

# 横桁剛性をパラメータとした2方向支持されたRC床版を有する鋼2主1桁橋

|               |       |       |
|---------------|-------|-------|
| 長岡技術科学大学大学院   | ○学生会員 | 小平 健太 |
| 長岡技術科学大学大学院   | 正会員   | 岩崎 英治 |
| 長岡技術科学大学 名誉教授 | 正会員   | 長井 正嗣 |
| 日本工営(株)       | 正会員   | 友田 富雄 |

## 1. はじめに

現在、日本で建設されている鋼2主1桁橋のほとんどが図-1(a)に示す主桁のみで床版を支持する1方向支持版だが、主桁間隔が広くPC床版や合成床版を用いるため床版施工費が増大し、片側交互通行下での床版打換えが困難である。一方、図-1(b)に示す主桁と横桁の2方向で床版を支持した2方向支持版を採用することで、主桁間隔を広げながらRC床版を採用でき、片側交互通行下での打換えが可能になる。

2方向支持版の既往の研究<sup>1),2)</sup>は、横桁剛性を死荷重と活荷重で一意的に決定しており、横桁剛性が変化した場合の最小床版厚は提案されていないのが現状である。

そこで本研究では主桁・横桁間隔、さらに横桁剛性をパラメータとしたFEM解析を実施し、得られた最小床版厚に関して設計式の提案、1・2方向支持版を有する2主1桁橋の鋼材・床版重量の比較、さらに片側交互通行下での床版打換えに関して応力変化の検討を行った。

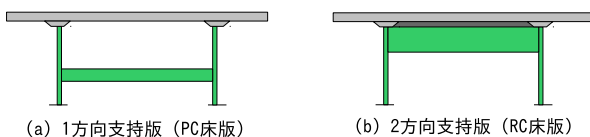


図-1 床版支持形式の違い

## 2. 解析方法

解析は、主桁、横桁、床版をシェル要素でモデル化した3次元立体FEM解析によって行った。横桁の寸法は、ウェブ厚9mmを最小寸法として、H鋼寸法(SS400, SM400)を用いる。また、既往の研究<sup>1),2)</sup>と同様、境界条件の影響を考慮し、横桁間を1パネルとし、橋軸方向に合計5パネル分取り出したモデルで解析を行った。

床版は等方性版とし、床版に作用する死・活荷重から最大曲げモーメントを算出し、既往の研究<sup>3)</sup>から床版引張側応力が曲げ引張強度以下となるように最小厚を決定する。また、主桁の鉛直変位は拘束し主桁たわみによる付加曲げモーメントの影響は考慮しない。解析モデルの寸法は、主桁・横桁間隔とも3~10mとし、2方向支持版としての特性を活かすため主桁間隔 ≥ 横桁間隔とした。

## 3. 解析結果と設計式の提案

### (1) 横桁の必要剛性式

図-2(a)に横桁の必要剛性と提案式の比較を、式(1)に提案式を示す。主桁間隔が5mまで剛性が一定なのは、今

回設定したH鋼の最小寸法でも、許容応力度以上とならないためである。図-2(a)から、横桁の必要剛性は式(1)で近似できることが分かる。

$$I_c = 0.3179 C_{Ic} \quad (1)$$

$$C_{Ic} = -0.3911L + 3.712B^{-0.5727} + 7.477$$

ここに、 $I_c$ :横桁の必要剛性 ( $m^4$ )

$L$ :主桁間隔 (m),  $B$ :横桁間隔 (m)

ただし、 $I_c \geq 2.21 \times 10^{-4} (m^4)$ ,  $L/B \geq 1.0$

### (2) 2方向支持版の最小厚式

床版厚の2乗を横桁間隔で除した値を縦軸、主桁間隔と横桁間隔の比 ( $x = L/B$ ) を横軸とした場合、図-2(b)のようにプロットされ最小厚SHは式(2),(3)でそれぞれ近似することができる。

$$SH = \sqrt{(1.183 \times 10^{-2}x + 4.729 \times 10^{-3})B} \quad (x \leq 1.25) \quad (2)$$

$$\sqrt{(I_g x - 1.250I_g + 0.307x^{4.038} \times 10^{-2} - 0.290)B} \quad (1.25 < x) \quad (3)$$

$$\text{ただし、} I_g = 6.900 \times 10^{-2} - 6.660 \times 10^{-2} (I/I_c)^{1.514} \times 10^{-2} \quad (4)$$

