

大口径 PC パイプの試験結果

木 村 恵 雄*

1. ま え が き

ロックラー PC パイプは、新形式の PC パイプとしてわが国では約 3 年前から実用に供されてきた。その大きな特徴としてはつぎのような諸点が考えられる。

1) 水比 25% 前後の超硬練りコンクリートをローラー サスペンション法と称する独特の締固め法によって強力に締め固めたきわめて高強度のコアコンクリートを用いる。

2) コアコンクリートは、PC 鋼線を用いプレテンション法で縦方向にプレストレスされるのみで補強鉄筋を全然用いない。

3) 所定強度に達したのちコアコンクリートには PC 鋼線が巻付けられ、円周方向に所定のプレストレスが導入される。

4) 応力導入直後、その外表面に強力な噴射法によって超硬練りのカバーコートモルタルの被覆が施される。

5) ジョイントはきわめて簡単確実で、円形断面のゴムリングをスピットにはめたものを接続パイプのソケットに押し込むだけで水密でかつ可撓性の大きいジョイントがえられる。

使用する超硬練りコンクリートの特質^{1),2)}、パイプの特徴³⁾、その品質試験結果の一部⁴⁾については既報のものを参照願いたい。

本報告は、大口径 PC パイプ試作品のうち内径 2400 mm のものについて最近行なった内圧、外圧試験結果について述べたものである。内圧試験結果の一部については別途報告⁵⁾したが、ここにまとめて述べる。

2. 供 試 管

パイプの製作仕様はつぎのようであった。

内径 2400 mm, 有効長 3600 mm, 内外圧換算設計水圧 10 kg/cm^2 , 平行部コアコンクリート厚さ 120 mm, 縦方向 PC 鋼線 $\phi 7 \text{ mm}$ 48 本, 円周方向 PC 鋼線 $\phi 6 \text{ mm}$ ピッチ 18 mm, 円周方向有効プレストレス 120 kg/cm^2 , カバーコート最小厚さ 20 mm。

応力導入に際しパイプ内面に抵抗線ひずみ計をはってひずみを測定し、それから推定した導入直後の応力は縦方向平均 10 kg/cm^2 , 中央部円周方向応力 $135 \sim 138 \text{ kg/cm}^2$ となった。

* 工博 日本ロックラーパイプ KK 研究部長

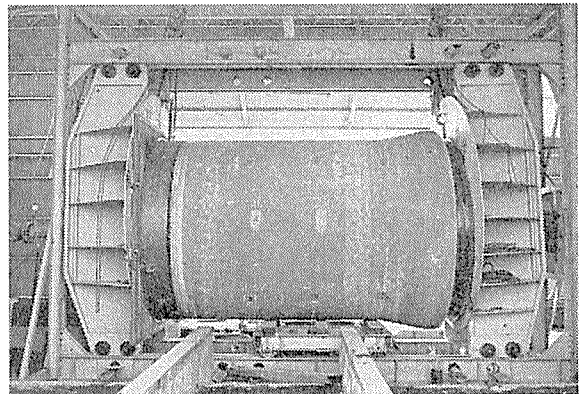
3. 内 圧 試 験

(1) 試験方法

供試管 3 本の内 2 本を材令 14 日で内圧試験に供した。

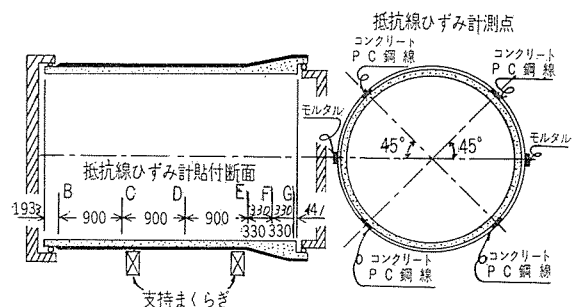
ゴムリングを用いて試験機鏡板に接合した状態で内圧を加えるのであるが、管重量が大きい台車に乗せた 2 本のマクラギで支持したままであった (写真-1)。そのため管および満水重量約 29.3 t は接合部およびマクラギ支点の 4 点で支えられその反力分布は明らかでないが、マクラギ支点付近にはかなりの集中的曲げモーメントが生じていたものと推定される。

