

# 論文 すべり発生前後におけるプレキャスト部材圧着接合面の摩擦に関する一考察

黒田洋子<sup>\*1</sup>・八木敏行<sup>\*1</sup>・飯塚正義<sup>\*1</sup>

**要旨:** プレキャストコンクリート部材の接合面の仕上げや圧縮力等を変数としたS字型試験体による一面せん断加力実験を行い、圧縮断面の平均圧縮応力度が0.5~3.0MPaの範囲のすべり発生時とすべり発生後の摩擦係数について検討した。その結果、日本建築学会 PC 規準の適用範囲（平均軸圧縮応力度は 20kgf/cm<sup>2</sup> (1.97MPa) 以上）に満たない場合も、すべり発生時の摩擦係数がある程度期待でき、すべり発生後においても一定の摩擦係数を保持することを確認した。

**キーワード:** プレキャストコンクリート, 摩擦係数, 圧縮応力度, せん断応力度, 付着力

## 1. はじめに

硬化したプレキャストコンクリート（以下PCa）部材同士の接合面に直角方向の圧縮力が働く場合、接合面に生じるせん断力によりすべりを生じるときの応力度は、一般に接合面の仕様により定まる摩擦係数と直角方向の圧縮応力度の積により与えられるとされている。日本建築学会PC規準<sup>1)</sup>によればその摩擦係数（ $\mu$ ）の設計値は終局に対し0.5と規定されているが、圧縮断面の平均垂直応力度が20kgf/cm<sup>2</sup> (1.97MPa) 以上の場合に限られている。既往の研究では接合面にシアキーを形成したり接合面を意図的に粗にしたものは数多く行われている。しかし平滑面での実験は少なく、そのほとんどが20kgf/cm<sup>2</sup> (1.97MPa) 以上のものである。また、すべり発生後の摩擦係数を実験的に求めたものはわずかである。

筆者等は昨年、接合面の粗さや接合材の厚さ、圧縮応力度を変化させた、S字型試験体による一面せん断加力実験を行った<sup>2)</sup>。本報は、その実験結果と既往の研究の実験結果をあわせて、すべり発生時とすべり発生後の摩擦係数について検討したものである。

## 2. 実験概要

### 2.1 試験体

試験体一覧を表-1に、標準試験体（M10-10）の形状図を図-1に示す。接合面積は各試験体とも20cm×30cmである。実験のパラメータは、圧縮応力度（ $\sigma$ ）（0.5, 1.0, 2.0, 3.0MPa）、接合材（なし、モルタル）、接合材の厚さ（0, 5, 10, 20mm）、接合面の粗さ（鋼製型枠による平滑面、凝結遅延剤による目荒らし面）である。実験結果のばらつきを考慮し、同一諸元の試験体を各3体製作した。

試験体製作は鋼製型枠を用いて両側のPCa部材を先行製作した。PCa部材にはコンクリート打設後蒸気養生を施し、打設翌日に脱型した。目荒

表-1 試験体一覧

	試験体名	接合材の厚さ mm	圧縮応力度 $\sigma$ MPa	PCaコンクリート 強度 MPa	接合材強度 (モルタル) MPa
モルタルなし シリーズ	N0-5	0	0.5	51.4*	—
	N0-10	0	1.0	51.4*	—
	N0-20	0	2.0	48.4*	—
	N0-30	0	3.0	48.4*	—
モルタルあり シリーズ	M10-5	10	0.5	48.3	26.6*
	M10-10	10	1.0	48.3	28.2*
	M10-20	10	2.0	50.0	33.0*
	M10-30	10	3.0	50.0	29.8*
	M5-10	5	1.0	41.8	24.5*
	M20-10	20	1.0	41.8	28.4*
目荒らし シリーズ	MM10-5	10	0.5	45.9	28.9*
	MM10-10	10	1.0	45.9	31.3*

\*: PCaコンクリート強度と接合材強度のうち小さい値( $\sigma_B$ )

\*1 不動産建設(株)建築技術本部 (正会員)

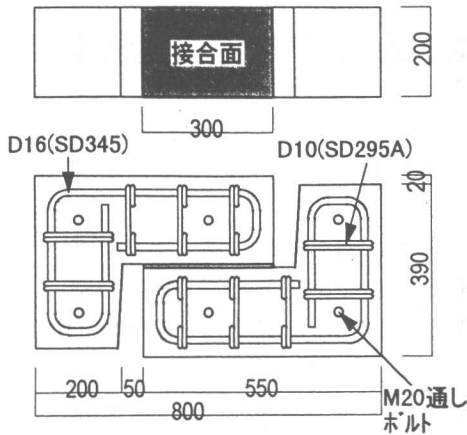


図-1 試験体形状図(M10-10)

