

## PCaPC柱圧着目地のせん断性状

(株) 日建設計 ○内田 順子  
 日本大学 正会員 工博 浜原 正行  
 (株) ピーエス三菱 正会員 博士(工学) 福井 剛

Abstract : Four precast prestressed concrete columns containing mortar joints were tested to investigate the effects of bending moment and tensile axial force on a friction factor of the joints. The test results led to the following conclusions: (1) The friction factor of these specimens varied between the bounds of 0.78 and 0.88. (2) The presence of bending moment and tensile force did not affect the friction factors. (3) The friction factor of 0.5 in the AIJ Code apparently underestimate the shear strength of the joints.

Key words : Precast Prestressed Concrete, Mortar Joint, Tensile Force, Bending Moment, Friction Factor

## 1. はじめに

PCaPC 部材の設計では、圧着継目での滑り破壊が部材の曲げ破壊に先行しないことが求められる。このような設計規範を成立させるためには、高精度の圧着継目滑り耐力の推定式を確立する必要がある。圧着継目に対する載荷法には、いわゆる S 字型の直接せん断加力が広く用いられている。このような実験による滑り耐力は、ばらつきがかなり大きく<sup>1),2)</sup>、繰り返し載荷時には履歴が安定しないことが知られている<sup>3)</sup>。また、PCaPC 造柱の圧着継目は曲げ危険断面近傍に設置されることが多く、このような場合、圧着目地の応力状態は直接せん断実験から得られるものとはかなり異なる。一方、近年は、建物の高層化が進んでおり、このような建物では、地震時において隅柱に引張が生じる可能性がある。

本研究は、圧着継目の滑り耐力に及ぼす引張軸力の有無と曲げモーメントの有無(すなわち、直接せん断と曲げせん断)の影響を実験的に検討しようとするものである。

## 2. 実験概要

加力は図1に示す平行載荷装置を用いた。上スタブ重量は軸力ジャッキ、鉄骨重量はカウンターバランスでキャンセルさせた。上下スタブと試験体部は別々に製作後、目地モルタルを介し、PC鋼材によって一体化した。圧着面は鋼製型枠を用い平滑とした。グラウトは注入せず、ダボ効果のない純粋な滑り性状の把握に努めた。実験要因は圧着継目での曲げモーメントの有無(直接せん断、曲げせん断)と引張軸力の有無(0, -123kN = PC鋼材規格降伏耐力/4)である。図2、表1に試験体概要を示す。曲げせん断試験体は目地摩擦係数を1とし、滑り破壊が先行するように設計した。図3にひずみゲージの貼付位置を示す。コンクリートの調合表を表2、コンクリートと目地モルタルの試験結果を表3、PC鋼材の試験結果を表4に示す。

表1 試験体概要

試験体名	軸力 (kN)	載荷法	【共通因子】
DS-1	0	直接 せん断	PC鋼材: $\phi 17$ C種(SBPR1080/1230) コンクリート設計基準強度=60N/mm <sup>2</sup> 総有効緊張力=294(kN) 圧着継目 $b = 150$ mm $D = 300$ mm $t = 20$ mm シース内径 30 $\phi$ (#1030)
DS-2	-123		
BS-1	0	曲げ せん断	
BS-2	-123		

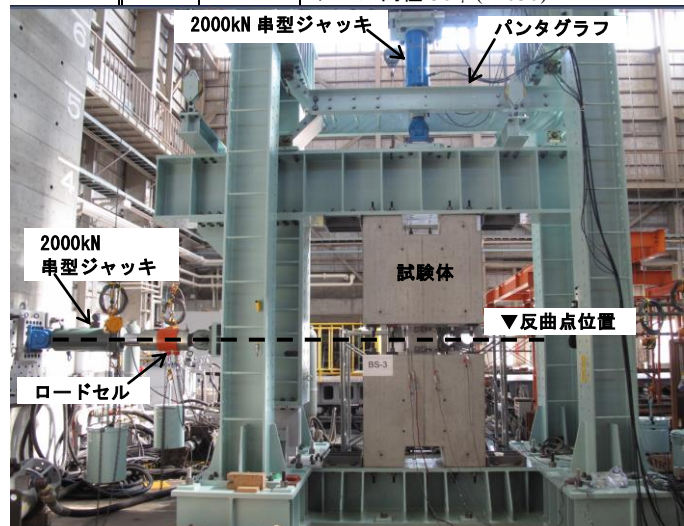


図1 試験装置(図中試験体は曲げせん断試験体)