写真-1 内圧試験状況



試験中は 図-1 に示す各点に抵抗線ひずみ計をはり、コアコンクリート、PC 鋼線およびカバーコートそれぞれの外表面におけるひずみを測定しつつ、加圧減圧をくり返し、最後にきれつによるろう水発生まで加圧して最初のきれつ水圧を確認した。その後さらに減圧加圧をくり返しプレストレスのみによって、ろう水が完全に止まる水圧を確認した。

図-1 内圧試験状況とひずみ測定 (単位 mm)



1 分間で 2 kg/cm^2 を加圧し 5 分間それを保持しその間にひずみの測定を行ない、順次 2 kg/cm^2 の段階で No. 1 パイプは 10 kg/cm^2 まで 3 回, No. 2 パイプは

8 kg/cm² まで2回くり返して加圧した。

(2) 結果とその考察

きれつ水圧までの段階では管体部およびジョイント部いずれの部分にもろう水は認められなかった。ごく一部のカバー コートにはん点状のぬれ色を生じただけであった。

最終回 No. 1 パイプは 11.8 kg/cm², No. 2 パイプ 12.1 kg/cm² の内圧を加えたときマクラギ支点付近からろう水が始まり、きれつが縦方向に進展し水圧はほぼ 11.8 kg/cm² で平衡状態を保った。No. 2 パイプに対し

図-2 コアー コンクリート外表面の円周方向ひずみの分布 (その 1)

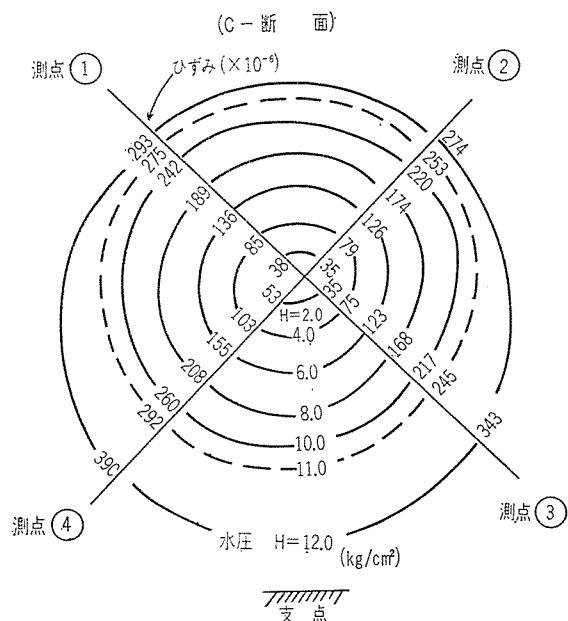
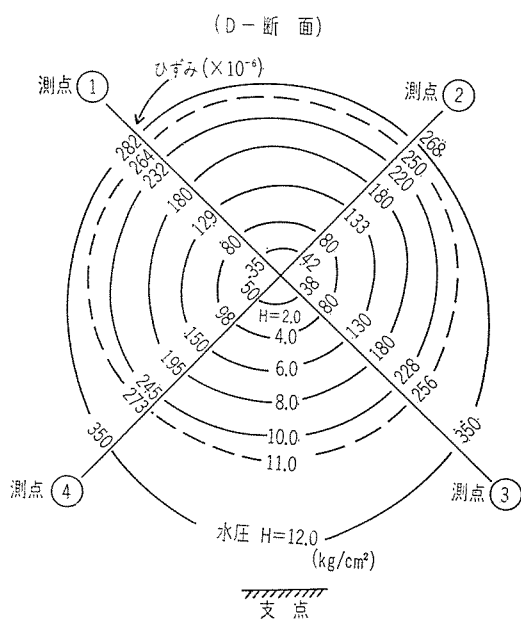


図-3 コアー コンクリート外表面の円周方向ひずみの分布 (その 2)

