

円周方向圧縮力を受ける円筒パネルの劣化域におけるダクティリティの評価法の検討

関西大学工学部 正会員 三上 市蔵
 三井造船 正会員 辻 省悟
 関西大学大学院 学生員 ○中野 唯史

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も考慮する必要がある¹⁾。部材のダクティリティを検討するには、直線あるいは曲線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、DRM (Dynamic Relaxation Method) を用いて円周方向内圧縮力を受け、初期たわみと残留応力を有する円筒パネルの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) の解析結果に基づいて、劣化域におけるダクティリティの評価法を検討する。

2. 数値計算 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_v 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 方向に各々 8 分割し、差分法を適用する。

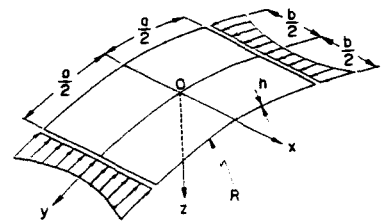


図-1

数値計算は降伏応力 $\sigma_v = 2400$ Kg/cm²、Young率 $E = 2.1 \times 10^6$ Kg/cm²、ポアソン比 $\nu = 0.3$ 、初期たわみ $w_0 = w_{0max} \cos(\pi x/b) \cos(\pi y/a)$ 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 $\alpha = a/b$ 、 $\beta = b/h$ 、 $\bar{x} = x/b$ 、 $\bar{y} = y/a$ 、 $Z = b^2/Rh$ 、 $\bar{v} = v/b$ 、 $\bar{w}_0 = w_0/h$ 、 $\bar{\sigma} = \sigma/\sigma_v$ を用いる。解析結果の一例を図-2 に示す。

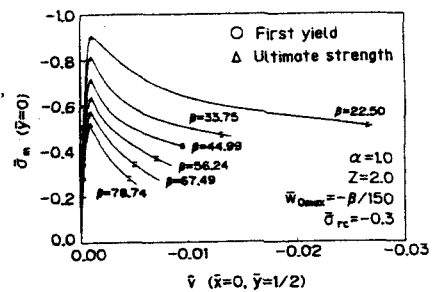


図-2

3. 評価に用いる諸量 ダクティリティを評価するために以下の諸量を考える。ただし、変位は作用荷重と共役対である円周方向面内変位 v を用いる。円筒パネルの $\bar{y} = 1/2$ における円周方向面内変位の最大値 v と $\bar{y} = 0$ における平均円周方向面内応力 σ_m との関係（図-3）において、初期降伏状態の変位と強度を v_f と σ_f 、終局強度状態の変位と強度を v_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 v_r とする。じん性率である変位の比 v_r/v_f 、強度比である σ_u/σ_f 、終局強度状態と劣化限界状態の関係を示す傾き I_{u-r} 、初期降伏状態から終局強度状態までと、終局強度状態から劣化限界状態までとの応力-変位曲線の変化を比較するための傾きの比 I_{u-r}/I_{f-u} を考える。

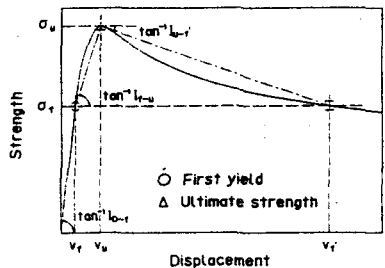


図-3

4. 評価の例 縦横比 $\alpha = 1$ 、最大初期たわみ $\bar{w}_{0max} = -\beta/150$ に対する、変位の比 v_r/v_f と換算幅厚比 λ の関係を図-

4に示す。ここに λ は $k=4$ に対して次式で求める。

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

変位の比の値は、①板厚が厚く（ λ が小さく）なると大きくなる、②曲率が大きくなると大きくなる、③曲率が小さいと板厚の影響が低下する、④板厚が薄くなると曲率の影響が小さくなり、13.0に漸近する。変位の比 $v_{f'}/v_f$ の値が大きくなるにしたがって、塑性域における変位の増分が弾性域における変位に対して大きくなり、塑性変形能力を有していることになる。