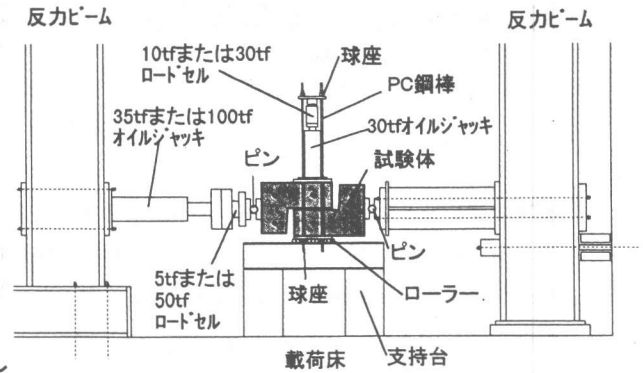


図-2 加力装置

らしシリーズでは、コンクリート打設前に接合面となる面の型枠に凝結遅延剤を含浸させた紙を貼り付け、材齢1日で洗い出しを行った。その後、モルタルで接合するものについては一端のPCa部材の接合面位置にモルタルを敷いてから、上部から他端のPCa部材を載置して接合を行った。

## 2.2 載荷方法

加力装置を図-2に示す。圧縮力は試験体上部に設置したオイルジャッキを加圧し、PC鋼棒を緊張して与え、ロードセルにより管理した。せん断力は、水平方向に取り付けたオイルジャッキにより、単調一方載荷を行い、水平方向の変位が15mmとなるまで加力した。

荷重の測定は図-2に示すロードセルにより、せん断力、圧縮力について行った。変位の測定は図-3に示すとおり、鉛直方向、水平方向について行った。

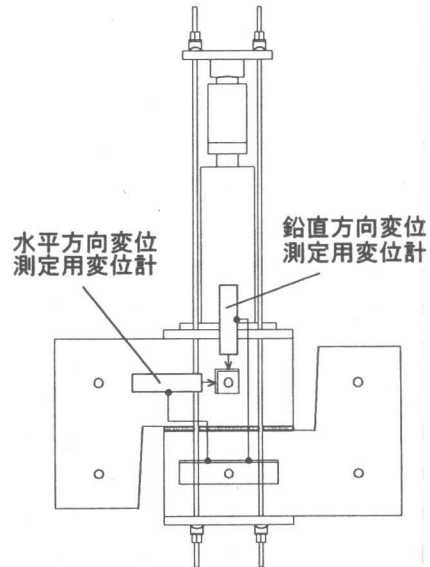


図-3 変位測定位置

## 3. 実験結果

モルタル接合の破壊パターンを図-4に示す。破壊パターンは(a)図に示すようにモルタルひび割れが生じたもの、(b)図に示すようにモルタルとPCaの接合面ですべったものの2種類であった。

実験結果を表-2に示す。M10-5の1体はモルタルの接合が不完全であったため、その結果は考察しないこととする。表中すべり発生時のせん断

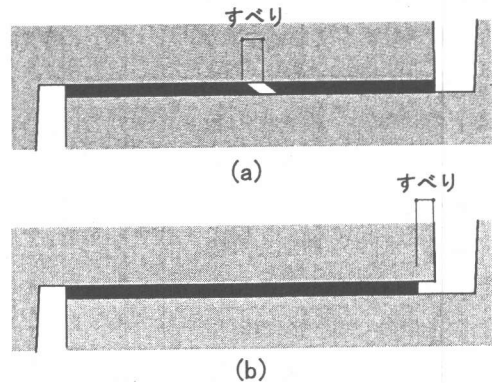


図-4 破壊パターン

応力度 ( $\tau_s$ ) は応力が急激に低下した直前のせん断応力度であるが、明らかなピーク点が得られなかった試験体は、水平変位が増してもせん断力が上昇しなかった点とした。特にモルタルありシリーズは、すべり発生時のせん断応力度 ( $\tau_s$ ) のばらつきが大きかった。しか

