

プレキャスト ブロック水管橋の設計施工について

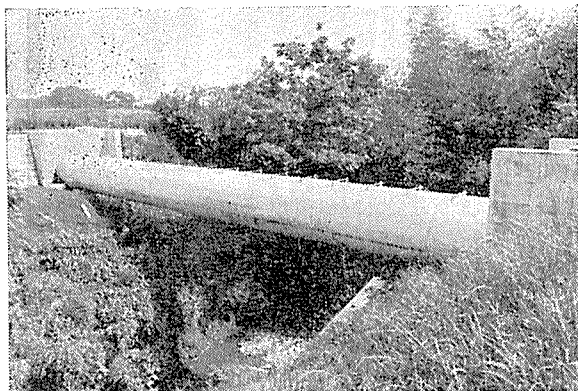
樋口 勝美*・津田 兵衛**
平賀 昭夫*・胡桃沢 満直**
阿部 利雄*

1. ま え が き

本橋は赤城山西麓に位置する導水幹線の赤城榛名両幹線分水地点より約 30 km 南下した赤城幹線新里工区第 2 大久保サイホンの一部で、屋知川に架設されたものである。サイホンが地形上、河川や低地部に遭遇した場合、埋設管工法よりも水管橋を架設した方が経済的にも施工的にも有利となる場合がある。本橋においては、比較検討の結果、水管橋にすることが有利となった。従来一般的にこの種の構造物において鋼製水管橋が採用されてきたが建設後の維持管理が必要であり、架設地点の基礎地盤が良質の場合コンクリート製水管橋が経済的にも有利であること等から、本橋においてはコンクリート製水管橋を採用することとしたが、水密性（特に品質の安定性）および施工期間に難点があった。しかし、これをプレキャスト ブロック化することによって品質の安定化および工期の短縮をはかることができた。

国内においてこの種の構造物の施工実施例がなく、外国の施工例を参考にするとともに模型実験を行ない（本誌 Vol. 11, No. 4, Sept. 1969）十分その安全性を確認して設計施工を行なった。本文はプレキャスト ブロック工法屋知川水管橋の設計施工の諸点について、その概要を報告する。

写真-1 完成後の全景



* 水資源開発公団

** ビー・エス・コンクリート株式会社

2. 設 計 概 要

本橋はプレキャスト ブロックによるポストテンション方式で、8ブロックより構成され、各ブロックの長さは 2.5 m である。ブロックは、あらかじめ工場で製作し、現場搬入後仮組し接合面に接着剤を塗布したのちプレストレスを導入して一体化したパイプビーム構造である。その断面、形状、寸法は図-1 に示す。

