論文 膨張コンクリートを用いた合成鋼管の力学性状

佐久間 啓^{*1}·服部 惠光^{*2}·金久保 利之^{*3}·山本 泰彦^{*4}

要旨:遠心力鉄筋コンクリート管に対して,高強度,高水密性を確保できる膨張コンクリ ートを用いた合成鋼管の外圧強度試験を行った。膨張材セメント比を 20~40%の間で,ま た散水養生の有無に分けて供試体を作製した。試験結果を遠心力鉄筋コンクリート管の設 計方法をもとに検討したところ,膨張コンクリートを用いた場合に見られる膨張材量とプ レストレスの間の関連性,さらに膨張コンクリートによる仕事量が一定値となることが確 認できた。それらの結果より合成鋼管の設計方法を提案した。 キーワード:合成鋼管,膨張コンクリート,仕事量

1. はじめに

主に下水道管路等に使用されている遠心力鉄 筋コンクリート管を,さらに高強度化,高水密 化することを目的として,著者等は,比較的薄 肉の鋼管内に膨張コンクリートを遠心力成形し た合成管(合成鋼管)に着目している。本論文 では,合成鋼管の基礎的力学性状を得ることを 目的として,膨張材量,鋼管厚を主たる因子と した外圧強度試験を報告し,その実験結果をも とに合成鋼管の設計方法を提案する。

2. 試験概要

2.1 供試体

供試体は膨張材量,鋼管厚,養生条件を主た る変動因子とした7種類とした。

形状寸法は JSWAS A-2「下水道推進工法用鉄 筋コンクリート管」呼び径 1000 に準じて決定 した。供試体の形状及び寸法を図-1,仕様を 表-1,コンクリートの配合を表-2に示す。

膨張材にはエトリンガイト系膨張材を使用した。鋼管は一般構造用圧延鋼材 SS400 をアーク 溶接で接合して作製した。

なお、供試体 5 にはコンクリートと鋼管の外

圧試験時のずれを防止することを目的として, アンカー筋として異形棒鋼 D10 を鋼管内面管軸 方向に8箇所配置した。供試体 1~4,6~7の 鋼管表面は母材のままとした。

2.2 試験方法

供試体は JSWAS A-2 外圧試験に準じて図-2 のように荷重を加え,目視でひび割れを最初に 確認出来たときの荷重をひび割れ荷重とし,試 験機が示す最大荷重を破壊荷重とした。計測項 目は,荷重値,コンクリート内面,鋼管外面等 のひずみ及び管のたわみ量とした。



3. 試験結果

外圧強度試験結果を表-3に示す。典型的な

*1 中川ヒューム管工業(株) 技術部技術課 (正会員)
*2 中川ヒューム管工業(株) 技術部部長
*3 筑波大学 システム情報工学研究科助教授 博士(工学) (正会員)
*4 筑波大学 システム情報工学研究科教授 工博 (正会員)

供試体 No,	内径×長さ	鋼管厚 (mm)	膨張材量 セメント比 (%)	配筋	材令 (日)	養生
1	ϕ 1000 $ imes$ 1000	3.2	30	なし	29	蒸気1日→大気23日→散水5日
2	ϕ 1000 $ imes$ 1000	3.2	40	なし	27	蒸気1日→大気21日→散水5日
3	ϕ 1000 $ imes$ 1000	4.5	30	なし	29	蒸気1日→大気23日→散水5日
4	ϕ 1000 $ imes$ 1000	4.5	40	なし	27	蒸気1日→大気21日→散水5日
5	ϕ 1000 $ imes$ 1000	4.5	20	なし	21	蒸気1日→大気15日→散水5日
6	ϕ 1000 $ imes$ 1000	4.5	20	なし	80	蒸気1日→大気 79日
7	ϕ 1000 $ imes$ 1000	4.5	0	なし	28	蒸気1日→大気27日

