

# 報告 下面に打継面を有するプレキャスト部材の打継面せん断実験

石原利江子\*1・八木敏行\*2・飯塚正義\*3

要旨：上にプレキャストコンクリート、下に後打ちコンクリートとなる合成部材を開発するにあたり、打継面におけるせん断力伝達性状を確認するためS形の一面せん断実験を行った。その結果今回の実験の範囲で「①打継面のずれにより破壊するものについてはコッターと底面平滑部の付着が同時にせん断力を伝達する。②一般的に用いられる打継面せん断強度に打継面の向く方向ごとにある係数を乗じることにより、実験値に比較的近似した打継面せん断強度が得られる。③打継面ずれ破壊の試験体について打継面が一体性を保つ範囲は打継面せん断強度の約 0.75 倍程度である。」ことがわかった。

キーワード：プレキャストコンクリート、面内せん断力、付着力、コッター

## 1. はじめに

近年、施工の合理化、省力化を図るため部材のプレキャスト(以下、PCa)化がすすめられている。PCa部材を組み立てる場合一般的に、PCa部材の上に後打ちコンクリートを打設して一体化する方法がとられている。PCa部材と後打ちコンクリートとの打継面におけるせん断抵抗は過去の多数の実験結果から、打継面の形状に応じた平均付着せん断応力度が求められている[1]。しかし一般と逆に後打ちコンクリートが硬化する前にその上にPCa部材を埋め込んで一

体化させる場合に生じる打継面、つまり図-1のように上にPCa、下に後打ちコンクリートとなる打継面においては、いくつか異なる状況が考えられる。例えば後打ちコンクリート上面に気泡やレイタンスがたまりやすく、打継面に欠陥が生じる可能性がある。そして一般的な場合後打ちコンクリートの打ち込み荷重がコンクリートの一体化に寄与すると考えられるが、このように上下が反転した場合上PCa部材の支圧力以外は期待できない。また後打ちコンクリート硬化後のコンクリート収縮により上PCa部材との間に隙間が生じる可能性もある。以上の影響を確認するため、筆者らは上にPCa、下に後打ちコンクリートとなる場合の打継面でのせん断力伝達性状を把握することを目的としたS形の一面せん断実験を行った。本報は、実験の概要と得られた結果より打継面せん断強度評価の検討を試みたものである。なお今回の実験は、筆者らが開発途上にある床スラブ工法において図-2に示すようなPCaワッフルスラブを未硬化の平板コンクリート上に載置

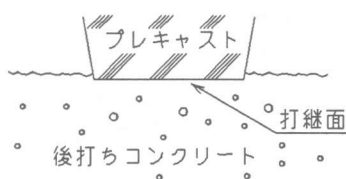


図-1 一般と逆の打継面

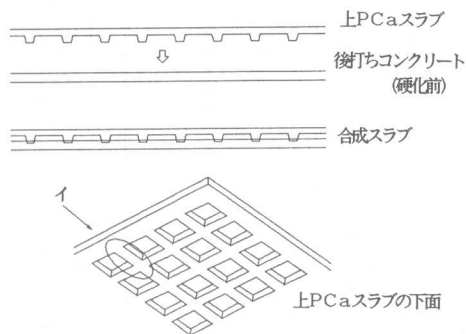


図-2 合成スラブの構成

\*1,\*2,\*3 不動産建設(株)技術開発本部建築技術開発部 (正会員)

し中空合成スラブを製作する場合に、図-2のイの方向のせん断力に対して打継面となるリブ先での応力伝達に上記のような疑問が生じたため実施した。

## 2. 実験概要

### 2-1 試験体

試験体は打継面を含むリブを取り出した I 形の形状をしている。試験体の外形を図-3に示す。試験体は横倒しに設置し、両側にモルタルを塗りPC鋼棒を通して加力用 L 形コンクリートブロックを圧着し図-5に太線で示す S 形の試験体とした。

