

円周方向面内圧縮力を受ける円筒パネルのダクティリティーと幅厚比制限

関西大学工学部 正会員 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 耐震設計においては、終局強度とともにダクティリティー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ーを検討するには、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ー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、DRM (Dynamic Relaxation Method) を用いて弾塑性有限変位解析を劣化域まで行っている。本報告では、文献 2) の解析法を用いて、これらのダクティリティーを評価する方法を検討し、設計への適用のため、ダクティリティーを考慮した板および円筒パネル要素の幅厚比について論ずる。

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、直線辺に一樣な強制変位により面内圧縮応力 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。解析は、対称性を考慮してパネルの $1/4$ 領域について行う。 $1/4$ 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 $\sigma_y = 2400 \text{ Kg/cm}^2$ 、Young 率 $E = 2.1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$ 、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 $\alpha = a/b$ 、 $\beta = b/h$ 、 $\bar{x} = x/b$ 、 $\bar{y} = y/a$ 、 $Z = b^2/Rh$ 、 $\bar{w}_0 = w_0/h$ 、 $\bar{\sigma} = \sigma/\sigma_y$ を用いる。解析結果の一例を図-2 に示す。

3. 評価に用いる諸量 ダクティリティーを適切に評価するために、たわみの無次元量 $\hat{w} = w/b$ 、円周方向面内変位の無次元量 $\hat{v} = v/b$ 、曲率の無次元量 $\hat{z} = b/R$ を用いる。応力-変位曲線（図-3）において、初期降伏状態の変位と強度を d_f と σ_f 、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。換算幅厚比 λ は $k = 4$ に対して次式で定める。

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

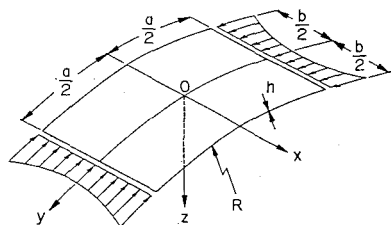


図-1

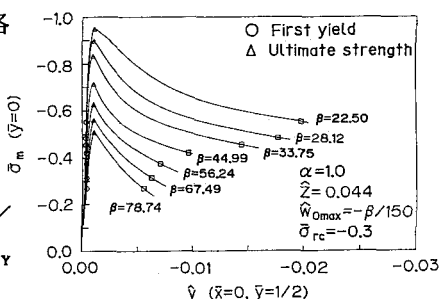


図-2

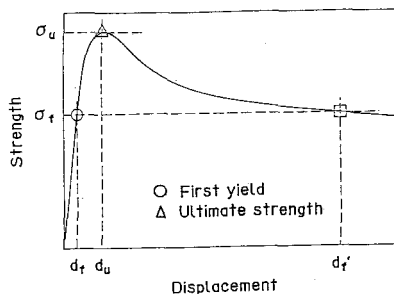


図-3

4. 評価の例 エネルギー吸収量は板および円筒パネルのダクティリティーを計ることのできる一つの尺度と考えられることから、劣化限界状態までのエネルギー吸収量を応力-変位曲線における面積として求める。図-4には円周方向面内変位による総エネルギー吸収量と λ の関係を示す。総エネルギー吸収量は板厚あるいは曲率が増すと大きくなり、板厚が薄いと曲率の影響がなくなり一定値に漸近する。

図-5に円周方向面内変位の比 v_t/v_f と λ の関係を示す。 v_t/v_f は板厚あるいは曲率が増すと大きくなることから、劣化限界状態までの総エネルギー吸収量を推定でき、ダクティリティーを評価するパラメータとして適切といえる。

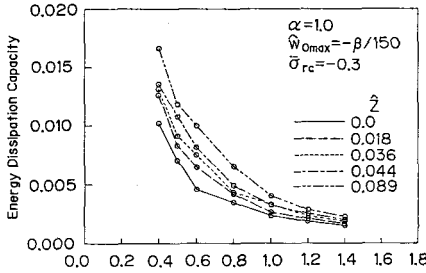


図-4

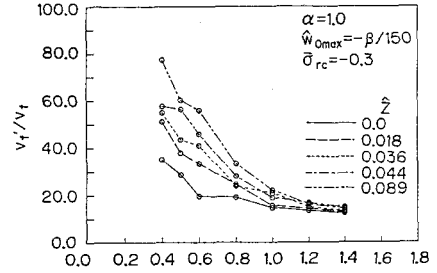


図-5

5. 幅厚比制限 現行の設計基準における圧縮板要素の限界幅厚比とダクティリティーの関係を分析する。図-6に圧縮を受ける場合の各設計基準の自由突出フランジと腹板の限界幅厚比の関係を示す。地震を考慮する場合、BC No. 8 が最も厳しい限界幅厚比を与えていることがわかる。これらの設計基準では、地震を考慮するか否かによって断面の確保すべき変形能力が異なり、この変形能力を表す尺度としてAISC-LRPD, AIJ-LSDではダクティリティー・ファクター、BC No. 8 では挙動係数が用いられている。地震を考慮する場合、BC No. 8 では挙動係数を4以上にすることから、初期降伏時のたわみの4倍時の円周方向面内変位と初期降伏時の面内変位の比 v_{max}/v_f を求め λ との関係として図-7に示す。これより地震を考慮した板要素の限界幅厚比は $\lambda=0.6$ 以下が適切であると考えられる。

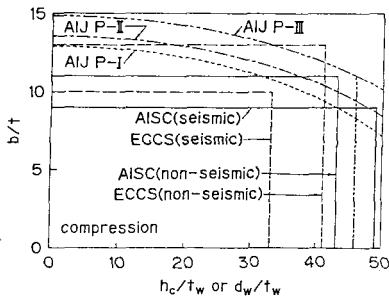


図-6

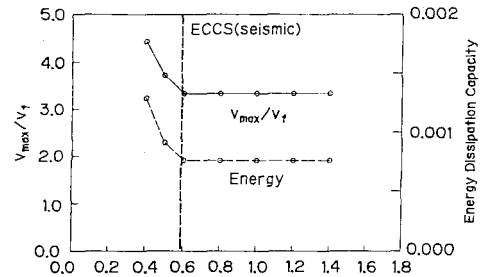


図-7

6. あとがき 面内圧縮力を受ける円筒パネルのダクティリティーの評価の方法について検討した。また現行設計基準における板要素の幅厚比とダクティリティーに関連する条項を本研究の解析結果に基づいて比較・検討した。これらの結果を使えばダクティリティーを考慮した板および円筒パネル要素の限界幅厚比を提案できる。詳細については、発表当日に譲る。