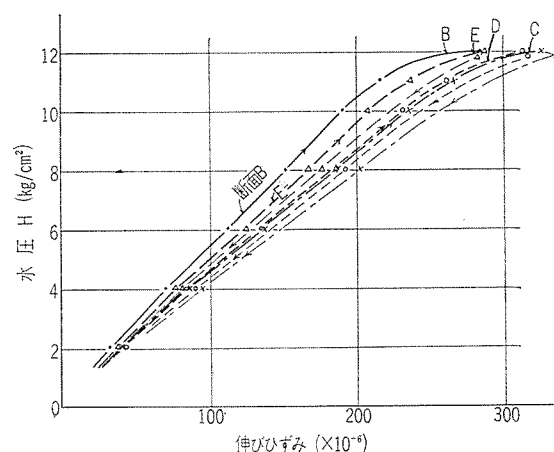


減圧加圧のくり返しを行ない、プレストレスのみによって完全にろう水が停止する圧力は約 8.5 kg/cm² であることを確認した。

No. 2 パイプの第3回加圧時の管中央部 C, D 断面におけるコアー外表面のひずみ分布を示すと図-2,3 のようである。これは水圧のみによる円周方向伸びひずみを示すものであるが、水圧が 11 kg/cm² をこえ底点におけるきれつが近づいた状態では下半部のひずみが急増している。支点付近の局部的曲げモーメントの影響がかなり大きかったためと考えられる。

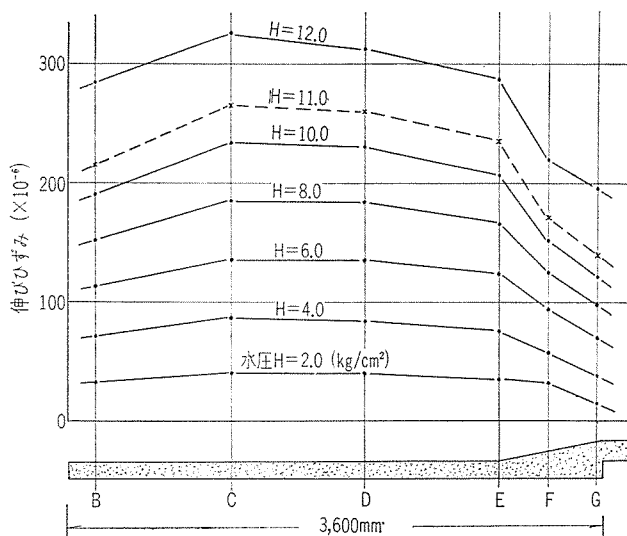
円周方向4点のひずみ平均値と水圧の関係は図-4 のとおりで、きれつ寸前まではひずみは全く直線的に増加し、きれつ発生後も減圧に対してよく弾性的に回復し、当然のことながら P C パイプの特性がよく認められる。

図-4 コアー コンクリート外表面の円周方向平均ひずみ



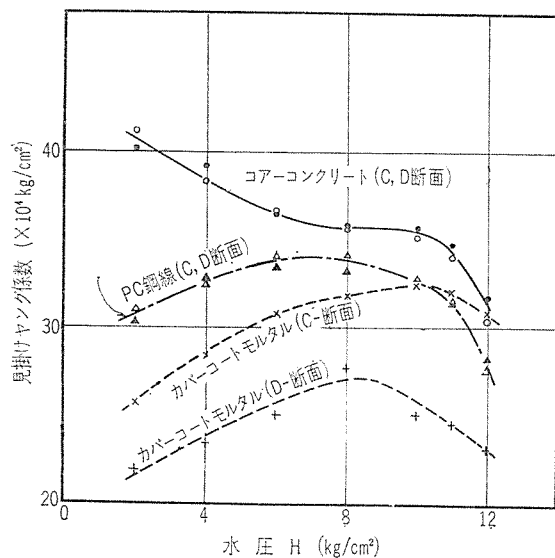
管軸方向のひずみ分布は図-5 のとおりで、中央部よりも端部のひずみが小さくなっている。ソケット部 F, G 断面では管厚が大きいのでひずみも小さくなるはずであるが、スピゴット部 B 断面では管厚がわずかに小さいに

