

報告 被覆材によるアルカリ骨材反応の抑制

福田英夫¹・野田和明²・多記徹³・守屋進⁴

要旨：表面被覆によるアルカリ骨材反応の抑制効果を検討した。アルカリ骨材反応によりひびわれが発生したコンクリート供試体を11種類の被覆仕様で補修し、屋外暴露試験および促進試験（40℃、相対湿度95%）後の塗膜のひびわれの発生状態を5年間追跡した。その結果、クロス入りの柔軟形エポキシ樹脂被覆系（1200 μ ）は塗膜にわれやふくれの発生がなく良好であった。

キーワード：アルカリ骨材反応，ひびわれ，暴露試験，被覆材

1. はじめに

近年コンクリートの早期劣化が大きな社会問題となっているが、その原因の1つにアルカリ骨材反応（以下アル骨反応と略す）がある。アル骨反応は、骨材中の反応性シリカとコンクリートに含まれるアルカリが反応することにより生じた生成物が吸水して膨張し、コンクリートにひびわれ等を生じさせる現象と言われている。

反応性骨材が使用されているコンクリート構造物の長期にわたる耐久性を確保するためにはアル骨反応を抑制することが必要である。アル骨反応により損傷を受けたコンクリート構造物の補修工法はひびわれ注入（充填）とコンクリート表面の被覆を組み合わせるものが大半であるが、構造物の劣化程度や機能及び周囲の環境条件によっては被覆だけの補修も可能であると思われる。

本研究の目的は、アル骨反応によってひびわれが生じたコンクリート構造物の補修において、その劣化程度等に応じた適切な補修材料を選定する手法を確立する事である。今回は本研究の一部としてアル骨反応によりひびわれの発生したコンクリート供試体を被覆のみで補修し、11種の被覆仕様について、補修後の暴露試験並びに促進試験における塗膜のひびわれ発生状況について調査した結果を報告する。

2. 実験方法

2. 1 コンクリート供試体

本試験の概要を図-1に示す。

反応性の粗骨材にはT産（安山岩；化学法で有害〔1〕）、H産（安山岩；化学法で有害）およびY産（チャート；化学法で有害）の3種を用い、T産とH産はベシマムを考慮してそれぞれ非反応性の粗骨材S産（硬質砂岩；化学法で無害）と1：1および4：1に混合し、Y産はそのままで使用した。

* 1 日本ペイント（株）中央研究所防食センター（正会員）

* 2 関西ペイント（株）技術開発本部

* 3 大日本塗料（株）基礎研究部（正会員）

* 4 建設省土木研究所

細骨材には化学法で無害な骨材を用いた。

表-1にコンクリート配合を示す。セメントはアルカリ量が Na_2O 当量換算で0.72%の普通ポルトランドセメントを用い、コンクリートの Na_2O 換算アルカリ量は NaOH 水溶液を加えて 8 kg/m^3 に調製した。

供試体は屋外暴露用が $25 \times 25 \times 100\text{ cm}$ 、促進試験用が $15 \times 15 \times 53\text{ cm}$ の供試体とした。養生は1日間湿空養生した後、27日間気中養生した。養生後の強度は 350 kgf/cm^2 であった。

この供試体を 40°C 、相対湿度100%の環境下で70日間促進養生した後、試験に供した。以上のようにして作製したコンクリート供試体のひびわれ幅はいずれも0.2 mm以上であった。

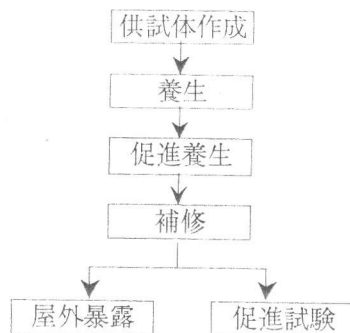


図-1 実験の概要

表-1 コンクリート配合

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (Kg/m^3)				粗骨材の 最大寸法 (mm)	NaOH 添加量 (Kg/m^3)	スランブ (cm)	空気量 (%)
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G				
50	48	195	390	824	905	20	8.0	8.0	4.0

2.2 被覆材

上記供試体を表-2に示す各被覆仕様で補修を行った。

屋外暴露用の供試体は橋脚を想定し、図-2に示す様に供試体上面より65 cmの所まで補修を行い、土中部分35 cmは補修せずに暴露した。一方、促進試験用の供試体は6面全面を補修した。

