

G1-9．鉄筋コンクリート床版の押抜きせん断における剥離耐力に関する研究

長田 佳之

1. 目的

我が国の鉄筋コンクリート版(以下,RC版と称す)の押抜きせん断耐力評価式として,種々のパラメータを検討した角田式¹⁾やその角田式を基としたコンクリート標準示方書式²⁾,破壊メカニズムに則した松井式³⁾などがある.一方,最近のコンクリート系版としては,RC版だけでなく,PC版,合成版,軽量コンクリートや短繊維補強材を用いたRC版など,多岐にわたっている.しかし,材料特性や構造パラメータが変化したこの種のコンクリート系版の押抜きせん断耐力を評価するには,示方書式などのRC版の評価式にパラメータの変化を修正係数として表現して準用しているのが現状である.そこで本研究では,押抜きせん断の抵抗要因を把握するために,本式の骨子であるコンクリートの圧縮せん断抵抗と鉄筋のダボ効果による剥離耐力の分担に対する軸方向鉄筋の配筋の影響について定量的検討を試みた.

2. 内容

2.1 試験概要

松井式で仮定されている破壊面に人工ひび割れを挿入したRC版の押抜きせん断試験を実施した.供試体の諸元を表-1,図-1に示す.供試体は3種類であり,全断面内に初期ひび割れを有していないRC₀,設計上の中立軸(上面より25mmの位置)より下側の引張域に人工ひび割れを挿入したRC_t,RC版の全高に人工ひび割れを挿入したRC_hである.いずれの人工ひび割れも45°の角度とし,摩擦の影響を極力小さくするために厚さ3mm程度のアクリル板を挿入した.各供試体の目的は以下のとおりである.

RC₀により,押抜きせん断耐力の総和を把握する.

RC₀とRC_hの相対差により,圧縮域コンクリートのせん断耐力を把握する.

RC_hにより,鉄筋ダボ効果による剥離耐力を把握する.

供試体の支持条件は四隅の浮き上がりを抑えた4辺単純支持であり,供試体中央に載荷板(150×150mm)を配置し,押抜きせん断試験を実施した.載荷時のコンクリート圧縮強度は $f'_c=37\text{N/mm}^2$ であり,鉄筋の降伏強度は $f_y=360\text{N/mm}^2$ であった.試験は3シリーズ(C1~C3),各1体の計12体実施した.

2.2 ひび割れと破壊形式

破壊形式はいずれも押抜きせん断破壊であった.特にRC_hの破壊は,新たなひび割れを伴わない鉄筋位置での剥離破壊であった.RC₀,RC_tでは荷重の増加とともに版下面に新たなひび割れが発生し,押抜きせん断破壊に至った.

2.3 押抜きせん断耐力と荷重分担

表-1に示すRC₀,RC_tおよびRC_hの試験結果より,表-2,図-2に示す圧縮域のせん断耐力および剥離耐力を算定し,検討を行った.圧縮域のせん断耐力は133~153kNとなり,圧縮域のせん断耐力が占める割合は極めて大きいことがわかった.一方,剥離耐力は50.8~92.0kNであった.ただし,人工ひび割れ面の圧縮域で摩擦の影響を多少含んで

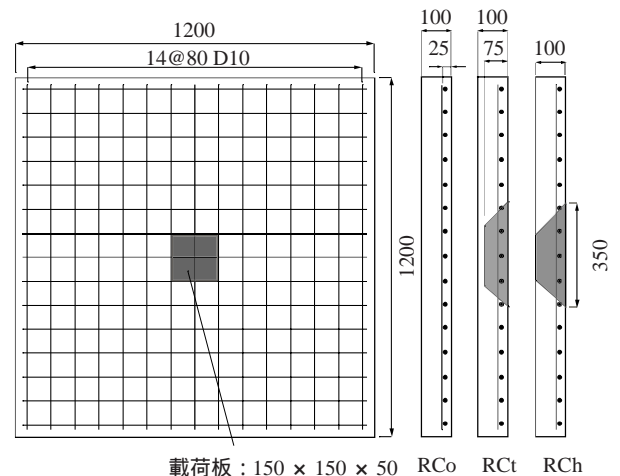


図-1 版供試体の配筋および断面図(単位:mm)

