各種補修モルタルを用いたコンクリート躯体の延命化予測に関する実験的研究

PREDICTION OF PROLONGED SERVICE LIFE OF CONCRETE
AFTER REPAIR WITH REPAIR MATERIALS

井上 和政*1, 三井 健郎*2, 柳橋 邦生*1, 池尾 陽作*3, 三好 徹志*4

Kazumasa INOUE, Kenro MITSUI, Kunio YANAGIBASHI,

Yosaku IKEO and Tetsushi MIYOSHI

In a case of prolonged service life of old concrete structures by repair works, prediction technique of service life after repair is necessary to design durability of repaired structures.

In this paper, carbonation speed about concrete repaired by several types of repair materials after carbonation were examined. Air permeability, pore size distribution, and carbonation speed of repair materials were also examined. And effects of these repair materials on carbonation speed of concrete were confirmed. From these results, some expression to predict prolonged service life that the carbonation speed of concrete repaired correlates closely with the air permeability and carbonation speed of repairing materials was proposed. And the flow of selecting repair materials for prolonged service life of old concrete structures, was proposed.

Keywords : Concrete, Carbonation, Repair Materials, Air Permeability
Predict Prolonged Service Life.

コンクリート, 中性化, 補修材, 透気係数, 延命化

1. はじめに (本研究の背景)

既存躯体のリニューアルによる延命化により、コンクリート躯体(スケルトン)の長寿命化を実現していくためには、補修工法・材料に応じた耐久性設計技術を検討し、補修後の寿命予測技術を構築していく必要がある。種々の補修工法・材料の内、将来のリサイクル性が高く、しかも補修工法が最も簡便なものとして、モルタル系の補修材料による断面補修、断面被覆工法が考えられる。新規コンクリートにおける仕上げ材や補修材料の中性化抑制効果は、例えば中性化速度比等として示されている^{1)~5)}。しかしながら、これらの補修後の中性化抑制効果に関する研究は少なく、補修時期が中性化抑制効果に及ぼす影響や、透気係数^{6)~7)}などの材料物性値から事前に補修後の中性化抑制効果を予測することを目的とした研究はほとんど見られない。

本研究では、まずモルタル系の各種断面補修、断面被覆材料の基礎物性試験を行い、同一試験条件で統一的な評価を行った。次に、各種断面補修・被覆材料を用いた場合の中性化抑制機構を把握し、寿命予測技術を確立していくために、所定量まで中性化させたコンクリート供試体に各断面補修・被覆材料を被覆し、補修・被覆後の中性化抑制効果を室内試験によって把握した。そして、促進期間1年までの室内材料試験結果に基づいた補修後の寿命予測式を構築し、検討した^{8)~9)}。本報では、これらの実験的な研究をまとめた結果について報告する。

2. 各種室内試験の概要

2. 1 使用材料とコンクリートの調合

使用材料を表-1に、コンクリートの調合を表-2に示す。コンクリートは近年補修時期を迎える建物の強度水準と現行の平均水準とし、目標スランブが 18 ± 2.5 cm, 目標空気量が $4.5 \pm 1.0\%$ となるように調合した。練混ぜは、容量100ℓの強制練りパン形ミキサを用い、練混ぜ量75ℓとして行った。空練りを15秒行い、混和剤と練混ぜ水を注水して30秒、ケレン後75秒間練混ぜた。各補修材料は、ホバート形ミキサを用いて全材料投入後、低速で30秒、高速で60秒間練混ぜた。

表-1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント (密度 3.16g/cm^3)
細骨材	君津産山砂 (密度 2.61g/cm^3 , 吸水率 1.85%)
粗骨材	八王子産山砂 (密度 2.67g/cm^3 , 実積率 59.3%)
混和剤	AE減水剤標準型I種
補修材料・工法	表-3に示すA~Jの各種補修材料とK~Mのモルタル、コントロールモルタルには収縮低減剤(ポリエーテル系)および高性能AE減水剤(ポリカルボン酸系)を使用

表-2 コンクリートの調合表

セメントの種類	スランブ (cm)	W/C (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)				混和剤 (C+0.2%)
					水	セメント	細骨材	粗骨材	
普通	18	70	4.5	49.3	170	243	910	956	0.486
普通	18	50	4.5	46.2	170	340	815	972	0.680

標準養生試験体の4週圧縮強度: W/C=70%; 22.7N/mm^2 , W/C=50%; 36.8N/mm^2

本論文は、参考文献8), 9)で発表したものに、新たな試験結果を加えて考察したものである。

*1 ㈱竹中工務店技術研究所 主任研究員・博士(工学)

*2 ㈱竹中工務店技術研究所 主席研究員・工修

*3 ㈱竹中工務店技術研究所 主任研究員・工修

*4 ㈱竹中工務店技術研究所 研究員・工修

Chief Researcher of Research and Development Institute, Takenaka Corporation, Dr. Eng.