図-5 コアー コンクリート外表面円周方向平均ひずみの分布



もかわらず、ひずみはかなり小さくなっている。このようなひずみ分布は円筒シャーレとしての応力分布に対応しているものと考えられる。

図-6 見掛けヤング係数と水圧の関係

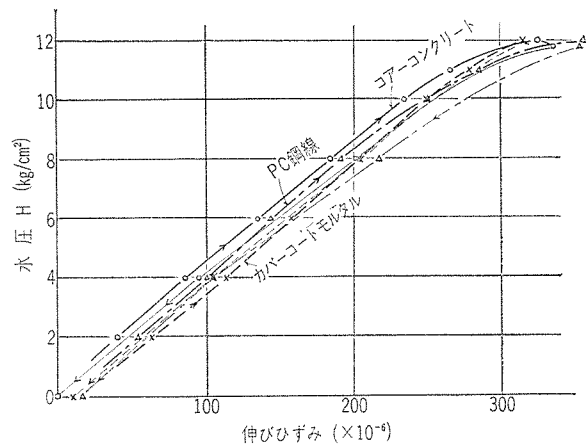


管軸方向のひずみ分布がほぼ等しい C, D 断面のみをとり各断面において、コア外表面、PC鋼線外表面、カバーコート外表面のそれぞれのひずみ平均値と、均等質弾性体厚肉リングと仮定して計算した対応点の引張応力との関係から、見掛けヤング係数を求め、それと水圧の関係を示すと図-6 のようになる。水圧 6 kg/cm^2 付近までの見掛けヤング係数はコアでは減少し、PC鋼線とカバーコートでは増大し、水圧 $6 \sim 10 \text{ kg/cm}^2$ ではそれぞれほぼ一定な値を示している。水圧 10 kg/cm^2 を越えると三者ともに急に減少する。すなわち水圧 6 kg/cm^2 付近までは水圧に対するひずみの増加割合が、コアでは増大し他の二者では減少している。もともとコア-コンクリート、PC鋼線およびカバーモルタルはそれぞれ固有のヤング係数を持ち、プレストレスの存在下で加圧減圧をくり返しているの、そのヤング係数は少なくとも水圧 10 kg/cm^2 以下では一定値を持つと考えられる。したがって上記のようにひずみの増加割合が異なることは、三者の材料の応力分担の割合が異なっているためではないかと考えられる。水圧が 6 kg/cm^2 付近まではコアがより多くの応力を分担し、それ以上の水圧に達してからは三者がほぼ等しい応力分担を示すものと推定される。 11 kg/cm^2 以上の水圧に対しひずみが急増するのは図-2, 3 に示したようにパイプ下半部のひずみ急増の影響で、支点付近の応力がきれつ応力に近づいたためである。

C断面における三者のそれぞれの表面ひずみと水圧の関係は図-7 のとおりで、きれつ発生後もよく弾性的に回復し、在来プレストレスが存在せずPCパイプの弱点

と考えられていたカバーコートモルタルのこのような弾性的挙動は特に注目に値する。

図-7 コア-コンクリート、PC鋼線、カバーコートの円周方向平均ひずみ



内圧試験全般の結果から導かれた要点はつぎのとおりである。

1) コア-コンクリート、PC鋼線およびカバーコートの三者は多少応力分担割合に変化はあるようであるが、よく一体となって弾性的に伸縮し、きれつ発生後もその残留変形はきわめて小さい。とくにプレストレスの導入されていないと考えられていたカバーコートがこのような大きな伸びひずみを示し、かつ弾性的に挙動していることは驚くべき事実で、この点は内径 2300 mm 試作パイプでも認めたところである。

この事実はカバーコートにも大きなプレストレスが存在すると考えざるをえず、それはコア-コンクリートのクリープに主因するものと考えられる。このような現象は猪股博士によって理論的にも説明されている⁹⁾。

2) No. 2 パイプについて最初のきれつ水圧と第2回以後のきれつろう水開始水圧の差を求め、それからきれつ発生点のコンクリート引張強度は約 36 kg/cm^2 であったと判定した。これは供試体引張強さ係数推定値よりもかなり小さい値であるが、その差異の原因は不明である。

