コンクリート用無機質系弾性補修材のアルカリ・シリカ反応抑制効果に関する研究[†]

嶋 谷 宏 文* 若 杉 三 紀 夫*
四 方 田 信 明* 中 野 錦 一**

Preventive Effect of New Inorganic Extensible Coating Material on Alkali-Silica Reaction

by

Hirohumi SHIMATANI*, Mikio WAKASUGI*, Nobuaki YOMODA*
and Kinichi NAKANO**

Sufficiently high waterproof, moderate moisture permeability and extensibility are the necessary properties for a coating material to have in order to prevent the damage of concrete due to the alkali-silica reaction (ASR). A new inorganic coating material having all of these properties has been developed. In the present study, its physical properties were measured, first and then the durability under accelerated ultraviolet light exposure was examined. Lastly, practical performance tests were carried out by using the specimens made of concrete with alkali reactive aggregate and the actually damaged concrete structure due to ASR. As the result, it was confirmed that ASR was prevented for 2-years by coating the new material.

キー・ワード：コンクリート，補修材，アルカリ・シリカ反応，無機質

1 ま え が き

アルカリ骨材反応（以下アルカリ・シリカ反応に限定し ASR と略記する）によって、ひび割れや変状を生じたコンクリート構造物の補修については、基本的な対策が未だ確立されていないが、ASR の研究によれば、コンクリート構造物の外部から水分の補給がある場合には反応が継続して進行するともいわれており、防水工法によって外部からの水分の供給を遮断することは ASR 抑制の一対策になりうるものと考えられている。このような防水材としてエポキシ樹脂、ポリウレタン樹脂、アクリル樹脂、シリコーン樹脂およびポリマーモルタル等が使用されており、これらの防水材の塗布による ASR の抑制効果について既にいくつかの報告があり、コンクリート構造物が特定の環境条件下にある場合に、一部の防水材で ASR 抑制効果が確認されている。

しかし、コンクリート構造物に防水材を塗布して外部からの水分を遮断してもコンクリート内部に水分が包含されていれば、この保有水分によって ASR が進行する可能性がある。したがって、コンクリート用補修材に望まれる機能として、一つには外部からの水分

の浸入を遮断するが内部の水分が蒸発することを妨げない性質、すなわち防水性と適度な透湿性が必要である。つぎに補修材の塗膜の物理的性状として、ASR を考慮すれば、反応が進みひび割れ等の損傷が進行する場合や温度差等の外的要因によってひび割れ幅が伸縮する場合でも、その動きに追従できる伸び能力を有することが必要である。そして、これらの防水性、透湿性および伸び能力が十分に長期間維持できる耐候性および耐久性が要求される。

筆者らは無機質材料をベースとしたコンクリート用補修材の研究を進め、良好な防水性と適度な透湿性を持ち、伸び能力があり、耐候性および耐久性に優れた特性をもつコンクリート用無機質系弾性補修材（以下補修材 R-2000 と略記する）を開発した。補修材 R-2000 はシランを主成分とする浸透型の下塗り材と無機質系バインダーおよび特殊なアクリルエマルジョンより成る塗覆型の上塗り材で構成される複層材である。本研究では、まず補修材 R-2000 の物理的性状を調べ、透湿性、透水性および零スパン伸び量についてはサンシャインウェザーメータを用いて促進耐候試験を行い、その耐候性を調べた。つぎに実験室的レベルで ASR

[†] 原稿受理 昭和61年10月16日 Received Oct. 16, 1986

* 大阪セメント(株)研究所 大阪市大正区南恩加島, Research Laboratory, Osaka Cement Co., Ltd., Minamiokazima, Taisho-ku, Osaka

** 正 会 員 大阪セメント(株)研究所 大阪市大正区南恩加島, Research Laboratory, Osaka Cement Co., Ltd., Minamiokazima, Taisho-ku, Osaka

を促進させたコンクリート供試体に補修材R-2000を塗布してASR抑制効果を調べ、さらにASRによる損傷の顕著な実際のコンクリート構造物に補修材R-2000の試験施工を行い、ASR抑制効果を調べた。