実験変数は打継面の形状、埋込み深さ、水平打継面コンクリートの付着の有無とし、試験体数は同一の条件で 3 体ずつ、合計 42 体である。試験体一覧を表-1に、打継面形状を図-4に示す。

試験体はまず上PCa部分を作成し、次に下後打ち部分のコンクリート打設後硬化前に上PCa部分を上から押し込んで一体化し製作した。Bシリーズの上PCa部には、あらかじめコンクリート付着を切る面にグリースを塗布しておいた。Dシリーズは 2 組の U 字形の鉄筋を 50mm 間隔で配置した。

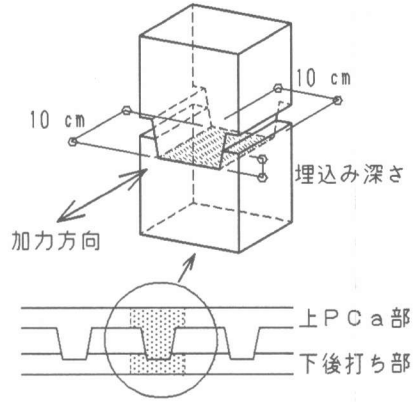


図-3 試験体の外形

表-1 試験体一覧

試験体名	試験体数	打継面形状	埋込み深さ	打継面付着
N-00-A	3	一体打ち		
F-05-A	3	平滑	5 mm	あり
F-10-A	3		10 mm	
F-20-A	3		20 mm	
C1-10-A	3	コッター	10 mm	なし
C1-10-B	3	1		
C2-10-A	3	コッター		あり
C2-10-B	3	2		なし
C3-10-A	3	コッター		あり
C3-10-B	3	3		なし
C4-10-A	3	コッター		あり
C4-10-B	3	4		なし
D-10-A	3	ダボ筋		あり
D-10-B	3			なし

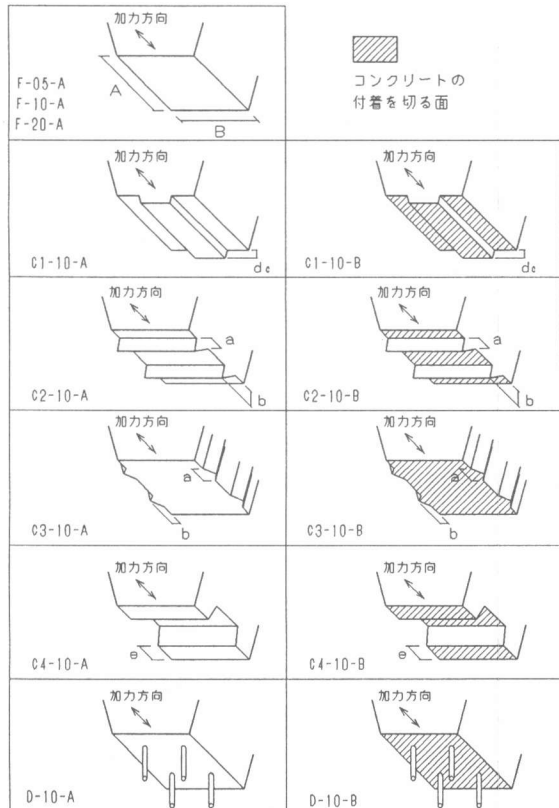


図-4 打継面形状

## 2-2 使用材料

使用した材料の性質を表-2に示す。なお、コンクリートの性質は実験開始時と実験終了時の平均値とした。

コンクリート			鉄筋				
部位	圧縮強度 kgf/cm <sup>2</sup>	割裂強度 kgf/cm <sup>2</sup>	呼び名	種別	降伏点強度 kgf/cm <sup>2</sup>	引張強度 kgf/cm <sup>2</sup>	伸び率 %
上P C a*	270	26.9	D10	SD295A	3544	4910	28.8
下後打ち	327	27.4	Fc= 300 kgf/cm <sup>2</sup> * 一体打ち試験体を含む MS= 15 mm				