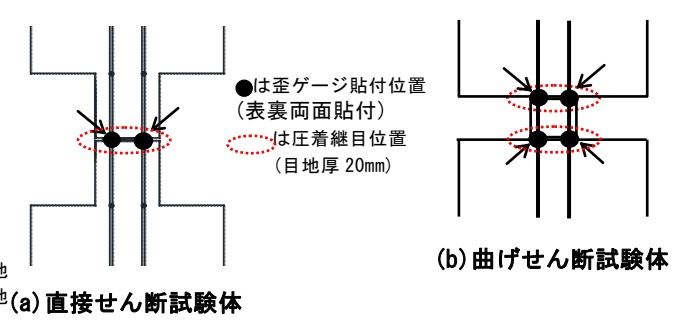
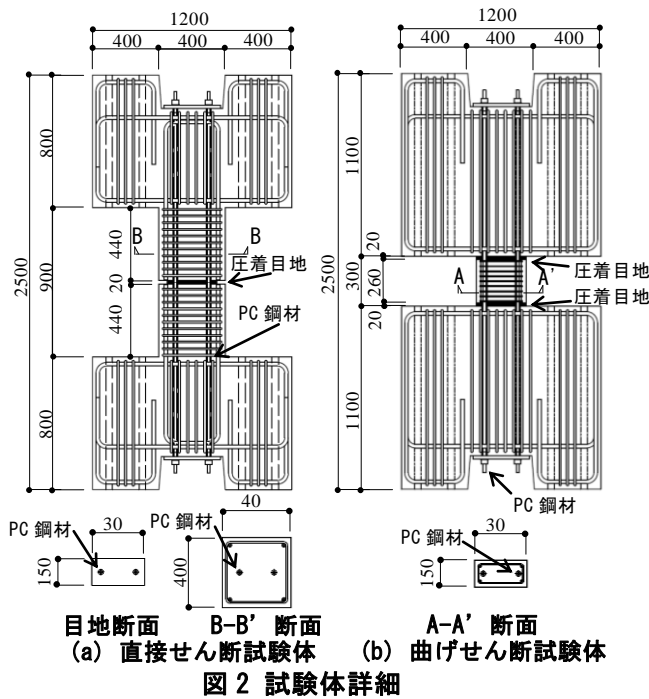


図3 PC鋼材歪ゲージ貼付位置

表2 コンクリート調合表

	$F_c$ MPa	W/C %	単位重量 $\text{kg/m}^3$				混和材
			W	C	S	G	
DS-1,2	60	36.0	175	487	762	957	4.87
BS-1,2	60	32.8	175	534	704	888	7.48

W:水 C:セメント S:細骨材 G:粗骨材

表3 コンクリート, モルタル材料試験結果

試験体名	コンクリート		モルタル
	$\sigma_B$ (MPa)	$E_c$ (GPa)	$\sigma_B$ (MPa)
DS-1	59.6	34.0	51.1
DS-2	63.4	36.6	51.7
BS-1	47.9	31.3	66.0
BS-2	47.0	33.3	67.5

$\sigma_B$ :圧縮強度  $E_c$ :ヤング係数

表4 PC鋼材(SBPR1080/1230)の材料試験結果

試験体名	$d_b$ (mm)	$A_p$ ( $\text{mm}^2$ )	$\sigma_y$ (MPa)	$\sigma_B$ (MPa)	$E_p$ (GPa)	伸び (%)
DS-1,2	$\phi 17$	227	1189	1286	200	13
BS-1,2	$\phi 17$	227	1185	1277	201	12

$d_b$ :直径  $A_p$ :断面積  $\sigma_y$ :降伏点  $\sigma_B$ :引張強度  $E_p$ :ヤング係数

### 3. 実験結果

#### 3.1 荷重-滑り変位関係

図4に各試験体の荷重と滑り変位の関係を示す。各試験体の最大荷重および滑り破壊性状については以下のことが指摘できる。

軸力ゼロの直接せん断試験体 DS-1 は、荷重 295.5kN 時に目地の縦ひび割れを伴った急激な滑りを生じ、荷重 106.5kN まで急激に減少した。既往の直接せん断試験体では、このような耐力低下後の荷重の顕著な増加は見られないケースが多い<sup>2),3)</sup>ので、DS-1 については、この時点で実験を終了した。DS-1 以外の3体の試験体については、実験方針を変更し、滑り変位によって荷重が減少した後も正負繰り返し荷重を続行した。これら3体の試験体については次のことが分かった。

