

報告 コンクリート表面の劣化事象と補修再生技術工法に関する検討

地 濃 茂 雄 *1 吉 田 晃 *2

要旨：塵埃や微生物の付着による汚れおよびエフロレッセンスによる汚れの実態調査から、コンクリート表面の劣化事象を明らかにした。また、表面の劣化損傷を対象とした補修再生工法に供するために開発した材料の特性を長期間にわたり追跡実験し、意匠性・耐久性の向上の観点から開発した材料が有効であることを裏付けた。同時に開発した材料・工法の実構造物への適用事例において、経過4年後でも復元したコンクリート表面が健全な状態で推移維持していることを確認した。

キーワード：コンクリート表面、汚れ、補修再生、表面の復元維持

1. まえがき

コンクリート構造物は長期にわたり安定・安全であることのほかに、その美観性を保持・管理することも重要である。筆者らはいち早くこの点に着目し、コンクリートの表面性状の変化を汚れの観点から検討してきた [1], [2]。そして既報[3]～[5]において、汚れを誘発するコンクリート面の不具合、ひび割れ、塵埃や微生物の付着の各々について、その実態の傾向を明らかにし、それを踏まえて、コンクリート表面の補修再生工法を提案し、また適用事例を紹介した。

本報はこの種、補修再生技術工法の基礎的データの蓄積を図るために、塵埃や微生物の付着による汚れおよびエフロレッセンスによる汚れを実態調査し、さらに補修再生工法に供するために開発した主要な材料の特性を長期間にわたり追跡的な基礎実験を行い、それらの結果を述べたものである。また、補修再生工法の適用事例の4年後の状況についても言及した。

2. 汚れに関する実態調査

2.1 塵埃や微生物の付着による汚れ

図-1に示すような築後5年の鉄筋コンクリート造モニュメント（広島県福山市内）を代表させて、方位別、部位別の汚れを調査した。接触型ポータブル測色色差計を用いて測定した測色値 [L (明度指数)、a および b (知覚色度指数)] を汚れの指標とした。その結果を表-1に示す。同表には、明度が一番高かった測定箇所西面③を基準とした場合の色差 $\Delta E [(\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{1/2}]$ の算出結果も併記した。方位、部位別箇所により測色値は相違している。中でも北面が他の面より明度は小さく、色差は大きく、汚れが著しいことがわかる。一方、部位では方位に関わらず上部箇所の明度は下部より小さい。水平部に堆積した汚染物質が雨水と共に流下して付着、さらに微生物の繁殖などに起因した結果といえる。

2.2 エフロレッセンスによる汚れ

コンクリート表面に発生したエフロレッセンスの実態について調査し、発生箇所・部分別に整理した結果を表-2に示す。エフロレッセンスは、ひび割れや脆弱部に浸透した雨水に誘発されたものが数多く、発生箇所によって汚れの度合いが異なることがわかる（写真-1～4参照）。

