

HFRCC を用いた柱部材の損傷低減効果と変形性能評価に関する実験的研究

リハビリテーション工学研究室 鶴飼 和也

1. 研究の背景と目的

既往の研究¹⁾では、ハイブリッド型繊維補強セメント系複合材料（以下HFRCC）を用いた柱の大変形時の軸力保持能力、損傷低減効果を踏まえピロティ構造部材への適用を提案している。今回の実験では、HFRCCの引張強度と靱性能が部材のせん断耐力に及ぼす影響を評価するために昨年度よりもせん断余裕度を下げた条件下で実験を行い、軸力保持能力やせん断耐力、ひび割れを考察して部材の変形性能や損傷低減効果を評価した。

2. 実験計画

2.1 試験体の概要

試験体は表-1に示した4体である。断面(250×250mm)や内法寸法(800mm)、主筋量(12-D13 SD345)を同一とし、コンクリートの種類と横補強量 $p_w \sigma_{wy}$ を実験因子とした柱試験体を設計した。配筋図を図-1に示す。V-NC3.65は、普通コンクリートを用いて $p_w \sigma_{wy} = 3.65 \text{N/mm}^2$ となるよう帯筋を配筋し、せん断余裕度を 1.13 とした試験体である。これに対して同配筋で HFRCC を使用した V-HF3.65、 $p_w \sigma_{wy}$ に対して HFRCC の引張強度 σ_T 及び $0.5 \sigma_T$ が累加できると考え横補強量が V-NC3.65 と等しくなるように帯筋を減らした V-HF2.11 及び V-HF0.69 を設計した。試験体名の 0.69, 2.11, 3.65 は帯筋による横補強量を表す。

2.2 加力計画

試験体を加力装置の中に図-2のように設置した。逆対称曲げモーメントが生じるように柱中央高さにせん断力を与え、ピロティ建物の側柱としてせん断力に比例した変動軸力を考慮した(図-3)。変形角を±0.125~10%と変位制御し正負交番漸増繰り返し載荷を行った。

3. 実験結果

3.1 破壊状況

図-4に荷重-変形関係、図-5にひび割れ図を示す。NC試験体では1/400rad.でHFRCC試験体3体では正側1/200rad.で曲げひび割れが生じた。その後、各試験体ともに1/200rad.で主筋が圧縮降伏、1/67~1/50rad.で引張降伏した。NC試験体は1/100rad.で最大耐力を迎えた後に圧壊を起こし耐力が60%程度まで徐々に低下し、1/50rad.付でせん断破壊に至った。それに対してV-HF0.69は、1/50rad.で最大耐力をむかえた後、1/33rad.直前に急激なせん断破

壊に至った。V-HF2.11, V-HF3.65 に関してはそれぞれ1/33rad. 1/50rad.で最大耐力に達し、1/16.7rad.まで比較的安定した性状を示した。その後1/12.5rad.正側において主筋が座屈し、負側で主筋が破断したため載荷を終了した。各試験体の破壊モードは、V-NC 3.65とV-HF 0.69が曲げ降伏後のせん断破壊、他の2体については曲げ降伏後の曲げ圧縮破壊であった。

