

(107) 三谷川第二橋(仮称)の計画と設計(その1)

日本道路公団 四国支社 池田工事事務所 飯東 義夫
 日本道路公団 四国支社 構造技術課 花田 克彦
 川田建設(株)・飛島建設(株)共同企業体 正会員 ○西村 勝
 同 正会員 大石 昇

1. はじめに

「三谷川第二橋(仮称)」は、図-1に示す徳島自動車道 美馬～川之江東JCT間(第11次整備区間)のうち、井川池田IC(仮称)の西方に位置する高速道路橋である。

本橋は、支間比が1:1.6という不等径間に加えてR=1000mの平面曲線を有している。これらの条件をクリアするため、当形式では国内で施工実績の無い、独立1本主塔を用いたエクストラードズド橋として設計したものである。

本文は、「三谷川第二橋」の橋梁計画および上部工の設計に関して報告するものである。

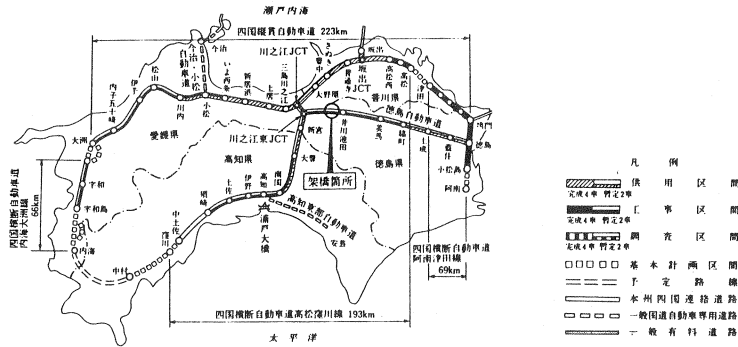


図-1 架橋位置図

2. 橋梁概要

「三谷川第二橋」の橋梁諸元および全体一般図を図-2に示す。

橋種: プレストレストコンクリート道路橋, 平面線形: $A=400 \sim R=1000m$
 橋梁形式: PC2径間連続エクストラードズド箱桁橋, 主桁形式: 2室箱桁(4車線一体断面)
 橋長: 152.0m, 主塔形式: 独立1本柱
 支間: 57.9+92.9m, 架設方法: 張出し架設
 幅員: 20.4m

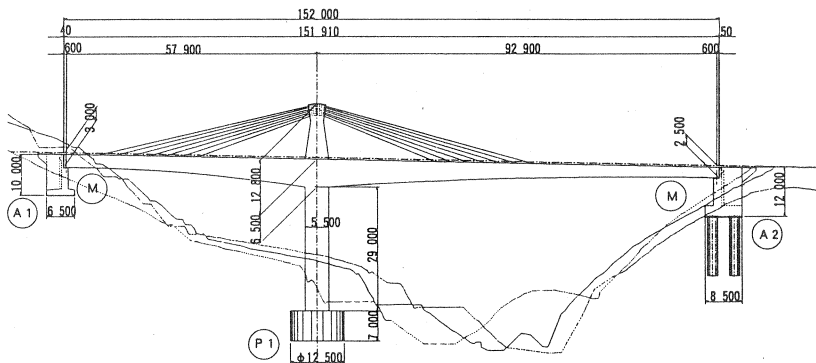


図-2 一般図

3. 橋梁形式選定

当初、下記形式に対しての比較検討により、基本設計段階では経済性と類似橋梁の施工実績から案-①を選定し設計していた。

- 案-① PC2径間連続ラーメン箱桁橋(上・下線一体断面)
- 案-② PC3径間連続ラーメン箱桁橋(上・下線分離断面)
- 案-③ 鋼3径間連続箱桁橋(上・下線分離断面)
- 案-④ PC2径間連続エクストラード橋(上・下線一体断面)