表-1 供試体の諸元と試験結果

供試体名	概要	最大荷重 (kN)				支持間隔 (mm)	版厚 (mm)	鉄筋径	鉄筋間隔 (mm)	かぶり (mm)	骨材
		C1	C2	C3							
				1	2						
RC ₀	全断面初期ひび割れなし	197	220	220	225	1000×1000 供試体サイズ 1200×1200	100	D10	80	20	最大径 20mm
RC _t	中立軸より引張域コンクリートに人工ひび割れを挿入	177	146	220	133						
RC _h	RC版全高に人工ひび割れを挿入	50.8	87.5	67.2	92.0						

G1-9 .An Evaluation on Splitting Capacity for the Punching Shear of Reinforcement Concrete Slabs

Yoshiyuki NAGATA

The punching shear capacity formula of reinforcement concrete slabs has the standard specifications for concrete structures in Japan basing on the punching shear capacity of Kakuta for reinforcement concrete slabs which is the experimental formula that examines the various parameters and performs the statistical processing and while the punching shear capacity of Matui for reinforcement concrete slabs basing on the mechanism of the punching shear failure . The punching shear capacity of Matui for reinforcement concrete slabs is considering the shear capacity of compression domation and the splitting capacity by dabo effects of reinforcing steel. In addition, the type of concrete slabs are the reinforcement concrete slabs, reinforcement concrete slabs with fiber reinforcement. composite of slabs and lightweight slabs and the prestressed concrete slabs and so on. However, the expression of the change in the parameter of the parameters of a material characteristic and a structural form as the correction coefficient for the evaluating the punching shear capacity of the reinforcement concrete slabs type.

In this study, the punching shear examination for the punching shear of reinforcement concrete slabs to obtain the shear capacity of compression domation and the splitting capacity by dabo effects of reinforcing steel which is indicating the punching shear capacity formula of reinforcement concrete slabs basing on the mechanism of failure of reinforcement concrete slabs. We study the proper response to issues such as the parameters of longitudinal reinforcement of arrangement of reinforcement influence of the punching shear capacity of reinforcement concrete slabs.

表 - 2 押抜きせん断耐力算定式による結果

	試験結果 (kN)	試験値/算出値																
		松井式 (kN)				示方書式 (kN)	松井式				示方書式							
		C1	C2	C3			C1	C2	C3		C1	C2	C3					
				1	2							1	2			1	2	
押抜きせん断耐力	Qu	197	220	220	225	222	142	0.89	0.99	0.89	0.99	1.39	1.55	1.55	1.58			
圧縮域のせん断耐力	Qu ₁	146	133	153	133	118	-	1.24	1.13	1.29	1.13	-	-	-	-			
ダボ効果による剥離耐力	Qu ₂	50.8	87.5	67.2	92.0	104	-	0.49	0.84	0.65	0.88	-	-	-	-			

いることは否めないが、3シリーズでの剥離耐力は、押抜きせん断耐力に対して30%程度占めていることが判断できた。松井式(式1)が剥離耐力を直接見込んでいる妥当性を示唆している。以上の結果から、圧縮域のせん断耐力と剥離耐力から構成される松井式は、本質的に妥当であると言える。

$$Q_u = \frac{s_{max}\{2(a+2x_m)x_d+2(b+2x_d)x_m\}}{t_{max}\{2(4C_d+2d_d+b)C_m+2(a+2d_m)C_d\}} \dots (1)$$

松井氏らの文献³⁾では、押抜きせん断耐力の内訳について検討されていないため、その内訳についても検討する必要がある。表-2に押抜きせん断耐力と試験結果から算出した圧縮域のせん断耐力 Qu₁、剥離耐力 Qu₂ を示し、松井式、示方書式による計算結果との比較を併記した。本試験結果の範囲から、押抜きせん断耐力 Qu はほぼ一致するものの、圧縮域のせん断耐力 Qu₁ は過小評価しており、剥離耐力 Qu₂ については過大評価することが明らかになった。また示方書式は、試験結果に対してかなり安全側の結果を示すことがわかった。

