

コンクリート表層部の劣化と再生工法に関する考察

地 濃 茂 雄*

(平成 8年10月31日 受理)

A Study about Deterioration of Concrete Surface Layers and a Reproduction Method

Shigeo CHINO*

Deterioration of Concrete structures begins from surface and eats into the inner parts of them. Therefore, especially in the case of reinforced concrete, if concrete can not protect corrosion, which is a weak point of reinforced bars, by the advance of the deterioration from these surface, a serious problem occurs. On the other hand, the deterioration of surface will raise a problem on the design. Seeing these states, we can say that both surface and surface layers of concrete are very important parts concerning durability and design.

In this report, taking notice of surface layers of concrete, we investigate about the states of surface layers, the deterioration phenomenon of both surface and surface layers and repaired reproduction method of them, and describe the results of them.

Key words : surface layer of concrete, durability, design, dirt, deterioration, reproduction method.

1. ま え が き

一般にコンクリート構造物の劣化は表面から始まり、内部へと進んでいく。そのためとくに鉄筋コンクリートの場合、この表面からの劣化進行によって鉄筋の弱点である腐食をコンクリートが保護しきれなくなったとすれば、重大な問題である。一方、表面の劣化も意匠上問題となろう。このようにしてみるとコンクリートの表面・表層部は、耐久性や意匠性に関わる極めて重要な部位といえる。

そこで本報告は、コンクリート表層部に着目して、表層部の性状、表面や表層部の劣化事象、それに表面・表層部の補修再生工法について考察検討し、その結果を述べたものである。

* 建築学科 教授

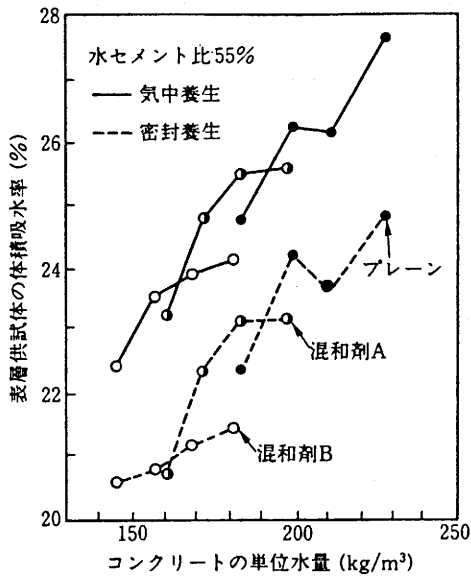


Fig. 1 Water content per unit volume of concrete and tightness of surface layers

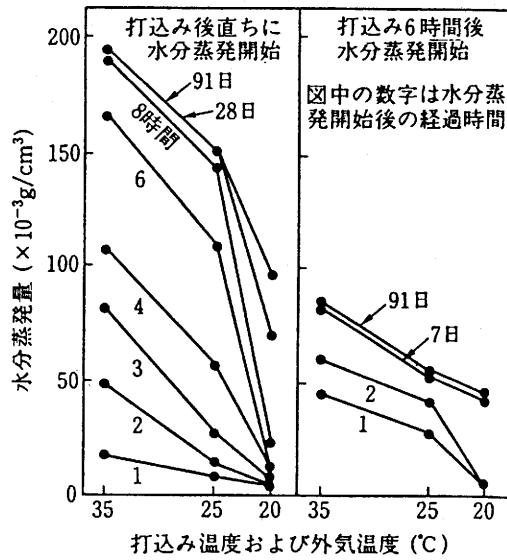


Fig. 2 Water evaporation quantity classified by temperature

すなわち、まず基本的視点から内的要因に支配される表層部の性状を密実性の観点から考察し、次いで表面・表層部の劣化事象を実態調査により分析検討した。そしてそれらの結果を踏まえて、耐久性・意匠上の視点からの補修再生工法を具現化し提示した。