1) 荷重は、初回滑りが起こる直前で最大となり、その値は、引張軸力を負荷した直接せん断試験体 DS-2 が 178.1kN、軸力ゼロの曲げせん断試験体 BS-1 が 275.0kN、引張軸力を負荷した曲げせん断試験体 BS-2 が 184.9kN であった。前述 DS-1 の最大荷重 (295.5kN) の値も勘案すると、引張軸力を受ける試験体の最大荷重は、圧縮をうけるものより小さい。また、載荷方法の違いによる最大荷重の顕著な違いは見られない。

2) DS-2 は、DS-1 同様、滑り破壊時に目地の縦ひび割れを伴った。曲げせん断試験体 BS-1、BS-2 の滑りは目地部とスタブの境界で起こり、直接せん断試験体に見られた目地モルタルの縦ひび割れを伴うものではなかった。これらの試験体の滑り破壊は BS-1 では柱頭、BS-2 では柱脚の圧着継目に起こり、他端側の圧着継目には、顕著な滑り変位の増加は見られない。

3) 初回滑り経験後、荷重をさらに続行すると、①荷重増加、②滑りによる荷重減少のサイクルを繰り返す。このサイクルでの正側ピーク荷重は、DS-2 で 170.0kN、BS-1 で 231kN、BS-2 で 138kN 前後の値を示し、負側のピーク荷重は、DS-2 で 156kN、BS-1 で 267kN、BS-2 で 153kN 前後の値を示した。これらの値

は比較的安定しており、繰り返しに伴う顕著な減少はみられない。このことより、滑りに伴う荷重の減少はジャッキが急激な滑り変位に追従できなかったことに起因していることが分かり、荷重-滑り変位関係は本来比較的靱性に富んだ挙動であると考えられる。

荷重-滑り変位の履歴は、正負繰り返し载荷を行っても安定しており、定常的なループを描く。また、ピーク荷重と残留滑り変位は、ほぼ等しく、履歴ループの幅は極めて大きい。

### 3.2 実験終了後の目地部境界面の破壊写真

BS-1, BS-2 は、実験が終了後に、上下スタブと試験体を分離し境界面の状況を確認した。図5はこの時のスタブ部と試験体部の境界面(滑り破壊を起こした圧着継目部)の状況写真を示したものである。この図より、両試験体ともスタブコンクリートと圧着継目モルタルの境界面は、コンクリートとモルタルの相互がえぐり取られるような形で損傷しており、境界面が滑らかに滑ったとは言いがたい状況が見られた。

