

コンクリート充填 FRP 管の軸圧縮挙動に関する実験的研究

近畿大学大学院	学生員	○林	修平
近畿大学	正会員	東山	浩士
(株)栗本鐵工所	正会員	野村	浩史
(株)栗本鐵工所	正会員	津田	久嗣
栗本化成工業(株)		宮崎	徹

1. はじめに

繊維強化プラスチック(FRP)は軽量かつ強度、耐久性に優れた材料であり、繊維の量、配向によって自由度の高い構造設計が可能であるといった特徴を有している。既往の研究¹⁾において、コンクリートを充填したコンクリート充填FRP管の単軸圧縮試験が行われ、FRP管に高い拘束効果が確認され、軸圧縮強度式が提案されている。本研究は、フィラメント・ワインディング法により成形されたFRP管を用いたコンクリート充填FRP管の単軸圧縮試験を行い、FRP管の拘束効果、軸圧縮強度を調べ、FRP管の周方向引張弾性係数を考慮した軸圧縮強度モデルを提案する。また、既往の研究により提案されている軸圧縮強度モデルと比較し、本提案モデルの妥当性を検証する。

2. 試験体

単軸圧縮試験に使用した試験体を表-1に示す。FRP管の寸法は、径長比(d/L)が1:2となるように製作した。試験体GFVは繊維にC-ガラス、マトリックスにビニルエステル樹脂を、試験体CFVは繊維にカーボン(T700S)、マトリックスにビニルエステル樹脂を用いた。試験体CFE-1、CFE-2、CFE-3は繊維にカーボン(T700S)、マトリックスにエポキシ樹脂を用いて、各層の厚み比を変化させた。ただし、総繊維量は同じとした。充填コンクリートは乾燥収縮保証程度の膨張材を添加した。それぞれの試験体に対する材料試験結果を表-2に示す。

表-1 試験体諸元

試験体名	d (mm)	L (mm)	t (mm)	積層角度 (°)
GFV	153	300	1.9	$\pm 79/\pm 79/\pm 79$
CFV	153	300	2.2	$\pm 79/\pm 79/\pm 79$
CFE-1	150	300	2.1	90/90/90/ ± 15 /90/90/90
CFE-2	150	300	2.0	90/90/ ± 15 /90/90
CFE-3	150	300	2.3	90/ ± 15 /90

表-2 材料試験結果

試験体名	f'_{co} (N/mm ²)	E_c (kN/mm ²)	f_h (N/mm ²)	E_h (kN/mm ²)	f_l (N/mm ²)
GFV	25.8	23.0	475	30.9	11.8
CFV	25.8	23.0	1470	75.5	42.2
CFE-1	29.3	27.6	990	111.8	27.7
CFE-2	29.3	27.6	1037	114.4	27.6
CFE-3	29.3	27.6	855	79.7	26.3

充填コンクリートの圧縮強度 f'_{co} 、弾性係数 E_c は直径150mm、長さ300mmの円柱試験体を用いた圧縮試験により求めた。FRP管の周方向引張強度 f_h 、周方向引張弾性係数 E_h はリング形試験片を用いてISO FDIS 8521 B法に準拠して求めた。拘束応力度 f_l は次式により算出することができる。

$$f_l = \frac{2f_h t}{d} \quad (1)$$

ここに、 t はFRP管の厚さ、 d はFRP管の内径である。

3. 単軸圧縮試験結果

全ての試験体について、最大荷重 P_u 、軸圧縮強度 f'_{cc} を表-3に示す。ただし、軸圧縮強度は最大荷重を充填コンクリートの断面積で除

表-3 軸圧縮強度

試験体名	P_u (kN)	f'_{cc} (N/mm ²)	f_l/f'_{co}	f'_{cc}/f'_{co}
GFV	1173	63.8	0.46	2.47
	1132	61.5	0.46	2.38
CFV	2050	111.3	1.65	4.31
CFE-1	2000	113.5	0.95	3.87
	1972	111.7	0.95	3.81
	2058	116.6	0.95	3.98
CFE-2	2019	113.9	0.94	3.89
	1764	99.0	0.94	3.38
	2029	114.1	0.94	3.89
CFE-3	1940	110.7	0.90	3.78
	1558	89.0	0.90	3.04
	1862	105.5	0.90	3.60

キーワード：コンクリート充填FRP管、フィラメント・ワインディング、横拘束、軸圧縮強度、軸圧縮挙動

連絡先：〒577-8502 大阪府東大阪市小若江 3-4-1 TEL:06-6721-2332 FAX:0729-95-5192

した値としている．いずれの試験体も円柱コンクリート単体に比べて顕著な強度増加が確認される．全ての試験体の応力度比 - ひずみ関係の一例を図 - 1 に示す．応力度比は軸圧縮応力を充填コンクリートの圧縮強度で除した値である．コンクリート充填 FRP 管はコンクリート柱の最大応力度までほぼ同様の挙動を示し，塑性域における傾きは拘束量によって異なることが分かる．これは連続繊維シートを巻き付けた場合²⁾とほぼ同様である．圧縮強度比 f'_{cc}/f'_{co} と拘束応力度比 f_l/f'_{co} の関係を図 - 2 に示す．軸圧縮強度比は拘束応力度比の増大に伴い大きくなるが，文献 3) にも述べられているように，拘束応力度比が 1.0 付近までは軸圧縮強度比とほぼ直線関係にあり，1.0 を越える拘束応力度が高い範囲では軸圧縮強度が鈍化する傾向にある．