## 2-3 加力方法

加力フレームを図-5に示す。油圧ジャッキにより試験体の打継面にせん断力を与え、単調一方向加力を行った。加力は荷重が低下した時点で終了した。加力用ブロックの圧着時や荷重の載荷時に摩擦力が抵抗しないように、試験体の裏面と試験体載置用定板の間にはボールベアリングをはさみこんだ。

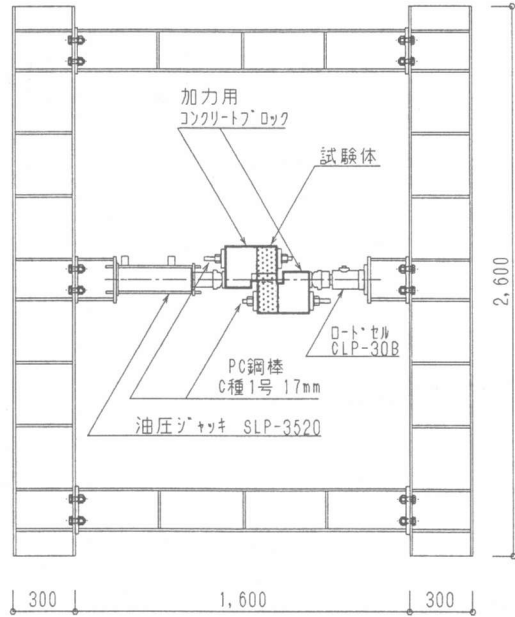


図-5 加力フレーム

## 3. 実験結果

### 3-1 せん断強度

最大荷重時の見掛のせん断強度 $\tau_e$ のシリーズごとの関係を図-6に示す。 $\tau_e$ は最大荷重を打継面水平投影面積で除した値である。なお、試験体取扱い上の手違いから6体の試験体は加力ができなかったため、実際に加力できた36体についてまとめている。

埋込み深さについては、深さ10mm程度まで(F5, F10シリーズ)は明らかな違いが認められないが20mm(F20シリーズ)になると $\tau_e$ は上昇傾向になった。

コッターつきのCシリーズのうち打継面のずれにより破壊に至るC1, C2シリーズの場合、底面平滑部の付着を切ったBシリーズは付着のあるAシリーズよりも $\tau_e$ が小さくなった。このような破壊形式の場合はコッターと底面平滑部の付着は同時にせん断力を伝達していることがわかる。これに対しパンチング破壊をするC3, C4シリーズの場合はAシリーズとBシリーズの間に明確な $\tau_e$ の違いは認められず、耐力の底面平滑部の付着の寄与分は把握できなかった。

なお、一体打ちのNシリーズの $\tau_e$ の平均値は35.7 kgf/cm<sup>2</sup>だった。また、ダボ筋のDシリーズは試験区間外で破

壊したため打継面位置の強度は得られなかったが $\tau_e$ (Aシリーズ平均36.4 kgf/cm<sup>2</sup>)以上といえる。

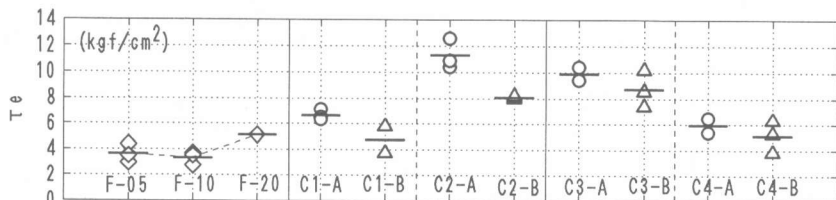
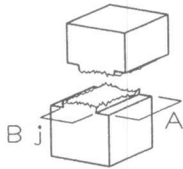


