

鋼箱桁橋のフランジが腹板の曲げ座屈耐力に与える影響に関する解析的研究

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パネルとして設計するが、鋼箱桁橋には、フランジの拘束が腹板の曲げ座屈を抑制する挙動を有することが確認されており²⁾、腹板の水平補剛材を省略することが可能である。しかし、現時点でフランジの拘束が水平補剛材を省略した箱桁の腹板の曲げ座屈耐力に与える影響は不明確であり、拘束度の定量的評価には至っていない。

本研究では、水平補剛材を省略した箱桁とその腹板を模擬したパネルモデルの FEM 解析を実施した。箱桁の腹板とパネルモデルの曲げ座屈耐力を比較することで、フランジの諸元が箱桁腹板の曲げ座屈耐力に与える影響を明らかにすることを試みた。

2. 解析モデルと解析ケース

解析ケースを表 1 に示す。解析ケースは道路橋示方書¹⁾を基に水平補剛材 1 段で設計された従来箱桁 3 橋と細幅箱桁 3 橋から、フランジの構造パラメータが腹板の曲げ座屈耐力に与える影響に着目するため、水平補剛材を省略した上で、圧縮フランジの板厚を変え

るなど、構造パラメータを変化させている。ケース名の C, N は箱桁タイプを表している。

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。

2.1 箱桁モデル

図 1 に示すように箱桁モデルは支間中央部のダイアフラム間をモデル化した。主桁および補剛材は 4 節点低減積分シェル要素でモデル化し、腹板、フランジを幅方向に 20 分割以上とし、50mm×50mm で要素分割した。解析に用いた材料特性を表 2 に示す。鋼材の構成則は完全弾塑性とし、幾何学的非線形を考慮した。境界条件は図 1 のようにモデル端部の図心に設けた支点到単純支持となるように与え、支点到強制回転角を付与して正曲げ载荷を行った。支点和モデル端部の全節点は剛体結合することでダイアフラムを模擬している。

2.2 パネルモデル (周辺単純支持板)

箱桁の腹板を模擬したパネルモデルとその境界条件を図 2 に示す。材料特性・要素分割等のモデル化手法は箱桁モデルと同様である。荷重は载荷辺の図心に強制回転角を付与して正曲げ载荷を行った。図心は、箱桁モデルの中立軸位置と同じとしている。

表 1 解析ケース

箱桁タイプ	解析ケース	t_w	t_{uf}	t_{lf}	a/h_w	a/b_{uf}	R_w	R_f	σ_{crw}/σ_y	σ_{crf}/σ_y	e/h_w
Cタイプ (従来箱桁)	C1-UF(18)	14	18	18	0.95	0.98	1.89	0.57	0.29	0.93	0.48
	C1-UF(25)	14	25	18	0.95	0.98	1.89	0.41	0.30	1.00	0.43
	C2-UF(37)	17	37	49	0.76	1.06	1.69	0.34	0.35	1.00	0.50
	C2-UF(28)	17	28	49	0.76	1.06	1.69	0.45	0.34	1.00	0.54
	C3-UF(13)	12	13	11	0.57	0.59	1.89	0.68	0.30	0.82	0.44
	C3-UF(19)	12	19	11	0.57	0.59	1.89	0.47	0.32	1.00	0.40
Nタイプ (細幅箱桁)	N1-UF(33)	21	33	33	1.00	1.61	1.25	0.60	0.64	0.90	0.50
	N1-UF(40)	21	40	33	1.00	1.61	1.25	0.50	0.66	1.00	0.47
	N2-UF(33)	16	33	51	0.45	0.89	1.80	0.57	0.29	0.93	0.56
	N2-UF(28)	16	28	51	0.45	0.89	1.80	0.67	0.29	0.83	0.58
	N3-UF(47)	13	47	50	0.75	1.67	1.88	0.28	0.28	1.00	0.50
	N3-UF(33)	13	33	50	0.75	1.67	1.88	0.40	0.27	1.00	0.55

○：圧縮フランジの板厚[mm]
■：基本ケースの圧縮フランジの板厚を変更したケース

表 2 材料特性

部材	鋼種	ヤング率E [GPa]	ポアソン比ν	降伏点 σ_y [MPa]
腹板 上下フランジ 縦リブ	SM490Y	200	0.3	355($t > 16$) 365($t \leq 16$)
	SM570			450($t > 16$) 460($t \leq 16$)
	SM400			235($t > 16$) 245($t \leq 16$)

