

鋼箱桁橋腹板の曲げ座屈を再現するフランジ辺の境界条件に関する基礎的研究

大阪公立大学大学院 学生会員 ○池田 未来 大阪公立大学大学院 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 大阪公立大学大学院 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）を有することが示唆されており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、定量的な評価には至っていない。

本研究では、FEM 解析により水平補剛材を省略した鋼箱桁橋腹板の曲げ座屈を、フランジ辺を拘束したパネルで再現し、鋼箱桁橋腹板が有するフランジ拘束効果の定量的評価を試みる。

2. 解析モデルと解析ケース

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とした。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。

2.1 腹板パネルモデル

2.2 で示す鋼箱桁橋モデルの腹板を取り出したパネルモデルを図-1 に示す。パネルは低減積分シェル要素でモデル化し、メッシュサイズは1辺50mmとした。構成部材の材料特性を表-2 に示す。材料構成則は完全弾塑性とした。パラメータは表-1 に示すフランジ辺の境界条件とした。具体的には周辺単純支持とした SS、フランジ辺の橋軸回りの回転をばね拘束した UR_x-K、完全拘束した UR_x-FIX、フランジの橋軸方向変位をばね拘束した U_x-K、UR_x-FIX と U_x-K を組み合わせた UR_x-U_x-K の5つの境界条件で検討した。

2.2 鋼箱桁橋モデル

図-2 に示すように、鋼箱桁橋モデルは支間中央部のダイアフラム間隔をモデル化した。材料特性・メッシュサイズ等のモデル化手法はパネルモデルと同様である。モデル端部の図心位置に支点を設けて単純支持となるように境界条件を与え、作用力は支点に強制回転角と

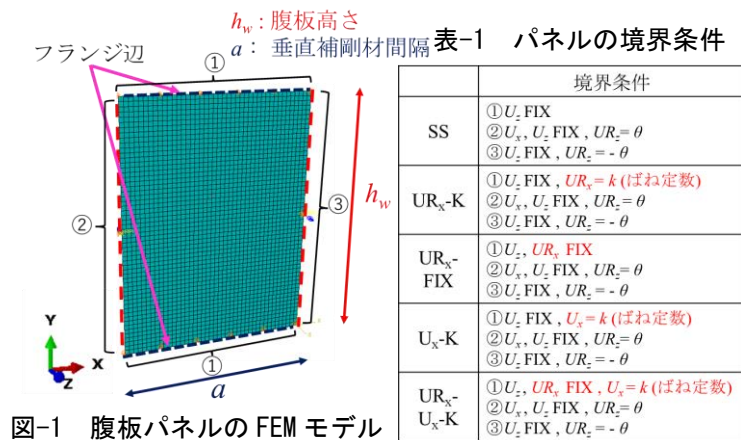


図-1 腹板パネルの FEM モデル

表-2 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	A	SM490Y	200	0.3	355(t > 16) 365(t ≤ 16)
	B	SM570			235(t > 16) 245(t ≤ 16)
横リブ, 水平補剛材, 垂直補剛材	A	SM400	200	0.3	235(t > 16) 245(t ≤ 16)
	B				235(t > 16) 245(t ≤ 16)

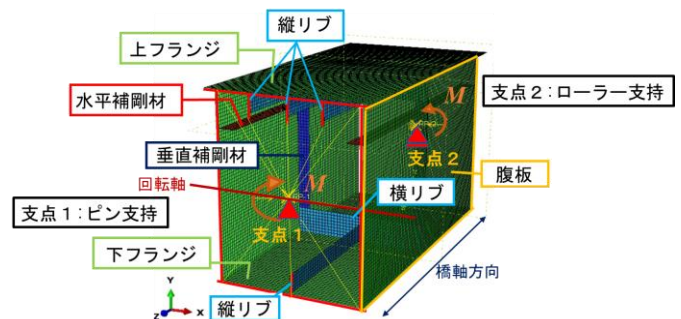


図-2 直線箱桁橋の FEM モデル

表-3 鋼箱桁橋モデルの解析ケースとその設計耐荷力

ケース名	t _w	t _{uf}	h _w	α	R _w	M _{w,d} /M _{yweb}	I _{Web} /I _{Box}	e/h _w
A	14	18	2882	0.95	1.89	0.29	16.3%	0.48
B	17	37	2814	0.76	1.69	0.35	12.5%	0.50