図-6 見掛のせん断強度 $\tau_e$

打継面せん断強度の実験値と計算値の比較を表-3に示す。ここで各試験体の破壊形式の説明は図-7、図-8に示す。



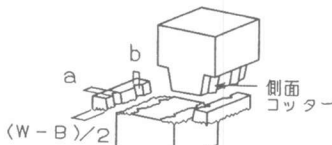
破壊形式1 リブコンクリートのせん断破壊  
 $Qc1 = \tau_1 \cdot A \cdot Bj$  (1)



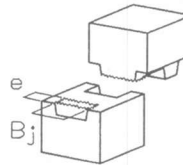
破壊形式2 打継面水平ずれ破壊  
 $Qc2 = \alpha_1 \cdot \tau_2 \cdot A \cdot B + \alpha_2 \cdot \tau_2 \cdot 2 \cdot A \cdot (d+dc)$  (2)



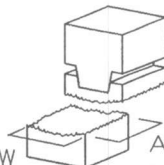
破壊形式3 底面コッターのすべり破壊  
 $Qc3 = (\alpha_3 \cdot \tau_2 / \cos 45^\circ) \cdot n \cdot (b / \sin 45^\circ) \cdot B + \alpha_1 \cdot \tau_2 \cdot (A - n \cdot a) \cdot B + \alpha_2 \cdot \tau_2 \cdot 2 \cdot A \cdot d$  (3)



破壊形式4 側面コッターによるパンチング破壊  
 $Qc4 = (\tau_1 / \cos 45^\circ) \cdot n \cdot \{ a \cdot (W - B) / 2 - a \cdot b / 2 \}$  (4)



破壊形式5 コッターのパンチング破壊  
 $Qc5 = \tau_1 \cdot e \cdot Bj$  (5)

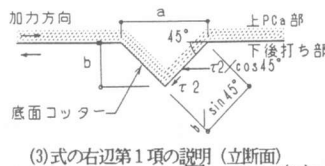


破壊形式6 下PCaコンクリートのせん断破壊  
 $Qc6 = \tau_1 \cdot A \cdot W$  (6)