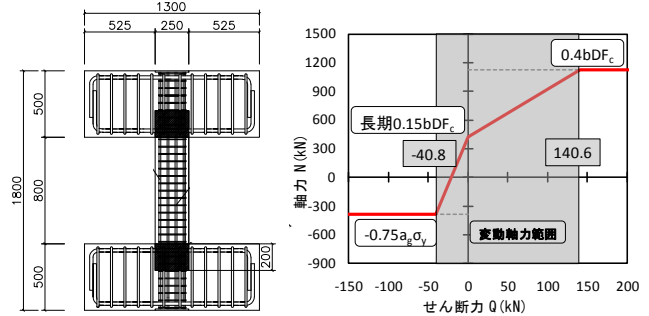


図-1 試験体配筋図

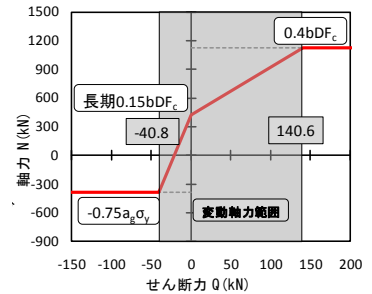


図-3 変動軸力

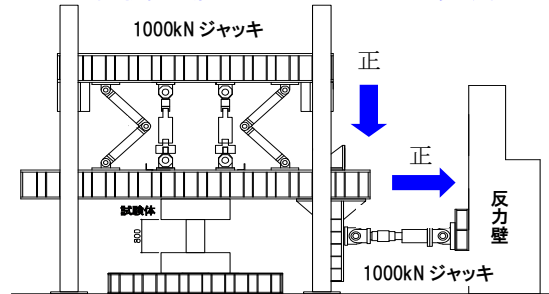


図-2 加力装置図

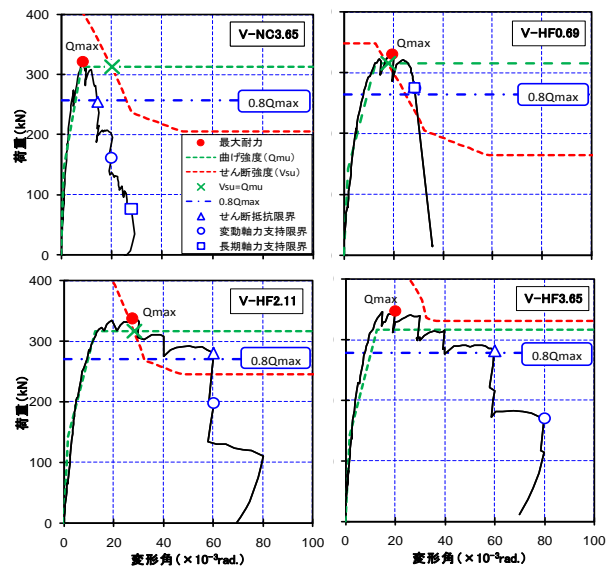


図-4 正側荷重-変形関係抱絡線

表-1 試験体概要

試験体名		V-NC3.65	V-HF3.65	V-HF2.11	V-HF0.69
コンクリート	種類	コンクリート	HFRCC		
	$\sigma_b(\text{N/mm}^2)$	47.7	48.6		
	$\sigma_T(\text{N/mm}^2)$	2.65	2.72		
帯筋	配筋	2-D6@55		2-D6@95	2-D6@110
	規格強度	SD785			SD295
	$p_w(\%)$	0.47		0.27	0.23
$p_w \sigma_{wy} + \sigma_T$ 設計		3.65	3.65+3	2.11+3	0.69+3

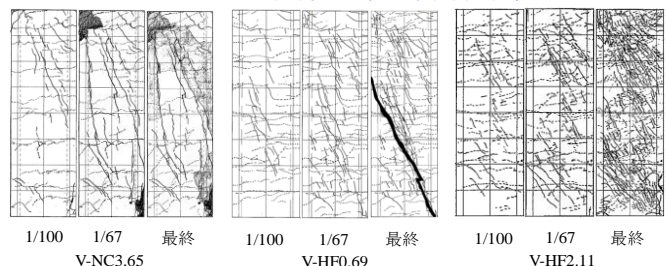


図-5 ひび割れ図

3.2 損傷低減効果の確認

最大残留ひび割れ幅の推移を図-6に示す。曲げひび割れについては、どちらも1/200rad.までは補修不要であるが、V-NC3.65試験体では1/100rad.を超えると0.2mmを超えるひび割れが生じ補修が必要であるのに対し、HFRCC試験体はひび割れの分散により危険断面以外では1/50rad.時まで0.2mm以下に抑えられているため補修不要である。せん断ひび割れについては、V-NC3.65試験体では1/67rad.時に1mmを超えるひび割れが生じているのに対し、HFRCC試験体では1/50rad.時においても0.2mm以下に抑えられており補修不要である。また、V-NC3.65では圧壊が進行し、1/67rad.で柱頭・柱脚部のかぶりコンクリートが剥落したのに対し、HFRCC試験体では最終破壊時でも剥落は確認されなかった(図-5)。ひび割れ分散やかぶりコンクリートの剥落の防止といったHFRCCによる損傷低減効果を確認した。

