

繰り返し荷重を受けて座屈した鋼板要素の強度特性に関する基礎的研究

四国電力 正会員 ○田能史也

高知高専 正会員 勇 秀憲 大阪大学大学院 学生会員 楠目 亮

1. はじめに

鋼橋脚をはじめとする鋼構造物は、その構成要素に板要素を多く含んでいる。今後、日本では大地震の発生が危惧されている。しかし、これまで地震荷重による座屈損傷後の板要素の保有耐力に関する詳しい研究はあまり行われてこなかった。そこで本研究では、鋼製橋脚を構成する板要素を対象に、汎用有限要素法 ANSYS を用いて面内圧縮引張繰り返し荷重を受ける板要素の弾塑性大変形解析を行い、座屈損傷後の挙動特性や終局強度などを明らかにすることを目的としている。

2. 板要素解析モデル

図1は本研究で用いた板要素解析モデルを示す。板要素の縦横比 α は $\alpha = a/b = 1$ の正方形板要素とし、面外境界条件はすべて周辺単純支持とする。材料特性として、ヤング率 $E = 205.8\text{GPa}$ 、降伏応力 $\sigma_y = 235.2\text{MPa}$ 、ポアソン比 $\nu = 0.3$ を与える。また、幅厚比パラメータ R を0.88、1.07、1.24の3通りとする。幅厚比パラメータ R は次式で定義される。

$$R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)\sigma_y}{k\pi^2 E}} \quad (1)$$

ここに、 b : 板幅、 t : 板厚、 E : ヤング率、 σ_y : 降伏応力、 ν : ポアソン比および k : 座屈係数である。

3. 弾性座屈解析

まず、上記で述べた一様圧縮力を受ける板要素解析モデルを対象にした弾性座屈解析を行い、座屈係数と座屈モードを求める。その結果を理論値と比較し ANSYS による解析の妥当性を検証する。表1に弾性座屈解析結果を示す。要素分割数は 18×18 とする。

いずれの幅厚比パラメータ R の場合も、理論値に対して誤差0.18%と十分な精度を持っている。

4. 弾塑性大変形解析

4.1 繰り返し载荷パターン

地震時の荷重状態を再現するために、池内ら¹⁾が考案した载荷パターンを使用した。鋼構造物の板要素が無载荷状態から両振りの繰り返し圧縮引張荷重を受ける場合を Pattern1、事前に大きな面内圧縮荷重が作用した状態から圧縮引張の繰り返し荷重を受ける場合を Pattern2 とする。図2に Pattern2 の繰り返し载荷パターンを示す。縦軸は無次元化面内ひずみ $\varepsilon/\varepsilon_y$ 、横軸は繰り返し回数である。

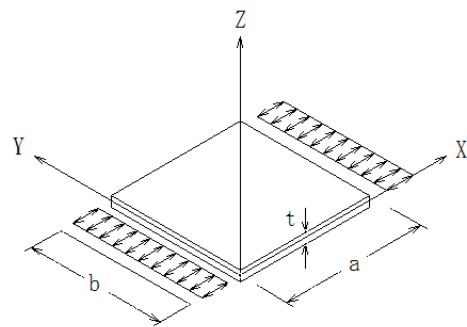


図1 板要素解析モデル

表1 弾性座屈解析結果

幅厚比パラメータ	0.88	1.07	1.24
自由度数	1984	1984	1984
荷重係数	59413	34383	21652
座屈モード	$m=1, n=1$	$m=1, n=1$	$m=1, n=1$
座屈係数(理論値)	4	4	4
座屈係数(解析値)	3.993	3.993	3.993
誤差(%)	0.181	0.181	0.181
U_{cr} (cm)	0.14435	0.10024	7.36E-02

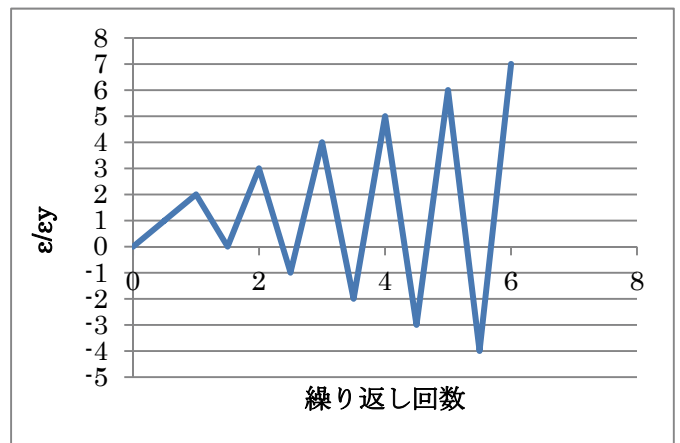


図2 繰り返し载荷パターン (Pattern2)

4.2 解析結果

座屈モードと同じ形状の初期たわみを解析モデルの初期不整として与える。また、その大きさは道路橋示方書Ⅱ²⁾に規定されている最大許容量 $b/150$ とする。 b は載荷辺の板幅である。ただし、残留応力は考慮していない。解析は幅厚比パラメータ R を0.88、1.07、1.24の3通り、載荷パターンをPattern1、Pattern2の2通りの計6通りに対して行う。

