

コア式プレストレストコンクリート管 (PC 管)

小笠原 一 男*

1. 製品の概要

PC 管は、わが国においては、昭和 30 年代の初めより実用化されるようになったコンクリート系の高圧管で、上水道、工業用水道、農業用水道などに、鋼管や鋳鉄管に匹敵する強度を有する管材料として広く使用されるようになったものである。

公的な規格としては、昭和 39 年に、日本工業用水協会規格 (JIWWA-4) の制定されたのが最初であるが、昭和 46 年 2 月、この規格が基本となって、JIS A 5333 (コア式プレストレストコンクリート管) として日本工業規格となったものである。このほか、日本水道協会規格が別途に制定されており、日本道路協会、道路土工指針にも外圧専用管としての強度規格が設定されている。

現在、国内におけるこの管の製造方式には、コアの製造方法によって二つの分野があり、一つはヒューム管によって代表される遠心力方式、もう一つはロール転圧方式である。前者は国内技術によって開発され、後者は海外より導入された技術によるものであるが、管体構造としては基本的な相違点はない。ただし、形状寸法には、当初より若干の差異があり、統一を見ないまま今日に至っている。

2. 管の構造および製造工程

管体の構造は、図-1 に示すように、コア (素管) とその外周に巻き付けられた PC 鋼線および防食のためのカバーコートよりなっており、コアには管軸方向に PC 鋼棒が配置されている。なお、この場合の PC 鋼材の緊

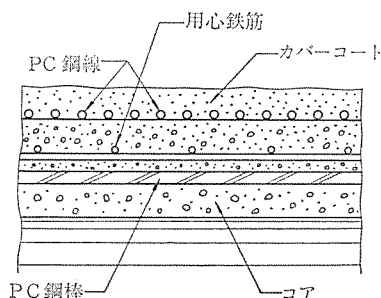


図-1 PC 管の構造

張方式は、PC 鋼線がポストテンション、PC 鋼棒がプレテンション方式によって施工されている。

PC 鋼材は、JIS G 3109 (PC 鋼棒) に規定する異形棒、JIS G 3536 (PC 鋼線および PC 鋼より線) に規定する PC 鋼線-丸線および JIS G 3538 (PC 硬鋼線) が使用されている。

製造工程のうち、主たるものを列挙すると以下のようになる。

2.1 管軸方向のプレストレスング

コア製造用の型枠は、剛性の大きな鋼製型枠であり、型枠を組み立てた後、両端の継手成形リングを貫通して配置された PC 鋼棒を、個々のジャッキによって所定の引張応力となるように同時緊張を行い、ナットによって型枠に定着される。この場合、必要によっては、籠状の用心鉄筋をそう入することも併行して行われる。

2.2 コアの成形

2.1 の工程によって用意された型枠は、JIS A 5303 (遠心力鉄筋コンクリート管) または JIS A 5332 (ロール転圧鉄筋コンクリート管) と全く同じ方法でコンクリートが投入され、それぞれの締固め方式によってコアが成形される。製管作業の完了した型枠は、蒸気養生室 (または槽) に格納され、常圧蒸気によって、コンクリートが所定の圧縮強度 (250 kg/cm^2 以上) となるまで強制養生が行われたのち脱型が行われるが、この時点において、管軸方向にはプレストレスが導入されることとなる。

