

# 橋梁補修における予防保全の抱える課題について ～失敗から学んだ教訓～

高田 隆史<sup>1</sup>・濃野 大地<sup>2</sup>

<sup>1</sup>兵庫県加古川土木事務所道路第2課 (〒675-8566兵庫県加古川市加古川町寺家町天神木97-1)

<sup>2</sup>兵庫県農政環境部農林水産局治山課 (〒650-8567兵庫県神戸市中央区下山手通5丁目10番1号) .

本県では、断面欠損や材料の強度低下等により早急に対策が必要な橋梁については、概ね補修が完了し、現在は予防保全にシフトしていく過渡期にある。しかし、橋梁の予防保全を進める際、解決すべき2つの大きな課題を抱えている。①予防保全の代表的な工法であるひび割れ注入工法は、施工管理の方法が確立されておらず、施工不良がよく見られること、②橋梁補修の詳細設計業務で決定した施工内容が、工事実施時の事前調査を受けて大きく変更せざるを得ず、詳細設計業務に費やす時間とコストが無駄になっている点である。本論文では、今後益々需要が高まる予防保全が抱える2つの大きな課題について分析するとともに、着実かつ円滑に実施していくための改善策について提案および検証を行う。

キーワード 橋梁補修, 予防保全, ひび割れ注入工

## 1. はじめに

本県では、施設の安全性の確保に加え、コストの低減と予算の平準化を図り、計画的・効率的に老朽化対策を推進するため、「ひょうごインフラ・メンテナンス10箇年計画」に基づき橋梁補修工事を進めている。これら補修工事のうち、断面欠損や材料の強度低下等により早急対策が必要な橋梁については、概ね平成28年度までに補修が完了し、現在は予防保全にシフトしていく過渡期にある。しかし、橋梁の予防保全を進める際、解決すべき2つの大きな課題を抱えている。①予防保全の代表的な工法であるひび割れ注入工法は、施工管理の方法が確立されていないため、施工不良がよく見られること、②橋梁補修の詳細設計業務で決定した施工内容が、工事実施時の事前調査を受けて大きく変更せざるを得ず、詳細設計業務に費やす時間とコストが無駄になっている点である。

本論文では、今後益々需要が高まる予防保全が抱える2つの大きな課題について分析するとともに、着実かつ円滑に実施していくための改善策について提案および検証を行う。

## 2. ひび割れ注入工法の施工管理上の課題

ひび割れ注入工法とは、ゴムやバネ等の復元力を利用して専用の注入器具により、桁や橋台に発生したひび割れに充填材料(エポキシ樹脂、セメント系注入材など)を低圧で注入する工法である。老朽化の進む橋梁は、まず

ひび割れが発生し、そのひび割れから空気や水分および塩分等がコンクリート内部に進入し劣化が進行することが多く、大半の橋梁補修工事において実施している工法である。本県においても2012～2016年度までの5年間で100件以上のひび割れ注入工法を施工している。その施工フローを図-1に示す。

本工法は従前より建築物の補修工法として用いられていたが、阪神淡路大震災以降は復旧・復興の中で橋梁補修にも数多く採用されるようになった。しかし、橋梁補修の現場へ急速に広まったことから、施工管理基準の整備が追い付かないまま現在に至っている。



図-1 低圧注入工法の施工フロー

(1) 施工不良につながる可能性

前述したとおりひび割れ注入工法は、統一的な施工管理基準が確立されていないため、工事毎に監督員と施工者が協議を行い、施工管理方法を決定しているのが現状である。しかし、ひび割れ注入工法は不可視部への施工であるため、注入状況等を確認するための厳格な施工管理を行わなければ、注入材がひび割れに充填されない施工不良につながる可能性がある。次項では兵庫県加古川土木事務所管内で実際に発生した施工不良事例を示すとともに、発生原因の分析を行う。