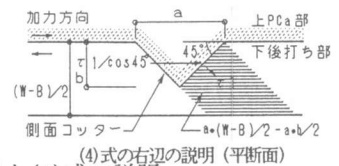
図-7 破壊形式の説明

表-3 打継面せん断強度実験値と計算値の比較

試験体名	破壊形式	最大実重値 $Q_{ef}$	見掛せん断強度 $\tau_e$ kgf/cm <sup>2</sup>	比 $\frac{\tau_e}{\tau_{e0}}$	修正用打継面せん断強度影響係数			せん断強度計算値 $\tau_c$ kgf/cm <sup>2</sup>	比 $\frac{\tau_e}{\tau_c}$
					$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$		
N-00-A	1	2.75	25.6	0.95	-	-	-	27.0	0.95
	2	4.70	43.0	1.59				27.0	1.59
	3	4.10	38.6	1.43				27.0	1.43
F-05-A	1	0.44	4.40	0.29	0.1	0.7	-	2.50	1.76
	2	0.31	2.97	0.20				2.49	1.19
	3	0.37	3.52	0.23				2.67	1.32
F-10-A	1	0.39	3.71	0.25	0.1	0.7	-	3.71	1.00
	2	0.29	2.76	0.18				3.52	0.78
	3	0.37	3.52	0.23				3.33	1.06
F-20-A	1	-	-	-	0.1	0.7	-	-	-
	2	0.59	5.14	0.34				5.23	0.98
	3	-	-	-				-	-
C1-10-A	1	0.75	7.14	0.48	0.1	0.7	-	6.00	1.19
	2	0.68	6.57	0.44				6.18	1.06
	3	0.67	6.34	0.42				6.06	1.05
C1-10-B	1	0.39	3.73	0.25	0.0	0.7	-	4.40	0.85
	2	-	-	-				4.29	1.35
	3	0.61	5.81	0.39				-	-
C2-10-A	1	1.29	12.6	0.84	0.1	0.7	1.25	9.85	1.28
	2	1.06	10.4	0.69				10.1	1.03
	3	1.13	10.9	0.73				10.3	1.06
C2-10-B	1	0.83	7.98	0.53	0.0	0.7	1.25	9.23	0.86
	2	0.85	8.10	0.54				8.95	0.91
	3	0.87	8.20	0.55				8.86	0.93
C3-10-A	1	1.01	9.39	0.35	-	-	-	7.71	1.22
	2	-	-	-				8.17	1.27
	3	1.08	10.4	0.39				-	-
C3-10-B	1	0.79	7.41	0.27	-	-	-	7.97	0.93
	2	1.07	10.2	0.38				8.13	1.25
	3	0.91	8.58	0.32				8.01	1.07
C4-10-A	1	0.58	5.39	0.20	-	-	-	6.60	0.82
	2	-	-	-				6.70	0.97
	3	0.66	6.50	0.24				-	-
C4-10-B	1	0.39	3.84	0.14	-	-	-	6.80	0.56
	2	0.64	6.31	0.23				6.80	0.93
	3	0.54	5.27	0.20				6.73	0.78
D-10-A	1	>3.78	>35.8		記号 W: 試験体全幅 W=16 cm A: 打継長さ cm B: リブ先端幅 B=10 cm Bj: 打継幅 cm a: コッター根元幅 a=2 cm d: リブ埋込み深さ cm b: コッター高さ b=1 cm dc: 二段リブ状コッター高さ (C1シリーズ) dc=1 cm (Fシリーズ) dc=0 cm e: リブ有効埋め込み長さ e=2.5cm n: コッター数 (C2シリーズ) n=2 (C3シリーズ) n=4 $\tau_{e0}$ : 一般的なせん断強度 (F, C1, C2シリーズ) $\tau_{e0} = \tau_2$ (その他) $\tau_{e0} = \tau_1$ $\tau_1$ : 一体のコンクリートのせん断強度 $\tau_1 = 0.1 \cdot \sigma_B$ kgf/cm <sup>2</sup> [2] $\tau_2$ : なめらかな状態の打継面のせん断強度 $\tau_2 = 15$ kgf/cm <sup>2</sup> [3] $\sigma_B$ : コンクリート圧縮強度 kgf/cm <sup>2</sup> $\tau_c = Q_c / (A \cdot B_j)$				
	2	>4.09	>39.0						
	3	>3.65	>34.4						
D-10-B	1	-	-						
	2	>2.71	>25.9						
	3	>2.31	>21.9						



(3)式の右辺第1項の説明(立断面)



(4)式の右辺の説明(平断面)

図-8 (3)式と(4)式の説明

$\tau_1$ は文献[2]に示された一体のコンクリートのせん断強度算定式であり $\sigma_B = 270 \sim 380 \text{ kgf/cm}^2$ では実験結果とよく対応している。 $\tau_2$ は文献[3]に示されたなめらかな状態の打継面のせん断強度の実験値  $20 \sim 15 \text{ kgf/cm}^2$ により定めた値である。破壊形式2と3は打継面のずれにより破壊に至るモードであるが、実験結果は $\tau_2 (= \tau_e)$ に適用していない。 $\tau_2$ は今回のような逆向きの合成の場合には数値が異なることが考えられる。そこで、打継面せん断強度を見掛(水平投影面積あたり)ではなく実際に生じる破壊面ごとに与えることにし、先に述べた埋込み深さの効果や底面平滑部の付着強度を考慮して(2)式、(3)式を設定した。式中 $\tau_2$ を修正する打継面せん断強度影響係数として3種類の係数を設けた。係数は水平面の場合を $\alpha_1$ 、側面の場合を $\alpha_2$ 、加力方向に対して角度をもつ場合を $\alpha_3$ とした。この係数は以下のようにして決めた。

