

論文

[2103] コンクリート合成床板のシャーコッターのせん断強度に関する実験的研究

金 普漢<sup>\*1</sup>・鈴木計夫<sup>\*2</sup>・大野義照<sup>\*3</sup>・鳥居 洋<sup>\*4</sup>

1. まえがき

最近、施工の合理化をめざして、型枠兼用のプレキャスト（以下PCaと略記）コンクリート板を用いた各種の合成床板が普及している。この合成床板はPCa板上に後打ちコンクリートを打設し、両者が一体となって成り立つものである。その一体性を図るためPCa板の打継ぎ面上には各種のコッターが設けられているが、そのせん断強度については十分な資料が得られていない。コッターのある打継ぎ部の強度に関する式は建築学会式など[1],[2]があるが、これらはPCa鉛直接合部のものであり、コンクリート合成部材の打継ぎ部のせん断耐力についての研究は少ない[3]。

本研究では、コンクリート合成部材の打継ぎ部のせん断強度を調べる目的で、コッターの深さ、コッター断面積比、コッター支圧面積比、コッター角度およびコッターの寸法等を実験要因に1面せん断試験を行い、合成部材打継ぎ部のコッターの強度特性を調べるとともにコッターの強度算定式についても検討した。

2. 実験概要

2.1 試験体の形状と種類

試験体は図-1に示すような一面せん断型試験体である。試験体長さは44.8 cm, 幅20 cm, 厚さ20 cm, 打継ぎ部の面積は  $20 \times 20 = 400 \text{ cm}^2$  で、打継ぎ部のコッター深さ、コッター断面積比( $A_c/A_v$ )などを変化させた。

実験は実験I、II、の2つの実験からなり、表-1に実験要因と水準を示す。図-2には打継ぎ部の概要を示している。実験Iでは付着のある打継ぎ部におけるコッター深さ、コッター断面積、コッター支圧面積、コッター角度の影響を、実験IIでは付着がない打継ぎ部におけるコッターのみの特性について調べた。コッター角度は実際の現場におけるコッター製作の容易さを考慮して実験要因とした。なお、実験Iでは後打ちコンクリートのせん断強度を調べるため一体打の試験体も作成した。試験体総数は実験Iが51体、実験IIが39体で、同種のを

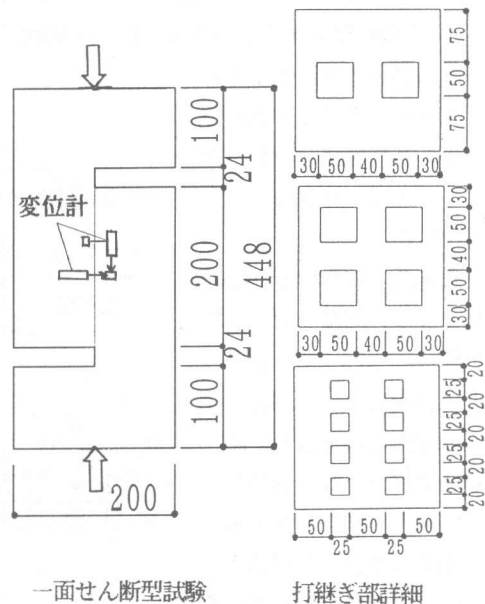


図-1 試験体の形状と寸法

- \* 1 大阪大学大学院 工学研究科建築工学専攻（正会員）
- \* 2 大阪大学教授 工学部建築工学科、工博（正会員）
- \* 3 大阪大学助教授 工学部建築工学科、工博（正会員）
- \* 4 東急建設（株） 建築設計部（正会員）

