

人工ひび割れを有する鉄筋コンクリート版の押抜きせん断試験

九州大学大学院 学生会員 長田佳之 神戸製鋼所 正会員 山田岳史
九州大学大学院 正会員 日野伸一 柴田博之

1. はじめに

我が国の鉄筋コンクリート版（以下、RC床版と称す）の押抜きせん断耐力評価式は、種々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、現在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、材料特性や構造形式などのパラメータが変化した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。

本研究では、破壊メカニズムに則した松井式の有用性を把握するために、本式の骨子であるコンクリートの圧縮せん断伝達と鉄筋のダボ効果による剥離耐力の分担とその総和と各耐力について定量的に把握を試みた。

2. 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導入した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、人工ひび割れを有していないRC₀、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導入したRC_t、RC版の全高に人工ひび割れを導入したRC_hである。いずれの人工ひび割れも45°の角度であり、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導入した。各供試体の目的は以下のとおりである。

RC₀とRC_tの比較により、人工ひび割れ面を45°と仮定したことの妥当性を検証する。

RC_hにより、鉄筋ダボ効果による剥離耐力を把握する。

RC₀(もしくはRC_t)からRC_hの耐力を差し引いて、圧縮域でのせん断伝達耐力を把握する。

供試体の支持条件は四隅の浮き上がりを自由とした4辺単純支持であり、供試体中央に載荷板を配置し、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、 $f'_c=36\text{N/mm}^2$ であり、鉄筋の降伏強度は、 $f_y=380\text{N/mm}^2$ であった。

3. 試験結果と考察

3.1 ひび割れと破壊形式

人工ひび割れを有しないRC₀と引張域に人工ひび割れを有するRC_tの破壊形式は押抜きせん断破壊であった。また、RC_hの破壊形態も他の2体と同様ではあるが、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新たにひび割れが発生し破壊に至ったが、RC_hではひび割れの発生はほとんどなく、剥離破壊を呈した。

3.2 押抜きせん断耐力と荷重分担

RC₀とRC_tの押抜きせん断耐力の差は20kN程度と顕著な差でないことから、引張域コンクリートの破壊面を45°と考えることは、本研究における議論の範囲内では妥当と言える。一方、全高に人工ひび割れを有するRC_hの剥離耐力は50.8kN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含んでいるとは否めないが、その影響は小さいものと考えれば、鉄筋のダボ効果による剥離耐力は押抜きせん断耐力の25%程度と判断できる。このことは、松井式が剥離耐力を直接見込んでいることの妥当性を示唆しており、さらに、圧縮域コンクリートが分担するせん断耐力は、RC₀からRC_hの差でいえば、

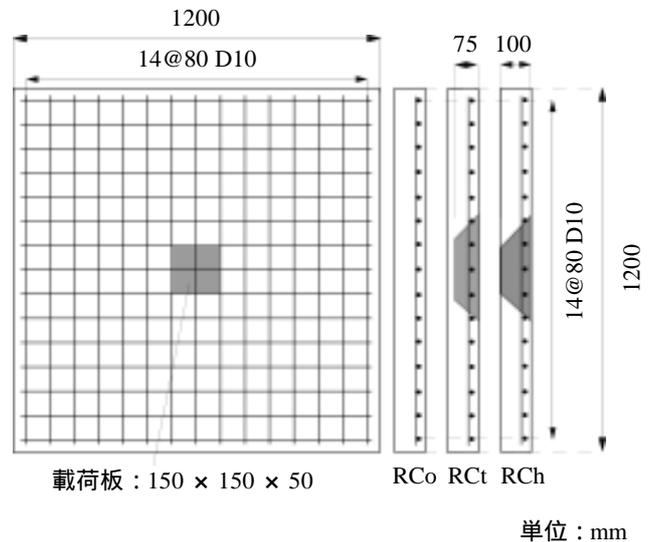


図-1 版供試体の配筋図および断面図

表-1 供試体の諸元と試験結果

供試体名	概要	最大荷重 (kN)	細目					
			支持間隔	版厚	鉄筋径	鉄筋あき	かぶり	骨材
RC ₀	一般的なRC版	197.0	1000×1000mm (供試体サイズ) (1200×1200mm)	100mm	D10	80mm (中心間隔) 70mm (純あき)	25mm 純かぶり (20mm)	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導入	177.0						
RC _h	RC版全高に人工ひび割れを導入	50.8						

146.2kNとなり、押抜きせん断耐力に占める圧縮域のせん断伝達が極めて大きいことがわかる。したがって、剥離耐力が無視できないほどの耐力を分担すること、引張域の耐力に及ぼす影響は顕著でないことから、圧縮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。

松井式が提案された文献³⁾では、押抜きせん断耐力の内訳については全く検討されていない。式1の妥当性を把握するためには、その内訳についても検討する必要がある。

$$P = s_{,max} \{ 2(a+2x_m)x_d + 2(b+2x_d)x_m \} + t_{,max} \{ 2(4C_d + 2d + b)C_m + 2(a+2d_m)C_d \} \dots\dots(式1)$$

