

コンクリート合成床版の押抜きせん断強度に関する実験的研究

松 本 進
(受理 昭和55年 5月31日)

EXPERIMENTAL STUDY ON THE PUNCHING SHEAR CAPACITY OF CONCRETE COMPOSITE SLABS REINFORCED WITH PRECAST PC ELEMENTS.

Susumu Matsumoto

In a recent year numerous reinforced concrete slabs (RC Slabs) were failed by a punching shear. According to this fact, the standard code of concrete in J.S.C.E. has been revised. This paper treated the composite concrete slab reinforced with PC elements as one method of improvement of RC slab for punching failure. Based on the test results, the effects of the amount and direction of prestress, compressive strength of concrete and the amount of reinforcements were clarified to a certain degree.

1. 緒 言

近年、鉄筋コンクリート床版の破損事故が数多く発生しており、このため鉄筋コンクリート床版の設計方法が大幅に改められた。改定された主な点は床版厚を大きくすることおよび使用鋼材量を増やすことであり、このことは自重を増大させ、さらには建設コストを増大させることにもなる。本研究ではこの様な床版事故に対処する一つの方法として、型枠兼用プレキャスト PC 部材と場所打コンクリートの合成床版（合成床版と略す）を取上げ、従来の鉄筋コンクリート床版（RC 床版と略す）に対して、力学性状および耐久性状を改善しようとするものである。本論文では特に押抜きせん断強度の点から合成床版の力学性状を詳細に検討したものである。なお、比較検討のためプレストレストコンクリート床版（PC 床版と略す）をも取上げた。

従来、押抜きせん断強度に関する研究は RC 床版の分野においては数多くなされてきて、それぞれに極めて良好なる成果が収められている⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾。しかしながら、PC 床版に関する研究は極めて数が少く、また合成床版については皆無の状況である³⁾。本研究ではこの様な事情に鑑みて、PC 床版および合成床版の押抜きせん断強度に及ぼす影響要因として、プレストレス量プレストレスの導入方向、使用鋼材の比率および使

用コンクリートの圧縮強度を取上げ、基礎的な押抜きせん断性状を解明しようとするものである。

2. 実験供試体および実験方法

図1は実験に使用した床版を示したもので、PC 床版と合成床版の2種類である。PC 床版は断面 40×

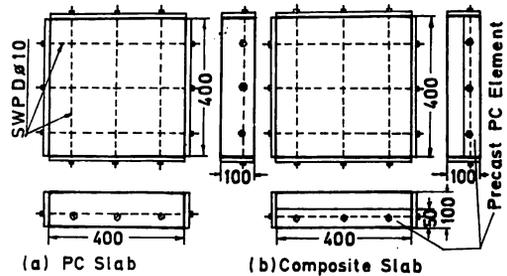


図1 実験供試体

40cm、高さ 10.0cm の正方形版であり、合成床版は断面が 40×40cm、高さが 5.0cm あるいは 7.5cm のプレキャスト PC 版の上に場所打コンクリートを打ちたして、合成後の高さが 10.0cm となるようにしたものである。なお、図中合成床版のプレキャスト PC 版の高さは 5.0cm のものだけを示した。プレストレス量が押抜きせん断強度に及ぼす影響をみるために、PC 床版および合成床版ともに断面に一樣に作用するプレ

表1 実験要因

要因	P C 床版	合成床版
プレストレス量	0, 15, 30, 50 (kg/cm ²)	15, 30, 50 (kg/cm ²)
プレストレスの方向	1方向, 2方向	1方向, 2方向
鋼材比	0.52, 0.78, 1.04, 1.55, 2.33(%)	0.78(%)
プレキャスト版厚		5.0, 7.5 (cm)
コンクリートの圧縮強度	128, 270, 337 (kg/cm ²)	305, 270, 315, 317 (kg/cm ²)

