

I-29

円周方向面内圧縮力を受ける円筒パネルの幅厚比とダクティリティ

関西大学工学部 正員 三上 市蔵
 関西大学大学院 学生員 中野 唯史
 関西大学大学院 学生員 ○竹原 和夫

1. まえがき

鋼構造物の耐震設計においては、終局強度とともにダクティリティも考慮する必要がある¹⁾。直線あるいは曲線部材のダクティリティを検討するには、部材の構成要素である板要素や円筒パネル要素のダクティリティを明らかにする必要がある。そのためには、終局強度を超えた領域（劣化域）における挙動を正確に捉えなければならない。三上・辻²⁾は円周方向面内圧縮力を受け、初期たわみと残留応力を有する円筒パネルを取りあげ、高次非線形理論に基づいて、DRM (Dynamic Relaxation Method) を用いて劣化域における弾塑性有限変位解析を行っている。本報告では、この弾塑性有限変位解析プログラムを用いて、劣化域における挙動を解析し、板および円筒パネルの幅厚比とダクティリティの関係について検討する。

2. 弾塑性有限変位解析

解析した円筒パネル（図-1）は弧に沿った長さ a 、幅 b 、厚さ h 、中央面の曲率半径 R で、直線辺の様な強制変位によって面内圧縮応力 σ_y が作用する。パネルは等方性・完全弾塑性材料より成る。対称性を考慮してパネルの $1/4$ 領域を解析する。 $1/4$ 領域を x, y, z 方向各々 8 分割し、差分法を適用する。

数値計算は降伏応力 $\sigma_y = 2400 \text{ Kgf/cm}^2$ 、Young率 $E = 2.1 \times 10^6 \text{ Kgf/cm}^2$ 、ポアソン比 $\nu = 0.3$ 、初期たわみ $w_0 = w_{0\max} \cos(\pi x/b) \cos(\pi y/a)$ に対して行った。残留応力分布は、文献²⁾のものを用いた。無次元量 $\alpha = a/b$ 、 $\beta = b/h$ 、 $\bar{x} = x/b$ 、 $\bar{y} = y/a$ 、 $\hat{w} = w/b$ 、 $\hat{v} = v/b$ 、 $\hat{z} = b/R$ 、 $\hat{w}_0 = w_0/b$ 、 $\hat{\sigma} = \sigma/\sigma_y$ を用いる。また換算幅厚比 λ を $k = 4$ に対して次式で定める。

$$\lambda = (b/h) \sqrt{(\sigma_y/E) [12(1-\nu^2)] / (\pi^2 k)}$$

3. 解析結果

応力-変位曲線（図-2）において、初期降伏状態の変位と強度を d_e と σ_e 、終局強度状態の変位と強度を d_u と σ_u 、劣化限界状態（応力-変位曲線が劣化域において降伏強度まで低下した状態）の変位を d_r とする。また変位は、面外たわみ w と円周方向面内変位 v の 2 通りを考える。一例として図-3 に応力-円周方向面内変位曲線を示す。

4. 幅厚比制限

I 形断面柱の腹板など周辺単純支持板については、AISC-LRFD³⁾ では地震を考慮する場合と無視する場合を区別して、限界幅厚比

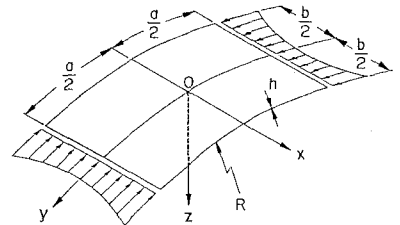


図-1

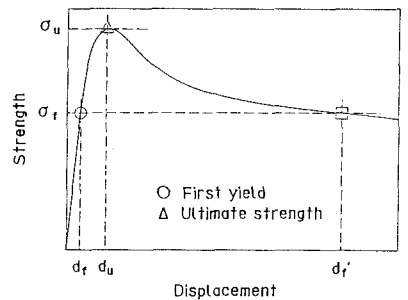


図-2

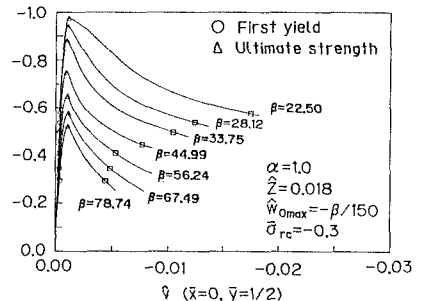


図-3

を与えている。地震を考慮する場合の限界幅厚比は、 $\beta = 49$ ($\lambda = 0.89$) である。EC No. 8⁴⁾では、挙動係数の値によって3つのダクティリティ等級に分けて限界幅厚比を設定している。塑性断面を用いるときの限界幅厚比は $\beta = 33$ ($\lambda = 0.59$) である。また、AIJ LSD⁵⁾では耐震設計に関して4つの区分を設けて限界幅厚比を設定している。ただし、幅厚比制限は、自由突出フランジと腹板の相関式の形で与えられる。

