

コンクリートアーチ橋(大滝橋)の設計と施工

神戸建設部 山手工事事務所 川 越 努
同 部 同 所 是 近 哲 男
同 部 設 計 課 宮 脇 潔

まえがき

大滝橋は北神戸線のほぼ中間にあたる神戸市須磨区白川字大滝および北区山田町下谷上の地域に位置し、神戸市総合福祉ゾーン「しあわせの村」の公園施設内に位置する(図-1参照)。

本橋梁の建設される地点は、おわん状の地形をなし、その下を流れる川には落差約7mほどの滝がある。本橋梁はこうした周辺環境との調和を考慮して鉄筋コンクリート(以下、RCという)アーチ橋を計画した。

1. 設 計

1-1 設計概要

1-1-1 地 質

本橋梁が建設される地域は、新第三紀中新世に形成された神戸層群と称される凝灰岩、砂質凝灰岩が厚く分布しており、砂岩、凝灰質砂岩がこれらの地層の中に挟在している。そしてれき岩が斜面の付け根の位置に5~6mの厚さでほぼ水平に横たわっている。

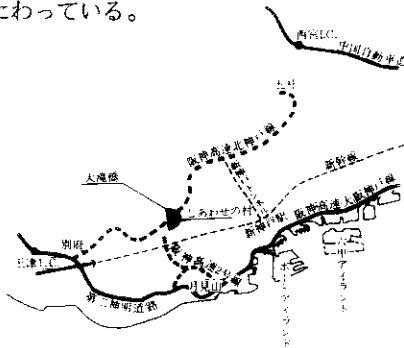


図-1 位置図

したがって支持力としては軟岩で50 t/m²、中硬岩で100 t/m²期待できる。

1-1-2 橋梁計画

本橋梁の形式を決めるにあたって、次のような要件に基づき表-1に示すような3案を抽出し検討した。

- ①橋梁が公園施設内に位置しており、景観的配慮が必要である。
- ②地形上から谷部が活用できる反面、橋梁の約10m上空に関西電力の高圧送電線が横断しているため、工事中的上空の使用は制限される。
- ③橋梁幅が白川パークの出入路の影響で変化している。
- ④将来のメンテナンスをできるだけ少なくする。

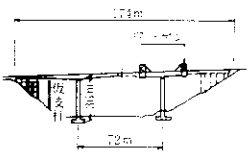
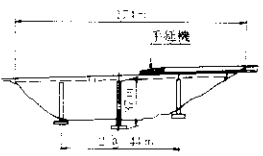
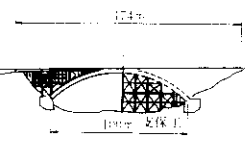
検討の結果、まず経済性についてはc案はオール支保工方式であり、架設時にPC鋼材を使用しないことから、当初考えていたよりも安価に建設でき、逆にa案、b案は谷部が30m以上もあるため下部工費が増加し、全体的には3案とも大差がなかった。また、橋梁がバチ形となっているため、a案、b案は構造面や施工性でやや難点があり、景観的にもアーチ橋の方が他に比べて優れていると判断された。

