

表-2 呈色反応試験結果

施工対象	施工面積 (m ²)	試料数 (本)	コア試料表面の呈色反応状況 (φ20mm, L=200mm程度)
日御碕擁壁	20	4	4本中3本に表面積の70%以上呈色. 1本はひび割れ付近に呈色.
海田高架橋	A2橋台	6	6本中5本に表面積の70%以上呈色. 1本は斑状に呈色.
	A3橋台	6	6本すべてに表面積の70%以上呈色.
	UP3橋脚	7	7本中4本に表面積の70%以上呈色. 2本は斑状, 1本はひび割れ付近に呈色.
	P15橋脚	10	10本中6本に表面積の70%以上呈色. 2本は斑状, 2本はひび割れ付近に呈色.
	RP27橋脚	4	4本中3本に表面積の70%以上呈色. 1本はひび割れ付近に呈色.
	RP28橋脚	12	3本すべてに表面積の70%以上呈色.
	RP29橋脚	11	2本すべてに表面積の70%以上呈色.
	RP31橋脚	10	2本中1本に表面積の70%以上呈色. 1本は斑状に呈色.
	RP34橋脚	17	3本中2本に表面積の70%以上呈色. 1本はひび割れ付近に呈色.



写真-3 呈色反応状況

亜硝酸リチウムのコンクリート中の浸透は、主にコンクリート中の微細なひび割れを通じて、また一部はコンクリート中の連続空隙を通じて各圧入孔からその周囲へ広がっていくものと考えられる。圧入孔間の中央部付近のコアで実施した呈色反応試験の結果、全ての箇所呈色反応がみられたことから、各圧入孔間の範囲のコンクリート中には亜硝酸リチウムが浸透したと判断することができる。

これらの試験結果より、圧縮強度が 10.9～33.3N/mm² のコンクリートに対し、圧入孔間隔を 500mm、注入圧力を 0.5～1.0MPa と設定して亜硝酸リチウム水溶液を圧入した場合、亜硝酸リチウムはコンクリート中に概ね満遍なく浸透している状況が確認できた。

4.2 リチウムイオン定量分析結果

日御碕擁壁にて実施したリチウムイオン定量分析結果を図-5に示す。既往の研究成果¹⁾により、亜硝酸リチウムによって ASR を抑制するために必要な Li⁺/Na⁺モル比を 0.5 と設定すると、本擁壁の ASR 抑制対策に必要となるリチウムイオン量は 0.459kg/m³ となる。全 24 試料のうちの 3 試料において 0.459kg/m³ を若干下回ったものの、全体の 88%の範囲には必要量以上のリチウムイオンが供給されていることがわかる。

