

[176] 推進用腹鉄筋コンクリート管の外圧試験結果とその考察

正会員 佐藤直昭 (ショーボンド建設 技術本部技術部)

1. まえがき

鉄筋コンクリート管は外圧試験によって外圧強度を確認する。現状の管規格ではひびわれ発生点に目が行き過ぎて、破壊の点には目が向いていない。実際には必要な破壊点を知って適正なひびわれ点を定めることが大切だと思う。

本管は青森市の下水道に用いられた推進工法用のφ2700mmの鉄筋コンクリート管で、推進時に複雑な外力が働くことから管の破壊荷重を高めるために円周方向を腹鉄筋構造とし、推進方向にも異形棒鋼を配して増強したものである。

本文ではひびわれ発生点(初きれつ)と破壊点への挙動を荷重たわみ線を基に明らかにし、合せて膨張材を入れてケミカルプレストレスを導入した鉄筋コンクリート管の挙動についても検討を加える。

2. 実験の概要

供試体の製作、外圧試験はすべて埼玉県T社の製造工場で行った。

2.1 使用材料

- a. セメント：普通ポルトランドセメント，比重3.15
- b. 膨張材：膨張性混和材，比重3.12
- c. 骨材：細骨材は栃木県思川産，比重2.64，F.M = 3.03

粗骨材10mmは埼玉県荒川産(碎石)，比重

2.69，F.M = 5.95，粗骨材20mmは埼玉県荒川産(碎石)，比重2.70，F.M = 7.55

- d. 鉄筋：円周方向主鉄筋φ8(硬鋼線JISG3521)軸方向主鉄筋D16(棒鋼JISG3112)腹鉄筋φ3.2(鉄線JISG3532)

2.2 供試体

供試体の一般図を図-1に示す。

- a. 種類および数量：表-1に示すように鉄筋比を4種類、普通コンクリートの供試体を7本と膨張材を内層60mm入れた場合を1本、全厚に入れた場合の供試体を2本作成する。

- b. 製造：供試体の管は遠心力製法とし、一度に2個の供試体ができるように管長を約1.140mmとした。製造方法は遠心力鉄筋コンクリートJISA5303に準拠する。

表-2 コンクリート配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材料 S/a (%)	単 位 量 (kgf/m ³)				
					水 W	セメント C	膨張材 E	細骨材 S	粗骨材 G
20	4	0	33	40	181	550	—	682	1021
						480	70		

注3 上段は普通の場合、下段は膨張材を混入したコンクリートである。

表-1 供試体の仕様

符 号	供試体数	円周方向主鉄筋			軸方向主鉄筋			摘 要
		直径 (mm)	中心間隔 (mm)	鉄筋比 ρ (%)	直径 (mm)	本数 (本)	鉄筋比 ρ (%)	
1	2	φ8	40	0.62	D16	内30 外30	0.67	
2	2	"	35	0.70	"	"	"	
3	2	"	65	0.40	"	"	"	
4	2	"	40	0.62	"	"	"	
5	1	"	40	"	"	"	"	膨張材を全厚に入れる。
6	1	"	120	0.20	"	内6 外3	0.10	内層60mm膨張材を入れる。

注1. 腹鉄筋は円周方向主鉄筋と同じ中心間隔で挿入。

注2. 円周方向主鉄筋は内外に挿入してある。

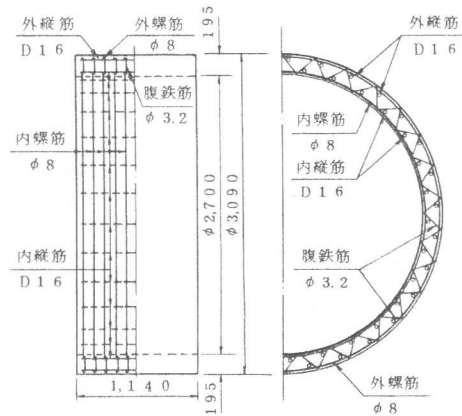


図-1 供試体

筋比によって剛性の勾配が異なることが分る。

各測定データをひびわれ発生前と後とに分けて対数目盛で直線を描き、その交点を示すと表-5となる。

4.2 鉄筋比と剛性

鉄筋比の差異による剛性の関係を表-5から取り出すと図-3(左)となる。ひびわれ発生前は剛性の相関係数が低く、一定値とみなせる。この点は膨張材を入れたものも若干の逆勾配とみえるけれども(図-3右), 図-2をみる限り、一定値とみるべきで、ひびわれ前の剛性は総てのデータの相加平均により求めると0.843となる。