しかし、表-1に示すように「エクストラード橋」の施工実績が増え、それに関する技術の進歩を考慮し、実施設計段階での再検討の結果、経済性を損なうことなく修景に配慮できる「案-④」を採用することとした。

4. 上部構造諸元に対する検討

4.1 桁高

修景を図る上で桁高さの低減は最も大きな要素である。一方で、後述する主塔耐力からの制約があるため、許容される $h = 6.0\text{m} \sim 7.0\text{m}$ の範囲で検討した結果、構造的・経済性より $h = 6.5\text{m}$ に決定した。(基本設計T-ラーメン $h = 9.0\text{m}$)

桁高変化は、柱頭部桁高に対して張出し施工区間が長いこと、斜吊り鋼材定着点の断面性能向上が図れることから、正弦曲線とした。

4.2 主塔高さ

主塔基部の断面寸法は、幅員構成内の中央分離帯幅および橋脚厚さから $1.0\text{m} \times 5.5\text{m}$ とした。

図-3に主塔構造寸法及び柱頭部構造寸法を示す。

表-1 エクストラード橋の施工実績

| 方式 | 橋名 | 橋種 | 最大支間(m) | 施工法 | 施工年度 | 国名 |
|----|----------------|-----|---------|--------|------|-----|
| 斜 | 第2 Main 橋取付橋 | 併 | 33.3 | 支保工 | 1972 | ドイツ |
| | Ganter 橋 | 道 | 174.0 | カンチレバー | 1980 | スイス |
| | Barton Creek 橋 | 道 | 100.0 | カンチレバー | 1986 | 米国 |
| | Rhone 橋 | 道 | 143.0 | カンチレバー | 1990 | スイス |
| 版 | 名取川橋 | 鉄 | 108.2 | 支保工 | 1997 | 日本 |
| | 小田原港橋 | 道 | 122.0 | カンチレバー | 1997 | 日本 |
| 張 | 屋代南及び北橋 | 鉄 | 105.0 | カンチレバー | 1996 | 日本 |
| | 蟹沢大橋 | 道 | 180.0 | カンチレバー | 1998 | 日本 |
| | 衝原橋 | 道 | 185.0 | カンチレバー | 1998 | 日本 |
| ケ | 奥山橋 | 道 | 140.0 | カンチレバー | 1998 | 日本 |
| | 第2 Mactan 橋 | 道 | 185.0 | カンチレバー | 施工中 | 日本 |
| | 土狩大橋 | 道 | 140.0 | カンチレバー | 施工中 | 日本 |
| | 木曾川橋 | 道・複 | 275.0 | カンチレバー | 施工中 | 日本 |
| | 掛斐川橋 | 道・複 | 270.0 | カンチレバー | 施工中 | 日本 |

注) 道: 道路橋, 鉄: 鉄道橋 併: 道路・鉄道併用橋
複: PC・鋼複合橋

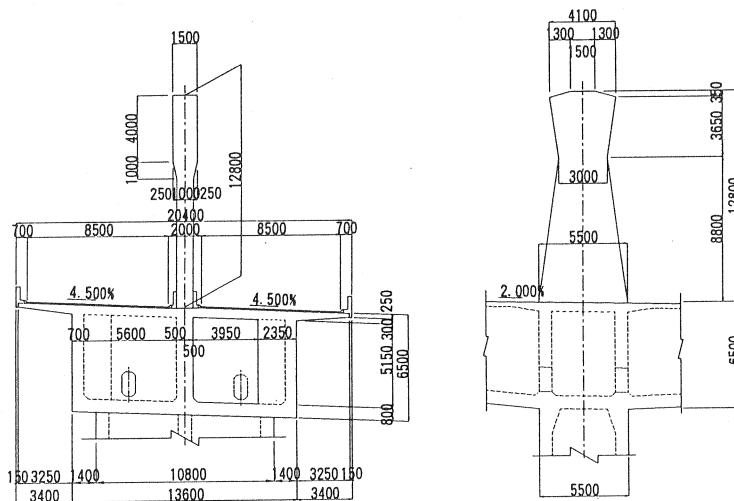


図-3 主塔部柱頭部構造図

つぎに、本橋は、平面曲線R=1000mの曲線橋であるため、主塔より斜材吊り鋼材を配置した場合、図-4に示すように主塔部において斜吊り鋼材の屈曲点が生じる。主塔は、その角度成分により主塔頂部(鋼材位置)に常時面外方向の水平力が作用するため、橋軸直角方向が支配的となる。

