

論文

[1130] 表面被覆材と亜硝酸リチウムによるアルカリシリカ反応抑制効果に関する実験的研究

正会員 ○ 入田 一 (東亜合成化学工業製品研究所)
 正会員 谷川 伸 (東亜合成化学工業製品研究所)
 正会員 岡田一興 (明星工業大阪技術部)
 山城博隆 (明星工業大阪技術部)

1. はじめに

既設コンクリート構造物のアルカリシリカ反応 (以下ASRと略す) による膨張を抑制する方法として大きく2つの方法が提唱されている。1つは、表面塗装によりコンクリートの水分蓄積を抑制する方法であり、もう1つは、膨張抑制剤をコンクリートに含浸させる方法で、Li化合物にその効果が認められている[1]。しかし、各々の補修効果の差、あるいは併用効果については必ずしも明らかにされていない。

本実験では、暴露環境として塩害環境下における暴露実験を中心に、3種の促進試験を併用し、5種類の表面被覆材と亜硝酸リチウムの併用による膨張抑制効果を検討した。

2. 実験計画および実験方法

ASRの補修仕様を2種類に分類し、各々の膨張抑制効果をプレーンと比較した。ケース1は亜硝酸リチウムを含浸後下地調整材を施工したもの、ケース2はさらに表面被覆材を施工したものである。表面被覆材は5種類を用いて各々の性能比較を行った。供試体としてアルカリ量1.2%、2.0%水準はモルタルを用い、高アルカリ量である3.0%水準はコンクリートを用いた。実験の要因と水準の組合せを表-1に示す。

表-1 実験の要因と水準

供試体の性状			補修仕様				促進試験
モルタル・コンクリートの区分	R ₂ O (%)	骨材の反応性	補修仕様の種別	亜硝酸リチウム	下地調整材	表面被覆材	
モルタル	1.2	有	プレーン	-	-	-	屋外暴露試験
			ケース1	○	○	-	高温高湿試験
			ケース2	○	○	アクリルゴム系防水材A ジタン系撥水材 PTFEシート	塩水噴霧試験 塩水噴霧乾燥試験
	2.0	有	プレーン	-	-	-	屋外暴露試験
			ケース1	○	○	-	
			ケース2	○	○	アクリルゴム系防水材A アクリルゴム系防水材B ジタン系撥水材 PTFEシート 1* 杉樹脂	
コンクリート	3.0	有	プレーン	-	-	-	屋外暴露試験
			ケース1	○	○	-	
			ケース2	○	○	アクリルゴム系防水材A PTFEシート	
モルタル	1.2	無	プレーン	-	-	-	高温高湿試験
コンクリート	3.0		プレーン	-	-	-	屋外暴露試験

2.1 供試体の作製

モルタルはJIS A 5308モルタルパー法に準じて作製した。コンクリートは、表-2に示す配合で作製し、10×10×40cmの横打角柱体とした。アルカリ量の調整は、Na₂O換算でNaOH水溶液により調整した。反応性骨材は豊島産、非反応性骨材は天竜川産を使用し、反応性骨材混入率はペシマムを考慮して40%とした。使用した反応性骨材の特徴を表-3に示す。セメントは普通ポルトラン

表-2 コンクリートの配合

G _{max} (mm)	スラブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/a (%)	単位量(kg/m ³)						
					W	C	細骨材		粗骨材		混和剤 (NaOH)
							*	**	*	**	
20	12	2	72	45	225	310	479	299	585	365	10.5

*非反応性 **反応性

表-3 反応性骨材の特長

岩石名	産地	JIS化学法 (mmol/l)			主な 構成鉱物
		Sc	Rc	判定	
古銅輝石	香川県	539	198	潜在的	斜長石
安山岩	豊島			有害	クリスタライト

ドセメント (Na₂O=0.29%, K₂O=0.57%)を使用した。供試体は、モルタルで湿気養生(20℃, 100%RH)、コンクリートで水中養生を各々材令28日まで行った。

2.2 亜硝酸リチウム水溶液の含浸

供試体の養生終了後30℃で2日乾燥し、表-1に従い亜硝酸リチウム水溶液(40%)を塗布した。既

報の文献[1]によれば、ASR抑制に効果のあるLi/Naモル比はモルタル内添実験の結果0.9以上とされている。本実験では、Li/Naモル比1.0として含浸処理を行った。

