

## 中国自動車道 足谷川橋の設計

加 藤 武 彰\*  
 田 中 実 喜 也\*\*  
 北 野 健 史†  
 伊 藤 守††

### 1. まえがき

足谷川橋は、中国自動車道が山口県玖珂郡錦町の足谷川を横断する地点に架けられるプレストレストコンクリート3径間連続桁橋である。

中国自動車道は、吹田～下関間 543 km を結ぶ高速自動車道であるが、このうち、広島県の千代田と、山口県の鹿野の間、延長約 100 km が未開通で現在工事中である。このうち、本橋が位置する錦町地内では、錦川の上流である宇佐川と、その支流によって形成されたいくつもの大規模なV字谷を横断して、ルートがひかかれているため、我が国有数の長大橋梁が連続している。

足谷川橋は、これらのうちのひとつであるが、架設地

点の谷の斜面が約 60° という急傾斜で、計画路面から谷底までの深さが約 105 m という非常に厳しい地形条件のもとで計画されたものである。さらに、この付近は、西中国山地国定公園に指定されているため、渓谷美と調和した形式や、自然環境を損なわない工法の選択にも留意して上・下部工それぞれの計画を行っている。その結果、中央径間長が 127 m という我が国最大のスパン長を有する PC3 径間連続桁の上部工と直径 12 m の大口径深礎杭の下部工という特異な組合せとなった。

