

床版更新における FEM 解析を用いた鋼 I 桁橋の主桁設計に関する一検討

株式会社 長大 正会員 ○青柳 竜二, 株式会社 長大 古里 駿
 株式会社 横河技術情報 正会員 中野 一也

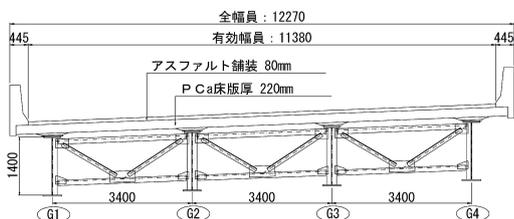
1. はじめに

大規模更新事業が行われている昨今において、高度経済成長期に建設された鋼 I 桁橋は、現行活荷重への対応や床版更新による死荷重の増加により、大規模な主桁補強の増大が懸念される。加えて、床版更新では工期短縮・耐久性で優れるプレキャスト・プレストレストコンクリート床版 (PCa 床版) が採用されるが、スタッドジベルは PC 鋼材の配置や間隔の制約から密に配置することができない。

本論では、スタッドジベルを密に配置することができず、床版のコンクリートと鋼桁との合成効果を完全に見込まない (非合成桁) 鋼 I 桁橋として床版更新する際の補強量の低減を図ることを目的に、弾性 FEM 解析を用いて非合成桁として床版更新を行う場合の挙動について確認した。その上で、FEM 解析を床版更新後の主桁の設計に用いた場合の効果として、格子解析による応力度に対しての低減率を示すとともに主桁の設計における課題について考察した。

2. 対象橋梁

対象橋梁は、鋼道路橋設計ガイドライン(案)が普及する以前に建設された鋼 3 径間連続非合成 I 桁橋とした。これは、曲げモーメントの小さい桁端部や交番部は上フランジ幅が狭く、床版更新時にスタッドジベルを密に配置することが難しいことを考慮した。橋梁諸元及び床版更新後の基本条件を図-1 に示す。床版は床版厚 220mm の PCa 床版で、スタッドジベルの間隔は 1.0m 間隔として非合成桁の床版更新を行うものとした。



<橋梁諸元及び床版更新後の基本条件>
 橋梁形式 : 鋼 3 径間連続非合成 I 桁橋
 設計活荷重 : B 活荷重
 幅員構成 : 断面図参照
 使用鋼材 : SM490, SS400
 PC 床版 : コンクリート $\sigma_{ck}=50\text{N/mm}^2$, 鉄筋 SD345
 スタッドジベル : $\Phi 22$, 2 本/列 (1.0m 間隔程度)
 地覆・壁高欄 : コンクリート $\sigma_{ck}=30\text{N/mm}^2$

図-1 対象橋梁の橋梁諸元及び基本条件

3. FEM 解析モデル

解析は、弾性 FEM 解析を用いて対象橋梁全体をモデル化した (図-2)。FEM 解析モデルは、実挙動を再現するため格子解析では考慮していない下横構や対傾構、床版及び壁高欄も考慮した。なお、縦横断勾配は 0% とした。主桁と床版は線形ばね要素を用いて結合し、水平ばねを変更することで、重ね梁、不完全合成桁 (実挙動を再現)、完全合成桁を再現した (CASE1~3)。不完全合成桁の水平ばねの剛性は、参考文献 1) のスタッドジベルの押抜き実験結果を参考に $2.2 \times 10^4 \text{kN/m}$ とした。

FEM 解析モデルでは、中間支点付近はコンクリートのひび割れの影響を考慮し、床版コンクリートを無視して鉄筋のみを鋼断面に考慮することとした。鋼断面とする範囲は各支間の 15%程度とした。各部材のモデル化や材料特性等の解析条件は表-1 に示す。