表2 使用したコンクリートの配合および強度

コンクリートの種類	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	水セメント比 w/c (%)	細骨材率 s/a (%)	空気量 (%)	単位重量 (kg/m ³)				コンクリートの圧縮強度 (kg/cm ²)	備考
						セメント C	水 W	細骨材 S	粗骨材 G		
I	20	6.5	45	43.6	2	500	225	660	881	305	材令3日
II	20	18.0	50	44.8	2	442	221	704	895	270	材令7日
	20	20.0	65	46.0	2	350	228	748	906	128	材令4日
	20	20.0	55	46.0	2	442	243	697	895	305	材令7~11日

注：Iは合成床版の場所打コンクリートを示し、IIは合成床版のプレキャストコンクリートおよびPC床版のコンクリートを示す。

ストレス量として、0, 15kg/cm², 30kg/cm², 50kg/cm²の4種類に変化させた。さらに、プレストレスの導入方向の影響を調べるために、一方向にプレストレスを導入したものおよび二方向にプレストレスを導入したものの2種類で検討を行った。さらに、PC鋼材の使用比率の影響をみるために、その比率を0.52%, 0.78%, 1.04%, 1.55%, 2.33%の5種類にして詳細に検討した。また使用コンクリートの圧縮強度が押抜きせん断強度に及ぼす影響を検討するために、その強度を128kg/cm², 270kg/cm² および 337kg/cm² の3種類に変化させた。上記したそれぞれの実験の要因を表1にまとめて示す。

上記のPC床版および合成床版に使用したプレキャストPC版に使用したPC鋼材は製作上の都合および断面内に様なプレストレス分布を得るために鋼材とコンクリートの付着を断ってポンドレスとし、プレストレスの導入方法はポストテンション方式で行った。なお、鋼材の定着は端部に鋼材を介してナットで定着した。

使用したPC鋼材はSWPDφ10mmで、降伏点応力度が12,000kg/cm²程度のものである。また、使用したコンクリートは種類としては4種類であって、コンクリートの圧縮強度が異なる様にしたもので、示方配合および強度を表2に一括して示す。

図2は実験方法を示したものであって、支持条件は四辺単純支持とし、試験は版の中央部分(図中斜線部)