2. 内的要因と表層部の性状

コンクリートの性状は調合のほかに、施工の段階で水分の蒸発、沈降、分離、締固め、養生等の影響を受けることから考えると、とりわけ表層部内の深さ・位置によっての組織と性質は相当に異なるものと推察される。そこで本章では、表層部の性状を主に密実性の観点から検討することとした。

2.1 表層部の密実性に及ぼす単位水量および養生条件の影響

一般に水セメント比に大きく依存する強度が同等のコンクリートにおいても、単位水量はスランプにより相違する。したがって、所要のワーカビリティ、均一性、所要の強度が得られるコンクリートを前提として、コンクリート表層部のモルタル部分に相当するモルタル供試体の硬化後の体積吸水率を密実性の指標としてとらえ、表層部の密実性に及ぼす単位水量および養生条件の影響を考察してみる。

コンクリートの単位水量と表層供試体の体積吸水率との関係を実験により求めた結果を Fig. 1 に示す¹⁾。両者の関係は、ほぼ直線関係となり、単位水量が大きいかほど体積吸水率は大きい。また、気中養生したものは密封養生したものに比べ体積吸水率は大きく、水分の蒸発が水和の進行を阻害した結果によるものと考えられる。そこで水分蒸発に関する一実験として、コンクリート表層部を想定したモルタルの温度別水分蒸発量を求めた。

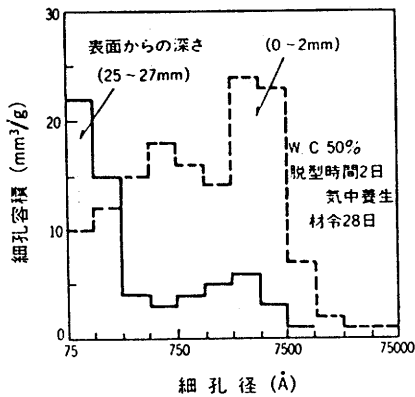


Fig. 3 Pore size distribution of surface layers

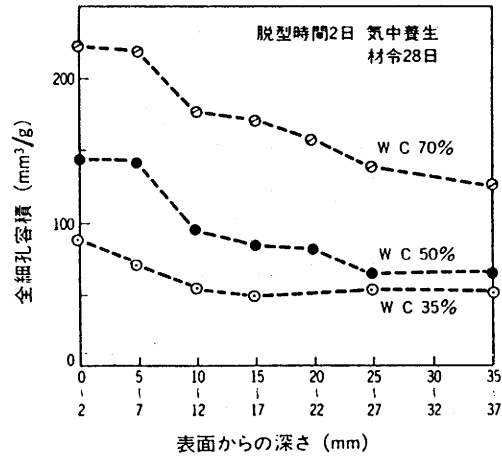


Fig. 4 All pore volume classified by water-cement ratio

その結果をFig. 2に示す²⁾。水分蒸発に及ぼす養生環境温度の影響は顕著であることがわかる。

以上のようなことから、コンクリート表層部の密実性に及ぼす単位水量および養生条件の影響は極めて大きいことが指摘される。

2.2 表層部の細孔構造

コンクリート表層部は基本的にセメント硬化体であることに注目して、セメント硬化体の表層部の一表面からの内部方向の各部分における細孔分布を測定し、表層部の密実性について考察を加えることとした。

測定結果の一部をFig. 3およびFig. 4に示す³⁾。

両図から水分の散逸をゆるす気中養生の場合、表面に近い部分ほど細孔径は大きく、かつ細孔量は多いことがしれる。とりわけ、水セメント比が大きいほどこの傾向は顕著である。また、水セメント比が大きいほど細孔径は大きく、かつ細孔量は多いこともわかる。養生条件や水セメント比はコンクリート表層部の密実性に影響を与えているといえる。

