製品・応用に関する資料

ロックラーPCパイプの試験結果*

木 村 恵 雄**

Test Results of Rocla Prestressed Concrete Pipes

by

Shigeo KIMURA

(Nippon Rocla Pipe Co., Tokyo)

NIPPON ROCLA PIPE CO. has been producing noncylinder prestressed concrete pipes since the fall of 1961. One of the products which has 1200 mm inner diameter and is designed for the inner pressure of 13.0 kg/cm² was tested hydrostatically and under the external load.

The results of test obtained are as follows:

(1) Under the hydrostatic pressure up to 12.0 kg/cm², there was no leakage on outer surface of the pipe and at rubber joints.

As the capacity of the bulkhead of the machine was not sufficiently large, the test up to 13.0 kg/cm² pressure was given up.

(2) Under the external load up to 8.25 tons per meter (total load of 33.0 tons), could no visible crack was found at any point of the pipe.

From analyses about the stress and measured strain on concrete surface at the end of the pipe, the prestress in the core concrete was supposed to be as much as the designed value, and the flexural strength of the concrete to be sufficient.

(Received Aug. 30, 1962)

1. ま え が き

日本ロックラーパイプ株式会社はオーストラリアの Rocla Pipes Pty. Ltd. の技術を導入しその実施権をもつ会社として、昭和35年9月、三菱セメント株式会社によって設立されたもので、それ以来神奈川県下に相模工場を建設し、昭和36年秋から製造を開始した。その後、千葉県下に茂原工場を、大阪府下に大阪工場を建設し、現在この3工場から RC 普通パイプ、高圧パイプおよびノンシリンドー PC パイプを製造出荷している。

本報告は昭和36年度中に相模工場で製造納入された PC パイプの試験結果の一部について述べるものであるが、それに先だってロックラー PC パイプの特徴について概略の説明をつけ加えたい。

1920年、オーストラリアにおいて H.C. Clark および W.W. Robertson 両氏によって設立されたパイプを主体とするコンクリート二次製品製造会社は、両氏の頭文字をとって Rocla Pipes Ltd. と名づけられた。

同社はそれ以来ローラーサスペンション法と呼ぶ独

特の製管法を發明し、またゴムリングジョイントをもつソケット付き RC パイプ、ノンシリンドー PC パイプ等の新分野を次々と開拓しつつ発展し、アメリカ、ドイツ、フランス、イタリアその他世界の多くの国にその技術を輸出し、特にロックラー PC パイプは多くの実績によって、最も優秀な PC パイプの一種として認められるに至った。

その製法の最大の特徴はローラーサスペンション法によって水セメント比 27% 前後のきわめて硬練りのコンクリートを強力な転圧力と遠心力、衝撃によって充分ち密にかつ均質に成形する点にあって、そのコーンコンクリートはきわめて高強度、ち密(比重 2.50 以上)で、水密性がすぐれている。コーンコンクリートは縦方向に PC 鋼線のプレテンションによってプレストレスされた後、適当日数の養生の後、その外周に PC 鋼線を巻きつけることによって円周方向にプレストレスされる。その直後、独特の強力なローラージェット式吹付け機によって硬練りモルタルで外面をコーティングされる。

ジョイントはソケット部に対し円形断面のゴムリングを取りつけたスピゴット部を押し込むことによって、

* 原稿受付 昭和37年8月30日

** 正員 日本ロックラーパイプ株式会社

ゴムリングは充分な圧力で圧定され、水密かつフレキシブルなものとなるので、パイプの布設接合作業はきわめて簡単でありかつ確実なものとなる。

超硬練りであるコーンクリートの品質、コーティングモルタルの品質、さらにジョイント部の適正等に関する各種の試験は目下続行中で、一応の検討を終えた上で別途報告したいと考えている。

本報はこの間に製作納入した、PC パイプの一部について行なった性能試験の結果を、とくに外圧試験の結果に重点をおいて述べたものである。

2. 供 試 パ イ プ

本試験に用いた PC パイプの設計条件、および製作仕様は次のようであった。

設計内圧 13.0 kg/cm^2 、外圧による応力は特に附加して考えない。内径 1200 mm 有効長 4000 mm 、コーンクリートの厚さ 70 mm モルタルコーティングの厚さ約 20 mm 、縦方向 PC 鋼線 $\phi 4.06 \text{ mm}$ を全円周に 20 本配置、縦方向平均有効プレストレス 10 kg/cm^2 、円周方向 PC 鋼線 $\phi 4.06 \text{ mm}$ をピッチ 15 mm で巻きつける、円周方向の導入時プレストレスは 127 kg/cm^2 、有効プレストレス 111 kg/cm^2 。