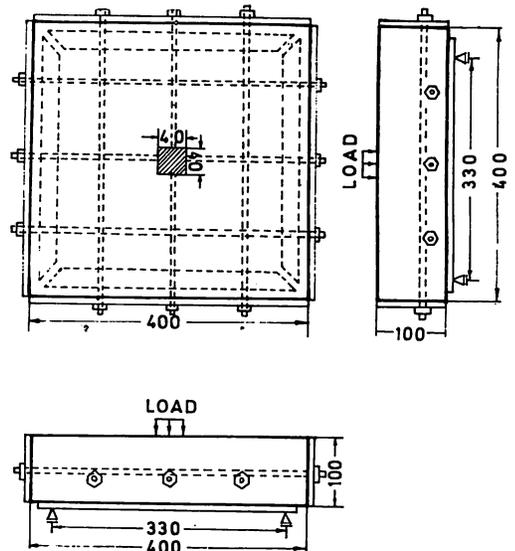


図2 実験方法

を断面が4.0×4.0cm、高さ8.0cmの鋼柱で押抜いた。なお、この場合床版スパンは33cmとなった。

3. 実験結果および考察

実験に使用した床版の枚数は全部で18枚であり、これらの実験の要因ならびに実験結果を表3にまとめて示す。なお、表中押抜き荷重は最大耐力を示し、押抜

き角度は図3に示す様に押抜き破壊線が水平となす角度(θ)を2方向について平均した値を示したものである。

表3 実験結果総一覧

床版の種類	供試体 NO.	供試体与えた条件			実測結果			
		プレストレス量 (kg/cm ²)	鋼材比 (%)	圧縮強度 (kg/cm ²)	プレキャスト版厚 (mm)	押抜き角度 (°)	押抜き重 (t)	
P C 床 版	1	0	0.78	270	—	30.3	9.20	
	2	30	0.78	270	—	28.8	13.80	
	3	0	1.55	270	—	17.8	10.90	
	4	0	2.33	270	—	18.0	12.50	
	5	50	0.78	270	—	31.3	15.75	
	6	30	0.78	270	—	29.0	11.55	
	7	15	0.78	270	—	29.0	11.75	
	11	30	0.52	299	—	33.3	13.20	
	12	30	1.03	299	—	33.3	15.10	
	13	30	0.78	128	—	39.5	9.50	
	14	30	0.78	337	—	34.5	15.00	
	15	30	—*	299	—	36.3	11.00	
	合 成 床 版	8	15	0.78	305/270	5	23.0	9.30
		9	30	0.78	305/270	5	29.9	9.80
		10	30	0.78	305/270	5	27.8	9.70
16		30	0.78	315/317	7.5	32.8	15.50	
17		50	0.78	315/317	7.5	29.0	17.20	
18		50	0.78	315/317	7.5	32.0	14.80	

* 一方には0.78%鋼材を配置し、他方向には鋼材を配置していない。

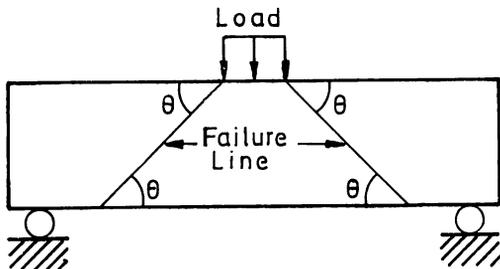


図3 押抜き角度(θ)

3.1 プレストレスの影響

図4はプレストレス量が押抜きせん断耐力に及ぼす影響を検討したもので、鋼材比0.78%およびプレストレスの導入は2方向の一定の条件下でのPC床版と合成床版のそれぞれの場合について示したものである。なお、合成床版についてはプレキャストPC版の厚みが50mmの場合と75mmの場合について示した。まづ、PC床版についてみると、プレストレス量の増大

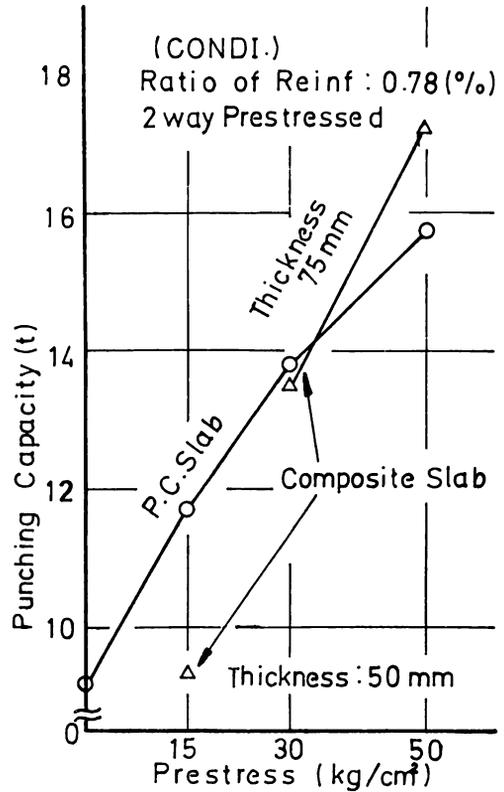


図4 プレストレスの影響

につれて押抜きせん断耐力も増大してゆく傾向が認められる。

さらに、プレストレス量が50kg/cm²の場合は表3で示した押抜き角度は31.3°程度であって、これはプレストレス量が15kg/cm²および30kg/cm²のそれら(28.8°~29.0°)に比べて、若干大きく、破壊の形式も若干異なったものとなった。従って、押抜きせん断耐力とプレストレス量の関係は上記の事実を考え合せれば、ほぼ直線な関係が得られるものと考えられる。

