

活用事例②：ひび割れが生じた橋梁上部工（RC 桁）の評価事例

1. 概要

1.1 対象構造物の概要

構造形式：単純 RCT 桁，逆 T 式橋台

橋 長：10.6m， 支間長：10.1m

供用開始：1982 年（昭和 57 年）

設計基準：昭和 55 年道路橋示方書

環境条件：市街地の道路橋（大型車交通量は架橋当時から現在まで大きな変化はない）

使用材料：AE 普通ポルトランドセメント（上部工）

交差条件：損傷状態が同一でも交差条件の違いにより対策に差異が生じる 2 ケースを設定

- ・ CASE1：河川（桁下空間の利用なし）
- ・ CASE2：道路（第三者の利用あり）

1.2 維持管理計画

設計耐用期間：100 年

維持管理区分：構造物や路線の重要度，残存供用期間等を考慮して事後維持管理と設定

1.3 全体的な流れ

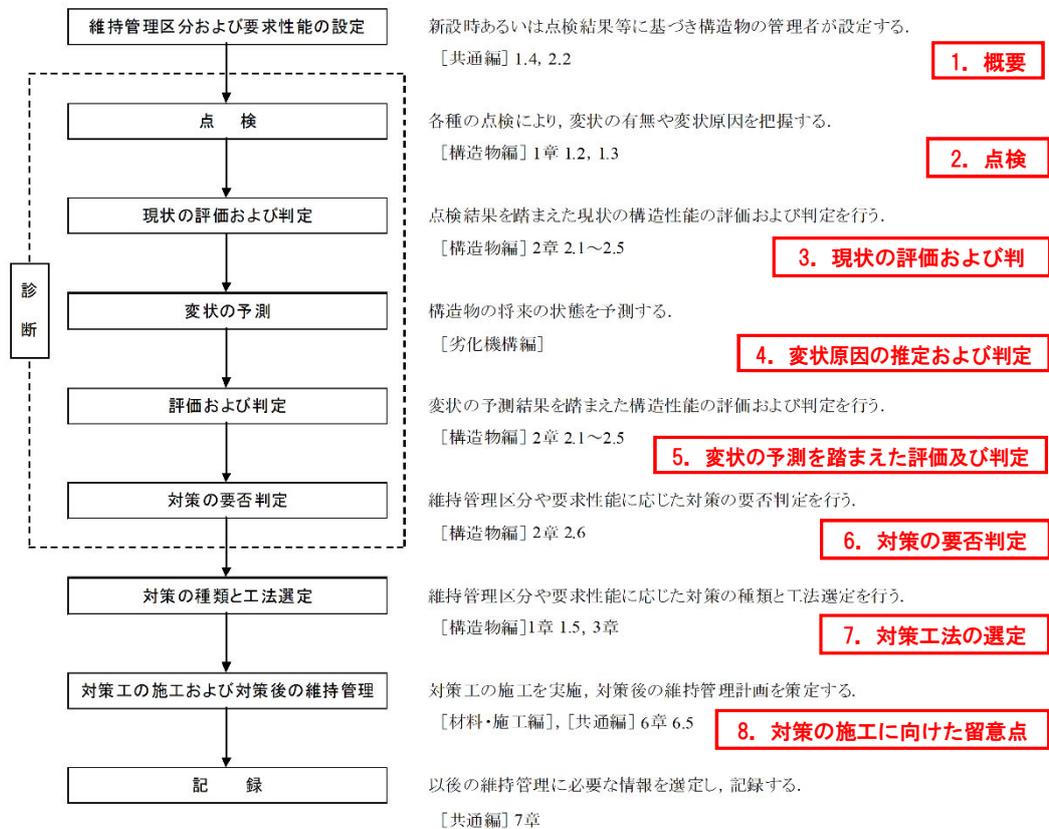


図 1.1 対策に至るまでの全体的な流れ※1

※1 本指針 [構造物編] p.1. 図-1.1.1

2. 点検

2.1 点検概要

近接目視点検を実施して、外観変状を調査した。ここで、点検を実施するにあたっては、本指針〔構造物編〕のRC桁の重点点検箇所留意して行った。

2.2 点検結果（主桁のウェブ下面および側面）

T桁のウェブ下面から側面にかけて、コンクリートに橋軸直角方向の複数本のひび割れ（ひび割れ幅：0.3mm）が確認されたが、遊離石灰や錆汁等の析出物は見られない（図 2.1 参照）。また、前回の 2013 年点検からひび割れ幅の変動もない（表 2.1 参照）。