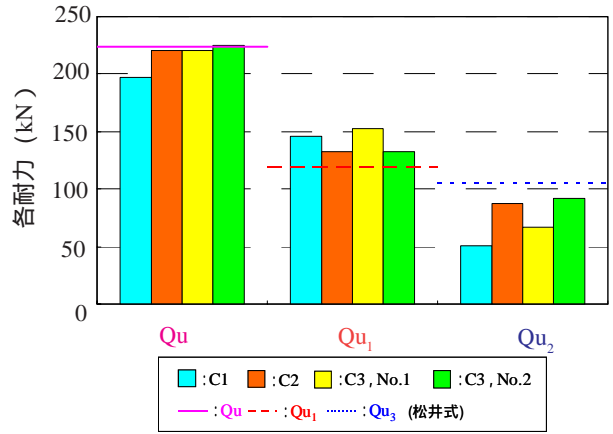


図 - 2 押抜きせん断耐力と算定式による結果

断耐力と試験結果から算出した圧縮域のせん断耐力 Qu₁、剥離耐力 Qu₂ を示し、松井式、示方書式による計算結果との比較を併記した。本試験結果の範囲から、押抜きせん断耐力 Qu はほぼ一致するものの、圧縮域のせん断耐力 Qu₁ は過小評価しており、剥離耐力 Qu₂ については過大評価することが明らかになった。また示方書式は、試験結果に対してかなり安全側の結果を示すことがわかった。

2.4 鉄筋のパラメータの押抜きせん断耐力への影響

1) はり試験による検討

試験結果と松井式が著しく異なった主たる原因である剥離耐力に関して、簡易的に2次元モデルで検討するため、表-3に示す鉄筋径、かぶり、鉄筋間隔をパラメータとした11種類、各TYPE2体ずつ計22体のはり供試体を製作した。図-3には一例としてNo.3のD13-25-80を示し、人工ひび割れなどは図-1のRChと同様である。各パラメータごとに剥離耐力を整理した結果を図-4に示す。これらの結果より以下のことが言える。

表 - 3 各パラメータの諸元と試験結果

No.	供試体名	剥離耐力 (kN)		剥離耐力 (補正值: kN)		鉄筋1本分の剥離耐力 (kN)		支持間隔 (mm)	鉄筋径	かぶり (mm)	鉄筋間隔 (mm)	厚さ (mm)	骨材 (mm)
1	D6-25-80	4.80	4.70	4.58	4.70	0.57	0.59	1000 供試体サイズ 1200×300	D6	25	80	100	最大径 20
2	D10-25-80	6.66	6.66	6.77	6.58	0.85	0.82		D10				
3	D13-25-80	8.62	6.57	8.23	6.57	1.03	0.82		D13				
4	D10-25-40	6.37	5.10	6.08	5.10	0.43	0.36		D10	45	40	120	
5	D10-25-160	3.23	3.92	3.08	3.92	0.77	0.98				160		
6	D10-45-80	7.15	7.84	6.83	7.84	0.85	0.98		D10	65	80	140	
7	D10-65-80	7.74	8.72	8.01	8.20	1.00	1.03		D13	65	80	120	
8	D13-45-80	10.1	9.60	10.4	9.03	1.31	1.13					140	
9	D13-65-80	9.21	9.31	9.53	8.76	1.19	1.09					140	
10	D13-25-40	11.2	7.15	11.6	6.73	0.83	0.48		25	160	40	100	
11	D13-25-160	5.78	5.68	5.98	5.34	1.50	1.34				160		

- 鉄筋径と剥離耐力には強い線形関係が示されている。
- D10, D13の両ケースとも、かぶりが剥離耐力に及ぼす影響は小さい。
- 鉄筋1本あたりの剥離耐力は、D10ケースでは、鉄筋間隔が80mm以上でほぼ同等であるが、80mm以下では1/2程度に低下することが明らかになった。D13ケースでは、鉄筋間隔が増加するに伴い、剥離耐力も増加傾向にあった。

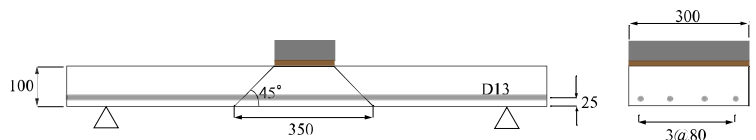


図 - 3 はり供試体一例 (D13-25-80, 単位: mm)

