

(19) PC斜板付き箱桁橋の形状特性について

阪神高速道路公団 上田 芳夫
 阪神高速道路公団 正会員○ 幸左 賢二
 東京建設コンサルタント 松本 学
 東京建設コンサルタント 郡 政人

1. はじめに

斜板付箱桁橋(以下斜板橋と呼ぶ)は斜材をコンクリートで被覆し、PC部材とする構造である。斜材を有することから、斜張橋の特殊工法と考えられ、主桁高を低くすることが可能である。また、斜材をコンクリートで被覆することにより1)鋼材が腐食から防護できる2)PC部材となりケーブルの応力変動が小さく、ケーブルの疲労問題が少ない、3)全体剛性が増すことから安定性を増すなどの長所を持っている。このような長所にかかわらず、世界的にみても数例しか施工実績がないことから斜板橋についての明確な設計および解析手法は確立されていないと考えられる。

そこで、本稿では経済性をもっとも発揮できると考えられる橋長150m(2@75m=150m)の2径間連続橋をモデル化し、その形状特性について解析した。

2. 斜板橋における形状特性

1) 斜板取付位置

橋梁は一般に周囲の制約条件から不等径間が大多数であるが、ここでは形状の特性を簡便に解析するために橋長150mの等径間モデルについて形状検討を実施した。検討モデルにおいて、架設方法は張出工法が一般的であることから完成系と架設張出時2ケース(斜板取付点までの張出および斜材緊張後側径間までの張出)の計3ケースについて解析を実施した。主塔高および斜板取付長については標準的な15mおよび25mとし、

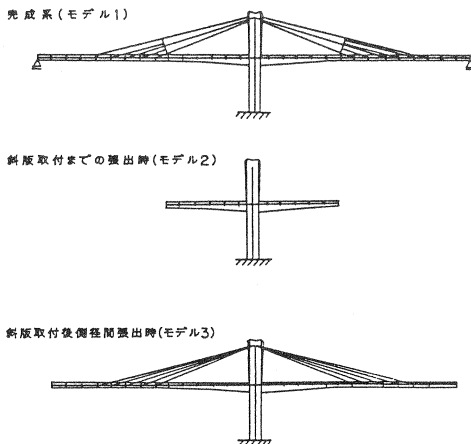


図-1 斜板形状検討モデル

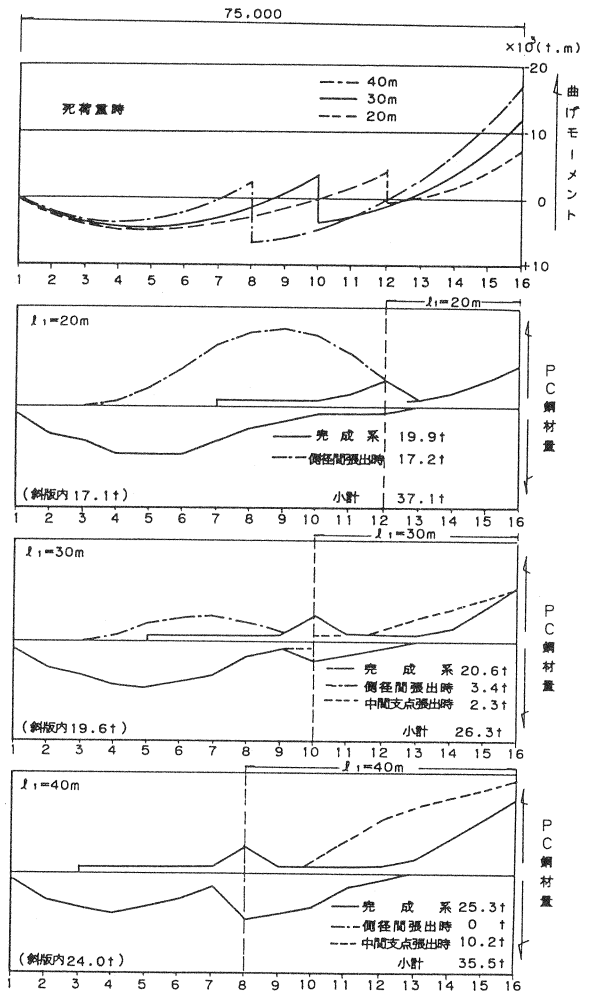


図-2 必要鋼材量解析結果(取付位置)

