

# 論文 断面修復材によるコンクリート部材の補修に関する研究

古賀 一八\*1・衣笠 秀行\*2・山本 佳城\*3・山辺 智典\*3

**要旨**：断面修復材に要求される重要性能の一つとして、躯体コンクリートに対する長期接着性が挙げられる。本研究では、はつり形状が異なる補修試験体を製作し、各種断面修復材における長期接着性について、温冷、乾湿繰返し促進試験により検討した。結果として、硬化収縮時の寸法変化が小さく、基材コンクリートと同等の熱膨張係数・弾性係数を有するポリマーセメントモルタルが良好なひび割れ耐久性を示した。また、基材コンクリートとの熱膨張係数差が大きく、高い引張強度を有する断面修復材は基材コンクリートにひび割れを発生させる。

**キーワード**：コンクリート、補修、温冷ムーブメント、乾湿ムーブメント、長期接着性

## 1. はじめに

現在、コンクリートの浮き、剥落等の劣化現象に対する補修需要の増大に伴い、多種多様な断面修復材が適用されている。しかし、必ずしも適材適所の補修が行われているとは言えない状況にあり、補修後にひび割れ・浮き等が生じた場合には構造物の耐久性能等に影響を及ぼすものと考えられる。

断面修復材にはコンクリート構造物の劣化抑制をはじめとする多様な性能が求められるが、特に重要な性能の一つとして躯体コンクリートに対する長期接着性が挙げられる。補修に際して適正な材料選定を行うためには、供用環境条件下における長期接着性の評価が不可欠であり、具体的な材料特性値を明確にする必要がある。

本研究では現在、補修工事に使用されている各種断面修復材の組成・下地処理方法を調査すると共に基礎物性試験を行い、その諸性能に関する資料を作成した。また、実際の補修面を想定した、はつり形状が異なる補修試験体を製作し、温冷・乾湿ムーブメントに対する断面修復材の材料特性値に基づく長期接着性の評価方法を促進試験により検討した。

## 2. 断面修復材

本実験で対象とした断面修復材は、表-1 に示すセメント系 11 種類、樹脂系 3 種類の計 14 種類である。現在、市販されている断面修復材の中から表示性能・成分等を基に、その種類、諸性能を整理し、代表的なもの及び各種材料特性値が特徴的であるものを各々選定した。

但し、補修面の処理には各メーカーが指定する下地処理材料、或いは水湿しを施した。

表-1 断面修復材料

記号	断面修復材	下地処理材料
A	セメント系モルタル	EVA系エマルジョン*1
B	セメント系モルタル	水湿し
C	SBR系ボリマーセメントモルタル	エボキシエマルジョン*1
D	SBR系ボリマーセメントモルタル*4	水湿し
E	軽量SBR系ボリマーセメントモルタル	SBR系セメントファイバー
F	アクリル系ボリマーセメントモルタル*4	アクリル系エマルジョン*1
G	軽量アクリル系ボリマーセメントモルタル	アクリル系エマルジョン*1
H	EVA系ボリマーセメントモルタル	水湿し
I	カチオン系CR系ボリマーセメントモルタル	水湿し
J	セメント系無収縮モルタル	水湿し
K	セメント系無収縮モルタル	水湿し
L	エボキシ樹脂モルタル	エボキシ樹脂*2
M	軽量エボキシ樹脂モルタル*3	エボキシ樹脂*2
N	軽量エボキシ樹脂モルタル*3	エボキシ樹脂*2