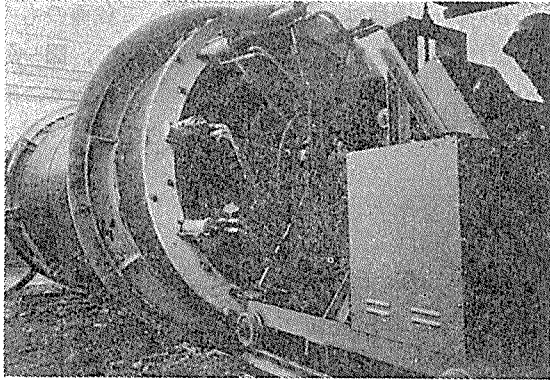
なお、この後、数日の間散水などによる湿潤養生が行われる。

2.3 円周方向のプレストレスング

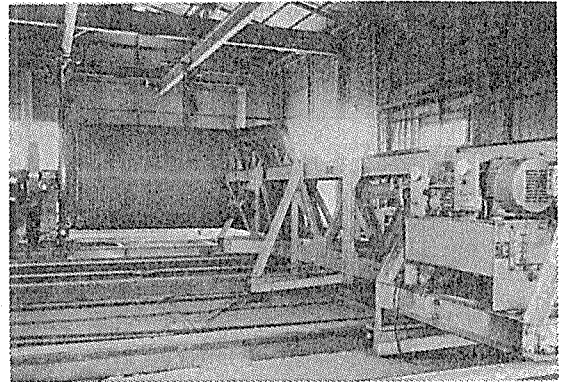
湿潤養生などによって 300 kg/cm^2 以上の圧縮強度となったコアには、最も重要な製造工程である円周方向のプレストレスングが行われるが、この作業は、特別に設計された巻線装置によって、PC 鋼線が所定の応力度となるように、バックテンションを与えながら、回転するコアに計算されたピッチで連続巻取りを行い、初期プレストレスがコアに導入される。

巻線の両端は、コアに埋め込まれた定着金具によって完全に固定される。

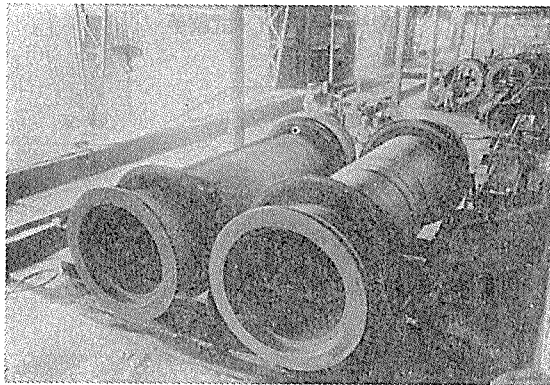
* 日本ヒューム管 (株) 技術部長



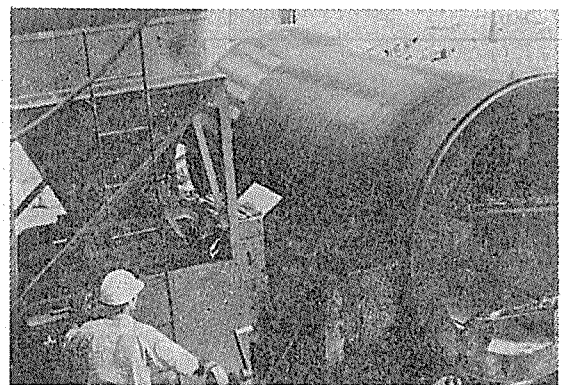
写真一1 PC 鋼棒の緊張



写真一3 PC 鋼線の巻付け



写真一2 コアの遠心成形



写真一4 カバーコートの吹付け

2.4 カバーコートの施工

カバーコートの施工は、巻線完了後引き続いて行われるが、専用の吹付け機械またはセメントガンなどによるショットクリート工法によって、ゆっくりと回転する管体表面に、所定の厚さとなるまで、均等なモルタル層の吹付けが行われる。

この製造工程によって完成品となるが、カバーコートは、各種の検査が行われるまで、ストックヤードにおいて湿潤養生が行われる。

3. 管の規格

先に述べたように、PC 管の規格は JIS A 5333 が制定されているので、以下はこの規格に基づいて述べることにする。なお、本規格に規定する管は、すべて継手の構造がゴムガスケットを用いて接合するソケット形式のものである。

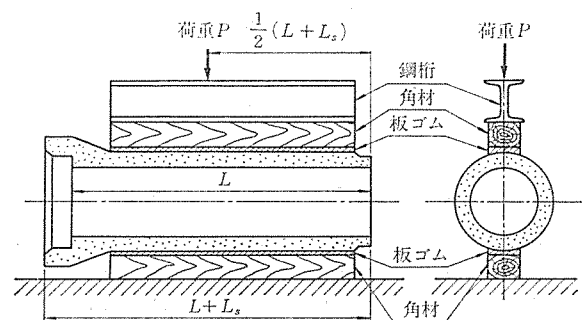
3.1 種類

管の種類は、管体強度によって区分されているが、この管は主として圧力管路が対象となるので、内圧強度が基本となっており、表一に示すように、試験内圧の大きさによって5段階に分類されている。管体強度はプレストレス量の大小によって設計されていることはもちろんであるが、この場合の試験内圧は、規定の水圧が作用

表一 内圧強さ

種類	試験内圧 (kg/cm ²)	ひびわれ内圧強度 (kg/cm ²)	呼び径 (mm)
1 種	18	20	500~1500
2 種	14	16	500~1800
3 種	10	12	500~1200
4 種	6	8	
5 種	4	6	