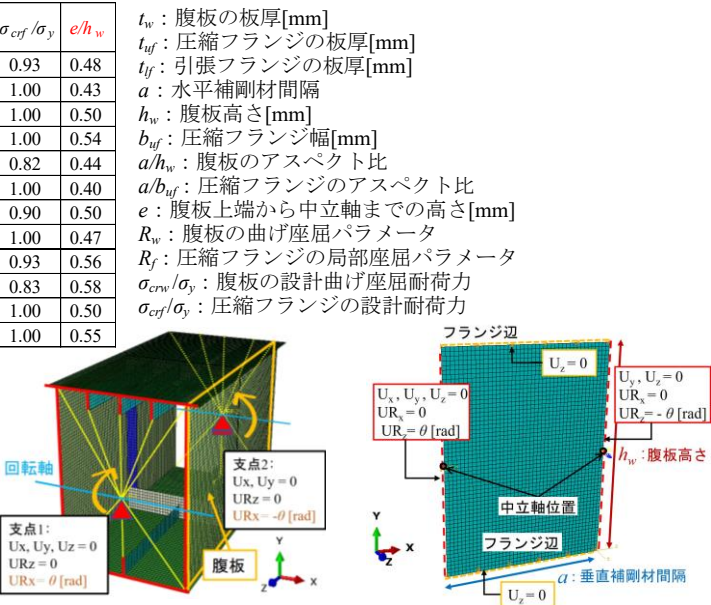


図 1 箱桁モデルの境界条件

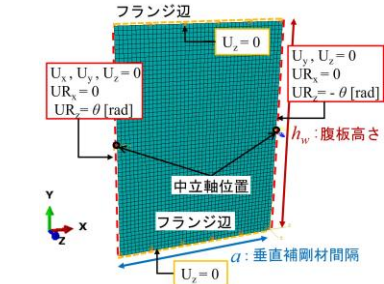


図 2 パネルモデルの境界条件

キーワード 鋼箱桁橋 腹板 曲げ座屈耐力 水平補剛材 周辺単純支持板 フランジ
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 腹板の曲げ座屈耐荷力の比較

箱桁モデルの腹板(Box-web)とパネルモデル(SS-Panel)の $M_{Web}/M_{yWeb} - \phi/\phi_y$ 関係および $M_{Web}/M_{yWeb} - \delta/\delta_0$ 関係の例を図3に示す。ここに、 M_{Web} は腹板の作用曲げモーメント、 ϕ は曲率、 M_{yWeb} は降伏曲げモーメント、 ϕ_y は降伏曲率、 δ は腹板の面外変位、 δ_0 は面外変位の製作許容値である。腹板の曲げ座屈耐荷力は最大荷重 M_{max}/M_{yWeb} とした。 M_{max} は M_{Web} の最大値である。

図3より、Box-webはSS-Panelより高い曲げ座屈耐荷力を有し、面外変位も小さい。図3に示す2ケースは腹板の曲げ座屈パラメータ R_w が等しく、SS-Panelの曲げ座屈耐荷力はほぼ同じである。一方、Box-webの曲げ座屈耐荷力はフランジ厚の違いによって大きく異なり、 $M_{max}/M_{yWeb} > 1.0$ となるケースもみられた。

3.2 箱桁腹板の曲げ座屈耐荷力に影響を与えるフランジの構造パラメータ

図4に、3.1の結果より得られたBox-webの曲げ座屈耐荷力 $M_{max-Box-web}$ とSS-Panelの曲げ座屈耐荷力 $M_{max-SS-Panel}$ の比 R_{imp} と、圧縮フランジの局部座屈パラメータ R_f 、圧縮フランジと腹板の板厚比 t_{uf}/t_w 、および腹板高さに対する腹板の圧縮縁から中立軸までの距離の比 e/h_w の関係を示す。また、曲げ座屈耐荷力時の腹板のひずみ分布の例を図5に示す。

図4より、 R_f と t_{uf}/t_w は R_{imp} との間に明確な相関は見られないが、 e/h_w と R_{imp} には負の相関がみられる。これは e/h_w が小さいほど腹板の圧縮領域が小さく、曲げ座屈耐荷力が高くなるためと考えられる。

