

形鋼圧縮部材耐荷力に及ぼす加速度外乱の影響について

沖縄県庁 正員 翁長正勝
 琉球大学 正員 矢吹哲哉
 琉球大学 正員 有住康則

1. 序論

形鋼圧縮部材耐荷力に及ぼす加速度外乱の影響を解明するため、動影響として最も厳しい周期性加速度を受ける場合の耐荷力特性を材料非線形及び幾何学的非線形挙動を考慮し、崩壊に至るまでの動応答を数値解析により検討した。ここで、形鋼圧縮部材として JIS G 3444 一般構造用炭素鋼鋼管、JIS G 3466 角形鋼管、JIS G 3192 H 形鋼の3種類の形鋼を選んだ。また、3種類の形鋼について、それぞれ、軸圧縮パラメーター、水平方向加振加速度パラメーター α 、細長比パラメーター $\bar{\lambda}$ をパラメーターに選びこれらを変化させてパラメトリック解析を行い、圧縮部材耐荷力に及ぼす水平横方向加速度外乱の影響について検討した。

2. 支配方程式

離散的な要素に仮想変位の原理を適用することにより、運動支配方程式の定式化を次式のように行う。

$$[M]\{\Delta\ddot{D}\} + [K_n]\{\Delta D\} = \{\Delta F\} + \{F_n\} - \{R_n\} - \{I_n\} \quad (1)$$

ここに、 $[M]$ ：節点集中質量マトリックス、 $[K_n]$ ：接線剛性係数マトリックス、 $\{F\}$ ：動外乱増分、 $\{F_n\}$ 、 $\{R_n\}$ 、 $\{I_n\}$ ： n 段階における動外乱、内力及び慣性力である。

速度項及び、加速度項は線形加速度法を適用することによって求め、慣性力の補間は Newmark 法により行った。

式(1)は微小増分内で線形仮定しているため、変形後に生じる外力増分及び内力増分は零とはならず、残差不平衡力 $\{\Delta\Omega\}$ が生じる。

$$\{\Delta\Omega\} = \{\Delta F\} - \{\Delta R\} - \{\Delta I\} \quad (2)$$

この残差不平衡力は Newton-Raphson 法による逐次収束計算を行い、収束条件を 0.5% として処理した。

3. 数値解析モデル

1). 形状及び断面寸法

両端ピン、両端固定、一端固定他端自由及び、一端固定他端ピンの4種類の異なる支持条件に対して、検討を行った。使用鋼材は ss400 材 ($\sigma_y=2400$ [kgf/cm²]、 $E=2.1 \times 10^6$ [kgf/cm²]) であり完全弾塑性材を仮定した。

なお、部材構成鋼板は、柱部材の終局状態に至るま

で、局部座屈は生じないものとした。

形鋼圧縮部材に対する動耐荷力パラメトリック解析で採用したパラメーターの範囲を表 - 1 に示す。動耐荷力として、加速度パラメーター α を 0.50、1.00、1.50、2.00 と変化させて動外乱を作用させ、崩壊に至る最小の軸圧縮パラメーターを求める。

表 - 1 解析パラメーター

加速度パラメーター α	0.50, 1.00, 1.50, 2.00
細長比パラメーター $\bar{\lambda} = \frac{l}{\pi \cdot r} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}}$ ここに、 r ：断面2次係数	0.25, 0.50, 1.00, 1.50, 2.00
$\beta = \frac{\bar{P}}{P_{cr}}, g = 980$ [cm/s ²], $\sigma_y = 2400$ [kgf/cm ²], $E = 2.1 \times 10^6$ [kgf/cm ²]	