した状態で、フルプレストレスとなるように設計されているものである。なお、併記してあるひびわれ内圧強度は規格本文の規定ではなく、解説として掲載されているものであるが、管体にひびわれが生じて漏水する時の極限水圧も示すものであり、管種選定を行ううえにおいて必要な強度である。



図一 外圧試験

土木構造物

表-2 外圧強さ

呼び径 (mm)	試験外圧 (kg/m)				
	1種	2種	3種	4種	5種
500	11200	9700	8000	6400	5600
600	11000	9500	7800	6100	5200
700	11300	9600	7900	6100	5200
800	12000	10200	8400	6400	5500
900	13000	11000	8800	6700	5600
1000	13800	11700	9400	7300	6100
1100	14400	12100	10000	7600	6100
1200	15100	12800	10500	8100	6900
1350	15700	13300	10800	8200	6900
1500	16900	14300	11800	9000	7500
1650	—	15500	12700	9700	8000
1800	—	16100	12900	9800	8200
2000	—	—	13700	10300	8500

表-2 の試験外圧は、図-2 のような外圧試験を行った場合、管体にひびわれが発生する時の強度（集中線荷重）で、ひびわれ内圧強度と同様に、管種選定上必要な数字であるので、昭和 54 年の改正において新たに追加されたものである。

3.2 形状、寸法および継手構造

管の形状、寸法は、図-3 および 表-3 に示すとおりであるが、先述したように、二つの製造方式が別途に発展したために、両者の規格を併記した変則的な形となっている。

また、図-2 は極めて概略的な形状となっているが、

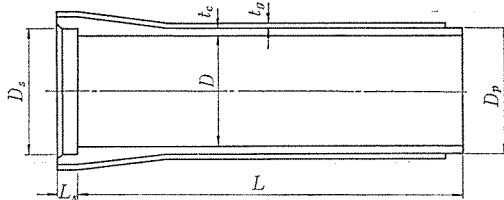


図-3 形状

表-3 寸法

(単位: mm)

呼び径	内径 D		コアの厚さ tc		さし口の外径 Dp		受口の内径 Ds		受口の深さ Ls	カバーコート厚さ tg	有効長* L	質量(参考) (kg/m)	
	I	II	I	II	I	II	I	II				I	II
500	500	500	42	40	572	575	592	595	115	25 以上	4000	320	320
600	612	600	44	44	684	687	708	711				410	390
700	724	700	46	46	800	781	824	806				480	460
800	828	800	52	50	916	894	940	918	610			560	
900	932	900	59	55	1034	1004	1058	1028	740			700	
1000	1034	1000	65	60	1144	1112	1172	1140	870			800	
1100	1134	1100	71	65	1258	1222	1286	1250	970			930	
1200	1234	1200	78	70	1372	1332	1400	1360	1210			1110	
1350	1382	1350	87	75	1538	1492	1566	1520	1460			1320	
1500	1532	1500	96	85	1702	1680	1734	1712	1770			1680	
1650	1680	1650	105	95	1868	1830	1900	1862	2080	1930			
1800	1824	1800	115	100	2032	1988	2064	2020	2480	2240			
2000	2040	2000	125	110	2268	2210	2300	2242	2940	2730			

(注*) 受渡当事者間の協定により、有効長 5000 mm のものを造ることができる。

(備考) I 印は遠心力方式、II 印はロール転圧方式によって製造した管の寸法である。

継手部分の詳細構造は、接合方式によって各種のものがある。これらのうち代表的なものを挙げると、図-4 のスライド式と図-5 のローリング式の二つがあり、前者はゴムガスケットをスライドさせながらそう入する構造、後者はOリングが回転しながら圧縮されて水密継手を構成するものである。

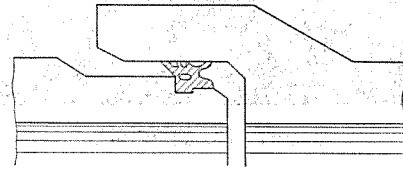


図-4 スライド式継手

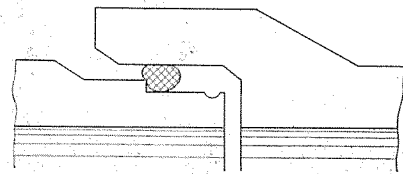


図-5 ローリング式継手

4. 管体設計

管体設計の基本となるのは試験内圧であり、水圧試験を行っている状態で規定の圧力が作用した場合に、プレストレスが零となるように計算される。したがって、完全なフルプレストレスとするためには、管の自重および管内水重によって生じる曲げ引張応力度も打ち消す必要があるために、管体設計内圧（導入内圧という）は、管径に応じて、試験内圧に 1~3 kg/cm² を加えた値となっている。

