

報 告

[2101] PC 斜版付箱桁橋の設計方法に関する研究

上田芳夫（阪神高速道路公団）

正会員 幸左賢二（阪神高速道路公団）

正会員○郡 政人（東京建設コンサルタント）

1. はじめに

斜版付箱桁橋（以下斜版橋と呼ぶ）は通常の箱桁橋に対し斜材をコンクリートで被覆したPC部材を有する構造である。斜材を有することから、斜張橋の特殊工法とも考えられ、主桁高を低くすることが可能である。また、部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変形量が小さくなり安定性を増す、などの長所を持っている。このような長所にもかかわらず、世界的にみても数例しか施工実績がないことから斜版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、本稿では橋長150m(2@75m)の2径間連続橋をモデル化し、必要鋼材量をパラメーターとして斜版取付位置、斜版取付長、及び主塔高に検討を加え最適形状を決定した。ついで、この基本形状をもとにして3径間連続橋に拡張したモデルについて主要部材断面力を照査するとともに力学的特性について解析し、設計の基本的考え方を明らかにした。

2. 斜版橋における形状特性

2. 1 斜版取付位置

一般的なPC橋の場合、張出長が70m程度では箱桁橋が、100m程度では斜張橋が多く用いられている。これに対して70～100m規模の橋梁ではここで述べる斜版橋が経済的とも考えられる。そこで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形と架設張出時2ケース（斜版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3ケースについて解析を実施し

完成系（モデル1）

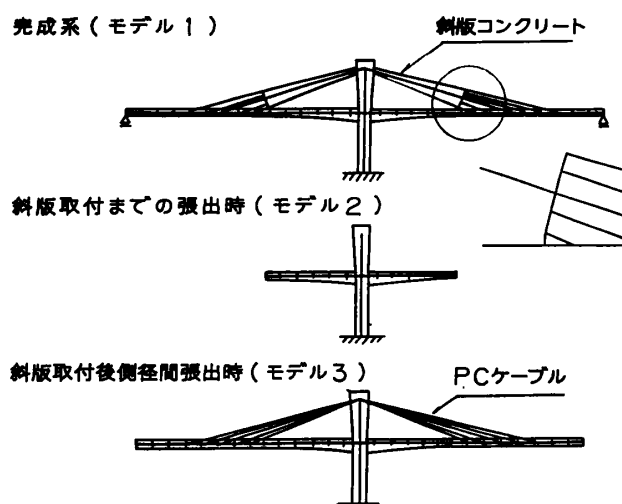


図-1 斜版形状検討モデル

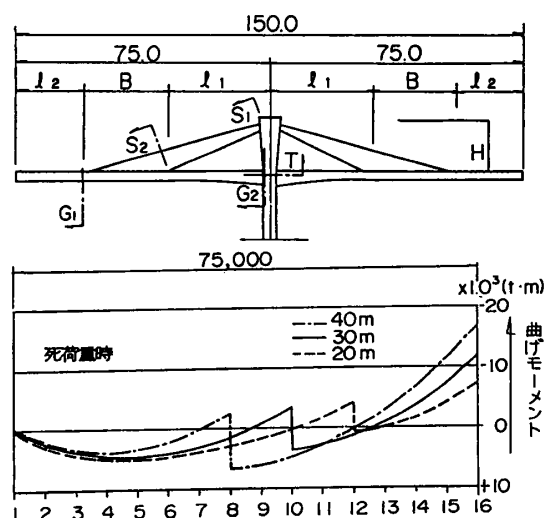


図-2 形状モデル・主桁曲げモーメント

た(図-1)。主塔高(H) および斜版取付長(B) については標準的な15m および25m とし、主塔から斜版取付位置 (ℓ_1) を20, 30, 40m とした場合の斜版、主桁における必要鋼材量を算出した。