(2) 施工不良の発覚とその原因

2016年7～8月に実施した国道250号の橋梁補修工事のひび割れ注入工法において、工事検査時に注入材が十分に充填されていない施工不良が発覚した。全ての補修部分を再チェックしたところ、充填不足は全360箇所のうち97箇所(27%)に及び、施工方法の再確認と施工者にヒアリングを行った。その結果、施工不良となった原因を以下に示す。

a) 注入器具の取付方法が不適切

- ・外見から一連となっているひび割れに対し30cmピッチで注入器具を取付ける計画であったが、幅の狭い部分ではひび割れは一連となっていないケースがあり、注入経路が途切れ充填不足が発生した。
- ・注入器具は注入材をスムーズに充填するため、ひび割れ開口部の中心にセットする必要があるが、ひび割れの形状が複雑であり、注入器具が中心にセットされず注入孔の位置がひび割れ開口部からずれていた。

b) 現場条件への対応が不適切

- ・本施工は夏季に実施しており、対象構造物の温度が使用可能温度よりも高く、注入材の硬化速度が速まり流動性を失ったことにより、ひび割れ末端まで届いていない箇所があった。
- ・一連のひび割れの途中で遊離石灰や漏水が生じている箇所、ゴミやレイタンスが詰まっている箇所があり、注入経路が断たれたことで充填不足となった。

c) 注入状況の確認が不十分

- ・各注入器具の注入量を管理しておらず、各ひび割れの注入量をチェックしなかったため、充填が不十分な箇所に気付かなかった。また注入作業時の経過時間も管理しておらず、注入材の硬化が開始していることに気付かなかった。
- ・注入材の硬化後、グラインダー等でシール材を撤去する際に発生する微粉末を適切に除去しなかったため、充填状況を目視確認できず充填不足に気付かなかった。

上記a)～c)に示す通り、今回の施工不良は、施工者が丁寧かつ慎重に施工を実施しなかったことと経験不足が大きな原因ではあるものの、本工法は専門性が高いにもかかわらず現状では明確な施工管理基準がなく、曖昧に施工を進めている実態があることが明らかとなった。



写真-1 低圧注入工法の施工状況



写真-2 充填不足箇所

(2) 効率的な予防保全の推進に向けた課題

損傷の程度による主な対策工法を表-1に示す。損傷の程度が小さい段階で補修を繰り返す予防保全では、ひび割れ注入工、断面修復工、表面保護工が主な工法となる(表-1)。

このうち、ひび割れ注入工及び断面修復工の設計に関しては、詳細設計段階の現地調査では詳細な打音点検や触診を実施しないため点検精度は低く、工事実施段階で施工業者が吊足場等を設置し、近接調査を行うと、詳細設計業務で決定した施工内容から大きく変更されるケースが多く発生している。

表-1 損傷の程度による主な対策工法

程度	対象工法の例	種別
損傷小	ひび割れ注入工、断面修復工、表面保護工	予防保全
損傷中	床版増厚工、炭素繊維シート張工、鋼板接着工	事後保全
損傷大	床版打換工、外ケーブル工	
損傷特大	橋梁架替	

表-2 ひび割れ注入工および断面修復工の変動状況

※絶対値を表示

施工年度	工事名	低圧注入工施工量(m)		変動率(%)※	断面修復工(m <sup>3</sup> )		変動率(%)※
		当初設計(a)	実施数量(b)	(b-a)/a×100	当初設計(a)	実施数量(b)	(b-a)/a×100
2014	A工事 橋梁補修・耐震工事	482.4	490.3	1.6	0.015	0.035	133.3
2015	B工事 落橋防止装置設置工事	300.0	521.2	73.7	0.171	0.188	9.9
2015	C工事 落橋防止装置設置工事	276.97	-	-	-	0.012	-
2015	D工事 橋梁補修工事	286.41	313.7	9.5	0.590	1.330	125.4
2016	E工事 橋脚補強工事	104.7	94.5	9.7	-	0.080	-
2016	F工事 橋梁補修工事	202.7	147.6	27.2	0.020	0.694	3370.0
2016	G工事 橋梁補修・耐震工事	98.15	70.4	28.3	1.509	1.096	27.4
2016	H工事 橋梁補修工事	1668.0	982.3	41.1	0.750	1.520	102.7

2014～2016年度に兵庫県加古川土木事務所管内で実施した橋梁補修工事のうち、施工規模が比較的大きな8工事について、ひび割れ注入工及び断面修復工の施工実績を確認すると、数量が33倍となる工事があるなど、両工法ともに詳細設計段階と工事実施段階で施工内容を大きく変更していた(表-2)。

そのため、詳細設計の使える部分は少なく、詳細設計業務に費やす時間とコストを無駄にしていると言わざるを得ない。今後、予防保全橋梁の急増が予想される中、この点は更に大きな課題になると考えられる。