*1 新潟工科大学教授 工学部建築学科、工博（正会員）

*2 ニチエー吉田（株）取締役社長

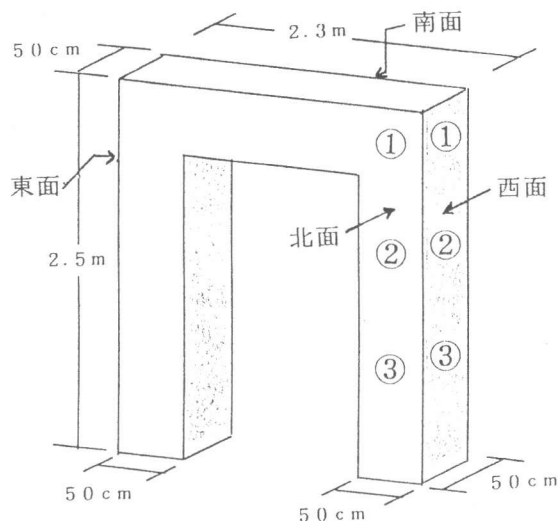


図-1 調査した物件の概要図

表-1 調査結果

測定箇所	L	a	b	ΔE	
東	①	47.9	-1.73	6.64	19.6
	②	58.4	-1.73	4.76	9.0
	③	66.9	-1.85	5.02	0.6
西	①	57.1	-0.91	5.99	10.4
	②	57.3	-1.00	7.20	10.4
	③	67.4	-1.65	4.94	10.4
南	①	54.0	-0.74	5.78	12.7
	②	62.8	-1.20	4.72	4.6
	③	66.6	-1.20	5.92	1.3
北	①	47.6	-2.24	11.00	20.7
	②	53.8	-3.22	10.50	14.8
	③	61.4	-1.90	6.27	6.2

表-2 エフロレッセンスの実態調査結果

発生箇所・部分	概要
モルタル笠木の浮き	雨水の浸透で、躯体コンクリートおよび下地モルタルからエフロレッセンス出現 (写真-1)
屋上スラブ押し出し	貫通した水平ひび割れから出現、雨水の浸透の繰り返しにより積層状態
天井スラブ	防水層の機能喪失やひび割れ発生により漏水・浸透、それにより出現、積層状態
外階段手摺り	手摺りの埋込み箇所にひび割れや浮きの発生、雨水に接して出現
外階段裏	踊り場に滞留した雨水がひび割れや取合い部から流出し出現、場合により氷柱状態
ひさしの鼻先・裏	不適切な水切りにより雨水が滞留、それに伴いひび割れや脆弱部から出現 (写真-2)
バルコニー	不適切な水切りにより雨水が滞留、鼻先や裏部のひび割れ・脆弱部に出現
サッシの枠下外壁面	サッシ枠からの雨水の垂れ、流下、乾燥、その繰り返しにより出現 (写真-3)
外壁の天端	笠木のない場合に、雨水が直接天端から流下することで広範囲、白色斑点状に出現
外壁のひび割れ	ひび割れにより雨水の浸透・流入、そして乾燥、その繰り返しが起因して出現
コールドジョイント	脆弱層やひび割れ部に、雨水が浸透・流入、そして乾燥、その繰り返しが起因して出現
目地(水平、垂直)	目地部に雨水が残留、あるいはその箇所から垂れ、流下、そして乾燥の繰り返しにより出現
ジャンカ	脆弱な層ゆえに、雨水が浸透・流入・保水、そして乾燥、その繰り返しが起因して出現
モルタル補修跡	補修モルタルの浮きやひび割れに雨水が浸透・流入、そして乾燥、その繰り返しにより出現
鉄筋錆化	ひび割れ発生、さらに浮き、そこに雨水が浸透・流入・流下、乾燥により出現 (写真-4)
ピンホール	雨水の浸透・残留が起因してエフロレッセンス出現
その他	残留木片、木根、コーキングの劣化、網状ひび割れ等が起因して、エフロレッセンス出現

雨水の繰り返しを受けることでエフロレッセンスの汚染物が累積し、汚れが一段と進展していくものといえる。特に、エフロレッセンスの発生箇所は鉄筋の腐食、ひび割れ、表層剥離、脆弱な表層などに密接に関わっていることから損傷劣化部としての有力な目安となる。

3. 補修再生工法に供する材料に関する実験(長期追跡試験)

補修再生工法の基本構想を既報[5]において述べた。その概要は図-2のようで、下記①~④の複合によりコンクリート表面の意匠性の回復と耐久性の向上をねらったものである。

- ① 汚れや脆弱層を除去した後、躯体コンクリート表面層の強化を図る(強化剤の塗布含浸)。
- ② 次いで欠損部および脆弱層除去後の部位に密実で耐久性のあるモルタルを埋め戻す(ポリマーセメントモルタルの充填、以下、樹脂モルタルと呼ぶ)。

