

大径厚比コンクリート充填円形鋼管部材の曲げモーメント 曲率関係

大阪市立大学大学院工学研究科 学生員 宇渡 康正
 和泉市 佐原 啓介
 大林組 舘 健一
 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 鬼頭 宏明

1. はじめに

コンクリート充填円形鋼管部材（Concrete Filled circular steel Tube：以下、円形 CFT 部材という）とは円形鋼管にコンクリートを充填した合成部材であり、鋼管とコンクリートの相互作用により大きな耐荷能力と変形性能を有し、耐震性能に優れた部材であることが知られている。また、このことより必要な性能に応じ部材断面を小さくすることも可能であり、さらには鋼管が型枠を兼務するために急速施工も可能となり、経済的な構造といえる。近年、CFT 部材は、国内外の建築構造分野において継続的かつ精力的な研究・開発・適用がなされ、基準類の整備も進んでいる。しかし、同分野で取り扱われる径厚比： D （鋼管外径）/ t_s （鋼管厚）の上限は 70～80 程度で、これを部材断面規模の大きな土木構造物に適用すると鋼管が重厚となり、経済性を逸することが危惧される。そこでここでは、CFT 部材の土木構造物への適用を最終的な目標とし、その基礎的段階として、既往の制限径厚比：150（SS400 相当）¹⁾を超える径厚比を有する円形 CFT 部材を対象とした純曲げ実験を行い、その曲げ耐力ならびに変形性能ひいては曲げモーメント - 曲率関係を検討する。

2. 供試体

供試体は、両端部増厚を施した鋼管にコンクリートを充填したものの（図-1）であり、設定した実験変数は 2 種類のコンクリート強度と 6 種類の径厚比で、計 12 体の供試体を用意した。その寸法諸元と使用した材料特性を表-1 に示す。供試体名は“C”に続く数字がコンクリート強度を、その後の数字が径厚比を示している。

3. 実験方法

載荷方式は対称 4 点曲げであり、供試体が純曲げ区間に配置されるようにした。載荷は単純一方向漸増載荷とし、供試体が曲げ破壊に至るまで載荷を行った。一方供試体の変位とひずみを図-1 の計器で測定した。

4. モーメント曲率関係の数値解析手法

平面保持の仮定に基づくファイバーモ

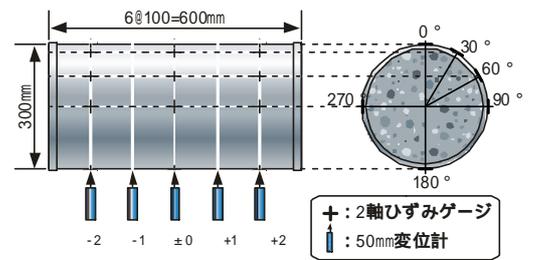


図-1 供試体および計測機器配置図

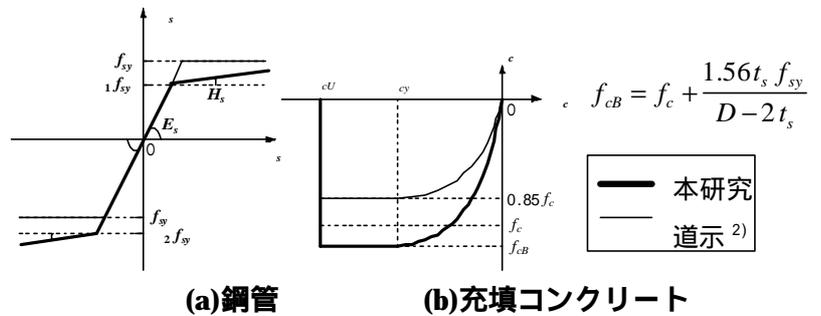


図-2 鋼管と充填コンクリートに用いた応力 - ひずみ関係

表-1 供試体緒元および材料特性

供試体名	寸法諸元				鋼管の材料特性					コンクリートの材料特性	
	径厚比 D/t_s	鋼管長 L (mm)	鋼管径 D (mm)	鋼管厚 t_s (mm)	降伏強度 f_{sy} (MPa)	引張強度 f_{st} (MPa)	降伏比 f_{sy}/f_{st}	弾性係数 E_s (GPa)	加工硬化係数 H_s (GPa)	圧縮強度 f_c (MPa)	弾性係数 E_c (GPa)
C24-070	69	600	300	4.35	206	336	0.61	189	1.88	24.0	25.8
C24-090	95	600	300	3.16	231	343	0.67	213	2.11		
C24-130	137	600	299	2.19	261	357	0.73	208	2.37		
C24-190	196	600	299	1.53	339	398	0.85	219	0.02		
C24-250	266	600	298	1.12	223	321	0.70	206	2.34		
C24-300	318	600	299	0.94	293	383	0.77	214	1.39		
C40-070	71	600	300	4.22	264	372	0.71	223	1.40	37.4	29.0
C40-090	95	600	300	3.15	276	432	0.64	206	2.14		
C40-130	132	600	300	2.27	234	333	0.70	209	1.85		
C40-190	197	600	300	1.52	300	373	0.80	214	0.68		
C40-250	259	600	300	1.16	207	322	0.64	193	2.08		
C40-300	306	600	300	0.98	211	332	0.64	190	2.28		

