

繰り返し荷重を受け座屈した鋼板要素の弾塑性大変形挙動に関する研究

高知工業高等専門学校専攻科 学生会員 ○楠目 亮

高知工業高等専門学校 正会員 勇 秀憲

1. 諸言

今後日本では、大地震の発生が危惧されている。鋼橋脚をはじめとする鋼構造物は、その構成要素に数多くの板要素を含んでいる。しかし、これまで地震被害を受けた後の板要素の保有耐力に関する詳しい研究は意外にもあまり行われていなかった。そこで、地震を想定した繰り返し荷重により座屈損傷を受ける板要素の強度特性や劣化特性を評価する必要がある。

本研究では、鋼橋脚を構成する板要素を対象に汎用有限要素法解析ソフト ANSYS/ED を用いて、面内繰り返し圧縮引張荷重を受ける矩形板要素の弾塑性大変形解析を行い、座屈損傷後の強度特性や劣化特性を調べた。

2. 板要素のモデル

解析モデルを図 1 に示す。要素タイプは 4 節点有限ひずみシェルを用い、面外境界条件はすべて周辺単純支持を考えた。ここで、非載荷辺の面内変位は何も拘束されていないものとする。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 $\nu = 0.3$ を与えた。また材料の応力-ひずみ関係は、完全弾塑性とし、von Mises の降伏条件による結合流れ則，等方硬化則に従うものとする。塑性座屈，弾塑性座屈および弾性座屈に対応して、幅厚比パラメータ R は、0.8 から 1.6 の間の 5 種類を考えた。ここに幅厚比パラメータ R は、次式で表わされる。

$$R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)\sigma_y}{k\pi^2 E}} \quad (k=4) \quad (1)$$

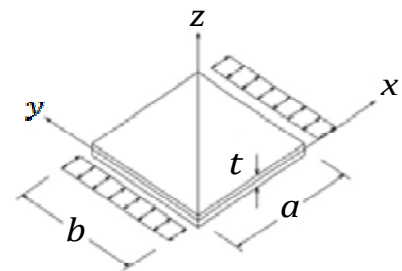


図 1 板要素の解析モデル

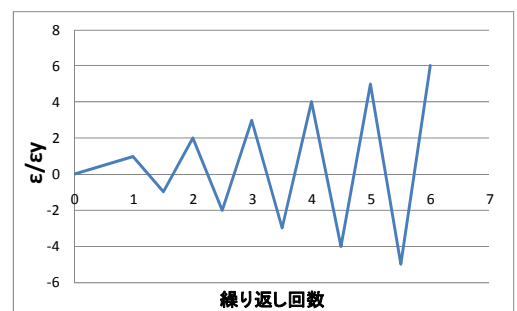


図 2 繰り返し載荷パターン

3. 繰り返し荷重時の弾塑性大変形解析

3.1 繰り返し荷重

地震時の荷重状態を再現するために、繰り返し荷重は、ひずみパターン^{1),2)}より池内ら³⁾の考案した図 2 を使用した。図 2 の縦軸 $\varepsilon/\varepsilon_y$ は降伏ひずみ ε_y で無次元化された面内圧縮ひずみ，横軸は繰り返し回数である。本研究ではいずれのケースも 6 回繰り返し載荷とした。一様面内ひずみとして，図 1 の載荷辺上の X 軸方向に一様面内変位拘束条件により，繰り返し載荷した。

3.2 解析結果

座屈 1 次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た不完全板要素が，繰り返し荷重を受けるときの弾塑性大変形解析を行った。初期たわみの大きさは道路橋示方書Ⅱ⁴⁾に規定される製作時の最大許容値 $b/150$ を与えた。ここに b は板の載荷辺の長さ（板幅）である。ただし，残留応力は考慮していない。

図 3 に $R = 1.40$ （弾性座屈）の場合の荷重-たわみ曲線と 5 回繰り返しの①～③の位置でのたわみのコンター図を示す。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 である。以降，たわみはすべて初期たわみの位置からのたわみ，つまり付加たわみである。