2 補修材R-2000の物理的性状

2・1 試験方法

補修材R-2000の物理的性状として透湿性、透水性、引張伸び率、零スパン伸び量、下地付着強度、遮塩性、耐衝撃性、耐屈曲性、耐沸騰水性、耐酸性および耐アルカリ性を測定した。参考のため、塗覆域コンクリート用補修材の市販品として、エポキシ樹脂系塗料、ポリウレタン樹脂系塗料、弾性塗料およびポリマーモルタルの4種類の材料を選び、透湿性、透水性および零スパン伸び量を測定した。これら各種補修材の主成分と試験膜厚をTable Iに示す。供試体には遊離塗膜または5mm厚のモルタル板下地に塗布したものを使用した。試験項目ごとに使用した供試体の種類と準拠した試験方法の公的規格をTable IIに示す。気中養生では温度20℃、湿度80%R.H.以上の恒温室内で28日間静置し、また水中養生では気中養生21日後、同室内で水中に7日間浸漬して、各試験項目の測定を行った。引張伸び率および零スパン伸び量はFig.1および

Table I. Chemical composition and thickness of the coating materials.

No.	Material	Chemical composition	Thickness of coating, mm
1	Coating material R-2000	Siloxane Inorganic binder and acryl-polymer-dispersion	*
2	Epoxy resin	Epoxy resin containing polyamide-amine	1.2
3	Polyurethane resin	Polyurethane resin modified by acryl	1.0
4	Elastic paint	High elastic acryl rubber	1.0
5	Polymer cement mortar	Cement mortar containing acryl-polymer	7.0

* Impregnate type

Table II. Test items, specimens and test methods.

Test items	Specimens	Test method
Moisture permeability	Film	JIS Z 0208
Water permeability	Coated on mortar plate	JIS A 6910
Chloride permeability	Film	
Tensile elongation	Film	
Zero span extension	Coated on mortar plate	
Adhesion	Coated on mortar plate	
Imoact resistance	Coated on mortar plate	JIS A 6910
Bending resistance	Film	
Boiling water resistance	Coated on mortar plate	JIS K 5400
Acid resistance	Coated on mortar plate	
Alkali resistance	Coated on mortar plate

Fig. 1. Test specimen for tensile elongation.

Fig. 2. Test specimen for zero span extension.

びFig.2に示す供試体を作製し、荷重速度5mm/minで測定した。

2・2 試験結果および考察

(1) 物理的性状 補修材R-2000の物理的性状の試験結果をTable IIIに示す。透湿性、透水性および遮塩性では気中養生と水中養生の差がみられなかった。引張伸び率は気中養生で60%に対して水中養生で55%

Table III. Physical properties of the coating material R-2000.

Test items	28 days in air	28 days in water
Moisture permeability, mg/cm ² day	7	7
Water permeability, mg/cm ² day	1.5	1.4
Chloride permeability, mg/cm ² day	0.01	0.01
Tensile elongation, %	60	55
Zero span extension, mm	5.2	4.6
Adhesion, kgf/cm ²	5.6	5.4
Impact resistance	Pass	
Bending resistans	Pass	
Boiling water resistance	Pass	
Acid resistance	Pass	
Alkali resistance	Pass	

に、また零スパン伸び量は気中養生で5.2 mm に対して水中養生で4.6 mm に若干の変化がみられた。耐衝撃性、耐屈曲性、耐沸騰水性、耐酸性および耐アルカリ性については、塗膜に異常が認められなかった。

(2) 透湿性、透水性および零スパン伸び量 補修材R-2000 の透湿性、透水性および零スパン伸び量を塗覆型コンクリート用補修材の市販品と比較した試験結果を Fig. 3, Fig. 4 および Fig. 5 に示す。エポキシ樹脂系塗料、ポリウレタン樹脂系塗料および弾性塗料の透水性は約 $0.5 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{日}$ 以下と小さく、ほとんど水を通さないが、同時にこれらの材料は透湿性も約 $1 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{日}$ と小さいため、コンクリート内部の水分が外部へ逸散するのを妨げるものと思われる。補修材R-2000 の透水性は約 $1.5 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{日}$ とエポキシ樹脂系塗料に比較すると若干大きい、ポリマーモ

Fig. 3. Comparison of moisture permeability.

