第 I 部門

曲率を有する板パネルの曲げ座屈耐荷力に関する解析的研究

大阪市立大学工学部　学生員　足立　淳一
大阪市立大学工学院　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
JFE エンジニアリング（株）　正会員　高尾　道明

1. はじめに

都市における高架橋は，その立地条件より，水平面内に曲率を有する曲線橋が採用される機会が多い．しかし，曲線橋は，腹板に水平補剛材を溶接する場合，曲率の影響で工場での自動溶接ロボットが使用できず，手動溶接を行うため，直線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．そのため曲線橋において腹板の水平補剛材を省略した省補剛構造の提案が求められている．

曲げを受ける曲線桁腹板の曲げ座屈耐荷力に関する研究としては，中井 [1),2)]らによる研究が挙げられる．これらの研究は，曲げ座屈耐荷力に及ぼす曲率やアスペクト比の影響に着目しているが，フランジの拘束度を変化させた検討は十分なされていない．

本研究では，曲線橋における腹板の水平補剛材を省略した省補剛構造の提案に先立ち，曲率を有した板パネルの曲げ座屈耐荷力を幅厚比，曲率，アスペクト比，境界条件をパラメータとして弾塑性有限変位解析および座屈固有値解析により明らかにすることを試みた．

2. 解析モデルおよび解析条件

2.1 解析モデル

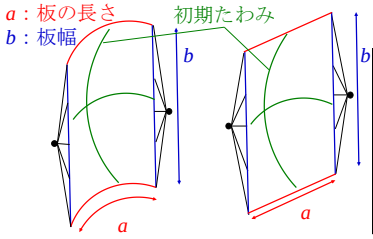
解析モデルを**図- 1** に示す．解析は，Abaqus6.14 を使用し，曲率を有する板パネルをシェル要素で作成した．シェル要素の要素サイズは，10mm×10mm の正方形を基本として要素分割を行った．**表- 1** に示すように鋼材は SM490Y としている．構成則は，完全弾塑性とし，幾何学的非線形を考慮している．荷重は曲げモーメントを作用させるため，強制回転角を与えた．

境界条件は，**図- 2** に示すように，SS は周辺単純支持板となるようにモデル化し，IG はフランジによる拘束を想定し，板パネルに座屈が発生しにくい幅厚比パラメータが 0.44 のフランジを取付けた．

本解析では初期たわみに 1 次モードの sin 波を導入している．初期たわみの最大値は，文献 3)を参考に $b/150$ とした．初期たわみ波形と曲率による面外たわみの方向は同様に設定している．

2.2 解析ケース

解析ケースを**表- 2** に示す．着目したパラメータは，曲率半径，幅厚比パラメータ，アスペクト比，境界条件であり，これらが曲げ座屈耐荷力に与える影響を検討する．曲率半径およびアスペクト比は，曲線箱桁橋の実績調査 [4)]から最も設計されている事例で検討を行うこととし，曲率半径は R=∞，300m，200m，100m，40m，アスペクト比は，SS のケースでは α=1.00，IG のケースでは文献 [1)]との比較のため，α=1.00，0.50 とした．



(a)　曲率あり　(b)　曲率なし

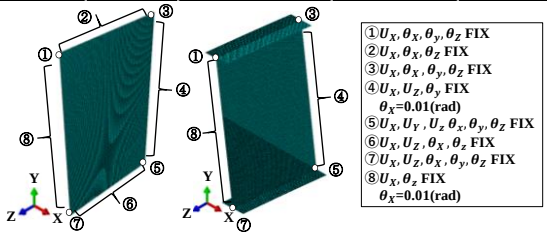
図- 1　解析モデル

表- 1　材料特性

材質	SM490Y
ヤング係数 E (GPa)	200
降伏点 σ_y(MPa)	355
ポアソン比μ	0.3

表- 2　解析ケース

Case	曲率半径 R (m)	幅厚比パラメータ R_γ	アスペクト比α	境界条件
SS	∞,300,200,100,40	0.5,1.00,1.50	1.00	SS
IG	40	1.50	0.50,1.00	IG



(a)　SS　　(b)　IG

図- 2　境界条件

3. 解析結果と考察

3.1　曲率の影響

図- 3 に，ケース SS の場合の曲げ座屈耐荷力を示す．曲率半径に関わらず，曲げ座屈耐荷力はほとんど変化せず，文献 5)による残留応力を考慮した周辺単純支持板の曲げ座屈耐荷力の平均値曲線と概ね一致していた．

図- 4 には，曲率半径と曲げ座屈耐荷力の関係を幅厚比パラメータごとに示している．図より，曲率半径が小

Junichi Adachi, Takashi Yamaguchi, Shintaro Arai, Michiaki Takao
adachi@brdg.civil.eng.osaka-cu.ac.jp

さいほど板パネルの曲げ座屈耐荷力は小さくなっている．しかし，最大でも約 5%低下するのみで，その差は小さい．また，幅厚比パラメータが大きいほど，曲率半径に対する曲げ座屈耐荷力の低下の割合が大きい．さらに，R∞から R100 に比べて，R40 の曲げ座屈耐荷力は大きく低下している

