

ASR で劣化した橋台の補修工事の施工と効果の確認について ～亜硝酸リチウム内部圧入による ASR 抑制効果～

キーワード：ASR、補修、残存膨張量、亜硝酸リチウム
江良 和徳*1 直野 和人*1 中村 裕大*2

1. はじめに

島根県雲南市木次町、国道 314 号に架かる湯村大橋は、昭和 54 年に竣工した 3 径間単純鋼鈑桁橋である。本橋の補修補強履歴として、PC 巻立て工による橋脚耐震補強および橋台、橋脚に対して落橋防止システムの設置がなされている。

島根県内にはアルカリシリカ反応（以下、ASR と称す）で劣化したコンクリート構造物が多く存在しており、本橋の橋台も ASR による劣化を受けて亀甲状のひび割れが多数発生し、その一部からは白色ゲルの析出も見られていた。詳細調査の結果、A1 橋台と A2 橋台で劣化程度が異なっていたため、それぞれの劣化程度に応じた補修工法を選定した。すなわち、残存膨張量が小さい A2 橋台（JCI-DD2 法で 0.029%）ではひび割れ注入工と表面含浸工にて補修し、残存膨張量が多い A1 橋台（JCI-DD2 法で 0.062～0.068%）では将来的な ASR 膨張性を根本的に抑制するために亜硝酸リチウム内部圧入工が採用された。

本稿は、ASR による変状が著しく残存膨張量も有害なレベルにあった A1 橋台に適用した亜硝酸リチウム内部圧入工の施工内容を報告するとともに、施工後に実施した ASR 膨張抑制効果の検証結果について報告するものである。施工対象の A1 橋台外観を図-1 に示す。



図-1 湯村大橋 A1 橋台の外観

2. 工事概要

2.1 劣化状況

A1 橋台の外観変状を図-2 に示す。橋台躯体前面、側面、パラペット、ウイングに亀甲状ひび割れが多数発生しており、その一部からは白色ゲルの析出が見られた。

圧縮強度の平均値は 33.8N/mm^2 であり、強度低下は認められないが、静弾性係数の平均値は 8.96 kN/mm^2 と標準値から著しく低下していることがわかる。JCI-DD2 法による残存膨張量試験の結果は、促進期間 3 ヶ月後の全膨張量が 0.062～0.068% であり、目安値の 0.05% を上回っていた。



図-2 A1 橋台の外観変状

2.2 工法概要

本橋の A1 橋台で採用された ASR 補修工法は、コンクリートに小径の圧入孔を削孔し、そこから亜硝酸リチウム 40% 水溶液を $0.5\sim 1.0\text{MPa}$ の圧力で内部圧入する工法である。亜硝酸リチウム内部圧入工とは、コンクリート内部の反応性骨材周囲に生成しているアルカリシリカゲル ($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$) に、リチウムイオン (Li^+) を浸透させ、アルカリシリカゲルとリチウムイオンとの化学反応により ASR 膨張を収束させることを目的とした工法であり、将来的な ASR 膨張の進行を根本から抑制するとされている。

亜硝酸リチウム内部圧入工法には、部材寸法が厚い構造物（概ね 500mm 以上）に適用される油圧式圧入装置と、部材寸法が薄い構造物（概ね 500mm 未満）に適用されるカプセル式圧入装置の 2 種類があるため、本工事では対象部位に応じて 2

*1 極東興和株式会社 営業本部補修部

*2 島根県雲南県土整備事務所 維持グループ

種類の圧入装置を使い分けた。

亜硝酸リチウムの必要量は、既往の研究成果に基づき、対象構造物のアルカリ総量(Na_2O 換算)における Na^+ に対して、 Li^+ のモル比が 0.8 となるように定めた。注入圧力や圧入時間などの圧入仕様はコンクリートの物性や劣化状態に応じて設定される。適用部位と圧入装置、圧入仕様との関係を表-1 に示す。

表-1 適用部位と圧入装置、圧入仕様

適用工法	油圧式圧入装置	カプセル式圧入装置
		
適用部位	橋台躯体	パラペット、ウイング
亜硝酸リチウム 必要量	10.3kg/m ³ (Li/Naモル比=0.8)	10.3kg/m ³ (Li/Naモル比=0.8)
削孔径	φ20mm	φ10mm
削孔間隔	@1000mm	@500mm
圧入圧力	1.0Mpa	0.5Mpa
圧入時間	240時間	120時間