Fig. 4. Comparison of water permeability.

Fig. 5. Comparison of zero span extension.

ルタルの約1/30で、透湿性は約 $7 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{日}$ とエポキシ樹脂系塗料の約7倍であり、コンクリート内部の水分を水蒸気として自由に外部へ逸散できるものと思われる。ポリマーモルタルの透湿性は $24 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{日}$ とさらに大きい、しかし透水性も $129 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{日}$ と大きい、外部からの水を遮断する能力に劣ると思われる。また、補修材R-2000 の零スパン伸び量は約5 mm とエポキシ樹脂系塗料の約1 mm に比較して約5倍の伸び量を示し、1~2 mm 幅のひび割れの伸縮に十分追従できるものと思われる。

3 補修材R-2000 の耐候性

3・1 試験方法

温度20℃、湿度80% R. H. 以上の気中で28日間養生した供試体と JIS B 7753 に規定されるサンシャインウェザーメータを用いて促進耐候試験を行い、ウェザーメータ照射200時間、500時間および1000時間で透湿性、透水性および零スパン伸び量を測定した。

3・2 試験結果および考察

(1) 防水性と透水性 補修材R-2000 の透湿性および透水性について、ウェザーメータ照射時間との関係を Fig. 6 および Fig. 7 に示す。ウェザーメータ照射0~500時間で透湿性が $7 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{日}$ から $5 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{日}$ に、透水性が $1.5 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{日}$ から $1.2 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{日}$ に若干の変化がみられたが、500~1000時間では、ほとんど変化がなかった。

(2) 伸び能力 補修材R-2000 の零スパン伸び量とウェザーメータ照射時間の関係を Fig. 8 に示す。零スパン伸び量も同様に、ウェザーメータ照射0~500時間で5.2 mm から4.5 mm に変化した、500~1000時間では、ほとんど変化がなかった。ウェザーメータ照射の初期にみられる物性の変化は紫外線励起によるアクリルエマルジョン粒子の架橋反応によるも

Fig. 6. Change of moisture permeability with irradiation time.

Fig. 7. Change of water permeability with irradiation time.

Fig. 8. Change of zero span extension with irradiation time.

のと思われる。

4 ASR 促進供試体への塗布試験

4.1 試験方法

Table IV に示す配合の反応性骨材を使用したコンクリート角柱供試体 (10×10×40 cm) を作製した。反応性骨材には ASTM C289 [骨材の潜在反応性試験方法 (化学法)] により試験し、その結果が有害と判定された砕石を使用した。また、試薬特級の塩化ナト

Table IV. Mix proportion of the concrete specimen using reactive aggregate.

Slump cm	W/C %	S/a %	Air content %	Na ₂ O equiva- lent kg/m ³	Water kg/m ³	Cement kg/m ³
11	50	44	4.2	8	176	352

Fine aggregate kg/m ³	Coarse aggregate kg/m ³		Admixture	
	Non- reactive	Reactive	NaCl kg/m ³	A.E. agent (Vinsol) %
780	516	487	9.79	0.015

リウムを添加してコンクリート中のアルカリを等価 Na₂O 換算で 8 kg/m³ とした。供試体は 28 日間温度 20℃、湿度 65% R. H. の恒温室内で気中養生し、つぎに 7 日間同室内で水中養生した後、同室内で 2 日間乾燥して、コンクリート表面が含水率で 8% に乾燥した時点で、

