

# 中国縦貫道 宇佐川橋上部工の設計

内 田 道 雄\*  
 友 保 宏\*\*  
 荒 船 啓 作\*\*\*

## 1. まえがき

宇佐川橋は、山口県の北東部に位置する玖珂郡錦町に位置し、中国自動車道が一級河川錦川支流・宇佐川を渡

る位置に建設中の鉄筋コンクリート固定アーチ橋である。

橋梁形式の選定にあたっては、当地が、西中国山地国立公園（第一種特別指定地域）に属しているため、美観、施工性および経済性を比較のうえ、日本道路公団と

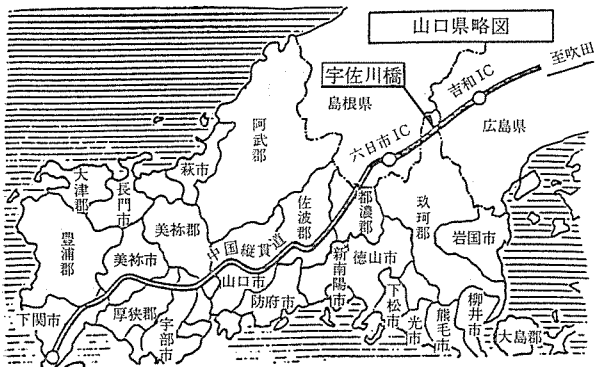


図-1 宇佐川橋位置図

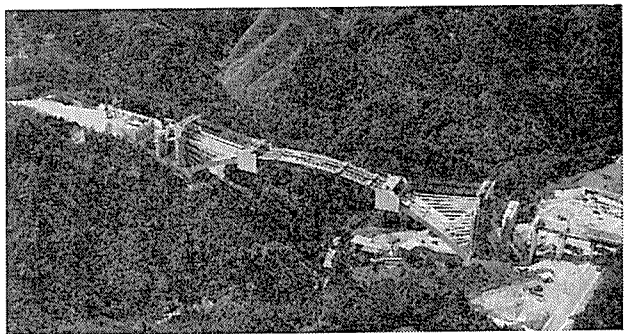
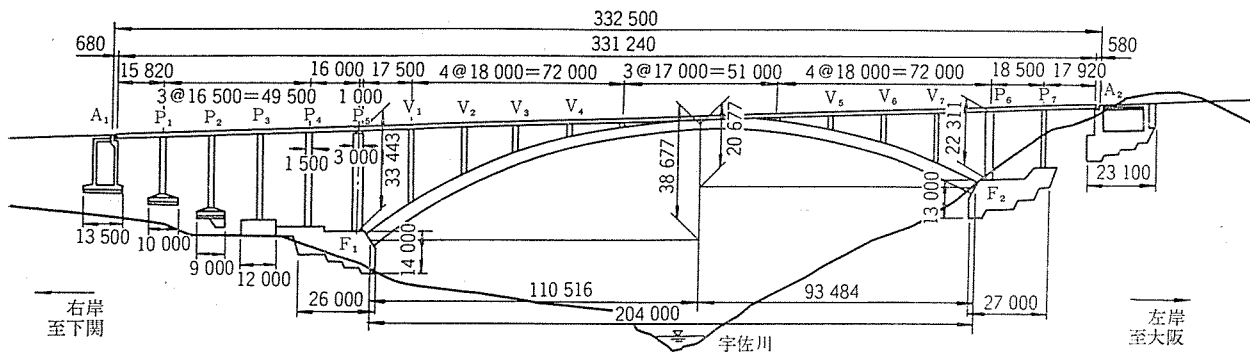
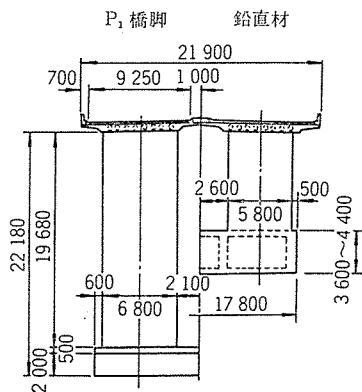