このように表層部と内部の密実性相違は、Fig. 5に示す谷川博士らによるコンクリート部材断面の圧縮強度分布に関する研究結果⁴⁾からもうかがえしれる。

2.3 表層部の密実性と浸透性

密実性の違により劣化外力の一つであるCO₂などの浸透性がどのような傾向を示すかを求めた実験結果の一例をFig. 6に示す⁵⁾。

密実性の指標とした吸水特性値(吸水量)が大きいほどCO₂の浸透特性値(深さ)は大きくなる傾向がみられる。すなわち、コンクリートの表層部が密実でないものほど劣化外力の影響を大きく受けるものといえる。

このほかに、劣化外力の影響を大きく受ける内的要因として、脱型直後の不具合⁶⁾やひび割れ⁷⁾などもあげられよう。

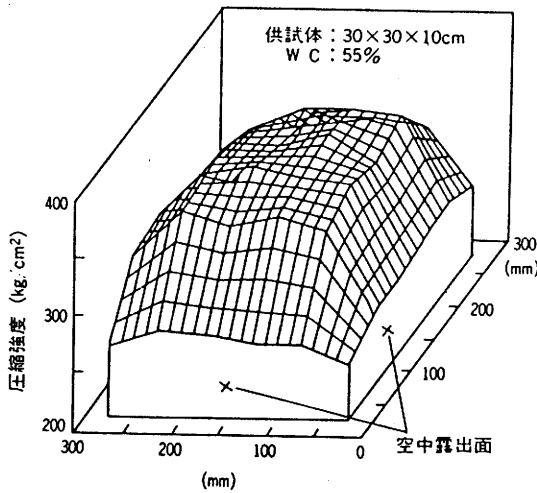


Fig.5 Inner strength distribution by drying

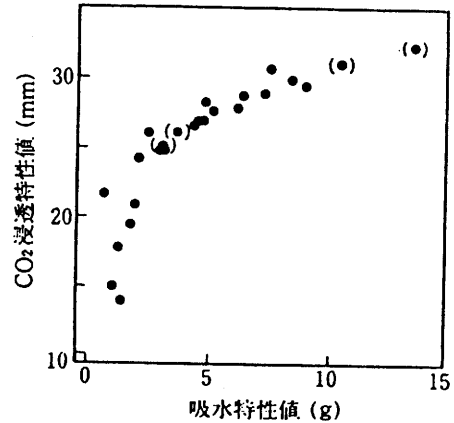


Fig.6 Tightness of surface layers and penetration of CO₂

3. 表面や表層部の劣化事象

劣化の一指標あるいは劣化の誘発要因の代表として、汚れおよびエフロレッセンスをとりあげ考察を加えることとした。

3.1 汚れ

汚れに関する予備的調査結果⁸⁾を踏まえて、Fig. 7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。

測定結果をTable. 1に示す⁹⁾。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¹⁰⁾。

3.2 エフロレッセンス

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Table. 2に示す⁹⁾。

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。その実態をPhoto. 1に示す。

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。

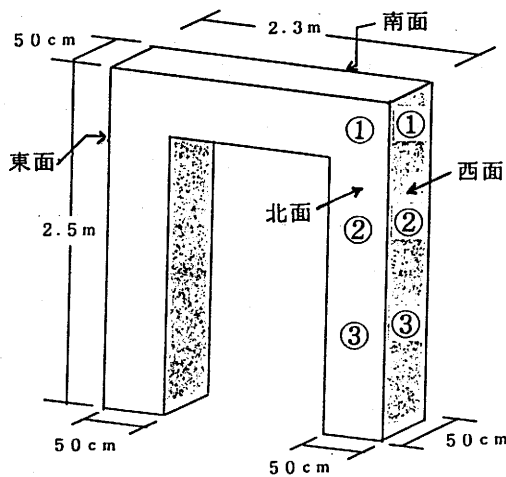


Fig. 7 Outline drawing of researched objects

Table 1 Results of investigation

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

Table 2 Results of investigation for efflorescence

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
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は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
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
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
コールトジョイント	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
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

4. 補修再生工法に関する検討

補修再生工法の基本構想の概要はFig. 8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¹¹⁾。

- ① 汚れや脆弱層の除去後、躯体コンクリート表層の強化を図る（強化剤の塗布含浸）。
- ② 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）。