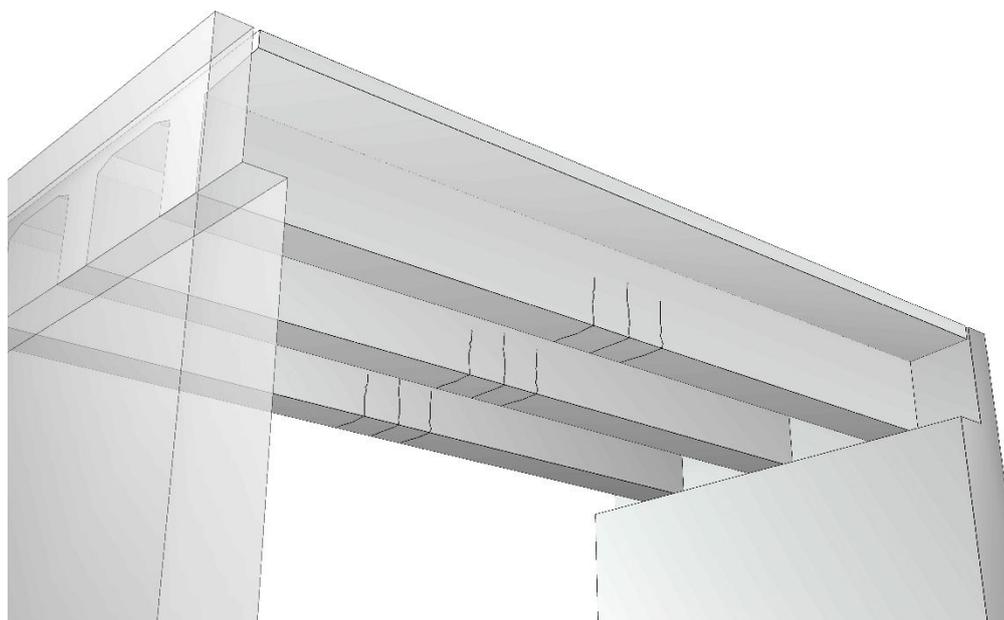


図 2.1 主桁（T桁）で確認された外観変状

表 2.1 支間中央の最大ひび割れ幅

調査年次	2013 年	2018 年
ひび割れ幅 w (mm)	0.30	0.30

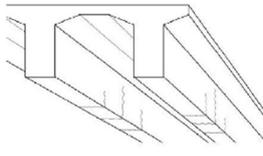
3. 現状の評価および判定

3.1 評価および判定の概要

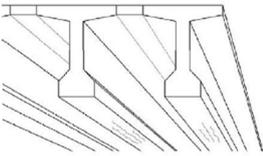
前頁の結果に基づいて、本指針[構造物編]の「2.5 構造性能の評価および判定」に示した構造性能評価判定表により行う(表 3.1 参照)。

