

# 斜角を有する 2 主桁橋の解析的研究

## Analytical Study on Two-Plate-Girders Skew Bridge

櫻井 信 彰<sup>\*(1)</sup>

Nobuaki SAKURAI

溝口 信 夫<sup>\*(5)</sup>

Nobuo MIZOGUCHI

野呂 直 以<sup>\*(2)</sup>

Tadayuki NORO

渡部 弘 明<sup>\*(3)</sup>

Hiroaki WATANABE

立花 周 作<sup>\*(4)</sup>

Shusaku TACHIBANA

### 抄 録

近年、鋼橋分野では建設コストの縮減と構造の合理化の観点から、少数主桁橋が多く採用されている。少数主桁橋は、プレストレストコンクリート床版を用いた床版支間の大きい鋼 I 桁橋で、対傾構や横構も極力省略された非常にシンプルな構造である。しかし、少数主桁橋はその施工実績から適用範囲が限られているのが現状である。そこで、少数主桁橋の適用範囲を検討すべく、従来基準の適用範囲を超える斜角等がある折れ桁形式の少数 2 主桁橋に着目し、その構造特性について解析検討した。

### Abstract

Recently, rationally-designed bridges are popular types of steel bridges in Japan, because of the reduction of construction cost and labor. They comprise of long spanned prestressed concrete slabs and steel plate-girder bridges without diagonals and laterals. But they are paid much attention, because their applicable shapes are limited constructing up to now. This report describes the structural behavior of them with skew and bending at piers beyond ordinary bridge design specification through the numerical analysis.

## 1. はじめに

近年、公共事業費の縮減にともない橋梁分野では建設コストの縮減が可能な新しい橋梁形式の検討が盛んである。その中でも、工場製作および現場作業の省力化できる少数主桁橋は検討事例が多く、また施工実績も急増している。少数主桁橋は、プレストレストコンクリート(以下、PC)床版を用いた床版支間の大きい鋼 I 桁橋で、従来の多主桁橋よりも主桁本数が少なく、また対傾構や横構も極力省略するため、非常にシンプルな構造である。しかし、少数主桁橋はその施工実績から適用範囲が斜角75度以上、曲率半径1 000m程度<sup>1)</sup>と限定されるため、少数主桁橋の適用範囲を拡大するには斜角等について検討する必要がある。

そこで本報では、少数主桁橋の適用範囲外である斜角が約60度、曲率半径が約800m、また中間支点で主桁が折れる橋梁を対象に、床版に発生する付加曲げ応力度を解析的に求め、またその発生応力度を低減する方法について検討したのでこれを報告する。

## 2. 検討対象橋梁

検討対象とした橋梁は、最大支間長が47.5m、PC床版厚が310mmのPC床版鋼 5 径間連続非合成 2 主桁橋である。検討対象橋梁の概要図を図 1、橋梁の各諸元を表 1 に示す。

表 1 検討対象橋梁の諸元

|      |                                                                 |
|------|-----------------------------------------------------------------|
| 道路規格 | 第 1 種第 2 級 B 規格                                                 |
| 活荷重  | B 活荷重                                                           |
| 構造形式 | PC 床版鋼 5 径間連続非合成 2 主桁橋                                          |
| 橋長   | 219.0m                                                          |
| 支間長  | 38.8m+2×42.0m+47.5m+47.3m                                       |
| 有効幅員 | 10.009m~13.166m                                                 |
| 平面線形 | R=800m~A=450                                                    |
| 縦断勾配 | -2.004%~3.840%                                                  |
| 斜角   | P10: 90°, P9: 69°, P8: 66.5°<br>P7: 64°, P6: 61.5°, P5: 90°     |
| 床版   | PC 床版 ( $\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$ )<br>床版支間=5.9m, 床版厚=310mm |
| 鋼材   | 主桁 SS400, SM400, SM490Y, SM570                                  |
|      | 鉄筋 SD345                                                        |
|      | PC 鋼材 SWPR19-1S21.8 ctc350(アフターボンド)                             |