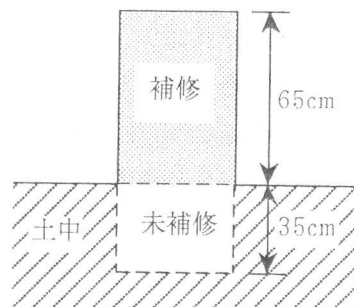


図-2 屋外暴露用供試体

2.3 暴露試験

表-2の各被覆仕様で補修した供試体と無補修の供試体について屋外暴露試験および促進試験を実施した。

屋外暴露試験では供試体の未補修部分35 cmを地中に埋め、建設省土木研究所構内（茨城県つくば市）にて1988年10月より1993年10月まで約5年間暴露した。促進試験は温度 40°C 、相対湿度95%に調整した環境試験室にて1987年5月より1992年12月まで約5年間暴露した。

供試体に塗装した塗膜のひびわれの発生状態および塗膜外観を経時で調査した。ひびわれの調査は屋外暴露の供試体の場合、上面全体と側面は上面より65 cmの所までを調査範囲とし、促進試験の供試体は6面全面を調査範囲とした。ひびわれの幅はクラックスケールを用いて測定し、各々の面について最大ひびわれ幅を求めた。なお、無補修の供試体は供試体のひびわれの発生状態を調査した。塗膜外観は目視にてふくれ、はがれの有無を評価した。

3. 結果および考察

3. 1 骨材の産地の影響

反応性骨材の産地が異なる3種の無補修供試体を屋外暴露試験および促進試験した際のひびわれ幅の経時変化を図-3に示す。

ひびわれ幅の値は供試体各面の最大ひびわれ幅の平均値を用いた。3種の反応性骨材についてひびわれ幅の経時変化を比較すると、屋外暴露試験、促進試験共に顕著な差は認められず、今回の試験では骨材の産地による反応性の差は小さい事が判った。

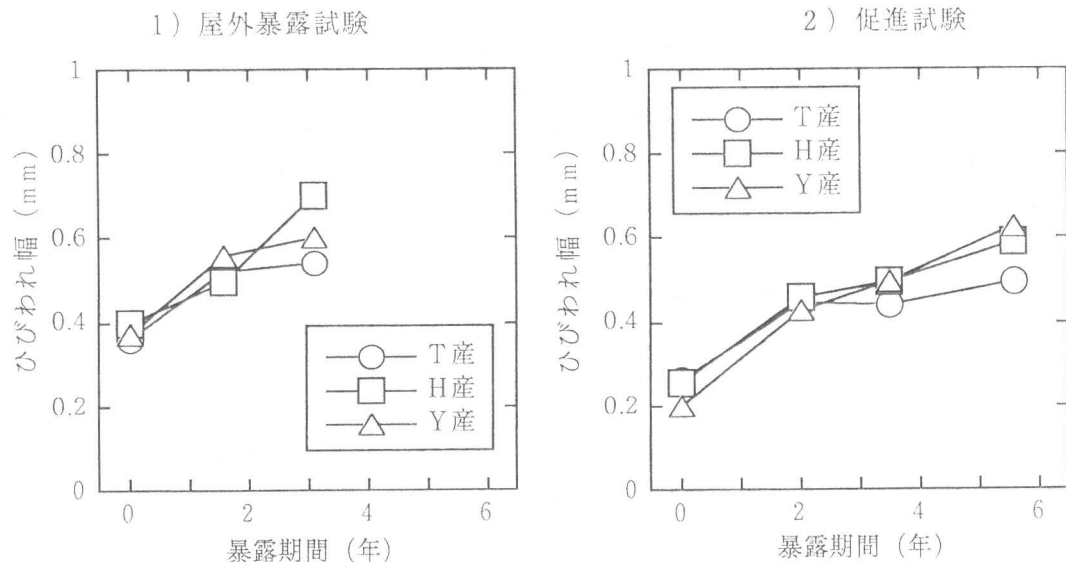


図-3 無補修供試体のひびわれ幅の経時変化

3. 2 被覆材の効果

骨材の産地による反応性の差が小さいことから、各被覆仕様について骨材の産地の区別をせず、各面の最大ひびわれ幅を全て平均した値およびひびわれの発生率と塗膜外観の結果を表-5に示す。

屋外暴露試験の結果では5年経過しても全く異常のない被覆仕様はクロス入り柔軟形エポキシ系 (1200μ) とクロス入り柔軟形ゴム系 (1200μ) の2種類であり、他の被覆仕様はひびわれや塗膜劣化 (ふくれ) が生じた。