主塔からの斜版取付位置 (l_1) を20, 30, 40mとし、それぞれについて斜版、主桁における必要鋼材量を算出した。図-1に斜版形状検討モデルを示し、図-2に死荷重作用時の主桁曲げモーメントおよび完成系と架設時の発生断面力を全てPC鋼材で対処した場合の必要鋼材量を示す。曲げモーメント図から l_1 が小さい程中間支点部の曲げモーメントの絶対値は小さく斜版取付位置から桁端部までのモーメントは大きいが差異は小さい事が判る。架設時には l_1 が小さい場合は側径間張出時のPC鋼材量が多く、また l_1 が大きい場合は斜版取付点まで張出時の必要鋼材量が多くなる。合計必要PC鋼材量(架設時および完成時)は $l_1=30m$ とした場合が斜材の鋼材量を含めてももっとも少なく適当であると考えられる。

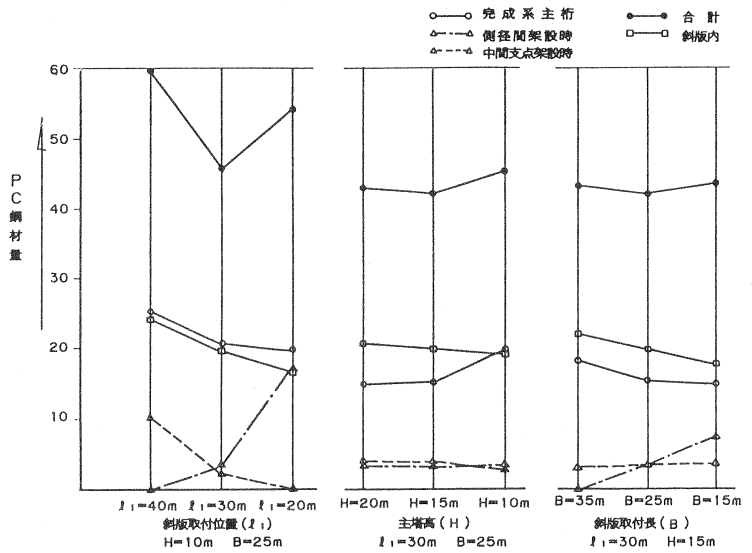


図-3 必要鋼材量パラメーター解析結果

2) 全体形状

同様の手法により、主塔高(H=20, 15, 10m)、斜版取付長(B=35, 25, 15m)をパラメーターとして算出した必要鋼材量を図-3に示す。図-3に示すように、主塔高(H)が高いと主桁断面力は小さくなるが、斜材断面力は増大する。このため、合計必要鋼材量については明確な差異はあらわれない。しかしながら主塔および斜版コンクリート量を軽減できることから主塔については低いことが望ましく、H=10~15m程度が適当であると考えられる。次に斜版取付長(B)については取付長が短い程、側径間張出架設時の鋼材量が増す。また、取付長が長くなると自重が大きくなり斜版の発生断面力が増す。その結果合計PC鋼材量については顕著な差異はあらわれなかった。この場合も、主塔と同様にコンクリート量を軽減できることからB=20~25mが適当と考えられる。以上の事から最適形状としては斜版取付位置(l_1)=30m, 主塔高(H)=10~15m, 斜版取付長(B)=20~25mと考えられる。

3. 有限要素解析

1) モデル化

本橋において特徴的なことは斜版と主桁が連結されていることであり、その取付区間における応力の流れおよび応力集中度を把握するために有限要素法による解析を実施した。解析は1/2橋モデルとし、主桁、斜版は板厚の異なる要素と考え、各々等価な断面積に置き換えた二次元平面要素を用いた。