図-2に斜版形状検討モデルと最も支配的となる死荷重作用時の主桁曲げモーメントを、図-3に完成形と架設張出時の発生断面力を全てP C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曲げモーメントの絶対値は小さいが、斜版取付位置から桁端部までのモーメントは大きい事が判る。 ℓ_1 が小さい場合は側径間張出時の断面力が大きくなる。合計必要P C鋼材量(架設時および完成時)は $\ell_1=30\text{m}$ 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。

2. 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) をパラメータとした場合の必要鋼材量を図-4に示す。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P C鋼材量については明確な差異は表れない。しかしながら主塔及び斜版コンクリート量を軽減できることから主塔高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。つぎに斜版取付長(B) については取付長が短い程、側径間張出架設時の断面力が増す。また、取付長が長くなると自重が大きくなり斜版断面力が増す。その結果合計必要P C鋼材量については顕著な差異は表れなかった。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。

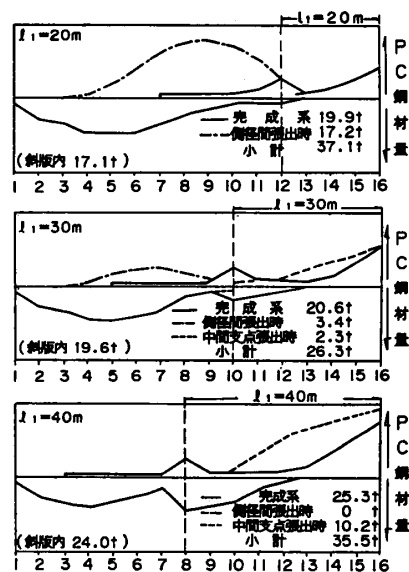


図-3 必要P C鋼材量

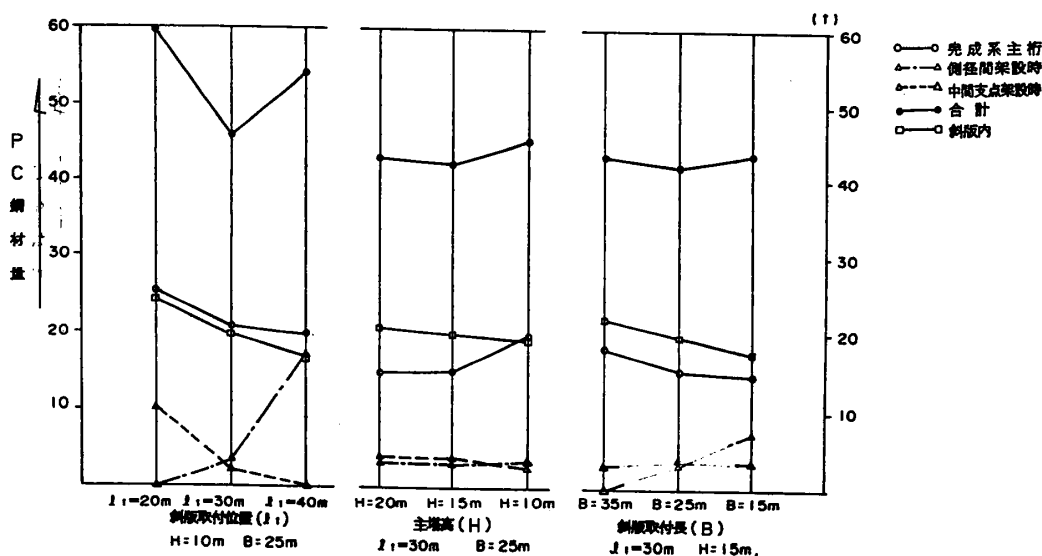


図-4 必要P C鋼材一覧図

3. モデル化の検証

3. 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、主桁と斜版は版と版とで結合されているため簡便な設計を実施するためには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、最適モデルを検討した[1][2]。

解析モデルは図-5に示すように次の3ケースとした。

(1) モデル1

斜版軸線に直交する仮想部材($A, I=\infty$)を設け主桁とは剛結されていると仮定する。取付部の斜版部材は主桁へ軸力を伝達する5部材($I=0$ と仮定)に分割したもの。

