

論 文

[2020] PCスラブの押抜きせん断耐力に関する実験的研究

正会員 石橋忠良 (J R 東日本 東北工事事務所)
 正会員 ○佐藤春雄 (J R 東日本 東北工事事務所)
 正会員 大庭光商 (J R 東日本 東北工事事務所)

1. まえがき

PC部材のせん断破壊機構は曲げ破壊とくらべると非常に複雑であり、特にPCスラブの押抜きせん断に関してはいまだ不明の点が多いのが実情である。

今回、PCスラブの押抜きせん断耐力について供試体の載荷実験を行なったので、PCスラブの破壊状況ならびに破壊耐力について報告する。

2. 実験概要

供試体の鋼材配置図を図-1に示す。実験は表-1に示す2シリーズ 9種類(Aシリーズ6体、Bシリーズ3体)のコンクリート供試体について実施した。

Aシリーズの供試体の大きさは165cm × 165cm × 20cmである。鉄筋は熱間圧延異径棒鋼SD35(D13又はD19)を10cm間隔に配置した。プレストレス力はPC鋼棒(B種SBPR95/120径17mm)を用いて、それぞれコンクリートの軸方向圧縮応力度が10kg/cm²、20kg/cm²、40kg/cm²となるように3種類のプレストレス力を導入した。

Bシリーズの供試体の大きさは115cm × 115cm × 15cmである。鉄筋はD10を用い、プレストレス力はAシリーズと同じとした。全供試体ともPC鋼材は緊張後モル

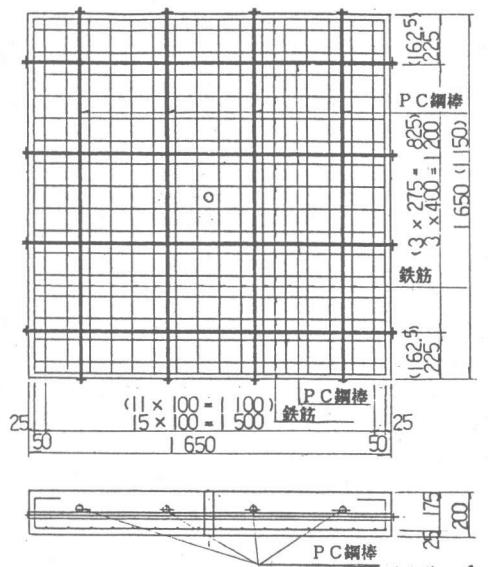


図-1 供試体の鋼材配置 (Aシリーズ)

(Bシリーズ)

表-1 供試体のスラブの諸元

供試体	辺長 (cm・cm)	厚さ h (cm)	スパン l (cm)	有効長 d (cm)	鉄筋径-間隔 (mm)	鉄筋比 p (%)	プレストレス力 (kg/cm ²)	
A	A-1	165×165	20	150×150	16.2	D13-10.0	0.782	10
	A-2	"	"	"	16.2	D13-10.0	0.782	20
	A-3	"	"	"	16.2	D13-10.0	0.782	40
	A-4	"	"	"	15.6	D19-10.0	1.837	10
	A-5	"	"	"	15.6	D19-10.0	1.837	20
	A-6	"	"	"	15.6	D19-10.0	1.837	40
B	B-1	115×115	15	100×100	12.0	D10-10.0	0.594	10
	B-2	"	"	"	12.0	D10-10.0	0.594	20
	B-3	"	"	"	12.0	D10-10.0	0.594	40

注. 1) 有効高さ d は、2 方向の鉄筋の平均値を用いて計算した。

2) 鉄筋量とプレストレス力は、2 方向同じとした。

タルグラウトを注入した。

供試体に使用したコンクリートの配合を表-2に示す。セメントはいずれも

早強ポルトランドセメントを用いた。また表-3に鉄筋とPC鋼棒の材料試験結果を示す。

実験方法は図-2に示すようにPC鋼棒を供試体中央に貫通させ、反力ビームに定着したPC鋼棒をセンターホールジャッキで緊張し、破壊に至るまで荷重を加えた。荷重を伝える載荷板は、外径10cm、内径4cm、厚さ4.5cmの鋼製円板とし、支点部は感圧硬化ゴム板を敷いた単純支承とした。

測定項目は次の通りである。

1) 表面ひびわれ発生荷重及びひびわれ性状

2) 破壊荷重及び破壊性状
3. 試験結果及び考察
(1) 最大荷重 (P_{max})