2) 解析結果

図-4に死荷重作用時における垂直応力度分布を示すが、斜版取付部中央付近は応力が非常に小さい事が判る。また斜版取付左端部では、斜版に圧縮力、主桁下端に引張力が作用しており、一体構造になっていることが判る。また、斜版には引張力、斜版から右側の主桁には圧縮力が作用している。このため、斜版取付左端部付近には大きなせん断力が生じる事になり、鉄筋等による補強が必要と考えられる。以上の事から斜版からの応力の流れとしては、主に斜版取付部右側において応力が主桁に流れる形態になっていることがわかる。

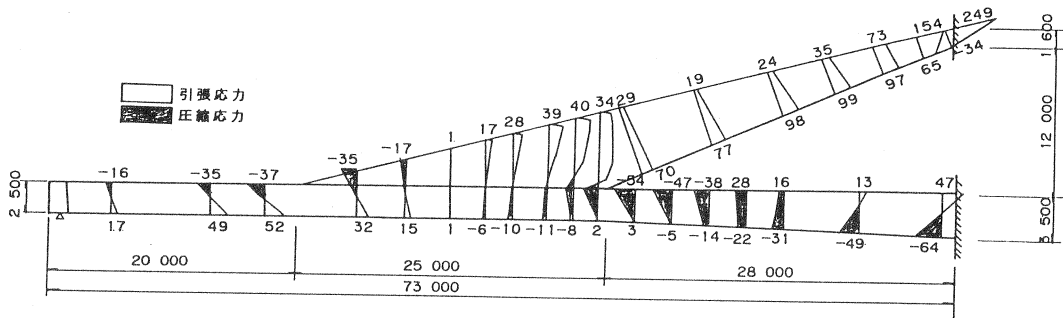


図-4 FEM解析による垂直応力度分布

4. モデル化の検証

1) 解析モデル

一般の橋梁においては、梁部材は線材とみなして解析を実施している。しかしながら、斜版橋の場合、斜版取付幅が大きいために、適切なモデル化が必要となってくる。ここでは過去の同種の橋梁において検討されたものを参考にして平面骨組モデルと二次元平面要素FEMモデルとの比較を実施した。解析モデルは図-5に示すように次の3ケースについて解析を実施した。

(1) フレーム剛結モデル

斜版の交点に仮想部材($A, I=\infty$)を設け主桁とは剛結されていると仮定したうへ、斜版軸力分布を考慮し($I=0$ と仮定)接合部の斜版を5等分したもの。

(2) フレームピン結合モデル

フレーム剛結モデルに対して、主桁とはピン結合されていると仮定したもの。

(3) 剛結モデル

主桁と斜版結合部内側に仮想部材($A, I=\infty$)を設けたもの。

2) 解析結果

図-6にフレームモデルの場合の主桁曲げモーメント図を示す。フレーム剛結モデルは斜版取付前後においてモーメントが反転し、FEMモデルに比べて極端に大きな値となる。これに対してフレームピンモデルはFEMモデルに近い挙動を示すが主桁取付点付近では小さな曲げモーメントを示す。これに対して図-7に剛結モデルによる斜版を含んだ場合における主桁曲げモーメント図を示すが、剛結モデルの主桁曲げモーメントはFEMモデルに近い挙動を示すと共に大きめのモーメントであることから安全側といえる。また、FEM解析結果によると斜版右端部付近でほとんどの力の伝達が受け持たれることから、このモデルはFEM結果を反映していると考えられる。