(2) モデル2

モデル1に対して、仮想部材が主桁とピン結合されていると仮定したもの。

(3) モデル3

主桁軸線に直交する仮想部材($A, I=\infty$)を設け、主桁とは剛結されていると仮定する。取付部の斜版部材は主桁と一体化されていると仮定したもの。

3. 2 解析結果

図-6にモデル1とモデル2の主桁曲げモーメント図を示す。モデル1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り、取付部付近の断面力を反映していないと考えられる。モデル2はFEMモデルに近い挙動を示すが斜版と主桁取付部から主塔側では部分的に小さい値を示し、逆に斜版の曲げモーメントは大きくなる。これに対して図-7にモデル3による斜版を含んだ曲げモーメント図を示すが、この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し、斜版曲げモーメントもFEMとほぼ同値となることから最も適切なモデルと考えられる。

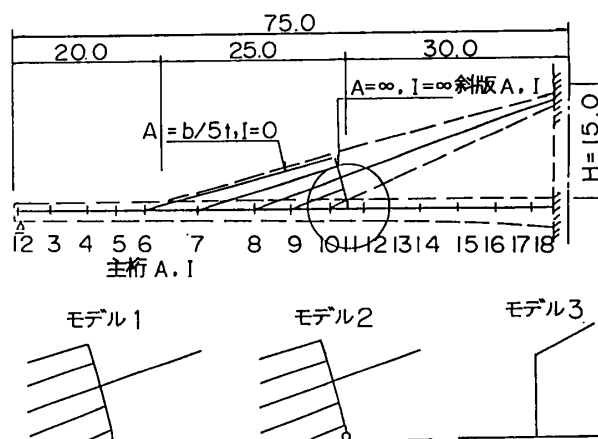


図-5 平面骨組解析モデル

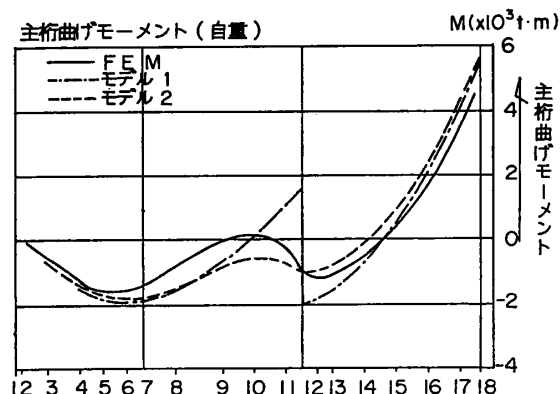


図-6 主桁曲げモーメント (その1)

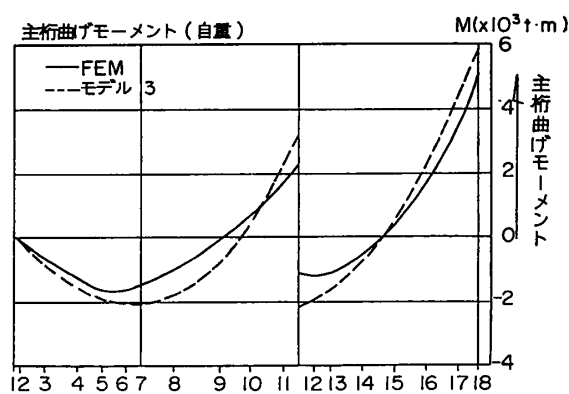


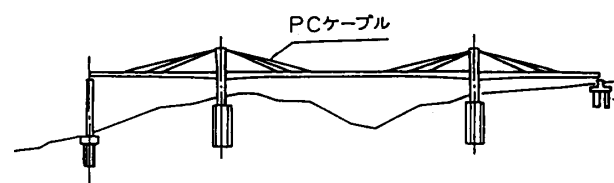
図-7 主桁曲げモーメント (その2)