し、表-2に示すように、本実験では図-4の破壊パターンとすべり発生時のせん断応力度 ( $\tau_s$ ) の明確な相関関係は認められなかった。ばらつきはおそらくモルタルの収縮、施工誤差によるのではないかと考えられる。すべり発生後のせん断応力度 ( $\tau_r$ ) はすべり発生後から加力終了時まで水平変位1mmごとに測定した各ステップのせん断応力度  $\tau$  の単純平均とした。すべり発生後のせん断応力度 ( $\tau_r$ ) はすべり発生時のせん断応力度 ( $\tau_s$ ) に比べ、ばらつきが小さかった。これは鋼製型枠を用いた接合面の状態のばらつきが小さかったためと考えられる。

図-5にせん断すべり発生時の水平変位を示す。水平変位はモルタルなしシリーズでは0.020~0.246mmで、ばらつきが大きかった。モルタルありシリーズと目荒らしシリーズでは圧縮応力度 ( $\sigma$ ) に比例してすべり発生時の水平変位が大きくなる傾向はあるものの、すべり発生時の水平変位が非常に小さい値(0.008~0.093mm)であり、測定誤差の影響も考えられるので、圧縮応力度 ( $\sigma$ ) とすべり発生時の水平変位の関係は明らかに比例しているとは言い難い。

鉛直方向変位は、目荒らしシリーズの試験体がすべり発生後1~1.5mm広がったが、他のシリーズの試験体はほとんど変化が見られなかった。

図-6にすべての試験体の水平変位 ( $\delta$ ) -せん断応力度 ( $\tau$ ) 関係を示す。(a)~(d)図によるとモルタルなしシリーズはすべり発生後はせん断

表-2 実験結果

	試験体名	すべり発生時のせん断応力度 ( $\tau_s$ )MPa			すべり発生後のせん断応力度 ( $\tau_r$ )MPa		
モルタルなしシリーズ	N0-5	0.287	0.269	0.344			
	N0-10	0.680	0.702	0.723			
	N0-20	1.321	1.475	1.430			
	N0-30	2.280	2.320	2.322			
モルタルありシリーズ	M10-5	1.228	1.270		0.402	0.396	
	M10-10	1.583**	1.697**	2.525	0.775	0.752	0.769
	M10-20	2.616	3.535	3.871	1.400	1.488	1.450
	M10-30	3.373**	3.609	4.524**	2.157	2.085	2.002
	M 5-10	2.157**	2.277	2.293**	0.745	0.756	0.746
	M20-10	2.078**	2.299	2.354**	0.774	0.761	0.781
目荒らしシリーズ	MM10-5	3.027	3.109	3.158	0.514	0.526	0.508
	MM10-10	3.773	3.952	4.078	0.918	0.997	0.933

印なし:モルタルにひび割れ発生(図-4(a))

\*\*:モルタルとPCa部材間の接合面のすべり(図-4(b))

- モルタルなし
- △ モルタルあり(接合材の厚さ5mm)
- モルタルあり(接合材の厚さ10mm)
- ▼ モルタルあり(接合材の厚さ20mm)
- \* 目荒らし

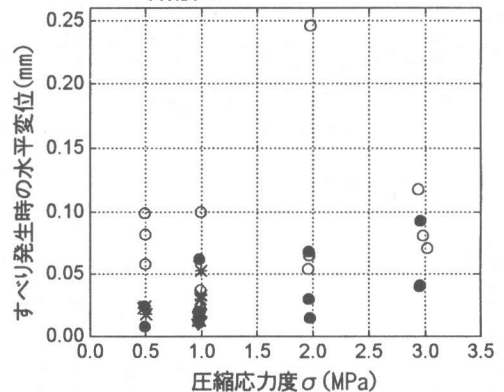


図-5 すべり発生時の水平変位

応力度 ( $\tau$ ) の変動が少なく、水平変位が15mmとなる加力終了時までほぼ一定となった。(e)~(j)図によるとモルタルありシリーズはすべりが発生した後、急激にせん断応力度 ( $\tau$ ) が低下し、その後モルタルなしシリーズと同程度のせん断応力度 ( $\tau$ ) を保持した。(e)と(k), (f)と(l)図を比較すると、目荒らしシリーズはモルタルありシリーズとほぼ同様の傾向を示すが、すべり発生時、すべり発生後ともにせん断応力度 ( $\tau$ ) が大きくなった。どのシリーズも圧縮応力度 ( $\sigma$ ) が増大するにつれて、全体的にせん断応力度 ( $\tau$ ) は大きくなった。(i) (f) (j)図を比較すると、接合材の厚さによるすべり発生時 ( $\tau_s$ )、すべり発生後のせん断応力度 ( $\tau_r$ ) の違いはほとんどみられなかった。

