

鉄筋コンクリートはりのウェブ圧縮破壊に関する実験的研究

東京工業大学 学生員 ○小林 央治
 東京工業大学 正会員 三木 朋広
 東京工業大学 フェロー会員 二羽淳一郎

1. はじめに

近年、高性能、かつ高強度を有するコンクリート、鋼材が実用化され、橋梁の軽量化、長大化が可能となっている。高強度コンクリートの性質を十分に活かした鉄筋コンクリート(以下 RC)部材は、ウェブ厚を薄くし、高強度鋼材を密に配筋することで実現できる。一般的に、ウェブ圧縮破壊の終局耐力は非常に大きいため、ウェブ厚は他の要因、例えば斜め引張破壊耐力により決定されてきた。しかし、先に示した RC 部材では、ウェブ圧縮破壊によって破壊に至ることが危惧される。RC はりのウェブ圧縮破壊に関する研究は少なく、その挙動については十分に把握されていない。そこで、ウェブ厚が薄く、十分せん断補強された RC はりを対象としたせん断破壊実験を行い、ウェブ圧縮破壊耐力を評価し、その挙動を実験的に検討した。

2. 実験概要

ウェブ圧縮破壊を斜め引張破壊より先行させるため、ウェブ厚を薄くし、さらにスターラップとして異形 PC 鋼棒を密に配筋した RC はりを対象とした。供試体は表 1 に示した 6 通りである。コンクリートの圧縮強度を普通強度(=30 MPa)、高強度(=65 MPa)の 2 種類とし、

せん断補強筋比を 1.0 %(せん断補強筋間隔 $s=160$ mm)、2.0 %(同 80 mm)、2.9 %(同 55 mm)の 3 種類とした。すべての供試体を同一の形状とし、I 型断面 RC 部材とした。供試体概要を図 1 に示す。用いたコンクリートは、高流動コンクリートであり、配合および材料特性を表 2、3 に示す。また、鋼材の概要を表 4 に示す。

実験は、 $a/d=3.0$ (せん断スパン 660 mm)とする中央 1 点静的単調荷重により行った。計測項目は荷重、スパン中央、および支点上の鉛直変位、曲げひび割れ幅、圧縮側コンクリートのひずみ、引張軸方向鉄筋のひずみ、スターラップのひずみであり、逐次写真による観測も行った。

3. 実験結果および考察

表 5 に実験結果を示す。なおウェブ圧縮破壊耐力は、コンクリート標準示方書¹⁾、Placasら²⁾の研究によれば、

表 1 供試体一覧

供試体	コンクリート	せん断補強筋比 r_w (%)
NR1	普通強度 (30 MPa)	1.0 ($s = 160$ mm)
NR2		2.0 ($s = 80$ mm)
NR3		2.9 ($s = 55$ mm)
HR1	高強度 (65 MPa)	1.0 ($s = 160$ mm)
HR2		2.0 ($s = 80$ mm)
HR3		2.9 ($s = 55$ mm)

表 2 示方配合

コンクリート	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)					混和剤量 (%)	
		水	セメント	石灰石微粉末	細骨材	粗骨材	SP ^{*1}	V ^{*2}
普通強度	60.0	175	292	249	718	857	1.50	0.20
高強度	25.0	165	660	0	753	790	1.48	0.10

*¹SP: 高性能減水剤((セメント+石灰石微粉末) に対する重量百分率),

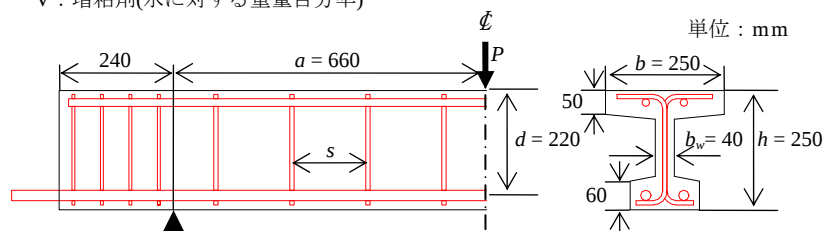
*²V: 増粘剤(水に対する重量百分率)

表 3 コンクリートの材料特性

供試体	圧縮強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)
NR1	33.4	2.50	25.8
NR2	35.8	2.85	29.4
NR3	35.0	2.55	28.4
HR1	65.2	3.76	31.1
HR2	73.8	4.27	31.6
HR3	61.5	3.57	28.8

表 4 使用鋼材概要

鉄筋種類	鉄筋径	降伏強度 (MPa)
軸方向引張鉄筋	D22	930 以上
軸方向圧縮鉄筋	D16	295 以上
スターラップ	U9.0	1275 以上



軸方向引張鉄筋断面積 $A_s = 774.2$ mm², 軸方向引張鉄筋比 $p_w = 8.8$ %, 1組のせん断補強筋断面積 $A_m = 64.0$ mm²

図 1 供試体概要

キーワード: せん断破壊, ウェブ圧縮破壊, 高強度鋼材

連絡先: 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 M1-17 TEL 03-5734-2584

次式により求まる。

$$V_{eq,1}=1.25f'_c{}^{1/2}b_wd \tag{1}$$

$$V_{eq,2}=0.15(6.63+132r_w)f'_c{}^{1/2}b_wd \tag{2}$$

ただし、 $V_{eq,1}$ ：示方書式による算定値(N)， $V_{eq,2}$ ：Placasらの提案式による算定値(N)， f'_c ：コンクリートの圧縮強度(MPa)， b_w ：ウェブ幅(mm)， d ：有効高さ(mm)， r_w ：せん断補強筋比。

