

第 I 部門 水平補剛材を省略した鋼箱桁橋腹板の耐荷力に関する基礎的研究

大阪市立大学工学部 学生員 池田 未来 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) 正会員 新井 進太郎 大阪市立大学大学院 正会員 林 巖

1. 研究背景と目的

鋼箱桁橋の腹板には、一般に曲げ座屈が生じないように水平補剛材が取り付けられる。道路橋示方書¹⁾ではそれを周辺単純支持された単一のパネルとして設計するが、鋼箱桁橋には、フランジにより腹板の曲げ座屈を抑制する挙動（以下、フランジ拘束効果）を有することが示されており²⁾、鋼箱桁橋腹板を省補剛化できる可能性が高い。しかし、現時点でフランジ拘束効果の発現メカニズムは不明確であり、定量的評価に至っていない。

本研究ではその基礎的検討として、FEM 解析により鋼箱桁橋腹板の耐荷力を設計耐荷力と比較し、水平補剛材を省略した鋼箱桁橋の耐荷力に腹板の終局挙動が与える影響を検討する。

2. 対象橋梁と解析モデル

対象橋梁は、道路橋示方書¹⁾を基に設計された水平補剛材を 1 段有する連続直線鋼箱桁橋である。解析には汎用有限要素解析コード Abaqus/CAE2020 を用い、弾塑性有限変位解析を行った。図-1 に示すように、モデル化範囲は正曲げモーメントが卓越する支間中央部のダイアフラム間隔とした。フランジ、腹板、補剛材はシェル要素でモデル化した。荷重は、モデル端部の図心位置に支点を設けて境界条件を与え、作用力は強制回転角として正曲げモーメントを付与した。支点とモデル端部は一体となって動くように多点拘束しダイアフラムを表現している。構成部材の材料特性を表-1 に示す。材料構成則は完全弾塑性とした。

解析ケースは表-2 に示すように、3 つの箱桁断面において水平補剛材を 1 段有するモデル(-with stiff)と水平補剛材を省略したモデル(-without stiff)の計 6 ケースである。

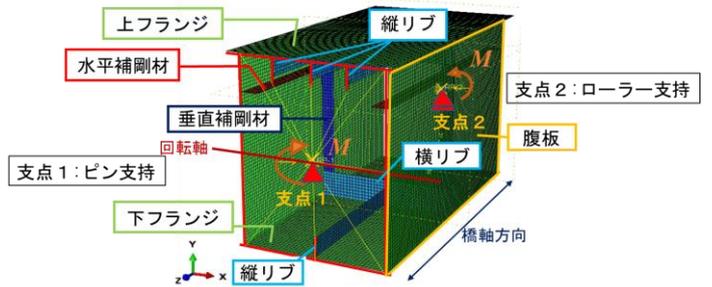


図-1 直線箱桁橋の FEM モデル

表-1 材料特性

部材	ケース名	鋼種	ヤング率 [GPa]	ポアソン比	降伏点 [MPa]
腹板, 上下フランジ, 縦リブ	C1	SM490Y	200	0.3	355(t>16)
	C2	SM570			365(t ≤ 16)
	C3	SM490Y			235(t ≤ 16) 245(t ≤ 16) 450(t > 16) 460(t ≤ 16)
横リブ, 水平補剛材, 垂直補剛材	C1	SM400	200	0.3	235(t > 16)
	C2				245(t ≤ 16)
	C3				245(t ≤ 16)