実験で得られた最大荷重を表-3に示す。比較を容易にするため載荷時のコンクリートの圧縮強度を f_c とすると最大荷重は、 $(f_c)^{1/3}$ に比例するとし、 f_c を 400 kg/cm^2 に換算した値を P'_{max} としての

せである。(以下 P'_{max} を破壊荷重とよぶ)

(2) ひびわれ状況

ひびわれは表-4のように最大荷重の0.24~0.57倍の荷重でスラブ下面に発生した。図-3にひびわれ状況を示す。

表-2 コンクリートの配合

供試体	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m³)			
						W	C	G	S
Aシリーズ	25	8±2.5	4.5	35.5	36	152	428	1,146	611
Bシリーズ	20	8±2.5	2.0	34.8	36	147	421	1,104	641

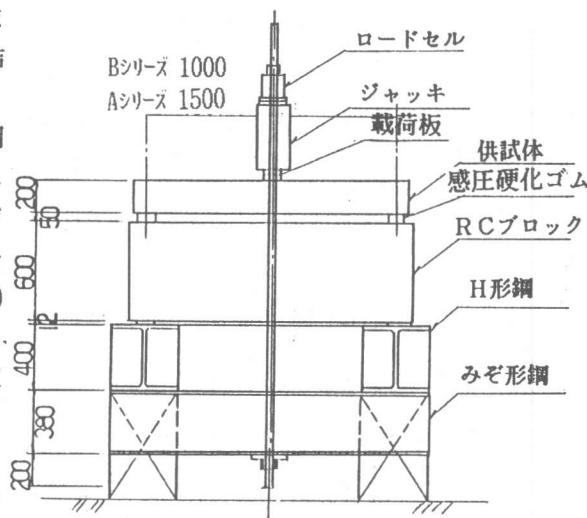


図-2 実験方法

表-3 鋼材の材料特性

規格	公称径 (mm)	降伏点 (kg/mm²)	引張強さ (kg/mm²)	伸び (%)
鉄筋	10	42.0	58.0	26
	13	41.0	59.0	25
	19	39.0	61.0	23
PC鋼棒	17	116.0	124.0	13

表-4 供試体の実験結果

供試体	鉄筋径 (mm)	プレストレス力 (kg/cm)	圧縮強度 f_c (kg/cm²)	最大荷重 P'_{max} (t)	破壊荷重 P''_{max} (t)	ひびわれ発生荷重 P_c (t)	P_c/P'_{max}
A-1	D13	10	456	59.0	56.5	25.0	0.42
A-2	D13	20	449	60.0	57.7	20.0	0.33
A-3	D13	40	441	65.0	62.9	25.0	0.38
A-4	D19	10	479	65.0	61.2	25.0	0.38
A-5	D19	20	456	63.5	61.0	15.0	0.24
A-6	D19	40	498	65.0	60.4	37.0	0.57
B-1	D10	10	512	37.7	34.7	12.4	0.33
B-2	D10	20	529	45.5	41.0	16.5	0.36
B-3	D10	40	536	45.3	40.9	17.7	0.39

注: P'_{max} の値は、破壊時の最大荷重 P_{max} をコンクリート強度 400 kg/cm^2 に換算した値である。換算式は、 $P'_{max} = (400/f_c)^{1/3} \times P_{max}$

ひびわれは最初に載荷板付近に生じ、荷重の増加とともにスラブ面中央より周辺に向かって放射状に発達した。これらの状況はAシリーズ、Bシリーズとも鉄筋量、プレストレスレス力による差にもかかわらず、いずれの供試体もほぼ同程度であった。

(3) 破壊状況

図-4の実線は破壊面と $(1/2) \times$ 有効高さの交点を結んだものである。(以下、実破壊線とよぶ。)スラブの破壊は載荷板付近の押抜きせん断破壊であり、破壊性状はどの供試体もほぼ同程度であった。

試験完了後の押し抜かれた円錐台状の部分の形状、スラブの破壊面の形状を図-5に示す。押し抜かれた円錐台状の部分を除去して破壊面のスラブ平面に対する傾斜角を測定すると、30度～50度にばらついており、特にプレストレスの大きさと破壊時の傾斜角との関係は明確とならなかつた。