<sup>\*(1)</sup> エンジニアリング事業本部 鉄構海洋事業部 設計部 マネジャー  
神奈川県相模原市西橋本5-9-1 ☎229-1131 ☎(042)771-6162

<sup>\*(2)</sup> エンジニアリング事業本部 鉄構海洋事業部 技術開発グループ  
マネジャー

<sup>\*(3)</sup> エンジニアリング事業本部 鉄構海洋事業部 設計部

<sup>\*(4)</sup> 大阪支店 橋梁工事グループ マネジャー

<sup>\*(5)</sup> 大阪支店 橋梁工事グループ

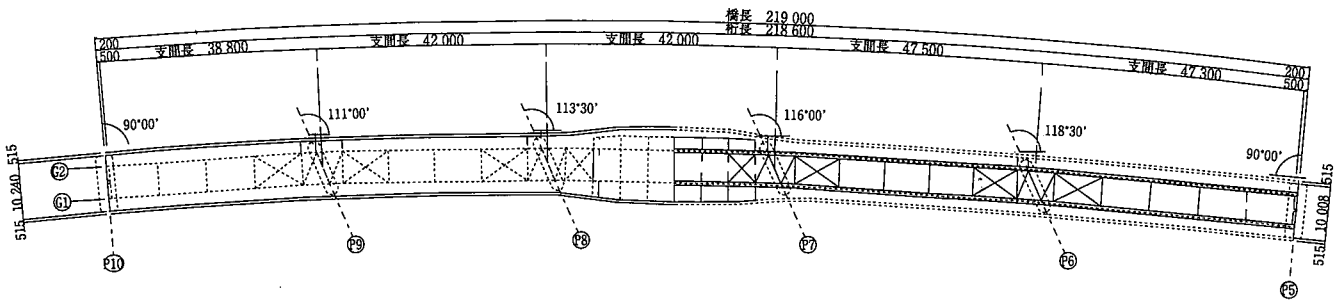


図1(a) 検討対象橋梁の平面図

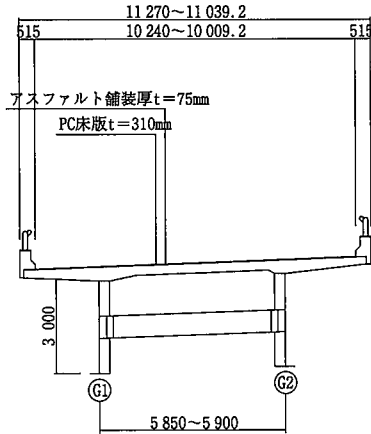


図1(b) 検討対象橋梁の断面図

表2 面内骨組み解析モデルの部材諸元

|        | 断面積<br>A (cm <sup>2</sup> ) | 面内剛度<br>I <sub>y</sub> (m <sup>4</sup> ) | ねじり剛度<br>J (m <sup>4</sup> ) |
|--------|-----------------------------|------------------------------------------|------------------------------|
| 主桁     | $1.64 \times 10^0$          | $3.39 \times 10^{-1}$                    | $1.00 \times 10^{-5}$        |
| 横桁     | $3.30 \times 10^{-2}$       | $1.13 \times 10^{-3}$                    | $1.00 \times 10^{-5}$        |
| 中間支点横桁 | $1.60 \times 10^0$          | $1.77 \times 10^{-2}$                    | $1.00 \times 10^{-5}$        |
| 横構     | $6.02 \times 10^{-3}$       | $2.06 \times 10^{-5}$                    | $1.00 \times 10^{-5}$        |

表3 解析ケース

| 解析ケース             | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------|---|---|---|---|---|---|
| 解析モデル             | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 折れ桁               | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 斜角                | × | ○ | ○ | × | ○ | ○ |
| 横構                | × | × | ○ | × | × | ○ |
| 中間横桁の<br>コンクリート補強 | × | × | × | ○ | ○ | ○ |