写真-1 宇佐川橋の現況

側 面 図

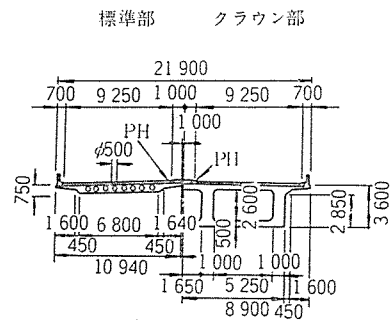


断 面 図



P<sub>1</sub> 橋脚 鉛直材

断 面 図



標準部 クラウン部

図-2 一般図

\* 日本道路公団六日市工事事務所工事長 \*\* 住友建設(株)宇佐川橋作業所副所長 \*\*\* 住友建設(株)橋梁設計課課長代理

表-1 工事概要

位 置	山口県玖珂郡錦町大字宇佐	
橋 格	一等橋 (TT-43)	
橋長および支間割	Aライン 332.50 m=4 @ 16.50 m+16.00 m+1.00 m+17.50 m+4 @ 18.00 m+51.00 m+4 @ 18.00 m+2 @ 18.50 m Bライン 同 上	
幅 員	Aライン 9.25 m Bライン 同 上	
構 造 形 式	上 部 工 RC固定アーチ (スパン 204 m) 下 部 工 箱式橋台2基, 直接基礎3基, アーチアバット直接基礎2基	
工 法	ピロン・メラン併用工法	
工 期	自 昭和 54 年 10 月 至 昭和 57 年 11 月	
工 費	約 45 億 (取付け道, 本線土工一部含む) 支給材約 3 億別)	
主 要 材 料	コンクリート ( $\sigma_{ck}=240,300,400 \text{ kg/cm}^2$ )	40 000 m <sup>2</sup>
	鉄 筋 (SD 30)	2 300 t
	P C 鋼 棒 (SBPD 95/110)	680 t
	メ ラ ン 材 (SM 58)	1 000 t
	ピ ロ ン 柱 (SS 41)	140 t
	ロックアンカー F160 SEEE	4 000 m

表-2 設計条件

項 目	常 時		摘 要	
	完 成 時	施 工 時		
コンクリート	許容圧縮応力度 許容引張応力度	133 kg/cm <sup>2</sup>	140×1.25 kg/cm <sup>2</sup> 25 kg/cm <sup>2</sup>	アーチリング・鉛直材 アーチリング
鉄 筋	許容引張応力度	1 800 kg/cm <sup>2</sup>	1 800×1.25 kg/cm <sup>2</sup>	SD30
メ ラ ン 材	SM58	—	2 600×1.25 kg/cm <sup>2</sup>	主 構 横 構・他
	SS41	—	1 400×1.25 kg/cm <sup>2</sup>	
P C 鋼 棒	斜 吊 り 鋼 棒	—	斜 吊 材 46.2 kg/mm <sup>2</sup>	SBPD 95/110 SBPD 95/110
	ゲビンデ鋼棒	上床版 60.0 kg/mm <sup>2</sup>	アーチリング 77.0 kg/mm <sup>2</sup> 上 床 版 68.0 kg/mm <sup>2</sup>	
水 平 震 度		0.16	0.1	
温 度 変 化	コンクリート	±10°C	±20°C	
	メ ラ ン 材	—	±30°C	
コンクリート乾燥収縮		15×10 <sup>-5</sup>		
許容地盤支持力		100 t/m <sup>2</sup>		硬 岩

しても施工実績のある, 上・下部一体構造の鉄筋コンクリート固定アーチが採用された。

本橋のアーチリング施工法には, ピロン・メラン併用工法が採用されており, スプリング部からワーゲンで施工し, メラン部も同じワーゲン (一部改造) で, 打設ブロック長を長くして施工する。また, クラウン部は, アーチリングと上床版を一体とすることにより, 重量軽減をはかっている。

コンクリートアーチ橋としてのスパン長は 204 m であり, その基礎が, 兩岸の谷形状および基礎岩盤の位置差により高低差があるため, 左右非対称構造となっている。

なお, 本橋はコンクリートアーチ橋としては東洋で最大のスパンを有するものであり, 現場打ち片持架設アーチ施工法また非対称構造アーチとしても, 世界最大の規

模となるものである。

## 2. 工事概要および設計条件

宇佐川橋の工事概要および設計条件は 表-1, 表-2 に示すとおりである。

## 3. 本橋の特色

本橋は, コンクリートアーチ橋としては日本最長のスパンを有するもので, 構造的にも下記のような特色がある。

### 3.1 アーチリング

(1) 兩岸のアーチアバットに高低差があるため, アーチリングは左右非対称構造となっている。基本的事項として, 軸線の選定に対しては, 円曲線・放物線等も考えられるが, 本橋ではシュトラスナーの式を準用して双