(4) 破壊耐力について

(a) プレストレス力

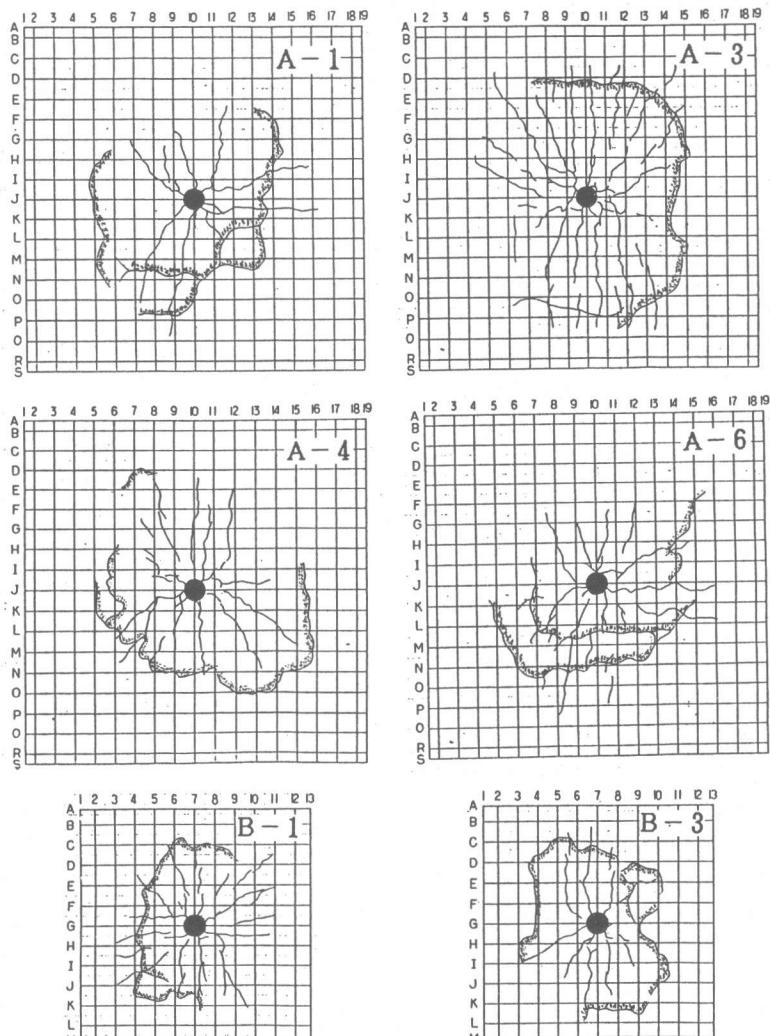


図-3 スラブ下面のひびわれ状況

● 載荷板

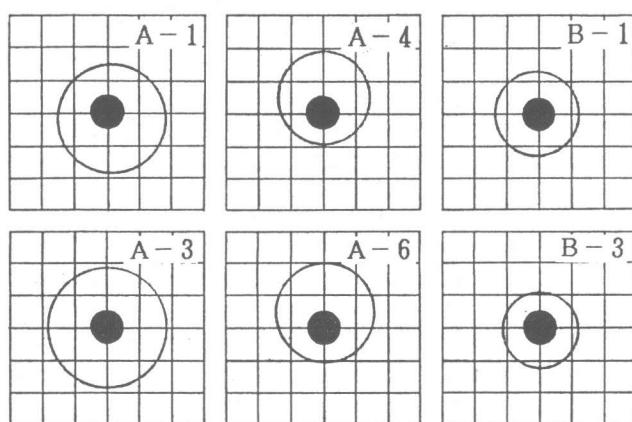
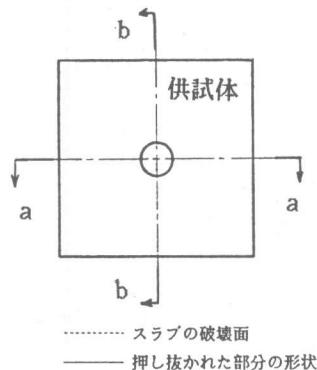


図-4 押抜きせん断による実破壊線

● 載荷板

のない場合の押抜きせん断耐力
文献^{1) 2)}によりプレストレス力が導入されていないRCスラブとしての押抜きせん断耐力 V_{cal} は、破壊線を各種仮定し、その仮想破壊線上の微小区間のせん断耐力 V_u を破壊線上に積分し求めた。検討断面を各種変化させた場合の最小値となる値を求め、載荷板の外半径 R と有効高さ d との比 (R/d) による補正を行って押抜きせん断耐力の計算値とした。微小区間のはりのせん断耐力を求める場合、次式のはりのせん断耐力の考え方を適用