4．軸圧縮強度モデル

コンクリート充填 FRP 管の軸圧縮強度について Samaan ら¹⁾ が提案しているモデルを以下に紹介する．

$$\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} = 1.0 + 6.0 f_l^{-0.3} \frac{f_l}{f'_{co}}$$

(2)

文献 2) において，周方向の引張剛性が大きい場合には最大応力度が大きく増加することが明らかにされている．リング形引張試験により得られた FRP 管の周方向引張強度と弾性係数を用いて軸圧縮強度モデルを次式のように提案する．

$$\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} = 1.0 + 11.5 f_l^{-0.573} \left(\frac{E_h}{E_c} \right)^{0.427} \frac{f_l}{f'_{co}}$$

(3)

Samaan らのモデルと本提案モデルの算定結果を表 - 4 に示す．算定値に対する試験値の比を平均すると，Samaan らのモデルは 1.164，本提案モデルは 0.971 となり，精度よく算定することができ，本提案モデルの妥当性を示せたと言える．

5．まとめ

コンクリート充填 FRP 管の軸圧縮挙動はコンクリート単体の圧縮強度までは，ほぼ同様の挙動を示し，塑性域に入ってから挙動は FRP 管の拘束応力度によって異なったものとなる．Samaan らが提案している軸圧縮強度モデルとの比較を行った結果，本提案モデルは試験値を精度よく推定することができた．ただし，本提案モデルは FRP 管の周方向引張強度をリング形試験片により求めた場合に限る．

謝辞 本研究の材料であるカーボン(T700S)は，東レ(株)よりご提供頂いた．ここに感謝致します．

参考文献

1) Samaan, M., Mirmiran, A., and Shahawy, M.: Model of concrete confined by fiber composite, J. Struct. Eng., ASCE, Vol.124, No.9, pp.1025-1031, 1998.

2) 宮内克之・井上正一・黒田 保・小林 朗：連続繊維シート補強の剛性がコンクリート柱の横拘束効果に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.23, No.1, pp.865-870, 2001.

3) Lam, L. and Teng, J. G.: Strength Models for Fiber-Reinforced Plastic-Confined Concrete, J. Struct. Eng., ASCE, Vol.128, No.5, pp.612-623, 2002.

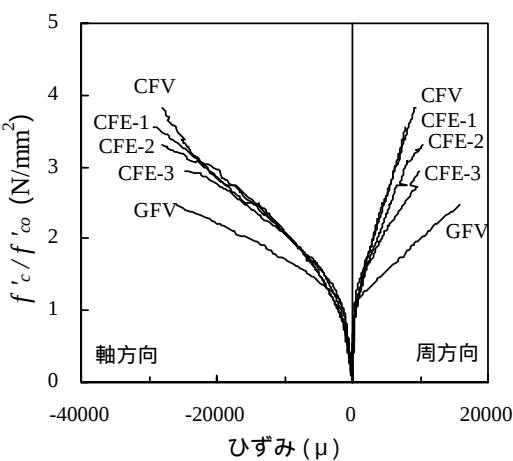


図 - 1 軸応力度比 - ひずみ関係

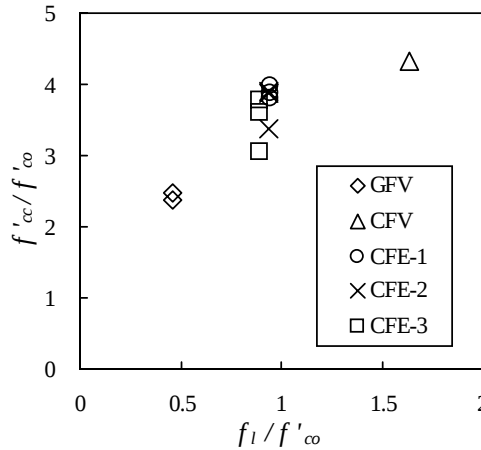


図 - 2 軸圧縮強度比と拘束応力度比の関係

表 - 4 軸圧縮強度モデルの比較

試験体名	Exp.	Samaan	Exp. / Cal.	Authors	Exp. / Cal.
	f'_{cc} (N/mm ²)	f'_{cc} (N/mm ²)		f'_{cc} (N/mm ²)	
GFV	63.8	59.6	1.071	63.2	1.009
	61.5		1.032		0.973
CFV	111.3	108.2	1.029	120.2	0.926
	113.5		1.252		0.982
CFE-1	111.7	90.7	1.232	115.6	0.966
	116.6		1.286		1.009
CFE-2	113.9	90.5	1.258	116.3	0.979
	99.0		1.094		0.851
CFE-3	114.1	88.5	1.261	102.4	0.981
	110.7		1.251		1.081
	89.0		1.006		0.869
	105.5		1.192		1.031