸化ナトリュウムを添加し、アルカリ量を等価Na2O=1.2%±0.5%に調製して				
	試験を行う。モルタルの配合は、質量比でセメント1に対し 1.18mm 600 μ m 25%				
	て骨材2.25、水0.5とする。供試体は24±2時間後に 型枠から外し、最初の長さ測定を行うが、測定には 600 μm 300 μm 25%				
	0.001mm精度のダイヤルゲージを使用する。 供試体は 300 μm 150 μm 15% 258中に密閉し、12日間温度40 ±2 で保つ。12				
判断基準	日後、温度20±3 に少なくとも16時間保った後、供 供試体の長さ変化の測定は、材令2週、4週、8週、3ヶ月および6ヶ月とする。6ヶ月後の供 試体の長さ変化の測定結果、供試体3本の平均値が材令6ヶ月に膨張率 0.100%(もしく は3ヶ月後の膨張率 0.05%)の場合に「有害である」と判断する。				
特徴	判定までに長期間を必要とするとともに、測定中に供試体内部より比較的多量の水酸化イオンが漏出することが問題となる。微細な結晶粒や歪んだ結晶格子をもつ石英が反応性鉱物である、チャートなどの骨材では、膨張が非常にゆっくりと進行するため原稿の判定基準によっては適切に評価できない。				
留意点	化学法により「潜在的有害」と判断されたばあいは、高いアルカリシリカ反応性と顕著なペシマム現象に留意する必要がある。化学法同様、骨材の粒度調製あたっての粉砕方法(特に調製歩留り)は、試験値に影響を与えると考えられるので十分注意する。また相当量の骨材試料を必要とし、コンクリート中の粗骨材の反応性を調べる方法としては、骨材の取り出し作業に人手と時間を要するので、実際的とはいえない。むしろ化学法で判断した方が良い場合もある。				

u,有例	
項目	アルカリ骨材反応
手法名	偏向顕微鏡観察(岩石学的試験)
概要	偏光顕微鏡は、微細な物質を拡大して観察するばかりではなく、物質の光学的性質を調べるために特殊なプリズムを備えた顕微鏡を用い骨材中の有害鉱物を判定する方法である。物質の光学的特徴は、それぞれの物質に固有のものであるから、その物質の種類が何であるかを知るための有効な手段である。
適用対象·範囲	骨材に含まれる有害鉱物の判別(同定)、定量
機器·装置	眼に接する対眼鏡、観察試料に接する対物橋の他にアナライザー、ポラライザーの2つの組合せがある。この組合せには光の振動方向を特定するための系で、ポラライザーを通過する偏光の振動方向は顕微鏡に向かって前後方向に、またアナライザーを通過したものは左右方向になるようにしてある。以上の4つレンズ系を用いて観察する方法をオルソスコープ観察という。写真「アルカリ骨材反応の診断」(小林ー輔編集)より抜粋
調査方法	体の様子、反応生成物、気泡の様子などである。
	偏光顕微鏡とは、偏光を用いて物質を観察顕微鏡であり、偏光はニコル・プリズムによって得る。この方法はその対象鉱物により単ニコル・プリズム法(偏光板が1枚)と直交ニコル・プリズム法(縦波の光を透す偏光板と横波を透す偏光板を用いる)から選定し、鉱物の光学的特徴から判定(鑑定)する。 観察資料は、岩種により偏りの無いようにコンクリート中から粗骨材をできるだけ多く(30個以上)取り出し、試料全てを5mm以下に砕いてから縮分し、合成樹脂で固めて薄片試料を
	作製する。薄片試料は2~3枚作製する。
判断基準	偏光顕微鏡下における骨材の観察と、含まれる有害鉱物の定量方法は、JCI-DD3「骨材に含まれる有害鉱物の判定(同定)方法(案)」とJCI-DD4「有害鉱物の定量方法(案)」に従うと良い。
	単ニコル (直交ニコル (し) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1
	写真 2.6 安岩山および石英質音材の優光顕微鏡写真 ⁿ 左:ガラス質安山岩 (PC:斜長石、A:普通輝石、茶色部は火山ガラス) 右:石英 (PC:斜長石、O:正長石、Q:石英、B:黑雲母)
	「コンクリートの組織構造の診断」(小林一輔編集)より抜粋
特徴	各種分析機器の取り扱いや岩種および反応性鉱物の同定にかなりの熟練度が要求される。
留意点	反応性鉱物の種類とその量が調べられた場合でも、骨材のアルカリシリカ反応性は骨材の粒径やその混合比率(ペシマム混合率が存在する)により相違するので、骨材のアルカリシリカ反応性を正確に判定することは困難である。

U,有初	
項目	アルカリ骨材反応
手法名	粉末X回折試験(岩石学的試験)
概要	X線回折試験は、X線が結晶によって回折されることを利用して、物質を構成している化合物や固体化学反応の状態分析などの有力な手段として用いられている。結晶体に単色(波長を とする)のX線を当てると、結晶の面間隔dに対し、ブラッグの式 =2dsin を満足するとき、X線はその結晶の格子面によって回折される。したがって、回折が起こるX線の入射角を測定すれば、計算により試料の格子面間隔dが求められ、あらかじめ測定された種々の結晶の格子面間隔dと対比することによって、物質の同定が可能となる。なお、試料は通常粉末で試験することから、粉末X線回折法と呼ばれている。
適用対象·範囲	骨材に含まれる有害鉱物の判別(同定)、定量
機器·装置	X線管球は、その発生X線が特定波長を持つように、それに対応した金属を用いてつくられる。試料は一般的に微粉砕したものを用い、測定用ホルダーに圧縮して平板状につめる。回折記録にあたっては、データの処理、検討の目的により、走査速度、発生X線の強さ、回折角度範囲その他の条件をそのつど設定する。特に回折角度の精密測定をはじめ、回折パターンの重なりなどは分解能を向上させるために設定が必要である。写真「アルカリ骨材反応の診断」(小林一輔編集)
調査方法	水和物、骨材などを問わず、その含有鉱物の 定量を簡単に行う一般的な方法として最も普及した測定方法である。未知試料のASTM カードなどを用いた同体法や、結晶への他成 分の個溶などによる格子の大きさの変化や歪 みの状態の定量的扱いなど応用範囲は広い。 さらに結晶構造にの解析のように、単結晶に ついての検討から始まる高度な解析に至る手
判断基準	試験試料から得られた回折パターンの回折角度から格子面間隔を求めるが、これはX線波長に対応する2 -d 表がつくられており、それから簡単に読みとるこてができる。これを回折角度のある範囲内において各パターンについて求め、同時にそれらの回折強度を定性または定量的に算出してその間の表をつくる。この得られたデータを基準にASTMカードと比較することによりその試料の構成化合物の同定をする。
特徴	粉末 X 線回折試験によって診断の可能なものは、コンクリート中の粗骨材とセメント硬化体を構成する鉱物である。粗骨材の試験では、アルカリ反応性鉱物のクリストバライトとトリジマイトの同定に適するとともに、他種の鉱物の偏光顕微鏡観察の補助となる。
留意点	骨材の検討には、その含有岩石やそれを構成する鉱物について、定性、定量的に広く測定分析することができ、その品質判定には、偏光顕微鏡観察とともに重要かつ手軽な手法と考えてよい。ただし全般的に非結晶または低結晶性物質の混合量の判定には難点があるので、他の方法により検討する必要がある。

u,自初	
項目	アルカリ骨材反応
手法名	走査型電子顕微鏡観察·SEM試験(岩石学的試験)
概要	走査型電子顕微鏡(SEM)は、きわめて細かく絞られた電子線(電子プロープ)で試料表面を二次元的に走査し、試料の表面近くで発生する二次電子を収集して、テレビジョンで使用されるものと同様の技術で映像化する装置である。SEMは、光学顕微鏡と比較して格段の焦点深度が深く分解能も良いため、凹凸のある表面の形態観察に最適で、高分解能の実体顕微鏡と考えることができる。アルカリ骨材反応を生じたコンクリート中の骨材やゲルを観察することが可能で骨材の浸食やゲルの侵出状態の他、ゲルそのものの形態の特徴も観察できる。
適用対象·範囲	骨材の浸食およびゲルの浸出状況観察、およびアルカリ骨材反応の判定
機器·装置	電子線を放射する電子銃、何段階かの収束レンズにより構成された照射系、資料室、対物レンズ、中間レンズ、投影レンズを組合せた結像系とからなる。結像部は試料表面からでる二次電子を検出器と増幅器、走査コイルと同期させて像を画面に再現するCRTの各部分からできている。SEMの分解能は電子ビームをどれだけ細かく絞り、また高い輝度で試料に照射できるかによって決まる。写真「アルカリ骨材反応の診断」(小林一輔編集)より抜粋
調査方法	まず、硬化コンクリートから分析用サンプルを採取する。走査電子顕微鏡は、表面の拡大観察を行う機器であり、観察対象物資が表面に現れていることが前提条件である。また、組織構造や結晶構造を観察するのが主たる目的であるので、破面のままでよい。サンプルに水や揮発物質が含まれている場合には、デシケータ等で乾燥しておく。次に、金属蒸着装置を用いて観察面に金属を蒸着する。金属蒸着の目的は試料台と通電させて電気を逃がすためである。金属蒸着が終了したサンプルは、試料台に分析面が上になるように両面テープあるいは瞬間接着剤で固定し、試料台と蒸着金属を導電テープ等で通電させ、走査電子顕微鏡内部に装填する。CRTで観察の終了した画像は、通常、試料の分析条件を画像内に表示して、備え付けのポラロイドカメラで投影する。
判断基準	写真は、空隙中のアルカリシリカゲルの生成状態を撮影したものである(×40)。分析時の脱気により乾燥して、ひびわれが入っている。写真4.6.2-4は 部を拡大し拡大して分析したものである(×5000)。粒状で非結晶のアルカリシリカゲルが存在しており、X線による組成分析から、アルカリシリカゲルであることが確認された。
	「コンクリート診断技術 (基礎編)」より抜粋 7乗4.6.2-3 空場内のアルカリシリカゲル
特徴	走査電子顕微鏡では、無機物、有機物を問わず、ほとんどの観察が可能である。硬化コンクリートに関して適用する場合、倍率を選定することによって様々な解析ができる。低倍率では空隙の形態・分布状況やアルカリシリカゲルの存在状態など、高倍率では骨材とセメントペーストの界面の状態やセメント硬化体の結晶の生成状態などと利用範囲が広い。
留意点	水を含んでいるサンプルを分析する場合、その程度にも夜が、装置に悪影響を与えると同時に、脱気に時間を要し、サンプルの形態も変化する。このような場合には、低真空型のSEMを用いたり、試料を凍結させて分析することになる。分析時には、高電圧の電子線が試料に照射されるため、試料にダメージを受ける。その結果、形態が変化するため、低倍率から分析を行う。有機物質を分析する場合は、1回の分析で照射部分が焦げ付くなどの現象が確認されている。また、高倍率で結晶状態を見ることになるので、物質の特定については専門技術者の判断を仰ぎ、解析を誤らないようにするのが望ましい。

参考文献

1 土木学会「コンクリート標準示方書 [維持管理編]」

- 2 ピーターH・エモンズ「イラストで見るコンクリート構造物の維持と補修」鹿島出版会
- 3 日本コンクリート工学協会「コンクリート診断技術'04」
- 4 岸谷孝一ほか「コンクリート構造物の耐久性シリーズ 中性化」技報堂出版
- 5 日本建築学会「鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ~メカニズムと対策技術の現状~」
- 6 日本コンクリート工学協会「コンクリートのひび割れ調査,補修・補強指針2003」
- 7 長谷川寿夫ほか「コンクリート構造物の耐久性シリーズ 凍害」技報堂出版
- 8 桂修「過冷却現象を考慮したコンクリートの凍害機構に関する研究」北海道大学学位論文 1999 年
- 9 山田順二ほか「わかりやすいセメントとコンクリートの知識」鹿島出版会
- 10 小林一輔ほか「コンクリートの組織構造の診断」森北出版

付録1 コア採取の方法

付1-1 採取コアにより実施可能な測定

試験室による試験・分析を行う場合,試料としてコアを使用することが多いが,試験により形状が定められているものがある.また内容によっては,1本のコアを複数の試験・分析に流用することが可能であり,コアの採取本数を減ずることができる.

調査計画立案の段階から、採取コアの試験・分析項目と流用方法を考えておく必要がある.

付表-1.1 コンクリート試料の形態

	A.採取コアを整形またはコアから試験片を切り出すもの	B.骨材を取り出して行うもの*1	C.粉砕して行うもの*1
	圧縮強度試験(JIS A 1107)		
強度性状の試験	引張り強度試験(割裂試験)		
	静弾性係数の測定		
	比重の測定*2		配合推定
材料品質の試験	吸水性試験*2		
	透水性試験		
	中性化試験(割裂面にて)*3	アルカリに対する反応性試験	塩化物量の測定*5
	促進膨脹試験	(化学法、モルタルバー法)	化学分析
 耐久性に関する試験	気泡間隔係数、空気量測定*4		細孔径分布の測定
別久 注 に 美 9 の武勝	X線回析*4		
	光学顕微鏡·電子顕微鏡観察*4		
	EPMA分析*4		

^{*1} はつり片でも可

^{*2} 供試体に物理的ダメージを生じないので、測定後他の試験に流用できる。

^{*3} 圧縮強度試験後の供試体を流用できる(但し、破壊時に爆裂する高強度コンクリートは不可)

^{*4} コアから試験片を採取するので、残りの部分を供試体の形状を問わない試験に流用できる。

^{*5}深さ方向の濃度分布を求めるには、深さ方向に数枚にスライスする。

付1-2 必要なコア寸法

圧縮強度試験を行う場合,整形後のコア供試体の寸法は,JIS A 1107「コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法」によらなければならない.

a.コア供試体の直径は、一般に粗骨材の最大寸法の 3 倍以下としてはならない。 b.コア供試体の高さと直径との比は、 $1.90 \sim 2.10$ とし、どのような場合にも 1.0 以下としてはならない。

備考 供試体の高さと直径の比が 1.90 より小さい場合は、試験で得られた圧縮強度に表 1 の補正係数を乗じて直径の 2 倍の高さをもつ供試体の強度に換算する。

高さと直径との比 h/d	補正係数	備考
2.00	1.00	
1.75	0.98	 h/dがこの表に表す値の
1.50	0.96	中間にある場合、補正係
1.25	0.93	数は補間して求める。
1.00	0.87	

但し,コア供試体では外周で粗骨材が切断されることによる影響があるため,コア径については粗骨材最大寸法の3倍より余裕を持った大きさとすべきである。高さについては,特に静弾性係数の測定にあたっては,加圧面による拘束を受けない中間部分の長さが必要なので,コア供試体の高さは直径の2倍とすべきである.

付1-3 コア供試体に鉄筋が含まれている場合の扱い

コア供試体に鉄筋が含まれていると、その影響により圧縮強度試験値が小さめに現れる. 鉄筋による補正は JIS A 1107 には示されていないが、「建築物の耐震診断システムマニュ アル」に、含まれている鉄筋の状態による補正係数が示されている.

付表-1.2 鉄筋を切断したコア強度の補正係数

鉄筋の	の状態	Θ	\oplus		\bigcirc
	9 φ	1. 02	1.03	1.05	1. 07
	D13 ø	1. 03	1.04	1.05	1.08
	9 φ	1.03	1.04	1.06	1.08
	D13 ø	1. 04	1.05	1.07	1.10

○ : コアの平面図

□ :コアの側面図

付1-4 コア採取の手順

	図面上でコア採取位置候補の決定 ・・・・・		コンクリートの配合、打設時期、工区、環境条 件、配筋等を考慮
	採取コア径とコア長さの決定・・・・・	·· į	試験規格、配筋間隔、部材厚さの関係から決定
	現地における確認・・・・・	·· į	劣化状況、作業条件の可否等を考慮
現	マーキング		
地作業	鉄筋探査	<u>{</u>	鉄筋を避けた位置から採取
未	コアボーリング ・・・・・		必要長さ+数cmの位置で折り取り スラブ等では貫通の場合もあり
	採取コアの可否判断・・・・・	}	採取長さ、欠陥の有無、切断鉄筋の有無等
	採取孔の補修・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	•• ‡	無収縮モルタルを充填 冬期はモルタルの凍結に注意
	採取コアの状況記録		寸法、骨材の種類(砂利or砕石) 表面劣化の状態、仕上げの有無・厚さ

第5章 コンクリート構造物の補修・補強

5-1 はじめに

5-1-1 補修・補強 WG の経緯

維持管理過程における補修補強工法に関しては,性能照査型設計体系を見据え,更に構造物の経時変化の影響を設計に反映させることが求められる状況にあるといえます.

またこの地北海道は,積雪および寒冷な気象状況と合わせ,海岸線を縫う道路が多く存在するなど,構造物にとっては非常に厳しい条件を有した地域といえます.

よって,構造物の経時変化の影響と併せ,北海道の環境的特殊性を考慮した補修・補強 工法を研究することは,今後の維持管理時代到来に向け非常に意義の有るものになると考 えられ,本WGにおいて調査,研究,取りまとめを行うものである.

5-1-2 研究成果概要

補強・補修WGの目指す研究目標は以下とする.

- ・性能低下の要因に応じた補修補強工法選定の研究
- 各補修補強工法の性能経時変化の分析
- ・北海道における既存補修補強工法の適用性と留意点(含む施工)

なお,現時点(H16.6)での取りまとめは,既存補修補強工法の適用性と留意点(含む施工)を調査し,要求性能と補修補強工法の関係を整理し,その中から代表的劣化要因別に見た補修工法事例を掲載し,日常業務での補修・補強工法選定の参考資料として即効性の期待できる構成とした.

5-2 構造物の補修・補強工法の現状

5-2-1 概要

コンクリート構造物の損傷・劣化の発生から処置(対策工の実施)にいたる過程は,一般に図-5.1の過程から構成されている.

はじめに視覚的に得られる損傷・劣化形態の情報と,構造物について詳細な調査を行って得られた損傷・劣化の発生要因となる情報を基に,損傷・劣化の発生原因の特定を行う.次に,その種々の情報と特定された原因から構造物の損傷・劣化の評価を行い,評価結果と実際に処理を行う上での問題点などから総合的に判断し,処置方法(対策工法)を決定する.

なお, 本WGでは, 補強・補修の分類は次の通り定義した.

