

リチウム圧入工法の諸要因が ASR の抑制効果に与える影響

維持管理工学研究室 大谷 智也

1. 研究背景と目的

近年、アルカリシリカ反応（以下、ASR と表記）によるコンクリート構造物の性能低下が問題となっている。ASR の劣化因子の 1 つである水の制御に着目した表面被覆等の補修工法が施工されてきたが、外部からの水分供給を完全に遮断することは容易ではなく、再劣化の恐れがある。そのような中、ASR の補修工法の 1 つとして、亜硝酸リチウム（以下、リチウムと表記）をコンクリート内部に圧入することにより、ASR 膨張を抑制するリチウム内部圧入工法（以下、リチウム圧入）が注目されている¹⁾。本研究では、ASR が発生したコンクリートに対してリチウム圧入を行い、圧入を行う時期や圧入量の違いが ASR 抑制効果に与える影響を比較することや、測定用プラグを隅々まで設けることで、リチウム圧入前後でどの部分まで膨張抑制効果が見られるかをより細かく検討した。また、呈色反応試薬トルエン・ジ・イソシアナート（以下、TDI と表記）を用いて、リチウムイオンの浸透範囲を確認することで、膨張量との対応関係を明らかにすることを目的とした。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

セメントは普通ポルトランドセメントを使用し、水セメント比は 57%とした。反応性骨材には大分産反応性骨材の粗骨材のみを使用し、粗骨材中の 80% に用いた²⁾。また、コンクリート中の等価アルカリ量が 9kg/m^3 となるように NaCl を添加した。ASR 抑制剤として添加するリチウム化合物は、国内で使用実績が最も多い亜硝酸リチウム (LiNO_2) を使用し、

コンクリート中への浸透性を阻害しない範囲で高濃度である 40%水溶液とした。

2.2 供試体概要

供試体の寸法、プラグ位置および削孔位置を図-1 に示す。150×200×600mm の供試体を作製し、その際、ASR 膨張を正確に把握するため、測定用プラグを多く設置した。

亜硝酸リチウムを圧入する劣化段階を 2 段階とし、早期圧入（膨張量 500～1500 μ 程度）、通常圧入（膨張量 2000 μ 程度）とした。Li/Na モル比が 0.3, 0.6, 1.0 の 3 種類の圧入供試体と無圧入の供試体を 7 体作製した。打設翌日に脱型後、7 日間湿布養生、その後 ASR 促進室（温度 35～40℃、湿度 100%）に静置し、劣化促進を開始した。

2.3 リチウム圧入手順

早期圧入供試体は膨張量が 500～1500 μ 、通常圧入供試体は膨張量が 2000 μ に達した時点でリチウム圧入を行った。注入圧力を 0.4～0.5MPa とし、圧入するリチウムはコンクリート中の Li/Na モル比がそれ

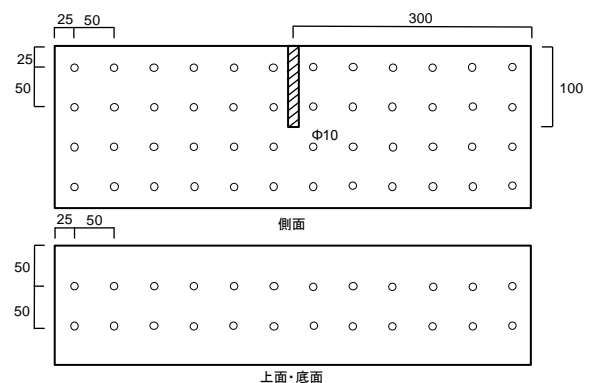


図-1 供試体概要 (mm, ○はプラグ位置)

ぞれ0.3, 0.6, 1.0となる量とした。圧入施工時のリチウム圧入量および圧入時間の算定は、ASR リチウム工法協会の基準書³⁾に準拠した。

亜硝酸リチウムが圧入時にひび割れから漏出することを防止するために供試体全面を表面漏出防止材（ポリマーセメントモルタル、PCM）で被覆した。なお、この表面被覆はリチウム圧入完了後に全て削り取った。次に供試体上面に、直径 10mm、深さ 100mm の圧入孔を1つのみダイヤモンドコアドリルにて削孔した（図-1 斜線部）。

