

先付けタイルの高強度コンクリートに対する歪み追従性

建築本部	PC 建築部	福井剛
建築本部	建築部	小長光公和
技術研究所		藤井和俊

概要：高軸力を受ける超高層 RC 建物の柱外装仕上材として躯体打ち込みタイルが採用される事例が増えている。一般的にタイルの弾性係数はコンクリートの 1.5 倍程度であり、タイルのコンクリートに対する歪み追従性について問題が残されている。本報告は、打ち込みおよび後張りタイルを想定した試験体に対して一軸圧縮試験機により強制歪みを与えることにより、実験的にタイルの歪み追従性能を確認した。

Key Words：タイル，先付け工法，高強度コンクリート，高軸力柱，歪み追従性，限界コンクリート歪み

1. はじめに

近年、都心部でのマンションの需要が増え、数多くの高層タワーマンションが建設されている。このなかにはハイグレード仕様のものも多く含まれ、その一仕様として外装タイル仕上が採用されるケースも増えている。当社が目指す PCa 工法による高層建物においては、施工的には後張り工法は合理的ではなく、タイル打ち込みによる先付け工法との組合せが望ましい。これは後張り工法で問題となっている剥離剥落事故を防ぐ有効な手段であるが、高軸力によるタイルのコンクリートに対する歪み追従性の問題が残されている。

既往の研究をみると、タイルのコンクリートに対する歪み追従性に関する文献は少ない。しかしその内容は、乾燥収縮歪み・完成後の熱による歪み・蒸気養生による歪みといったカーテンウォールなどの壁部材に生じる歪みに対してのものが大多数であり、長期的な軸力による歪みを対象にしたものは少ない。村井らは、高流動コンクリート構造物へのタイル張りに関する研究¹⁾のなかで、タイル先付け工法による追従可能な歪みの限界を実験的に確認しており、35MPa 程度のコンクリートの場合、その平均値は 50 二丁モザイクタイルで約 900 μ 、二丁掛タイルで約 800 μ であると示している。

本報告は、高軸力を受けるコンクリート系高層建物の柱部材を想定した歪み状態を再現する実験を行い、タイルのコンクリートに対する歪み追従性を確認しようとするものである。



写真-1 タイル先付け柱事例



福井剛



小長光公和



藤井和俊

2. 実験概要

2.1 実験の要因と水準

実験におけるタイル張りは先付け工法とし、比較検討用に後張り工法も対象とした。表-1, 2に先付け工法と後張り工法の実験要因と水準をそれぞれ示す。表-2中の粗面化工法のひとつに採用した超高压洗浄は、150MPaの水圧でモルタルの脆弱層を削り取るJSS工法とした。写真-2にJSS工法による粗面状況を示す。

表-1 実験要因および水準 (先付け工法)

要因	水準
張り方	横張り・縦張り
コンクリート強度	Fc60・Fc42

共通因子：

タイル寸法 45×95×7 mm (50 二丁)

目地深さ 3mm

表-2 実験要因および水準 (後張り工法)

要因	水準
張り方	横張り・縦張り
粗面化方法	超高压洗浄・サンダー掛け+洗浄・ベニヤ型枠
張り付け材	ポリマーセメントモルタル・NSダブルワシ・NS弾モル
コンクリート強度	Fc60・Fc42

共通因子：

タイル寸法 45×95×7 mm (50 二丁)

目地深さ 3mm

張付け方法 モザイク張り



写真-2 超高压洗浄表面 (JSS 工法)

2.2 試験体概要

試験体の寸法は150×150×650mmとし、打設は横打ちとした。使用するタイルは、50二丁モザイクタイルとした。図-1に試験体図を、図-2にタイル裏足形状をそれぞれ示す。表-3, 4に先付け工法と後張り工法の試験体一覧(諸元)をそれぞれ示す。各水準の試験体数は4体とし、試験体4面に表-5に示すように割り当て、試験体総数は24体とした。

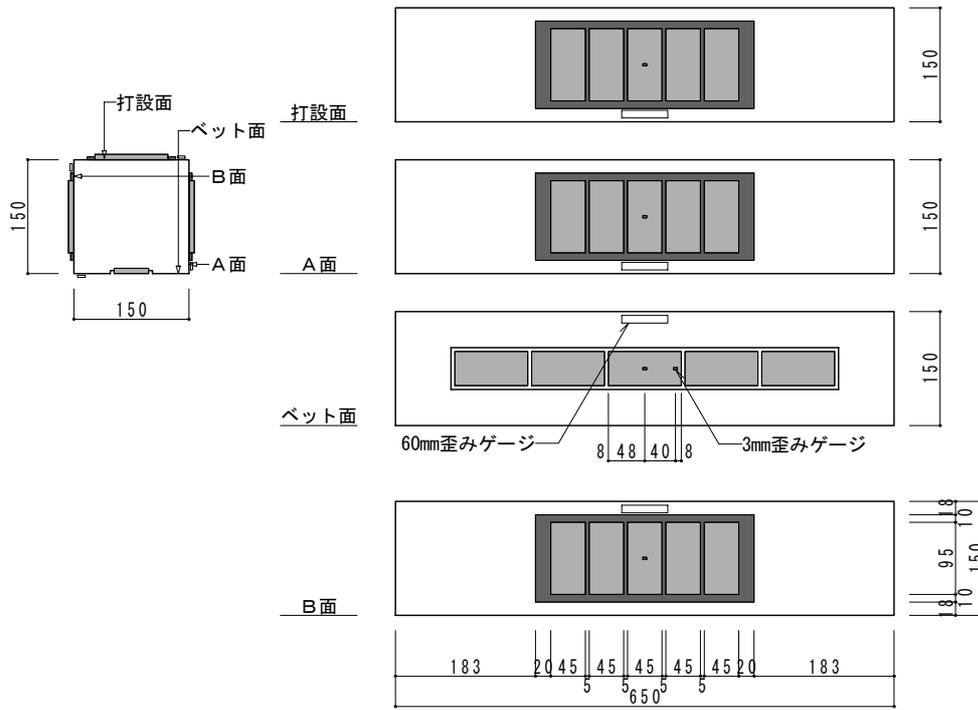


図-1 試験体図

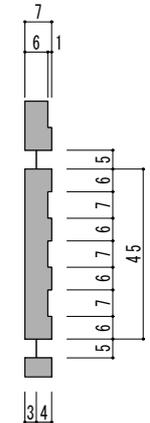


図-2 タイル裹足形状

表-3 試験体一覧 (先付け工法)

