

鋼繊維補強鉄筋コンクリート柱に対するハイブリッド載荷試験の影響

東京工業大学大学院 正会員 木村 利秀
 東京工業大学大学院 正会員 渡辺 健
 東京工業大学大学院 フェロー 二羽淳一郎

1. はじめに

鋼繊維補強鉄筋コンクリート（以下，RSF）は，ひび割れ面における鋼繊維の架橋効果により RC 部材のせん断耐力を向上できるなどの利点が報告されている¹⁾．そこで，本研究では，鉄筋量を適切に軽減しつつも，鋼繊維補強することで要求された設計耐力を満足できる鉄筋コンクリート（以下，RC）部材のせん断耐荷機構に関して検討を行う．特に，鋼繊維のせん断補強効果に着目し，RSF 柱に対して正負交番載荷試験および地震動を模擬したハイブリッド載荷試験を実施した．

2. 実験概要

表-1 に，コンクリートの示方配合を示す．鋼繊維は，コンクリートの体積に対し 1.0% 混入した 高性能 AE 減水剤の添加量は，スランプが 8 ± 2 cm となるよう調整した．鋼繊維は，繊維長 30 mm，アスペクト比 60，コンクリートと鋼繊維の付着を考慮し，両端フック加工を施した鋼繊維を使用した．

図-1 に供試体概要図を，表-2 に供試体諸元を示す．帯鉄筋は，異形鉄筋(D6 SD295A, $f_{wy}=364$ N/mm²)を使用した．軸方向鉄筋には，せん断破壊が先行するように，引張強度が高い総ネジ PC 鋼棒(D22 SPBD1070 $f_{wy}=1198$ N/mm²)を使用した．

RSF 柱のせん断耐力 V_{cal} の算定には，式(1)¹⁾を使用した．式(1)では，土木学会「鋼繊維補強鉄筋コンクリート柱部材の設計指針（案）」¹⁾に規定される，鋼繊維によるせん断強度増加係数 $\kappa (= 1.0)$ を考慮している．さらに，式(2)，(3)を用い，実験から算出される鋼繊維によるせん断強度増加係数 κ_{exp} を求めた．

$$V_{cal} = (1 + \kappa) \cdot V_c + V_s \tag{1}$$

$$V_{\kappa_{exp}} = V_{exp} - V_c - V_s \tag{2}$$

$$\kappa_{exp} = V_{\kappa_{exp}} / V_c \tag{3}$$

載荷は油圧式 200 kN 水平サーボアクチュエータを用い，変位制御により行った．正負交番載荷試験は，同一振幅を正負 3 回行い，載荷点における水平変位が 0 mm から 10 mm までは，変位を 2 mm ずつ漸増させた．それ以降，変位を 1 mm ずつ漸増させ，載荷点における水平変位が 30 mm に達した時点で試験終了とした．ハイブリッド載荷試験における入力地

表-1 コンクリートの示方配合

G_{max} (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				高性能 AE 減水剤 A_d (g)	鋼繊維 (%)
			W	C	S	G		
20	55	47	172	314	838	950	846	1.0