ゆえに、主塔高と斜吊り鋼材本数(塔頂水平力)及び斜材吊り鋼材負担曲げモーメントをパラメータとして最適高を求めた。主塔高さ(H)と斜材吊り鋼材が負担する曲げモーメントの関係を図-5に示す。

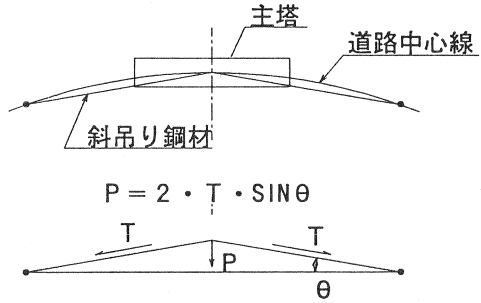


図-4 面外方向水平力概念図

4.3 主塔頂部のサドル位置

橋軸直角方向に対する曲げモーメント及び変位を抑制するために、サドルの偏心配置に対する検討を行った。

案-① 軸心配置 (e = 0 mm)

案-② 外側偏心配置 (e = 100 mm)

案-③ 内側偏心配置 (e = -100 mm)

案-②は、斜吊り鋼材を主塔軸線の外側に配置し、塔頂水平力による曲げを鉛直力による曲げで緩和し、基部曲げモーメントの低減に期待したものである。案-③は、斜吊り鋼材を主塔軸線の内側に配置し、折れ角の低減に伴う水平力の減少に期待したものである。

しかし、いずれの案もその効果が小さく局部応力に対する安全率及び施工性を考慮して偏心させない「案-①」を採用した。

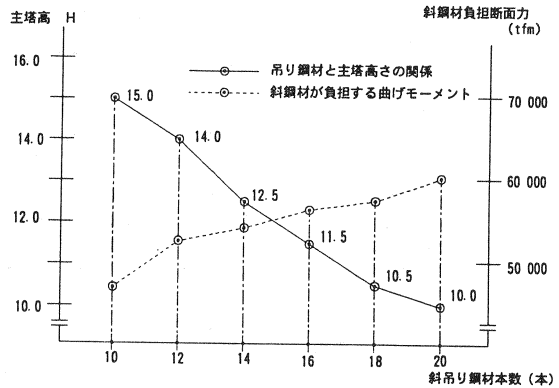


図-5 斜吊り鋼材配置寸法と主塔高

| | ① 原案 (軸心配置) | ② 外側偏心配置 | ③ 内側偏心配置 |
|-----------------|--|--|---|
| 鋼材配置及び概要 | | | |
| 質量・断面力図 (施工時) | | | |
| 質量ケース | 常時 2634.1 施工時 4012.5 | 常時 2631.2 施工時 4012.6 | 常時 2634.0 施工時 4012.4 |
| 断面力 | H (tf) 1354.1 R (tf) 2634.1 S (tf) 106.4 | H (tf) 1267.4 R (tf) 2031.2 S (tf) 124.3 | H (tf) 1396.8 R (tf) 2634.0 S (tf) 88.4 |
| 鉄筋配筋 | 838 ctc 150 | 812 ctc 150 | 838 ctc 150 |
| 断面応力度 (kgf/cm²) | σs 743/1800 σc 107/133 τ 1.7/8.6 | σs 826/1800 σc 118/133 τ 2.0/8.6 | σs 809/1800 σc 110/133 τ 1.4/8.5 |