No	試験体名	張り方	コンクリート強度
1	B-H-60	横張り	Fc60
2	B-V-60	縦張り	
3	B-H-42	横張り	Fc42
4	B-V-42	縦張り	

表-4 試験体一覧 (後張り工法)

No	試験体名	張り方	粗面化工法	張り付け材	コンクリート強度		
5	A-HJM-60	横張り	超高压洗浄	ポリマーセメントモルタル	Fc60		
6	A-HJ1-60			NSダブルワン P-1			
7	A-HJD-60			NS弾モル			
8	A-HSM-60		サンダー掛け+洗浄	ポリマーセメントモルタル			
9	A-HS1-60			NSダブルワン P-1			
10	A-HSD-60			NS弾モル			
11	A-HV1-60		ベニヤ型枠	NSダブルワン P-1			
12	A-HVD-60			NS弾モル			
13	A-VJM-60			ポリマーセメントモルタル			
14	A-VJ1-60		縦張り	超高压洗浄		NSダブルワン P-1	Fc42
15	A-VJD-60					NS弾モル	
16	A-HJM-42					横張り	
17	A-HJ1-42	NSダブルワン P-1					
18	A-VJM-42	縦張り	超高压洗浄	ポリマーセメントモルタル			
19	A-VJ1-42			NSダブルワン P-1			

表-5 試験体割付

試験体 No	ベット面	側面 A	側面 B	打設面	コンクリート強度	
1	① B-H-60-1	⑤A-HJM-60-1	⑥A-HJ1-60-1	-----	Fc60	
2	① B-H-60-2	⑤A-HJM-60-2	⑥A-HJ1-60-2	-----		
3	① B-H-60-3	⑤A-HJM-60-3	⑥A-HJ1-60-3	-----		
4	① B-H-60-4	⑤A-HJM-60-4	⑥A-HJ1-60-4	-----		
5	② B-V-60-1	⑦A-HJD-60-1	⑧A-HSM-60-1	⑨A-HS1-60-1		
6	② B-V-60-2	⑦A-HJD-60-2	⑧A-HSM-60-2	⑨A-HS1-60-2		
7	② B-V-60-3	⑦A-HJD-60-3	⑧A-HSM-60-3	⑨A-HS1-60-3		
8	② B-V-60-4	⑦A-HJD-60-4	⑧A-HSM-60-4	⑨A-HS1-60-4		
9	⑪A-HV1-60-1	⑩A-HSD-60-1	⑬A-VJM-60-1	-----		
10	⑪A-HV1-60-2	⑩A-HSD-60-2	⑬A-VJM-60-2	-----		
11	⑪A-HV1-60-3	⑩A-HSD-60-3	⑬A-VJM-60-3	-----		
12	⑪A-HV1-60-4	⑩A-HSD-60-4	⑬A-VJM-60-4	-----		
13	⑫A-HVD-60-1	⑭A-VJ1-60-1	⑮A-VJD-60-1	-----		
14	⑫A-HVD-60-2	⑭A-VJ1-60-2	⑮A-VJD-60-2	-----		
15	⑫A-HVD-60-3	⑭A-VJ1-60-3	⑮A-VJD-60-3	-----		
16	⑫A-HVD-60-4	⑭A-VJ1-60-4	⑮A-VJD-60-4	-----		
17	③ B-H-42-1	⑯A-HJM-42-1	⑰A-HJ1-42-1	-----		Fc42
18	③ B-H-42-2	⑯A-HJM-42-2	⑰A-HJ1-42-2	-----		
19	③ B-H-42-3	⑯A-HJM-42-3	⑰A-HJ1-42-3	-----		
20	③ B-H-42-4	⑯A-HJM-42-4	⑰A-HJ1-42-4	-----		
21	④ B-V-42-1	⑱A-VJM-42-1	⑲A-VJ1-42-1	-----		
22	④ B-V-42-2	⑱A-VJM-42-2	⑲A-VJ1-42-2	-----		
23	④ B-V-42-3	⑱A-VJM-42-3	⑲A-VJ1-42-3	-----		
24	④ B-V-42-4	⑱A-VJM-42-4	⑲A-VJ1-42-4	-----		

試験体符号

A - H J M - 60

└─ コンクリート強度 [60:Fc60, 42:Fc42]

└─ 張り付け材 [M:ポリマーセメントモルタル, 1:NSダブルワシ, D:NS弾モル]

└─ 粗面化工法 [J:超高压洗浄, S:サンダー掛け, V:ベニヤ型枠]

└─ タイル長手方向 [H:水平, V:鉛直]

└─ タイル張り付け時期 [A:後張り, B:先付け]

2.2 実験方法

軸力を受けるコンクリート柱に生じる歪みは、自己収縮歪み、乾燥収縮歪み、弾性歪み、クリープ歪みである。これら実現象を実験で忠実に再現しようとする、乾燥収縮歪みとクリープ歪みについては数年単位の長期荷重を行う必要がある。本報告では、前節の試験体に対して 3000kN 圧縮試験機により一軸圧縮荷重による強制弾性歪みでこれらを再現する。荷重は $F_c/3$ 、 $2 \cdot F_c/3$ でそれぞれ 1 回除荷し、それ以降はタイル歪みがコンクリート歪みに追従できなくなるまで単調荷重した。荷重以前に試験体に生じる収縮歪みは No.25・26 の試験体により計測し実験値の補正を行う。