3) 内圧試験時のパイプ支持状態によって各部には自重および満水重量による曲げ応力が大きくなり、とくに大口径薄肉の場合には無視できない大きさとなる。本試験ではその最大値を実測することに失敗したが、支点付近で $40 \sim 50 \text{ kg/cm}^2$ の曲げ応力が作用していたと推定される。

4) 2本の試験パイプの平均きれつ水圧を 12 kg/cm^2 としこのための平均引張応力は 120 kg/cm^2 で、それに上記の支点付近曲げ応力を 40 kg/cm^2 ととれば、最小 160 kg/cm^2 の応力によってきれつを生じたことになり、水圧のみに換算するときれつ水圧は 16 kg/cm^2 となる。

内外圧の影響を合わせた設計換算内圧が 10 kg/cm^2 であったから、きれつに対する安全率は最小 1.6 となり、十分のプレストレスと強度を有していたことが確認された。

4. 外圧試験

(1) 試験方法

試作 No. 3 パイプについて材令 12 日で外圧試験を行った。JIS A-5303 に準じ上下より線状分布荷重により外圧を加えるのであるが、在来の経験から管長全般に荷重分布を一樣ならしめることは非常に困難である。写真-2 に示すような試験機を用い、図-8 に示す A'~D' 断面にダイヤルゲージをすえ、A~G 断面には抵抗線ひずみ計をはり、前者から直径のひずみを、後者から各点の表面ひずみを測定した。

写真-2 外圧試験状況

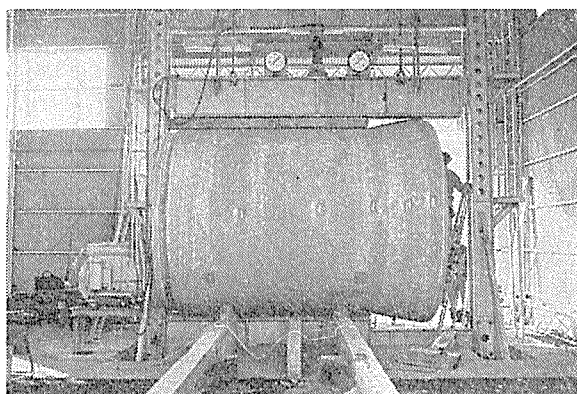
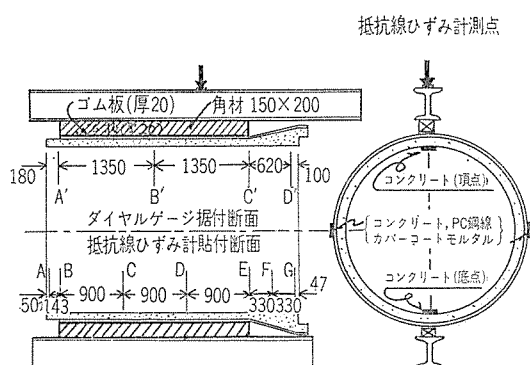


図-8 外圧試験状況とひずみ測定 (単位 mm)



荷重は 90 秒間に 4 t ずつ増加し、5 分間その荷重を保ちその間にひずみを読み、全荷重 28 t まで 3 回の加圧減圧をくり返し、最後は 48 t から 2 t きざみに載荷して 66 t まで行なった。全荷重 66 t に達してもどこにも肉眼で見られるきれつは発生しなかったが、載荷ラムの偏心がかなりはげしくなったので、それ以上の載荷を断念して試験を終了した。

(2) 結果とその考察

A'~D' 断面で測定された垂直方向直径の縮みおよび

水平方向直径のふくらみと荷重の関係は図-9 のように荷重と変形の関係は当然のことながらよく弾性的に挙動している。直径ひずみの管軸方向の分布は図-10 のようである。

