

アルカリ骨材反応に対する点検および補修工法

設計本部 技師長 田中信治*

架設後25年余り経過した愛知県内の橋梁において、アルカリ骨材反応と想定されるひび割れ損傷が発見された。そこで、ひび割れ損傷の原因追求のためコンクリートコアを採取し、コンクリート圧縮試験、中性化試験、アルカシリカ反応試験、促進膨張試験等を行い、損傷原因を追求した。さらに、本橋に適した補修工法を比較検討し、最適な補修工法を提案した。

本文は、アルカリ骨材反応の試験方法や補修工法の比較検討についてまとめたものである。

1. はじめに

本橋梁は、愛知県の国定公園内に位置し、渓谷部の湖に架かる橋長90mの中路式2ヒンジアーチ橋である。渓谷部においては、急落差を背景に、春から夏にかけて渓谷の緑、秋には紅葉と見事に調和し、すばらしい景色が連続する環境下に置かれている。

本橋は、上部工が昭和53年に架けられており、下部工は52年頃と推定され、架橋後25年余り経過し、現在に至っている。これまでの判明している橋歴は、平成13年2月に上部工の塗装が行われ、平成4年度に木製の床版を打ち直している。

本橋梁の下部工には、アルカリ骨材反応と想定されるひび割れが存在することから、橋台部に発生したひび割れの損傷状況および原因の追求のため、詳細調査を実施し、その調査結果に基づき補修・補強工法の比較検討を行ったのでここに報告する。

2. 対象橋梁と橋歴

- ・ 上部工 中路式2ヒンジアーチ橋
- ・ 橋 長 90.0m
- ・ 支 間 アーチ支間70.0m

- ・ 幅 員 有効2.0m
(地覆0.18+歩道2.0+地覆0.18)
- ・ 活 荷 重 群集荷重(歩道橋)
- ・ 床 版 木床版(松材厚9cm)
- ・ 適用基準 歩道橋指針:昭和40年(横断歩道橋設計指針・解説)

図-1に現橋の側面図を示す。

3. 現況調査

橋面および橋台付近から、床版、主構、主桁、および支承の目視点検を行った。

本橋は、架設後約25年以上経過しているが、架橋位置の環境の良さ、塗装の維持管理も十分行われていることから、床版を除いて、主構、主桁、支承の損傷は殆どなく、健全な状態が保たれている。

一方、床版は木製であることから、経年変化に対する損傷はやむを得ない状況であり、数年に1度は打換える必要がある。

なお、下部工については、ひび割れやクラックが発生していることから詳細点検を実施した結果を次節に述べる。

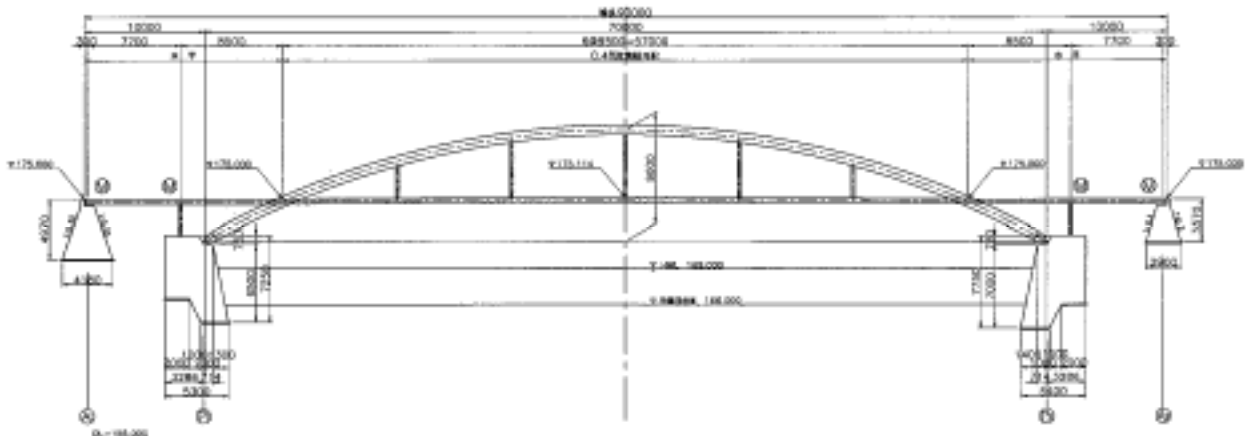


図-1 側面図

*工学博士 技術士(建設部門)

