

北海道土木技術会コンクリート委員会

コンクリート構造物の耐用年数予測評価

平成六年三月

北海道土木技術会コンクリート委員会

コンクリート構造物の
耐用年数予測評価のための調査
報告書

平成6年3月

コンクリート構造物の耐用年数
予測評価のための調査小委員会

北海道土木技術会コンクリート委員会

コンクリート構造物の耐用年数予測評価のための調査小委員会委員

委員長	佐伯昇	北海道大学工学部
幹事	桜井宏	北見工業大学工学部
	堺孝司	北海道開発局土木開発研究所
	上田正昭(本多満後任)	北海道開発局道路建設課
	田口史雄	北海道開発局道路維持課
	佐々木秀朗	北海道開発局港湾建設課
	伊藤俊孝	北海道土木部道路課
	菊地博	北海道電力(株)総合研究所
	立藤勝治(代理:船谷)	ショーボンド建設(株)札幌支店
	大内建二	(株)小野田札幌支店
	村中修一	JR北海道

北海道土木技術会コンクリート委員会
コンクリート構造物の耐用年数予測評価のための
調査小委員会調査結果報告書

目次

	Page
1. 調査目的-----	1
2. 調査方法-----	2
2.1 調査対象構造物-----	2
2.1.1 調査対象構造物の選定(予備調査結果)-----	2
2.1.2 調査対象構造物の種類-----	5
2.1.3 調査対象構造物の諸元等-----	6
2.2 調査項目-----	28
2.2.1 内的要因の調査項目-----	28
2.2.2 外的要因の調査項目-----	31
2.2.3 現地調査の項目-----	32
2.2.4 採取試料の分析項目-----	39
2.3 解析方法-----	41
2.3.1 調査データの抽出と整理方法-----	41
2.3.2 調査結果の統計解析-----	41
2.3.3 開発した劣化予測評価手法による解析-----	42
3. 調査結果及び解析結果-----	46
3.1 調査結果-----	46
3.1.1 調査結果の概要-----	46
3.1.2 構造物の供用年数と劣化の関係-----	48
3.1.3 構造物の海岸からの距離と劣化の関係-----	49
3.1.4 構造物の供用年数と主桁毎の調査時点での腐食 による縦ひびわれの発生との関係-----	50
3.1.5 その他の要因と劣化の関係-----	54
3.2 解析結果-----	60
3.2.1 開発した耐用年数予測評価手法による 予測と実測値の関係-----	60
3.2.2 長期の劣化の予測評価-----	61
3.2.3 信頼性理論を考慮した劣化の予測-----	63
3.2.4 耐用年数評価の検討-----	66
4. まとめ-----	69
謝辞-----	69
参考資料-----	69
巻末資料集-----	70
1. 測定データ-----	71
2. 開発した耐用年数予測評価手法による結果-----	76
3. 信頼性解析結果-----	86

1. 調査目的

寒冷地のコンクリート構造物は凍結融解作用を受けるため厳しい環境下にあり、また、沿岸構造物は塩分の作用を受ける腐食環境下にある。したがって、耐用年数を確保するためには、凍害や塩害、またこれに複合する劣化に対する抵抗性を考慮した対策を検討する必要がある。これらの対策を評価するには耐用年数を予測することが第一の課題となる。寒冷地のコンクリート構造物の劣化の予測評価に関する検討は、未だ総合的には、十分なされていない。また、一般の環境下の場合も十分ではないのが現状である。

したがって、寒冷地の耐用年数予測評価法を確立するためには、各種の実構造物の調査とそれらのデータ解析による検討が必要である。

耐用年数予測評価法は、耐久性設計や残存寿命の推定の際に必要となるが、これを作成した際、その信頼性が問題となる。これを確認する方法としては、その手法を用いて評価した構造物の追跡調査やRC部材のモデルを作成して促進試験を行うこと等が考えられる。しかし、前者は何れ明らかに確認されることを予想はされるが、現在の要請に応えるには余りにも年数がかかり過ぎる。また、後者では現在の実験の範囲はコンクリートの材料的なレベル迄で、RC部材としての試験や実際の劣化現象とのタイムスケールの検討は十分なされていない。したがって、その信頼性を確認するためには、既存コンクリート構造物の調査データを収集、整理、解析して検討を行う必要がある。

本検討は、調査方法の検討とともに個々に調査された数種の既存コンクリート構造物のデータを客観的に一様に整理し、可能な統計的分析をし、この結果を新たに開発した方法で予測評価し、比較検討し手法の信頼性の確認の方法を考察するものである。これからのデータの蓄積によって、さらに予測の信頼性が向上することが期待される。

2. 調査方法

2.1 調査対象構造物

2.1.1 調査対象構造物の選定(予備調査結果)

調査対象構造物を選定するために、まず予備調査を実施した。予備調査は寒冷海洋環境下の橋梁を中心に目視、写真撮影による調査を実施した。

(1) 予備調査の項目と方法

基本的にはJCIのコンクリートの調査・補修指針によるが、事前に設計施工資料をRC構造物の管理者より入手し、竣工時期、設計上の構造諸元、管理者が持つ構造物点検台帳、管理者の持つ構造物の詳細な位置を示した地図を照査する。

上記の後に、現地踏査し、目視観察中心に写真及びビデオ等（全景と損傷（劣化）箇所の近接あるいは望遠レンズ等）による撮影と損傷箇所を図面と照合し調査箇所の選定を行なう。また、足場等の仮設場所等の検討を行なう。

(2) 予備調査の対象

予備調査の対象として特に塩分の影響を受けた構造物の現況目視調査を行った。
予備調査の内容をTable2.1.1.1と予備調査の対象構造物をTable2.1.1.2に示す。

Table2.1.1.1 予備調査の内容

目的	寒冷地海洋環境下の構造物の現況調査と本調査の実施の可能性の調査，設計施工資料の有無や補修の有無等も調査する。
方法	現況目視，写真やビデオによる記録
調査者	桜井幹事，武田（当時北大院）
調査期間	1990年9月27日～28日

Table2.1.1.2 予備調査対象構造物

No	構造物名	所在地	建設年月
	蘭島橋	小樽市	—
	フコッパ橋	余市町	S32.12
	白岩橋	余市町	S31.12
	古平橋	古平町	S33.10
	大森橋	神恵内	S60.11
	盃橋	泊村	S60.11
	恵比寿橋1	古平町	S28.12
	茅沼橋	泊村	S46.10
	刀掛大橋	岩内町	S51.11
	精進川橋	蘭越町	S39.9
	小田西橋	島牧村	S48.11
	大平橋	島牧村	S35.10
	コハッナイ橋	島牧村	S48.10
	中の川橋	島牧村	S48.10
	実橋	寿都町	S34.12
	幌別橋	寿都町	S61.12
	恵比寿橋2		

(3)予備調査結果の概要

供用年数20年程度を超える海岸に近い構造物(橋梁)の梁には、錆汁が見られ鉄筋腐食が起きているものが多い。これは、特に海岸側の梁の側面と下面に多く認められ、典型的な飛来塩分による塩害を示している。また、PSC床板等では、部材の継目につらら状のエフロレッセンスが発生し、長年の雨水による侵食によるものと思われる。

供用年数30年のものについては、下部工に骨材の抜けを伴う凍害を受けているものがあるが、当時AE剤の普及が十分でなかったため、NonAEコンクリートが使用されていた可能性がある。しかし、上部工についてはなんらかの補修がなされているものが多い。

また、塩害対策として、塗装などの対策が行われているにも関わらず厳しい寒冷地海洋環境下に置かれているため、コンクリート表面に局部的に錆汁等が出ているものもあり、今後これらの効果の追跡調査等の必要性も感じられた。

2.1.2調査対象構造物の種類

調査対象構造物は、前述の予備調査の劣化の現況を参考にして寒冷地の海水の影響を受ける海岸及び海水の影響を受けない内陸の道路橋、鉄道橋、水の影響を受ける水理構造物とした。Table 2.1.2.1に調査対象構造物を示す。

Table 2.1.2.1 調査対象構造物

構造物種	調査数	供用年数	海岸からの距離
道路橋	13	6～38年	5～1550m
鉄道橋	6	11～27年	800～21500m
導水路トンネル	4	-	-

2.1.3調査対象構造物の諸元等

調査対象構造物の概略の諸元をTable2.1.3.1に示す。また、詳細資料をTable2.1.3.2～Table2.1.3.20に示す。

Table 2.1.3.1 調査対象構造物の概略諸元

整理 番号	供用 年数 (年)	構造物					所在地	海 岸 か ら の 距 離 m	
		種類	形式	延 長 m	ス パ ン 数	主 桁 数			
NO.1	38	道路橋	RC		1	8	古平町	50	
NO.2	33	道路橋	RSC 桁	130	5	5	古平町沢江	150	
NO.3	20	道路橋	PSC 桁	31	1	5	泊村	25	
NO.4	28	道路橋	PSC 桁	21	1	4	蘭越町	210	
NO.5	6	道路橋	PCT 桁	180	6	5	寿都町下湯 沢	1550	
NO.6	18	道路橋	PSC 床版	34	1	14	島牧村本目	105	
NO.7	24	道路橋	PSC 桁	23	1	5	島牧村第二 栄浜	60	
NO.8	27	鉄道橋	RC		3	2	小樽市稲穂	800	
NO.9	27	鉄道橋	RC		1	4	小樽市花園	700	
NO. 10	11	鉄道橋	PC		1	9	札幌市手稲 区	2100	
NO. 11	23	鉄道橋	RC		4	5	札幌市厚別 区	21500	

整理 番号	供用 年数 (年)	構造物					所在地	海 岸 か ら の 距 離 m	
		種類	形式	延 長 m	ス パ ン 数	主 桁 数			
NO. 12	22	鉄道橋	PC		1	25	札幌市豊平区	20000	
NO. 13	24	鉄道橋	RC		9	6	札幌市白石区	15700	
NO. 14	26	道路橋	I型 PC	10	1	14	積丹町イカ川	25	
NO. 15	23	道路橋	I型 PC	6	1	N	積丹町シスカ川	5	
NO. 16	22	道路橋	I型 PC	7	1	18	積丹町積丹川	135	
NO. 17	23	道路橋	I型 PC	7	1	N	積丹町イカ川	75	
NO. 18	34	道路橋	I型 RC	9	1	4	積丹町イカ川	75	
NO. 19	31	道路橋	PSC 桁	45	3	3	島牧村	200	
NO. 20		導水路 トンネル			-		久保内		
NO. 21		導水路 トンネル			-		久保内		
NO. 22		導水路 トンネル			-		蘭越町		
NO. 23		導水路 トンネル			-		蘭越町		



Photo2.1.3.1 調査対象構造物NO.1の写真

Table2.1.3.2 調査対象構造物NO.1のデータ

要 因	記号:パラメータ	DATA	抽出資料	要 因	記号:パラメータ	DATA	抽出資料
外的要因	劣化外力	T:供用年数(年)	38	設計図	WC:水セメント比(%)	76	示方書(S24)
		L:海岸からの距離(m)	50	地図	UC:単位セメント量(Kg/m ³)	210	示方書(S24)
		CO:飛来塩分量(%)	0.22		UW:単位水量(Kg/m ³)	160	示方書(S24)
		TC:温度変化率(°C)	45.5	文献(1)	R:中性化率	0.6	文献(3)
		S:接触水の硫酸塩濃度(wt%)	0	-----	RU:骨材中のNa ₂ O量(%)	-----	-----
		FN:年凍結融解回数	20	文献(2)	RG:反応性骨材混合率(%)	-----	-----
		W:海水の補給係数	0.5		AE or NonAE: A E 剤の有無	無	示方書(S24)
					DC:コンクリート拡散係数(cm ²)*10 ⁻⁵	0.1647	
内的要因	設 計	D:かぶり深さ(mm)	40	設計図	AL:セメントの種類と養生条件によってきまる係数	0.0058	
		FS:鉄筋の応力度(Kgf/cm ²)	1400	示方書(S24)	K:表層強度低減率	-----	-----
		SG:コンクリートの応力度(Kgf/cm ²)	24.3	示方書(S24)	γ:ワーカビリティの指標	1.0	定数
		BE:注 1)	1.2	定数	CD:養生日数(日)	7	示方書(S24)
		AA:注 2)	10.2				
		BB:断面の幅(m)	0.12	設計図			
		AHEI:部材の全高(m)	0.32	設計図			
		ANH:鉄筋の本数(本)	10	設計図			
	材 料	AFAI:鉄筋径(m)	0.01	設計図を基に推定	NOTE(1) BE:中心軸と鉄筋の中心間の距離に対する中立軸と引張縁との距離の比。はりでは約1.2。		
		FCK:コンクリートの圧縮強度	72.89	示方書(S24)			
		FCT:コンクリートの引張強度	7.29	示方書(S24)	NOTE(2) AA:鉄筋と対称をなす引張側コンクリートの断面積を鉄筋の数で除したもの。		
		FB:平均付着強度(Kgf/cm ²)	6.5	示方書(S24)			
		EC:ヤング係数(Kgf/cm ²)	134010				
		FAI1:クリープ係数	2.0				



Photo2.1.3.2 調査対象構造物N0.2の写真

Table2.1.3.3 調査対象構造物N0.2のデータ

要 因	記号:パラメータ	DATA	抽出資料	要 因	記号:パラメータ	DATA	抽出資料
外的要因	劣化外力	T:供用年数(年)	33	設計図	WC:水セメント比(%)	45	示方書(S31)
		L:海岸からの距離(m)	150	地図	UC:単位セメント量(Kg/m ³)	300	示方書(S31)
		CO:飛来塩分量(%)	0.15		UW:単位水量(Kg/m ³)	204.6	示方書(S31)
		TC:温度変化率(°C)	45.5	文献(1)	R:中性化率	0.6	文献(3)
		S:接触水の硫酸塩濃度(wt%)	0	-----	RU:骨材中のNa2O量(%)	-----	-----
		FN:年凍結融解回数	20	文献(2)	RG:反応性骨材混合率(%)	-----	-----
		W:海水の補給係数	0.5		AE or NonAE: A E 剤の有無	有	示方書(S31)
内的要因	設 計	D:かぶり深さ(mm)	90	示方書(S31)	DC:コンクリート拡散係数(cm ²)*10 ⁻⁵	0.0799	
		FS:鉄筋の応力度(Kgf/cm ²)	1000	示方書(S31)	AL:セメントの種類と養生条件によってきまる係数	0.0058	
		SG:コンクリートの応力度Kgf/cm ²	45.59	示方書(S31)	K:表層強度低減率	-----	-----
		BE:注 1)	1.2	定数	γ:ワーカビリティの指標	1.0	定数
		AA:注 2)	19.66		CD:養生日数(日)	7	示方書(S31)
		BB:断面の幅(m)	0.37	設計図			
		AHEI:部材の全高(m)	1.46	設計図			
		ANH:鉄筋の本数(本)	16	設計図			
	材 料	AFAI:鉄筋径(m)	0.01	設計図を基に推定			
		FCK:コンクリートの圧縮強度	136.77				
		FCT:コンクリートの引張強度	13.68				
		FB:平均付着強度(Kgf/cm ²)	6.5				
		EC:ヤング係数(Kgf/cm ²)	183569				
		FAI1:クリープ係数	2.0				

NOTE(1) BE:中心軸と鉄筋の中心間の距離に対する中立軸と引張縁との距離の比。はりでは約1.2。

NOTE(2) AA:鉄筋と対称をなす引張側コンクリートの断面積を鉄筋の数で除したもの。



Photo2.1.3.3 調査対象構造物N0.3の写真

Table2.1.3.4 調査対象構造物N0.3のデータ

要 因	記号:パラメータ	DATA	抽出資料	要 因	記号:パラメータ	DATA	抽出資料
外的要因	劣化外力	T:供用年数(年)	20	設計図	WC:水セメント比(%)	65	示方書(S42)
		L:海岸からの距離(m)	25	地図	UC:単位セメント量(Kg/m ³)	300	示方書(S42)
		CO:飛来塩分量(%)	0		UW:単位水量(Kg/m ³)	195	示方書(S42)
		TC:温度変化率(°C)	38.0	文献(1)	R:中性化率	0.6	文献(3)
		S:接触水の硫酸塩濃度(wt%)	0	-----	RU:骨材中のNa2O量(%)	-----	-----
		FN:年凍結融解回数	20	文献(2)	RG:反応性骨材混合率(%)	-----	-----
		W:海水の補給係数	1		AE or NonAE: A E 剤の有無	有	示方書(S42)
内的要因	設 計	D:かぶり深さ(mm)	70	設計図	DC:コンクリート拡散係数(cm ²)*10 ⁻⁵	0.0966	
		FS:鉄筋の応力度(Kgf/cm ²)	1800	示方書(S42)	AL:セメントの種類と養生条件によってきまる係数	0.0058	
		SG:コンクリートの応力度Kgf/cm ²	40.26	示方書(S42)	K:表層強度低減率	-----	-----
		BE:注 1)	1.2	定数	γ:ワーカビリティの指標	1.0	定数
		AA:注 2)	45		CD:養生日数(日)	7	示方書(S42)
		BB:断面の幅(m)	0.5	設計図			
		AHEI:部材の全高(m)	1.65	設計図			
	材 料	ANH:鉄筋の本数(本)	10	設計図	NOTE(1) BE:中心軸と鉄筋の中心間の距離に対する中立軸と引張縁との距離の比。はりでは約1.2。		
		AFAL:鉄筋径(m)	0.01	設計図			
		FCK:コンクリートの圧縮強度	120.77	示方書(S42)	NOTE(2) AA:鉄筋と対称をなす引張側コンクリートの断面積を鉄筋の数で除したもの。		
		FCT:コンクリートの引張強度	12.08	示方書(S42)			
		FB:平均付着強度(Kgf/cm ²)	14	示方書(S42)			
		EC:ヤング係数(Kgf/cm ²)	172497				
		FAI:クリープ係数	2.0				



Photo2.1.3.4 調査対象構造物N0.4の写真

Table2.1.3.5 調査対象構造物N0.4のデータ

Table 2. 1. 5. 1 調査対象構造物の調査項目

要 因	記号:パラメータ	DATA	抽出資料	要 因	記号:パラメータ	DATA	抽出資料	
外的要因	劣化外力	T:供用年数(年)	28	設計図	材 料	WC:水セメント比 (%)	60	示方書(S32)
		L:海岸からの距離 (m)	210	地図		UC:単位セメント量 (Kg/m ³)	300	示方書(S32)
		CO:飛来塩分量 (%)	0.13			UW:単位水量 (Kg/m ³)	180	示方書(S32)
		TC:温度変化率 (°C)	38.0	文献(1)		R:中性化率	0.6	文献(3)
		S:接触水の硫酸塩濃度 (wt%)	0	-----		RU:骨材中のNa ₂ O量 (%)	-----	-----
		FN:年凍結融解回数	20	文献(2)		RG:反応性骨材混合率 (%)	-----	-----
		W:海水の補給係数	0			AE or NonAE: A E 剤の有無		示方書(S32)
						DC:コンクリート0.0692 拡散係数 (cm ²)*10 ⁻⁵		
内的要因	設 計	D:かぶり深さ (mm)	90	設計図	施 工	AL:セメントの種類と養生条件によってきまる係数	0.0058	
		FS:鉄筋の応力度 (Kg/cm ²)	1400	示方書(S32)		K:表層強度低減率	---	-----
		SG:コンクリートの応力度Kg/cm ²	49.44	示方書(S32)		γ:ワーカビリティの指標	1.0	定数
		BE:注 1)	1.2	定数		CD:養生日数 (日)	7	示方書(S32)
		AA:注 2)	52.89					
		BB:断面の幅 (m)	0.4	設計図				
		AHEI:部材の全高 (m)	1.03	設計図				
		ANH:鉄筋の本数 (本)	9	設計図				
	材 料	AFAI:鉄筋径 (m)	0.029	設計図	NOTE(1) BE:中心軸と鉄筋の中心間の距離に対する中立軸と引張縁との距離の比。はりでは約1.2.			
		FCK:コンクリートの圧縮強度	148.33	示方書(S32)				
		FCT:コンクリートの引張強度	14.83	示方書(S32)	NOTE(2) AA:鉄筋と対称をなす引張側コンクリートの断面積を鉄筋の数で除したもの。			
		FB:平均付着強度 (Kg/cm ²)	5.5	示方書(S32)				
		EC:ヤング係数 (Kg/cm ²)	191169					
		FAI1:クリープ係数	2.0					



Photo2.1.3.5 調査対象構造物N0.5の写真

Table2.1.3.6 調査対象構造物N0.5のデータ

要 因	記号:パラメータ	DATA	抽出資料	要 因	記号:パラメータ	DATA	抽出資料	
外的要因	劣化外力	T:供用年数(年)	6	設計図	材 料	WC:水セメント比 (%)	65	示方書(S55)
		L:海岸からの距離 (m)	1550	地図		UC:単位セメント量(Kg/m ³)	300	示方書(S55)
		CO:飛来塩分量 (%)	0			UW:単位水量 (Kg/m ³)	195	示方書(S55)
		TC:温度変化率 (°C)	36.2	文献(1)		R:中性化率	0.6	文献(3)
		S:接触水の硫酸塩濃度 (wt%)	0	-----		RU:骨材中のNa2O量 (%)	----	-----
		FN:年凍結融解回数	20	文献(2)		RG:反応性骨材混合率 (%)	----	-----
		W:海水の補給係数	0			AE or NonAE: A E 剤の有無	有	示方書(S55)
							DC:コンクリート0.0966	
内的要因	設 計	D:かぶり深さ (mm)	70	設計図	施 工	拡散係数 (cm ²)*10 ⁻⁵		
		FS:鉄筋の応力度 (Kg/cm ²)	1800	示方書(S55)		AL:セメントの種類と養生条件によってきまる係数	0.0068	
		SG:コンクリートの応力度Kg/cm ²	40.26	示方書(S55)		K:表層強度低減率	----	-----
		BE:注 1)	1.2	定数		γ:ワーカビリティの指標	1.0	定数
		AA:注 2)	45.94			CD:養生日数 (日)	5	示方書(S55)
		BB:断面の幅 (m)	0.5	設計図				
		AHEI:部材の全高 (m)	1.5	設計図				
		ANH:鉄筋の本数 (本)	9	設計図				
	材 料	AFAI:鉄筋径 (mm)	0.0127	設計図	NOTE(1) BE:中心軸と鉄筋の中心間の距離に対する中立軸と引張縁との距離の比. はりでは約1.2.			
		FC:コンクリートの圧縮強度	120.77	示方書(S55)				
		FCT:コンクリートの引張強度	12.08	示方書(S55)	NOTE(2) AA:鉄筋と対称をなす引張側コンクリートの断面積を鉄筋の数で除したもの.			
		FB:平均付着強度 (Kg/cm ²)	14	示方書(S55)				
		EC:ヤング係数 (Kg/cm ²)	172497.9					
		FAI1:クリープ係数	2.0					



Photo2.1.3.6 調査対象構造物NO.6の写真

Table2.1.3.7 調査対象構造物NO.6のデータ

Table 2. 1. 3. 7 調査対象家構造物 No. 6 のデータ

要 因	記号:パラメータ	DATA	抽出資料	要 因	記号:パラメータ	DATA	抽出資料
外的要因	劣化外力	T:供用年数 (年)	18	内的要因	材 料	WC:水セメント比 (%)	65 示方書(S42)
		L:海岸からの距離 (m)	105			UC:単位セメント量(Kg/m ³)	300 示方書(S42)
		CO:飛来塩分量 (%)	0.17			UW:単位水量 (Kg/m ³)	195 示方書(S42)
		TC:温度変化率 (°C)	36.2			R:中性化率	0.6 文献(3)
		S:接触水の硫酸塩濃度 (wt%)	0			RU:骨材中のNa ₂ O量 (%)	-----
		FN:年凍結融解回数	20			RG:反応性骨材混合率 (%)	-----
		W:海水の補給係数	0.5			AE or NonAE: A E 剤の有無	有 示方書(S42)
内的要因	設 計	D:かぶり深さ (mm)	70	施 工	DC:コンクリート拡散係数 (cm ²)*10 ⁻⁵	0.0966	
		FS:鉄筋の応力度 (Kg/cm ²)	1400		AL:セメントの種類と養生条件によってきまる係数	0.0058	
		SG:コンクリートの応力度Kg/cm ²	40.26		K:表層強度低減率	-----	
		BE:注 1)	1.2		γ:ワーカビリティの指標	1.0	定数
		AA:注 2)	26.21		CD:養生日数 (日)	7	示方書(S42)
		BB:断面の幅 (m)	0.64				
		AHEI:部材の全高 (m)	0.7				
		ANH:鉄筋の本数 (本)	21				
	材 料	AFAI:鉄筋径 (mm)	0.016	NOTE(1) BE:中心軸と鉄筋の中心間の距離に対する中立軸と引張縁との距離の比。はりでは約1.2。 NOTE(2) AA:鉄筋と対称をなす引張側コンクリートの断面積を鉄筋の数で除したもの。			
		FCK:コンクリートの圧縮強度	120.77				
		FCT:コンクリートの引張強度	12.08				
		FB:平均付着強度 (Kg/cm ²)	14				
		EC:ヤング係数 (Kg/cm ²)	172497				
		FAI1:クリープ係数	2.0				

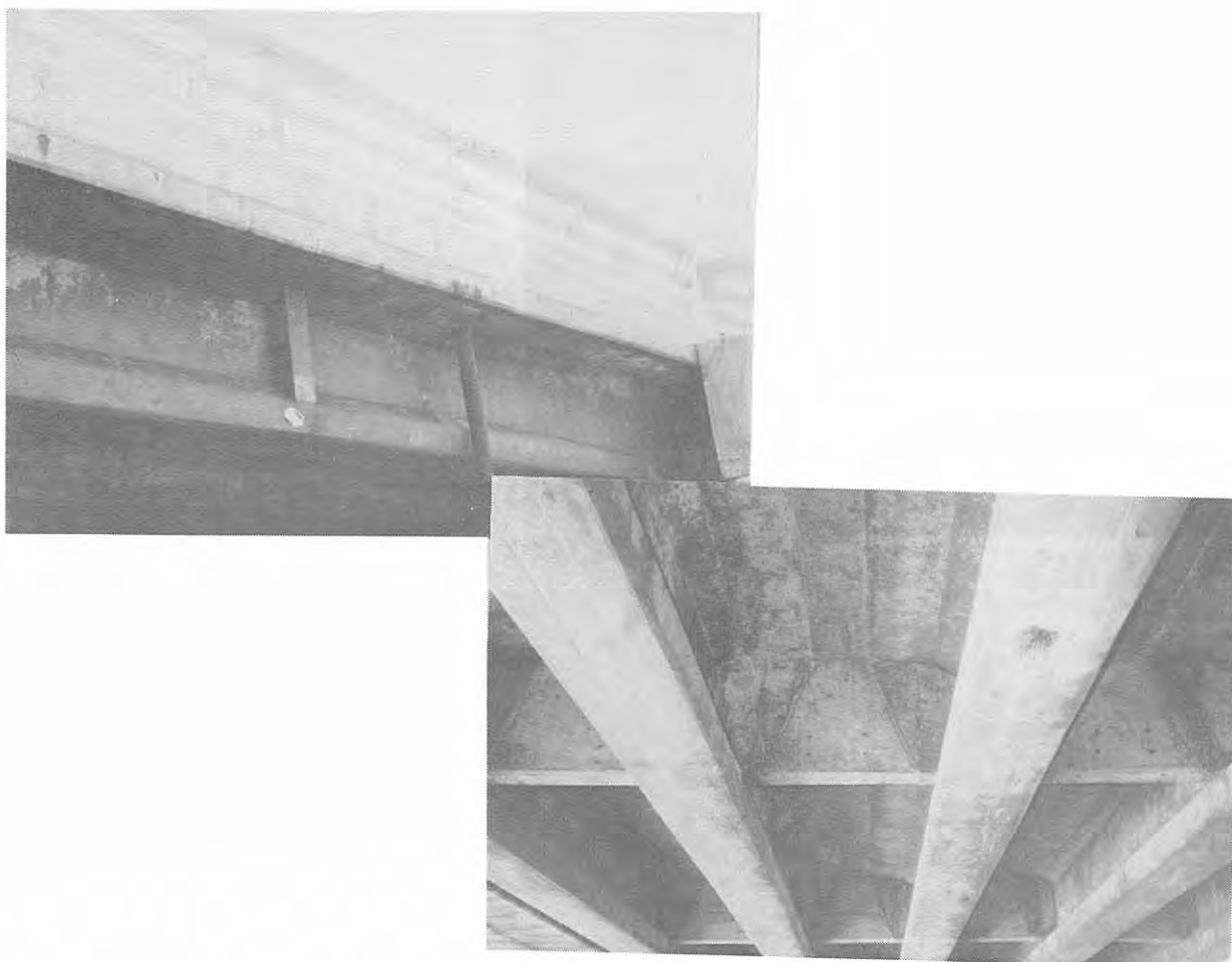


Photo2.1.3.7 調査対象構造物N0.7の写真

Table2.1.3.8 調査対象構造物N0.7のデータ

要 因		記号:パラメータ	DATA	抽出資料	要 因		記号:パラメータ	DATA	抽出資料	
外的要因	劣化外力	T:供用年数 (年)	24	設計図	内的要因	材 料	WC:水セメント比 (%)	34.8	示方書(S42)	
		L:海岸からの距離 (m)	60	地図			UC:単位セメント量(Kg/m ³)	300	示方書(S42)	
		CO:飛来塩分量 (%)	0.2				UW:単位水量 (Kg/m ³)	104.4	示方書(S42)	
		TC:温度変化率 (°C)	41.6	文献(1)			R:中性化率	0.6	文献(3)	
		S:接触水の硫酸塩濃度 (wt%)	0	-----			RU:骨材中のNa ₂ O量 (%)	-----	-----	
		FN:年凍結融解回数	20	文献(2)			RG:反応性骨材配合率 (%)	-----	-----	
		W:海水の補給係数	0.5				AE or NonAE: A E 剤の有無	有	示方書(S42)	
内的要因	設 計	D:かぶり深さ (mm)	75	設計図			施 工	DC:コンクリート拡散係数 (cm ²)*10 ⁻⁵	0.0002	
		FS:鉄筋の応力度 (Kg/cm ²)	1450	設計図		AL:セメントの種類と養生条件によってきまる係数		0.0058		
		SG:コンクリートの応力度Kg/cm ²	130	設計図		K:表層強度低減率		-----		
		BE:注 1)	1.2	定数		γ:ワーカビリティの指標		1.0	定数	
		AA:注 2)	56.88			CD:養生日数 (日)		7	示方書(S42)	
		BB:断面の幅 (m)	0.5	設計図						
		AHEI:部材の全高 (m)	1.1	設計図						
		ANH:鉄筋の本数 (本)	8	設計図						
		AFAL:鉄筋径 (mm)	0.016	設計図を基に推定						
		材 料	FCK:コンクリートの圧縮強度	400		設計図	NOTE(1) BE:中心軸と鉄筋の中心間の距離に対する中立軸と引張縁との距離の比. はりでは約1.2.			
	FCT:コンクリートの引張強度		40	設計図		NOTE(2) AA:鉄筋と対称をなす引張側コンクリートの断面積を鉄筋の数で除したもの.				
	FB:平均付着強度 (Kg/cm ²)		20	設計図						
	EC:ヤング係数 (Kg/cm ²)		313931							
	FAII:クリープ係数		2.0							



Photo2.1.3.8 調査対象構造物NO.8の写真

Table2.1.3.9 調査対象構造物NO.8のデータ

要 因	記号:パラメータ	DATA	抽出資料	要 因	記号:パラメータ	DATA	抽出資料
外的要因	劣化外力	T:供用年数(年)	27 設計図	内的要因	WC:水セメント比(%)	40	示方書(S32)
		L:海岸からの距離(m)	800 地図		UC:単位セメント量(Kg/m ³)	300	示方書(S32)
		CO:飛来塩分量(%)	0.05		UW:単位水量(Kg/m ³)	186	示方書(S32)
		TC:温度変化率(°C)	45.2 文献(1)		E:中性化率	0.6	文献(3)
		S:接触水の硫酸塩濃度(wt%)	0 -----		RU:骨材中のNa2CO3量(%)	----	-----
		FN:年凍結融解回数	20 文献(2)		RG:反応性骨材混合率(%)	----	-----
		W:海水の補給係数	0		AE or NonAE: A E 剤の有無	有	示方書(S32)
内的要因	設 計	D:かぶり深さ(mm)	120 設計図		DC:コンクリート拡散係数(cm ²)*10 ⁻⁵	0.0799	
		FS:鉄筋の応力度(Kgf/cm ²)	1000 設計図	施 工	AL:セメントの種類と養生条件によってきまる係数	0.0058	
		SG:コンクリートの応力度Kgf/cm ²	45.59 示方書(S32)		K:表層強度低減率	----	-----
		BE:注 1)	1.2 定数		γ:ワーカビリティの指標	1.0	定数
		AA:注 2)	54.46		CD:養生日数(日)	7	示方書(S32)
		BB:断面の幅(m)	1.3 設計図				
		AHEI:部材の全高(m)	7.22 設計図				
		ANH:鉄筋の本数(本)	18 設計図				
		AFAI:鉄筋径(m)	0.0254 設計図				
		FCK:コンクリートの圧縮強度	136.77 示方書(S32)	NOTE(1) BE:中心軸と鉄筋の中心間の距離に対する中立軸と引張縁との距離の比。はりでは約1.2。 NOTE(2) AA:鉄筋と対称をなす引張側コンクリートの断面積を鉄筋の数で除したもの。			
	材 料	FCT:コンクリートの引張強度	13.68 示方書(S32)				
		FB:平均付着強度(Kgf/cm ²)	10 示方書(S32)				
		EC:ヤング係数(Kgf/cm ²)	193569				
		FAI1:クリープ係数	2.0				