表 3.1 構造性能評価判定表[RCT 桁]※2

構造物	部位	変状パターン	変状内容	想定される変状原因	外観変状の程度	現状の構造性能に対する評価								構造性能レベル (レベル=1~4)			
						安全性				使用性				安全性	使用性		
						部材破壊			機能安全	快適性			脆断性				
						破壊	疲労	安定		走行限界 たわみ	第三者影響度 限界 剥落	走行性 歩行性 たわみ		外観 ひび割れ	騒音振動	水密性 気密性 透気性 など	
RCT 桁	支間中央部	b-1	主桁下縁付近 (橋軸直角方向ひび割れ)	曲げ耐力不足、過荷重など	0.0mm ≤ w < 0.2mm	●	—	—	—	●	—	●	—	—	1	1	
					0.2mm ≤ w < 0.3mm	●	—	—	—	●	—	●	—	—	—	1	1
					0.3mm ≤ w < 0.4mm	●	—	—	—	▲	—	▲	—	—	—	1	2
					0.4mm ≤ w	▲	—	—	—	▲	—	▲	—	—	—	2	2
		b-2	主桁下縁付近 (橋軸方向ひび割れ)	塩害など材料劣化	外観変状なし	●	—	—	—	●	—	●	—	—	1	1	
					外観変状なし (錆び腐食開始するが、目視確認不 鋼材に沿った腐食ひび割れ発生 箇所、部分的に腐食が激化し 腐食ひび割れ多数、ひび割れ幅増大 等)、乗員乗客が多数発生	●	—	—	—	●	—	●	—	—	1	1	
					鋼材に沿った腐食ひび割れ発生 箇所、部分的に腐食が激化し 腐食ひび割れ多数、ひび割れ幅増大 等)、乗員乗客が多数発生	▲	—	—	—	×	—	▲	—	—	3	2	



図b-1 主桁下縁付近の橋軸直角方向のひび割れ



図b-2 主桁下縁付近の橋軸方向のひび割れ

要求性能に対する評価(構造性能への影響度)

- : 影響なし(要求性能を満足している)
- ▲ : 影響あり(性能が低下している)
- × : 性能不足(性能が不足しているか、その可能性がある)

構造性能レベル

- レベル1 : 性能に影響はないが、外観変状が認められる
- レベル2 : 性能は低下しているが、補修で性能回復が可能
- レベル3 : 性能は低下しているが、大規模補修や補強で性能回復が可能
- レベル4 : 性能が低下し、性能不足となっている

※2 本指針 [構造物編] p.124. 図一解 2.5.6(20)構造性能評価判定表 (RC 桁)

3.2 評価および判定結果

RCT 桁の支間中央部付近では、ウェブ下面から側面に伸びる 0.4mm 未満のひび割れ (w=0.30mm) が発生している。

したがって、表 3.1 に基づいて評価した場合には、安全性に対して影響はなく、使用性に対しては性能が低下している状態であると判断される。

この評価をもとに構造性能のレベルを判定すると、安全性に対してはレベル1、使用性に対してはレベル2となる。

4. 変状原因の推定および予測

4.1 変状原因の推定

「2.2 点検結果」より、遊離石灰や錆汁等の析出物は見られないこと、前回の2013年点検からひび割れ幅の変動もないことから、環境作用による鋼材腐食に起因するひび割れではないものと推定される。

ひび割れ発生の原因として「①曲げひび割れ」、「②施工初期のひび割れ（温度、乾燥収縮など）」、「③スターラップの腐食によるひび割れ」が考えられるが、本変状はひび割れの幅や間隔、ひび割れの発生位置や性状、鋼材腐食の有無等から、「①曲げひび割れ」が原因であると推定される。

4.2 変状の予測

これまでの点検結果（2013年、2018年実施）より、ひび割れの幅・長さに進展のないことが確認されているため、発生原因は「永続作用（死荷重）＋変動荷重（活荷重）」による曲げひび割れと判断する。

大型車交通量は架橋当時から現在まで大きな変化はないことから、架橋条件の急激な変化がない限り、設計耐用期間内において変状が大きく進展する可能性は低いと予測する。

4.3 外観に対する評価

外観に対する評価は、本指針[構造物編]の「2.5 構造性能の評価および判定」に示したひび割れ幅^{※3}により行う。

$0.0\text{mm} \leq w < 0.2\text{mm}$	(0.2mm：JCI指針における耐久性への影響を検討すべきひび割れ幅)
$0.2\text{mm} \leq w < 0.3\text{mm}$	(0.3mm：コンクリート標示における永久荷重時に想定される最大曲げひび割れ幅で、使用性の閾値)
$0.3\text{mm} \leq w < 0.4\text{mm}$	(0.4mm：鉄筋降伏時の残留ひび割れで、安全性の暫定閾値)
$0.4\text{mm} \leq w$	

※3 本指針 [構造物編] p.103. (4)