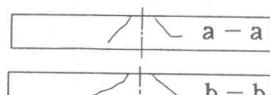
A-1



A-3



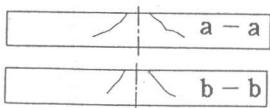
B-1



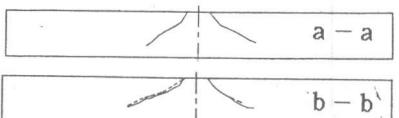
A-4



B-3



A-6



注：実線だけの部分は、押し抜かれた部分の形状とスラブの破壊面が同じ場合である。

図-5 スラブ破壊面の形状

した。¹⁾ はりのせん断耐力 V_u = 支点反力の影響を示すせん断

+ 載荷荷重の影響を示すせん断耐力 V_{us}

$$V_u(x) = V_{ur}(x) + V_{us}(a-x)$$

ここで

$$V_{ur}(x) = 0.47 \cdot f_c^{(1/3)} [0.75 + 1.4 d / (2x)] \cdot \beta_p \cdot \beta_d \cdot b_w \cdot d$$

ただし $(2x/d > 2.5)$

$$\text{または } = 1.79 \cdot f_c^{(1/3)} (2x/d)^{(-1.166)} \cdot \beta_p \cdot \beta_d \cdot b_w \cdot d$$

ただし $(2x/d \leq 2.5)$

$$V_{us}(a-x) = 0.47 \cdot f_c^{(1/3)} [0.75 + 1.4 d / 2(a-x)] \cdot \beta_p \cdot \beta_d \cdot b_w \cdot d$$

ただし $(2x/d > 2.5)$

$$\text{または } = 1.79 \cdot f_c^{(1/3)} (2(a-x)/d)^{(-1.166)} \cdot \beta_p \cdot \beta_d \cdot b_w \cdot d$$

ただし $(2x/d \leq 2.5)$

f_c : コンクリートの圧縮強度

$$\beta_d = (100/d)^{(1/4)}$$

a : 支点から検討断面までの距離

(d : 部材断面の有効高さ(cm))

x : 載荷点から検討断面までの距離

$$\beta_p : P_w^{(1/3)}$$

b_w : せん断耐力算定点の有効幅

$$(P_w: 軸方向引張鉄筋断面積 A_s)$$

の腹部断面積に対する比率)

鉄筋比 P_w は 2 方向の平均値を用いて計算した。

また、載荷板の外半径と有効高さの比 (R/d) による補正は、鉄筋コンクリートスラブの押抜きせん断耐力に関する研究¹⁾より次式により補正した。

$$K = 1 / (1.35 - 0.05R/d)$$

ただし $R/d < 10$

$$K = 1 / 0.8$$

ただし $R/d > 10$

この補正を行った結果を V_{cal} とし P'_{max}/V_{cal} を一緒に表-5 に示す。 P'_{max}/V_{cal} (PC スラブと RC スラブとの耐力比) は、1.29~1.85 となった。この耐力向上分がプレストレスの効果と考えることができる。

(b) プレストレス力の押抜きせん断耐力に与える影響

図-6 はプレストレス力のみを変化させ、他の条件をすべて同一とした供試体の破壊荷重 P'_{max} を比較したものである。図中に示しているプレストレス力 0 の値は、RC スラブの押抜きせん断耐力の計算値 V_{cal} の値である。

図-7 の各線で結んだ同一印のものは、プレストレス力のみを変化させ、他の条件をすべて同一とした供試体の P'_{max}/V_{cal} の値を比較したものである。

A シリーズではプレストレス力が 10 kg/cm^2 以上になると、耐力の増加があまりみられない。また、B シリーズではプレストレス力が 20 kg/cm^2 以上になると、耐力の増加がみられなかった。

このようにプレストレス力はスラブのせん断耐力の増加に影響を与えるが、プレストレス力を $10 \text{ kg/cm}^2 \sim 40 \text{ kg/cm}^2$ まで変化させ

表-5 プレストレス力の影響

供試体	鉄筋径 (mm)	プレストレス力 (kg/cm ²)	破壊荷重 P'_{max}	V_{cal}	$\frac{P'_{max}}{V_{cal}}$
A-1	D13	10	56.5	37.6	1.50
A-2	D13	20	57.7	37.6	1.54
A-3	D13	40	62.9	37.6	1.67
A-4	D19	10	61.2	47.0	1.30
A-5	D19	20	61.0	47.0	1.30
A-6	D19	40	60.4	47.0	1.29
B-1	D10	10	34.7	22.2	1.56
B-2	D10	20	41.0	22.2	1.85
B-3	D10	40	40.9	22.2	1.84