3. 施工報告と効果確認

3.1 施工手順

亜硝酸リチウム内部圧入工の施工フロー（油圧式、カプセル式共通）を図-3 に示す。また、図-3 中の各工種の概要について以下に記す。



図-3 施工フローチャート

①準備工

足場工を設置した後、コアを採取して圧縮強度、アルカリ総量を測定した。圧縮強度試験の結果から内部圧入工の上限注入圧力と設計圧入日数を、アルカリ総量試験の結果から亜硝酸リチウムの必要使用量を設定した。

②事前処理工（亜硝酸リチウムの表面漏出防止）

コンクリート表面を高圧洗浄した後、幅 0.2mm 以上のひび割れに超微粒子セメント系注入材を注入（図-4）、幅 0.2mm 未満のひび割れはポリマーセメントモルタルにて表



図-4 ひび割れ注入工

面シーリングを行った。

③鉄筋探査工

圧入孔の削孔に先立ち、コンクリート表面の鉄筋探査を行って既設鉄筋位置をマーキングし、既存鉄筋へ干渉しな



図-5 鉄筋探査工

いように圧入孔の位置を設定した（図-5）。

④圧入孔削孔工

油圧式圧入装置を用いる橋台躯体前面では、削孔径 φ20mm、削孔間隔 1,000mm とした（図-6）。カプセル式圧入装置を用いるパラペット、ウイングでは削孔径 φ10mm、削孔間隔 500mm とした（図-7）。削孔の際のコンクリートへのダメージを最小限とするために、削孔機はダイヤモンド

ドコアドリルを用いた。



図-6 圧入孔削孔工(φ20mm)



図-8 油圧式圧入装置による内部圧入工



図-7 圧入孔削孔工(φ10mm)



図-9 カプセル式圧入装置による内部圧入工

⑤試験注入工

全圧入孔の妥当性を評価するために、全ての圧入孔に圧入装置を設置し、1箇所ずつ試験的に30分間の圧入を行い、適切な圧力が保持されていることを確認した。これにより亜硝酸リチウムが背面側へ漏出するような不適格な圧入孔の有無を把握することができる。また、油圧式圧入装置による施工範囲については、全ての圧入孔毎にて試験注入工における注入時間と注入量の関係から注入速度を算出し、最終的な本注入計画を策定した。カプセル式圧入装置では各孔に圧入される亜硝酸リチウム量を直接計量できるため、この作業は不要となる。

⑥本注入工

橋台躯体に対して、油圧式圧入装置(図-8)の注入圧力を1.0MPaと設定し、全25孔の圧入孔から計228kgの亜硝酸リチウムを内部圧入した。またパラペット、ウィングに対して、カプセル式圧入装置(図-9)の注入圧力を0.5MPaと設定し、全240孔の圧入孔から計325kgの亜硝酸リチウムを内部圧入した。

⑦圧入孔充填工

本注入完了後、圧入孔から圧入装置を撤去し、無収縮グラウト材にて入念に充填、復旧した。

3.2 亜硝酸リチウムの浸透状況確認

亜硝酸リチウム内部圧入工がASR抑制効果を発揮するためには、各圧入孔から圧入された亜硝酸リチウムがコンクリート部材全体に浸透していなければならない。すなわち、油圧式圧入装置による施工範囲では圧入孔から半径500mm程度の同心円状の範囲に、カプセル式圧入装置による施工範囲では圧入孔から半径250mm程度の同心円状の範囲に亜硝酸リチウムが浸透している必要がある。そこで本橋では、圧入完了後のコンクリート内部における亜硝酸リチウムの浸透状況を確認するために、呈色反応試験を実施した。

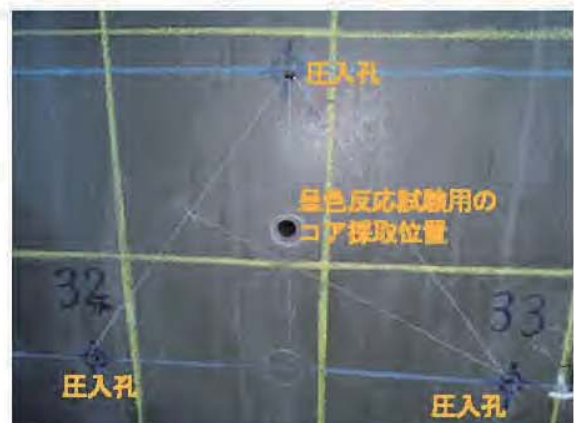


図-10 呈色反応試験用のコア採取位置

まず、内部圧入工が完了した後、隣り合う 3 つの圧入孔間の中央部から $\phi 20\text{mm}$ 、 $L=300\text{mm}$ 程度の小径コアを採取した(図-10 参照)。次にコア表面に、亜硝酸リチウムと反応すると無色透明から茶褐色へと変色する呈色液を塗布した。採取したコアに茶褐色の変色が見られたら、その位置まで亜硝酸リチウムが浸透していたと判定することができる。