各3体作成した。

## 2.2 コンクリートの性質

実験Ⅰ、Ⅱは異なる時期に実施されたが、早強ポルトランドセメント、海砂、最大粒径20mmの碎石を用いた同じ調合のレディミクス

トコンクリートを使用した。コンクリートの調合を表-2に示す。せん断試験時のPCa部と後打ち部コンクリートの強度試験結果を表-3に示す。

## 2.3 試験体の製作及び載荷方法

PCa部のコッターの形状を正確に作成するために、PCa部は打継ぎ面がコッター型板を付けた底型枠合板に接するようにコンクリートを打設し、材齢3日で脱型後、後打コンクリート打設時(材齢7日)まで気中放置した。打継ぎ面は、合板型枠の表面状態がそのまま映された状態で、コッターの他には特に凹凸は設けられていない。実験Ⅰでは、PCa部の打継ぎ面はそのまま状態で、実験Ⅱでは、コッターのみの強度を調べるためにコッターを除く打継ぎ部には剥離剤(grease)を塗布して、後打コンクリートを打設した。

載荷は100TON万能試験機により、間接一面せん断試験法にて行った。変位は表裏2面について鉛直、水平方向を測定した。試験時のコンクリート材令は実験Ⅰではプレキャスト部は26日(後打ち部19日)、実験Ⅱでは同じく24日(17日)である。

## 3. 実験結果と考察

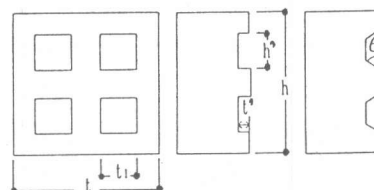
### 3.1 付着のある打継ぎ部のコッター特性(実験Ⅰ)

コッター角度が90°の場合のせん断強度について以下に述べる。

(1)コッター深さ( $t'$ )とコッター支圧面積比( $A_p/A_v$ ):図-3にコッター角度90°のコッター深さ(支圧面積比)とせん断強度との関係を示す。同図からせん断強度は打継ぎ部のコッター深

表-1 実験要因と水準

実験	実験要因	水準
I	コッター深さ( $t'$ )(mm)	0,4,6,8,10,12
	コッター数	2,4
	コッター角度( $\theta^\circ$ )	45°,60°,90°
II	コッター深さ( $t'$ )(mm)	4,6,8,10,12
	コッター数	2,4
	コッター寸法	50×50,25×25



打継ぎ部断面積( $A_v$ )= $h \times t$   
 コッター断面積( $A_c$ )= $h' \times t1 \times n$   
 コッター支圧面積( $A_p$ )= $t1 \times t' \times n$   
 コッター深さ: $t'$   
 コッター数: $n$   
 コッター角度: $\theta$

図-2 打継ぎ部概要

表-3 コンクリートの力学的性質

試験体 (部位)	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	割裂強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (10 <sup>5</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )
PCa部	実験Ⅰ	353	29.5
	実験Ⅱ	340	33.2
後打ち部	実験Ⅰ	270	25.9
	実験Ⅱ	233	26.8

表-2 コンクリート調合 unit : (kg/m<sup>3</sup>)

区分	水	セメント	細骨材	粗骨材	W/C(%)	S/A(%)
PCa部	191	367	755	957	52	45.2
後打ち部	190	297	814	957	64	47.1

さ（支圧面積比）の増加にしたがって大きくなる傾向が見られる。しかし、コッター深さ（支圧面積比）が4および6mm（0.01, 0.015）の場合のせん断強度は、コッターのない場合のせん断強度より小さくコッターの効果が見えていない。これは実験終了後の観察から、型枠合板の表面状態の差異によってこれらの試験体の打継ぎ面が他の試験体より若干平滑になったためであると考えられる。またコッター深さ（支圧面積比）を10mm(0.025)以上にしても打継ぎ部のせん断強度は増加しないのはコッター深さ（支圧面積比）が10mm(0.025)以上になるとコッターがせん断破壊したためである。なお、同図においてコッター深さ0mmはコッターがない試験体のせん断強度、コッター深さ∞は後打コンクリートの一体打試験体のせん断強度を示す。

(2)コッター断面積比( $A_c/A_v$ ): 図-4にコッター深さが8mmと10mmの場合のコッター断面積比( $A_c/A_v$ )とせん断強度との関係を示す。同図から打継ぎ部のコッター断面積比が0.125と0.25のせん断強度はほぼ同じである。

