

近畿大学	正会員	○東山 浩士
近畿大学大学院	学生員	林 修平
㈱栗本鐵工所	正会員	野村 浩史
栗本化成工業㈱		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、異方性を活かした繊維の配向による構造設計の自由度を持つといった特徴を有している。本研究では、ガラス繊維や炭素繊維を用いてフィラメント・ワインディング(FW)法により成形した FRP 管内にコンクリートを充填したコンクリート充填 FRP 管の単軸圧縮試験を行い、FRP 管単体の周方向弾性係数を考慮したコンクリート充填 FRP 管の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モデル¹⁾と比較し、本提案モデルの妥当性を検証する。

2. 試験体および試験方法

本研究で試験に用いたコンクリート充填 FRP 管の諸元を表-1に示す。試験体は内径(d)150mm, 長さ(L)300mm, 管厚さ(t)約 2mm の円柱試験体である。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, 繊維の配向角は管軸に対して $\pm 79^\circ$ とし, それぞれ3層積層している。また, 試験体 CEF-1, CEF-2, CEF-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, 繊維の配向角は管軸に対して 90° と $\pm 15^\circ$ の組み合わせにより厚み比を変えている。ただし, 総繊維量はすべて同じとした。

表-1 コンクリート充填 FRP 管の諸元

Specimen	Number	Fiber type	Matrix type	d (mm)	L (mm)	t (mm)	Ply order ($^\circ$)
GFV	2	C-glass	Vinyl ester	153	300	1.9	$\pm 79/\pm 79/\pm 79$
CFV	1	Carbon	Vinyl ester	153	300	2.2	$\pm 79/\pm 79/\pm 79$
CFE-1	3	Carbon	Epoxy	150	300	2.1	90/90/90/ ± 15 /90/90/90
CFE-2	3	Carbon	Epoxy	150	300	2.0	90/90/ ± 15 /90/90
CFE-3	3	Carbon	Epoxy	150	300	2.3	90/ ± 15 /90

表-2 材料試験結果

Specimen	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

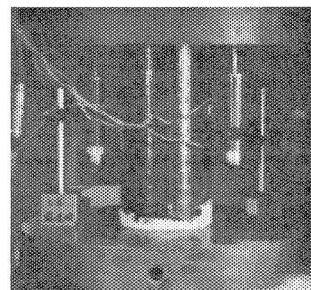


図-1 載荷状況

充填コンクリートの軸圧縮強度 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 管単体の周方向引張強度 f_h および周方向弾性係数 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。各試験体に対する材料試験結果を表-2に示す。上記の材料を用いて製作した試験体の圧縮試験を実施した。載荷状況を図-1に示す。充填コンクリートは FRP 管との肌離れを避けるために乾燥収縮保証程度の膨張材を添加した。また, FRP 管の拘束応力度 f_l は次式により算出した。

$$f_l = 2f_h t / d \quad (1)$$

3. 軸圧縮強度モデル

各試験体の最大荷重 P_u と軸圧縮強度 f'_{cc} を表-3に示す。ただし、 f'_{cc} は P_u を充填コンクリートの断面積で除した値としている。 f'_{cc} は f'_l と相関を有していることが分かる。また、 f'_{cc} と f'_{co} を比較すると、コンクリート充填 FRP 管は高いコンファインド効果を有している。

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。

$$\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} = 1.0 + 6.0 f_l^{-0.3} \frac{f_l}{f'_{co}} \quad (2)$$

連続繊維シートで補強されたコンクリートの横拘束効果に関する研究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大することが明らかにされている。引張剛性は繊維量と繊維の弾性係数によるものであり、さらに、弾性係数は結局ひずみとも関係する。そこで、コンクリート充填 FRP 管の軸圧縮挙動が連続繊維シートで補強されたコンクリートの軸圧縮挙動とほぼ同様であることから、軸圧縮強度として FRP 管単体の周方向弾性係数と充填コンクリートの弾性係数を考慮した軸圧縮強度モデルを次式のように提案する。

$$\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} = 1.0 + 11.5 f_l^{-0.573} \left(\frac{E_h}{E_c} \right)^{0.427} \frac{f_l}{f'_{co}} \quad (3)$$

ここに、 f'_{cc} はコンクリート充填 FRP 管の軸圧縮強度、 f'_{co} は充填コンクリートの軸圧縮強度、 f_l は FRP 管の拘束応力度、 E_h は FRP 管単体の周方向弾性係数、 E_c は充填コンクリートの弾性係数である。

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、精度よく試験値を推定することができ、本提案モデルの妥当性を示せたと言える。

4. まとめ

本研究では、FRP 管単体の周方向弾性係数と充填コンクリートの弾性係数を考慮に入れたコンクリート充填 FRP 管の軸圧縮強度モデルを提案し、既往の研究において Samaan らが提案している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。しかし、試験結果にはばらつきを有する試験体が見られたことから、今後もデータを蓄積し、設計式としての検証を行っていく必要がある。

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，Vo.23, No.1, pp.865-870, 2001.

表-3 最大荷重と軸圧縮強度

Specimen	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

表-4 軸圧縮強度モデルの比較

Specimen	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	1.070	63.2	1.009
	61.5		1.032		0.973
CFV	111.4	108.2	1.030	120.2	0.927
CFE-1	113.5	90.7	1.251	115.6	0.982
	111.7		1.232		0.966
	116.6		1.286		1.009
CFE-2	114.0	90.5	1.259	116.3	0.980
	99.0		1.094		0.851
	114.1		1.261		0.981
CFE-3	110.7	88.5	1.251	102.4	1.081
	89.0		1.006		0.869
	105.5		1.192		1.030