表-5 に示す通り、同一諸元の試験体は各 4 体である。このうち 3 体はすべての面のタイルが追従性を失うまで荷重を行った。残り 1 体は追従性の喪失の有無にかかわらず $2 \cdot F_c/3$ の軸応力度まで荷重を行い、除荷した後にタイルの引張試験を行った。写真-3 に荷重状況を、写真-4 に引張試験状況を示す。



写真-3 荷重状況



写真-4 引張試験状況

2.3 測定方法

測定項目は、荷重・コンクリート表面歪み・タイル表面歪みとし、荷重は 3000kN 圧縮試験機内蔵のロードセル、コンクリート表面歪みは試験体中央の 4 隅に貼付した 60mm 歪みゲージ、タイル表面歪みは 3mm 歪みゲージによりそれぞれ測定した。図-1 に示したように、タイル表面歪みは 5 枚張った中央のタイルのセンターで測定し、縦張りタイルの場合は、さらに 1 枚中央タイルの縁から 10mm の位置に歪みゲージを貼付した。収縮歪み計測用試験体 (No.25,26) は、試験体中央部に 3 本のモールドゲージを埋め込み、これらの平均値を収縮歪みとした。測定は打設後の 3 日間と荷重試験時とした。

3. 実験結果

3.1 材料試験結果

表-6にコンクリートの材料試験結果を示す。

表-6 コンクリート材料試験結果 (単位:MPa)

	σ_B	σ_{Bave}	E_c	E_{cave}
Fc60	76.1	75.2	40352	35791
	75.7		33576	
	73.8		33445	
Fc42	51.8	52.5	26099	30090
	52.2		29620	
	53.6		34550	

3.2 歪み追従性能実験

ここでは実験により得られたコンクリート歪みとタイル歪みの関係を、名知らの文献²⁾で用いている指標に倣い整理する(図-3)。整理に用いた指標は以下の通りである。図-4に実験から得られたコンクリート歪みとタイル歪みの関係を示す。

①歪み伝達率 ($\alpha = \varepsilon_{te} / \varepsilon_{ce}$)

概ね弾性歪み領域でのコンクリート歪みに対するタイル歪みの比率。本報告では $\varepsilon_{ce} = 500\mu$ 近傍とした。

②限界コンクリート歪み (ε_{cu})

タイル歪みが減少し始めた時のコンクリート歪み。剥離開始のポイントと考えることが出来る。

③限界相対歪み差 ($\varepsilon_{ru} = \varepsilon_{cu} - \varepsilon_{tu}$)

破壊ポイント時のコンクリート歪みとタイル歪みの差。

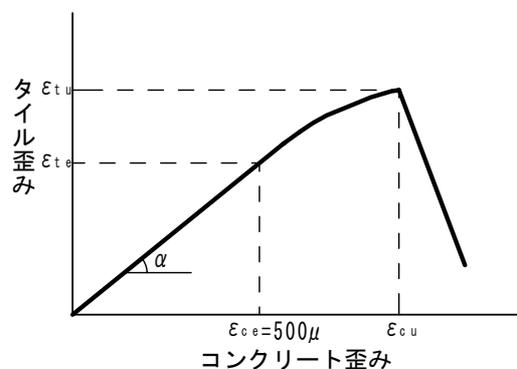


図-3 歪み追従性評価指標

図-4から、全般的に Fc60 シリーズの方が Fc42 シリーズより歪みの追従性が良好であることがわかる。後張り工法の歪み関係は $Fc/3, 2 \cdot Fc/3$ の除荷時にループを描いているのに対し、先付け工法ではそのような現象は見られない。後張り工法の場合は、限界コンクリート歪み以前に貼り付けモルタルの劣化が生じていると言える。タイル縦張りとした試験体では、タイル縁の歪みがタイル中央に比べてかなり小さく、また早期に頭打ちになる傾向が見られる。このことからタイルの剥離現象はタイル縁から始まり、徐々にタイル中央に進展していくことが推察される。