Senior Researcher of Research and Development Institute, Takenaka Corporation, M. Eng.

Chief Researcher of Research and Development Institute, Takenaka Corporation, M. Eng.

Researcher of Research and Development Institute, Takenaka Corporation, M. Eng.

表－3 実験の因子と水準

番号	記号	材料名	塗厚さ (mm)	前中性化深さ ¹ (mm)		
				実験Ⅰ	実験Ⅱ	実験Ⅲ
1	A	A材料(防錆・防食アクリル系ポリマーセメントモルタル)	10	—	20	—
2	B	B材料(アルカリ付与材+SBR系ポリマーセメントモルタル)		0, 10, 30		14
3	C	C材料(酢酸ビニルバサチック酸系ポリマーセメントモルタル)				
4	D	D材料(高炉スラグ超微粒子混入プレミックスモルタル)				
5	E	E材料(エチレン酢酸ビニル系ポリマーモルタル)		—		—
6	F	F材料(カチオン性SBRラテックスポリマーモルタル)		0, 10, 30		14
7	G	G材料(ポリマーセメントモルタル(SBRラテックス混和液))				
8	H	H材料(一材型SBR系ポリマーセメントモルタル)				
9	I	I材料(ポリマーセメントモルタル(アクリルゴム系エマルジョン))		—		—
10	J	J材料(カチオン性アクリルポリマーモルタル)		0, 10, 20, 30		14
11	K	コントロール用モルタルW/C=30%				
12	L	コントロール用モルタルW/C=40%				
13	M	コントロール用モルタルW/C=50%		0, 10, 30		14
14	Q	コントロール用被覆なし	—	—	—	

注) *: 予め中性化させる深さ, 実験Ⅰ～Ⅱ: コンクリートのW/C=70%, 実験Ⅲ: W/C=50%とした。

図－1 中性化試験および試験体の概要

図－3 透気試験の概要

2. 2 実験の因子と水準

実験の因子・水準を表－3に示す。補修材13種類を厚さ10mmで被覆した。B、C、G、L、M材料は前中性化深さを3～4水準とした。

2. 3 試験体の概要と実験方法

試験体概要を図－1に示す。練上り直後にフレッシュ試験を行い、その後に試験体を作製した。各試験項目と準拠した試験方法を表－4に示す。中性化試験は、所定の前中性化深さとなるまで20℃、RH60%、炭酸ガス濃度5%の恒温恒湿養生室に静置し、中性化深さ確認後に各種補修材料で表面被覆し、側面をシールして再び同養生室に静置した。

表－4 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法、準拠・参考基準ほか
スランプ	JIS A 1101に従って測定
空気量	JIS A 1128に従って測定
圧縮強度	JIS A 1108に従って測定、供試体: $\phi 10 \times h20\text{cm}$, (N=3)
ヤング係数	JIS A 1149に従って測定、供試体: $\phi 10 \times h20\text{cm}$, (N=3)
中性化深さ	JIS A 1153に従って測定、供試体: $10 \times 10 \times 40\text{cm}$, (N=2)
モルタルフロー	JIS R 5201に従って測定
圧縮・曲げ強度	JIS R 5201に従って測定、供試体: $40 \times 40 \times 160\text{mm}$, (N=3)
付着強度	JIS A 6916に準拠して測定
長さ変化率	JIS A 1129に従って測定、供試体: $40 \times 40 \times 160\text{mm}$, (N=3)
透気係数	RILEM TC116-PCDに準拠して測定、試験体: $\phi 15 \times h4\text{cm}$
細孔径分布	日本コンクリート工学協会 超流動コンクリート研究委員会報告集(Ⅱ) 細孔径分布の測定方法(水銀圧入法)

