

水平補剛材を省略した曲線箱桁正曲げ終局耐荷力に関する解析的検討

大阪市立大学大学院 学生会員 足立 淳一
JFE エンジニアリング (株) 正 会 員 新井 進太郎

大阪市立大学大学院	正 会 員	山口 隆司
JFE エンジニアリング (株)	非 会 員	高尾 道明

1. はじめに

曲線箱桁橋はウェブに水平補剛材を溶接する場合、自動溶接ロボットが曲率に対応できず、手動溶接を行うため、直線箱桁橋に比べて製作コストが大きいことが課題となっている。そのため、ウェブの水平補剛材を省略した省補剛構造が求められている。

ウェブは曲げ座屈が生じないように水平補剛材が取り付けられ、フランジや補剛材により区切られたパネルとして設計される。しかし、箱桁はウェブとフランジから構成され、それらが連成する構造システム挙動により、ウェブの座屈を抑制することも可能と考えられる。

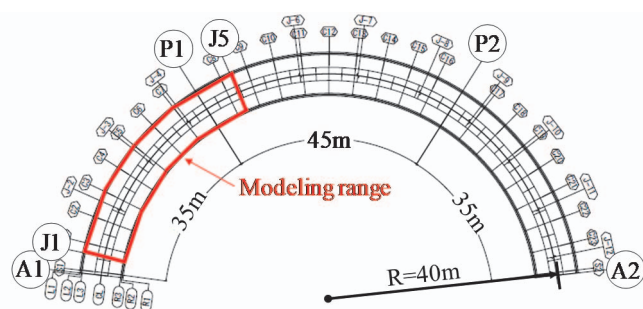
本研究では、曲線箱桁の正曲げ領域を対象に、文献 1)により検討された負曲げ領域と比較し、水平補剛材が終局耐荷力に及ぼす影響について FEM 解析により検討を行う。

2. 対象橋梁および解析モデル

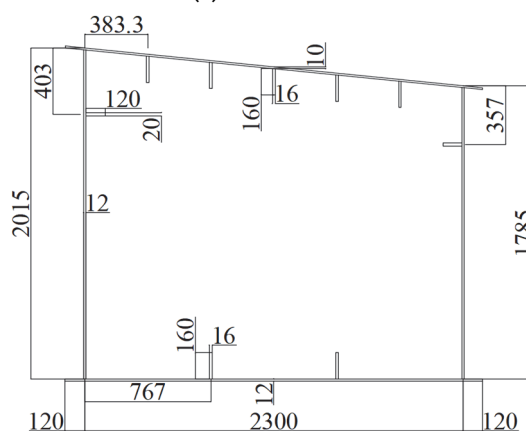
対象橋梁の一般図を Fig. 1 に、解析モデルを Fig. 2 に示す。対象橋梁は、文献 1) と同様に、支間長 35m, 45m, 35m, 幅員 7.64m, 曲率半径 $R=40\text{m}$ の鋼 3 径間連続合成箱桁橋である。モデル化範囲は、Fig. 1 (a) に示すように正曲げ領域および負曲げ領域を含む J1~J5 継手間とした。主桁、ダイヤフラム、補剛材はシェル要素で、ソールプレートは、ソリッド要素でモデル化している。鋼材は、SM490Y とし、ヤング係数 $E=2.0 \times 10^5 \text{N/mm}^2$, ポアソン比 $\nu=0.3$ とする材料特性を用いた。構成則は完全弾塑性とし、幾何学的非線形を考慮した。

解析では、前死荷重をウェブ上端に等分布荷重で表し、前死荷重による断面力を解析モデル端部の図心位置に付与し、弧長法で増加させ、その荷重倍率 α を用いて表している。境界条件は、ソールプレート下端にピン支持となるように与えている。

解析ケースを Table. 1 に示す。解析ケースは、道路橋示方書²⁾を基に設計した PB-Original と支間中央部の水平補剛材を省略した PB-E_HS の 2 ケースである。省略した水平補剛材および曲げ座屈耐荷力を算出したウェブ外側パネルを Fig. 3 に示す。



(a) Plan view



(b) Sectional view [Unit: mm]

Fig. 1 Target bridge

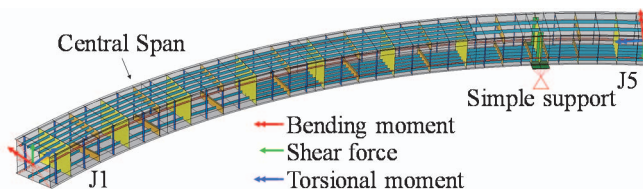


Fig. 2 FE model

Table. 1 Analytical cases

Analytical case	Remarks	Outside web	
		R_w	σ_w/σ_y
PB-Original	Designed according to the Japanese Specifications for Highway Bridges (2) (JSHB)	0.67	1.00
PB-E_HS	The horizontal stiffeners around the central span eliminated	1.50	0.44