補 強:耐力及び変形性能等,構造性能の向上を目的とした作業

補 修:経年劣化等により破損が進行するであろうものについて損傷前の状況に復す る作業

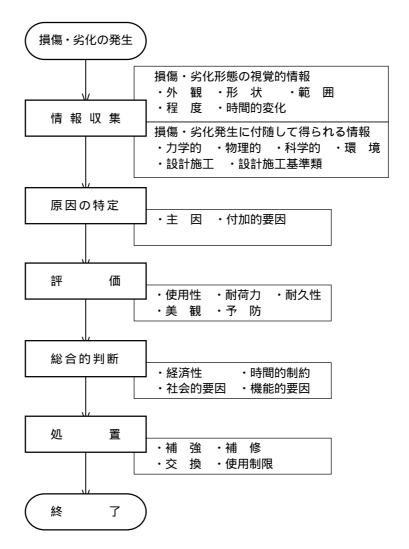


図-5.1 コンクリート構造物の処理にいたる過程

5-2-2 補強方法の種類

コンクリート構造物の補強対策を目的別に分類すると,対象部材を直接的に補強する「部材の補強」,対象部材にかかる荷重を軽減させるために間接的に補強する「構造体の補強」,基礎本体あるいは周辺地盤を間接的に補強する「基礎の補強」に分けられる.そして,対策の目的に応じた対策工法に整理すると表-5.1の通りとなる.なお,本WGでは,このうち「基礎の補強」は,対象外とした.

現状での各種補強工法の概要を付録2に示す.

また,近年,補強工事に用いるはつり作業によって構造物へ損傷を与えるという観点から,はつり作業の重要性が指摘されているため,ウォータージェットによるはつり作業の概要を合わせて付録1に示した.

表-5.1 補強対策の目的と工法の分類

対策の目的	対策工法の分類		工法名称		
		接着	A1	鋼板接着工法	
	Α		A2	連続繊維板接着工法	
			A3	連続繊維シート接着工法	
			B1	鋼板巻立て工法	
			B2	連続繊維シート巻立て工法	
	В	 巻立て	В3	RC 巻立て工法	
(1)部材の補強	C	공 표 (B4	PC 巻立て工法	
(1) 보다 (1)			B5	Eルタル吹付け工法	
			В6	FRP 吹き付け補強	
		プレストレスの導入	C1	外ケーブル工法	
			C2	プレストレス導入工法	
		 断面の増厚	D1	上面増厚工法	
			D2	下面吹付け工法	
	Е	部材の交換	E1	打換え工法	
	F	はり・桁の増設	F1	はり・桁増設工法	
(2)構造体の補強	G	壁の増設	G1	壁増設工法	
	Н	支持点の増設	H1	支持点増設工法	

5-2-3 補修方法の種類

コンクリート構造物の補修対策を目的別に分類すると,「ひび割れや断面欠損の回復」,「コンクリートへの腐食因子制御」に分けられる.そして,各対策工法を目的別に整理すると,表-5.2の通りとなる.

表-5.2 補修対策の目的と工法の分類

対策の目的	対策工法の分類		工法名称		
(1)ひび割れや	L	注入	L1	ひび割れ注入工法	
断面欠損の回復	М	充填	M1	充填工法	
	N	修復	N1	断面修復工法	
(2)コンクリートへの	0	表面からの侵入防止	01	表面塗装工法	
腐食因子の制御	Р	電気化学的防食	P1	電気防食工法	
			P2	デサリネーション	
			P3	再アルカリ化工法	

5-3 要求性能と補修・補強工法

構造物の設計は,構造物に要求される性能(以下,要求性能)を明確にし,この要求性能を満足するか否かを照査する性能照査型の体系への移行が検討されている.

土木学会や道路橋示方書においても基準化され実務設計に適用され始めている.

この体系は,新設構造物のみならず既設構造物の補強・補修に対しても同様に適用できるものである.

コンクリート構造物の要求性能として種々の要求性能,性能項目および要求性能に対する現状での照査指標が示されており,要求性能は,以下のように定義されている.

また,要求性能と現状での性能項目と照査指標の関係を表に示す.なお性能項目とは性能を細分化したものであり,照査指標とは,性能項目を定量評価が可能な物理量に置き換えたものである.

安全性: 想定されるすべての作用のもとで, 構造物がその破壊・崩壊により人命を損なわないために保有すべきすべての性能であり, 破壊に対する安全性, 剛体安定に対する安全性の性能項目が含まれる.

復 旧 性 : 構造物が想定される作用により損傷を受け,性能が低下した場合の,必要最小限の性能の回復のしやすさ.

使 用 性 : 想定される作用のもとで,構造物の使用者・近隣者が,快適に構造物を使用するための性能,および水密性などの諸機能を果たす性能.乗り心地,歩き心地,騒音,美観,景観などの使用上の快適性,水密性などの物質遮蔽性の性能が含まれる.

社会・環境性:構造物が健全な社会・経済・文化活動に貢献し,周辺の社会環境,自 然環境に及ぼす影響を最小限にする性能

施 工 性:構造物の補強工事における施工安全性,および施工確実性

維持・管理性 :供用中の維持・管理のしやすさ.

解体・再利用性 :供用終了時における構造物の解体のしやすさ,および解体により生じる材料の再利用の可能性

本節では,現状の補強補修工法が,上記の要求性能に対する維持または向上を目的としたものであるかを整理した.すなわち,これにより各補修補強工法が,どのような性能の維持または向上を目的としたものかを明確にすることにより,補修補強工法を的確に選定することが出来ると考えたからである.

なお,耐久性は,構造物の経時的な性能低下に対する抵抗性と定義し,各時点において構造物が保有する諸性能を時間軸にそって評価し,照査するシステムを想定している.そのため,耐久性は独立した性能として取り扱う必要がないので,要求性能として位置付けてはいない.

表-5.3に示した要求性能と,現状の補強工法の関係を表-5.4に示す.

表- 5.3 要求性能と照査指標一覧表

要求性能	要求性能の項目	照査指標及び簡便な照査指標				
	破壊に対する安全性	断面耐力	曲げ・軸力・せん断			
	版場に対する女主任	疲労断面耐力	曲げ・せん断			
安全性	地震作用に対する安全性	断面耐力	曲げ・軸力・せん断			
女主性	地震作用に対する女王性	破壊モード,変形性能	破壊モード,変形性能			
	剛体安定に対する安全性	転倒・滑動・支持				
	車両走行に対する安全性	変位,たわみ				
復 旧 性	被災後の機能回復工事の難易度	応答変位 , 残留変位				
	車両の乗り心地	変形・たわみ	応力度、たわみ			
	単一の来り心地	不同沈下				
使 用 性	耐振動性	発生振動レベル	段差,剛性,重量			
使用 注	耐騒音性	発生音圧レベル	段差,剛性,重量			
	美 観	ひび割れ幅・密度	応力度,ひび割れ幅			
	天 (既)	構造物表面の汚れ				
社会環境性	社会・経済活動への貢献	構造物の重要度				
	严连	施工時水位低下				
	環境負荷	施工時騒音・振動				
施工性		重機作業の安全管理				
ル 土 注	施工安全性	作業空間				
		被災構造物の安定				
	施工確実性	補強工事の難易度				
維持管理性	日常点検の簡便性	補強部材への接近・目	視			
	解体工事の簡便性	工事の技術的難易度				
解体•再利用性	解体工事の間使性 	工事費・工期				
		処理に必要なエネルキ	* _			
	解体後の材料処理	環境負荷				
		再利用可能か				

表- 5.4 性能・照査指標と補修・補強工法の関連

				□ :		J — I	部材	の		体と	
					_	補強				り補強	
					В	С	D	Е	F	G	Н
要 求 性 能 要求性能の項目		照査指標及び簡便な照査指標		接着	巻き立て	プレストレスの導入	断面の増厚	部材の交換	はり・桁の増設	壁の増設	支持点の増設
	破壊に対する安全性	断面耐力	曲げ・軸力・せん断								
安全		疲労断面耐力	曲げ・せん断曲げ・軸力・せん								<u> </u>
性	地震作用に対する安全性	断面耐力	断								
		破壊モード・変形性能									
	剛体安定に対する安全性	転倒・滑動・支持									
/ = ID	列車走行に対する安全性	変位,折れ角									
復 旧 <u>性</u>	被災後の機能回復工事の 難易度	応答变位,残留变位									
	乗り心地	変形・たわみ	応力度,たわみ								
		不同沈下									
	耐振動性	発生振動レベル	段差,剛性,重量								
使 用	耐騒音性	発生音圧レベル	段差,剛性,重量								
性	美観	ひび割れ幅・密 度	応力度,ひび割れ 幅								
	关钺	構造物表面の汚 れ									
社会環境 性	社会・経済活動への貢献	構造物の重要度									
施 工 性	環境負荷·施工安全,確実 性	施工時騒音・振動,補強工事の難易 度									
維持管理 性	日常点検の簡便性	補強部材への接近・目視									
解体・ 再 利 用 性	解体工事の簡便性,材料処 理	工事の技術的難易度,工事費・工期, 再利用可能か									

5-4 代表的劣化因子と補強工法

5-3 で示したとおり、現状の補強工法を要求性能の観点からある程度整理することは出来る.しかし、補修工法に関しては、種々の工法とも要求性能と明確に関連付けることは出来ないのが実態である.

そこで,補修工法を主として環境因子に対する材料劣化を抑制する工法と位置付けて, それぞれの補修工法と劣化因子との関係を整理した.その結果を表-5.5に示す.

なお,ここの補修工法には,さらに種々の工法があり,必ずしも詳細に整理したものではないが,概ね想定される劣化因子に対する抵抗性を整理したものである.

なお,ここで対象とした劣化因子は,下記のとおりである.

- ・中性化
- ・塩害
- ・凍害
- ・アルカリ骨材反応
- ・化学的劣化

表-5.5 補修工法と環境因子の抵抗性の関係

		特性								
		耐久性							T 4	<i>7</i> - }
大 分 類	中分類	ひび割れ	凍害	塩害	アル骨	中性化	化学的抵抗性	その他	耐荷性	防水性
	1. 高圧注入工法									
A. 注入・充填工法	2. 低圧注入工法									
	3. U(V)カット工法									
	1. 打替工法									
B. 断面修復工法	2. 吹き付け工法									
D. 时间1915年74	3. ハッチング工法									
	4. プレパックト工法									
	1. 表面被覆工法									
C. 表面保護工法	2. 表面処理工法									
	3. 埋設型枠工法									
D. 防錆工法	1. 防錆工法									
	2. 電気防食工法									
E. その他										

5-5 補修・補強工法の性能経時変化に関する考え方

補修補強工法の性能の経時変化は,図-5.2に示すように,使用する材料と補修補強後の性能が,経時変化により環境作用や荷重作用で変化することを考慮することである.

昨今の維持管理は,コストを極力縮減し効率的に行うことが重要であり,そのためにライフサイクルコスト等の指標の導入が進められている.このライフサイクルコストを指標として補修補強工法の選択などを実施するためには,補修補強工法の経時変化の影響を考慮することが必須である.

そこで,本WGでは,種々の補修補強工法を例にとり,環境作用や荷重作用が補修補強工法の性能に与える影響に関しての整理を試みた.補修補強工法の性能経時変化に関する考え方を,橋脚補強工法,床版補強工法および断面修復工法を例に以下に示す.

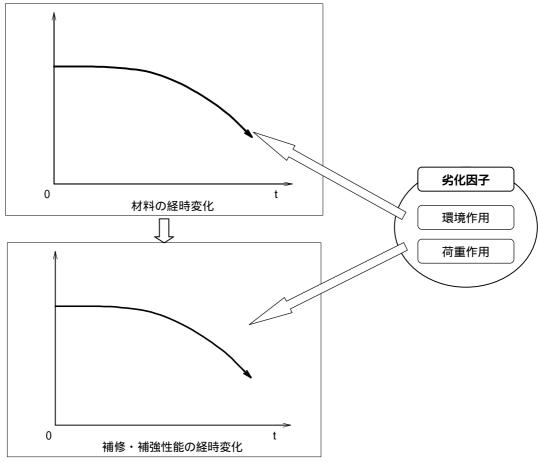


図-5.2 補修補強工法の性能の経時変化のイメージ

5-5-1 橋脚補強丁法

耐震補強に用いられる鋼板巻き補強工法を例とした場合,鋼板巻き補強工法は,図-5.3 に示すように使用材料としては,鋼板,注入材(モルタル)等で構成されており,さらに 鋼板溶接部がある.

鋼板巻き補強工法の性能の経時変化を考える場合,使用材料の劣化(変化)および構造 性能の変化(劣化)を明らかにする必要がある.

この劣化や変化を生じさせる要因として、荷重作用(最大荷重,繰り返し荷重)や環境 作用がある、したがって、補強工法の性能の経時変化を考える場合、荷重作用と環境作用 に対する影響を明確にする必要がある.

橋脚く体を対象とした場合の,性能の経時変化の整理結果を以下に示す.

TO OIL MAIN			1	
	環境作用		荷重	作用
	场况IF用	最大荷重	繰返し荷重	L2 地

表-5.6 鋼板巻き補強と性能劣化因子の関係

	環境作用	的主作用						
	城况IF 加	最大荷重	繰返し荷重	L2 地震	L1 地震			
鋼板		-	-	-	-			
注 入 材		-	-	-	-			
接続部		-	-	-	-			
構造性能		-	-					

注)表中 : 直接影響を与える場合 : 間接的に影響を与える場合

すなわち,環境因子に対しては,鋼板の場合は,防食処置を実施することで材料の劣化 に伴う補強効果の経時変化の影響を無視できることになり、防食処置の劣化が補強性能の 経時変化を左右することになる.

また、荷重作用に関しては、橋脚く体の場合は、車両の走行などによる繰り返し荷重に よる疲労の影響などは小さいことから、主として補強部材が塑性化するような荷重作用が 補強部材の性能変化に大きな影響を与える因子となる.一般には,橋脚く体の耐震補強の 場合は,L1 地震動程度の地震の影響に対しては性能の変化は生じなく,橋脚く体が曲げ降 伏するような地震動に対しては,補強性能がそれ以前よりも低下し,かつ L2 地震動が作用 した場合は、補強部材の性能は低下し、現時点では、再補強が必要となると考えられる、



5-5-2 床版補強丁法

床版の補強に鋼板接着工法を例とした場合,鋼板接着工法は,図-5.4に示すように使用 材料としては,鋼板,接着剤等で構成されている.

鋼板接着工法の性能の経時変化を考える場合,使用材料の劣化(変化)および構造性能の変化(劣化)を明らかにする必要がある.

この劣化や変化を生じさせる要因として,荷重作用(最大荷重,繰り返し荷重)や環境作用がある.したがって,補強工法の性能の経時変化を考える場合,荷重作用と環境作用に対する影響を明確にする必要がある.

床版を対象とした場合の,性能の経時変化の整理結果を以下に示す.

	環境作用	荷重作用						
	根境TF用	最大荷重	繰返し荷重	L2 地震	L1 地震			
鋼板				-	-			
接着剤				-	-			
接続ボルト				-	-			
構造性能				-	-			

表-5.7 鋼板接着補強と性能劣化因子の関係

注)表中:直接影響を与える場合:間接的に影響を与える場合

鋼板接着工法の場合,鋼板自体は,防食処置を実施すれば鋼板の材料劣化が補強性能に 影響を与えないと考えられ,鋼板に防食を実施しない場合は,鋼板腐食の経時変化の影響 を考慮する必要が生じる.

また、接着剤が環境因子により接着効果の影響を受けるため、補強性能に影響を与えることになる。

荷重作用に着目すると,最大荷重作用に対して接着剤が環境因子により劣化しないことを前提とすれば,最大作用自体による補強性能の経時変化を無視することができる.ただし,接着剤の環境因子に対する抵抗性と連動することになる.

繰り返し荷重作用に対しては,接着剤の繰り返し荷重作用に対する抵抗性によって補強性能が変化することになる.

すなわち,鋼板接着工法の場合は,接着剤の環境因子に対する抵抗性や繰り返し荷重作用に対する抵抗性が,補強性能と連動することになる,接着剤の劣化抵抗性を明確にする必要がある.

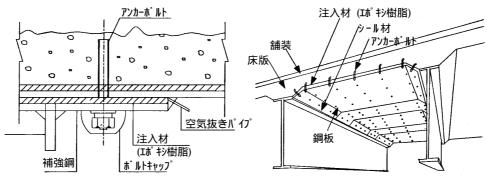


図-5.4 鋼板接着工法

5-5-3 断面修復工法

床版下面の断面修復工法は,図-5.5に示すように使用材料としては,接着剤,被覆材などで構成されている.

断面修復工法の性能の経時変化を考える場合,使用材料の劣化(変化)および構造性能の変化(劣化)を明らかにする必要がある.

この劣化や変化を生じさせる要因として,荷重作用(最大荷重,繰り返し荷重)や環境作用がある.したがって,補修工法の性能の経時変化を考える場合,荷重作用と環境作用に対する影響を明確にする必要がある.

床版を対象とした場合の,性能の経時変化の整理結果を以下に示す.

表-5.8 断面修復工法と性能劣化因子の関係

	環境作用	荷重作用						
	城境IF/TI	最大荷重 繰返し荷重 L2 地震						
接着剤				-	-			
被覆材				-	-			

注)表中:直接影響を与える場合:間接的に影響を与える場合

断面修復工法の場合,使用材料が当該箇所の環境作用に対する抵抗性と,最大荷重や繰り返し荷重作用に対する力学的挙動に対する抵抗性が,断面修復工法としての性能の経時変化に影響を与えることになる.

すなわち,上記の要因に対しての工法としての保証される期間が,工法の補修性能の保 障期間と考えられる.

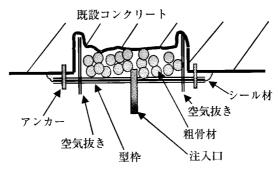


図-5.5 断面修復工法

5-6 今後の検討課題 (H16 以降~)

今後の検討課題を要約して以下に示す.

- (1) 性能低下の要因に応じた補修補強工法選定の研究 既往の研究成果をとりまとめ,現状での補修補強部材の性能評価法を概説する.
- (2) 各補修補強工法の性能経時変化と施工性の分析 各補修補強工法に関して以下の事項を調査・分析する.
 - ・性能保障期間等の調査・設定
 - ・施工性や経済性の調査
- (3) 凍害対策工法と性能評価法の検討 凍害対策に焦点を絞り,効果的な補修工法を調査・検討する.

付録1 補修補強におけるウオータージェットはつりに関する資料

劣化損傷を受けた構造物の補修補強工事では,劣化の度合いにより施工範囲の大小は有るものの,既設劣化部のはつり取壊しが発生する.在来のはつり工法はコンクリートブレーカーやハンドピックによるものが主流となっていたが,これは施工量が大きい反面以下の構造的問題が指摘されている.

取壊しコンクリート部で再利用する鉄筋に損傷が発生する 取壊し箇所に近接する健全部コンクリートにマイクロクラックが発生する

平成 12,13 年度の橋梁担当者会議では,上記により復旧後の耐力および耐久性が低下する等の報告が成され,北海道開発局ではこれを受けた形で,H14 年度からウオータージェット(以下 WJ)による既設取壊しを進めている状況である.