なお、使用した PC 鋼線は、神鋼鋼線鋼索株式会社製のもので、その引張強度は $186 \sim 191 \text{ kg/mm}^2$ であった。

コーンクリートはセメント量 570 kg/m^3 、水セメント比 28%，最低保証圧縮強度 500 kg/cm^2 のものである。

許容応力として PC 鋼線に対し導入時 121，安定後 103 kg/mm^2 を、コンクリートに対し導入時 210，安定後 160 kg/cm^2 を採っているが、この設計計算では両者に多少の余裕を見込み、内圧に対しフルプレストレスリングの設計とした。

コーンクリートは成形後数時間の蒸気養生、また、それ以後数日間の散水養生が行なわれた。試験日のコーの材令は 16 日であった。

3. 内 圧 試 験 お よ び そ の 結 果

内圧試験機は両端に厚鋼板の鏡板を有し、これにパイプを取りつけた後、その内部に注水加圧する形式のもので、パイプはゴムリングを用いて実際の接合状態と同じ状態に固定されるようになっている。

今回の試験では管体のひずみの測定は省略した。

内圧を徐々に上昇し、水圧 12.0 kg/cm^2 に達した後、数分間そのまま保持したが、管体およびジョイント部いずれの部分からも発汗、漏水は認められなかった。しかしこれ以上水圧を上昇すると、試験機の一部(鏡板)を破損するおそれがあったので、これ以上に圧力を上げる試験を断念した。

水圧 12.0 kg/cm^2 の時の均等断面部のコーンコン

クリート外表面の引張応力は次のように計算される。

$$\sigma_p = 2a^2 H / b^2 - a^2 = 97.2 \text{ kg/cm}^2$$

ただし、 σ_p ：コーンクリート外表面の円周方向引張応力

a ：コーンクリートの内半径 (60 cm)

b ： " " の外半径 (67 cm)

H ：水圧 (12.0 kg/cm^2)

上記の理由から水圧 12.0 kg/cm^2 で試験を中止したが、それまでの状況から判断して設計水圧 13.0 kg/cm^2 には充分耐えうるものと認められた。

4. 外 圧 試 験

(I) 試験方法

外圧試験機は有効長 4 m のパイプの試験ができるように設計されたアムスラー型 50 ton 圧縮試験機で、加圧部は I-300×150 を介して、間隔 200 cm に配置された 2 個のラムから加圧される型式のものである。

支台と加圧りの間に供試パイプをセットし JIS A-5303 に準じ上下より集中荷重を加えるのであるが、供試パイプの外径がソケット端から約 1 m の間変化しているので、Fig. 1 に示すようにこの部分には直接載荷しないようにした。載荷板は上下とも $15 \times 15 \text{ cm}$ の角材の表面に厚さ約 20 mm のゴム板を取りつけたもので、載荷板の接するパイプ外面はそれが均等に接触するようにモルタルコーティングの表面約 10 mm をグラインダーで平滑に仕上げたが、なおいくぶんの凹凸が残っていた。

過去数回の経験からパイプ長手方向の荷重分布が一様になるよう加圧することは困難であると認められた

Fig. 1 External load test (cm)

Fig. 2 Points of wire strain gages (cm)

ので、Fig. 1 に示す A'~D' の 4 断面にダイヤルゲージを設け各断面の直径のひずみを求め、このひずみ分布から荷重分布を推定するようにした。

さらに Fig. 1 A~E の 5 断面の各点にワイヤーゲージをはってコーンクリート表面のひずみを測定した。ゲージをはった位置は Fig. 2 のように円周方向は 12 点、管軸方向に 8 点とし、いずれも管の内面であった。

荷重は 3 ton ごと、すなわち有効長 1 m あたり 0.75 ton ごとに増加し、直径ひずみと表面ひずみを測りながら 12.0 ton まで加えた後、荷重を減じ再び始めから繰り返し、最大 33.0 ton まで載荷し、最後に荷重を除去して残留ひずみを測定した。