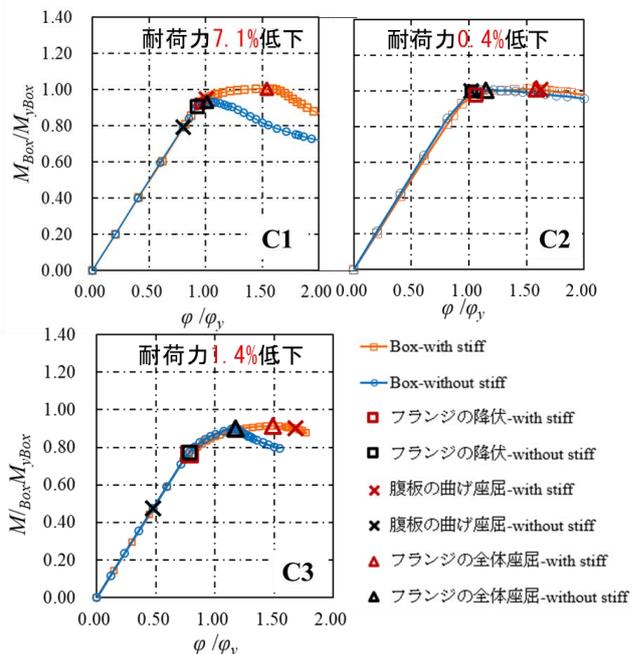


図-2 箱桁橋の荷重-曲率関係

表-2 解析ケースとその設計耐荷力

ケース名	t_w	t_{uf}	α	R_w	$M_{w,d}/M_{yWeb}$	R_s	M_{crs}/M_{yBox}	I_{Web}/I_{Box}	e/h
C1-with stiff	14	18	4.77	0.83	0.85	0.57	0.93	16.3%	0.48
C1-without stiff			0.95	1.89	0.29				
C2-with stiff	17	37	3.78	0.74	1.00	0.34	1.00	12.5%	0.50
C2-without stiff			0.76	1.69	0.35				
C3-with stiff	12	13	2.86	0.82	0.87	0.69	0.81	18.1%	0.44
C3-without stiff			0.57	1.89	0.30				

t_w : 腹板の板厚[mm]
 t_f : 圧縮フランジの板厚[mm]
 R_w : 腹板の曲げ座屈パラメータ
 $M_{w,d}/M_{yWeb}$: 腹板の設計耐荷力
 R_s : 圧縮フランジ補剛材の局部座屈パラメータ
 M_{crs}/M_{yBox} : 圧縮フランジ補剛材の設計耐荷力
 α : アスペクト比
 I_{Web} : 腹板の抵抗断面 2 次モーメント[mm⁴]
 I_{Box} : 箱桁の抵抗断面 2 次モーメント[mm⁴]
 e : 腹板上端から中立軸高さまでの距離[mm]
 h : 腹板高さ[mm]

Miku Ikeda, Takashi Yamaguchi, Shintaro Arai, Gen Hayashi, miked@brdg.civil.eng.osaka-cu.ac.jp

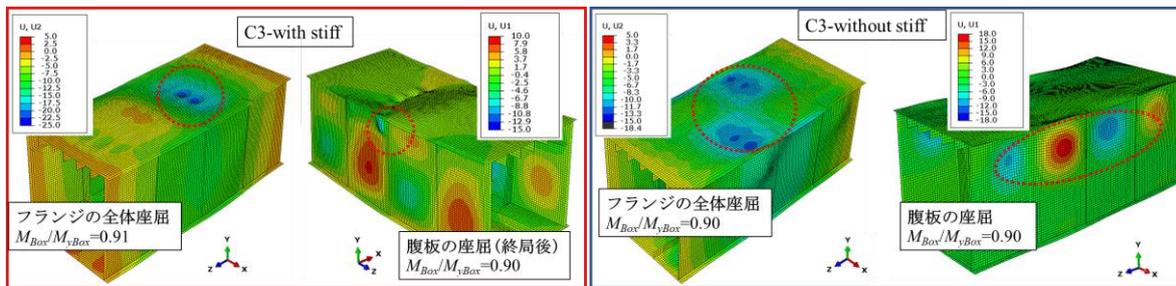


図-3 座屈時の面外変位コンター (C3, 単位 : mm)

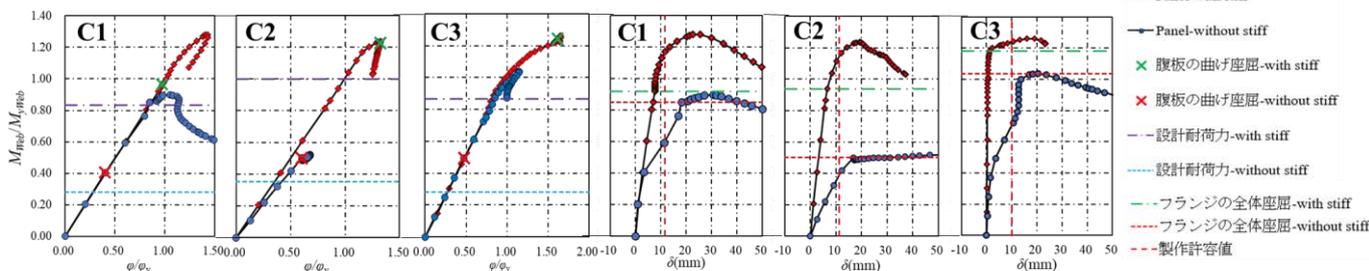


図-4 腹板パネルの荷重-曲率関係, 荷重-面外変位関係

表-3 座屈強度および耐荷力 (解析結果)