損傷たわみは繰り返し回数が増すごとに増大しているのが分かる。場合には弾性大変形後、さらに塑性化とともにたわみが大きく成長した後、 N_{max} となる。

図中②から③などのように、繰り返し回数が増えると、たわみが急激に増減するところが数ヶ所見られる。これは塑性化が非載荷辺付近から始まり中央に向かい進展するため、残留変形が非載荷辺付近と中央部において差が生じるからである。また繰り返し回数が増えていくに従い、たわみは非載荷辺付近の塑性化の影響で、非載荷方向に3半波の3次モードとなる。これは、中央部付近のたわみが初期不整方向と逆の方向に変化するが、塑性化の影響が少ないために、非載荷辺付近に比せたわみの変化量が大きくなるからである。そのとき、たわみの最大値は、非載荷辺付近の初期不整と同方向のたわみの位置から初期不整と逆方向のたわみの位置に移り、たわみが急変することになる。

図4に本解析により得られた繰り返し劣化曲線を示す。横軸は繰り返し回数 n 、縦軸はその繰り返し回数時での無次元化最大圧縮強度 N_{max}/N_y である。

Case1～5について、いずれも3回繰り返しまではほとんど一定で、4回繰り返し以降に繰り返し回数が増すごとに強度が低下していくことが分かる。そこでこれらの関係を、繰り返し回数3回以降を累乗関数で近似した。各曲線の相関係数は、いずれの場合も0.993以上で十分な精度で近似できている。これらを繰り返し回数の2乗根で近似し、1つにまとめたものを式(2)に示す。ここに、係数 α, β の相関係数は0.991以上と十分な精度で近似できている。劣化は幅厚比パラメータ R が小さいほど大きいことが分かる。

$$\frac{N_{max}}{N_y} = \alpha \sqrt{n} + \beta \quad \begin{cases} \alpha = 0.1824R - 0.4847 \\ \beta = -0.6796R - 1.9049 \end{cases} \quad (2)$$

ここで、繰り返し回数 n は3以上である。

4. 結言

本研究では、鋼橋脚を構成する板要素の初期たわみを考慮した繰り返し荷重による弾塑性大変形解析を行った。板要素に座屈1次モードと同形状の初期たわみを考慮し、板要素が繰り返し面内荷重を受けるときの弾塑性大変形解析を行った。そして荷重－たわみ曲線や荷重－ひずみ曲線、劣化特性曲線などを描き、その強度特性、挙動特性や変形特性や劣化特性を明らかにした。

今後は、初期たわみを変化させ、残留応力を考慮した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、それが終局強度に及ぼす影響を明らかにしていくことが必要である。

参考文献

- 1) 保高ほか、構造工学論文集, Vol.49A(2003), pp.381-391.
- 2) 小野ほか、構造工学論文集, Vol.48A(2002), pp.683-692.
- 3) 池内ほか、構造工学論文集, Vol.50A(2004), pp.1437-1445.
- 4) 日本道路協会、道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編, (2002).

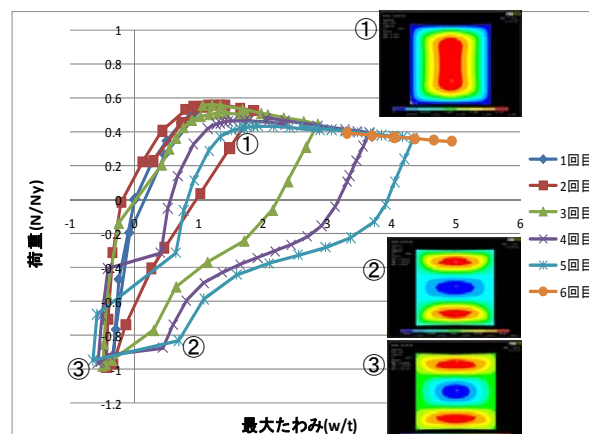


図3 荷重－たわみ曲線 (R=1.40)

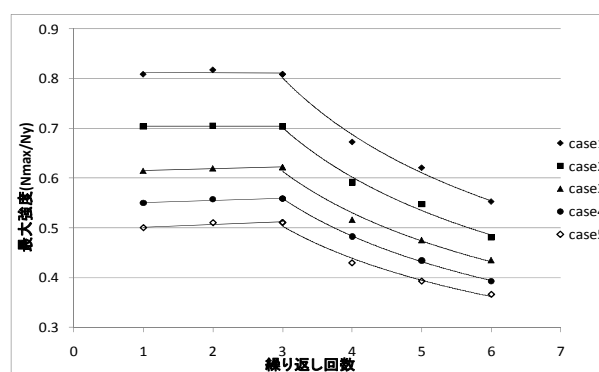


図4 劣化特性曲線