2.3 下地調整材の施工

下地調整材は、ポリマーセメントモルタル(カチオン性アクリル系)を用いた。使用量は3.0 kg/m²(形成膜厚1.5mm)、性状はポリマーセメント比9%、水セメント比36%とした。

2.4 表面被覆材の施工

各表面被覆材の特徴及び施工仕様を表-4に示す。アクリルゴム系防水材は性能の異なる2種類を使い、各々A, Bと表記した。PTFE多孔複合シート(以下PTFEシートと略す)は、通気性を損なわないために接着面積率を30%として部分接着を行った。

2.5 暴露試験

暴露試験は屋外暴露試験を中心として実施し、アルカリ量が1.2%の供試体のみ促進試験を併用した。各暴露試験条件を以下に示す。①屋外暴露試験：名古屋市臨海工業地帯に暴露した。②高温高湿試験(モルタルバー法)：40℃, 95%RH以上の条件下に放置した。③塩水噴霧試験(JIS Z 2371)：35℃で5%塩水を常時噴霧した。④塩水シャワー乾燥試験：50℃で3%塩水シャワーを2日、50℃で乾燥を1日の繰り返し条件下に放置した。

2.6 測定項目と測定方法

①外観試験：ひびわれ発生時期、ひびわれ幅および表面被覆材のふくれ等の異常を目視観察した。②膨張率の測定：JIS A 1129に従い、モルタル供試体はダイヤルゲージ法、コンクリート供試体はコンタクトゲージ法により供試体の膨張率を測定した。コンクリート供試体は、コンクリート打設面両隣の2面にゲージプラグを接着し、ゲージプラグ間の距離を20cmとした。③重量変化率の測定：供試体の重量を経時的に測定し、その変化率を算出した。

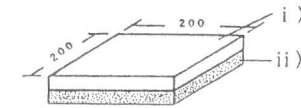
表-4 表面被覆材の施工仕様

材料名称	特徴	区分	主成分	使用量 kg/m ²	形成膜厚 μm
アクリルゴム系防水材A [難燃性]	中塗材の伸び率620%。透湿性、遮水性有し、塩害対策の汎用品。	下塗 中塗 上塗	合成樹脂系 アクリルゴム系 アクリルウレタン系	0.2 2.2 0.3	1000
アクリルゴム系防水材B	中塗材の伸び率330%。透湿性、遮水性を有し、塩害対策の汎用品。	下塗 中塗 上塗	合成樹脂系 アクリルゴム系 アクリルウレタン系	0.2 2.2 0.3	1000
PTFE多孔複合シート	多孔性のため通気性に優れ、遮水性、ひびわれ追従性も有する。部分接着を要し、施工が難しい。	接着剤 シート	エポキシ樹脂系 軟質ポリウレタン ガラスクロス PTFE多孔性膜	適宜 -	1000
シリコン系撥水材	透湿性、撥水性に優れ、ひびわれ追従性劣る。	-	シリコン系溶剤 溶液	0.24	0
エポキシ樹脂	遮水性優れる。ひびわれ追従性劣る	-	エポキシ樹脂系	0.5	300

2.7 各補修仕様の性能試験

各補修仕様の性能と膨張抑制効果の知見を得る目的で、透湿度、透水率、ひびわれ追従性を測定した。試験体は図-1に示す形状で、ケース1、ケース2の全仕様で作製した。①透湿度：JIS Z 0208「防湿包装材料の透湿度試験方法」に従い、40℃、90%RH条件下での透湿度を測定した。②透水率：JIS A 6910「複層仕上塗材」透水試験を参考に、水頭250mmとし24時間経過後の透水率を測定した。③下地ひびわれ追従性：引張速度5mm/minで引張試験を行い、試料にピンホールや破断等の異常を認めたとときの追従ひびわれ幅を測定した。