3. 試験結果および考察

3. 1 各種補修モルタルの基礎物性試験結果

各種補修モルタルの基礎物性試験結果を表－5に示す。例えば圧縮強度が18.5～57.4N/mm²の広範囲となったように、モルタルの種類によって基礎物性は大きく異なった。また、今回の統一した試験結果によると、日本建築学会の「補修指針」⁹⁾に示された断面修復用ポリマーセメントモルタルの品質基準(案)を満足しないものも見られた。補修モルタルとしての中性化抵抗性についても、26週の促進試験で全く中性化が進行しないものから12.8mmと比較的中性化が進行するものまで見られた。これらの基礎物性の中には、図－2に例示する圧縮強度と乾燥収縮率の関係のように、相関関係が比較的高いものと、圧縮強度と付着強度のように相関関係の低いものが見られた。

表－5 補修モルタルの基礎物性試験結果一覧

番号	記号	フロー (mm)	圧縮強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	付着強度 (N/mm ²)	乾燥収縮 (%)	促進中性化 深さ(mm)	透気係数 ($\times 10^{-17} \text{m}^2$)
1	A	182	35.1	7.69	1.27	0.190	0.0	2.58
2	B	198	23.6	5.99	1.52	0.140	0.0	57.34
3	C	170	49.5	8.35	1.42	0.131	6.4	0.92
4	D	157	54.2	12.21	0.66	0.068	1.5	0.76
5	E	157	42.0	6.45	1.91	0.127	0.0	8.54
6	F	210	21.7	5.80	1.13	0.268	12.8	2.70
7	G	171	26.3	7.11	2.58	0.182	0.0	0.40
8	H	139	28.7	6.16	0.78	0.118	0.0	0.91
9	I	164	18.5	4.37	1.48	0.209	10.3	3.75
10	J	147	33.0	7.22	1.88	0.108	0.0	0.56
11	K	128	57.4	10.00	2.80	0.068	0.1	0.52
12	L	172	50.9	7.72	1.22	0.088	4.9	0.68
13	M	180	37.5	6.71	0.85	0.110	7.2	25.12

注) 乾燥収縮、促進中性化深さは試験期間26週の結果を、透気係数は材齢4週の結果を示す。透気係数は実験Ⅱで得られた結果のみを示す。実験Ⅰでの結果は図－13を参照。

図－2 補修材料の圧縮強度と乾燥収縮率の関係

3. 2 各種補修モルタルの透気係数試験結果

図－3に、実施した補修モルタルの透気係数試験の概要を示す。試験の印加気体には空気(20℃時の粘度: $1.81 \times 10^{-4} \text{Pa} \cdot \text{s}$)を用いた。図－4に透気係数と印加圧力の関係を示す。補修モルタルの種類によって、両者の関係は若干異なった。すなわち、印加圧力が増加するに従って透気係数が若干小さくなる傾向を示すものと、印加圧力が増加しても透気係数はほとんど変化しない補修モルタルが見られた。A材料やI材料など透気係数が比較的大きい材料の透気係数に印加圧力の影響が見られた。但し、F材料のように透気係数が比較的大きい材

料でも、印加圧力の影響が小さいものもある。本試験では、RILEM TC116-PCD に従って印加圧力 1.5, 2.0, 3.0bar 時の測定結果の平均値を透気係数とした。

図-5 に透気係数と補修モルタルの材齢の関係を示す。材齢の経過に従って、透気係数が増大する傾向を示すもの、透気係数はほとんど変化しないもの、透気係数が大きく変動するものが見られた。この原因については、乾燥に伴う試験体の内部クラックの進行などの影響も考えられることから、今後より詳細な検討が必要になるものと思われる。本試験では、これらの原因の影響が比較的小さいと考えられる材齢4週での試験結果をその補修材料の代表値とすることにした。

図-4 透気係数に及ぼす印加圧力の影響

図-5 透気係数に及ぼす材齢の影響

図-7 補修時期が中性化の抑制効果に及ぼす影響

図-6 透気係数と半径が 100nm 以上の細孔量の関係

実験Ⅱの試験体作製時に用いた補修モルタルの透気係数の試験結果を表-5 に併記する。透気係数についてみると、B材料とG材料では2ケタも異なる結果となった。これら透気係数の結果と前項に記した補修モルタル自身の促進中性化の試験結果は、外部からの炭酸ガスの遮蔽度や炭酸ガスと反応・消費するモルタル中のアルカリ量が異なることを示しており、補修モルタルを施したコンクリートの補修後の中性化抑制効果が大きく異なることが予想される。