図3にPattern2 ($R=1.07$) の場合の、荷重－たわみ曲線を示す。縦軸は無次元化載荷面内荷重 N/N_y 、横軸は無次元化最大たわみ w/t を表す。最初の圧縮載荷で大きな塑性変形が生じたことにより、損傷たわみが大きく残り、2回目以降の繰り返しは、その位置から始まっているように挙動し、板要素がたわんだまま繰り返し荷重がかかっている。

図4にPattern2 の場合の荷重－損傷たわみ曲線を示す。横軸は板厚 t で無次元化した損傷たわみ(面内荷重が圧縮から除荷途中で0となったときの残存たわみ) w_d/t 、縦軸は無次元化載荷面内荷重 N/N_y である。幅厚比パラメータ R に関わらず、損傷たわみは繰り返し回数(図中、マーカーの点)に対して次第に大きくなる。同時に、損傷たわみが大きくなると、ほぼそれに比例して面内荷重は減少している。

図5に $R=1.07$ の劣化特性曲線を示す。横軸は繰り返し回数、縦軸はその繰り返し時における無次元化最大強度 N_{max}/N_y である。Pattern1 の場合は、繰り返し回数が4回以降で増すごとに強度が低下する。一方、Pattern2 の場合は、繰り返し回数が2回までに強度が急激に低下し、その後、3、4回ではほとんど強度の低下はなく一定で、繰り返し回数が5回以降で増すごとに強度が低下することが分かる。

5. まとめ

弾性座屈解析の結果、座屈係数と座屈モードは理論値と高い精度で一致し、ANSYS による解析の妥当性を確認できた。弾塑性大変形解析の結果から荷重－たわみ曲線、荷重－ひずみ曲線、荷重－損傷たわみ曲線および劣化特性曲線を描き、その強度特性や劣化特性などを明らかにした。今後は、実際の地震荷重をシミュレートした載荷方法を考案し、板要素の動的応答性を解析していく必要がある。

参考文献

- 1)池内・田口, 繰り返し荷重により座屈損傷を受けた鋼板の極限強度, 構造工学論文集, Vol. 50A, pp. 1437－1445, 2004.
- 2)日本道路協会, 道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編, 2002.

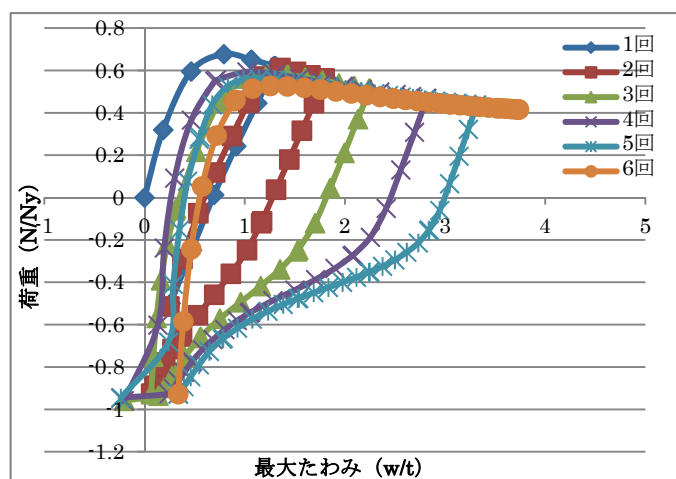


図3 Pattern2 荷重－たわみ曲線 ($R=1.07$)

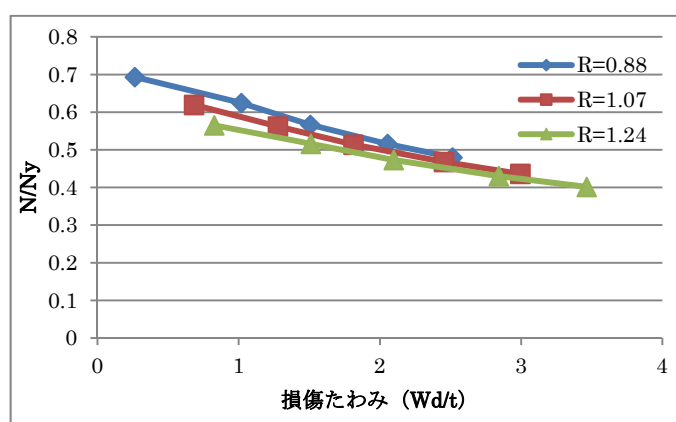


図4 荷重－損傷たわみ曲線 (Pattern2)

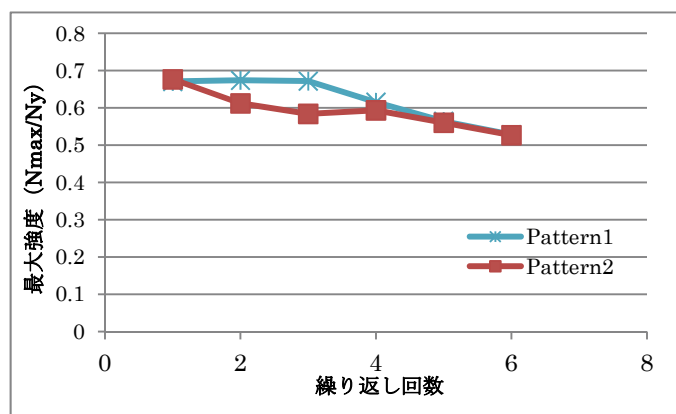


図5 劣化特性曲線 ($R=1.07$)