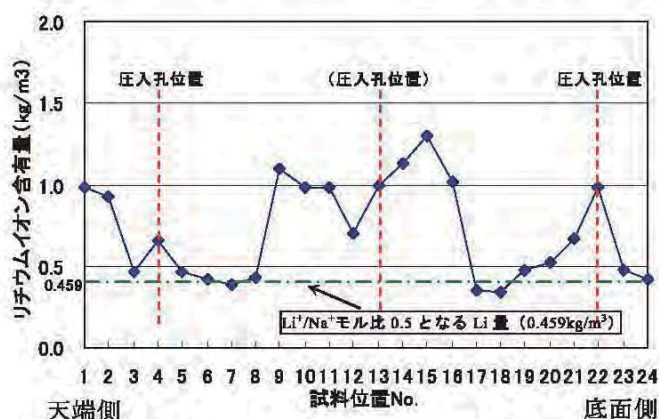


図-5 リチウムイオン含有量

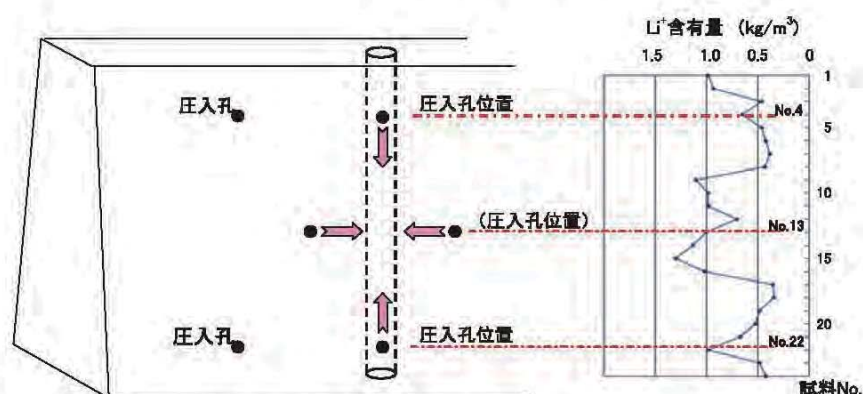


図-6 リチウムイオンの分布状況

また、全 24 試料におけるリチウムイオン含有量の平均値は 0.715 kg/m^3 であり、必要量リチウムイオン量 0.459 kg/m^3 を大きく上回る。

リチウムイオンの分布状況と圧入孔の位置との関係を図-6 に示す。リチウムイオンは各圧入孔からその周囲へ広がっていくと考えられるため、圧入孔付近のリチウムイオン濃度がより高く、圧入孔から離れるに従って濃度が低くなると予測していたが、実際の分布状況ではむしろ上下の圧入孔間の中央部付近（試料 No.9～16）に高濃度のリチウムイオンが検出された。このリチウムイオン分布の凹凸と圧入孔位置との関係に着目すると、図-6 の中に矢印で示したように、試料 No.9～16 付近には上下左右の圧入孔から浸透してくるため、結果的にリチウムイオン量が多く供給されていたと考えられる。

これらの試験結果より、圧縮強度が $10.9 \sim 18.3 \text{ N/mm}^2$ のコンクリートに対し、圧入孔間隔を 500 mm 、注入圧力を $0.5 \sim 0.6 \text{ MPa}$ と設定して亜硝酸リチウム水溶液を圧入した場合、概ねコンクリート全範囲において ASR 抑制に必要な量以上のリチウムイオンが分布している状況が確認できた。

4.3 促進膨張試験結果

日御碕擁壁における「 40°C ，RH100%」条件下での促進膨張試験結果を図-7 に示す。施工前の試験体の全膨張率は 0.055% を示した。それに対し施工後の全膨張率の平均値は 0.013% であり、施工前の値に比べて 23.6% に低減されていた。残存膨張率で比較すると、施工前は 0.041% ，施工後の平均値は 0.010% であり、施工前に比べて 24.4% に低減されていた。

海田高架橋における「 40°C ，RH100%」条件下での促進膨張試験

結果を図-8 に示す。施工前の全膨張率の平均値は 0.049% を示した。それに対し施工後の全膨張率の平均値は 0.020% であり、施工前に比べて 40.8% に低減されていた。残存膨張率で比較すると、施工前の平均値は 0.039% ，施工後の平均値は 0.009% であり、施工前に比べて 25.0% に低減されていた。

これらの試験結果より、圧縮強度が $10.9 \sim 33.3 \text{ N/mm}^2$ ，アルカリ総量が $3.5 \sim 5.7 \text{ kg/m}^3$ のコンクリートに対し、 Li^+/Na^+ モル比を 1.0 とする量の亜硝酸リチウム水溶液を圧入することにより、亜硝酸リチウム圧入後のコンクリートの膨張率は注入前の $25\% \sim 40\%$ 程度にまで低減されており、以後の ASR 膨張を十分抑制することが可能であると考えられる。