この外、圧試験に用いたパイプは内圧試験に用いたものと同時に製作した別のものであった。

(II) 荷重分布

A'~D' の各断面で測定した直径のひずみと荷重の

Fig. 3 Change of diameters

Fig. 4 Deflection curve

関係を図示すると Fig. 3 のとおりで、その管軸方向の分布を示すと Fig. 4 のとおりである。これらの直径のひずみ分布から管軸方向の荷重分布を推定するには次のような方法によった。

弾性論によれば直径のひずみと荷重の間には次の関係が成立する。

$$\delta_1 = 0.149 p R^3 / EI, \quad \delta_2 = 0.137 p R^3 / EI \quad (1)$$

ただし、 δ_1 、 δ_2 ：それぞれ垂直直径の縮ちみ、水平直径の伸び、 p ：上下集中荷重(荷重強度)、 R ：管の半径、 E ：ヤング係数、 I ：管壁の中央軸に関する断面二次モーメント。

この供試管に対しても上記の関係式が成立すると仮定し、Fig. 4 で求めたひずみ分布から δ_1 、 δ_2 を用い、コーティングを含めたパイプ寸法から計算した R 、 I を(1)式に代入し、各断面の p/E の値を計算した。 δ_1 から計算した値と δ_2 から計算した値は完全には一致しないがその平均値を採用した。

パイプの全長にわたり管壁のヤング係数 E が、各荷重段階において一定であると仮定すれば次式が成立する。

$$\int p/E = 1/E \int p = P/E \quad \therefore E = P / \int p/E \quad (2)$$

ただし、 P ：パイプ全長にかかっている荷重

A'~D' 断面および両端断面における p/E からその中間は直線変化しているものと仮定し $\int p/E$ を計算し、(2)式から E を求めた結果は Table 1 のとおりで、荷重と E の関係は Fig. 5 のとおりである。この E を用いて各断面における p を計算しその分布状態を図示すると Fig. 6 のとおりである。

上記のような考え方で荷重分布を求めた多くの事例から判断すると、分布が一樣にならないおもな原因は、ソケット部に向って断面が変化しているためであると認められる。ソケットのない断面一様な直管の場合はほぼ均等な分布になる。また、ソケット付きのものでもパイプの径と長さによっても分布状態は変化する。均等な荷重分布になるような試験方法について今後充分検討したいと考えているが、少なくとも現段階においてこのようなパイプの外圧試験から、そのき裂荷重その他を判定する際、簡単に平均荷重をもってすることには疑問がある。近似的ではあるが一応上記のような方法で荷重分布を推定して行なうことが必要であると考え。

(III) 曲げ応力と縁ひずみ

管軸方向にはった 8 点のひずみ計から、それぞれ A~D 断面の上下内面でわずかの圧縮ひずみが実測されたが、同一点における円周方向の引張ひずみとポアソン比から推類される値よりもかなり小さいものであった。

Fig. 6 に示した荷重分布からワイヤーゲージ測点 A

Fig. 5 Youngs modulus

Fig. 6 Distribution of load p at any loading stage

～E 5 断面における荷重強度を求め、円周方向の正負最大曲げモーメント M_1, M_2 を次式から計算した。

$$M_1=0.318pR, \quad M_2=-0.182pR \quad (3)$$

円周方向にはった 12 点のゲージの測定値は正の最大曲げモーメント M_1 に対応するものである。 M_1 によって生じる断面の曲げ応力が直線分布すると仮定して計算した縁応力と、それに対応する縁ひずみ実測値の関係を図示すると Fig. 7 のとおりである。ただし、縁応力の計算に際し、断面の高さすなわち管厚として A～D 断面ではモルタルコーティングの厚さ（前述のとおり約 10 mm は取りつてあるので各測定における厚さは 1.0 cm と仮定した）を加えたものを採った。

Fig. 7 Fiber stress and strain

Table 1 Youngs modulus calculated from Eqs. (1), (2)