### 3.2 コッター角度が異なる場合のせん断強度

(1)コッター深さ( $t'$ )とコッター支圧面積比( $A_p/A_v$ ): 図-5にコッターの角度によって記号を変えてコッター深さ（支圧面積比）とせん断強度の関係を示す。いずれの角度のコッターもコッター深さ（支圧面積比）の増加にしたがってせん断強度は増加することが示されている。しかしコッター深さ（支圧面積比）が10mm(0.025)以上にしても打継ぎ部のせん断強度は増加しない。また、コッター深さ（支圧面積比）が8mm(0.02)より小さくなると打継ぎ部のせん断強度はコッター

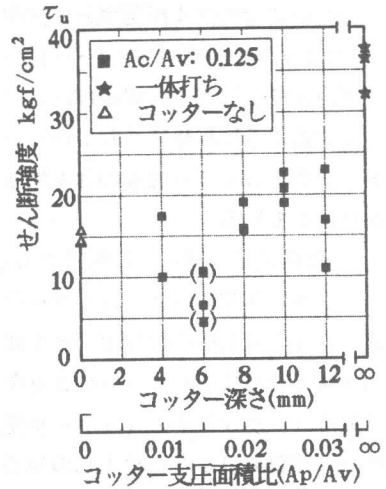


図-3 コッター深さ-せん断強度

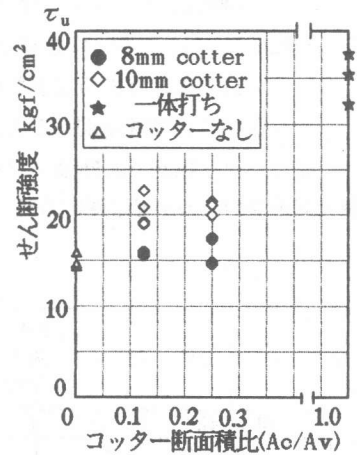


図-4 コッター断面積比-せん断強度

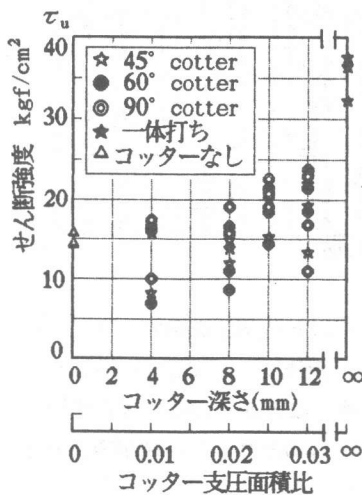


図-5 コッター深さ-せん断強度

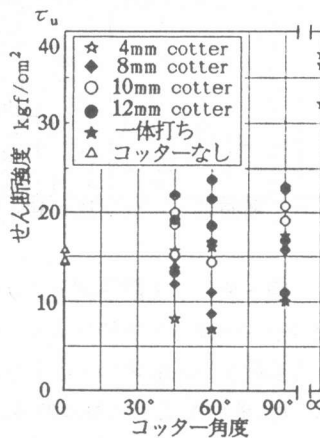


図-6 コッター角度-せん断強度

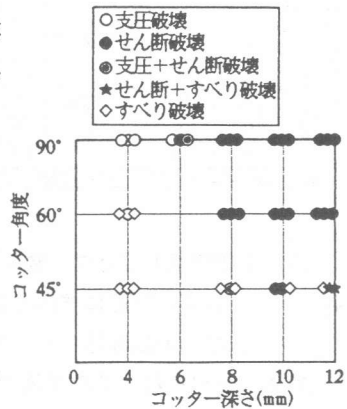


図-7 破壊モード

一のない場合のせん断強度とほぼ同じになる。

(2)コッター角度( $\theta$ ):図-6にコッター角度とせん断強度との関係を示す。イギリス規準(CP-110)ではコッターの角度を $60^\circ$ 以上にするようにが規定されているが、今回の実験ではばらつきはあるもののコッター角度のせん断強度に及ぼす影響は小さいことが示されている。

