

超高強度材料を用いた RC 梁のせん断実験によるせん断耐力の一考察

(株) エスイー 正会員 ○野澤 忠明
九州大学 学生会員 森山 裕也
九州大学大学院 正会員 崔 準祐

九州大学大学院 学生会員 牟田 諒平
九州大学大学院 正会員 山崎 智彦
(株) 大塚社会基盤総合研究所 フェロー 大塚 久哲

1. はじめに

近年、部材断面縮小や耐久性向上に期待し、超高強度繊維補強コンクリート (UFC) を使用する事例が増えつつある。しかし、UFC を使用した RC 梁部材に対する実験事例は少なく、耐力および損傷状況に関して不明な点が多い。本研究では、補強繊維として PVA 繊維を使用した PVA-UFC による RC 梁部材について、せん断耐力および力学的特性を確認すべく、せん断破壊実験を実施した。また、実験で得られた終局荷重に対し、現行の設計基準の算定値と比較検討を行った。

2. 実験概要

本実験に用いた実験ケースと材料諸元を表-1 に示す。使用した PVA-UFC の強度は、圧縮強度 185MPa 程度、曲げ引張強度 27MPa 程度である。また主鉄筋には、曲げ破壊が先行しないよう超高強度鉄筋 USD685 (D32×4 本) を使用し、せん断補強筋には SD345 (D10) を 200mm ピッチで配筋した。本実験は、せん断スパンとせん断補強筋の有無をパラメータとした 4 体の供試体を製作した。S1, S2, S3 のせん断スパン比は表-1 のように 1.16~3.49 とした。S4 は S3 と同様のせん断スパンでせん断補強筋無しとした。載荷方法は 2 点の載荷点を介して、荷重漸増載荷を行った。図-1 に S3 の配筋図を示す。

表-1 実験ケースおよび材料諸元

供試体名		S1	S2	S3	S4
コンクリート	圧縮強度(N/mm ²)	185	186	186	185
	曲げ引張強度(N/mm ²)	27.0	26.2	26.2	27.0
主鉄筋 USD685(D32)	降伏強度(N/mm ²)	734			
	弾性係数(N/mm ²)	2.0×10 ⁵			
せん断補強筋 SD345(D10)	降伏強度(N/mm ²)	378			なし
	弾性係数(N/mm ²)	2.0×10 ⁵			
せん断スパン(mm)		375	750	1125	
供試体高さ(mm)		375			
せん断スパン比(a/d)		1.16	2.33	3.49	

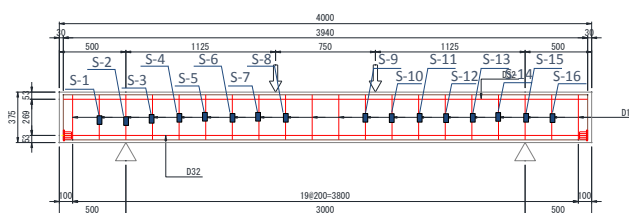


図-1 試験体配筋図 (S3)

3. 供試体損傷状況

せん断破壊形状ならびにせん断破壊強度はせん断スパン比 (a/d) に大きく影響されることが知られている。

写真-1 に各ケースの最終載荷時の損傷状況を示す。

S1 (a/d=1.16) では、載荷点から支点まで直線的にひび割れが伸展し、ディープビームのせん断破壊形状を示した。S2 (a/d=2.33) では、載荷点直下のコンクリートが圧壊し破壊に至るせん断圧縮破壊形状を、S3・4 (a/d=3.49) では、斜め引張ひび割れが圧縮域に伸展し、梁上端まで抜ける斜め引張破壊型の破壊形態を示した。

4. 実験値と耐力設計値の比較

実験より得られた終局荷重と、道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編¹⁾のせん断耐力算定式 (1)、コンクリート標準示方書²⁾のせん断耐力算定式 (2) ならびに二羽らによる提案式³⁾ (3) より求めた算定値を表-2 に示す。

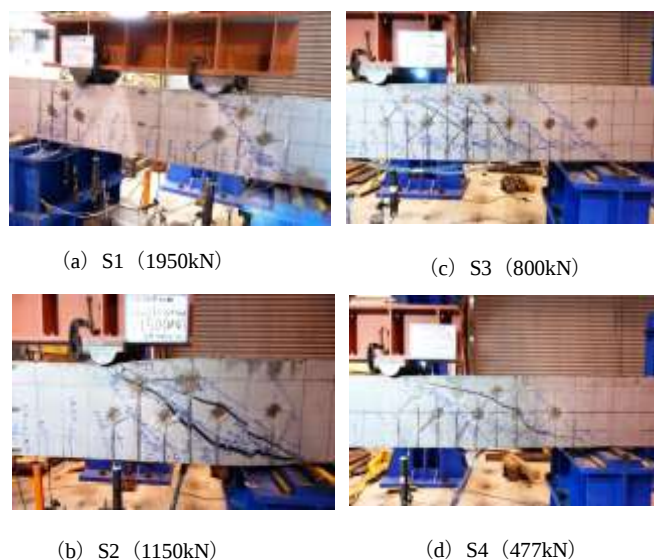


写真-1 各ケースの最終載荷時の損傷状況

キーワード 超高強度繊維補強コンクリート, RC 梁部材, せん断実験, せん断スパン比, せん断補強筋
連絡先 〒163-1343 東京都新宿区西新宿 6-5-1 新宿アイランドタワー TEL 03-3340-5500