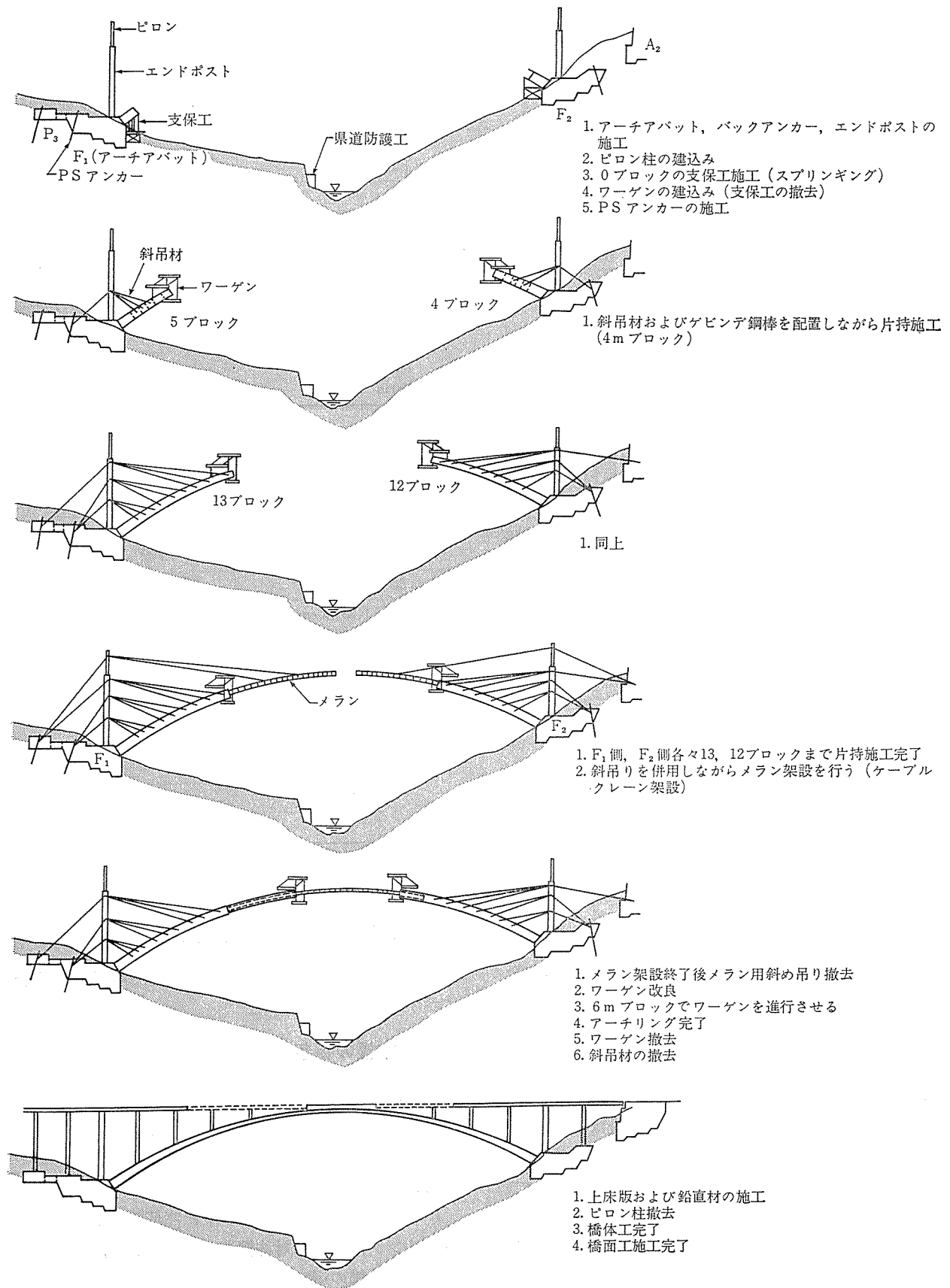


図-3 施工順序

曲線とし、左右の曲率を変えることで非対称アーチに対処している。

(2) 本橋はライズ/スパン比が小さく(1/6.84)、かなりのフラットアーチである。これは帝釈橋(1/4.8)と比べても判別できる。このため、上床版とアーチとをクラウン部(アーチの頂点)で一体としてライズを上げ、アーチとしての性能を高めるとともに、クラウン部での上床版自重を軽減させている。