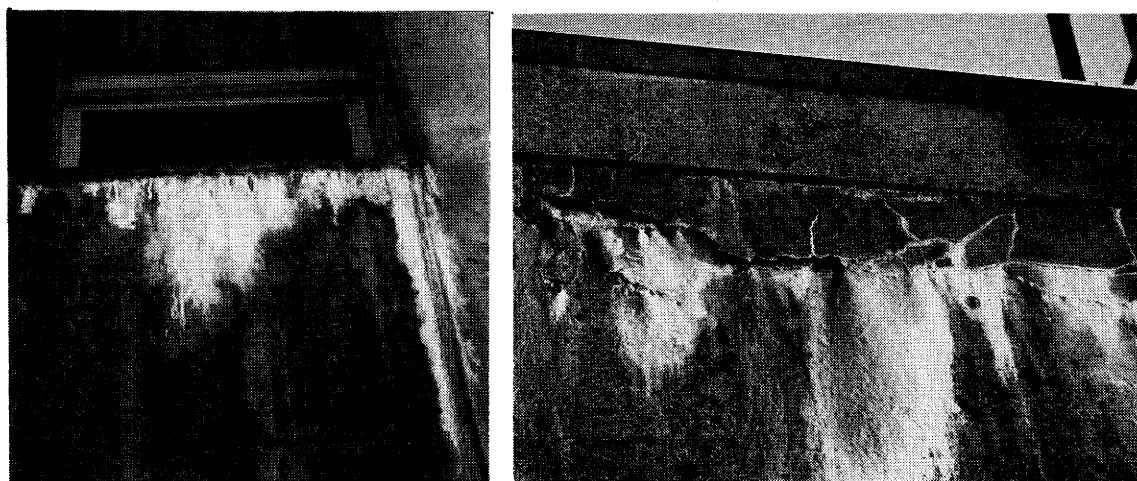


Photo 1 Realities of efflorescence

- ③ 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 トップコートにより防水、中性化の抑制、汚染防止を図る（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以下に述べる。

4.1 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 $4 \times 4 \times 16$ 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Table 3およびTable 4に示す。強度の向上、中性化の抑制に効果が認められる。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。

4.2 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%〕に基づき、その品質・性能を求めた実験結果をFig. 9、Table 5、Table 6、Fig. 10に示す⁹⁾。

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 $4 \times 4 \times 16$ cm）によっている。

Fig. 9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。

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Table 5、Table 6の結果からしれる。

さらにFig. 10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

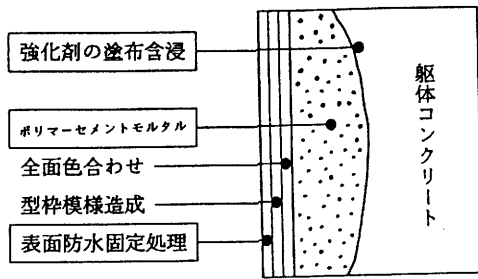


Fig. 8 Section of fundamental conception

Table 3 Results of strength (strength ratio)

