

[124] アンボンド型充填鋼管コンクリート構造の中心圧縮実験

正会員 ○下戸 芳寛 (清水建設原子力本部)
 正会員 佐藤 孝典 (清水建設技術研究所)
 田中 伸幸 (清水建設技術研究所)
 齊藤 豊 (清水建設設計本部)

1 はじめに

フープ等の横方向筋によって拘束されたコンクリートの力学的特性については、従来より数多くの研究がなされてお^{1) 2)}、その横方向拘束効果による圧縮耐力や靱性の向上は、実験的に明らかにされている。それに対して、鋼管内にコンクリートを充填した鋼管コンクリート構造の場合、このような拘束効果が期待されるにもかかわらず、既往の研究³⁾によれば、鋼管とコンクリートの圧縮強度の単純累加以上の耐力は期待できないものとされている。これは、通常の鋼管コンクリート構造の場合、コンクリートと同時に鋼管も圧縮力を直接負担することになり、両者のポアソン比の差によって、鋼管がコンクリートを横方向に拘束しない状態で鋼管が降伏応力に達するため、コンクリートもその圧縮強度以上の耐力を発揮できないためであると考えられている⁴⁾。

本論文で取り扱うアンボンド型充填鋼管コンクリート構造(以下、本論文中ではUTC構造とする)とは、通常の充填鋼管コンクリート構造(以下、BTC構造とする)と異なり、軸力に関しては、充填コンクリートのみが負担し、鋼管には充填コンクリートに対する横方向拘束能力だけを期待するという構造形式である。本研究は、この構造に対して行った一連の中心圧縮実験の結果をもとに、UTC構造とBTC構造の圧縮耐力・変形能力等を比較するとともに、UTC構造の圧縮応力下における力学的挙動に影響を及ぼす要因や降伏耐力について検討を加えようとするものである。

2 UTC構造の基本原理解

UTC構造とBTC構造の基本的な概念の相違を図-1に示す。UTC構造がBTC構造と本質的に異なる点は、その軸力の伝達機構にある。BTC構造では、軸力は鋼管と充填コンクリートの両方で直接負担されているのに対し、UTC構造では、軸力は充填コンクリートのみで負担され、鋼管は直接負担しない。その際、付着による充填コンクリートから鋼管への軸力の伝達をなくすために、鋼管内面には分離材が塗布されている。鋼管は、軸力に対しては、充填コンクリートの横方向変形に対する拘束材としての役割をする。充填コンクリートの横方向変形を拘束することにより、鋼管には円周方向の引張応力が生じる。これに対して、充填コンクリートは半径方向の圧縮応力を受けることになり、三軸圧縮状態となり強度が上昇する。そして、UTC構造の圧縮耐力は、BTC構造の様に充填コンクリートの圧壊や鋼管の圧縮降伏・局部座屈でなく、鋼管による拘束力の限界、即ち、鋼管の円周方向の引張降伏によって決まることになる。

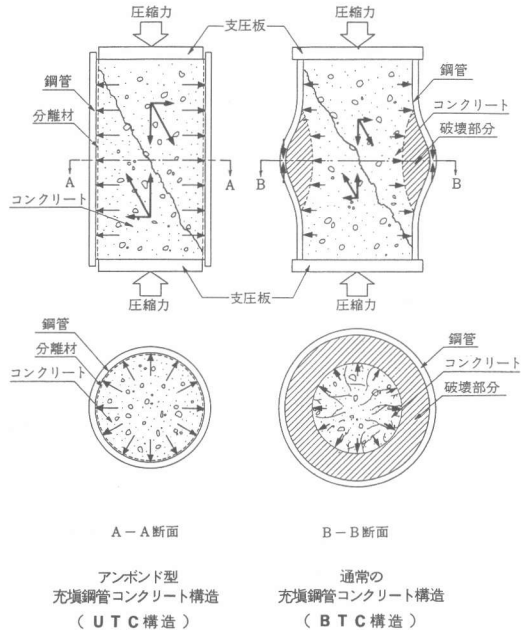


図-1 UTC構造とBTC構造の基本概念図

2 実験概要

本実験で用いた試験体の概要を表-1に示す。実験要因としては、載荷方法・鋼管の板厚(t)・コンクリート強度(Fc)・試験体の高さ-直径比(H/D)・分離材の塗布厚(tu)及びスケールイフェクトを取り上げた。鋼管は、スケールイフェクトを調べるための試験体(RSS20503)を除いてすべて直径を一定($\phi=1143^{\text{mm}}$)とした。