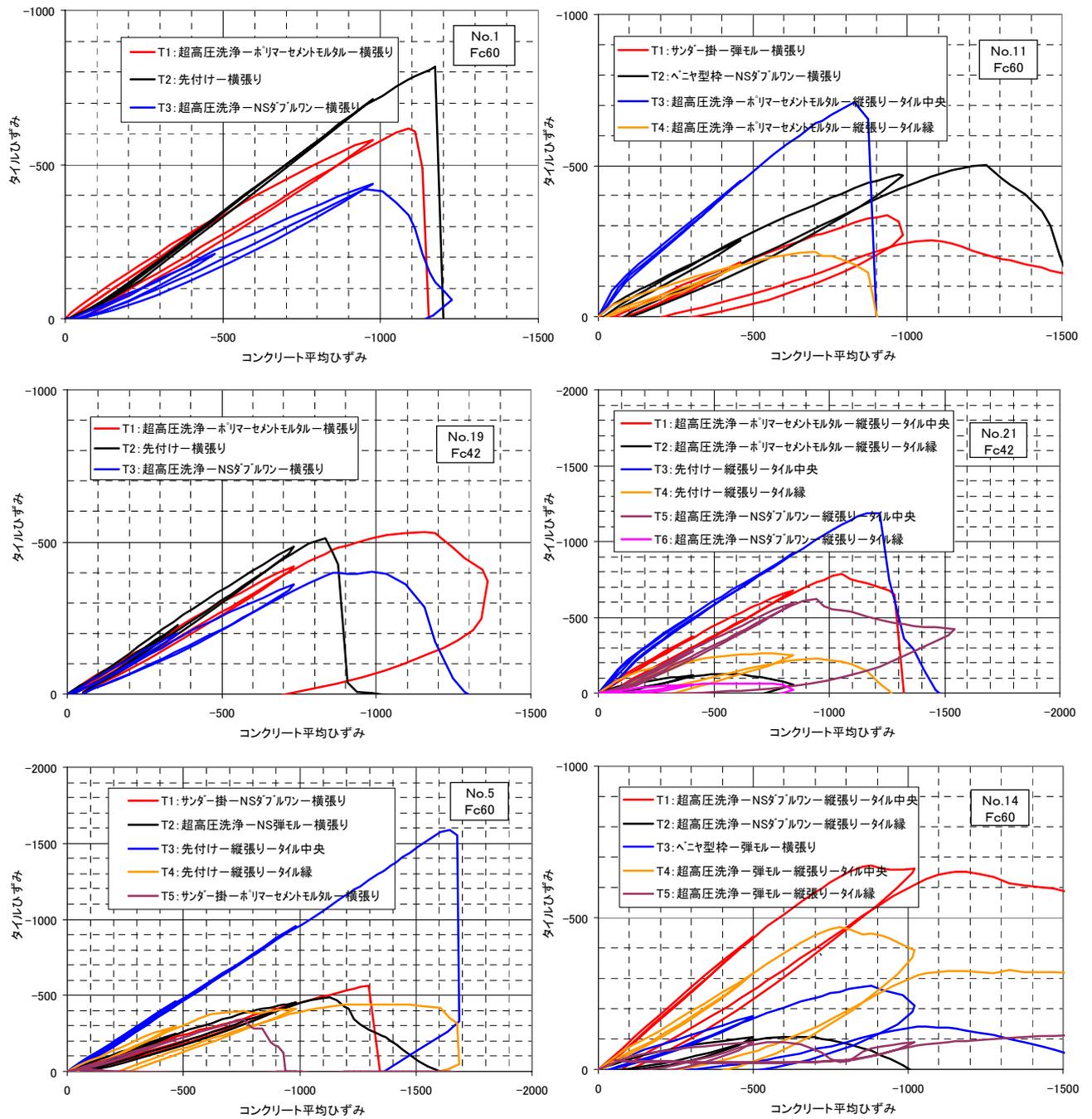
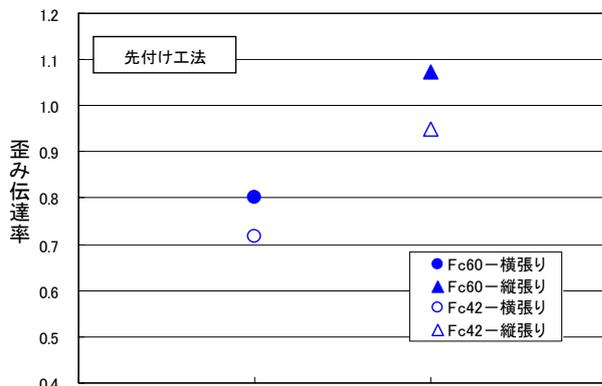


図-4 コンクリート歪みとタイル歪みの関係 (単位: μ)

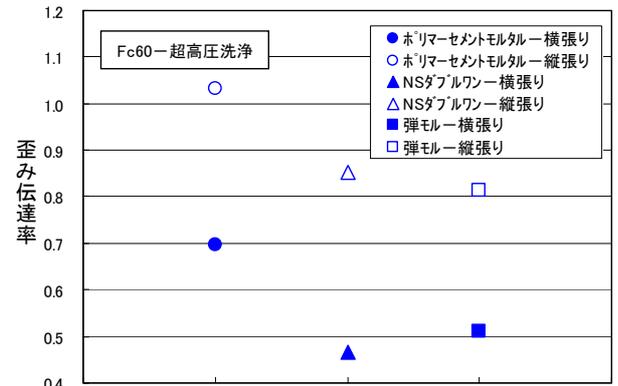
3.2.1 歪み伝達率

図-5は諸要因が歪み伝達率におよぼす影響について比較したものである。これより以下のことがわかる。

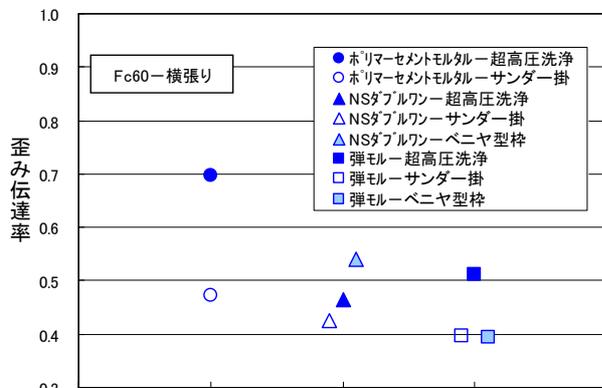
- ①(a)図より、先付け工法の場合、横張りよりも縦張りが、またコンクリート強度が高い方が歪み伝達率が大きくなる傾向が見られる。特に Fc60 で縦張りの試験体は歪み伝達率が 1.0 を上回っている。
- ②(b)図より、後張り工法の場合でも先付け工法と同様に、縦張りの方が歪み伝達率は大きくなることわかる。張り付け材料の違いでみると、ポリマーセメントモルタルが最も大きな歪み伝達率となり、NSダブルワンと弾モルの間には有意な差は見られなかった。
- ③(c)図より、粗面化工法による違いは、サンダー掛よりも超高压洗浄の方が歪み伝達率が大きくなる傾向が見られたが、ポリマーセメントモルタル以外ではその差は小さい。
- ④(d),(e)図より、後張り工法で縦張りの場合はコンクリート強度が高い方が歪み伝達率が大きくなる傾向が見られるが、横張りの場合は逆転現象も見られる。少なくとも横張りの場合はコンクリート強度の違いによる有意差は無いと言える。