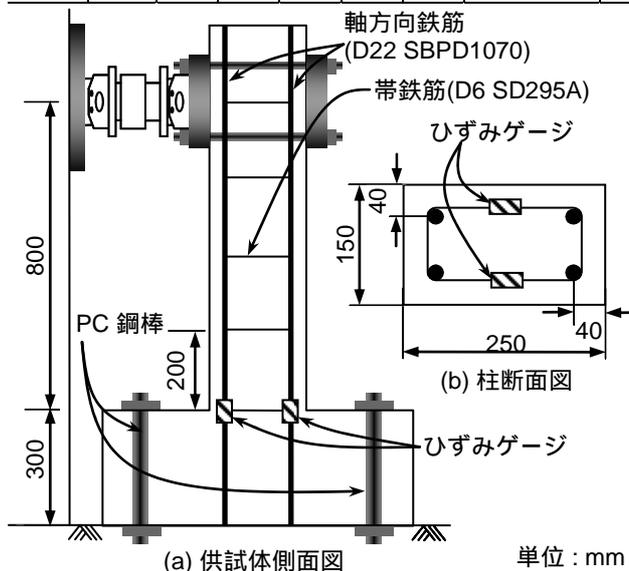


図-1 供試体概要図

表-2 供試体諸元

項目	記号	単位	値
軸方向鉄筋断面積	A_s	mm ²	1548.4
引張鉄筋比	p_w	-	2.46 %
幅	b	mm	150
有効高さ	d	mm	210
せん断スパン	a	mm	800
せん断スパン有効高さ比	a/d	-	3.81
せん断補強鉄筋比	r_w	-	0.21 %
鋼繊維によるせん断強度増加係数	-	-	1.0

表-3 コンクリートの材料特性，載荷試験結果および計算結果

供試体名	載荷方法	コンクリートの材料特性			載荷実験結果		計算結果					
		圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	β (度)	V_{exp} (kN)	V_{cal} (kN)	V_s (kN)	V_c (kN)	$V_{\kappa_{exp}}$ (kN)	κ_{exp}	V_{exp}/V_{cal}
供試体 1	正負交番	36.6	3.2	28.1	21	109.3	104.4	21.2	41.6	46.5	1.12	1.05
供試体 2	ハイブリッド	41.8	3.8	27.7	29	154.0	118.6	21.2	48.7	84.1	1.73	1.30

キーワード 鋼繊維補強鉄筋コンクリート柱，正負交番載荷試験，ハイブリッド載荷試験，せん断耐力

連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1

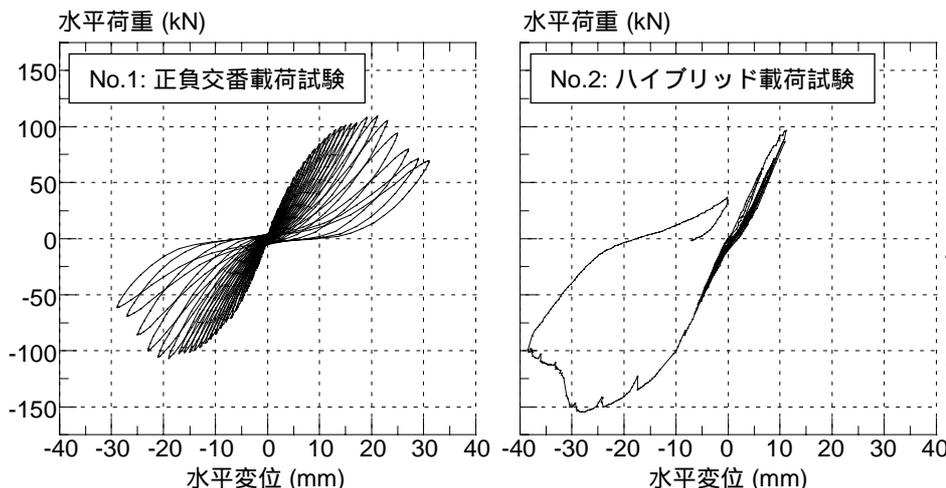


図-2 水平荷重 - 水平変位関係

震動は、兵庫県南部地震時に神戸ポートアイランドで計測されたNS成分²⁾の振幅を35%に縮尺して用いた。計算手法には、Shing³⁾らにより開発されたアルゴリズムを用いた。以降、正負交番載荷を与えたRSF柱をNo.1、ハイブリッド載荷を与えたRSF柱をNo.2と称す。載荷試験における荷重および変位は、アクチュエータに付属したロードセルおよび変位計を用いて計測した。さらに、図-1に示すとおり、軸方向鉄筋の降伏の有無を確認するため、柱とフーチングの継目部における軸方向鉄筋のひずみを計測した。