図-6 に透気係数と半径が 100nm 以上の細孔量の関係を示す。既往の研究結果と同様に、透気係数と半径が 100nm 以上の細孔量との間には、正の相関関係がみられた。

3.3 補修時期が補修後のコンクリートの中性化抑制に及ぼす影響

図-7 に、実験Ⅰでモルタルの補修時期を変えた場合の補修時期がコンクリートの中性化抑制効果に及ぼす影響を示す。無補修の場合には、中性化深さと促進期間 t との間に一般に $\sqrt{t}$ 則の関係があることが知られている。本試験結果でも、無補修の場合の中性化深さと $\sqrt{t}$ (促進期間) の間には寄与率 $R^2=0.997$ の良好な直線関係が見られた。これに対して、補修後の中性化深さ y と促進期間 t の間にも $y = A_1(\sqrt{t} - \sqrt{t_0}) + B_1$ の直線関係 (A_1 は補修後の中性化速度係数、 B_1 は補修時の中性化深さ、 t_0 は補修時期を示す) が見られた。寄与率 R^2 は 0.76 ~ 0.99 であり、無補修の場合よりもその精度が若干低下する程度のものであった。各補修時期での補修後の中性化速度係数 A_1 の計算結果を表-6 に示す。この中性化速度係数 A_1 について、補修時期 (前中性化深さ) と補修材料の種類を要因とした分散分析を行った結果、表-7 に示すように補修時期 (前中性化深さ) の違いによって A_1 に有意差は見られなかった。このことから、補修後の中性化深さは、補

修の時期に関係なく、 A_1 の平均値を用いて促進期間 t と補修時期 t_0 の平方差($\sqrt{t}-\sqrt{t_0}$)を変数とした1次直線で示することができるものと考えることができる。

表-6 補修時期が補修後の中性化速度係数 A_1 に及ぼす影響

補修材の種類	中性化速度係数 A_1 (mm/($\sqrt{t}-\sqrt{t_0}$))				
	前中性化深さ(mm)				平均値
	0	10	20	30	
B材料	1.98	1.92	—	0.39	1.43
C材料	2.05	1.79	—	3.14	2.33
G材料	0.46	0.38	—	0.00	0.28
L材料(W/C=40%)	1.16	0.71	0.22	0.00	0.52
M材料(W/C=50%)	1.90	1.76	—	2.89	2.18
無補修コンクリート	5.62	—	—	—	—

表-7 補修時期が中性化速度係数に及ぼす影響の分散分析結果

変動要因	変動	自由度	分散	分散比	F境界値	判定
補修材料	9.98	4	2.49	4.91	3.84	5%有意
前中性化深さ	0.15	2	0.08	0.15	4.46	有意差なし
誤差	4.06	8	0.51			
合計	14.20	14				

3.4 補修モルタルの種類が補修後のコンクリートの中性化抑制に及ぼす影響

次に、実験Ⅱにおいて各種補修材を用いた場合の中性化抑制効果を調べた試験結果を図-8、9に示す。各種補修材を施した場合についても、図-7と同様に補修後の時間に関する変数($\sqrt{t}-\sqrt{t_0}$)と補修後の中性化深さの間に直線関係が見られた。図-8および図-9に示すように、B材料のように中性化の抑制効果が小さい材料と、G材

図-8 各種補修材の中性化抑制効果 (A~F材料, M材料)

図-9 各種補修材の中性化抑制効果 (G~L材料)

料のように中性化の抑制効果が大きい材料があった。補修後の中性化速度係数 A_1 でみると、補修材の種類によって無補修の場合の中性化速度係数 A の0~79%と中性化抑制効果が大きく異なった。これらのことから、補修により延命化する場合には、必要となる余寿命が付与されるように、適切な補修材料を選定する必要があるものと言える。

3.5 中性化抑制効果に及ぼす躯体コンクリートの種類の影響

水セメント比が50%のコンクリート試験体を用いて補修後の中性化抑制効果を調べた実験Ⅲの結果を図-10に示す。水セメント比が50%の場合も70%の場合と同様に、補修後の中性化深さと変数($\sqrt{t}-\sqrt{t_0}$)の間に直線関係が見られた。また、無補修の中性化速度係数に対する補修後の中性化速度係数の比率は14~61%で、水セメント比が70%の場合と同様に、補修モルタルによる中性化抑制の効果が確認できた。但し、実験Ⅱと実験Ⅲの結果から、中性化抑制効果(中性化速度係数の比率)に及ぼす躯体コンクリートの水セメント比の影響を直接比較することはできない。これは補修材料のロット差などにより透気係数などの物性が若干異なるためである。この躯体コンクリートの水セメント比の影響については、3.7項で考察する。