2.4 膨張量測定

膨張量測定を行うためのコンタクトゲージ用プラグは、供試体の1側面において48個、上面と底面のそれぞれにおいて24個ずつ埋め込んだ。50mmを基長とし、供試体側面において軸方向11ヶ所を4段、鉛直方向12ヶ所を3段、上面と底面において奥行方向12ヶ所の計104ヶ所でコンタクトゲージ法により各供試体の膨張量の1週間ごとの長さ変化を計測した。なお、リチウム圧入までの膨張量は側面、上面および底面に大きな差が見られなかったため、全ての膨張量の平均値で評価した。

2.5 呈色反応試験

それぞれの供試体において ASR 膨張が収束した後に、コンクリートカッターにより供試体を図-2（図中の点線で切断）のように供試体を切断し、露出面の水気を取った後、露出面（図中の赤色の点線）に TDI を噴霧した。②と③～⑧の供試体の切断面の変色範囲を OHP シートに転写した後、プランメーターにより測定し、リチウムイオン浸透範囲とした。これを断面積で除した値を浸透率とした。

3. 実験結果

3.1 ASR 膨張抑制

図-3～図-6 に膨張量の経時変化を示す。図-3より、供試体全体の平均膨張量を比較すると、リチウム圧入実施後に最も膨張した供試体は早期-0.3 供試体であった。促進再開直後から他の供試体よりも膨張量が大きく、促進再開後 63 日で 1608 μ だった。その他の供試体は、リチウム圧入を実施しなかった