\*1：吸水調整材

\*2：溶液系シーラー

\*3：特殊軽量骨材

\*4：ビニロン繊維含有

\*1 (株)長谷工コーポレーション 技術研究所 主任研究員

\*2 東京理科大学 講師 工学博士

\*3 東京理科大学大学院

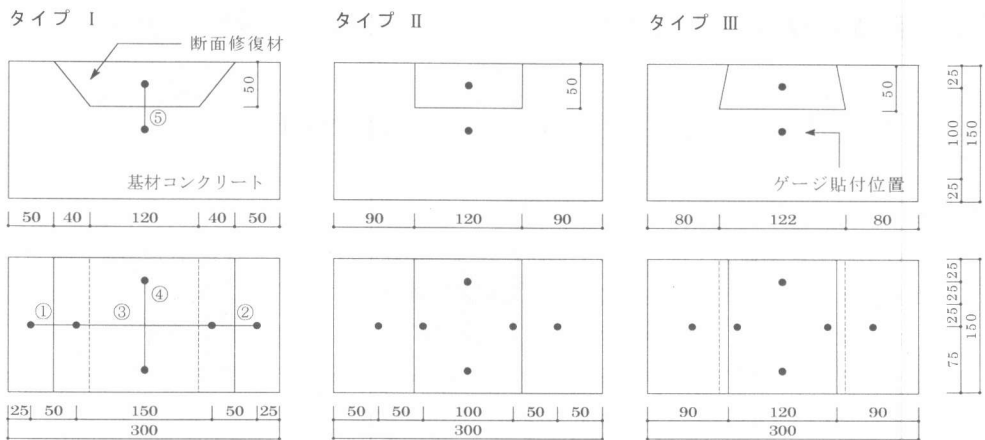


図-1 試験体の形状・寸法

●○：寸法変化測定箇所

### 3. 実験概要

#### 3.1 基礎物性試験

試験項目および試験方法を表-2に示す。長期接着性に影響を及ぼすと考えられる各種物性項目を確認した。接着強度試験体は寸法50×50×厚さ10mmとし、材齢28日まで標準養生(20±3℃,60±10%R.H.)を行い試験に供した。

表-2 基礎物性試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
引張強度	JIS A 1113
圧縮強度	日本コンクリート工学協会 「ホリマーセメントモルタル試験方法規程(案)」
静弾性係数 ポアソン比	
接着強度	建研式(試験体寸法50×50×厚さ10mm) 基板コンクリート(4週圧縮強度58.5 N/mm <sup>2</sup> )
長さ変化率	NSKS-002(欠損部補修用ホリマーセメントモルタル)
熱膨張係数	NSKS-002(欠損部補修用ホリマーセメントモルタル)
吸水率	JIS A 6203
吸水膨張率	48時間吸水中、JIS A 1129による長さ変化
乾燥収縮率	48時間吸水後、JIS A 1129による長さ変化
密度	JIS A 5416

NSKS：日本建築仕上材工業会規格

#### 3.2 接着耐久性試験

標準養生28日後の接着強度試験体について表-3の促進試験[1]を行い、各30サイクル終了時に建研式接着力試験機を用いて試験を行った。

表-3 促進試験条件

試験項目	促進試験条件(1サイクル)
温冷繰返し	高温(60℃、12時間)、低温(5℃、12時間)
乾湿繰返し	湿潤(20℃水中、1日)、乾燥(20℃60%R.H.、2日)

#### 3.3 ひび割れ耐久性試験

##### (1) 補修試験体

基材コンクリートは、図-1に示す皿型[2](I)、垂直型(II)、蟻足型(III)とし、はつり形状による長期接着性を評価した。基材コンクリートの調査および性質を表-4に示した。

基材コンクリートは、温度20±3℃、80%R.H.以上の室内で28日間、60±5%R.H.で7日間養生した後、補修面をJIS R 6252に規定する150番研磨紙を用いて均質に処理した。その後断面補修を実施し、温度20±3℃、60±5%R.H.の室内で28日間養生して補修試験体とした。

なお、断面修復材は基礎物性試験結果の接着強度・静弾性係数・熱膨張係数等の特性を考慮して温冷繰返しではC,D,F,I,M,Nの6種類、乾湿繰返しではA,C,D,E,J,Mの6種類とした。