ケース名	(a) 鋼箱桁橋			(b) 箱桁橋の腹板パネル		
	Buckling Mode1	M_{Box}/M_{yBox}	Buckling Mode2	M_{Box}/M_{yBox}	M_{w_w}/M_{yWeb}	M_{max_w}/M_{yWeb}
C1-with stiff	腹板の曲げ座屈	0.95	フランジ補剛板 (全体座屈)	1.00	0.96	1.27
C1-without stiff	腹板の曲げ座屈	0.79	フランジ補剛板 (全体座屈)	0.93	0.40	0.89
C2-with stiff	フランジ補剛板 (全体座屈)	1.00			1.23	1.23
C2-without stiff	腹板の曲げ座屈	1.00	フランジ補剛板 (全体座屈)	1.00	0.50	0.50
C3-with stiff	フランジ補剛板 (全体座屈)	0.91			1.24	1.26
C3-without stiff	腹板の曲げ座屈	0.90	フランジ補剛板 (全体座屈)	0.90	0.49	1.03

3. 解析結果と考察

3.1 鋼箱桁橋の座屈強度と耐荷力

図-2 に箱桁橋の荷重-曲率関係を、表-3 に各解析ケースの座屈強度および耐荷力を示す。表-3(a)の赤字は最大荷重時の座屈モードである。図-3 に座屈時の面外変形コンターを示す。

表-3(a)より、水平補剛材を有する場合、箱桁断面形状によらずフランジ補剛板の全体座屈により終局に至った。水平補剛材を省略すると、全てのケースでフランジに先行して腹板の曲げ座屈(図-2×印)が発生したが、水平補剛材を有する場合に対して耐荷力の低下率は10%以下にとどまった。

3.2 鋼箱桁橋の腹板の耐荷力

図-4 に鋼箱桁橋の腹板パネルの荷重-曲率関係、荷重-面外変位関係を示す。腹板の作用モーメント M_{Web} は各積分点の応力に要素断面積と中立軸からの距離を乗じて算出し、断面曲率 ϕ は腹板上下縁の橋軸方向ひずみから算出した。

表-3(b)より、腹板の曲げ座屈強度 M_w / M_{yWeb} (図-4×印)はC2, C3, C1の順に大きく、腹板の設計耐荷力 M_{w_d} / M_{yWeb} の大小関係と一致した。

水平補剛材の省略により全てのケースで腹板の耐荷力 M_{max_w} / M_{yWeb} が低下するが、その大きさは設計耐荷力の1.4~3.4倍であった。腹板の曲げ座屈強度 M_w と耐荷力 M_{max_w} の差は、C2ではほとんどないが、C1, C3では約2倍の後座屈強度を有した。これより、腹板厚 t_w に対してフランジ厚 t_f が相対的に大きいほど、腹板の耐荷力にフランジや垂直補剛材の拘束が及ぼす影響は小さいと考えられる。

腹板の耐荷力と設計耐荷力との比率 M_{max_w} / M_{w_d} はC3, C1, C2の順に大きく、腹板圧縮縁から中立軸までの距離と腹板高さの比 e/h が小さいほど大きい。これより、 e/h が小さいほど腹板はフランジや垂直補剛材による拘束の影響を受けやすく耐荷力が向上したと考えられる。

4. まとめ

- (1) 本研究で対象とした、道路橋示方書¹⁾に従い設計された鋼箱桁橋の水平補剛材を省略すると、腹板の耐荷力は低下するが、設計耐荷力の1.4~3.4倍を有し、鋼箱桁橋の耐荷力の低下率は10%以下であった。
- (2) 水平補剛材を省略した腹板の耐荷力には、腹板とフランジの相対的な板厚差と、腹板圧縮縁から中立軸までの距離と腹板高さの比で表現される圧縮領域の大きさが影響していると考えられる。

参考文献

- 1) 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, 2017
- 2) 足立淳一, 山口隆司, 新井進太郎, 高尾道明: 鋼箱桁橋の水平補剛材が終局挙動に及ぼす影響に関する解析的研究, 構造工学論文集, Vol.67A, 2021
- 3) 中井博, 北田俊行: 鋼橋設計の基礎, 共立出版, 1992.
- 4) 土木学会鋼構造委員会: 座屈設計ガイドライン改訂第2版 [2005年版]