3. 実験結果

a) 水平荷重 - 水平変位関係の包絡線

表-3に、コンクリートの材料特性、RSF柱の載荷試験結果および計算結果を、図-2に、水平荷重 - 水平変位関係(以下、履歴曲線)を示す。No.1の履歴曲線は、原点を中心にほぼ点対称の形状を示した。一方、No.2の履歴曲線は、地震波および柱の固有周期に応じて、不規則な形状を示した。具体的には、第1象限では、10 mm程度の水平変位が5回繰返され、第3象限では、5 mm程度の水平変位が5回程度繰返された。その後、第3象限において、荷重が最大値に達し(以下、ピーク荷重)、その後、急激な荷重低下を示した。つまり、損傷をほとんど受けていない柱の領域において破壊が生じた。結果として、ピーク荷重は、No.1と比較し、No.2で約4割増加し、 κ_{exp} も約5割増加した。

すなわち、正負交番荷重作用下では、RSF柱のせん断耐荷性能は、柱両面での曲げひび割れの発生や、斜めひび割れ面での損傷の進行により低下することが確認された。

b) ひび割れ状況

両試験体ともに、水平変位4 mm付近において、曲げひび割れが、斜め方向へ進展した。正負交番載荷試験では、ピーク荷重時に、顕著な幅の斜めひび割れによりせん断破壊を生じた。さらに、ポストピーク領域では、軸方向鉄筋に沿ったひび割れ

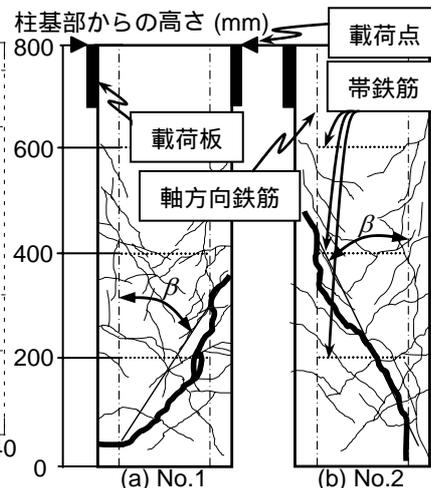


図-3 ピーク荷重時のひび割れ状況

が進展した。両供試体とも、軸方向鉄筋の断面積が、柱の断面積と比較して大きい。そのため、斜めひび割れは、圧縮側軸方向鉄筋の影響を受け、圧縮部コンクリートまで進展せず、圧縮側の軸方向鉄筋に沿って進展したと考えられる。

ハイブリッド載荷試験では、水平変位 - 23 mmにおいて顕著な幅の斜めひび割れが発生し、水平変位 - 28 mmにおいて斜めひび割れの急激な開口により、斜め引張破壊を生じた。

図-3に、ピーク荷重時のひび割れ状況を示す。ひび割れの本数は、No.2に比べ、交番載荷を受けたNo.1が多いことが確認できる。図-3の太線がピーク荷重時に目視観察された最も広い幅を有する斜めひび割れを、点線が帯鉄筋の位置を示している。斜めひび割れの角度は、この太線の先端と、太線が軸方向鉄筋と交わる点を結ぶ直線の鉛直軸に対する角度とし、 β と表記する。No.2における β は、No.1よりも大きいという結果を得た。そのため、No.2の斜めひび割れの長さは、No.1よりも増加した。結果として、No.2の斜めひび割れ面における鋼鉄維の架橋面積が増加し、 κ_{exp} が増加したと考えられる。

4. まとめ

正負交番荷重作用時のRSF柱では、柱両面における曲げひび割れの発生や、斜めひび割れ面の損傷が進行した。一方、ハイブリッド載荷試験の荷重の作用は、片押し載荷とほぼ同様となり、ハイブリッド載荷試験の斜めひび割れ角度は、正負交番試験よりも大きくなった。結果として、ハイブリッド載荷時のRSF柱の κ_{exp} は1.73となり、正負交番載荷時の $\kappa_{exp}=1.12$ よりも大きな値を示した。

参考文献

- 1) 土木学会：鋼鉄維補強コンクリート柱部材の設計指針(案), 1999.11
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書耐震性能照査編, 2002.12
- 3) Shing, P. B., Vannan, M.T., and Cater: Implicit Time Integration for Pseudodynamic Tests, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 20, pp.551-576, 1991