表-1 供試体の仕様

表-2 コンクリート配合

/#⇒₽/₩	水セメ	細骨材率	膨張材セ	単位量(kg/m ³)					
一次武平	ント比	s/a	メント比	水	セメント	膨張材量	細骨材	粗'	骨材
110,	W/C (%)	(%)	(%)	W	С	应派 型	S	Gmax15	Gmax20
			20			85			
1~6	36.6	47	30	188	429	128	783	170	713
			40			171			
7	39.4	47	0	188	477	0	783	170	713



ひび割れ,破壊状況を**図-3**に,各供試体のた わみ及びひずみを図-4~7に示す。なお、供 試体 4 のたわみ計測はひび割れ強度時で終了し た。

4. 考察

4.1 外圧強さ

(1) ひび割れ強さ

ひび割れ強さは供試管 6,7 を除くと, JSWAS A-2, 1種管強度(41.2kN/m)の4~7倍 の強度であった。ひび割れ強度は、膨張材量が 多いほど、また鋼管厚さが厚いほど、大きな値 生の有無が原因と考えられ、他の膨張コンクリ を示す傾向が見られた。供試体6は、供試体5 ートを用いた構造物と同様に¹⁾散水養生が強度

表-3 外圧強度試験結果

供試体 No,	鋼管厚 (mm)	膨張材セ メント比 (%)	散水 養生	ひび 割れ (kN/m)	破壊 (kN/m)
1	3.2	30	有	212	402
2	3.2	40	有	258	350
3	4.5	30	有	255	524
4	4.5	40	有	284	512
5	4.5	20	有	174	551
6	4.5	20	無	107	470
7	4.5	0	無	40	426

※供試体7は426kN/mまで加圧したが破壊はしなかった。



に比べ強度が小さくなっている。これは散水養



特性(特にコンクリートの曲げ引張強度)に影響を与えると考えられる。

(2) 破壊強さ

破壊強さは,供試体 1,2 以外ほぼ同程度の 値で,すべての供試体は破壊時に管内面側部の コンクリート部が圧壊しており,鋼管が厚い程 破壊強度が大きくなるようである。



4.2 たわみ及びひずみ

供試体 1~6 のたわみ及びひずみの変化は, ひび割れ荷重までは直線的に変化しており,そ の勾配も供試体の違いに関わらず同様であるこ とから,ひび割れまでは鋼管とコンクリート部 分はほぼ一体化して挙動しており,膨張材量に よるコンクリートのヤング率の変化は少ないと 思われる。さらに,鋼管にアンカー筋を付けた 供試体 5 とそれ以外の供試体との間に,明確な 差が無いことからアンカー筋の効果は小さいも のと考えられる。

4.3 膨張材によるプレストレス量

ひび割れ強度の増加分を膨張材添加によるプ レストレスの効果と考えることによって、プレ ストレス量を推定する。プレストレス量はコン クリート断面に均等に作用すると仮定し、鋼管 を鉄筋に置き換えて、遠心力鉄筋コンクリート 管の設計方法に準じて、ひび割れ発生直前の状 態の釣合式を解くことにより評価する。²⁾

管を薄肉リングと見なすと、管底位置には外 圧荷重と管自重により式(1)に示す最大モーメン トが発生する。モーメント分布を図-8に示す。

 $M = 0.318 \cdot P_c \cdot R + 0.239 \cdot W \cdot R \tag{1}$

図-9に示す断面力の釣合条件より式(2)(3)が 成立する。

$$N=bx \sigma_c/2 + \sigma_s A_s - b(T_c - x) \sigma_{bt}/2=0$$
(2)
$$M=bx^2 \sigma_c/3 + \sigma_s A_s(x+0.5T_s)$$

$$+b(T_c-x)^2 \sigma_{bt}/3$$
 (3)