( $I/I_c$ ): 実際に用いる横桁剛性  $I (m^4)$  と横桁の最小剛性  $I_c (m^4)$  の比

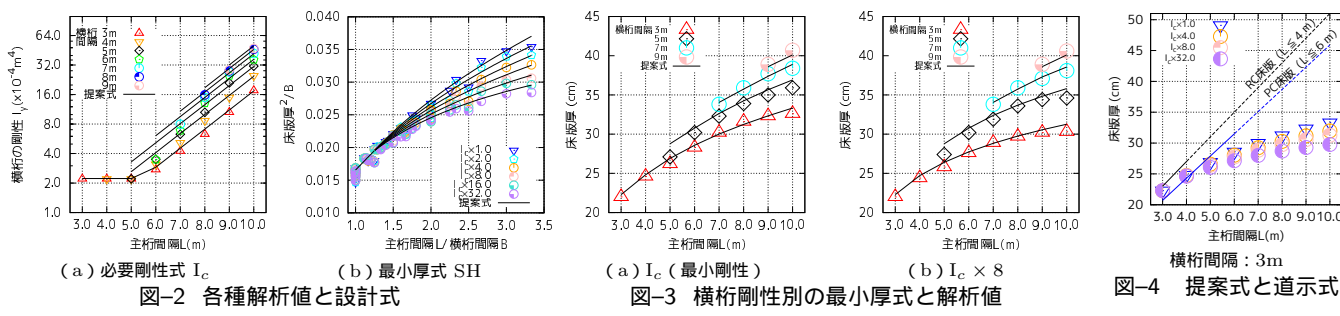
SH: 床版厚 (m),  $L$ : 主桁間隔 (m),  $B$ : 横桁間隔 (m)

図-2(b)に示すように  $L/B$  が1に近づく、横桁の剛性の影響が少なくなることが分かる。従って  $L/B$  が1.25までは式(2)に示すように主桁と横桁のみをパラメータとしている。一方  $L/B$  が1.25を超える場合、横桁剛性を考慮した式(3)を用いる。式(4)は横桁剛性の変化を指数関数で表した式で、実際に用いる横桁剛性  $I$  と必要剛性  $I_c$  の比を用いる。上記の提案式と解析によって得られた床版厚の比較例を図-3に示す。ほとんどの地点で解析値との差が10mm以下となっており、また横桁剛性が変化しても一致していることが分かる。

従来の道示に規定されている1方向支持版の床版の最小厚式と今回の2方向支持版の提案式を比較したものを図-4に示す。主桁間隔が広がるにつれ、また横桁剛性を高めるほど2方向支持版の床版厚が道示の規定と比べて薄くなることが分かる。

### 4. 1方向・2方向支持版の重量比較

一般的な2車線の幅員を有する支間長50mの単純支持された2主1桁橋に関してPC床版を有する主桁間隔6mの1方向支持版と横桁間隔、剛性をパラメータとしたRC床版を有する主桁間隔8.5mの2方向支持版の主桁断面設



計を FEM 解析により行い、得られた断面を元に重量比較を行った結果を図-5 に示す。1 方向支持版と比べて鋼重は 10~60% 以上増加することが分かる。鋼重の増分はほとんどが横桁の本数、剛性によるもので主桁の鋼重は 1・2 方向支持版に関わらずほぼ同等であった。このことは、床版支持形式の違いは主桁断面に影響を与えないことを示唆している。すなわち横桁間隔を狭く、剛性を高めると 1 方向支持版と比べて大幅な鋼重増加となる。

一方、横桁を密に、剛性を高めると床版厚を薄くでき 90% 程度の床版重量となる。鋼重と床版重量の比率は概ね 2 : 8 であり両者の合計重量は横桁間隔を密にすると 1 方向支持版と変わらないことが分かる。

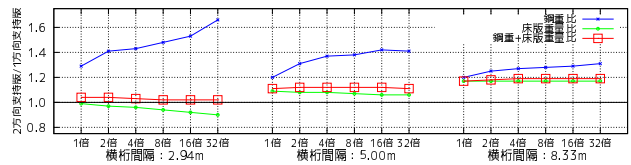


図-5 横桁間隔・剛性別の重量比較

5. 床版打換え時の応力変化

片側交互通行下で床版打換えが無補強で可能か、床版撤去前と比較して、床版を撤去するパターンを横桁間隔を 1 パネルとし半断面を 1, 2 パネル毎、半断面全面撤去の 3 パターンについて、床版の曲げモーメントは T 荷重、主桁応力度は L 荷重に対して検討した。ここで床版撤去前の床版曲げモーメントは床版最小厚を求めた際の曲げモーメントから得られた設計曲げモーメント式を用い、同主桁応力は重量比較時に求めた断面から合成後荷重時の応力度との比較とする。