ひびわれ発生後の鉄筋比による剛性は次式で与えられる。

$$a = 0.5145p + 0.163 \dots\dots(1)$$

ここに、 p : 鉄筋比(%)、相関係数 $r = -0.923$ 。

次に、荷重たわみ線で荷重軸に接する点bについて検討する。鉄筋比と接点b、膨張材入りコンクリート管厚 t と接点bとの関係を図-4に示す。ひびわれ発生前では鉄筋比、膨張材に関係なく一定値である。接点bは総てのデータを相加平均して求めると-0.950となる。したがって、ひびわれ発生前の荷重たわみ線は次式となる。

$$\log P = 0.8426 \log \delta - 0.950 \dots\dots(2)$$

$$\therefore P = \frac{1}{0.950} \delta^{0.8426} \dots\dots(2')$$

4.3 膨張材を入れたコンクリートによる剛性への影響

表-5から図-3(右)を得る。ひびわれ発生前は(2), (2')を用いる。

ひびわれ発生後は相関係数 $r = -0.937$ で次式となった。

$$a = 0.0069t + 0.486 \dots\dots(3)$$

ここに、 t : 膨張材を入れたコンクリートの厚さ(mm)。

4.4 変形能力

部材変形角 R は円管の場合に半円周長に対するたわみ量により表すことができる。

$$R = \frac{\delta}{\pi r} \dots\dots(4)$$

ここに、 δ : たわみ

表-5. 対数目盛による二直線と交点座標

符 号	対数目盛による二直線				交点座標						
	ひびわれ前		ひびわれ後		対数目盛		普通目盛				
	a	b	a	b	log δ	log P	δ	P			
鉄筋比の影響	0.70%	2	0.8248	0.913	0.4993	0.194	2.2092	0.909	161.9	8.1	
			0.8377	0.924	0.4845	0.152	2.1862	0.908	153.6	8.1	
		全資料	0.8302	0.917	0.4908	0.170	2.2001	0.910	158.5	8.1	
		1	0.8543	0.966	0.4846	0.201	2.0706	0.765	117.7	6.3	
			0.8798	1.057	0.5154	0.308	2.0554	0.752	113.6	5.6	
		全資料	0.8666	1.008	0.5010	0.258	2.0536	0.771	113.1	5.9	
	0.62%	3	0.9004	1.099	0.4090	0.078	2.0790	0.772	119.9	5.9	
			0.7930	0.858	0.4133	0.100	1.9950	0.724	98.9	5.3	
		全資料	0.8246	0.939	0.4117	0.091	2.0530	0.754	113.0	5.7	
		0.40%	6	0.8613	1.034	0.2102	0.356	2.1336	0.804	136.0	6.4
		膨張材の影響	5	0.8171	0.893	0.4039	0.102	2.4068	1.074	255.2	11.9
			4		0.8454	0.922	0.3640	0.291	2.5206	1.209	331.6
	0.8124			0.838	0.3522	0.301	2.4759	1.173	299.2	14.9	
全資料	0.8276			0.877	0.3487	0.322	2.5045	1.195	319.5	15.7	

注5. 直線は $\log P = a \log \delta + b$

注6. δ ($\times 10^{-2}$ mm), P (t/m)