式(2)(3)より、管底部のひび割れ抵抗モーメン トは式(4)となる。

$$M_{r} = \{x^{3} + m(T_{c} - x)^{3} + 3nT_{s}(x + 0.5T_{s})^{2}\}b \sigma_{bt},$$

$$/(3m(T_{c} - x))$$
(4)

$$\sigma_{bl} = \sigma_{bl} + \sigma_{ce} \tag{5}$$

$$x = [\{(mT_c + nT_s)^2 + (1 - m)(mT_c^2 - nT_s^2)\}^{0.5} - (mT_c + nT_s)]/(1 - m)$$
(6)

$$mT_c + nT_s)]/(1-m) \qquad ($$

- M:作用曲げモーメント(kN·m)
- :作用軸力(kN) N
- M_r : ひび割れ抵抗モーメント(kN·m)
- : ひび割れ試験荷重(kN/m) P_c
- W: 管の自重(kN/m)
- :管厚中心半径(m) R
- b : 単位幅=1.0m
- : 鋼管厚(m) T_s

$$T_c$$
 : コンクリート厚さ(m)

$$\sigma_{ce}$$
:有効プレストレス量 (N/mm²)

$$n$$
 : $n = E_s / E_{cc}$

$$m : m = E_{bt}/E_{cc} = 0.5$$

$$E_s$$
:鋼材のヤング率=200kN/mm²

=33kN/mm²

*E*_{bt} : コンクリートの引張ヤング率

式(1)=式(4)とし、ひび割れ荷重値を用いて各 プレストレス量を算出した結果を表-4に、膨 張材量とプレストレス量の関係を図-10に示す。 プレストレス量と単位膨張材量との間に強い関



表-4 プレストレス量

供試体 No,	鋼管厚 (mm)	膨張材 (kg/m ³)	σ bt' (N/mm ²)	σ ce (N/mm ²)
1	3.2	128	16.5	11.5
2	3.2	171	20.0	15.0
3	4.5	128	19.1	14.1
4	4.5	171	21.2	16.2
5	4.5	85	13.2	8.2
6	4.5	85	8.3	3.3



連性があることが確認できる。また, 鋼管厚さ よりも散水養生の有無の方がプレストレス量に 大きな影響を及ぼしている。

4.4 鋼管による拘束力と仕事量

外圧を作用させる前の, 膨張材によるプレス トレスと鋼管に生じる応力度との間には釣合条 件として式(7)が成立する。

$$\sigma_{se} = (A_c/A_s) \sigma_{ce} \tag{7}$$

$$\varepsilon_{se} = \sigma_{se} / E_s \tag{8}$$

σ_{se}:拘束鋼管の引張応力度(N/mm²)

 A_c : コンクリートの断面積= $bT_c(m^2)$

 A_s : 鋼管の断面積= bT_s (m²)

E se: 拘束鋼管のひずみ

今回の試験においては管軸方向の拘束を行っ ていないので、鋼管による拘束力は円周方向に おいて顕著であり、管軸方向に対しては円周方 向ほどの効果はないものと推測される。

4.3 節で求められたプレストレス量 σ_{ce} を用い て、 σ_{se} 、 ε_{se} を求めた結果を表-5に示す。求 められた ε_{se} は最大 2244 μ と大きな値となって いるが、これはひび割れ強度の増加をすべてプ レストレスによるものと仮定しているためであ る。

供試体	σ _{ce}	σ _{se}	٤ _{se}
No,	(N/mm^2)	(N/mm^2)	(µ)
1	11.5	344.7	1724
2	15.0	448.7	2244
3	14.1	296.2	1481
4	16.2	340.6	1703
5	8.2	172.1	861
6	3.3	69.4	347

表一5 拃]束鋼管の引張応力度とひず。	н
-------	----------------	---

次に膨張コンクリートが拘束に対してなす仕 事量について考える。仕事量は式(9)のように表 される。³⁴⁾

 $U = \sigma_{ce} \varepsilon_{ce} / 2 = T_c \sigma_{ce}^2 / (2E_s T_s)$ (9)

$$\varepsilon_{se} = \varepsilon_{ce} \tag{10}$$

εce: 膨張コンクリートの膨張ひずみ

各供試体の仕事量を表-6及び図-11 に示す。 多少のばらつきがあるものの,同一配合,同一 養生では,ほぼ同等の仕事量となることが確認 できる。

したがって,同一配合,同一養生の条件下で 仕事量を一定とすることにより合成鋼管に作用 するプレストレス量を推定できる。

5. 設計方法の提案

膨張コンクリートが拘束に対してなす仕事量

表-6 膨張コンクリートによる仕事量

供試体 No,	鋼管厚 (mm)	膨張材 (kg/m ³)	σ_{ce} (N/mm ²)	仕事量 U (kN/m ²)
1	3.2	128	11.5	9.92
2	3.2	171	15.0	16.82
3	4.5	128	14.1	10.45
4	4.5	171	16.2	13.81
5	4.5	85	8.2	3.53
6	4.5	85	3.3	0.57