これらのことから総合的にみて本橋梁の形式をc案のRCアーチ橋とした。

1-1-3 構造概要

本橋梁の構造概要を図-2に示す。また、構造を決めるにあたっての基本的な考え方は次のとおりである。

表-1 橋梁選定形式一覧

	a 案	b 案	c 案
形式	3 径間連続PC箱桁橋	4 径間連続PC箱桁橋	RCアーチ橋
施工法	片持ち式工法(カンパナ)	押し出し工法	オール支保工法
概要			

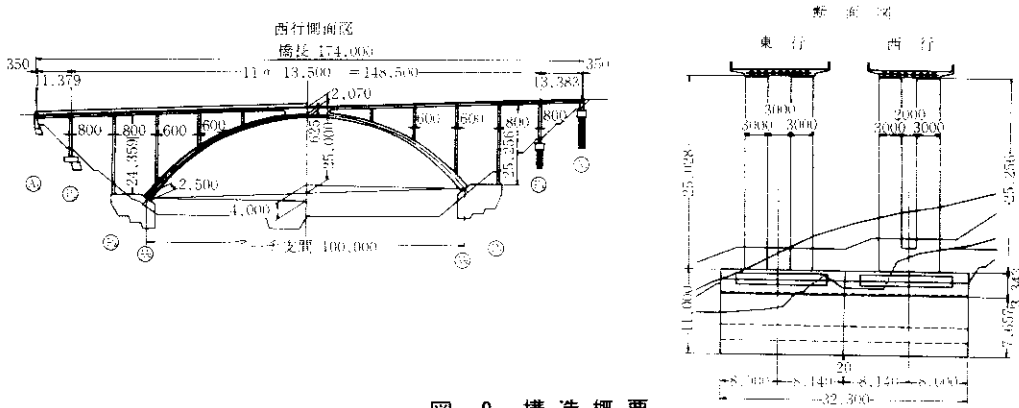


図-2 構造概要

(1)アーチリブ

- ①アーチリブの形状を決める際の基本となるアーチアバットの位置は、地質調査により支持地盤としてれき岩を選定した結果、斜面の付け根付近となり、アーチスパン100m、ライズ25mとなった。
- ②アーチリブの断面形状は箱形断面と充実断面があるが、本橋梁の場合オール支保工方式の施工であり、多少の重量増は架設上さほど影響しないことから、施工性や美観的にも良い充実断面を採用した。
なお、重量をできるだけ少なくし美観の向上を図るため、アーチリブの平面と側面にテーバーを付けた。
- ③アーチリブの軸線はStrassnerの実用式を用

いて設定した。

- この実用式の中のパラメータ(m)の値は断面計算の結果、 $m = 2.814$ となるような軸線が最も有効であった。
- ④アーチリブとアーチアバットとの結合は構造的にも安定し、かつ支保工方式での特性を活かして固定とした。
 - ⑤本橋梁は東行線と西行線が分離しているため、景観上の配慮と施工中支保工の転用が可能なように東行線、西行線とも同一形状、同一寸法のアーチリブとした。

(2)支柱および橋脚

アーチリブと上床版を連絡する支柱や橋脚は一般的には壁式が多い。本橋梁の場合ライズが大きいため、できるだけ空間を多くとることで美観を

損なわないように配慮し、幅3.0 m、厚さ0.6 m（橋脚は0.8 m）の矩形壁式2本柱とした。

支柱（橋脚）のそれぞれの間隔は、橋梁全体の調和やクラウン部とスプリング部の施工性から13.5 mとした。

(3) 上床版

主桁は片持床版を有する連続中空床版（ホロースラブ）とし、クラウン部でアーチリブと一体化した。

(4) 下部工

下部工は支持地盤が岩盤であるため、基本的には直接基礎を採用した。しかし、斜面が40～45度と急であるため、斜面の下の基礎の掘削線がその上方の基礎部まで影響する場合には深礎基礎とした。

1-1-4 設計条件

本橋梁の設計条件を表-2に示す。

1-2 アーチリブの設計

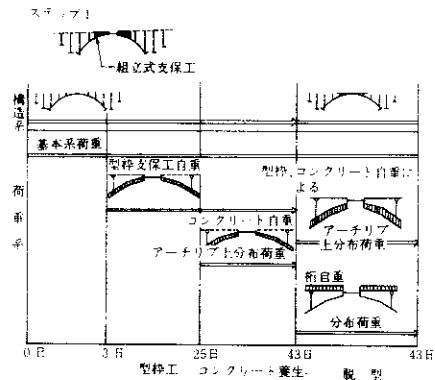
アーチリブの形状寸法は東行線、西行線とも全く同一であるが、ホロースラブの形状が異なることにより、それぞれについての設計を行った。

本橋梁はアーチリブをオール支保工方式により施工を行い、ホロースラブはアーチクラウン部よりアーチリブ上での組立式支保工と、橋脚から支持する支保工とを併用して順次施工する。

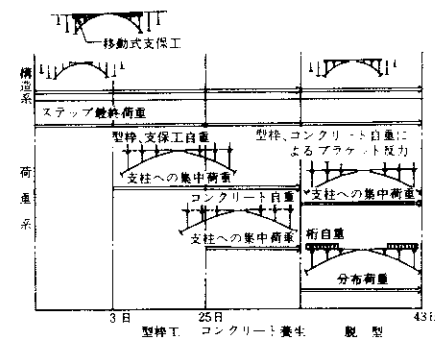
このため、施工期間中にアーチリブ、支柱および既に打設したホロースラブのクリープ、乾燥収