本文は、この橋の上部工の設計についてその概要を紹介するものである。

### 2. 上部工工事の概要

足谷川橋の工事概要は次のとおりである。

路線名：中国縦貫自動車道

工事箇所：山口県玖珂郡錦町大字宇佐郷

構造形式：プレストレストコンクリート3径間連続箱桁

橋 格：1等橋

橋 長：235.3 m

支間長：53.2 m + 127.0 m + 53.2 m

有効幅員：2 × 9.25 m

線 形：平面線形 R=600, A=250

縦断線形 i=0.75%

施工法：ディビダーク方式片持架設工法

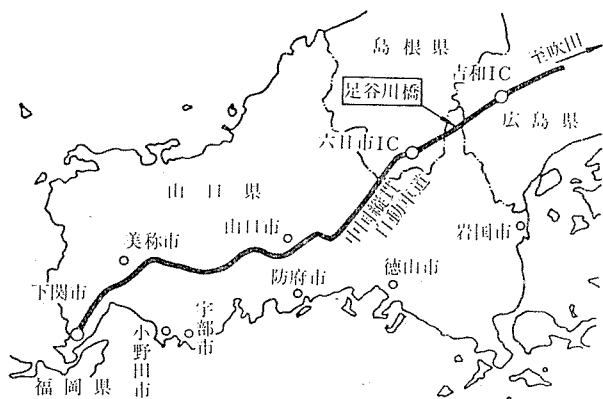


図-1 足谷川橋の位置

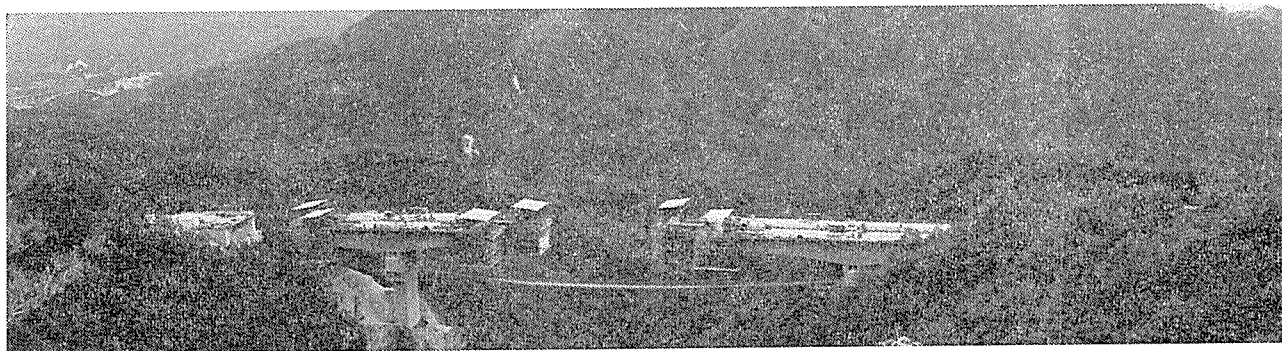


写真-1

\* 日本道路公団広島建設局六日市工事事務所第二構造工事長  
 \*\* 日本道路公団広島建設局六日市工事事務所第二構造工事区

† ビー・エス・コンクリート(株)大阪支店工務部設計主任  
 †† 住友建設(株)土木部大阪設計課副課長

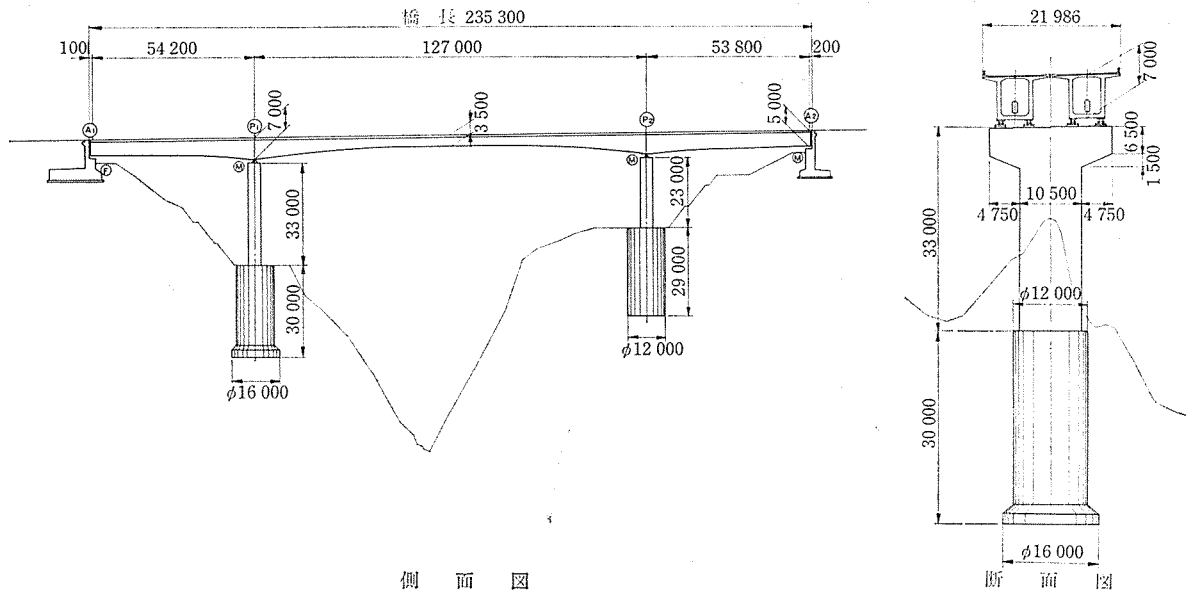


図-2 足谷川橋一般図

施 工：ピー・エス・コンクリート（株），住友建設（株）共同企業体

一般図を 図-2 に示す。また本橋の施工状況を 写真-1 に示す。

### 3. 設計条件および材料特性

#### 設計条件

- 活 荷 重：TT 43, TL 20
- 設計震度： $k_H=0.14$ （ただし，修正震度法により割増しする）
- 温 度 差：上床版のみ+5°C
- 終局荷重作用時の荷重の組合せ：
  - 1.3（死荷重）+2.5（活荷重+衝撃）
  - 1.0（死荷重）+2.5（活荷重+衝撃）
  - 1.7（死荷重+活荷重+衝撃）

#### 主要材料の材料特性

- コンクリート〔主桁・仮支承〕  $\sigma_{ck}=400 \text{ kg/cm}^2$
- 〔地覆・壁高欄〕  $\sigma_{ck}=240 \text{ kg/cm}^2$
- PC 鋼棒  $\phi 32$ 〔主桁・床版・せん断〕 A種 2号
- 〔固定支承部補強用〕 B種 1号
- 鉄筋 SD 30

### 4. 主要材料

本橋に用いられる主要材料は次のとおりである。

|  |                      |
|--|----------------------|
| コンクリート ( $\sigma_{ck}=400 \text{ kg/cm}^2$ ) | 6 088 m <sup>3</sup> |
| 鉄 筋 (SD 30)                                  | 651 t                |
| PC 鋼棒 (SBPR 80/105)                          | 535 t                |
| PC 鋼棒 (SBPR 95/110)                          | 2 t                  |
| 支 承  | 188 t                |

### 5. 形式の選定

谷の両側は，花崗岩質の非常に急な斜面であり，アーチ系の形式の採用も考えられたが，両斜面とも，露頭した岩が小段状に出張っているため，これを利用して橋脚を建て，3径間連続桁とした。連続桁としては，鋼トラスも検討したが，国定公園内であり，コンクリート系の方が自然環境になじみやすいとして，PC桁を選定した。谷の形から側径間に比べ，中央径間が長すぎる傾向となるため，なるべく谷の前面に橋脚を出すように検討したが，橋脚の高さや下部工施工との関係もあり，十分中央まで寄せきれず，支間割は，53.2m+127.0m+53.2mとした。側径間長  $L$  に対して，中央径間長が  $2.4L$  と多少バランスの悪い径間割となったためアップリフト防止の特別な配慮が必要となった。

### 6. 構造寸法の決定

桁高 本橋の桁高は，中間支点部で7.0m（桁高比1/18），支間中央部で3.5m（桁高比1/36），端支点部では，5.0mとした。中間支点部，および支間中央部の桁高は，過去に施工された橋梁のデータをもとに，応力的な検討と美観上の配慮から決定した。また，側径間の桁高は，架設中の桁のバランスと，端支点の負反力に対する配慮から若干高めとなった。桁高の変化曲線は，中央径間は3次放物線とし，側径間は2次放物線とした（図-2 参照）。