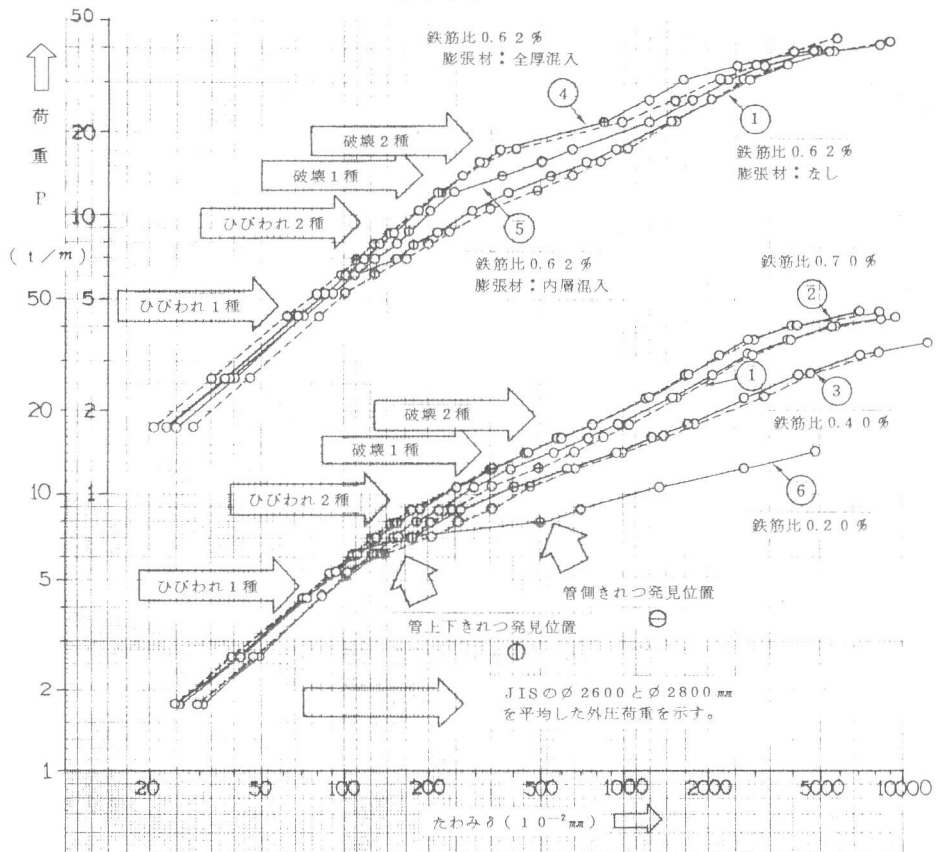


図-2 荷重とたわみの関係

r : 管壁中心半径

今回の試験で得られた管上下内面ひびわれ発生時、管側外面ひびわれ発生時、破壊時に対応する部材変形角を求めると表-4の右欄となる。管上下内面ひびわれ発生と破壊に対する限界の部材変形角を膨張材の混入してない供試体から求めると、信頼度68%では1/3800~1/2500(平均1/3000)と1/80~1/40(平均1/55)となる。

一方、膨張材を入れたコンクリートの変形能力の限界を対数目盛の二直線の交点とすれば、部材変形角Rは次のように求められる。

$$\text{供試体 5} \quad R = \frac{\delta}{\pi r} = \frac{0.255}{454.7} = \frac{1}{1800} \text{ rad}$$

$$\text{供試体 4} \quad R = \frac{\delta}{\pi r} = \frac{0.320}{454.7} = \frac{1}{1400} \text{ rad}$$

通常のコンクリートの変形能力1/3000radを膨張材入りコンクリート管厚60mmと195mm(全厚)では1/1800rad, と1/1400radまで高められたといえる。

5. 結論

今回実験に供したφ2700mm腹鉄筋コンクリート管に関して次のことがいえる。

(1) ひびわれ発生までの荷重たわみの関係は鉄筋比の差異や膨張材の有無にかかわらず次式となる。

$$P = \frac{1}{0.950} \delta^{0.8426} \dots\dots\dots(2)$$

(2) ひびわれ発生点は、信頼度68%では1/3800rad(平均1/3000rad)である。

(3) 膨張材の効果は管上下内面のひびわれ発生点と対数目盛による二直線の交点をひびわれ前の剛性の線上に引き上げる働きをする。その限度は部材変形角にして膨張材入りコンクリート管厚60mmで1/1800rad, 全厚(195mm)では1/1400radである。なお、膨張材の有無による破壊点の変化はみられなかった。