図-9 荷重と直径のひずみ

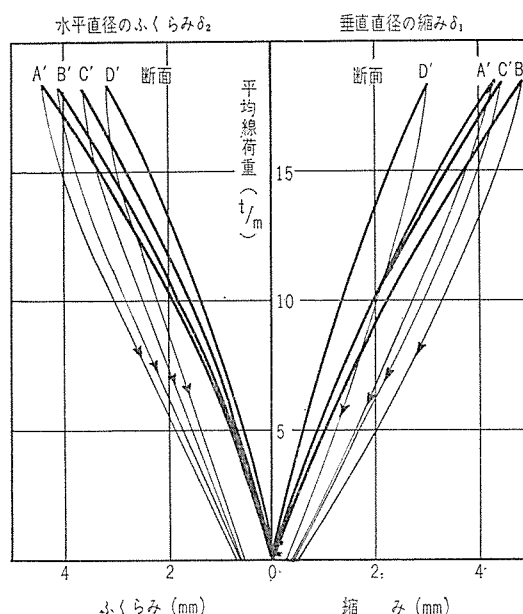
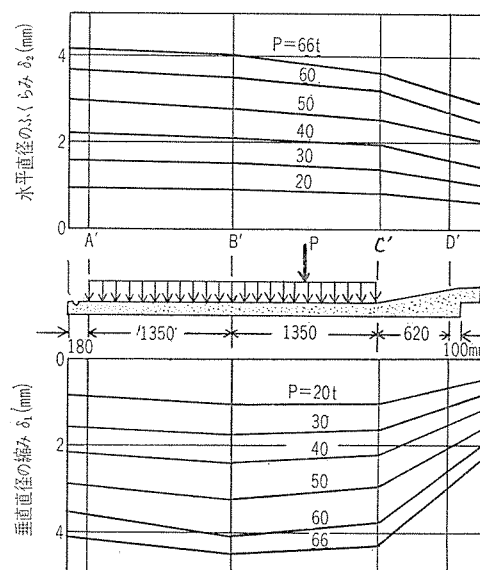


図-10 直径のひずみ分布

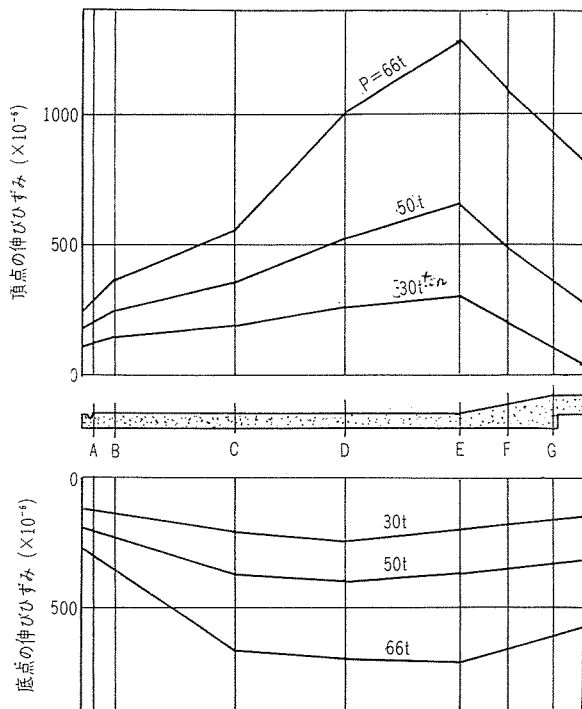


このような直径のひずみ測定値を用い、各断面における断面寸法を持つリングの集合体と仮定して管軸方向の荷重分布を推定する方法があるが⁴⁾、本報ではその結果の記述は省略する。

A~G 断面のコアコンクリート内表面で測られた円周方向ひずみのうち、頂点と底点における伸びひずみの分布を示すと図-11 のようである。この図から明らかにように載荷板に近い管頂部ではひずみ分布が不均一で E 断面ではきわめて大きなひずみを示しているが、支持板に近い管底部ではかなり均等なひずみ分布を示してい