Photo2.1.3.9 調査対象構造物N0.9の写真

Table2.1.3.10 調査対象構造物N0.9のデータ

要 因	記号:パラメータ	DATA	抽出資料	要 因	記号:パラメータ	DATA	抽出資料			
外的要因	劣化外力	T:供用年数(年)	27	内的要因	材 料	WC:水セメント比 (%)	62 示方書(S32)			
		L:海岸からの距離 (m)	700			UC:単位セメント量(Kg/m ³)	300 示方書(S32)			
		CO:飛来塩分量 (%)	0.06			UW:単位水量 (Kg/m ³)	186 示方書(S32)			
		TC:温度変化率 (°C)	45.2			R:中性化率	0.6 文献(3)			
		S:接触水の硫酸塩濃度 (wt%)	0			RU:骨材中のNa ₂ O量 (%)	-----			
		FN:年凍結融解回数	20			RG:反応性骨材混合率 (%)	-----			
		W:海水の補給係数	0			AE or NonAE: A E 剤の有無	有 示方書(S32)			
内的要因	設 計	D:かぶり深さ (mm)	75	施 工	DC:コンクリート拡散係数 (cm ²)*10 ⁻⁵	0.0799				
		FS:鉄筋の応力度 (Kg/cm ²)	1200		AL:セメントの種類と養生条件によつてきまる係数	0.0058				
		SG:コンクリートの応力度Kg/cm ²	45.59		K:表層強度低減率	----	-----			
		BE:注 1)	1.2		γ:ワーカビリティの指標	1.0	定数			
		AA:注 2)	33		CD:養生日数 (日)	7	示方書(S32)			
		BB:断面の幅 (m)	0.6							
		AHEI:部材の全高 (m)	1.05							
	材 料	ANH:鉄筋の本数 (本)	16	NOTE(1) BE:中心軸と鉄筋の中心間の距離に対する中立軸と引張縁との距離の比。はりでは約1.2。						
		AFAI:鉄筋径 (mm)	0.013							
		FCK:コンクリートの圧縮強度	136.77	NOTE(2) AA:鉄筋と対称をなす引張側コンクリートの断面積を鉄筋の数で除したもの。						
		FCT:コンクリートの引張強度	13.68							
		FB:平均付着強度 (Kg/cm ²)	10							
		EC:ヤング係数 (Kg/cm ²)	183569							
		FAI1:クリープ係数	2.0							

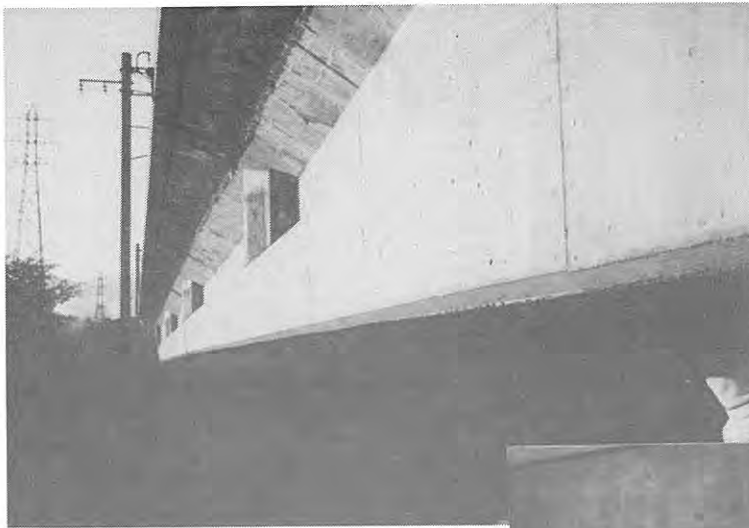


Photo2.1.3.10 調査対象構造物NO.10の写真

Table2.1.3.11 調査対象構造物NO.10のデータ

要 因				要 因					
記号:パラメータ	DATA	抽出資料		記号:パラメータ	DATA	抽出資料			
外的要因	劣化外力	T:供用年数 (年)	11	設計図	内的要因	材 料	WC:水セメント比 (%)	50	設計図
		L:海岸からの距離 (m)	2100	地図			UC:単位セメント量(Kg/m ³)	274	設計図
		CO:飛来塩分量 (%)	0				UW:単位水量 (Kg/m ³)	137	設計図
		TC:温度変化率 (°C)	41.6	文献(1)			R:中性化率	0.6	文献(3)
		S:接触水の硫酸塩濃度 (wt%)	0	-----			RU:骨材中のNa ₂ O量 (%)	----	-----
		FN:年凍結融解回数	30	文献(2)			RG:反応性骨材混合率 (%)	----	-----
		W:海水の補給係数	0				AE or NonAE: A E 剤の有無	有	示方書(S55)
							DC:コンクリート拡散係数 (cm ²)*10 ⁻⁵	0.0208	
内的要因	設 計	D:かぶり深さ (mm)	50	設計図			施 工	AL:セメントの種類と養生条件によってきまる係数	0.0068
		FS:鉄筋の応力度 (Kg/cm ²)	1800	設計図	K:表層強度低減率	----		-----	
		SG:コンクリートの応力度Kg/cm ²	73.3	示方書(S55)	γ:ワーカビリティの指標	1.0		定数	
		BE:注 1)	1.2	定数	CD:養生日数 (日)	5		示方書(S55)	
		AA:注 2)	11.77						
		BB:断面の幅 (m)	0.5	設計図					
		AHEI:部材の全高 (m)	1.4	設計図					
		ANH:鉄筋の本数 (本)	28	設計図					
	AFAI:鉄筋径 (m)	0.0159	設計図						
	材 料	FCK:コンクリートの圧縮強度	220	示方書(S55)	NOTE(1) BE:中心軸と鉄筋の中心間の距離に対する中立軸と引張縁との距離の比。はりでは約1.2.				
		FCT:コンクリートの引張強度	22	示方書(S55)					
		FB:平均付着強度 (Kg/cm ²)	16	示方書(S55)	NOTE(2) AA:鉄筋と対称をなす引張側コンクリートの断面積を鉄筋の数で除したもの.				
		EC:ヤング係数 (Kg/cm ²)	232817						
		FAI1:クリープ係数	2.0						



Photo2.1.3.11 調査対象構造物NO.11の写真

Table2.1.3.12 調査対象構造物NO.11のデータ

要 因	記号:パラメータ	DATA	抽出資料	要 因	記号:パラメータ	DATA	抽出資料	
外的要因	劣化外力	T:供用年数(年)	23	設計図	材 料	WC:水セメント比(%)	53	設計図
		L:海岸からの距離(m)	21500	地図		UC:単位セメント量(Kg/m ³)	300	設計図
		CO:飛来塩分量(%)	0			UW:単位水量(Kg/m ³)	159	示方書(S42)
		TC:温度変化率(°C)	41.6	文献(1)		R:中性化率	0.6	文献(3)
		S:接触水の硫酸塩濃度(wt%)	0	-----		RU:骨材中のNa2O量(%)	-----	-----
		FN:年凍結融解回数	30	文献(2)		RG:反応性骨材混合率(%)	-----	-----
		W:海水の補給係数	0			AE or NonAE: A E 剤の有無	有	示方書(S42)
内的要因	設 計	D:かぶり深さ(mm)	70	設計図	施 工	DC:コンクリート拡散係数 (cm ²)*10 ⁻⁵	0.0344	
		FS:鉄筋の応力度(Kgf/cm ²)	1600	設計図		AL:セメントの種類と養生条件によってきまる係数	0.0058	
		SG:コンクリートの応力度Kgf/cm ²	65.22	示方書(S42)		K:表層強度低減率	-----	-----
		BE:注 1)	1.2	定数		γ:ワーカビリティの指標	1.0	定数
		AA:注 2)	17.92			CD:養生日数(日)	7	示方書(S42)
		BB:断面の幅(m)	0.95	設計図				
		AHEL:部材の全高(m)	1.8	設計図				
		ANH:鉄筋の本数(本)	44	設計図				
	材 料	AFAI:鉄筋径(m)	0.013	設計図	NOTE(1) BE:中心軸と鉄筋の中心間の距離に対する中立軸と引張縁との距離の比。はりでは約1.2。			
		FCK:コンクリートの圧縮強度	195.66	示方書(S42)				
		FCT:コンクリートの引張強度	19.57	示方書(S42)	NOTE(2) AA:鉄筋と対称をなす引張側コンクリートの断面積を鉄筋の数で除したもの。			
		FB:平均付着強度(Kgf/cm ²)	16	示方書(S42)				
		EC:ヤング係数(Kgf/cm ²)	219561.0					
		FAI1:クリープ係数	2.0					

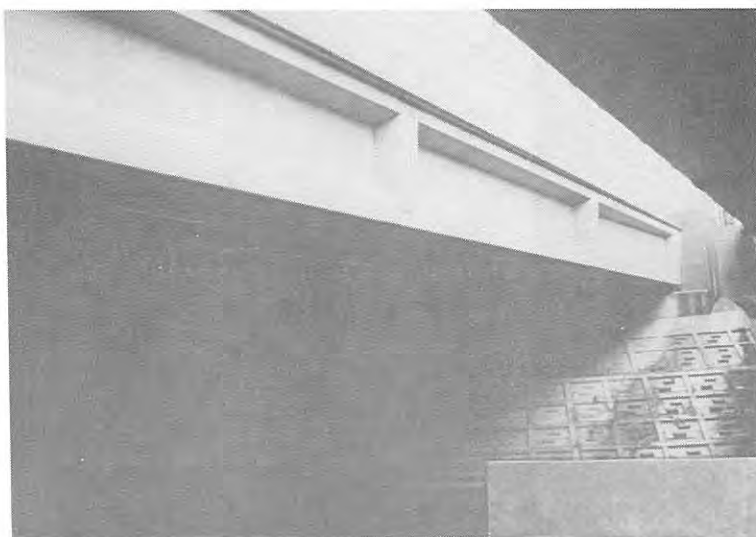


Photo2.1.3.12 調査対象構造物NO.12の写真

Table2.1.3.13 調査対象構造物NO.12のデータ

Table 2. 1. 3. 15 調査対象家構造物 No. 125

要 因	記号:パラメータ	DATA	抽出資料	要 因	記号:パラメータ	DATA	抽出資料		
外的要因	劣化外力	T:供用年数 (年)	22	設計図	内的要因	WC:水セメント比 (%)	51.1	設計図	
		L:海岸からの距離 (m)	20000	地図		UC:単位セメント量 (Kg/m ³)	287	設計図	
		CO:飛来塩分量 (%)	0			UW:単位水量 (Kg/m ³)	146.7	示方書(S42)	
		TC:温度変化率 (°C)	41.6	文献(1)		R:中性化率	0.6	文献(3)	
		S:接触水の硫酸塩濃度 (wt%)	0	-----		RU:骨材中のNa ₂ O量 (%)	-----	-----	
		FN:年凍結融解回数	30	文献(2)		RG:反応性骨材混合率 (%)	-----	-----	
		W:海水の補給係数	0			AE or NonAE: A E 剤の有無	有	示方書(S42)	
内的要因	設 計	D:かぶり深さ (mm)	60	設計図		施 工	DC:コンクリートの拡散係数 (cm ²)*10 ⁻⁵	0.0258	
		FS:鉄筋の応力度 (Kg/cm ²)	1600	設計図			AL:セメントの種類と養生条件によってきまる係数	0.0058	
		SG:コンクリートの応力度Kg/cm ²	70.25	示方書(S42)	K:表層強度低減率		-----	-----	
		BE:注 1)	1.2	定数	γ:ワーカビリティの指標		1.0	定数	
		AA:注 2)	61.8		CD:養生日数 (日)		7	示方書(S42)	
		BB:断面の幅 (m)	0.85	設計図					
		AHEI:部材の全高 (m)	1.9	設計図					
		ANH:鉄筋の本数 (本)	10	設計図					
	材 料	AFAI:鉄筋径 (mm)	0.0127	設計図	NOTE(1) BE:中心軸と鉄筋の中心間の距離に対する中立軸と引張縁との距離の比。はりでは約1.2。				
		FCK:コンクリートの圧縮強度	210.74	示方書(S42)					NOTE(2) AA:鉄筋と対称をなす引張側コンクリートの断面積を鉄筋の数で除したもの。
		FCT:コンクリートの引張強度	21.07	示方書(S42)					
		FB:平均付着強度 (Kg/cm ²)	16	示方書(S42)					
		EC:ヤング係数 (Kg/cm ²)	227865						
		FAI1:クリープ係数	2.0						



Photo2.1.3.13 調査対象構造物NO.13の写真

Table2.1.3.14 調査対象構造物NO.13のデータ

外的要因				内的要因				
要 因	記号:パラメータ	DATA	抽出資料	要 因	記号:パラメータ	DATA	抽出資料	
外的要因	劣化外力	T:供用年数(年)	24	内的要因	材 料	WC:水セメント比(%)	55	示方書(S42)
		L:海岸からの距離(m)	15700			UC:単位セメント量(Kg/m ³)	300	示方書(S42)
		CO:飛来塩分量(%)	0			UW:単位水量(Kg/m ³)	195	示方書(S42)
		TC:温度変化率(°C)	41.6			R:中性化率	0.6	文献(3)
		S:接触水の硫酸塩濃度(wt%)	0			RU:骨材中のNa ₂ O量(%)	----	-----
		FN:年凍結融解回数	30			RG:反応性骨材混合率(%)	----	-----
		W:海水の補給係数	0			AE or NonAE: A E 剤の有無	有	示方書(S42)
		内的要因	設 計			D:かぶり深さ(mm)	55	施 工
FS:鉄筋の応力度(Kgf/cm ²)	1200			AL:セメントの種類と養生条件によつてきまる係数	0.0058			
SG:コンクリートの応力度Kgf/cm ²	40.26			K:表層強度低減率	----	-----		
BE:注 1)	1.2			γ:ワーカビリティの指標	1.0	定数		
AA:注 2)	13.86			CD:養生日数(日)	7	示方書(S42)		
BB:断面の幅(m)	0.33							
AHEI:部材の全高(m)	0.87							
ANH:鉄筋の本数(本)	15							
AFAI:鉄筋径(m)	0.013		設計図を基に推定					
材 料	FCK:コンクリートの圧縮強度		120.77	NOTE(1) BE:中心軸と鉄筋の中心間の距離に対する中立軸と引張縁との距離の比。はりでは約1.2。 NOTE(2) AA:鉄筋と対称をなす引張側コンクリートの断面積を鉄筋の数で除したもの。				
	FCT:コンクリートの引張強度		12.08					
	FB:平均付着強度(Kgf/cm ²)		14					
	EC:ヤング係数(Kgf/cm ²)		172497.9					
	FAI1:クリープ係数		2.0					



Photo2.1.3.14 調査対象構造物NO.14の写真

Table2.1.3.15 調査対象構造物NO.14のデータ

Table 2. 1. 3. 19 調査対象構造物 No. 1157

要 因	記号:パラメータ	DATA	抽出資料	要 因	記号:パラメータ	DATA	抽出資料				
外的要因	劣化外力	T:供用年数 (年)	26	内的要因	材 料	WC:水セメント比 (%)	42.2 示方書(S39)				
		L:海岸からの距離 (m)	25			UC:単位セメント量 (Kg/m ³)	300 示方書(S39)				
		CO:飛来塩分量 (%)	0.26			UW:単位水量 (Kg/m ³)	126.6 示方書(S39)				
		TC:温度変化率 (°C)	41.6			R:中性化率	0.6 文献(3)				
		S:接触水の硫酸塩濃度 (wt%)	0			RU:骨材中のNa ₂ O量 (%)	-----				
		FN:年凍結融解回数	20			RG:反応性骨材混合率 (%)	-----				
		W:海水の補給係数	0.5			AE or NonAE: AE剤の有無	有 示方書(S39)				
内的要因	設 計	D:かぶり深さ (mm)	30	施 工	DC:コンクリート拡散係数 (cm ²)*10 ⁻⁵	0.0107					
		FS:鉄筋の応力度 (Kgf/cm ²)	1170		AL:セメントの種類と養生条件によってきまる係数	0.0058					
		SG:コンクリートの応力度Kgf/cm ²	100		K:表層強度低減率	-----					
		BE:注 1)	1.2		γ:ワーカビリティの指標	1.0	定数				
		AA:注 2)	1.7		CD:養生日数 (日)	7	示方書(S39)				
		BB:断面の幅 (m)	0.32								
		AHEI:部材の全高 (m)	0.38								
		ANH:鉄筋の本数 (本)	62								
	AFAI:鉄筋径 (m)	0.0029									
	材 料	FCK:コンクリートの圧縮強度	300	NOTE(1) BE:中心軸と鉄筋の中心間の距離に対する中立軸と引張縁との距離の比。はりでは約1.2。							
		FCT:コンクリートの引張強度	30					NOTE(2) AA:鉄筋と対称をなす引張側コンクリートの断面積を鉄筋の数で除したもの。			
		FB:平均付着強度 (Kgf/cm ²)	16								
		EC:ヤング係数 (Kgf/cm ²)	271872								
		FAI1:クリープ係数	2.0								



Photo2.1.3.15 調査対象構造物N0.15の写真

Table2.1.3.16 調査対象構造物N0.15のデータ

要 因				要 因				
記号:パラメータ		DATA	抽出資料	記号:パラメータ		DATA	抽出資料	
外的要因	劣化外力	T:供用年数 (年)	23	内的要因	材 料	WC:水セメント比 (%)	65	示方書(S39)
		L:海岸からの距離 (m)	5			UC:単位セメント量 (Kg/m ³)	300	示方書(S39)
		CO:飛来塩分量 (%)	0.35			UW:単位水量 (Kg/m ³)	126.6	示方書(S39)
		TC:温度変化率 (°C)	41.6			R:中性化率	0.6	文献(3)
		S:接触水の硫酸塩濃度 (wt%)	0			RU:骨材中のNa ₂ O量 (%)	----	-----
		FN:年凍結融解回数	20			RG:反応性骨材混合率 (%)	----	-----
		W:海水の補給係数	0.5			AE or NonAE: A E 剤の有無	有	示方書(S39)
内的要因	設 計	D:かぶり深さ (mm)	30	施 工	DC:コンクリート拡散係数 (cm ²)*10 ⁻⁵	0.0107		
		FS:鉄筋の応力度 (Kg/cm ²)	1170		AL:セメントの種類と養生条件によってきまる係数	0.0058		
		SG:コンクリートの応力度Kg/cm ²	100		K:表層強度低減率	----	-----	
		BE:注 1)	1.2		γ:ワーカビリティの指標	1.0	定数	
		AA:注 2)	2.77		CD:養生日数 (日)	7	示方書(S39)	
		BB:断面の幅 (m)	0.32					
		AHEI:部材の全高 (m)	0.25					
		ANH:鉄筋の本数 (本)	38					
		AFAI:鉄筋径 (mm)	0.0029					
		FCK:コンクリートの圧縮強度	300					
	材 料	FCT:コンクリートの引張強度	30	NOTE(1) BE:中心軸と鉄筋の中心間の距離に対する中立軸と引張縁との距離の比。はりでは約1.2。				
		FB:平均付着強度 (Kg/cm ²)	16	NOTE(2) AA:鉄筋と対称をなす引張側コンクリートの断面積を鉄筋の数で除したもの。				
		EC:ヤング係数 (Kg/cm ²)	271872					
		FAI1:クリープ係数	2.0					



Photo2.1.3.16 調査対象構造物N0.16の写真

Table2.1.3.17 調査対象構造物N0.16のデータ

要 因	記号:パラメータ	DATA	抽出資料	要 因	記号:パラメータ	DATA	抽出資料
外的要因	劣化外力	T:供用年数(年)	22	設計図	WC:水セメント比(%)	35	示方書(S39)
		L:海岸からの距離(m)	135	地図	UC:単位セメント量(Kg/m ³)	300	示方書(S39)
		CO:飛来塩分量(%)	0.16		UW:単位水量(Kg/m ³)	126.6	示方書(S39)
		TC:温度変化率(°C)	41.6	文献(1)	R:中性化率(%)	0.6	文献(3)
		S:接触水の硫酸塩濃度(wt%)	0	-----	RU:骨材中のNa2CO3量(%)	-----	-----
		FN:年凍結融解回数	20	文献(2)	RG:反応性骨材混合率(%)	-----	-----
		W:海水の補給係数	0		AE or NonAE: A E 剤の有無	有	示方書(S39)
					DC:コンクリート拡散係数(cm ²)*10 ⁻⁵	0.0107	
内的要因	設 計	D:かぶり深さ(mm)	40	設計図	施 工	AL:セメントの種類と養生条件によってきまる係数	0.0058
		FS:鉄筋の応力度(Kgf/cm ²)	1170	設計図		K:表層強度低減率	-----
		SG:コンクリートの応力度(Kgf/cm ²)	100	設計図		γ:ワーカビリティの指標	1.0
		BE:注 1)	1.2	定数		CD:養生日数(日)	7
		AA:注 2)	2.29				
		BB:断面の幅(m)	0.32	設計図			
		AHEI:部材の全高(m)	0.33	設計図			
		ANH:鉄筋の本数(本)	46	設計図			
	材 料	AFAI:鉄筋径(m)	0.002	設計図	NOTE(1) BE:中心軸と鉄筋の中心間の距離に対する中立軸と引張縁との距離の比。はりでは約1.2。 NOTE(2) AA:鉄筋と対称をなす引張側コンクリートの断面積を鉄筋の数で除したもの。		
		FCK:コンクリートの圧縮強度	300	示方書(S39)			
		FCT:コンクリートの引張強度	30	示方書(S39)			
		FB:平均付着強度(Kgf/cm ²)	16	示方書(S39)			
		EC:ヤング係数(Kgf/cm ²)	271872				
		FAI1:クリープ係数	2.0				



Photo2.1.3.17 調査対象構造物N0.17の写真

Table2.1.3.18 調査対象構造物N0.17のデータ

要 因				要 因			
外的要因		劣化外力		内的要因		材 料	
		記号:パラメータ	DATA			記号:パラメータ	DATA
		抽出資料				抽出資料	
		T:供用年数 (年)	23			WC:水セメント比 (%)	
		L:海岸からの距離 (m)	75			UC:単位セメント量 (Kg/m ³)	
		CO:飛来塩分量 (%)	0.19			UW:単位水量 (Kg/m ³)	
		TC:温度変化率 (°C)	41.6	文献(1)		R:中性化率	
		S:接触水の硫酸塩濃度 (wt%)	0	-----		RU:骨材中のNa ₂ O量 (%)	
		FN:年凍結融解回数	20	文献(2)		RG:反応性骨材混合率 (%)	
		W:海水の補給係数	0.5			AE or NonAE: A E剤の有無	
						DC:コンクリート拡散係数 (cm ²)	
		D:かぶり深さ (mm)				AL:セメントの種類と養生条件によつてきまる係数	
		FS:鉄筋の応力度 (Kg/cm ²)				K:表層強度低減率	
		SG:コンクリートの応力度Kg/cm ²				γ:ワーカビリティの指標	
		BE:注 1)				CD:養生日数 (日)	
		AA:注 2)					
		BB:断面の幅 (m)					
		AHEI:部材の全高 (m)					
		ANH:鉄筋の本数 (本)					
		AFAI:鉄筋径 (m)					
		FCK:コンクリートの圧縮強度					
		FCT:コンクリートの引張強度					
		FB:平均付着強度 (Kg/cm ²)					
		EC:ヤング係数 (Kg/cm ²)					
		FAI1:クリープ係数					
</							



Photo2.1.3.18 調査対象構造物N0.18の写真

Table2.1.3.19 調査対象構造物N0.18のデータ

要 因				要 因				
外的要因		劣化外力		内的要因		材 料		
		記号:パラメータ	DATA	抽出資料		記号:パラメータ	DATA	抽出資料
		T:供用年数(年)	34	設計図		WC:水セメント比 (%)	45	示方書(S31)
		L:海岸からの距離 (m)	75	地図		UC:単位セメント量(Kg/m ³)	300	示方書(S31)
		CO:飛来塩分量 (%)	0.19			UW:単位水量 (Kg/m ³)	143.3	示方書(S31)
		TC:温度変化率 (°C)	41.6	文献(1)		R:中性化率	0.6	文献(3)
		S:接触水の硫酸塩濃度 (wt%)	0	-----		RU:骨材中のNa2O量 (%)	-----	-----
		FN:年凍結融解回数	20	文献(2)		RG:反応性骨材混合率 (%)	-----	-----
		W:海水の補給係数	0.5			AE or NonAE: A E 剤の有無	有	示方書(S31)
		D:かぶり深さ (mm)	95	示方書(S31)		DC:コンクリート拡散係数 (cm ²)*10 ⁻⁵	0.0104	
		FS:鉄筋の応力度 (Kg/cm ²)	1400	設計図		AL:セメントの種類と養生条件によってきまる係数	0.0058	
		SG:コンクリートの応力度Kg/cm ²	80	設計図		K:表層強度低減率	-----	-----
		BE:注 1)	1.2	定数		γ:ワーカビリティの指標	1.0	定数
		AA:注 2)	52.8			CD:養生日数 (日)	7	示方書(S31)
		BB:断面の幅 (m)	0.6	設計図				
		AHEI:部材の全高 (m)	0.5	設計図				
		ANH:鉄筋の本数 (本)	10	設計図				
		AFAI:鉄筋径 (mm)	0.013	設計図を基に推定				
		FCK:コンクリートの圧縮強度	240	示方書(S31)		NOTE(1) BE:中心軸と鉄筋の中心間の距離に対する中立軸と引張縁との距離の比。はりでは約1.2.		
		FCT:コンクリートの引張強度	24	示方書(S31)		NOTE(2) AA:鉄筋と対称をなす引張側コンクリートの断面積を鉄筋の数で除したもの.		
		FB:平均付着強度 (Kg/cm ²)	8	示方書(S31)				
		EC:ヤング係数 (Kg/cm ²)	243169					
		FAI1:クリープ係数	2.0					



Photo2.1.3.19 調査対象構造物N0.19の写真

Table2.1.3.20 調査対象構造物N0.19のデータ

要 因	記号:パラメータ	DATA	抽出資料	要 因	記号:パラメータ	DATA	抽出資料
外的要因	劣化外力	T:供用年数 (年)	31	設計図	WC:水セメント比 (%)	70	示方書(S31)
		L:海岸からの距離 (m)	200	地図	UC:単位セメント量 (Kg/m ³)	300	示方書(S31)
		CO:飛来塩分量 (%)	0.13		UW:単位水量 (Kg/m ³)	174	示方書(S31)
		TC:温度変化率 (°C)	36.2	文献(1)	R:中性化率	0.6	文献(3)
		S:接触水の硫酸塩濃度 (wt%)	0	-----	RU:骨材中のNa2O量 (%)	-----	-----
		FN:年凍結融解回数	20	文献(2)	RG:反応性骨材混合率 (%)	-----	-----
		W:海水の補給係数	0.5		AE or NonAE: A E 剤の有無	有	示方書(S31)
内的要因	設 計	D:かぶり深さ (mm)	40	設計図	DC:コンクリート拡散係数 (cm ²)*10 ⁻⁵	0.0588	
		FS:鉄筋の応力度 (Kg/cm ²)	1800	示方書(S31)	AL:セメントの種類と養生条件によってきまる係数	0.0058	
		SG:コンクリートの応力度Kg/cm ²	53.56	示方書(S31)	K:表層強度低減率	-----	-----
		BE:注 1)	1.2	定数	γ:ワーカビリティの指標	1.0	定数
		AA:注 2)	10.6		CD:養生日数 (日)	7	示方書(S31)
		BB:断面の幅 (m)	0.24	設計図			
		AHEI:部材の全高 (m)	0.66	設計図			
		ANH:鉄筋の本数 (本)	12	設計図			
	材 料	AFAI:鉄筋径 (mm)	0.013	設計図	NOTE(1) BE:中心軸と鉄筋の中心間の距離に対する中立軸と引張縁との距離の比。はりでは約1.2。		
		FCK:コンクリートの圧縮強度	160.69	示方書(S31)			
		FCT:コンクリートの引張強度	16.07	示方書(S31)	NOTE(2) AA:鉄筋と対称をなす引張側コンクリートの断面積を鉄筋の数で除したもの。		
		FB:平均付着強度 (Kg/cm ²)	6	示方書(S31)			
		EC:ヤング係数 (Kg/cm ²)	198975				
		FAI1:クリープ係数	2.0				

N0.20～N023までは、導水路トンネルを調査対象として行った。N0.19までの橋梁とは構造的に相違するため、劣化の内的要因や外的要因は一様には整理できない。特に、ひびわれや変形等の劣化の外的要因に地山の偏圧等の影響があったり、水流によるキャビテーションがあるため耐用年数の予測評価をするには別途に考慮しなければならない。また、これらを確認するためには、さらに調査対象を増やす必要がある。

したがって、本調査では採取した試料のPH、塩分量、シュミットハンマーによる強度測定、損傷度を調査し巻末に測定データとして示した。

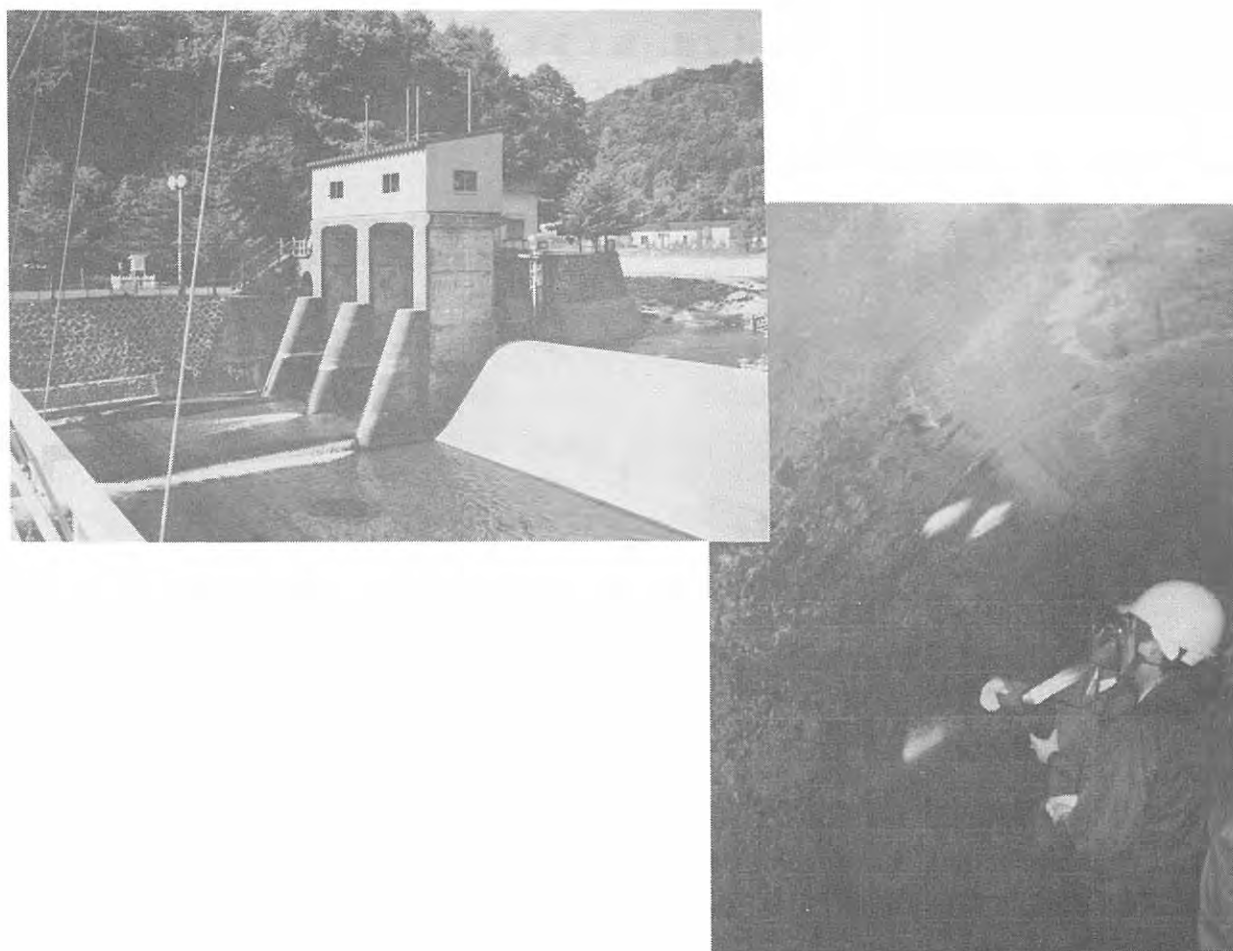


Photo2.1.3.20 調査対象構造物N0.20の写真

2.2調査項目

耐用年数評価の資料とし、これを基に使用限界状態に達する年数の把握と推定を行う。また、耐用年数予測評価を検討をするために、既往の実験と研究結果から開発した劣化予測式に、調査したRC構造物のデータを入力した数値計算(シミュレーション)による劣化の計算値(推定値)と劣化の実測値との比較が可能な調査項目を設定する。なお、本調査項目のデータによるシミュレーションは3.2.1で行う。