ウェブ間隔 ウェブ間隔は，輪荷重に対して最も有利となる床版支持間隔の検討，および箱桁としての機能を考慮して，張出し床版幅と中間床版幅の比がほぼ1:2

報 告

となるように下床版幅を 5.5m とした。

**上床版厚** 上床版の厚さは、床版としての応力的な検討、主桁としてのフランジ機能、そして PC 鋼材等の配置スペースなどを配慮して、張出し床版端部で 25 cm、ウェブ付根部で 50 cm、そして支間中央で 30 cm とした。

**下床版厚** 箱桁の下床版は、主桁としてのフランジ機能、PC 鋼材の配置スペースとしての機能を考慮して、中央径間では、支点部 70 cm、中央部 20 cm とした。側径間部については、施工中のアンバランスモーメント、および端支点の負反力に対する配慮から 70 cm の等厚とした。

**ウェブ厚** ウェブは、せん断、およびねじりに対する検討、PC 鋼材の配置スペースなどを考慮して、中央径間では、支点部で 70 cm、中央部で 35 cm とした。側径間部については、下床版と同様な理由により 70 cm の等厚とした。

**施工ブロック割** 施工ブロック割は、架設作業車（ホルバウアーゲン）の能力 ( $M_{max}=200 \text{ tm}$ )、架設中の中央径間と側径間のバランスから決定する。本橋の場合、橋脚がスレンダーで、その天端幅が、4.0 m と狭く、仮支承による抵抗モーメントが十分期待できないので、アンバランスモーメントが極力小さくなるように施工ブロック割を決め、仮支承、橋脚などの施工中の応力の軽減をはかった（図-3 参照）。

7. 主桁の設計

(1) 断面力の算出

本橋の場合、平面線形が  $A=250 \text{ m}$  のクロソイドから  $R=600 \text{ m}$  の円弧曲線区間に位置するカーブ橋のため、断面力の算出は実際の線形に沿った任意格子理論により行った。

施工順序に従った各荷重による断面力は 図-4~6 に示す。

(2) 曲げ応力度の検討

主桁の設計荷重作用時の荷重の組合せと許容応力度に

ついては、道路橋示方書（日本道路協会）、および設計要領（日本道路公団）の規定に従い、表-1 のとおりとした。

また、終局荷重作用時の荷重の組合せは次のとおりとし、破壊抵抗曲げモーメントと比較 ( $S.F. \geq 1.0$ ) した。

- 1.3 (死荷重)+2.5 (活荷重+衝撃)
- 1.0 (死荷重)+2.5 (活荷重+衝撃)
- 1.7 (死荷重+活荷重+衝撃)
- 1.3 (死荷重+地震の影響)
- 1.0 (死荷重)+1.3 (地震の影響)