表-4 コンクリートの調査および性質

水セメント比	細骨材率	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				スラング(cm)	空気量(%)	圧縮強度28日(N/mm <sup>2</sup> )
		セメント	水	細骨材*	粗骨材*			
(%)	(%)							
60	47.1	280	168	910	990	19	6.0	28.7

\*1：絶対質量

##### (2) 促進試験条件

促進試験条件を表-3に示す。温冷繰返しでは5サイクル終了時に、乾湿繰返しでは水中浸漬後および1サイクル終了時に測定を行った。

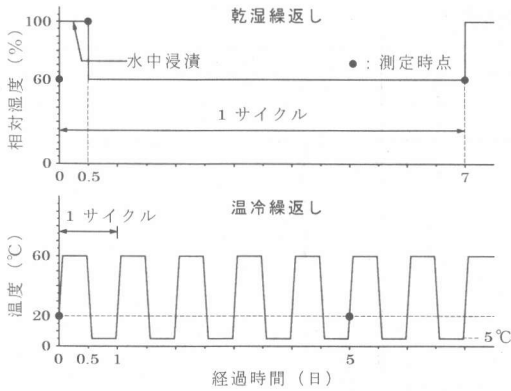


図-2 促進試験サイクル

(3) 測定項目

断面修復材および補修界面の挙動は、図-1に示す補修試験体の8箇所にてゲージプラグを埋め込み、2点間(①~⑤)の寸法変化をコンタクトゲージ方法により測定した。また、断面補修時に作製した模擬供試体(40×40×160 mm)に同様の促進試験を実施し、その挙動と比較した。

外観観察では断面修復材、基材コンクリート、補修界面におけるひび割れの有無を調査した。

4. 実験結果および考察

4.1 基礎物性試験

基礎物性試験の結果を表-5に示す。各物性値についての相関は認められなかった。

[圧縮強度、静弾性係数] 圧縮強度は広範囲に

分布した。静弾性係数は、セメント系ではポリマーセメントモルタルが、樹脂系では特殊軽量骨材を用いたM、Nが相対的に小さい。

[引張強度] セメント系ではビニロン繊維を含むD、Fの補強効果が著しい。但し、引張強度試験は割裂引張法を採用したため、変形量の大きい樹脂系の評価は必ずしも十分ではなかった。

[長さ変化] セメント系Eの変化率が大きく、長期に渡って増加していく傾向がみられた(材齢91日 長さ変化率 $50 \times 10^{-4}$ )。樹脂系ではNの硬化収縮が大きく、セメント系に関してはC、Iが優れた寸法安定性を有していた。

なお、本試験では材齢1日以降における硬化乾燥時の寸法変化を測定したものであり、それ以前の初期膨張収縮は考慮されていない。

[熱膨張係数] 図-3に各種断面修復材、及び基材コンクリートの温度と寸法変化の関係を示す。樹脂系の熱膨張係数は基材コンクリート( $1.12 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ )の3~6倍程度と大きく、セメント系ではE、Jを除いて概ね同等であった。基材コンクリートに対する熱膨張係数の比を表-6に示す。

[吸水率、吸水膨張率] ポリマーセメントモルタルの吸水率はセメントモルタルの1/2~3/4程度であり、ポリマー混入による防水性の改善効果が現れている。また、樹脂系では時間経過

