

横桁のたわみを考慮した縦置き床版の断面力と設計例

新日本技研(株)・設計支援室 正会員 ○石澤 俊希 , 同・仙台支店・設計部 正会員 西川 貴志
同・東京支社・設計部 正会員 杉山 充 , 同・仙台支店・設計部 正会員 高橋 眞太郎

床版の支間方向が車両進行方向に平行な床版(以下、縦置き床版)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示に、また異方性の縦置き I 形鋼格子床版(以下、縦置き IB 床版)に対しては便覧¹⁾に示されているが、何れも剛な横桁を前提としている。しかし、主桁間隔が広い少数桁形式においては横桁のたわみの影響を無視できない。そこで本報告では横桁のたわみを考慮した床版の解析式を概説し、断面力の性状と設計への適用法について 1 例を紹介する。

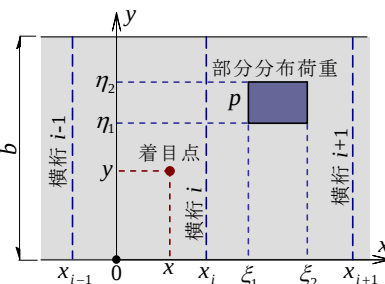


図-1 床版モデル

1. 床版の解析概要

版の基本式として Olsen²⁾の式を用いる。x, y 方向の版の曲げ剛性を B_1, B_2 、ポアソン比を ν とするとき、

$$B_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2} + 2\sqrt{B_1 B_2} \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + B_2 \frac{\partial^4 w}{\partial y^2} = p, \quad B_1 = EJ_1 / (1 - \nu^2), \quad B_2 = EJ_2 / (1 - \nu^2) \quad (1)$$

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、

$$w = \frac{P}{2bB_1} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\Omega(x, \xi)}{\varphi_n^3} \sin \beta_n \eta \cdot \sin \beta_n y, \quad \Omega(x, \xi) = \exp(-\varphi_n |x - \xi|) (1 + \varphi_n |x - \xi|), \quad \varphi_n = \sqrt[4]{\frac{B_2}{B_1}} \cdot \beta_n, \quad \beta_n = \frac{n\pi}{b} \quad (2)$$

矩形領域 $(\xi = \xi_1 \sim \xi_2, \eta = \eta_1 \sim \eta_2)$ の部分分布荷重 p に対しては、上式で $P = p d\xi d\eta$ とおき、領域内で積分し、

$$w = \frac{p}{2bB_1} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{J_n(x, \xi_1, \xi_2)}{\varphi_n^4} \frac{\sin \beta_n \eta_1 - \sin \beta_n \eta_2}{\beta_n} \sin \beta_n y, \quad \frac{J_n(x, \xi_1, \xi_2)}{\varphi_n} = \int_{\xi_1}^{\xi_2} \Omega(x, \xi) d\xi \quad (3)$$

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、

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

式(2)の w に横桁反力による版のたわみを加えたものを $\tilde{w}$ 、横桁 i の剛性を EI_i と表すとき、次式で横桁反力を計算した。

$$\left[EI_i \frac{\partial^4 \tilde{w}}{\partial y^4} \right]_{y=y_i} = \sum_{m=1}^{\infty} q_{im} \sin \beta_m y \quad (5)$$

2. 断面力の性状と設計への適用法

ここでは、縦置き IB 床版の曲げモーメント性状に関して考察する。この床版形式の歴史は古く、関門橋、その他数橋で用いられてきたが、最近主桁間隔が広い少数桁に用いられている。その例を図-2~4に示す。69.0+86.0+69.0m の合成 2 主桁の複合ラーメン橋³⁾である。横桁もフレームで補剛された合成桁であり、支間部では 3.8 m、中間支点の両側 3 パネルでは 3.6 m 間隔で横桁を配置し、この区間では桁上端まで床版を打ち下ろして増厚補強している。

この床版の非増厚部の正の曲げモーメントを図-5(a)と表-1に示す。道示の規定に従って 3 台の重量車を近接させて載荷した状態から設計曲げモーメントを算出しているが、現実には殆んどあり得ない状態である。起きるのは車線を正規に走行する 2 台レーン載荷の状態であり、このときの曲げモーメントは設計値の 82% となる。ただし、床版支間中央に重量車が 2 台同時に載ることは稀と思える。荷重頻度が高いのは 1 台レーン載荷の状態であり設計値の 70% である。従って、ただ 1 輪の輪荷重で設計曲げモーメントが決まる多主桁橋の床版に比べ余裕が大きい。