注：中間横桁のコンクリート補強は、中間支点横桁に隣接する中間横桁のみを対象とした。コンクリート補強した中間横桁の断面諸元は、中間支点横桁と同値とした。

表4 中間支点横桁P6の発生曲げモーメント (kN・m)

| 解析ケース | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| G1桁側  | -399.6 | -454.3 | -452.5 | -399.6 | -454.3 | -452.5 |
| G2桁側  | 401.3  | 596.9  | 597.5  | 401.2  | 596.9  | 597.5  |

### 3. 数値解析による検討

数値解析は、斜角および主桁の支点折れにより主構造に発生する付加断面力を算定できる面内骨組み解析、少数主桁の三次元特性も含めて評価できる三次元有限要素法解析の順に実施した。なお基本モデルは、格子解析計算の結果にもとづき、従来の設計基準にしたがい求めた断面諸元でモデルを構築した。

#### 3.1 面内骨組み解析

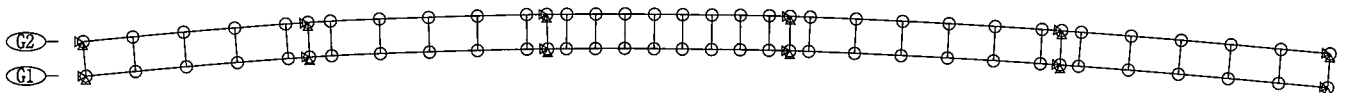
##### 3.1.1 解析モデルと解析ケース

面内骨組み解析モデルは図2とし、解析モデルの部材諸元は表2とした。また支点条件は橋軸、橋軸直角方向ともにピン支持とした。一方、解析ケースは、斜角の有無、横桁の剛性、横構の配置の影響が評価できる表3とした。なお、荷重は後述する有限要素法解析モデル相当の死荷重強度を載荷した。

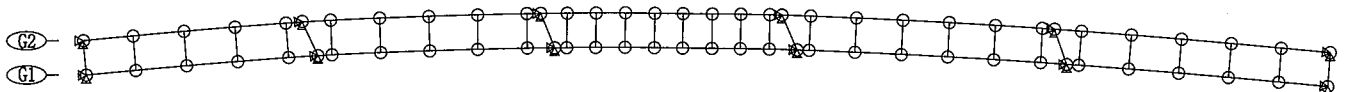
##### 3.1.2 解析結果

面内骨組み解析で断面力が最大となった中間支点横桁P6の部材曲げモーメントを表4に示す。

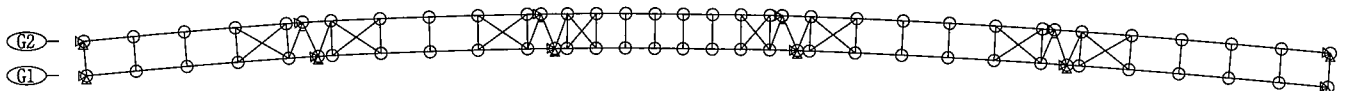
①中間支点横桁P6に発生する曲げモーメントは、斜角および主桁の



(a) 解析モデル1：斜角なし、横構なしモデル



(b) 解析モデル2：斜角あり、横構なしモデル



(c) 解析モデル3：斜角あり、横構ありモデル

図2 面内骨組み解析モデル

支点折れによる橋梁全体のねじりの影響が大きい。

②中間支点横桁P6に発生する曲げモーメントは、斜角よりも主桁の支点折れの影響が大きい。

③中間支点横桁P6に発生する曲げモーメントは、横構の有無、中間支点到隣接する中間横桁剛度の影響は小さい。

### 3.2 三次元有限要素法解析

#### 3.2.1 解析モデルと解析ケース

三次元有限要素法解析モデルを図3に示す。床版、主桁の腹板とフランジおよび支点上横桁は板要素で、その他の部材は梁要素でモデル化し、各部材の断面諸元は表5とした。なお本解析では床版プレストレスは考慮していない。解析モデルの拘束条件は、橋軸方向