2.2.1内的要因の調査項目

劣化の内的要因の調査項目は設計、材料、施工等である。具体的には、調査対象とした既存構造物のコンクリートの設計基準強度、鉄筋の設計状の応力等の設計資料、骨材の試験成績Table等の材料、コンクリートの配合やフレッシュコンクリートのスランプや空気量等の測定値、施工資料、施工状況(ジャッキ、欠陥、その他)、直接測定した構造物の形状寸法やかぶり等である。その詳細の項目ををFig. 2.2.1.1に示す。

表2.2.1.1①内的要因の調査項目その1

要因		記号	パラメータ(単位)
内的要因	設計	D	かぶり深さ(mm)
		F_s	鉄筋の応力度(kgf/cm ₂)
		σ	コンクリートの応力度(kgf/cm ₂)
		β	中立軸と鉄筋の中心間距離に対する中立軸と引張縁との距離の比[梁では1.2]
		A	鉄筋と対称をなす引張側コンクリートの断面積を鉄筋の本数で除したもの(cm ₂)
		b	断面の幅(m)
		h	部材の全高(m)
		NH	鉄筋の本数(本)
		ϕ	鉄筋径(m)

表2.2.1.1②内的要因の調査項目その2

要因		記号	パラメータ(単位)
内的 要因	材料	f_c	コンクリート圧縮強度(kgf/cm ²)
		f_{ct}	コンクリート引張強度(kgf/cm ²)
		f_b	コンクリートと鉄筋との平均付着強度(kgf/cm ²)
		E_c	コンクリートのヤング係数(kgf/cm ²)
		ϕ	コンクリートのクリープ係数
		W/C	水セメント比(%)
		U_c	単位セメント量(kg/m ³)
		U_w	単位水量(kg/m ³)
		R	中性化係数[セメント種類, AE剤種類, 骨材種類による]
		R_a	セメントに対する骨材中のNO ₂ 量(%)
		AEor nonAE	AE剤の有無
		D_c	コンクリートの拡散係数
	施工	α	セメントの種類と養生条件により決まる係数
		κ	表層強度低減率
		γ	ワーカビリティの指標の指数 [ここでは $\gamma=1$ とする]

2.2.2 外的要因の調査項目

構造物の置かれている気象や環境条件等の劣化の外的要因等を測定及び調査する。外的要因の調査項目は、塩分、水分、気象、使用条件等である。具体的には、構造物を取り巻く水面からの距離、汀線からの距離、凍結融解回数等の環境条件である。その詳細を表2.2.2.1に示す。

表2.2.2.1 外的要因の調査項目

要因		記号	パラメータ(単位)
外的 要因	劣化 外力	t	供用年数(年)
		L	海岸からの距離(m)
		C。	飛来塩分量(wt%)
		T。	温度変化量(℃)
		S	接触水の硫酸塩濃度(wt%)
		N	凍結融解回数(回)
		W	海水の補給係数

2.2.3 現地調査の項目

構造物管理者立会いの元で調査箇所の試料採取の採取を含む，必要な場合，足場を使った詳細調査を行う．

環境条件，損傷状態，かぶり，中性化深さ，自然電極電位等を調査した．

損傷状況の調査としては，ひびわれの方向，ひびわれ幅，エフロ，錆汁，凍害（表面剥離，ポップアウト），アリカリ骨材反応兆候の有無等の目視調査である．また，実験室で行うための，中性化深さを判断するためのコンクリート中のPHや，塩分の浸透を測定するための塩分濃度測定用のコンクリート粉末採取した．

現地調査の項目は，Table2.2.3.1に示した．現地調査の手順をFig.2.2.3.1に示す．

自然電極電位の測定は，鉄筋の腐食を測定するために行った．その詳細をTable2.2.3.2に示す．

Table2.2.3.1 現地調査項目

調査項目	調査方法の概要
かぶり	鉄筋を腐食させる外部から進入してくる塩分があるが、これが浅いと腐食が早く進行することが把握できるため、鉄筋探査計(プロフォメーター)で電磁的に測定した。また、可能なところでは直接はつって測定した。
自然電位	鉄筋の腐食状況を把握するため、鉄筋の自然電位を測定した。
コンクリートの粉末採取試料	PHと塩分量を実験室で測定するため構造物にドリルで穴をあけ、各深さごとの試料を採取した。
コンクリートの強度	コンクリートの粉末試料採取箇所において、シュミットハンマーによる強度測定を行った。

Fig.2.2.3.1に示す様に，現地調査の内の自然電位の測定とコンクリートの粉末採取の測定の手順として，まず自然電位の測定箇所を選定する．原則としてひびわれや剥離で鋼材(主鉄筋)が露出している箇所を選ぶ．同一鉄筋で2箇所以上とする．主鉄筋でない場合は，導通調査を行い連続のものかを確実に調べる．鋼材の導通調査として，前作業で選定した2点間の導通を調べる．鋼材をヤスリで研磨し，テスターで抵抗値が 5Ω 以上の場合は，導通がないものとして，別の箇所を選定する．かぶり測定装置でかぶりの測定を行う．これは，測定点へ水酸化カルシウム湿布前に行う．測定点の決定を導通のある範囲内で10～30cm間隔で行う．損傷の程度を大，中，小の3つに分類し，それぞれに測定点を重ねるのが望ましい．脱脂綿に水酸化カルシウム溶液を含ませ，測定点にガムテープで張り付け，30分以上測定点へ水酸化カルシウムを湿布する．中性化深さと塩素イオン濃度を調べるため，橋脚部から1cm，2cm，3cm，5cmの深さでコンクリート粉末試料を採取する．鋼材にリード線を接続し，電位測定装置につなぎ，自然電位の測定を行う．

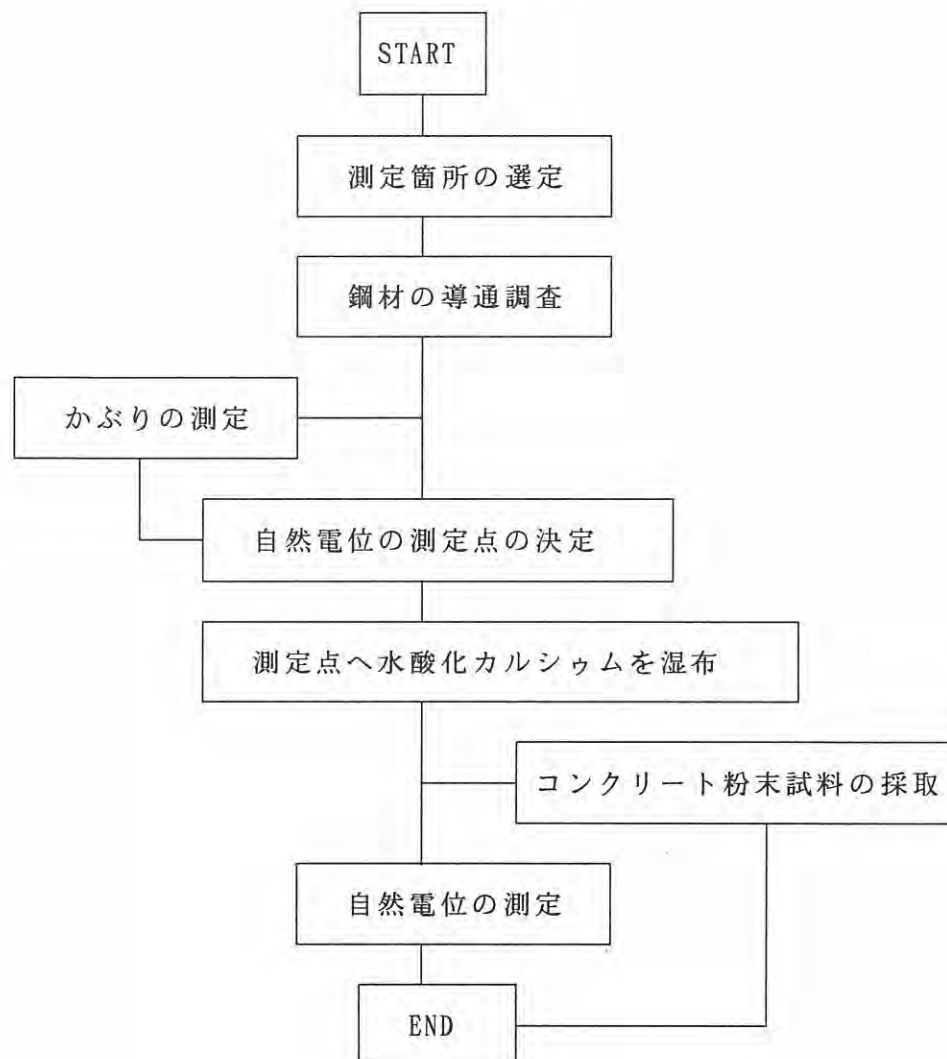


Fig.2.2.3.1 現地調査の測定の手順

Table2.2.3.2 自然電極電位の測定方法

手順	項目	概要
1	測定箇所の選定	構造物の中から劣化の著しい箇所を選定した。
2	鉄筋の導通調査	測定区間内の鉄筋が同一の鉄筋かどうか確認するため、測定区間の両端において鉄筋を露出させ、錆をやすりで完全に除いた後、電圧計で導通を調べた。電圧値が安定した値を示す場合は、導通があるものとする。なお、鉄筋はかぶり測定の際に確認しておくものとする。
3	電位測定	露出している鉄筋にリード線を取り付け、それを電圧計の負の端子に接続する。そして正の端子に接続した照合電極を測定点にあてて自然電位を測定する。なお、測定点は測定を始める前に30分以上、接触液(飽和Ca(OH)水溶液)で濡らしておく。また、測定値は換算式*を用いて、飽和甘こう電極基準(SCE)に換算した。今回の調査においては、照合電極として、飽和塩化銀電極を用いたので換算式は次式である。 $E(\text{mV}) = E_m * (-1) - 46 \text{ --- 式(2.2.3.1)}$
4	腐食診断方法	自然電位と腐食の面積率とは、Fig.2.2.3.2の関係がある。そこで自然電位による腐食の判定は、Table2.2.3.4のようになる。

注.*: $E = E_m X (-1) + E_{ref}$

ただし、E:換算値(mV), E_m :測定値, E_{ref} :使用した照合電極の電位(Table2.2.3.3を参照)

Table2.2.3.3 照合電極

照合電極	照合電極の電位: E_{ref} (mV)
鉛電極	-725
飽和硫酸銅電極	74
飽和甘こう電極	0
飽和塩化銀電極	-46

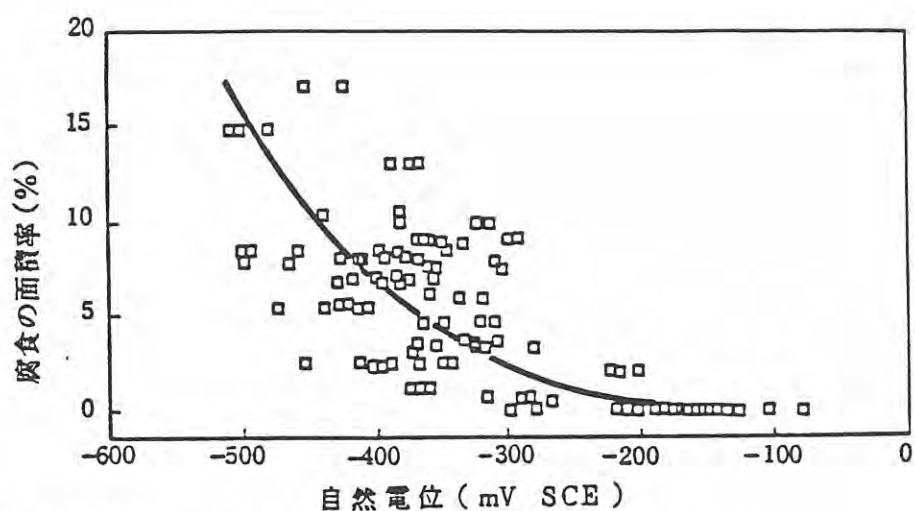


Fig.2.2.3.2 自然電位と腐食の面積率

Table2.2.3.4 自然電位による判定の目安(飽和甘こう電極)

自然電位 (mV)	腐食の判定
$-200 \leq E$	腐食が生じていない
$-300 \leq E < -200$	腐食が生じている場合と生じていない場合がある
$E < -300$	腐食が生じている

(2) 損傷度の判定方法

構造物の損傷の状況により、Table 2.2.3.5のように損傷度を設定した。この損傷度を用いた各構造物の損傷の判定方法を以下に述べる。

桁の各々について、それぞれの損傷度をつける。その際、一つの桁に強と見なせる損傷が一部でも存在していた場合は、その桁を強と判定する。

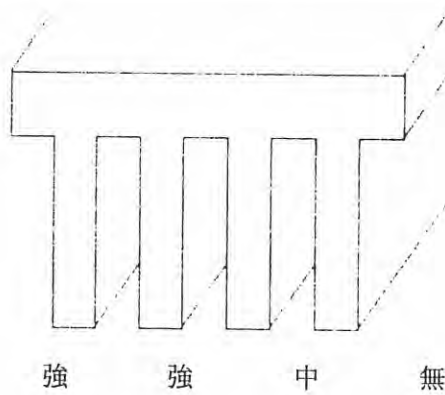
以上のように、各々の桁に対して、損傷度を求め、その割合を計算した結果をその構造物の損傷度とする。

Fig. 2.2.3.2に例として、ある橋の各桁の損傷度の判定と、この橋全体の損傷度を示す。

これらは、3.1.4で縦ひび割れの有無を判定する時の基礎的な資料とした。また、3.1.5で主桁の縦ひび割れの有無の被害の判定値(A_0)の整合性を確認するためのデータとし相関分析を行った。

Table2.2.3.5 損傷度の判定の目安

損傷度	損傷の状況
強	主鉄筋露出，縦ひびわれ
中	スターラップ露出，スターラップからの剥離
無	結束線の露出，錆汁無し



強: 桁4本の内2本 $2/4=0.5$
 中: 桁4本の内1本 $1/4=0.25$
 無: 桁4本の内1本 $1/4=0.25$

Fig. 2.2.3.2 損傷度の判定例

2.2.4採取試料の分析項目

採取資料の分析項目はPH，遊離塩分量である．試料の採取と分析方法をTable2.2.4.1に示す．

コンクリート粉末の塩分含有量等の化学分析試料は，これらの腐食状況のやや健全な部分をドリル（ $\phi 10\text{mm}$ ）で採取した．一般的な採取位置として構造上問題の無いところとして橋台から採取した．

(1)試料の保存方法

試料は採取後，脱炭酸デシケータ内に保存した．以上の過程は，実構造物の現状を再現するように，試料作成中の水和の進行，炭酸ガスの吸収を極力少なくするよう留意するため行った．

(2)試料の分析手法

試料の分析は，20℃蒸留水抽出後のPHメータとイオンメータ法による遊離塩分量の測定を行った．

(3)結果評価の方法

以上の調査方法は，試料を出来るだけ実構造物の環境条件にあわせてコンクリートの表層物性を化学的方法で評価しようとしたものである．これにより総合的な検討が既存コンクリート構造物の耐用年数予測に情報を与える．

Table2.2.4.1 試料の採取と分析方法

1	コンクリート 粉末の採取	構造物にドリル(直径10mm)で穴をあけ、そのと きにでるコンクリート粉末を深さごと(0～1cm, 1～2cm, 3～4cm, 4～6cmの5種類)に採取する。試料 採取後、脱炭酸デシケータ内に保存した。
2	粉末からの溶 出	採取した粉末を実験室に持ち帰り水溶液にする。
3	測定	PH
		塩分量
		測定器を純水で洗浄し、2種類の標準液(PH7とPH9)を用いて校正を行う。その後各試料毎に測定を 行う。各測定毎に必ず電極の洗浄を行う。
		測定器の銀電極を付属の研磨材でよく磨く。これ は測定中でも、電極が汚れたら実施し、酸試薬 中の塩分が検出されなくなるのを確認する。ピッ ペットを用いて試料を200 μ l取り、測定器にセッ トした酸試薬カップに注入し測定を開始する。以 上を各試料について繰り返し行う。

2.3解析方法

解析は、調査結果の統計解析と、レベルⅠによる開発した耐用年数予測評価手法による劣化予測と実測値の関係、レベルⅡによる信頼性解析による鉄筋腐食の評価を行う。

2.3.1調査データの抽出と整理方法

(1)耐用年数予測評価のための調査対象構造物のデータの抽出方法

耐用年数予測評価のための調査対象構造物のデータの抽出方法を以下に示す。
(s13-s15)

(2)解析する測定データ

解析の対象とする測定データを以下に示す。

- ①遊離塩分量(0～1cm, 1～2cm, 2～3cm, 3～4cm, 4～6cmの各深さ)
- ②PH値(0～1cm, 1～2cm, 2～3cm, 3～4cm, 4～6cmの各深さ)
- ③かぶり(主筋, スターラップ)
- ④シュミットハンマー測定値
- ⑤自然電極電位測定値(mV)(最大, 最小, 平均, 分散)
- ⑥損傷度(強, 中, 無の割合)

(3)データ処理システム

調査結果のデータを北大大型計算機センターのHITACにファイルし、基本的な統計解析は同計算機上のSASを使用した。

2.3.2調査結果の統計解析

調査結果の統計解析は、多変量解析等を行い、多変量解析はSAS. GLMを使用した。

2.3.3 開発した劣化予測評価手法による解析

経年劣化のシミュレーションの方法は、筆者等が開発したプログラムを使用した。開発した劣化予測評価手法(システム)の劣化予測方法をTable2.3.2.1に示す。

Table2.3.2.1 開発した劣化予測評価手法

Quantifying Item	Selected Indicator		Factor ([] variable)		Calculation of Deterioration Indicator (durability) at Lapse of Year	Grading
	Indicator	Phenomenon	External Factor	Internal Factor		
a. Neutralization	Depth of neutralization x (mm)	① Neutralization	[t: Service life (year)]	W/C: Water cement ratio (%) R: { Type of cement Type of AE agent Type of aggregate }	W/C ≥ 60% : $x = 10 \times \sqrt{\frac{R^2(0.01W/C - 0.25)^2}{0.3(1.15 - 0.01W/C)}} \cdot t$ W/C < 60% : $x = 10 \times \sqrt{\frac{R^2(0.046W/C - 1.76)^2}{7.2}} \cdot t$	1: 20 ≤ X < 40 2: 40 ≤ X < 80 3: 80 ≤ X < 100 4: 100 ≤ X Depth of neutralization X: (%) Depth of cover
b. Reinforcing steel corrosion	Ratio of corrosion surface P' (%)	① Corrosion of penetrating chloride	[t: Service life (year)] L: Distance from sea (m) Co: Amount of chloride from sea (wt%)	Dc: Diffusivities of concrete (cm ² /s) D: Depth of cover (mm) UC: Unit weight of cement (kg/m ³) W/C: Water cement ratio (%) γ: Index of workability: γ=1	Co = 0.48 - 0.07lnL (Pacific side) Co = 0.45 - 0.06lnL (Japan sea side) $C = Co \left(1 - \exp\left(-\frac{D}{10}\right) \right)$ $erf x = \int_0^x \exp(-u^2) du, m = 0.094t + 0.245 - 0.029D$ $P = \frac{2000}{UC} \cdot C \cdot (0.01W/C - 0.3) \cdot 10^m$	0: P < 10 1: 10 ≤ P < 20 2: 20 ≤ P < 30 3: 30 ≤ P < 50 4: 50 ≤ P
		② Corrosion of neutralization		D: Depth of cover (mm) X: Depth of neutralization (mm)	P = (1 - φ(d - X/0.41X)) × 100 where: φ(a): Normal distribution function	
		③ Corrosion of crack		D: Depth of cover (mm) W _{max} : Maximum width of crack (mm)	$W_{max} = \frac{W_{max} + 0.03}{1.91}$ where: W _{max} : Average width of crack P = 0.167 (W _{max} /D ² × 10 ⁴ - 20)	
c. Crack	Maximum width of crack (mm)	① Crack of steel stress		f _t : Stress of reinforcing steel (kgf/cm ²) D: Depth of cover (mm) β: Note 1) A: Note 2)	W _{max} = 0.0108βf _t · √(D/10 × A × 10 ⁻³)	0: W _{max} < 0.05 1: 0.05 ≤ W _{max} < 0.2 2: 0.2 ≤ W _{max} < 0.3 3: 0.3 ≤ W _{max} < 0.5 4: 0.5 ≤ W _{max}
		② Crap of dry and temperature shrinkage	TC: Change of temperature (°C)	b: (m) h: (m) Note(A) NH: (kgf/cm ²) fct: (kgf/cm ²) β: (kgf/cm ²) φ: (m) ε _{sh} : shrinkage strain ε _{te} : Note 3)	$W_{max} = \frac{2b \cdot h \cdot fct}{\pi \cdot NH \cdot \phi \cdot 1\beta}$ (ε _{sh} + ε _{te} - 100 × 10 ⁻⁴) × 1000	
		③ Crack of alkali silica reaction		RG: Content of reactionable aggregate (%) RU: Amount of Na ₂ O in aggregate by cement (%)	The expansion (EX) is estimated by RG and RU	

Note(A) b: Width of the section(m), h: Depth of the member(m)

NH: Number of steel members

Quantifying Item	Selected Indicator		Factor ([] variable)		Calculation of Deterioration Indicator (durability) at Lapse of Year	Grading
	Indicator	Phenomenon	External Factor	Internal Factor		
d. Deterioration of strength	Notes 2) Ratio of compressive strength SN (%)	① Deterioration of penetrating sulfate	[t: Service life (year)]	W/C: Water/cement ratio	Linear Regression of experimental data W/C = 55% H ₂ SO ₄ : 0.3% SN = -40.15t + 100 H ₂ SO ₄ : 2.0% SN = -233.6t + 100 H ₂ SO ₄ : 5.0% SN = -244.55t + 100	0: 95 < SN 1: 90 < SN ≤ 95 2: 80 < SN ≤ 90 3: 70 < SN ≤ 80 4: SN ≤ 70
		② Deterioration of frost damage	[t: Service life (year)] N: Cycles of freeze-thaw a year	W/C: Water/cement ratio AE or Non AE: Whether there is AE agent	DN of f. ① is converted to by the equation $SN = \frac{DN - 25}{0.75}$ AE W/C = 40% SN = -0.04N · t + 100 W/C = 50% SN = -0.07N · t + 100 W/C = 55% SN = -0.11N · t + 100 W/C = 60% SN = -0.12N · t + 100 Non AE W/C = 30% SN = -0.49N · t + 100 W/C = 60% SN = -0.69N · t + 100	
		③ Deterioration of alkali silica reaction aggregate		RG: Content of reactionable aggregate RU: Amount of Na ₂ O in aggregate (%)	SN (EX) is estimated with the expansion EX of c ③	
e. Deformation	Strain ε (%)	① Deformation of creep strain	σ: Stress of concrete loading (kgf/cm ²)	Ec: Youngs modulus φ _c : Coefficient of creep	$\epsilon = \frac{\sigma}{Ec} \cdot \phi_c$ (outdoor φ _c = 2.0)	0: ε < 420 (× 10 ⁻⁴) 1: 420 ≤ ε < 670 2: 670 ≤ ε < 1033 3: 1033 ≤ ε < 2290 4: 2290 ≤ ε
		② Deformation of dry and temperature	Tc: Change of temperature (°C)	Uc: Unit weight of cement W/C: Water cement ratio	ε _{td} = 0.00148W/C + 0.000301Uc - 0.131 ε _{te} = 10 × 10 ⁻⁴ × Tc	
f. Frost damage	Change rate in relative dynamic modulus of elasticity DN (%)	① Frost damage	[t: Service life (year)] N: Cycles of freeze-thaw a year	W/C: Water cement ratio (%) AE or Non AE: Whether there is AE agent	Linear Regression of experimental data AE W/C = 40% DN = -0.028N · t + 100 W/C = 50% DN = -0.053N · t + 100 W/C = 55% DN = -0.080N · t + 100 W/C = 60% DN = -0.085N · t + 100 Non AE W/C = 40% DN = -0.36 N · t + 100 W/C = 60% DN = -0.51 N · t + 100	0: 96 < DN 1: 93 < DN ≤ 96 2: 85 < DN ≤ 93 3: 78 < DN ≤ 85 4: DN ≤ 78
g. Surface deterioration	Average depth of degree H (mm)	① Surface deterioration of frost damage	[t: Service life (year)] N: Cycles of freeze-thaw a year W: Coefficient of supplying seawater	W/C: Water cement ratio (%) α: Coefficient of type of cement and curing condition fc: Compressive strength of concrete R: Rate of decreasing surface strength	$H = W \cdot \alpha \cdot (Nt)^{\left(\frac{W/C}{55}\right)^3} - (0.0011954t^2 \cdot fc^2)^{\left(\frac{W/C}{55}\right)^3}$ W = 0.5 where: α = 0.0129	0: H < 1 1: 1 ≤ H < 2 2: 2 ≤ H < 3 3: 3 ≤ H < 4 4: 4 ≤ H

Note 1) β: The ratio of distance from axial of neutrality to center of reinforcing steel to distance from axial of neutrality to tensile side in the case of beam 1.2.

A: The area of tensile side concrete of symmetry with steel number of reinforcing steel.

Note 2) Superpose the development strength at the age

$$\left(SN = -55.32 + 16.60 \ln(365t) \right)$$

Note 3) ε_{te}: Total contraction after peak temperature due to heat of hydration

2.3.4 信頼性解析の方法

(1) 信頼性解析の手順

信頼性解析は，劣化の限界値を考慮して試験的にモデルの検討を試みた．解析ソフトはSAS.LIFEREGを使用した．

信頼性解析による解析手順を図2.3.3.1に示す．

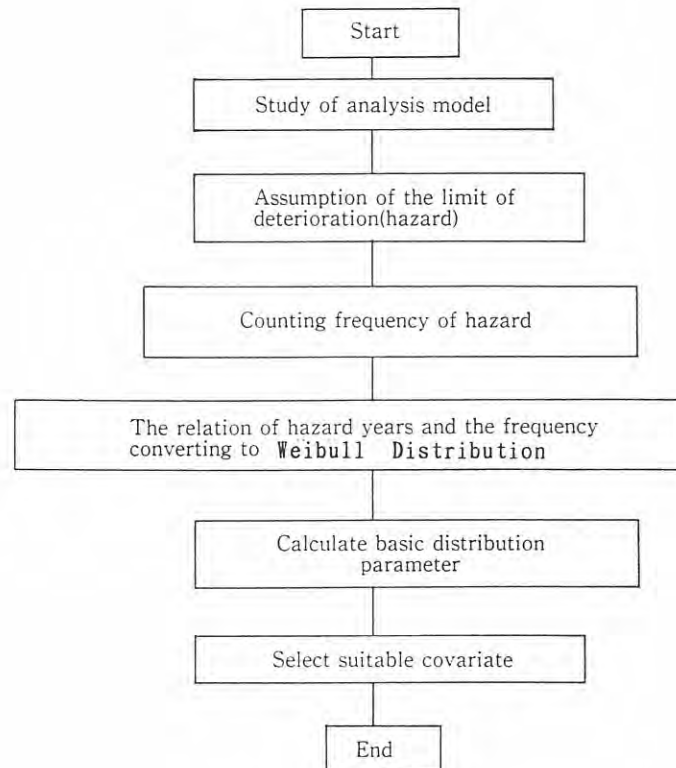


Fig.2.3.3.1 信頼性解析の解析方法

(2)信頼性理論の応用の方法

コンクリート橋に腐食による縦ひび割れが発生する年数を予測する。本来は多数のデータが必要であるが、ここではデータ数が少ないが一つの試みとして本調査の結果を用いて検討した。

コンクリート橋の縦ひび割れは一つの使用限界状態であり、補修を行う時点でもある。故障時間を縦ひびわれ発生年数 T_0 とみなし、材料、断面あるいは環境からくる因子を X 、それにかかわる係数を β 、また、これらの因子 X が0の場合の個体が持っている故障時間(個体の縦ひびわれ発生年数の対数)を T_0 、これにかかわる係数を尺度母数 σ とする。縦ひびわれ発生年数の対数 T のモデルを下式のようにする。

$$T = \mu + \sigma t \text{-----式(2.3.3.1)}$$

$$\text{ここで,} \quad T = \log T_0 \text{-----式(2.3.3.2)}$$

$$\mu = \beta_0 + \sum \beta X \text{-----式(2.3.3.3)}$$

$$t = \log t_0 \text{-----式(2.3.3.4)}$$

$\log$ は自然対数とする

$X=0$ の場合の縦ひびわれの発生年数の耐用年数 t に関する確率密度関数としてWeibullの確率密度関数 $f(t)$ を用いるとすれば

$$f(t) = \gamma \alpha t^{\gamma-1} \exp(-\alpha t^\gamma) \text{-----式(2.3.3.5)}$$

$$\text{ここで,} \quad \gamma = 1/\sigma \text{-----式(2.3.3.6)}$$

$$\alpha = \exp(-\mu/\sigma) \text{-----式(2.3.3.7)}$$

変数 X を多変量解析などで相関性の高いものを k 個選定し、それにかかわる未知の係数を $\beta_1 \cdots \beta_k$ とし、変数 X に n 組のデータがあると、式(2.3.3.2)～式(2.3.3.4)より、

$$\mu_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j X_{ij} \text{-----式(2.3.3.8)}$$

であり、式(2.3.3.1)より、データ i 組に対応する t_i は下式のようになる

$$t_i = (T_i - \mu_i) / \sigma \text{-----式(2.3.3.9)}$$

$t_1 \cdots t_i \cdots t_n$ が同時に起こる確率は一般に下式となる。

$$f(t_1) \cdots f(t_i) \cdots f(t_n) \text{-----式(2.3.3.10)}$$

よって、対数尤度 L は次式のように定義される。

$$L = \sum_{i=1}^n \log(f(t_i)/\sigma) \text{ -----式(2.3.3.11)}$$

縦ひびわれがまだ発生していないデータをも用いるために生存関数sを用いる。
sとfとの関係は下式となる。

$$f(e) = - \frac{\partial s(e)}{\partial e} \text{ -----式(2.3.3.12)}$$

これを考慮した対数尤度は

$$L = \sum_{i=1}^n \delta_i \log(f(t_i)/\sigma) + (1 - \delta_i) \log(s(t_i)) \text{ -----式(2.3.3.13)}$$

ここで、 δ_i は縦ひびわれが発生したデータであれば1、まだ縦ひびわれが発生していないデータであれば0となる。未知数は、 $\beta_0, \beta_1 \cdots \beta_k$ および σ のk+2個である。尤度が最大となる点が、一つの解となる。この条件より未知の係数が決められる。

$$\frac{\partial L}{\partial \beta_0} = \sum_{i=1}^n (\delta_i (f'(t_i)/f(t_i)) + (1 - \delta_i) (f(t_i)/s(t_i))) / \sigma = 0 \text{ -----式(2.3.3.14)}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \beta_i} = \sum_{i=1}^n (\delta_i (f'(t_i)/f(t_i)) + (1 - \delta_i) f(t_i)/s(t_i)) X_{ij} / \sigma = 0 \text{ -----式(2.3.3.15)}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \sigma} = \sum_{i=1}^n (\delta_i (f'(t_i)/f(t_i)) + (1 - \delta_i) f(t_i)/s(t_i)) t_i / \sigma - m / \sigma = 0 \text{ -----式(2.3.3.16)}$$

ここでmは、縦ひびわれが発生していたデータ数である。Newton-Raphson法等によって、 $\beta_0, \beta_1 \cdots \beta_k$ 及び σ が求められる。これより、Weibull関数が決定される。

f(t)の積分F(t)は下式のようなになる。

$$F(t) = \exp(-\alpha t^\gamma) \text{ -----式(2.3.3.17)}$$

信頼度をR(t)とすると、

$$R(t) = 1 - F(t) \text{ -----式(2.3.3.17)}$$

故障率(縦ひびわれ発生率)を $\lambda(t)$ とすると、

$$\lambda(t) = F(t)/R(t) \text{ -----式(2.3.3.18)}$$

となる。

3. 調査結果及び解析結果

3.1 調査結果

3.1.1 調査結果の概要

(1) 調査実施概要

(i) 現地調査員

現地調査員を以下に示す：

佐伯昇委員長，志村氏，佐々木氏（以上北大），桜井幹事（北見工大），
大内氏（小野田），船谷氏（ショーボンド建設），各所管構造物担当委員

(ii) 調査期間

調査は以下の期間に行った：

開発局所管構造物：平成3年10月7日～9日

北海道等所管等構造物：平成3年10月21日～23日

JR所管構造物：平成3年10月14日～15日

北電所管構造物：平成3年9月13日及び10月17日，10月28日及び12月

(iii) 調査対象構造物

調査対象構造物を以下に示す：

① 開発局所管構造物

恵比寿橋，古平橋，茅沼橋，（精進川橋），実橋，（コベチャナイ橋），小田西橋，

② 北海道等所管構造物

いりか橋，しづか橋，小婦美橋，幌武意橋，石山橋，大平橋（島牧村所管）

③ JR所管構造物

稲穂町架道橋，花園橋梁，星置川橋梁，厚別川橋梁，月寒川橋梁，
豊平川橋梁

④ 北電所管構造物

久保内発電所導水路，蘭越発電所導水路

なお，（ ）については補修状況の調査を行った。

(2)調査結果の概要

コンクリート構造物の耐用年数予測評価のため調査を行った結果の概要を以下に示す。

(i)寒冷地で冬期間凍結融解を受けるため、特に水に影響を直接受ける橋台等の表面剥離等が認められるものがあった。導水路トンネル等では特に、外気の影響を受ける出入り口付近で表面剥離ないし、スポール等が認められた。