載荷方法は、図-2に示す様に、UTC構造をイメージし充填コンクリート部分のみを圧縮するもの(S型載荷)と、BTC構造のもの、即ち、鋼管と充填コンクリートを同時に圧縮するもの(A型載荷)及び、分離材を塗布していない試験体の充填コンクリート部分のみを圧縮するもの(B型載荷)の3種類である。

実験装置の概要を図-3に示す。載荷は、径が1143^{mm}の試験体については200t試験機、4064^{mm}の試験体については3000t試験機を用いた。材端条件は下端固定・上端ピンとした。試験体の充填コンクリートの変形は、上下支圧板間の変位を2本のダイヤルゲージで測定した。また、鋼管表面に2軸ゲージを貼付して、鋼管の材軸方向と円周方向の歪を測定した。

3 実験結果

3-1 UTC構造とBTC構造の比較

UTC構造とBTC構造の圧縮応力下における力学的性質の相違を調べるために行った実験より得られた軸力-圧縮歪関係を図-4(a)、(b)に示す。図中横軸は、ダイヤルゲージによって測定された充填コンクリートの軸方向変位を歪に換算したものである。図-4(a)には、鋼管表面の2軸ゲージの測定値から、弾性状態を仮定して算定した等価応力 s^{eq} もあわせて示す。また、図-4(a)、(b)は鋼管の板厚及びコンクリート強度が異なっている。図より明らかな様に、UTC構造試験体(MSL6534)は、BTC構造試験体(MAL6534)に比べて、剛性は低いものの最大耐力は大きくなっている。分離材を塗布せずにB型載荷を行ったもの(MBL6534)は、剛性・耐力共にMSL6534とMAL6534の中間になり、分離材の効果が認められる。同図中に示してある等価応力 s^{eq} を比較すると、BTC構造試験体の方が s^{eq} の増加量は大きく、UTC構造試験体に比べてかなり低い軸力段階で s^{eq} が鋼管の降伏応力 $f_y(=384\text{t/cm}^2)$ を超えている。この差がUTC構造とBTC構造の耐力の差になっていると考えられる。また、図-4(a)における試験体に比べて、板厚が薄く、コンクリート強度の高い試験体の実験結果を示した図-4(b)では、剛性及び耐力だけでなく、最大耐力以降の挙動においてBTC構造試験体(MAL3602)が急激な耐力低下を示すのに対し、UTC構造試験体(MSL3602)は最大耐力以降も比較的安定した軸力-圧縮歪関係

表-1 試験体概要

試験体名称	載荷方法	直径(mm)	長さ(mm)	板厚(公称(mm))	板厚(実測(mm))	分離材塗布厚(μ)	Fc(kg/cm^2)	f_y (kg/cm^2)			
HSS3534	S	114.3	340	6.0	5.2	20	534	3840			
HSS3796					5.8	50	796	3860			
MSS448-A					5.9	50	448	3490			
MSS448-B						100					
MSS448-C						200					
MSS448-D				300							
MSL3602				600	114.3	600	3.5	3.2	1000	602	3660
MSL3480							2.9	480	3380		
MSL4480							4.5	3.9	602	3660	
MSL6480							6.0	5.8	534	3840	
MSL6534	5.2	534	3840								
RSS20503	A	406.4	1200	20.4	20.4	1000	503	2620			
MAL3602	A	114.3	600	3.5	3.2	602	3660				
MAL6534				6.0	5.2	534	3840				
MBL6534				6.0	6.0	534	3840				

ex. M S S 6 4 4 8 - A
 試験体径 載荷方法 H/D 板厚 Fc 分離材塗布厚
 $\frac{D}{t} = 2.97$
 $\frac{L}{D} = 5.25$
 Fc: シリンダー強度
 f_y : 鋼管降伏応力