縮によって随時断面力に変化する。すなわち、施工終了時の構造系に生じる断面力は、完成後だけで計算した断面力とは当然異なってくる。そこで、本橋梁の設計では施工順序をモデル化して、各施工段階での構造系、荷重系の変化を考慮し、施工中のクリープ、乾燥収縮をも考慮した設計を行った（図-3参照）。

アーチリブの施工は、全コンクリート体積が約



ステップ2（ステップ3も同様である）



ステップ3

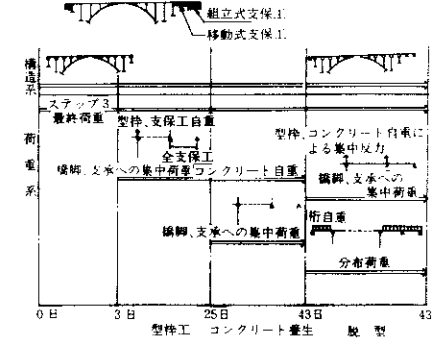


図-3 施工段階を考慮した設計モデル

表-2 設計条件

材 料	コンクリート	$\sigma_{ck} = 270 \text{ kg/cm}^2$ (上部工)	
		$\sigma_{ck} = 240 \text{ kg/cm}^2$ (下部工)	
	鉄 筋	SD 30	
	活 荷 重	活 荷 重	TL-20
		衝撃係数	$T \text{ 荷重 } i = \frac{30}{50+T}$ $L \text{ 荷重 } i = \frac{7}{23+L}$
	地 震 荷 重	橋軸方向震度	$K_H = 0.23$
		橋軸直角方向震度	$K_H = 0.18$
	クリープ荷重	材料差を考慮	
	乾燥収縮	"	
	温度変化	$\pm 10^\circ\text{C}$	
	温度差	アーチリブ橋脚、支柱とホロースラブ5℃	
	風荷重	"	
	支 点 移 動	アーチアバットの相対移動	水平方向 10 mm 鉛直方向 5 mm

2,100 m^2 あり、傾斜した位置での作業条件を考えると数ブロックに分割して施工する必要がある。その場合、支保工との関係もあるが、施工中（アーチ閉合までの期間）の断面力が残留応力として発生することが考えられ、この点について検討した。その結果、断面力が一番大きいスプリング部での残留応力を極力小さくすることが必要であるため、**図-4**および**図-5**に示すような仮設ピン支承と応力解放継手の用いた。