(3) スプリングング(アーチ部材の両端部)での剛性を高めるため、上・下線と一体とした3室箱桁構造とした。

### 3.2 上床版

(1) 上床版はPCホーラスラブであり、P<sub>5</sub>橋脚上で縁切りした。このため、A<sub>1</sub>側スラブはPCラーメン橋となっている。これは、橋脚がフレキシブルであり、十分PC化できるため、沓その他が不要となり経済性にもつながる。また、P<sub>5</sub>上での縁切りは、側径間上床版の水平力をアーチ系に伝えないためにとった構造である。

(2) アーチリングの項に述べたように、クラウン部で上床版とアーチとを一体化し、上床版自重を軽減させた。

(3) 斜吊材(ゲビンデスターブφ32)を上床版に転用し、PC鋼材を、工程上かつ経済的に有効に利用している。

### 3.3 施工上の特色

(1) 施工上の特色として、ピロン・メラン併用工法を用いていることが挙げられるが(図-3参照)、片持施工時、アーチリングに多大な曲げ応力の発生があるため、有害なひび割れ防止の処置として、斜吊りによる応力調整およびアーチリング桁内へのPC鋼棒の配置を行った。

(2) また、斜吊材の引張りに対して、バックアンカーの浮上・滑動防止のため、PSアンカー(SEE, F160)を配置していることも大きな特色といえる。

## 4. 設計方針

一般図に示す全体系を、図-4に示す骨組構造として面内・面外ともに電子計算機により「任意平面骨組解析」を使用し、すべての荷重状態について解析した。

また通常の解析方法では不十分な部分についてはFEM解析を行い鉄筋で補強した。なお、FEM解析等の特殊な問題の取扱いの項目を次に列挙する。

- 1) 軸線の選定。
- 2) クラウン部の解析(特に上床版との取合い)。
- 3) スプリングングの応力解析。
- 4) アーチリング横桁の断面解析(特にPC鋼材碇着時における応力解析)。
- 5) 施工時斜吊り定着ブロック(ピロン柱)の解析。
- 6) 座屈解析(大変形理論によるアーチリング耐荷力の算定)。
- 7) アーチリング自重および外力による中桁・耳桁における荷重分配の検討。

## 5. 構造概要

### 5.1 橋長決定について

- 1) 国定公園第一種特別指定地域であり、宇佐川を挟み200m区間は構造物を設けない。
- 2) A<sub>1</sub>橋台は、後方に急な山があるため、前方に出しかつ町道の妨げにならないよう設置する。
- 3) A<sub>2</sub>橋台付近は急斜面となり、上り線が切土となるので、その掘削土量を減らすため、A<sub>2</sub>橋台は切土との境界に設置する。

上記の事項を検討の結果、橋長は332.500mに決定された。

### 5.2 支間について

#### (1) アーチリング

国定公園を跨ぐために、200m区間内には構造物が設けられない。よって、アーチアバット間を200mにおさえて、アーチ軸線をできる限り小さくし、アーチスパンを204mとした。

#### (2) 上床版

アーチクラウンの位置が、中心より左岸側へ約14m

表-3 上床版支間割

	上床版支間割	工費	美観	構造
1案	15.82+4@16.5+5@18.0+51.0 +4@180+18.5+17.92	○	◎	PC
2案	17.32+3@21.5+4@22.5+55.5 +3@22.5+21.5+14.97	△	○	PC
3案	1案と同様	○	△	RC