表-3 主塔部鋼材平面配置比較表

4. 4 主塔構造形式

主塔は、前述した基部断面寸法を条件として、RC構造・PRC構造・SC構造について検討を行い、「PRC構造」を採用することとした。これは、主桁との結合が比較的容易であることに加えて、偏心プレストレスによる塔頂変位の抑制と、RC構造に比べて耐久性の向上が図れる等の理由からである。表-4に各形式の検討結果を示す。

表-4 主塔構造形式検討結果

| 断面図 | 確認項目 | 特性 | 評価 |
|--------------------------|---|--|----|
| | 許容力 (t, tfa) M 1514.3 2271.4 N 1604.1 2406.2 S 126.2 189.3 応力度 (kgf/cm ²) σc 114.5/167 171.2/208.8 σs 1103.8/1800 1645.5/2250 τ 2.8/6.5 4.2/8.1 変位安全率 変位安全率 2.7 変形量 (mm) A2動最大変位 82 構造系完成 117 | ・RC構造は、部材の引張側のコンクリートは引張引張力はすべて断断である構造である。よって引張側のコンクリートにはひび割れが生じる事となる。運搬施工等では、耐久性の面より死荷重時に断断の応力度を 1000 kgf/cm ² 程度に押さえる事でひび割れを抑制する。 | |
| | 許容力 (t, tfa) M 435.3 1192.4 N 4890.1 5492.2 S 126.2 189.3 許容力 (kgf/cm ²) σc 102.0/170 180.6/213 σs 297/1800 458/2250 w 0.0053/0.039 0.0081/0.039 変位安全率 変位安全率 1.1 プレストレス繰入率 -32 変形量 (mm) A2動最大変位 50 構造系完成 71 | ・PRC構造を採用することで主桁を発生するここで変形を抑制できる。(RC構造に対して約40%減減する。) ・3案中最も経済的である。 | ○ |
| 鋼・コンクリート合成主塔 (鋼被覆方式) | 許容力 (t, tfa) M 1514.3 2271.4 N 1749.0 2551.1 S 126.2 189.3 鋼材断面利用率 γ=0.344(0.2≦γ≦0.8) 鋼材断面利用率 336 kgf/cm ² ≦360 kgf/cm ² 合成耐力係数 0.744 < 0.885 鋼材断面率 0.697 ≦ 1.0 鋼材合成応力度 0.173 ≦ 1.0 変形量 A2動最大変位 59 | ・本構造は、圧縮強度の高いコンクリートと、引張強度の高い鋼との合成構造である。以下に合成柱の特性を示す。 ①断面剛性が向上し、たわみを抑制できる。 ②鋼筋腐蝕の発生を防止し、耐久性の向上。 ③①②じん性が向上する。 ④外側の鋼筋を型枠として利用できる。 ・3案中最も不適当な構造形式である。 | |

4. 5 主塔頂部斜吊り鋼材材定着方法

サドル部の斜吊り鋼材定着は、構造的・施工性に優れた「貫通固定方式」とした。当該固定装置に要求される機能には次の項目が挙げられる。

- ①斜材に生ずる疲労を抑止できること
- ②左右の張力差により斜材が滑らないこと
- ③斜材の防錆が確実に行えること
- ④斜材の取り替えが可能であること

本橋の斜吊り鋼材には、予めPE被覆を施したセミプレハブケーブルを用いて、サドル部は二重管構造としている。

なお、特筆すべきは、その固定装置であり、上記の機能を備えた新しい定着固定方式を開発し、採用している。この「押さえブロック方式」は、内管内の高強度グラウトの付着とスペーサ先端のくさび効果により斜吊り鋼材を固定するものである。張力差の伝達機構を図-6に示す。