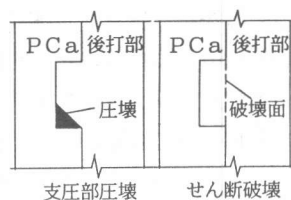


図-8 コッター破壊状態

(3)破壊性状:図-7に記号でもって破壊モードを示す。破壊モードから考察すると、コッターの深さによってコッター部の破壊をコッター支圧部の圧壊、せん断破壊に分けることができる(図-8参照)。コッター支圧部の圧壊は後打コンクリートのコッターの支圧部が支圧破壊されることで、コッターのせん断破壊は後打コンクリートのコッターが完全に荷重方向に切断分離されることであり、〔支圧+せん断〕破壊は複数のコッターが上記の破壊を同時に生じた場合である。図-7から大略次のようなことがいえる。4mmのコッターの場合はコッターが破壊されることなく最大荷重に達するかあるいは支圧破壊し、8mm以上のコッターは角度が $60^\circ$ 以上になるとせん断破壊した。破壊モードからはコッター角度 $60^\circ$ 以上、深さは8mm以上が望ましいと言える。

### 3.3 打ち継ぎ部の付着がないコッターの特性(実験II)

コッターのみの特性を調べるために打ち継ぎ部の付着をなくし、コッターの寸法、コッター深さおよびコッター数がせん断強度に及ぼす影響を調べた結果を表-4に示す。同表のせん断強度は最大荷重をコッター断面積で除したものである。

表-4 実験結果一覧表

NO	Ac	Av	Ac/Av	コッター深さ(mm)	試験体数	コッター寸法,数(mm)	最大せん断強度(kgf/cm <sup>2</sup> )				破壊* モード
							1	2	3	平均値	
1	50	400	0.125	4	3	50×50,2	17.5	20.6	22.6	20.2	P, P, P
2	〃	〃	〃	6	3	〃	33.4	43.6	37.8	38.2	PS, S, S
3	〃	〃	〃	8	3	〃	39	34.6	-	36.8	S, S, S
4	〃	〃	〃	10	3	〃	45.8	38.6	47.8	44	S, S, S
5	〃	〃	〃	12	3	〃	47.2	36.8	40.6	41.5	S, S, S
6	100	400	0.25	4	3	50×50,4	20.6	20.5	22.8	21.3	P, P, P
7	〃	〃	〃	6	3	〃	33.6	26.7	41.3	33.9	PS, PS, P
8	〃	〃	〃	8	3	〃	30.8	32.7	33.7	32.4	S, S, S
9	〃	〃	〃	10	3	〃	32.5	38.5	36.4	35.8	S, S, S
10	〃	〃	〃	12	3	〃	36	36.8	34.2	35.7	S, S, S
11	50	400	0.125	6	3	25×25,8	34.2	35.6	41	36.9	S, S, S
12	〃	〃	〃	8	3	〃	35	40.4	23	32.8	S, S, S
13	〃	〃	〃	10	3	〃	34.4	43.8	46.4	41.5	S, S, S

\*破壊モード:P:支圧破壊、S:せん断破壊、PS:(支圧+せん断)破壊

(1)せん断強度とコッター数(n):図-9にせん断強度とコッター数との関係を示す。コッター数が2および4の試験体すべてがコッター深さの増加によってせん断強度は増加している。またコッター数が4の試験体のせん断強度は2の試験体のものより小さいことが分かる。黒正の研究[4]でもコッター数が2の試験体のせん断強度は1のもの0.78~0.86とコッター数が増えるとせん断強度は低下することが報告されている。

(2)せん断強度とコッター寸法:図-10にコッター面積比が0.125の場合のせん断強度に及ぼ

すコッター寸法の影響を示す。コッター深さによっては寸法50×50×2個の方が25×25×8個よりせん断強度が若干高くなるが、コッター寸法のせん断強度の影響は小さい。