したがって、本試験結果から判断すれば、鉄筋径、あきが剥離耐力に大きく影響を及ぼす因子であると考えられる。

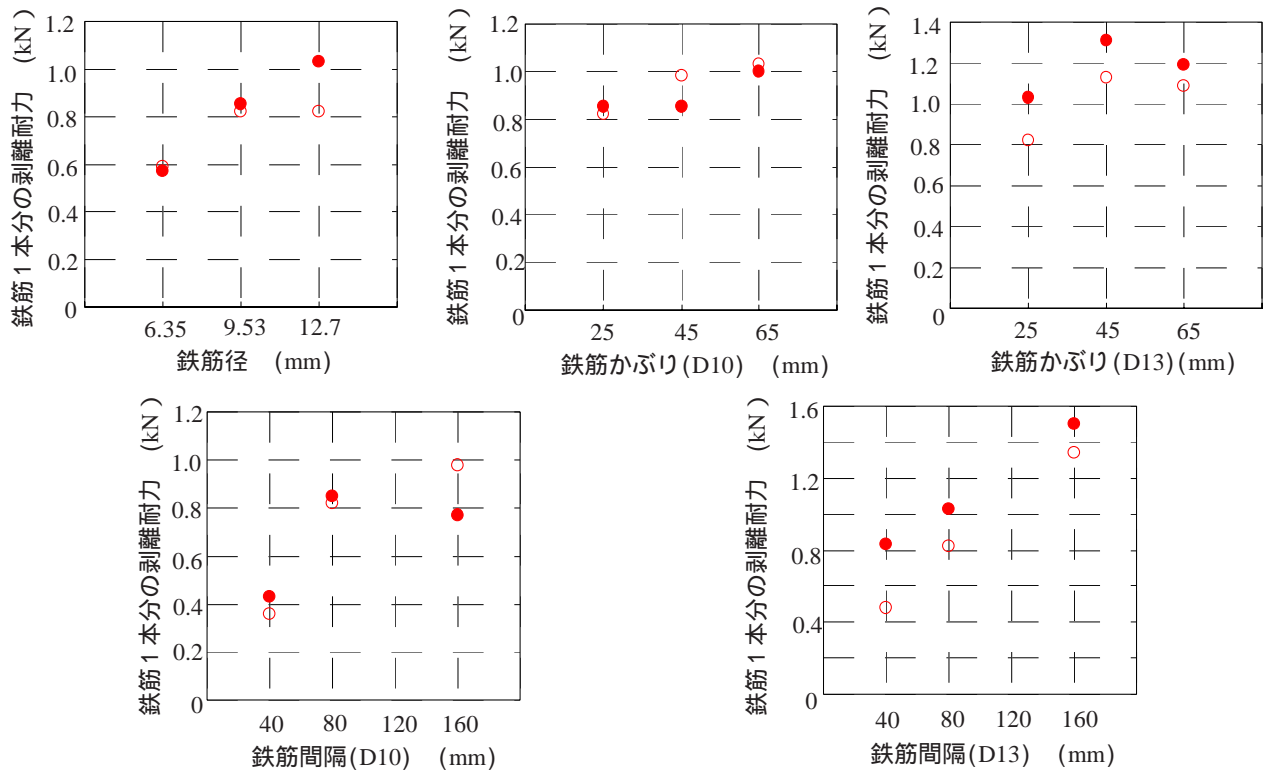


図 - 4 鉄筋のパラメータと剥離耐力の関係

2) . 版試験による検討

はり試験で検討できなかった軸方向鉄筋の配筋パラメータが剥離耐力および押抜きせん断耐力に及ぼす影響の検討を行った。検討したパラメータは、ダボ効果を発揮する上段鉄筋が直交する下段鉄筋で弾性支持されるため、下段鉄筋あきが剥離耐力に及ぼす影響、鉄筋かぶり、直交異