表-1 打換え前後の活荷重応力 (横桁間隔 2.94m, 剛性: 32 倍)

|                           | 撤去前   | パターン 1 | パターン 2 | パターン 3 |
|---------------------------|-------|--------|--------|--------|
| 床版 $M_{(l+i)xx}$ (kN・m)   | 46.7  | 36.5   | 37.7   | 38.8   |
| 床版 $M_{(l+i)yy}$ (kN・m)   | 27.0  | 18.6   | 18.6   | 18.6   |
| 主桁上縁 (N/mm <sup>2</sup> ) | -16.4 | -18.2  | -18.1  | -24.3  |
| 主桁下縁 (N/mm <sup>2</sup> ) | 67.0  | 55.4   | 55.4   | 60.9   |

表-1 にスパン中央部の床版撤去前後の床版曲げモーメント、主桁応力の比較の一例を示す。なお横桁剛性、間隔別に照査を行ったが、同間隔、剛性による影響は少なかった。主鉄筋方向曲げモーメントは撤去前の 80% 程度、同配力鉄筋方向は撤去前の 70% であり床版の曲げモーメントは撤去パターンにはほぼ無関係で、床版に着目した場合、安全側の判断となることが分かる。主桁下縁側の応力度は、パターン 1・2 は撤去前の 80% 程度、パターン 3 は 90% 程度で安全側の

判断であるが、上縁側はパターン 1・2 は 2 N/mm<sup>2</sup> 程度、パターン 3 は 8 N/mm<sup>2</sup> 程度超過し、横桁間隔・剛性が異なると 10 N/mm<sup>2</sup> 程度超過するケースも存在する。パターン 3 が 1・2 と比べて大きな値を示したのは、半断面の床版を全面撤去しているため、床版による荷重分配効果がなくなったためであると考えられる。しかし上縁側活荷重応力度は元々の応力度が小さく、さらに超過している応力度が最大で 10 N/mm<sup>2</sup> であるためこの程度の超過が鋼材の塑性化を招くとは考えにくい。さらに架設時の割増係数 (25%) を考慮すれば許容値内であるため、この程度の応力超過は問題ないとする。

6. 本研究のまとめ

2 方向支持された RC 床版を有する鋼 2 主 I 桁橋に関して主桁、横桁間隔及び剛性をパラメータとした解析を行った結果、以下のようなことが明らかになった。

- (1) 横桁剛性を变化させた場合の最小床版厚は、主桁・横桁間隔の比率により横桁剛性の影響が異なり、主桁間隔が広く、横桁間隔が狭い場合に横桁剛性を大きくすると床版厚を低減できるが、主桁と横桁間隔が等しいもしくは近い場合は横桁剛性を大きく設定しても床版厚の低減効果は少ない。
- (2) 1 方向、2 方向支持された床版を有する 2 主 I 桁橋の概略設計を行い鋼桁、床版の重量を比較した結果、横桁を密に配置し、剛性を高くすると床版厚を薄くできるため両者の合計の重量は変わらない。
- (3) 床版打換え時の床版の曲げモーメント、鋼桁の応力を検証した結果、床版の曲げモーメントは片側の床版をすべて撤去した場合最大曲げモーメントは設計曲げモーメント式の 80% 程度であり安全側の判断である。一方、主桁の応力はウェブ下縁側は全車線供用時の 95% 程度で安全側の判断で、同上縁側は同 5 ~ 10 N/mm<sup>2</sup> 超過するが架設時の割増係数を考慮すれば問題ない。

参考文献

- 1) 石崎茂, 松井繁之: 2 主構工桁形式道路橋 RC 床版の最小厚規定について, 第 50 回土木学会年次学術講演会講演概要集第 1 部 (A), pp. 344-345, 1995.
- 2) 松井繁之, 石崎茂: 2 方向支持された長支間道路橋 RC 床版の設計曲げモーメント式について, 構造工学論文集, Vol. 42A, pp. 1031-1032, 1996.
- 3) 横山広, 関口幹夫, 堀川都志雄: 道路橋鉄筋コンクリート床版の曲げ強度に関する検討, 土木学会第 60 回年次学術講演会, pp. 301-302, 2005.