4. 3 径間モデルによる架設計画検討

主桁の施工は移動作業車による張出架設となることから斜版コンクリート打設時期について検討した。すなわち図-8に示すように主桁閉合先行案（主桁閉合後斜版コンクリートを打設する方法）と斜版打設先行案（斜版コンクリート打設後も主桁を張出架設する方法）とを比較した。

図-9に架設段階毎の斜材発生軸力を示すが、斜版打設先行案の発生軸力は主桁張出時の断面力が大きくなるために主桁閉合先行案に比べて必要鋼材量が増す。さらに、斜版打設後のたわみ調整が困難であることから主桁閉合先行案が優位と考えられる。

(1) 主桁閉合先行案



(2) 斜版打設先行案

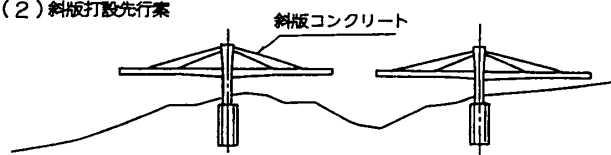


図-8 架設計画要領図

5. 3 径間モデルによる断面力検討

5. 1 モデル径間

2 径間モデルにおいて決定された基本形状をもとに橋長285m(75+140+70m)の3 径間連続橋に拡張したモデルにおいて、主桁閉合先行案による架設とした場合の断面力の照査を実施した。なお、主塔高は10m、斜版取付位置30m、斜版取付長20m とした。