ただし,WJ施工機械自体が設置出来ない狭い空間などでは,上記 の発生抑制に留意した別工法(ハンドガンなど)により施工するものとしている.

以下本文では,今後主流になるであろうW」はつりについて,設計,施工の面で参考となる現段階での資料を掲載するものである.

付1-1 既設はつり丁の計画案

W」による取壊しは,健全部コンクリートの損傷抑制には非常に効果的である反面,はつり施工時間の増大および施工単価が高価である等の問題がある.現状においては,はつり対象施工量を勘案し,ハンドピック(ブレーカー)施工とW」施工を併用した計画とするのが有効であると考えられる.

一例を示せば,はつり必要部のうち新旧接続面から t=10cm 厚をWJによる施工とし,残り部分をハンドピック施工とする.これは、ハンドピック施工でのマイクロクラック発生は,施工面から t=10cm 以内と想定する事で問題無いとしたものである.

以下に北海道開発土木研究所構造研究室による,ハンドピック施工でのマイクロクラック発生状況の見解について報告文抜粋を掲載する.

~以下報告文抜粋 H15~

現在,各研究機関では,コンクリートブレーカ等を用いてコンクリートをはつると,はつり面にマイクロクラックが発生する恐れがあることを指摘しているが,深さ方向への影響を定量的に示したものはない.これまでに構造研究室では,ハンドピック,WJ(高圧大水量)工法の 2 種類の工法ではつりを行った処理面からコアを抜き取り,CCD カメラを用いてマイクロクラック発生状況を調査した.その結果,図-5.6,図-5.7の通りハンドピックを用いたものは目標はつり面から深度約 $60 \sim 70 \text{mm}$ 程度までマイクロクラックが発生しているのが分かる。また,WJ 工法を用いたものはマイクロクラックが発生していないことが分かった.

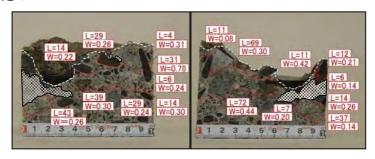


図- 5.6 マイクロクラック発生状況 (ハンドピック)



図- 5.7 マイクロクラック発生状況(WJ高圧大水量工法)

本来であれば,全てのコンクリートをWJ(高圧大水量)工法にてはつるのが望ましいが,本件のようにWJ施工機械の手配が出来ない場合,全てのコンクリートをハンドガン等によるWJ工法(超高圧小水量工法)によりはつり作業を行うと,工事費が膨大になってしまう.そこで,処理面以下のコンクリートに影響を与えない範囲まではハンドピックなどの施工機械を用いて層状に薄くはつり作業を行い,処理面に近い部分はハンドガンにてはつり作業を行う手法が考えられる.しかし,上記の通り,今のところハンドピックがどの程度の深さまで影響を与えるのかについては定量的に示すことが出来ない.そのため現時点において基準値を設定するのは非常に難しいが,これまでの実験結果と施工機械の作業性を考慮し図-5.8に示す通り,WJ工法にてはつる部分を100mm 程度以上残すことで,既設コンクリート部のマイクロクラック発生を防止することが可能であると考えられる.

ただし,今回の基準値はあくまでも暫定的なものであるため,WJ工法にてはつり作業を行った後,必ずはつり処理面を目視により観察し,クラックが発生していないことを確認することが必要である.なお,はつり処理面にクラックや浮きを発見した場合は,浮きの除去やクラック注入などの適切な処理を施すことが重要である.

今後は今回のケースも踏まえて,定量的な基準を作成するべく調査・検討を重ねて行く必要がある. ~以上~

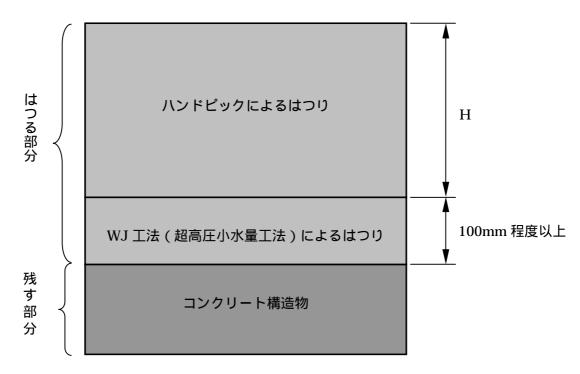
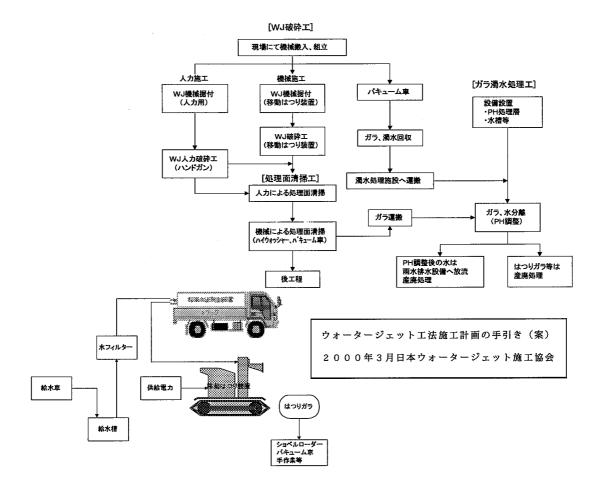


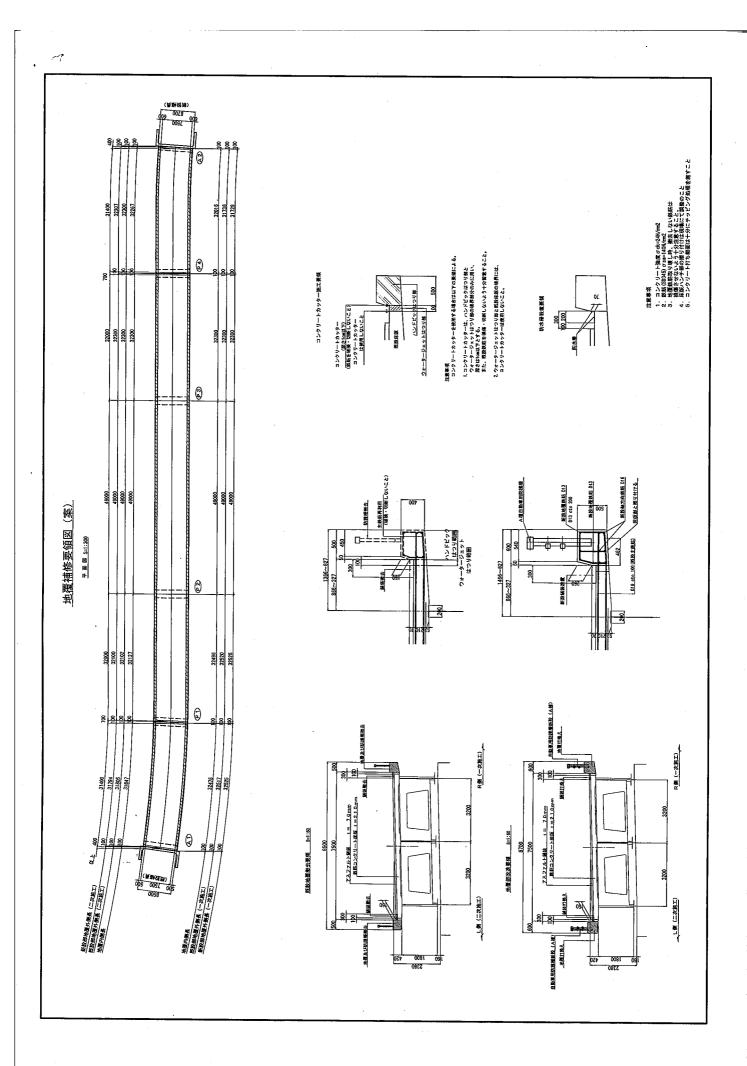
図-5.8 ハンドピックとWJ工法(超高圧小水量工法)を併用する場合の施工について

付1-2 施工フロー及び補修要領図(案)

以下に一般的な施工フロー及び地覆補修要領図(案)を掲載する.

WJ工法施工フロー





2. 床版片持ち部補強有り ハンドピック によるはつり範囲 ハンドピック によるはつり範囲 35φ(定着長) 35 φ (定着長) ウォータージェット によるはつり範囲 ウォータージェット によるはつり範囲 1 床版片持ち部補強無し ハンドピック によるはつり範囲 ハンドピック によるはつり範囲 ウォータージェット によるはつり範囲 100 ウォータージェット によるはつり範囲

付1-3 WJ施工写真他

・ロボット配置,はつり状況



全景



ロボット配置



濁水処理



はつり状況

・既設コンクリート削孔 WJ の性質から,既設鉄筋損傷を避けたコアボーリングが可能である.









付録2 補修補強工法の概要

補修補強に関する工法については、これまでにも各種関係機関により調査とりまとめが行われている。本WGにおいては、既存の工法資料を収集すると伴に、近年における補修補強の現状を再度調査し、補修補強工法表として編集を行った。

工法表には補修補強の目的,工法の概要,概算工費等について可能な範囲で記載を行った.ただし概算工費に関しては補修補強の範囲,規模,使用材料等によってかなりばらつきが出ることが考えられるため,大略の参考値としてご理解頂きたい.また足場、仮設等の工費は含んでいない.

補修補強工法は日々新しいものが開発されている状況であり、本WGでの現時点での抽出に関しても多々不足部分があることを周知頂き、今後業務の参考とされたい.

今後の新工法の追加,参考工費の追加等については随時見直しを行い,今年度以降の報告書に反映させるべく対応することとする.

補強対策の目的と工法の分類

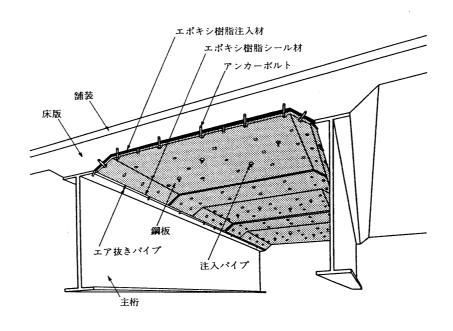
	文	策工法の分類			工法名	· 称
(1)部材の補強	Α	接着	A1	鋼板接着工法	A1 - 1	鋼板接着工法
					A1-2	鋼板接着工法
					A1-3	サンドイッチ床版
			A2	連続繊維板接着工法	A2-1	アラミド繊維板接着工法
					A2-2	炭素繊維板固定・定着工法
			А3	連続繊維シート接着工法	A3-1	連続繊維シート接着工法
					A3-2	連続繊維シート接着工法
					A3-3	タフカ゛ード ガ ラスクロス工法
					A3-4	ガラスクロスライニングシステム
	В	巻立て	B1	鋼板巻立て工法	B1-1	鋼板巻立て工法
					B1-2	鋼板巻立て工法
					B1-3	鋼板巻立て工法
					B1-4	巻立て工法
					B1-5	鋼板巻立て工法
			B2	連続繊維シート巻立て工法	B2-1	連続繊維シート巻立て工法
					B2-2	炭素繊維シート巻き立て補強
					B2-3	アラミド繊維シート巻き立て補強
					B2-4	FRP補強(スチールクロス材)
			В3	RC巻立て工法	B3-1	RC巻立て工法
					B3-2	RC巻立て(柱) + RC増厚(梁)工法
					B3-3	コンクリート増厚補強
					B3-4	スパイラル鉄筋巻き立て補強
					B3-5	RCプレキャスト型枠補強
			B4	PC巻立て工法	B4-1	OSR工法
			B5	Eルタル吹付け工法	B5-1	Ellタル吹付け工法
					B5-2	スパイラル鉄筋巻立て補強
					B5-3	Eルタル吹付け工法
					B5-4	スマートショット工法
			В6	FRP吹き付け補強	B6-1	FRP吹付け補強
	С	プレストレスの導入	C1	外ケープル工法	C1-1	外ケープル工法
			C2	プレストレス導入工法	C2-1	プレストレス導入工法(内ケーブル)
	D	断面の増厚	D1	上面增厚工法	D1-1	上面增厚工法,鉄筋補強上面増厚工法
			D2	下面吹付け工法	D2-1	下面吹付け工法
	Е	部材の交換	E1	打換え工法	E1-1	PCプレキャスト床版
					E1-2	打換え工法
					E1-3	打換え工法
(2)構造体の補強	F	はり・桁の増設	F1	はり・桁増設工法	F1-1	はり増設工法
	G	壁の増設	G1	壁増設工法	G1-1	耐震壁増設
	Н	支持点の増設	H1	支持点増設工法	H1-1	支持点増設工法

対策工法の分類	Α	接着
<u> </u>		1女音
丁法番号 丁法名称	II A 1	鍋板接着 丁法
<u> </u>	I / · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	MINIX I Z/A
	II A 1 - 1	

補強·補修工法諸元

道路・鉄道・その他	道路橋
対象部材·部位	床版·桁
補修·補強目的	曲げ耐力,せん断耐力向上。
工法概要·特徴	・既設コンクリート部材の下面もしくは、側面に、エポキシ樹脂を用いて、鋼板を接着する補強工法であり、鋼板が既設部材に対して、鉄筋量を増加させたのと、同様の効果を与える。主として、床版や桁の曲げ補強に採用されるが、せん断補強にも適用できる。下面補強のため、交通を阻害することなく、施工できる利点があり、施工も簡便であるため広く用いられる。・・施工上作業空間が狭く、高所作業であることに対する安全管理が必要である。・・維持管理において補強後には、コンクリート表面のひびわれなどの、劣化進行を直接目視できない。
概算工費(参考)	直工 鋼鈑t=6mm エポキシ樹脂t=5mm C=120千円 / ㎡
適用基準類	·道路構造物の補修要領:阪神高速道路公団(1990)
本工法事例の出典 及び参考文献	・コンクリート構造物の補修事例集:日本コンクリート工学協会(1994年10月) ・コンクリート構造物の維持補修取壊し:小村 敏·太田 実 技報堂出版(1983年11月)

工法概要図

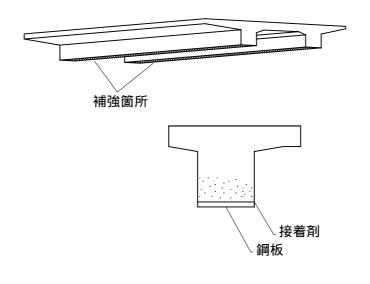


対等工法の分類	٨	· 坟羊
刈泉上/広い川規	^	按 自
工注采旦 工注夕秒	Λ 1	细垢按 差工法
上,太笛兮,上,太台州	II A I	甽似技有上 次
	Λ1 2	匆 垢拉美工注
	A - 2	驯似按有上 次

補強·補修工法諸元

道路・鉄道・その他	<u>鉄道</u>
対象部材:部位	析,床版
補修·補強目的	部材の終局耐力や疲労耐力の向上を目的とする. 部材剛性が向上する為,間接的にたわみの改善効果もある. 外面を鋼板で覆う為,ひび割れ等の耐久性上の性能も改善されるが,鋼板の腐食によって耐久性能が定まる.
工法概要·特徵	コンクリート構造物の引張側外面に鋼板を接着することにより,既設部材との一体化させ,耐力の向上を図る工法である. 鉄筋コンクリート構造は,鉄筋とコンクリートとの付着によるせん断力の伝達によって一体化が成り立っている.鋼板接着工法の原理もこれと同様の考え方で,貼り付けた鋼板は引張鉄筋の一部として作用することになる.鋼板は4.5~6mm厚のものが使用され接着剤としてはエポキシ樹脂が用いられている. この工法には,接着方法の違いにより注入法と圧着法がある.
概算工費(参考)	A1 - 1参照
適用基準類	建造物保守管理標準 (財)鉄道総合技術研究所 昭和62年 国鉄建造物設計標準(鉄筋コンクリート構造物)昭和58年 鉄道構造物等設計標準(コンクリート構造物編)平成4年
本工法事例の出典 及び参考文献	建造物保守管理標準 (財)鉄道総合技術研究所 昭和62年

工法概要図



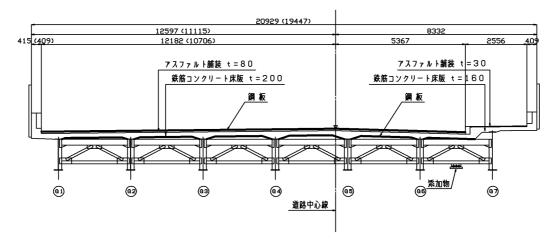
対策工法の分類	Α	
工法番号,工法名称	A 1	鋼板接着工法
	A 1 - 3	サンドイッチ床版

補強·補修工法諸元

道路・鉄道・その他	道路橋(跨線橋)
対象部材·部位	床版
補修·補強目的	・既設床版の曲げ・せん断補強
工法概要·特徴	損傷したRC床版の上、下面に鋼板を接着させて、床版の曲げ耐荷力向上を図るものである。一般には、4.5mmの鋼板を床版と5mm程度の隙間を確保して上下の鋼板をアンカーで固定し、鋼板周辺をシールした後にエポキシ樹脂を注入することにより、既設床版との一体化を図る。鋼板はエポキシ樹脂の接着力およびボルトで既設床版と一体化し、RC床版との合成部材として活荷重に抵抗する。・鋼材の増加による曲げ剛性の増加のほか、せん断耐力も向上する・接着用のエポキシ樹脂は流動性に富んでおり、施工時に圧力をかけて注入するため、ひび割
概算工費(参考)	直工 C=130千円 / m²
適用基準類	·北海道開発局道路設計要領第3集橋梁
本工法事例の出典 及び参考文献	·北海道開発局道路設計要領第3集橋梁

工法概要図

断面図

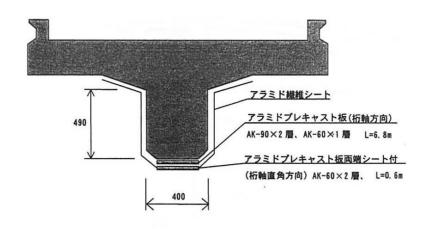


対策工法の分類	Α	接着
工法番号,工法名称	A 2	連続繊維板接着工法
	A 2 - 1	アラミド繊維板接着工法

補強·補修工法諸元

道路・鉄道・その他	道路
対象部材·部位	プレストレストコンクリート覆道
補修·補強目的	・落石荷重に対するプレストレストコンクリート覆道の曲げ耐力とじん性の向上
工法概要·特徴	・逆L型2ヒンジラーメン構造のPC梁の下面をチッピングし,あらかじめ工場で制作したアラミドプレキャスト版を樹脂で接着させる。 ・コンクリートとアラミドプレキャスト版の間の付着力を確保し,耐力向上を目的として軸直角方向にアラミドシートを貼る工法。 ・施工精度の向上 ・工期短縮 ・連続繊維版はコンクリートと完全に一体化することによりその効果が100% 発揮できるため,不陸修正,面取り等の前処理が必要。 ・維持管理において,目視による劣化判断が困難。
概算工費(参考)	
適用基準類	・コンクリートライブラリー 88 連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針(案) 土木学会
本工法事例の出典 及び参考文献	・アラミド繊維シートによる鉄筋コンクリート橋脚の補強工法 設計・施工要領(案) 平成10年1月 アラミド補強研究会