アーチリブの断面力と応力度を**図-6**および**図-7**に示す。

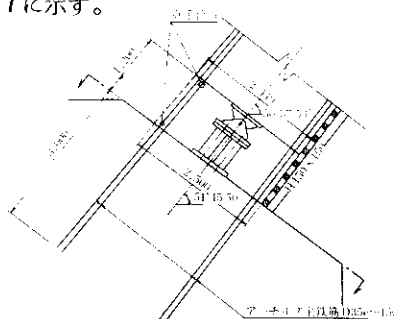


図-4 仮設ピン支承と応力解放継手の位置

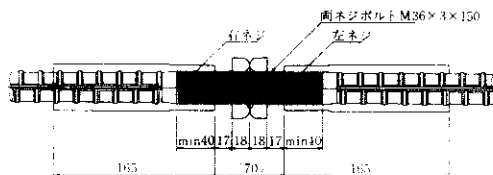


図-5 応力解放継手の構造

1-3 支保工の設計

支保工は次の点を考慮して、**図-8**に示すような4主構・10径間連続トラス構造を採用した。

①水路および工事用道路を支保工と支保工の間に収める必要があり、支柱の間隔を大きくとった。

②東行線施行後、東行線に転用するために横移動するので、支柱の数を少なくした。

設計は、アーチリブ全体が傾斜した線であるために、コンクリート荷重や作業荷重などが鉛直荷重として作用する場合とアーチ軸線直角方向のみ

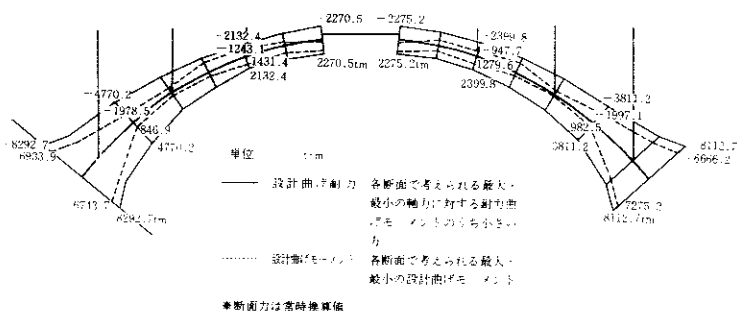


図-6 アーチリブの設計曲げモーメントと設計曲げ耐力（東行、設計荷重時「面内」）

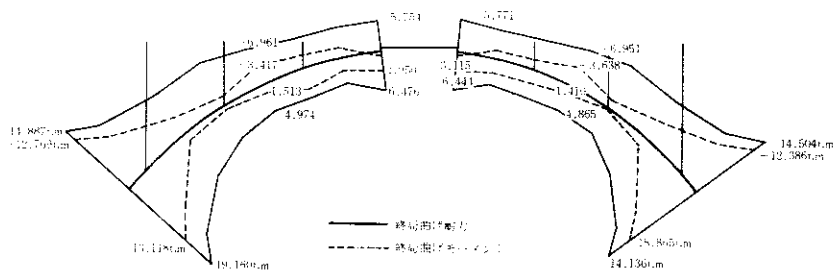


図-7 アーチリブの終局曲げモーメントと終局曲げ耐力（東行「面内」）

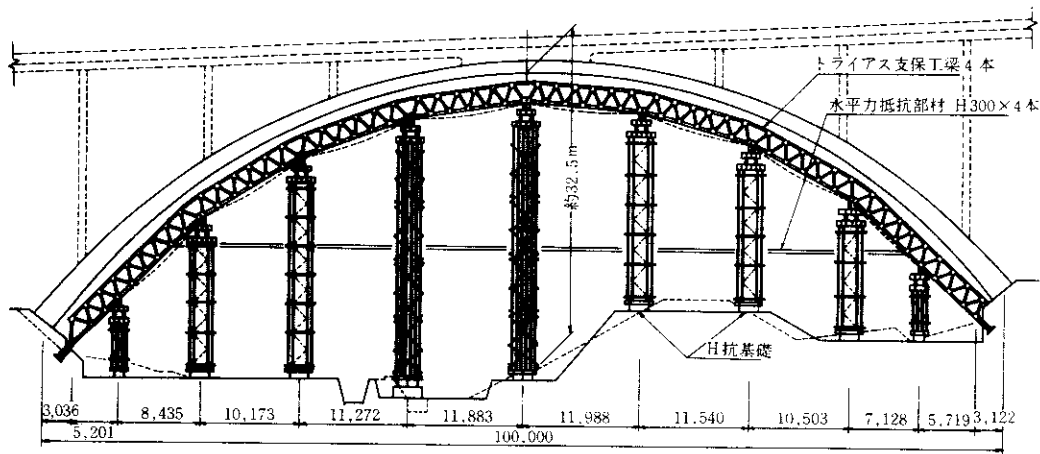


図-8 アーチリブ支保工全体図

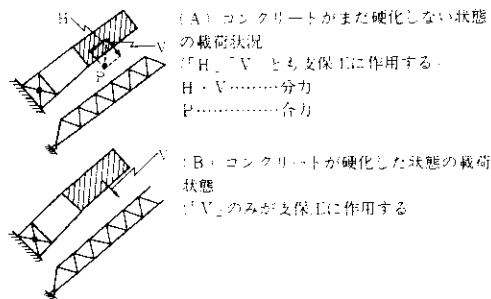


図-9 荷重載荷方法

に作用する場合とを考慮して行った(図-9)。また、支保工の使用期間が比較的長期になることと、その重要性を考慮して地震力として水平震度0.1を考慮した。

設計の結果は次のとおりである。

- ①梁の最大たわみ；鉛直15mm
- ②アーチスプリング部最大反力；
水平81t，鉛直181t
- ③支柱最大反力；鉛直197t

なお支保工施工状況を写真-1に示す。

2. 施 工

2-1 施工の概要

施工は東行線および西行線の下部工(アーチアバット、橋梁)を先行し、次いで東行線のアーチリブ、東行線のホロースラブおよび西行線のアー



写真-1 支保工施工状況

チリブ、そして最後に西行線のホロースラブおよび法面工の順序で行った。これらの工事工程を図-10に示す。

2-2 アーチアバットの施工

アーチアバットは約5500tもの荷重を支える高さ11m、長さ14m、幅16mの約1800m²のマッシュなRC構造物である。その施工は夏から秋にかけて行うため、コンクリートの水和熱による温度ひびわれについて検討し、打設方法、養生方法を決めた。

