

縦置き I 形鋼格子床版の作用曲げモーメント

新日本技研(株)・西部支社 設計部 ○高 龍 , 同・東京支社 設計部 石澤 俊希
同・西部支社 設計部 川平 英史 , 元新日本技研株式会社 高橋眞太郎

1. はじめに

床版支間が車両進行方向に平行な床版の設計曲げモーメント式は、等方性の RC 床版を対象として道路橋示方書に、異方性の縦置き I 形鋼格子床版（以下、縦置き IB 床版）に対して鋼構造物設計指針¹⁾に示されている。縦置き IB 床版を主桁間隔が広い少数桁形式に適用した場合、横桁のたわみの影響が無視できない。これに対し、横桁の曲げ剛性を付加した版の解析式を導き、曲げモーメントを算出する手法²⁾が研究されている。本稿では、この版解析の妥当性を FEM 解析と比較し検証する。また、版解析より求めた曲げモーメントと鋼構造物設計指針の設計曲げモーメントを比較し考察する。

2. 版解析基本式

版の Olsen の基本式で、 x, y 方向の版の曲げ剛性を B_1, B_2 とすると、

$$B_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2\sqrt{B_1 B_2} \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + B_2 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = p \quad (1)$$

図-1に示すような床版モデルで、幅 b の両縁単純支持の無限帯状版を対象とすると、任意点 (ξ, η) の集中荷重 P による点 (x, y) のたわみ w は、

$$w = \frac{P}{2bB_1} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\Omega(x, \xi)}{\varphi_n^3} \sin \beta_n \eta \cdot \sin \beta_n y, \quad \Omega(x, \xi) = \exp(-\varphi_n |x - \xi|) (1 + \varphi_n |x - \xi|), \quad \varphi_n = \sqrt{\frac{B_2}{B_1}} \cdot \beta_n, \quad \beta_n = \frac{n\pi}{b} \quad (2)$$

版と横桁は、横桁位置で一体として挙動するものと仮定する。横桁 i と版の間の鉛直分布力 q_i を不静定力に採り、それによるたわみ w_i を計算する。すなわち、

$$q_i = \sum_{n=1}^{\infty} q_{in} \sin \beta_n y, \quad w_i = -\frac{1}{4B_1} \sum_{n=1}^{\infty} \Omega(x, \xi) \frac{q_{in}}{\varphi_n^3} \sin \beta_n y \quad (3)$$

式(2)の w に式(3)の横桁反力によるたわみ w_i を加えると、横桁のたわみの影響を考慮した全たわみが得られ、これより版に作用する曲げモーメントが求められる。

3. FEM 解析モデル

解析モデルは、全幅 12.8m で主桁間隔 9.0m の 2 主桁とする。床版は厚さ 240mm で、3.8m 間隔に配置した横桁で支持している。載荷荷重は、床版支間中央（横桁間の真中）で、主桁間の中央に T 荷重（100kN）2 個載荷した（図-2）。

FEM 解析は、床版を有限要素で、主桁及び横桁を板要素でモデル化し、床版と主桁ないし横桁は剛バネ要素で結合した。床版厚は版解析と同様に床版厚 240mm 一定とした場合、ハンチによる床版厚の変化を考慮した場合の 2 ケースについて検討し、等方性版として解析した。