キーワード CFT 純曲げ 耐力 変形性能 ファイバーモデル

大阪市住吉区杉本 3-3-138 TEL: 06-6605-3050 FAX: 06-6690-4520

デルを用い、数値解析的に各供試体のモーメント - 曲率関係および曲げ耐力 M_F を求めた。算定に用いた鋼とコンクリートの応力 - ひずみ関係（引張を正）を図-2 に示す。どちらも道路橋示方書・同解説²⁾に掲載された曲線を原型（両図中、細線参照）としCFT構造の特性を独自に考慮したものである。詳述すれば、まず鋼管は充填コンクリートによる補剛効果などを表現する係数 b_1 と b_2 ¹⁾を導入した上で、ひずみ硬化 H_s （表-1 参照）を考慮した。一方、充填コンクリートはコンファインド効果による圧縮強度の上昇¹⁾を加味している。

5. 結果と考察

表-2 曲げ耐力と降伏変位ならびに終局変位

(1) 曲げ耐力：実験で得られた各供試体の曲げ耐力 M_{exp} を表-2 に示す。実験値 M_{exp} と解析値 M_F とを比較すると実験値は解析値を上回る結果となった。この原因としては実験中に過度の軸力が作用したことや鋼材およびコンクリートのモデル化に問題があることが考えられる。まず、軸力作用を数値的に検討すると、実験値と解析値がほぼ同値となるためには、供試体の軸圧縮耐力の2割程度の軸力を漸増的に作用させる必要があった。しかしながら、軸力を作用させると中立軸位置が低下することも確認された。そこで、図-3 に供試体 C40-300 の中立軸位置 Y_n と平均曲率 関係を示す。

	曲げ耐力			変位		
	実験値	解析値	M_{exp}/M_F	実験値		比
	M_{exp}	M_F		降伏時	終局時	
	(kN·m)	(kN·m)	-	d_{yexp} (mm)	d_{max} (mm)	d_{uexp}/d_{yexp}
C24-070	169	143	1.18	0.117	4.438	37.9
C24-090	137	119	1.15	0.114	7.695	67.5
C24-130	108	96	1.13	0.115	5.435	47.3
C24-190	82	64	1.27	0.150	1.925	12.8
C24-250	59	47	1.26	0.101	6.385	63.2
C24-300	54	43	1.25	0.126	5.905	46.9
C40-070	-	174	-	0.127	-	-
C40-090	168	153	1.10	0.138	3.921	28.4
C40-130	127	91	1.39	0.111	2.155	19.4
C40-190	79	70	1.12	0.138	3.470	25.1
C40-250	58	48	1.23	0.098	5.420	55.3
C40-300	49	42	1.18	0.099	4.450	44.9

これより、中立軸位置に関して、実験値と解析値にほとんど差は見られず、先ほど述べたように過度の軸力が作用した可能性は低いと考えられる。一方、モデル化の妥当性に言及すれば、径厚比やコンクリート強度に関わらずコンファインド効果の影響を一様に評価していることが実験値と解析値の差異を与える一因と考えられる。

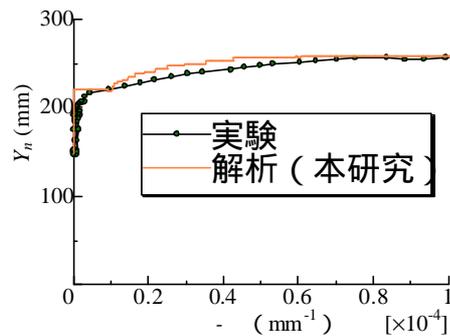


図-3 供試体 C40-300 における中立軸位置推移

(2) 変形性能：実験より得られたモーメント - 曲率関係と数値解析より得られたそれを比較したものととして、制限径厚比を超える供試体 C40-300 について図-4 に例示する。図中、参考として、道路橋示方書で推奨の応力 - ひずみ関係を用いた数値解析結果も併せて示した。図より、道路橋示方書に記載された応力 - ひずみ関係を用いた解析よりも、本研究で行った CFT 構造の特性を加味した応力 - ひずみ関係を用いた解析結果のほうが、より実験結果に近い挙動を示していることがわかる。一方、実験により得られた降伏時の変位 y_{exp} 、終局時の変位 u_{exp} ならびにその比 u_{exp}/y_{exp} を表-2 に示す。表より制限径厚比を超える供試体においても、制限内の供試体と同様の変形性能を有していることがうかがえる。

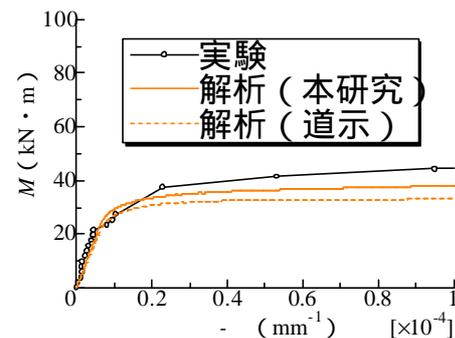


図-4 供試体 C40-300 における M- 関係

6. まとめ

【1】本実験で得られた鋼管降伏時と部材終局時の変位の比より、制限径厚比を超える供試体においても制限内のものと同様の変形性能を有することがわかった。【2】平面保持の仮定の下で行った数値解析より得られたモーメント - 曲率関係が実験によるものを良好に表現したことから、ここで用いた鋼管ならびに充填コンクリートの応力 - ひずみ関係の設定をはじめとする数値計算手法の有用性が確認できた。

参考文献：1)日本建築学会：鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，2001.1

2)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 耐震設計編，2003.3