5. 変状の予測を踏まえた評価および判定

5.1 評価および判定の概要

変状の予測結果を踏まえ、本指針 [構造物編] の「2.5 構造性能の評価および判定」に示した構造性能評価判定表により行う(表 5.1 参照)。

5.2 評価および判定の結果

前述の 4.2 より、ひび割れの幅・長さに進展のないことが確認されているため、表 3.1 に基づいて評価した場合、現状の構造性能レベルを判定すると安全性はレベル 1、使用性はレベル 2 となる。

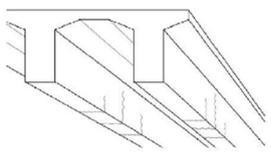
ただし、この性能評価は、今後も活荷重や死荷重に変更や変化がない場合を想定している。したがって、これらに変更・変化する場合には、改めて調査・判定を行わなければならないことに留意する必要がある。

表 5.1 変状の予測結果を踏まえた構造性能判定

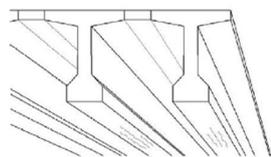
	安全性		使用性	
	要求性能に対する評価	構造性能レベル	要求性能に対する評価	構造性能レベル
過年度点検結果	● (満足)	1	▲ (性能低下)	2
現時点	● (満足)	1	▲ (性能低下)	2
耐用期間 (竣工後 100 年)	● (満足)	1	▲ (性能低下)	2

表 5.2 構造性能評価判定表[RCT 桁]※4

構造物	部位	変状パターン	変状内容	想定される変状原因	外観変状の程度	現状の構造性能に対する評価								構造性能レベル (レベル1~4)				
						安全性				使用性				安全性	使用性			
						部材破壊			機能安全	快適性			機能性					
						破壊	疲労	安定		走行限界 たわみ	第三者影響度 限界 剥落	走行性 歩行性 たわみ		外観 ひび割れ	騒音振動	水密性 気密性 透気性 など		
RC 桁	支間中央部	b-1	主桁下縁付近 (橋軸直角方向ひび割れ)	曲げ耐力不足、過荷重など	0.0mm ≦ w < 0.2mm	●	—	—	—	●	—	●	—	—	1	1		
					0.2mm ≦ w < 0.3mm	●	—	—	—	●	—	●	—	—	—	—	現時点!	—
					0.3mm ≦ w < 0.4mm	●	—	—	—	▲	—	▲	—	—	—	—	1	2
					0.4mm ≦ w	▲	—	—	—	▲	—	▲	—	—	—	—	2	2
					外観変状なし	●	—	—	—	●	—	●	—	—	—	—	1	1
	b-2	主桁下縁付近 (橋軸方向ひび割れ)	塩害など材料劣化	外観変状なし	●	—	—	—	●	—	●	—	—	1	1			
	外観変状なし (縦筋露出開始するが、目視確認不 可能)			●	—	—	—	●	—	●	—	—	—	1	1			
	鋼材に沿った露食ひび割れ発生 箇所、部分的剥離も発生			●	—	—	—	×	—	▲	—	—	—	3	2			
	露食ひび割れ多数、ひび割れ幅増大 箇所、剥離も発生			▲	—	—	—	×	—	×	—	—	—	3	3			
	外観変状なし			●	—	—	—	●	—	●	—	—	—	—	1	1		



図b-1 主桁下縁付近の橋軸直角方向のひび割れ



図b-2 主桁下縁付近の橋軸方向のひび割れ

要求性能に対する評価 (構造性能への影響度)

- : 影響なし (要求性能を満足している)
- ▲ : 影響あり (性能が低下している)
- × : 性能不足 (性能が不足しているか、その可能性がある)

構造性能レベル

- レベル1 : 性能に影響はないが、外観変状が認められる
- レベル2 : 性能は低下しているが、補修で性能回復が可能
- レベル3 : 性能は低下しているが、大規模補修や補強で性能回復が可能
- レベル4 : 性能が低下し、性能不足となっている

※4 本指針 [構造物編] p.124. 図一解 2.5.6(20)構造性能評価判定表 (RC 桁)