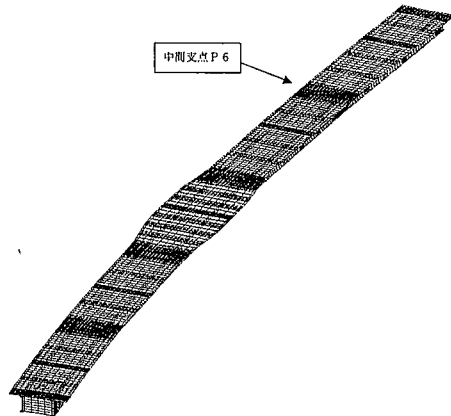


図3(a) 有限要素法解析モデル全体図

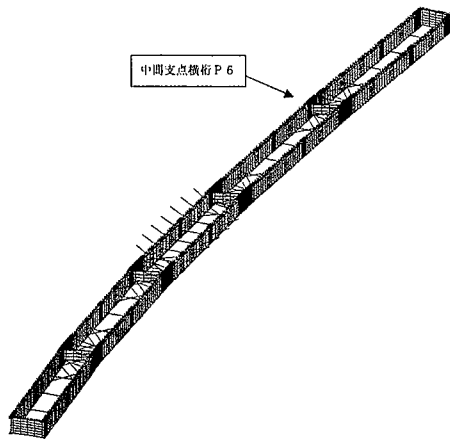


図3(b) 有限要素法解析モデル主構造図

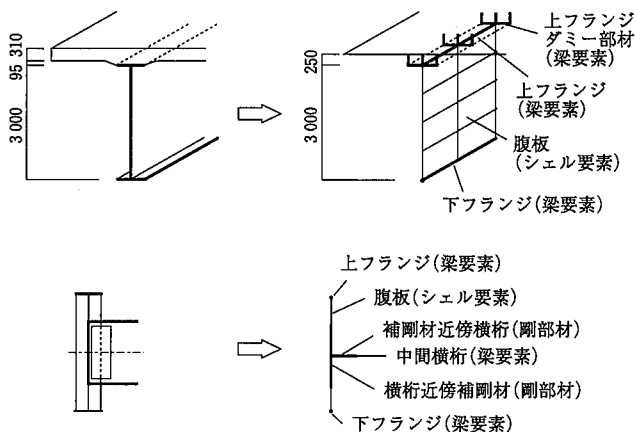


図3(c) 主桁、横桁のモデル化

についてはP10のみ橋軸方向の移動を固定し、其他支点は可動とした。一方、橋軸直角方向については全支点固定とし、回転は全方向自由とした。

解析ケースは、床版に発生する付加曲げ応力度を把握しその応力度の低減方法を検討するため、表6に示す5ケースとした。荷重は図4に示す死荷重強度を解析モデル全体に载荷した。また、解析ケース5については中間支点横桁P6のねじりが最大となるような図5に示す活荷重を偏载荷した。

表5 三次元有限要素法解析モデルの各諸元

| 部材       | 弾性率(N/mm <sup>2</sup> ) | ポアソン比                       |
|----------|-------------------------|-----------------------------|
| 鋼部材      | $2.059 \times 10^5$     | 0.3                         |
| コンクリート部材 | $3.039 \times 10^4$     | 0.167                       |
| 板要素      |                         |                             |
| 部材       | 板厚(mm)                  |                             |
| 床版       | 310 (コンクリート断面)          |                             |
| 主桁       | フランジ                    | 22~48                       |
|          | 腹板                      | 16~18                       |
| 横桁       | 端支点                     | 800 (コンクリート断面)              |
|          | 中間支点                    | 800 (コンクリート断面)              |
| 梁要素      |                         |                             |
| 部材       | 断面積(mm <sup>2</sup> )   | 断面2次モーメント(mm <sup>4</sup> ) |
| 中間横桁     | $23.55 \times 10^3$     | $2.01 \times 10^9$          |
| 横構       | $6.16 \times 10^3$      | $2.08 \times 10^7$          |
| 垂直補剛材    | 中間支点                    | $21.12 \times 10^3$         |
|          | その他                     | $6.16 \times 10^3$          |

