

複合劣化を生じた橋脚梁の補修 - 榎浦大橋 -

広島支店 土木工事第一部 藤岡 靖
 広島支店 土木工事第一部 石田邦洋
 広島支店 土木工事第一部 松金哲也

概要: 榎浦大橋の橋脚は、昭和 50 年前後に竣工した橋長 176.0m の 4 径間単純鋼桁橋である。本橋梁の橋脚は、アルカリ骨材反応と塩害による複合劣化を生じており、橋脚は耐震補強、梁部については、断面修復にて補修を行う計画であった。しかしながら、交通量の増加にともない橋脚に頻繁に振動が発生するようになっており、また梁部は大断面であることから、補修部分にひび割れが発生することが予想された。

本工事の補修設計では、施工中の振動に耐え、コンクリート硬化後の品質を確保するため、各種試験を行い低発熱膨張コンクリートを採用し、断面修復材の補強として炭素繊維材を併用した。

Key Words: アルカリ骨材反応、塩害、振動、断面修復、低発熱膨張コンクリート

1. はじめに

榎浦大橋の橋脚は、昭和 50 年前後に竣工した橋長 176.0m の 4 径間単純鋼桁橋である。本橋梁の橋脚は、水中部に位置しアルカリ骨材反応と塩害による複合劣化を生じており、コンファインド工法にて耐震補強が行われている。

橋脚の梁部についても、同様にアルカリ骨材反応と塩害による複合劣化を生じており、その補修方法は、橋脚天端がひび割れ注入工と表面被覆工、側面は、劣化部分をはつりとった後、断面修復を行う計画であった。

また、榎浦大橋は広島市西区と廿日市木材港を結ぶ産業道路に位置し、その交通量は、平成 13 年 8 月に橋梁の延長にある廿日市大橋の開通により大きく増加し、大型車の通行時には、大きな揺れを頻繁に感じるようになった。

橋脚梁部の断面修復は、上部工を供用しながらの施工であるので、コンクリート硬化中に振動を受けることや、橋脚梁が大断面であることから乾燥収縮等によるひび割れの発生が予想された。

本報告は、施工中の振動に耐え、コンクリート硬化後の品質を確保し、かつ将来においても耐久性が得られるコンクリートの材料選定と補修設計について述べる。写真-1 には、補修前の橋脚梁の劣化状況を示す。



写真-1 補修前の橋脚の劣化状況



藤岡靖



石田邦洋



松金哲也

2. 材料提案

補修材料の要求性能は、既設コンクリートとの付着性、振動の影響が発生しにくいこと、乾燥収縮等によりひび割れが発生しない材料と考えた。

まず、振動に対しては、日本道路公団の手取川橋の断面修復工事¹⁾において、交通振動作用下での施工に実績のあるアーマ#520を使用することを基本案とした。しかしながら手取川の断面修復は深さが50mm程度であり、今回は、150mm程度であることから、本工事では、このモルタル材料に最大径が10mm程度の粗骨材を混入し、コンクリートとして使用することとし、これを材料Cとした。次に材料Dとして、材料Cに収縮低減剤を混入し、乾燥収縮等によるひび割れが発生しないように、収縮率を低減させることを考えた。最後に、材料Cと発注材料である材料Aとの中間に位置する材料として、材料Bを考えた。これは、材料CおよびDと同程度に既設コンクリートとの付着性能がよく、コンクリート硬化中にできるだけ振動の影響を受けないようにするために早期に発現を発現させることを目的に、膨張剤を混入したものである。

表-1 比較検討材料一覧

	名称	概要
材料A	普通コンクリート (21-8-20)	発注図書に記載された材料
材料B	低発熱膨張コンクリート	発熱量を抑えるとともに膨張剤を混入し、ひび割れの発生を抑えようとする材料
材料C	アーマ#520 + 粗骨材	振動下の施工に実績のあるアーマ#520に粗骨材を加えた材料
材料D	アーマ#520 + 粗骨材 + 収縮低減剤	材料Cに収縮低減剤を混入し、収縮率を低減しようとする材料