6. 対策の要否判定

以上より、今後、構造に影響を及ぼすような進展が考えにくい変状であるため、耐用期間内の構造性能のレベルは現状と同様に構造性能レベル2（安全性：レベル1，使用性：レベル2）であるため、使用性に対する対策の要否判定を行うこととなり、安全性に対しては影響がない状態にある。このとき、使用性の対策の要否は交差条件により異なる。

6.1 CASE1：交差条件_河川（桁下空間の利用なし）

桁下空間の利用がないため、使用性（外観）に対する性能回復の必要性は低いと判断されることから、安全性：レベル1，使用性：レベル1となる。

表 6.1 維持管理区分と構造性能レベルに応じた対策工の関係※5

		維持管理区分			
		維持管理区分A (予防維持管理)	維持管理区分B (事後維持管理)	維持管理区分C (観察維持管理)	
構造性能 のレベル	レベル1	予防維持管理の場合には、補修時期や効果を検討した後に、予算等の制約条件を考慮した上で最適な対策工を選択する。	①	現状(竣工後37年) ～耐用期間(竣工後100年)	
	レベル2		②		
	レベル3		③		①, ④
	レベル4		④		④

ここに、

1) 構造性能レベル

レベル1：性能に影響はないが、外観変状が認められるレベル。

レベル2：性能は低下しているが、補修で性能回復が可能なレベル。

レベル3：性能は低下しているが、大規模補修や補強で性能回復が可能なレベル。

レベル4：性能が低下し、性能不足となっているレベル。

2) 対策の種類

①：経過観察（無処置）・点検強化

②：補修（軽微）

③：補修（大規模）

④：供用制限・解体撤去（または更新）

※5 本指針 [構造物編] p.10. 表一解 1.5.1

6.2 CASE2：交差条件_道路（第三者の利用あり）

第三者の利用があることから、補修（軽微）により使用性（外観）の回復が必要であると判断する（表 6.2 参照）。なお、使用性とは構造物の使用者が快適に構造物を使用、もしくは周辺の人が構造物によって不快となることのないようにするための性能および構造物に要求されるそれ以外の諸機能を適切に確保するための性能であり、ひび割れの外観は第三者に不安感を与える恐れがある。

表 6.2 維持管理区分と構造性能レベルに応じた対策工の関係^{※6}

		維持管理区分		
		維持管理区分A (予防維持管理)	維持管理区分B (事後維持管理)	維持管理区分C (観察維持管理)
構造性能 のレベル	レベル1	予防維持管理の場合には、補修時期や効果を検討した後に、予算等の制約条件を考慮した上で最適な対策工を選択する。	①	①
	レベル2		②	① 現状(竣工後 37年) ~耐用期間(竣工後 100年)
	レベル3		③	①, ④
	レベル4		④	④

ここに、

1) 構造性能レベル

レベル1：性能に影響はないが、外観変状が認められるレベル。

レベル2：性能は低下しているが、補修で性能回復が可能なレベル。

レベル3：性能は低下しているが、大規模補修や補強で性能回復が可能なレベル。

レベル4：性能が低下し、性能不足となっているレベル。

2) 対策の種類

- ①：経過観察（無処置）・点検強化
- ②：補修（軽微）
- ③：補修（大規模）
- ④：供用制限・解体撤去（または更新）

※6 本指針 [構造物編] p.10. 表一解 1.5.1

7. 対策工法の選定

7.1 対策の種類

7.1.1 CASE1：交差条件_河川（桁下空間の利用なし）

使用性（外観）に対する影響はないが、安全性については、レベル1「経過観察（無処置）・点検強化」が必要である。

7.1.2 CASE2：交差条件_道路（第三者の利用あり）

構造性能レベルに応じた対策の種類は、維持管理区分を「事後維持管理」とした場合には、安全性についてはレベル1「経過観察（無処置）・点検強化」、使用性（外観）としてレベル2「補修（軽微）」となる。