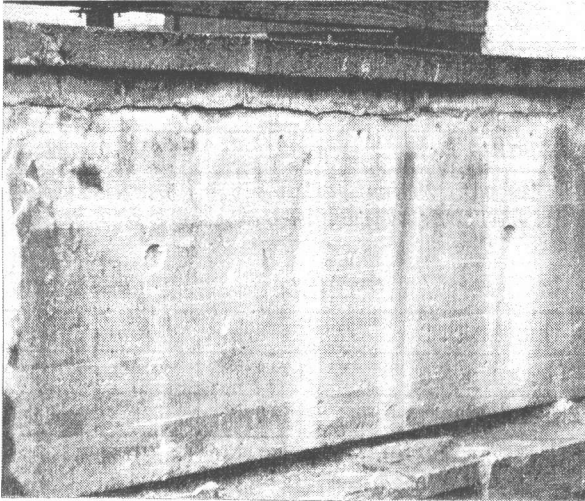


写真-1 笠木部のエフロレッセンス

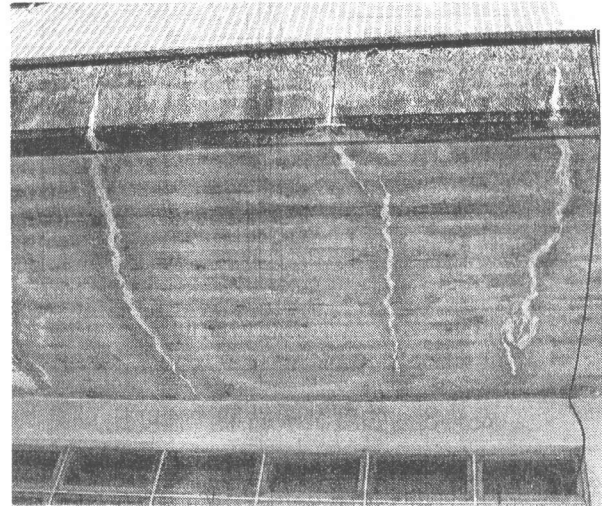


写真-2 ひさし部のエフロレッセンス



写真-3 窓下壁面のエフロ

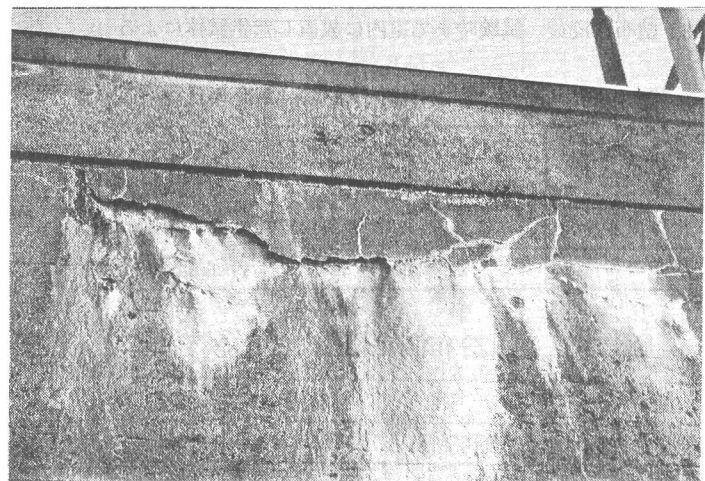


写真-4 鉄筋錆化部のエフロレッセンス

- ③ そして全面色合わせの後、表面模様を造成し、意匠性の回復を図る（素材の量感の再生）。
- ④ さらにトップコートにより防水、中性化の抑制、汚染防止などを図る（表面防水固定処理）。

このような考えの基に、その主要な材料について開発実験を行い得られた結果を前報[3]において報告したが、それに続く長期試験の結果を以下に述べる。

3.1 強化剤の塗布含浸

水セメント比50%、スランプ21cmのコンクリートからウェットスクリーニングしたモルタルを $4 \times 4 \times 16\text{cm}$ に成形し、13週間室内放置した供試体（母体モルタル）に珪フッ化物を主成分とする無機質系浸透剤を塗布含浸させ（塗布モルタル）、塗布含浸後の諸性状を実験した。