(3) プレストレスの計算

主桁用の PC 鋼材は、大別して片持施工時に緊張され

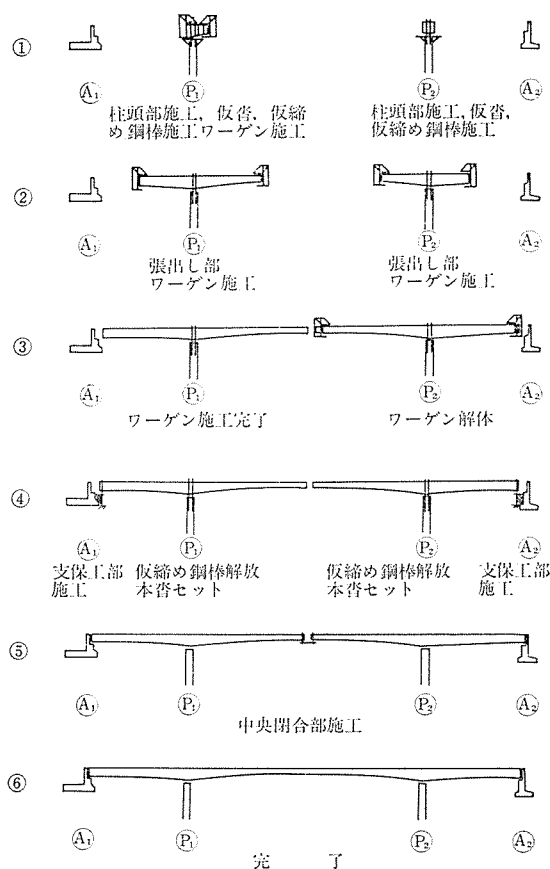


図-4 施工順序図

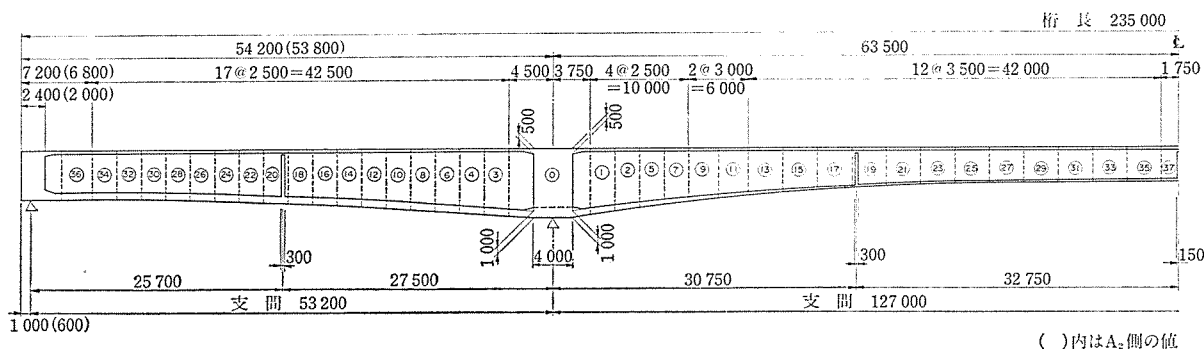


図-3 施工ブロック割図

( )内はA2側の値

桁自重  
各施工段階  
の曲げモーメント  
を示す

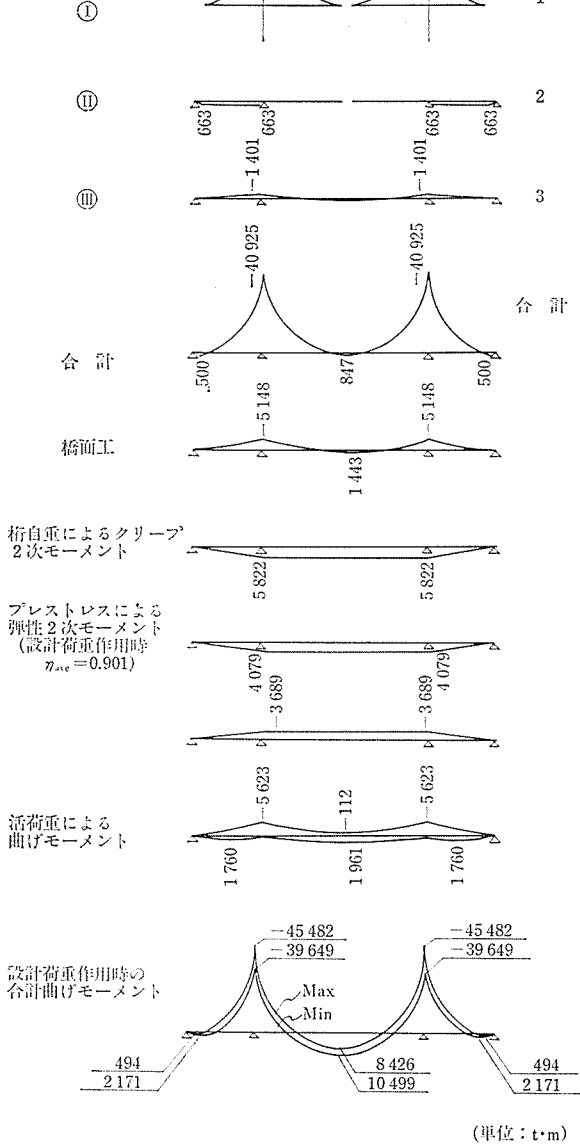
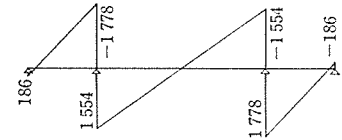
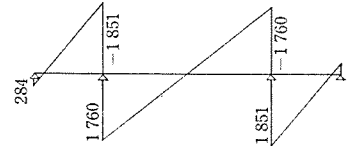


図-5 曲げモーメント図

桁自重



死荷重合計



活荷重



設計荷重作用時の  
合計せん断力

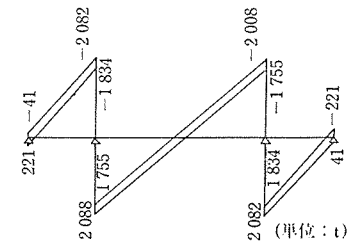


図-6 せん断力

る1次 PC 鋼棒と、閉合時に緊張される2次 PC 鋼棒に分けられるが、本橋の場合、すべて、A種2号  $\phi 32$  mmの PC 鋼棒を使用した。中間支点部、および支間中央部の PC 鋼棒配置を 図-7 に示す。また各断面における配置本数を 図-8 に示す。

(4) 合成応力度の検討

施工中、および設計荷重時の荷重による応力度と、プレストレスの合成応力度を 図-9, 10 に示す。図中、引張部については、荷重とプレストレスのそれぞれの応力度を折線で表示し、圧縮部については合成応力度を示した。また、各断面の終局荷重作用時の作用モーメントと、抵抗モーメントを 図-11 に示す。