温度ひびわれの検討は次のような手順で行った。

- ①温度予測は、コンクリートの断熱温度上昇分を外気温や岩盤温度などの外部条件を入れた熱伝導方程式を数値解析することによって求めた。表-3に主な入力データを示す。

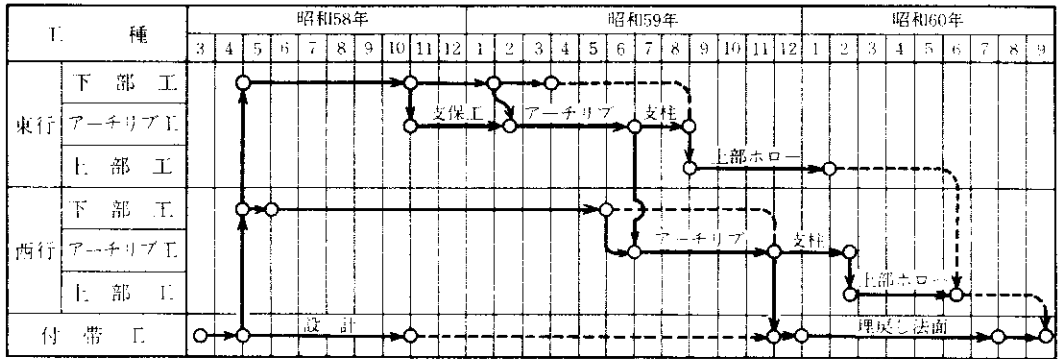


図-10 工事工程表

表-3 温度予測の入力データ

項目	単位	物性値	備考
セメントの種類	-	高炉B種	
単位セメント量	kg/m ³	291	
打込み温度	°C	35	
T _∞	°C	34.05	塚山氏の実験式
α	1/日	1.455	"
比熱	Kcal/kg°C	0.23	
熱伝導率	Kcal/mh°C	2.5	
単位体積重量	kg/m ³	2350	
外気温	°C	30	日平均
岩盤温度	°C	25	

②温度応力の予測は、温度分布の経時変化の予測結果をもとに、温度差による内部拘束応力と外部拘束応力の和として求めた。

③温度ひびわれは、コンクリートの材令別の引張強度と冷却速度の両面から検討した。

その結果、図-11に示すような打設ブロックに分割して施工することにより、温度ひびわれについては特に問題はないと考えられた。

図-11に予測値と実測値との対比を示す。

2-3 アーチリブの施工

本橋梁のアーチリブの施工はオール支保工方式

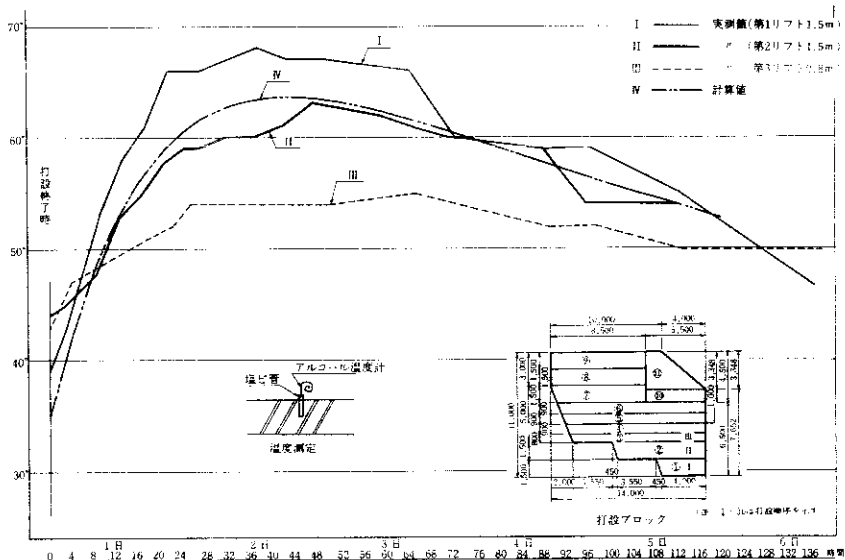


図-11 コンクリート打設分割と温度上昇曲線 (E A A 2)