表-2に押抜きせん断耐力と試験結果から算出した圧縮せん断耐力 S_v 、剥離耐力 S_s を示し、松井式、示方書式による計算結果との比較も併記した。剥離耐力 S_s はRChの耐力50.8kNであり、圧縮せん断耐力 S_v は、RCoとRCtの耐力差20kNを含めて126.2～146.2kNとして示した。本試験結果の範囲から判断すれば、押抜きせん断耐力Pはほぼ一致するものの、剥離耐力 S_s については過大評価することが明らかになった。

3.3 各パラメータの押抜きせん断耐力への影響

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、あきをパラメータとした6種類のはり供試体を製作した。図-2には一例として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-3に示す。これらの結果より以下のことが言える。

- 1) 鉄筋径と剥離耐力には強い線形関係が示されている。
- 2) かぶりが剥離耐力に及ぼす影響は小さいこと。
- 3) 鉄筋1本あたりの剥離耐力は、あきが80mm以上でほぼ同等であるが、80mm以下では40mmの場合の1/2程度に低下することが明らかになった。

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。

4. まとめ

本研究で実施した試験結果の範囲から判断すれば、松井式によってせん断耐力を算定すること、またその式の骨子である押抜きせん断耐力が圧縮せん断耐力と剥離耐力の累加で表現することは妥当と言える。しかし分担する耐力、そして剥離耐力の支配因子については、矛盾点が出てきた。本研究では試験パラメータが十分でないため、更なる検討が必要である。

【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・pp. 105-115. 1974.9. 2) コンクリート標準示方書 構造性能照査編 2002. pp. 58-80. 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. pp.113-141. 1984.8. 4) 鉄筋コンクリート工学 : 大塚浩司, 庄谷征美, 外門正直, 原忠勝. pp. 108-132. 1994.5.

表 - 2 押抜きせん断耐力算定式による結果

	実験結果	松井式 示方書式		実験値/算出値	
		(kN)		示方書式	松井式
押抜きせん断耐力 P	197.0	219.6	1.30	0.90	
圧縮せん断耐力 S_v	126.2 ~ 146.2	116.6	-	1.08 ~ 1.25	
剥離耐力 S_s	50.8	103.0	-	0.49	
その他	0 ~ 20.0	-	-	-	

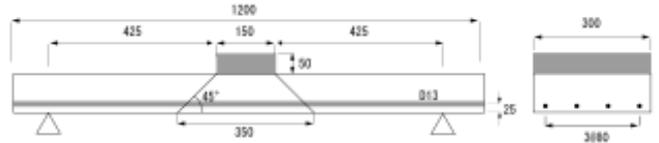


図 - 2 D13-25-80

表 - 3 各パラメータの諸元と試験結果

供試体名	鉄筋径	かぶり mm	あき mm	人工ひび割れを 貫通する鉄筋本数	剥離耐力 kN			
					鉄筋1本の剥離耐力		鉄筋1本/1面の剥離耐力	
D6-25-80	D6	25	80	4本×2面	4.80	4.70	0.60	0.59
D10-25-80	D10		40	7本×2面	6.66	6.66	0.83	0.83
D13-25-80	D13		40	7本×2面	8.62	6.57	1.08	0.82
D10-25-40	D10	25	40	7本×2面	6.37	5.10	0.46	0.36
D10-25-160			160	2本×2面	3.23	3.92	0.81	0.98
D10-45-80			45	80	4本×2面	7.15	7.84	0.89

* かぶり、あきは鉄筋中心からの距離

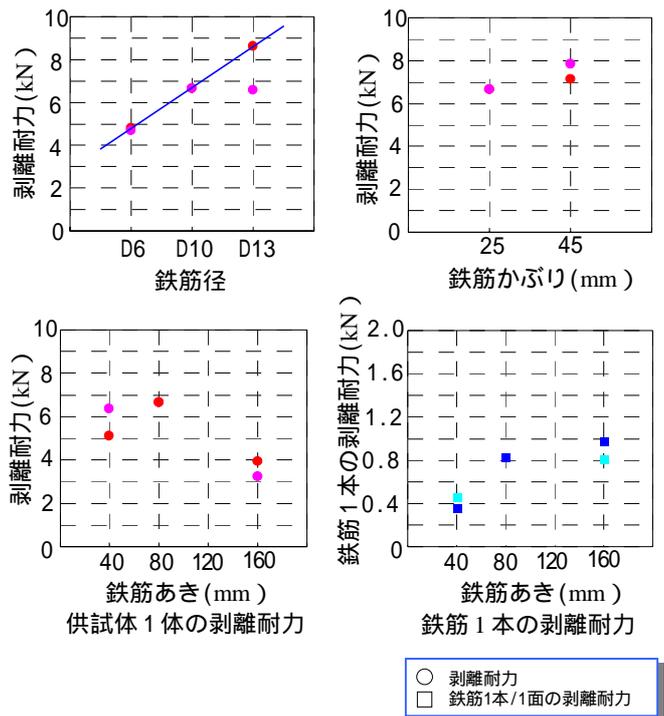


図 - 3 各パラメータと剥離耐力の関係