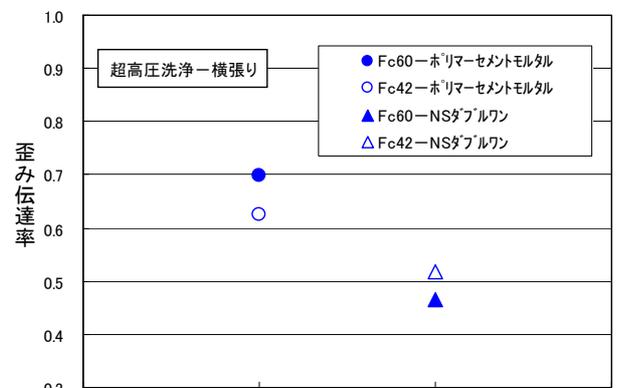
(a) コンクリート強度と張り付け方向の影響



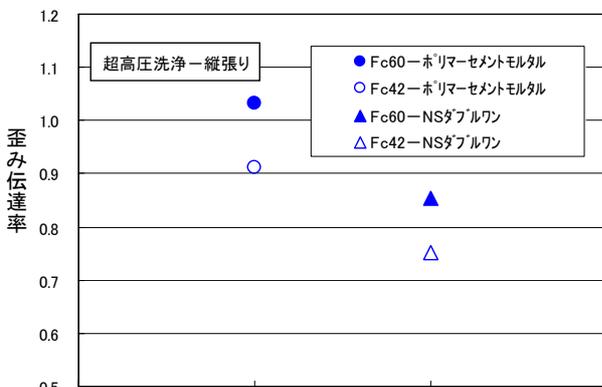
(b) 張り付け方向と張り付け材料の影響



(c) 粗面化方法と張り付け材料の影響



(d) コンクリート強度と張り付け材料の影響



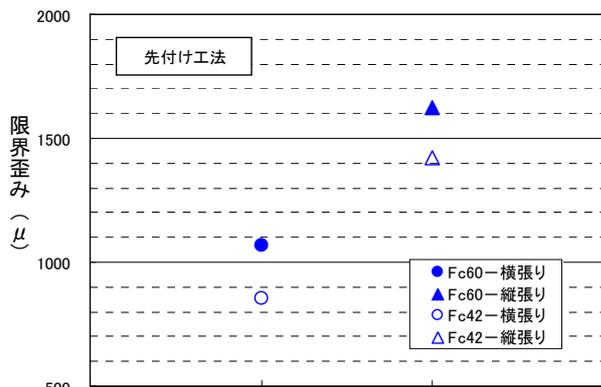
(e) コンクリート強度と張り付け材料の影響

図-5 諸要因が歪み伝達率におよぼす影響

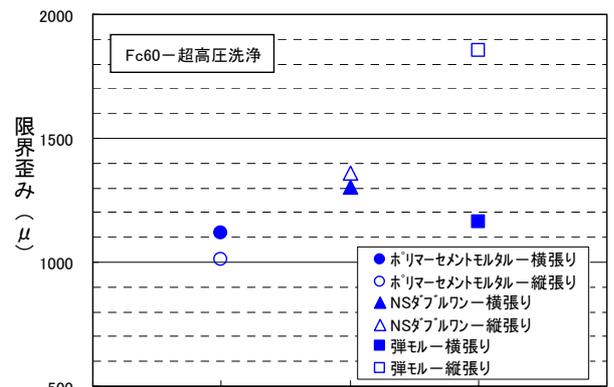
3.2.2 限界コンクリート歪み

図-6は諸要因がコンクリート限界歪みにおよぼす影響について比較したものである。これより以下のことがわかる。

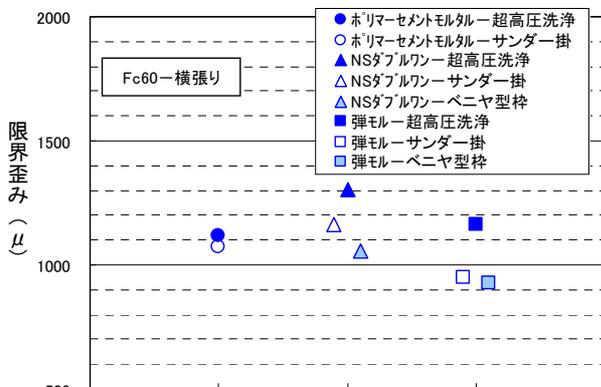
- ①(a)図より、先付け工法の場合、横張りよりも縦張りがまたコンクリート強度が高い方が限界歪みが大きくなる傾向が見られる。
- ②(b)図より、弾モルを除くと後張り工法の場合はタイル張り方向が限界歪みにおよぼす影響は見られていない。前節の歪み伝達率との関係を見ると、歪み伝達率が小さい張り付け材料を用いた方が限界歪みは大きくなる傾向が見られる。弾モルに限れば縦張りの方が限界歪みが大きくなった。
- ③(c)図より、後張り工法とする場合の粗面化工法の違いによる限界歪みの有意差は見られなかった。実験結果自体のバラツキの大きさが一因であると言える。
- ④(d),(e)図より、後張り工法とする場合の限界ひずみに対するコンクリート強度の影響は見られなかった。