表-5 基礎物性試験結果

種類	硬化密度 28日	圧縮強度 28日 N/mm <sup>2</sup>	引張強度 28日 N/mm <sup>2</sup>	静弾性係数 28日 $\times 10^4$ N/mm <sup>2</sup>	ポアソン比 28日	接着強度 28日 N/mm <sup>2</sup>	長さ変化率 28日 $\times 10^{-4}$	熱膨張係数 28日 $\times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$	吸水率 48時間 vol %	吸水膨張率 48時間 $\times 10^{-4}$	乾燥収縮率 28日 $\times 10^{-4}$
A	2.07	42.3	3.12	2.34	0.14	1.50	6.76	0.92	10.3	6.12	5.60
B	2.17	52.2	3.72	1.86	0.12	0.00	10.3	0.96	14.5	8.62	6.74
C	2.03	32.2	3.44	2.08	0.11	1.10	4.79	0.92	8.06	3.61	3.58
D	2.16	34.8	4.50	1.53	0.10	1.50	8.29	1.18	5.56	2.71	2.92
E	1.84	15.1	2.88	0.79	0.12	1.27	30.7	2.14	5.59	3.72	6.84
F	2.08	36.9	4.73	1.42	0.12	1.60	6.79	1.37	7.40	5.47	4.57
G	1.67	27.6	3.89	1.17	0.15	2.80	6.13	1.33	5.91	7.33	7.99
H	2.07	27.0	3.71	1.24	0.11	1.60	9.34	0.90	8.37	4.28	4.92
I	2.08	32.2	3.33	2.04	0.14	2.95	1.46	1.06	3.42	2.71	3.22
J	2.07	43.0	3.29	1.87	0.14	2.40	7.96	0.59	10.6	7.13	6.20
K	2.13	39.9	2.55	2.18	0.08	1.30	6.68	0.81	7.72	3.96	4.25
L	1.65	56.3	11.3	0.93	0.18	4.30	2.77	3.42	0.11	0.00	-
M	0.82	10.3	3.13	0.06	0.18	1.09	3.13	6.68	0.12	0.05	-
N	1.09	26.1	8.40	0.38	0.22	3.00	10.4	3.49	0.03	0.03	-

表-6 熱膨張係数比

種類	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
熱膨張係数比	0.81	0.84	0.81	1.04	1.88	1.20	1.17	0.79	0.93	0.52	0.71	3.00	5.86	3.06

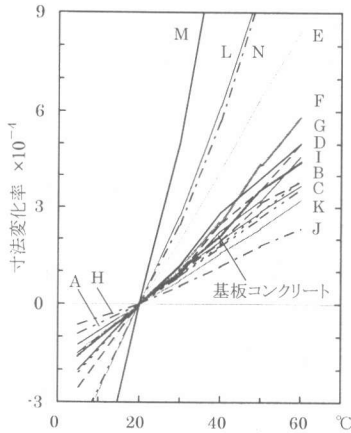


図-3 温度と寸法変化の関係

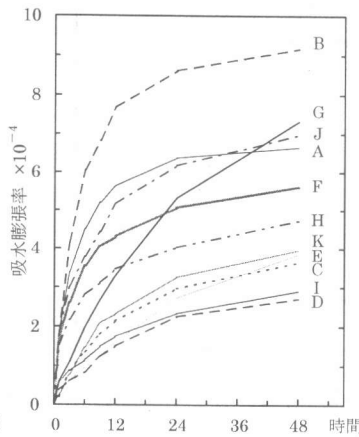


図-4 吸水膨張率

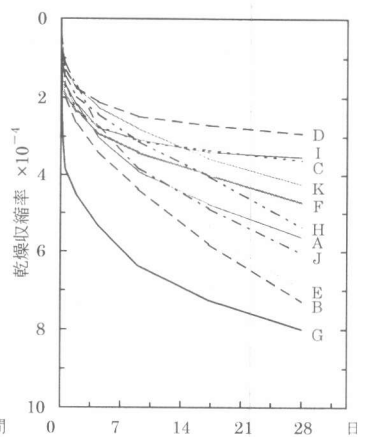


図-5 乾燥収縮率

に伴う吸水率の増加は殆ど見られなかった。

吸水膨張率は 図-4 に示すように、吸水量の多少に関わらず各々異なる挙動を示した。特にセメント系 G は 24 時間以内で直線的に増加している。なお、樹脂系の膨張は認められない。

