大断面コンクリート部材への ASR抑制工法の適用とその効果について

狩野裕之¹•内田博之¹•金好昭彦²•宮川豊章³

¹正会員 工修 株式会社鴻池組 土木本部技術部 (〒541-0057 大阪市中央区北久宝寺町三丁目 6-1) ²正会員 工博 株式会社鴻池組 土木本部技術部 (〒541-0057 大阪市中央区北久宝寺町三丁目 6-1) ³7ェロー会員 工博 京都大学大学院教授 工学研究科 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

ASR の膨脹作用に起因するひび割れはこれまで主としてコンクリート表面部分に発生していると考えられていた.しかし,近年,橋脚等の部材断面の大きな構造物などでは内部においてもひび割れが発生しており,コンクリート強度および弾性係数が著しく低下している事例や折り曲げ部分で鉄筋が破断している事例が報告されている.筆者らは,これまで抜本的な対策のなかった大断面コンクリート部材内部における ASR の膨脹作用の抑制を目的として,リチウムを含む ASR 抑制剤をコンクリート内部に加圧注入する工法について,研究・開発を行った.本論文では,実構造物に本工法を適用した場合の ASR 抑制剤の浸透・拡散規模,コアレベルおよび構造物レベルでの膨張抑制効果について報告する.

キーワード: ASR, アルカリシリカ反応, 膨張抑制, 亜硝酸リチウム, 加圧注入

1. はじめに

日本で最も多く見られるアルカリ骨材反応は, コンクリート中のアルカリ金属イオン (Na⁺, K⁺) と骨材中の反応性シリカ成分が化学反応を起こし, 膨張性のゲル状物質を生成するアルカリ・シリカ 反応(以下; ASR)と呼ばれるものである. ASR による外観上の劣化はこの反応生成物の膨脹作用 により、コンクリート表面に亀甲状あるいは部材 拘束方向のひび割れが発生することが多い. これ までは ASR の膨張作用に起因するひび割れは主 としてコンクリート表面部分に発生し、内部コン クリートには達していないと考えられていた。し かし、近年の報告によれば時間の経過とともに橋 脚等の部材断面の大きな構造物などでは内部にお いても ASR の膨張作用によるひび割れが発生し ており¹⁾, コンクリート強度および弾性係数が著 しく低下してきているものもある. さらには、鉄 筋がコンクリートの膨張により破断した事例も報 告されている²⁾. 筆者らは、これまで抜本的な対 策の無かった大型コンクリート部材内部における ASR の膨張作用の抑制を目的とする補修工法に ついて、供試体を用いた実験的検討結果³⁾に基づ き実構造物への適用試験を行った.

2. リチウムを用いた ASR 抑制工法の概念

ASRによる膨張作用抑制のための補修材料と して亜硝酸リチウム水溶液や水酸化リチウム水溶 液を主成分とする抑制剤などが知られている. こ れはリチウムイオンがコンクリート中の反応性骨 材の表面に非膨張性の反応性物質を生成すること による膨張の抑制効果⁴⁾や亜硝酸イオンの鉄筋防 錆効果を期待するものである.従来の補修工法で はこれらのASR抑制剤を断面修復材料中への混和 ⁵⁾,あるいは硬化コンクリート表面からASR抑制剤 を含浸⁶させることにより, セメントマトリック スの毛細管現象およびコンクリート表面から内部 への濃度勾配によるASR抑制剤の含浸・拡散で膨 張作用を抑制することを目的としている.しかし, これらの補修工法は表面部分の補修を対象として おり、ASR抑制剤の含浸する深さはコンクリート 表面より数cm程度であるのが実状であった、本工 法は,構造物に削孔した圧入孔から亜硝酸リチウ ムを主成分としたASR抑制剤を加圧注入し、構造 物の内部コンクリートにASR抑制剤を浸透・拡散 させることにより,従来工法では難しいコンクリ ート内部でのASRの膨張抑制を目的とするもので ある.本工法の概念を図-1に示す.



図-1 本工法の概念



写真-1 適用構造物



写真-2 再劣化状況

3. 実構造物への適用

適用構造物は、構築後約25年経過した¢2.0mの橋 脚柱部(写真-1)であり、12年前の調査で劣化原因 はASRと判断され、ひび割れ注入および表面処理工 法による補修が実施された.その後、約12年経過時 点で表面被覆を破りひび割れが再発生するなどの劣 化が見られ(写真-2),再度調査を実施したところ ASRによる再劣化の継続が確認された.このため, 内部コンクリートのASRによる劣化の抑制を目的と して本工法の試験施工を実施した.