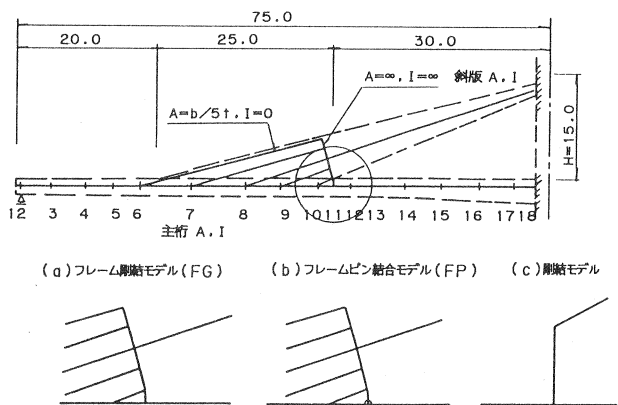


図-5 平面骨組解析モデル

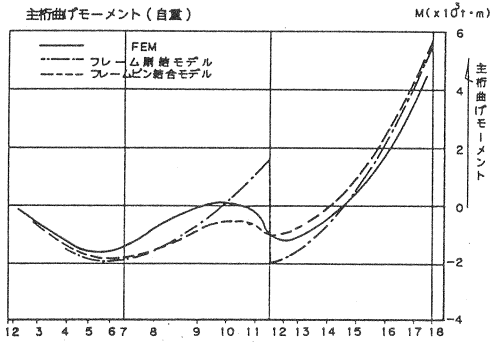


図-6 主桁曲げモーメント図(その1)

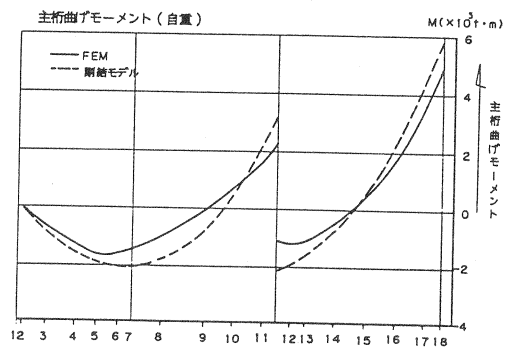


図-7 主桁曲げモーメント図(その2)

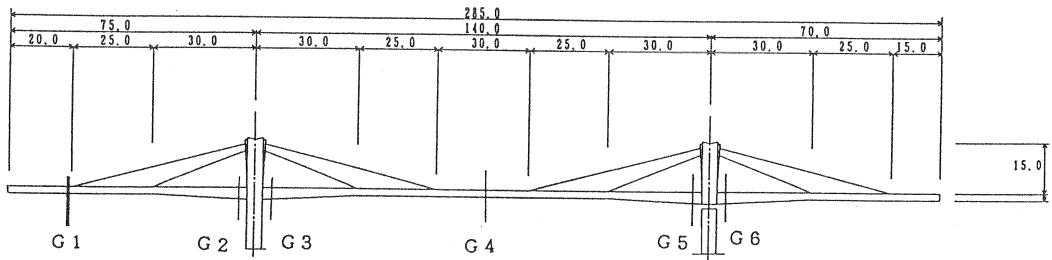


図-8 3径間連続モデル

5. 3径間モデルによる断面力検討

1) モデル径間

今までの検討結果を基に、図-8に示すようにスパン長285m(75+140+70m)の3径間連続モデルにおいて弾性解析を実施し、完成系についての主要断面力の照査を実施した。なお、前述の形状検討結果により主塔高15m,斜版取付位置30m,斜版取付長は25mとした。

2) 主要部材断面力

(1) 主桁(橋軸方向)

表-1に主桁応力一覧表を示すが、主桁高は基部で3.5m、中間点で2.5mとなった。解析結果によると、活荷重による影響は軽微であり、死荷重が支配的である。主桁の主塔から斜版取付間は軸力が大きく必要鋼材量は少ない。図-9にG3主桁(橋脚取付部)応力図を示すが、これからも活荷重の影響が小さいことがわかる。必要鋼材量は中間支点G3でφ32P C鋼材90本、中央径間G4では70本程度必要となった。

(2) 斜版

表-1 主桁応力一覧表

| 位置 | 部材断面 | | | | 死荷重時(kg/cm ²) | | 設計荷重時(kg/cm ²) | |
|----|-------|--------------------|--------------------|-------|---------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|
| | H(m) | A(m ²) | I(m ⁴) | yu(m) | σ _{cu} | σ _{cL} | σ _{cu} | σ _{cL} |
| G1 | 2.500 | 13.068 | 12.671 | 1.107 | 37.2 | 26.0 | 54.7 | 4.0 |
| G2 | 3.500 | 19.765 | 34.876 | 1.982 | 13.9 | 71.5 | 2.8 | 80.7 |
| G3 | 3.500 | 19.765 | 34.876 | 1.982 | 8.6 | 77.1 | 0.9 | 86.8 |
| G4 | 2.500 | 9.305 | 8.808 | 1.104 | 91.4 | 25.4 | 105.8 | 7.3 |
| G5 | 3.500 | 15.341 | 27.006 | 1.970 | 13.2 | 86.9 | 7.2 | 94.7 |
| G6 | 3.500 | 15.341 | 27.006 | 1.970 | 3.1 | 93.2 | -5.0 | 99.8 |