補修（軽微）の場合の主たる適用範囲は、①構造物や部材の変状（ひび割れ、剥離等）に対して行う修復・復旧、②第三者被害予防対策、③構造物の外観を向上する目的で行われる修景、④変状の防止あるいは進行の抑制を目的とした劣化抑制対策である。

本例では維持管理区分は事後維持管理であることから、④の予防保全的な対策は不要である。また、損傷はひび割れのみであることから、②第三者被害予防対策も不要となる。

よって、①構造物や部材の変状（ひび割れ、剥離等）に対して行う修復・復旧、③構造物の外観を向上する目的で行われる修景を講じるものとする。

7.2 補修工法の選定

1) 変状の修復・復旧

変状の種類は「曲げひび割れ」である。しかし、事後維持管理としてひび割れ補修を実施しなかった場合には、変状箇所を起点として劣化因子（酸素、水、塩分、二酸化炭素等）がコンクリート内部に侵入し、鋼材腐食による耐久性低下が懸念される。したがって、「内部の鋼材に対する耐久性回復を目的としてひび割れ補修工法」を適用する。

表 7.1 変状毎の補修工法の選定例^{※7}

コンクリート構造物に適用される主な補修工法		コンクリート構造物に生じる代表的な変状				
		ひび割れ	剥離・剥落	鉄筋の露出・腐食	変色・遊離石灰	スケーリング
ひび割れ補修工法	表面被覆工法	○			△	
	ひび割れ注入工法	○			△	
	充填工法	△			△	
	浸透性防水材塗布工法	○			△	
表面保護工法	表面被覆工法	△	△	△	△	△
	表面含浸工法	△	△	△	△	△
	断面修復工法	△	○	○	△	○
電気化学的防食工法	電気防食工法			□		
	脱塩工法			□		
	再アルカリ化工法			□		
	電着工法	△		□		

○:一般的に適用される補修工法

△:要求性能によって適用されることがある補修工法

□:劣化機構によって適用されることがある補修工法

※7 本指針 [構造物編] p.156. 表一解 3.1.1

ひび割れ補修工法は、(1)表面被覆工法、(2)ひび割れ注入工法、(3)充填工法、(4)浸透性防水材塗布工法に分類される。

上記工法よりひび割れは開口した状態にあることから、ひび割れ注入工法を適用する。なお、補修工法の詳細や留意点については、本指針 [構造物編] の「3.2 各種補修工法の概要」を参考にするとよい。

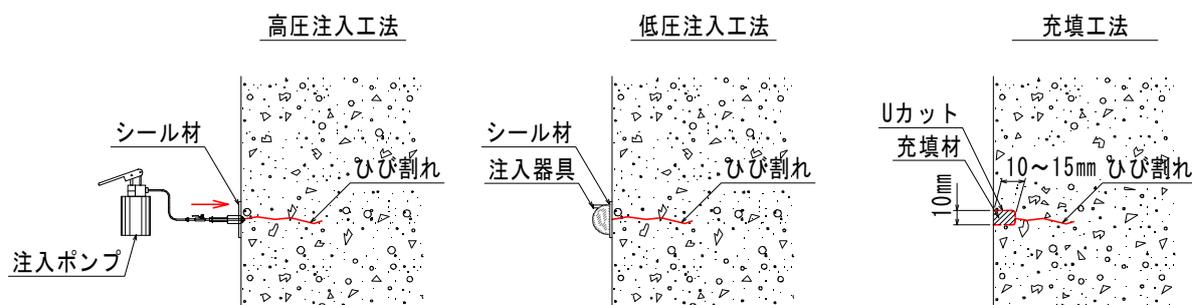


図 7.1 ひび割れ補修工法の例

なお、本例の補修対象はひび割れ幅 0.30mm であることから、本指針 [構造物編] pp.103.(4) を適用した場合「 $0.30 \leq w < 0.40$ 」となり、「鉄筋降伏時のひび割れで、安全性の暫定閾値」であると判断される。しかしながら、耐荷性照査により安全性は確認されていることから安全性の回復は不要と判断し、対策工としては鋼材腐食に対する耐久性の回復とした。