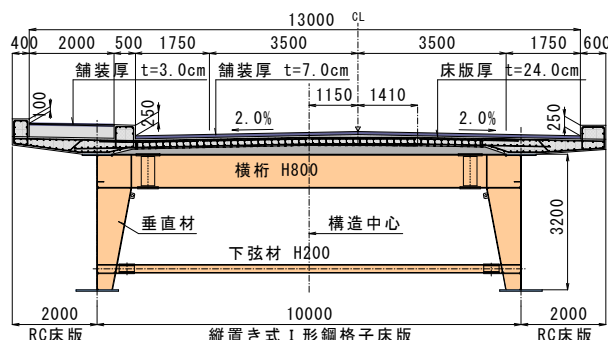


図-2 築川ダム 10 号橋・横断面図

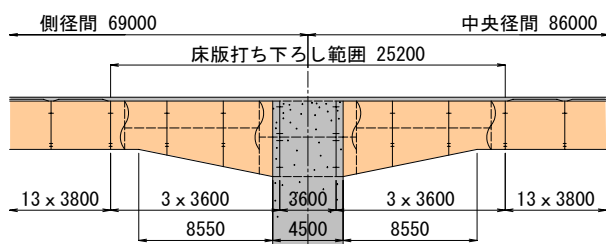
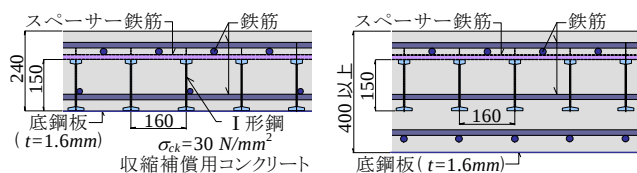


図-3 中間支点部上部構造の縦断面図



(a) 主桁の支間部

(b) 主桁の中間支点部

図-4 縦置き IB 床版の断面

キーワード 縦置き床版, I 形鋼格子床版, 版解析, 床版の曲げモーメント, ひび割れ照査

連絡先 〒983-0852 仙台市宮城野区榴岡 3-7-35 新日本技研(株)仙台支店 TEL022-292-1801

$n = E_s / E_c = 7.14$ としたときの RC 断面計算から、床版の異方性は $I_y / I_x = 0.35$ とした(応力度算定では「鋼構造物設計指針 Part B」⁴⁾ により $n=10$)。この異方性の評価ではコンクリートは全く引張応力に抵抗しないとしているので実際より相対的に直角方向の剛性を低く見積もるため、橋軸方向の曲げ M_x を大きく、直角方向曲げ M_y を小さく算定する。しかし、直角方向の曲げは小さく鋼材応力には大きな余裕があり、等方性として M_y を大きく算定しても未だ余裕が充分あるので、上記の異方性評価は安全側の扱いと云える。

図-6 はフレームで補剛された横桁を単純桁に換算したときの曲げ剛性と床版の曲げモーメントの関係である。横桁の剛性が高まるほど床版支間部の正曲げは減少し、横桁上の負の曲げは増大する。図のように、何れの設計値も便覧の値より小さい(ただし、横桁を非合成桁とすると剛性は1/5に低下するため便覧より大きくなる)。とくに横桁上の負の曲げは便覧の値よりかなり小さい。便覧の値は4辺単純支持の版の解析値を、異方性を考慮の上で道示と同様に係数を乗じて連続版に適用し、横桁上の負曲げは正曲げの値を反転している⁶⁾。そのため版の性状を正確には反映していない。荷重点から離れた横桁上では曲げは均されるので荷重直下の曲げより小さくなるのが正しい。

表-1 床版の主曲げモーメント ($\text{kN}\cdot\text{m/m}$)

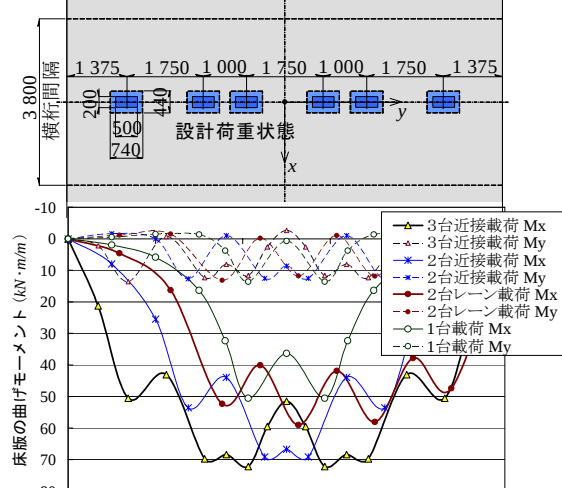
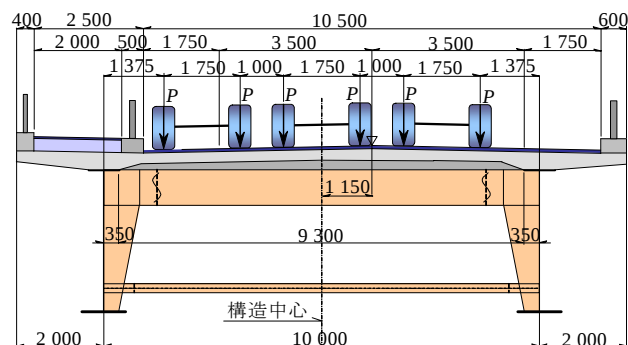
	M_x	比率
3台近接載荷	72.2	1.000
2台近接載荷	69.1	0.958
2台レーン載荷	59.0	0.818
1台中央載荷	50.5	0.700