許容値・0~140kg/cm² -15~140kg/cm²

図-10に曲げモーメント図を示すが主桁と同様に活荷重による影響は軽微であり、死荷重が支配的となる。また、軸力に着目すると斜版に大きな引張力、主桁に圧縮力が作用していることがわかる。斜版曲げ断面力は設計荷重時(D+L)、主塔取付部で2300tm程度、主桁取付部は1600tm程度であり、主塔側が大きい。また断面積的にも主桁側(500x50cm)に比べて

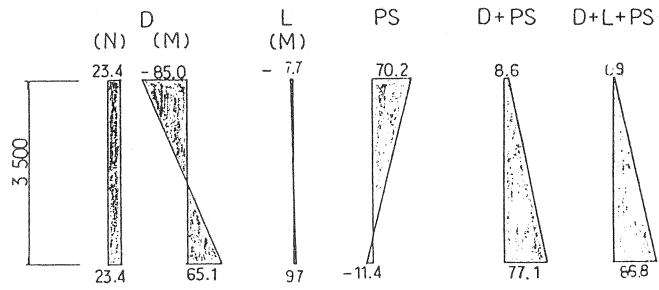


図-9 主桁G3(橋脚取付)部応力図

主塔側(150x80cm)は小さいことから構造上留意するべきである。また、設計荷重時の斜版に作用する軸方向引張力は2300~2500 t/ヶ所と大きく完全な引張部材であり、この引張力に対して19T15.2(有効プレストレス255t/本)を使用した場合10本程度必要となる。架設系を考えると図-11に示すように、主桁張出時に6本必要となり、斜版打設後の軸方向プレストレス導入時に6本必要となる。せん断力に対しても部材断面の小さい主塔取付部が支配的となる。応力的には $\tau=17\text{kgf/cm}^2$ と大きいが断面内(150x80cm)での補強筋の配置は可能である。

(3) 主塔

設計荷重時(D+L)は地震時の1/2程度であるために、地震時が支配的となる。主塔基礎部(200x400cm)の軸力による圧縮力は50kgf/cm²程度と一般橋梁と大差なく、むしろ斜材定着により部材寸法が決定される。