(ii)外的要因の内、海水や潮風の影響により鉄筋腐食が発生している例が多い。特に、海岸からの距離の影響を強く受けている。

(iii)鉄筋腐食による橋軸方向ひびわれが目立つものが認められた。

(iv)供用年数が増加すると著しく劣化が顕在化している傾向がある。

(v)橋梁の床板等の下側では、エフロレッセンスが析出しているものがあり貫通ひびわれの存在ある床板の継目の防水性が低下しているものがあった。

(3)測定結果

現地調査や測定による結果は巻末に測定データ一覧として示した。

3.1.2 構造物の供用年数と劣化の関係

構造物の供用年数と鉄筋腐食のしやすさの目安となる塩化物量とPH値の比(CI/PH)関係をFig. 3.1.2.1に示す。供用年数が増加すると著しく劣化が顕在化している傾向がある。これは、特に水の影響や、海水の影響を受けるところで著しい。

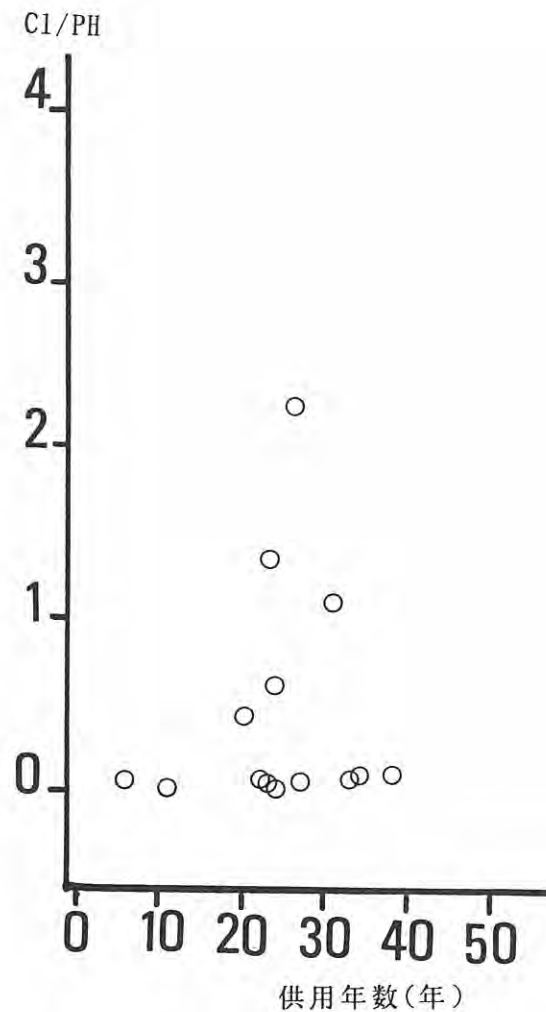


Fig. 3.1.2.1 塩化物量とPH値の比(CI/PH)と供用年数の関係

3.1.3 構造物の海岸からの距離と劣化の関係

構造物の海岸からの距離とC1/PHの関係をFig. 3.1.3.1に示す。これらによると、海岸からの距離の影響が大きく、海岸からの距離が近くなるとC1/PHが増加する傾向がある。

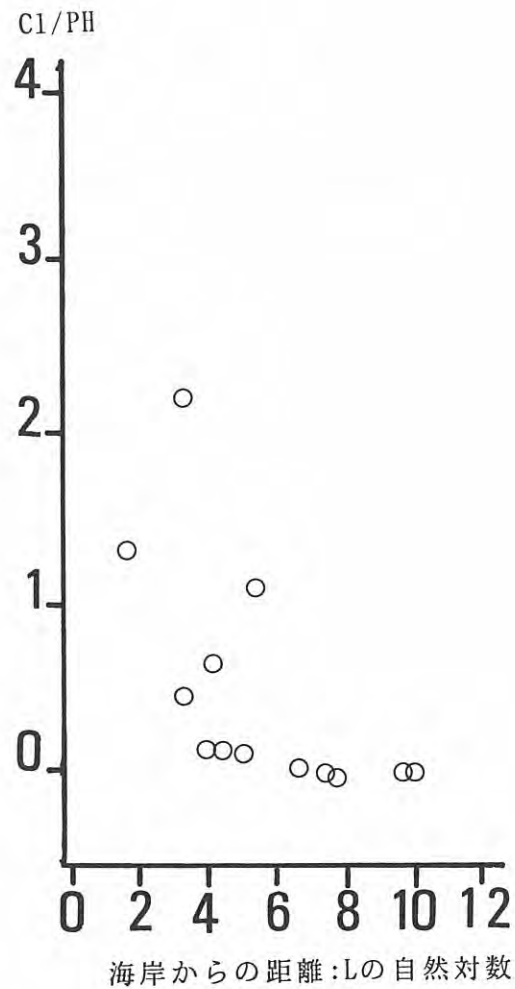


Fig. 3.1.3.1 構造物の海岸からの距離とC1/PHの関係

3.1.4 構造物の供用年数と主桁毎の調査時点での縦ひびわれの発生の関係

(1) 本調査結果での劣化の限界状態の考え方

劣化予測の信頼性の把握と向上のため、劣化の評価項目の中から、鉄筋腐食による被害に着目し、現地本調査において撮影された写真をもとに鉄筋腐食に桁に発生する縦ひびわれの発生の有無を判定した。

ここでは、縦ひびわれの発生をもって使用限界状態に達したものとし、この状態に達したとき、故障発生したものとし、故障(Hazard)と見る事象を以下(2)で述べるように設定した。

(2) 判定の基準

判定の方法と基準を以下に示す。

- ① 主桁の性能の低下に対し主鉄筋の腐食の影響が大きいと考え、劣化限界を主鉄筋の腐食に伴う縦ひびわれの発生と仮定し、これを設定値とする。縦ひびわれの有無を調査時点の縦ひびわれの有無と判断した。
- ② 写真の無い場合は、調査時の観察データにより判断した。
- ③ 以上の①②で不明なときは、実際の構造物を目視して判定した。

以上の方法より、被害を各橋梁の主桁一本毎に判定し、以下のTable3.1.3.1の様に数値化する。

Table3.1.3.1 コンクリート橋の被害(Hazard)の判定基準

事象	与える数値
被害(縦ひびわれ, 鉄筋腐食)あり	2
被害無し	1
不明	0

判定の結果をTable3.1.3.2に示す。

Table3.3.3.1 主桁の縦ひびわれの有無の被害の判定値の結果

梁NO. 構造物 NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	N
1	2	2	2	2	2	2	2	2							
2	1	1	1	1	1										
3	2	2	2	2	2										
4	2	2	2	2											
5	1	1	1	1	1										
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
7	2	2	2	2	2										
8	1	1													
9	1	1	2	2											
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
11	1	1	1	1	1										
12	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1									
14	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
15	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	2											
19	2	2	2												

(3)解析

(i)解析手順

- ①被害判定値に大きく影響を及ぼす要因を推定する
- ②被害判定値を目的変数,各要因を説明変数として重回帰分析を行う.
- ③縦ひびわれの発生の有無を設定値として,コンクリート構造物の信頼度関数を求める.

各構造物の主桁毎に,調査時点での縦ひびわれの発生の有無(有:2,無1)と供用年数の関係をFig.3.1.2.1に示す.供用年数が20年を超えると,縦ひびわれの発生が多くなる傾向がある.

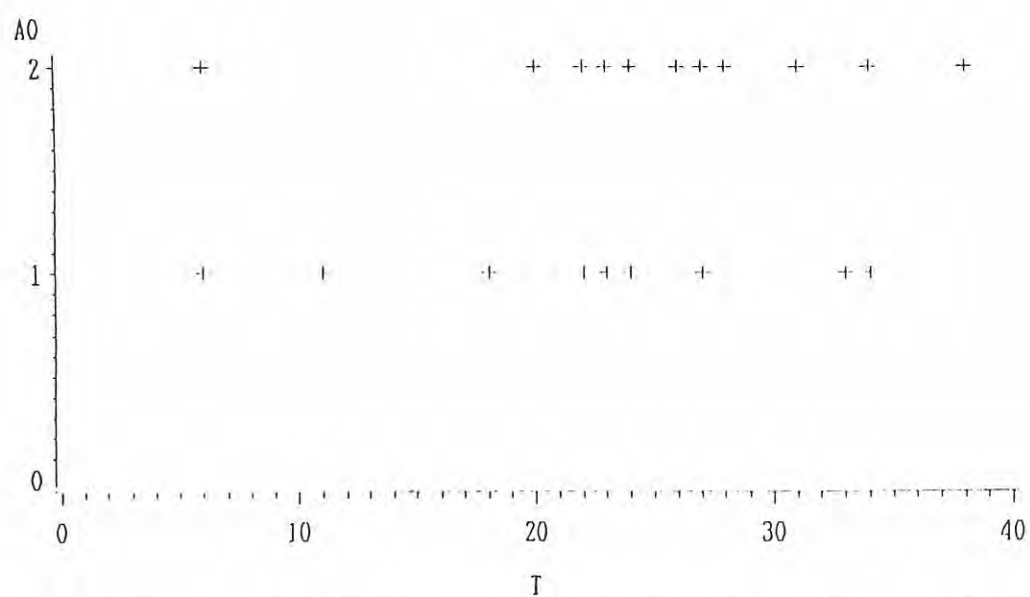


Fig. 3.1.2.1 構造物の主桁毎の調査時点での縦ひびわれの発生の有無 (有:2, 無:1) と調査時の供用年数の関係

3.1.5 その他の要因と劣化の関係

(1) その他の要因の影響についての相関分析

その他の要因の影響を検討するため、各要因と被害の判定値の相関分析をTable 3.1.5.1に示す。また、全データ、PC及びRC毎の相関分析の結果をTable 3.1.5.2に示す。なお、PC、RCに分けると高い相関が得られるが、母集団を構成するデータが減少するため、後述する信頼性解析を行う際は全データとした。

解析の結果、相関係数が比較的高く正負が適切であり、分散分析比が小さく有意水準が適切であると判断される主な要因は、以下の通りである。

供用年数(T)、飛来塩分量(CO)、海岸からの距離(L)、断面の幅(BB)、PH測定値(PHは深さによって5段階に分けた)、塩分量測定値(CL)、かぶり(DSS)、鉄筋(AFAIS)、鉄筋の応力度(FS)である。

信頼性理論を検討するためのモデル化のため、これらの要因を中心に(2)で重回帰分析を行う。

Table3. 1. 5. 1①相関分析結果(全データ)その1

変数		相関係数	分散分析比	データ数	備考
記号	定義				
T	供用年数(年)	0.46994	0.0001	153	
CO	飛来塩分量(%)	0.37774	0.0001	153	
S	接触水の硫酸塩濃度(%)	0.00000	1.0000	153	
UW	単位水量(Kg/m ³)	-0.13141	0.1245	138	
GN	ワーカビリチーの指標	0.00000	1.0000	153	
CD	養生日数(日)	0.21133	0.0087	153	
YEAR	評価年数(年)	0.00000	1.0000	153	
L	海岸からの距離	-0.27934	0.0005	153	
TC	温度変化量(°C)	0.09975	0.2199	153	
FN	年凍結融解回数(回)	-0.32892	0.0001	153	
W	海水補給係数	0.25250	0.0016	153	
WC	水セメント比(%)	0.02428	0.7774	153	
UC	単位セメント量(Kg/m ³)	-0.24509	0.0038	138	
R	中性化率	0.00000	1.0000	138	
DC	コンクリートの拡散係数(cm ² /s)	0.13230	0.1219	138	
FCK	コンクリートの圧縮強度(Kgf/cm ²)	0.05787	0.5002	138	
FCT	コンクリートの引張強度(Kgf/cm ²)	0.05786	0.5002	138	
FB	コンクリートの付着強度(Kgf/cm ²)	-0.26299	0.0018	138	
EC	コンクリートの弾性係数(Kgf/cm ²)	0.01245	0.8848	138	
FAI	コンクリートのクリープ係数	0.00000	1.0000	138	
D	かぶり(mm)	0.11210	0.1905	138	
FS	鉄筋の応力度(Kgf/cm ²)	-0.27691	0.0009	138	
SG	コンクリートの応力度(Kgf/cm ²)	0.05251	0.5407	138	
BE	断面による値(1.2)	0.00000	1.0000	138	
AA	断面積/鉄筋の本数(cm ²)	-0.03700	0.6666	138	
BB	断面の幅(m)	-0.39881	0.0001	138	
AHEI	部材の全高(m)	-0.19579	0.0214	138	
ANH	鉄筋の本数(本)	0.04498	0.6004	138	
AFAI	鉄筋径(m)	-0.05304	0.5367	138	

Table3. 1.5. 1②相関分析結果(全データ)その2

変数		相関係数	分散分析比	データ数	備考
記号	定義				
AL	セメントの種類等による係数	0.00000	1.0000	138	
IG	卓越係数	0.00000	1.0000	153	
GA	重み係数	0.21328	0.0084	153	
GB	重み係数	0.00000	1.0000	153	
GC	重み係数	0.00000	1.0000	153	
PHA	PH測定値(0～1cm)	0.01088	0.9003	135	
PHB	PH測定値(1～2cm)	-0.37638	0.0001	135	
PHC	PH測定値(2～3cm)	-0.58562	0.0001	135	
PHD	PH測定値(3～4cm)	-0.61471	0.0001	85	
PHE	PH測定値(4～5cm)	-0.79725	0.0001	55	
CLA	塩分量測定値(0～1cm)	0.63267	0.0001	135	
CLB	塩分量測定値(1～2cm)	0.49192	0.0001	135	
CLC	塩分量測定値(2～3cm)	0.53046	0.0001	135	
CLD	塩分量測定値(3～4cm)	0.37133	0.0005	85	
CLE	塩分量測定値(4～5cm)	0.15150	0.2695	55	
DEPM	かぶり測定値(主筋)	0.24269	0.0595	61	
DEPS	かぶり測定値(スラーフ°)	-0.05144	0.5535	135	
F?	シュミットハンマー測定値(Kgf/cm²)	-0.01174	0.9013	114	
VMAX	自然電位最大値(mV)	-0.36269	0.0001	120	
VMIN	自然電位最大値(mV)	-0.31363	0.0005	120	
VAVG	自然電位最大値(mV)	-0.34838	0.0001	149	
KYOU	損傷度強	0.79817	0.0001	149	
TYUU	損傷度中	0.48611	0.0001	149	
NASI	損傷度無し	-0.63239	0.0001	149	
SPAN	径間数	-0.19386	0.0163	153	
KETASU	桁数(本)	0.02205	0.7868	153	
DS	かぶり(鉄筋中心迄の距離)	-0.03051	0.7224	138	
DSS	かぶり(鉄筋表面迄の距離)	-0.10751	0.2094	138	
AF AIS	鉄筋径	0.24248	0.0042	138	

Table3. 1. 5. 2①全データ，PC及びRCデータ毎の相関分析結果の比較その1

変数 記号	全データ			PC橋			RC橋			
	相関係数	分散分析比	データ数	相関係数	分散分析比	データ数	相関係数	分散分析比	データ数	備考
T	0.46994	0.0001	153	0.48688	0.0001	123	0.66998	0.0063	15	
CO	0.37774	0.0001	153	0.43434	0.0001	123	0.80354	0.0003	15	
S	0.00000	1.0000	153	0.00000	0.0001	123	0.00000	0.0001	15	
UW	-0.13141	0.1245	138	-0.17929	0.0472	123	0.45505	0.0883	15	
GN	0.00000	1.0000	153	0.00000	1.0000	123	0.00000	1.0000	15	
CD	0.21133	0.0087	153	0.25342	0.0047	123	0.00000	1.0000	15	
YEAR	0.00000	1.0000	153	0.00000	1.0000	123	0.00000	1.0000	15	
L	-0.27934	0.0005	153	-0.29614	0.0009	123	-0.58966	0.0207	15	
TC	0.09975	0.2199	153	0.19491	0.0307	123	-0.47302	0.0750	15	
FN	-0.32892	0.0001	153	-0.36145	0.0001	123	-0.57735	0.0242	15	
W	0.25250	0.0016	153	0.40772	0.0001	123	0.00000	1.0000	15	
WC	0.02428	0.7774	153	-0.00131	0.9885	123	0.45505	0.0883	15	
UC	-0.24509	0.0038	138	-0.26786	0.0027	123	0.00000	1.0000	15	
R	0.00000	1.0000	138	0.00000	1.0000	123	0.00000	1.0000	15	
DC	0.13230	0.1219	138	0.11477	0.2062	123	0.44675	0.0950	15	
FCK	0.05787	0.5002	138	0.09092	0.3173	123	-0.47132	0.0761	15	
FCT	0.05786	0.5002	138	0.09094	0.3172	123	-0.47197	0.0757	15	
FB	-0.26299	0.0018	138	-0.18832	0.0370	123	-0.75788	0.0011	15	
EC	0.01245	0.8848	138	0.04124	0.6506	123	-0.46205	0.0829	15	
FAI	0.00000	1.0000	138	0.00000	1.0000	123	0.00000	1.0000	15	
D	0.11210	0.1905	138	0.05294	0.5609	123	0.73171	0.0019	15	
FS	-0.27691	0.0009	138	-0.28235	0.0016	123	-0.25503	0.3590	15	
SG	0.05251	0.5407	138	0.08525	0.3485	123	-0.47143	0.0761	15	
BE	0.00000	1.0000	138	0.00000	1.0000	123	0.00000	1.0000	15	
AA	-0.03700	0.6666	138	-0.09868	0.2775	123	0.54157	0.0371	15	
BB	-0.39881	0.0001	138	-0.39897	0.0001	138	-0.77943	0.0371	15	
AHEI	-0.19579	0.0214	138	-0.20128	0.0256	123	-0.43448	0.1056	15	
ANH	0.04498	0.6004	138	0.12384	0.1724	123	-0.69028	0.0044	15	
AFAI	-0.05304	0.5367	138	-0.19056	0.0348	123	0.52877	0.0427	-	

Table3.1.5.2②全データ，PC及びRCデータ毎の相関分析結果の比較その2

変数 記号	全データ			PC橋			RC橋			備考
	相関係数	分散分析比	データ数	相関係数	分散分析比	データ数	相関係数	分散分析比	データ数	
AL	0.00000	1.0000	138	0.00000	1.0000	123	0.00000	1.0000	15	
IG	0.00000	1.0000	153	0.00000	1.0000	123	0.00000	1.0000	15	
GA	0.21328	0.0084	153	0.22361	0.0129	123	0.00000	1.0000	15	
GB	0.00000	1.0000	153	0.00000	1.0000	123	0.00000	1.0000	15	
GC	0.00000	1.0000	153	0.00000	1.0000	123	0.00000	1.0000	15	
PHA	0.01088	0.9003	135	-0.01723	0.8589	109	0.61298	0.0449	11	
PHB	-0.37638	0.0001	135	-0.47716	0.0001	109	0.41249	0.2074	11	
PHC	-0.58562	0.0001	135	-0.68738	0.0001	109	0.17150	0.6141	11	
PHD	-0.61471	0.0001	85	-0.64457	0.0001	79	0.50000	0.3125	6	
PHE	-0.79725	0.0001	55	-0.79725	0.0001	55	-	-	0	
CLA	0.63267	0.0001	135	0.62588	0.0001	109	0.10359	0.7318	11	
CLB	0.49192	0.0001	135	0.46563	0.0001	109	0.43033	0.1864	11	
CLC	0.53046	0.0001	135	0.50962	0.0001	109	0.37599	0.2544	11	
CLD	0.37133	0.0005	85	0.37450	0.0007	79	-0.50000	0.3125	6	
CLE	0.15150	0.2695	55	0.15150	0.2695	55	-	-	0	
DEPM	0.24269	0.0595	61	0.13314	0.3567	50	0.55637	0.0755	11	
DEPS	-0.05144	0.5535	135	0.02263	0.8153	109	0.14831	0.6634	11	
F?	-0.01174	0.9013	114	-0.23191	0.0297	88	-0.29979	0.3704	11	
VMAX	-0.36269	0.0001	120	-0.36144	0.0003	94	-0.00998	0.9768	11	
VMIN	-0.31363	0.0005	120	-0.23549	0.0223	94	0.03510	0.9184	11	
VAVG	-0.34838	0.0001	149	-0.29957	0.0034	94	0.07225	0.8328	11	
KYOU	0.79817	0.0001	149	0.79793	0.0001	123	0.62361	0.0403	11	
TYUU	0.48611	0.0001	149	0.56229	0.0001	123	0.00000	1.0000	11	
NASI	-0.63239	0.0001	149	-0.62734	0.0001	123	-0.62361	0.0403	11	
SPAN	-0.19386	0.0163	153	-0.19268	0.0328	123	-0.74467	0.0014	15	
KETASU	0.02205	0.7868	153	-0.10084	0.2671	123	-0.05862	0.8356	15	
DS	-0.03051	0.7224	138	-0.13639	0.1325	123	0.70436	0.0034	15	
DSS	-0.10751	0.2094	138	-0.21531	0.0168	123	0.51869	0.0476	15	
AFAIS	0.24248	0.0042	138	0.20477	0.0231	-	0.61487	0.0147	15	

(2) 要因の組合せと相関係数

要因(X_i)を(1)の結果を参照して組み合わせた。なお、要因の対数(LX_i)も取った。 A_0 (被害判定係数)と X_i 、 A_0 と LX_i の相関も調べ、相関の良いものを抽出した。主鉄筋位置の深さのPHとCLについて、CL/PH(PCと略)、LCL/PH(PLと略)、CL/T(CTと略)も説明変数として解析した。

Table3.1.5.3に被害判定値(A_0)に対する相関係数が比較的高い代表的な例をあげた。この中では、 $N0.3_b$ から 3_f の相関が比較的高く、これらを基に信頼性解析のモデル化を検討する。

Table3.1.5.3 被害判定値(A_0)に対する相関が比較的高い代表的な関数形

No.	関数形	相関係数の2乗
1	$A_0=h_1(PH, T, CO, L, DSS)$	0.3493
1_b	$A_0=h_{1_b}(PC, T, CO, L, DSS)$	0.3343
1_c	$A_0=h_{1_c}(PL, T, CO, L, DSS)$	0.3631
2	$A_0=h_2(CL, T, L, DSS, FS, AFAIS)$	0.5109
3	$A_0=h_3(CL, T, L, DSS, FS, AFAIS)$	0.3432
3_b	$A_0=h_{3_b}(CL, T, L, DSS, FS, BB)$	0.5788
3_c	$A_0=h_{3_c}(CT, L, DSS, FS, BB)$	0.5098
3_d	$A_0=h_{3_d}(CT, T, L, DSS, FS, BB)$	0.4984
3_e	$A_0=h_{3_e}(CT, T, L, DSS, FS)$	0.5665
3_f	$A_0=h_3(CT, T, L, DSS, FS, AFAIS)$	0.5788
4	$A_0=h_4(PH, T, CO, LL, LDSS, FS)$	0.3870
5	$A_0=h_5(LCL, T, CO, LL, LDSS, FS)$	0.4938
6	$A_0=h_6(LCL, T, CO, LL, LDSS, FS, AFAIS)$	0.5625
7	$A_0=h_7(PH, LCL, T, CO, LL, LDSS, FS, AFAIS)$	0.5787

注. h_1 から h_7 の関数形は、次のようになる。

h_1 を例とすると $A_0=a*PH+b*T+c*CO+d*L+e*DSS+f$

ここで、 a, b, c, d, e はパラメーターで f は切辺である。

3.2 解析結果

3.2.1 開発した耐用年数予測評価手法による予測と実測値の関係

開発した耐用年数予測評価手法から予測した鉄筋腐食面積率と自然電極電位から予測した鉄筋腐食面積率の関係をFig. 3.2.1に示す.

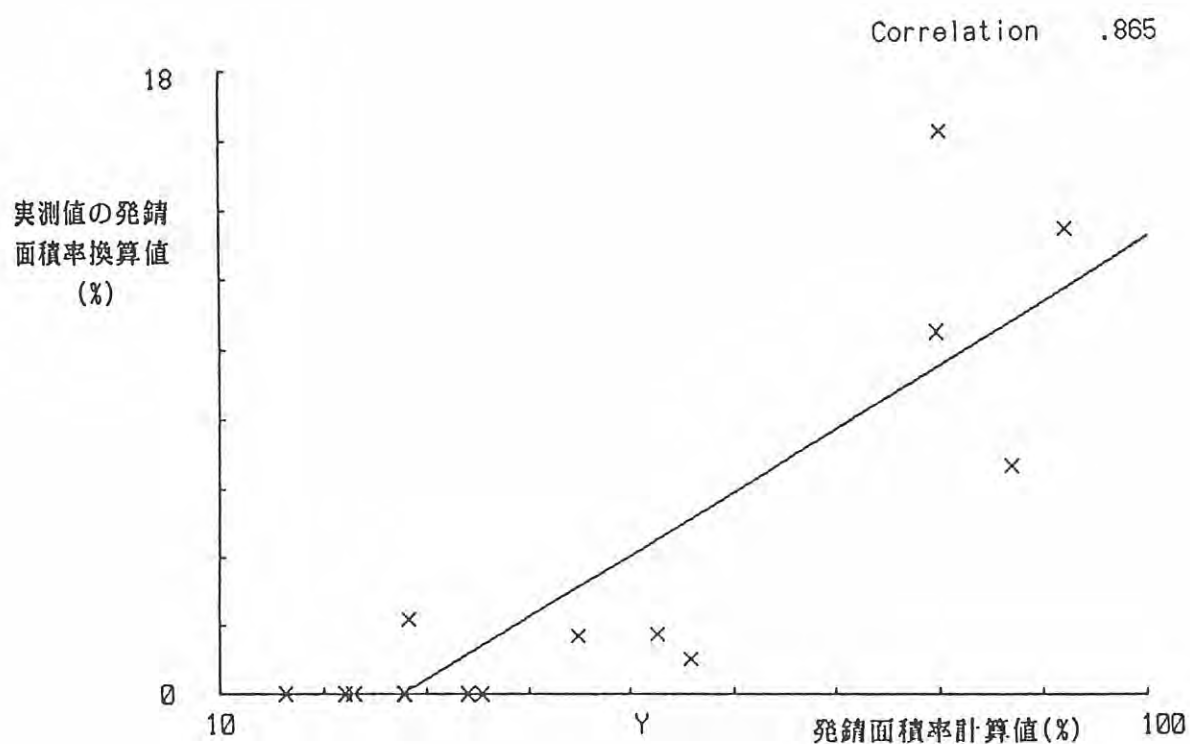


Fig. 3.2.1 開発した耐用年数予測評価手法から予測した鉄筋腐食面積率と自然電極電位から予測した鉄筋腐食面積率の関係

3.2.2 長期の劣化の予測評価

長期劣化の劣化の予測評価を行い、鉄筋腐食面積率を予測した例をFig.3.2.2に示す。また、予測評価した結果を巻末付録に示す。これらの結果より、予測評価した計算値が実測値より大きい値を示しているが安全側に予測していることが確認される。

ばらつきに関する係数(2)

劣化指標	発錆面積率	
	実測値 計算値	標準偏差 測定計算値
構造物の位置		
海岸	2.497	0.761
工場地帯(臨海)	3.133	0.980
内陸	0.398	1.528
全データ	0.857	2.850

供用年数:38年
 塩分量:0.62g
 かぶり:32.8mm
 海岸からの距離50m
 断面の幅0.12m
 鉄筋の応力(Fs):1400kgf/cm²

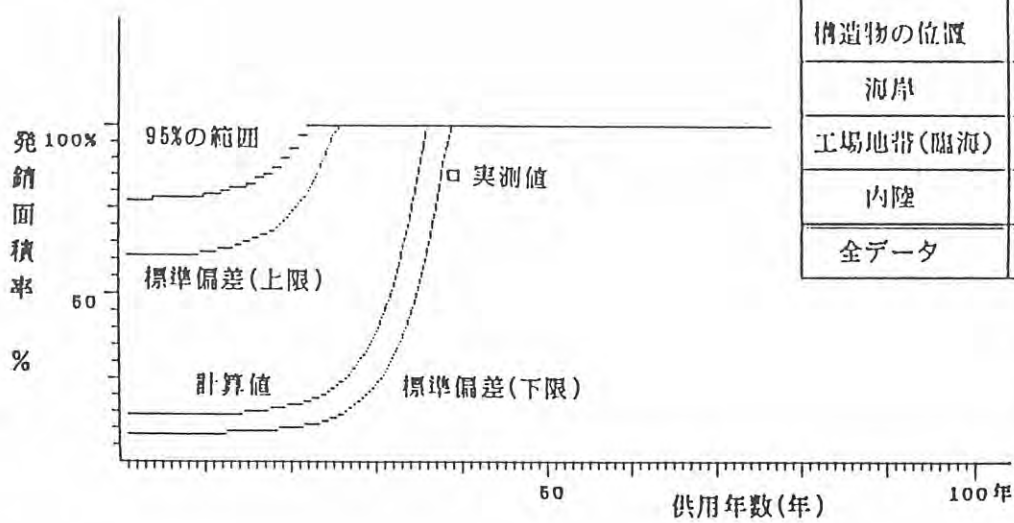


Fig. 3.2.2 鉄筋腐食面積率を予測した例

3.2.3信頼性理論を考慮した劣化の予測

縦ひびわれ発生の信頼性解析を以下のTable3.2.3.1の検討したモデルのように各共変量の有意水準が高く最大化対数尤度の大きいN0.3cのモデルで行う。

各橋梁の主桁毎に、調査時点での縦ひびわれの有無を劣化の設定値として、縦ひびわれが発生することを故障(Hazard)と考えて、信頼性解析をし、その信頼度関数にFig.3.2.2の例の同様の条件を入れ信頼度の経年変化を予測した例をFig.3.2.3に示す。いずれも30年から40年にかけて鉄筋腐食が激しくなることを示し、両方の解析ともほぼ同様な傾向を示している。また、鉄筋応力を変化させた場合の信頼度関数の変化をFig.3.2.4に示す。これによると、設計上の鉄筋応力を増加させた場合、縦ひびわれ発生を故障と考えた場合の信頼度低下が大きいことを示している。

Table3.2.3.1 信頼性解析モデルの検討結果

モデル NO.	推定値			有意水準 (PR>CHI)
3c	切辺 (β_0)		6.45231	0.0001
	共変量 の係数	CT	-0.721456	0.0001
		L	0.000027616	0.0001
		DSS	0.00887758	0.0001
		BB	-0.644661	0.0001
		FS	-0.0022191	0.0001
	尺度母数		0.0861608	-
	最大化対数尤度		19.5346192	
3g	切辺 (β_0)		5.46962	0.0001
	共変量 の係数	CT	-0.431759	0.0227
		L	0.000019099	0.0571
		DSS	0.00608195	0.0264
		AFAIS	0.122738	0.0466
		FS	-0.00174504	0.0027
	尺度母数		0.114951	-
	最大化対数尤度		6.2152467	

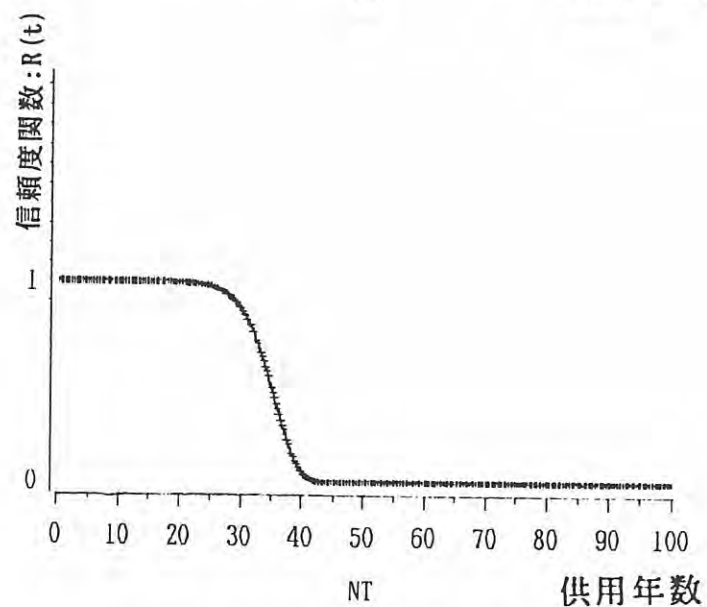
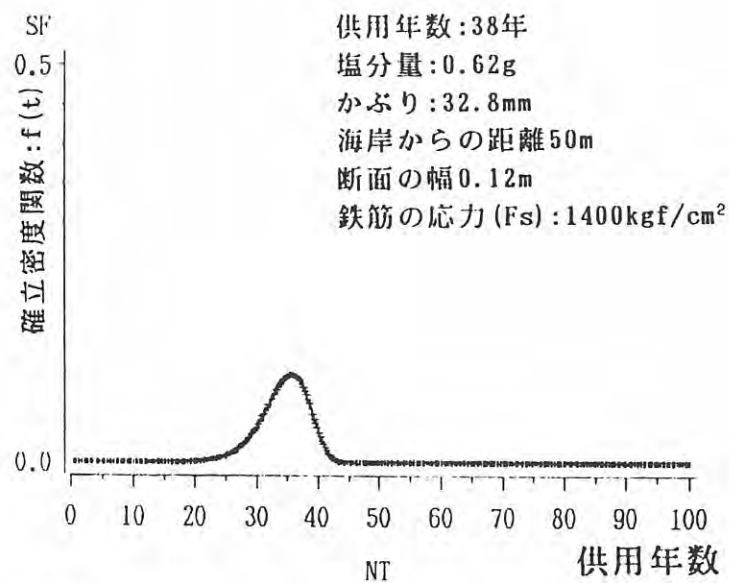