結果を表-3および表-4に示す。強度の向上、中性化の抑制に効果が認められる。このことは、表-5に示すセメントペースト硬化体（ $5.0 \sim 2.5\text{mm}$ 粒に砕いて塗布含浸させた試料）の細孔径分布の測定結果から、塗布含浸により緻密化が図られたことによるものと推察される。

3.2 樹脂モルタル

開発検討した樹脂モルタルの調合〔（特殊アクリル樹脂系ポリマーディスパージョン使用、セメント：珪砂（FM 2.69）=1：3、ポリマーセメント比=10%、水セメント比=54%〕は、既報で[5]で提示した。これに基づく樹脂モルタルの品質・性能を長期間にわたり実験した結果を

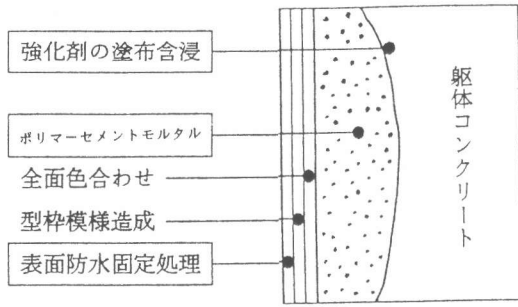


図-2 基本構想の断面図

表-3 強度試験結果 (強度比)

種別	塗布含浸後28日		塗布含浸後5年	
	曲げ	圧縮	曲げ	圧縮
母体モルタル	1.00	1.00	1.00	1.00
塗布モルタル	1.11	1.08	1.17	1.14

注] 塗布含浸後、試験時まで室内に放置した供試体による

表-4 中性化試験結果

種別	中性化速度係数	中性化試験方法
		塗布含浸後、28日間室内に放置したのちに温度40℃、湿度50%、CO ₂ 濃度20%の促進試験
母体モルタル	6.3	
塗布モルタル	3.8	

表-5 細孔分布測定結果 (セメントペースト硬化体)

測定時	項目	未塗布含浸	塗布含浸
塗布含浸後28日	ピーク細孔半径(Å)	750~1,350	420~750
	全細孔容積(mm ³ /g)	117	98
塗布含浸後5年	ピーク細孔半径(Å)	420~750	75~135
	全細孔容積(mm ³ /g)	72	63

注] ピーク細孔半径: 細孔容積の最大値の細孔半径
全細孔容積: 細孔半径 75,000Å~24Å

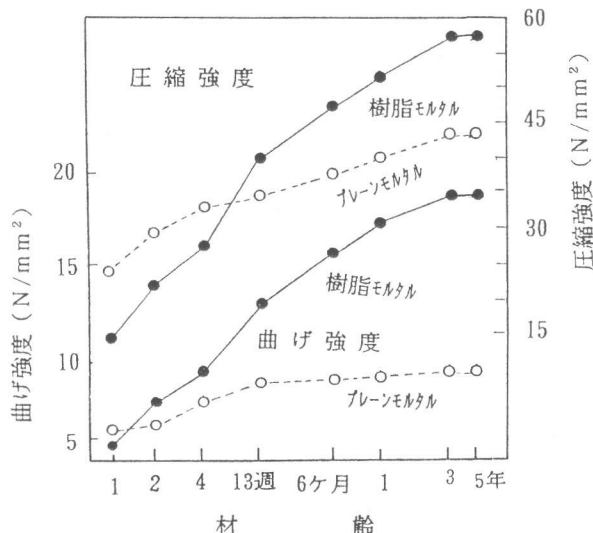


図-3 強度試験結果

表-6 付着強度試験結果 (N/mm²)

測定材齢	28日	13週	5年
プレーンモルタル	0.8	1.0	0.7
樹脂モルタル	1.4	2.1	2.2

注] 圧縮強度 25N/mm² のコンクリート板に2cm厚に塗工
付着強度試験は建研式引張り試験器による

表-7 中性化深さの結果 (mm)

