

論文 断面修復材の長期接着性能に関する研究

山辺 智典*1・古賀 一八*2・衣笠 秀行*3・山本 佳城*1

要旨：近年、鉄筋コンクリート構造物の補修需要が増加している。本研究では、断面修復材を構成するポリマーディスパージョンおよび骨材の配合が、長さ変化率に与える影響を確認した。また、はつり面を想定した補修供試体を作成し温冷・乾湿繰返し促進試験を行い、ひび割れ耐久性を確認することで断面修復材の材料特性に基づく長期接着性の評価方法を検討した。結果として、断面修復材の寸法安定性はポリマーよりも骨材・膨張材による影響を受けることが示された。また温冷繰返し促進試験では、促進後の接着強度が 1.5N/mm²以上の材料が良好なひび割れ耐久性を示した。

キーワード：補修, 断面修復材, 長期接着性, 収縮, 温冷・乾湿ムーブメント

1. はじめに

現在、構造物は以前のような取り壊し建て替えるものから、長期耐用型の良質な建築物のストック形成へと移行しつつある。これに伴い、鉄筋コンクリート構造物には、その供用環境に応じた長期耐久性が要求されている。

このような背景の中、構造物の補修需要は増加傾向にある。しかし、補修材料の選定方法、評価方法が確立されてなく、必ずしも適材適所の補修が施されているとはいえない。補修後にひび割れ等の劣化現象が生じた場合、構造物の耐久性に影響を及ぼすものと考えられることから、断面修復材の重要な性能の一つとして躯体コンクリートとの長期接着性が挙げられる。

本研究では、断面修復材を構成する骨材・ポリマーディスパージョン（以下ポリマー）の配合が長さ変化率に与える影響を確認した。また、既報 [1]で温冷・乾湿繰返し促進試験を行っていない断面修復材について、促進試験を実施した。これらの結果より、断面修復材の温冷・乾湿ムーブメントおよび材料の初期・長期収縮機構が表面劣化に与える影響を確認し、材料特性に基づく長期接着性の評価方法を検討した。

表-1 断面修復材

記号	断面修復材	下地処理材
A	セメントモルタル	EVA系エマルジョン*1
B	セメントモルタル	水湿し
C	無収縮セメントモルタル	水湿し
D	無収縮セメントモルタル	水湿し
E	SBR系ポリマーセメントモルタル	エポキシエマルジョン*1
F	SBR系ポリマーセメントモルタル	水湿し
G	軽量SBR系ポリマーセメントモルタル	SBR系セメントファイラ
H	アクリル系ポリマーセメントモルタル	アクリル系エマルジョン*1
I	軽量アクリル系ポリマーセメントモルタル	アクリル系エマルジョン*1
J	EVA系ポリマーセメントモルタル	水湿し
K	カチオン系CR系ポリマーセメントモルタル	水湿し
L	エポキシ樹脂モルタル	エポキシ樹脂*2
M	軽量エポキシ樹脂モルタル*3	エポキシ樹脂*2
N	軽量エポキシ樹脂モルタル*3	エポキシ樹脂*2

*1:吸水調整材

*2:溶液系シーラー

*3:特殊軽量骨材

2. 断面修復材

本実験では、市販されている断面修復材の内、表示性能・成分・材料特性値が代表的なもの(表-1)を選出した。更に、セメント骨材比を変化させたセメントモルタルも作成した。なお、補修面処理には、各メーカー指定の下地処理材、或いは水湿しを施した。以下バインダーとしてセメントを用いたものをセメント系、エポキシ樹脂を用いたものを樹脂系と呼ぶ。

*1 東京理科大学大学院 (正会員)

*2 (株)長谷工コーポレーション 技術研究所 主幹研究員 (正会員)

*3 東京理科大学助教授・工博 (正会員)

3. 実験概要

3.1 基礎データ

(1) 基礎物性試験

表-2 に示す基礎物性試験を行い、長期接着性を評価する際の基礎データとした。表-3 に養生条件を示した。

(2) 初期収縮率試験

モルタルの始発時に基長をとり、基長測定後 24 時間における収縮率を初期収縮率とした。

型枠、試験方法は JCI 自己収縮研究委員会報告書 (1996) よりセメントペースト、モルタルおよびコンクリートの自己収縮および自己膨張試験方法 (案) に準じて試験を行った。