Fig. 3.2.3 各橋梁の主桁毎の調査時点での縦ひびわれの有無を故障 (Hazard) とした信頼性解析例

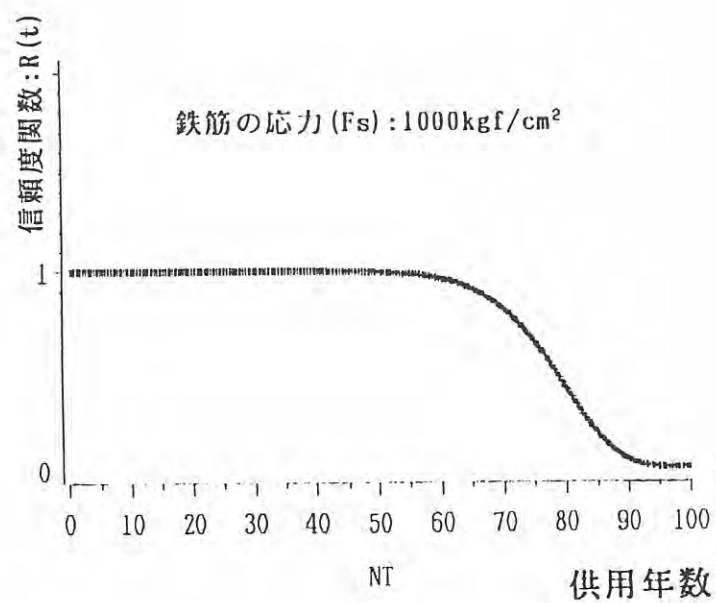
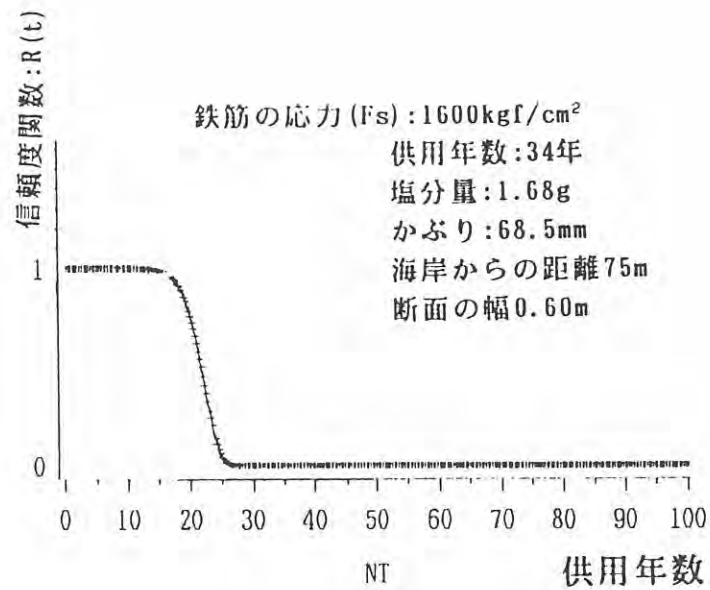


Fig3.2.4鉄筋応力の変化を仮定した場合の信頼度関数の変化

3.2.4耐用年数評価の検討

コンクリート構造物の耐用年数を予測評価するためには、劣化指標の経年変化を表す劣化予測式を検討し、それによる推定で劣化の進行を評価することと、劣化現象しほりそのあるレベルや程度に達したときを故障(hazard)と考え劣化の設定値を定め信頼性解析を行い信頼度の変化を求める方法等を組み合わせる事が重要である。また、これらは解析ケース(母集団のデータ数)が増えると精度が向上するので、これから多くのデータの蓄積をするために調査を継続する必要がある。

本調査で可能になった、対象構造物の耐用年数予測評価結果の概要と照査について以下に示す。

Table 3.2.4.1に調査対象構造物の被害(縦ひびわれ)発生の有無と耐用年数予測評価を示す。信頼性解析より、被害(縦ひびわれ)が生じない年数予測($T_{R95\%}$:縦ひびわれ被害が発生しない確率95%)と被害が生じる年数($T_{R5\%}$:縦ひびわれ被害が発生しない確率5%)予測を示した。前者は、被害の発生していない構造物に対し、調査時の供用年数を縦ひびわれ(発生しない)に対する信頼度95%の年数で除し供用年数/ $T_{R95\%}$ で示す。これが、Fig.3.2.4.1に示すように、1以下であれば、縦ひびわれがまだ発生しにくい事を示す。後者は、被害の発生している構造物に対し、同様に縦ひびわれに対する信頼度5%の年数で除し供用年数/ $T_{R5\%}$ で示す。これは全て1以下で、信頼度5%では、Fig.3.2.4.2に示すように、ほぼ予測どおり全構造物に縦ひびわれの被害が発生していることが確認できる。

Table 3.2.4.1 調査対象構造物の被害発生の有無と耐用年数予測評価

整理 番号	供用 年数 (年)	構造物		海岸か らの距 離(m)	信 頼 度 95 % の 年	信 頼 度 5 % の 年	被 害 発 生 の 有 無	供 用 年 数 / T _{R 95}	供 用 年 数 / T _{R 5}
		種類	形式						
NO. 1	38	道路橋	RC	50	28	40	有	-	0.95
NO. 2	33	道路橋	RSC桁	150	32	47	無	1.03	-
NO. 3	20	道路橋	PSC桁	25	20	28	有	-	0.71
NO. 4	28	道路橋	PSC桁	210	33	49	有	-	0.57
NO. 5	6	道路橋	PCT桁	1550	13	19	無	0.46	-
NO. 6	18	道路橋	PSC床版	105	20	29	無	0.90	-
NO. 7	24	道路橋	PSC桁	60	20	28	有	-	0.86
NO. 8	27	鉄道橋	RC	800	20	30	無	1.35	-
NO. 9	27	鉄道橋	RC	700	36	54	有	-	0.50
NO. 10	11	鉄道橋	PC	2100	11	17	無	1.00	-
NO. 11	23	鉄道橋	RC	21500	22	35	無	1.05	-
NO. 12	22	鉄道橋	PC	20000	22	33	有	1.00	-
NO. 13	24	鉄道橋	RC	15700	26	38	無	0.92	-
NO. 14	26	道路橋	I型PC	25	20	29	有	-	0.90
NO. 15	23	道路橋	I型PC	5	26	38	有	0.89	-
NO. 16	22	道路橋	I型PC	135	35	53	無	0.63	-
NO. 17	23	道路橋	I型PC	75	0V	0V	無	-	-
NO. 18	34	道路橋	I型RC	75	26	39	有	-	0.87
NO. 19	31	道路橋	PSC桁	200	26	38	無	-	0.82

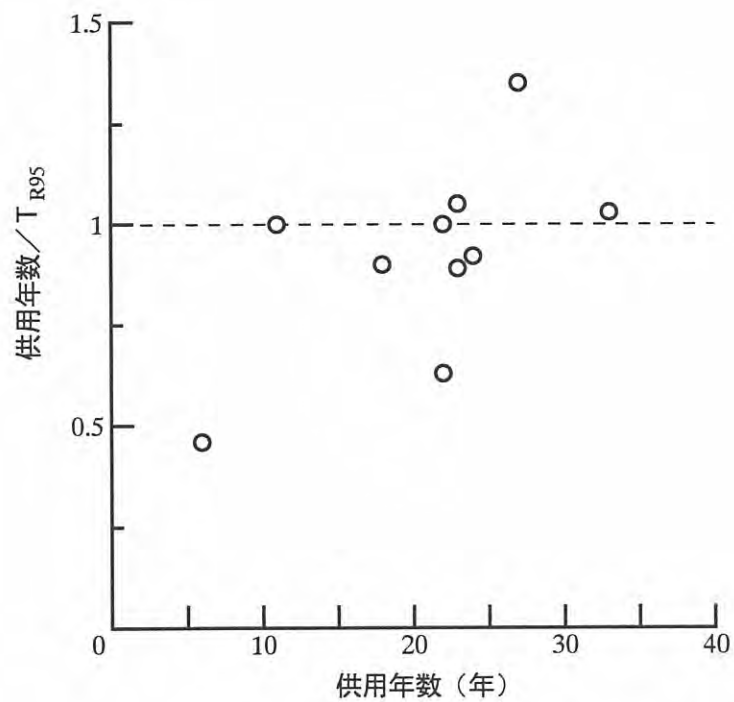


Fig.3.2.4.1 縦ひびわれが発生しない年数の予測評価

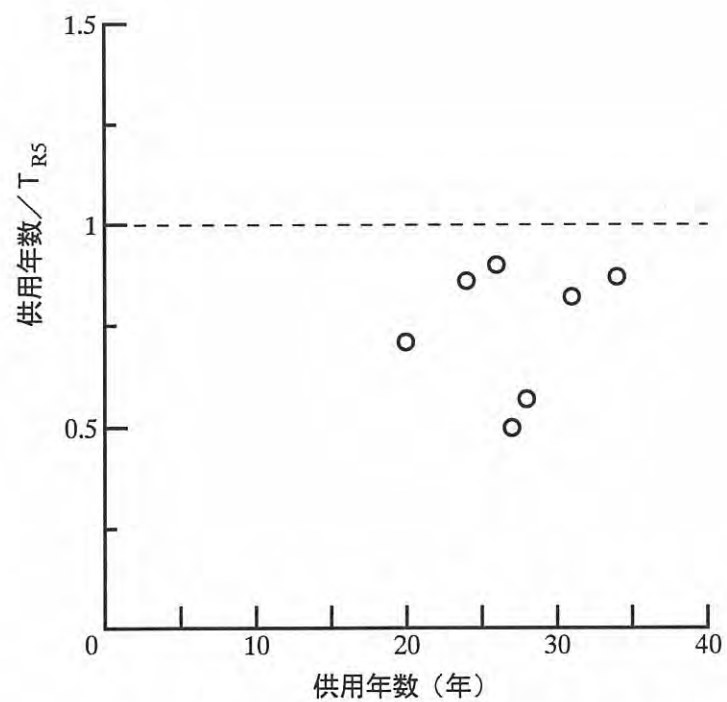


Fig.3.2.4.2 縦ひびわれが発生している年数の予測評価

4.まとめ

1. 寒冷地及び海洋環境下のコンクリート構造物の経年変化を調査より検討した結果、以下の事が明らかになった。

①寒冷地及び海洋環境下のRC橋の主な経年変化は鉄筋の腐食で、その要因は海岸からの距離や設計上の鉄筋の応力等である。

②開発した耐用年数予測評価手法から予測した鉄筋腐食面積率と自然電極電位から予測した鉄筋腐食面積率の関係は、相関係数で、0.865であった。

③主桁等に入る鉄筋腐食にによる縦ひびわれを故障(Hazard)として信頼性解析が可能である。

2. コンクリート構造物の耐用年数を予測評価するためには、劣化指標の経年変化を表す劣化予測式を検討し、それによる推定で劣化の進行を評価することと、劣化現象しほりそのあるレベルや程度に達したときを故障(hazard)と考え劣化の設定値を定め信頼性解析を行い信頼度の変化を求める方法等を組み合わせる事が重要である。また、これらは解析ケース(母集団のデータ数)が増えると精度が向上するので、これから多くのデータの蓄積をするために調査を継続する必要がある。

謝辞

本調査にあたり、北海道開発局、北海道土木部、JR北海道、北海道電力㈱、島牧村役場の関係各機関他の方々の御協力を受けました。また、測定や解析にあたり北大土木工学科の志村和紀助手、同卒論生の佐々木康史氏、名和洋人氏、北見工大開発工学科卒論生の澤井直之氏、大成建設情報化施工開発室長鈴木明人氏等の御協力を受けました。解析は、北大及び東大の大型計算機センターのHITAC及びSASを使用しました。これら方々に深く感謝をいたします。

参考資料

1) H. Sakurai, T. Aoki, K. Momozaki, A. Suzuki: Simulation and Evaluation of IABS E COLLOQUIUM DELFT, pp. 319-318, August 1987

2) 桜井宏, 鮎田耕一, 鈴木明人, 百崎和博, 佐伯昇, 藤田嘉夫: RC構造物の耐久性設計及び寿命予測に関するシンポジウム論文集, pp. 724-726, 1989年

3) 桜井宏, 鮎田耕一, 佐伯昇, 鈴木明人: 信頼性理論によるコンクリートの劣化の評価, コンクリート工学年次論文報告集, 第13巻, 第1号, pp. 629-632, 1991

巻末資料集	Page
1. 調査データ-----	71
2. 開発した耐用年数予測評価手法による結果-----	80
3. 信頼性解析結果-----	90

1. 調査データ

NO	塩分量(0～1cm)	(1～2cm)	(2～3cm)	(3～4cm)	(4～6cm)
01	2.47g	0.98g	0.82g	0.62g [○]	0.62g
02	1.29g	0.67g	0.55g	0.44g [○]	—
03	6.85g	7.72g	4.55g	3.26g [○]	1.65g
04	—	—	—	—	— [○]
05	0.20g	0.35g	0.20g	0.20g	0.04g [○]
06	—	—	—	—	— [○]
07	4.74g	6.50g	7.38g	5.84g [○]	2.27g
08	0.45g	0.20g	0.32g	0.35g [○]	—
09	0.32g	0.20g	0.27g	0.12g [○]	—
10	0.27g	0.20g	0.00g [○]	—	—
11	0.24g	0.12g	0.00g [○]	—	—
12	0.94g	0.82g	0.44g [○]	—	—
13	0.12g	0.12g	0.00g [○]	—	—
14	13.98g	14.81g	23.85g [○]	24.44g	22.09g
15	7.02g	13.59g	14.25g [○]	14.18g	10.30g
16	0.39g	0.94g	1.21g [○]	0.74g	—
17	0.71g	0.71g	0.32g [○]	—	—
18	1.09g	1.29g	1.18g	1.68g [○]	—
19	4.94g	7.40g	12.18g	9.25g	5.72g [○]
20	0.12g	0.20g	0.20g	0.12g	—
21	0.20g	0.27g	0.20g	0.08g	—
22	0.00g	0.00g	0.00g	0.33g	0.41g
23	0.00g	0.07g	0.07g	0.16g	0.12g

鉄筋のかぶり深さ(DSS)の位置:○

NO	p H (0~1cm)	(1~2cm)	(2~3cm)	(3~4cm)	(4~6cm)
01	10.81	10.46	10.81	11.01 [○]	11.00
02	12.00	12.20	12.15	11.00 [○]	——
03	10.71	11.38	10.70	11.72 [○]	11.10
04	——	——	——	——	—— [○]
05	12.20	12.40	12.50	12.51	12.40 [○]
06	——	——	——	——	—— [○]
07	11.82	11.70	11.55	11.20 [○]	11.10
08	11.00	11.50	12.60	12.20 [○]	——
09	12.18	12.60	12.55	12.61 [○]	——
10	11.07	12.40	12.55 [○]	——	——
11	11.25	12.30	12.50 [○]	——	——
12	12.05	12.35	12.37 [○]	——	——
13	10.69	12.00	12.50 [○]	——	——
14	11.40	11.40	10.78 [○]	10.75	10.65
15	10.50	10.60	10.80 [○]	12.90	12.50
16	10.40	11.70	12.50 [○]	12.10	——
17	11.10	11.20	11.30 [○]	——	——
18	12.20	11.70	11.40	11.70 [○]	——
19	10.30	10.30	11.30	11.90	12.20 [○]
20	10.20	10.60	11.30	11.40	——
21	10.70	11.70	12.10	12.00	——
22	8.30	9.70	12.50	12.50	11.50
23	10.73	12.00	12.40	12.05	12.30

鉄筋のかぶり深さ(DSS)の位置:○

NO	かぶり測定値（主筋）	（スターラップ'）	シュミットハンマー測定値
01	32.75mm	20.22	345kgf
02	47.78mm	15.78	390kgf
03	46.50mm	27.86	_____
04	_____	_____	_____
05	49.33mm	19.75	_____
06	_____	_____	_____
07	59.67mm	63.33	_____
08	21.60mm	8.67	620kgf
09	51.00mm	35.00	485kgf
10	_____	44.70	600kgf
11	38.00mm	35.00	500kgf
12	_____	34.00	485kgf
13	_____	33.22	_____
14	_____	19.33	520kgf
15	_____	15.67	515kgf
16	39.00mm	20.25	458kgf
17	_____	37.00	330kgf
18	36.33mm	12.25	515kgf
19	45.00mm	30.60	490kgf
20	_____	_____	338kgf
21	_____	_____	110kgf
22	_____	_____	_____
23	_____	_____	_____

N0	自然電位 (最大)	(最小)	(平均)	(分散)
01	- 4 2 4 m V	- 3 7 6	- 3 9 5. 1	2 0 9
02	- 1 5 1 m V	- 5 7	- 1 0 4. 4	1 0 9 5
03	- 5 5 6 m V	- 3 6 6	- 4 4 5. 9	3 2 0 2
04	_____	_____	_____	_____
05	- 3 3 8 m V	- 2 3 1	- 2 8 7. 1	7 4 5
06	_____	_____	_____	_____
07	- 1 7 6 m V	- 1 3 8	- 1 4 8. 6	1 1 9
08	- 2 7 1 m V	- 2 0 5	- 2 3 8. 9	4 2 8
09	- 1 7 9 m V	- 1 1 8	- 1 4 5. 8	4 4 3
10	- 3 0 3 m V	- 2 8 6	- 2 9 4. 0	3 6
11	- 1 4 0 m V	- 9 0	- 1 2 2. 8	2 8 1
12	_____	_____	_____	_____
13	- 4 6 m V	- 4 0	- 4 2. 6	6
14	- 3 6 8 m V	- 2 1 6	- 2 8 7. 4	6 3 5 9 5
15	- 5 5 7 m V	- 4 7 6	- 5 0 6. 1	7 2 8
16	- 1 3 9 m V	- 1 0 6	- 1 2 1. 9	1 2 6
17	- 2 9 4 m V	- 1 0 9	- 1 7 9. 7	5 9 1 1
18	- 9 6 m V	- 4 7	- 6 9. 6	2 4 8
19	- 4 9 7 m V	- 4 6 6	- 4 8 0. 4	8 6
20	_____	_____	_____	_____
21	_____	_____	_____	_____
22	_____	_____	_____	_____
23	_____	_____	_____	_____

NO	損傷度（強）	（中）	（無）
01	1	0	0
02	0	0. 6	0. 4
03	0	1	0
04	_____	_____	_____
05	0	0	1
06	0	1	0
07	0. 4	0. 6	0
08	_____	_____	_____
09	_____	_____	_____
10	0	0. 2	0. 8
11	0	0	1
12	0	0	1
13	0	0	1
14	0	0. 6	0. 4
15	0. 2	0	0. 8
16	0	0	1
17	0	0. 2	0. 8
18	0	0. 2	0. 8
19	1	0	0
20	0. 1	0. 3	0. 6
21	0. 1	0. 3	0. 6
22	0	0. 2	0. 8
23	0	0. 2	0. 8

2. 開発した耐用年数予測評価手法による結果

耐用年数予測評価のプログラムによって計算された発錆面積率が、計算値に対する実測値のとり範囲としての標準偏差とその95%以内のものがとり範囲の中に収まるのかどうかを確認することにより、耐用年数予測評価のプログラムの精度を検討した。このときに用いたばらつきに関する係数は、桜井宏、鮎田耕一、鈴木明人、百崎和博、佐伯昇、藤田嘉夫らの研究⁷⁾により、Table 3.1.4.1.の通りとした。その検討結果のグラフを、Fig.3.1.4.1~Fig.3.1.4.18に示した。

Table 3.1.4.1 ばらつきに関する係数

劣化指標	発錆面積率	
	実測値 計算値	標準偏差 補正計算値
海岸	2.497	0.761
工場地帯(臨海)	3.133	0.980
内陸	0.398	1.528
全データ	0.857	2.850