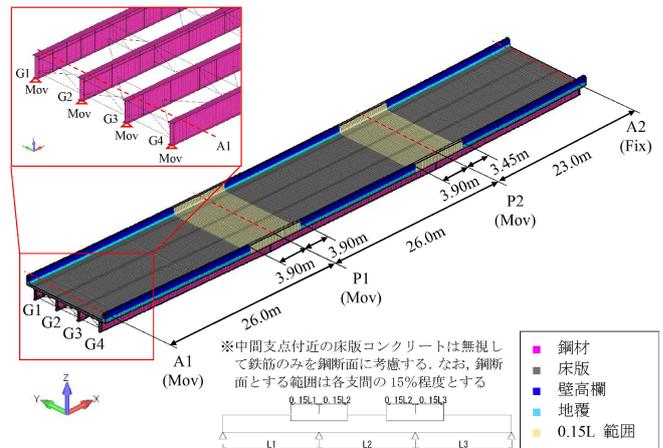


図-2 FEM 解析モデル

表-1 FEM 解析における解析条件

項目		内容				
解析方法		線形静的解析				
モデル化する部材と使用要素	床版、地覆・壁高欄	線形ソリッド要素				
	主桁・補剛材	線形シェル要素				
	対傾構・下横構	線形ビーム要素				
	スタッドジベル	線形ばね要素				
床版と主桁の線形ばね剛性	水平ばね CASE1 (重ね梁)	$1.0 \times 10^{-3} \text{ kN/m} (\approx 0)$				
	CASE2 (不完全合成)	$2.2 \times 10^4 \text{ kN/m}$				
	CASE3 (完全合成)	$1.0 \times 10^{12} \text{ kN/m} (\approx \infty)$				
ヤング係数	鉛直ばね	$1.0 \times 10^{12} \text{ kN/m} (\approx \infty)$				
	鋼部材・鉄筋	$2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$				
	床版コンクリート	$3.3 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$				
	地覆・壁高欄コンクリート	$2.8 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$				
ポアソン比	鋼部材・鉄筋	0.3				
	床版コンクリート	0.167				
支承条件	橋軸方向	橋軸直方向	鉛直方向	橋軸回り	橋軸直方向	鉛直軸回り
	可動	自由	拘束	自由	自由	自由
	固定	拘束	拘束	拘束	自由	自由

キーワード 大規模更新, 床版取替え, FEM 解析, 非合成桁, スタッドジベル, 不完全合成桁
 連絡先〒111-0041 東京都台東区元浅草 2-6-6 長大 構造事業本部 第一構造事業部 TEL 03-6860-5976

4. 検討手順と解析ケース

本検討では、対象橋梁の正曲げ最大位置（A1-P1 支間中央）と負曲げ最大位置（P1 中間支点上）の外桁と内桁の応力度を実務設計で用いられる格子解析と FEM 解析により算出し、それらを比較した。具体的には、表-2 に示す解析ケースにおいて、床版更新後死荷重（鋼重等の床版取替前の死荷重は含まない）と最も不利となる活荷重の応力度を算出し、格子非合成桁モデル【CASE0】と各ケースの応力度を比較した。FEM 解析モデルで着目位置が最も不利となる L 荷重の荷重状態は、格子非合成モデルの影響線形状より決定した（図-3）。解析ケースは、非合成桁のスタッドジベルを考慮した不完全合成桁モデル【CASE2】の挙動の傾向を確認するために、床版と主桁の水平ばねを考慮しない重ね梁モデル【CASE1】と水平ばねを限りなく大きくした完全合成桁モデル【CASE3】と比較した。

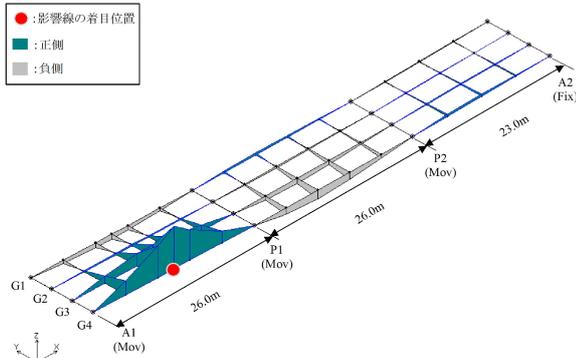


図-3 曲げモーメントの影響線形状の一例
(外桁 A1-P1 支間中央位置着目)

表-2 解析ケース

ケース名	モデル名	備考
【CASE0】	格子非合成桁モデル	実務設計
【CASE1】	重ね梁モデル	水平ばね ≈ 0
【CASE2】	不完全合成桁モデル	実挙動を再現
【CASE3】	完全合成桁モデル	水平ばね $\approx \infty$