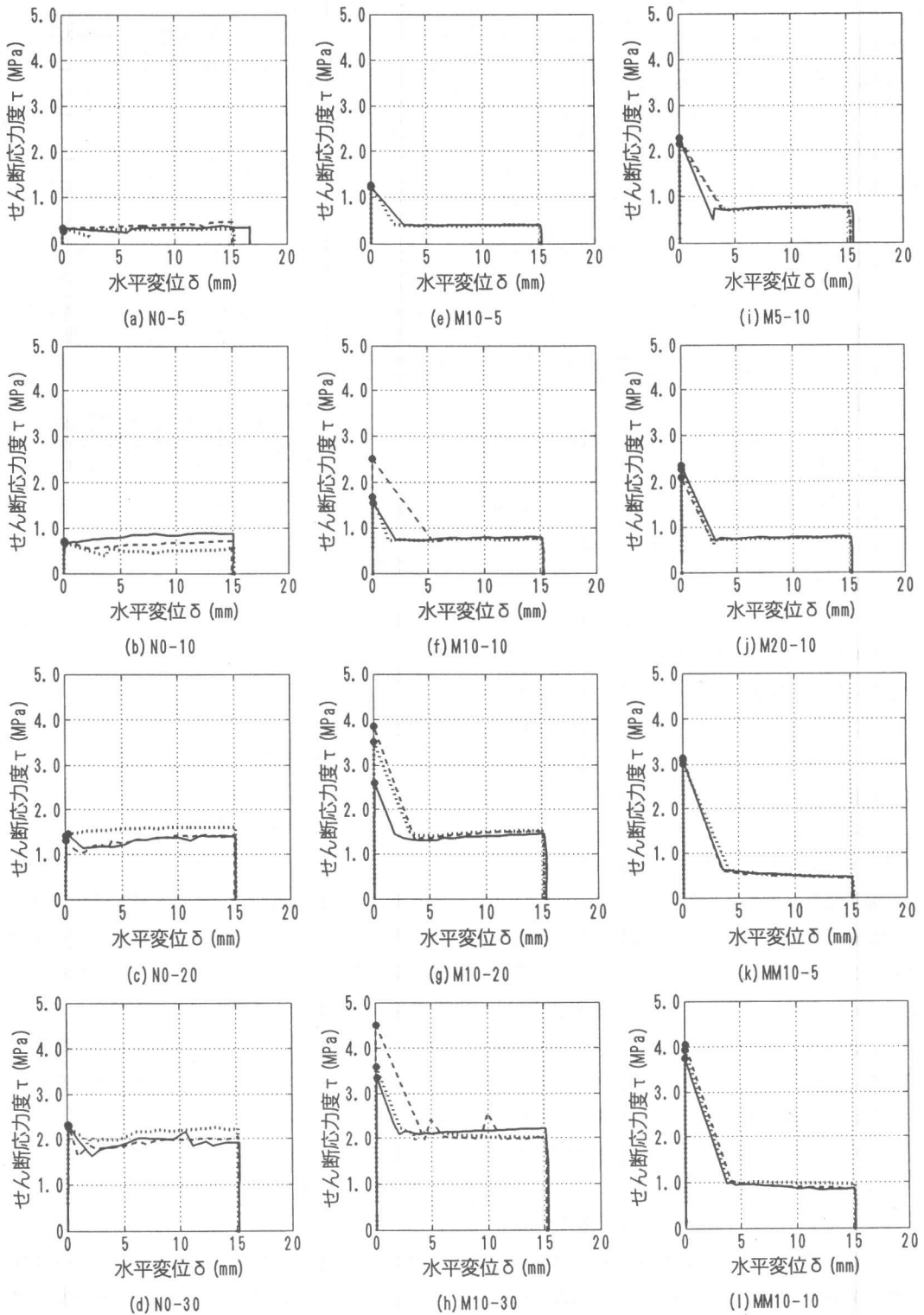


図-6 水平変位-せん断応力度関係

(せん断応力度-水平変位の推移を知るために試験体ごとに線種を変えて表示した)