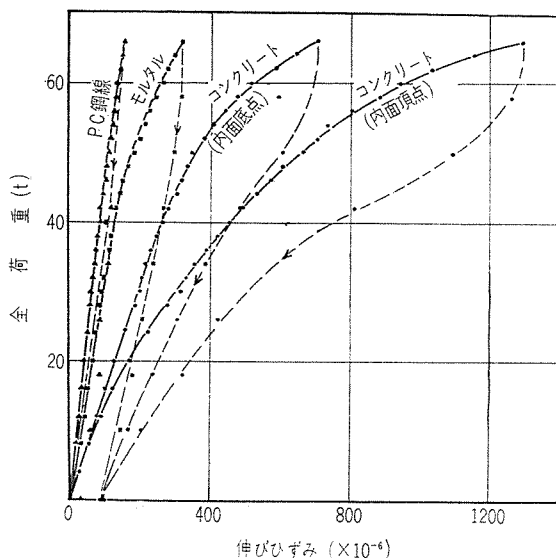
る。荷重分布が頂部では不均一でE断面部に集中し、底部ではほぼ均等に反力を示したためと考えられる。

図-11 管内表面円周方向のひずみ分布



E断面の各点のひずみと荷重の関係は 図-12 のとおりである。E断面頂点では最大 1290×10^{-6} という大きなひずみが実測されたが、この部分でも肉眼ではきれつが見られなかったし、減圧時のひずみの回復はほぼ完全であった。しかし図から判断して、この点では曲げ引張応力によってプレストレスは消滅し引張応力を生じており、きれつ発生が近いものと推察される。RCの場合は曲げ引張応力がコンクリートの引張強度を越えるときれつは瞬間的にある深さまで達しきれつ幅もすぐある大きさに達するので、肉眼で認められるようになるが、PC

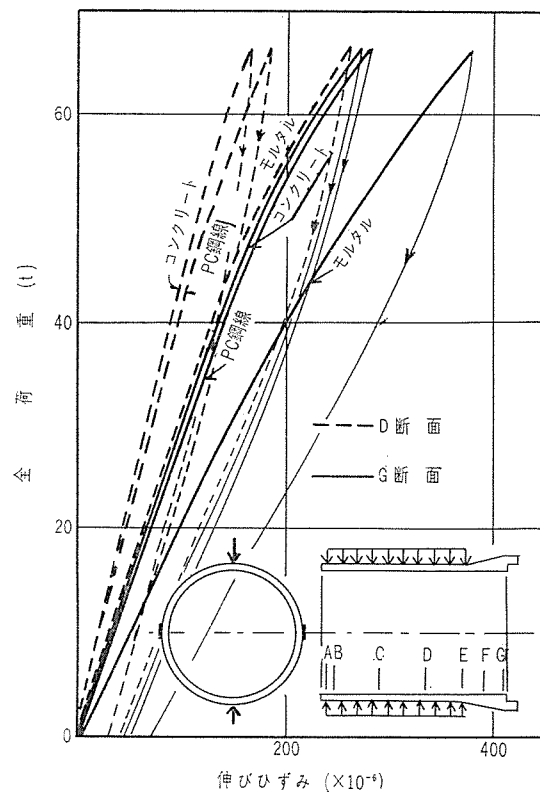
図-12 荷重とひずみの関係



の場合は縁端にきれつを生じる段階に達したのちも、きれつ深さの増加にはさらに曲げモーメントの増加を必要とし、肉眼で見えるきれつの発生までにはなおかなりの荷重増加が必要である。この点については別途その根拠を発表したいと考えている。このような点から解析すると上記のような大きなひずみが局部的にあらわれることも理解される。

曲げ引張側にあるコアー コンクリート、PC鋼線、カバー コートモルタルのそれぞれ外表面における測定ひずみと荷重の関係の一例は 図-13 のとおりであって、中立軸からの距離に応じたひずみを示している。特にプレストレスの存在しないと考えられていたカバー コートもよく大きな伸びひずみを示し、かつ十分弾性的に挙動していることがわかる。内圧試験結果について述べたようにカバー コートにも相当なプレストレスが導入されているものと考えざるをえない。

図-13 管外面側部中央点のひずみ度



5. ま と め

内圧試験に際し、管の自重および満水重量による曲げ応力の確認が十分でなかったこと、外圧試験の荷重分布が十分均等にならなかったし、きれつ発生まで加圧できなかったことなどのため、定量的な判定が確実でなく不満足な点は多かったが、本試験結果から判定された要点をまとめるとつぎのようである。