表6 解析ケース

| 解析ケース | 1 | 2   | 3 | 4 | 5   |
|-------|---|-----|---|---|-----|
| 载荷荷重  | D | D   | D | D | D+L |
| 横桁    | I | 2・I | I | I | I   |
| 下横構   | ○ | ○   | × | ○ | ○   |
| 上横構   | × | ×   | × | ○ | ×   |

注：表中のDは死荷重を、Lは活荷重を示す。表中の2・Iは解析ケース1の基準横桁剛度の2倍を意味する。

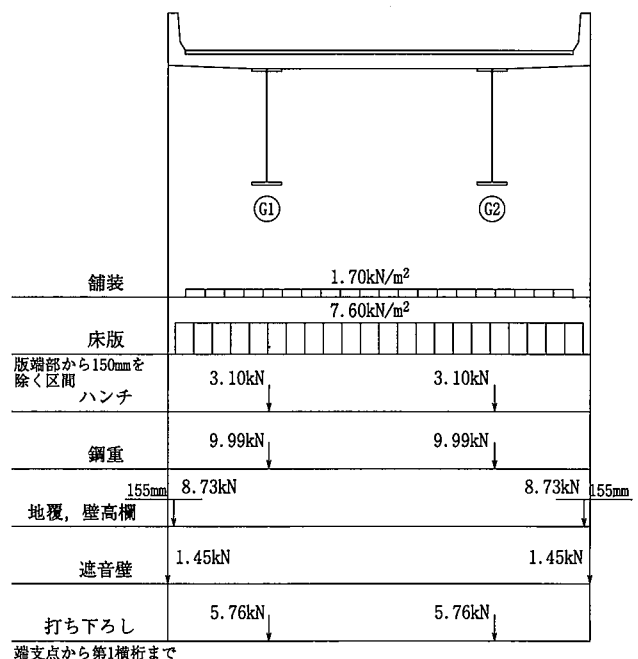


図4 载荷死荷重強度図

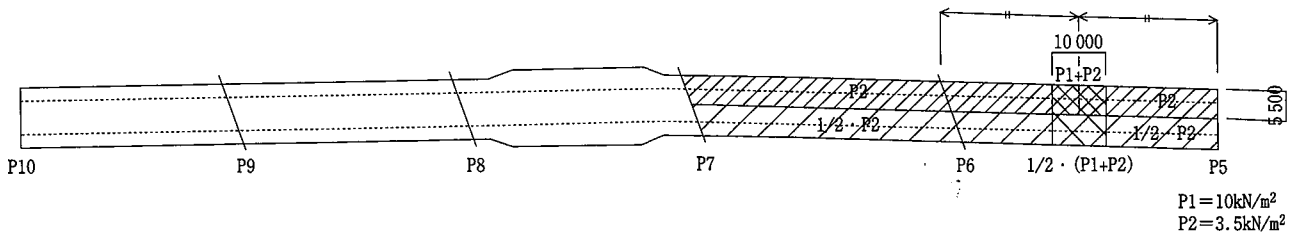


図5 活荷重載荷図

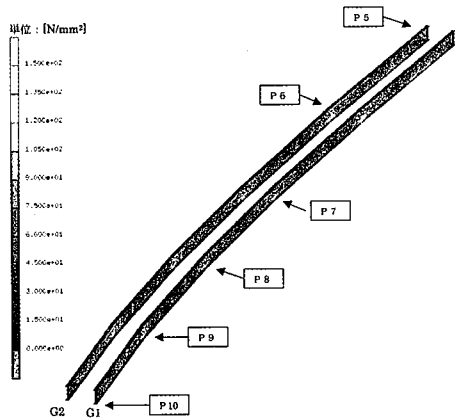


図6(a) 相当応力度の分布図(主桁)