(3) 長さ変化率試験

成型 24 時間後に基長をとり、基長測定後 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 、 $60 \pm 10\% \text{R.H.}$ の室内に静置、JIS A 1129 に規定されるコンパレータ法により各材齢における変化率を測定した。また、下記の水準についても長さ変化率試験を行った。

[ポリマーの種類]

モルタルに混入するポリマーを CR 系、アクリル系、SBR 系、EVA 系と変え、ポリマーの種類による長さ変化率の影響を確認した。使用したモルタルは K の粉体 (以下粉体 K) を使用したものおよびセメント骨材比 (容積) 1:2 のセメントモルタルとした。

[骨材量]

骨材の容積をセメント 1 に対して 0.25, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3 と定めセメントモルタルを作成し長さ変化率への影響を確認した。

調査は、断面修復材の作業性を考慮し、フロ一値が 150~160 mm を示すように試し練りを行いながら各々設定した。なお、骨材は珪砂 5 号を使用した。

3.2 ひび割れ耐久性

(1) 補修供試体

基材コンクリートの形状および寸法を図-1 に、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 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 、 $80\% \text{R.H.}$ 以上の室内で 28 日間、 $60 \pm 5\% \text{R.H.}$ で 7 日間養

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
静弾性係数	「ポリマーセメントモルタル試験方法基準(案)」
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 58.5N/mm ²) (400×400×35mm)
熱膨張係数	NSKS-002 (欠損部補修用ポ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

NSKS : 日本建築仕上材工業会規格

表-3 養生条件

養生項目	養生条件 (1サイクル)	
標準	$20 \pm 3^\circ\text{C}$ 、 $60 \pm 10\% \text{R.H.}$	
温冷繰返し	高温	60°C 12時間
	低温	5°C 12時間
乾湿繰返し	湿潤	20°C 水中 1日
	乾燥	20°C 、 $60\% \text{R.H.}$ 2日

表-4 基材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 ³)				スランプ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 28日 (N/mm ²)
		セメント	水	細骨材*	粗骨材*			
60	47.1	280	168	910	990	19	6.0	28.5

*1: 絶対質量

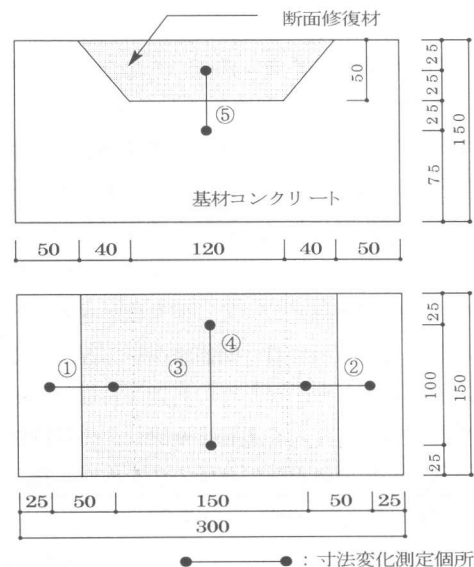


図-1 試験体の形状および寸法

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、各社指定の下地処理を施し、断面補修を実施し、温度 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 、 $60 \pm 5\% \text{R.H.}$ の室内で 28 日間養生して補修供試体とした。なお、断面補修には既報 [1] で選定していない断面修復材（温冷繰返しで A,B,C,D,G,I,J,L, 乾湿繰返しで B,D,H,I,J, K,L,M）を使用した。（表-1 参照）

(2) 促進条件

促進試験条件を図-2 に示した。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。

促進条件は、試験体内部が均一な温・湿度各種になることを確認して決定した。

(3) 測定項目

外観調査では、クラックスケールを用いて断面修復材、基材コンクリート、補修界面におけるひび割れ長さ、幅を測定した。断面修復材および補修界面の挙動として、図-1 に示す補修供試体の 8 箇所にてゲージプラグを埋め込み、2 点間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、断面補修の際に作成した模擬供試体 ($40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$) に同様の促進試験を実施し、その挙動と比較した。

4. 実験結果および考察

4.1 基礎データ

(1) 基礎物性試験

基礎物性試験の結果を表-5 に示した。

セメント系に対し、樹脂系は変形能力に優れ、比較的高い接着強度を示した。また、樹脂系は熱膨張係数が 3~6 倍と大きく、温冷ムーブメントによる耐久性への影響が懸念される。ポリマー混入による吸水性能の改善効果が表れている。接着強度では、E,M,N と下地処理材にエポキシ樹脂を使用した場合、温冷繰返し後の接着強度が増加する場合がある。