(1) 設計条件および断面諸数値

設計に用いた諸条件および断面諸数値の概要を表-1、2 にまとめて列記する（図-2、3）。

(2) 設計上考慮した点

表-1 設 計 条 件

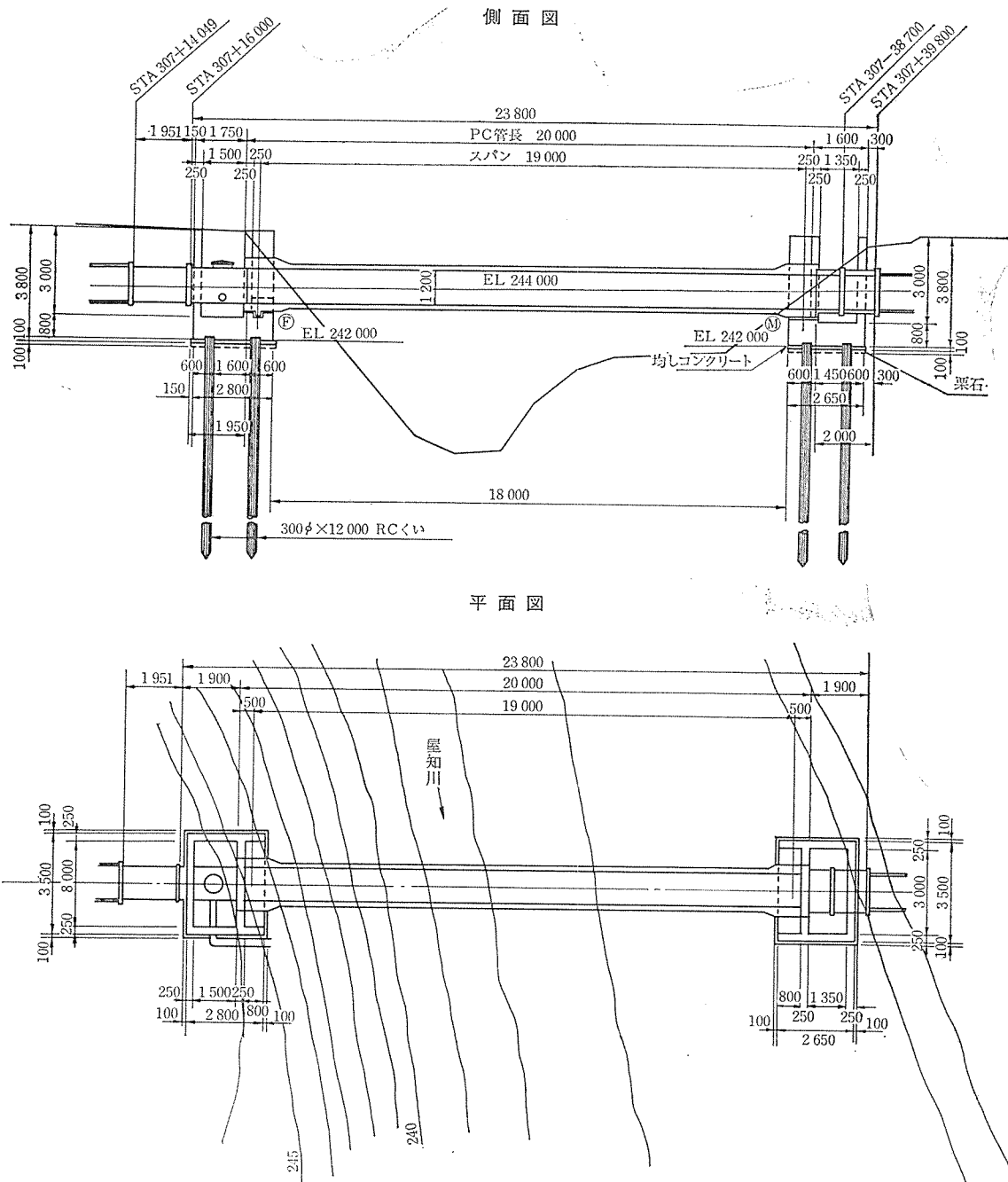
構造形式	プレスター方式によるプレキャスト ブロック水管橋			
スパン	19.0 m			
内 径	1.2 m			
外 径	1.5 m (管厚 150 mm 標準部)			
支 承	単純支承			
設計内圧	1.5 kg/cm ²			
群集荷重	300 kg/m ²			
コン ク リ ー ト	強 度	設計基準強度 プレストレス導入時	400 kg/cm ² 300 kg/cm ²	
	許容曲げ 応力度	プレストレス導入時	圧縮側 引張側	0 kg/cm ² 170 kg/cm ²
		全設計荷重作用時	圧縮側 引張側	130 kg/cm ² 8 kg/cm ²
	許容斜引 張応力度	全設計荷重作用時		9 kg/cm ²
PC鋼材 (φ7)	引 張 強 度		155 kg/mm ²	
	降 伏 点 応 力 度		135 kg/mm ²	
	許 容 応 力 度	プレストレス導入時		121.5 kg/mm ²
設計荷重作用時			93 kg/mm ²	

表-2 断 面 諸 数 値

	標 準 断 面
A (cm ²)	6 362
I (cm ⁴)	14 670 000
z (cm ²)	195 600
y (cm)	75
e _p (cm)	22.3