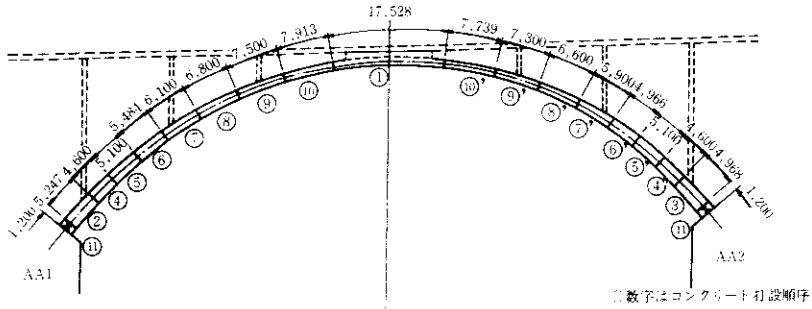


図-12 アーチリブの施工分割

により行うため、セントル工法のように軸線の確保による影響で打設順序が決定されない。したがって、図-12に示したような打設順序が可能であり、このような順序が打継ぎ目の処理などの面からも有利であると判断した。

この図のように打設は左右対称に行い、最後にスプリング部のコンクリートを打設した。

スプリング部は施工時の応力が残留しないように、仮設ピン支承を設けてコンクリート打設を最後に行うものとしても、鉄筋はあらかじめ埋め込んで連続させておく必要がある。そこで、今回、図-5に示すような構造の応力解放継手を用いて鉄筋応力度を極力軽減した。

応力解放継手は中心部のボルトが両ねじとなっているため、ボルトを回転させることにより鉄筋応力度を0にする機能をもっている。継手そのものは、鉄筋継手として多くの実績があるものであるが、本橋梁の場合には、わずかな改良（ボルト長を長くすること、ナットを1つ付加すること）を施すことにより応力解放の目的を達することができた。

なお、当初予想した鉄筋応力度は約1000kg/cm²であったが、実測結果によると約300kg/cm²であった。この理由は現段階では断定できないが、施工時の気温と関係があるものと考えられる。この300kg/cm²の応力度に対して約±100kg/cm²の範囲内に応力解放ができた。

スプリング部のブロックは最後にコンクリート打設するため、既に打設しているコンクリートとの接触を良くするため膨張性コンクリートを用いた。

用いた。

このコンクリートの膨張率は2%とし、打込み場所の特殊性から流動化剤を用いてスランプを18cmとして打設した。なおAl粉末添加量はセメント量の0.01%とした。

2-4 支保工の脱型、横移動

本橋梁では東行線と西行線のアーチリブ形状寸法が同一であることから安全性と施工性を考慮して支保工の横移動を考えた。脱型および横移動の手順を図-13に示す。

まず、脱型はアーチ端部の解放を行い、順次支柱上のキリンジャッキを降下させるような方法で行った。ジャッキの降下は10mmを1サイクルとして、100mmまで行って完全にアーチコンクリートと分離した。脱型順序はスプリング部からクラウン部に向かって行った。