中性化促進期間	1週	3週	5週	8週
プレーンモルタル	5.1	8.7	9.9	10.8
樹脂モルタル	0.0	0.0	0.0	0.0

注] 材齢28日供試体について、温度40℃、湿度50%、CO₂濃度10%の促進試験
中性化深さの測定はフェノールフタレイン溶液による

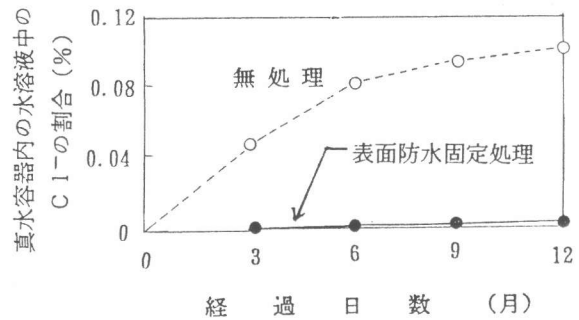


図-4 塩分透過試験結果

表-8 細孔分布測定結果

測定材齢	項目	プレーンモルタル	樹脂モルタル
13週	ピーク細孔半径(Å)	750~1,350	240~420
	全細孔容積(mm ³ /g)	53	41
5年	ピーク細孔半径(Å)	420~750	135~240
	全細孔容積(mm ³ /g)	38	26

注] ピーク細孔半径: 細孔容積の最大値の細孔半径
全細孔容積: 細孔半径 75,000Å~75Å

図-3、表-6、表-7、図-4に示す。

図中、表中には比較検討のためにプレーンモルタル(セメント:川砂=1:3、水セメント比=54%)についての試験結果も併記した。

なお、いずれとも気中養生した供試体(主に4×4×16cm)によっている。

図-3によれば、樹脂モルタルの初期材齢における強度発現は多少遅いものの、その後材齢3年程度までの強度発現は著しいことがうかがえる。そして、材齢3年から材齢5年の間の強度増進はほとんど認められないことがわかる。

表-9 暴露試験結果（中性化深さ・明度・色差）

種 別	中性化深さ（mm）室内放置		明度（L値）屋外暴露			屋外暴露開始時からの色差	
	3年後	5年後	開始時	3年後	5年後	3年後	5年後
表面防水固定処理	0.0	0.0	66.0	66.7	65.8	0.7	0.3
無処理	5.6	7.2	61.4	56.5	50.1	4.9	11.5

注] 屋外暴露開始時を基準とした場合の色差 $\Delta E[(\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{1/2}]$

樹脂モルタルは、付着強度が大きく、かつ長期にわたり付着性能を保持していること、また中性化の抑制効果があることが表-6、表-7の結果から知れる。

さらに図-4において、樹脂モルタルが塩化物の侵入に対して抵抗性能に優れていることも認められる。この実験は材齢13週の供試体の表面層の切断片（4×4cm面の10mm幅）を試験体として、拡散セルによる塩分透過試験によったもので、直径3cmの面積から透過した可溶性塩分の経時変化を求めている。

次に、4×4×16cm供試体を砕いて得た試料（5.0~2.5mm粒）の細孔径分布の測定結果を表-8に示す。

樹脂モルタルはプレーンモルタルに比べて細孔径は小さく、全細孔容積も少ない。緻密な組織が形成されていることがわかる。上述した樹脂モルタルの特性はこれに関係しているものと考えられる。

3.3 表面防水固定処理

コンクリート表面を想定したモルタル供試体に、耐候性アクリルシリコン樹脂系トップコートを塗布し（以下、表面防水固定処理と呼ぶ）、暴露3年後と5年後に、中性化深さ（屋内放置）および汚れの指標となる明度と暴露開始時点からの色差 ΔE （東京都内の屋外北側に暴露・供試体表面寸法14×16cm）を測定した。その結果を表-9に示す。表面防水固定処理によって、暴露5年後においても中性化の進行は阻止されていることがわかる。また、汚れの進行も抑制されている。防水性能の向上と耐候性が付与されている結果といえる。なお、図-4中に併記したが、塩化物の侵入に対する抵抗性能についても表面防水固定処理の効果は認められる。