(3)破壊モードとコッター深さ：図-11にコンクリートの圧縮強度で除して無次元化したせん断強度とコッター深さとの関係を示し、また図中の記号で破壊モードを示している。○◇☆の記号はコッター数が2個、●◆★の記号はコッター数が4個である。コッターの寸法、コッター数にかかわらずコッター深さが4mmのコッターの場合、すべてのコッターの支圧部が圧壊して、コッター深さが8mm以上の場合は全試験体がせん断破壊した。また、図-11からコッター深さが10mm以上ではコッターのせん断強度はほぼ同じになることが分かる。これは破壊モードがせん断破壊になるとコッターのせん断強度はコンクリートのせん断強度で決まるからである。

図-12に各々のモードの破壊が生じた試験体の荷重-変位の関係を示す。いずれの破壊モードの場合も最大荷重に至るまでの変位は小さく、最大荷重後は急激に破壊した。

図-12に各々のモードの破壊が生じた試験体の荷重-変位の関係を示す。いずれの破壊モードの場合も最大荷重に至るまでの変位は小さく、最大荷重後は急激に破壊した。

(4)コッター強度の算定式：コッター数が4の試験体を基準として前掲の図-11からコッター深さとせん断強度との関係を求めると次のようになる。

$$4\text{mm} \leq \text{コッター深さ}(t') \leq 6\text{mm} : \tau_u/f_c = 0.027 t' - 0.027 \dots (1)$$

$$8\text{mm} \leq \text{コッター深さ}(t') \leq 12\text{mm} : \tau_u/f_c = 0.0036 t' + 0.113 \dots (2)$$

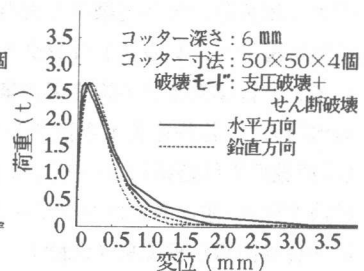
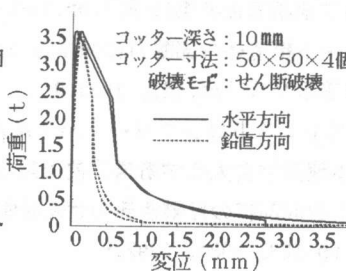
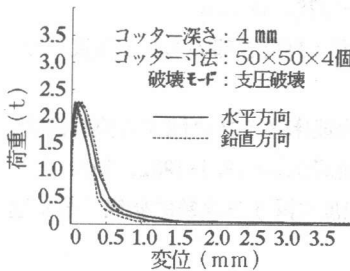


図-12 荷重-変位

一方、コッター深さに関係なく求めたコッターの強度と後打部コンクリート強度の関係を表-5に示す。同表には支圧部が圧壊した試験体は最大荷重時の支圧部応力 ( $\sigma = P/A_p, A_p$ : 図-2 参照)