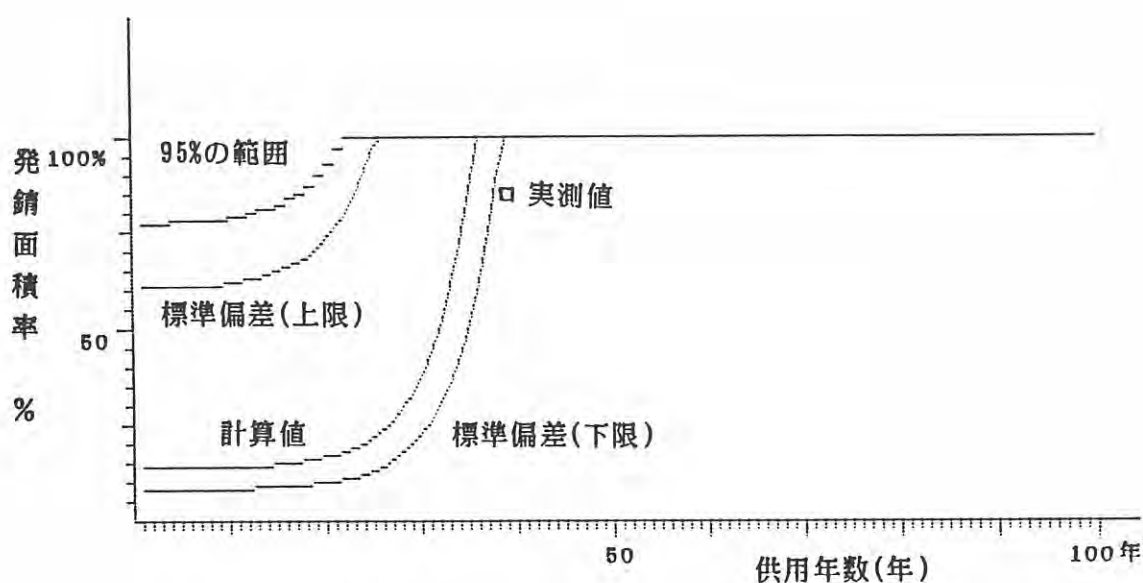


Fig.3.1.4.1 No. 1

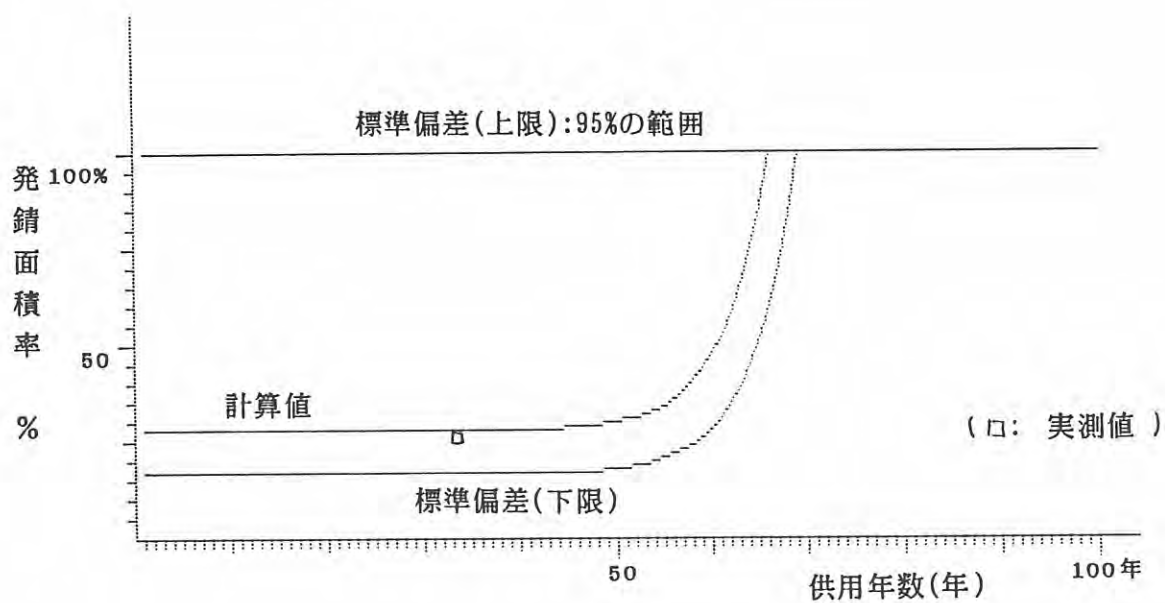


Fig 3.1.4.2 No. 2

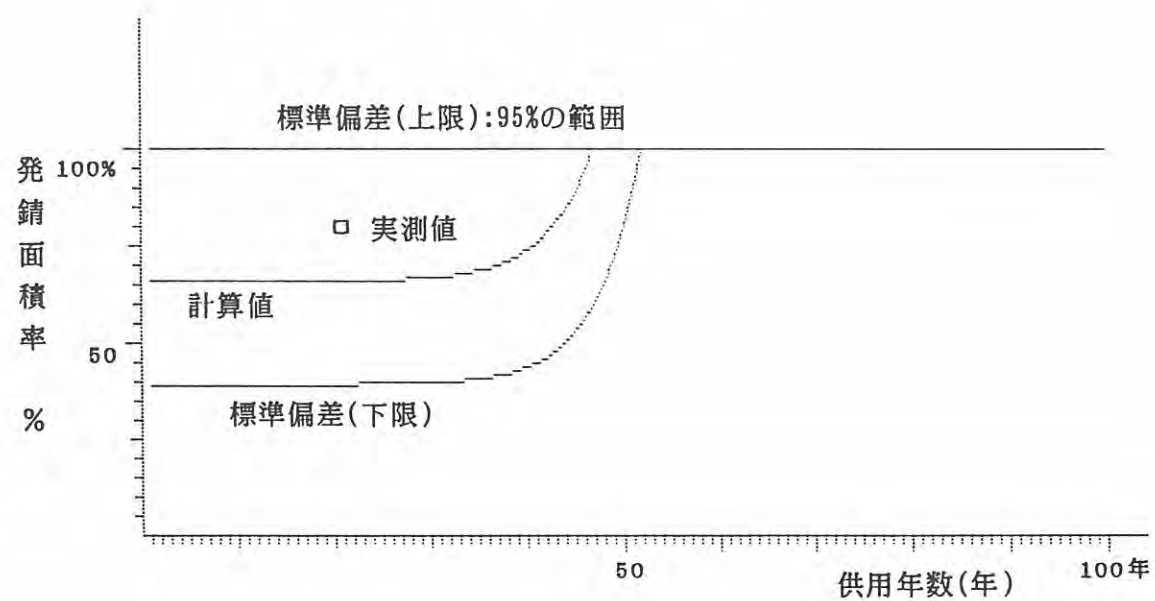


Fig.3.1.4.3 No. 3

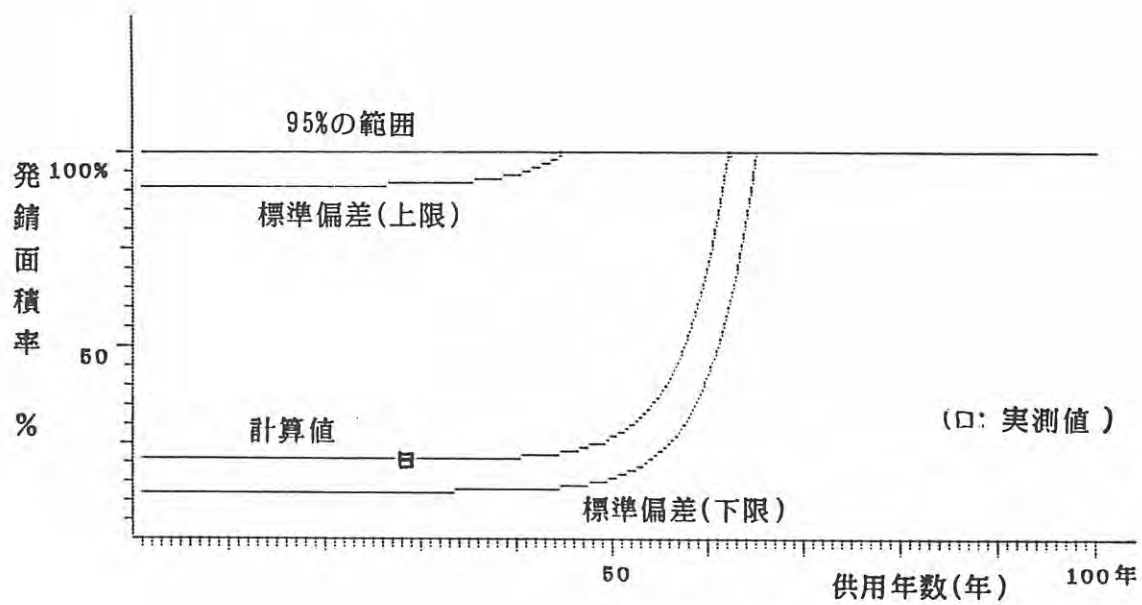


Fig.3.1.4.4 No. 4

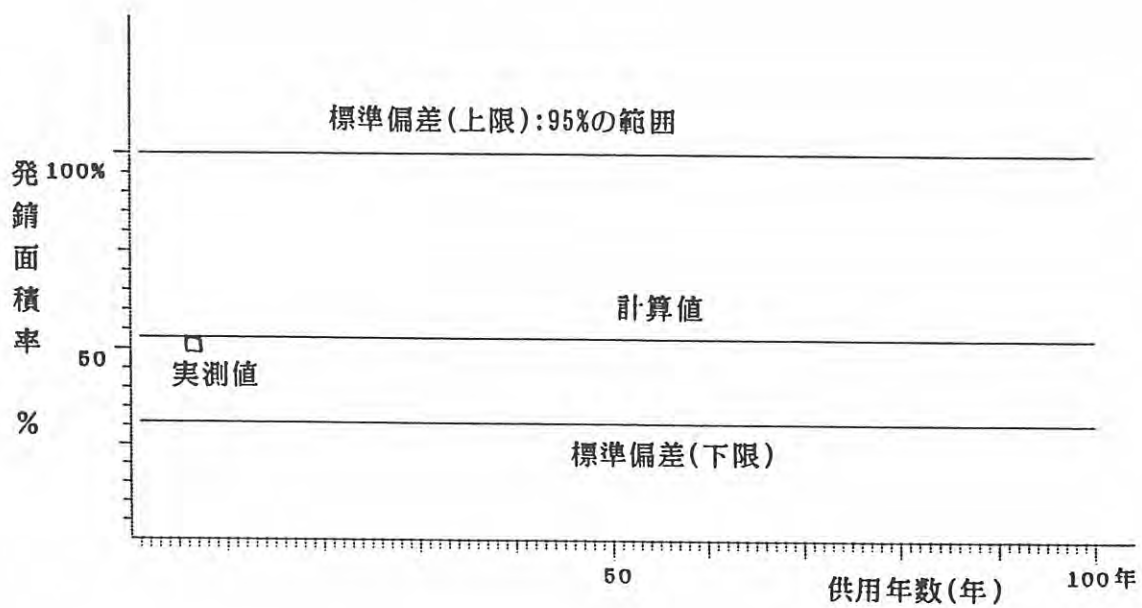


Fig.3.1.4.5 No. 5

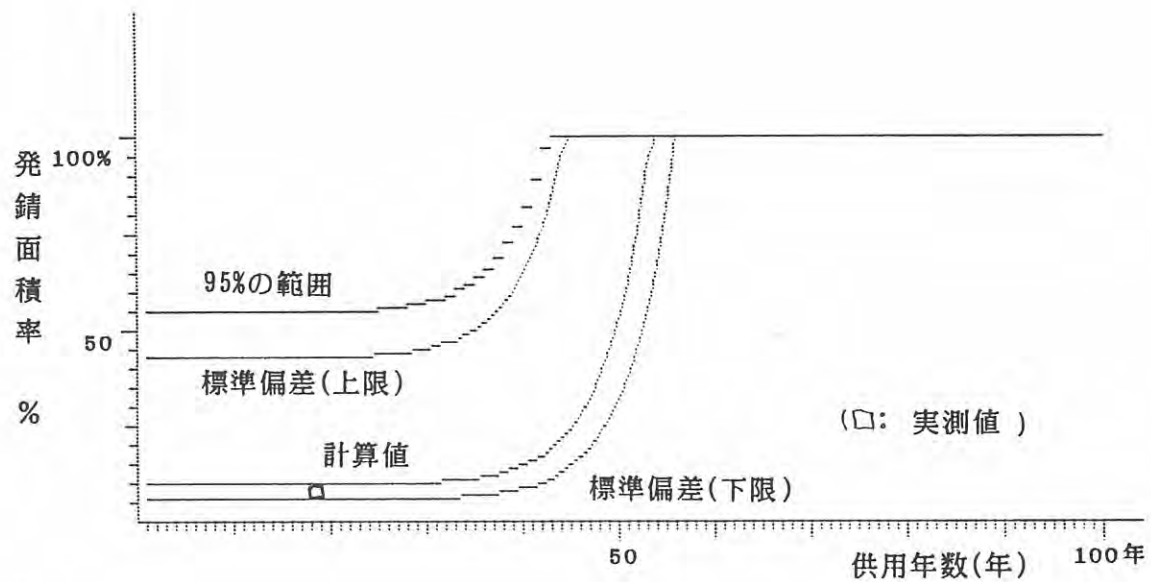


Fig.3.1.4.6 No. 6

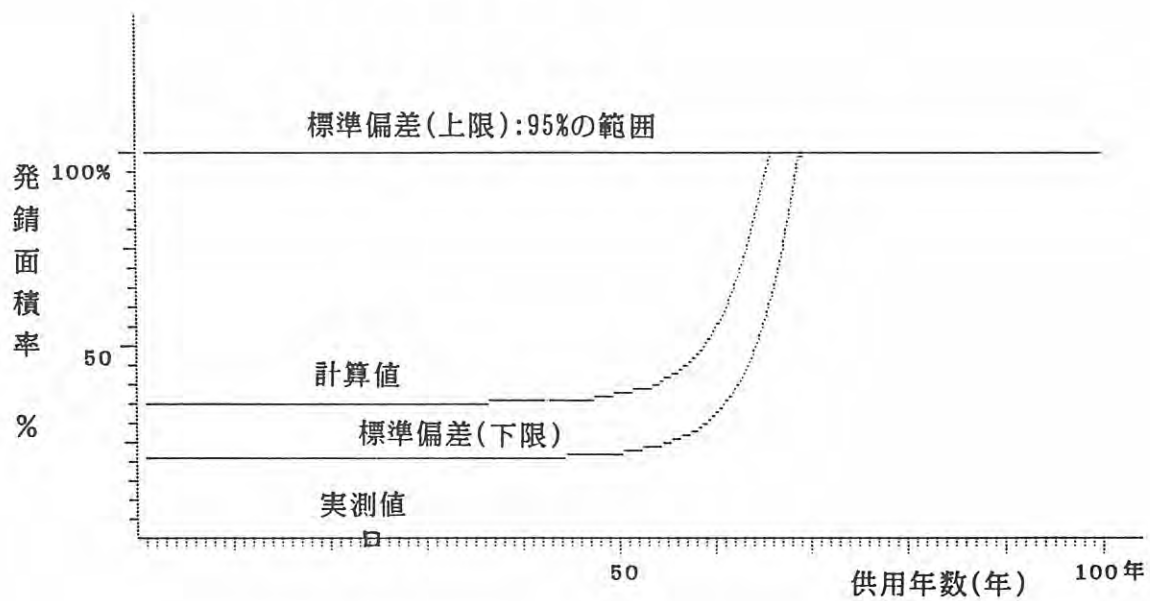


Fig.3.1.4.7 No. 7

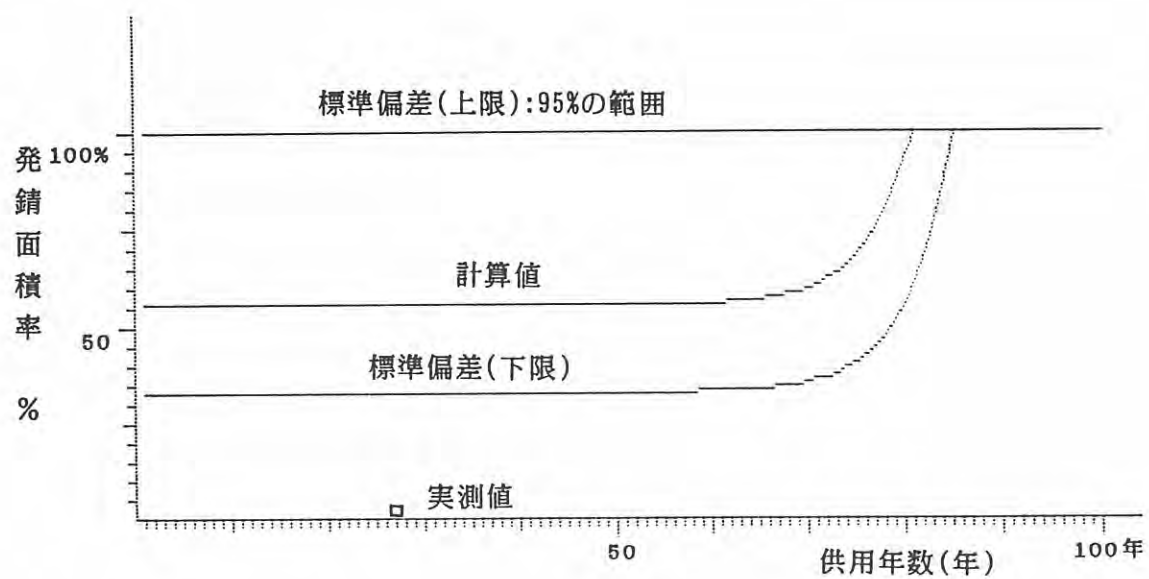


Fig.3.1.4.8 No.8

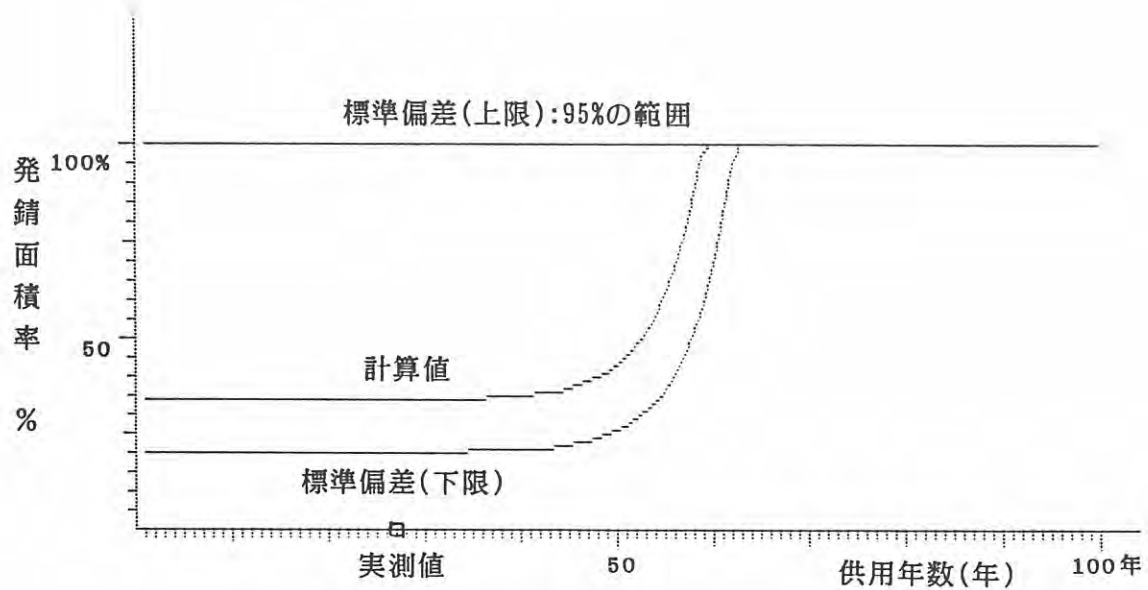


Fig.3.1.4.9 No.9

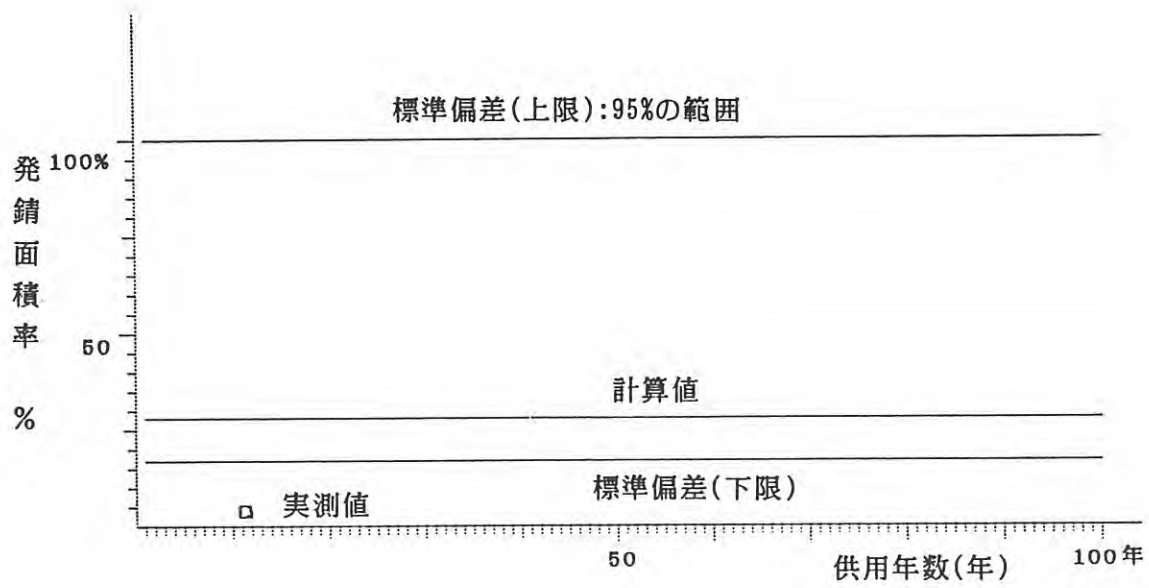


Fig.3.1.4.10 No.10'



Fig.3.1.4.11 No.11

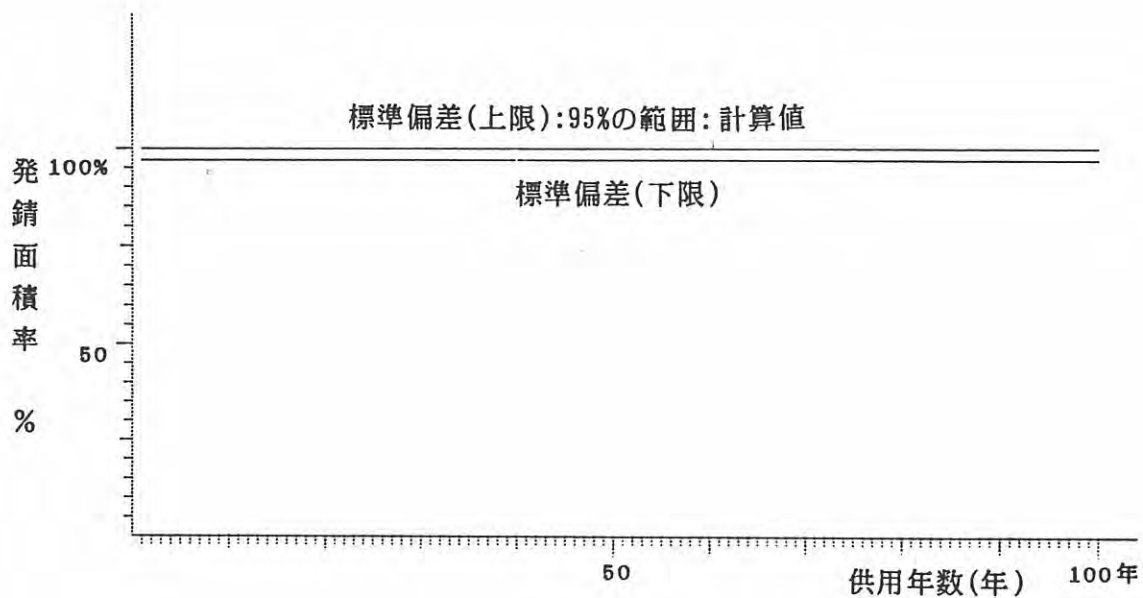


Fig.3.1.4.12 No.12

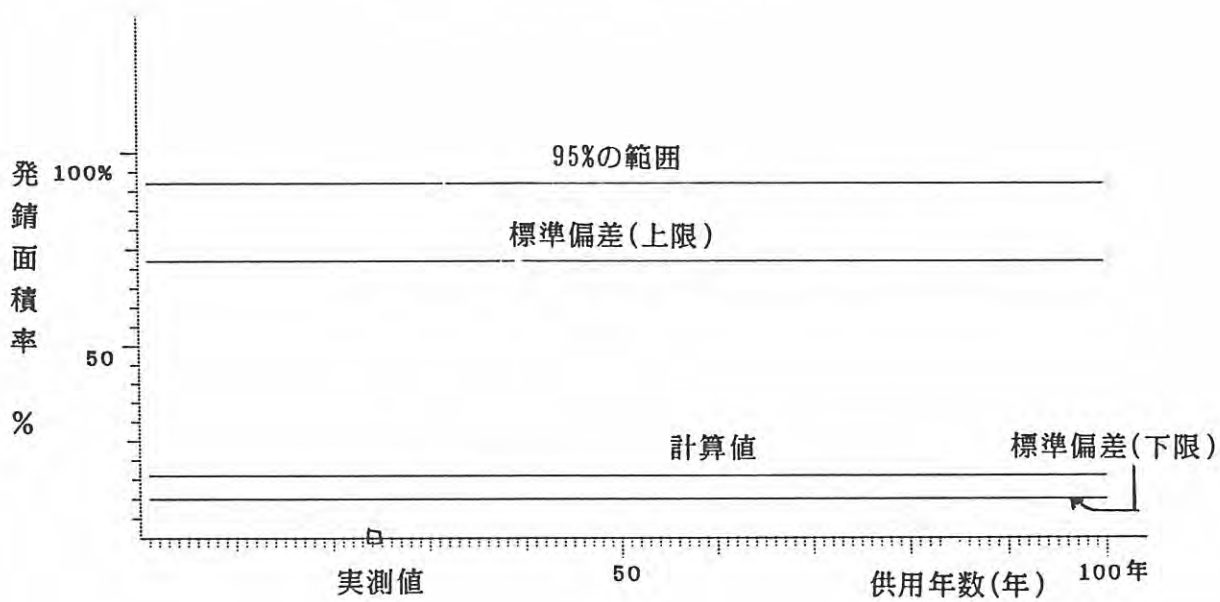


Fig.3.1.4.13 No.13

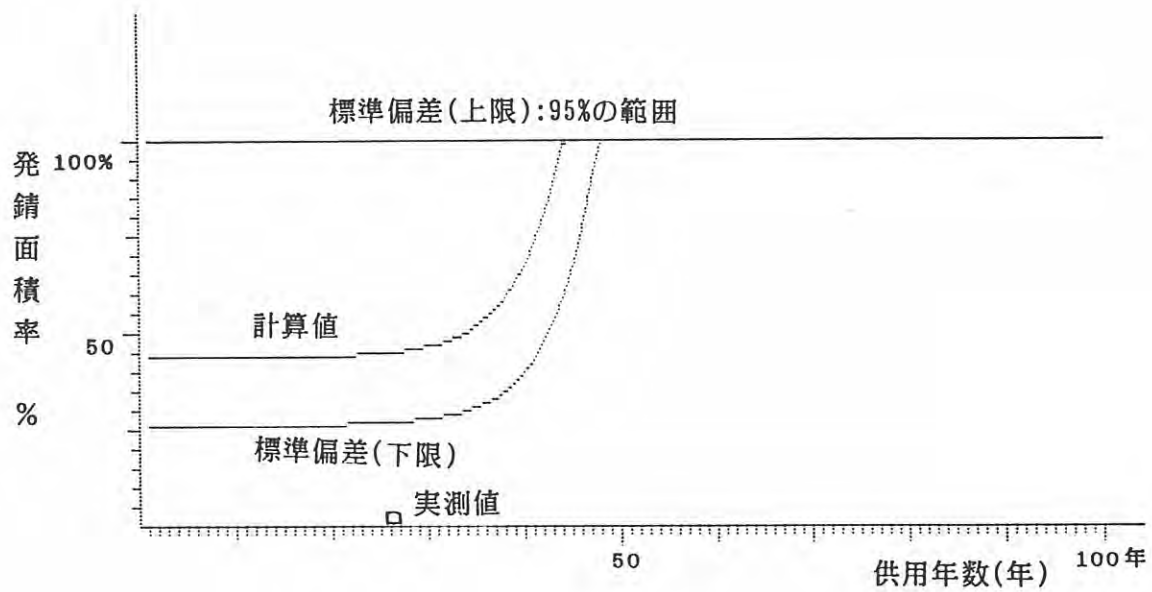


Fig.3.1.4.14 No. 14

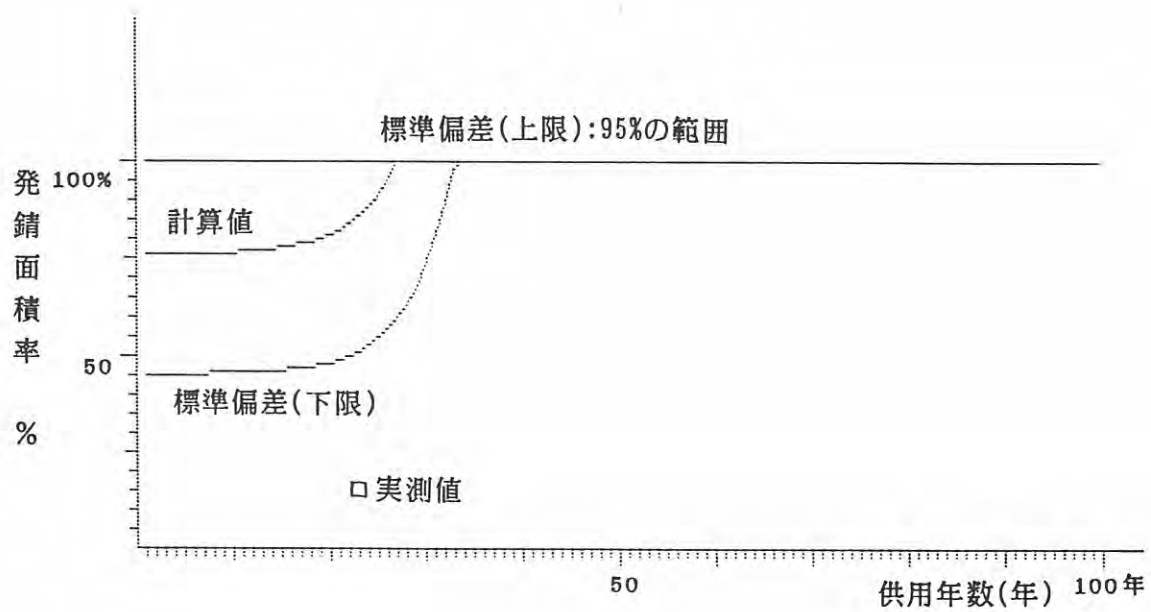


Fig.3.1.4.15 No. 15

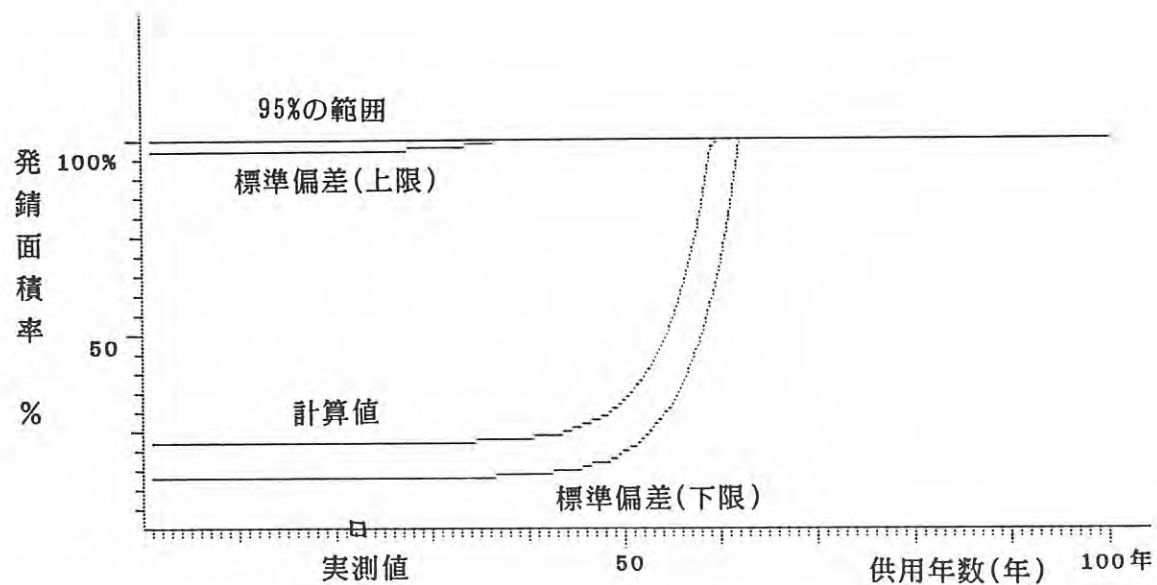


Fig.3.1.4.16 No.16

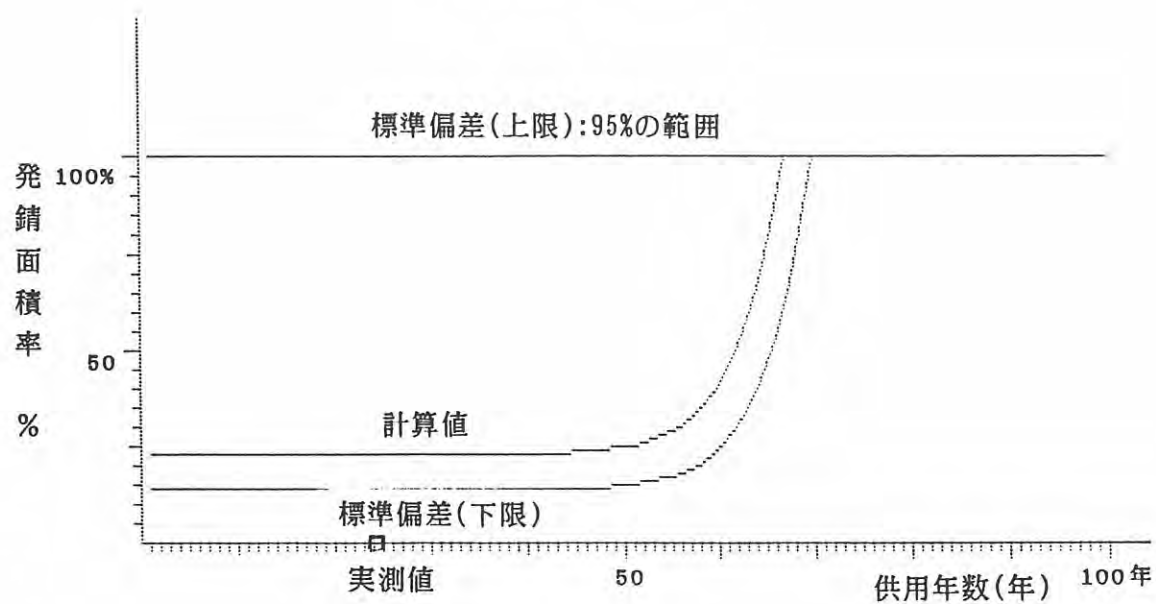


Fig.3.1.4.17 No.17

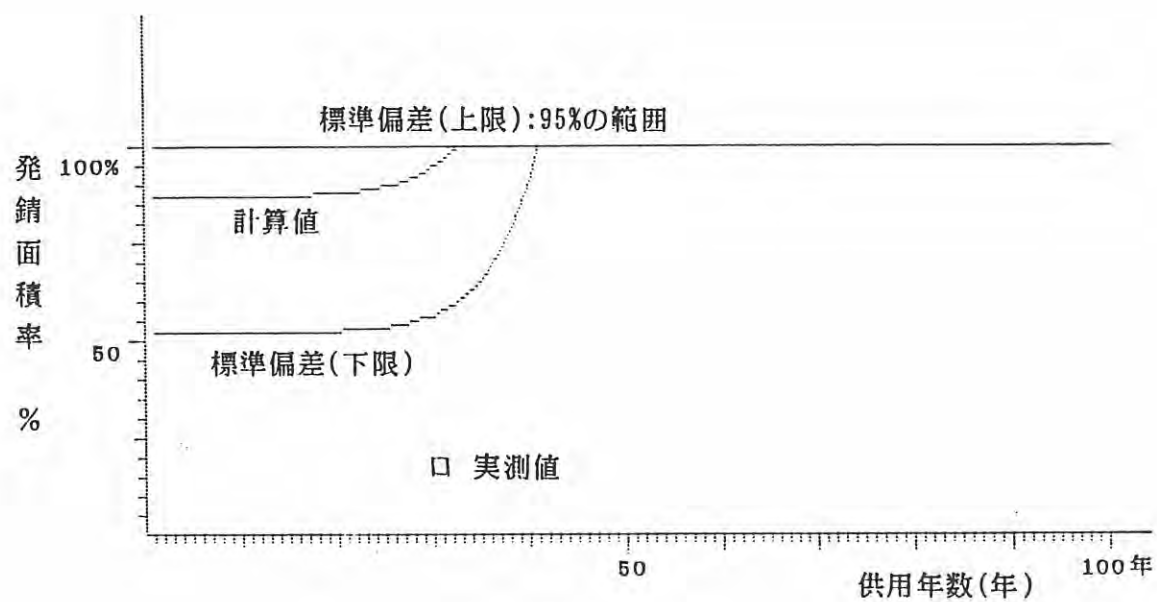
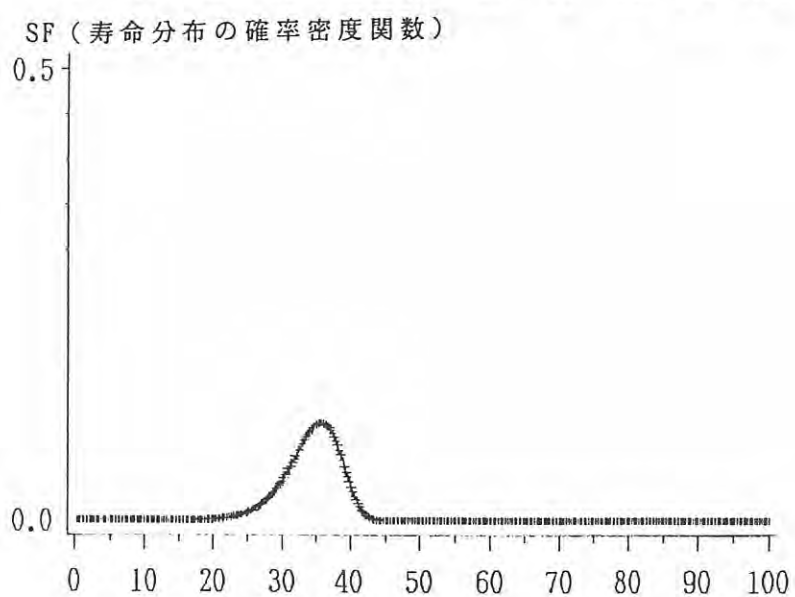
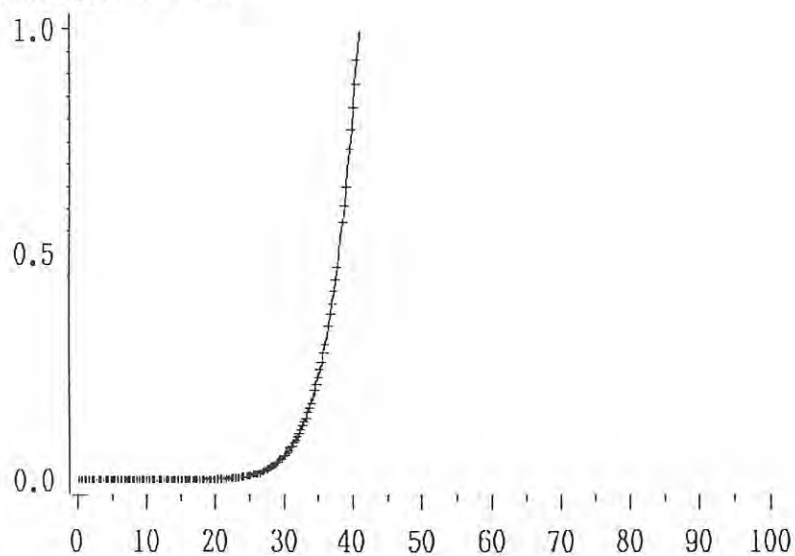


Fig.3.1.4.18 No.18

すべてのFig.を見てわかるとうり，すべての構造物について計算値が実測値より大きい値を示しているが，これにより計算値に対して実測値のばらつきの95%以内のものがとる範囲内に収まることがわかった．よって，本研究に用いた耐用年数予測評価のプログラムは，かなりよい精度を持っていることがわかった．

3. 信頼性解析結果 RAMD(故障率関数)



R (信頼度関数): $R(t)$ = t 年の時の健全な桁数/全桁数

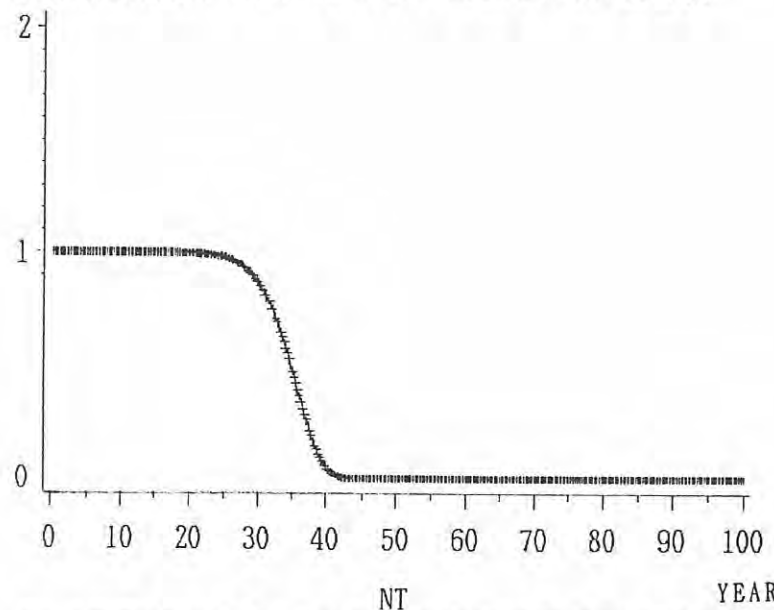


Fig. A.4.1 No.1の故障率関数, 寿命分布の確率密度関数及び信頼度関数

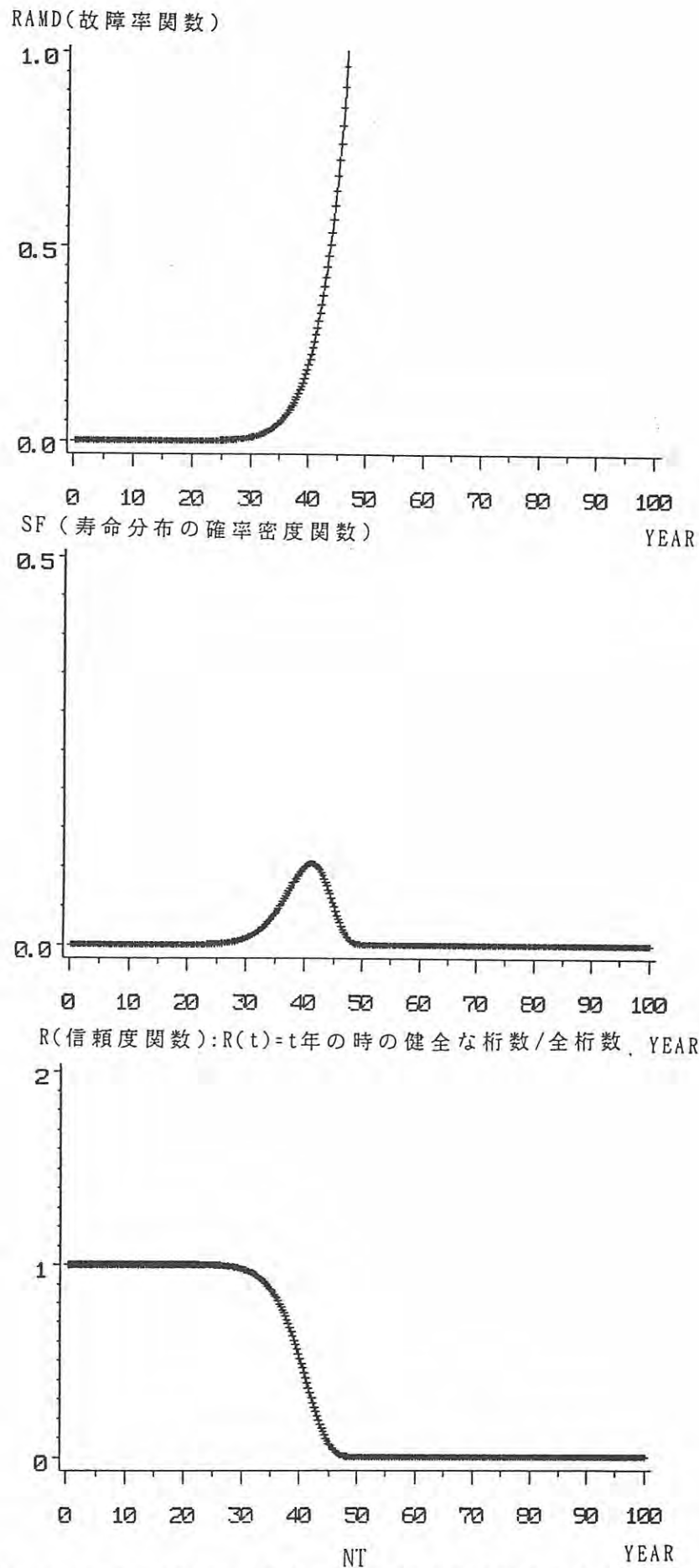
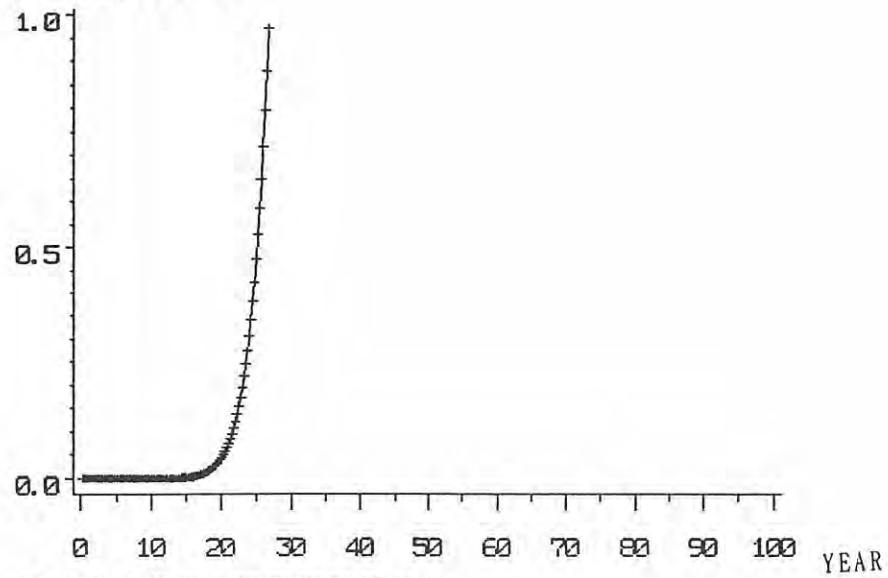
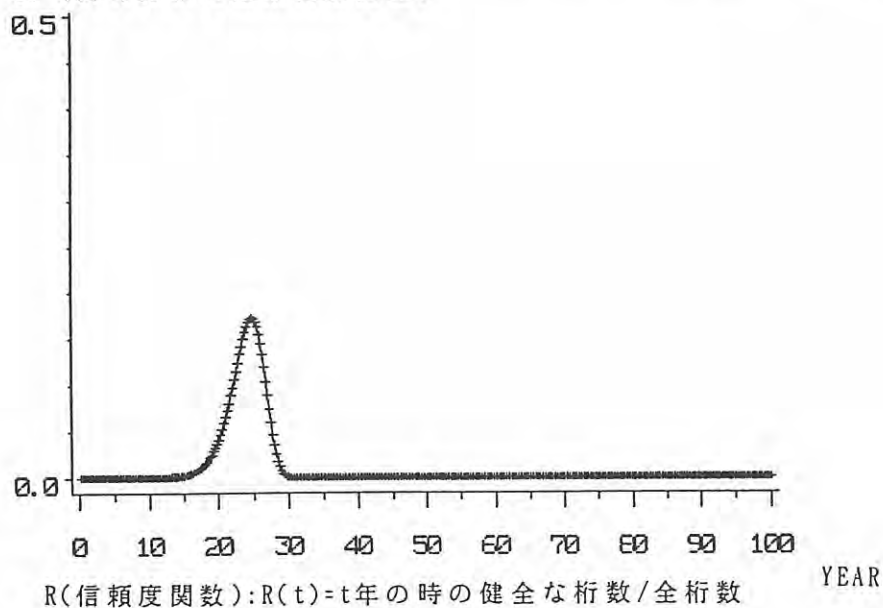