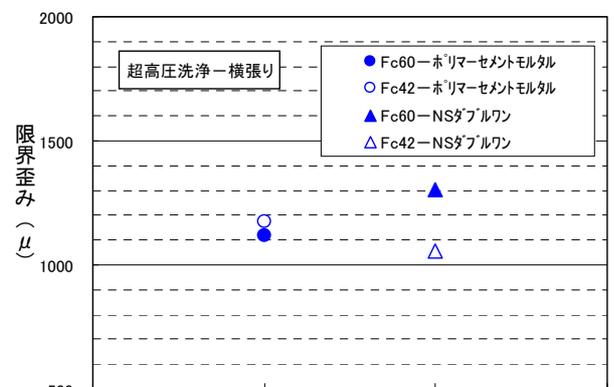
(a) コンクリート強度と張り付け方向の影響



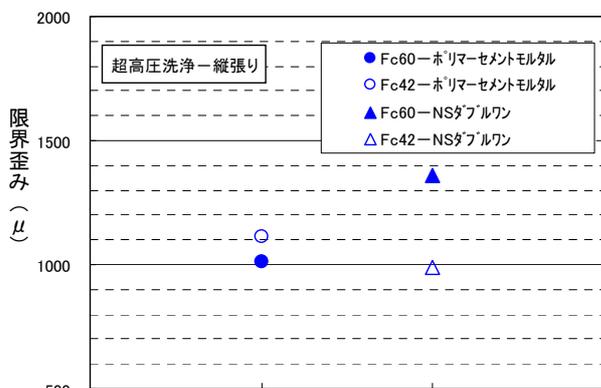
(b) 張り付け方向と張り付け材料の影響



(c) 粗面化方法と張り付け材料の影響



(d) コンクリート強度と張り付け材料の影響



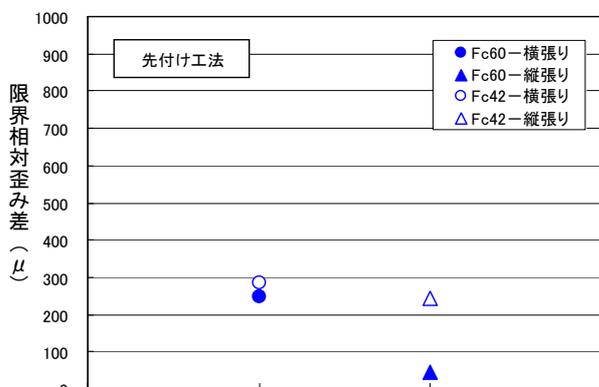
(e) コンクリート強度と張り付け材料の影響

図-6 諸要因がコンクリート限界歪みにおよぼす影響

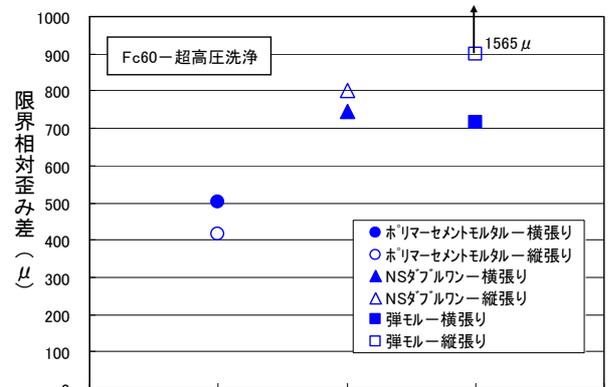
3.2.3 限界相対歪み差

図-7は諸要因が限界相対歪み差におよぼす影響について比較したものである。これより以下のことがわかる。

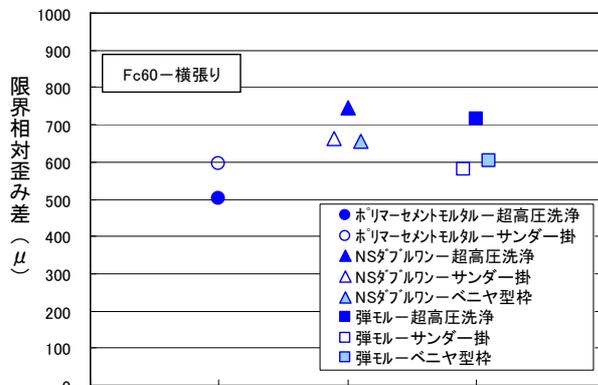
- ①(a)図より、先付け工法の場合、横張りよりも縦張りがまたコンクリート強度が高い方が限界相対歪み差が小さくなる傾向が見られる。
- ②(b)図より、弾モルを除くと後張り工法の場合はタイル張り方向が限界相対歪み差におよぼす影響は見られていない。弾モルに限れば縦張りの方が限界相対歪み差が大きくなった。
- ③(c)図より、後張り工法とする場合の粗面化工法の違いによる限界相対歪み差の有意差は見られなかった。
- ④(d),(e)図より、後張り工法とする場合の限界相対歪み差は、タイル張り方向にかかわらずFc60シリーズではポリマーセメントモルタルよりもNSダブルワンの方が大きくなったが、Fc42シリーズではほとんど差異無かった。



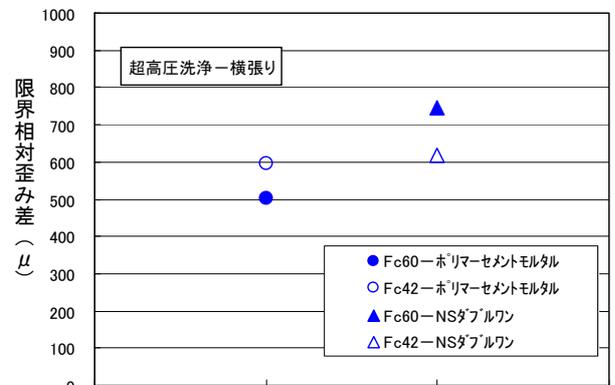
(a) コンクリート強度と張り付け方向の影響



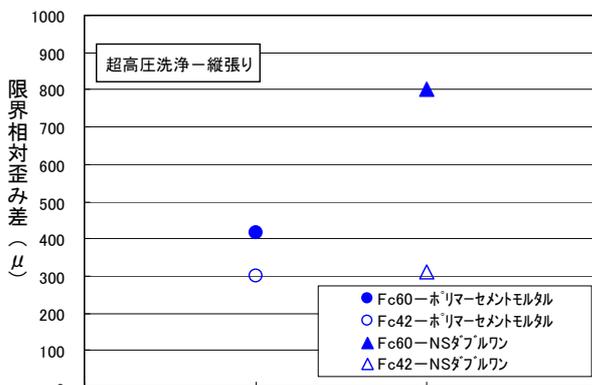
(b) 張り付け方向と張り付け材料の影響



(c) 粗面化方法と張り付け材料の影響



(d) コンクリート強度と張り付け材料の影響



(e) コンクリート強度と張り付け材料の影響

図-7 諸要因が限界相対歪みにおよぼす影響

3.3 タイル引張強度実験

3.3.1 予備載荷

試験体にはタイルの引張強度実験に先立ち荷重制御で $2 \cdot F_c/3$ 相当の歪みを経験させた。載荷に際しては歪み追従性能実験と同様に $F_c/3$ 相当の荷重レベルで1度除荷している。図-8に実験から得られたコンクリート歪みとタイル歪みの関係を示す。