<透湿度、透水率>



<下地ひびわれ追従性>

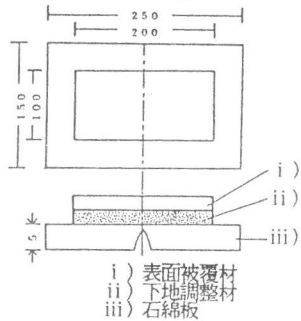


図-1 性能試験用試験体

表-5 ひびわれの発生時期

材令 393日現在

R ₂ O	骨材の反応性	暴露試験	補修仕様の種別	表面被覆材	ひびわれの発生した材令(日)	
1.2	有り	屋外暴露	プレーン	なし	223	
			ケース1	なし	認めず	
			ケース2	アクリルゴム系防水材A PTFEシート シラン系撥水材	認めず 認めず 認めず	
			プレーン	なし	104	
			ケース1	なし	148	
			ケース2	アクリルゴム系防水材A PTFEシート シラン系撥水材	認めず 認めず 148	
		塩水噴霧	プレーン	なし	104	
			ケース1	なし	104	
			ケース2	アクリルゴム系防水材A PTFEシート シラン系撥水材	認めず 認めず 195	
			塩水シワ-乾燥	プレーン	なし	69
				ケース1	なし	104
				ケース2	アクリルゴム系防水材A PTFEシート シラン系撥水材	認めず 認めず 195
2.0	有り	屋外暴露	プレーン	なし	76	
			ケース1	なし	90	
			ケース2	アクリルゴム系防水材A アクリルゴム系防水材B PTFEシート シラン系撥水材 エポキシ樹脂	認めず 認めず 認めず 110 90	
			プレーン	なし	96	
			ケース1	なし	135	
			ケース2	アクリルゴム系防水材A PTFEシート	認めず 認めず	
1.2	無し	高温高湿	プレーン	なし	認めず	
3.0		屋外暴露	プレーン	なし	認めず	

3. 実験結果及び考察

3.1 外観試験結果

供試体の外観的損傷はひびわれの発生のみであり、表面被覆材のふくれその他の異常は認められない。ひびわれの発生時期は表-5に示す様に、プレーン、ケース1、ケース2のエポキシ樹脂、シラン系撥水材の順である。アクリルゴム系防水材A,B及びPTFEシートを施工した試料にはひびわれが認められない。

3.2 膨張率及び重量変化率の測定結果

(1) 屋外暴露試験

各アルカリ量の水準別に、膨張率及び重量変化率の結果を図-2~7に示す。アルカリ量1.2%の結果では殆ど膨張してないが、

中でもプレーン>ケース1の順に膨張の傾向があり、かつ重量の増加傾向が認められる。アルカリ量2.0%の結果では、各補修水準に明確な差があり、ケース2のPTFEシート>アクリルゴム系防水材A,B>シラン系撥水材>ケース1の順に膨張抑制効果が大きく、ケース2のエポキシ樹脂はプレーンと同じ膨張傾向を示している。アルカリ量3.0%のコンクリート供試体では、膨張抑制効果は小さいが、ケース2のPTFEシート>アクリルゴム系防水材Aの順に、膨張抑制効果が認められ、ケース1はプレーンと同じ膨張傾向を示している。ひびわれ追従性に劣るシラン系撥水材、エポキシ樹脂の仕様では、ひびわれが入るとプレーンとほぼ同じ傾向で膨張し、重量変化率も同じ傾向で増加する。又、重量変化率が減少傾向にある、即ち、供試体中の水分が系外に放出される仕様の膨

張抑制効果が優れており、本実験の範囲内ではPTFEシート、
 アクリルゴム系防水材の順に効果が大きい。

(2) 促進試験

各促進試験別に、膨張率及び重量変化率の結果を図-8~
 13に示す。高温高湿試験、塩水噴霧試験は常時高湿条件で
 あり、供試体内部からの水分逸散が無く、全供試体に重量
 増加が認められ、屋外暴露試験結果と対応していない。

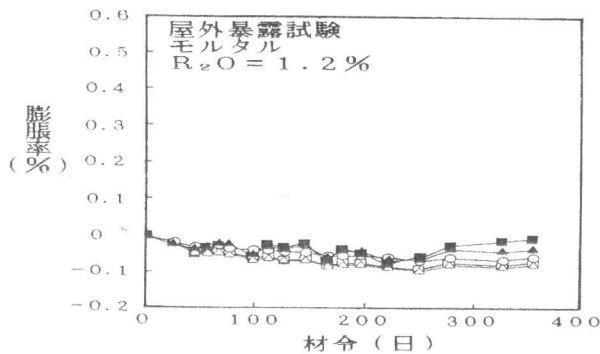
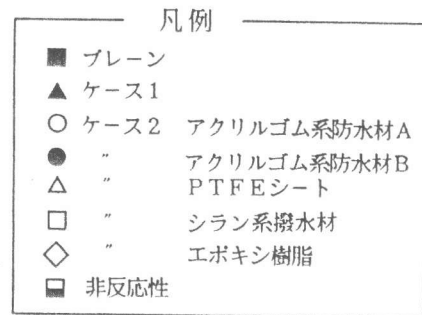