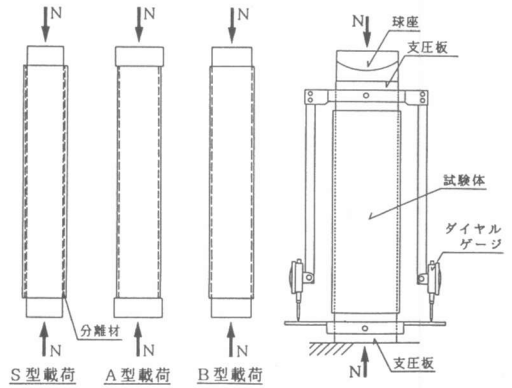


図-2 載荷方法

図-3 実験装置

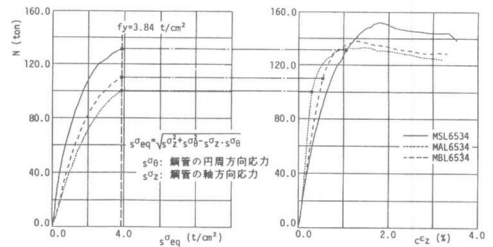


図-4(a) UTC構造とBTC構造の軸力-歪関係

(Fc=534^{kg/cm²}, t=5.2^{mm})

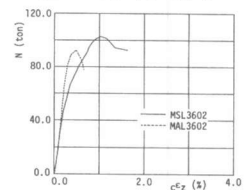


図-4(b) UTC構造とBTC構造の軸力-歪関係

(Fc=602^{kg/cm²}, t=3.2^{mm})

を示すという相違が認められる。

鋼管表面に貼付した2軸ゲージの測定より得られた、鋼管の円周方向 $s^{\epsilon_{\theta}}$ 、軸方向 s^{ϵ_z} と軸力の関係を図-5に示す。BTC構造試験体(MAL6534, MBL6534)の場合、直接あるいは付着により鋼管が軸力を負担するため、 s^{ϵ_z} の値が大きくなっているが、UTC構造(MSL6534)の場合、分離材により鋼管と充填コンクリートの付着が切られているため、 s^{ϵ_z} の値がかなり小さくなっていることがわかる。

3-2 UTC構造におけるパラメータの検討

UTC構造試験体に対して、板厚・コンクリート強度・試験体の高さ-直径比・分離材の塗布厚及びスケールをパラメータとして行った実験より得られた軸力-圧縮歪関係を図-6~図-10に示す。図中横軸はダイヤルゲージの測定値より換算した歪である。図-6~図-9の右側の縦軸は、コンクリート断面積から算定される応力である。また、図の▼印は鋼管が降伏した点であり、等価応力 s^{eq} によって判定した。以下、各パラメータについて検討する。

(i) 板厚(t)……軸力-圧縮歪関係より、初期剛性に関しては、板厚による相違はほとんど認められない。また、最大耐力については、板厚により鋼管の降伏応力が異なるため単純比較はできないが、板厚が薄くなっても最大耐力以降の挙動は比較的安定している。

(ii) コンクリート強度(F_c)…… F_c の値が大きくなるにつれて初期剛性が増大する傾向が認められる。また、 F_c の値が非常に高い($F_c=796$ kg/cm²)場合でも、最大耐力以降の挙動は安定しているといえる。

(iii) 高さ-径比(H/D)……H/Dの値が大きい方が、最大耐力が約5%小さくなっているが、軸力-歪曲線の形状はよく一致している。

(iv) 分離材の塗布厚(t_u)…… t_u が厚いものほど、曲線の折れ曲りが若干早くなる傾向があるが、 t_u がこの程度($50\mu \leq t_u \leq 300\mu$)に納まっていれば、全体的な挙動に及ぼす影響は小さいと思われる。

(v) スケールイフェクト……実大の約2/3の径の試験体(RSS20503)と実大の約1/6の寸法の試験体(MSS6534)の実験結果を、充填コンクリートの応力で表現したものを示す。両者は、材料定数等において若干異なるため単純比較は困難であるが、全体的な挙動の傾向は、スケールによらず類似している。