注：値はコンクリートの総断面に対するもの

図-1



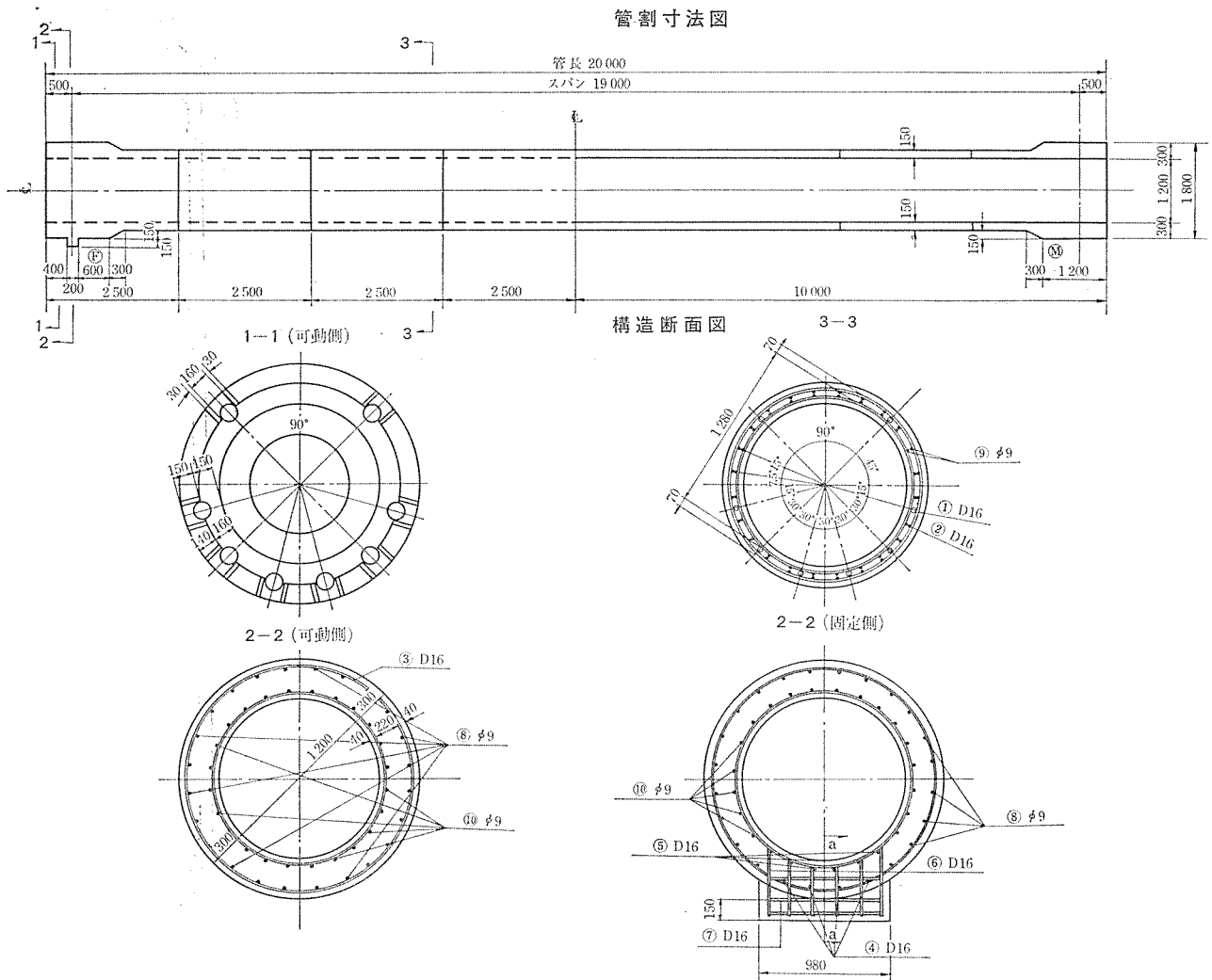
a) 軸方向プレストレス量の決定 実験の結果、管内部より一定の内水圧を受けるブロック水管橋で、接合面の接着剤の効果が期待できない場合は、管軸方向の部材引張部に引張応力が生じると、ただちに接合部より水がにじめ始め、荷重が増加するにつれて急激に水の流出が多くなることが測定された。したがって、本設計において安全を考慮し、設計荷重作用時の部材引張部に、 8 kg/cm^2 の圧縮応力が残るように設計した。