図-4 骨組構造

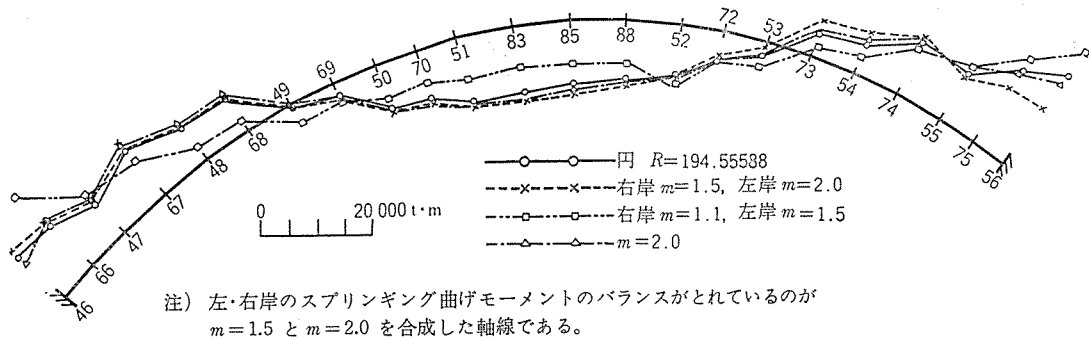


図-5 アーチリブモーメント図 (自重+静荷重+乾燥収縮時)

ずれているため、非対称支間割となる。また、右岸側では浦石工事用道路を跨ぐことも考慮して決定された (表-3 参照)。

工費に関しては、1~3 案まで 300 万円程度の差 (アーチリングへの影響を含む) しかないが、斜吊材の転用および美観を考慮して 1 案に決定した。

### 5.3 形式および断面について

#### (1) 形式

構造形式は、固定式鉄筋コンクリートアーチ橋で、基礎はすべて、花崗岩またはその風化岩より成る基礎地盤上に設けられた直接基礎である。また、上床版は、 $A_1$ ,  $P_5$ ,  $P_6$ ,  $P_7$ ,  $A_2$  上で可動、 $V_3$ ,  $V_4$ ,  $V_5$  上でピン、その他は剛構造のプレストレストコンクリート橋である (図-4 参照)。

$A_1$  および  $A_2$  橋台は、箱式とラーメン式との経済比較を行った結果、箱式に決定された。また  $P_3$ ,  $A_2$  には、アーチ架設時、斜吊り反力により多大な上揚力と水平力が作用するため、PS アンカーを配置した。また、アーチアバットについても同様に PS アンカーを配置している。

#### (2) アーチ軸線

アーチ軸線には、自重、後死荷重、乾燥収縮等の影響が卓越するが、本橋では完成系における活荷重・地震力等の影響およびアーチの非対称性を考慮して、双曲線とし (シュトラスナーの式の準用)、クラウンの左右の曲線を、 $m=1.5$  (右岸)、 $m=2.0$  (左岸) のパラメーターで与えた。

$$y = (f/m - 1)(\cosh k\xi - 1)$$

$$k : \log_e \{m + (m^2 - 1)^{1/2}\}$$

$$\xi : x/l$$

$x$ : クラウンからの距離

本来、シュトラスナーの式は、クラウンとスプリングの断面から、その圧力線と軸線とを一致させる理論式から導かれたもので、他の曲線より優れていると思われる (図-5 参照)。

#### (3) アーチリングの断面

アーチリングの応力は一般に、

- ① クラウン部……………活荷重作用時
- ②  $4/l$  付近……………架設時
- ③ スプリング部……………面内外地震時

で決定されることが多く、本橋もこの例にもれない。しかし、本橋のようにスプリング部が幅員方向に広い場合、面外抵抗が大きくなり、面内応力によって応力が決定される。

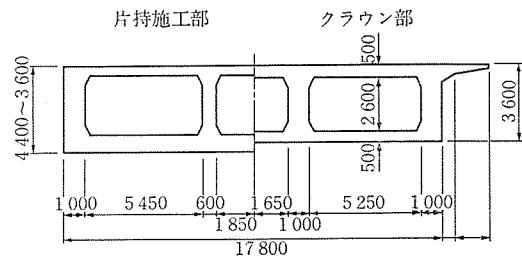


図-6 アーチリング断面

#### (4) ウェブ厚およびウェブ間隔

ワーゲン施工のため、そのレールアンカーをとることと施工性および応力状態からウェブ厚は、外ウェブ-1 m、内ウェブ-60 cm とした。なおメラン部は、メラン埋込み等を考慮して、外ウェブ・内ウェブともに 1 m とした。