表-1 と図-5 (a) に関して説明したように幾つかの安全代が見込まれ、かつ横桁のたわみの影響を考慮した連続版としていることから、計算値を割増して設計値とすることはしていない。

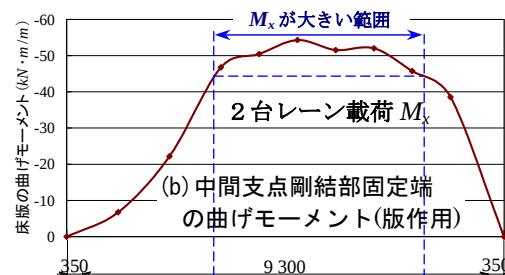
縦置き床版では主桁作用の応力に床版作用の応力が加わる。主桁の支間部では問題にならないが、中間支点部ではひび割れ照査が欠かせない。とくに剛結構造では図-7 の固定辺の負曲げが大きい。図-5 (b) に2台レーン載荷による床版の負曲げの分布を示す。これにより最大 33 N/mm^2 の鉄筋応力度が発生する。一方、せん断遅れにより有効幅が74%に低下するため、主桁作用の床版直応力は図-5 (c) の分布となり、床版の曲げが大きい範囲ではほぼ70%に低下する。そのため、ひび割れ照査においては主桁作用の照査用鉄筋応力(照査式と組合せ係数については文献7)を参照されたい)による単独照査に加え、安全側にその80%と2台レーン載荷の版作用を組合せて照査を行った。耐久性照査では2台レーン載荷でも過分と考えている。なお、ひび割れ制御のためにI形鋼の上面には両方向に鉄筋を配置している(図-4)。

参考文献

- 1) 日本道路協会：鋼道路橋設計便覧，昭和54年2月
- 2) Olsen, et al. : Die zweiseitig gelagerte Platte, Ernst & Sohn, 1979
- 3) 千葉・他：長支間2主桁複合ラーメン橋の設計，第25回日本道路会議，平成15年11月
- 4) (社)土木学会：鋼構造物設計指針 Part B 合成構造物，平成10年10月
- 5) Eurocode 3 Part 1-5 : Plated structural elements, Oct. 2006
- 6) 佐伯：I形鋼格子床版の設計，土木研究所資料 17-7,1975
- 7) 高濱・他：縦置きI形鋼格子床版の設計概要と施工時荷重の検討，第6回床版シンポジウム，平成20年6月



(a) 支間最大曲げモーメント(版作用)



(b) 中間支点剛結部固定端の曲げモーメント(版作用)

(c) せん断遅れによる床版の直応力分布(主桁作用)

図-5 床版の活荷重曲げモーメントと中間支点上のせん断遅れ

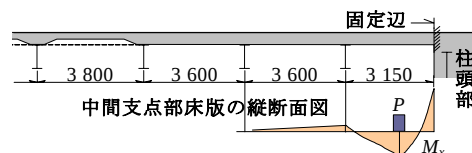


図-7 剛結部の床版の曲げ

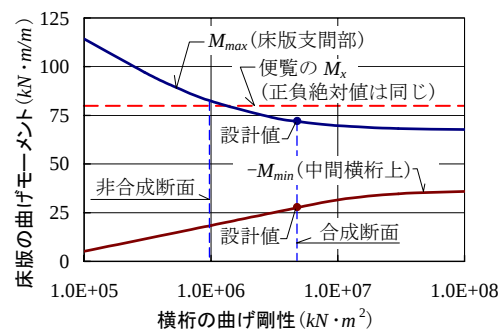


図-6 横桁の曲げ剛性と床版の曲げモーメント(3台近接載荷)