材料選定は、配合決定後、現地に発生している振動の影響を確認する現地試験と、長さ変化率や遮塩性等の性能試験を行い、使用する材料を選定することとした。

なお、材料Aはスランプが小さく施工が困難であることから、材料Aについては、試験を行わないものとした。

3. 配合

材料Bの配合は、既設コンクリートとの付着性能が、ポリマーが混入されている材料Cと同程度であること、またコンクリート硬化中にできる限り振動の影響を受けないように早期発現強度を有することが必要と考えて、既存の実績を参考にして決定した。

表-2 材料Bの配合

W/C	S/a	1m ³ あたりの単位量							
		セメント + 膨張剤		水	加工砂	砕砂	砕石	混和剤	単位
34.0	55.6	480	20	170	267	642	756	8.0 (×1.6%)	kg/m ³
		155			105	245	280		リットル/m ³

ここで、W/C: W/(セメント + 膨張剤)

混和剤使用量: (セメント + 膨張剤) × %

それぞれの密度は、セメント: 3.22, 加工砂: 2.54, 砕砂: 2.62, 砕石: 2.7

材料CおよびDの配合を表-3に示す。

表-3 材料CおよびDの配合

種類	W/アーマ (%)	1m ³ あたりの単位量					単位
		アーマ	水	砕石	混和剤	収縮低減剤 (ヒビガード)	
材料C	15	1320	198	813	*	-	kg/m ³
		471		301		-	リットル/m ³
1320		813		9.9		kg/m ³	
471		301				リットル/m ³	
材料D							

*目標スランプフロー得るための添加量とする。

なお、材料Cの配合については、乾燥収縮度および材齢28日の圧縮強度が日本道路公団の「構造物施工管理要領」²⁾に示される値を満足するように決定した。材料Dの配合は、材料Cに収縮低減剤を混入したものとした。

4. 現地試験

ここでは、試験項目とその結果について示す。

(1) 試験項目

1) フレッシュ性状

- ・流動性(スランプフロー) : JIS A 1150(目標値 600 ± 50mm)
- ・空気量 : JIS A 1128(目標値 3.0 ± 1.5%)

2) 強度性状

- ・圧縮強度(100 × 200) : JIS A 1108(材齢7日, 28日)
- ・引張強度(100 × 200) : JIS A 1113(材齢7日, 28日)
- ・曲げ強度(100 × 100 × 200) : JIS A 1106(材齢7日, 28日)

3) 養生条件

- ・振動下での養生(現地に供試体を設置:以下現地養生と示す。)
- ・無振動下での養生(振動が発生しない室外に設置:以下工場養生と示す。)

表-4には、採取した供試体一覧を示す。

表-4 供試体採取一覧

		材料B	材料C	材料D
圧縮強度	工場養生			
	現地養生			
引張強度	工場養生		-	-
	現地養生			
曲げ強度	工場養生	-	-	-
	現地養生	-		

*凡例) 印が供試体を採取したものを示す。

(2) 試験要領

1) コンクリート練り混ぜ手順

生コンクリート工場の試験室にて60強制2軸型ミキサを使用し練混ぜを行う。練混ぜ量は供試体製作量以上とする。1配合60必要となるため、とする。

練混ぜ方法は、材料Bについては、モル30 × 2バッチタル(低発熱セメント + 細骨材 + 膨張材 + 練混水)で30秒間混練りし、砕石を投入後、1分間混練りとし、練上り直後のフレッシュ性状を確認する。

材料CおよびDについては、アーマ + 練混水(含混和剤)、あるいはアーマ + 練混水(含混和剤) + 収縮低減剤を1分間混練りし、砕石を投入後、2分間混練りとし、練上り直後のフレッシュ性状を確認する。