呈色反応試験は橋台躯体、パラペット、左右のウイングから各 1 箇所、計 4 箇所のサンプリング試験として実施した。各コアの呈色反応状況を図-11 に示す。4 箇所全てのコアにおいて、茶褐色の呈色反応が確認できた。これらは、1,000mm 間隔または 500mm 間隔で配置した圧入孔からコンクリート全体へ亜硝酸リチウムが浸透している状況を示すものである。



図-11 採取コアの呈色反応状況

3.3 残存膨張量試験

A1 橋台の内部圧入工完了後にコア試料を採取し、JCI-DD2 法による残存膨張量試験を実施した。JCI-DD2 法による膨張量測定は、採取したコアの基長測定後、まず温度 20°C 、相対湿度 95% の条件下で約 2 週間の標準養生を行い、その間の膨張ひずみを測定して解放膨張量とした。その後、温度 40°C 、相対湿度 95% の条件下で 13 週間の促進養生を行い、その間の膨張ひずみを測定して残存膨張量とした。さらに、解放膨張量と残存膨張量を足した値を全膨張量とした。この施工後の残存膨張量試験結果と、補修設計段階で実施されていた施工前の残存膨張量試験結果とを比較することにより、亜硝酸リチウム内部圧入による ASR 抑制効果を確認した。試験用のコアは施工前、施工後とも橋台躯体前面側から各 2 本採取した。

施工前後の残存膨張量試験結果を図-12 に示す。全膨張量を見ると、施工前は 0.062% および 0.068% (平均 0.065%) を示したのに対し、施工後は 0.008% および 0.029% (平均 0.019%) を示し、平均値で比べた場合、施工後は施工前の 29.2% にまで低下していた。残存膨張量で比較すると、施工前は 0.032% および 0.043% (平均 0.038%)、施工後は 0.001% および 0.002% (平均 0.002%) であり、施工前に比べて 6.3% にまで低下してい

た。将来的な膨張の可能性を表す残存膨張量が、亜硝酸リチウムの供給を境に施工前の値の 6.3% にまで低減されており、かつ促進期間 13 週間後における全膨張量の値も JCI-DD2 法の判定基準のひとつである 0.05% を下回っているため、亜硝酸リチウム内部圧入工による ASR 膨張抑制効果が得られていると判断できる。

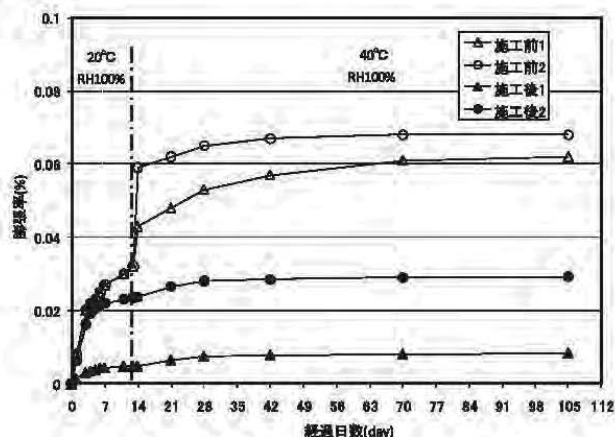


図-12 施工前後の残存膨張量試験結果

4. まとめ

本稿では ASR 劣化した橋台の補修工法として採用された 2 種類の亜硝酸リチウム内部圧入工について、施工手順を報告した。また、施工後に亜硝酸リチウムの浸透状況を確認するとともに、ASR 膨張性が低減されていることを定量的に確認した。

今後は、ASR 膨張に起因する新たなひび割れ発生の有無に着目した外観変状の追跡調査を実施し、亜硝酸リチウムによる ASR 膨張抑制効果が将来的に持続していることを検証していく必要があると考えられる。