

# 論文 プレキャスト部材圧着接合部のせん断滑り挙動に関する 実験的研究

小山内 裕\*1・渡邊 史夫\*2・勅使川原 正臣\*3・森山 毅子彦\*4

要旨：コンクリートやモルタルを介して圧着接合されるプレキャストプレストレストコンクリート部材の接合部が純せん断力を受ける場合の挙動について、模型実験を行い、プレストレスレベルと滑り変位量の影響を考慮したせん断耐力推定式および摩擦係数を求める式を作成した。またこれらの式を使用して、圧着接合部に滑り変位を生じる場合の挙動を推定する方法を提案した。

キーワード：プレキャスト、圧着接合、せん断滑り、せん断耐力、摩擦係数

## 1. はじめに

コンクリートやモルタルを介して圧着された平滑面接合部を有するプレキャストコンクリート(PCa)部材の接合部において、滑りが生じる前のせん断耐力の算定式は、筆者らが前報<sup>1)</sup>、前報<sup>2)</sup>でコンクリートの強度を考慮したせん断耐力の統一式を示した。また文献<sup>3)</sup>にも報告されている。接合面にシアキーを形成したり意図的に接合面を粗にした研究報告文は多数見られるものの、平滑面圧着接合の研究報告例はまれである。また、建物が巨大地震に遭遇した場合、終局時には接合部に滑り変位が生じせん断耐力が低下する可能性がある。しかしながら、滑り後の耐力および挙動についての研究報告はない。

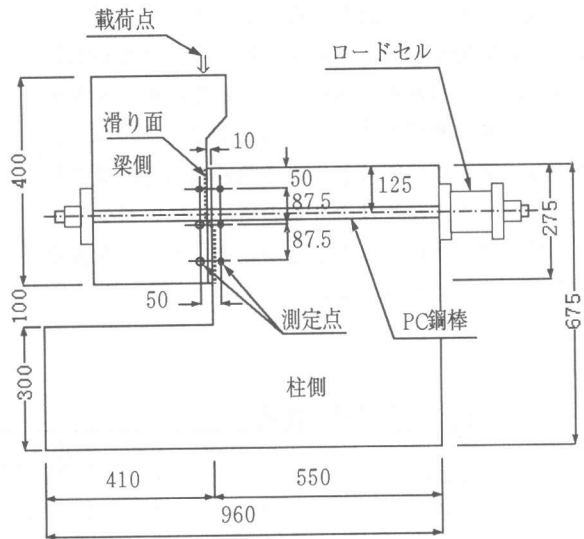
本報告はプレストレス力により圧着されたPCa部材のせん断実験を行い、滑りを生じた後のせん断耐力、接合面の摩擦係数、滑り変位量について推定方法を提案するものである。試験に使用したコンクリートの材料試験結果を表・1に、試験体の概略図を図・1に示

表・1 コンクリートの材料試験結果

供試体	圧縮強度 $\sigma_c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	弾性係数 ( $\times 10^5$ kgf/cm <sup>2</sup> )
A-10	491	2.96
A-25	551	3.22
A-40	567	3.03
目地	626	2.31

単位：1.0kgf=9.80665 N

1.0 kgf/cm<sup>2</sup>=9.80665  $\times 10^{-2}$ MPa



図・1 試験体図

- \* 1 オリエンタル建設(株) 技術部主任研究員、工修(正会員)
- \* 2 京都大学教授 大学院工学研究科建築学専攻、工博(正会員)
- \* 3 建設省 建築研究所第3研究部、工博(正会員)
- \* 4 オリエンタル建設(株) 技術部研究員

す。接合面は平滑面とするため鋼製型枠仕上げとした。供試体は平置で組み立て、目地にはプレミックスタイプのモルタルを流し込んだ。試験体の概要は次のとおりであるが、実験概要については前報<sup>1)</sup>を参照されたい。

接合面の面積：550cm<sup>2</sup>(20 × 27.5cm)

目地の厚さ：1 cm

圧着力：10ton(A-10:  $\sigma_N=18.18(\text{kgf/cm}^2)$ )

25ton(A-25:  $\sigma_N=45.45(\text{kgf/cm}^2)$ )

40ton(A-40:  $\sigma_N=72.72(\text{kgf/cm}^2)$ )