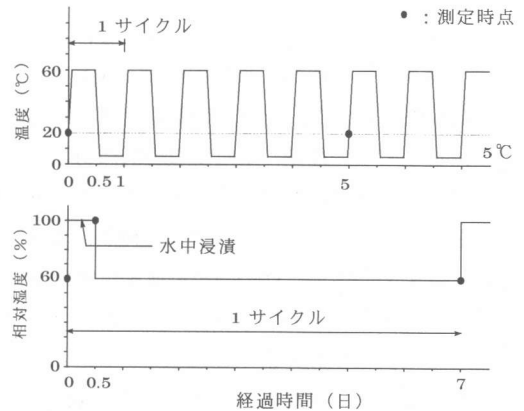


図-2 促進試験サイクル

表-5 基礎物性試験結果

種類	圧縮強度	引張強度	静弾性係数	接着強度			熱膨張係数	吸水率	吸水膨張率	乾燥収縮率
	28日 N/mm ²	28日 N/mm ²	28日 $\times 10^4 \text{ N/mm}^2$	28日 N/mm ²	温冷 N/mm ²	乾湿 N/mm ²	28日 $\times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$	48時間 vol %	48時間 $\times 10^{-4}$	28日 $\times 10^{-4}$
A	42.3	3.12	2.34	1.50	0	0.14	0.92	10.3	6.12	5.6
B	52.2	3.72	1.86	0.00	0.00	0.00	0.96	14.5	8.62	6.74
C	40.2	3.29	1.87	2.40	1.08	1.52	0.59	10.6	7.13	6.20
D	29.5	2.55	2.18	1.30	0.57	2.56	0.81	7.72	3.96	4.25
E	32.2	3.44	2.08	1.10	1.78	0.03	0.92	8.06	3.61	3.58
F	34.8	4.50	1.53	1.50	0.31	1.42	1.18	5.56	2.71	2.92
G	15.1	2.88	0.79	1.27	0.87	2.26	2.14	5.59	3.72	6.84
H	36.9	4.73	1.42	1.60	0.46	0.05	1.37	7.40	5.47	4.57
I	27.6	3.89	1.17	2.80	1.32	0.76	1.33	5.91	7.33	7.99
J	27.0	3.71	1.24	1.60	0.01	0.74	0.90	8.4	4.28	4.92
K	32.2	3.33	2.04	2.95	2.88	2.19	1.06	3.42	2.71	3.22
L	56.3	11.3	0.93	4.30	2.52	—	3.42	0.11	0.00	—
M	26.1	8.40	0.38	3.00	3.60	—	3.49	0.03	0.03	—
N	10.3	3.13	0.06	1.09	3.19	—	6.68	0.12	0.05	—

表-6 長さ変化率

(-は膨張) ($\times 10^{-4}$)

種類	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
初期収縮率	-1.01	3.80	0.62	1.32	0.54	1.32	4.11	2.71	2.64	0.85	-0.23	18.0	23.9	4.42
28日	5.75	14.1	8.58	7.99	5.34	9.6	34.8	9.50	8.77	10.2	1.23	20.8	27.0	14.8
91日	7.29	16.4	10.5	9.33	5.67	11.1	54.2	11.5	13.8	11.4	1.12	20.9	27.1	15.5

(2) 初期収縮率および長さ変化率

初期収縮率および長さ変化率試験の結果を表-6に、初期収縮の挙動を図-3に示した。

樹脂系は一般的に硬化時間が早く、それに伴い初期体積変化が大きく、セメント系に比べ大きい値を示した。

セメント系は C,D,E,F,J の初期収縮率は小さい (1.50×10^{-4} 以下) が長さ変化率との相関は見られなかった。また, A,K には膨張材が混入されていると考えられる。

材齢 91 日の長さ変化率では、セメント系 K の収縮率が飛び抜けて小さな値を示した。

[ポリマーの種類と長さ変化率]

図-4に示した様に、1:2モルタルでは、ポリマー混入無しに比べ、アクリル系・EVA系が収縮低減性を示した。一方、粉体Kを使用した場合、ポリマーの種類によらず収縮低減材の効果と思われる良好な寸法安定性を示すことが確認できた。このことからポリマーの種類によっては、変化率の増加に伴い多少の収縮低減性が確認できるが、その効果は著しいものではない。