(4) 管上下内面にひびわれが発生してからの剛性は鉄筋比に応じて次式で示すことができる。

$$a = 0.5145p + 0.163 \dots\dots\dots(1), \text{ここで, } a: \text{剛性, } p: \text{鉄筋比}(\%), (r = 0.923)$$

(5) 膨張材を入れたコンクリートを管厚60mm, 全厚(195mm)入れたときにひびわれ発生以後の剛性は次式となる。

$$a = -0.0069t + 0.486 \dots\dots\dots(5), (r = -0.937)$$

(6) 破壊点は信頼度68%では1/80rad(平均1/55rad)である。

6. あとがき

外圧試験時の管の挙動を荷重とたわみを主にして検討した。特に、管にかかる外圧荷重とたわみとの関係は従来の理論式では連続的に扱うことができなかった。本文では実験式により管の外圧挙動を連続的に推定できるようにした。今後、理論式との対応を明らかにして広く適用できる式に展開したい。

1) 松橋武智雄・佐藤直昭：φ2700mm腹鉄筋ヒューム管における外圧挙動の一、二の考察，第11回下水道研究発表会5-5, 昭和49年5月

2) 佐藤直昭：鉄筋コンクリート管の破壊について，第12回下水道研究発表会5-1, 昭和50年5月

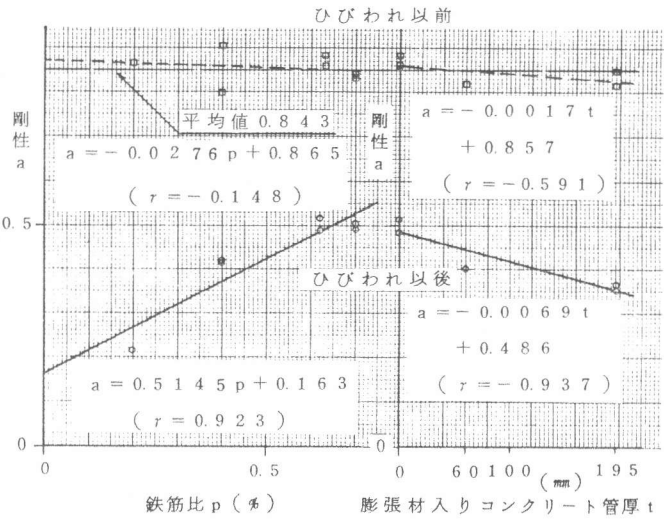


図-3 鉄筋比，膨張材入り管厚と剛性との関係

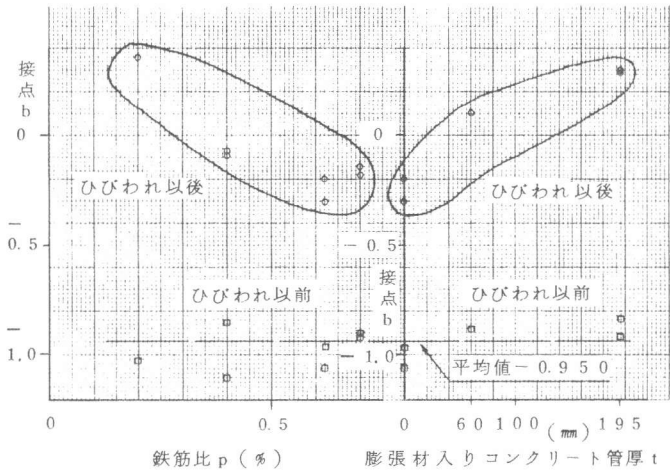


図-4 鉄筋比，膨張材入り管厚と荷重軸接点bとの関係