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

Table 4 Results of neutralization tests

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	

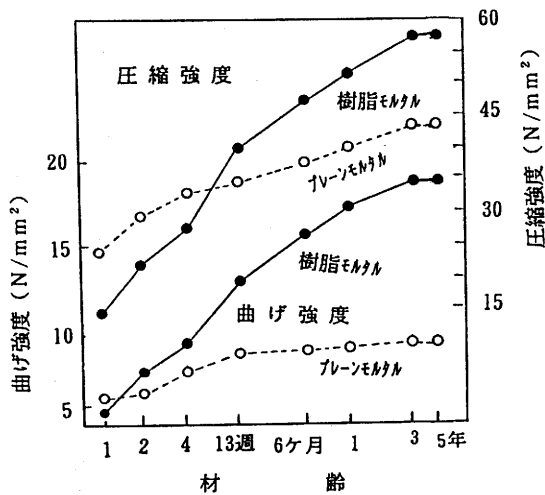


Fig. 9 Results of strength tests

Table 5 Results of bond strength tests

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

Table 6 Results of depth of neutralization

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

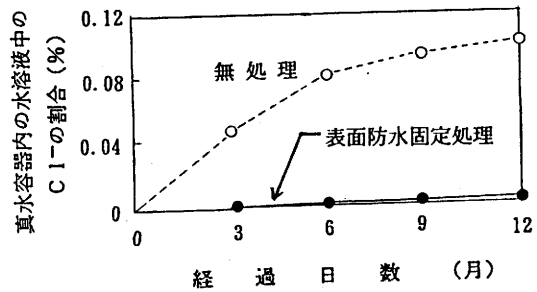


Fig. 10 Results of penetration test of salinity

Table 7 Results of measuring pore size distribution

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

Table 8 Results of exposure tests

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 $\Delta E[(\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{1/2}]$

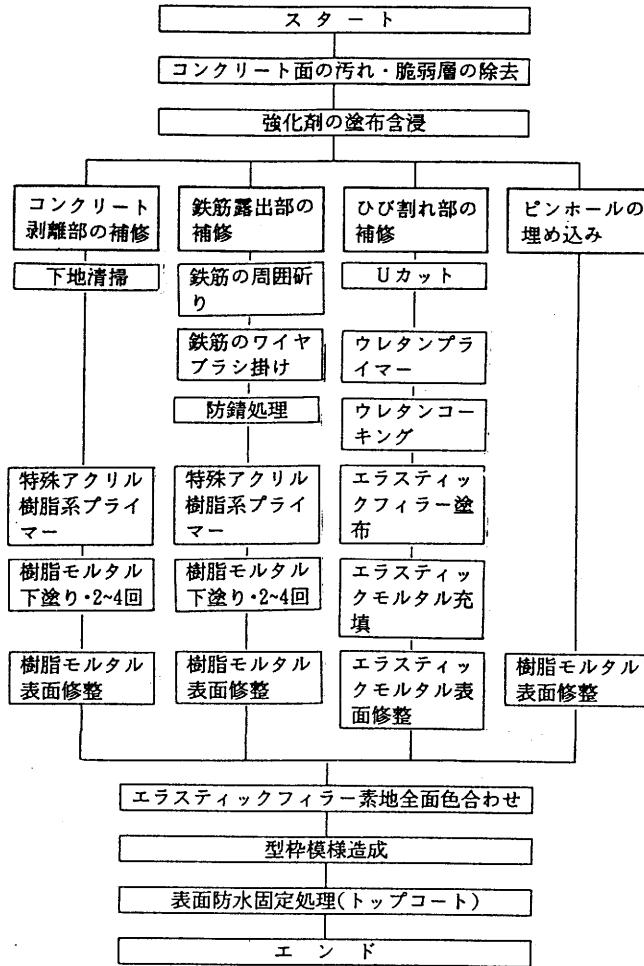


Fig.11 Repaired reproduction method of concrete surface

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 × 4 cm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3 cm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Table 7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。