I-A : 未処理, I-B : 補修材 R-2000 塗布, I-C : エポキシ樹脂系塗料塗布

の 3 種類の表面処理を行った。補修材 R-2000 および エポキシ樹脂系塗料の塗布は、供試体のピンホールをパテ処理した後に行い、補修材 R-2000 の塗布量は下塗り材 : 200 g/m², 上塗り材 : 2.3 kg/m² とし、平均塗布厚みは 1.2 mm であった。エポキシ樹脂系塗料の塗布量はその仕様に従って、中塗り材 : 200 g/m², 上塗り材 : 100 g/m² とし、塗布厚みは、中塗り材 : 60 μm, 上塗り材 : 30 μm であった。

表面処理後 7 日間気中養生した後、温度 38℃、湿度 70% R. H. の高温気中で ASR 促進養生を開始した。促進材令 6 週までは気中養生とし、促進材令 6 週以降は我が国の降雨日数が年間 50~60 日間であることを考慮して、1 週間に 1 日の割合で同室内にて水中養生を行った。JIS A 1129 [モルタルおよびコンクリートの長さ変化試験方法] のダイヤルゲージ法に準拠して、等さ変化率と重量変化率を測定した。

4.2 試験結果および考察

(1) 膨張の抑止効果 促進試験開始以降の長さ変化率と重量変化率を Fig. 9 および Fig. 10 に示す。促進材令 6 週までの測定結果では、I-A, I-B の長さ変化率が収縮側にあることから ASR は進行していないが、I-C は膨張側にあることから ASR が進行しているものと思われる。また 1 週間に 1 日の割合で水中に浸漬する促進材令 6 週以降では、水中養生時の吸水により I-A の供試体重量は乾燥時より約 1.3% 増加し、長さ変化率は急激に膨張を示すようになり、促進材令 42 週で 1800×10⁻⁶ まで膨張していた。I-B, I-C の吸水による重量変化率は乾燥時に比較して

Fig. 9. Length change of the concrete specimens treated with several coating materials.

Fig. 10. Weight change of the concrete specimens treated with several coating materials.

0.05~0.3%増加と同程度に少なかったが、I-Cでは長さ変化率が急激に膨張を示すようになり、促進材令42週で 1600×10^{-6} まで膨張したのに対して、I-Bの長さ変化率は、ほとんど変化していなかった。

(2) 防水性と透湿性 本試験に使用したエポキシ樹脂系塗料の透水性は $0.3 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{日}$ 、透湿性は $0.8 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{日}$ であり、一般にエポキシ樹脂は防水性に優れ、水分が外部からコンクリートへ侵入するのを防ぐが、逆にコンクリート中に水分が内包された場

合には容易に放出することができないため、ASR が進行したものと思われる。補修材R-2000の透水性は $1.5 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{日}$ でエポキシ樹脂より若干大きい、一般のポリマーモルタルの約1/30であり、外部から水分がコンクリートに浸入するのを防ぐと同時に、透湿性が $7 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{日}$ と大きい、コンクリート中に水分が内包されても自由に水蒸気として外部に逸散できるので、エポキシ樹脂と異なり、コンクリート中の余剰水は減少しASRの進行を抑制したものとと思われる。

5 ASRにより損傷しているコンクリート構造物への試験施工

5.1 試験方法

Fig. 11~13に示すRC塀は施工後10年経過しており、最大1.5mm幅のASRによるひび割れが発生していた。このRC塀において補修材R-2000の補修効果を調べるため、Fig. 14に示すように

II-A: 補修せず、II-B: 補修材R-2000塗布、II-C: エポキシ樹脂注入後補修材R-2000塗布

の3通りの試験施工を行った。補修材R-2000の塗布は施工面のピンホールをパテ処理した後に行い、補修材R-2000の塗布量は、下塗り材: 200 g/m^2 、上塗り材: 2.3 kg/m^2 で、平均塗布厚みは1.2mmであった。長さ変化の測定点をFig. 15に示すように定め、これ

Fig. 11. Photograph of damaged concrete wall due to ASR.