図-2 膨張率($R_2O=1.2\%$)

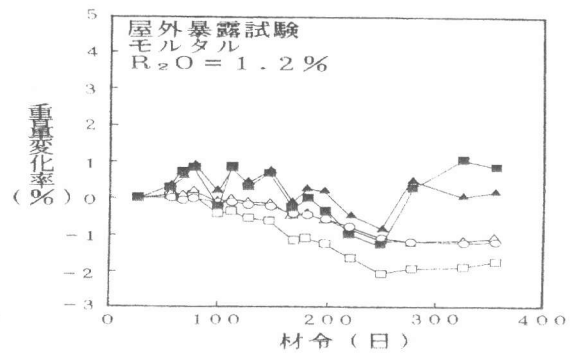


図-3 重量変化率($R_2O=1.2\%$)

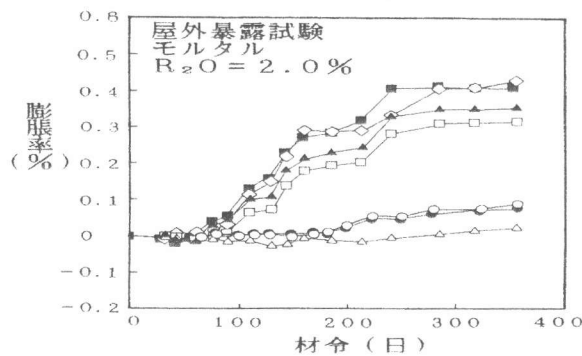


図-4 膨張率($R_2O=2.0\%$)

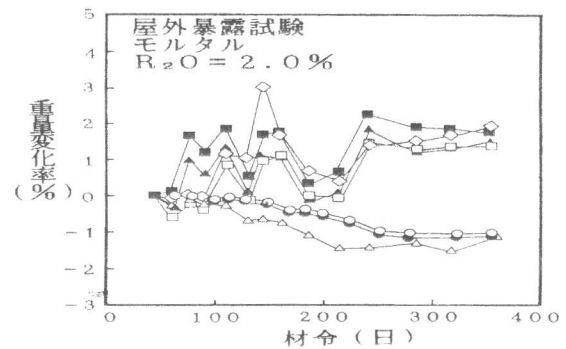


図-5 重量変化率($R_2O=2.0\%$)

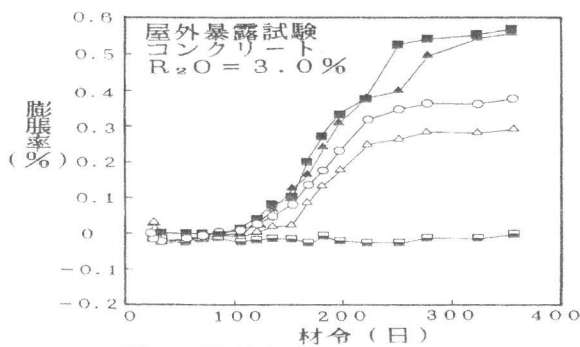


図-6 膨張率($R_2O=3.0\%$)

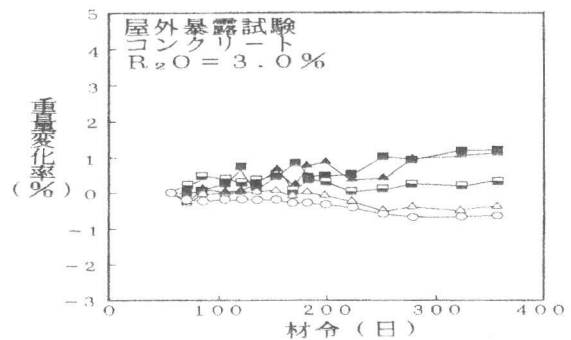


図-7 重量変化率($R_2O=3.0\%$)