板要素の場合 ($\hat{z} = 0.0$) の限界幅厚比について考察する。劣化域を含んだ範囲の塑性率 v_{f1} / v_f と λ の関係を図-4に示す。これをみると、 $\lambda = 0.6$ 付近で急激な変化がみられる。これは、EC No. 8 の限界幅厚比とほぼ一致する。また、エネルギー吸収量として劣化限界状態までの応力-変位曲線の面積を求めると、図-5のようになる。この図からは、板要素の限界幅厚比に関して明確な傾向を捉えることはできない。

次に、円筒パネルの限界幅厚比について考察する。板要素の限界幅厚比 ($\lambda = 0.6$) に対する塑性率と同じ値を有するものを考えると、図-4より曲率が増加した場合 λ が大きくてもよいことになる。この傾向は図-5においても同様である。ところが図-6の円筒パネルの強度と λ の関係から、曲率が増加すると強度が低下することがわかる。強度を一定に保つためには、曲率が増加した場合 λ を小さくすることになる。円筒パネルの場合、面外たわみに比例して有効幅が減少する性質がある。したがって、強度低下はたわみで捉えることができることに注目して、応力-たわみ曲線において、初期状態から初期降伏状態までの傾きと初期降伏状態から終局強度状態までの傾きの比 $T_{f-u(w)}$ を求めると、図-7のようになる。これをみると、板要素の場合、限界幅厚比 ($\lambda = 0.6$) で $T_{f-u(w)}$ は極小値になることがわかる。また曲率が増加した場合、 $T_{f-u(w)}$ の極小値となる λ は小さくなることがわかる。この極小値を与える λ が、強度を一定に保った場合の、曲率を有する場合の限界幅厚比に比例しているようである。

5. あとがき

詳細については、発表当日に譲る。

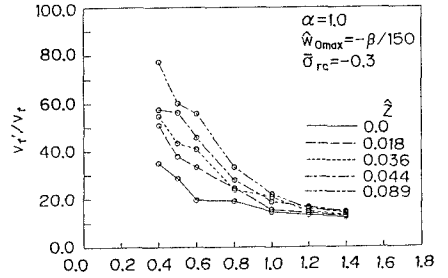


図-4

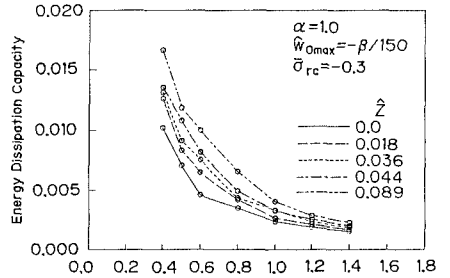


図-5

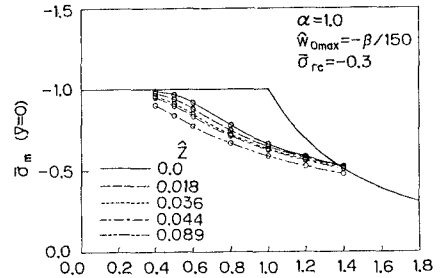


図-6

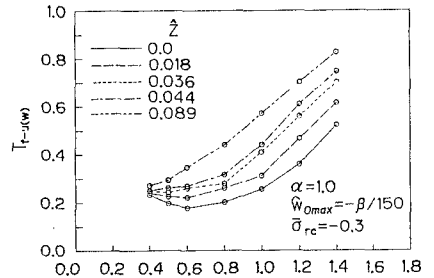


図-7

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，V耐震設計編，1990. 2) 三上・辻：構造工学論文集，1991. 3) AISC：LRPD Load & resistance factor design, Specification, for structural steel buildings, 1986. 4) Eurocode No. 8：Structures in seismic region, CEC, 1988. 5) 日本建築学会：鋼構造限界状態設計基準(案)，1990. 6) DSS：鋼構造物のダクティリティ評価に関する調査研究・最終報告書，1991.