一方、促進試験では、5年間経過しても全く異常のない被覆はクロス入り柔軟形エポキシ系 (1200μ) のみであった。

図-4に本試験で中塗りに用いた被覆材の単膜での透湿度 [2] と屋外暴露5年1ヶ月後のひびわれ幅の関係を示す。なお、透湿度の値は膜厚の効果を加味するため、単位膜厚当たりの値ではなく実際に被覆した被覆材の膜厚に換算した値を用いた。図-4に示すようにひびわれ幅は透湿度の減少に伴って小さくなり、5種類の被覆系の中ではクロス入り柔軟型エポキシ系の透湿度が最も小さい。従って今回の供試塗装系の中でクロス入り柔軟形エポキシ系が良好な結果を示した原因の1つとして透湿度が小さい事が挙げられる。

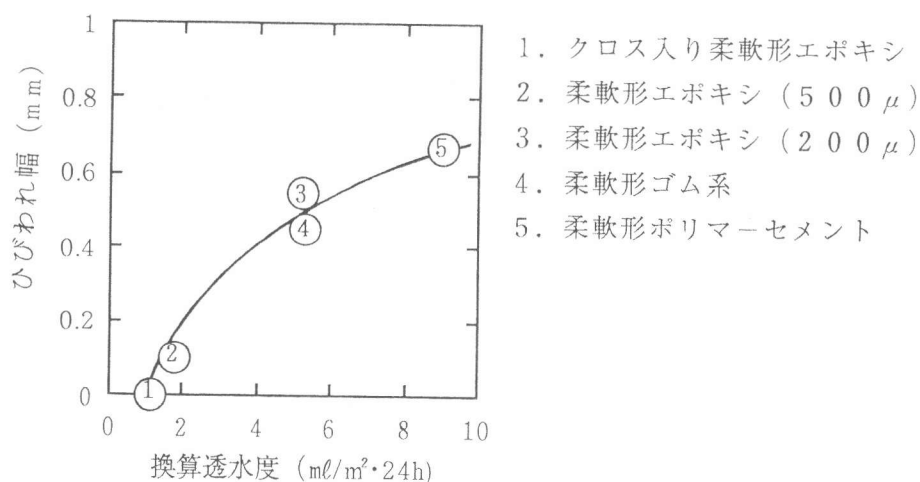


図-4 ひびわれ幅と透湿度の関係

3. 3 屋外暴露試験と促進試験の比較

表-3の各補修仕様の屋外暴露試験と促進試験後のひびわれ幅を比較すると、クロス入り柔軟ゴム系を除く被覆系はいずれも屋外暴露の方がひびわれ幅も大きく、今回行った促進条件では、被覆材の性能を早期に評価する事はできなかった。

この原因として、1) 促進試験は常時湿潤状態であるのに対し、屋外暴露は乾湿交番の繰り返しであること、2) 促進試験は全面塗装であるのに対して屋外暴露は土中に埋めている部分が無塗装のため吸水、乾燥の繰り返しがあると推定できることが考えられる。なお、試験体の寸法効果については今回の実験では不明である。

4. 結論

アルカリ骨材反応によるひびわれの進行を抑制する方法として11種の被覆仕様を検討した結果、クロス入り柔軟形エポキシ系とクロス入り柔軟ゴム系がアル骨反応によるひびわれの抑制に有効である事が判った。

なお、本研究を実施するにあたり御協力を頂きました土門勝司（ショーボンド建設（株））、内田富雄（コニシ（株））、安井正宏（日本ペイント（株））の各氏に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) (財) 土木研究センター：コンクリートの耐久性向上技術の開発（建設省総合技術開発プロジェクト）、1989.5
- 2) 建設省土木研究所・阪神高速道路公団：劣化部材の補修・補強技術の開発に関する共同研究報告書、1989.2