JIS A 5333 では、PC 鋼材の初期緊張力は、その引張荷重の 0.7 倍以下、または降伏点荷重の 0.8 倍以下

とされているが、一般的には、導入内圧が作用した場合、PC 鋼材の引張応力度が引張強度の 60% 以下であればよいという設計指針によって、PC 鋼線量（鉄筋比）を一元的に求めることとしている。

今、 $\sigma_{p0} = 0.6 \sigma_{pu}$ とすると、

$$p_p = \frac{D \cdot H_0}{2 \sigma_{p0} \cdot t_c} = \frac{D \cdot H_0}{1.2 \sigma_{pu} \cdot t_c} \dots\dots\dots(1)$$

ただし、

σ_{p0} : 導入内圧が作用した時の PC 鋼線の許容引張応力度 (kg/cm²)

σ_{pu} : PC 鋼線の引張強度 (kg/cm²)

p_p : 必要鉄筋比 (= t_p/t_c)

t_p : PC 鋼線の平均輪厚 (cm)

t_c : コアの厚さ (cm)

D : 管の実用径 (cm)

H_0 : 導入内圧 (kg/cm²)

(注) 内圧強度計算ではカバーコートは無視する。

(1) 式より p_p が求められるが、実際の巻線仕様は、 t_p を満足するような鋼線径と巻線ピッチを選定することとなる。

また、この場合のコアの有効プレストレスは (2) 式によって計算することができる。

$$\sigma_{ce} = \frac{p_p \cdot \sigma_{p0}}{1 + n \cdot p_p} = \frac{0.6 \sigma_{pu} \cdot p_p}{1 + n \cdot p_p} \dots\dots\dots(2)$$

ただし、

σ_{ce} : コア円周方向の有効プレストレス (kg/cm²)

n : 弾性係数比 ($E_p/E_c=5$)

E_p : PC 鋼線の弾性係数 (= 2×10^6 kg/cm²)

E_c : コアコンクリートの弾性係数 (4×10^5 kg/cm²)

したがって、 σ_{p0} に対する初期引張応力度（巻線時）は各種のロスを考慮すると (3) 式のように表わすことができる。

$$\sigma_{pi} \cong \frac{\sigma_{p0} + (1 + n \cdot p_p) \epsilon_s \cdot E_p}{1 - \alpha - n \cdot p_p} \dots\dots\dots(3)$$

ただし、

ϵ_s : コアコンクリートの乾燥収縮度 (= 2×10^{-5})

α : PC 鋼線のリラクセーションによる応力減少率 (= 0.05)

(3) 式において $\sigma_{p0} = 0.6 \sigma_{pu}$ として計算した場合、 $\sigma_{pi} \leq 0.7 \sigma_{pu}$ を満足しなくてはならないが、高压管では $\sigma_{pi} > 0.7 \sigma_{pu}$ となることがあるので、その場合には、 $\sigma_{pi} = 0.7 \sigma_{pu}$ として (3) 式より σ_{p0} を逆算し、 p_p の補正を行わなくてはならない。

管軸方向のプレストレスは、円周方向のプレストレスによって発生する引張応力度を補償するために行われるものであって、その値は (4) 式によって計算され

る。

$$P_{ce}' = 1/\nu \cdot \sigma_{ce} \cdot A_c \dots\dots\dots(4)$$

ただし、

P_{ce}' : 管軸方向に導入する有効プレストレスの総和 (kg)

$1/\nu$: コアコンクリートのポアソン比 (= 1/6)

A_c : コアの断面積 (= $\pi(D+t_c)t_c$ cm²)

管の使用状態においては、その直角断面に作用する応力度はあまり大きなものとはならないので、管軸方向に配置する PC 鋼材は、 P_{ce}' をほぼ満足する程度に、有効径と本数を選定すればよい。

なお、紙面の関係上詳しい説明は省略するが、ひびわれ内圧強度は、パーシャルプレストレスングとして、 σ_{ce} にコアコンクリート自身の軸引張強度 (σ_t) を加えた値で計算された内圧の大きさであって、 σ_t は 35 kg/cm² 程度 ($\sigma_c = 500$ kg/cm² の場合) までとることができる。また、試験外圧はひびわれ外圧強度に相当するもので、断面を梁として考えた場合 (図-1 参照) のひびわれ抵抗曲げモーメントより求めるが、その場合の計算上の曲げ引張強度は ($m \cdot \sigma_{ce} + \sigma_{bt}$) が用いられる。 m は実験上より求められた係数 (一般的には 1.35 としている) である。ただし、外圧強度計算においては、カバーコート厚の 60% を有効断面としてコア厚に加えている。