b) 支点ブロックの長さの決定 支点周辺の応力状態は複雑であり、支承の構造によって大きく異なる。鋼管橋の場合については、多くの論文が発表されている

が、コンクリート管についての研究は、少ないようであり、実験により確めた。厚肉断面を有する管の場合は、支点反力による円周方向応力の乱れは大径管径の $1.0 \sim 1.3$ 倍程度であり、この区間に比較的せん断力の伝達能力の小さい接合部を設けることは望ましくないと考え、支点ブロックの長さを決定した。本橋においては、支点断面はPC鋼材定着のため増厚していることから、安全を考え、ブロックの長さを支点断面の 1.4 倍とした。

c) 地震時に対する検討 水管橋のようなパイプベーム構造の場合、横方向の剛性が小さく、したがって、地震時の水平力に対してプレストレス量を考慮する必要

図-2



がある。本橋においては、地震時の水平荷重および設計荷重の合成応力に対して各断面に引張応力が生じないようにプレストレス量を決定した。

d) 安全度に対する検討 水管橋における破壊は、一般の構造物とは異なり、無視し得ない水漏りの発生をもって破壊と仮定すべきであろう。しかし無視できない水漏り量、すなわちクラック幅と水漏れの関係、クラック幅と荷重の関係は不明確であり、実験の結果から結論を得ることは困難であった。本橋のような水管橋においては、外荷重の変動が小さく、したがって、上記した意味での破壊に対して、それほど大きな安全率は必要としないものと思われる。本橋では、接合面の引張応力度を 10 kg/cm^2 とし、接合面開口後、ただちに水漏れが発生するものと考えると安全率は 1.3 となる。しかし、実験の結果から接着効果が十分期待できるならば、接合面が開口後ただちに水漏れが発生することなく、接合面の開口が管壁内面まで進行し、内面のクラック幅がある値に達したのち水漏れが発生することが知られている。こ

の点を考慮するならばほぼ 2.0~2.3 程度の安全率を有することになり、この程度で十分であると思われる。

3. 施 工

(1) 施工概要

本橋の施工は、次の 2 項目に大別することができる。

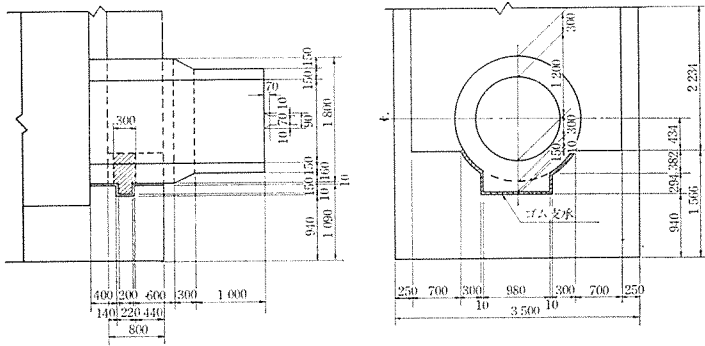
- 1) プレキャスト ブロックの製作
- 2) プレキャスト ブロックの接合、緊張および架設

プレキャストブロックの製作は、本構造の要求する水密性を確保するため、十分な品質管理を行なう必要から工場製品とし、ピー・エス・コンクリート鴨宮工場において製作した。

プレキャストブロックの接合、緊張および架設は、ブロックの現場搬入後実施した。このため現場仮設備は大幅に縮小され下部工事との並行作業が可能となり工期の短縮化を計ることができた。表-3 に本橋の実施工程表を、以下各節に施工の詳細を記す。