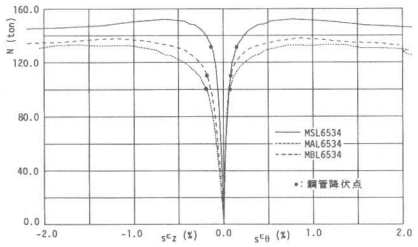


図-5 軸力- $s^{\epsilon_{\theta}}$, s^{ϵ_z} 関係

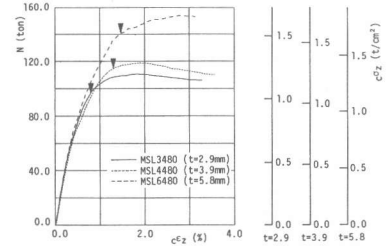


図-6 板厚による比較

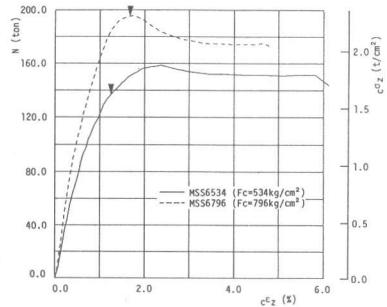


図-7 F_c による比較

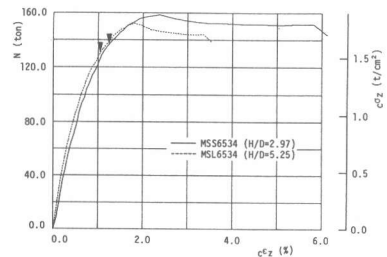


図-8 H/Dによる比較

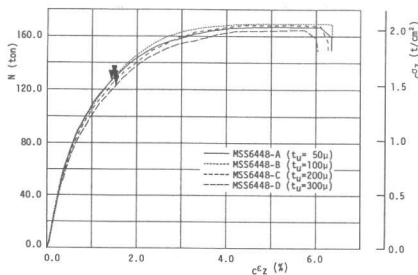


図-9 t_u による比較

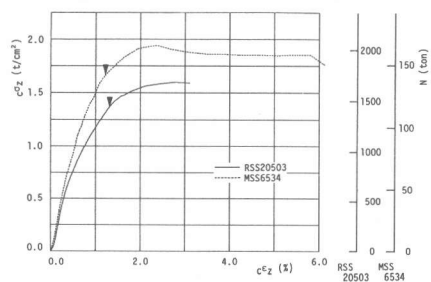


図-10 スケールによる比較

3-3 U T C 構造の降伏耐力

実験より得られた U T C 構造試験体の降伏耐力等の一覧を表-2に示す。なお、ここにおける降伏耐力とは、鋼管が Mises の降伏条件を満足した場合の軸力である。

U T C 構造は、原則として鋼管に軸力を伝達させない構造であるが、充填コンクリートと鋼管の摩擦等により、鋼管に若干の軸方向応力 s^{σ_z} が生じているとすると、U T C 構造の降伏耐力 N_y は(1)式で与えられる。

$$N_y = \bar{c}f_y \cdot cA + s^{\sigma_z} \cdot sA \dots\dots (1)$$

$\bar{c}f_y$: 降伏耐力時のコンクリート圧縮応力度
 cA : コンクリートの断面積
 sA : 鋼管の断面積

U T C 構造の様に、充填コンクリートが鋼管によって拘束されている場合、コンクリートの最大圧縮応力度 $\bar{c}f_y$ は一般に(2)式で与えられるとされている。

$$\bar{c}f_y = F_c + C \cdot f_2 \dots\dots (2)$$

F_c : シリンダー強度
 C : 等価降伏時拘束率
 f_2 : 拘束応力

ここで、 f_2 の値は、鋼管の円周方向応力 s^{σ_θ} によって(3)式で与えられる。

$$f_2 = \frac{1}{D/2} \cdot s^{\sigma_\theta} \dots\dots (3)$$

1 : 鋼管板厚
 D : 鋼管外径

また、 C の値については、実験において鋼管表面の 2 軸ゲージの測定値から算定した降伏耐力時の s^{σ_z} , s^{σ_θ} を(1)式及び(3)式に代入すると、 $\bar{c}f_y$ 及び f_2 が求められる、(2)式によって C の値を決めることができる。実験より得られた各試験体の $\bar{c}f_y$, f_2 を F_c によって無次元化したものをプロットし、 C の値を求めたものを図-11に示す。この図には、本論文では言及していない試験体のもも合せて示してある。 C の値は $C=2.45$ から $C=3.91$ の範囲でばらついており、最小自乗法によると $C=2.94$ となる。