塩水シャワー乾燥試験では、屋外暴露試験で重量減少が認められたアクリル系防水材、PTFEシート、シラン系撥水材に同様の重量減少が認められる点で屋外暴露試験に近い結果となっている。これは塩水シャワー乾燥試験が乾湿繰り返し条件を含み、屋外暴露試験と同様に供試体内部からの水分逸散があったためと思われる。塩水シャワー乾燥試験の膨張率の結果から、ケース1、ケース2の双方に補修効果が認められ、プレーンとケース1の膨張率の差が特に大きく亜硝酸リチウムと下地調製材を併用した工法の膨張抑制効果を確認できる。ただし、このような傾向は屋外暴露試験では見られず、乾湿繰り返し条件の設定には今後の検討が必要であろう。

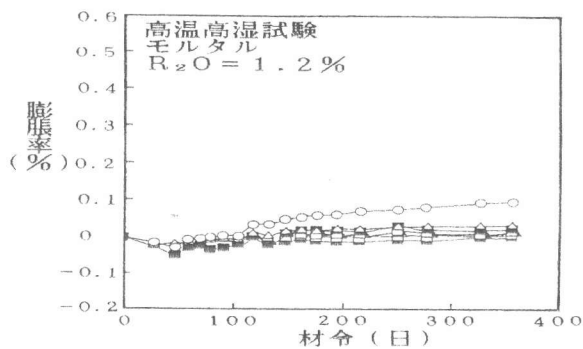


図-8 膨張率(高温高湿試験)

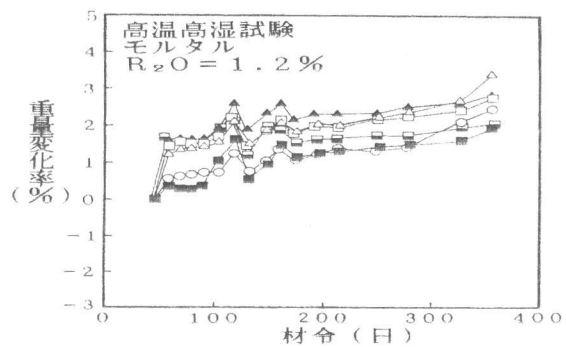


図-9 重量変化率(高温高湿試験)

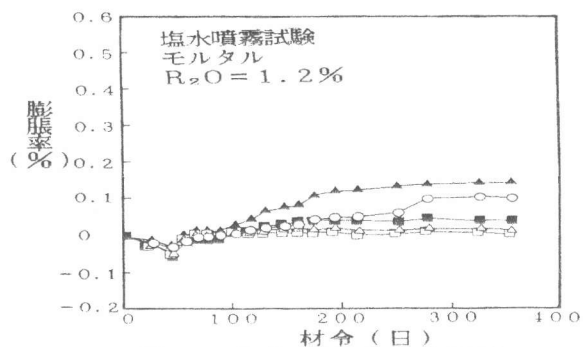


図-10 膨張率(塩水噴霧試験)

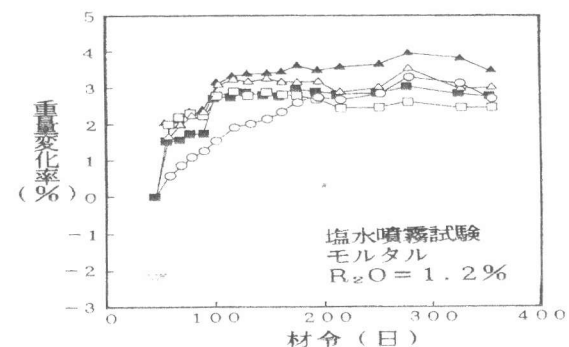


図-11 重量変化率(塩水噴霧試験)

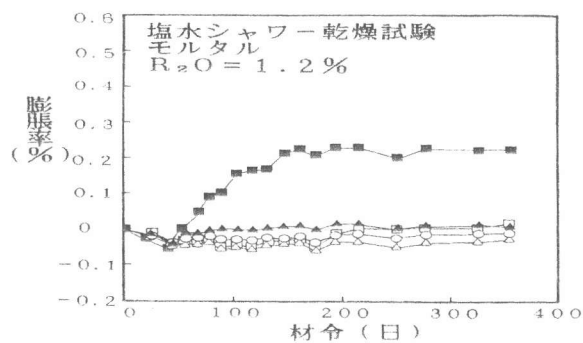


図-12 膨張率(塩水シャワー乾燥試験)