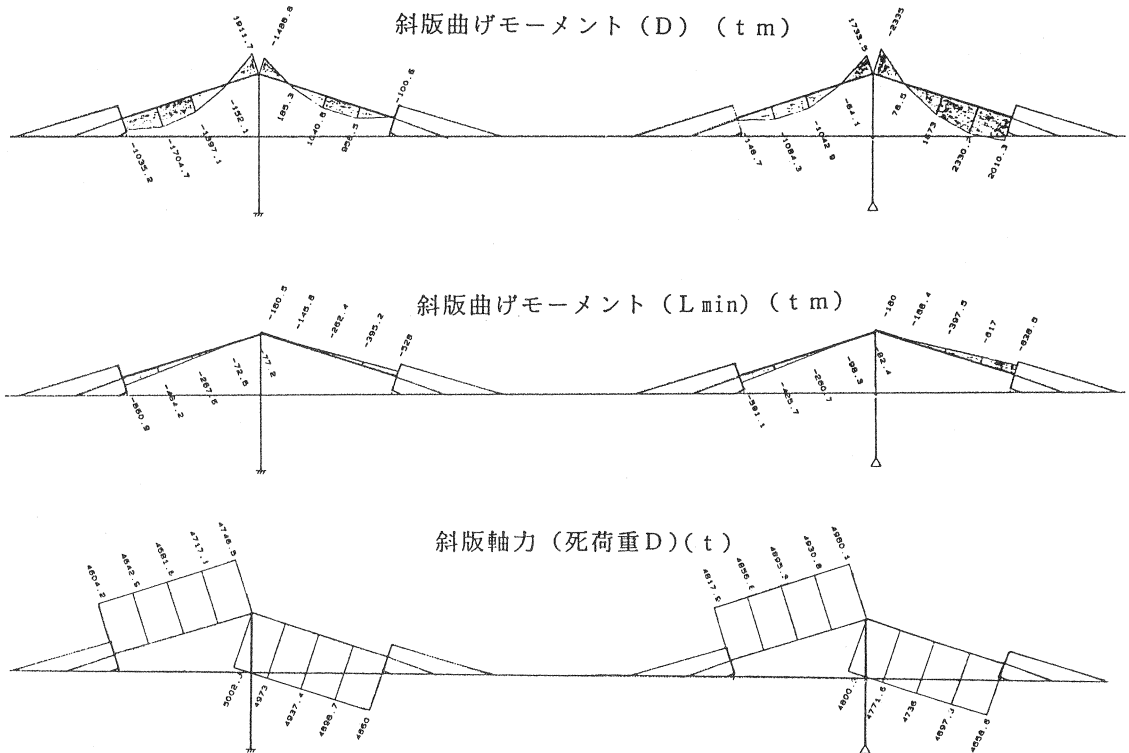


図-10 斜版に働く断面力図

(4) 橋脚

地震時の曲げにより断面力が決定される。橋脚基部(800x400cm)についても軸力による圧縮力は30kgf/cm²、曲げによるものが90kgf/cm²と一般橋梁と大差ない。

6. まとめ

斜版付箱桁橋の形状特性について解析した結果をまとめると以下のようになる。

1) 橋長150m(2@75m=150m)について形状特性解析を実施した。

その結果取付位置は30mとした場合、PC鋼材量をもっとも少なくなり最適であると考えられる。主塔高、取付長については明確な差異は得られなかったが、コンクリート量を少なくできることから主塔高は低く、取付長はできるだけ小さくすることが経済的になると考えられる。以上のことから取付位置は30m、主塔高は10~15m、斜版取付長は20~30mが適当であることが明らかになった。

- 2) FEM解析結果によると、斜版と主桁取付部付近に大きな応力を生じており、これらについては詳細な検討が必要である。
 - 3) 斜版橋の解析モデルとしては、FEM解析結果と対比させるとピン結合モデルあるいは剛結モデルが適当である。
 - 4) スパン長285m(75+140+70m)3径間骨組要素モデル解析によると、主桁および斜版に働く荷重は死荷重が支配的であり、活荷重の影響は小さい。
 - 5) 同様に、主塔、橋脚に働く力は地震時荷重に支配されるが、その荷重レベルは一般橋脚基部程度である。
- 最後に本稿をまとめるにあたって貴重な助言を頂きました' 阪神高速道路公団技術審議会コンクリート分科会(藤井 学 主査)'の各委員に深く謝意を表します。

参考文献:

- 1) 石橋、竹内、大庭: PC斜版橋の設計について、第28回プレストレストコンクリート技術研究発表会講演概要集
- 2) 石橋、大庭、竹内: PC斜版橋の構造解析モデルの検討、第28回プレストレストコンクリート技術研究発表会講演概要集
- 3) 石橋、大庭、竹内: PC斜版橋設計-東北本線名取川橋梁-, 日本鉄道施設協会誌, 1989, 4
- 4) 池田、成井、多久和、竹田: パーシャルプレストレスによるPC橋の紹介(下), 橋梁と基礎, 81-11
- 5) 石川、伊東: Ganter橋, 橋梁, 1981, 12, pp66~68

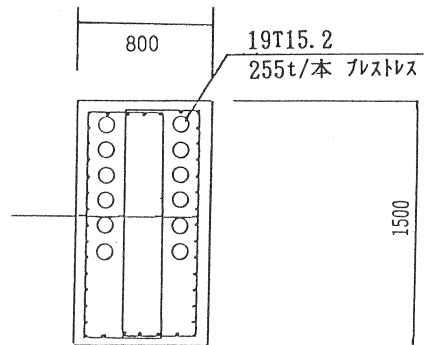


図-11 斜版断面図(主塔取付部)