加力にはアクチュエーターを使用し、変位制御により1方向単調載荷を行った。荷重が大きくなると接合面が滑り、同時に荷重は一旦低下するが、さらに加力すると荷重はある程度まで増加した。滑り変位が生じた後は何ら調整すること無く、観察の後そのまま加力を継続した。

## 2. 滑り後のせん断耐力推定式

図-2(a)、図-2(b)、図-2(c)に、横軸を接合面の滑り変位量、縦軸をせん断応力度として、圧着力別に接合部の純せん断試験結果を示す。この図では滑り後の耐力を検討するため、滑りが生じた瞬間に低下したときの荷重は省略した。すなわち、滑り変位に伴うせん断耐力の上限を表わす包絡線が示されている。図中の曲線は各々の実験値の回帰曲線である。すべての実験値は滑り量の増加に従い減少し、ある値に収斂する。このような曲線は次のような指数関数で表わすことができる。

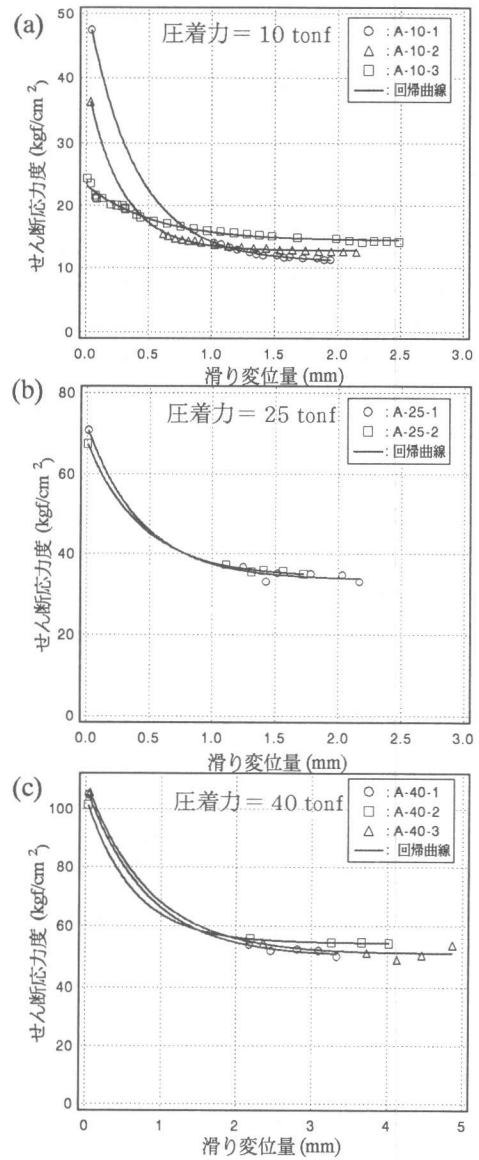


図-2 せん断応力度と滑り変位量

表-2 耐力式の係数

試験体	$K_0$	$K_1$	$K_2$	$\sigma_N(\text{kgf/cm}^2)$
A-10-1	11.033	40.534	2.534	18.71
A-10-2	12.857	26.752	3.586	18.67
A-10-3	14.405	8.947	1.875	18.73
平均	12.765	25.411	2.665	18.70
A-25-1	33.532	38.262	2.227	46.02
A-25-2	34.340	33.493	2.253	46.25
平均	33.936	35.878	2.2400	46.14
A-40-1	50.129	57.326	1.264	73.65
A-40-2	54.525	49.302	1.637	72.80
A-40-3	51.005	58.490	1.227	73.02
平均	51.886	55.039	1.376	73.16

$$\tau = K_0 + K_1 \cdot \text{EXP}(-K_2 \cdot X) \quad (1)$$

ここで  $X$  は滑り変位量を示す。

各試験体の係数  $K_0$ 、 $K_1$ 、 $K_2$  およびプレストレスレベル  $\sigma_N$  を表・2 に示す。またプレストレスレベル毎の係数の平均値とプレストレスの関係を図・3 に示す。図中の直線は各係数の回帰値であり、次式で示される。

$$K_0 = 0.242 + 0.7208 \cdot \sigma_N \quad (2)$$

$$K_1 = 13.737 + 0.5449 \cdot \sigma_N \quad (3)$$

$$K_2 = 3.183 - 0.02371 \cdot \sigma_N \quad (4)$$

これらを式 (1) に代入すると、滑り後の耐力式 (5) が得られる。

$$\tau = (-0.2420 + 0.7208 \cdot \sigma_N) + (13.737 + 0.5449 \cdot \sigma_N) \cdot \text{EXP}(- (3.183 - 0.02371 \cdot \sigma_N) \cdot X) \quad (5)$$