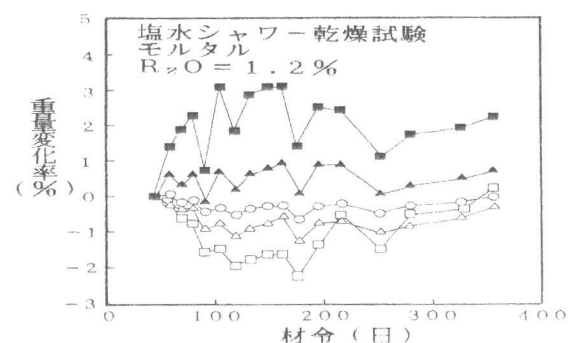


図-13 重量変化率(塩水シャワー乾燥試験)

3.3 各補修仕様の諸性能と膨張抑制効果に関する考察

各補修仕様の透湿度、透水率、ひびわれ追従性の測定結果を表-6に示す。ここで式(1)に示す性能指標を定義し表面被覆材のASR抑制効果を考察する。透湿度/透水率は大きい程、供試体内部水分を放出し易く、かつ外部環境からの水の侵入を阻止できるためASR抑制に有効と考えられるが、これは表面被覆材が破断しないという条件付きである。この破断し難さの程度を下地ひびわれ追従性とし、透湿度/透水率に乗じたものを性能指標とした。即ち、性能指標は大きいほどASR抑制効果が大きいと考えられる。アルカリ量2.0%のモルタル供試体の膨張率測定結果を用いて、性能指標と式(2)に示す膨張抑制率の関係を図-14に示すが、性能指標と膨張抑制率にはよい相関が認められる。

$$\text{性能指標} = \left(\frac{\text{透湿度}}{\text{透水率}} \right) \times \text{ひびわれ追従性} \quad \dots (1)$$

$$\text{膨張抑制率} = 100 - \frac{\varepsilon - \varepsilon_0}{\varepsilon_b - \varepsilon_{b0}} \times 100 \quad \dots (2)$$

ε : 各補修供試体の最終膨張率

ε_b : プレーンの最終膨張率

ε_0 : 各補修供試体の暴露試験開始時の膨張率

ε_{b0} : プレーンの暴露試験開始時の膨張率

表-6 各補修仕様の性能

仕様の種別	表面被覆材	透湿度 g/m ² day	透水率 cc/day	ひびわれ追従性 mm	性能指標
ケース1	—	1707	0.80	0.4	854
ケース2	アクリルゴム系防水材A	22.6	0.02	7.8	8814
	アクリルゴム系防水材A	18.5	0.02	4.6	4255
	PTFE多孔複合シート	847.4	0.12	4.8	33896
	シリコン系撥水材	1833	0.30	0.4	2444
	エポキシ樹脂	27.5	0.01	0.5	1375

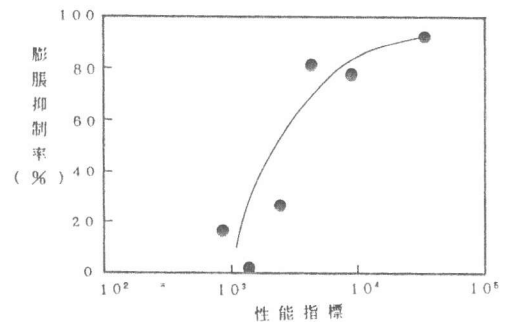


図-14 性能指標と膨張抑制率の関係

4. まとめ

本実験の結果は、以下の様にまとめられる。

- (1) ASRを抑制する目的には、透湿度、ひびわれ追従性が大きくかつ透水率の小さい補修仕様が有効と考えられ、本実験の範囲ではPTFEシート、アクリルゴム系防水材が優れている。
- (2) 本実験の目的には、乾湿繰返し工程を含む促進試験が、重量変化率の面から屋外暴露試験との対応が良いが、膨張率の面では同じ傾向が得られず、乾湿繰返し条件の設定には今後の検討が必要である。

謝辞

本実験を行うにあたり、亜硝酸リチウムに関する技術情報の提供等に御協力を戴いた日産化学工業(株)に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 高倉・坂口・友沢・安部：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