工法概要図

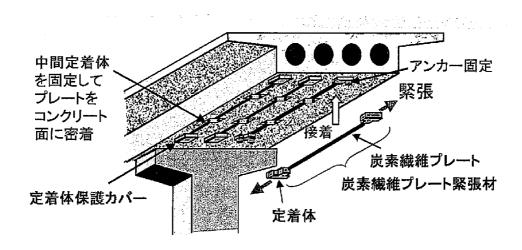


対策工法の分類	Α	接着
工法番号,工法名称	A 2	連続繊維板接着工法
	A 2 - 2	炭素繊維板固定·定着工法

補強·補修工法諸元

*************************************	1)** D
道路・鉄道・その他	道路
対象部材·部位	桁,床版
補修·補強目的	・炭素繊維プレートを緊張・定着する事による曲げ補強効果。
	・プレストレスにより既存ひび割れを閉じ、ひび割れ発生荷重を向上させる効果もある
	A AMAZONIA O O DILI GIRISA O O DILI ANSELI I TELI I TELI I DI NINI CONTINUI
工、土地 	
工法概要·特徵	・定着部の削孔とはつりを行ない、定着用固定プレートを取付け、固定プレート間に
	∥ 炭素繊維フレートをセットする。
	・炭素繊維プレートの緊張と接着により既設コンクリートにプレストレスを導入する工法。
	■・従来の繊維シート定着工法に比べ、少ない補強材料で補強効果が得られる。
	・十分な防錆措置を行うことで、維持管理費の低減。
	・補強後形状に断面変化がほとんど無く、施工に有利。
概算工費(参考)	算出例 直工
	┃ ホロースラブ橋(幅員10m、支間15m、スラブ下面幅6m)
適用基準類	・コンクリートライプラリー 95
2.32 1.32	連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針(案) 土木学会
大丁は東側の山曲	
本工法事例の出典	・外ケーブル方式によるコングリート橋の補強マニュアル(案)
及び参考文献	平成10年(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会
	┃・緊張した炭素繊維プレートによる既設コンクリート部剤の補強に関する研究
	土木学会論文集No.711 V-56,27-44,2002.8

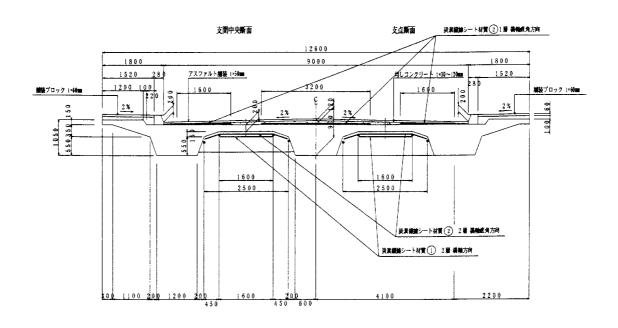
工法概要図



対策工法の分類	Α	
工法番号,工法名称	A 3	連続繊維シート接着工法
	A 3 - 1	連続繊維シート接着工法

補強·補修工法諸元

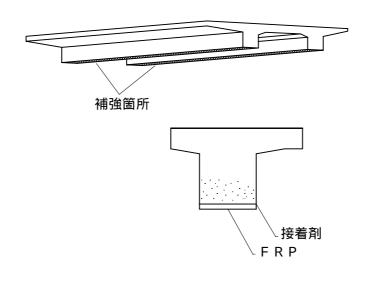
道路・鉄道・その他	道路
対象部材・部位	R C床版,R C梁
補修·補強目的	・床版及び梁の曲げ及びせん断補強及びじん性補強
工法概要·特徵	・連続繊維シートをRC床版及びRC梁の表面に含浸接着樹脂で貼付けることにより曲げ及びせん断及びじん性の向上を計る。 ・連続繊維シートとしては現在炭素繊維,アラミド繊維,]ガラス繊維が主に用いられる。 ・維持管理性,目視による劣化判断が困難。
概算工費(参考)	直工 炭素シート2層(目付量300g/㎡) C=45千円 / ㎡ ~
適用基準類	・コンクリートライブラリー 88 連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針(案) 土木学会
本工法事例の出典 及び参考文献	・トウシート工法技術資料 東燃株式会社 ・アラミド繊維シートによる鉄筋コンクリート橋脚の補強工法 設計・施工要領(案) 平成10年1月 アラミト補強研究会



対学工法の公叛	٨	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
対象上がりが	^	按自
丁注采旦 丁注夕秒	Λ 2	連結繊維シート培养工法
上法留写,上法石彻	H 3	建 紀 継 維 ソート 接 有 上 法
	A 2 2	- 連結繊維シート培養下注
	A 3 - 2	建 紀 繊維 と 一 ト 接 有 上 法

補強·補修工法諸元

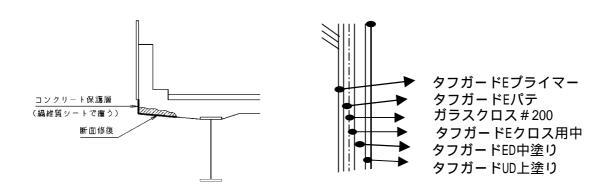
道路・鉄道・その他	# 数道
対象部材・部位	<u> </u>
補修·補強目的	部材の終局耐力や疲労耐力の向上を目的とする。
	部材剛性が向上する為,間接的にたわみの改善効果もある。
	外面を連続繊維シートで覆う為,ひび割れ等の耐久性上の性能も改善されるが,
	連続繊維シートの耐久性で本工法の耐久性能が定まる.
工法概要·特徴	■ コンクリート構造物の引張側外面に連続繊維シートを接着することにより,既設
	部材との一体化させ耐力の向上を図る工法である。
	鉄筋コンクリート構造は、鉄筋とコンクリートとの付着によるせん断力の伝達によ
	って一体化が成り立っている.連続繊維シート接着工法の原理もこれと同様の考
	え方で、貼り付けた連続繊維シートが張鉄筋の一部として作用することになる
	接着剤としてはエポキシ樹脂が用いられている.
	連続繊維シートの定着は,ボルト等が用いられる場合が多い.
	建統織能グードの定省は、小ルド寺が用いられる場合が多い。
概算工費(参考)	A3-1参照
適用基準類	建造物保守管理標準 (財)鉄道総合技術研究所 昭和62年
	国鉄建造物設計標準(鉄筋コンクリート構造物)昭和58年
	鉄道構造物等設計標準(コンクリート構造物編)平成4年
本工法事例の出典	建造物保守管理標準 (財)鉄道総合技術研究所 昭和62年
クロス	
次しずう入間	
	<u> </u>



対策工法の分類	Α	
工法番号,工法名称	A 3	連続繊維シート接着工法
	A3 - 3	タフガードガラスクロス工法

補強·補修工法諸元

道路・鉄道・その他	道路橋(跨線橋)
対象部材·部位	床版
補修·補強目的	·床版の補修(主に断面修復)後、補修箇所の剥落防止
	■ 本工法は、JR東日本の土木工事標準仕様書中の剥落防止工に掲載されている。
工法概要·特徵	本工法は、コンクリート劣化部分をはつり、断面修復を行った箇所に対し、補修
	箇所周辺の素地調整、プライマー塗布、パテ補修、ガラスクロス貼付、塗装を行う
	ものである。
	【目付け量と施工方法】
	タフガードEプライマー . 0.1kg/㎡ ,はけ又はローラー タフガードEパテN
	- 2,0.5kg/㎡,はけ又はローラー ガラスクロス 200,1.0m/㎡ タフガ
	ガードEクロス用中塗,ヘラ タフガードE D中塗, 0.26kg/㎡,はけ又はロー
	ラー タフガードUD上塗,0.12kg/m²,はけ又はローラー
概算工費(参考)	直工(100㎡以上の施工面積に対して)
M开工员(夕亏)	
	C=1,370,000 / 100m ²
適用基準類	「土木工事標準仕様書 東日本旅客鉄道株式会社編」
旭川坐十炔	2003年3月、社団法人鉄道施設協会
	2005年5万、江西74人外是166成186公
本工法事例の出典	・日本ペイント社製品
及び参考文献	HIT TIPLICAN
ス ラ ラ ス 向 /	

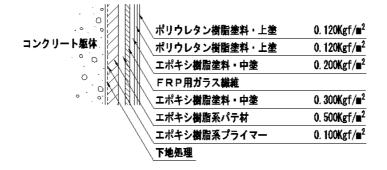


対策工法の分類	Α	
工法番号,工法名称	A 3	連続繊維シート接着工法
	A 3 - 4	ガラスクロスライニングシステム

補強·補修工法諸元

道路・鉄道・その他	道路橋
対象部材·部位	R C 壁高欄 (剛性防護柵) · 地覆の側面
補修·補強目的	・塩害によるコンクリートの補修後、補修箇所の剥落防止
工法概要·特徴	本工法は、塩害による損傷を受けたコンクリート劣化部分をはつり、断面修復を行った箇所に対し、補修箇所周辺の素地調整、プライマー塗布、パテ補修、ガラスクロス貼付、塗装を行うものである。塩害を受けた箇所においては、は〈落防止工の品質規格と共に「塩害を受けた土木構造物の補修指針(案)」の「1種」相当以上の品質の材料を用いる。これにより、剥落防止と塩害対策を兼用することが出来る。
概算工費(参考)	直工 C=11千円 / m²
適用基準類	・「コンクリート片は〈落防止対策マニュアル」2000.11、日本道路公団
本工法事例の出典 及び参考文献	・コンクリート保護工法カタログ , 仕様No.6FVガラスクロスライニングシステム [560]ショーボンド建設

工法概要図

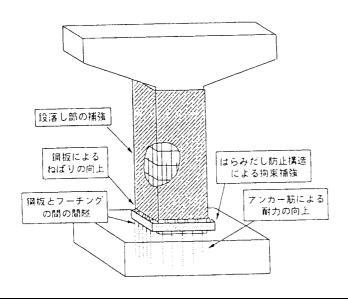


注) 断面欠損・剥離・剥落等がある場合は、 表面被覆を行う前に部分断面修復を行う。 またこの時鉄筋腐食が認められる場合は、 鉄筋の裏側まではつり、防錆処理を行う。

対策工法の分類	В	巻立て
工法番号,工法名称	B 1	鋼板巻立て工法
	B1 - 1	鋼板巻立て工法

補強·補修工法諸元

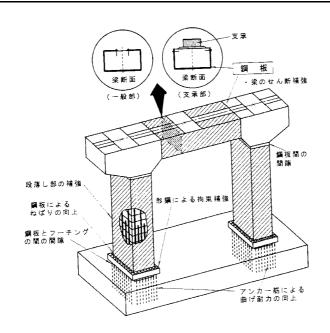
道路・鉄道・その他	道路橋
対象部材・部位	橋脚 柱
補修·補強目的	・鉄筋段落とし部の補強 ・橋脚の曲げ耐力とじん性の両者の向上
工法概要·特徴	鉄筋コンクリート橋脚躯体を鋼板で巻立て、その間隙を充填材により密実させるとともに、曲げ耐力を制御するアンカー筋を通じて鋼板をフーチングに定着させる構造。 ・アンカー筋によるフーチングへの鋼板の定着 ・鋼板下端とフーチング上面の間に5~10cmの間隙を設け、柱下端に塑性とンジを形成 ・矩形断面の場合、鋼板下端を形鋼で補強することにより、コンクリートの拘束効果を向上 ・現地調査の容易性から最低限の維持・管理性あり
概算工費(参考)	直工 鋼板t=6mm 無収縮モルタルt=30mm C=110千円 / ㎡
適用基準類	·既設道路橋の耐震設計に関する参考資料:日本道路協会 1997.8
本工法事例の出典 及び参考文献	·既設道路橋の耐震設計に関する参考資料:日本道路協会 1997.8



対策工法の分類	В	巻立て
工法番号,工法名称	B 1	鋼板巻立て工法
	B1 - 2	鋼板巻立て工法

補強·補修工法諸元

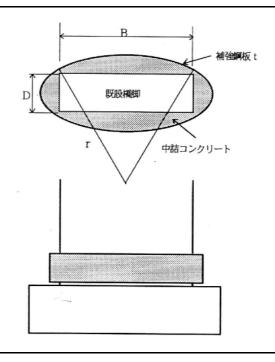
道路・鉄道・その他道路橋対象部材・部位ラーメン橋脚 柱,はり補修・補強目的・柱の曲げ耐力およびせん断耐力の向上・はりのせん断耐力の向上	
補修・補強目的・柱の曲げ耐力およびせん断耐力の向上	
補修・補強目的・柱の曲げ耐力およびせん断耐力の向上	
1 100 7 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10	
工法概要・特徴 鉄筋コンクリート橋脚躯体を鋼板で巻立て、その間隙を充填材により密実	
・	
定着させる構造。はり部材に対しては鋼板を巻立てることによりせん断補強	
に	
1	
■・鋼板下端とフーチング上面の間に5~10cmの間隙を設け,柱下端に塑性	
ヒンジを形成 佐下水水下の根の 個长 下端 も 取倒 まざ 冷さ えこしに しゅっと たしょしの わま	
₩・矩形断面の場合,鋼板下端を形鋼で補強することにより,コンクリートの拘束	
■効果を向上	
・はりに鋼板を巻くことによってせん断耐力を向上	
√現地調査の容易性から最低限の維持・管理性あり	
概算工費(参考) B1 - 1参照	
適用基準類	
本工法事例の出典 ・既設道路橋の耐震設計に関する参考資料:日本道路協会 1997.8	
及び参考文献	



対策工法の分類	В	巻立て
工法番号,工法名称	B 1	鋼板巻立て工法
	B 1 - 3	

補強·補修工法諸元

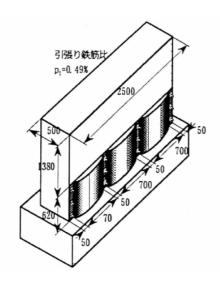
34 FE A11 34 1.1	DALES IT
道路・鉄道・その他	道路橋
対象部材·部位	橋脚 柱
補修·補強目的	・壁式橋脚のじん性の向上
工法概要·特徵	矩形断面の橋脚躯体について,鋼板を楕円形状に巻立て,橋脚躯体と鋼板の間にコンクリートを充填する工法 ・中間貫通鋼材等を使用しなくとも,拘束効果を高めることができる
概算工費(参考)	直工 鋼板t=6mm RC充填
適用基準類	C=100千円 / ㎡ ·既設道路橋の耐震設計に関する参考資料:日本道路協会 1997.8 ·設計要領 第二集 橋梁保全編:日本道路公団 1997.11
本工法事例の出典 及び参考文献	·既設道路橋の耐震設計に関する参考資料:日本道路協会 1997.8 ·設計要領 第二集 橋梁保全編:日本道路公団 1997.11

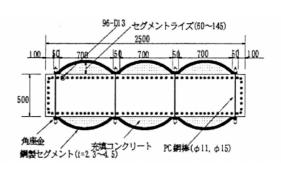


対策工法の分類	В	巻立て
工法番号,工法名称	B 1	鋼板巻立て工法
	B1 - 4	巻立て工法

補強·補修工法諸元

\ \\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\	NY 101 LX
道路・鉄道・その他	道路橋
対象部材·部位	橋脚 柱
補修·補強目的	・鉄筋段落とし部の補強
11012 11032 1143	・橋脚の曲げ耐力とじん性の両者の向上
	1向MVV画17同97JCU70注VP画台VPL工
工法概要·特徵	曲面状の鋼板(鋼製セグメント)をPC鋼棒によって壁式橋脚に縫いつけ,さらに
	綱製セグメント内にコンクリートを打設する。
	・拘束力が鋼製セグメントの円周方向軸力を介して新設コンクリートに導入される
	ため橋脚幅全体に拘束力が伝達され,効果的に中間貫通材の水平方向間隔
	┃ を大きくすることができる
	・中間貫通材のための削孔を減らすことが可能,また型枠が不要,溶接も不要
	THE PROPERTY OF A STREET OF A
概算工費(参考)	
冷口甘淮籽	
適用基準類	・既設道路橋の耐震設計に関する参考資料:日本道路協会 1997.8
本工法事例の出典	・既設道路橋の耐震設計に関する参考資料:日本道路協会 1997.8
及び参考文献	・曲面状鋼製セグメントによる壁式橋脚の耐震補強設計
人 ショ ラ へ ID/	第1回地震時保有耐力法にもとづく橋梁の耐震設計に関する
-	シンポジウム講演論文集 1998.1

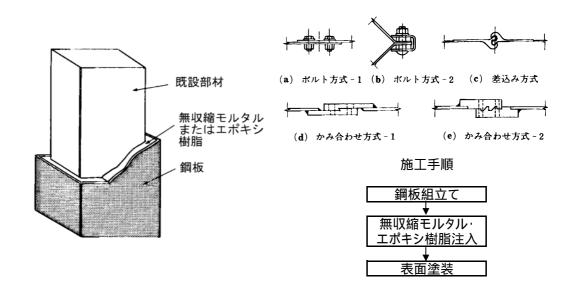




対等工法の公叛	D	券立て
対象上がりが	II D	さなく
工法采品 工法复称	D 1	御長巻六大工法
上,広笛写,上,広台彻	DI	- 刺似さ立し上伝
	D 1 [御垢券立て工注
	∥ B1 - 5	- 刺似含立て上法

補強·補修工法諸元

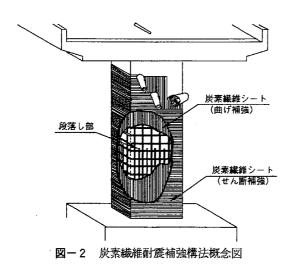
道路・鉄道・その他	鉄道
対象部材·部位	柱,橋脚躯体
補修·補強目的	部材のせん断耐力や塑性変形性能の向上を目的とする。
111515111111111111111111111111111111111	曲げ耐力の向上を目的とする場合は、部材端部に鋼板の引張力を部材の定着
	部に伝達できるような装置が必要となる。
	即に因達てきるがる役員が必要になる。
丁汁 掀 击 炸 沙	けぬ矮物飯体の国用に領垢を巻き領垢同士は家族または機械的に接続して
工法概要·特徴	# 柱や橋脚躯体の周囲に鋼板を巻き鋼板同士は溶接または機械的に接続し,さ
	らに鋼板と柱との隙間には充填材を注入する.
	■ 充填材には無収縮モルタルが使用される.
	・工場加工の製品を用いるので,品質の信頼性が高い.
	お料の搬入に機械が必要でそのための作業スペースを要する。
	・現場溶接を必要とする.
	■・原寸加工が必要で、加工に手間取る.
	■・補強後の断面増加はわずかであるが、全体を巻立てない場合は段差が生じる。
概算工費(参考)	B1 - 1参照
佩异工具(多写)	
冷田甘淮叛	建生物设立等理量维(4、处置级合计线理索托(2)左
適用基準類	建造物保守管理標準 (財)鉄道総合技術研究所 昭和62年
	鉄道構造物等設計標準(コンクリート構造物編)平成4年
	既存鉄道コンクリート高架橋柱等の耐震補強設計・施工指針 - 鋼板巻き補強工
	法編-平成8年
本工法事例の出典	松本,佐藤:鉄道RC高架橋の新しい耐震補強法,コンクリート工学,vol.35,
及び参考文献	10,1997,10
	渡辺,松本:RCラーメン高架橋の耐震診断技術と補強技術,コンクリート工学,
	vol.34, 11,1996.11