まずC1-10-Bは水平面の付着がないので $\alpha_1 = 0$ とし、(2)式より $\alpha_2 = 0.7$ とした。続いて破壊形式2のその他の試験体に対してこの $\alpha_2$ を用いて $\alpha_1 = 0.1$ を導き、(3)式に $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ を代入して $\alpha_3 = 1.25$ を得た。以上から $Q_{c2}$ 、 $Q_{c3}$ を求めてせん断強度 $\tau_c$ を算出した。 $\tau_e$ と $\tau_c$ の関係を図-9に示す。これより実験値と計算値は概ね適応しているといえる。

破壊形式4と5についても実際の破壊面をもとに(4)式、(5)式より $\tau_c$ を計算し、一例(C4-10-B-1)を除いて比較的近い値を得た。C4-10-B-1は試験体の合成の際支圧を負担すべき位置にコンクリートが十分行きわたらず耐力が上がらなかったものと思われる。ただし、C3、C4シリーズは、試験体形状が変わると破壊形式が異なってくるため、打継面せん断強度の評価のためには再検討を要する。

破壊形式1では、実験値はほぼ計算値以上になったがばらつきが大きかった。

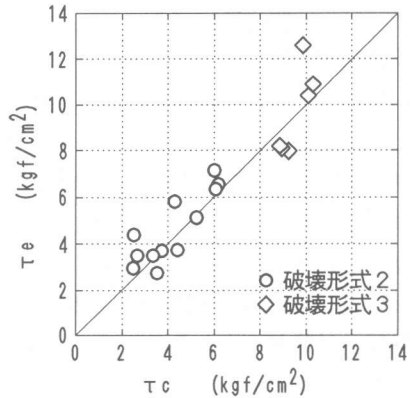


図-9 実験値と計算値の比較

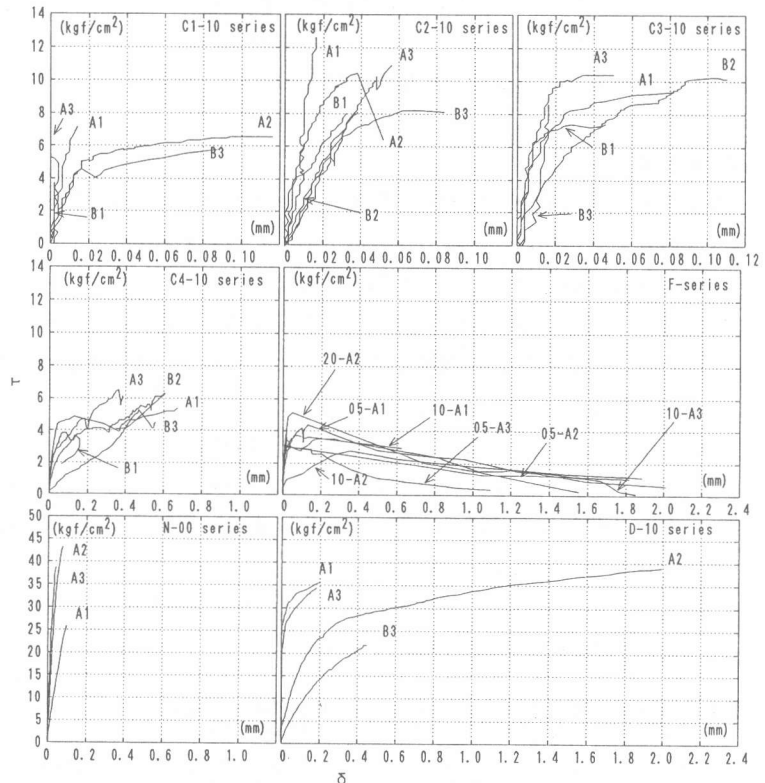


図-10  $\tau - \delta$  関係

### 3-2 $\tau - \delta$ 関係

見掛のせん断応力度  $\tau$  と打継面水平ずれ  $\delta$  の関係を図-10に示す。一体打ちのN-00シリーズは弾性的に  $\tau - \delta$  関係が進んだ後、脆性的に破壊した。これに対して、同じコンクリートのせん断破壊でもD-10シリーズはN-00シリーズとほぼ同様の剛性で応力度が上昇した後、大きく変形が進んで 0.2~2 mm程もこの応力度を維持しながら変形した。