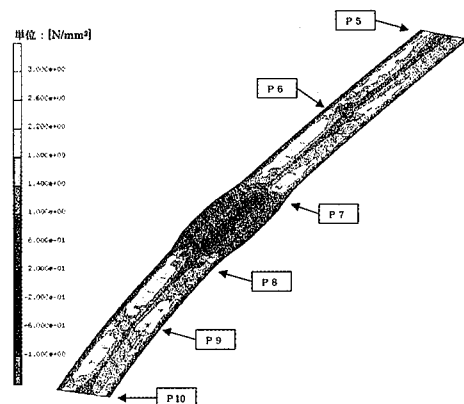


図6(b) 橋軸直角方向応力度の分布図(床版上面)

表7 中間支点P6近傍の橋軸直角方向応力度(床版上面) (N/mm²)

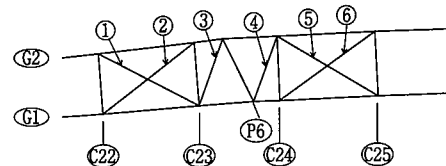
| 解析ケース |    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    |
|-------|----|------|------|------|------|------|
| C23   | G1 | 1.02 | 1.00 | 0.99 | 0.99 | 1.01 |
|       | G2 | 1.00 | 1.00 | 0.97 | 1.01 | 1.15 |
| P6    | G1 | 1.90 | 1.90 | 1.82 | 1.90 | 2.05 |
|       | G2 | 1.65 | 1.65 | 1.57 | 1.66 | 2.03 |
| C24   | G1 | 1.23 | 1.22 | 1.19 | 1.23 | 1.27 |
|       | G2 | 0.94 | 0.92 | 0.91 | 0.92 | 1.05 |

注：表中の応力度はすべて引張応力度である。

表8 鋼部材の発生断面力 (kN)

| 解析ケース  |     | 1      | 2      | 3     | 4      |
|--------|-----|--------|--------|-------|--------|
| 中間支点横桁 | P6  | 14.7   | 24.5   | -88.2 | 42.1   |
|        | C22 | 7.8    | 11.8   | -42.1 | 13.7   |
| 中間横桁   | C23 | 11.8   | 2.0    | -46.1 | 29.4   |
|        | C24 | 11.8   | 2.0    | -57.8 | 30.4   |
|        | C25 | -23.5  | -19.6  | -44.1 | -18.6  |
| 下横構    | ①   | 3.9    | -7.8   | —     | 1.0    |
|        | ②   | -122.5 | -124.5 | —     | -123.5 |
|        | ③   | -56.8  | -69.6  | —     | -54.9  |
|        | ④   | -115.6 | -133.3 | —     | -110.7 |
|        | ⑤   | -94.1  | 93.1   | —     | -95.1  |
|        | ⑥   | 49.0   | 34.3   | —     | 45.1   |
| 上横構    | ①   | —      | —      | —     | -20.6  |
|        | ②   | —      | —      | —     | -47.0  |
|        | ③   | —      | —      | —     | -66.6  |
|        | ④   | —      | —      | —     | -92.1  |
|        | ⑤   | —      | —      | —     | -43.1  |
|        | ⑥   | —      | —      | —     | -16.7  |

注：表中の正の値は引張力を、負の値は圧縮力を示す。



### 3.2.2 解析結果

#### (1) 死荷重載荷時

ケース1で求めた主桁の相当応力度分布および床版上面の橋軸直角方向応力度分布を図6に示す。死荷重載荷状態だけを考慮した本ケースでは、主桁に発生する相当応力度は150N/mm²で鋼材の許容応力度210N/mm²以下となった。また床版コンクリートの橋軸直角方向曲げ引張応力度も2.5N/mm²と小さく、設計プレストレスを考慮すると設計強度を満足する結果となった。しかし、床版に発生する曲げ引張応力度は、各支点近傍で応力が集中する傾向があり、とくに支間および斜角ともに大きいP6では橋軸直角方向の曲げ引張り応力度が卓越した。これは各解析ケースとも同様の傾向であった。各解析ケースで算出したP6近傍の床版上面の橋軸直角方向応力度および鋼部材の断面力を表7、表8に示す。この結果から、いずれの解析ケースにおいても床版の発生応力度はほぼ同値であり、また横構や横桁の断面力に大きな相違がないことがわかった。