ウェブ間隔は、上床版橋脚の取合いを主要因として決定されるが、幅員が 17.8 m と広いために、自重の横分配についても等間隔より良好となっている。

#### (5) 横桁厚の決定

鉛直材の主筋定着から、その最小厚として鉛直材と同厚とした。

#### (6) スプリング部

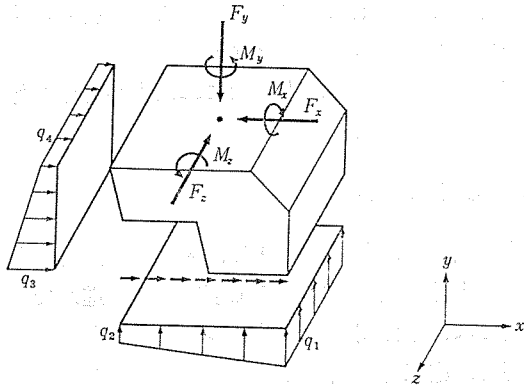
スプリング部充実部長の決定については、応力伝達を Gyon の理論より  $45^\circ$  方向に分布させ、その有効長を計算すると 5.45 m となる。ここでは安全のため充実部長を 6 m とした。

(7) 鉛直材厚の決定

断面力に対し配筋状態が、目安としてD 32-1 段配置程度の断面とした。また長柱としての許容応力度の低減も考慮し、1.2 m 厚に決定された。クラウン付近の鉛直材は剛性が大きくなるので(部材長が短いため)、両端をメナーゼヒンジとしてこれに対処させている。

5.4 アーチアバット

フーチングは剛体とみなし、水平力は基礎底面の摩擦



<外力>	<抵抗力>
$F_x$	背面の地盤反力
$F_y$	底面の地盤反力
$F_z$	底面背面のマサツカ
$M_x$	底面の地盤反力
$M_y$	底面のマサツカ
$M_z$	底面・背面の地盤反力

図-7 アーチアバットに作用する外力と反力

力で受け持てる以外は、すべて背面の地盤反力で受け持たせる(図-7 参照)。また、面内外の最大地盤反力の値は、柴田直光氏の解法(基礎反力の解法)によった。

6. アーチ系としての応力

本橋は、全死荷重時については、全圧縮応力状態であり、引張応力は生じていないが、活荷重偏載時、温度応力作用時および地震時等には引張応力が生じる。これら死荷重以外による応力は、軸線のいかんにかかわらずほ