対策工法の分類	В	巻立て
工法番号,工法名称	B 2	連続繊維シート巻立て工法
	B 2 - 1	連続繊維シート巻立て工法

補強·補修工法諸元

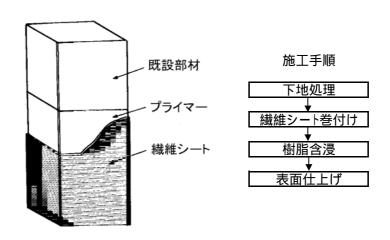
道路・鉄道・その他	道路橋
対象部材·部位	大大大学 大大大学 100 10
補修 · 補強目的	・橋脚の破壊形態を躯体下端の曲げ破壊へ移行させる
11012 110021	・橋脚全体のじん性を向上させる
工	
工法概要·特徴	橋脚躯体を炭素繊維やアラミド繊維など、多本数の連続繊維を樹脂などの
	結合材で集束したものにより,巻き立てることで耐震補強する
	₩・躯体表面の軸方向に炭素繊維シートを貼り付けることにより,引張鉄筋を増設
	┃ することと同様の効果を期待して段落し部の曲げ耐力の増加を図る
	■・躯体表面の帯鉄筋方向に炭素繊維シートを貼り付けることにより,帯鉄筋を増設
	することと同様の効果を期待してせん断耐力の向上を図り橋脚全体のじん性を
	向上させる
	 ・軽量な材料なので施工は手作業によることが可能,また狭小な個所での作業が
	比較的容易であるうえ,橋脚位置までの材料搬入路の特別な整備不必要
	・チッピング処理などの施工が無く,騒音などの環境問題が発生しない
Int the second of the second	・軽量なので補強による躯体重量や断面の増加がないため基礎への影響が少ない
概算工費(参考)	直工
	炭素繊維シート(縦1層、横1層、目付量300g/m²)
	C=45千円 / m² ~
適用基準類	・既設道路橋の耐震設計に関する参考資料:日本道路協会 1997.8
	□・設計要領 第二集 橋梁保全編:日本道路公団 1997.11
本工法事例の出典	
及び参考文献	・炭素繊維による段落し部を有する既存RC橋脚の耐震補強に関する研究
スU 参与大服	· ·
	: C R S 研究会 1996.6



分生工注の公叛	II D	券立て
刈収工/500刀類	D	
工法妥口 工法权物	ר ח	`市/井/サ/サン・「光キ六イ丁汁
上法留亏,上法名称	II B Z	連続繊維ンート巻き並(上法
·	ר כם	岩 表 鎌 姓 シュー ト 券 き 立 ア 浦 茂
	B2 - 2	灰糸繊維ンー「含さ业(開始

補強·補修工法諸元

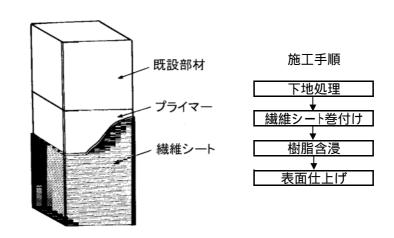
	<u> </u>
道路・鉄道・その他	■鉄道
対象部材·部位	柱,橋脚躯体
補修·補強目的	部材のせん断耐力や塑性変形性能の向上を目的とする。
	曲げ耐力の向上を目的とする場合は、部材端部にシートの引張力を部材の定着
	部に伝達できるような装置が必要となる。
	間に因是できる方は役員が必要にある。
工法概要·特徵	
上/広阪女 : 行取	
	せん断耐力や塑性変形性能補強としては,帯鉄筋方向に巻き付け,曲げ補強
	材としては軸方向鉄筋方向に貼り付ける.
	●・使用材料は人力で運搬可能である。 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
	・人力作業で施工可能なスペースがあればよい。
	∥・施工速度が速い.
	・補強後の断面増加は無視できるほどの量である.
	・施工の温度が低いと樹脂の硬化が遅れる.
	■・水分があると樹脂の硬化に悪影響を及ぼす。
	・隅角部には面取りを必要とする.
概算工費(参考)	B2 - 1参照
適用基準類	炭素繊維シートによる鉄道高架橋柱の耐震補強設計施工指針 平成8年7月
2/31/20	炭素繊維シートによる地下鉄RC柱の耐震補強設計施工指針 平成8年12月
	鉄道構造物等設計標準(コンクリート構造物編)平成4年
本工法事例の出典	
及び参考文献	10,1997,10
スしショス間	渡辺,松本:RCラーメン高架橋の耐震診断技術と補強技術,コンクリート工学,
	vui.34, ii,1990.11



対策工法の分類	В	巻立て
工法番号,工法名称	B 2	連続繊維シート巻き立て工法
	B 2 - 3	アラミド繊維シート巻き立て補強

補強·補修工法諸元

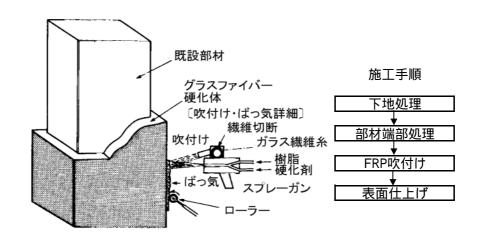
14 DA ALLY 7 0 /II	HALL YAR
道路∙鉄道∙その他	
対象部材・部位	■柱,橋脚躯体
補修·補強目的	部材のせん断耐力や塑性変形性能の向上を目的とする。
110000	曲げ耐力の向上を目的とする場合は、部材端部にシートの引張力を部材の定着
	部に伝達できるような装置が必要となる。
	即に以连してもよりは衣具が必女になる。
工法概要·特徴	■ 下地処理を施した柱にアラミド繊維シートを巻きつける工法.
	∥ せん断耐力や塑性変形性能補強としては,帯鉄筋方向に巻き付け,曲げ補強
	材としては軸方向鉄筋方向に貼り付ける。
	・使用材料は人力で運搬可能である。
	・人力作業で施工可能なスペースがあればよい.
	・施工速度が速い。
	・補強後の断面増加は無視できるほどの量である.
	・施工の温度が低いと樹脂の硬化が遅れる.
	・水分があると樹脂の硬化に悪影響を及ぼす。
	· 隅角部には面取が必要 . ただし , 135° の場合は不要 .
	HAVIDINICIO ELICIO ANTO CONTROL O CO
概算工費(参考)	直工
似异工具(多写)	
	アラミド繊維シート(縦1層、横1層、目付量280g/m²)
	C=40千円 / m² ~
適用基準類	アラミド繊維シートによる鉄道高架橋柱の耐震補強設計施工指針 平成8年11月
	■鉄道構造物等設計標準(コンクリート構造物編)平成4年
本工法事例の出典	松本,佐藤:鉄道RC高架橋の新しい耐震補強法,コンクリート工学,vol.35,
及び参考文献	10,1997,10
スU*シ*ラス帆	
	渡辺,松本:RCラーメン高架橋の耐震診断技術と補強技術,コンクリート工学,
	vol.34, 11,1996.11



対策工法の分類	В	巻立て
工法番号,工法名称	B 2	連続繊維シート巻き立て工法
	B 2 - 4	FRP補強(スチールクロス材)

補強·補修工法諸元

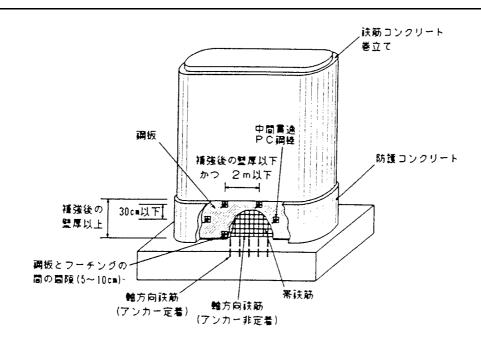
道路・鉄道・その他	∰鉄道
対象部材・部位	柱,橋脚躯体
補修‧補強目的	部材のせん断耐力や塑性変形性能の向上を目的とする.
工法概要·特徴	下地処理した柱にスチールクロス材を巻きつけて,樹脂を吹き付けてスチールクロス材と樹脂とのFRP補強材を形成する. ・使用材料は人力で運搬可能である. ・人力作業で施工可能なスペースがあればよい. ・施工速度が速い. ・補強後の断面増加は無視できるほどの量である. ・1層の吹き付け厚さは2mm以上5mm以下とし,3mmを標準とする. ・施工時の温度が低いと樹脂の硬化が遅れる. ・水分があると樹脂の硬化に悪影響を及ぼす.
概算工費(参考)	
適用基準類	既存鉄道コンクリート高架橋柱等の耐震補強設計施工指針 (FRP吹き付け補強編)平成8年11月 鉄道構造物等設計標準(コンクリート構造物編)平成4年
本工法事例の出典 及び参考文献	松本, 佐藤: 鉄道RC高架橋の新しい耐震補強法, コンクリート工学, vol.35, 10,1997,10 渡辺, 松本: RCラーメン高架橋の耐震診断技術と補強技術, コンクリート工学, vol.34, 11,1996.11



対策工法の分類	В	巻立て
工法番号,工法名称	B 3	RC巻立て工法
	B 3 - 1	RC巻立て工法

補強·補修工法諸元

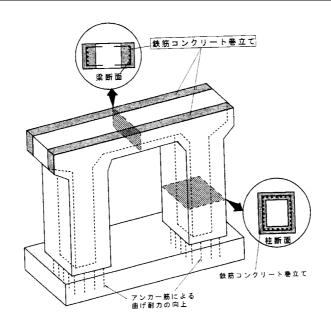
道路・鉄道・その他	道路橋
対象部材·部位	橋脚 柱
補修·補強目的	・鉄筋段落とし部の補強
	・橋脚の曲げ耐力とじん性の両者の向上
工法概要·特徵	
工/公城安 打压	(橋軸直角方向)の両サイドの壁面を鋼板ではさみ込み、これらを断面貫通型
	のPC鋼棒で一体化させた工法
	1111
	・巻き立てコンクリート部の軸方向鉄筋をフーチングに一本おきに定着
	・鋼板と両端をボルトで締着させた中間貫通PC鋼棒の併用によりコンクリート
	断面を拘束している
	・鋼板下端とフーチング上面の間に5~10cmの間隙を設けている
	・鋼板の設置範囲は,断面基部から補強後の橋軸方向幅に相当する高さまでの
	┃ 範囲とすることを標準とする。
	・現地調査の容易性から最低限の維持・管理性あり
概算工費(参考)	直工 ~ 中間貫通鋼棒配置部
	RC巻きたてt=250mm 中間貫通鋼棒(=17mm、L=2.0m、2本/㎡)
	C=55千円/㎡、(RC巻き立てのみ C=15千円/㎡)
適用基準類	・既設道路橋の耐震設計に関する参考資料・日本道路協会 1997.8
本工法事例の出典	 ・既設道路橋の耐震設計に関する参考資料:日本道路協会 1997.8
及び参考文献	
ス シ ラ ラ へ 同ハ	



対策工法の分類	В	巻立て
工法番号,工法名称	B 3	RC巻立て工法
	B 3 - 2	R C巻立て(柱) + R C増厚(梁)工法

補強·補修工法諸元

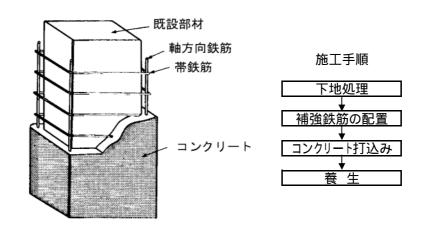
34 FF A434 //	Deepe 12
道路・鉄道・その他	道路橋
対象部材·部位	ラーメン橋脚 柱,はり
補修 · 補強目的	・鉄筋段落とし部の補強
	・ 橋脚の曲げ耐力とじん性の両者の向上
	1向神の画17両3/10070年の同日の同工
工法概要·特徴	▍ 鉄筋コンクリートラーメン橋脚の柱部材を面外方向および面内方向ともに鉄筋
	コンクリートで巻立て,はり部材については,橋軸方向に鉄筋コンクリートにより
	増厚し、せん断耐力および曲げ耐力の向上を図る
	・巻き立てコンクリート部の軸方向鉄筋をフーチングに一本おきに定着
	・柱上端において巻立てた柱の軸方向鉄筋ははりにアンカーできないので、
	柱上端での曲げ耐力の向上は期待できない
	·現地調査の容易性から最低限の維持·管理性あり
概算工費(参考)	 B3 - 1参照
似异工 真(多专)	
適用基準類	・既設道路橋の耐震設計に関する参考資料∶日本道路協会 1997.8
本工法事例の出典	
	Witkには1977 Witkには1977 Witkには1977 1977
及び参考文献	



対策工法の分類	В	巻立て
工法番号,工法名称	B 3	RC巻き立て工法
	B 3 - 3	コンクリート増厚補強

補強·補修工法諸元

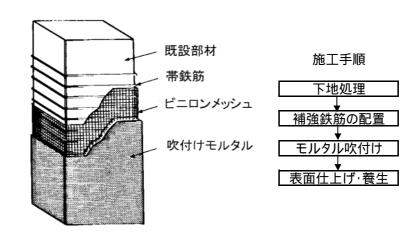
道路・鉄道・その他	∥ 鉄道
対象部材・部位	柱,橋脚躯体
補修·補強目的	部材のせん断耐力や塑性変形性能の向上を目的とする。
11012 110321743	曲げ耐力の向上を目的とする場合は、巻き立て部の軸方向鉄筋をフーチング等
	へ定着する必要がある。
T法概要·特徵	────────────────────────────────────
上/広慨安 ' 村田	
	・一般工法であり,使用材料,工法共に未知の要素がない. ただし,剛性や断面が
	大きくなり、景観の変化に影響を与える。
	・チッピング時に,騒音が発生する.
	・生コン車、ポンプ車等の作業スペースが必要である。
	·補強による荷重(自重)増で基礎の重量負担が増加する.
概算工費(参考)	B3 - 1参照
適用基準類	既存鉄道コンクリート高架橋柱等の耐震補強設計施工指針(RC巻き立て補強編)
	平成8年12月
	鉄道構造物等設計標準(コンクリート構造物編)平成4年
本工法事例の出典	松本,佐藤:鉄道RC高架橋の新しい耐震補強法,コンクリート工学,vol.35,
及び参考文献	10.1997.10
~ 5 5 5 7 lan	渡辺,松本:RCラーメン高架橋の耐震診断技術と補強技術,コンクリート工学,
	vol.34, 11,1996.11
	VOI.04, 11,1880.11



対策工法の分類	R	券立て
71 X 1 X V 7 7 X		
工注采므 工注夕秒	D 2	DC券を立て下注
上,広笛兮,上,広台炒	D 3	RU含さ立て工法
国本 ルク	D 2 /	フパノラル外祭券キウブ浦送
調査件名	II B3 - 4	人ハ1ノル妖肋含さ並し開強

補強·補修工法諸元

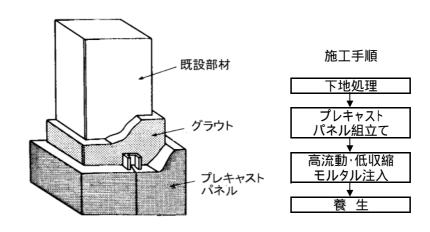
道路・鉄道・その他	<u>鉄道</u>
<u> </u>	<u> </u>
補修·補強目的	部材のせん断耐力や塑性変形性能の向上を目的とする. 曲げ耐力の向上を目的とする場合は,巻き立て部の軸方向鉄筋をフーチング等へ定着する必要がある.
工法概要·特徴	補強用のらせん鉄筋を柱および橋脚躯体に取り付け吹き付けモルタルで被覆する. ・連続したらせん鉄筋を用いているので継手が不要である. ・RC巻立てと同程度以上の性能を有する. ・吹付けモルタルにより補強による荷重(自重)増で基礎の重量負担が増加する.
概算工費(参考)	
適用基準類	既存鉄道コンクリート高架橋柱等の耐震補強設計施工指針 (スパイラル筋巻き立て補強編)平成8年12月 鉄道構造物等設計標準(コンクリート構造物編)平成4年
本工法事例の出典 及び参考文献	松本, 佐藤: 鉄道RC高架橋の新しい耐震補強法, コンクリート工学, vol.35, 10,1997,10 渡辺, 松本: RCラーメン高架橋の耐震診断技術と補強技術, コンクリート工学, vol.34, 11,1996.11



対策工法の分類	В	
工法番号,工法名称	B 3	RC巻き立て工法
	B 3 - 5	RCプレキャスト型枠補強

補強·補修工法諸元

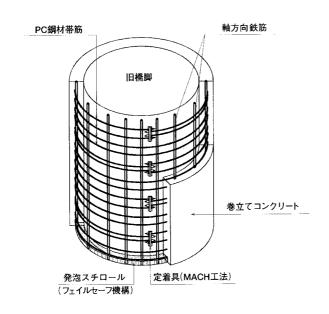
道路・鉄道・その他 対象部材・部位	<u>鉄道</u> 柱,橋脚躯体
補修・補強目的	1年,1個脚準件 部材のせん断耐力や塑性変形性能の向上を目的とする.
工法概要·特徴	補強用の帯鉄筋を内蔵したプレキャスト型枠で柱の外周を取り囲む補強工法・プレキャスト化しているため、表面の仕上がりがよい。 ・RC巻立てと同程度以上の性能を有する。 ・吹付けモルタルにより補強による荷重(自重)増で基礎の重量負担が増加する。 ・適切な継手が必要。
概算工費(参考)	
適用基準類	既存鉄道コンクリート高架橋柱等の耐震補強設計施工指針 (プレキャスト型枠補強編)平成8年12月 鉄道構造物等設計標準(コンクリート構造物編)平成4年
本工法事例の出典 及び参考文献	松本, 佐藤: 鉄道RC高架橋の新しい耐震補強法, コンクリート工学, vol.35, 10,1997,10 渡辺, 松本: RCラーメン高架橋の耐震診断技術と補強技術, コンクリート工学, vol.34, 11,1996.11