(2) ブロック製作

図-3 固定側支承



可動側支承

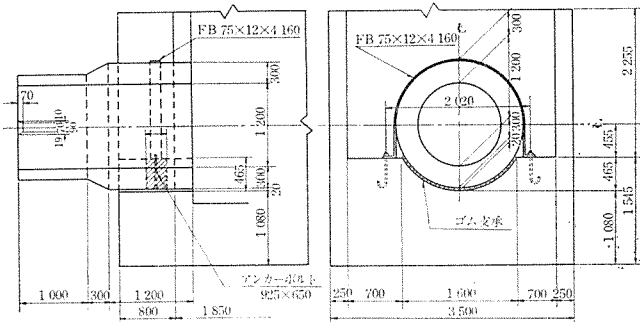


写真-2 プレキャスト ブロックの脱型直後

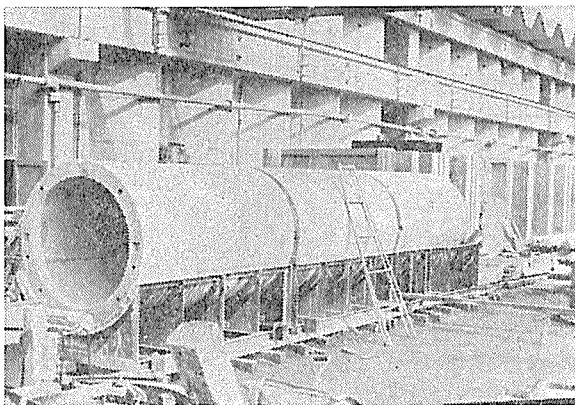


写真-3 プレキャスト ブロックの仮置き

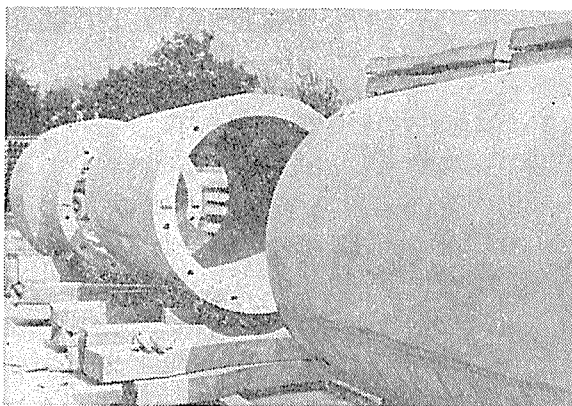


図-4 ブロック製作作業流れ図

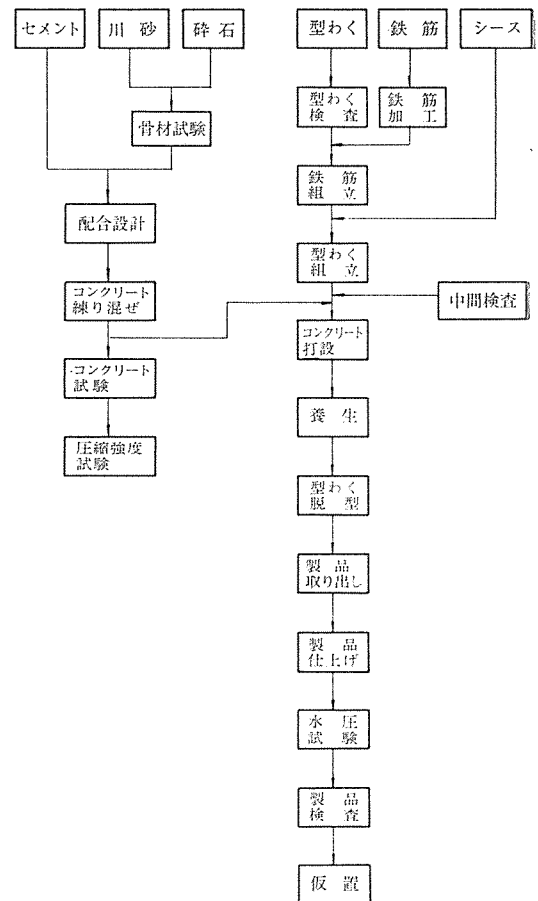


表-3 工程表

工種	1月	2月	3月
	15 20 31	10 20 28	10 15
準備工	[Bar chart showing work from 1/15 to 2/28]		
ブロック製作工	[Bar chart showing work from 2/10 to 2/28]		
水圧試験および仮組工	[Bar chart showing work from 3/10 to 3/15]		
ブロック圧製工	[Bar chart showing work from 3/10 to 3/15]		
ブロック組立工	[Bar chart showing work from 3/10 to 3/15]		
緊張グラウト工	[Bar chart showing work from 3/10 to 3/15]		
荷重試験および仕上げ工	[Bar chart showing work from 3/10 to 3/15]		
伸縮目地工	[Bar chart showing work from 3/10 to 3/15]		