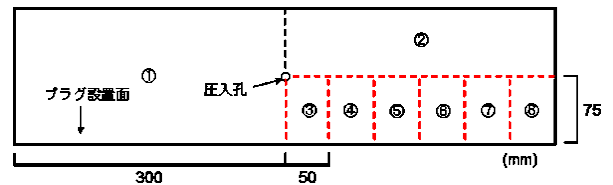


図-2 供試体切断図（上面より）

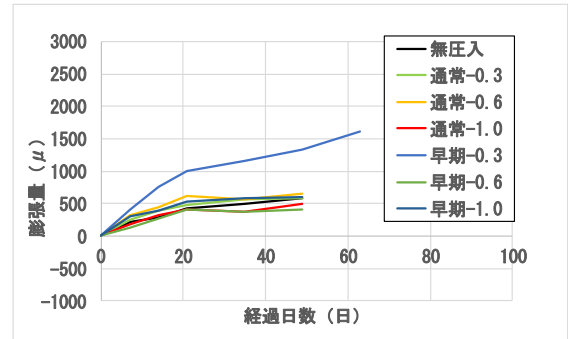


図-3 圧入後の膨張量の経時変化（供試体全体）

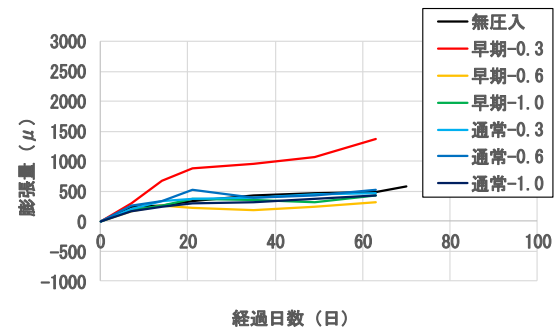


図-4 圧入後の膨張量の経時変化（供試体側面）

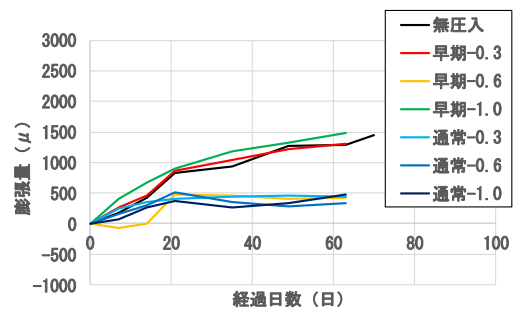


図-5 圧入後の膨張量の経時変化（供試体上面）

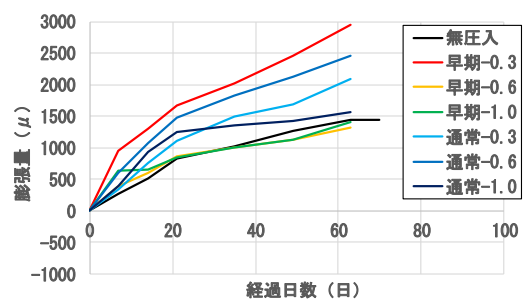


図-6 圧入後の膨張量の経時変化（供試体底面）

表-1 リチウムイオンの浸透率

供試体名	圧入時期	Li/Na モル比	膨張量 (μ)	浸透率 (%)						
				②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
早期-0.3	早期圧入 (約 500~ 1500 μ 程度)	0.3	2982	30.0	89.8	82.0	77.6	2.9	9.4	0.0
早期-0.6		0.6	2033	37.3	82.5	86.6	34.7	18.3	49.3	11.3
早期-1.0		1.0	1339	35.4	72.9	83.2	84.2	56.2	50.0	2.2
通常-0.3	通常圧入 (約 2000 μ 程度)	0.3	2924	27.4	85.6	57.8	40.4	15.3	25.3	0.0
通常-0.6		0.6	2739	38.6	45.7	38.2	48.9	30.1	24.9	14.5
通常-1.0		1.0	2852	40.4	88.0	73.5	58.7	15.4	3.0	0.0

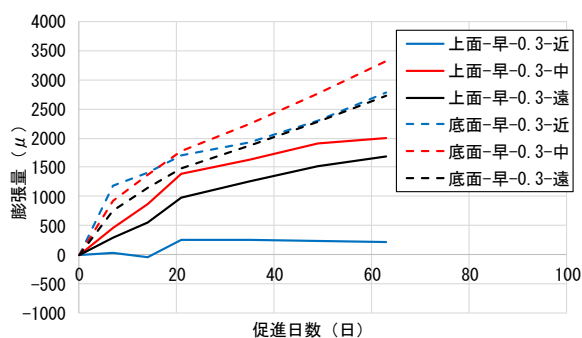


図-7 距離による違い (早期-0.3, 上面と底面)

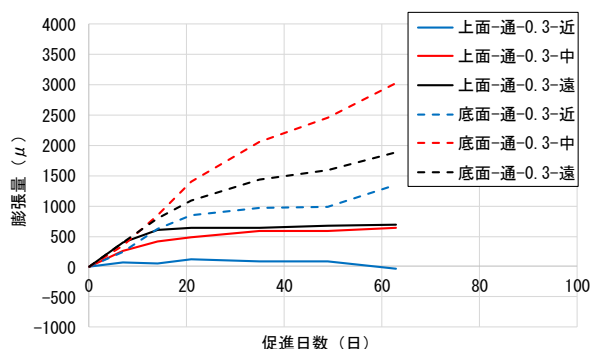


図-8 距離による違い (通常-0.3, 上面と底面)

無圧入供試体を含めて、リチウム圧入実施後の膨張量は 500~800 μ だった。図-4 より、供試体側面においても早期-0.3 供試体が最も膨張した。図-5 より供試体上面では、早期-0.3 供試体と早期-1.0 供試体が無圧入供試体と同程度の膨張量を示した。

一方、図-6 より供試体底面では、いずれの供試体においても膨張が抑制されたとは言えない。圧入孔から遠いためにリチウムが行き渡らず、膨張を抑制することができなかったのではないかと考えられる。しかし、早期-0.6 供試体、早期-1.0 供試体および通常-1.0 供試体において、底面の膨張量自体は大き

いものの、他の供試体よりも早期に膨張が収束傾向になっている。膨張が抑制された供試体の他の部分が、供試体下側を拘束したため、このような結果になったのではないかと考えられる。

図-7, 図-8 に、Li/Na モル比が 0.3 の供試体における上面と底面の圧入孔からの距離による膨張量の違いを示す。圧入孔から遠い位置ほど大きな膨張量を示した。また、上面と底面を比較すると、底面の膨張量が上面の膨張量よりも同等かそれ以上になるという結果になった。これらの結果は Li/Na モル比が 0.3 の供試体に限らず、他の供試体においても確認できた。

3.2 呈色反応試験

表-1 に各供試体のリチウムイオンの浸透率を示す。早期圧入供試体、通常圧入供試体のどちらの場合においても、リチウム圧入量および圧入時期によるリチウムイオンの浸透率の大きな差は見られなかった。表面被覆の影響が原因として考えられる。また、どの供試体においても、圧入孔から遠い部分にはリチウムイオンが浸透していないことを確認することができた。これにより、圧入孔から遠い部分の膨張を抑制できなかったと推察することができる。