また、図4(c)より、 e/h_w が等しいケースを比較すると、 $R_w > 1.7$ のケース(○, □印)の方が $R_w = 1.25$ (△印)のケースよりも R_{imp} が大きい。これは R_w が大きいほど曲げ座屈による面外変形が大きく、図5に示すようにフランジのないSS-Panelでは中立軸が下がりやすい。一方、Box-webは中立軸がフランジの諸元に支配されるため、腹板に曲げ座屈が生じたとしても中立軸が下がりにくい。したがって、箱桁の腹板は R_w が大きいほど e/h_w の影響を受けやすく、設計よりも高い曲げ座屈耐荷力を有すると考えられる。

4. まとめ

(1)本研究で対象とした水平補剛材を省略した箱桁の腹板は周辺単純支持よりも高い曲げ座屈耐荷力を有し、両者の曲げ座屈耐荷力の比 R_{imp} は腹板高さに対する腹

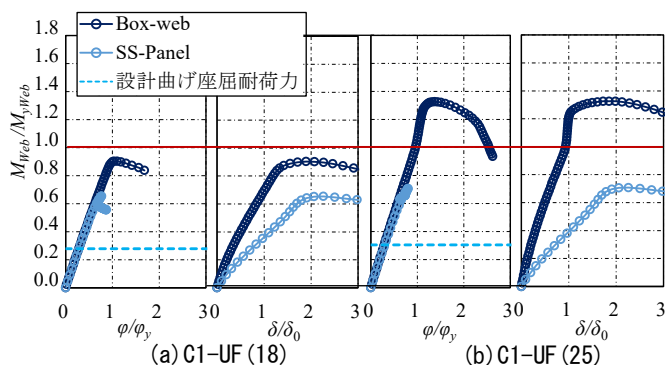


図3 腹板の荷重－曲率関係と荷重－面外変位関係

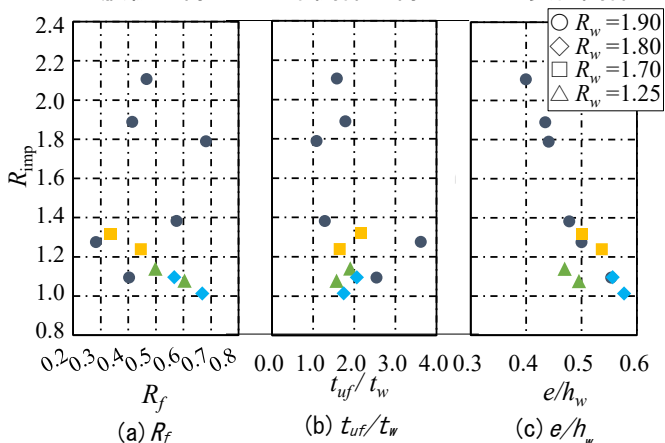


図4 箱桁の腹板とパネルモデルの曲げ座屈耐荷力の比 R_{imp} とフランジの構造パラメータの関係

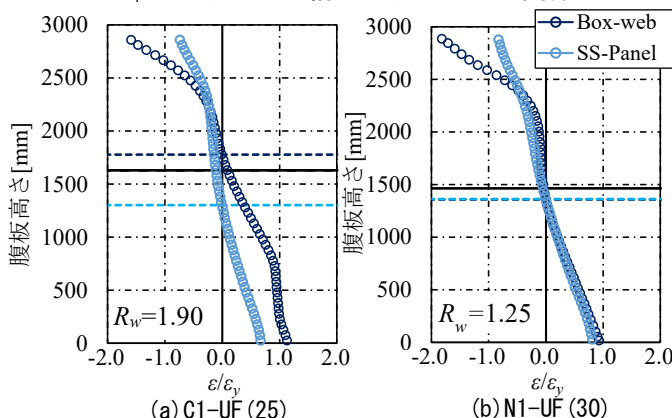


図5 曲げ座屈耐荷力時の腹板のひずみ分布
 板の圧縮縁から中立軸までの距離の比 e/h_w の影響を受けて1.0～2.1倍に変化する。

板の圧縮縁から中立軸までの距離の比 e/h_w の影響を受けて1.0～2.1倍に変化する。

(2)箱桁では中立軸がフランジの諸元に支配されるため、腹板に曲げ座屈が生じたとしても、周辺単純支持板と比較して中立軸が下がりにくい。よって、腹板の曲げ座屈による面外変形が大きい薄い腹板ほど、中立軸の影響を受けやすく、箱桁の腹板と周辺単純支持板の曲げ座屈耐荷力の比 R_{imp} が大きい。

参考文献

- 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
- 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