本橋に使用するプレキャスト ブロックは強度が大きく、透水性が小さく、かつ凍結に対する抵抗性が大きいことが条件であるため、密実なコンクリート製品とすることが必要であり、十分な品質管理を行なうことを目標とした。その製作作業手順は 図-4 のとおりである。

a) 型わく 本橋のように特に水密性を必要とする部材を製作するには、十分な振動締固めが行なえ、かつペースト漏れしない型わくが必要であることから、鋼製型わくを使用した。型わくは内わく、側わくとも2ブロック、底わくのみを3ブロック準備した。型わくの断面寸法は 図-5 のとおりである。ホームタイは水漏れの恐れがあるため使用せず、すべて端板により型わくのはらみを防ぐ構造とした。

支点断面図

図-5 型わく断面図

中央断面図

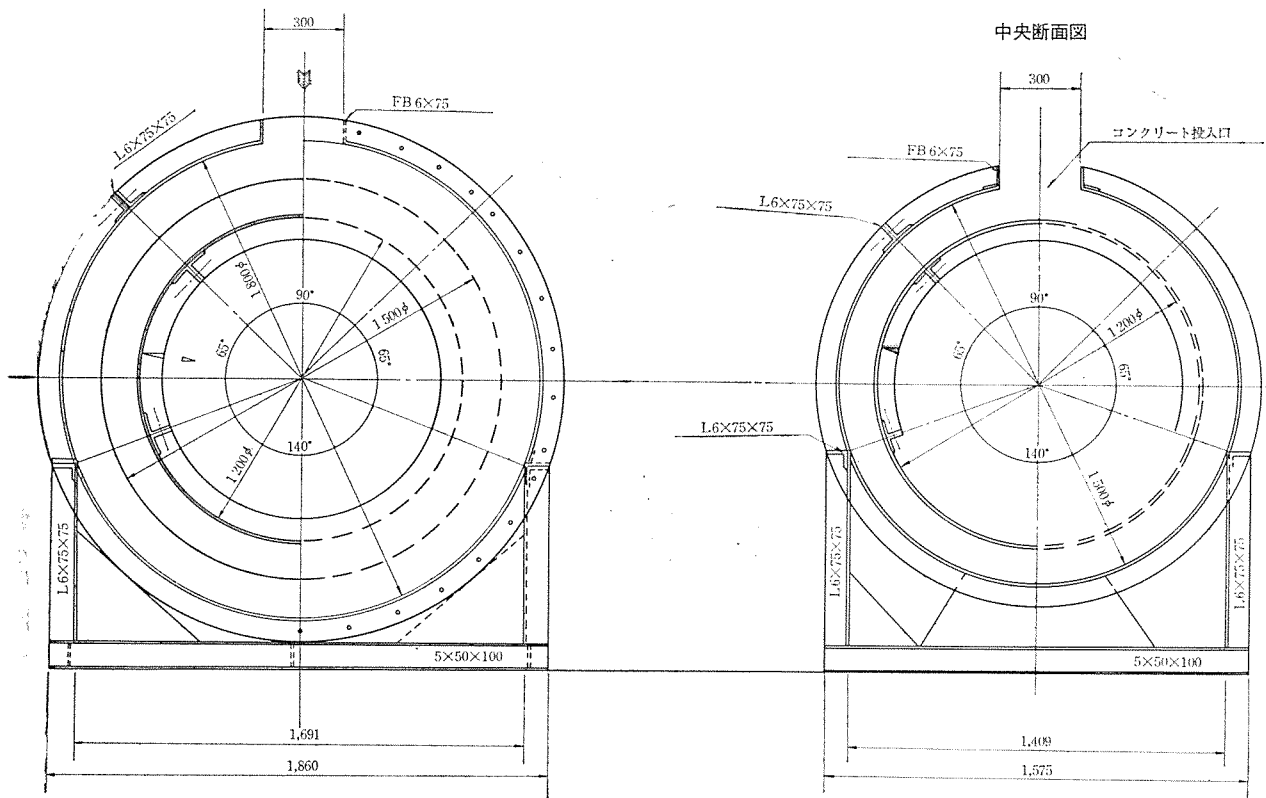


表-4 コンクリート示方配合表

粗骨材最大寸法 (mm)	スラブ範囲 (cm)	空気量の割合 (%)	単位水量 W (kg)	単位セメント量 C (kg)	水・セメント比 W/C (%)	絶対細骨材率 S/A (%)	単位細骨材量 S (kg)	単位粗骨材量 G (kg)	単位AE剤量 (kg)
25	7±1	1.0	174	420	41.5	43.5	775	1051	1.68

b) シースおよび鉄筋配置 鉄筋はあらかじめ加工場で籠状に組み立てたものを製作ヤードに運搬し、門型クレーンを使用して型わく内の所定位置に配置した。シースは主鉄筋および配力鉄筋に結束し、さらに型わく端板に穴をあけこれに貫通させて位置を確保した。