(5) せん断およびねじりに対する検討

表-1 荷重の組合せと許容応力度

|       | 桁自重   | 橋面工 | プレストレスによる<br>2次モーメント | クリープによる<br>2次モーメント | 活荷重 | 温度変化<br>(+5°C) | 風荷重 | プレストレス |  | 許容応力度  |              |                             |                             |                             |                             |
|-------|-------|-----|----------------------|--------------------|-----|----------------|-----|--------|--|--|--------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|       |       |     |                      |                    |     |                |     |        |  | コンクリート<br>( $\sigma_{ck}=400$ kg/cm <sup>2</sup> ) |              | 鉄筋<br>(SD 30)               |                             | PC鋼棒<br>(A種2号)              |                             |
|       |       |     |                      |                    |     |                |     |        |  | 直後   | 有効           | 圧縮<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 引張<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 引張<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 引張<br>(kg/mm <sup>2</sup> ) |
| 架設中   | ○     |     |                      |                    |     |                |     | ○      |  | 180  | -15          | 1800                        | 77                          |                             |                             |
| 橋梁完成後 | 死荷重時  | ○   | ○                    | ○                  | ○   |                |     | ○      |  | 140  | 0            | 1800                        | 66                          |                             |                             |
|       | 活荷重時  | ○   | ○                    | ○                  | ○   |                |     | ○      |  | 140  | 0上縁<br>-15下縁 | 1800                        | 66                          |                             |                             |
|       | 温度変化時 | ○   | ○                    | ○                  | ○   | ○              |     | ○      |  | 1.15×140<br>161                                    | -20          | 1.15×1800<br>2070           | 66                          |                             |                             |
|       | 風荷重時  | ○   | ○                    | ○                  | ○   | ○              | ○   | ○      |  | 1.25×140<br>175                                    | -25          | 1.25×1800<br>2250           | 66                          |                             |                             |