対策工法の分類	В	巻立て
工法番号,工法名称	B 4	PC巻立て工法
	B 4 - 1	OSR工法

補強·補修工法諸元

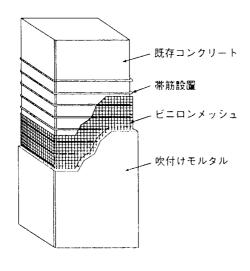
道路・鉄道・その他	道路橋
対象部材・部位	橋脚柱
補修·補強目的	・橋脚のじん性の向上
工法概要·特徴	橋脚躯体の巻立てコンクリートにプレストレスを導入することにより新旧コンクリートを一体化・橋脚基部にスリットを設け,軸方向筋の一部をボンドコントロールし,コンクリートとの付着をなくすことによって,基部に塑性ヒンジが発生・鋼板巻立て工法と同等の耐力・性能を有する設計を行った場合,鋼板巻立て工法の約6割程度の工費
概算工費(参考)	
適用基準類	・既設道路橋の耐震設計に関する参考資料:日本道路協会 1997.8
本工法事例の出典 及び参考文献	・既設道路橋の耐震設計に関する参考資料:日本道路協会 1997.8 ・PC鋼材を用いたOSR工法:オリエンタル建設(株)



対策工法の分類	В	巻立て
工法番号,工法名称	B 5	Ellタル吹付け工法
	B 5 - 1	モルタル吹付け工法

補強·補修工法諸元

>++== A+>++ == A	by ne iz
道路・鉄道・その他	道路橋
対象部材·部位	橋脚 柱
補修·補強目的	・橋脚のじん性の向上
工法概要·特徴	橋脚躯体を帯鉄筋により補強し,吹付けもルタルにより一体化させる工法 ・帯鉄筋に高張力(SD490)を用い,継手については機械継手やフレアー溶接を 用いる ・重機が進入できない場所でも施工可能 ・熟練工を必要としない ・メンテナンスフリー
概算工費(参考)	
適用基準類	・既設道路橋の耐震設計に関する参考資料:日本道路協会 1997.8
本工法事例の出典 及び参考文献	・既設道路橋の耐震設計に関する参考資料:日本道路協会 1997.8 ・吹付けモルタルによる高架橋柱の耐震補強設計:ハザマ

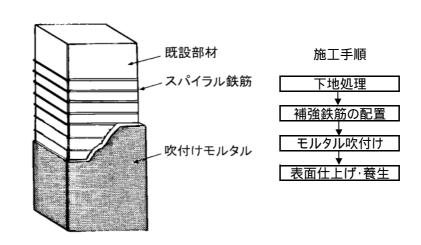


橋脚補強概念図

対策工法の分類	R	券立 <i>て</i>
7176 1 / A O / J 75	U	52.0
工注采므 工注夕秒	B 5	ェルカルの分付けて注
上次笛节,上次节仰	D 3	てルグル『人门リノ上/云
	D E 1	フパノニリ 外体光 ウオツ
	B5 - 2	人八1フル鉄肋管立く開始

補強·補修工法諸元

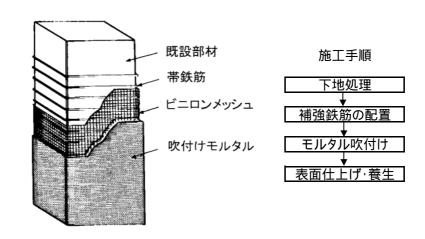
道路・鉄道・その他	<u>鉄道</u>
<u> </u>	<u> </u>
補修·補強目的	部材のせん断耐力や塑性変形性能の向上を目的とする. 曲げ耐力の向上を目的とする場合は,巻き立て部の軸方向鉄筋をフーチング等へ定着する必要がある.
工法概要·特徴	補強用のらせん鉄筋を柱および橋脚躯体に取り付け吹き付けモルタルで被覆する. ・連続したらせん鉄筋を用いているので継手が不要である. ・RC巻立てと同程度以上の性能を有する. ・吹付けモルタルにより補強による荷重(自重)増で基礎の重量負担が増加する.
概算工費(参考)	
適用基準類	既存鉄道コンクリート高架橋柱等の耐震補強設計施工指針 (スパイラル筋巻き立て補強編)平成8年12月 鉄道構造物等設計標準(コンクリート構造物編)平成4年
本工法事例の出典 及び参考文献	松本, 佐藤: 鉄道RC高架橋の新しい耐震補強法, コンクリート工学, vol.35, 10,1997,10 渡辺, 松本: RCラーメン高架橋の耐震診断技術と補強技術, コンクリート工学, vol.34, 11,1996.11



対策工法の分類	В	巻立て
工法番号,工法名称	B 5	モルタル吹付け工法
	B 5 - 3	モルタル吹付け工法

補強·補修工法諸元

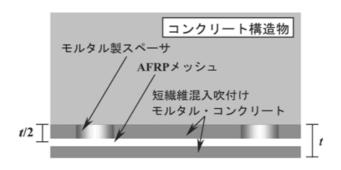
道路・鉄道・その他	
対象部材・部位	柱,橋脚躯体
補修·補強目的	部材のせん断耐力や塑性変形性能の向上を目的とする. 曲げ耐力の向上を目的とする場合は,巻き立て部の軸方向鉄筋をフーチング等へ定着する必要がある.
工法概要·特徴	補強用の帯鉄筋を柱および橋脚躯体に取り付け吹き付けモルタルで被覆する.・補強目的に応じて補強帯鉄筋量の増減が可能.・RC巻立てと同程度以上の性能を有する.・吹付けモルタルにより補強による荷重(自重)増で基礎の重量負担が増加する.・適切な継手が必要.
概算工費(参考)	
適用基準類	既存鉄道コンクリート高架橋柱等の耐震補強設計施工指針 (吹き付けモルタル補強編)平成8年10月 鉄道構造物等設計標準(コンクリート構造物編)平成4年
本工法事例の出典 及び参考文献	松本, 佐藤: 鉄道RC高架橋の新しい耐震補強法, コンクリート工学, vol.35, 10,1997,10 渡辺, 松本: RCラーメン高架橋の耐震診断技術と補強技術, コンクリート工学, vol.34, 11,1996.11



対策工法の分類	В	巻立て
工法番号,工法名称	B 5	Ellanの付け工法
	B 5 - 4	スマートショット工法

補強·補修工法諸元

	The same
道路・鉄道・その他	鉄道
対象部材·部位	柱,橋脚躯体
補修·補強目的	高靭性吹付けモルタルとAFRPメッシュの併用により、高い補強効果と靭性能の向上が目的
工法概要·特徴	AFRP(アラミド繊維)を外周に設置し、ピニロン繊維を混入したスマートモルタルを吹付ける工法・繊維の架橋効果により、ひび割れの細密化、劣化しても剥落が防止される。・他の補強工法に比べ、工期短縮が可能。・補強対象のコンクリートとの強度パランスとコスト減を目的とした配合設計が今後の課題。
概算工費(参考)	直工 ピニロン繊維混入率1%, 吹付け厚さt=30mm C=21千円/m ²
適用基準類	
本工法事例の出典 及び参考文献	田口,吉田,岸,三上:高靭性吹付けモルタルとAFRPメッシュを併用した 補修工法の開発,2003年度セメント・コンクリート論文集 No57

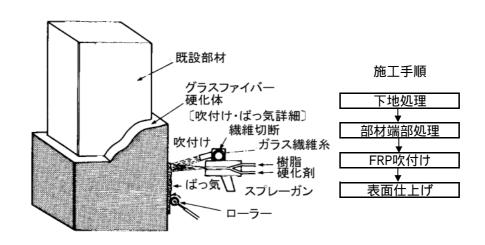


スマートショット工法

対策工法の分類	В	巻立て
工法番号,工法名称	B 6	FRP吹付け補強
	B 6 - 1	FRP吹付け補強

補強·補修工法諸元

道路・鉄道・その他	鉄道
対象部材·部位	柱,橋脚躯体
補修·補強目的	部材のせん断耐力や塑性変形性能の向上を目的とする。
工法概要·特徴	下地処理した柱に合成樹脂にガラスロービングを均等に混入して吹き付けてコンクリート表面にFRP硬化体を形成する. ・使用材料は人力で運搬可能である. ・人力作業で施工可能なスペースがあればよい. ・施工速度が速い. ・補強後の断面増加は無視できるほどの量である. ・1層の吹き付け厚さは2mm以上5mm以下とし,3mmを標準とする. ・施工時の温度が低いと樹脂の硬化が遅れる. ・水分があると樹脂の硬化に悪影響を及ぼす.
概算工費(参考)	
適用基準類	既存鉄道コンクリート高架橋柱等の耐震補強設計施工指針 (FRP吹き付け補強編)平成8年11月 鉄道構造物等設計標準(コンクリート構造物編)平成4年
本工法事例の出典 及び参考文献	松本, 佐藤: 鉄道RC高架橋の新しい耐震補強法, コンクリート工学, vol.35, 10,1997,10 渡辺, 松本: RCラーメン高架橋の耐震診断技術と補強技術, コンクリート工学, vol.34, 11,1996.11

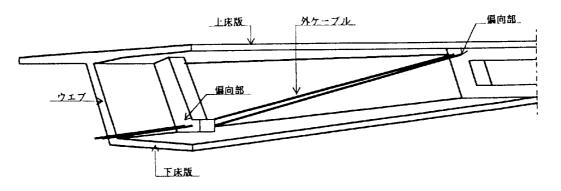


対策工法の分類	С	プレストレスの導入
工法番号,工法名称	C 1	外ケーブル工法
	C 1 - 1	外ケーブル工法

補強·補修工法諸元

学的 外学 スのル	· 보다
道路・鉄道・その他	道路橋
対象部材·部位	プレストレストコンクリート道路橋,鉄筋コンクリート橋
補修·補強目的	プレストレス導入による主桁断面の補強
	, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,
工 、土缸	
工法概要·特徵	「恒久的な防錆処理を施した緊張材をコンクリート部材の外側に配置し,定着部
	あるいは偏向部を介して部材に永続的なプレストレスを与える方式。外ケープル工
	法は緊張材定着具の位置を保持するための偏向部や緊張材の保護等に使
	用する保護管や充填材の材料などにより構成される。
	・ケーブルの取替えやケーブルの追加による補強が容易にできる。
	・内ケーブルに比べて維持管理,補修が容易である。
	「アリケーングでには、て流れら音が、間形が一切である。
概算工費(参考)	
適用基準類	
旭川坐十叔	
本工法事例の出典	·外ケーブルを用いたPC橋梁の設計マニュアル
及び参考文献	:(財)高速道路技術センター 1996
	ト・外ケーブル方式によるコンクリート橋の補強マニュアル(案)
	:プレストレストコンクリート建設業協会
	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·

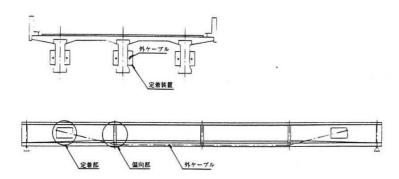
工法概要図(1)



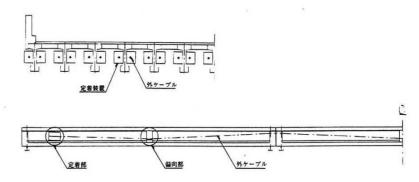
外ケーブル構造の例

工法概要図(2)

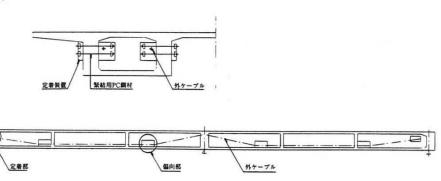
a)PC単純桁



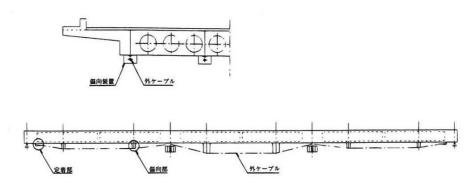
b)PC単純桁(連結化)



c)PC連続箱桁橋



d)RC連続中空床版橋



対策工法の分類	С	プレストレスの導入
工法番号,工法名称	C 2	プレストレス導入工法(内ケーブル)
	C 2 - 1	プレストレス導入工法(内ケーブル)

補強·補修工法諸元

道路・鉄道・その他	道路橋
対象部材・部位	フーチング、竪壁他
補修·補強目的	・新旧部材の一体性確保
工法概要·特徴	基礎の支持力不足、土圧の増加などにより、基礎が沈下、水平移動、傾斜などの変状を生じた場合、それ以上の変状を防止するために、増し杭などのアンダーピーニングを行うことが多い。このような場合、新旧フーチングの一体性を確保するために、さし筋や接着材を用いるとともに、PC鋼棒で新旧フーチングを締付けて接合する。 ・旧躯体を削孔し、シースを入れてから、空げきをグラウトして旧コンクリートとシースを固定する。 ・新フーチングのコンクリートを打込み、コンクリートが硬化し、所定の強度に達したらPC鋼棒に緊張力を加えて、新旧フーチングを締付る。 ・新フーチングと既設橋台との接着面には、チッピング、接着剤の塗布、差筋も行う。
概算工費(参考)	
適用基準類	
本工法事例の出典 及び参考文献	·道路橋補修便覧:日本道路協会 1979.2

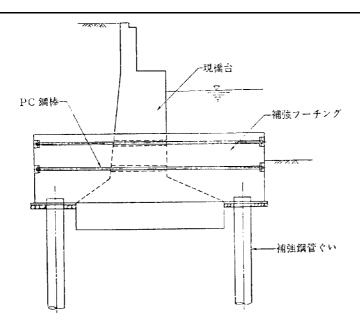
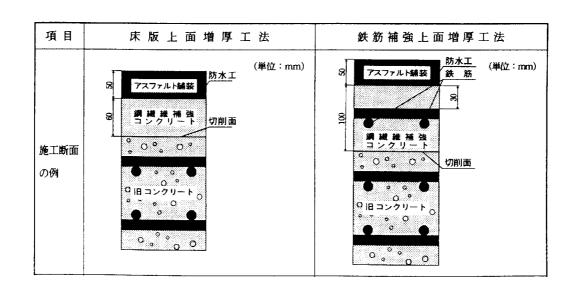


図-7.15 新旧マーチングを一体化した補修例

対策工法の分類	D	断面の増厚
工法番号,工法名称	D 1	上面増厚工法
	D1 - 1	上面增厚丁法,鉄筋補強上面增厚丁法

補強·補修工法諸元

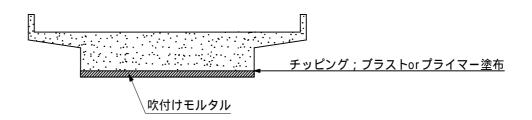
道路・鉄道・その他	道路
対象部材·部位	鋼橋,RC橋,PC橋の床版,連続橋の中間支点部の主桁・主版,張出し床版
補修·補強目的	押抜きせん断破壊に対する補強(床面上面増厚工法)
	橋梁本体補強(鉄筋補強上面増厚工法)
工法概要·特徴	∥·床面上面增厚工法
	∥薄いRC床版の曲げ耐力と押抜きせん断耐力の向上に有効であり,特に床版の
	∥最終破壊形態である押抜きせん断破壊に対する補強効果が優れている。
	∥増厚により死荷重が増加するが,主桁に及ぼす影響は少ない。
	₩・鉄筋補強上面増厚丁法
	主に連続橋の中間支点部の負の曲げ耐力の向上に有効であり,新旧コンクリートの
	付着により応力を伝達し、全体を一体断面としての補強効果がある。 また、床版
	の押抜きせん断に対する補強効果も兼備しているとともに、主桁等の支間部の正
	の曲げモーメントに対しても有効高が増加するため効果がある。
	·施工は高度な技術が必要。
概算工費(参考)	
適用基準類	コンクリート標準示方書:土木学会 1996
	鋼繊維補強コンクリート設計施工指針(案) コンクリートライブラリー第50号 土木学会
	上面増厚工法 設計施工マニュアル 財団法人 高速道路調査会 1995
	工品有序工法 既们他工(二至) 70 ,对日况人,可是是此间且公 1000
本工法事例の出典	上面増厚工法 設計施工マニュアル :財団法人 高速道路調査会 1995
及び参考文献	工四省14工/2 成月161工(一工)17 数四/27 同处层四侧且式 1999
次U·罗·与太·M	

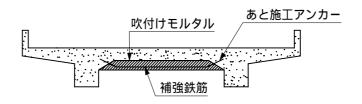


対策工法の分類	D	断面の増厚
工法番号,工法名称	D 2	下面吹付け工法
	D 2 - 1	下面吹付け工法

補強·補修工法諸元

道路・鉄道・その他	鉄道
対象部材·部位	高架橋の床版下面
補修·補強目的	床版の終局耐力および疲労耐力の向上
工法概要·特徴	劣化床版の下面に,モルタルを吹き付けて床版の耐力等を向上させる工法補強材としては,鋼繊維,ガラス繊維および鉄筋等が使用される.吹き付け方法としては,乾式が用いられている.吹き付けを出めがままが必要である. なお,補強対象部材の界面は,吹き付けモルタルと一体化させるためブラスト,チッピングおよびプライマー塗布等が必要である.
概算工費(参考)	
適用基準類	建造物保守管理標準 (財)鉄道総合技術研究所 昭和62年
本工法事例の出典 及び参考文献	建造物保守管理標準 (財)鉄道総合技術研究所 昭和62年 吉野,石橋,渡辺,峰松;添え筋と吹き付けモルタルによるRC床版補強工法に関3 実験的研究,コンクリート工学年次論文報告集 第9巻第1号,19987





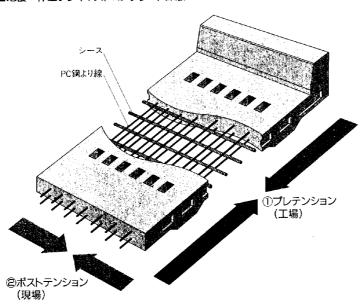
対策工法の分類	E	部材の交換
工法番号,工法名称	E 1	打換え工法
	E 1 - 1	PCプレキャスト床版