図-10 各種補修材の中性化抑制効果 (W/C=50%の場合)

3.6 補修モルタルによる補修後のコンクリートの中性化抑制効果の予測に関する検討

図-11(1),(2)に、実験Ⅰで実施した前中性化深さ0mmの場合の補修後の中性化試験結果の例を示す。補修モルタルに未中性化部分が残っているにも関わらず、コンクリートの中性化が進行しているのがわかる。図-12は、実験Ⅱにおける補修後のコンクリートの中性化深さおよび補修モルタル部分の中性化深さと促進期間の関係を示したものである。同図によると、補修後のコンクリートにおいては、補修・被覆モルタル部分の中性化の進行の有無とは無関係に、コンクリート部分の中性化が進行する。これらの結果は、補修後のコンクリートの中性化の進行に、補修材の透気係数が影響することを示している。

各種補修材で補修した場合の中性化速度係数を無補修の場合で無次元化した中性化速度係数の比をここでは寿命予測係数 A_1/A とした。実験Ⅰ,Ⅱの試験結果において、後述する多変量解析の精度を向上させることと、将来的に他の影響要因を考慮していくことを目的に、各物性値がいずれも大きい材料の1つであるW/C=50%モルタルの値で無次元化した補修材自身の中性化速度係数と透気係数が、この A_1/A に及ぼす影響を図-13、図-14に示す。図-13に示すように、例えば補修材自体の中性化速度係数が0であるB材は、同値が比較的大きいG、L材より寿命予測係数が大きく、透気係数の影響が伺われる。

図-14 に示すように、寿命予測係数 A_1/A に及ぼす補修材自身の中性化速度係数および透気係数の無次元化量の間には正の相関関係が見られた。また、補修材料の細孔量も寿命予測係数 A_1/A に影響を及ぼすものと推測されるが、3.2 項に示したように透気係数と半径 100nm 以上の細孔量との間に正の相関関係があり、透気係数と半径 100nm 以上の細孔量を独立変数として扱うことはできない。そこで、この実験Ⅱの試験結果を用いて、寿命予測係数 A_1/A を補修材の特性値である透気係数と中性化速度係数から求める式 (1) を多変量解析にて求めた。寿命予測係数 A_1/A の実験値と式 (1) による予測値は、図-15 に●印で示すように比較的良好な対応を示した。

$$A_1/A = 0.113 \times P + 0.200 \times Q + 0.284 \quad \dots (1)$$

$$P = P_1/P_0$$

$$Q = Q_1/Q_0$$

ここに、 P ：補修材の無次元化中性化速度係数、

Q ：補修材の無次元化透気係数、

P_1 ：補修材の中性化速度係数、 P_0 ：1.67 (mm/√週)

Q_1 ：補修材の透気係数、 Q_0 ：25.12 × 10⁻¹⁷ (m²)

(1) 実験Ⅰにおける前中性化深さ 0 mm の中性化試験結果
(促進期間 13 週の L 材料)

(2) 実験Ⅰにおける前中性化深さ 0 mm の中性化試験結果
(促進期間 13 週の M 材料)

(3) 実験Ⅱにおける前中性化深さ 20 mm の中性化試験結果
(促進期間 52 週の B 材料)

図-11 コンクリートおよび補修材の中性化試験結果

(4) 実験Ⅱにおける前中性化深さ 20 mm の中性化試験結果
(促進期間 52 週の G 材料)

図-11 コンクリートおよび補修材の中性化試験結果

図-12 コンクリートおよび補修材の中性化の進行状況

図-13 補修モルタルの特性が A_1/A に及ぼす影響 (1)

図-14 補修モルタルの特性が A_1/A に及ぼす影響 (2)

図-15 寿命予測係数 A_1/A の実験値と予測値の関係

3. 7 中性化抑制効果予測手法の有効性検討と補修材料選定フロー

実験Ⅰの実験値と式(Ⅰ)による推定値の相関を図-15に併記する。中性化速度係数、透気係数の無次元化は、実験ⅡのM材の値によった。実験値と推定値は実験Ⅱの場合と同様に概ね良好な対応を示す。

