

I-72

鋼円筒パネル要素のダクティリティと幅厚比制限

関西大学工学部 正会員 三上 市藏
三井造船(株) 正会員 ○辻 省梧
関西大学大学院 学生員 中野 唯史

1. まえがき 三上・辻¹⁾は、DRM (Dynamic Relaxation Method)

を用いて、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の弾塑性有限変位解析を終局強度を超えた
領域（劣化域）まで行い、その挙動について論じた。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²⁾。本報告では、劣化域を含む弾塑性有限変位解析の
結果に基づいて、部材の構成要素である円筒パネルについてダ
クティリティの評価法を検討し、設計への適用を考察する。

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
線辺に一樣な強制面内変位 v_m 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 方向、
 y 方向、 z 方向にそれぞれ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 $E = 2.1 \times 10^6$
 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 1)
のものを利用した。無次元量として、 $\alpha = a/b$ 、 $\beta = b/h$ 、
 $Z = b^2/Rh$ 、 $\bar{w}_0 = w_0/h$ 、 $\bar{\sigma} = \sigma/\sigma_y$ 、 $\bar{x} = x/b$ 、 $\bar{y} = y/a$ 、 $\bar{v} = v/b$ を用いる。解析結果の一例を図-2に示
す。図中の□は、劣化域において強度が初期降伏強度まで低下
した点（劣化限界）を表す。

3. 評価に用いるパラメータ ダクティリティを評価するた
め、作用荷重と共役対である円周方向面内変位 v を用いる。パ
ネル端辺 ($\bar{y} = 1/2$) の変位 v と $\bar{y} = 0$ の平均圧縮応力 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 、
 σ_f 、終局強度状態の変位と強度を v_u 、 σ_u 、劣化限界状態の
変位を $v_{f'}$ とする。

パラメータとして、以下の4種類を考える。終局強度までの
範囲において塑性変形能力を検討するために変位比 v_u/v_f 、
劣化限界までの範囲において塑性変形能力を検討するために変
位比 $v_{f'}/v_f$ 、劣化域のねばりを検討するために終局強度か
ら劣化限界までの曲線の傾き $I_{u-f'}$ 、 I_{u-f} と初期降伏から終
局強度までの曲線の傾き I_{f-u} との比 $I_{u-f'}/I_{f-u}$ である。

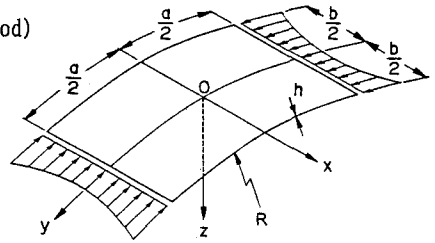


図-1

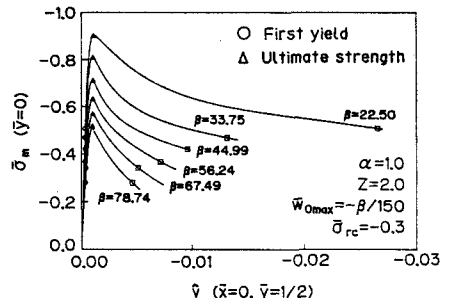


図-2

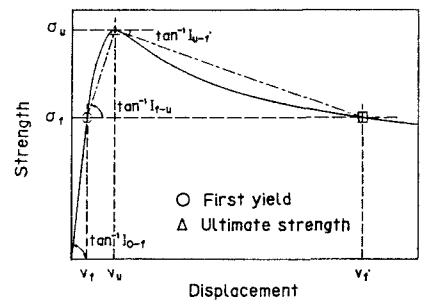


図-3

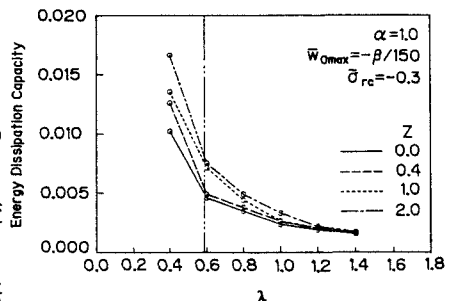


図-4

4. 評価の例 以下に、縦横比 $\alpha=1$ 、最大初期たわみ $\bar{w}_{0max}=-\beta/150$ に対する評価の例を示す。

図-4は劣化限界までの総エネルギー吸収量と換算幅厚比 λ との関係を示す。ここに、 λ は $k=4$ に対して、

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

で求める。耐震性と深く関連のあるエネルギー吸収量は、板厚や曲率が大きくなると値が大きくなることがわかる。

図-5は変位比 v_u/v_f と λ の関係を示す。 v_u/v_f は、板厚や曲率の影響を受けずに、常に3.0程度の値を示すことがわかる。 v_u/v_f は、終局強度までの塑性域の変位の増分と弾性域の変位の増分とを比較できるパラメータである。