2) 試料運搬方法

試料の運搬は、トラックにおける静置状態とする。運搬中の攪拌は行わない。

3) 荷下時点

荷卸し時で、試料を練り返した後採取しフレッシュ性状確認後、供試体を作成する。

4) 養生方法

供試体製作後、榎浦大橋橋脚天端にて24時間現場封緘養生とする。24時間経過後に、試験体を回収後脱型し、所定の試験材齢まで標準水中養生を行う。

(3) 試験結果

以降に試験結果を示す。

1) フレッシュ性状

フレッシュ性状の結果を表-5に示す。

表-5 供試体採取一覧

		スランプフロー(mm)		空気量(%)		備考 (現地到着時刻)
		練り混ぜ直後	現地到着	練り混ぜ直後	現地到着	
材料 B	1 バッチ目	590	530	4.3	3.8	120 分後
	2 バッチ目	570		4.5		
材料 C	1 バッチ目	745	730	2.5	2.4	148 分後
	2 バッチ目	750		2.4		
材料 D	1 バッチ目	585	545	1.8	1.7	114 分後
	2 バッチ目	608		1.8		

これらの結果から、材料 C は、約2時間後のフロー値が、700mm以上あり、目標値より大きいことがわかった。しかしながら材料 B および D は、初期のスランプフローが材料 C と比較すると小さく、2時間後のロスも約50mm程度あることがわかった。

2) 強度性状

圧縮強度、引張強度、曲げ強度の試験結果を表-6に示す。なおそれぞれの結果は、採取した供試体3本の平均値である。

表-6 強度性状一覧

		圧縮試験(N/mm ²)		引張試験(N/mm ²)		曲げ強度(N/mm ²)	
		7日	28日	7日	28日	7日	28日
材料 B	工場養生	49.8	67.5	2.81	3.55		
	現地養生	47.8	67.0	3.36	3.74		
材料 C	工場養生	59.9	72.9				
	現地養生	61.0	73.9	3.95	4.14	9.85	10.43
材料 D	工場養生	54.7	63.1				
	現地養生	51.6	62.4	3.58	4.06	9.62	10.19

まず、圧縮強度については、材料 B および D は材料 C と比較して7日強度は小さく、材料 B は材料 D よりも7日強度は低い。28日強度では逆に材料 B の方が大きくなっていることがわかった。次に、工場養生したものと現地養生したものを比較すると、ばらつきはあるもののほぼ同程度の値であることから、圧縮強度に関しては、振動の影響がないと考える。

一方、引張強度については、材料 B は工場養生と現地養生を比較すると、7日の圧縮強度は若干現地養生の値が低いものの、引張強度については、逆に現地養生の方が大きな値を示している。しかしながら、28日強度については、

いずれの結果もほぼ同じであることから、引張強度についても振動の影響はないと考えられる。

また、曲げ強度について材料CとDを比較すると、圧縮強度では材料Dの値が小さいのに対して曲げ強度については、どちらもほぼ同じであることが考えられる。工場養生とは比較はしていないが現地養生で約 10N/mm^2 程度の強度発現があるので性能的には問題ないと考えられる。

(4) まとめ

現地試験は、振動がコンクリートの硬化中に影響をおよぼすか否かを、圧縮強度、引張強度および曲げ強度について比較検討した。その結果、榎浦大橋に発生する振動は、供試体レベルの試験では、コンクリートの硬化にあまり影響がなかった²⁾のではないかとと思われる。しかしながら、実構造物は、試験で用いた供試体寸法と大きさが大きく異なり、また、振動によりねじれ等の複雑な挙動が発生していることも考えられることから、材料の付着性能や早期発現強度の確保も必要であると考え、次の性能試験を行った。

5. 性能試験

性能試験は、材料B～Dについて、試験室にて、下記の項目について試験を行った。

なお、スランブフローについては、現地試験での目標値では、2時間経過後のスランブロスが大きく施工性が悪いので、今回は、目標値を $700 \pm 50\text{mm}$ とした。

(1) 試験項目

1) フレッシュ性状

- ・流動性(スランブフロー) : JIS A 1150(目標値 $700 \pm 50\text{mm}$)
- ・空気量 : JIS A 1128(目標値 $3.0 \pm 1.5\%$)
- ・凝結 : JIS A 1147

2) 強度性状

- ・圧縮強度(100×200) : JIS A 1108(材齢 3日, 7日, 28日)
- ・引張強度(100×200) : JIS A 1113(材齢 7日, 28日)
- ・曲げ強度($100 \times 100 \times 200$) : JIS A 1106(材齢 7日, 28日)
- ・付着強度 : 建研式(材齢 7日, 28日)
- ・遮塩性試験 : 塩化物イオン浸透深さ(材齢 28日)
- ・長さ変化率 : JIS A 1129(基長; 脱型時)
- ・静弾性係数 : JIS A 1149(材齢 3日, 7日, 28日)