図-5に強度比 σ_u/σ_f と λ の関係を示す。強度比の値は、板厚や曲率の影響が小さく、1.7程度になる。この強度比は、直接的にはダクティリティを評価できないように思われるが、板厚や曲率が変化しても終局強度が初期降伏強度の1.7倍程度確保されていることになるので、他の諸量によるダクティリティ評価の上で重要となる。

図-6に傾き $I_{u-f'}$ と λ の関係を示す。傾きの値は、①板厚が厚くなると0に近づく、②曲率が大きくなると0に近づく。傾き $I_{u-f'}$ の値が0に近づくにしたがって、劣化域における応力-変位曲線が水平に近くなる。すなわち、変位の進行に対する強度の低下がゆるやかになり、粘りを有していることになる。

図-7に傾きの比 $I_{u-f'}/I_{f-u}$ と λ の関係を示す。傾きの比の値は、①板厚が厚くなると0に近づく、②曲率が大きくなると0に近づく。傾きの比 $I_{u-f'}/I_{f-u}$ は、変位 v_f 、 v_u 、 $v_{f'}$ を用いて次式のように表される。

$$\frac{I_{u-f'}}{I_{f-u}} = \frac{(\sigma_f - \sigma_u)/(\nu_{f'} - \nu_u)}{(\sigma_u - \sigma_f)/(\nu_u - \nu_f)} = - \frac{\nu_u - \nu_f}{\nu_{f'} - \nu_u}$$

この式から、傾きの比の値が0に近づくにしたがって、塑性域において、劣化域での変位の増分が終局強度までの変位に対して大きくなることがわかる。

以上をまとめると、①強度比 σ_u/σ_f から、終局強度は板厚や曲率が変化しても初期降伏強度の1.7倍程度確保されていることがわかる、②変位の比 $v_{f'}/v_f$ から、塑性変形能力の大きさがわかる、③傾きの比 $I_{u-f'}/I_{f-u}$ から、劣化域での変形能力の大きさがわかる、④傾き $I_{u-f'}$ から、劣化域での粘りの大きさがわかる。

5. あとがき 劣化域におけるダクティリティを評価するためのいくつかの量を考え、検討した。ここに考えた各量は、ダクティリティを評価する上で重要な意味をもつものであることがわかった。

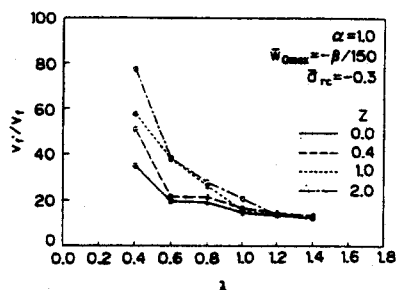


図-4

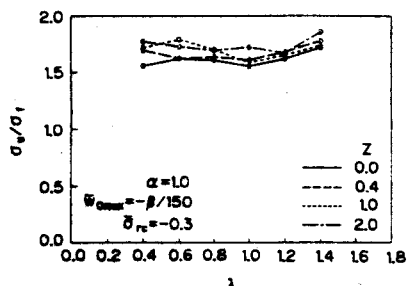


図-5

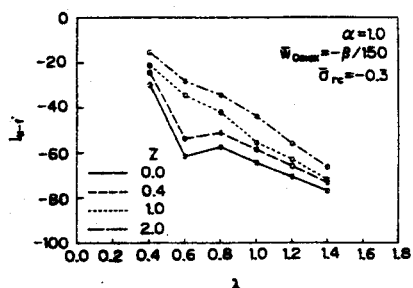


図-6

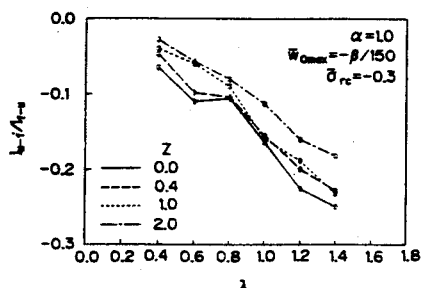


図-7