Fig. A. 4. 2 No. 2の故障率関数, 寿命分布の確率密度関数及び信頼度関数

RAMD(故障率関数)



SF (寿命分布の確率密度関数)



R(信頼度関数): $R(t)$ = t年の時の健全な桁数/全桁数

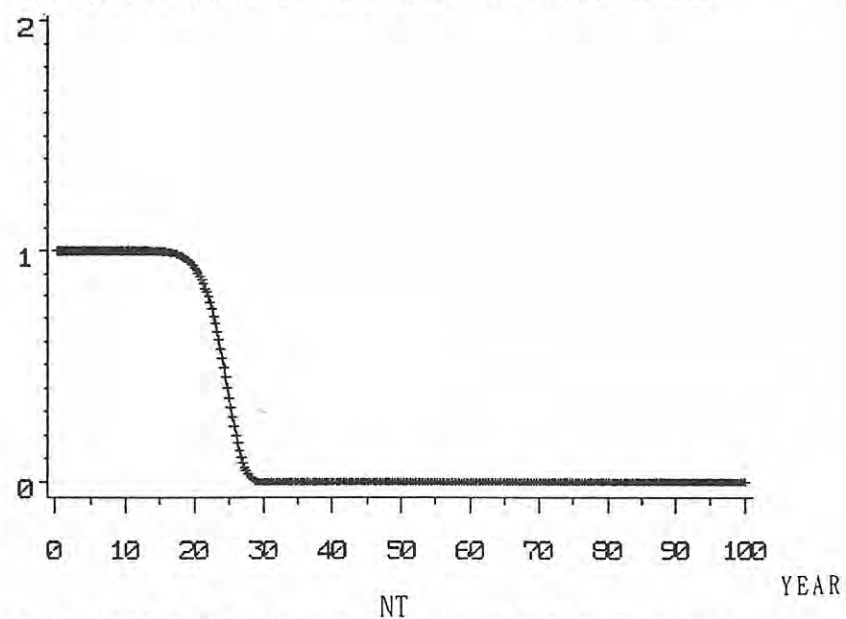


Fig. A. 4. 3 No. 3の故障率関数, 寿命分布の確率密度関数及び信頼度関数

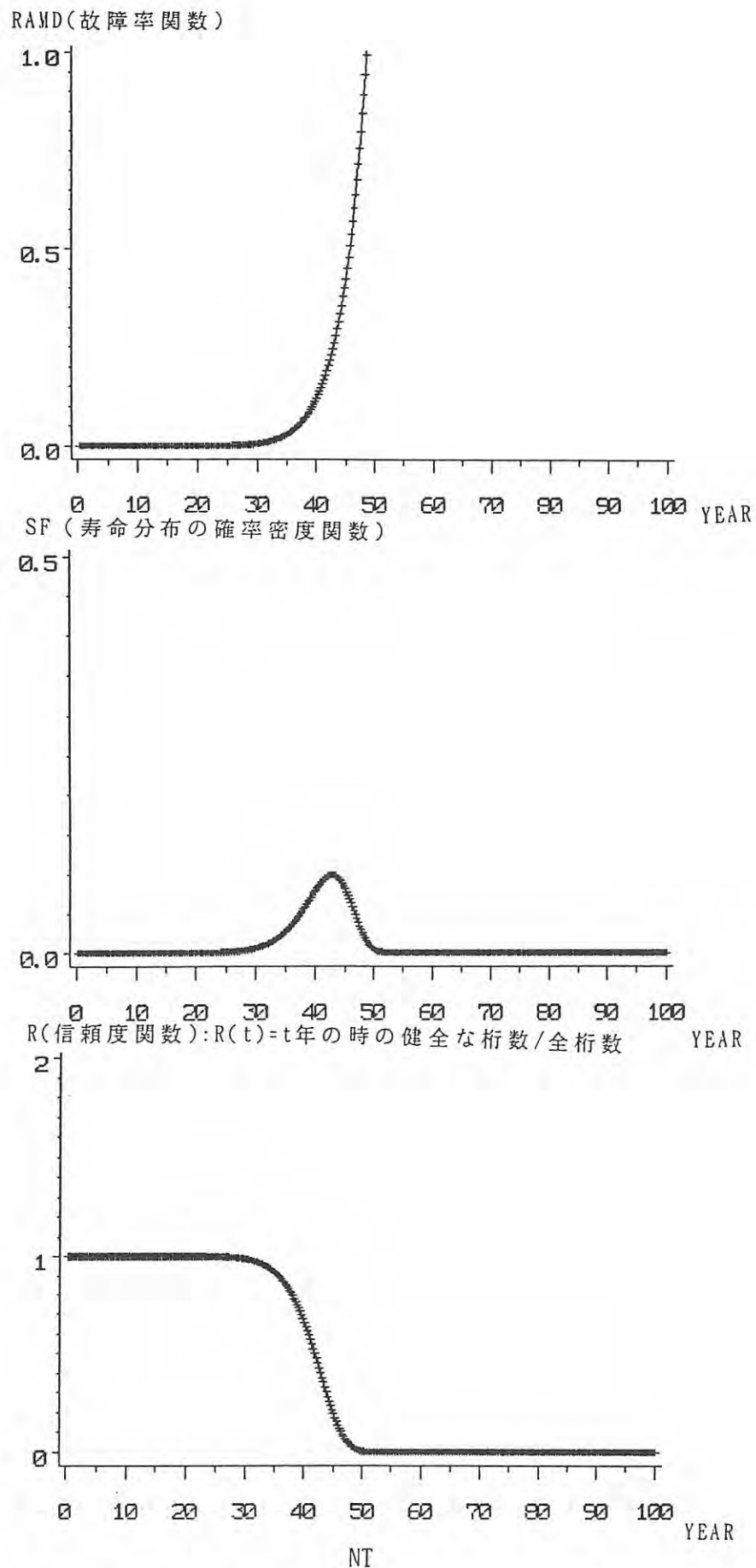


Fig. A.4.4 No.4の故障率関数, 寿命分布の確率密度関数及び信頼度関数

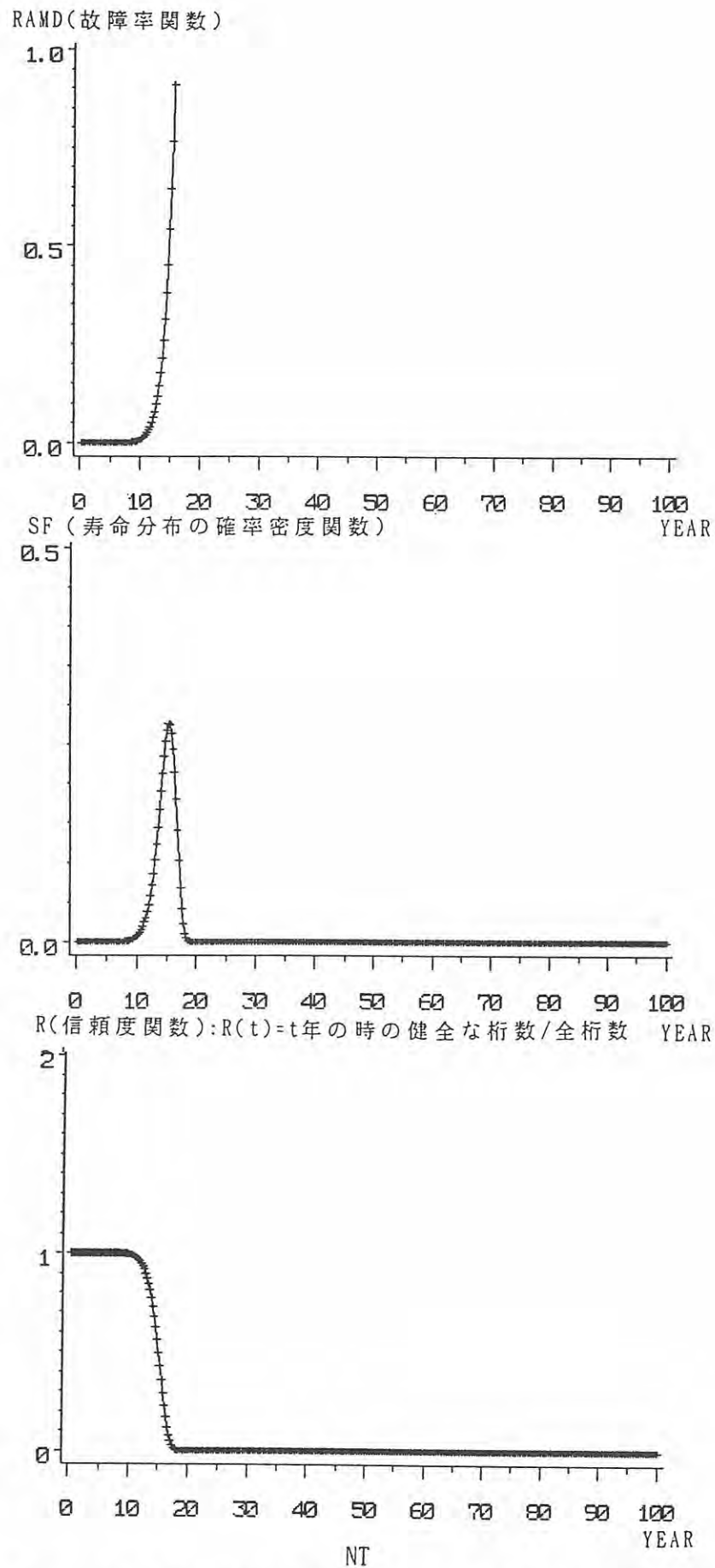


Fig. A. 4. 5 No. 5の故障率関数, 寿命分布の確率密度関数及び信頼度関数

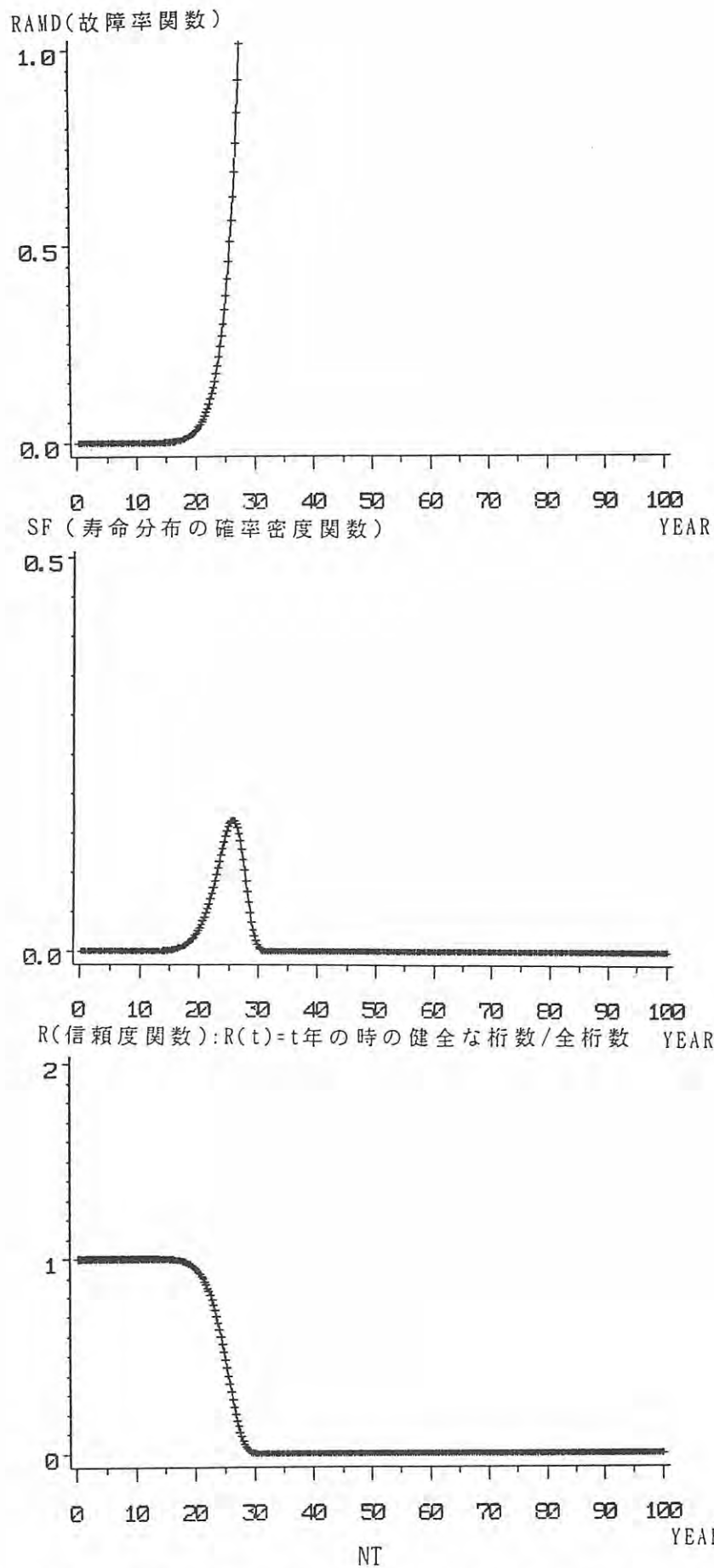


Fig. A. 4. 6 No. 6の故障率関数, 寿命分布の確率密度関数及び信頼度関数

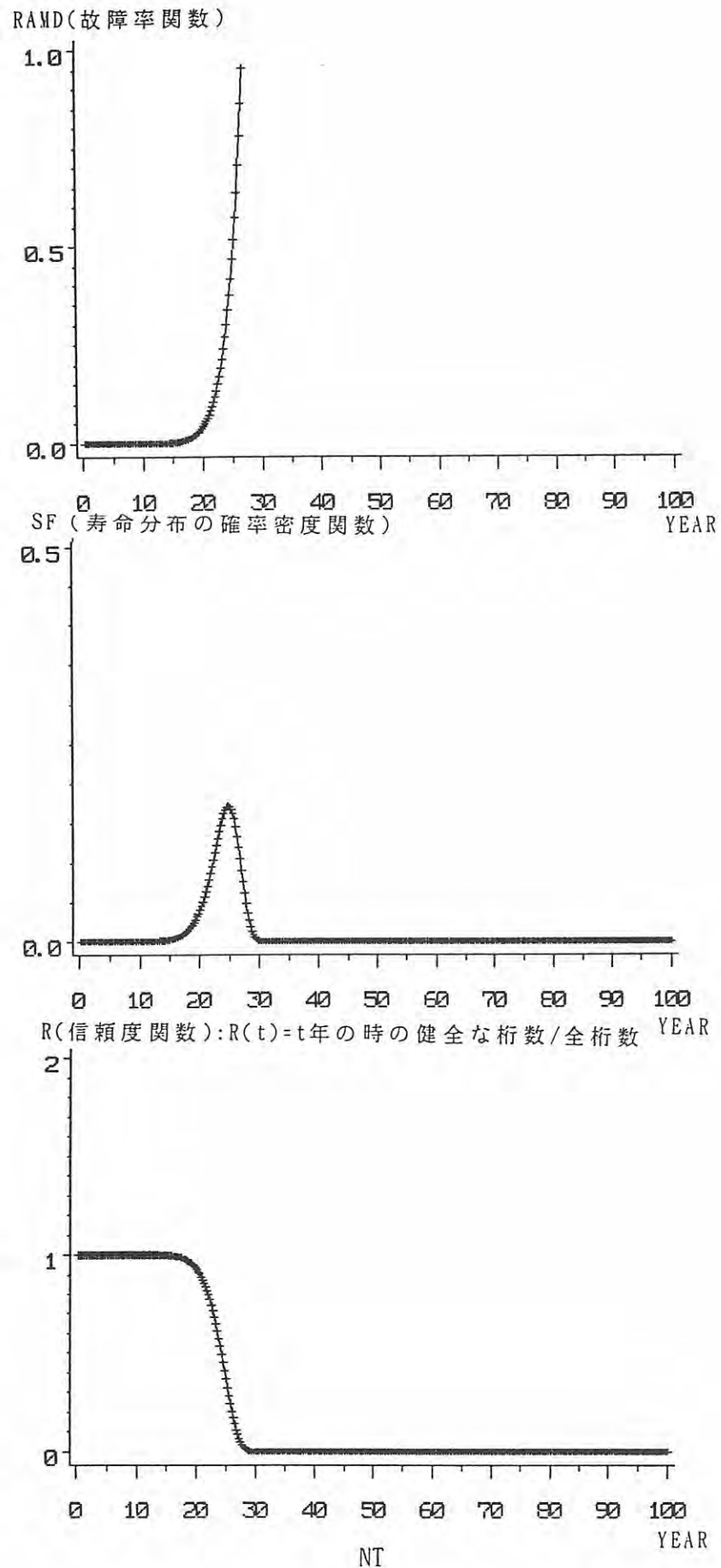


Fig. A. 4. 7 No. 7の故障率関数, 寿命分布の確率密度関数及び信頼度関数

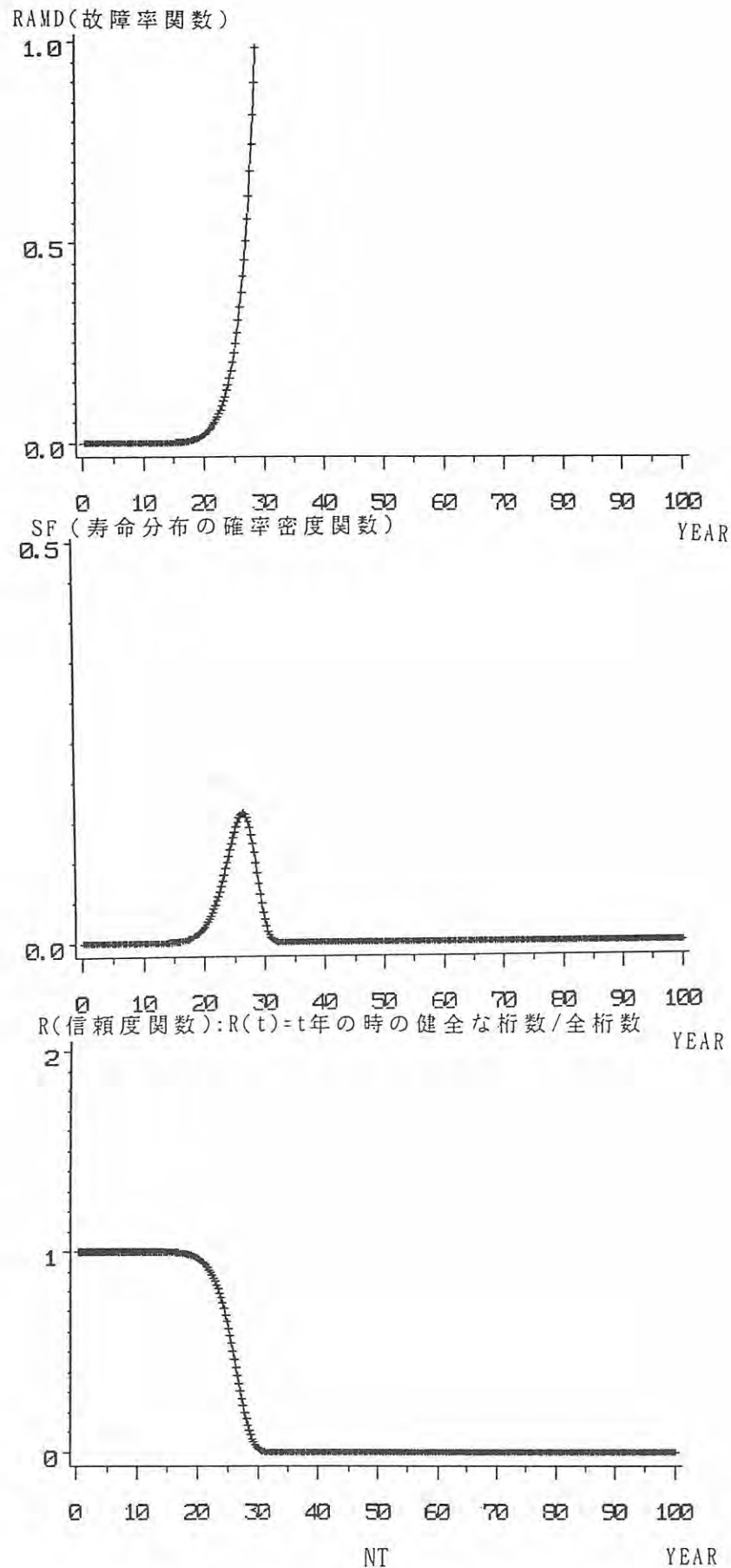


Fig. A. 4. 8 No. 8の故障率関数, 寿命分布の確率密度関数及び信頼度関数

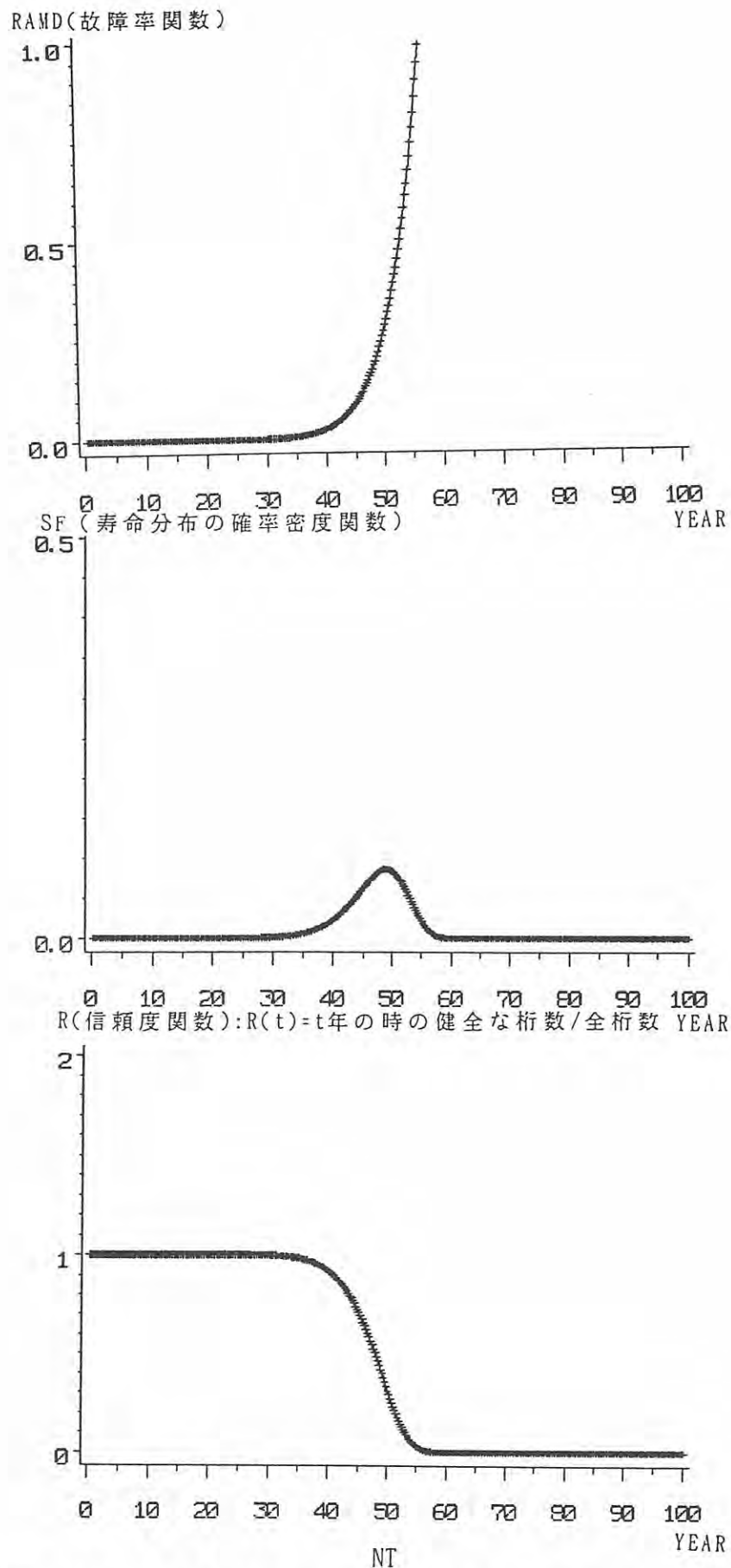


Fig. A. 4.9 No. 9の故障率関数, 寿命分布の確率密度関数及び信頼度関数

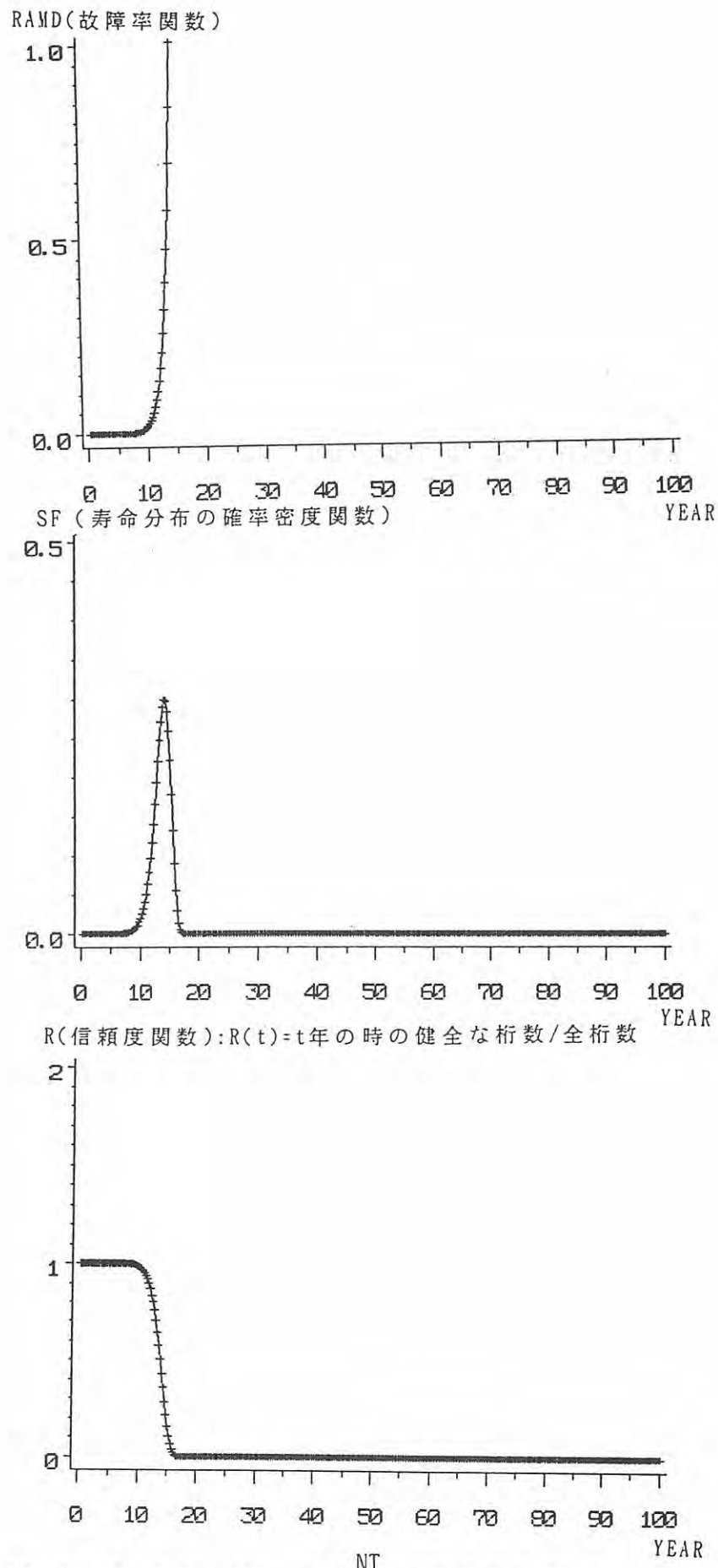


Fig. A. 4. 10 No. 10の故障率関数, 寿命分布の確率密度関数及び信頼度関数

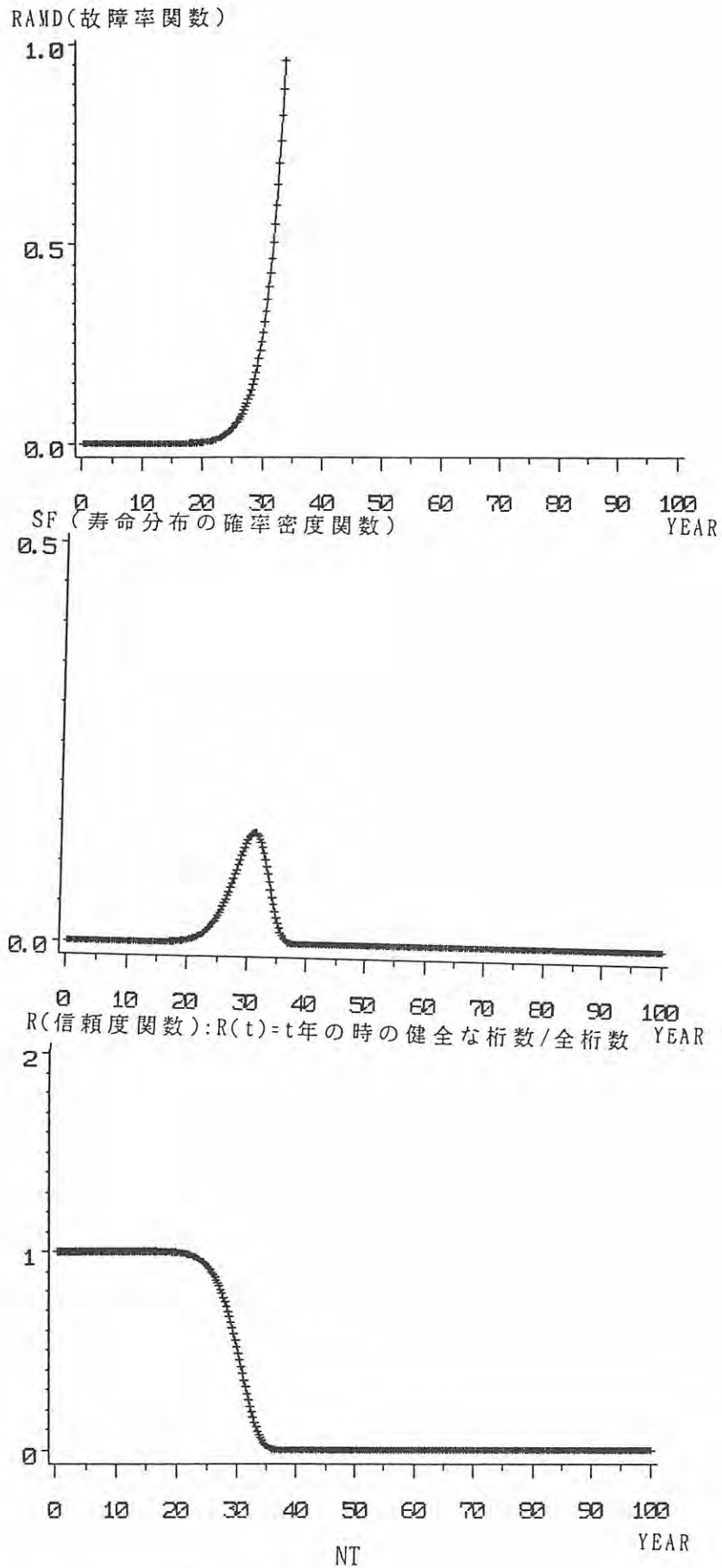
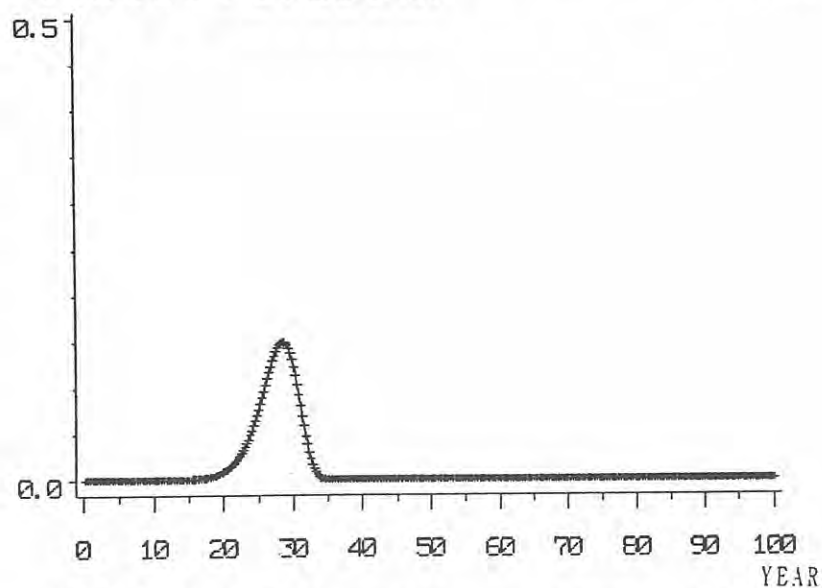
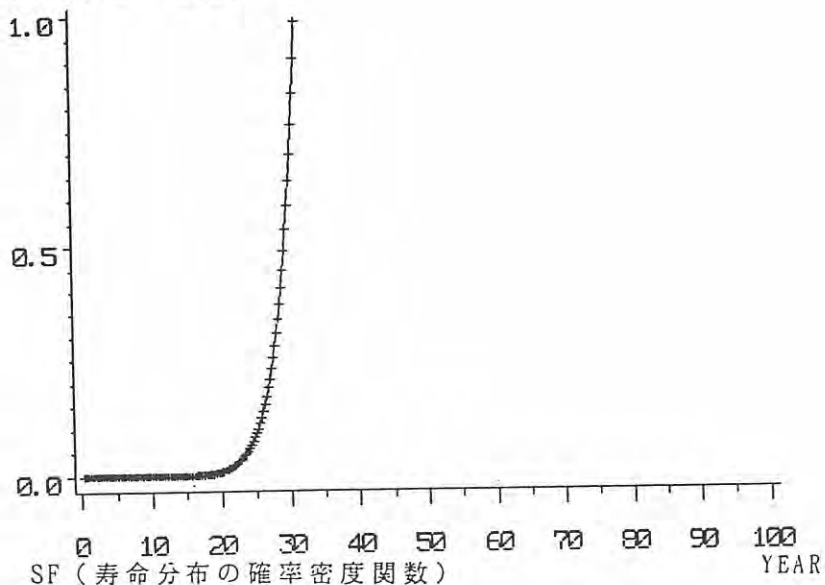