「斜吊り鋼材→グラウト→内管→スペーサ→押さえブロック(張力増加側)→アンカーボルト→主塔」

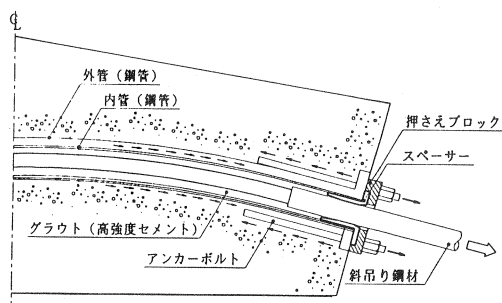


図-6 斜吊り鋼材張力差の伝達概念図

本方式の採用にあたっては、実物大の供試体を用いた性能確認試験を行って検証している。この実験に関しては、稿を改めて報告したい。固定着装置の詳細図を図-7に示す。

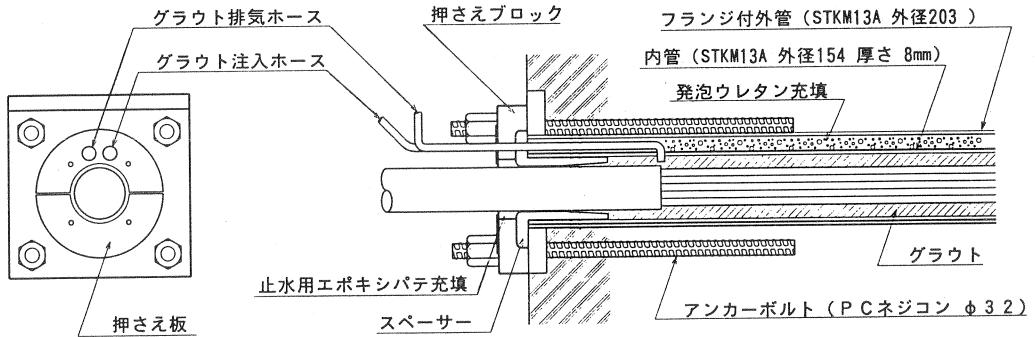


図-7 固定装置詳細図

4.6 主桁側斜り吊り鋼材配置

主桁側最適斜り吊り鋼材着位置を決定するために、以下の項目に着目して検討した。

- ・桁内PC鋼材数量への影響
- ・A1側負反力への影響
- ・主塔橋軸直角方向への影響

検討ケースを図-7に示す。

案-① 主塔に対して対称配置(1ブロック毎定着)

案-② 右側径間主桁モーメントに対する最適配置

案-③ 両案左右の組み合わせ

検討の結果、支配的な主塔面外断面力が小さくA1支点の負反力が軽減できる「案-①」を採用した。

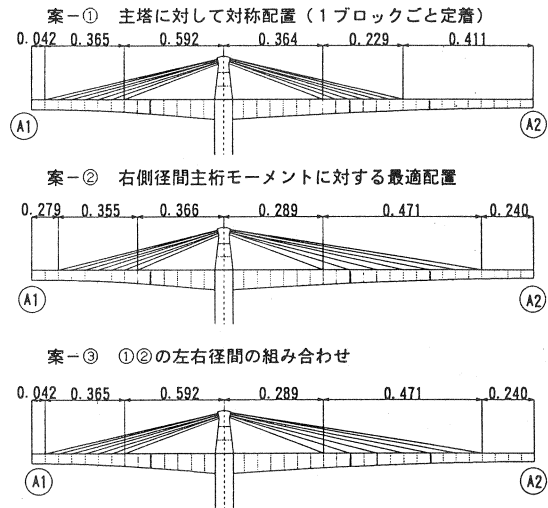


図-7 斜り吊り鋼材着位置図

4.7 A1負反力の対処

本橋の支間比率は1:1.6の不等径間であることより、架設系、並びに完成系において負反力が発生する。架設系の負反力対策としてはテンポラリーPC鋼材により、橋台と結合することとし、完成系に対しては、次の3案について比較検討を行った。