表-2 供試被覆仕様

被覆系	使用材料	膜厚 (μm)
柔軟形エポキシ樹脂系 (200 μm)	エポキシ樹脂プライマー	—
	エポキシ樹脂パテ	—
	柔軟形エポキシ樹脂塗料中塗	160
	柔軟形ポリウレタン樹脂塗料上塗	30
柔軟形ウレタン樹脂系	エポキシ樹脂プライマー	—
	エポキシ樹脂パテ	—
	柔軟形ポリウレタン樹脂塗料中塗	160
	柔軟形ポリウレタン樹脂塗料上塗	30
柔軟形エポキシ樹脂系 (500 μm)	エポキシ樹脂プライマー	—
	エポキシ樹脂パテ	—
	柔軟形エポキシ樹脂塗料中塗	480
	柔軟形ポリウレタン樹脂塗料上塗	30
柔軟形ゴム系	エポキシ樹脂プライマー	—
	エポキシ樹脂パテ	—
	ゴム系樹脂塗料中塗	500
	柔軟形ポリウレタン樹脂塗料上塗	30
クロス入り柔軟形エポキシ樹脂系	エポキシ樹脂プライマー	—
	エポキシ樹脂パテ	—
	クロス／柔軟形エポキシ樹脂塗料中塗クロス用	1100
	柔軟形エポキシ樹脂塗料中塗	60
	柔軟形ポリウレタン樹脂塗料上塗	30
クロス入り柔軟形ゴム系	エポキシ樹脂プライマー	—
	エポキシ樹脂パテ	—
	クロス／ゴム系樹脂塗料中塗クロス用	1100
	柔軟形ポリウレタン樹脂塗料中塗	60
	柔軟形ポリウレタン樹脂塗料上塗	30
エポキシ樹脂系ガラスフレーク	エポキシ樹脂プライマー	—
	エポキシ樹脂パテ	—
	エポキシ樹脂系ガラスフレーク塗料	500
	柔軟形ポリウレタン樹脂塗料中塗	30
	ポリウレタン樹脂塗料上塗	30
柔軟形型ポリマーセメント系	エポキシ樹脂プライマー	—
	エポキシ樹脂パテ	—
	柔軟形ポリマーセメント	500
柔軟形ふっ素樹脂系	エポキシ樹脂プライマー	—
	エポキシ樹脂パテ	—
	柔軟形エポキシ樹脂塗料中塗	160
	柔軟形ふっ素樹脂塗料中塗	40
浸透材系	シラン浸透材	—
	ポリウレタン樹脂塗料クリア	30
アクリル樹脂系	エポキシ樹脂プライマー	—
	エポキシ樹脂パテ	—
	アクリル樹脂塗料中塗	50
	アクリル樹脂塗料上塗	50

表-3 補修したコンクリート供試体の暴露試験結果

被覆仕様	屋外暴露試験			促進試験		
	1年7ヶ月	3年1ヶ月	5年1ヶ月	2年	3年6ヶ月	5年7ヶ月
柔軟形エポキシ樹脂系 (200 μ m)	0.27 47%	0.35 80%	0.55 87%	0.00 0%	0.14 40%	0.23 50%
柔軟形ウレタン樹脂系	0.16 30%	0.26 50%	0.50 80%	0.00 0%	0.00 0% ふくれ	0.01 4% ふくれ
柔軟形エポキシ樹脂系 (500 μ m)	0.00 0%	0.00 0%	0.10 10% ふくれ	0.00 0%	0.00 0% ふくれ	0.01 13% ふくれ
柔軟形ゴム系	0.00 0%	0.08 7%	0.45 60%	0.00 0%	0.00 0%	0.01 8%
クロス入り柔軟形エポキシ樹脂系	0.00 0%	0.00 0%	0.00 0%	0.00 0%	0.00 0%	0.00 0%
クロス入り柔軟形ゴム系	0.00 0%	0.00 0%	0.00 0%	0.00 0%	0.00 0%	0.09 50%
エポキシ樹脂系ガラスフレーク	0.13 40%	0.20 60%	0.52 60%	0.00 0%	0.07 17%	0.13 75%
柔軟形ポリマーセメント系	0.21 40%	0.37 73%	0.67 87%	0.00 0%	0.00 0%	0.10 46%
柔軟形ふっ素樹脂系	0.00 0%	0.04 10%	0.15 40%	—	—	—
浸透材系	0.64 100%	0.74 100%	1.10 100%	— —	0.84 100%	0.43 100%
アクリル樹脂系	0.05 34%	0.24 47%	0.58 60%	0.00 0%	0.00 0% ふくれ	0.02 8% ふくれ
無塗装	0.54 100%	0.63 100%	— —	0.46 100%	0.50 100%	0.59 100%

上段；ひびわれ幅 (mm)

中段；ひびわれの発生率 (ひびわれが発生した面の数/供試体の全面数)

下段；塗膜外観 (未記入は異常なし)

— ；未調査あるいは未実施