次に、合成床版の場合についてはプレキャスト版の厚みが75mmの場合については、PC版と同様にプレストレス量の増大につれて、押抜きせん断耐力も増大する傾向が認められる。さらに、この場合プレキャストPC版の使用比率は75%程度であって、この程度の使用比率であれば、PC床版とはほぼ同様の効果が得られるものと考えられる。

3.2 プレストレスの導入方向の影響

図5は鋼材比が0.78%と一定としたときのプレストレスの導入方向の影響を、合成床版(厚み75mm, プ

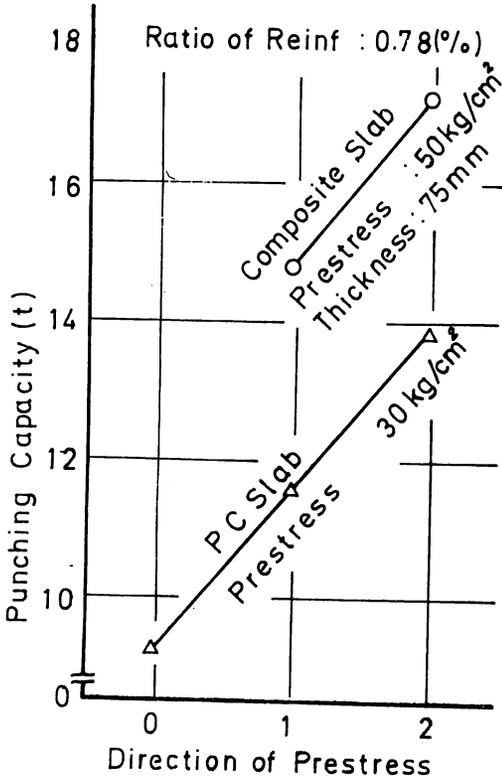


図5 プレストレスの導入方向の影響

レストレス量 50kg/cm² と PC 床版 (プレストレス量 30kg/cm²) の場合について示したものである。まづ、PC 床版の場合をみると、プレストレスを導入しない 0 の場合に比べて、プレストレスを一方方向だけでも導入してやれば、押抜きせん断耐力は増加し、さらに二方向にプレストレスを導入してやれば、さらに押抜きせん断耐力は増大することが認められる。この場合一方方向に導入したプレストレスの効果は導入しない場合に対して、2.35t の押抜きせん断耐力の増大が期待でき、さらに 2 方向に導入したプレストレスの効果は一方方向の場合のほぼ 2 倍の 4.60t の押抜きせん断耐力の増大が期待できることが明らかとなった。同様に、合成床版の場合についても検討してみると PC 床版とはほぼ同様の結果が得られる。さらに、合成床版の場合と PC 床版の場合の両者ともにプレストレス導入方向の効果 (図 5 中では両者の傾き) はほぼ同一であることが認められる。