5. 管種選定

使用設計は、内圧と外圧の両者の組合せによって管種選定を行うのが最近の手法であり、以下は農林水産省構造改善局土地改良事業計画設計基準に規定されたものについて説明することとする。

組合せ荷重による両者の相関関係は、次に示す実験式が設計の基本となる。

$$\left(\frac{P_H}{P_r}\right)^{1.5} + \left(\frac{H_P}{H_r}\right) = 1 \dots\dots\dots(5)$$

ただし、

P_r : 内圧が 0 の時、ひびわれが発生する外圧 (kg/cm²)

H_r : 外圧が 0 の時、ひびわれが発生する内圧 (kg/cm²)

P_H : 内圧が H_P の時、ひびわれが発生する外圧 (kg/cm²)

H_P : 内圧が P_H の時、ひびわれが発生する内圧 (kg/cm²)

(5) 式の関係は、図-6 の点線で示したような曲線となるが、実用的には、 P_r および H_r はそれぞれ規格上

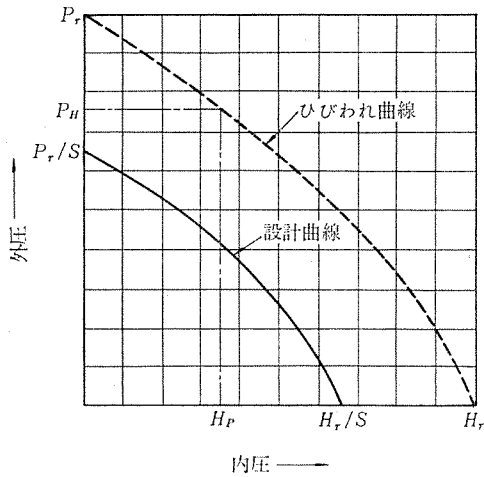


図-6 外圧・内圧相関曲線

の試験外圧とひびわれ内圧強度が用いられる。さらに、実際の設計曲線は、安全率 ($S=1.5$) を考慮して、(5) 式の P_r の代わりに P_r/S , H_r の代わりに H_r/S が用いられ、実線のように作図される。

管種選定図は、各管種に対する設計曲線を、図-7 のように集合したもので、縦軸上に設計外圧 (P)、横軸上に設計内圧 (H) をとり、それぞれの点より横軸および縦軸に平行線を引いた時に、それらの交点の直上の曲線に相当する管種が、適用管種として選定されることになる。

なお、設計水圧は使用水圧と管路の構造に基づいて算出された水撃圧の合計であり、設計外圧は、管の埋設状態より計算される土圧、活荷重および側土圧（主働土圧）と基礎構造によって定まる曲げモーメントのほか、

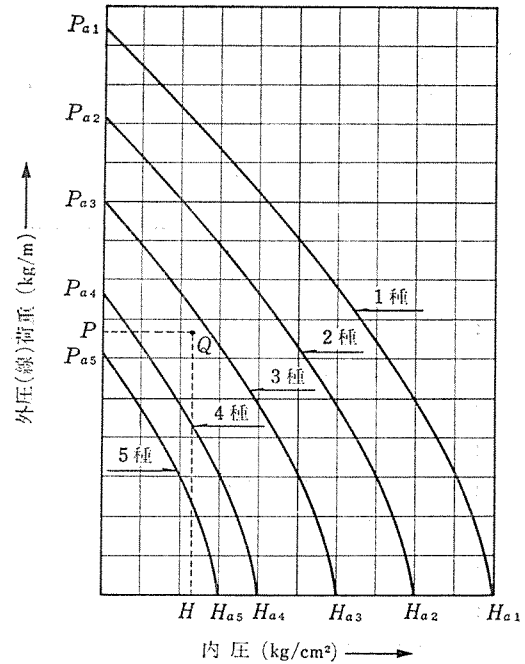


図-7 管種選定図

必要によっては、管の自重および管内水重による曲げモーメントの和の最大値（一般的には管底）より(6)式によって計算され、集中線荷重の形で表わされることになる。

$$\therefore P = \frac{\sum M_{\max}}{0.318r} \dots\dots\dots(6)$$

ただし、

$\sum M_{\max}$: 各荷重による曲げモーメントの和の最大値 (kg・m)

r : 管厚の中心径 (m)