4. 橋台コンクリート調査

(1) 調査結果

本橋の下部工には、幅 10mm 以上のひび割れが多く発生しており、ひび割れの発生状況および損傷原因を明らかにするため詳細調査を実施した。調査項目を以下に示す。

- ・コンクリートコア圧縮強度試験
- ・コンクリートコア中性化試験
- ・骨材のアルカシリカ反応性試験（化学法）
- ・岩種判定（肉眼による）
- ・促進膨張量試験（J I S A 5380 モルタルバー法）
- ・促進膨張量試験（カナダ法）
- ・外観変状調査

調査結果の一部として、図 - 2 に変状調査図と写真 1 ~ 4 に現況および調査時の写真を添付する。

なお、各調査結果としては、圧縮強度、中性化は問題がなくアルカシリカ反応および岩種判定においてはアルカリ骨材反応を起こしやすい骨材が含まれている事が確認された。一方、促進膨張量試験においては両試験とも「無害」という測定結果が得られた。3ヶ月経過後のモルタルバー法で膨張量 0.05% 以下（測定値 0.016%）であった。

(2) 補修・補強対策検討（一般的な対策）

アルカリ骨材反応は昭和 50 年代から各地で損傷が報告され、その後は全国幅広い地域に分布し、反応性骨材も多種多様なものが存在することが判明した。そのため各種の公的機関により、アルカリ骨材反応に対する対策工法が提案されている。

最近制定された指針類を以下に示す。

- ・コンクリート構造物の維持管理指針（案）
平成 7 年 10 月コンクリートライヴ'81 土木学会
- ・コンクリート構造物の補強指針（案）
平成 11 年 3 月コンクリートライヴ'95 土木学会
- ・コンクリート構造物の維持管理マニュアル
平成 12 年 6 月（社）日本土木工業協会
- ・コンクリート診断技術'01 平成 13 年 1 月
（社）日本コンクリート工学協会
- ・コンクリート標準示方書 [維持管理編]
平成 13 年 1 月土木学会

これら以外にも、鉄道関係や各種公団からもアルカリ骨材反応に対する対策指針が制定されている。本橋に対する対策は、上記指針の内、最新でかつ標準的なコンクリート標準示方書 [維持管理編] に準拠した。