〔乾燥収縮率〕 48 時間吸水後の乾燥収縮率を 図-5 に示す。セメント系 G では乾燥初期における収縮挙動が著しく、その他は乾燥材齢に伴い収縮率に差を生じた。また、E は吸水率が比較的 low、吸水膨張率の増加も緩やかであったが、乾燥収縮率では大きな値を示した。

本試験の結果より、大抵の断面修復材では 12 時間吸水による膨張率と乾燥材齢 7 日における収縮率が同程度である事から、ひび割れ耐久性試験の乾湿繰返しによる促進条件を決定した。

#### 4.2 接着耐久性試験

標準養生後、及び促進試験後の接着強度試験結果を 図-6 に示す。また、図-7 には、接着強度試験後の補修界面における破壊状況を目視にて判定し、破断率（面積比）として表した。

##### (1) 標準養生後

セメント系 B は基板コンクリートに対する接着力が認められず、載荷前に剥離を生じる結果となった。また G、I は相対的に優れた接着強度を示し、高い引張強度を有する I では、断

面修復材における破断率がほぼ 0% であった。

一方、樹脂系では下地処理材料自体の接着力が high、接着強度の値は破断率より、L は基板コンクリートの引張強度に、M では自身の引張強度に各々、依存した結果であると言える。

##### (2) 温冷繰返し後

セメント系では標準養生後と比べて、界面での破断率が 80% 前後に増加する傾向が見られ、接着強度は著しく減少した (D, E, F, H, J, K)。これは基材コンクリートとの温冷ムーブメントによって発生する応力と断面修復材の接着界面における伸び能力の差によるものと思われる。

破断率の結果から、特に M、N については後硬化により強度が増進したものと推察され、接着強度は基板コンクリートの凝集破壊が支配的となる一定値に留まった。樹脂系は変形性能に優れるため、熱膨張収縮が接着強度に与える影響は緩和されるものと考えられる。

##### (3) 乾湿繰返し後

吸水・乾燥による寸法変化の小さいセメント系 D、I、及び樹脂系の断面修復材は促進試験前と同等の接着強度、破断率を示した。しかし、寸法変化が大きいセメント系 A、G は、乾湿ムーブメントによる接着強度の低下が著しく、補修界面での破断率が増大する結果となった。