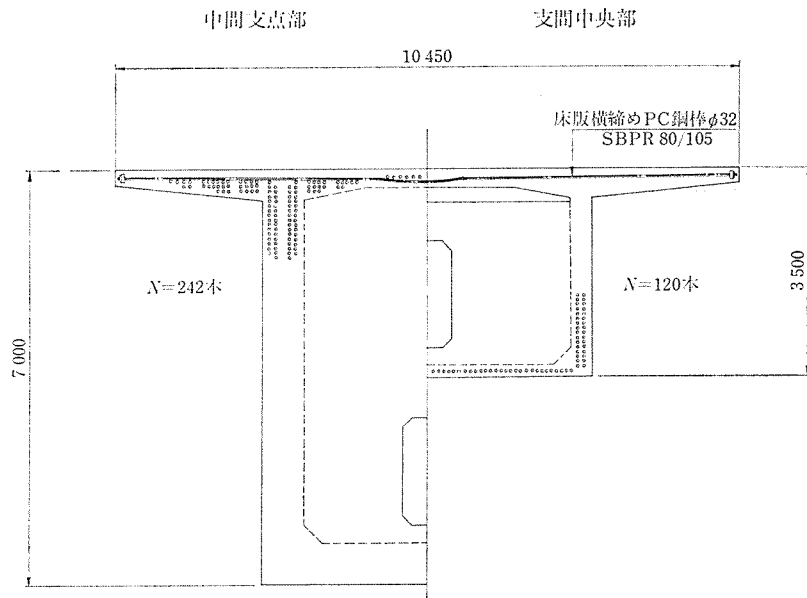


図-7 主桁標準断面 PC 鋼棒配置図

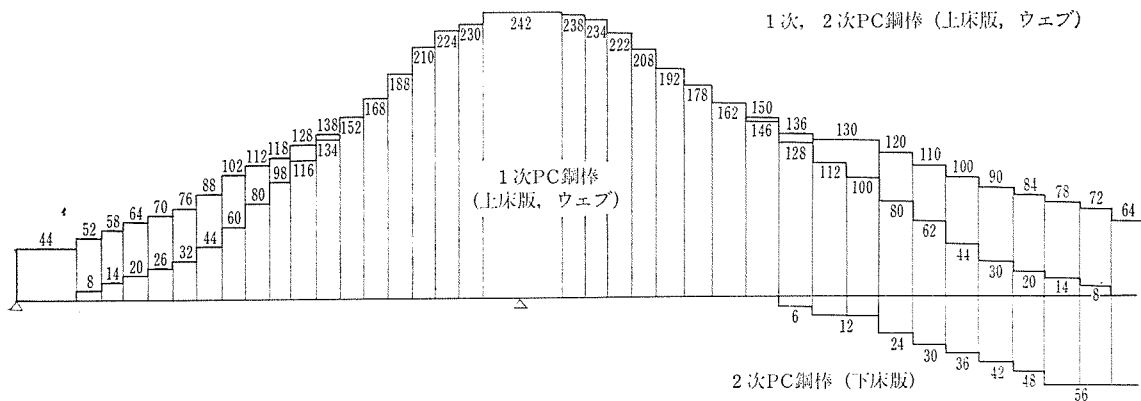


図-8 PC 鋼棒配置図

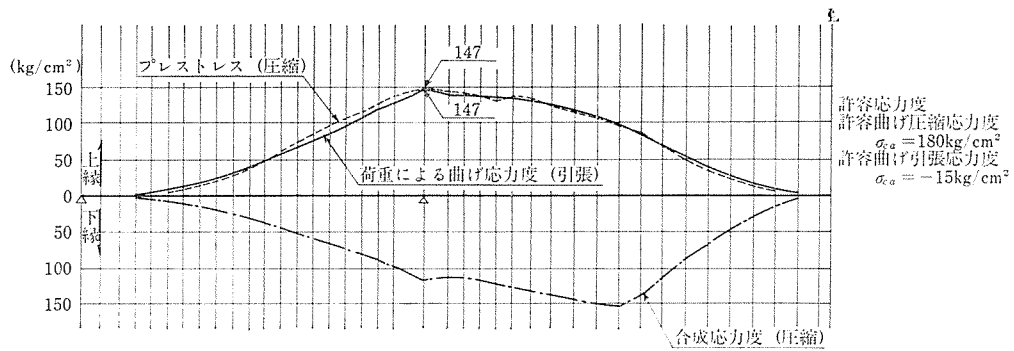


図-9 片持施工時曲げ応力度

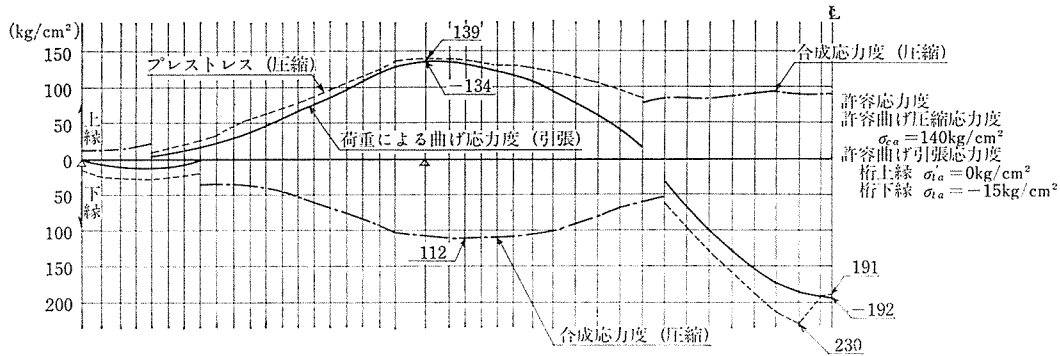


図-10 設計時曲げ応力度

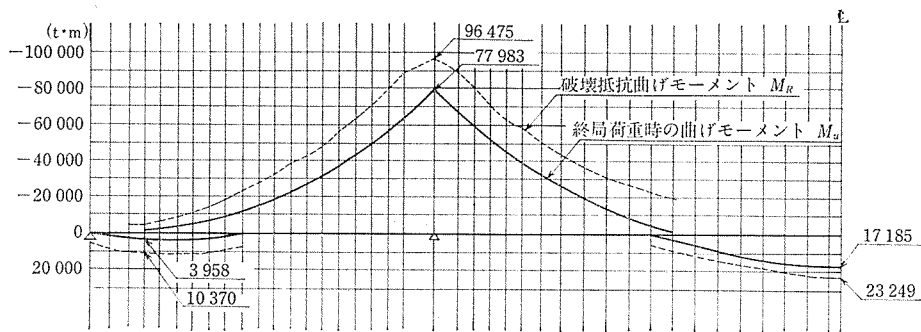
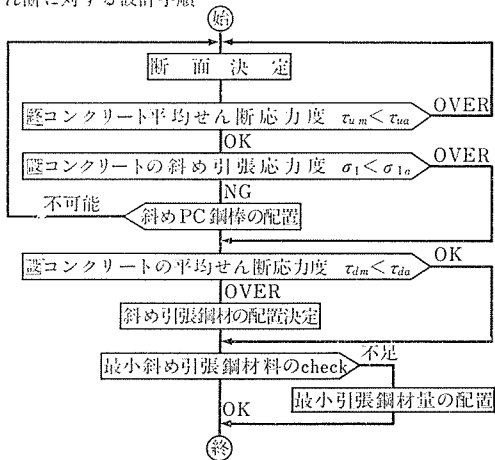
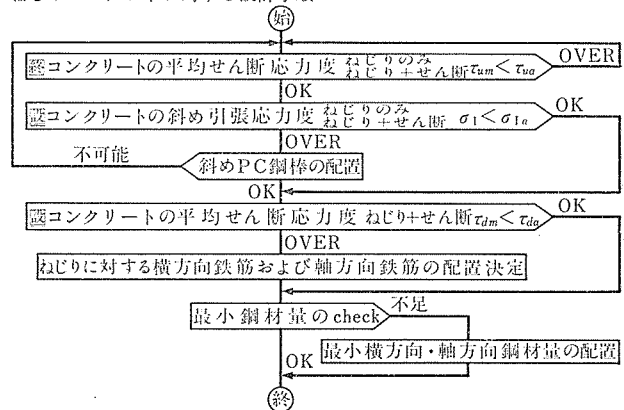


図-11 曲げ破壊安全度の検討

せん断に対する設計手順



ねじりモーメントに対する設計手順



(図設計荷重作用時)  
(図終局荷重作用時)

図-12 せん断, ねじりに対する検討手順

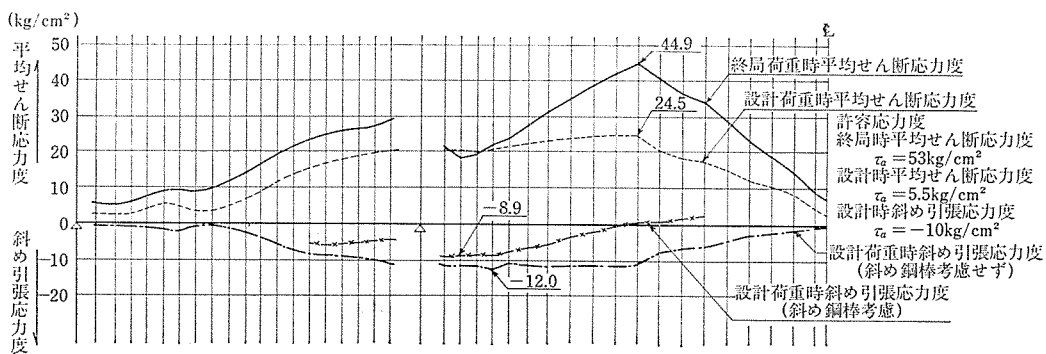


図-13 平均せん断応力度, 斜め引張応力度図 (せん断)