この式はプレストレスおよび滑り量の影響を考慮したせん断力の上限值を表現している。ここで  $X = 0$  とすれば式 (5) は

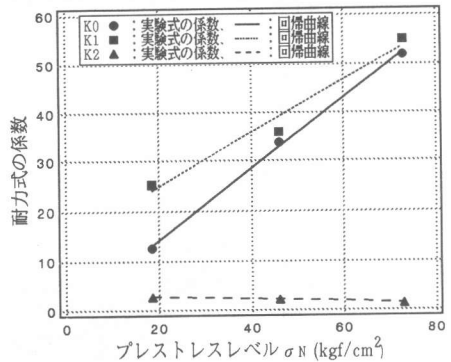
$$\tau = 13.495 + 12.657 \cdot \sigma_N \quad (6)$$

となり、前報<sup>2)</sup> で報告した最大せん断耐力式にほぼ一致する。

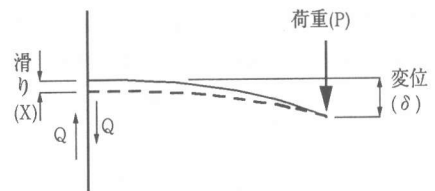
### 3. 滑り後の摩擦係数推定式

弾性梁が曲げ変形を生じる場合、荷重 ( $P$ ) の大きさと梁の曲げ剛性に応じた変位量 ( $\delta$ ) の積で表わされる弾性エネルギー ( $E = P \cdot \delta / 2$ ) が梁に蓄積される。荷重が接合部のせん断耐力を越えると、接合面に滑り変位が生じる。荷重が積載荷重であれば滑り挙動は停止することなく、接合部は破壊されるが、地震荷重により生じる部材応力のように応力が変形量に依存する場合は、滑り量の増加に伴い部材応力は減少し、滑りは停止する。この場合の接合部のモデル、および載荷点の挙動を各々を図・4 および、図・5 に示す。

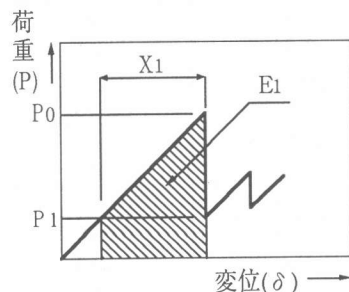
載荷点において荷重の低下 ( $P_0 \rightarrow P_1$ ) により減少した弾性エネルギー ( $E_1$ ) は図・5 のハッチ部分で示