c) コンクリートの示方配合 使用したコンクリートの配合は表-4に示すとおりである。なお、セメントはアサノベロセメント、骨材は酒匂川産を使用した。

d) コンクリートの打設 コンクリートは、プラントよりショベルローダーで、製作ヤードまで運搬し、スコップで徐々に型わく内に投入した。コンクリートの打設は、十分な振動締固めと、気泡を抜き、密実なコンクリート製品を作る上から3層打ちとした。振動締固めには型わく底部に取り付けてある箱型バイブレーター (3/4 HP) 3台と棒状バイブレーター (1/2 HP) 2台の併用で行なった。最上部のコンクリート投入口部は、こて仕上げとした。

e) 養生および水圧テスト 型わくの早期転用のため蒸気養生を実施した。養生は、コンクリート打設後シ

ートでおおい、ほぼ3時間自然放置したのち徐々に通気し1時間 8°~10°C の割合で温度を上昇させ最高温度を 50°C とした。水圧試験はFKK 式グラウトポンプを用い、設計内水圧 1.5 kg/cm² まで水圧を加え水漏れの有無を確認した (写真-4)。

で水圧を加え水漏れの有無を確認した (写真-4)。

(3) ブロックの組立ておよび架設

工場からのブロック運搬は 11t 積みトラックに2ブロックずつ積み計4台で現場に搬入した。ブロックの取おろしならびにすえ付けは、クロラクレーンを使用した。支保工上のブロックの受台はブロック1個ずつプレストレスングにより圧着していく際、底部の接触面に単管を使用し摩擦拘束を受けない構造とした。ブロックの接合は固定端ブロックを基準ブロックとしストランド