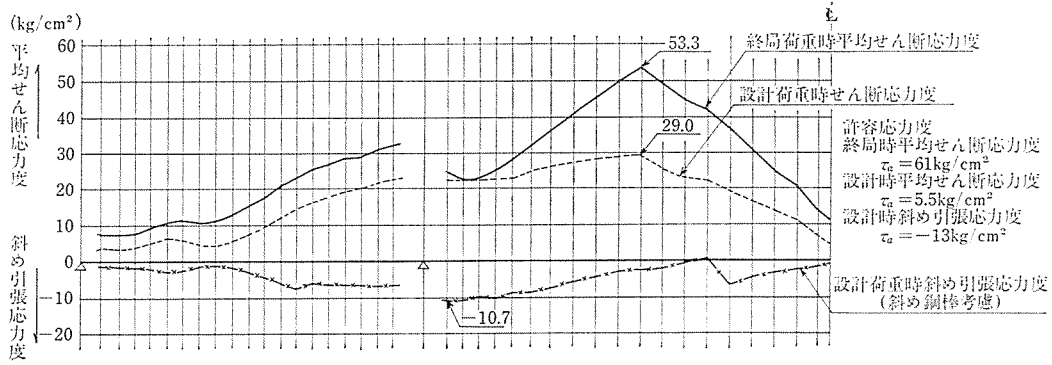


図-14 平均せん断応力度，斜め引張応力度図（せん断+ねじり）

道路橋示方書および設計要領の規定に従い，せん断，およびねじりに対する検討を行った。検討手順は 図-12 に示すとおりである。設計荷重作用時の斜め引張応力度の検討断面位置は，ウェブの上・下端と図心位置の3か所とした。

各断面の平均せん断応力度，および最大斜め引張応力度を 図-13, 14 に示す。斜め引張応力度の検討で許容応力度を超えた区間については斜め PC 鋼棒を配置した。

### 8. 仮固定工の検討

本橋は，完成時には3径間連続桁となるが，施工中の桁のアンバランスモーメントを橋脚に伝達するために 図-15 に示すコンクリート製の仮支承と PC 鋼棒とにより，主桁と橋脚を剛結した。この場合，仮支承，および橋脚は施工中の常時，および地震時のすべての状態に対して安全となるように検討した。本橋の場合，平面線形の変化によるねじりモーメントも発生するため，同時に考慮した。また，地震時水平力に対しては，H鋼をう

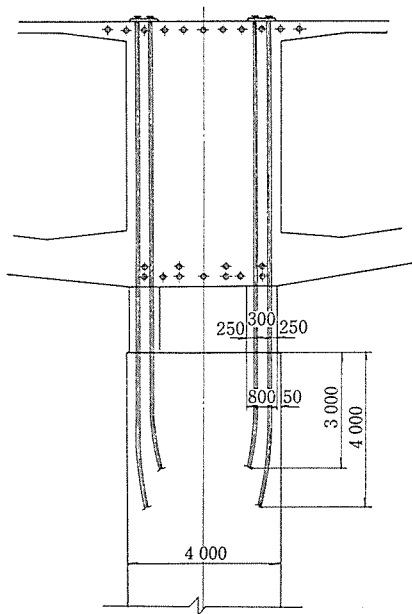


図-15 仮固定図

めこみ，せん断力を伝達させた。

### 9. 床版の設計

床版の設計は橋軸直角方向と，橋軸方向の2つに大別されるが，橋軸直角方向は PC 構造，橋軸方向は RC 構造として設計した。また，箱桁橋であるため道路橋示方書の規定に従い，上・下フランジと，ウェブで構成されるボックスラーメンと考え，下フランジ，およびウェブを RC 構造として設計した。設計のフローチャートを 図-16 に示す。また，各検討状態における荷重の組合せと許容応力度を 表-2 に示す。