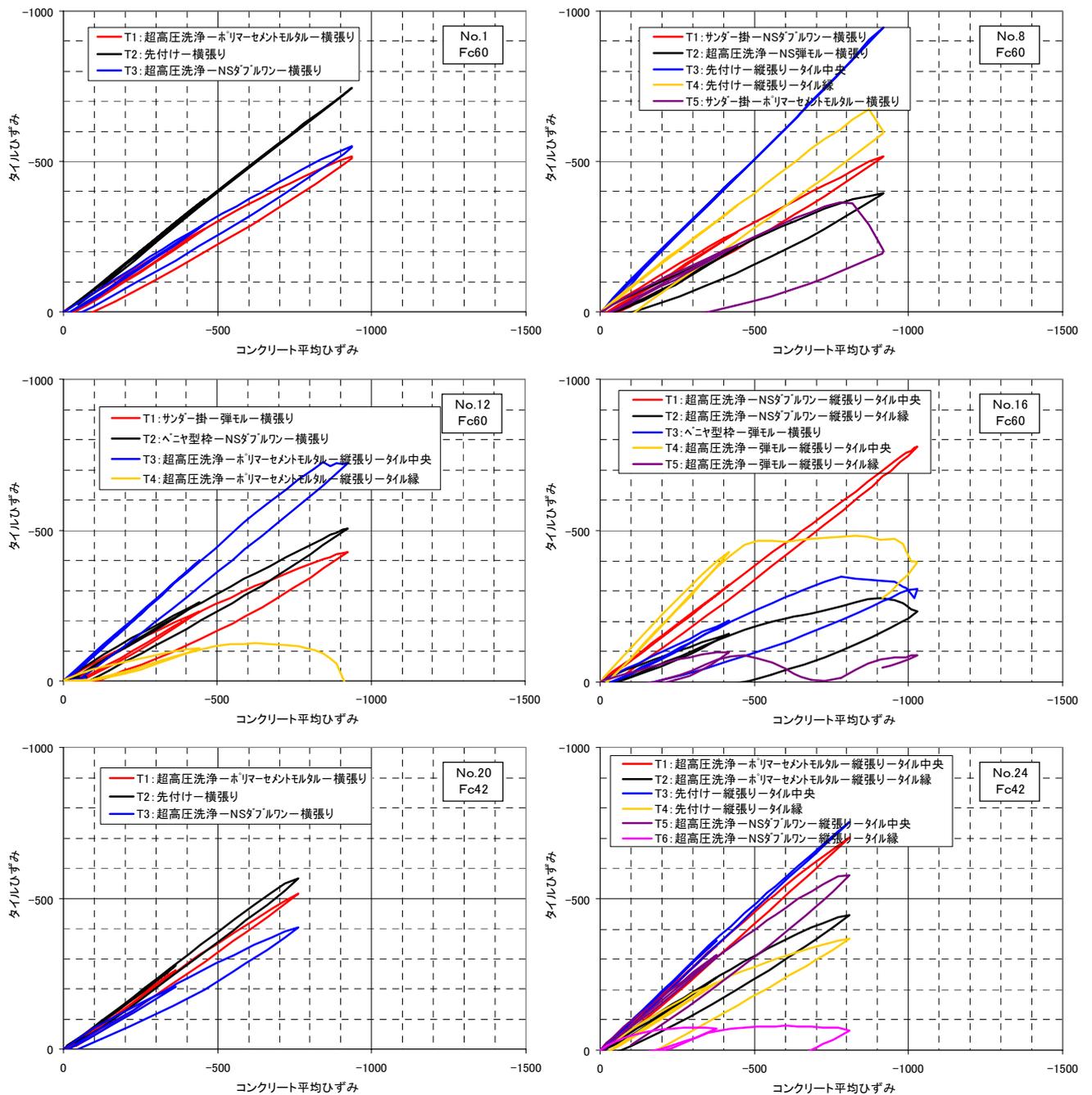


図-8 コンクリート歪みとタイル歪みの関係

3.3.2 引張実験

予備荷が終了した試験体目地部にカッターを入れ、建研式試験装置で荷重を行った。実験対象は試験体の一面に張った5枚のタイルのうち中央の3枚とした。表-7にタイル引張強度実験結果を示す。

タイルの必要接着力は、後張り工法の場合0.4MPa、先付け工法の場合0.6MPa以上と定められている⁴⁾。同表から、必要接着力を満たしていない試験体は試験体 No8 の⑧A-HSM-60-4のみであることがわかる。経験歪みが $2 \cdot F_c/3$ 相当であるから、長期許容圧縮応力度の2倍程度の歪みであれば十分な接着力を有していると言える。

