

コンクリート表面処理工の水分制御特性と補修効果に関する研究

京都大学工学部 正員 藤井学 正員 宮川豊章 正員 井上晋
 NTT(株) 正員 酒瀬川唯 南海電気鉄道(株) 正員 〇上畑直人

1.はじめに 近年問題となっている、コンクリート構造物の劣化現象、ASR、塩害、中性化等において、重要な要因の一つとして水分の存在をあげることができる。この水分制御を目的とした補修工法の一つとして表面処理工法があるが、各種の処理仕様の水分制御特性は明確にされているとはいえず、誤った処理仕様を用いて逆に劣化を促進する可能性さえある。本研究は、劣化要因がコンクリート中に存在している条件のもとで、表面処理仕様の水分制御特性を把握することによって、劣化抑制効果との関連を明確化し、その位置づけを検討しようとするものである。

2. 実験概要 $w/c=70\%$ でコンクリート打設後3日間 20°C 、 $R.H.100\%$ の湿布養生を行なった後、材令1週間で 20°C の気中養生を行なった。その後、気中に静置して表面水分率が現場処理の目安となっている 10% となった時点で表面処理を行なった。測定はすべて 20°C 、 $R.H.80\%$ の恒温恒湿下で行った。供試体条件を表-1に示す。

シリーズ1：水分制御特性の検討 平板供試体（ $30 \times 30 \times 2\text{cm}$ ）に現在用いられている代表的な表面処理を施し、透湿試験および透水試験によって水分制御特性を検討した。

鋼製の透湿試験箱に設置した供試体を通過した水分量を計測開始時からの重量変化として計り、単位面積、単位時間当りの通過量としたものを透湿度とした。さらに、JIS

A 6910「複層仕上げ塗材」の透水試験に準じて透水度を測定した。シリーズ2：補修効果の検討 鉄筋（ $D10$ 、 30cm ）を3本、かぶりを 2cm として埋設した角柱供試体（ $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ ）に、シリーズ1の表面処理仕様の中から実績のあるものを各仕様1種類ずつ選定したものを施し、塩化銀電極を用いて自然電位、分極抵抗、コンクリート抵抗を計測した（周波数： 0.1Hz 、電流： $100\mu\text{A}$ ）。また、 2.5cm 間隔で埋め込んだ真鍮製のひずみ測定用プラグ間隔からひずみを求め、重量変化率を試験開始時からの重量変化を試験開始時の重量に対する千分率として求めた。環境条件としては塩分濃度 3% の人工海水に鉄筋位置までつけた半浸漬を採用した。

3. 結果および考察 シリーズ1：水分制御特性の検討

透湿度、透湿度の収束値（測定開始後4週）を表-2、3に示す。樹脂系の表面処理仕様においては膜厚、伸度による影響は小さいものの、伸度の大きな仕様の方が一般に透湿度、透湿度とともに若干大きくなる傾向を示す。これに対してポリマーセメント・モルタル系の表面処理仕様においては、伸度、すなわちポリマーの添加量による影響が非常に大きく、伸度の大きな仕様の方が一般に透湿度、透湿度とともに小さくなる傾向を示す。この収束値による水分制御特性の相関を図-1に表わす。エポキシ、ウレタン、シラン+PCM（超柔軟型）はいずれも同程度の割合で低い透湿度、透湿度を示してい

表-1-1 シリーズ1における表面処理仕様

表面処理仕様	材料名	材料量	単位	透湿度(%)	透湿度(%)	透湿度(%)	透湿度(%)
エポキシ	4	60	5-470	2	2	1	1
	4	240	5-470	2	2	1	1
	100	60	5-100/70	2	2	1	1
	100	240	5-100/70	2	2	1	1
ウレタン	100	60	5-100/70	2	2	1	1
	100	240	5-100/70	2	2	1	1
	400	60	5-400/70	2	2	1	1
	400	240	5-400/70	2	2	1	1
アクリル系	40	40	M	1	1	1	1
	30	60	M	2	2	1	1
	72	1.3mm	PCM	2	2	1	1
	148	1.3mm	PCM	2	2	1	1
他	シラン+PCM	-	0.4	2	2	1	1
他	無処理	-	-	1	1	1	1