ただし、ひび割れ幅が増大した場合にはコンクリート表面の浮きや剥離等に進展する可能性があるため、他の補修工法の併用を検討する必要がある。

■注記

本例では、永続作用（死荷重）および変動荷重（活荷重）により発生した進展のないひび割れを前提としているが、架橋環境から凍害や塩害等に起因する材料劣化も懸念される。よって、本来であればこれらの劣化機構に対する将来の状態も予測した上で構造性能評価が行われるべきである。

本例では、環境作用等の影響は小さいものと仮定し、あくまでも RC 桁の進行性のないひび割れの評価事例を紹介するにとどめている。対策を行わないケースでも、定期点検等の定期的な経過観察により、ひび割れ性状（幅や長さ等）の変化を観察し、安全性に配慮していくことが重要である。

8. 対策の施工に向けた留意点

8.1 補修材料の選定に対する留意点

本指針 [材料・施工編] の「3 章 材料の品質」より、施工時期の制約等によって補修材料に求められる性能は異なることに留意する必要がある。特に、低温環境下におけるひび割れ注入工法では、「適応外気温」や「ひび割れ追従性」、「付着強度」の確認が重要となる。

注入工法に使用する材料は樹脂系や無機系に分類されるが、特に樹脂系材料は粘性や硬化特性について温度依存性が大きいいため、施工時や養生期間中の外気温が品質に与える影響が大きい。したがって、厳しい低温環境下で施工する場合には、①防寒養生等の仮設備の検討、②低温硬化特性に優れるアクリル樹脂系材料を使用、③低温環境下の室内試験が実施されている注入材を選定等の対策を講じるのがよい。使用する材料について可使温度が設定されている場合は、材料に対する要求性能とともに設計図書や仕様書に明確に記載する必要がある。

また、コンクリート内部や背面からの浸水や滲出により、ひび割れ内に流動水があることが予想される場合には、特に材料選定に留意する必要がある。

各材料の適用温度例

- | | | | |
|--------|---|--------|-----|
| ・エポキシ系 | ～ | 5℃以上 | |
| ・アクリル系 | ～ | -10℃以上 | |
| ・セメント系 | ～ | 5℃以上 | etc |

使用時の留意点の例

- | | |
|---|-----|
| <ul style="list-style-type: none"> ・エポキシ系 <ul style="list-style-type: none"> 紫外線劣化を受けやすい 湿潤環境下では、接着不良を起こす場合がある 低温硬化性に劣る 気泡がひび割れ内部に残留しないように施工を行う必要がある ・アクリル系 <ul style="list-style-type: none"> エポキシ系よりも硬化収縮が大きい 高温時の可使時間が短い 揮発性が高く臭気強い ・セメント系 <ul style="list-style-type: none"> 上記材料よりも変形性能に劣る 躯体が乾燥している場合にはドライアウトする ひび割れ内部に流動水がある場合には使用できない | etc |
|---|-----|

補修材料の選定にあたっては、本指針 [材料・施工編] の「参.1 材料の性能試験結果」を参考にするとよい。

8.2 施工方法に対する留意点

本指針[材料・施工編]の「4章 施工の留意事項」より、施工は積雪寒冷地においても適切な施工環境および施工後の要求性能を十分に確保するように実施しなければならない。特にひび割れ注入工法は、以下に示すような工程毎に留意すべき対策を指定する必要がある。

- ① 材料は、種類や環境条件に応じて適切に管理・保管方法を検討する。
- ② 施工の実施においては、気象条件や作業環境に十分な留意が必要である。
特に仮囲い等により施工時温度を管理する場合は、外気温のみならず対象物の温度についても留意する。
- ③ 下地処理は入念に行い、良好な施工条件を準備することが重要である。
なお、セメント系材料を使用する場合はひび割れ内部の先行洗浄を行うとともに、樹脂系材料を使用する場合は気泡が生じない様に留意する。
- ④ 材料や工具の取り扱いについて十分に把握していなければならない。
- ⑤ 要求性能を十分に発揮するように、所定の期間、適切な養生を実施する。

なお、施工時の留意事項については、材料に対する要求性能とともに設計図書や仕様書等に明確に記載する必要がある。

以上（技術指針の活用事例②）