既往の研究成果および算定式と実験結果の関係を図2に示し、荷重－変位関係を図3、4に示す。

3.1 破壊性状

各供試体とも、せん断スパン内ウェブ部でのせん断ひび割れ間においてコンクリートが圧壊し、終局に至った。ただし、高強度コンクリートを使用し、せん断補強筋比が1.0 %であるHR1 供試体においては、せん断ひび割れが開口し、斜め引張によって終局に至った。以降、ウェブ圧縮破壊した5体の供試体について検討する。

3.2 終局せん断耐力の検討

表5に示すように、示方書式による算定値は、普通強度コンクリートを用いた場合では、実験値と算定値の比($V_{exp}/V_{eq,1}$)が0.92~0.95となった。一方、高強度コンクリートを用いた場合では、1.21~1.25となった。Placasらが提案している算定式でも、実験値と算定値の比($V_{exp}/V_{eq,2}$)が0.72~1.04となり、十分な予測精度を有しているとは言えない。そこで、各因子による影響を詳細に検討することとする。

(1) せん断補強筋比 r_w の影響

図2を見ると、せん断補強筋比 r_w を1.0～2.9%の範囲で変化させた今回の実験では、普通強度コンクリートおよび高強度コンクリートのいずれを用いた場合でも、 r_w の増加に伴う耐力の向上はほとんど認められなかった。また、図3、4から、ポストピーク挙動についても、ほとんど影響がないことがわかった。

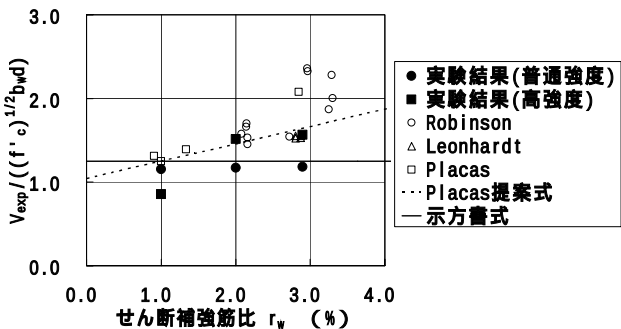


図2 実験結果の比較

(2) コンクリート強度の影響

図3、4からわかるように、高強度コンクリートを用いたRCはりでは、普通強度コンクリートを用いた場合に比べ、ウェブ圧縮破壊後の挙動が脆性的であることがわかる。これは、圧縮力下のコンクリートのポストピーク挙動が、高強度になるにつれて脆性的となるためと考えられる。なお、示方書式では、高強度コンクリートを用いた場合、普通強度に比べて($V_u/V_{eq,1}$)の値が増加することから、高強度の場合の耐力低減を大きく見積もっていると推測される。

4. 結論

- (1) 通常のRCはりにおいて、一般に、ウェブ圧縮破壊は起こらない破壊形態とされる。しかし、本実験のようなウェブ厚が薄く、十分せん断補強されたRCはりでは、起こり得る破壊形態であることがわかった。
- (2) ウェブ圧縮破壊は、コンクリートの圧縮挙動の影響を強く受ける。コンクリートの高強度化による終局耐力の低減については、示方書に規定されている程度より小さいものと思われる。
- (3) 既往の算定式は、破壊を十分予測できているとは言えない。今回の実験結果はウェブ圧縮破壊耐力に関する経済的な設計には、今後、精度の良い新たな算定式の構築が必要であることを示唆している。

参考文献：1)土木学会：コンクリート標準示方書，土木学会，2002，2) A. Placas, P. E. Regan : Shear Failure of Reinforced Concrete Beams, ACI Journal, Vol.68, No.10, pp.763-774, 1971

表5 実験結果

供試体	終局荷重 $2V_{exp}$ (kN)	破壊モード	ウェブ圧縮破壊終局荷重		$V_{exp}/V_{eq,1}$	$V_{exp}/V_{eq,2}$
			示方書 $2V_{eq,1}$ (kN)	Placas $2V_{eq,2}$ (kN)		
NR1	117.2	ウェブ圧縮	127.1	127.0	0.92	0.92
NR2	123.3	ウェブ圧縮	131.6	153.3	0.94	0.80
NR3	123.3	ウェブ圧縮	130.2	171.2	0.95	0.72
HR1	121.5	斜め引張				
HR2	229.1	ウェブ圧縮	189.0	220.0	1.21	1.04
HR3	215.6	ウェブ圧縮	172.5	226.9	1.25	0.95

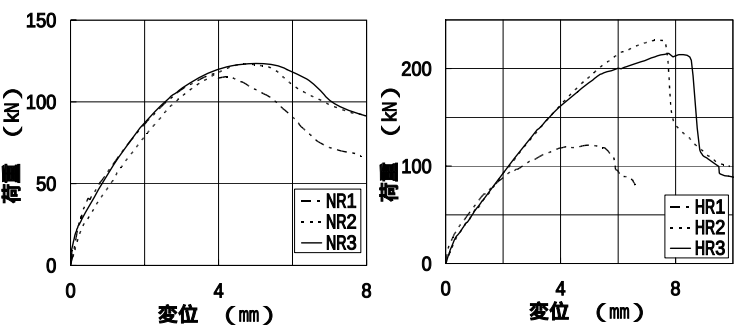


図3 荷重-変位曲線(普通強度) 図4 荷重-変位曲線(高強度)