表-1-2 シリーズ2における表面処理仕様

表面処理仕様	材料名	材料量	単位	透湿度(%)	透湿度(%)	透湿度(%)	透湿度(%)
エポキシ	膜厚：240μm	伸度：100%	1	1	1	1	1
	膜厚：240μm	伸度：400%	1	1	1	1	1
ウレタン	膜厚：1.2mm	伸度：400%	1	1	1	1	1
	膜厚：50μm	伸度：30%	1	1	1	1	1
他	無処理	無処理	1	1	1	1	1

表-2 透湿度の収束値（測定開始後4週）

表面処理仕様	エポキシ	ウレタン	72+PCM	30+PCM	30+PCM	30+PCM	30+PCM
伸度(%)	4%	100%	100%	400%	40	30	200
膜厚(μm)	60	240	60	240	60	240	240
透湿度(%)	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7
収束値	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7

単位：g/m²/day

表-3 透湿度の収束値（測定開始後4週）

表面処理仕様	エポキシ	ウレタン	72+PCM	30+PCM	30+PCM	30+PCM	30+PCM
伸度(%)	4%	100%	100%	400%	40	30	200
膜厚(μm)	60	240	60	240	60	240	240
透湿度(%)	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7
収束値	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7

単位：g/m²/day

る。本実験の範囲内では、水分逸散を期待しない環境下においてはこの中から特にウレタンの膜厚 $240\mu\text{m}$ が、水分逸散をある程度必要とする環境下においては耐候性、耐アルカリ性の意味を含めてシラン+PCM（柔軟型）が良好であると考えられる。シリーズ2：補修効果の検討 分極抵抗、コンクリート抵抗、自然電位の最終変化量（浸漬開始後3週）を表-4、5、6に示す。分極抵抗は、シラン+PCMの非反応健全を除けば、すべて無補修よりも補修供試体の方が分極抵抗は大きく、補修効果が認められる。これは、表面処理によって水や酸素の供給が抑制されたため、コンクリート中に含まれている水分および酸素量だけではそれほどの腐食が生じないことを示しているものと思われる。また、反応性・非反応性ではシラン+PCMを除いて反応性の方が大きい。一方、補修供試体の自然電位値は塩化物イオンを含む場合にはシラン+PCMが、非反応健全ではエポキシが最も貴であり、分極抵抗の結果と併せれば、半浸漬の環境条件では健全なコンクリートに対する塩害の予防保全としてはエポキシが最も効果的であり、塩化物イオンが $5.0\text{kg}/\text{m}^3$ 含まれている場合にはシラン+PCMが最も補修効果が高いと考えられる。コンクリート抵抗値は、補修供試体ですべて無補修供試体よりも大きな値となっているが、処理仕様間における顕著な差はみられない。ひずみ測定における最終膨張量を表-7に、重量変化率における最終値を表-8に示す。ほとんどのものが収縮であり、非反応性供試体において顕著である。これは無補修供試体においても同様であり表-8をあわせて考慮すると、 20°C R.H. 80%の恒温恒湿環境にあったにもかかわらず、水分の排出による収縮が起きたためと思われる。非反応性C1=5と反応性C1=5を比較し、その相対量がASRに起因するものと考え、無補修供試体と同様に膨張を示すのはエポキシ、ウレタンであり、特にエポキシが大きい。これに対し、シラン+MMAやシラン+PCMは小さな値を示している。この相対値がASR膨張に起因するものであるとすると、本実験で用いた表面処理仕様の中では、半浸漬の環境条件でも、遮水系よりも発水系の方が良好なアルカリ骨材膨張抑制効果を示す可能性がある。