躯体コンクリートの水セメント比が50%である実験Ⅲの実験値と式(Ⅰ)による推定値の関係を図-15に併記する。躯体コンクリートの水セメント比が50%の場合にも、補修後の中性化抑制効果は式(Ⅰ)で推定できるものと考えられる。このことから、本実験の範囲である水セメント比が50~70%の範囲の躯体コンクリートの場合、補修後の中性化抑制効果、すなわち寿命予測係数 A_1/A は躯体コンクリートの水セメント比に関係なく、ほぼ同じであるものと推測される。

以上、実験Ⅰ~Ⅲのそれぞれの実験結果と補修後の中性化抑制効果の予測値がほぼ同じ関係を示すことから、本予測手法の有効性がある程度示せたものと考えられる。

本予測手法を用いた、延命化予測に必要な補修材料の選定フロー案を図-16に示す。本研究の範囲において、延命化に必要な補修材料の選定が同図によって可能になるものと考えられる。尚今後は、補修モルタルの塗厚さや劣化等の影響を検討し、考慮していく必要がある。

4. 結論

本実験的研究によって得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 補修後のコンクリートの中性化深さ y と促進期間 t の間には、 $y = A_1(\sqrt{t} - \sqrt{t_0}) + B_1$ の直線関係(A_1 は補修後の中性化速度係数、 B_1 は補修時の中性化深さ、 t_0 は補修時期を示す)がある。
- 2) 各種補修モルタルによる補修後の中性化速度係数は $W/C=70\%$ のコンクリートの無補修の場合の0~79%で、材料によって異なった。
- 3) 補修時の前中性化深さは、各種補修モルタルによる補修後の中性化速度係数に影響を及ぼさないものと考えられる。
- 4) 各種補修モルタルによる補修後の中性化抑制効果は $W/C=50\sim70\%$ の範囲では、躯体コンクリートの水セメント比に影響を及ぼさないと考えられる。
- 5) 補修材の中性化抑制効果を寿命予測係数とし、補修材自身の中性化速度係数、透気係数の材料特性値から導く式を求めた。
- 6) 5)で導いた式の有効性の検討結果から、本研究の範囲において寿命予測係数は中性化速度係数と透気係数をパラメータとした推定式で推定可能であると考えられる。
- 7) 延命化予測のための補修材料選定のフロー案を示した。

謝辞

本研究は、平成13年度~平成15年度の経済産業省次世代住宅技術開発(資源循環型住宅に係るものに限る)に関する委託研究成果によるものであり、関係者各位に謝意を表します。

【引用文献】

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針(案)・同解説、pp.100-112、1997.1
- 2) 岸谷孝・西澤紀昭他：コンクリート構造物の耐久性シリーズ 中性化、技報堂出版、pp.28-32、1986.8
- 3) 押田・和泉・嵩：コンクリート表面塗布剤の中性化抑制効果、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)、A、pp.265-266、1986.8
- 4) 鈴木・大濱：補修用ポリマーセメントモルタルの中性化速度式の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)、A-1、pp.149-150、2002.8
- 5) 福島敏夫・友澤史紀・福上勲・田中斉：表面仕上材の中性化したコンクリート中の鉄筋腐食抑制効果に関する実験的研究、コンクリート工学論文集、pp.83-93、Vol.10、No.2、1999.5
- 6) 笠井芳夫・松井勇・長野基司：コンクリートの中性化と透気性、第6回コンクリート工学年次講演会論文集、pp.189-192、1984
- 7) 氏家勲・橋崎正尚・長瀬重義：コンクリートの透気性状と酸素および塩素イオンの拡散性に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、pp.519-524、Vol.15、No.1、1993.
- 8) 井上・柳橋・池尾・三井：各種補修モルタルを用いたコンクリート躯体の延命化予測に関する実験研究、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、A-1、pp.541-542、2003.9
- 9) 三好・井上・柳橋・三井：各種補修モルタルを用いたコンクリート躯体の延命化予測に関する実験研究、その2、補修時期の影響と推定式の有効性、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)、A-1、pp.1011-1012、2004.8

(2004年10月19日原稿受理、2005年3月10日採用決定)

図-16 延命化予測のための補修材料選定フロー案