[骨材量と長さ変化率]

骨材量が寸法安定性に与える影響は、図-5に示した様に、骨材量の増加に伴い長さ変化率は小さな値を示した。

断面修復材の寸法変化低減性は、ポリマーよりも膨張材、骨材量によるコントロールが効果的だと考えられる。

4.2 ひび割れ耐久性

補修供試体(本報および既報)の温冷30サイクル、乾湿5サイクル後のひび割れ状況を、表-7に示すひび割れ量(ひび割れ長さ×ひび割れ幅 mm^2)および最大ひび割れ幅として示した。また、漏水、耐久性等を考慮して、最大ひび割れ幅0.1mm以下、且つ目視観察の結果ひび割れ量 10mm^2 ($0.1\text{mm} \times 100\text{mm}$)以下である断面修復材を、良好なひび割れ耐久性を有するものとして、熱膨張係数・寸法変化率(初期収縮率+28日長さ変化率)等と比較し、長期接着性の評価方法を検討した。

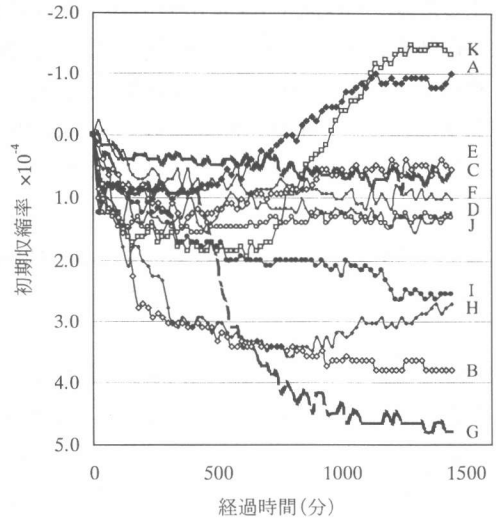


図-3 初期収縮率(セメント系)

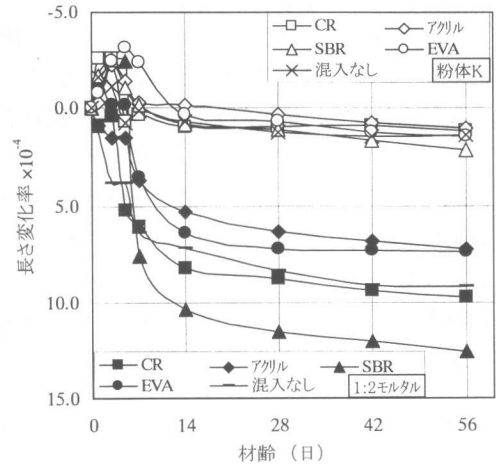


図-4 ポリマーの種類と長さ変化率の関係

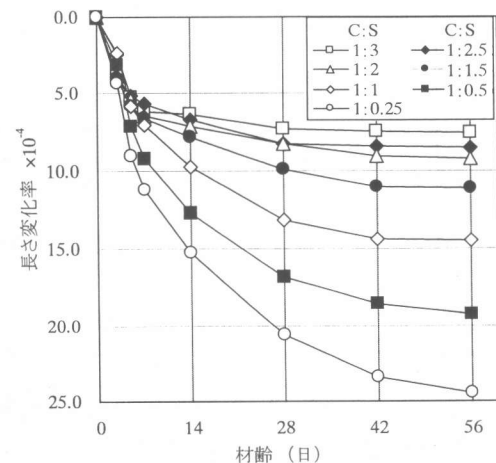


図-5 骨材量と長さ変化率の関係

[温冷繰返し]

温冷繰返し 30 サイクル後、セメント系 E,K の補修界面にはひび割れが殆ど確認されず、良好なひび割れ耐久性を示した。また、セメント系 B,G のひび割れ量が著しく、補修界面全域に最大で 0.25 mm を越すひび割れが確認された。その他のセメント系の材料全てにおいて、補修界面を貫くひび割れが確認された。また、樹脂系 L,N は、補修界面ではなく基材コンクリート内部にひび割れを生じさせた。