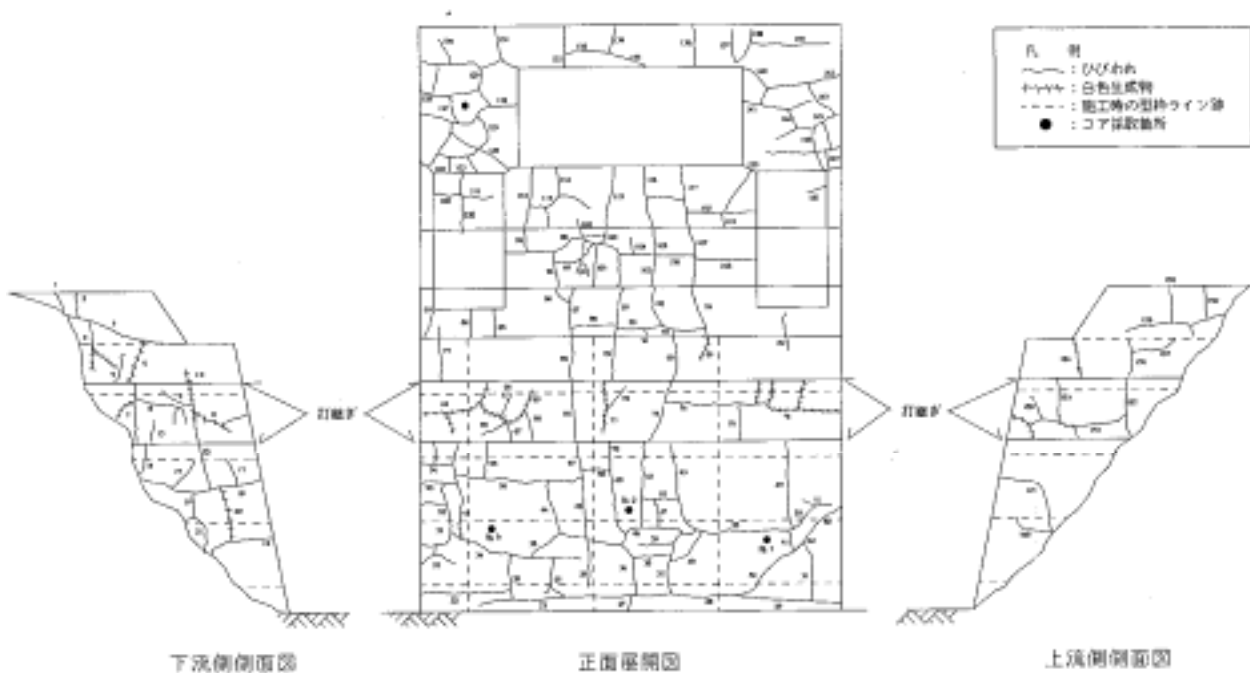


図 - 2 変状調査図



写真 - 1 ひび割れの状況



写真 - 3 コア採取状況



写真 - 2 ひび割幅実測状況



写真 - 4 アルカリシリカゲル発生状況

表 - 1 アルカリ骨材反応抑制材比較表

材料名	製造会社	概要	特徴	施工フロー
塗布型 770α+1000-15000	住友大阪セメント(株)	770α(亜硝酸リチウム)がコンクリート内部に浸透し、Na ⁺ 、K ⁺ を吸着させることによって、770β骨材反応を抑制する。また、レゾルチン5000β(2%系含浸材)を高弾性被覆材を施す事で、有害なコンクリート中水分の外部への移動を阻害する事なく、水分の浸入を防ぐ。	・高いひび割れ浸透性(770α)伸び(2.7mm) ・作業性良好 ・塩害、中性化にも効果有 施工費(概算) 770α 3000円/㎡ レゾルチン 15000円/㎡	下地処理→110mm厚を→770βを5箇所(コンクリート)系含浸塗布材)→770α+1000-15000(特殊770β)β、無機質(イオン)配合の弾性被覆材)→770α+1000-15000を170mm厚に塗布
塗膜型 207-307	大日本塗料(株)	コンクリート表面の207-307(塗膜)で水分の浸入を遮断し、内部の水分は水蒸気として外部へ逃散させる。	・伸び率100%以上の高弾性 ・高い付着特性(10kg/cm ²) ・作業性良好 ・有害成分の遮断 施工費(概算) 6000~7000円/㎡	下地処理→10~10mm厚を207-307塗布(770β)→207-307を207-307塗布(770β)塗布(2~3層)
注入型 4320β+400β	電気化学工業(株)	無機質(イオン)交換体と無機質被覆粒子からなる注入材で、770β金属Na ⁺ 、K ⁺ を吸着させ、770β骨材反応を抑制する。	・固着状態でも使用可能 ・高い注入性 ・115日(動水)との経年で効果増 施工費(概算) 注入 7000円/㎡ 115(動水) 4000円/㎡	下地処理→注入器設置→ひび割れ部→400β+400β注入→400β材、注入器除去→高圧水洗浄→115日塗布
注入型 7-70β10	三菱セメント(株)	無機質(イオン)交換体と無機質被覆粒子からなる注入材で、770β金属Na ⁺ 、K ⁺ を吸着させ、770β骨材反応を抑制する。	・固着状態でも使用可能 ・高い注入性 施工費(概算) 注入 7500円/㎡	下地処理→注入器設置→ひび割れ部→7-70β10注入→7-70β材、注入器除去
注入型 4320E-2420	コニシ(株)	可とう性エポキシ樹脂からなる注入材で、ひび割れの動きに追従する。	・高い注入性 ・作業性良好 施工費(概算) 注入 8000円/㎡	下地処理→注入器設置→ひび割れ部→4320E-2420注入→4320E材、注入器除去