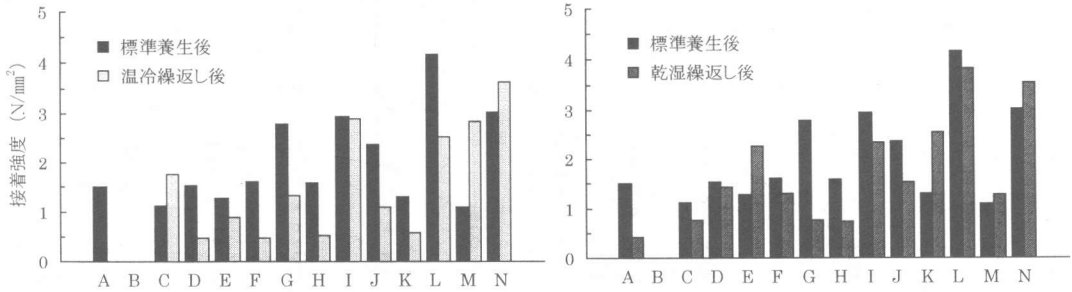


図-6 接着強度試験結果

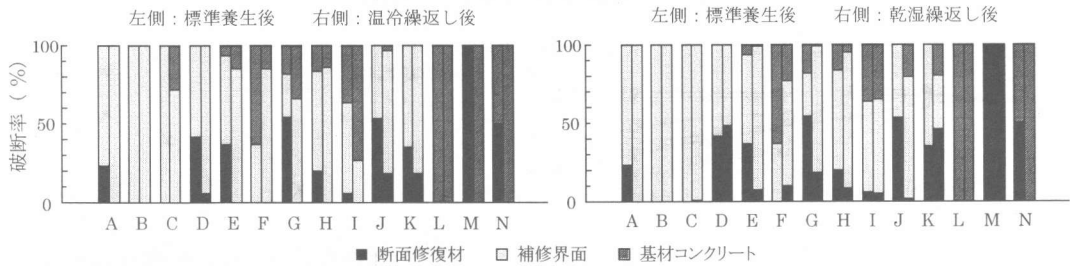


図-7 破断状況

### 4.3 ひび割れ耐久性試験

ひび割れが生じた補修試験体について、促進材齢とひび割れ量（ひび割れ長さ×ひび割れ幅 $\text{mm}^2$ ）との関係を 図-8 に示した。また、ひび割れ発生が特に顕著であった試験体（温冷繰返しでは樹脂系 M、乾湿繰返しではセメント系 A）の促進材齢と寸法変化の関係を 図-9 に示した。但し、寸法変化は 図-1 の③についてのみとし、模擬供試体の挙動と比較した。

#### (1) 温冷繰返し後

促進試験開始時点（養生材齢 28 日）において、セメント系 D では既に若干のひび割れが確認された。10 サイクル時には、何れの試験体にもひび割れが発生し、樹脂系 M を除いては、その大部分が補修界面におけるものであった。以後、促進材齢の進行に伴い緩やかにひび割れ量は増加するが、20 サイクルでほぼ停滞している。

硬化乾燥時の寸法変化が小さく、且つ基材コンクリートと同等の熱膨張係数、及び弾性係数 ( $2.78 \times 10^{-4} \text{ N/mm}^2$ ) を有するセメント系 C、I が良好なひび割れ耐久性を示した。他方、温冷繰返し後の接着強度が著しく低下したセメント系 D、F はひび割れ量が増大した ( 図-8 )。

樹脂系 M では 図-9 に示すように、初期における寸法変化は見られないが、15~20 サイクル時に変形量が増大し、促進材齢に伴い模擬供試体と同様の挙動を示す。これはひび割れ量の増加傾向と概ね一致し、補修界面における接着性能が著しく低下したことを示唆するものである。温冷繰返し後の接着強度が高い M は、基材コンクリートとの熱膨張係数の差が極めて大きく ( 図-3 )、熱膨張収縮により基材コンクリートにひび割れを及ぼしたと考えられる。

#### (2) 乾湿繰返し後

硬化乾燥時に大きな収縮挙動を示したセメント系 E、J は養生材齢 21 日の時点でひび割れが確認され、促進試験開始時においては補修界面全体にひび割れを伴っていた。また、D では 28 日に補修界面端部のひび割れが認められ、これらは促進材齢に伴うひび割れ量の増加を助長する原因になったと考えられる ( 図-8 )。

セメント系 A のひび割れ量は 5 サイクルまで徐々に増加しているが、 図-9 に見られるように吸水膨張、乾湿収縮は一定の寸法変化で繰り返され、その挙動は模擬供試体に比較してかなり小さい。即ち、ひび割れは表層部のみに発生