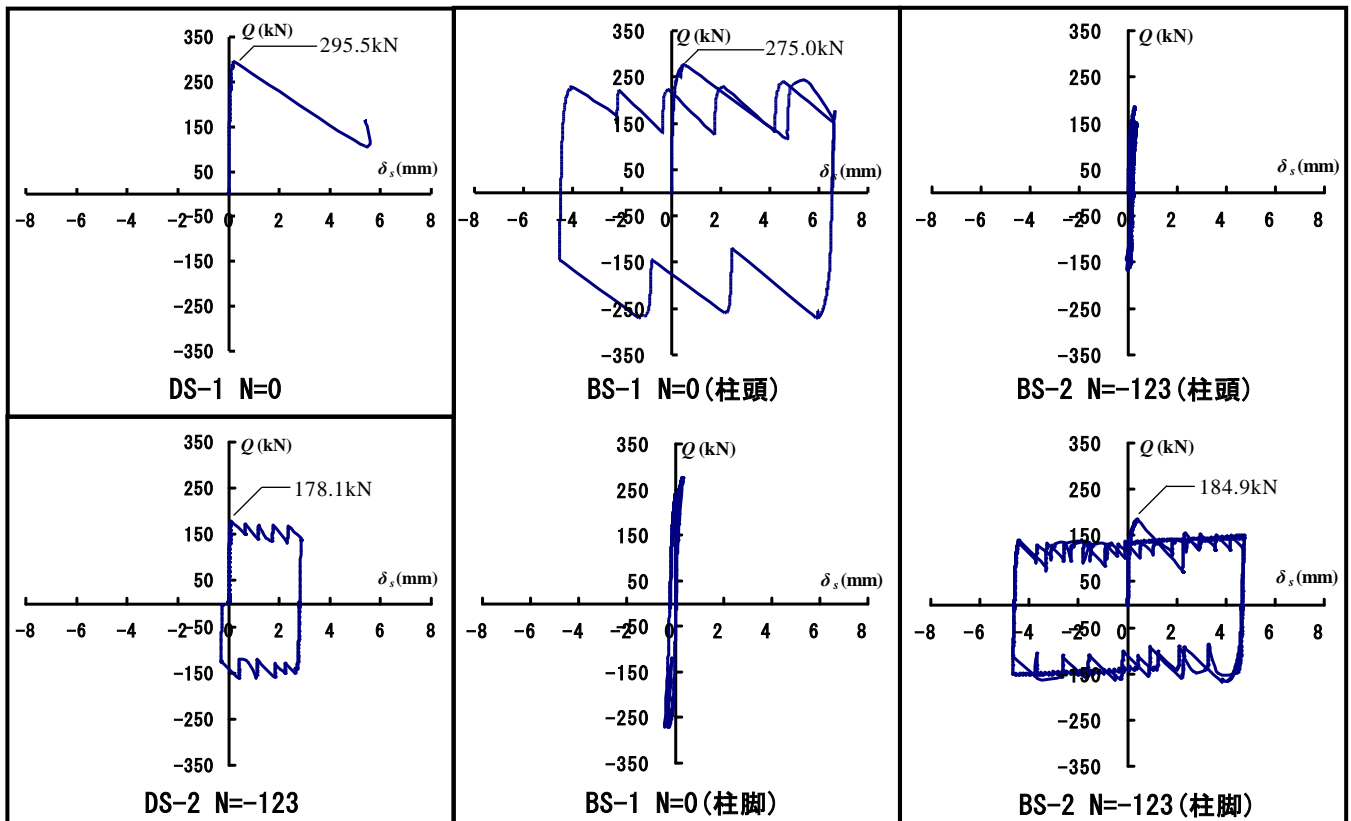
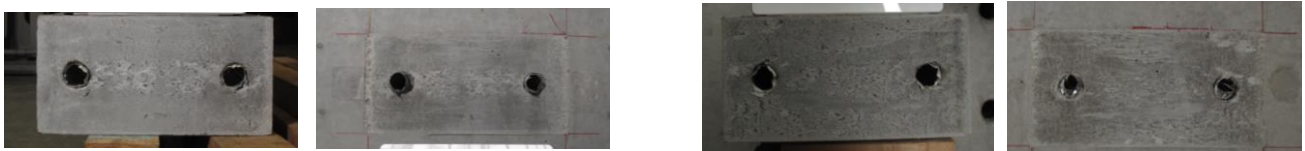


図4 荷重と滑り変位の関係



(a) BS-1 試験体側接着面 (b) BS-1 スタブ側接着面 (c) BS-2 試験体側接着面 (d) BS-2 スタブ側接着面  
図5 境界面の破壊状況

## 4. 考察

### 4.1 PC鋼材の張力と圧着継目に作用する圧縮力の算定

滑り直前のPC鋼材の歪増分は  $74\mu \sim 230\mu$  であった。PC鋼材緊張力  $P$  の評価に際しては、(1)式に示すように、この増分歪を考慮した。

$$P = P_e + \Delta\varepsilon \cdot E_p \cdot A_p \text{ ----- (1)}$$

ここに、 $P_e$  = 実験開始時の緊張力、 $\Delta\varepsilon$  = PC鋼材増分歪、 $E_p$  = PC鋼材ヤング係数、 $A_p$  = PC鋼材断面積  
圧着継目に作用する圧縮力  $C$  は、(1)式によるPC鋼材緊張力の総和と軸方向力の和で与えた。

### 4.2 摩擦係数の検討

摩擦係数は、(2)式で評価した。

$$\mu = Q/C \text{ ----- (2)}$$

ここに、 $\mu$  = 摩擦係数、 $Q$  = 最大荷重、 $C$  = 最大荷重時に圧着継目に作用する圧縮力

表 5 に最大荷重、圧縮力、摩擦係数の一覧を、図 6 に最大荷重と圧縮力の関係を示す。なお、これらの図、表中には文献 2) の曲げせん断試験体の実験結果も併記した。これらの試験体は、いずれも目地に接するコンクリートを本試験体同様、平滑としている。表 5、図 6 より以下のことが指摘できる。