3.3 コンクリートの圧縮強度の影響

図 6 は導入したプレストレス 30kg/cm²、プレストレ

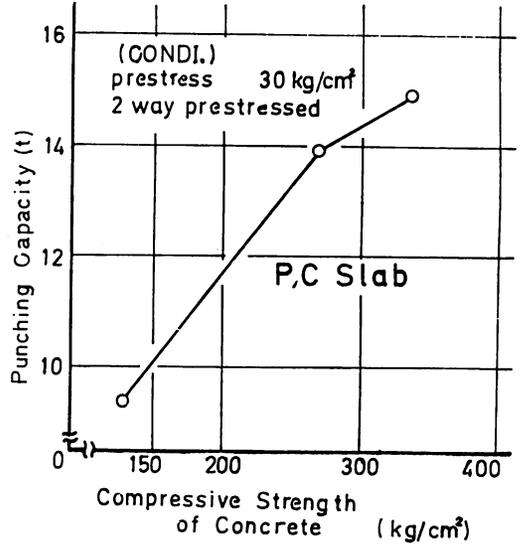


図6 コンクリートの圧縮強度の影響

スの導入 2 方向方向の場合に、コンクリートの圧縮強度を 128kg/cm²~337kg/cm² の範囲で変化させた場合の押抜きせん断耐力の影響を PC 床版で検討したものである。同図より、コンクリートの圧縮強度が増大するにつれて、押抜きせん断耐力も増大し、両者の間にはほぼ直線的な関係が認められる。従って、コンクリートの押抜きせん断耐力に及ぼすコンクリートの圧縮強度の影響はかなり大きいものと考えられる。

3.4 鋼材比の影響

図 7 は鋼材比を 0.52%~2.33% の間で 5 種類に変

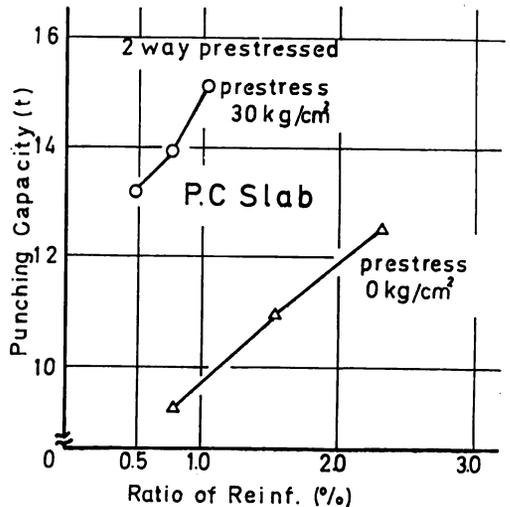


図7 鋼材比の影響

化させた場合の PC 床版の押抜きせん断耐力をプレストレス量が 0kg/cm² および 30kg/cm² の場合について示したものである。プレストレス量が 0kg/cm² の場合も 30kg/cm² の場合も、鋼材比が増大すれば押抜きせん断耐力もほぼ直線的に増大していることが認められる。さらに、プレストレスが導入されている場合とそうでない場合の押抜きせん断耐力の関係はほぼ平行であって、プレストレスが導入されても鋼材比が押抜きせん断耐力に及ぼす効果はほぼ一定であることが認められる。

表4 押抜きせん断耐力の推定

床版の種類	供試体 NO.	押抜きせん断耐力 (t)		
		実験値	計算値①	計算値②
P	1	9.20	7.82	13.95
	2	13.80	7.82	13.95
	3	10.90	7.82	13.95
	4	12.50	7.82	13.95
C	5	15.75	7.82	13.95
	6	11.55	7.82	13.95
床版	7	11.75	7.82	13.95
	11	13.20	8.67	14.68
	12	15.10	8.67	14.68
	13	9.50	3.71	9.61
	14	15.00	9.77	15.59
	15	11.00	—	—
	合成床版	8	9.30	8.35
9		9.80	8.35	14.41
10		9.70	8.35	14.41
16		15.50	9.16	15.10
17		17.20	9.16	15.10
18		14.80	9.16	15.10

注：計算値①は石川氏による値を示し
計算値②は角田氏による値を示す

3.5 押抜きせん断耐力の推定について

緒言でも述べた様に、鉄筋コンクリート床版 (RC 床版) の押抜きせん断耐力に関する実験的研究は国内外ともに数多くなされていて、それぞれに良好なる成果を収めている。一方、合成床版や PC 床版に関する研究は皆無であって、これらの床版の押抜きせん断耐力を推定する方法は現在の所全くないと云っても過言ではない。そこで、本節では、RC 床版で得られた実験式の中で特に石川氏¹⁾ および角田氏等によって提案された実験式を本実験供試体に適用して検討してみることとする。表4は二氏による計算値と実験値を一括したものである。なお、計算に用いた実験式は下式によ