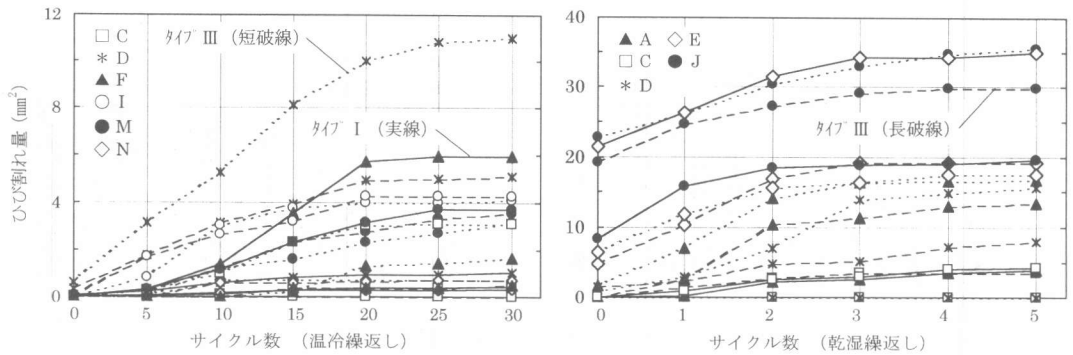


図-8 促進材齢とひび割れの関係

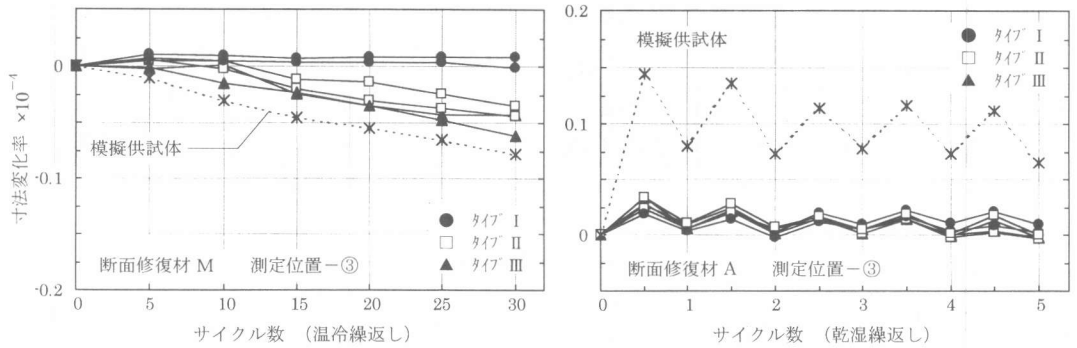


図-9 促進材齢と寸法変化の関係

したものであり、接着性能に影響を及ぼす可能性は低いと言える。なお、5 サイクル終了時点では乾湿ムーブメントの小さいセメント系 C、樹脂系 M が良好なひび割れ耐久性を示した。

(3) はつり形状

現時点では、はつり形状の違いによる、ひび割れ耐久性への影響は認められなかった。むしろ、断面修復材の粘性とはつり形状による充填の容易性による差が認められた。

5. まとめ

本実験により得られた結果を 図-10 に示し、以下に知見を示す。

(1) 硬化乾燥時の寸法変化が小さく、且つ基材コンクリートと同等の熱膨張係数、及び弾性係数を有するポリマーセメントモルタルが良好なひび割れ耐久性を示した。

(2) 基材コンクリートと熱膨張係数の差が大きいエポキシ樹脂モルタル (M) を使用した場合、基材コンクリートにひび割れを発生させる。

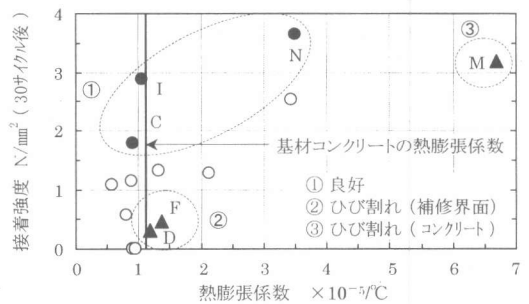


図-10 ひび割れ状況と熱膨張係数-接着強度

(3) 促進試験後における補修試験体のひび割れ発生状況、及び寸法変化を測定する事で断面修復材の長期接着性を評価できる可能性がある。

今後も促進試験を継続すると共に、屋外暴露試験、疲労試験等を踏まえて断面修復材の長期接着性について更に検討していく予定である。

参考文献 [1] 古賀一八、重倉祐光、高橋和雄ほか：RC 部材の補修工法に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、P417-418、1989 [2] 日本建築仕上材工業会：1995 建築仕上材ガイドブック、p211-215、1995