次に、横移動は図-14に示すように、テフロン板とステンレス板をレール桁と受桁との間に挿入

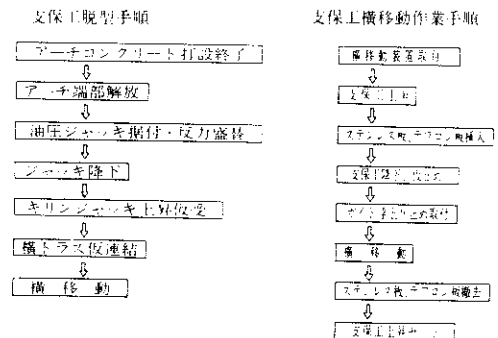


図-13 支保工の脱型および横移動の手順

して、後部より油圧ジャッキで押して移動させた。移動のピッチは30cmを1ピッチとし50数回で16.3mの横移動を行った(写真-2参照)。

なお、支柱1基あたりの鉛直反力は約110tであるが、水平力は約10tで横移動を行うことができた。

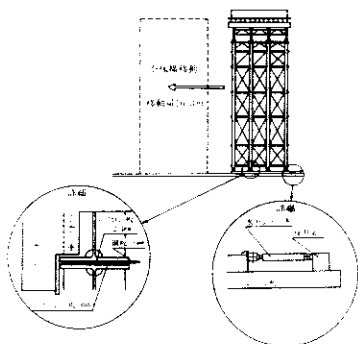


図-14 支保工移動要領図

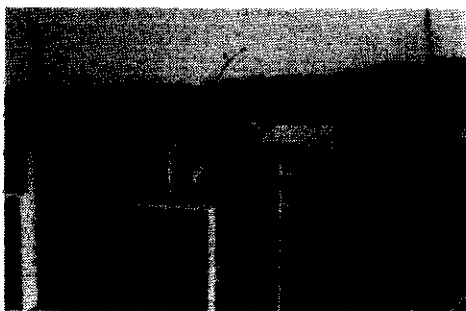


写真-2 施工状況(支保工移動後)

2-5 計測計画

本橋梁はわか国においても施工例の少ないオール支保工方式によるRCアーチ橋である。したがって、アーチリブに生じる応力度および支保工の変位などを測定しながら施工を進めることは、極めて重要なことである。

計測の内容は次のとおりとし、その測定位置は図-15のようにした。

- ①アーチ躯体のコンクリート応力度、鉄筋応力度、温度測定
- ②スプリング部の応力開放継手部の測定および仮設ピン支承反力の測定
- ③支柱に作用する反力測定
- ④支保工支柱反力、沈下、たわみ測定など

計測方法は測定点が多く、頻度も高く、計測期間も長期にわたるため、データ集中管理装置を用いた自動記録とした。

計測の頻度は荷重の変化する前後(コンクリート打設前後)を中心に測定を行った。

なお、計測データについては、現在整理解析を行っているところである。

あとがき

以上、大滝橋の設計と施工の概要について紹介した。

現在(昭和59年12月末)工事進捗は70%に達している(写真-3参照)。今後の課題としては、

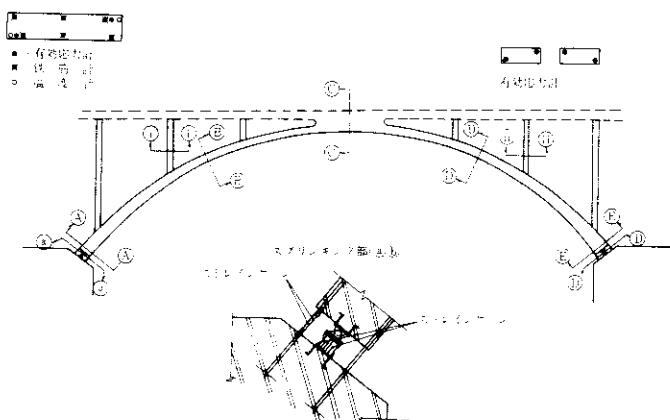


図-15 計測器配置図



写真-3 施行状況(昭和59年12月現在)

法面防護工の検討および計測結果の解析など山積している。また、計測結果についても、今後、機会があれば紹介していきたい。

最後に、本橋梁の設計、施工に関して、当公団の技術審議会コンクリート構造分科会(主査、岡田清教授)において御指導を賜わり、ここに深く感謝の意を表す次第であります。

参考文献

1)道路橋示方書・同解説、日本道路協会、昭和53年1月

2)コンクリート標準示方書・同解説、土木学会、昭和55年

3)D I N、1075

4)H・リッシュ、D・ユングヒルト；コンクリート構造物のクリープと乾燥収縮、百島訳、鹿島出版

5)梶山；コンクリートの温度上昇とその対策、基礎工、1978、9

6)松岡、金子、田沢、田辺；アルミニウム粉末の発泡を制御した逆打ち工法、大成建設技術研究所報第14号、56年度