図・3 耐力式の係数



図・4 接合部のモデル



図・5 載荷点の荷重と変位量の関係

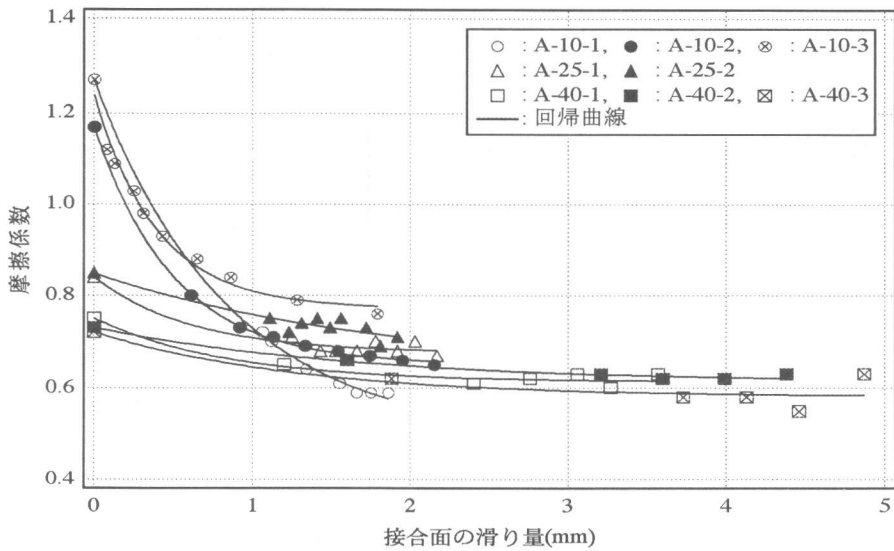


図-6 摩擦係数と接合面の滑り変位量

され、次式で表わされる。

$$E_1 = (P_0 + P_1) \cdot X_1 / 2 \quad (7)$$

圧着面にはプレストレス力( $P_{pre}$ )が作用している。ある滑り変位において摩擦力が一定であると仮定すると摩擦力の成した仕事量( $E_2$ )は

$$E_2 = \mu \cdot P_{pre} \cdot X_1 \quad (8)$$

で表わされる。ここに $\mu$ は接合面の摩擦係数である。ここで運動エネルギーや発生する音、熱などのエネルギーを無視すれば、2つのエネルギー量は等しく、式(7)、式(8)を用いて摩擦係数( $\mu$ )を求めることができる。

$$\mu = (P_0 + P_1) / (2 \cdot P_{pre}) \quad (9)$$

表-3 摩擦係数式の係数

試験体	$K_0$	$K_1$	$K_2$	$\sigma_N$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
A-10-1	0.492	0.778	1.192	18.71
A-10-2	0.651	0.518	2.009	18.67
A-10-3	0.772	0.466	2.519	18.73
平均	0.638	0.587	1.907	18.70
A-25-1	0.766	0.163	1.666	46.02
A-25-2	0.644	0.205	0.582	46.25
平均	0.661	0.184	1.124	46.14
A-40-1	0.615	0.136	1.220	73.65
A-40-2	0.613	0.117	0.608	72.80
A-40-3	0.581	0.139	0.783	73.02
平均	0.603	0.131	0.870	73.16

求めた各供試体の摩擦係数と接合面の滑り変位量の関係を図・6に示す。図中の曲線は各供試体の実験値の回帰曲線である。実験値から得られる摩擦係数値は一定ではなく、滑り変位量に応じて初期値から徐々に低下し、ある値に収斂する様相を体するので式(1)と同様のe関数式で近似する。

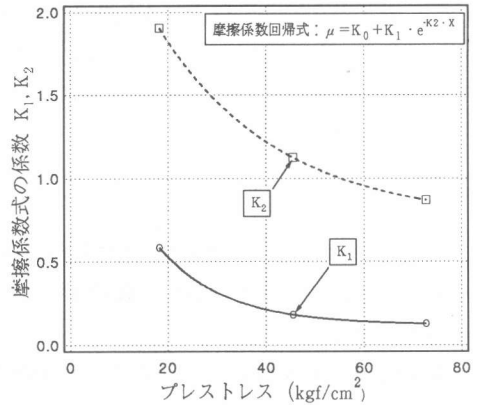
$$\mu = K_0 + K_1 \cdot \text{EXP}(-K_2 \cdot X) \quad (10)$$

式の係数とプレストレスレベルを表・3に示す。これらの係数のうち $K_0$ はすべての供試体の実験値が収斂する値であるので実験値の平均とする。プレストレスレベルと係数 $K_1$ 、 $K_2$ の関係を図・7に示す。曲線は実験値の回帰曲線であり式(1)と同様のe関数式で近似し、各係数を求めると摩擦係数( $\mu$ )は次式となる。

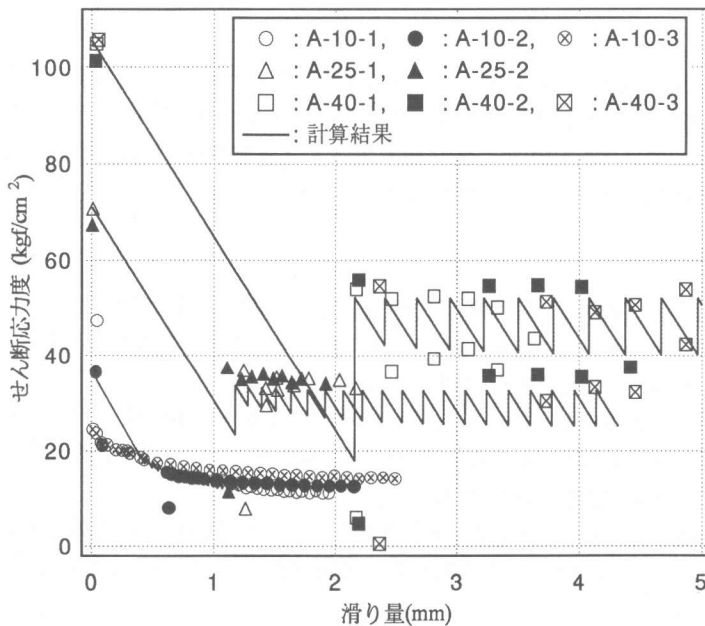
$$\mu = 0.634 + (0.123 + 1.793 \cdot \text{EXP}(-0.0409 \cdot \sigma_N)) \cdot \text{EXP}(-(0.747 + 2.454 \cdot \text{EXP}(-0.0227 \cdot \sigma_N)) \cdot X) \quad (11)$$