模擬供試体の初期収縮率および標準養生 28 日、温冷繰返し長さ変化率を加え TOTAL 寸法変化率として、**図-6** に挙動を示した。

樹脂系 M を除きサイクル数に伴い長さ変化率が増加する傾向にある。長さ変化率が比較的大きいセメント系 F は、促進後の寸法変化が小さく、TOTAL 寸法安定性として比較的小さな値を示した。

[乾湿繰返し]

乾湿繰返し 5 サイクル後のひび割れ状況は、促進初期にセメント系 B に、全補修界面に沿って最大幅 0.35 mm のひび割れが確認された。

現段階では、A,E,K,L,M,N が良好なひびわれ耐久性を示した。

[評価方法の検討]

拘束された状態での収縮・膨張は内部に応力を発生させひび割れ耐久性に大きな影響を与える [2] と考えられる。その為、断面修復材には硬化乾燥時の寸法変化が小さく、且つ温冷・乾湿に対する抵抗性が高い材料特性値が求められる。断面修復材の挙動は、温冷・乾湿ムーブメントを示す熱膨張係数・吸水膨張率・乾燥収縮率または、材料の体積変化を示す初期収縮率・長さ変化率により決定されると考えられる。

図-7、**図-8**、**図-9** で、温冷繰返しなし（標準 91 日）・後（HC 後）接着強度と標準養生 91 日長さ変化率、TOTAL 寸法変化率、熱膨張係数の関係をひび割れ量と比較した。良好なひび割れ耐久性を有する E,K,M を①、コンクリートにひび割れを生じた L,N を③、その他ひび割れを

表-7 ひび割れ量および最大ひび割れ幅

種類	温冷 ^{*1}		乾湿 ^{*2}	
	ひび割れ量 (mm ²)	最大幅 (mm)	ひび割れ量 (mm ²)	最大幅 (mm)
A	36	0.10	4	0.08
B	109	0.30	108	0.35
C	26	0.08	20	0.15
D	38	0.15	31	0.25
E	4	0.04	4	0.08
F	15	0.06	10	0.08
G	128	0.25	35	0.25
H	27	0.08	37	0.15
I	21	0.06	13	0.10
J	36	0.10	17	0.10
K	0	0.00	1	0.10
L	49 ^{*2}	0.08	0	0.06
M	3	0.04	0	0.00
N	37 ^{*2}	0.06	0	0.00

*1: 温冷30サイクル後、乾湿5サイクル後
*2: 基材コンクリートにひび割れを生じた

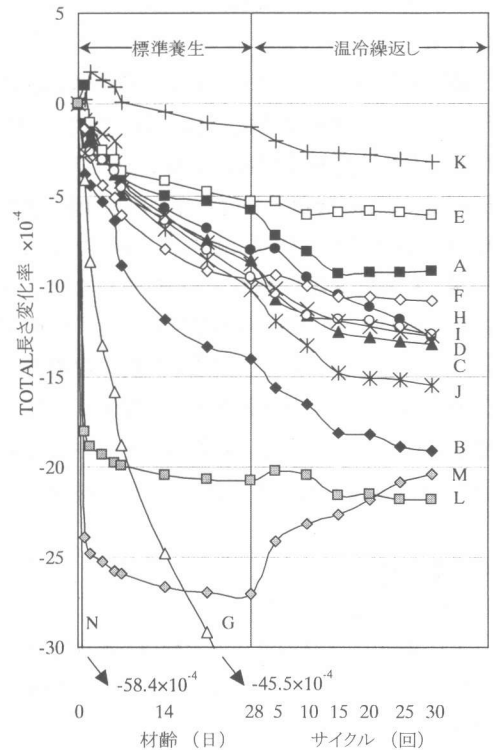


図-6 TOTAL 寸法変化率

生じたものを②の範囲とした。

図-7 で標準養生 91 日長さ変化率および標準養生 91 日接着強度による長期接着性の評価方法の検討を行った。良好なひび割れ耐久性を有した E,K,M は、変化率が 5.5×10^{-4} 以下を示した。また、NSK 規格で接着強度が 1.0 N/mm² 以上と規定していることおよび樹脂系 L がコンクリー

トにひびわれを発生させたことを考慮して、良好なひび割れ耐久性を示す(①)範囲を接着強度が $1.0\sim 4.0\text{N/mm}^2$ かつ変化率が 5.5×10^{-4} 以下とした。この評価方法では、初期収縮および温冷の影響を考慮していないため、双方の値が大きな樹脂系の評価には不十分だと思われる。