表 - 2 クラック補修工法比較表

工 法	概 要 図	適用材料	適用範囲	特 徴	施工手順	単価(円)	主要部品
低圧圧入工法 (有補筋)		・エポキシ樹脂 ・引込み繊維 ・可溶性エポキシ樹脂 など	構造クランク クランク幅 0.2～2.0mm	・適用器具により低圧状態でひびわれ内部に 注入材を充填し一体化させる工法。 ・材料流動により、亀裂面可。 ・可溶性注入材によるひびわれ幅の縮小に 適応可。	① 下地クレン工 ② 清掃工 ③ シール工 ④ 注入工 ⑤ 養生工 ⑥ 養生工	¥2,800/m ～¥3,000/m	・注入器 ・注入樹脂 など
機械注入工法 (有補筋)		・エポキシ樹脂 ・可溶性エポキシ樹脂 など	構造クランク クランク幅 0.2mm以上	・比較的幅の大きいクランクに対しシール及び 注入の効果を高め、ガラス繊維等でひびわれ 内部に注入材を充填し一体化させる工法。 ・材料流動により、亀裂面可。 ・可溶性注入材によるひびわれ幅の縮小に 適応可。	① 下地クレン工 ② 清掃工 ③ シール工 ④ 注入用パイプセット工 ⑤ 注入工 ⑥ 養生工 ⑦ 養生工	¥10,000/m ～¥12,000/m	・ガラス繊維 ・引込み繊維 ・自動ポンプ など
低圧圧入工法 (無補筋)		・ポリアーセメントペースト など	構造クランク クランク幅 0.2～2.0mm	・専用器具により低圧状態でひびわれ内部に 注入材を充填し一体化させる工法。 ・低圧で施工可。	① 下地クレン工 ② 清掃工 ③ シール工 ④ 注入工 ⑤ 養生工 ⑥ 養生工	¥7,000/m ～¥8,000/m	・注入器 など
機械注入工法 (無補筋)		・引込み繊維 など	構造クランク クランク幅 0.2mm以上	・比較的幅の大きいクランクに対しシール及び 注入の効果を高め、ガラス繊維等でひびわれ 内部に注入材を充填し一体化させる工法。	① 下地クレン工 ② 清掃工 ③ シール工 ④ 注入用パイプセット工 ⑤ 注入工 ⑥ 養生工 ⑦ 養生工	¥10,000/m ～¥12,000/m	・ガラス繊維 ・引込み繊維 ・自動ポンプ など
Vカット工法 及び Vカット工法		・レジンセメント ・エポキシ樹脂 ・可溶性エポキシ樹脂 ・弾性シーリング材 ・ポリアーセメントペースト など	非構造クランク (運動クランク) (打ち継ぎ面)	・ひびわれを中心としたV型のカットし、充填 材を充填する工法。 ・多くのクランク幅に適用可。 ・防水性及び耐久性の向上。	① V型のカット工 ② 清掃工 ③ ポリアーセメント工 ④ 充填工 ⑤ 仕上げ工	¥2,000/m ～¥3,500/m	—
低圧機械注入工法 (有補筋)		・弾性シーリング材 など	非構造クランク (運動クランク)	・ひびわれに沿って専用ポンプにて弾性多 量成分の注入材を低圧状態で注入する工法。 ・防水性及び耐久性の向上。	① 清掃工 ② 注入工	¥3,000/m	・専用ポンプ ・シーリング材 など
目詰め工法 (有補筋)		・エポキシ樹脂 ・ポリアーセメントペースト ・セメントペースト など	非構造クランク (アーチクランク)	・ヘアークランクにヘアークレートを埋め込み 目詰めする工法。 ・防水性及び耐久性の向上。	① 清掃工 ② 目詰め工	¥600/m	—

アルカリ骨材反応は、骨材中に含まれる反応性シリカ鉱物とコンクリート中の水酸化アルカリを主成分とする水溶液との化学反応によって生成されるアルカリシリカゲルの吸水膨張に起因するものである。そのため、一般的な対策として外部から構造物へ水分が侵入しないように対策を実施してきた。具体的には、ひび割れ注入や断面修復を行った後、コンクリート表面に塗装を実施し水分の侵入を防止し、アルカリ骨材反応を抑制する工法であるが以下の問題点がある。

新たな反応に対しては抑制することが可能であるが、既に構造物の中にアルカリ骨材反応を進行させるのに十分な水分が存在するケースでは、今後も化学反応が進行する。

耐久性が明らかになっていないことから、追跡調査や再塗装などの維持管理が必要となる。

表 - 1 にアルカリ骨材反応抑制剤比較表、表 - 2 にクラック補修工法の比較表を示す。

(3) 補修・補強詳細設計(本橋に適した対策)