#### 4. 滑り変位挙動の推定

式(5)を滑り変位量(X)における最大せん断耐力とし、荷重が最大せん断耐力( $\tau_0$ )に達した時点で滑り変位が生じるものとして滑り変位挙動を推定する。滑りが停止するせん断応力度



図・7 摩擦係数式の係数



図・8 滑り変位量・荷重関係の計算値と実験値の比較

( $\tau_1$ ) および各滑り変位量( $X_1$ )は式(11)により求められる摩擦係数( $\mu$ )を用いて算定する。  
 $E_1$ と $E_2$ が等しいことから式(7)、式(8)を解いて $P_1$ および $X_1$ が得られる。

$$P_1 = 2 \cdot \mu \cdot P_{pre} - P_0 \quad (12)$$

$$X_1 = (P_0 - P_1) / (2 \cdot \mu \cdot P_{pre} \cdot k) \quad (13)$$

ここで、 $\tau_1 = Q_1 / A$ であり、 $k$ は載荷点の荷重と鉛直方向変位に関する剛性で、 $k = (P_0 - P_1) / X_1$ である。これらの式を用いて、接合面のせん断耐力、滑り変位量および滑り変位により低下する荷重を順次算定する。

算定されたせん断応力度と滑り変位量の関係を図・8に示して実験値と比較する。計算値は実験値をよく表現している。

## 5. まとめ

モルタルを介して圧着された平滑面接合部を有するPCa部材が、純せん断力を受ける場合の挙動を推定する方法を提案した。接合部の挙動には、プレストレスレベルと滑り変位量が影響することがわかった。今回の実験の結果から、接合部の挙動を推定する式と方法を提案した。

- 1) 滑り変位が生じた接合面のせん断耐力は、滑り変位量に応じて低下してある値に収斂し、プレストレスレベルを考慮してせん断耐力を式(5)で定式化した。
- 2) 滑り変位が生じた接合面の摩擦係数は、滑り変位量に応じて低下してある値に収斂し、プレストレスレベルを考慮して摩擦係数を式(11)で定式化した。
- 3) 今回の実験結果に基づき、エネルギー一定則により、純せん断力を受ける接合部の滑り量と低下する荷重を推定する方法を提案した。

## 謝辞

本研究は(社)建築研究振興協会にて設置された「プレキャスト耐震壁の性能検討委員会(委員長:渡邊 史夫、委員:岡本 伸、勅使川原 正臣、加藤 博人、立花 正彦、世良 耕作、小幡学、大島 幸、木村 義男、小山内 裕、森山 毅子彦)」にて実施されました。委員の方々には多くの貴重なご意見を頂きました。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- [1] 森山毅子彦、岡本伸、加藤博人、立花正彦、世良耕作、小山内裕:付帯柱と絶縁したプレキャスト壁の耐震性に関する研究・その5柱梁接合部のせん断実験の概要、建築学会1996年度大会学術講演梗概集C・2構造IV pp.903-904
- [2] 小山内裕、渡邊史夫、勅使川原正臣、小幡学、大島幸、木村義男:付帯柱と絶縁したプレキャスト壁の耐震性に関する研究・その6柱梁接合部のせん断実験の結果、建築学会1996年度大会学術講演梗概集C・2構造IV pp.905-906
- [3] 岡本晴彦、村井和雄: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・接合面のせん断伝達に関する実験結果、建築学会1993年度大会学術講演梗概集C構造II pp.1063-1064