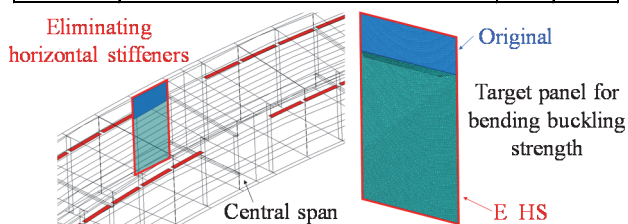


Fig. 3 E HS and target panel

キーワード 曲線箱桁，水平補剛材，終局耐荷力，支間中央

連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院 工学研究科 都市系専攻 TEL&FAX 06-6605-2765

3. 解析結果と考察

(1) 崩壊プロセス

荷重倍率 α と鉛直変位 δ の関係を Fig. 4 に、終局時の面外変位コンターを Table. 2 に示す。鉛直変位は、支間中央の上フランジ幅中央の板厚中心から出力している。図中に示す α_1 , α_2 , α_{Max} は、座屈時の荷重倍率を示しており、座屈は、面外変位発生時およびパネル表裏の橋軸方向ひずみ反転時から決定した。

これらの図表より、PB-Original では終局状態に至るまでウェブは曲げ座屈せず、上フランジの補剛板の全体座屈により終局状態に達した。PB-E_HS では、ウェブ内側および外側が曲げ座屈した後、上フランジの補剛板の全体座屈により終局状態に達した。水平補剛材の省略により、Table. 2 に示すようにウェブ内側および外側に曲げ座屈が生じ、終局耐力は 8.9%低下した。

(2) パネルの曲げ座屈耐力との比較

Table. 1 より、水平補剛材の省略により、道路橋示方書による曲げ座屈耐力は 56%低下する。しかし、解析結果の終局耐力は、Fig. 4 より 8.9%低下するのみである。これは、道路橋示方書では、ウェブはパネルとして独立して設計されているのに対し、実際は、ウェブに面外変位が生じるとそれに連成してフランジにも面外変位が生じようとする構造システム挙動がウェブの曲げ座屈を抑制しているためと考えられる。すなわち、ウェブの橋軸方向回りの回転をフランジが抑制するため、水平補剛材を省略したとしても、箱桁の終局耐力の低下量は小さいと考えられる。

(3) 終局耐力相関曲線

文献 1)により検討されたケースと本検討ケースを M/M_p と Q/Q_p の関係により比較したものを Fig. 5 に示す。図より、せん断に対して曲げの影響が大きいほど、水平補剛材省略による終局耐力の低下量は大きい。これは、曲げの影響が大きいほどウェブの曲げ座屈および圧縮フランジの補剛板の全体座屈が生じやすいためと考えられる。また、負曲げ領域のウェブでは、せん断座屈が先行して生じる可能性が高く、正曲げ領域に比べてソールプレートや横リブによりフランジの変形の拘束度が大きい。そのため、せん断座屈後、曲げ座屈が生じる前に補剛板の全体座屈が生じ、ウェブは曲げ座屈しなかったと考えられる。

4. まとめ

本研究により、得られた結果を以下にまとめる。

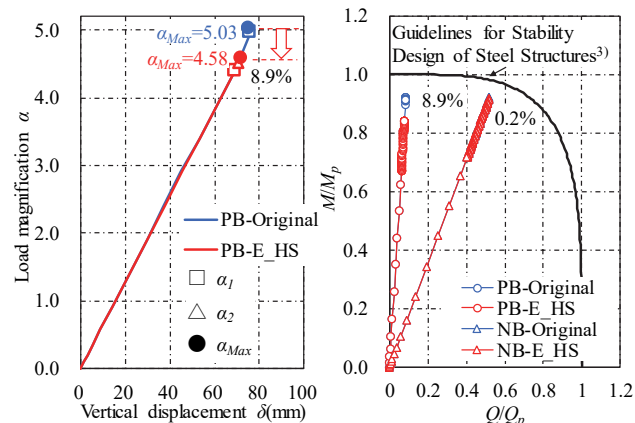


Fig. 4 α - δ curves Fig. 5 M/M_p - Q/Q_p curves

Table. 2 Out-of-plane displacement at α_{Max} [mm]

	PB-Original	PB-E_HS	Legend
W1			15 13 10 8 5 3 0 -3 -5 -8 -10 -13 -15
W2			
SP			100 79 58 38 17 -4 -25 -46 -67 -88 -108 -129 -150

- (1) 正曲げ領域では、水平補剛材の省略によりウェブに曲げ座屈が生じるが、箱断面としては、ウェブの橋軸方向回りの回転をフランジが抑制するため、その終局耐力の低下量は小さい。
- (2) 負曲げ領域では、フランジの変形の拘束度が大きく、曲げ座屈する前に補剛板の全体座屈が生じると考えられ、正曲げ領域に比べて、終局耐力の低下量は小さい。

参考文献

- 1) 足立淳一, 舟山耕平, 山口隆司, 新井進太郎, 高尾道明: 曲線箱桁橋の水平補剛材省略構造に関する解析的研究, 第74回土木学会年次学術講演会講演概要集, 2019.9.
- 2) 公益社団法人日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, II 鋼橋編, 2012.3.
- 3) 土木学会鋼構造委員会: 座屈設計ガイドライン改訂版第2版[2005年版], 2005.