った。

(石川氏による計算式)

$$P = \sigma_d \cdot \cos 45^\circ \cdot A \tag{1}$$

ここで P：破壊荷重

σ_d ：斜引張応力度

A：押抜ける部分の側面の面積

(角田氏による計算式)

$$P = 1.796 (b_0 + 3\pi d) \cdot d \cdot \sqrt{\sigma_{CB}} / (1 + d/20) \tag{2}$$

ここで b_0 ：載荷周縁の長さ

d：床版の有効高さ

σ_{CB} ：コンクリートの圧縮強度

表4から、供試体 No.1, No.3, No.4 のものはプレストレスが導入されていない場合のもので、この場合には構造的には鉄筋コンクリート構造と同様のものになる。しかしながら、①式および②式共に鋼材比の影響は押抜きせん断耐力の推定式の中には入ってなく、そのため、鋼材比が異なる場合には実験値とは合致しないことか認められる。また、計算値①は概して実験値に対して、小さ目の値を与え、計算値②は概して大き目の値を与えていることが認められる。さらに、プレストレスが導入された場合については、計算式の中にプレストレスを見込む方法がなく、現在の所ではこれを解明する手段がない。一つの考え方としては、①式において、斜引張応力度の中にプレストレスを導入するか、もしくは Moe 氏によって提案される式の中で V_{flex} (スラブの終局曲げ強度におけるせん断力) の中にプレストレスを導入すれば良いかと思われるが、これについては今後の研究で更に押進める積りである。

4. 結 言

本研究は RC 床版の押抜きせん断性状を改善する一つの方法として、プレキャスト版を PC 型枠兼補強材として使用し、場所打コンクリートと接合した合成床版を取上げ、PC 床版と対比させながら特に押抜きせん断強度の点で実験的な検討を詳細に行ったものである。実験に使用した床版枚数は18枚とかなり多いものの、未だ確定的なことは言い難い。実験を行った範囲からは次のことが云えると思われる。

- (1) PC 床版および合成床版において、これらに導入するプレストレスの押抜きせん断耐力に及ぼす効果は極めて大きい。さらに、合成床版についてはプレキャスト PC 版の使用比率を75%程度とすれば、PC 床版とほぼ同様の押抜きせん断耐力を有させ得ること

が認められた。

(2)床版にプレストレスを導入する場合、一方向にプレストレスを導入するよりも二方向にプレストレスを導入する方が、押抜きせん断耐力を増大させる点では極めて効果的であることが明らかとなった。

(3)鋼材およびコンクリートの圧縮強度が大きければ、既往のRC床版の研究成果でも得られているように、押抜きせん断耐力に及ぼす効果は極めて大きいことが認められた。

本研究は昭和54年度の卒業研究において取上げたものであって、実験の実施に当っては本大学前村政博技官および重松睦宏氏(現日本グラウト工業K.K.勤務)に負う所が多く、また図面の作製に当っては本学の永田福一助手および前村政博技官に援助を賜った。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書，1977年
- 2) 土木学会：プレストレスコンクリート標準示方書，1978年
- 3) 松本進：コンクリート合成床版の押抜きせん断強度について，土木学会西部支部研究発表会講演集，1980年2月
- 4) 石川，平田：集中荷重が載荷した周辺固定コンクリートスラブの破壊試験，土木学会第26回年次学術講演会講演集，第5部，1971年，10月
- 5) 角田他2名：RC版の耐力について，土木学会第29回年次学術講演会講演集，第5部，1974年10月
- 6) 太田正彦：周辺補剛梁を有する鉄筋コンクリートスラブの押抜き剪断破壊に関する実験，九州大学大学院修士論文，1970年3月
- 7) Johannes Moe: "Shearing Strength of Reinforced Concrete Slabs and Footings under Concentrated Loads", Bulletin No. p47, Research and Development Laboratories, Portland Cement Association, Skokie, Ill., 1961