案-① 鉛直PC鋼材による橋台との結合

案-② 反力調整

案-③ カウンターウエイトコンクリート載荷

案-①は、PC鋼材のメンテナンスの問題を有する。また、案-②は、信頼性の問題と施工管理上の煩雑さに加え、既設橋脚応力の制約から除外し、構造的に単純明快で信頼性のある、案-③の「カウンターウエイトコンクリート」により対処する方法を採用することとした。

5. 主方向解析モデル

解析モデルを図-8に示す。外ケーブル方式に対する解析方法として一般的に次の手法が挙げられる。

- ①換算外力載荷法 , ②換算内力載荷法 , ③部材評価法

外ケーブルの張力変化が無い場合には、いずれの方法によってもその結果に大差が無いとされているが、本橋のように荷重作用による斜吊り鋼材の張力変化やコンクリートのクリープ・乾燥収縮の影響を無視できない場合、斜吊り鋼材張力変動を的確に求める必要があることから、③の方法によった。解析モデルを図-8に示す。ここで、斜吊り鋼材定着位置と桁断面図心位置の違いによる偏心モーメントを考慮するためにダミー部材を設け、これを考慮した。

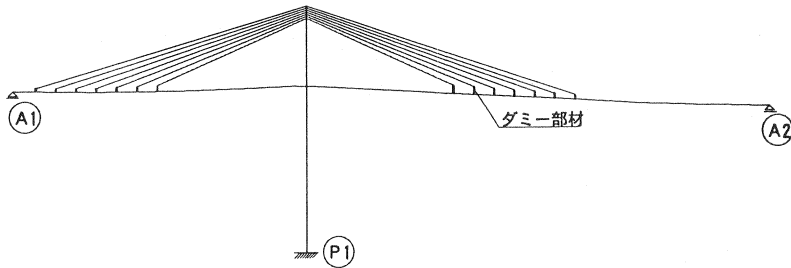


図-8 解析モデル

6. おわりに

「三谷川第二橋」における構造上の特徴は前述のとおりである。一方、施工においても「プレハブ鉄筋」を採用して作業の効率化を図っており、これに伴って特殊トラベラーを製作して使用している。これら施工に関しては稿を改めて報告したい。参考までに施工要領を図-9に示す。

現在、本橋の工事は張出し架設に入っており、平成11年春に完成予定である。

最後に、本橋の計画・設計にあたり、多大なるご指導、ご尽力いただいた関係各位に謝意を表す次第であります。

柱頭部施工時(トラベラー組立)

第1斜材緊張時

A1側閉合時(A1側トラベラー閉合)

A2側閉合時(固定式支保工閉合)

構造系完成時

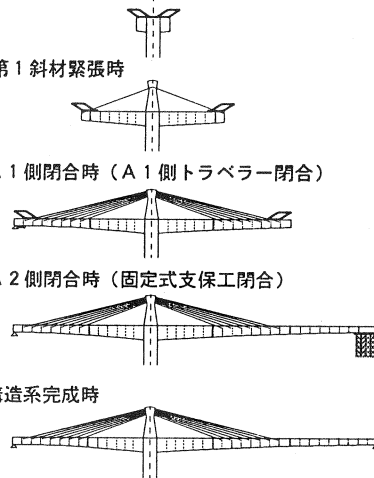


図-9 施工要領

参考文献

- 1) 小野寺ほか：エクストラロードPC橋の計画と設計(西湘バイパス小田原港橋), プレストレストコンクリート, VOL 35, No. 3, pp.49~58, 1993
- 2) 小宮：エクストラロードPC道路橋の設計に関する一考察, 土木学会論文集, No.516/VI, pp.27~39, 1995
- 3) 岡ほか：衝原橋の設計と施工, プレストレストコンクリート, VOL 39, No. 3, pp.66~75, 1997