図-6は変位比 $v_{f'}/v_f$ と λ の関係を示す。 $v_{f'}/v_f$ は、板厚や曲率が大きいと値が大きくなることがわかる。 $v_{f'}/v_f$ は、劣化限界までの塑性域の変位の増分と弾性域の変位の増分とを比較できるパラメータである。

図-7は傾き $I_{u-f'}$ と λ の関係を示す。 $I_{u-f'}$ は、板厚や曲率が大きいと値が0に近くなることがわかる。傾き $I_{u-f'}$ は、値が0に近いとパネルのねばりが大きいものと考えられる。

図-8は傾き比 $I_{u-f'}/I_{f-u}$ と λ の関係を示す。 $I_{u-f'}/I_{f-u}$ は、板厚や曲率が大きいと値が0に近くなることがわかる。 $I_{u-f'}/I_{f-u}$ は、

$$\frac{I_{u-f'}}{I_{f-u}} = \frac{(\sigma_f - \sigma_u)/(\delta_f - \delta_u)}{(\sigma_u - \sigma_f)/(\delta_u - \delta_f)} = -\frac{\delta_u - \delta_f}{\delta_f - \delta_u}$$

と表せるので、傾き比 $I_{u-f'}/I_{f-u}$ の値が0に近いと、初期降伏状態から終局強度状態までの変位の増分に対して劣化域での変位の増分が大きいものと考えられる。

5. 設計への適用 ECCS³⁾では、地震時を想定した場合の周辺単純支持された板パネルの純圧縮に対する限界幅厚比は、 $\lambda=0.59$ ($\beta=33$)と規定している。図-4~8に、この幅厚比を二点鎖線で示す。 $\lambda<0.59$ の板パネルについて考察すると、図-6から、変位比(じん性率) $v_{f'}/v_f > 20$ となり、大きな塑性変形能力を有することになる。図-8から、傾き比 $I_{u-f'}/I_{f-u} > -0.1$ となり、劣化域において大きく変形することになる。したがって、 $\lambda<0.59$ の板パネルはダクティリティに富むことになる。また、図-7から、傾き $I_{u-f'}$ は -60 となり、ねばりが大きい。さらに、図-4から、エネルギー吸収量は0.005以上確保されることになる。

6. あとがき 円筒パネルのダクティリティを評価するためのパラメータについて検討を行った。また、耐震設計に適用するための幅厚比の制限値を議論した。詳細については、発表当日に譲る。

- 1) 三上・辻：構造工学論文集，1991。 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，V耐震設計編，1990。 3) EUROCODE3：Common unified code of practice for steel structure，1989。

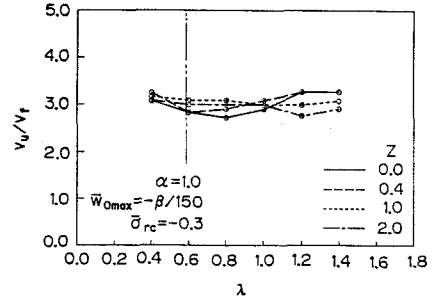


図-5

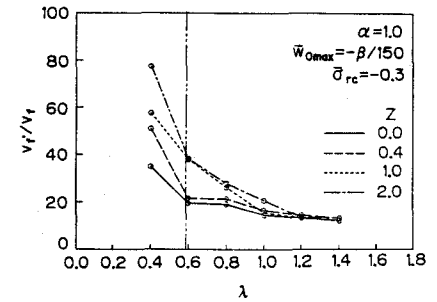


図-6

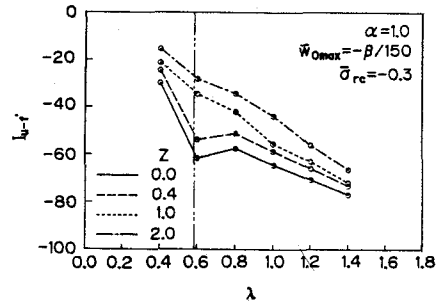


図-7

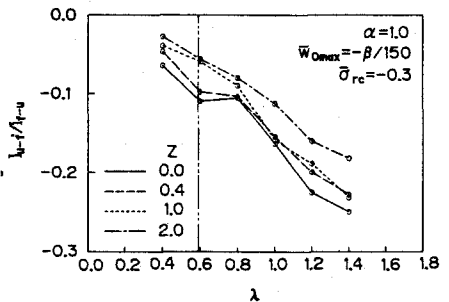


図-8