表-7 タイル引張強度実験結果

試験体No		1	2	3	ave (kN)	σ_{tu} (MPa)
4	①B-H-60-4	131	123	131	129	3.01
	⑤A-HJM-60-4	73	110	92	92	2.14
	⑥A-HJ1-60-4	108	159	182	150	3.50
8	②B-V-60-4	65	---	---	65	1.52
	⑦A-HJD-60-4	74	93	118	95	2.22
	⑧A-HSM-60-4	21	5	6	11	0.25
	⑨A-HS1-60-4	107	120	115	114	2.66
12	⑪A-HV1-60-4	98	94	97	96	2.25
	⑩A-HSD-60-4	102	103	95	100	2.34
	⑬A-VJM-60-4	54	2	12	23	0.53
16	⑫A-HVD-60-4	79	66	48	64	1.50
	⑭A-VJ1-60-4	111	72	113	99	2.32
	⑮A-VJD-60-4	20	21	23	21	0.50
20	③B-H-42-4	40	42	14	32	0.75
	⑯A-HJM-42-4	86	86	72	81	1.91
	⑰A-HJ1-42-4	124	157	115	132	3.09
24	④B-V-42-4	38	39	40	39	0.92
	⑱A-VJM-42-4	43	45	29	39	0.92
	⑲A-VJ1-42-4	72	121	101	98	2.29

4. 既往の研究との対比

3節ではいくつかの指標について実験結果を示したが、ここでは歪み追従性能に最も直接的に影響があると思われるコンクリート限界歪みについて考察を行う。

先付け工法を対象にした歪み追従性に対する実験は、村井ら¹⁾と佐々木ら²⁾により報告されている。前述したように本報では試験体のコンクリート強度を Fc42 と Fc60 と設定し、実強度はそれぞれ 52.5MPa、75.2MPa となっている。村井らが行った実験はカーテンウォールを対象としているためコンクリート強度は本報よりやや低く 36.7MPa、38.2MPa である。一方、佐々木らは超高強度コンクリートを対象としており、113MPa、162MPa の試験体を用いて同様の実験を行っている。

図-9は縦軸にコンクリート限界歪みを取り、これら実験結果のうち先付け工法のをコンクリート強度順にプロットしたものである。これより以下のことが指摘できる。

- ① 縦張り横張りともに限界歪みとコンクリート強度の間には正の相関が見られる。
- ② 本報では横張りの方が縦張りよりも小さい値となっているが、超高強度コンクリートを対象にした佐々木らの実験では必ずしも横張りの方が小さくはない。

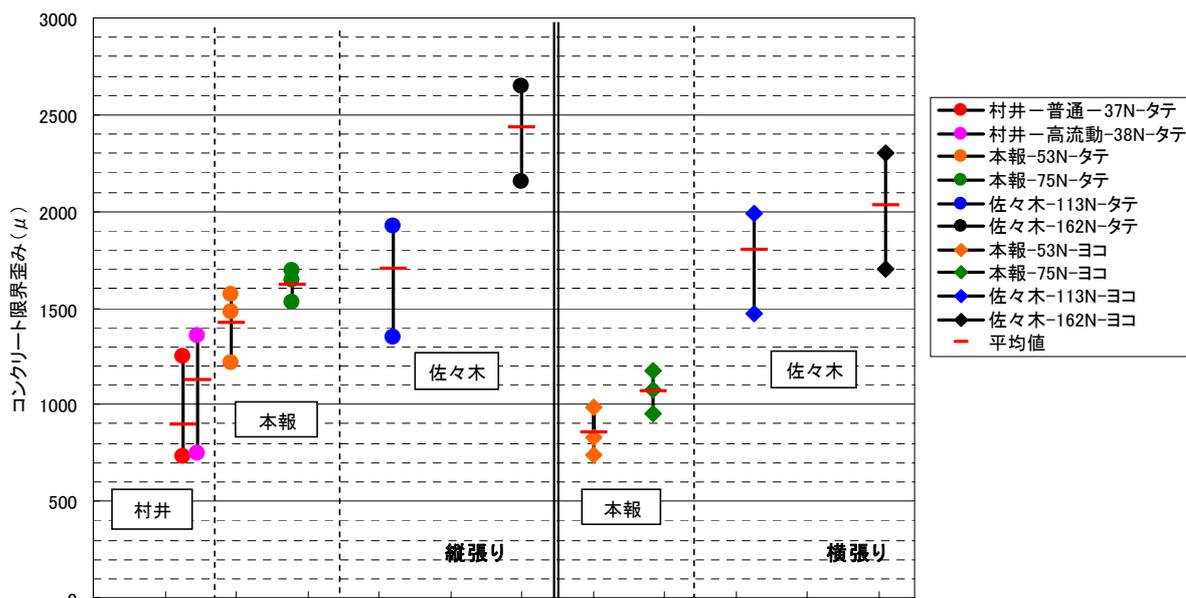


図-9 既往の研究とのコンクリート限界歪みの対比

5. まとめ

タイルのコンクリートに対する歪み追従性能実験を行い、歪み伝達率・限界コンクリート歪み・限界相対歪み差をそれぞれ示した。既往の研究との比較からコンクリート限界ひずみはコンクリート強度に強く依存することを示した。

2・ $F_c/3$ 相当の軸力を経験させた試験体に対してタイルの引張強度実験を行った。一部の後張り工法による試験体を除き JASS19 の必要引張強度を満足していることを示した。

参考文献

- 1) 村井正・柿崎正義・小笠原和博：高流動コンクリート構造物へのタイル張りに関する研究，日本建築学会技術報告集，第8号，pp.29-34，1999.6
- 2) 名知博司・小野正：タイル直張り仕上げのひずみ追従性に及ぼすタイル要因の影響，日本建築学会構造系論文集，第563号，pp.15-22，2003.1
- 3) 佐々木仁・添田智美・佐藤幸博・高森直樹・片寄哲務・寺岡勝：超高強度コンクリート柱へのタイル先付け仕上げのひずみ追従性に関する実験的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，A-1，pp.277-278，2005.9
- 4) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS19 陶磁器タイル張り工事，2005.2
- 5) 今本，山本，大岡：約5年間の実測データに基づくコンクリートのクリープ・収縮寸法効果とクリープ予知方法の提案，AIJ 構造系論文集，2005.7
- 6) 梶田，阿部，安田ほか：高強度コンクリートを用いた柱部材の圧縮クリープ性状，AIJ 大会梗概集，1993.9