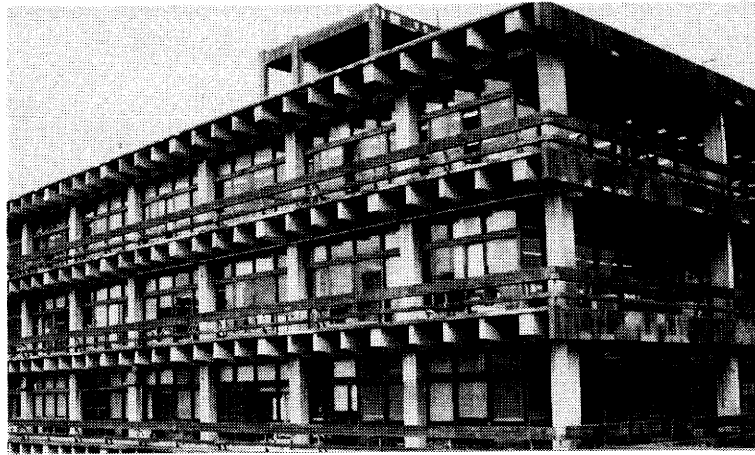


Photo 2 Deterioration states before repair and reproduction

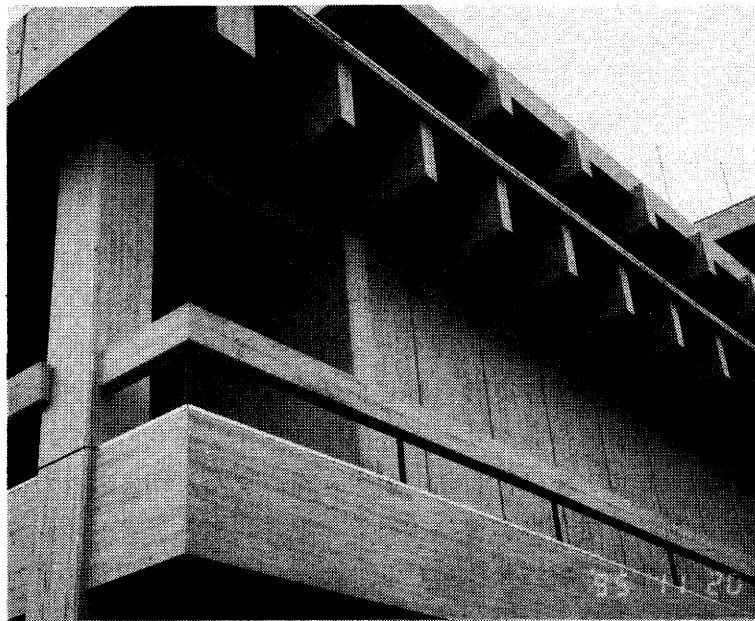


Photo 3 States of repair and reproduction after 4 years

4.3 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Table 8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、Fig. 10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。

5. 補修再生工法による適用事例

補修再生工法の基本構想、それに供する材料の開発、それらを検討して得た補修再生工法をFig. 11に示す。これを適用した物件の4年後の状況について述べる。

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Photo 2に示す。この著しい劣化に対して、Fig. 11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Photo 3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。

6. むすび

コンクリート構造物の劣化は主に表面から始まることに着目し、コンクリートの内的要因と表層部の性状を把握するとともに、コンクリート表面や表層部の劣化事象を明らかにし、さらにその補修再生工法について検討した。

その結果、コンクリート表層部の密実性は調合・養生条件により支配されること、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、開発した材料の特性を実験追跡し、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に、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、補修再生工法の適用事例において、健全なコンクリート面を維持していることを確認した。

参 考 文 献

- 1) 地濃茂雄ほか：コンクリート表層部モルタルの密実性に及ぼす単位水量の影響、日本建築学会論文報告集 第392号、pp. 26-33、1988. 10
- 2) 地濃茂雄：暑中コンクリートの強度発現性、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 580-581、1991. 8
- 3) 地濃茂雄ほか：コンクリート表層部の細孔構造、セメント技術年報 38 pp. 266-269、1984
- 4) 谷川恭雄ほか：モルタルの内部強度分布に関する研究、セメント技術年報 38 pp. 230-233、1984
- 5) 地濃茂雄：浸透性からみたコンクリート表層部のモルタルの密実性に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 166-167、1990. 8
- 6) 地濃茂雄：打放しコンクリートの仕上がりと耐久性に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集 pp. 1508-1509、1992. 8
- 7) 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
- 8) 地濃茂雄：モルタル・コンクリート外壁面の汚れに関する考察、日本建築学会中国・四国支部研究報告 第8号、pp. 89-92、1990. 3
- 9) 地濃茂雄ほか：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研究、コンクリート工学年次論文報告集 第18巻 第1号、pp. 1041-1046、1996
- 10) 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
- 11) 地濃茂雄ほか：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