材料の初期および長期収縮機構と温冷の影響を考慮に入れた評価方法として、図-8に温冷繰返し後(HC後)の接着強度とTOTAL寸法変化率の関係を示した。NSK規格ではHC後の接着強度が 0.5N/mm^2 以上と規定されていることから、この値以下はひび割れ発生範囲(②)とした。また、良好なひび割れ耐久性(①)を示すには、HC後 1.5N/mm^2 程度以上の接着強度が必要と考えられる。

図-9に温冷ムーブメントによる評価方法の検討として、熱膨張係数とHC後接着強度の関係を示した。熱膨張係数が基材コンクリートと同程度で、HC後接着強度が 1.5N/mm^2 程度以上の材料が良好なひび割れ耐久性を示した。

図-8, 図-9よりセメント系の良好なひび割れ耐久性は、HC後の接着強度に大きく依存すると考えられる。また、樹脂系は初期収縮および温冷ムーブメントが大きく、比較的高い接着強度を保有していても、基材コンクリートを引張りひび割れを発生させることが示された。

5. まとめ

本研究で得られた知見を示す。

(1) 断面修復材の寸法安定性は、ポリマーにより影響は少なく、膨張材・骨材による影響が大きい。

(2) 断面修復材の長期接着性を評価する際には、HC後接着強度が 1.5N/mm^2 以上必要である。

参考文献 [1] 古賀一八ほか：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，コンクリート工学年次論文集，PP313-318，2000 [2] ピーターH・エモンズ：Concrete Repair and Maintenance Illustrated，PP92-97，1995

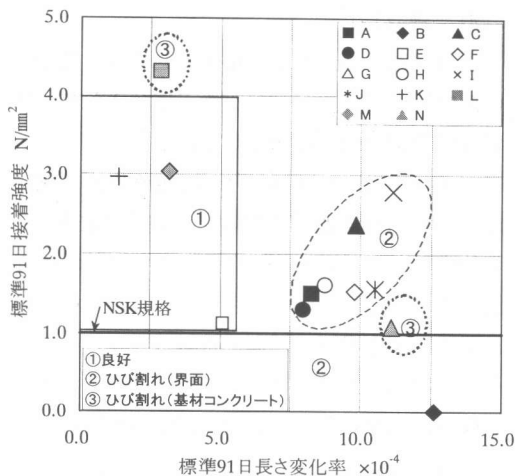


図-7 標準91日長さ変化率と接着強度

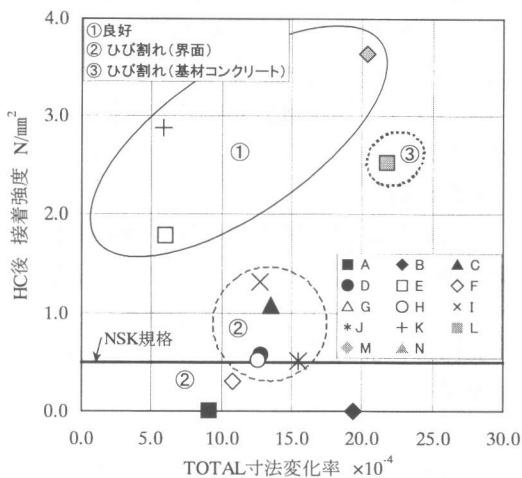


図-8 TOTAL寸法変化率とHC後接着強度

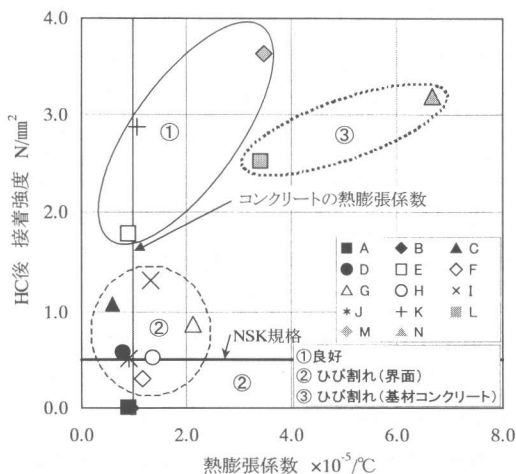


図-9 熱膨張係数とHC後接着強度