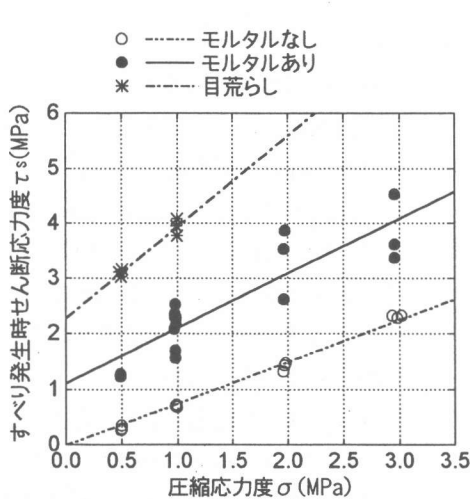


図-7 圧縮応力度—  
すべり発生時せん断応力度関係

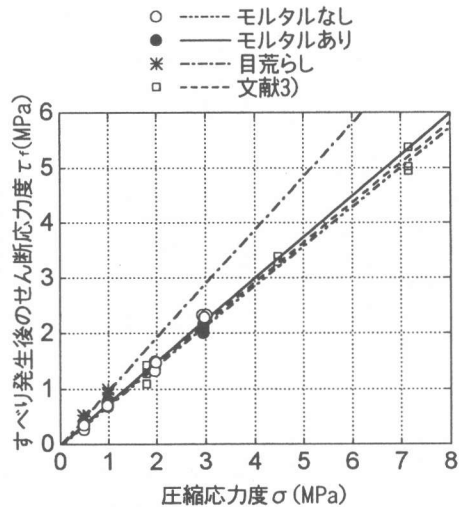


図-9 圧縮応力度—  
すべり発生後のせん断応力度  
(モルタルなしシリーズはすべり発生時  $\tau_s$ )

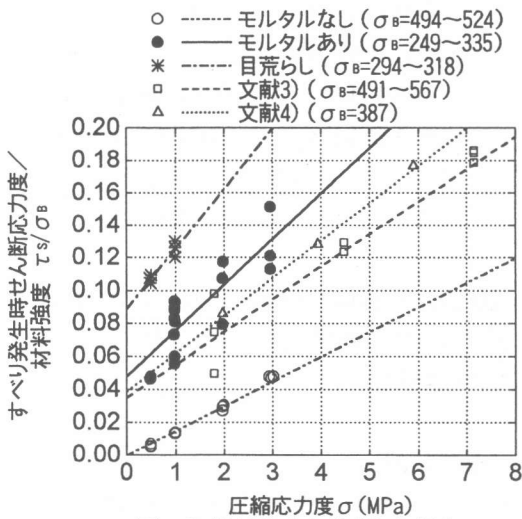


図-8 材料強度を考慮した場合

表-3 近似式の値

	$\tau_s$ (図-7)	$\tau_s/\sigma_B$ (図-8)	$\tau_f$ (図-9)
モルタルなし	$0.75\sigma$	$0.015\sigma$	
モルタルあり	$0.99\sigma+1.12$	$0.028\sigma+0.048$	$0.73\sigma$
目荒らし	$1.66\sigma+2.28$	$0.037\sigma+0.089$	$0.97\sigma$
文献3)		$0.020\sigma+0.035$	$0.72\sigma-0.024$
文献4)		$0.023\sigma+0.039$	

#### 4. 考察

実験結果で示したとおり、接合材の厚さの影響はほとんど見られなかったため、モルタルなしシリーズ、モルタルありシリーズ、目荒らしシリーズの3種類に分けて考察を行う。圧縮応力度( $\sigma$ )—すべり発生時のせん断応力度( $\tau_s$ )関係を図-7に、実験結果の近似式を表-3左列に示す。図の直線の傾きで示される摩擦係数( $\mu$ )は、モルタルなしシリーズで0.75、モルタルありシリーズで0.99、目荒らしシリーズで1.66である。摩

擦係数( $\mu$ )の一番小さいモルタルなしシリーズの結果を学会PC規準の設計値と比較しても安全率は1.5となった。モルタルありシリーズ、目荒らしシリーズは付着力が働き、その付着力はそれぞれ1.12MPa、2.28MPaであった。