#### (2) 活荷重偏載時

活荷重偏載した時の床版の橋軸直角方向応力度分布を図7に示

す。P6上の主桁中心において、床版の発生応力度がケース1の約1.5倍の圧縮応力度が発生したが、その他箇所の発生応力度はケース1とほぼ同程度であった。また、横構や横桁の発生断面力も小さかった。この結果から、活荷重偏載しても橋梁各断面に有害な応力がほとんど発生しないことがわかった。

### 4. 考察

#### 4.1 床版

①主桁等の主構造よりも床版の方がはるかに断面剛度が大きいため、床版の発生応力度低減に向けて横桁のコンクリート補強あるいは横構の増設を行っても、床版の発生応力度はほとんど変化しな

い。

②床版の橋軸直角方向の曲げ応力度は、いずれの解析ケースにおいても床版上面で引張、下面で圧縮となったが、床版端部に集中した

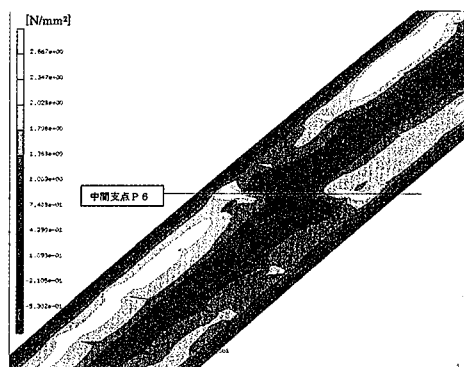


図 7(a) 解析ケース 1 の橋軸直角方向応力度の分布図(床版上面)

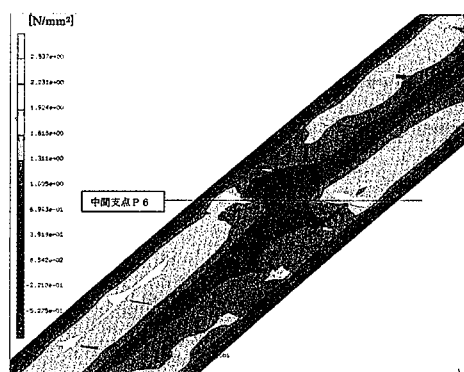


図 7(b) 解析ケース 5 の橋軸直角方向応力度の分布図(床版上面)

地覆・壁高欄・遮音壁の合計荷重が大きいことが原因である。

③床版に最大付加曲げモーメントが作用するような活荷重偏載荷モデルにおいても、床版に引張応力度が発生していない。床版設計時の応力度と単純比較できないが、検討対象とした橋梁諸元相当では、床版設計において付加応力をとくに考慮する必要はないと思われる。

#### 4.2 主構造

①少数主桁橋は床版の断面剛度が大きいいため、床版が作用荷重の大半を負担する。したがって、作用荷重のすべてが主桁負担となる格子解析にて断面力を算定して主構造を設計すれば、主構造は危険側の設計となるため、主桁の健全性が確保できる。

②横構の設置や中間支点横桁の剛度増加は橋梁断面部材に拘束を招くため、横桁などの発生応力度が大きくなる場合もある。

#### 5. おわりに

本報では、現在、少数主桁橋の適用範囲外である斜角が約60度、曲率半径が約800m、また中間支点で主桁が折れる橋梁を対象に、床版に発生する付加曲げ応力度を解析的に求め、またその発生応力度を低減する方法について検討した。その結果、対象とした橋梁でも、従来の鋼2主桁橋どおりに設計しても応力上問題がなく、またとくに横構や横桁のコンクリート補強の必要がないことも確認した。しかし、端部に斜角がある、あるいはさらに曲線半径が小さい少数主桁橋では、中間支点付近に予想外の断面力が発生する可能性がある。今後、さらなる検討でデータを蓄積することが望まれる。

#### 参考文献

- 1) 日本道路公団:設計要領第二集 橋梁建設編. 1998.7