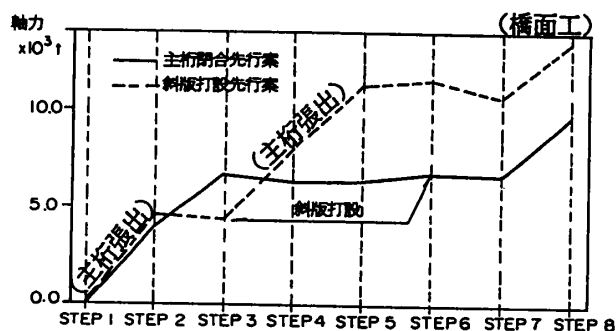


図-9 斜材発生軸力

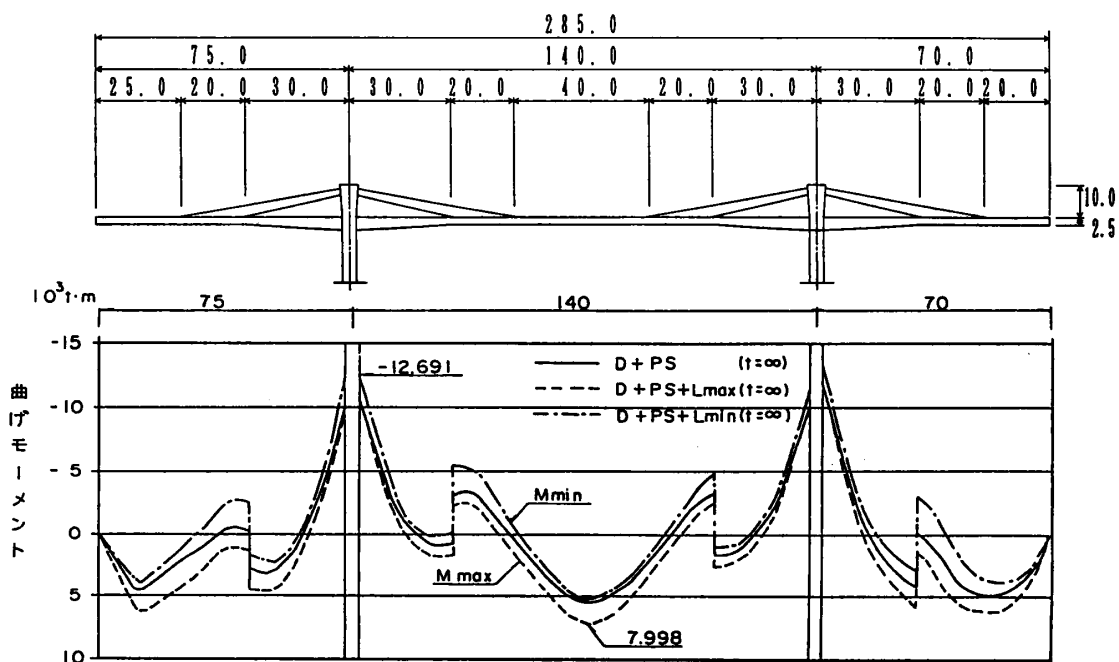


図-10 3 径間連続モデルによる主桁曲げモーメント

5. 2 主要部材断面力

(1) 主桁

橋軸方向解析により得られた断面力を図-10に示すが、主桁高は中間支点3.5m、側径間部2.5mとなり、通常の箱桁橋での中間支点高8.0mに比べて大幅に桁高を縮小することができる。

解析結果によると、活荷重による応力度は中間支点部で 10kgf/cm^2 程度と小さく、死荷重が支配的である。必要鋼材量は中間支点で $\phi 32$ P C鋼材90本、中央径間では70本程度であり、通常の同桁高の箱桁橋と同程度である。

(2) 斜版

橋軸方向解析での斜版曲げモーメントを図-11に示すが断面力は主塔結合部、主桁結合部とも同程度である。しかしながら、主塔側部材断面($150 \times 80\text{cm}$)は主桁側の($350 \times 50\text{cm}$)に比べて小さくなることから作用応力度が大きくなり構造上留意すべき断面となる。この主塔部応力度

を図-12に示すが活荷重時の軸力による引張応力度は 25kgf/cm^2 であり、これから計算されたケーブルの応力変動は 3kgf/mm^2 と一般斜張橋部の 15kgf/mm^2 程度と比べて著しく小さい値となる。このことから応力疲労問題に対しては非常に有利な構造であることがわかる。斜版コンクリート打設後の設計荷重に対して720T型ケーブル(27S15.2mm)を使用した場合4本程度必要となる。

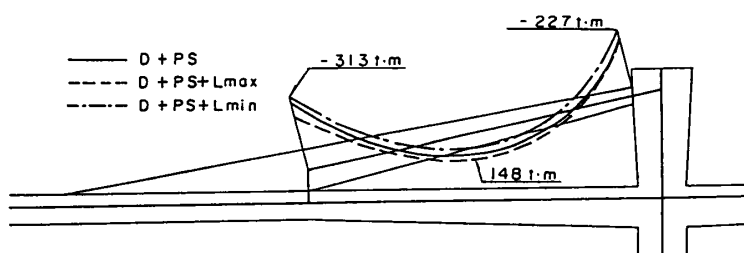


図-11 側径間部斜版曲げモーメント

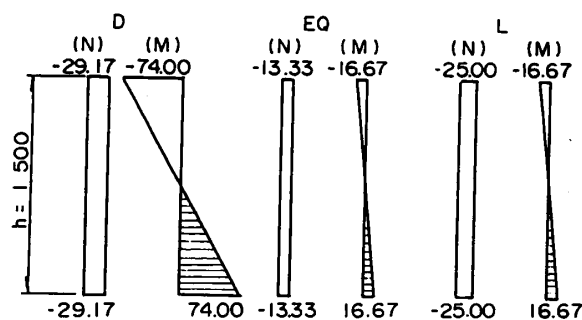


図-12 斜版主塔結合部応力度(kgf/cm^2)

6. 3次元FEM解析

6. 1 解析モデル

斜版の吊り形式は2面吊りであり剛度の大きいPC部材が主桁の外ウェブに剛結される構造となる。この斜版から主桁を構成する各部材への応力伝達を確認する目的でプレート要素による3次元FEM弾性解析を行った(図-13)。