4. 補修再生工法による適用事例（4年後の状況）

既報[5]において、補修再生工法の基本構想、それに供する材料の開発、それらを検討して提示した補修再生工法を図-5に再掲する。これを適用した物件の4年後の状況について述べる。

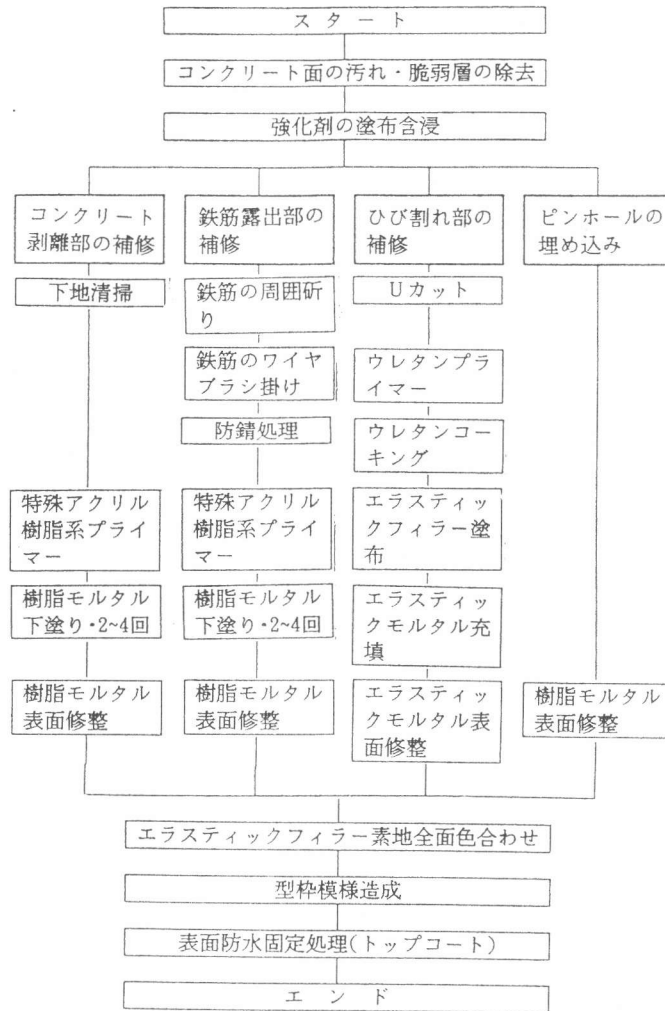


図-5 補修再生工法[5]

補修再生前（築後34年・高知市内の公共施設）の、雨水の流下跡、コケ・カビ、エフロレッセンス、コールドジョイント、ひび割れ、錆汁等のコンクリート表面・表層部の劣化状態を写真-5に示す。