### 3. 改善策の提案

前述した各課題に対して以下の改善策を提案する。

#### (1) 新たな施工管理の導入

##### a) 注入器具の取付状況をチェックリストで確認

前述した施工不良の原因となるひび割れの性状及び注入器具の設置状況を管理するには、人為的なミスを防ぐためにもチェックリストを用いた確認が有効である。注入器具の取付け時、注入時、完了時の3段階に分け、ひび割れ性状等に関する11項目を確認するチェックリストを提案する(表-3)。

表-3 注入器具の取付状況チェックリスト

番号	取付け時					注入時					完了時
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪
1	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
2	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
3	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
4	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
5	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
6	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
7	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
8	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑

- ① ひび割れに石や埃等きれいに除去出来ているか
- ② 座金取付け口の中央にひび割れが位置しているか
- ③ 取付け間隔は30cm以内か
- ④ ひび割れに塗切れた箇所はないか
- ⑤ ひび割れの端部までシール出来ているか
- ⑥ 対象構造物の温度が5℃以上50℃以下になっているか ※温度についてはメーカーに確認。
- ⑦ 注入剤の温度が5℃以上50℃以下になっているか ※温度についてはメーカーに確認。
- ⑧ 可使時間内に注入出来ているか ※温度毎の可使時間をメーカーに確認
- ⑨ 注入剤の漏れはないか
- ⑩ 最終的に注入器具に注入剤が残った状態であるか
- ⑪ シール剤除去後、注入剤が表面まで充填できているか

##### b) 注入材使用量の管理

各ひび割れにより注入量が異なるのは当然であるが、極端に注入が促進されていない箇所は充填不足の疑いがあるため、表-4に示す管理表により注入量の管理を行うことを提案する。

表-4 注入量の管理表

番号	ひび割れ		セット日時	注入量			撤去日時
	幅(mm)	長さ(m)		1回目(当初)	2回目	注入量 合計	
1	0.7	0.4	O/O 10:00	16		16	△/△ 11:00
2	0.3	0.5	O/O 10:00	12		12	△/△ 11:00
3	0.4	0.6	O/O 10:10	8		8	△/△ 11:00
4	0.3	0.7	O/O 10:10	18		18	△/△ 11:10
5	0.5	0.8	O/O 10:10	20	4	24	△/△ 11:10
6	0.5	0.4	O/O 10:10	20	8	28	△/△ 11:10
7	0.6	0.6	O/O 10:20	12		12	△/△ 11:10
8	0.4	1.2	O/O 10:20	8		8	△/△ 11:20
9	0.4	1.2	O/O 10:20	20	10	30	△/△ 11:20
10	0.5	0.8	O/O 10:20	12		12	△/△ 11:20

本管理表により各注入量の異常値判定を行い、注入量が極端に少ない箇所を検出し、その箇所については再施工を行う施工フローが必要である。

##### c) 温度の管理

注入材は現場で配合を調整することができないため、硬化速度の管理項目は温度管理のみとなる。一般的に注入材の使用可能温度は5～50℃とされているが、注入を行うコンクリート内部の温度は、施工時期・時間帯で適用範囲を超える場合があると考えられる。ひび割れ注入工を実施する際には、注入材の温度だけでなく、対象構造物の温度が適用範囲をはずれていると推測される場合は、構造物を温度調整することや注入材を冷却もしくは加熱する等の工夫が必要である。

また注入材の硬化は完了するまで1日程度の時間を要するが、特に硬化が促進する時間帯である12時間後までの温度管理を表-5に示す管理表で行うことを提案する。大幅に使用可能温度の範囲を超えている場合は、充填不足の可能性を疑い、目視やスコープ等により再確認する必要がある。

表-5 注入材の温度管理表

施工箇所	番号	開始時刻	開始時 注入剤温度 (℃)	気温				撤去時刻	温度管理 判定欄	
				開始時 (℃)	3時間後 (℃)	6時間後 (℃)	12時間後 (℃)			
P1橋脚	1	○/○	10:00	25.3	30.1	28.3	29.1	30.1	△/△	10:00
	2	○/○	10:00						△/△	10:00
	3	○/○	10:00						△/△	10:00
	4	○/○	10:10						△/△	10:10
	5	○/○	10:10						△/△	10:10
	6	○/○	10:10						△/△	10:10
A1橋台	7	○/○	10:10	26.0	36.2	29.9	29.8	28.3	△/△	10:10
	8	○/○	10:20						△/△	10:20
	9	○/○	10:20						△/△	10:20
	10	○/○	10:20						△/△	10:20
	11	○/○	10:20						△/△	10:20
	12	○/○	10:20						△/△	10:20