t_w: 腹板の板厚[mm]
 t_f: 圧縮フランジの板厚[mm]
 h_w: 腹板高さ[mm]
 R_w: 腹板の曲げ座屈パラメータ
 M_{w,d}/M_{yweb}: 腹板の設計曲げ座屈耐荷力
 α = a/h_w: 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]

して、正曲げモーメントを付与した。

解析ケースは表-3 に示すように、2つの箱桁断面において水平補剛材を省略したモデルの2ケースである。

キーワード 鋼箱桁橋 腹板 水平補剛材 曲げ座屈耐荷力 境界条件
 連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪公立大学大学院 工学研究科 都市系専攻 TEL&FAX 06-6605-2765

3. 解析結果と考察

3.1 境界条件が腹板パネルの曲げ座屈に与える影響

A のパネルモデルについて、境界条件を SS, UR_x-FIX, U_x-K と変化させた時の荷重 - 曲率関係 $M_{web}/M_{yweb} - \phi/\phi_y$ を図-3 に、荷重 - 面外変位関係 $M_{web}/M_{yweb} - \delta$ 関係を図-4 に示す。

フランジ辺の橋軸方向回りの回転を拘束した UR_x-FIX は SS に対して耐力が 19% 向上し、面外変位も抑制されている。図-5 に鋼箱桁橋腹板とパネルの耐力時の直応力コンターを示す。図-5 より、UR_x-FIX では、圧縮フランジ辺に作用する直応力が端部と中央部で不均等な分布となっており、座屈による面外変位が圧縮フランジ辺で抑制されるためと考えられる。この応力性状は鋼箱桁橋モデルの腹板にも見られ、これによりフランジによる回転拘束の影響から耐力が向上したと考えられる。

圧縮フランジ辺の橋軸方向変位をばね拘束した U_x-K は、導入するばね定数の大きさを $k=10^5, 2 \times 10^5$ [N/mm] と大きくすると、面外変位の抑制効果は UR_x-FIX に比べて小さいものの、耐力はそれぞれ 16%, 31% 向上した。これは、圧縮フランジ辺に作用する圧縮応力をばねが一部分担し、パネルの曲げ座屈発生後から材料降伏に至るまでの座屈後耐力が向上したためと考えられる。

3.2 鋼箱桁橋モデルの腹板とパネルモデルの比較

図-6 に鋼箱桁橋モデルの腹板とパネルモデルの $M/M_y - \phi/\phi_y$ 関係、 $M/M_y - \delta$ 関係の比較を示す。

図-6 より、A の場合、箱桁橋モデルの腹板は SS の 1.39 倍の耐力を有し、パネルモデルの境界条件に UR_x-U_x-K($k=10^5$ [N/m]) を導入することで耐力および $M/M_y - \delta$ 関係が概ね一致した。B の場合、箱桁橋モデルの腹板の耐力は SS の 1.14 倍であり、拘束度は UR_x-FIX よりも小さく、UR_x-K($k=10^8$ [N・m/rad]) を導入することで耐力および $M/M_y - \delta$ 関係が概ね一致した。

4. まとめ

- (1) 本解析で対象とした水平補剛材を省略した鋼箱桁橋モデルの腹板は、周辺単純支持のパネルモデルに対し 1.14~1.39 倍の耐力を有し、線形範囲における荷重-曲率関係および荷重-面外変位関係の傾きも小さい。
- (2) パネルモデルのフランジ辺の橋軸周りの回転を拘束すると、曲げ座屈による面外変位が抑制され耐力が向上する。