図− 5 に座屈固有値解析による固有値と曲率半径の関係を示す．図より，曲率半径が小さいほど，曲げ座屈耐荷力は大きい．座屈固有値解析による結果と弾塑性有限変位解析の結果で，曲率半径と曲げ座屈耐荷力の関係が異なるのは，弾塑性有限変位解析で設定した初期たわみ波形が座屈モードと異なるためと考えられる．また，幅厚比パラメータが大きいほど，曲率半径に対する曲げ座屈耐荷力の増分が大きくなっている．特に，幅厚比パラメータが 1.5 の場合，R40 の曲げ座屈耐荷力は R∞に比べて，約 40%大きい．

3.3　アスペクト比の影響

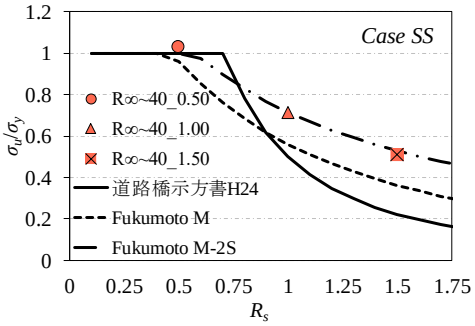
図− 6 に，文献 1)による実験結果と本研究の解析結果を示す．実験桁は曲線 I 桁であることからケース IG と比較する．実験と解析はともに，アスペクト比 0.50 の桁よりもアスペクト比 1.00 の桁の方が，曲げ座屈耐荷力は小さい．アスペクト比 0.50 と 1.00 では，R10 の実験桁の場合は，曲げ座屈耐荷力は約 60%異なり，R30 の実験桁の場合は，約 40%異なり，R40 の解析結果では約 10%異なる．実験で用いられたフランジの幅厚比パラメータは，0.33 であり，文献 1)による実験結果と本研究の解析結果において，アスペクト比によって曲げ座屈耐荷力の低下率が変化するのは，実験と解析のフランジによる拘束度の違いが影響していると考えられる．

4.　まとめ

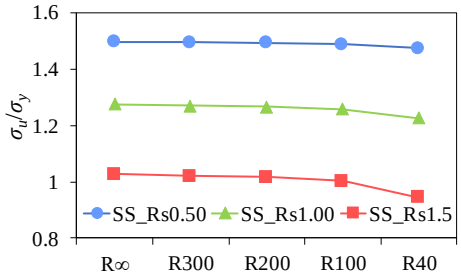
本研究では，曲率を有する板パネルに，曲げモーメントを作用させた場合の曲げ座屈耐荷力を弾塑性有限変位解析および座屈固有値解析により検討した．得られた結果を以下に示す．

1)　アスペクト比が 1.00 の場合，曲率半径 40m を有する板パネルの曲げ座屈耐荷力は，曲率なしの板パネルと比べて約 5%低下するが，その差は小さい．

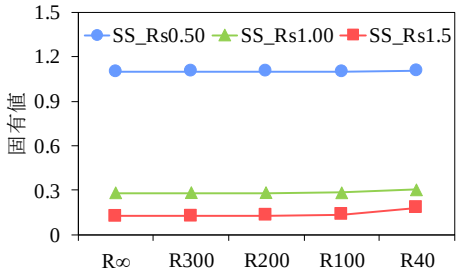
2)　初期たわみ波形と曲げによる面外たわみの方向が同じ場合，曲率半径が小さくなるほど曲げ座屈耐荷力は小さくなった．一方，初期たわみ波形と曲げによる面外たわみの方向が逆の場合，曲率半径が小さくなるほど曲げ座屈耐荷力は大きくなった．



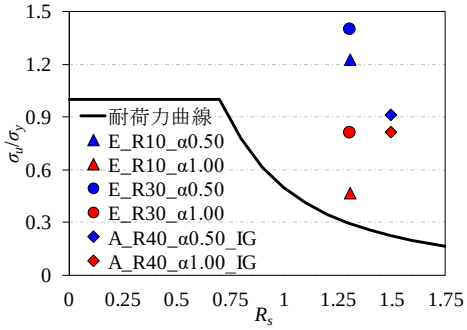
図− 3　耐荷力曲線



図− 4　最大耐荷力と曲率半径の関係



図− 5　曲げ座屈耐荷力と曲率半径の関係



図− 6　文献 [1] との比較

3)　フランジの拘束度が大きいほど，アスペクト比 0.50 と 1.00 の板パネルの曲げ座屈耐荷力の差が小さくなっており，アスペクト比の影響は小さくなる．

今後の課題としては，曲線箱桁橋の終局耐荷力および腹板の曲げ座屈耐荷力に及ぼす曲率の影響について，検討を行う予定である．

参考文献

1)　阪神高速道路公団財団法人災害科学研究所：昭和55年度報告書曲線桁橋腹板の曲げ耐荷力に関する研究,1980.

2)　中井博, 北田俊行, 大南亮一, 川井正: 曲げを受ける曲線桁橋腹板の解析と設計に関する一研究, 土木学会論文集, 第 368 号/I-5,1986.4

3)　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.

4)　大阪市立大学工学部橋梁工学研究室，阪神高速道路公団工務部設計室：曲線箱桁橋の実績調査報告書

5)　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,2005.10