- 1) 設計条件に対し適当なプレストレスと、十分な安

全性を持つパイプであることが確認された。

2) 内圧による引張応力に対し、また外圧による曲げ引張応力に対し、プレストレスの存在するコアコンクリートやPC鋼線は当然のことながら、在来プレストレスの存在しないと考えられていたカバーコートモルタルも、きれつを生じることなく大きな伸びひずみを示し、よく弾性的に挙動していることが確認された。このことからカバーコートにもかなりのプレストレスが導入されていると考えざるをえない。

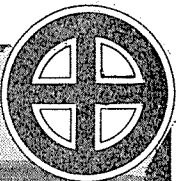
3) カバーコートにプレストレスが導入される主因はコアコンクリートのクリープにあると考えられる。在来カバーコートの存在を無視して行なっていた設計計算法に対し、猪股博士が示されたような⁹⁾、カバーコートをも一体として考える設計計算法が適当ではないかと考えられる。

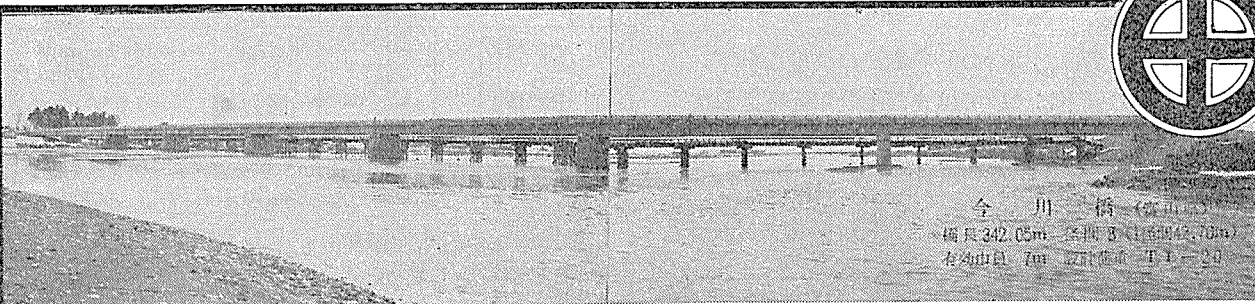
今後さらに多くの試験を重ね、試験方法上の問題点を改善し、結果の解析法を検討し、この種パイプの性状をより明らかにしたいと考えている。読者各位のご指導をえられれば幸甚である。

参 考 文 献

- 1) 木村・坊所：超かた練りコンクリートの強度について、セメント技術年報，昭 38
- 2) 木村・坊所：超かた練りコンクリートのヤング係数について、セメント技術年報，昭 39
- 3) 木村：ロックラーパイプの工法とその特性について、用水と廃水，昭 38.5
- 4) 木村：ロックラーPCパイプの試験結果，材料試験，昭 37.12
- 5) 中山・木村・野崎：内径 2400 mm PCパイプの試験結果，第 15 回水道研究発表会講演集，昭 39
- 6) 猪股：PCパイプ設計上の二、三の問題点，PCパイプ研究会，昭 38.11

1964.6.18・受付





今 川 橋 (富山県) 橋 長 342.05 m 径 間 8 (1径間 42.70 m)
有効幅員 7 m 設計荷重 T.L.-20

プレストレスト・コンクリート 構造物

旧称 北日本PSコンクリート株式会社

田島工業株式会社

設 施 製
計 工 造

本 社 富 山 市 中 島 6 電 話 代 表 (富 山) ② - 6 1 2 7

東 京 支 店 東 京 都 港 区 芝 三 田 4 の 38 電 話 (451)7404 (452)2780 (452)1891~2

大 阪 支 店 大 阪 市 南 区 塩 町 通 3 の 14 芦 地 ビル 内 電 話 (251)8437 代 表 (271)2491

名 古 屋 出 張 所 名 古 屋 市 中 区 御 幸 本 町 通 り 3 丁 目 御 幸 ビル 内 電 話 (23) - 3121

工 場 ④ 富 山 市 ④ 相 模 原 市