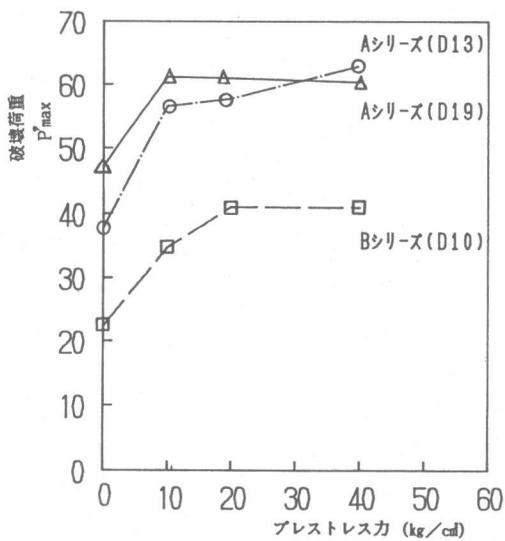


図-6 破壊荷重とプレストレス力

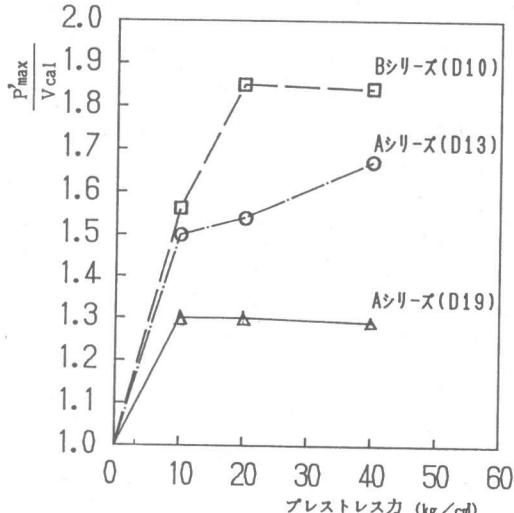


図-7 プレストレス力の影響

ても耐力にあまり影響がみられなく、 20 kg/cm^2 以上では押抜きせん断耐力の増加に余り寄与していない結果となった。また、これは従来の軸方向圧縮力（プレストレス力）を受けるはりのせん断耐力の実験^{3) 4)}等と同様の傾向を示している。

（c）鉄筋量の影響について

図-7の各線は、それぞれ鉄筋量の異なった線である。鉄筋量が少ないとプレストレス力による耐力増加の割合が大きく、鉄筋量が多いほどプレストレス力による耐力増加の割合の小さいことがわかる。

4. まとめ

軸方向圧縮応力度を 10 kg/cm^2 から 40 kg/cm^2 まで変化させたPCスラブの押抜きせん断耐力の実験より、次に示す知見が得られた。

- 1) 破壊形状、ひびわれ状況は、プレストレス力、鉄筋量にあまり影響されず、RCスラブの場合と似ている。
- 2) 破壊面の角度は、30度～50度にばらつき、プレストレス力の大きさによる傾向は明確でない。
- 3) プレストレス力はせん断耐力の増加に影響を与えるが、ある程度以上(10 kg/cm^2 ～ 20 kg/cm^2)の大きさになると、あまりせん耐力の増加に影響しない。
- 4) プレストレス力による押抜きせん断耐力の増加の程度は、スラブの鉄筋量の小さいものほど増加割合が大きい傾向にある。鉄筋量が増すにつれて押抜きせん断耐力に対するプレストレス力の効果は小さい。

参考文献

- 1) 石橋、齊藤；鉄筋コンクリートスラブの押抜きせん断耐力に関する一考察
第6回コンクリート工学会年次講演会論文集 1984年
- 2) 石橋、齊藤、丸山；多点集中荷重を受けるはりのせん断耐力に関する一考察
第7回コンクリート工学会年次講演会論文集 1985年
- 3) 佐藤、石橋、山下、高田；プレストレスコンクリートはりのせん断耐力と破壊性状
第9回コンクリート工学会年次講演会論文集 1987年
- 4) 山下、石橋；PC部材のせん断耐力
構造物設計試料 NO 8 7 1986年9月