が既知であると仮定する。管断面に作用するプレストレス量 σ_{ce} は式(11)で求められる。

$$\sigma_{ce} = (2E_s T_s U/T_c)^{0.5}$$
(11)

最大モーメントの発生する管底位置では外圧 荷重との間に式(12)が成立する。

$$M_c = 0.318 \cdot P_c \cdot R + 0.239 \cdot W \cdot R$$
 (12)

断面力の釣り合い条件より管底部のひび割れ 抵抗モーメントは式(13)となる。

$$M_r = \{x^3 + m(T_c - x)^3 + 3nT_s(x + 0.5T_s)^2\} b \sigma_{bt},$$

$$/(3m(T_c - x))$$
 (13)

$$\sigma_{bt} = \sigma_{bt} + \sigma_{ce} \tag{14}$$

$$x = [\{(mT_c + nT_s)^2 + (1 - m)(mT_c^2 - nT_s^2)\}^{0.5} - (mT_c + nT_s)]/(1 - m)$$
(15)

式(12)=式(13)として、解を求める。

6. 確認試験

継手部を取り付けた実大の合成鋼管を用いて 外圧強度試験を実施し,提案した設計方法の妥 当性を確認した。

表-7 供試体仕様

内径×長さ	部位	コンクリー ト厚(mm)	鋼管厚 (mm)	膨張材セメ ント比(%)	配筋	材令 (日)	養生
φ 1000×2430	本体	94.5	4.5	30	なし	33	蒸気1日→大気22日
-	押日	/2.5	平均 12.3		0.1		→散水5日→大気5日

6.1 供試体

供試体の仕様を表-7,形状寸法を図-12 に示す。長さを 2430mm,本体部鋼管厚を 4.5mm,膨張材セメント比を 30%とした。設 計外圧強さ(ひび割れ荷重)は、5 章の検討結 果から膨張コンクリートが拘束に対してなす仕 事量を 10.0kN/m²と仮定し、鋼管厚の大きい挿 口部を 325kN/m,本体部を 250kN/m,全体と しては平均の 288kN/m と計算した。

6.2 試験結果

試験結果を表-8,図-13 に示す。図-13 のたわみ曲線から挿口部の剛性が高いことが確 認でき,ひび割れ強さは設計値より大きな値と なった。実大の合成鋼管においても,提案した 方法により設計が可能である。

7. まとめ

- 合成鋼管に膨張コンクリートを使用することにより、ひび割れ強さは通常の鉄筋コンクリート製1種管の4~7倍になった。
- 2)膨張コンクリートを使用した合成鋼管の強度は、鋼管厚、膨張材量及び養生条件に影響を受ける。膨張材量とプレストレス量には高い相関が認められた。
- 3)膨張コンクリートの鋼管になす仕事量を実 験結果から仮定し、設計外圧強さの計算方 法を提案した。

参考文献

- 1) 土木学会コンクリート委員会高性能コンク リート研究小委員会:膨張コンクリート設 計施工指針,社団法人土木学会,pp.95-103,1993.7
- 2) 全国ヒューム管協会技術委員会: CP ヒュ

表-8 外圧試験結果

	試験荷重(kN/m)	備考
設計値	288	
測定値	291	ひび割れ荷重



6 100



図-12 供試管

¢ 1189 ¢ 1166

ーム管の実用設計計算式について [ひび割 れ及び破壊], pp.1-5, 1985.8

- 3)辻 幸和:コンクリート工学における膨張エネルギーの評価方法、コンクリート工学、 Vol.26, No.10, pp.5-13, 1988.10
- 4) 辻 幸和:ケミカルプレストレスの推定方法
 について、セメント技術年報、No.27、
 pp340-344, 1973