既往の文献<sup>3),4)</sup>との比較のため、圧縮応力度( $\sigma$ )とせん断応力度を表-1で定義した $\sigma_B$ で除した値( $\tau_s/\sigma_B$ )の関係を図-8に、近似式を表-3中列に示す。文献<sup>3),4)</sup>は、鋼製型枠を用いた接合面のせん断耐力を調べたもので、圧縮応

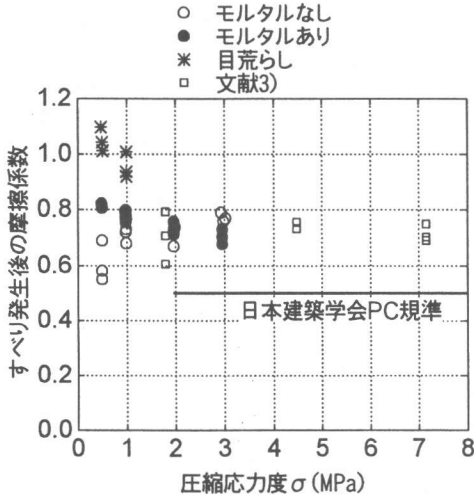


図-10 すべり発生後の摩擦係数  
(モルタルなしシリーズはすべり発生時の摩擦係数)

力度が大きい場合の実験結果である。ここで文献<sup>3),4)</sup>は、接合材強度より PCa 部材強度の方が低いため、 $\sigma_B$  は PCa 部材強度である。文献<sup>3)</sup>と本実験のモルタルありシリーズの結果はばらつきがあるものの、文献<sup>3),4)</sup>、モルタルありシリーズのすべり発生時せん断応力度 ( $\tau_s$ ) の結果は同様の傾向を示した。

圧縮応力度 ( $\sigma$ ) - すべり発生後のせん断応力度 ( $\tau_p$ ) 関係を図-9に、近似式を表-3右列に示す。ただし、モルタルなしシリーズはすべり発生時のせん断応力度 ( $\tau_s$ ) の値である。摩擦係数 ( $\mu$ ) はモルタルありシリーズが0.73、目荒らしシリーズはかなり大きく、0.97であった。すべり発生後のせん断応力度 ( $\tau_p$ ) はすべり発生時のものに比べばらつきが少なく、文献<sup>3)</sup>と本実験の結果は同じ傾向を示した。モルタルなしシリーズのすべり発生時のせん断応力度 ( $\tau_s$ ) もあわせて比較すると非常によく一致している。

図-10にすべり発生後の摩擦係数を示す。図中には学会PC規準の設計値も併記した。すべり発生後の摩擦係数は、圧縮応力度が小さい場合も、圧縮応力度が大きい場合と同程度の値が得られる。

## 5. まとめ

本実験により以下のことが明らかになった。

1. 圧縮応力度 ( $\sigma$ ) が0.5~3.0MPaの範囲のすべり発生時の摩擦係数 ( $\mu$ ) は、モルタルなしシリーズで0.75、モルタルありシリーズで0.99、目荒らしシリーズで1.66である。
2. モルタルありシリーズ、目荒らしシリーズは付着力が働き、その付着力はそれぞれ1.12MPa、2.28MPaであった。
3. 接合材の厚さを変化させた場合、今回の実験の範囲内 (5mm~20mm) では水平変位 ( $\delta$ ) - せん断応力度 ( $\tau$ ) 関係にほとんど影響がなかった。
4. PCa コンクリート強度あるいは接合材強度を考慮したモルタルありシリーズのすべり発生時のせん断応力度 ( $\tau_s / \sigma_B$ ) の近似式は、既往の文献の結果と同じ傾向を示した。
5. すべり発生後の摩擦係数はモルタルありシリーズが0.73で既往の文献とほぼ一致し、目荒らしシリーズは0.97であった。

【謝辞】本実験の実施にあたり、京都大学名誉教授・六車熙先生に貴重なご意見を賜りました。ここに深謝致します。

## 【参考文献】

- 1) 日本建築学会：プレレストコンクリート設計施工規準・同解説、1987。
- 2) 黒田、飯塚：軸圧縮を有するプレキャスト部材接合面の摩擦の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.445-446、1997.9。
- 3) 小山内他：プレキャスト部材圧着接合部のせん断すべりに関する実験的研究、プレレストコンクリート、Vol.39, No4, Jul. 1997。
- 4) 岡本他：プレキャストコンクリート柱・梁接合部の圧着接合に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1063-1064、1993.9。