表-2 実験値（終局荷重）と設計計算値の比較

実験 ケース	(1) 道示Ⅲ式 (kN)			(2) 土木学会式 (kN)			(3) 二羽式 Con 負担	実験値 (kN)
	Con 負担	鉄筋負担	合計	Con 負担	鉄筋負担	合計		
S1	120.8	75.5	196.3	192.5	75.5	268.0	375.7	975 以上
S2							260.0	550
S3							221.5	400
S4								238.5

ここで、道示Ⅲ式で用いるコンクリートが負担できる平均せん断応力（ τ_c ）は、道路橋示方書に示される圧縮強度との関係係表から近似式をつくり、PVA-UFC の圧縮強度（185N/mm²）を代入して得られた $\tau_c=1.50$ N/mm² を用いて算出した。土木学会式では、部分係数などの安全係数は考慮せず、また、圧縮強度の影響を考慮する項の上限値はすべて無視して計算を行った。

4. 1. 実験値

せん断スパン比の違いによる影響が見られ、せん断スパン比が小さいほど大きな耐力を示した。また、S3（せん断補強筋あり）と S4（せん断補強筋なし）の比較から、 $a/d=3.49$ の場合、コンクリートの負担分が 238.5kN、せん断補強筋の負担分が 161.5kN と推察でき、その負担割合は 6：4 となる。

4. 2. 実験値と耐力設計値の比較

全ケースにおいて実験値が各式から得られる計算値を上回っている。S4 の実験結果と各計算値（コンクリート負担分）を比較してみると、二羽式は超高強度である PVA-UFC であっても実験値と近似した計算値が得られた。一方、道示Ⅲ式（ $\tau_c=1.50$ N/mm² を使用）では計算値は実験値のおよそ 1/2 であり、コンクリートが負担できるせん断耐力を過小評価する結果となり、PVA-UFC に対応した τ_c の設定が必要である。S4 の実験値から τ_c を逆算すると 2.96 N/mm² となることから、 $\tau_c=2.5$ N/mm² 程度を使用することで実現に近く、かつ、安全側の照査が可能になると考える。

鉄筋負担分に着目すると、S3 と S4 の結果から、鉄筋負担分は 161.5kN と推察されるが計算値は 75.5kN であり実測値との間で乖離が大きい。この理由の一つとして、計算値では鉄筋の降伏強度から耐力を算出しているが、実際の終局時には降伏強度以上の引張力が作用するためである。しかし、計算に鉄筋の引張強度を用いてみても、その計算結果は 110kN 程度であり、実測値に届かない。付着強度や圧縮合力の作用位置などが関与しているものと考えられるが、今後の検討課題である。

5. 結論

PVA-UFC でも一般的なコンクリートと同様、破壊形状ならびにせん断破壊強度はせん断スパン比に大きく影響されることが確認された。また、実験のせん断耐力は、各設計図書の計算値を上回る結果となり、現行基準では、PVA-UFC 梁のせん断耐力を過小評価する結果となる。構造設計において安全側の照査は可能であるが、極めて過剰な設計となることから超高強度領域のせん断耐力算定式の設定が必要であると考えられる。

参考文献

1) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編，2012
2) (社) 土木学会：コンクリート標準示方書・設計編，2012
3) 二羽淳一郎・山田一字・横沢和夫・岡村甫：せん断補強鉄筋を用いない RC はりのせん断強度式の再評価，土木学会論文集，第 372 号，1986.8.

道示Ⅲせん断耐力算定式： $S_{us} = S_c + S_s + S_p \dots (1)$
コンクリートが負担できるせん断力
 $S_c = k * \tau_c * b_w * d$
斜引張鉄筋が負担できるせん断力の合計
 $S_s = \sum \frac{A_w * \sigma_{sy} * d(\sin \theta + \cos \theta)}{1.15 * a}$
PC鋼材の引張力のせん断力作用方向の分力
 $S_p = 0$
土木学会せん断耐力算定式： $V_{yd} = V_{cd} + V_{sd} \dots (2)$
せん断補強鋼材を用いない棒部材の設計せん断耐力
 $V_{cd} = \beta_d * \beta_p * f_{vcd} * b_w * d / \gamma_b$
せん断補強鋼材により受け持たれる設計せん断耐力
 $V_{sd} = \left[\frac{A_w f_{wyd} (\sin \alpha_s + \cos \alpha_s)}{S_s} \right] z / \gamma_b$
二羽らの式
 $f_v = 0.20 f_c'^{1/3} d^{1/4} P_w^{1/3} [0.75 + 1.4 / (a/d)]$
 f'_c ：圧縮強度
 P_w ：引張鉄筋比（ $100A_s / (b_w d)$ ）