Fig. 12. Photograph of cracks on the damaged concrete.

Fig. 13. Photograph of cracks on the damaged concrete.

- II-A Nontreated
- II-B Treated with the coating material R-2000
- II-C Treated with the coating material R-2000 after infusion of epoxy resin

Fig. 14. Division of the concrete wall for repair.

Fig. 15. Location of measuring point of length change.

を各試験施工面に2箇所以上設けて、ホイットモアひびみ計を用いて長さ変化率を測定した。

5・2 試験結果および考察

(1) 膨張の抑止効果 材令21か月までのRC 塀の長さ変化率測定結果の、上部垂直方向を Fig. 16 に、中部垂直方向を Fig. 17 に、下部垂直方向を Fig. 18 に、水平方向を Fig. 19 に示す。補修を行っていない II-A は、いずれの方向でも膨張していたが、補修材 R-2000 を塗布した II-B、II-C は垂直方向では若干収縮の傾向がみられ、水平方向の長さ変化率はほとんど変化していなかった。

(2) ひび割れ追従性 エポキシ樹脂を注入してから補修材 R-2000 を塗布した II-C とエポキシ樹脂を注入せずに補修材 R-2000 を塗布した II-B の長さ変化率に差が認められず、また II-B、II-C ともに塗膜にひび割れが発生しなかったことから、補修材 R-2000 はエポキシ樹脂を注入していない 1.5 mm 幅程度のひび

Fig. 16. Length change of vertical direction of upper part of the concrete wall.

Fig. 17. Length change of vertical direction of central part of the concrete wall.

Fig. 18. Length change of vertical direction of lower part of the concrete wall.

Fig. 19. Length change of horizontal direction of the concrete wall.

割れの伸縮に十分追従できることが確認された。

以上の試験結果より、補修材R-2000は既にASRを起こしているコンクリート構造物に塗布して約2年経過した現在でもASR抑制効果を維持していることが確認された。

6 あとがき

無機質材料をベースにした補修材R-2000の基礎物性を調べ、ASRの抑制に最も重要な性能と思われる透湿性、透水性および零スパン伸び量についてはサンシャインウェザーメータを用いて促進耐候試験を行い、これらの物性の耐候劣化を調べた。また、参考としてエポキシ樹脂系塗料やポリウレタン樹脂系塗料等の塗覆型コンクリート用補修材の市販品を比較材料として

選び、透湿性、透水性および零スパン伸び量を測定した。そして実験室的レベルのASR促進供試体への補修材R-2000の塗布試験を行い、つぎにASRによる損傷の顕著な実際のコンクリート構造物に試験施工を行ってASR抑制効果を調べた。

これらの試験結果より、ASRの抑制に最も重要な性能と思われる透湿性、透水性および零スパン伸び量は、サンシャインウェザーメータ照射1000時間でもほとんど変化しないことが確認され、さらに実験室的レベルのASR促進供試体およびASRによる損傷の顕著な実際のコンクリート構造物に塗布して約2年経過した現在もASRを抑制していることが確認された。

補修材R-2000は一般の乾燥収縮によるひび割れ等の損傷を受けたコンクリート構造物にも適用できる。ASRを起したコンクリート構造物以外のこのような用途での施工実績もあり、補修材R-2000のさらに長期の耐久性について継続して試験を行い、併せてこれらの実施における補修効果も継続して確認していく予定である。

参 考 文 献

- 1) 小野紘一, 金好昭彦, 南川洋士雄, 金光真作, 第8回コンクリート工学年次講演会論文集, p. 209 (1986).
- 2) 北岡隆司, 小林和夫, 宮川豊章, 井上 晋, 岡田 清, 土木学会 第41回年次学術講演会講演概要集, p. 559 (1986).