補強·補修工法諸元

道路・鉄道・その他	道路橋
対象部材·部位	鋼橋床版
補修·補強目的	損傷した鋼橋床版の打換え
工法概要·特徴	工場作製したプレキャスト床版を,橋梁桁上に架設したのち,橋軸方向にプレストレスを導入し,連続化を図る。連続化した後,桁との結合を行い,床版打換えを完了する。 特徴:現場工期の短縮,品質の安定,省力化。 ・ひびわれ幅,密度によって美観を損ねる。 ・振動下における継手の指標なし。打換工法の時,片側通行の場合は,必ず振動下の継手の影響は,評価として必要。 ・日常点検として,床版コンクリートのひびわれ幅,密度。
概算工費(参考)	
適用基準類	·鋼構造物シリーズ B:土木学会 鋼構造物設計指針 PARTB 合成構造物 平成9年度版
本工法事例の出典 及び参考文献	·軸方向プレストレスを導入したPCプレキャスト床版の疲労耐久性。 ·金田,松井,栗原,金崎,土木学会第50回年次学術講演会

工法概要図

■地覆一体型プレキャストコンクリート床版

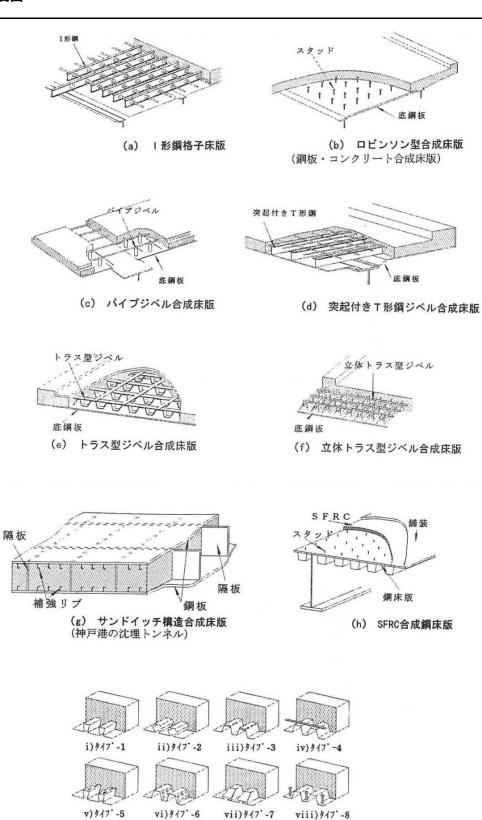


対策工法の分類	E	部材の交換
工法番号,工法名称	E 1	打換え工法
	E1 - 2	打換え工法

補強·補修工法諸元

道路・鉄道・その他	道路
対象部材・部位	鋼橋床版
補修‧補強目的	損傷した鋼橋床版の打換え
工法概要·特徴	上下もしくは、下面に鋼板があって、これにジベルが付いてコンクリートと1体化合成したものを現場に持ち込み、架設を行った後、継手処理と桁結合を行うものである。特徴:床版の剛性が大、現場工期の短縮、品質の安定、省力化。 ・振動下における継手の指標なし。打換工法のとき、片側通行の場合は、必ず振動下の継手の影響は、評価として必要。 ・日常点検の簡便性は舗装面および鋼板の錆。
概算工費(参考)	
適用基準類	・鋼構造物シリーズ B:土木学会 鋼構造物設計指針 PART B 合成構造物 平成9年度版
本工法事例の出典 及び参考文献	・松井 繁之著,論文,報告,多数あり。

工法概要図



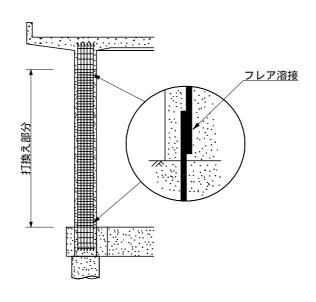
波形鋼板合成床版

(i)

対策工法の分類	E	部材の交換
工法番号,工法名称	E1	打換え工法
	E 1 - 3	打換え工法

補強·補修工法諸元

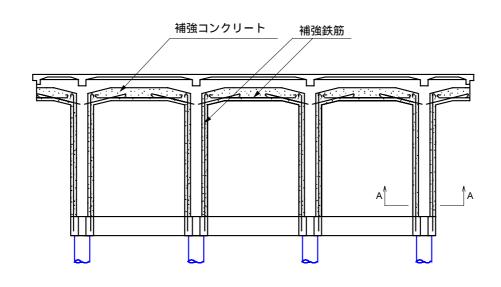
道路・鉄道・その他	鉄道
対象部材·部位	柱
補修·補強目的	部材のせん断耐力および変形性能の向上を目的とする.
工法概要·特徴	地震により損傷を受けた柱を,せん断耐力および変形性能を向上させるために,柱の上・下端で軸方向鉄筋を切断し,柱を新たに構築する工法.軸方向鉄筋との接続はフレア溶接で行うが,溶接の品質に対する注意が必要である.
概算工費(参考)	
適用基準類	建造物保守管理標準 (財)鉄道総合技術研究所 昭和62年 国鉄建造物設計標準(鉄筋コンクリート構造物)昭和58年 鉄道構造物等設計標準(コンクリート構造物編)平成4年
本工法事例の出典 及び参考文献	建造物保守管理標準 (財)鉄道総合技術研究所 昭和62年



対策工法の分類	F	はり·桁の増設
工法番号,工法名称	F 1	はり・桁増設工法
	F1 - 1	はり増設工法

補強·補修工法諸元

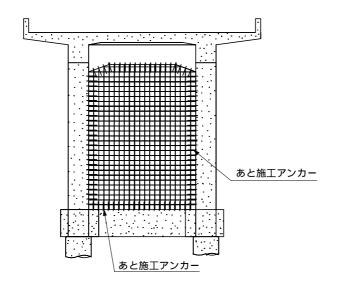
道路・鉄道・その他	<u>鉄道</u>
対象部材·部位	ラーメン高架橋
補修·補強目的	部材の終局耐力や疲労耐力の向上を目的とする。
工法概要·特徴	地震により損傷を受けた梁を,耐力を確保させるために,既設の梁の下に新たに梁を増設させる工法. 梁の軸方向鉄筋の定着等に注意しなければならない.
概算工費(参考)	
適用基準類	建造物保守管理標準 (財)鉄道総合技術研究所 昭和62年 国鉄建造物設計標準(鉄筋コンクリート構造物)昭和58年 鉄道構造物等設計標準(コンクリート構造物編)平成4年
本工法事例の出典 及び参考文献	建造物保守管理標準 (財)鉄道総合技術研究所 昭和62年



対生工法の公叛	C	磨の+== □
刈泉上/広い刀 規	l G	至の有政
工计采旦 工计复数	C 1	₿₩₩₽₩₽₩₽₩₽₩₽₩₽₩₽₩₽₩₽₩₽₩₽₩₽₩₽₩₽₩₽₩₽₩₽₩₽₩
上太笛节,上太石彻	l D	空 有政工/太
	C 1 1	元+ · 雪= R≥ + H = C
	1101-1	

補強·補修工法諸元

道路・鉄道・その他	<u>鉄道</u>
対象部材·部位	ラーメン高架橋 , ラーメン橋台
補修·補強目的	構造体の水平耐力の向上を目的とする.
工法概要·特徵	既設ラーメン構造の柱間に耐震壁を増設する. 耐震壁に配置する鉄筋は,既設柱にあと施工アンカーで定着させる. 設柱にあと施工アンカーで定着させる. なお,本工法は,水平耐力が増加するため,基礎構造への負担が増加することに注意する必要がある.
概算工費(参考)	
適用基準類	建造物保守管理標準 (財)鉄道総合技術研究所 昭和62年 国鉄建造物設計標準(鉄筋コンクリート構造物)昭和58年 鉄道構造物等設計標準(コンクリート構造物編)平成4年
本工法事例の出典 及び参考文献	千葉県東方沖地震による水深高架橋被害調査報告書 昭和63年9月

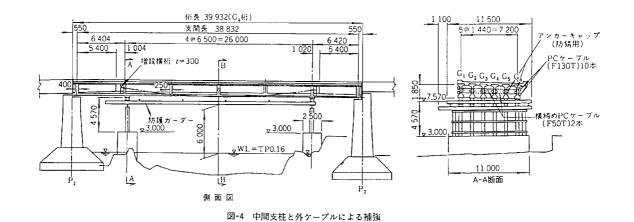


対策工法の分類	Н	支持点の増設
工法番号,工法名称	H 1	支持点増設工法
	H1 - 1	支持点増設丁法

補強·補修工法諸元

Y-10 ALY 3 0 /11	N-Y-104-125
道路・鉄道・その他	道路橋
対象部材・部位	∥プレストレストコンクリート道路橋,鉄筋コンクリート橋
補修·補強目的	単純桁橋の主桁を下から直接支持して補強する工法
工法概要·特徴	中間支持の設置により主桁にかかる断面力(死荷重 + 活荷重)を低減させる 工法。 主桁を直接支持するため最も確実であり,主桁の断面修復作業を行わなけ
	ればならない場合は非常に有利な方法といえる。
	■ 但し,桁下は支柱が組めることが前提条件となる。
	∥ ·緊急措置として有効
	■・被災橋梁の補修の足場としても利用できる
	・劣化の激しいコンクリート橋の防護ガーダーの設置も可能
	一支柱基礎についての最低限の維持管理性が必要
	√損傷部の接近・目視点検が容易
概算工費(参考)	
適用基準類	
2.32 1.73	
ナエ: (本語)の 山中	
本工法事例の出典	・橋梁と基礎 1993.12 ;暮坪陸橋の塩害による損傷と対策
及び参考文献	

工法概要图



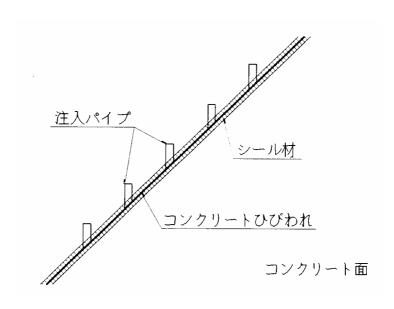
補修対策の目的と工法の分類

対策の目的	Ŕ	策工法の分類			工法名	術
(1)ひび割れや	L	注入	L1	ひびわれ注入工法	L1-1	ひび割れ注入工法
断面欠損の回復					L1-2	ひび割れ注入工法
	М	充填	M1	充填工法	M1 - 1	充填工法
	Ν	修復	N1	断面修復工法	N1 - 1	断面修復工法
					N1-2	SSI工法
(2)コンクリートへの	0	表面からの	01	表面塗装工法	01-1	塗膜被覆工法, Ellタll被覆工法
腐食因子の制御		侵入防止			01-2	ソルシャット工法
					01-3	コングリート改質剤被覆工法
	Р	電気化学的防食	P1	電気防食工法	P1-1	内部電極方式
					P1-2	外部電源方式 (チタン溶射方式)
					P1-3	ガルバシールドX P
			P2	デサリネーション	P2-1	デザリネーション(脱塩工法)
			P3	再アルカリ化工法	P3-1	再別が北上法

対策工法の分類		注 λ
入」パー/ハリノリ大	II L	注 八
丁注采旦 丁注夕稅	1 1	71.7 (宝)わ 注) 丁注
上法备亏,上法名称	II L	0.0.到10年71年72
•	1 1 1	7) 7 (室) 40 注) 丁汁
	111 1 - 1	()()()(=)(1)()()()()()()()()()()()()()()

補強·補修工法諸元

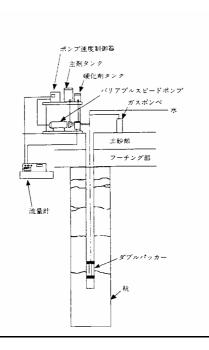
道路・鉄道・その他	道路・鉄道・その他
対象部材・部位	すべての部位
補修・補強目的	ひびわれ断面を↑体化する。
18 19 19 19 19 19	0.001/11個 風で「仲化りる。
工法概要·特徴	
工/公100.52 10.153	で配し、注入パイプよりセメント系、樹脂系材を注入する。
	注入後,パイプをカットして完了する。
	0.1mm以下のひびわれ幅と遊離石灰を伴うと,注入は難しい。
概算工費(参考)	直工
	C=5千円 / m
適用基準類	
大工 注声 個 の 山 曲	
本工法事例の出典 及び参考文献	
及い参与人制	



対等工法の公組	ll I	注 λ
X 1 /	II L	江 八
工法采品 工法夕秒	1 1	71.75割わ注入工注
上法留亏,上法石彻		ひひ割も注入工法
	1 1 2	71.7が宝山わらナ 3 丁:ナ
	IIL I - Z	ひひ割れが主八二次

補強·補修工法諸元

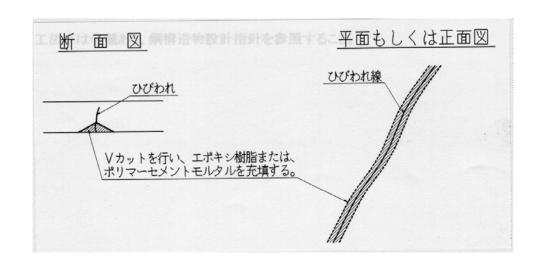
道路・鉄道・その他	道路橋
対象部材・部位	杭基礎
	損傷したクラックを通して海水等により鉄筋が腐食するのを防ぐ
工法概要·特徵	ひびわれ線に沿って,シールを行い,中間に注入パイプを25cm~30cmピッチ工法。 抗の損傷度小さく,新しい耐震基準による地震力に対しても十分耐荷力を持 つが,クラックを通して海水等により鉄筋が腐食する恐れがある場合に適用する。
概算工費(参考)	
適用基準類	
本工法事例の出典 及び参考文献	·阪神·淡路大震災調査報告編集委員会: 阪神·淡路大震災調査報告 土木構造物の応急復旧, 補修, 補強, 1998.6



対策工法の分類	M	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
ハルエルグンル	141	70°A
丁法番号 丁法名称	IIM 1	
上/4日 つ,上/4口が	IVI I	70-英工/4
	IIN/I 1 _ 1	- 本植工注
	IIM 1 - 1	· 允琪 法

補強·補修工法諸元

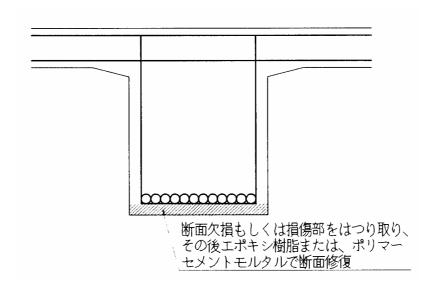
道路・鉄道・その他	道路・鉄道・その他
対象部材·部位	すべての部位
補修·補強目的	ひびわれ注入が不可能の場合,Vカットはつりを行った後,充填する。
工法概要·特徴	ひびわれ部に沿って,Vカットを行い,その後エポキシ樹脂または,ポリマーセメントモルタルを充填し,ひびわれによる断面を小さくする。
概算工費(参考)	
適用基準類	
本工法事例の出典 及び参考文献	



対策工法の分類	N	修 復
X1 /kl ユ/ムリカ	II I N	修侵
丁辻釆旦 丁辻夕秒	NI 1	斯
上法留写,上法名例	IIIN I	断 田 1 修 侵 上 法
	N 1 _ 1	华
	IIIN I - I	

補強·補修工法諸元

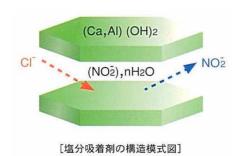
道路・鉄道・その他	道路·鉄道·その他
対象部材·部位	すべての部位
補修·補強目的	凍害,塩害,その他により断面欠損している所,もしくは損傷している所をはつ り取り,断面修復を行う。
工法概要·特徴	断面欠損部もしくは損傷している所をはつり取り,再びエポキシ樹脂またはポリマーセメントモルタルで断面修復をし,既設構造物の断面確保を行う(計算上必要な断面)。 ・断面修復が著しく大きいと,重要構造物では,耐久性,耐荷力に問題が生じる場合がある。
概算工費(参考)	直工
	C=20千円 / m²
適用基準類	
本工法事例の出典 及び参考文献	・コンクリート耐久性向上技術の開発 (財)土木研究センター

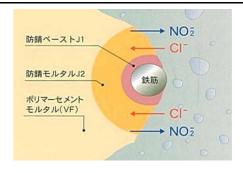


対策工法の分類	N	修復
工法番号,工法名称	N 1	断面修復工法
	N 1 - 2	SSI工法

補強·補修工法諸元

道路・鉄道・その他	道路橋
対象部材·部位	鉄筋コンクリート全般
補修·補強目的	・塩害による鉄筋腐食抑制補修工法(断面修復)
工法概要·特徵	SSI工法は、鉄筋周辺の塩分(塩化物イオン)を吸着して亜硝酸イオンを放出することにより、鉄筋に対して優れた塩害抑止効果を発揮する補修工法である。・塩分吸着剤は層状構造を有するカルシウム・アルミニウム複合水酸化物で、層間に鉄筋腐食抑制効果のある亜硝酸イオンを保持しており、過剰な塩化物イオンを吸着すると共に、亜硝酸イオンを放出し鉄筋の腐食を抑制する。・残留塩分が内在する本補修ではマクロセル腐食による鉄筋小の再劣化(腐食)を防止できる。・使用材料は塩分吸着剤を混入したJ1防錆ペーストとJ2防錆モルタルか
概算工費(参考)	
適用基準類	・オバナヤセメンテックス∶SSI工法技術資料
本工法事例の出典 及び参考文献	・オバナヤセメンテックス:SSI工法技術資料 本工法は日本道路公団試験研究所と鉄道総合技術研究所との共同開発









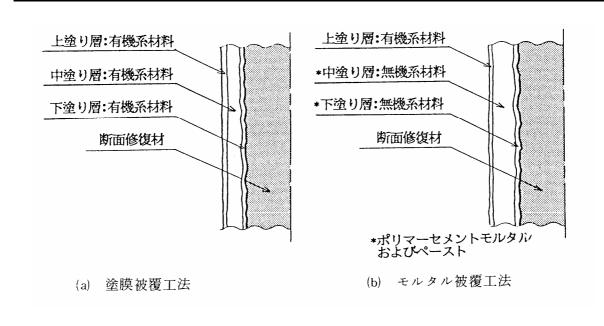
[J1ペースト施工]

[J2モルタル施工]

対策工法の分類	0	表面からの侵入防止
工法番号,工法名称	01	表面塗装工法
調査件名	01 - 1	塗膜被覆工法,モルタル被覆工法

補強·補修工法諸元

道路・鉄道・その他	∥ コンクリート構造物
対象部材·部位	床版·桁·梁·柱他
補修·補強目的	コンクリート構造物の劣化因子の表面からの侵入を抑止し,劣化の進行を抑制 する。
工法概要·特徴	コンクリート構造物の欠損断面を,断面修復材料により復旧し,ひびわれ注入(充填)を行うとともに,コンクリート表面被覆(塗装)を行い,劣化の進行を抑制する。 表面塗装工法の採用。 ・アルカリ骨材反応の場合,ひびわれの進行度区分により,ひびわれが進行している場合は,柔軟型のひびわれ注入材,シーランドおよび柔軟型厚膜被覆,ひびわれ注入材,ポリマーセントおよび硬質被覆等が用いられる。・塩害の場合,点検によって得られた構造物の損傷度により,コンクリート表面被覆材料の品質が決定される。・表面からのコンクリート劣化因子(塩分,水,酸素,炭酸ガスなど)の侵入抑止の目的には,表面被覆(塗装)が一般的に用いられる。
概算工費(参考)	
適用基準類	・コンクリートの耐久性向上技術の開発:(財)土木研究センター,平成元年5月 ・道路橋の煙害対策指針(案)・同解説:(社)日本道路協会,昭和59年2月
本工法事例の出典 及び参考文献	・コンクリートの耐久性向上技術の開発:(財)土木研究センター,平成元年5月 ・コンクリート構造物の補修事例集:(社)日本コンクリート工学協会,1994年10月