この著しい劣化に対して、図-5に基づき補修再生を施し、コンクリート表面の復元を図った。

4年後の状況を写真-6に示す。4年後でも健全なコンクリート面を維持していることがわかる。

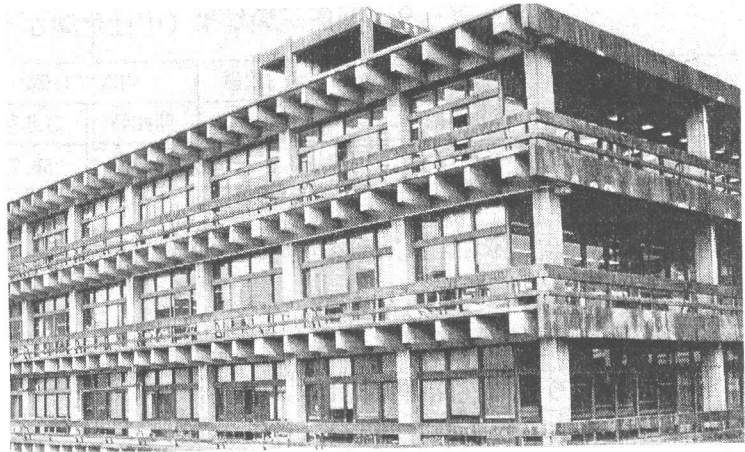


写真-5 補修再生前の劣化状態

5. むすび

コンクリート表面の劣化事象とその補修再生について検討した。

その結果、塵埃や微生物の付着による汚れは、方位、部位別箇所により相違し、特に北面は他の面より著しいこと、エフロレッセンスによる汚れの度合いは発生箇所によって異なること、またその発生箇所は損傷劣化部として有力な目安となることなどがわかった。

次いで、開発した主要材料の特性を5年間にわたり実験追跡し、珪フッ化物を主成分とする無機質

系浸透剤を塗布含浸させることで躯体コンクリート表面層の強化が図れること、特殊アクリル樹脂系のポリマーセメントモルタルは付着強度が大きく、また長期にわたり安定していることのほか、中性化抑制など耐久性に優れていること、耐候性アクリルシリコン樹脂系のトップコートの塗布は中性化や耐汚染性に有効であることなどが明らかになった。また、補修再生工法の適応事例において、4年後でも、健全なコンクリート面を維持していることを確認した。

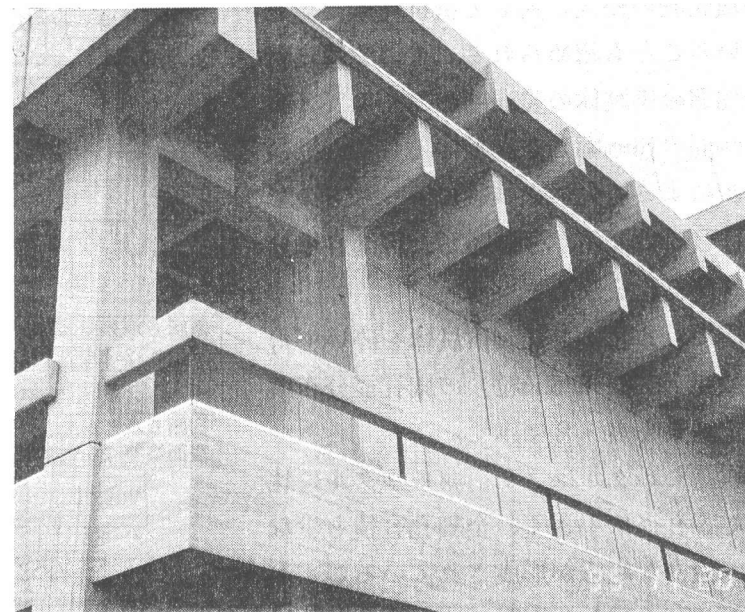


写真-6 補修再生、4年後の状況

参考文献

- [1] 仕入豊和、地濃茂雄、橘高義典：コンクリート壁面の汚れ、セメント・コンクリート 461号、pp. 22-33、1985.7
- [2] 仕入豊和、地濃茂雄：コンクリート表面の汚れとその対策、コンクリート工学 第24巻 7号、pp. 52-58、1986.7
- [3] 地濃茂雄：建物外壁に発生したひび割れの実態調査、コンクリート工学年次論文報告集 第16巻 第1号、pp. 989-994、1994
- [4] 地濃茂雄：降雨濡れによるコンクリート表面の色調変化、コンクリート工学年次論文報告集 第17巻 第1号、pp. 285-288、1995
- [5] 河原崎広、吉田晃、地濃茂雄：コンクリート表面の補修再生技術工法、コンクリート構造物の補修工法と電気防食に関するシンポジウム論文報告集、pp. 133-138、1994.10