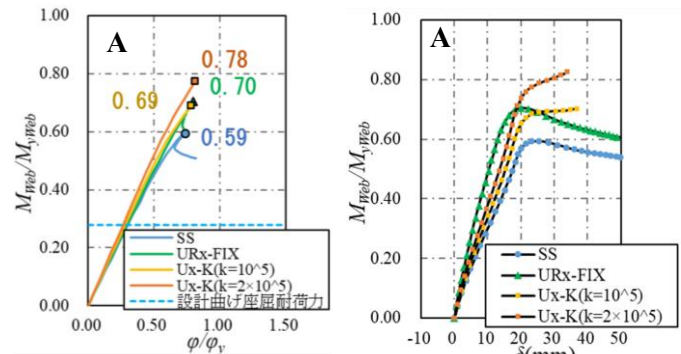


図-3 荷重-曲率関係

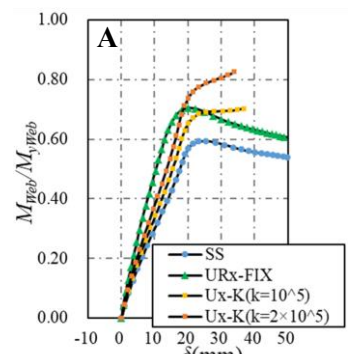


図-4 荷重-面外変位関係

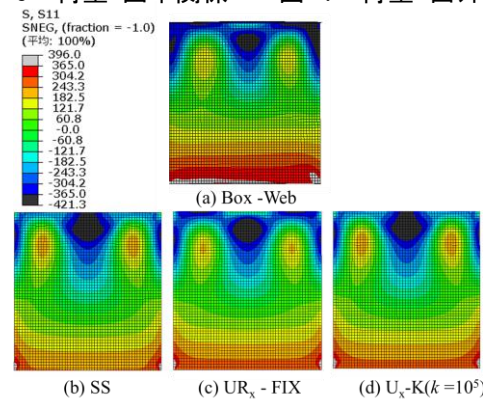


図-5 鋼箱桁橋腹板とパネルの耐力時の直応力コンター(ケース A の例)

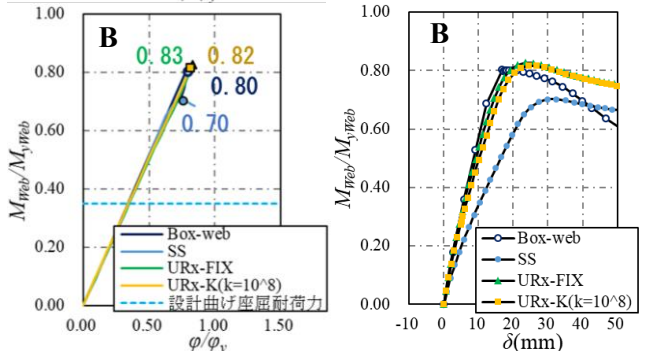
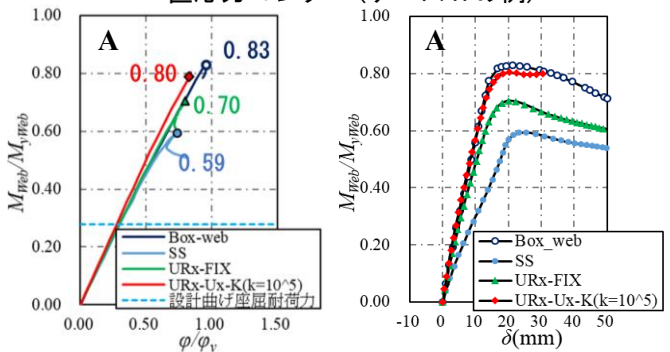


図-6 鋼箱桁橋モデルの腹板とパネルモデルの比較

(3) パネルモデルのフランジ辺の橋軸方向変位をばね拘束すると、パネル圧縮辺に作用する圧縮応力をフランジが一部分担する効果を再現できるが、面外変位を抑制する効果は小さい。

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]