注入材および充填材の品質規格(参考)

日本道路協会,建設省総プロ

		日午足町伽女,足吹目船ノロ
	日本道路協会	建設省総プロ
	道路橋塩害対策指針	塩害補修指針
	1984.2	1989.5
試験方法	同上付録1コンクリート塗装材料の品質	同上解説
武씨火	試験方法(案)	
	A 種∶PC 用	1種∶環境条件が厳しい場合,および再
種別	B 種∶RC 用	補修が困難な場合
	C 種:長期防錆型	2種:1種に該当しない場合
	塗装材料の品質(新設)	塗装材料の品質(既設補修)
塗膜の外観	塗膜は均一で,流れ·むら·われ·はが	
(JIS K 5400 6.1)	れのないこと	
도+ /군 /사	促進耐候試験試験を 300 時間行った	促進耐候試験試験を 300 時間行った
耐候性 (US K 5400 6 47)	後,白亜化はほとんどなく,被覆にわ	後,白亜化はほとんどなく,被覆にわ
(JIS K 5400 6.17)	れ・はがれのないこと	れ・はがれのないこと
	塗膜の塩素イオン透過量が	塩素イオン透過量が
しゃ塩性	A·B 種: 10 ⁻² mg/cm2 以下	1種∶10 ⁻³ mg/cm2 日以下
しや塩注	C 種:10 ⁻³ mg/cm2 以下	2 種∶10 ⁻² mg/cm2 日以下
	であること	であること
耐アルカリ性	水酸化カルシウムの飽和溶液に30日間浸	水酸化カルシウムの飽和溶液に30日間浸
(JIS K 5400 7.4)	漬しても,ふくれ・われ・はがれ・軟化・	漬後,塗膜に変状がないこと
(JIS K 5400 7.4)	溶出のないこと	
コンクリートとの付着性	25/25 であること	界面破壊がないこと
コンケッートとの内有性		(JIS A 6910)
ひびわれ追従性	塗膜の伸びが,	(梁供試体の曲げ載荷試験)
	A 種 1%, B 種 4%, C 種 1%以上であるこ	コンクリートのひび割れ幅が,PC 用
	٤	0.1mm, RC 用 0.2mm まで被覆に欠陥
		が生じないこと
出典	道路橋の塩害対策指針(案)・同解説,	塩害を受けた土木構造物の補修指針
	付属資料 2 コンクリート塗装の設	(案),建設省総プロ,コンクリート
	計・施工・品質基準(案)・同解説,	の耐久性向上技術の開発報告書第2
	日本道路協会,1984.2(S59.2)	編 , 1988.11(S63.11)

注入材および充填材の品質規格

材料の種類	土木補修用工	土木補修用工	土木補修用工	土木補修用充	土木補修用充
項目	ポキシ樹脂注	ポキシ樹脂注	ポキシ樹脂注	填材ポリマー	填材シーラン
	入材1種	入材2種	入材3種	セメント系	卜系
ひび割れ進行区分	l E	3	Α	В	A,B
注 1)	-	, 	, ,		Λ, Β
<u>ひび割れ幅 (mm)</u>		0.2~5.0		5.0) <
粘度 (mPa・s)	1,000 以下	4±1 注2)	1,000 以下	10,000 以下	ダレを認めず
可使時間 (分)	30 以上	30 以上	30 以上	30 以上	240 以上
硬化時間 (時間)	16 以内	16 以内	24 以内	16 以内	24 以内
硬 化 収 縮 (%)	0.1以下	0.1 以下	0.1以下	0.1 以下	
伸 び 率 (%)		50 以上	100 以上		800 以上
モルタル付着強さ (乾燥面) (N/mm²)	6以上	6 以上	6 以上	6以上	たわみ量 10mm 以上で破壊す ること
付着力耐久性保持 (%) 注 3)	60 以上	60 以上	60 以上	60 以上	60 以上
注 1)	A:ひび割れが進	A:ひび割れが進行している			
/土 1)	B:ひび割れの進行がとまった				
注 2)	チキソトロピック係数 2rpm/20rpm の粘度で表す .				
注 3)	規格に対する百分率				
	建設省:建設省総合技術開発プロジェクト,コンクリートの耐久性向上技術の開発				
ulu dh	(土木構造物に関する研究成果),アルカリ骨材反応被害構造物(土木)の補修・補				
出典	強指針(案),1			•	
	尚,建築補修用	注入エポキシ樹脂	旨は JIS A 6024 に	品質表示 .	

| 被覆仕様(遮水系表面保護工)の品質規格

	Α	В			
	(ひび割れが進行してい	(ひび割れの進行	が止まっている)		
項目	る)				
	柔軟形厚膜被覆	柔軟形被覆	硬質形被覆		
7.1.7.1年11七つ、2中7年14十	中塗り塗料被膜の伸び率	中塗り塗料被膜の伸び率			
ひび割れ追従性	が 100%以上であること.	が 50%以上であること .			
	被膜の透水率が	被膜の透水率が	被膜の透水率が		
水透過阻止性	20ml/m2·日以下であるこ	30ml/m2·日以下であるこ	20ml/m2・日以下であるこ		
	と.	と.	と.		
ーコンクリートとの付着 性	被膜とコンクリートとの何	†着強度が , 1N/mm2 以上であ			
耐アルカリ性	水酸化カルシウムの飽和溶液に 30 日間浸漬しても,ふくれ,われ,はがれ,軟化溶出のないこと.				
被膜の外観	塗膜は均一で,流れ,むら	, ふくれ, はがれのないこ	と.		
エ-1 /元 //	促進耐候性試験を 300 時間行ったのち , 白亜化はほとんどなく被膜にわれ , はが				
耐候性	れのないこと.				
	建設省:建設省総合技術開	 発プロジェクト , コンクリ	ートの耐久性向上技術の開		
出典	発(土木構造物に関する研究成果),アルカリ骨材反応被害構造物(土木)の補				
	修・補強指針(案), 1989	.5			
	•				

対策工法の分類	0	表面からの侵入防止
工法番号,工法名称	01	表面塗装工法
	O 1 - 2	ソルシャット工法

補強·補修工法諸元

	道路,鉄道
対象部材:部位	床版·桁·梁·柱他
補修·補強目的	鉄筋コンクリート構造物の表面をエポキシ樹脂などで被覆し,塩害による劣化を
	防止する。(ソルシャット工法)
	ソルシャットPE工法とソルシャットSEE工法の2種類がある。
上/太佩安 待地	
	PE工法は、構造物の陸上部や波の飛沫がかかる部分に使用する。下層に
	柔軟性ポリマーセメントモルタルを用いて、コンクリートのひび割れに対する
	追従性を高めた。
	│ 一方,SEE工法は,潮の干満の影響を受ける部分に用いる。下層にコンクリート
	の湿潤面への付着性に優れる湿潤用柔軟性エポキシ樹脂を採用した。
	両工法とも,中層に柔軟性エポキシ樹脂を入れて,塩害の要因となる塩分,酸素,
	水分の浸透を防ぐ。
	(大力の)を存在を例 (。
概算工費(参考)	
適用基準類	
本工法事例の出典	
	・口社コノストノノノコノ 取利上小上/五十559
及び参考文献	

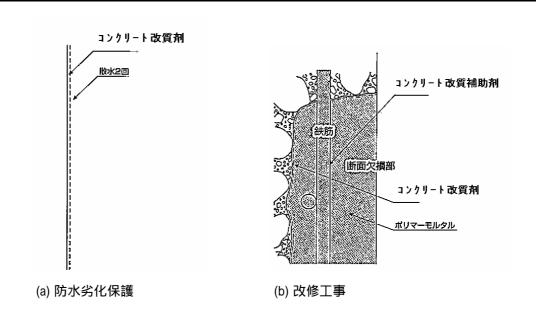
工法概要図

●補修個所とソルシャット工法の仕様 海上大気部 PE工法 飛沫帯 H. W. L 干満帯 M. W. L SEE工法 L. W. L SEE工法 素軟性エポキシ樹脂 素軟性エポキシ樹脂 素軟性エポキシ樹脂 素軟性エポキシ樹脂 素軟性エポキシ樹脂 混測面柔軟性エポキシ樹脂

対策工法の分類	0	表面からの侵入防止
工法番号,工法名称	01	表面塗装工法
	01 - 3	コンクリート改質剤被覆工法

補強·補修工法諸元

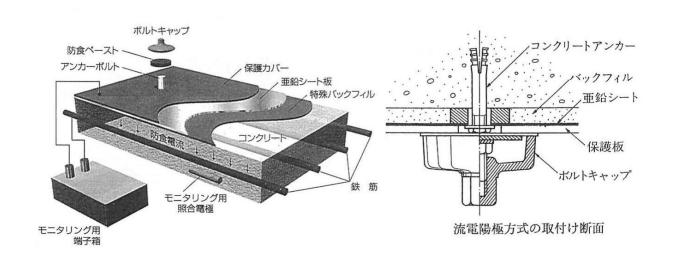
道路・鉄道・その他	コンクリート構造物
対象部材·部位	床版·桁·梁·柱他
補修·補強目的	コンクリート改質剤により、コンクリートを緻密かつ強固とする事で、劣化保護と 躯体への止水を行う。
工法概要·特徴	硬化したコンクリート表面にコンクリート改質剤を散布(または塗布)を行う。 その後、散水養生を行うことで未水和のセメントや水和生成物を安定した結晶へと 変化させ緻密で強固なコンクリートへと変化させる。 反応は、表層部にとどまらずコンクリートの深部まで及ぶ。 塩害、凍害、中性化、対薬品等の劣化要因にたいする耐久性が増す。 大きな空隙には、充填または注入の処理が必要。
概算工費(参考)	算出例 直工 (a)防水劣化保護:改質剤散布2回、散水3回 C=4千円/m2
適用基準類	
本工法事例の出典 及び参考文献	・無機系改質剤によるコンクリートのひびわれ補修に関する基礎的性能評価 (社)日本材料学会 コンクリート構造物の補修・補強アップグレート・シンポップクム 2002,10



対策工法の分類	Р	電気化学的防食
工法番号,工法名称	P 1	電気防食工法
	P1 - 1	

補強·補修工法諸元

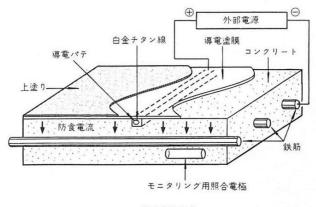
道路・鉄道・その他	主に桟橋構造物
対象部材·部位	床版,梁部
補修·補強目的	塩害,中性化等によってコンクリート中の鋼材が腐食している。
	あるいは,今後腐食が予想される鋼材に対して電流を流入させることによって
	腐食を抑制させることが目的
工法概要·特徵	亜鉛シート方式は,亜鉛シート・特殊バックフィル・保護カバーからなる。
	亜鉛防食板をアンカーボルトで固定し,亜鉛シートと鋼材(鉄筋)の金属的性質
	の違いによって防食電流を供給する。
	・電源設備が不要。
	■ ・管理が容易。
	・過防食の心配がない(特にPC部材)。
	・コンクリート中に塩分が存在していても防食が可能である。
	・コンクリート中にモンタリング装置(照合電極)を設置して防食効果を確認できる。
	1777 中に177777 衣直(無口电池)を放直して例長効果を唯心してる。
概算工費(参考)	直工
100开工员(多与)	
	C=50千円 / m² (初期コスト)
適用基準類	
2/11至十次	: 日本コンクリート工学協会 1994.10
	・コンクリート構造物の電気化学的補修工法 設計・施工マニュアル
	コングノート構造物の電気化学的補修工法研究会 1998.1
本工法事例の出典	13777
及び参考文献	: 日本コンクリート工学協会 1994.10
スロップラスHM	ロギョンブリート構造物の電気化学的補修工法 設計・施工マニュアル
	コンクリート構造物の電気化学的補修工法研究会 1998.1



対策工法の分類	Р	電気化学的防食
工法番号,工法名称	P 1	電気防食工法
	P1 - 2	外部電源方式(チタン溶射方式)

補強·補修工法諸元

道路・鉄道・その他	道路橋梁、鉄道橋、トンネル、タンク 他
対象部材·部位	▼下部エフランジ部、壁側面、スラブ 他
補修·補強目的	■ 塩害,中性化等によってコンクリート中の鋼材が腐食している。
	あるいは,今後腐食が予想される鋼材に対して電流を流入させることによって
	腐食を抑制させることが目的
工法概要·特徵	金属のチタンをコンクリート表面に溶射被覆し、これを電気防食用の電極とする。
	電極特性を高める為、触媒液を加えたチタン溶射電極を直流電源装置の
	(+)側に鋼材を(-)側につなぎ所定の電流を鋼材 (鉄筋)へ供給させる。
	・作業良好で複雑な構造物にも適用可能
	一・初期コストが安価で美観性に優れる
加管工弗(
概算工費(参考)	
適用基準類	
週 用基件類	・コンクリート構造物の電気防食法 研究委員会報告書
	:日本コンクリート工学協会 1994.10
	・コンクリート構造物の電気化学的補修工法 設計・施工マニュアル
	ニコングリート構造物の電気化学的補修工法研究会 1998.1
本工法事例の出典	・コンクリート構造物の電気防食法 研究委員会報告書
及び参考文献	:日本コンクリート工学協会 1994.10
	・コンクリート構造物の電気化学的補修工法 設計・施工マニュアル
	:コンクリート構造物の電気化学的補修工法研究会 1998.1

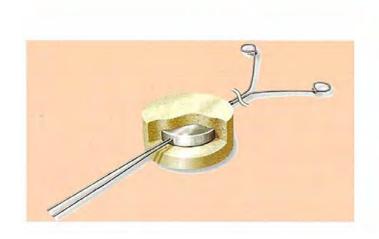


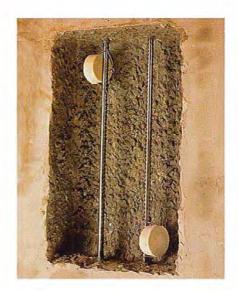
導電塗料方式

対策工法の分類	Р	防錆工法
工法番号,工法名称	P 1	電気防食工法
	P1 - 3	ガルバシールドXP

補強·補修工法諸元

道路・鉄道・その他	道路橋
対象部材·部位	RC壁高欄(剛性防護柵)
補修·補強目的	・塩害による鉄筋腐食に対する防錆
工法概要·特徵	本工法は鉄筋コンクリート用犠牲電極型防錆システムであり、塩害を受けたRC 構造物に対し、鉄筋をむき出し(コンクリートをはつりとる)にし、ガルバシールドX Pをセットするだけで塩分残量があっても鉄筋の発錆を防止する効果がある。 本製品は、特殊なモルタルで成型した金属亜鉛犠牲陽極であり、金属亜鉛と鉄筋の 間で化学電池を形成することにより、鉄筋に電位を形成し、塩分が残留していても錆が 発生しない状況を金属亜鉛が消費されなくなるまで維持する。(約10~20年) ・施工性:容易・耐久性:15年以上(カタログ値)
概算工費(参考)	直工 C=30千円 / ㎡
適用基準類	特になし
本工法事例の出典 及び参考文献	・フォスロック・ジャパン・リミテッド社製品

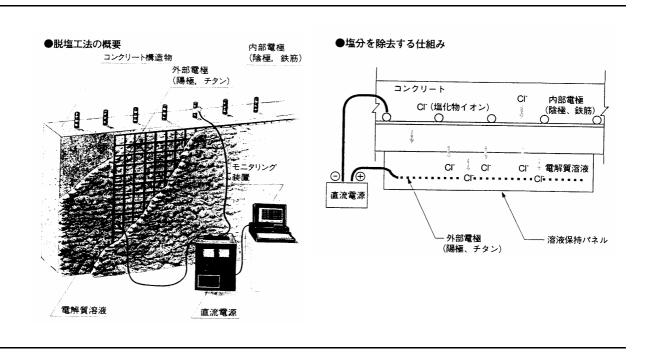




対策工法の分類	Р	電気化学的防食
工法番号,工法名称	P2	デサリネーション(脱塩工法)
	P 2 - 1	デサリネーション(脱塩工法)

補強·補修工法諸元

道路・鉄道・その他	道路,鉄道
対象部材・部位	床版下面,桁側面下面
補修·補強目的	・コンクリートに浸透した塩分を除去し,鉄筋の腐食を止める。
工法概要·特徴	・コンクリート内部と外部にそれぞれ電極を設け,両極間に電気を流すことで鉄筋付近の塩化物イオンを取り除く工法。 ・内部電極(陰極)として床版内の鉄筋,外部電極(陽極)としてチタンの金網を溶液保持パネルに取り付け,パネルには電解質溶液(ほう酸リチウム溶液)を満たす。この溶液内に塩化物イオンを取り込む。・パネルなどの資材を転用できるので,工事費は電気防食方法に比べて3割程度安い。
概算工費(参考)	
適用基準類	
本工法事例の出典 及び参考文献	・日経コンストラクション 最新土木工法年鑑96



対策工法の分類	Р	電気化学的防食
工法番号,工法名称	P 3	再アルカリ化工法
	P3 - 1	再アルカリ化工法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

補強·補修工法諸元

	
道路・鉄道・その他	┃コンクリート構造物
対象部材·部位	
補修·補強目的	・低下したコンクリートのPHを上昇させ,,コンクリートが本来持っている防錆 機能を回復させる。
工法概要·特徴	・再アルカリ化工法は、電気浸透原理により、コンクリート表面から中性化した、コンクリート部分へ、アルカリ性溶液を強制的に浸透させる。
概算工費(参考)	
適用基準類	・建築分野を主としている。・鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針(案)・同解説:日本建築学会・コンクリート構造物の電気化学的補修工法設計・施工マニュアル:コンクリート構造物の電気化学的補修工法研究会,平成10年1月
本工法事例の出典	・鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針(案)・同解説
及び参考文献	さればコングン 十三之次 はる
~ 5 5 7 m/	■・コールをよりな ■・コンクリート構造物の電気化学的補修工法設計・施工マニュアル
	コンクリート構造物の電気化学的補修工法研究会,平成10年1月
	・コノノソー