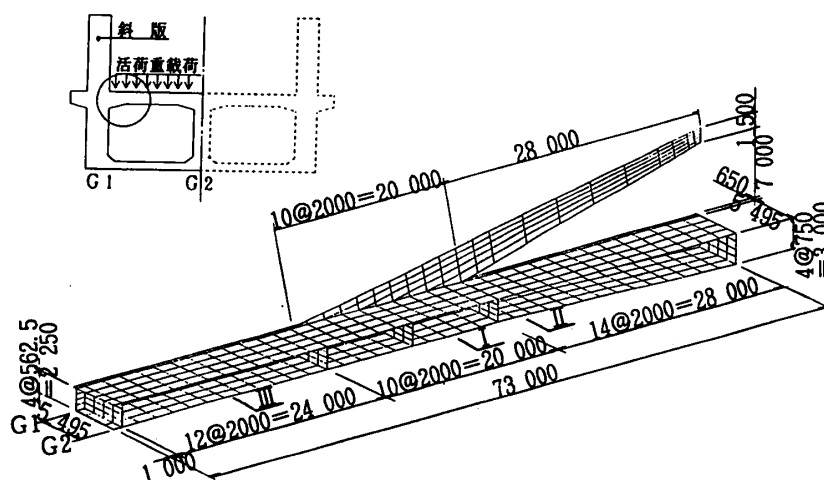


図-13 解析モデル

6. 2 解析結果

図-14に活荷重作用時の側径間部（断面Ⅲ）の軸方向応力度を示す。これによると、外桁(G1)と中桁(G2)では同じ挙動を示す。このことから橋軸方向解析における各ウェブの荷重分担は同程度であると考えてよい。

図-15に活荷重による主桁横方向の曲げモーメントを示す。斜版取付部以外（断面Ⅱ）は平面骨組解析による断面力とほぼ同程度である。しかしながら、取付部（断面Ⅰ）においては剛度の大きい斜版と結合しているため上床版外桁側は平面骨組解析より5割程度曲げモーメントが増す結果となった。このことから、外桁上床版ハンチ部を増すなどの対策が必要と考えられる。

7. まとめ

斜版付箱桁橋の設計手法に関する検討結果は以下ようになる。

- (1) 橋長150m(2@75m)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、P C鋼材量が最も少なくなる。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できるだけ低く、取付長は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、取付長は20～25mが適当であることが明らかになった。
- (2) 斜版橋の取付部構造モデルとしてはF E M解析と対比させると斜版は主桁と一体化したモデルが適当である。
- (3) 架設計画を検討した結果、主桁閉合後に斜版コンクリートを打設する方法が望ましい。
- (4) 橋長285m(75+140+70m)の3径間骨組要素モデル解析によると活荷重時の斜版内ケーブルの応力レベルに換算すると 3kgf/mm^2 程度と小さく応力疲労問題に対して有利である。
- (5) 3次元F E M解析によると、斜版取付部の外桁側上床版においてモーメントが通常解析より大きくなることから補強が必要と考えられる。

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：P C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、竹内、大庭：P C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

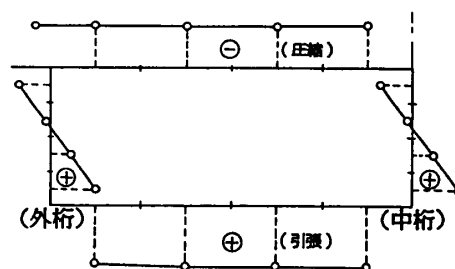


図-14 軸方向応力度 σ_x

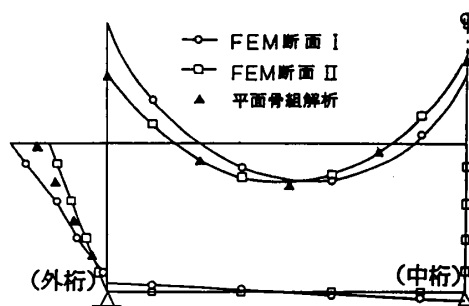


図-15 横方向曲げモーメント