1) 摩擦係数の値は、直接せん断タイプでは、軸力ゼロの DS-1 で 0.85、引張を負荷した DS-2 で 0.88 である。曲げせん断タイプでは、軸力ゼロの BS-1 で 0.78、引張を負荷した BS-2 で 0.85 となった。これらの結果より、摩擦係数は軸方向力、圧着継目に作用する曲げモーメントの有無には依存しないことが分かる。

2) 文献 2) の曲げせん断試験体 5 体分も併せた計 9 体の実験試料を用いて検討すると、摩擦係数の平均値は 0.867、変動係数は 8.1% となり、ばらつきはかなり少ないことが分かる。前述のように本実験では、平行加力装置を用いている。また、文献 2) の実験では、頂部に設けたスタブを加力する片持ち梁載荷が採用されている。上記の結果は、このような圧着目地部を含む部分を直接加力しないような載荷装置を用いて実験を行った場合、摩擦係数のばらつきは小さくなる可能性を示唆している。

3) PC 規準で規定されている  $\mu=0.5$  の直線を荷重と圧縮力の平面上に載せると、文献 2) の試験体を含めても PC 規準で規定されている値を大きく上回る結果が得られた。

表 5 初回滑り時の荷重、圧縮力、摩擦係数

試験体名	最大荷重 $Q$ (kN)	圧縮力 $C$ (kN)	摩擦係数 $\mu=Q/C$
DS-1	295.5	345.9	0.85
DS-2	178.1	201.7	0.88
BS-1(柱頭)	275.0	353.6	0.78
BS-2(柱脚)	184.9	217.1	0.85
A9-0.9-05*	261.0	278.0	0.94
A9-1.35-05*	334.0	417.0	0.80
A13.5-2.0-05*	436.0	503.0	0.87
A13.5-2.0-03*	545.0	531.0	1.03
A13.5-2.7-05*	626.0	781.0	0.80

\*文献 2)より引用

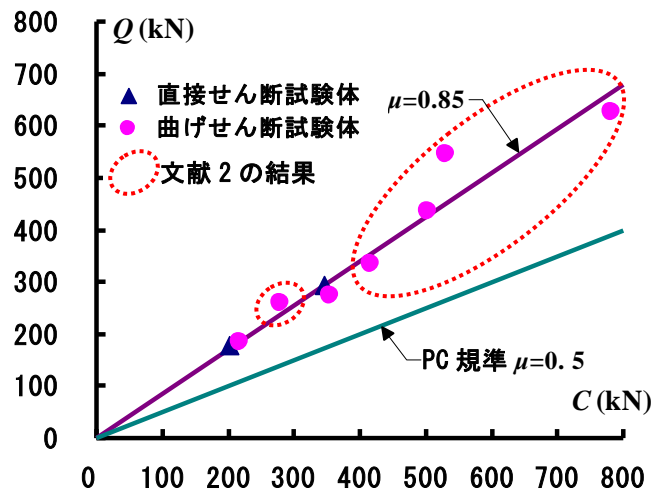


図 6 摩擦係数の検討

### 5. まとめ

1) 荷重は、初回滑りの直前で最大となり、その後は、上昇、滑りによる減少のサイクルを繰り返すが、上昇時の荷重ピーク値は安定していた。また、荷重-滑り変位の履歴は安定しており、その面積も極めて大きかった。

2) 摩擦係数は、引張軸力の有無、圧着目地部位置での曲げモーメントの有無には依存しなかった。

3) 摩擦係数の平均値は 0.867、変動係数は 8.1% であり、ばらつきはかなり小さかった。

### 【参考文献】

1) 日本建築学会：プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説、pp.267-270、1998年11月  
 2) 坂田 博史：既存鉄筋コンクリート造建物に対する PC 圧着型外側耐震補強の接合部設計のに関する基礎研究、pp.41-89、2012年3月 大阪工業大学 博士論文  
 3) 岡本 晴彦：鉄筋コンクリート構造における接合面の応力伝達に関する研究、pp.57-100 March, 1993年11月 京都大学 博士論文