損傷を受けている本橋の構造物は、アーチアバットという一般的には数が少ない箇所であり、そのため前節での一般的な対策検討に加えて、アーチアバ

ットの特徴を考慮する必要がある。そこで、一般的な橋脚とアーチアバットの違いを以下に列記する。

アーチ形式の橋梁は、その構造的な特徴から常にアーチアバット背面に上部工からの水平力が働いており、背面を取り除いたり、背面に水分を遮断する膜等を挿入することは事実上困難である。そのため常時、土と接しているため、水分の供給を完全に抑制することは不可能である。

アーチ形式の橋梁は、下部工の部材寸法が地震時で決定されることは希であり、基本的には風時で決定される。そのためアーチアバットはその重量が確保されていれば、破壊に繋がる危険性は少ない。また、本橋は設計段階では無筋構造物であり(調査の結果、組立鉄筋は有り)、アルカリ骨材反応の進行により、鉄筋が錆びてさらにひび割れが増加する可能性は少ない。

上記の特徴を踏まえ、アルカリ骨材反応の損傷による本アーチアバットの破壊形態としては、アーチアバットの躯体幅が狭くなっている箇所(前側・段差部)でのせん断破壊が想定される。そこで、この箇所での震度法レベルの地震が発生したケースの照査を行った。

表 - 3 補修工法比較表

	第1案 塗布・塗膜型	第2案 鋼板補修工法（鋼板前モルタル注入）	第3案 RC巻立工法
構 造 図			
特 徴	<ul style="list-style-type: none"> -塗布、塗膜を行うことにより水分の浸入を遮断し、内部の水分は全部へ透れさせる。 -作業性が良好である。 -腐蝕、中性化にも効果がある。 -定期的（1日半程度）に再塗布、塗膜を行う必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> -既存の鉄筋の断面と鋼板を重合して、鋼板→コンクリート→鋼と鋼筋を交互に注入し接着する。 -巻が厚く、人工性には優れている。 -念上からの劣損に罹れる。 -鋼板が歪んだため、鋼板の補修工が必要。 -鋼筋の腐蝕に有効な塗布材が必要。 -鋼筋の腐蝕に効果的に行う必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> -既存の橋脚表面に厚層コンクリート（RC）を打ち込み、鋼筋を巻立する。 -材料費が高い。 -RCの巻立によって総断面積が大幅に増加する。 -巻立に時間がかかり、工期が長い。 -1/200~1/300程度の断面比が必要。 -鋼筋の腐蝕に効果的に行う必要がある。
単位塗り工事費	4,000～18,000 円/㎡	90,000 円/㎡（鋼板厚t=6.0mm）	73,000 円/㎡（RC巻立t=250mm）
※工 事 費	700,000～3,300,000 円（A=181.1 ㎡）	7,400,000 円（A=82.6 ㎡）	6,000,000 円（A=82.6 ㎡）
ひび割れ注入工事費	2,500,000 円	2,500,000 円	2,500,000 円
総 工 事 費	3,200,000～5,800,000 円	9,900,000 円	8,500,000 円
評 価	○		○

※塗布・塗膜型については劣化、正業及び橋脚の構造部に適用、塗膜を行う。その他の工法については正業のみ補修を行う。

その結果、常時については、転倒、滑動、支持とも許容値を満足しているが、橋台前面の地盤高とH.W.L.の中間高さまで水位を考慮した地震時において、滑動で許容値を満足していない結果となった。そのため、アーチアバット前面を補強してせん断抵抗を増加し安全性を確保することを提案した。補強部材は、RC、鋼板、炭素繊維等が考えられるが地盤面より下も補強することから、RCと鋼板で必要厚を検討した。不足する断面力は少ないため、必要部材厚も僅かであるが、最小部材厚や施工性を考慮して、RCは25cm、鋼板は6mmで比較検討した。表-3に補修工法比較一覧表を示す。

6. おわりに

本橋の現況調査、アルカリ骨材反応に関する各種調査および補修・補強方法の比較検討を行った。本橋の架橋位置は自然の山々に包まれた渓谷の中に位置することから、補修・補強工法も出来るだけ、今の状況を損なわないような工法を選択した。その結果、維持管理が少なく、既設構造物と同一の外観を保つことが出来るRC巻立による補強（表-3における第3案）を提案した。また、本橋の側面および上面にもひび割れが発生していることから注入工を行い、今後の水分の補給を防ぐため、塗布・塗膜工（表-3における第1案）を併用することを提案し、採用された。