写真-4 水圧試験

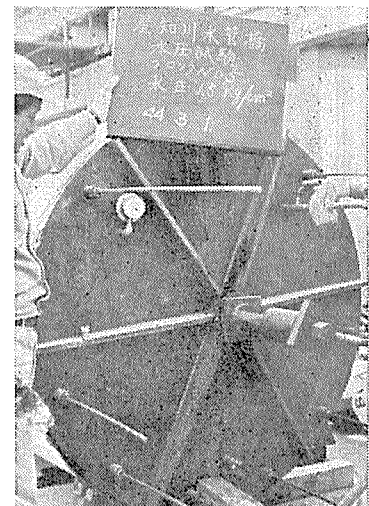


写真-5 ブロック組立て

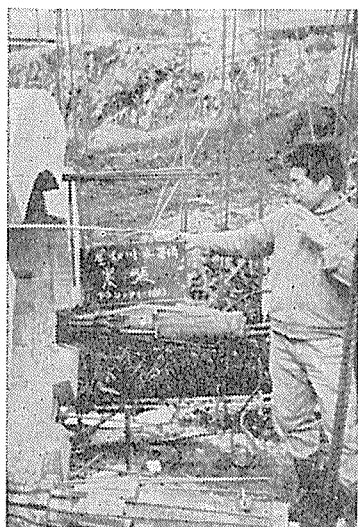


ケーブル (φ12.8) を2本使用し、双胴式緊張ジャッキで1ブロックずつ順次緊張し、接合金具で緊結していく方法をとった。ブロックの接着作業はあらかじめアセトンでコンクリート面を清掃し、ブロック間の間隔を約10cm程度あけて接着剤を塗布した。全ブロックの圧着が終

写真-6 接着剤塗布



写真-7 接着剤塗布



了したのちフレッシュケーブル (12-φ7) 8ケーブルをそう入し緊張を行ない一体化した。

(4) 接着剤
現在コンクリート用接着剤として、市販されている接着剤は多数あるが、水密性を必要とする水管橋用の接着剤はまだ開発されていない。

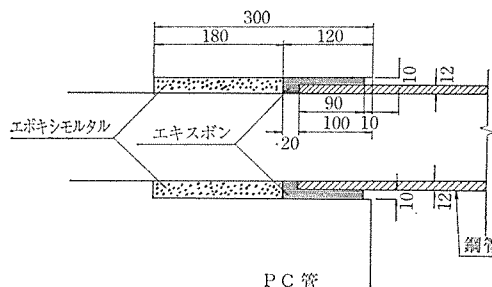
したがって、本橋で

は「PCブロック工法研究会」がまとめた報告を参考にし、実験の結果からも比較的良好であったエポキシ系樹脂を使用した。

(5) 伸縮継手

施工中気温が 10°C 以下になる場合があったので管内に練炭を入れ、3日間保温養生を実施した。

図-6 鋼管とPC管のジョイント部



伸縮継手の構造は水漏れに対して完全なものであることが必要であり、したがって、構造上複雑なものは、一般的に施工状態により水漏れの原因となりやすいので、比較的単純な構造で、効果の期待できる構造が望ましい、そこで実験の結果 図-6 のような構造を採用した。

あとがき

本橋の施工は国内で初めての試みではあったが、昭和44年3月完成後、ほぼ1年以上経過した今日において、その機能を十分発揮し初期の目的を達成している。

しかし、その設計、施工上の諸点において、まだ解決し改良しなければならない多くの問題を含んでいる。すなわち大口径管、大スパンへの適用、ウォーターハンマー等による振動に対する挙動、高水圧に対する円周方向プレストレスの導入法、水漏れに対する内水圧とクラック幅の定量的な規定等である。しかしながら、また一方において、プレキャストブロック工法によるプレストレスコンクリート水管橋の持つ利点にも大きく注目しなければならない。これらの利点については、本文の各所で記述したので省略するが、今後地下埋設管、サイホン等への応用が考えられよう。以上で本報告を終るが、本水管橋の試験および設計施工について、多くの不備な点、考え違いがあると思いますので御批判を仰ぎたい。末尾に本橋の試験ならびに設計施工に御協力下さった方々に深く感謝する次第である。

参考文献

- 1) 土木学会編：土木工学ハンドブック 上・下、技報堂
- 2) S. Timoshenko：材料力学 上・下、コロナ社
- 3) 坪井善勝：曲面構造・シエルの理論とその応用、丸善
- 4) 猪股俊司：プレストレスコンクリートの設計施工、土木学会監修・技報堂
- 5) Timoshenko, S. Woinowsky-Krieger S. : Theory of Plates and Shells
- 6) Leonhardt F. : Prestressed Concrete Design and Construction
- 7) Billig K. : Prestressed Concrete
- 8) 坂 静雄・岡田 清・六車 照：プレストレス コンクリート、朝倉書店
- 9) "Adjustable Sewer Bridges Swamp" Engineering News-Record July 13 (1967)
- 10) Bierweiler, A. : Prestressed Concrete Pipe Beams P.C.I. Journal, April (1966) 1970.7.15・受付