通常-1.0 供試体において、圧入孔から遠い位置の浸透率は小さくなっているが、写真-1 に示すように、他の供試体よりも呈色反応が濃く見られた。これは圧入孔付近に限らず、圧入孔から遠い他の部分においても、他の供試体よりも濃く変色している傾向があった。リチウム量が多かったために、濃く変色したと考えられる。また、圧入孔から遠い⑥~⑧の供試体において、浸透率が 0%であったものも含み、

全体がとても薄く変色していた。

4. 結論

本研究では、ASRが発生したコンクリートに対してリチウム圧入を行い、圧入を行う時期や圧入量の違いがASR抑制効果に与える影響を比較することや、測定用プラグを隅々まで設けることで、リチウム圧入前後でどの部分まで膨張抑制効果が見られるかをより細かく検討した。また、TDIを用いて、リチウムイオンの浸透範囲を確認することで、膨張量との対応関係を明らかにすることを目的とした。本研究で得られた知見を以下に示す。

(1) ASR 膨張抑制

- ・ 供試体全体および側面ではリチウム圧入量が最も少ない早期-0.3 供試体が最も膨張し、上面では早期-0.3 供試体と早期-1.0 供試体が無圧入供試体と同程度の膨張量を示した。一方、供試体底面では、いずれの供試体においても、膨張が抑制されたとは言えない。圧入孔から遠いためにリチウムが行き渡らず、膨張を抑制することができなかったのではないかと考えられる。
- ・ 早期-0.6 供試体、早期-1.0 供試体および通常-1.0 供試体において、底面の膨張量自体は大きいものの、他の供試体よりも早期に膨張が収束傾向になっている。膨張が抑制された供試体の他の部分が、供試体下側を拘束したため、このような結果になったのではないかと考えられる。
- ・ いずれの供試体においても圧入孔から遠い位置ほど大きな膨張量を示した。また、上面と底面を比較すると、底面の膨張量が上面の膨張量よりも同等かそれ以上になるという結果になった。

(2) 呈色反応試験

- ・ 早期圧入供試体、通常圧入供試体のどちらの場合においても、リチウム圧入量および圧入時期によるリチウムイオンの浸透率の大きな差は見られなかった。表面被覆の影響が原

因として考えられる。

- ・ どの供試体においても、圧入孔から遠い部分にはリチウムイオンが浸透していないことを確認することができた。これにより、圧入孔から遠い部分の膨張を抑制できなかったと推察することができる。
- ・ 通常-1.0 供試体において、圧入孔から遠い位置の浸透率は小さくなっているが、他の供試体よりも呈色反応が濃く見られた。これは圧入孔付近に限らず、圧入孔から遠い他の部分においても、他の供試体よりも濃く変色している傾向があった。リチウム量が多かったために、濃く変色したと考えられる。また、圧入孔から遠い⑥～⑧の供試体において、浸透率が0%であったものも含み、全体がとても薄く変色していた。

参考文献

- 1) 江良和徳：リチウムイオン内部圧入によるASR抑制効果に関する研究、京都大学大学院社会基盤工学専攻博士後期課程 博士論文、2010.3
- 2) 大谷智也、高木雄介、小林孝一、六郷恵哲：ASRを抑制するための適切なリチウム注入量に関する研究、岐阜大学工学部社会基盤工学科 卒業論文、2016.2
- 3) ASR リチウム工法協会：アルカリ骨材反応抑制工法 ASR リチウム工法技術資料改訂版、2012.4

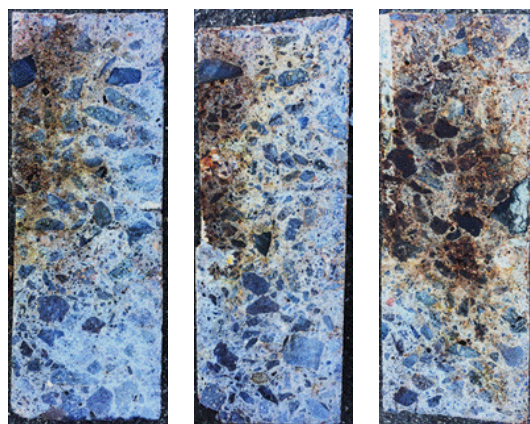


写真-1 呈色状況 (③)

(左から通常-0.3, 0.6, 1.0 供試体)