4. 考察

1) 版解析と FEM 解析の比較

図-3に版厚一定の FEM 解析より算出した橋軸方向床版曲げモーメントのコンター図を示す。輪荷重直下に

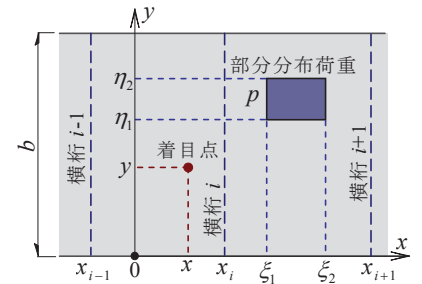


図-1 床版モデル

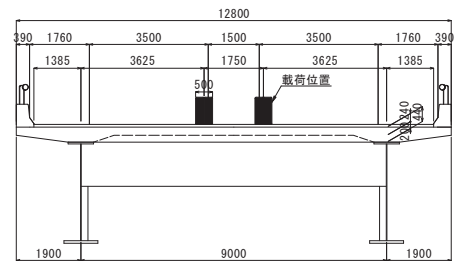


図-2 幅員構成と載荷位置

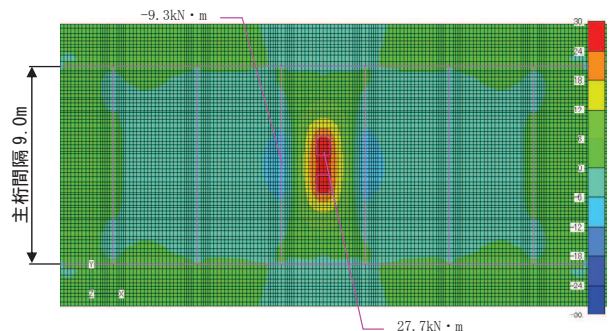


図-3 FEM解析結果

表－1 版解析とFEM解析の結果一覧表

解析ケース	橋軸方向曲げモーメント (kNm)		橋軸直角方向曲げモーメント (kNm)	
	最大値 (床版支間中央)	最小値 (中間横桁付近)	最大値 (床版支間中央)	最小値 (中間横桁付近)
①版解析(等方性)	27.4(1.00)	-10.7(1.00)	15.2(1.00)	-0.9(1.00)
②版解析(異方性)	30.9(1.13)	-12.0(1.12)	10.1(0.66)	-1.2(1.33)
③FEM解析(ハンチ無視)	27.7(1.01)	-9.3(0.87)	16.9(1.11)	1.4(-)
④FEM解析(ハンチ考慮)	23.2(0.85)	-10.7(1.00)	14.3(0.94)	13.9(-)

ついて、橋軸方向曲げモーメント分布を図－4に示す。また、版解析及びFEM解析の橋軸方向及び橋軸直角方向の最大・最小曲げモーメントの値を表－1に示す。

橋軸方向の最大曲げモーメントについて、ケース①と③を比較すると誤差が1%程度であった。また、中間横桁上の最小曲げモーメントについて同ケースを比較すると、FEM解析結果の方が13%程度小さくなるが、ハンチの影響を加味したケース④とは同程度であった。従って、版解析は、正負の曲げに対して、FEM解析結果と同程度の値が求められることが確認できた。

橋軸直角方向の曲げモーメントを比較すると、最小値は主桁上でゼロに近いため比較しても意味がない。最大値についてケース①と③を比較すると11%程度の誤差である。ハンチの影響を考慮したケース④と比較するとその誤差は6%まで小さくなることから、版解析はハンチを考慮した実形状の値に近くなることが判った。

ケース①と②の版解析どうしを比較すると、異方性の影響が顕著に表れ、剛度の高い橋軸方向の曲げモーメントは、異方性とした方が13%程度高くなる。その反面、橋軸直角方向の曲げモーメントは、34%程度小さくなる。この解析結果から、設計曲げモーメントには異方性の影響を考慮する必要があると言える。

2) 既存の設計曲げモーメント式との比較

鋼構造物設計指針の縦置きIB床版の橋軸方向の設計曲げモーメント式は以下である。これは、主桁間隔と横桁間隔の比が2:1以上で、横桁に弾性支持された異方性版をFEMで解析した結果に基づいている。

$$M = (1.24 - 0.02 \cdot B)(0.014 \cdot B + 0.144 \cdot L) \cdot P \quad (4)$$

(4)式にて床版支間L=3.8m、主桁間隔B=9.0m、輪荷重P=100kNとして計算すると71.4kNmとなる。一方、主桁間にT荷重6個満載して版解析した結果は67.5kNmで、約5%版解析結果が小さくなる。主桁間隔8.0m、横桁間隔3.0m、T荷重6個で横桁にH-900(I=0.00404m⁴)を用いて計算すると約5%版解析結果が大きくなる。この主桁間隔に対して、鋼構造物設計指針では横桁の剛性をI=0.00465m⁴として解析している。従って、T荷重の載荷状態の影響や横桁剛性が小さい場合、(4)式は危険側の値を示すことがある。また、橋軸方向の支点上の負の曲げモーメントは、横桁沈下の影響を考慮した版解析の方が小さくなることが確認できた。

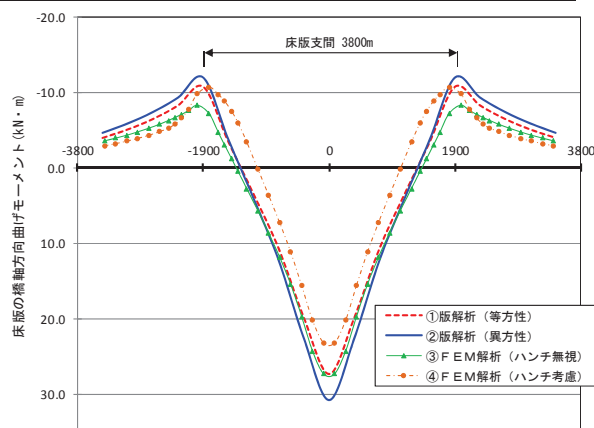
5. まとめ

床版支間が車両進行方向に平行で異方性版に作用する曲げモーメントについて、版解析結果とFEM解析結果を比較し、その解析手法の妥当性が検証できた。また、床版ハンチの影響を加味したFEM解析結果とも比較し、版解析が実形状に作用する曲げモーメントに対しても十分安全側に評価できることが確認できた。

鋼構造物設計指針の設計曲げモーメント式は、形鋼相当の横桁剛度に対して、危険側となる場合がある。従って、版解析により横桁のたわみによる付加曲げの影響を適切に評価し、本床版を設計する必要がある。

[参考文献] 1)鋼構造物設計指針 PART B 合成構造、土木学会、1997.9

2)石澤、他：横桁のたわみを考慮した縦置き床版の断面力と設計例、第63回年次学術講演会、2008.9



図－4 床版曲げモーメント分布図