方性が押抜きせん断耐力に及ぼす影響とし、その影響度を検討するために、表 - 4 に示す 8 種類の版供試体を製作した。図 - 5 に No.12 の供試体の諸元を示し、人工ひび割れは図 - 1 に示した RCh と同様である。各パラメータごとに剥離耐力および押抜きせん断耐力を整理した結果を図 - 6 に示す。以上の結果より、本パラメータの範囲内で以下のことが言える。

- 1) ダボ効果を発揮する上段鉄筋に直交する下段鉄筋間隔が剥離耐力に及ぼす影響は小さい。
- 2) はり試験結果と本試験結果から鉄筋かぶりが押抜きせん断耐力、剥離耐力に及ぼす影響は小さい。
- 3) 直交異方性が押抜きせん断耐力に及ぼす影響は小さい。

従ってはり試験による結果から、鉄筋径、上段鉄筋間隔が剥離耐力に及ぼす影響は大きく、また一方では、本試験結果より、下段鉄筋間隔、かぶり、直交異方性が押抜きせん断耐力に及ぼす影響は小さいと考えられる。

表 - 4 軸方向鉄筋のパラメータと押抜きせん断耐力および剥離耐力の関係

TYPE	No.	供試体名	最大荷重 (kN)	支持間隔 (mm)	版厚 (mm)	鉄筋径	鉄筋間隔 (mm)		かぶり (mm)
							上段鉄筋	下段鉄筋	
RCh	12	RCh-D10-8040-25	92.1	1000×1000 供試体サイズ 1200×1200	100	D10	80	40	20
	13	RCh-D10-80160-25	94.7				80	80	
	14	RCh-D10-8080-25 (A)	101				80	160	
	15	RCh-D10-8080-25 (B)	94.7				80	80	
RCo	16	RCo-D10-8080-25	220		120		80	80	40
	17	RCo-D10-8080-45	232		100		80	80	20
	18	RCo-D10-80160-25	179				80	160	
	19	RCo-D10-16080-25	183				160	80	

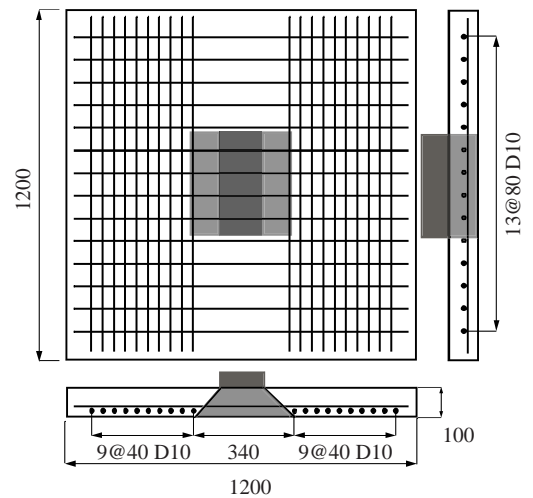


図 - 5 版供試体一例(No.12) (単位: mm)

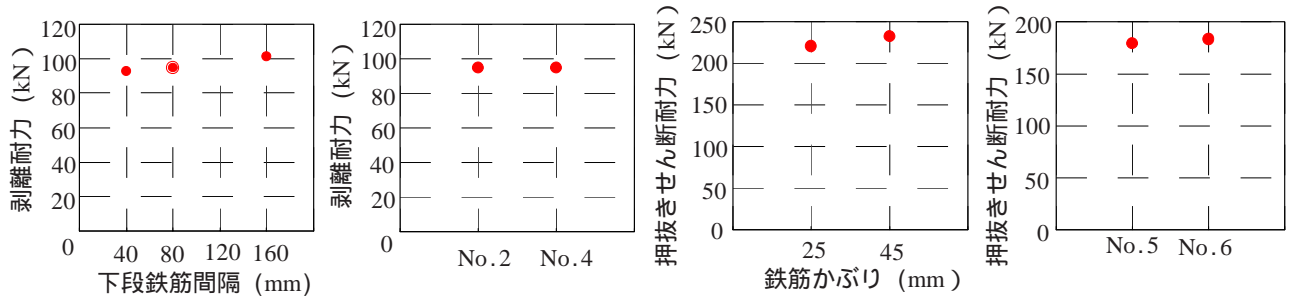


図 - 6 軸方向鉄筋の配筋のパラメータと剥離耐力および押抜きせん断耐力の関係

2.5 押抜きせん断耐力評価式の提案

はり,版試験結果から,押抜きせん断耐力の影響因子を検討し,松井式を基に,その影響因子を考慮した押抜きせん断耐力評価式を以下のように修正することを提案した.