5. 検討結果

各ケースの正曲げ・負曲げ最大位置における内桁と外桁の応力度とその比率を表-3 及び図-4 に示す。

外桁・内桁に関わらずスタッドジベルを水平ばねで考慮した【CASE2】は、正曲げ最大位置の上フランジに着目した場合、格子非合成桁【CASE0】に比べて応答が 5% 程度以下に低減され、既往の検討²⁾と同様な完全合成桁【CASE3】に近い挙動を示すことを確認した。図-4 のグラフ形状から、その他の着目位置・部材においても、重ね梁【CASE1】よりも完全合成桁【CASE3】に近い傾向が確認できる。

外桁と内桁の応力度（図-4 の実線と破線）を比較すると、外桁は内桁よりも応力度が低減されており、正

曲げ区間は負曲げ区間よりも応力度の低減が大きい。これは、外桁は壁高欄剛性により応力度が低減されることと、負曲げ区間では床版や壁高欄コンクリートの剛性を考慮していないことに起因していると思われる。

実橋の主桁の照査において、【CASE1】重ね梁モデルのような解析モデルを用いた場合でも、正曲げ区間では格子非合成桁モデルに比べて、最大 5 割程度低減されることが分かった。

表-3 各ケースの床版更新後荷重による応力度 (単位:kN)

		正曲げ最大位置			負曲げ最大位置			
		D ^{※1}	L	D+L ^{※2}	D	L	D+L	
上フランジ	外桁	【CASE0】	36	143	179 (1.00)	48	100	148 (1.00)
		【CASE1】	18	63	81 (0.45)	43	80	123 (0.83)
		【CASE2】	2	5	7 (0.04)	25	41	66 (0.45)
	【CASE3】	1	3	4 (0.02)	17	31	48 (0.33)	
	内桁	【CASE0】	26	126	152 (1.00)	30	97	127 (1.00)
		【CASE1】	19	79	97 (0.64)	30	87	117 (0.92)
【CASE2】		0	5	6 (0.04)	17	49	66 (0.52)	
【CASE3】	1	2	3 (0.02)	14	35	48 (0.38)		
下フランジ	外桁	【CASE0】	38	152	190 (1.00)	42	88	130 (1.00)
		【CASE1】	19	70	90 (0.47)	38	72	110 (0.84)
		【CASE2】	19	67	86 (0.45)	32	59	91 (0.70)
	【CASE3】	19	67	86 (0.45)	31	58	89 (0.68)	
	内桁	【CASE0】	28	137	165 (1.00)	26	84	110 (1.00)
		【CASE1】	21	84	105 (0.64)	26	75	101 (0.92)
【CASE2】		20	80	99 (0.60)	22	65	87 (0.79)	
【CASE3】	19	79	98 (0.59)	21	63	84 (0.77)		

※1 鋼重等の床版取替前の死荷重は含まない
※2 ()内はCASE0に対するD+Lの比率を示す

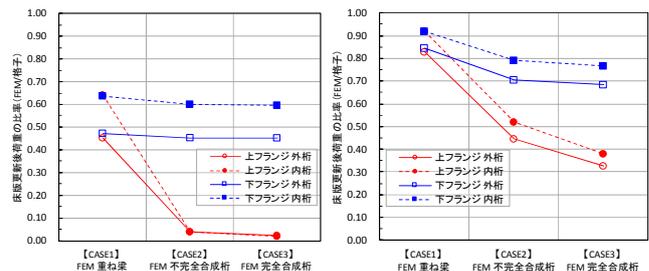


図-4 各ケース床版更新後荷重による応力度の比率 (左：正曲げ最大位置，右：負曲げ最大位置)

6. まとめ

弾性 FEM 解析によりスタッドジベルを水平ばねで考慮した場合、正曲げ区間は完全合成桁に近い挙動を示すことが確認できた。また、重ね梁モデルとしても正曲げ区間では、床版更新後荷重に対して 5 割程度の応答低減が見込めるため、実橋を再現することで補強量の低減も可能である。一方で、不完全合成桁として設計する場合には、クリープ・乾燥収縮、温度差による影響等の作用や床版作用と主桁作用の重ね合わせの影響の考慮が必要となるため、それらの評価・設計方法については今後の課題である。

参考文献

- 1) 大城壮司ら：プレキャスト PC 床版連続合成桁のずれ止めに関する実験及び解析，土木学会論文集 A1, Vol.68, No.2, 331-346, 2012
- 2) 小松定夫ら：不完全合成格子桁橋の理論と近似計算法について，土木学会論文報告集，第 329 号，1983.1