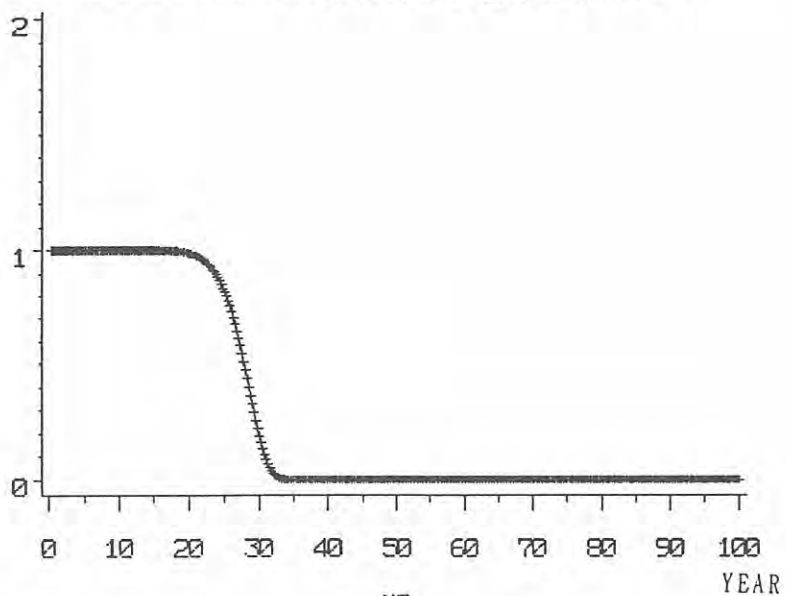


Fig. A. 4. 11 No. 11の故障率関数, 寿命分布の確率密度関数及び信頼度関数

RAMD(故障率関数)



R(信頼度関数): $R(t)$ = t年の時の健全な桁数/全桁数



NT

Fig. A. 4. 12 No. 12の故障率関数, 寿命分布の確率密度関数及び信頼度関数

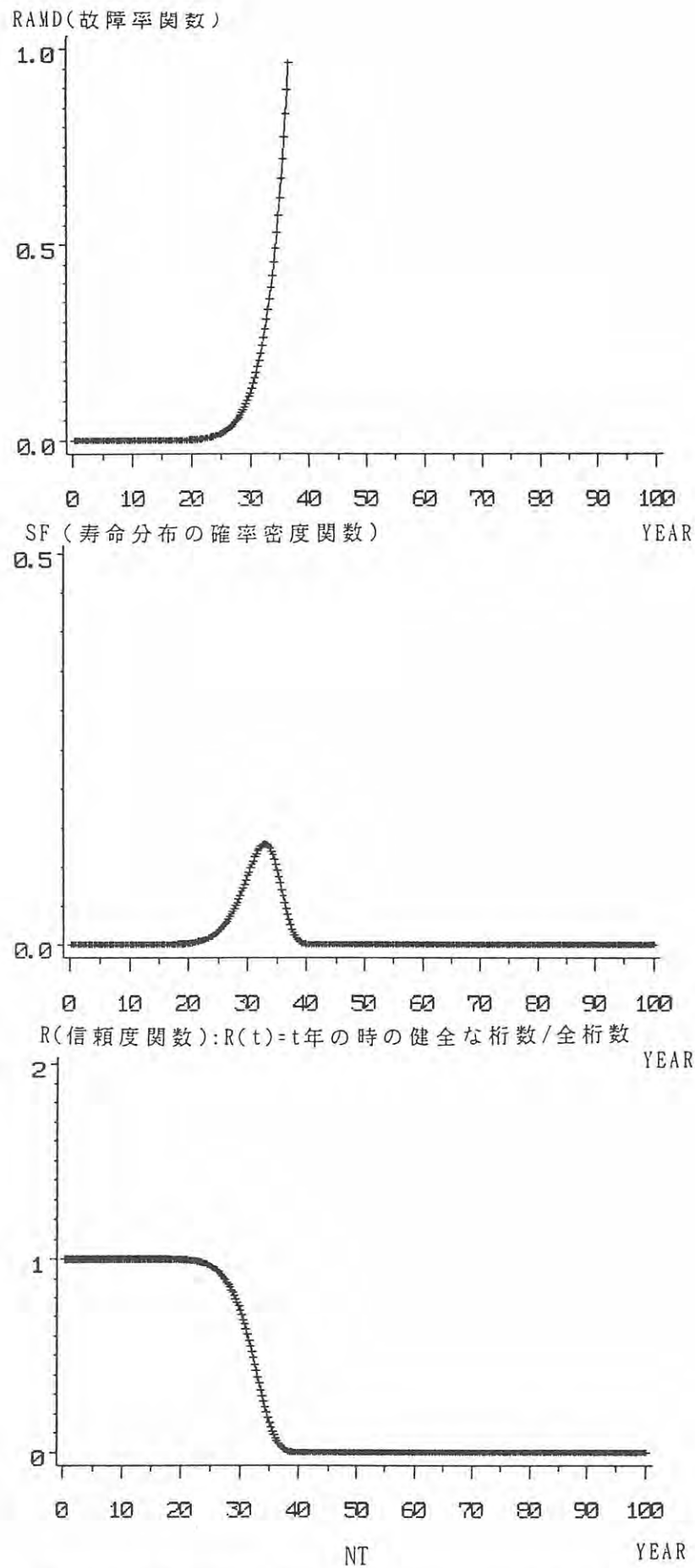


Fig. A.4.13 No.13の故障率関数, 寿命分布の確率密度関数及び信頼度関数

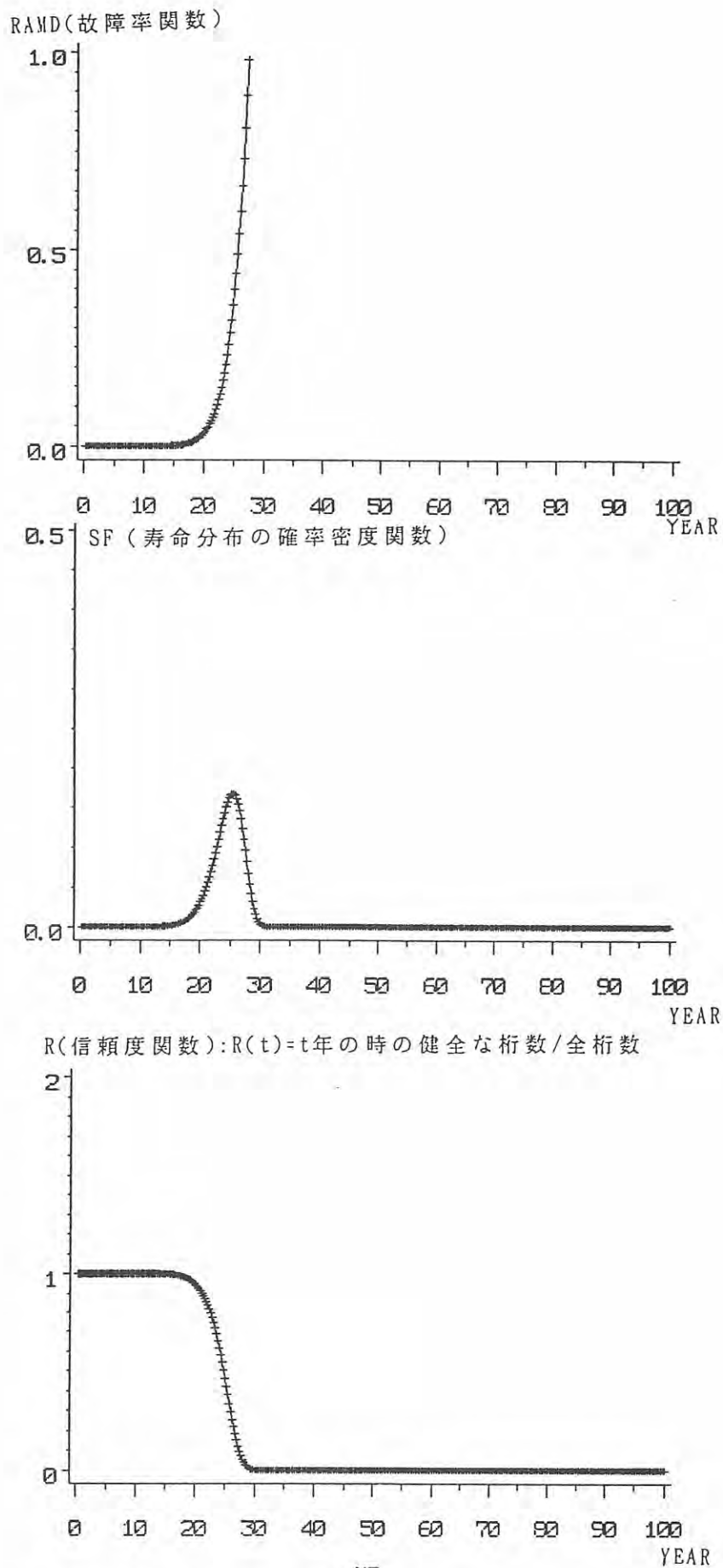


Fig. A. 4. 14 No. 14の故障率関数, 寿命分布の確率密度関数及び信頼度関数

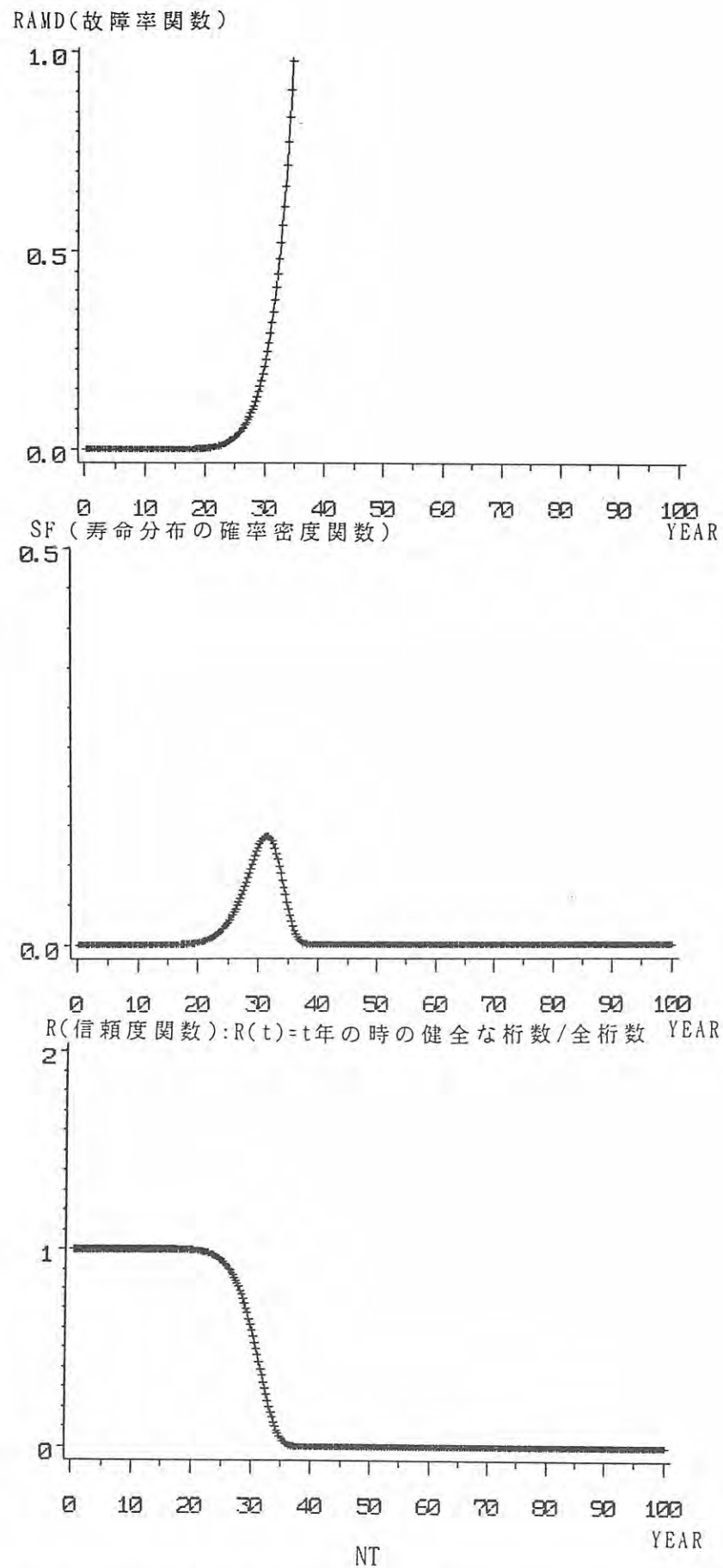


Fig. A. 4. 15 No. 15の故障率関数, 寿命分布の確率密度関数及び信頼度関数

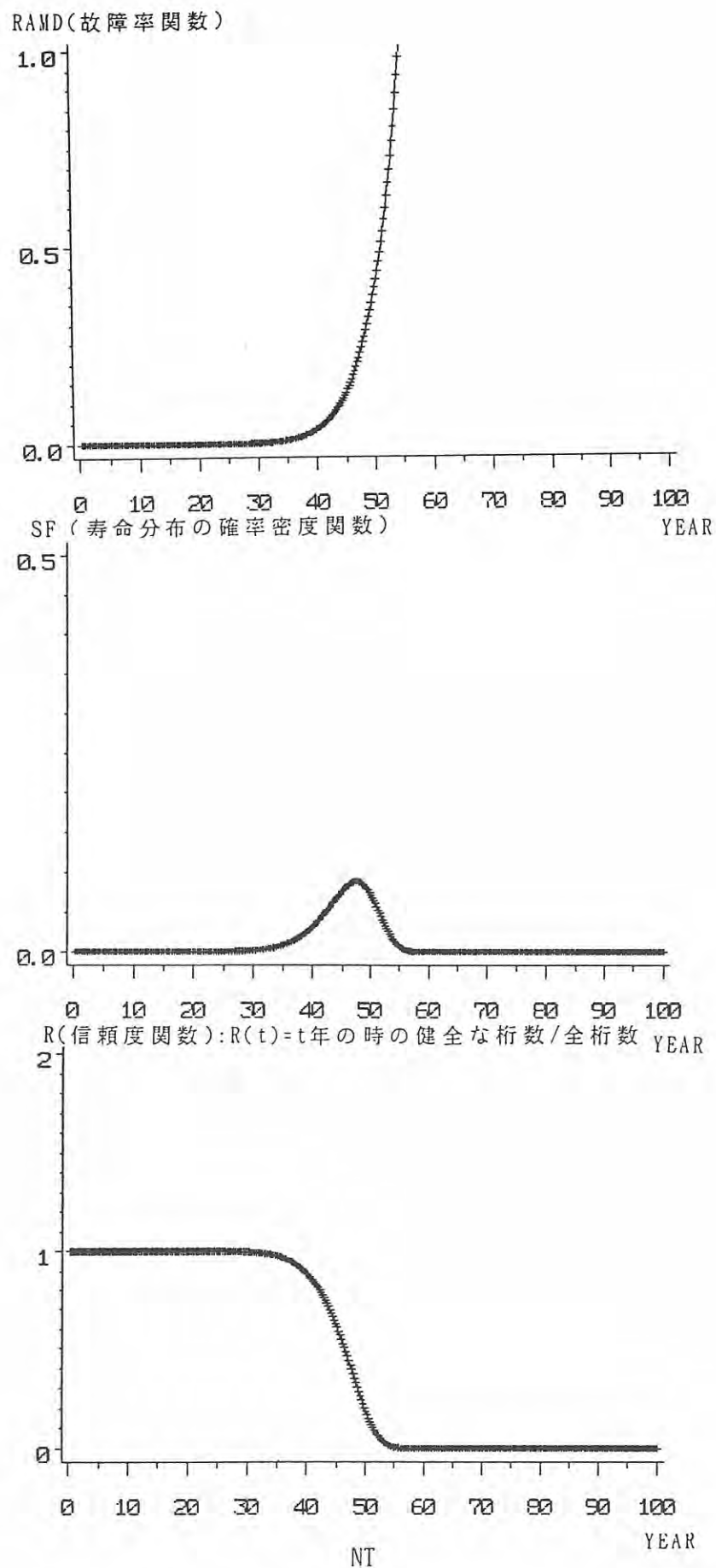


Fig. A. 4. 16 No. 16の故障率関数, 寿命分布の確率密度関数及び信頼度関数

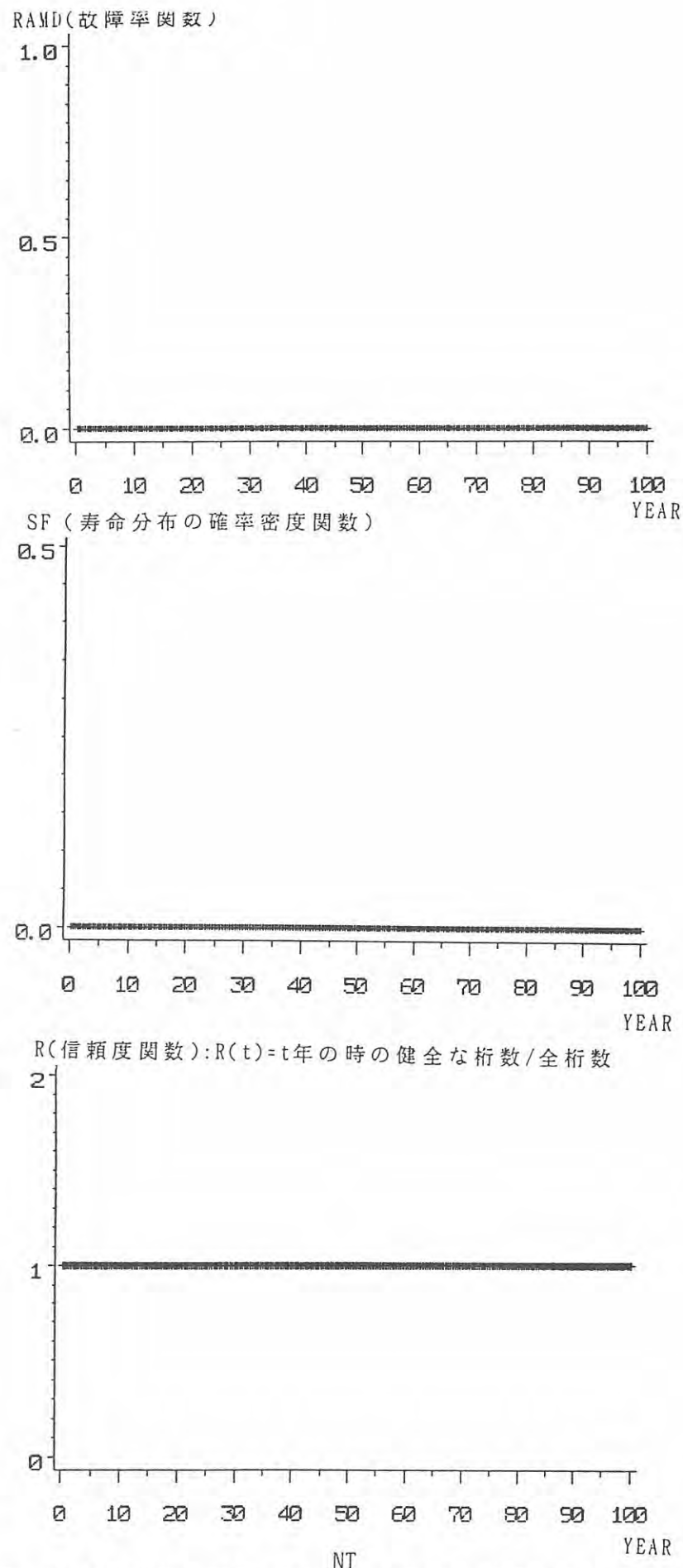


Fig. A. 4. 17 No. 17の故障率関数, 寿命分布の確率密度関数及び信頼度関数

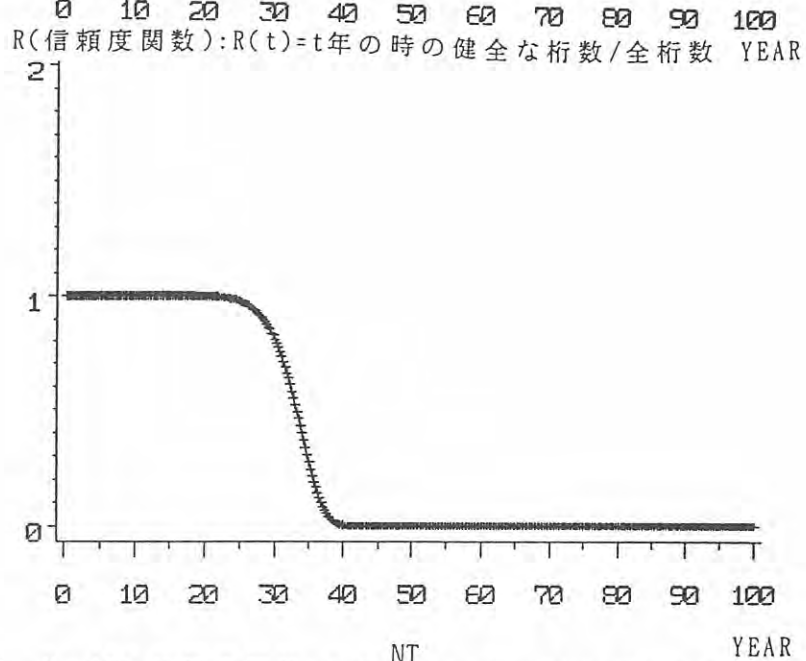
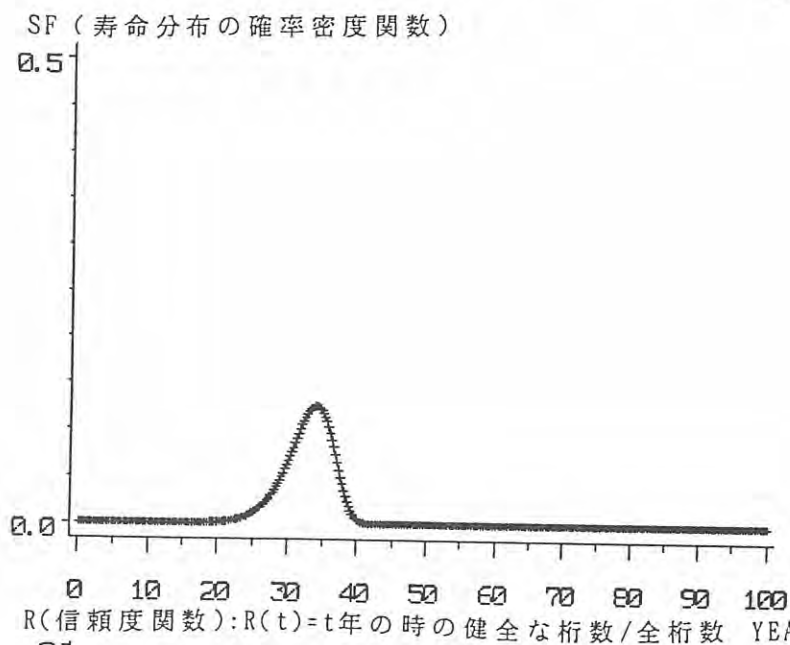
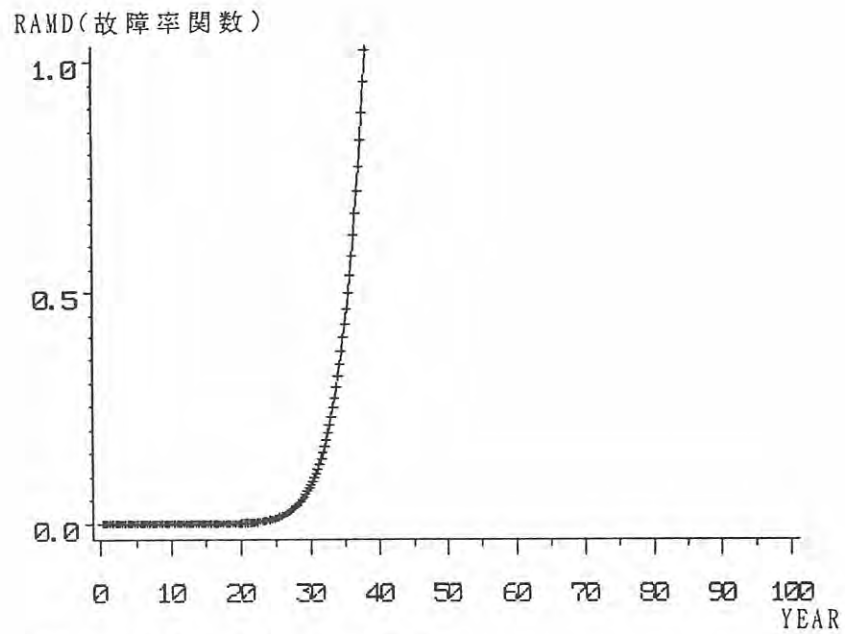


Fig. A. 4. 18 No. 18の故障率関数, 寿命分布の確率密度関数及び信頼度関数

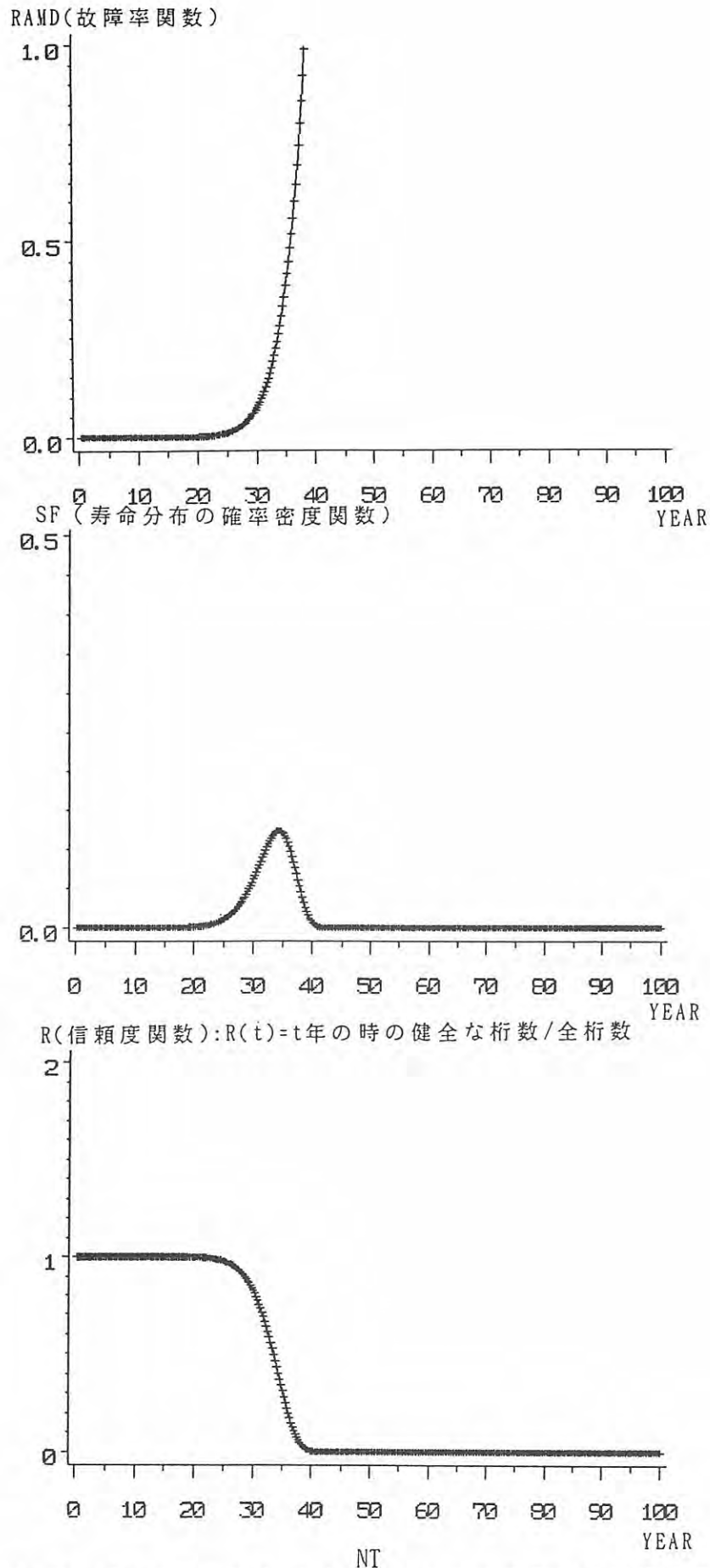


Fig. A. 4. 19 No. 19の故障率関数, 寿命分布の確率密度関数及び信頼度関数