圧入孔の配置は供試体試験の結果³に基づき,図-2 に示すように,圧入孔1本当たりの浸透距離を0.5m として平面的に2列,鉛直方向に4段配置とした.施 エフローを図-3に示す.まずはコンクリートの物性 調査を行い,コンクリートコアの強度確認を行った.



図-3 施工フロー



図-2 圧入孔の配置と浸透拡散のイメージ

強度特性(構造物の劣化程度の確認) 膨張量測定(ASR ポテンシャルの確認) アルカリ量測定(抑制剤圧入量の決定)

1. コンクリートの物性調査工





写真-3 表面補修(低圧注入工)



写真-4 表面補修(表面被覆工)

図-4より, 柱から採取したコアはASRによる劣化 の特徴であるコア強度の低下に比べ弾性係数の低下 が著しい傾向が見られ, 健全なコンクリート強度に 対する弾性係数の約1/2程度まで低下していた.しか し, 全てのコアが設計規準強度を満たしており,現 状では補強工法の併用は必要ないと判断した.

また、促進膨張試験およびアルカリ量の定量分析 からASRポテンシャルの確認とASR抑制剤の圧入量 を決定した.ASR抑制剤の必要圧入量は過去の研究 報告^{3),4)}をもとにLi⁺/Na⁺モル比が1.0(必要リチウ



写真-5 圧入孔削孔状況



写真-6 加圧パッカー (ダブルタイプ)



写真-7 圧入状況

ム量1.09kg/m³) となるように1圧入孔あたりの圧入 量を32.3kgとした.

次に、再劣化により発生していた柱表面のひび割 れに対して、圧入時におけるASR抑制剤の漏出防止 と構造物の耐久性確保の目的で旧塗膜をはく離除去 した後に低圧樹脂注入(w≧0.2mm),および表面被 覆を実施した(写真-3,写真-4).表面被覆養生後, 仕上がりφ34mmで圧入孔を削孔し(写真-5),圧入 孔口元からのASR抑制剤漏出防止のため、加圧パッ カーを装着し、圧入を行った(写真-6,写真-7).



写真-8 圧入装置

写真-8に圧入装置を示す.加圧タンクに注入した ASR抑制剤を窒素ガスで加圧することにより,構造 物内部に圧入するものである.写真-8からわかるよ うに,装置自体に特殊な機械等を用いておらず,非 常にシンプルな構成であり,窒素ガスにより加圧す ることから,圧入実施中には電源や動力が不要なた め,騒音・振動の発生の無いことや傾斜地等の特殊 な施工スペースにも柔軟に対応できる特長がある. 圧入開始後,定期的にASR抑制剤の継ぎ足し,およ び漏出の点検を行いながら約2ヶ月間で必要量の圧 入を完了した.



4. 抑制効果の確認

圧入完了後,直ちにコンクリートコア(φ75mm) を3本採取し(図-8参照),呈色試験,リチウム量の 定量分析および,促進膨張試験を行い,抑制効果の 確認を行った.また,構造物レベルでのASR抑制効 果の確認を目的として,橋脚の変形量の測定を現在 も継続して実施している.

(1) 呈色試験

リチウム量定量分析用および促進膨張試験用コア の採取後,直ちに呈色液(TDI; トルエン-2,4ジィリシアナート10wt%トルエン溶液)を吹き付け,ASR抑制剤の浸透・ 拡散状況を観察した.写真-9に呈色試験結果を示す. 呈色液はモルタル中の亜硝酸イオン0.1%で褐色に 呈色するもので,現場において簡易におおよその ASR抑制剤の浸透・拡散状況を確認できる.写真-9 より,No.1コアでは柱主筋位置まで,No.2コアでは 柱表面側から約40cmの位置まで,No.3コアではほぼ 全面褐色に呈色している様子がわかる.No.2コアで 表面側から約40cmの範囲で呈色状況が思わしくな いのはコア採取部分の内部ひび割れが他のコア位置 と比較して少なかったことが考えられる.