本研究に際して御協力いただいた、中研コンサルタント、大阪セメント、サンユレジン、住友ゴム、恒和化学、ショーボンド建設の皆様方に感謝いたします。

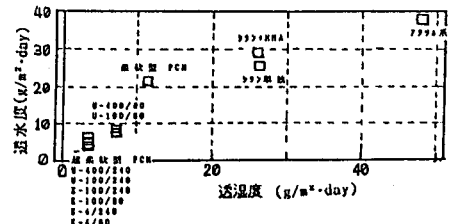


図-1-1 透湿度と透湿度の相関図（非反応性）

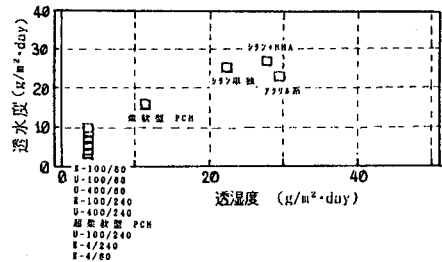


図-1-2 透湿度と透湿度の相関図（反応性）

表-4 分極抵抗の最終変化量（浸漬開始後3週）

	エポキシ	ウレタン	S12+MMA	S12+PCM	無補修
非反応健全	変位値 37.3	41.0	53.0	30.5	-243.5
	最終値 724.5	1075	671.5	550.5	474.0
反応性C1=6	変位値 39.8	24.0	18.5	38.5	-73.0
	最終値 237.5	108.8	192.8	138.5	104.5
非反応C1=6	変位値 18.8	24.0	-48.8	80.0	-38.0
	最終値 144.0	170.8	179.8	578.5	38.0

単位: Ω

表-5 コンクリート抵抗の最終変化量（浸漬開始後3週）

	エポキシ	ウレタン	S12+MMA	S12+PCM	無補修
非反応健全	変位値 15.5	13.5	32.5	19.5	-23.0
	最終値 102.5	85.0	138.0	97.5	53.5
反応性C1=6	変位値 14.0	21.0	7.0	23.0	-18.0
	最終値 83.0	108.8	113.8	103.0	85.0
非反応C1=6	変位値 14.0	18.0	17.8	13.5	-21.0
	最終値 107.0	80.0	102.0	101.0	80.0

単位: Ω

表-6 自然電位の最終変化量（浸漬開始後3週）

	エポキシ	ウレタン	S12+MMA	S12+PCM	無補修
非反応健全	変位値 8.8	11.8	88.0	-21.0	88.5
	最終値 39.0	88.0	103.8	265.0	94.0
反応性C1=6	変位値 -38.8	-27.8	40.0	-25.0	121.0
	最終値 281.5	287.5	282.8	247.0	289.0
非反応C1=6	変位値 -25.0	-30.5	-14.0	18.0	214.5
	最終値 281.0	281.0	248.8	48.8	685.5

単位: mV

表-7 最終膨張量（浸漬開始後3週）

	S12+MMA	S12+PCM	無補修
非反応健全	22.8	-21.8	-123
反応性C1=5	-11.8	-80.8	-83.8
非反応C1=5	-81.8	-75.0	-81.0

単位: μm

表-8 重量変化率の最終値（浸漬開始後3週）

	エポキシ	ウレタン	S12+MMA	S12+PCM	無補修
非反応健全	変位値 -110.8	-8.8	-43.8	-14.8	-171.8
	最終値 1.057	-0.533	0.382	0.428	18.439
反応性C1=6	変位値 -1.8	-8.8	-43.8	-14.8	-171.8
	最終値 -0.109	-0.538	0.548	0.313	18.439
非反応C1=6	変位値 -8.8	-4.8	18.8	-2.8	-114.8
	最終値 -0.214	-0.428	0.310	-0.202	18.285

単位: (最終値) %