(2) 試験結果

性能試験では、各種の試験を行ったが、圧縮、引張および曲げ強度については、現地試験の結果とほぼ同様の値もしくは、現地試験以上の結果を示していたので、ここでは、省略する。

スランブフローの試験結果を図-1に、付着強度の試験結果を表-7に示す。

図-1より、目標値を $650 \pm 50\text{mm}$ から $700 \pm 50\text{mm}$ にしたことで、材料BおよびCについては、練り混ぜ直後から2時間経過後についても、 600mm 以上の流動性があることがわかる。しかしながら、これらの材料は、材料Cと比較すると、現地試験と同様に、ロス率が大きいことがわかった。

また、付着強度の結果より、いずれの材料も、目安となる日本道路公団「構造物施工管理要領」²⁾に示される値の

1.5N/mm^2 の以上を有することがわかった。したがって、いずれの材料も既設構造物との付着性は良好であると考え

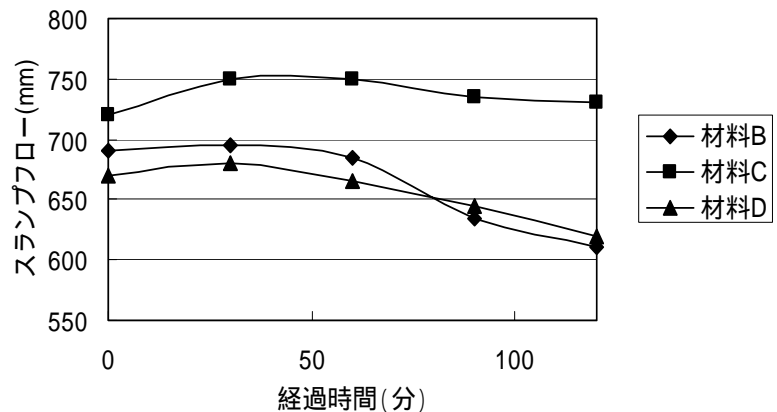


図-1 スランブフローの結果

られる。

最後に、図-2 に長さ変化率試験結果を示す。図中には、比較のために水セメント比 50%、スランブが 18cm の普通コンクリートの場合についても同様に示した。図から材料 B および D については、材料 C と比較し、長さ変化が少ない乾燥収縮に対して有効な材料であることがわかった。

(3) まとめ

性能試験から、材料 B ~ D については、性能はほぼ同等であることが判明し、いずれの材料についても今回の現場への適用については、問題がないと判断した。

6. 材料選定

今回の現場に適用可能な材料として 3 種類の材料を提案し、現地試験や性能試験で各種の検討を行った結果、いずれの材料についても適用が可能であることがわかった。表-8 に施工性、経済性から比較を行った結果を示す。

表-7 付着強度試験結果 (単位: N/mm²)