(1)式により降伏耐力 N_y を求める際には、 s^{σ_z} が求められていなければならないが、どの様なメカニズムで、充填コンクリートの軸力が分離材を介して鋼管に伝達されるかは現段階では不明であり、今後の課題として残る。

4 まとめ

- (i) 中心圧縮時においては、U T C 構造は B T C 構造に比べて、剛性は低いものの最大耐力は高く、最大耐力以降の挙動も、鋼管板厚やコンクリート強度によらず安定していることがわかった。また、充填コンクリートと鋼管の付着を切るために塗布した分離材の有効性も確認された。
- (ii) U T C 構造の圧縮応力下の挙動に対しては、鋼管板厚とコンクリート強度が大きく影響することが明らかになった。
- (iii) U T C 構造の降伏耐力を求める際に必要な等価降伏時拘束率 C は、今回の実験結果では $C=2.94$ となった。

謝辞 本研究を遂行するにあたり、大阪大学教授鈴木計夫博士に御助言頂いた。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 鈴木, 中塚, 吉田: 円形補強筋を用いたコンファインドコンクリートの強度及び変形特性; 材料 第34巻 第376号, pp.33~39; 昭和60年1月
- 2) S.H.Ahmad, S.P.Shah: Compilte Triaxial Stress-Strain Curves for Concrete, J.of ASCE Vol.108 NoST4, pp.728~742; 1982.4
- 3) 仲, 加藤, 阿部: コンクリート充填鋼管の圧縮強さ; 日本建築学会論文報告集 第69号, pp.605~608; 昭和36年10月
- 4) 富井, 崎野: 充てんコンクリート鋼管構造に関する研究の現状 その1 部材の弾塑性性状; コンクリート工学 Vol.13 No2, pp.26~40; 1975.2

表-2 実験結果一覧

試験体名称	降伏耐力		降伏耐力時				
	N_y t	N_u t	s^{σ_z} t/cd	s^{σ_θ} t/cd	f_2 t/cd	$\bar{c}f_y$ t/cd	c
MSS534	137	159	-1.21	3.09	0.283	1.36	2.93
MSS796	193	196	-1.12	3.17	0.324	2.06	3.91
MSS448-A	127	167	-1.15	2.77	0.285	1.26	2.85
MSS448-B	130	169	-0.90	2.95	0.303	1.36	2.99
MSS448-C	127	168	-0.58	3.16	0.325	1.40	2.92
MSS448-D	123	164	-0.65	3.12	0.321	1.33	2.75
HSL3602	103	103	-0.50	3.38	0.189	1.07	2.45
HSL3480	97	111	-1.59	2.29	0.116	0.88	3.40
HSL4480	115	119	-0.72	3.85	0.259	1.18	2.70
HSL6480	141	153	-1.68	2.79	0.283	1.30	2.90
HSL6534	131	152	-1.84	2.57	0.235	1.16	2.65
RSS20503	1458	1691	-0.05	2.59	0.260	1.38	3.36

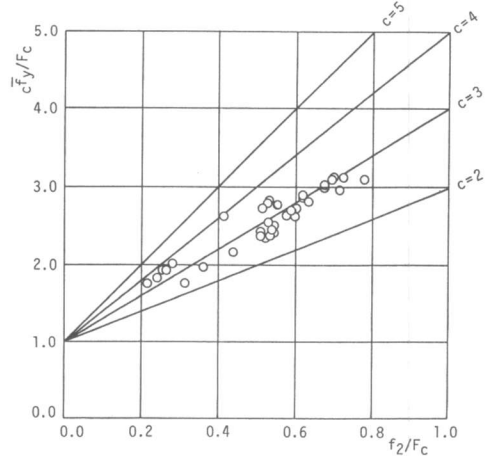


図-11 $f_2 - \bar{c}f_y$ 関係図