本工法施工後の効果確認試験として促進膨張

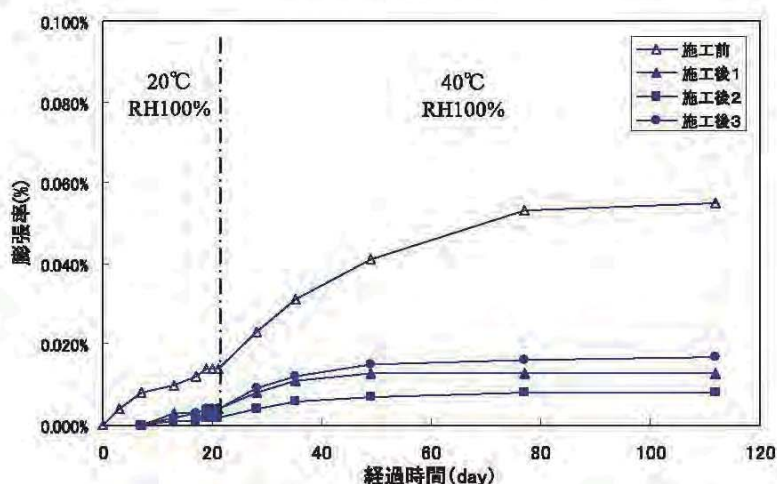


図-7 促進膨張試験結果（日御碕擁壁， 40°C ，RH100%）

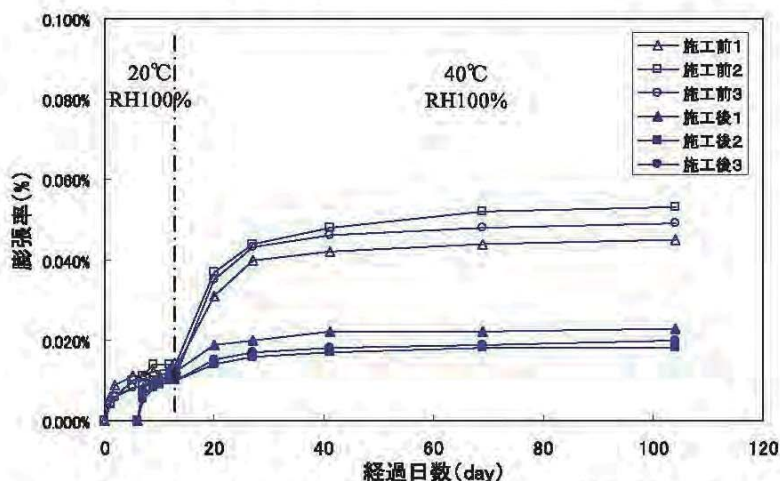


図-8 促進膨張試験結果（海田高架橋， 40°C ，RH100%）

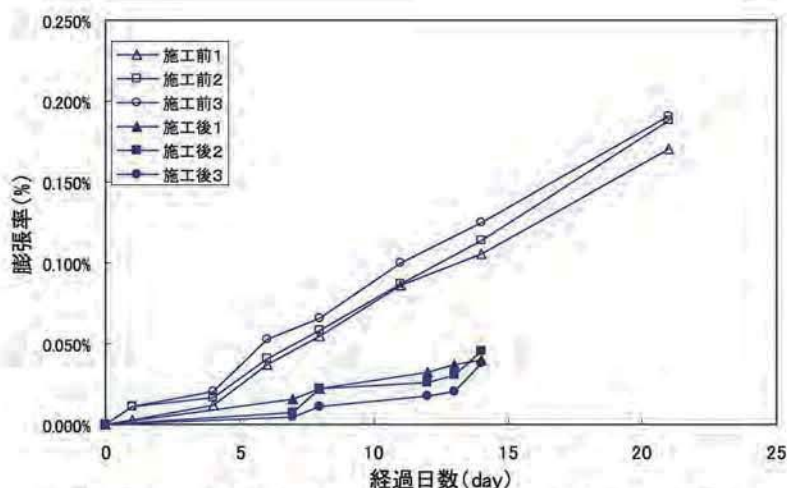


図-9 促進膨張試験結果（海田，80℃，1mol/l NaOH）

試験を実施する場合，「40℃，RH100%」条件下での促進膨張試験（JCI-DD2 法）では，試験結果を得るまでに3ヶ月～6ヶ月を要する．これでは施工工期内に収めることが困難となるため，より短期間で結果を得ることのできる「80℃，1mol/l NaOH 溶液」条件下での促進膨張試験に着目した．海田高架橋における「80℃，1mol/l NaOH 溶液」条件下での促進膨張試験結果を図-9に示す．施工前の膨張率は14日間で0.115%，21日間で0.183%値を示した．それに対し施工後の膨張率は14日間で0.041%であり，14日間の膨張率で比較すると，施工前の35.7%に低減されていた．

図-8に示す海田高架橋の「40℃，RH100%」条件下での試験結果と，図-9の「80℃，1mol/l NaOH 溶液」条件下での結果とを比較すると，示される膨張率の値は当然異なるものの，膨張率の低減率に着目すると，どちらも施工後の膨張率が施工前の35～40%程度に低減されていることが分かり，本試験の範囲内では両者からほぼ同等の評価が得られたと言える．ただし，促進膨張試験の結果はコアの形状寸法に大きく依存することが指摘されており⁴⁾，異なる促進養生条件で得られる膨張率の相関関係を把握するにはさらに多くの比較データを必要とすると考えられる．

5. まとめ

(1) 本工法の定める圧入孔間隔，注入圧力にて亜硝酸リチウムをコンクリートに圧入した場合，亜硝酸リチウムはコンクリート中に概ね満遍なく浸透しており，リチウムイオンもASR抑制に必要な量以上ではほぼ分布している状況が確認できた．

(2) Li^+/Na^+ モル比を1.0とする量の亜硝酸リチウム水溶液をコンクリート中に圧入することにより，亜硝酸リチウム圧入後のコンクリートの膨張率は注入前の25%～40%程度にまで低減されていることが確認できた．

(3) 亜硝酸リチウムの良好な浸透状況と，膨張率の低減効果が示されたことにより，本工法のASR膨張の抑制効果は十分に期待できるものとする．

参考文献

- 1) 例えば齊藤満，北川明雄，柳場重正：亜硝酸リチウムによるアルカリ骨材膨張の抑制効果，材料，Vol. 41，No. 468，pp. 1375-1381，1992
- 2) 江良和徳，岡田繁之，三原孝文，河原健児：亜硝酸リチウム高圧注入によるアルカリ骨材反応抑制工法（リハビリ高圧注入工法）の開発，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレードシンポジウム論文報告集，Vol. 4，pp. 117-122，2004
- 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集，Vol. 23，pp. 403-408，2001
- 4) 大脇英司，宮原茂禎，上東泰，野島昭二：促進膨張試験によるコンクリートコアのアルカリ骨材反応性の検討，土木学会第58回年次学術講演会概要集第5部，pp. 137-138，2003