床版横締め用 PC 鋼材には，PC 鋼棒  $\phi 32$  (A種 2

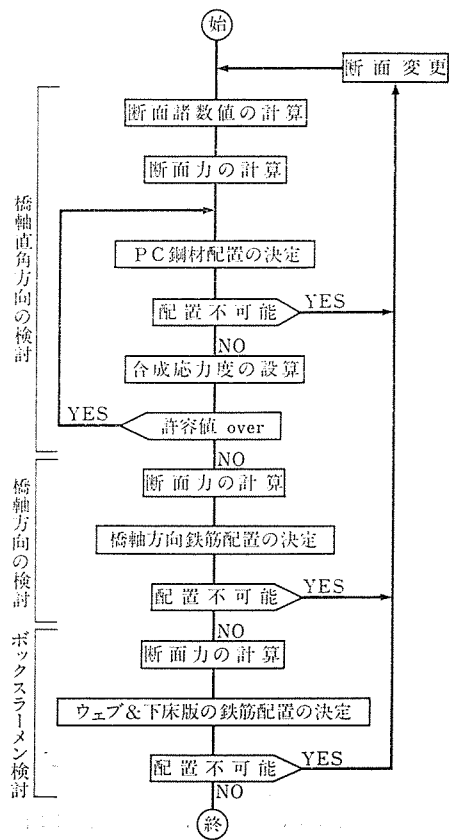


図-16 床版設計のフローチャート

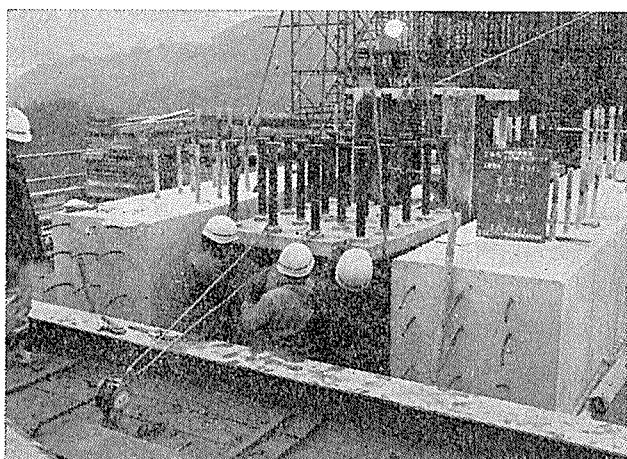
表一2 床版検討時の荷重の組合せと許容応力度

△危険側の場合のみ考慮する

|           | 床版自重   | 橋面工 | プレストレス2次モーメント |     | 活荷重 |     | 風荷重                    |                        |                        | 衝突荷重 | 温度差 +5℃ | プレストレス |     | 許容応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )                |      |      |
|-----------|--------|-----|---------------|-----|-----|-----|------------------------|------------------------|------------------------|------|---------|--------|-----|--|------|------|
|           |        |     | 導入時           | 有効時 | 常時  | 衝突時 | +300 kg/m <sup>2</sup> | +150 kg/m <sup>2</sup> | -150 kg/m <sup>2</sup> |      |         | 導入時    | 有効時 | コンクリート $\sigma_{c,tl}=400 \text{ kg/cm}^2$ |      | 鉄筋   |
|           |        |     |               |     |     |     |                        |                        |                        |      |         |        |     | 圧縮   | 引張   |      |
| プレストレス導入時 | ○      |     | ○             |     |     |     |                        |                        |                        |      |         | ○      |     | 180  | -15  | 1400 |
| 橋梁供用後     | 死荷重作用時 | ○   | ○             | ○   |     |     |                        |                        |                        |      |         |        | ○   | 140  | 0    | 1400 |
|           | 活荷重作用時 | ○   | ○             | ○   | ○   |     |                        | △                      | △                      |      |         |        | ○   | 140  | 0    | 1400 |
|           | 風無     | ○   | ○             | ○   |     |     |                        |                        |                        |      |         | △      | ○   | 175  | -25  | 2250 |
|           | 風有     | ○   | ○             | ○   |     |     | △                      |                        |                        |      | △       |        | ○   | 175  | -25  | 2250 |
| 衝突荷重作用時   | ○      | ○   | ○             |     | ○   |     |                        |                        |                        |      |         | ○      | 210 | -  | 2700 |      |



写真一2 支承設置状況



写真一3 支承設置状況

号)を使用し、横締め間隔はウェブ厚が薄く、床版支間が大きくなる中央径間では40 cmとし、側径間は、ウェブが厚く、床版支間が短くなるので45 cmとした。PC鋼棒の配置の概要は図一7に示す。

### 10. 支承の設計

支承は、機能、耐久性、経済性、施工性を考慮して設計する必要があるが、中間橋脚上では1支承あたり最大2700 tの反力が作用し、計算移動量が170 mmとなるので、支承はピン高硬度複数ローラー支承を使用した。また、A1橋台部の固定支承は、鉛直反力( $R_d=250 \text{ t}$ )に比べて、地震時の水平力( $H=1020 \text{ t}$ )が大きくなるので、せん断型のピン支承とした。

なお、中間橋脚部の $R=2700 \text{ t}$ の可動支承は、高さが1.6 m、重量は1基あたり18.5 tにもなるため、分解して運搬し橋脚上で組立てるようにした。支承の設置状況を写真一2、および写真一3に示す。写真一3には、仮固定用のコンクリート製の仮支承がみえる。

### 11. あとがき

地形の厳しさから、工事用ヤードまでの進入に時間を要し、このため、下部工、上部工とも、工程的に非常に厳しい施工となったが、関係各位の努力で工事は現在順調に進展しており、昭和57年12月に完成の予定である。橋梁完成後は「宇佐五橋」の一つとして、この地方の新しい名所の一つになるものと期待されている。

【昭和57年8月2日受付】