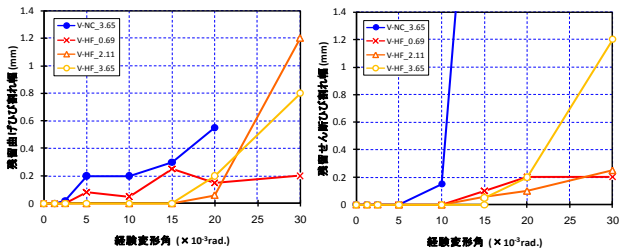


図-6 残留曲げひび割れ幅 残留せん断ひび割れ幅

3.3 変形性能と耐力評価

試験体の曲げ終局強度については中段筋を考慮した略算式²⁾から求めた。また、せん断終局強度(V_{su})は終局強度指針A法式³⁾のトラス機構の項にHFRCCの引張強度 σ_t を累加して求めた(式(1))。HFRCCの3試験体については計算上 $V_{su}=Q_{mu}$ となる変形角以降も耐力を維持しているため変形性能は安全側に評価されている(図-4)。また、同じHFRCCを用いながら全く異なる破壊性状を示したV-HF0.69とV-HF2.11の2体の破壊モードについて(1)式で用いた $p_w \sigma_{wy}$ に σ_T を累加するという考えに基づいて考察を行う。図-7は帯筋とHFRCCについての引張歪度と横補強量および引張強度の関係を示す。図中のHFRCCの応力-歪関係に、帯筋とHFRCCの歪が等しいと仮定して $p_w \sigma_w$ を足し合わせたものを示した。最終破壊直前の帯筋の最大歪から、そのときの $p_w \sigma_w + \sigma_{HF}$ の状態を考えるとV-HF2.11ではピーク前であるのに対し、V-HF0.69ではピーク後となっていることが分かった。HFRCCを用いた試験体では帯筋の降伏後に、急激なせん断破壊を起こす危険があるため帯筋が降伏しない範囲で使用する必要があると考えられる。また、HFRCCのせん断力負担割合が大きい場合においても、ひび割れ直後にせん断破壊に至る恐れがあるため $p_w \sigma_{wy}$ と σ_T の比が破壊に及ぼす影響を検討する必要がある。

$$V_{su} = b \cdot j_c (p_w \cdot \sigma_{wy} + \sigma_T) \cot \phi + \tan \theta (1 - \beta) \cdot b \cdot D \cdot v \cdot \sigma_B / 2 \quad (1)$$

$$\beta = \frac{(1 + \cot^2 \phi) (p_w \cdot \sigma_{wy} + \sigma_T)}{v \cdot \sigma_B}$$

σ_T : HFRCCの引張強度, その他記号は文献³⁾参照

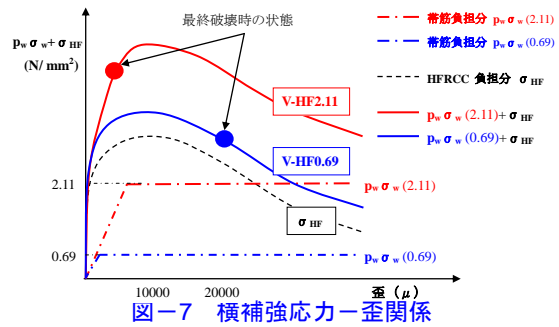


図-7 横補強応力-歪関係

3.4 限界変形角

限界変形角について本論では、①せん断耐力が最大耐力の8割まで劣化した時の変形角をせん断抵抗限界、②最大変動軸力を支持できる限界のサイクルのピーク時変形角を変動軸力支持限界、③長期軸力を支持できなくなる直前の変形角を長期軸力支持限界と定義し(図-4)および表-2に示す。V-HF0.69はV-NC3.65と同等の限界変形を有するが帯金の横補強量を極度に下げたことで急激なせん断破壊が起きたため実際の設計では避けるべき危険な破壊形式である。V-NC3.65と同配筋のV-HF3.65、 σ_T の効果を半分程度見込んだV-HF2.11についてはHFRCCを用いることにより耐力低下が緩やかになること、各限界変形角が向上することを確認した。

表-2 限界変形角

試験体名	0.8 Q_{max}	N_{max}	N_0	$V_{su}=Q_{mu}$
	exp R_u			cal R_u
	$\times 10^{-3}rad.$			$\times 10^{-3}rad.$
V-NC 3.65	15	20	20	20.2
V-HF 0.69	20	20	20	17.8
V-HF 2.11	60	60	>80	28.4
V-HF 3.65	60	80	>80	35 付近

exp R_u : 限界変形角実験値, cal R_u : 限界変形角計算値

4. まとめ

せん断余裕度の低い条件下でのHFRCCを用いた柱の変動軸力実験から得られた結果を以下にまとめる。

- (1) HFRCCによるひび割れの分散、かぶりコンクリートの剥落防止といった損傷低減効果を確認できた。
- (2) HFRCCの引張強度 σ_T を用いて変形能力を評価すると安全側に評価できた。またHFRCC試験体において脆性的な破壊を起こすことがあるため、帯筋の降伏しない範囲で使用する必要がある。また $p_w \sigma_{wy}$ と σ_T の比が破壊に及ぼす影響を検討する必要がある。
- (3) 今回定義したせん断抵抗、変動軸力支持、長期軸力支持の各限界変形角において、HFRCCを用いることで性能が向上することが確認できた。また耐力低下も緩やかになることも確認された。

【参考文献】

- 1) 田邊裕介: 修士論文「ハイブリッド型繊維補強セメント系複合材料を用いた柱及び耐震壁の構造性能」
- 2) 日本建築学会: 建築耐震設計における保有耐力と変形性能, 1990
- 3) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説, 1988
- 4) 永井寛・金子貴司・関田徹志・丸田誠: 高靱性繊維補強セメント複合材料用いたダンパー部材の構造性能, Vol.26, No.2, pp.1513-1518, 20