(2) 概数の施工数量による工事発注の導入

詳細設計業務を省略し、概数の施工数量で積算し工事発注した後に、工事実施段階で詳細調査を行い、施工内容を確定する手法の導入を提案する。本手法の導入により、ひび割れ補修に係る詳細設計業務を省略できるため、10～20%のコスト縮減及び4～6ヶ月の工期短縮が期待できる。また跨線橋や跨道橋の管理者協議が必要となる橋梁については、詳細設計業務で実施する現地調査に係る協議を省略することができるため、発注者の事務量低減にも寄与する。本手法は構造計算を必要としない予防保全的補修工法に導入しやすいと考える。

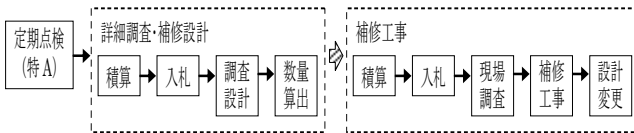


図-2 従来の標準的な橋梁修繕工事のフロー

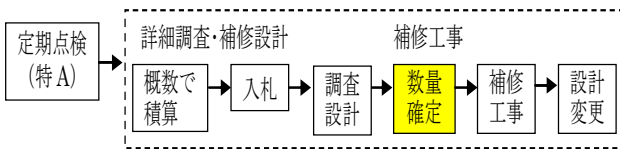


図-3 概数工事発注を導入後のフロー

4. 提案した改善策の検証

(1) 新たな施工管理の試行

提案した施工管理方法の効果を検証するため、2016年に実施した主要地方道神戸加古川姫路線に架かる小川橋(橋長:22.08m、幅員:9.0m)の橋梁補修工事で試行を行った。その際、以下の2点に留意した。

- ・ 十分な品質を確保できるか。管理項目は適切か。
- ・ 施工者及び監督員に過度な負担とならないか。

試行を実施した結果を以下に示す。

新たな施工管理の導入により、施工段階毎に注入状況を確認することが可能となり品質の高い施工を完了させることができた。ひび割れ注入工は吊足場等の仮設工を伴うため、手戻り工事を防止する観点からコスト縮減及び工期短縮に大きな効果があった。

ただし今回試行した小川橋は小規模な橋梁にも関わらず、施工者はひび割れ毎の管理表作成に多くの時間と労力を要し、また監督員の現場確認も長くなり、監督員への負荷もかなり大きくなった。今後は大規模な橋梁補修も想定し、未充填等の施工不良が発生しやすい箇所を絞り込んだ上で、その箇所について新たな施工管理を導入していく等の改善が必要である。更に、夏季施工以外は温度管理の頻度を一部省略することも検討したい。

(2) 概数の施工数量による工事発注の試行

兵庫県加古川土木事務所管内の2015～2016年度橋梁補修工事において、概数による工事発注を2件試行した。いずれも比較的小規模な橋梁を3橋まとめて発注したものであり、詳細調査・補修設計を省略することにより大幅な時間とコストの縮減を実現した。但し、今後本手法を本格導入する際に留意すべき点が2点ある。ひとつは点検結果から当初設計に用いる概数の設定方法であり、橋梁補修工事に不慣れな職員が担当した場合でも、正確かつシステムチックに概数を設定することができるよう、手法の確立が不可欠である。このため、今後とも大規模な橋梁も含めて試行を重ねつつ実績データを蓄積及び分析し、当初設計の概数を設定する手法を改善していく必要がある。もうひとつは工事の事前調査段階ではじめて把握される詳細な損傷状況について、短時間で原因を分析し対策を決定するための技術力が監督員に求められる。そのため、実践的な講習会や勉強会を実施する等、職員の技術力の底上げを図ることが本格導入に移る鍵となる。

5. おわりに

本論文では兵庫県加古川土木事務所管内の工事实績から、予防保全の抱える課題について分析し、その改善策を提案した。既に提案した内容を一部試行し、効果を十分確認していることから、本格導入に進めるべき段階にある。近い将来大量の橋梁補修工事が必要となる中、これらの有効性について更に検証し、効率的な予防保全の実施スキームを早期に確立していくことが重要である。

参考文献

- 1) 土木研究所：コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル(案)H28.