$$Q_u = s_{max} x \{2(a+2x)+2(b+2x)\} + t_{max} \{4(C_s -) \cdot n \cdot \} / 6 \dots \dots (2)$$

- C_s : 鉄筋間隔 (mm)
- n : 鉄筋径 (mm)
- n : 鉄筋本数
- t_{max} : コンクリートの引張強度 ($=0.23 c_{max}^{2/3}$) (N/mm²)
- s_{max} : コンクリートのせん断強度
 $(= (k_1 c_{max} + t_{max}) t_{max})$ (N/mm²)
 $k_1 = 1 - 0.003f_c^{0.85}$
 : 等価応力ブロックを形成していると仮定し,0.8とする.
 : 実験定数として1.85

- 1) せん断強度の物理的意味は不明瞭と言えるので,可能な限り応力状態を明確にし,その状態に基づいたせん断強度を用いて部材評価をする必要がある.そこで押抜きせん断破壊時に,曲げ応力度が終局状態に至っているため,せん断力によって発生する斜め引張応力が引張強度に達した状態で,せん断破壊が生じると考えた.
- 2) 松井式では,剥離耐力に対して,かぶりを影響因子として仮定していたが,本試験の範囲内においては,かぶりだけでなく,鉄筋径,鉄筋間隔も影響因子として仮定した.
- 3) 松井式では,かぶり破壊部では三角形形状で最大引張応力が作用すると仮定していたが,本試験結果から,鉄筋間隔が剥離耐力に影響しているため,三角錐形状で最大引張応力が作用すると仮定した.
- 4) 松井式では,剥離領域をかぶりの2倍としていたが,本試験結果の範囲内では,剥離耐力は鉄筋径と強い線形を有していることから,剥離長さを1次関数とし,試験結果から,最も適した実験定数としてを1.85と仮定した.

表 - 5 に示すように本試験結果と松井式,提案式との比較を行ったところ,押抜きせん断耐力は両式とも精度良く評価できており,内訳についての比較では,修正前と比較すると,精度良く評価できていることが確認できた.

表 - 5 松井式と提案式との比較

	試験結果 (kN)	試験値/算出値													
		松井式 (kN)				提案式 (kN)									
		C1	C2	C3		C1	C2	C3		C1	C2	C3			
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
押抜きせん断耐力	Qu	197	220	220	225	211	215	0.89	1.04	0.93	1.04	0.92	1.02	1.02	1.05
圧縮域のせん断耐力	Qu1	146	133	153	133	93	149	1.57	1.43	1.64	1.43	0.98	0.89	1.03	0.89
ダボ効果による剥離耐力	Qu2	50.8	87.5	67.2	92.0	103	66.1	0.49	0.85	0.65	0.89	0.77	1.32	1.02	1.39

3. 結論

本研究で得られた知見から,松井式によって押抜きせん断耐力を算定されること,またその式の骨子である押抜きせん断耐力が圧縮域のせん断耐力と剥離耐力の累加で表現されることは妥当と言える.しかし,押抜きせん断耐力および剥離耐力の支配因子については,必ずしも的確に評価できたとは言えない可能性があり,修正評価式を提案し,比較検討を行った.その結果,従来の評価式よりも精度良い評価が可能となった.しかしながら,本試験の範囲内での結果であるため,構造因子の検討と試験データの集積を更に進めていく必要があると考えられる.

【参考文献】

1)角田与史雄,井藤昭夫,藤田嘉夫:鉄筋コンクリートスラブの押抜きせん断耐力に関する実験的研究,土木学会論文報告書,第229号,pp105-115,1974.9 2)土木学会:コンクリート標準示方書 構造性能照査編,pp58-80,2002 3)前田幸雄,松井繁之:鉄筋コンクリート床版の押抜きせん断耐力の評価式,土木学会論文集,第348/V-1,pp113-141,1984.8