底面平滑のFシリーズでは見掛のせん断強度  $\tau_e$  を迎えた後打継面にずれを生じたが、摩擦によりゆっくりと応力度が低下しながら大きく変形したものが多かった。

初期剛性を維持する範囲は、Fシリーズでは  $\tau_e$  に対して平均 0.84 倍、C1-10シリーズは 0.73倍、C2-10シリーズは 0.75倍程度であった。

### 3-3 鉄筋歪性状

D-10シリーズではダボ筋の打継面近傍に歪ゲージを貼付して鉄筋歪を測定している。見掛のせん断応力度  $\tau$  と鉄筋歪度  $\varepsilon_s$  の関係を図-11に示す。これより打継面に付着がある A1、A2、A3 はいずれも 3~6 kgf/cm<sup>2</sup> 程度から鉄筋が効き始めていることがわかる。これはちょうど Fシリーズの見掛のせん断強度のあたりであり、打継面の付着がこのころ切れて、応力が鉄筋に流れたことを示している。

D-10シリーズではいずれの試験体においてもダボ筋は降伏せず、300~500  $\mu$  (鉄筋の応力度  $\sigma_s = 630 \sim 1050$  kgf/cm<sup>2</sup>) 程度るとき、下後打ち部材の無筋コンクリート部分でせん断破壊して加力を終了している。

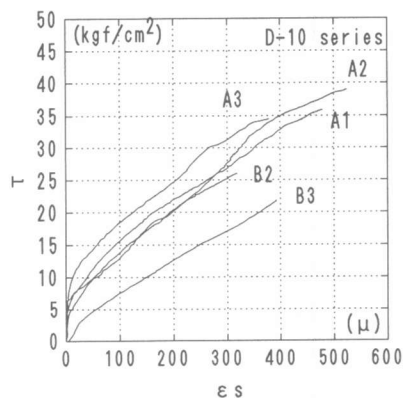


図-11  $\tau - \varepsilon_s$  関係

## 4 まとめ

以上より、今回実施した実験の範囲において上プレキャスト部材と下後打ちコンクリートとの打継面のせん断力伝達性状について以下のことがいえる。

- ①打継面の形状によって破壊形式は異なる。
- ②埋込み深さがある程度以上になると見掛の打継面せん断強度は上昇傾向になる。
- ③打継面のずれにより破壊するものについてはコッターと底面平滑部の付着が同時にせん断力を伝達しているといえる。
- ④上がP C aで下が後打ちコンクリートという合成方法の場合、打継面のせん断強度は一般の場合と異なった値をとることが考えられる。このとき、打継面の向く方向ごとに打継面せん断強度影響係数を設定することにより、実験値に比較的近似した見掛の打継面せん断強度が得られた。
- ⑤打継面のずれにより破壊するものについて、打継面が一体性を保つ範囲は打継面せん断強度のおおよそ 0.75 倍程度である。

【謝辞】 本実験の計画にあたっては大阪大学鈴木計夫教授ほか関係の皆様へ多くの助言を賜りました。また、実験実施にあたってはフドウ建研那須工場の皆様にご協力いただきました。ここに謝意を表します。

【参考文献】 [1] たとえば、プレストレストコンクリート技術協会：新しいPC技術とその展望、pp.27-56、1988.02。  
[2] 日本建築学会：高強度コンクリートの技術の現状、p.280、1991  
[3] 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.263-265、1987