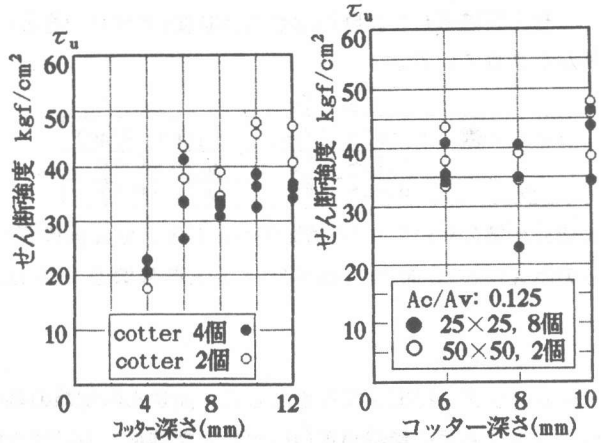


図-9 コッター数-せん断強度

図-10 コッター寸法-せん断強度

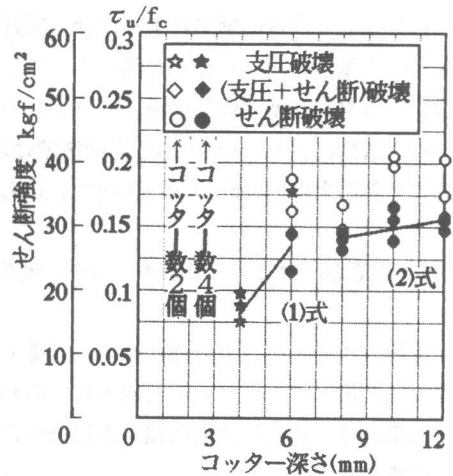


図-11 破壊モード-コッター深さ

を、せん断破壊した試験体はせん断強度( $\tau=P/Ac$ )を後打コンクリートの圧縮強度で除して求めた値が示されている。

表-5

コッター数	$\sigma/fc(\sigma=P/Ap)$	$\tau/fc(\tau=P/Ac)$
2	0.93~1.21	0.15~0.18
4	0.95~1.47	0.13~0.15

支圧部圧壊の場合、 $\sigma/fc$ は0.93~1.47で、せん断破壊の場合、 $\tau/fc$ は0.13~0.18である。松崎らの研究[5]の2面せん断の場合もせん断破壊の $\tau/fc$ は0.13~0.2で、ほぼ同じ値である。

#### 4. まとめ

合成スラブの打継ぎ部を想定した一面せん断試験の結果をまとめると次のようになる。

- (1) コッター面の傾斜角度( $\theta$ )がせん断強度に及ぼす影響は小さい(図-6)。ただし、コッター破壊モードをせん断破壊にするためには、コッター深さ8mm以上、傾斜角 $60^\circ$ 以上とする必要がある(図-7)。
- (2) コッター深さの増加によってせん断強度は増加する。しかし、深さが10mm以上になるとせん断強度の増加は小さくなる(図-11)。
- (3) コッター角度が $90^\circ$ の場合、コッター深さが6mm以下ではコッター支圧部の圧壊によって、8mm以上になるとコッターのせん断破壊によって耐力が決まった(図-11)。支圧部圧壊の場合の支圧部応力は $(0.93\sim 1.47)\times fc$ で、せん断破壊の場合のせん断強度は $(0.13\sim 0.18)\times fc$ であった。
- (4) 支圧部の圧壊による破壊もコッター部のせん断破壊と同様に急激な破壊性状を示した(図-12)。

**謝辞**：本研究は住友金属(株)、(株)鴻池組、フドウ建研(株)との共同研究(高強度鉄筋の有効利用・コンクリート合成床板への利用)の一環として行ったものである。また、実験は本学大学院生 若松達史君の協力を得たものである。

#### 参考文献

- 1) 壁式プレキャスト構造の鉛直接合部の挙動と設計法、日本建築学会、1989
- 2) 松井克俊：コンクリート合成構造の打継ぎ面のせん断耐力の実験的研究、日本建築学会近畿支部研究報告集、pp.17-20, 1990.5
- 3) 松崎育弘、他4名：合成床板(PICOS)の構造性能に関する実験的研究、その2シャーコッターのせん断実験、日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)、pp.1975-1976, 1983.9
- 4) 黒正清治：プレキャストコンクリート構造接合部耐力に関する研究(打継ぎ部の形状と強度について)、日本建築学会論文報告集第89号、pp.141, 1963.9
- 5) 松崎育弘、若井達夫：空洞プレストレストコンクリートパネル合成床スラブに関する実験研究(短期載荷実験結果について)、日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)、pp.1981-1982, 1983.9
- 6) 鈴木計夫、他3名：コンクリート合成部材の打継ぎ部のせん断強度に関する実験的研究、日本建築学会学術講演梗概集(北陸)、pp.1083-1084, 1992.8
- 7) 鈴木計夫、大野義照、他5名：高強度鉄筋を用いてプレストレスを導入した型枠兼用プレキャスト板に関する実験的研究(その2・合成スラブの持続載荷実験)、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)、pp.1047-1048, 1991.9