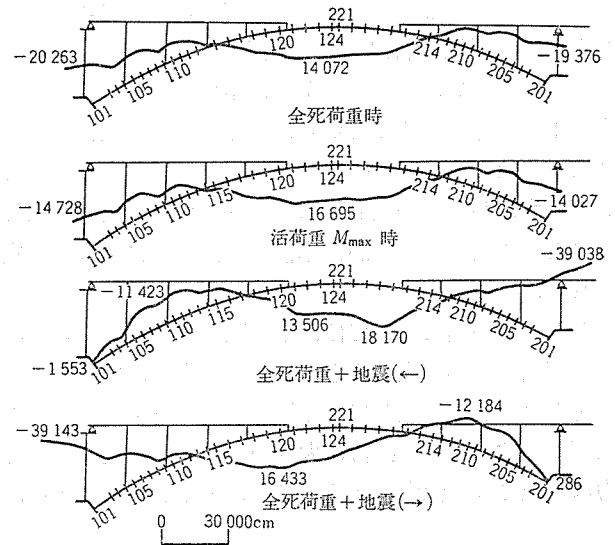


図-8 完成系曲げモーメント図

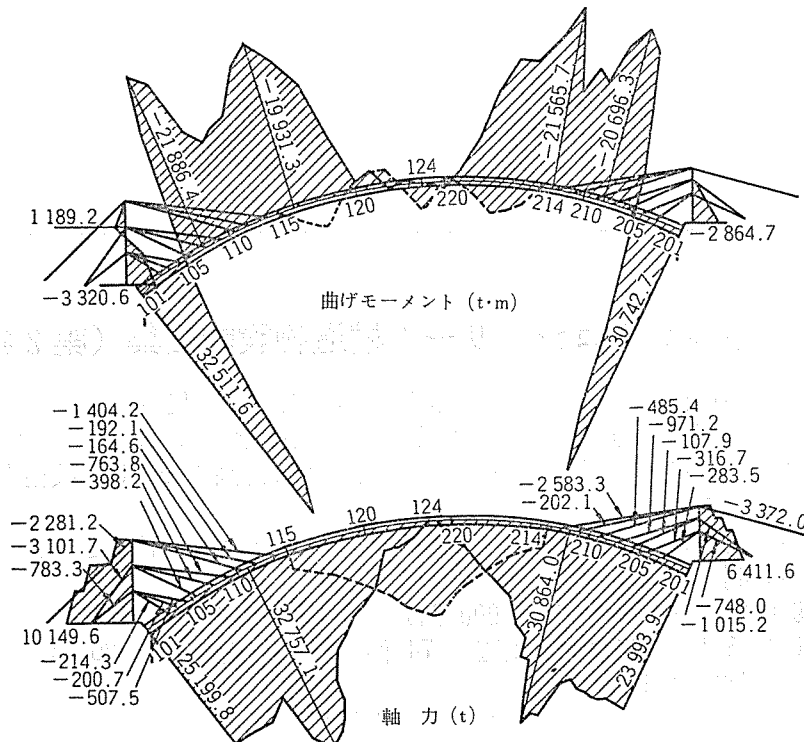


図-9 メラン部の最終ブロックコンクリート打設時の応力

## 報 告

とんど差はないものである。

活荷重の偏載による応力はクラウンに顕著に現われ、また面内地震力はスプリングで最大の応力を発生させる。これは、自重がアーチ系をなし、柱に近い状態のためと、上床版荷重がクラウンで一体とされ、高所にその作用力が付加されるためである。このため、エンドポスト上で上床版が縁切られると、アーチ系にかかる水平力が減少され、断面力に 10% 程度の変化をもたらす。

また、面外の地震については、側径間の剛性が小さいため、アーチ自重による面外力が上床版を通じて側径間に及ぼす影響も無視できないが、本橋のようにエンドポストの剛性が他の橋脚に比べて極端に大きい場合は、その影響は少ない。しかしながら、本橋はアーチリングが上・下線一体であることから、橋軸直角方向剛性が非常に大きくなっており、一般アーチ系とは様相を異にしている。すなわち、一般的にはスプリング断面が面外力によって決定されるが、本橋では面内力によって決定される。

なお、側径間については、上床版を縁切りしている場合、面内力は橋脚高の小さい  $P_1$  に集中し、他はあまり差をみないが、連続している場合は、アーチの剛性が上床版の剛性に比して非常に大きいため、側径間の地震応力は低減される傾向にある。また、上床版の温度変化、

乾燥収縮による応力には次の傾向がみられる。

- 1) 縁切りした場合、温度応力は側径間のみによる応力であるので小さい。
- 2) 連続した場合は、アーチの断面積が大きいことから、アーチ自身の伸縮の影響が上床版に多大の影響を及ぼし、側径間に大きな応力を発生させる。これは側径間の結合条件にもよるが、剛であるほど大きくなる。
- 3) そのため、上床版についてはこれを打ち消すためのプレストレスが必要となるが、エンドポストと上床版が剛結の場合、上床版に二次力が発生し処理できない。

## 7. あとがき

宇佐川橋は、昭和 56 年 9 月、メランの閉合を見、昭和 57 年 11 月の完成に向けて工事は順調に進んでいる。

本橋では、宇佐川橋の設計について概要を記したが、特殊解析、施工等に関しても、追って発表したいと考えている。

最後に、本橋の設計・施工に当たって、その都度適確な助言をいただいた関係者各位に、紙面を借りて厚く謝意を表する次第である。

【昭和 56 年 9 月 17 日受付】

---

### ◀新刊図書案内▶

## プレストレストコンクリート構造物設計図集 (第 2 集)

本書は協会設立 20 周年行事の一環として、前回発行した設計図集の様式にならい編集した、その第 2 集である。協会誌第 10 巻より 21 巻に亘る巻末折込付図を主体とし、写真ならびに説明を付し、その他参考になる PC 構造物についてとりまとめた設計図集で、PC 技術者の座右に備え付けるべき格好の資料と考えます。

希望者は代金（現金為替または郵便振替 東京 7-62774）を添え、下記宛お申し込みください。

体 裁：B 5 判 224 頁

定 価：9,000 円（会員特価 7,000 円） 送 料：1,000 円

内 容：PC 橋梁（道路および鉄道）74 件、PC 建築構造物 25 件、その他タンクおよび舗装等 10 件

申 込 先：（社）プレストレストコンクリート技術協会

〒102 東京都千代田区麹町 1-10-15（紀の国やビル）電話 03 (261) 9151