写真-9 呈色試驗結果



(2) リチウム量の定量分析

詳細な浸透・拡散状況の確認のため、リチウム量の定量分析を行った.図-9より、リチウム含有量は噴出口端から0.5mの位置まで必要リチウム量1.09kg/m³以上を含有しており、当初想定した浸透・拡散範囲を確保できることが確認された.

(3) 促進膨張試験

ASR抑制剤圧入前および圧入後に採取したコアの 促進膨張試験結果(促進膨張試験13週)をもとに, ASR抑制剤圧入によるコアレベルでの膨脹抑制効果 を確認した.リチウム含有量と残存膨脹量の低減率 の関係を図-10に示す.必要リチウム量以上を含有し ているコアでは圧入前に比べ残存膨張量が約50%以 下に低減されている.このことから,供試体による 実験的検討で得られた結果³¹と同様のASRによる膨 張抑制効果が実構造物においても得られる事が確認





された.

(4) 橋脚変形量測定

今回,本工法を適用したRC橋脚には同時期に施工 された同諸元のASR橋脚が隣接している.実構造物 レベルにおける膨張抑制効果の確認を目的として, 本工法を適用した橋脚および隣接する未適用の橋脚 について,図-11に示す位置にコンタクトゲージのポ イントを設置し,定期的に橋脚変形量の測定を実施 している。各橋脚の南,西面における鉛直,周方向, 各2測線のひずみの平均値の経時変化を図-12に示す. 図-12より,どちらの橋脚も外気温に連動して膨張, 収縮しているが,計測開始からのひずみ変動の傾向 としては鉛直方向より周方向のひずみ値の方が大き く,また,本工法を適用した橋脚より未適用の橋脚 の方が鉛直,周方向の各ひずみ値は大きい傾向が見 られる.各橋脚において鉛直方向より周方向のひず み値が大きいのは上部工の重量および橋脚自重の影響によるものと考えられる.しかし,本工法の適用, 未適用の差違に関しては,現在,測定開始後約1年し か経過しておらず,実構造物での効果の確認という 意味では少なくとも数年間の計測を行う必要がある と考えられる.このため,今後も定期的に測定を継 続し,経過を観察していく予定である.

5. まとめ

亜硝酸リチウムを主成分とするASR抑制剤を圧入 れから加圧注入することにより、コンクリート内部 でのASRによる膨張を抑制する工法の実構造物への 適用試験を行い、実構造物においても噴出口端から 約0.5mのASR抑制剤の浸透・拡散規模が期待できる こと、また、コアレベルの膨脹量抑制効果として、 必要圧入量のチリウムを含有するコアの残存膨脹量 は圧入を行う前に採取したコアの残存膨脹量の約 50%に低減されることが確認できた.

さらに、実構造物レベルでの膨張抑制効果の確認 を目的として、実構造物での膨張量測定の経過につ いて考察した.現状での測定結果から、本工法の適 用の有無による橋脚のひずみ値には差違が見られる ものの、測定開始から約1年経過時点のデータであり、 長期的な変形の傾向を把握するため、今後も継続し て計測を行い、別の機会に報告する予定である.今 後は今回得られた知見および別途実施している適用 例の情報をもとに,各種構造物における本工法の適 用方法,適用範囲の拡大のためにさらなる検討や改 良を加え,実工事への普及を目指す予定である.

参考文献

- 小野紘一・田口守:AAR橋脚の長期挙動と内部劣化,第53回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第5部門,pp.192-193,1998.10
- 2)土木学会, コンクリート標準示方書 [維持管理編] 制定資料, pp.75, 2001.1
- 3)金好昭彦・内田博之・狩野裕之:大型コンクリート部材におけるリチウムのASR抑制効果に関する研究,コンクリート工学年次論文報告集, Vol.23, No.1, pp.403-408, 2001.
- 4)高倉・坂口・友沢・阿部:Li化合物によるアルカ リ骨材反応の膨張抑制に関する一実験、コンクリ ート工学年次論文報告集,Vol.10,No.2, pp.761-766,1988.
- 5)M.D.A.Thomas, et al.: Use of Lithium-Containing Compounds to Control Expansion in Concrete Due to Alkali-Silica Reaction, 11th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, pp.783-792, Jun.2000.
- 6)David B.Stoks, et al.:Development of A Lithium -Based Material for Decreasing ASR-Induced Expansion in Hardened Concrete, 11th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, pp.1079-1087, Jun.2000.