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

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。

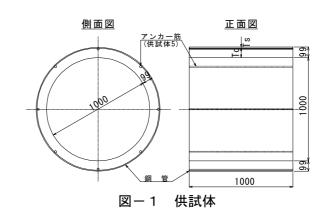
膨張材にはエトリンガイト系膨張材を使用した。鋼管は一般構造用圧延鋼材 SS400 をアーク 溶接で接合して作製した。

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 $1\sim4$, $6\sim7$ 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)

表-1 供試体の仕様

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 1000×1000	3.2	30	なし	29	蒸気1日→大気23日→散水5日
2	φ 1000×1000	3.2	40	なし	27	蒸気1日→大気21日→散水5日
3	φ 1000×1000	4.5	30	なし	29	蒸気1日→大気23日→散水5日
4	φ 1000×1000	4.5	40	なし	27	蒸気1日→大気21日→散水5日
5	φ 1000×1000	4.5	20	なし	21	蒸気1日→大気15日→散水5日
6	φ 1000×1000	4.5	20	なし	80	蒸気 1 日→大気 79 日
7	φ 1000×1000	4.5	0	なし	28	蒸気 1 日→大気 27 日

表-2 コンクリート配合

供試体	水セメ	細骨材率	膨張材セ		単位量(kg/m³)				
No,	ント比	s/a	メント比	水	セメント	膨張材量	細骨材	粗'	骨材
140,	W/C (%)	(%)	(%)	W	C	脚派们重	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

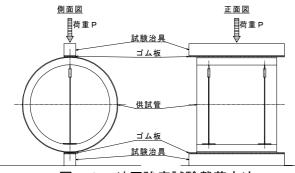


図-2 外圧強度試験載荷方法

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 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

表一3 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。

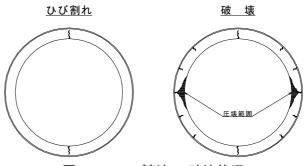
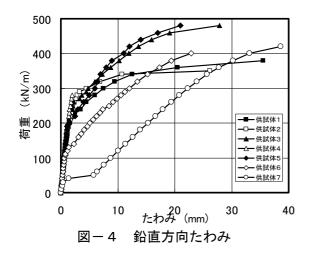
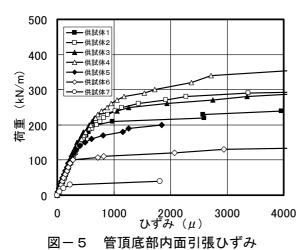
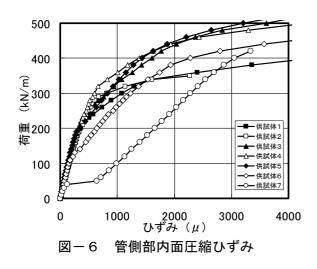


図-3 ひび割れ、破壊状況

に比べ強度が小さくなっている。これは散水養 生の有無が原因と考えられ、他の膨張コンクリ



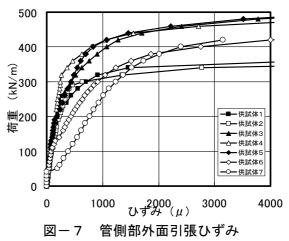




特性 (特にコンクリートの曲げ引張強度) に影響を与えると考えられる。

(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。

$$M=0.318 \cdot P_c \cdot R + 0.239 \cdot W \cdot R$$
 (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= $bx^2 \sigma_c/3 + \sigma_s A_s(x+0.5T_s)$

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

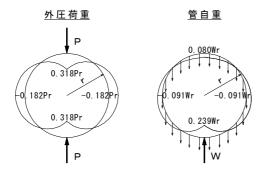


図-8 モーメント分布

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)

$$\sigma_{bt}' = \sigma_{bt} + \sigma_{ce}$$

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

M:作用曲げモーメント $(kN\cdot m)$

N : 作用軸力(kN)

 M_r : ひび割れ抵抗モーメント(kN·m)

 P_c : ひび割れ試験荷重(kN/m)

W : 管の自重(kN/m)R : 管厚中心半径(m)

b : 単位幅=1.0m

 T_s :鋼管厚(m)

 T_c : コンクリート厚さ(m)

 σ_{bi} ':プレストレスを受けたコンクリート

の曲げ引張強度(N/mm²)

 σ_{bt} : コンクリートの曲げ引張強度 =5.0N/mm²

 σ_{ce} :有効プレストレス量 (N/mm^2)

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

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

 E_s : 鋼材のヤング率=200kN/mm²

Ecc : コンクリートの圧縮ヤング率

 $=33kN/mm^2$

 E_{ht} : 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

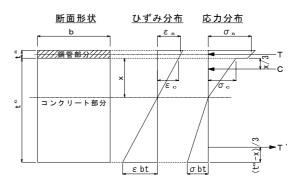


図-9 断面力の釣合

表-4 プレストレス量

供試体 No,	鋼管厚 (mm)	膨張材 (kg/m³)	σ bt' (N/mm ²)	σ ce (N/mm²)
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

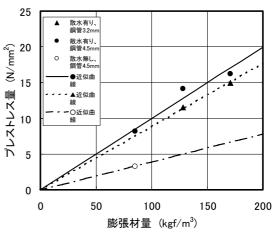


図-10 プレストレス量と膨張材量

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 (m²)

 A_s : 鋼管の断面積= bT_s (m^2)

ε_{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。

表-5 拘束鋼管の引張応力度とひずみ

供試体 No,	σ_{ce} (N/mm ²)	σ_{se} (N/mm ²)	ε se (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

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。³⁾⁴⁾

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

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

U :膨張コンクリートが

拘束に対してなす仕事量

εcc: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/m³)	σ_{ce} (N/mm ²)	仕事量 U (kN/m²)
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

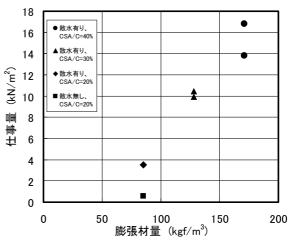


図-11 仕事量と膨張材量

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。

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

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)

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

$$x = \left[\left\{ (mT_c + nT_s)^2 + (1 - m)(mT_c^2 - nT_s^2) \right\}^{0.5} - (mT_c + nT_s) \right] / (1 - m)$$
 (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
± 1000 × 2420	本体	94.5	4.5	30	<i>†</i> a1	22	蒸気1日→大気22日
$\phi 1000 \times 2430$	挿口	72.5	平均 12.3	30	なし	33	→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

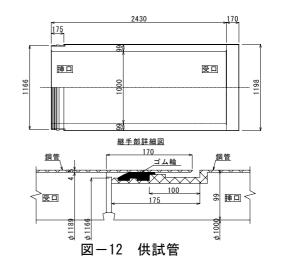
- 1)合成鋼管に膨張コンクリートを使用することにより、ひび割れ強さは通常の鉄筋コンクリート製1種管の4~7倍になった。
- 2)膨張コンクリートを使用した合成鋼管の強度は、鋼管厚、膨張材量及び養生条件に影響を受ける。膨張材量とプレストレス量には高い相関が認められた。
- 3)膨張コンクリートの鋼管になす仕事量を実 験結果から仮定し、設計外圧強さの計算方 法を提案した。

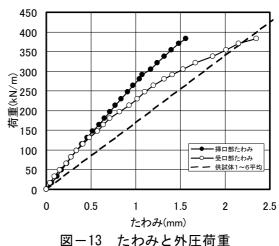
参考文献

- 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





- 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