Total load $P(\text{ton})$	$p/E \quad (10^{-6})$						$\int p/E$ ($\times 10^{-6} \text{cm}^2$)	Young's modulus $E(\times 10^4 \text{kg/cm}^2)$
	A'	B'	C'	D'	Spigot end	Socket end		
3	-10	2	13	21	8	0	46.3	64.8
6	0	16	36	50	17	0	116.8	51.3
9	+19	30	59	72	25	0	197.4	45.8
12	28	46	83	96	33	0	277.1	43.4
15	47	62	108	122	43	0	364.0	41.4
18	66	79	132	150	52	0	453.7	39.7
21	89	99	161	179	63	0	555.9	37.9
24	107	114	190	208	73	0	649.8	37.0
27	131	135	221	238	83	0	760.2	35.6
30	149	152	251	267	93	0	857.3	35.0
33	164	172	288	300	104	0	978.0	33.8

(IV) 外圧によるき裂強度、有効プレストレスの

推定

全荷重 33・0 t までの荷重によってもこのパイプのいずれの部分にも肉眼で見られるき裂は発生しなかった。E断面5, 7測点付近にまず最初のき裂が発生するものと予想されたので、とくにこの付近について倍率 60 倍の拡大鏡を用いて精査したがき裂は見られなかった。ただし、Fig. 7 より明らかなとおり E断面5 測点では曲げ応力約 63 kg/cm², 7 測点では 82 kg/cm² 以上において、その付近のコンクリートが塑性変形に転移していると認められ、き裂の発生が近づいているものと判断される。

これに反しプレストレスの導入されている A~D 断面では曲げ応力とともに伸びひずみはほぼ直線的に増大し、ただ D断面5 測点で曲げ応力 179 kg/cm², 7 測点で曲げ応力 195 kg/cm² 以上においてひずみの増し方が多少不規則になる傾向が見られる程度である。

き裂発生まで荷重を増加しなかったもので、正確なき裂荷重なり、そのときの曲げ応力を確認することはできなかったが、以上のひずみ分布から見て、導入されているプレストレスは充分であり、またコンクリートの曲げ強度も充分であることが確認された。

E断面では円周方向プレストレスは非常に小さいと考えられる。隣接する D断面と E断面の測点5 におけるコンクリートの弾性限（塑性変形に移ると認められる応力-上記のようにひずみの増し方が異常になり始める応力を便宜上このように呼ぶ）を上記の 179, 63 kg/cm² とすれば、両者の差は両断面におけるプレストレスの差によるものと考えられ、その大きさは 116 kg/cm² である。測点7 においても同様の考え方をすれば、両断面のプレストレスの差は 195-82=113 kg/cm² となり、試験時の有効プレストレスは設計計算値の有効プレストレス 111 kg/cm² よりも上回っていることが確認される。

5. む す び

本試験に供した PC パイプは 12・0 kg/cm² までの水圧試験では管体部およびジョイント部いずれの部分にも全然漏水や発汗その他の異状は認められなかった。試験機の機能のために 13・0 kg/cm² まで水圧を上げえなかったが、ほぼ設計条件を満足しているものと判定された。

外圧試験の結果では全荷重 33・0 ton, 平均線荷重 8・25 t/m の下において、パイプのいずれの部分にもき裂は全然認められなかった。

引張側コンクリートの縁ひずみ測定値と曲げ応力の解析の結果から、設計値に対し適当なプレストレスが導入されており、コンクリートの曲げ強度も充分であることが確認された。

しかし、上記の解析については多くの仮定も含まれており不明の点も残っているので、今後さらに多くの場合について各種の試験を実施したいと考えている。本報告に述べた試験以後にさらに各種の試験を実施しているので、それらについては別の機会に発表したいと考えている。

在来この種ノンシリンドラーパイプについては、わが国における実績が少なく、ロックラー PC パイプもまだわずかな実績しか持っていないが、この種パイプの特徴をいかした使用が今後ますます盛んになることが予想される。それぞれの設計条件に適応した優秀な PC パイプが経済的にその効果を発揮するよう、今後多くの問題についてわが国の実情に合うよう種々検討し改良を加えたいと考えている。大方の御批判、御指導を賜わるよう念願する次第である。

最後に本試験に際しひずみの測定その他を担当し、協力された三菱セメント株式会社技術研究所の関係各位に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) S. Timoshenko, "Applied Elasticity" (231) 式