	材齢	
	7日	28日
材料 B	1.9	2.2
材料 C	1.8	2.4
材料 D	1.8	2.3

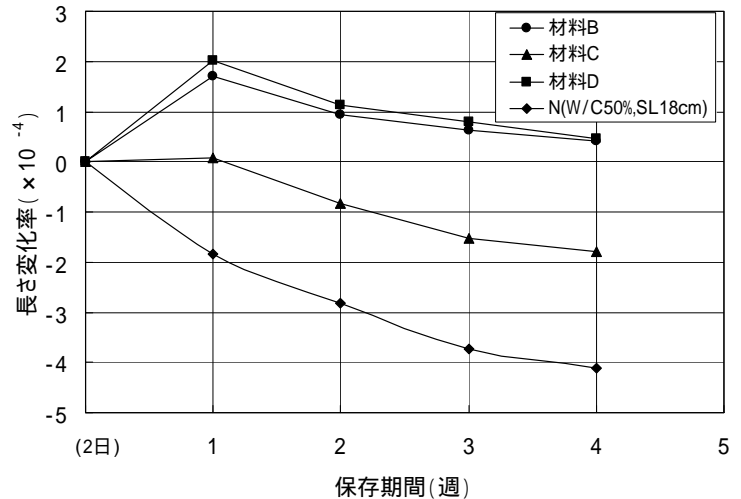


図-2 長さ変化試験結果

表-8 材料比較表

	材料 A	材料 B	材料 C	材料 D
	普通コンクリート (21-8-20)	低発熱 膨張コンクリート	アーマ#520 + 粗骨材	アーマ#520 + 粗骨材 + 収縮低減剤
概要	発注図書に記載された材料	発熱量を抑えるとともに膨張剤を混入し、ひび割れの発生を抑えようとする材料	振動下の施工に実績のあるアーマ#520 に粗骨材を加えた材料	材料 C に収縮低減剤を混入し、収縮率を低減しようとする材料
施工性	スランブが 8cm であり、補修断面厚さの 150mm では、コンクリートの打設が難しい。	スランブフローは、2 時間経過後も 60cm 以上あり、施工性は良いが材料 C と比較するとロスが大きい。	スランブフローは 70cm 以上あり、もっとも施工性はよいと考える。	スランブフローは、2 時間経過後も 60cm 以上あり、施工性は良いが材料 C と比較するとロスが大きい。
経済性 (材料費のみ)	安価 ← 生コン 約 1 万円/m ³ 1.5 千円/m ²	生コン 約 3 万円/m ³ 4.5 千円/m ²	生コン 約 30 万円/m ³ 45.0 千円/m ²	高価 → 生コン 約 32 万円/m ³ 48.0 千円/m ²
評価				

表に示すように、材料 B は材料 C および D の約 1/10 程度の金額であることから、経済性も考慮して今回の補修に

は材料 B の「低発熱膨張コンクリート」を用いることとした。

7. 補修設計

補修設計では、次の 2 点を留意した。まず、材料選定の結果、長さ変化率の少ない材料 B を用いることとしたが、材料 B を用いた場合でもひび割れが発生しないとは言えず、発生したひび割れから、コンクリート内部へ塩分や水分が浸透する結果、鉄筋の発錆など、再劣化の要因となりやすい。よって、ひび割れが生じた場合の対策として、仮にひび割れが生じた場合でもコンクリート内部への塩分や水分の浸透を防止するために、橋脚梁部には、追従性のよい材料で表面被覆を行うこととした。

次に、断面修復工は、既設コンクリート表面から 150mm 程度をはつりとった後に行うが、既設鉄筋のみでは、コンクリートの乾燥収縮等によりひび割れが発生する可能性があることから、修復断面内にひび割れ防止筋を追加して配置することとした。しかしながら、この鉄筋は、既設鉄筋の外側にあり、かぶりも少ないことから、将来表面被覆材の劣化により発錆の可能性が考えられる。したがって、ひび割れ防止筋には、炭素繊維の補強材を配置することとした。

8. おわりに

榎浦大橋は交通量の増加から、大型車の通行時には、上部工や下部工におおきな揺れを頻繁に感じるようになった。そこで、本橋梁の橋脚梁部の断面修復工を行うにあたり、コンクリート硬化中の振動に対する検討や、乾燥収縮等によるひび割れの発生に対する検討を各種の試験を行うことで検討を行った。その結果、有害となるひび割れは発生せず無事施工を終えることができた。

本報告が、今後増大しつつある補修や補強工事の役に立てれば幸いと考える。補修施工後の状況写真を写真-2 に示す。



写真-2 施工後の状況

参考文献

- 1) 岡井賢一・森山守・登坂知平・小澤郁夫：塩害を受けた橋りょう上部工の全面修復 - 北陸自動車道手取川 - , コンクリート工学, Vol.34, No.2, pp.33-42, 1996
- 2) 日本道路公団：構造物施工管理要領 平成11年7月, pp.293
- 3) 江藤芳武・平野利光・深池正樹・出光隆：凝結硬化時に継続振動を受ける鉄筋コンクリートの付着強度に関する研究, 土木学会論文集, No.544, V-32, pp.223-234, 1996.8