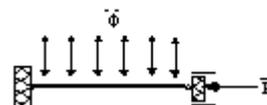


図 - 1 柱部材解析モデル

2). 載荷方法

図 - 1 に示すように、柱部材は、動外乱を作用させる以前の初期状態で、両支点で軸方向圧縮力を受ける。静荷重 \bar{P} は軸圧縮パラメーターを用いて次式で与える。

$$\bar{P} = \beta P_{cr} \quad (3)$$

ここに P_{cr} は静終局荷重である。次に、加速度パラメーター α の下で動外乱を図 - 1 に示すように作用させ終局状態に至る β を求める。

$$\{F_n\} + \{\Delta F\} = [M]\{\ddot{\phi}\} \quad (4)$$

$$\{\ddot{\phi}\} = \alpha \cdot \sin \omega(t + \Delta t) \{g\} \quad (5)$$

ここに、 α ：加速度パラメーター、 g ：重力加速度； 980 [cm/s²]、 ω ：系の固有振動数 [rad/s] である。

4. 形鋼圧縮部材の動耐荷力

1). 変形履歴特性

一般構造用炭素鋼鋼管の両端ピン支持の圧縮部材

($\bar{\lambda}=1.00$, $\alpha=2.00$)について、異なる軸圧縮力(type a: $\beta=0.200$, type b: $\beta=0.455$, type c: $\beta=0.495$)を受ける場合の応答変形挙動を図-2に示す。

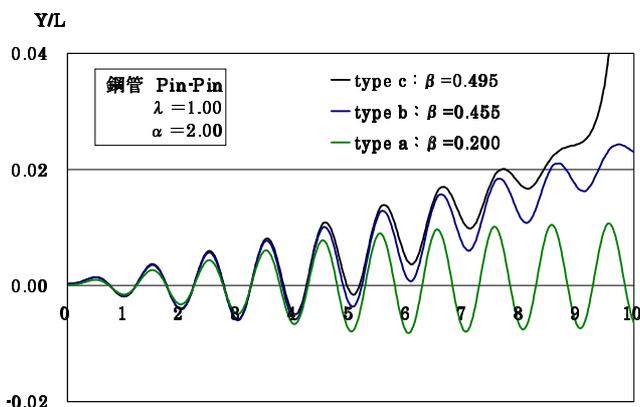


図-2 時刻歴変位曲線

図-2より、type aの応答は主に周期応答による振動現象であり安定している。type bの応答は、5周期以降において非周期応答が徐々に増大していく傾向を示している。しかし、10周期目においてもまだ崩壊に至っておらず、この時点ではまだ安定であると言える。type cの応答では、8周期目以降においてほとんど非周期応答のみの挙動となり、崩壊に至っていることがわかる。

2). 内力履歴特性

図-3に部材中央断面での最縁応力度とひずみの相関関係図を示す。

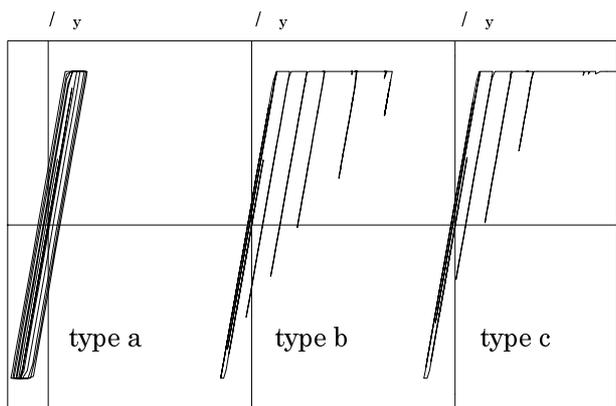


図-3 内力履歴特性

図より、時刻歴変位曲線が振幅中心線からずれていく挙動に呼応して、応力 ひずみ関係も弾塑性を繰り返しながら、徐々に塑性域におけるひずみが卓越していき、最終的には弾性域に戻らなくなり、崩壊に至っていく様子が見られる。

3). 加速度外乱の影響

水平横方向動外乱が形鋼圧縮部材耐力に及ぼす影響について検討した。ここでは、一般構造用炭素鋼鋼管の両端ピン支持部材について検討した結果を図-4に示す。

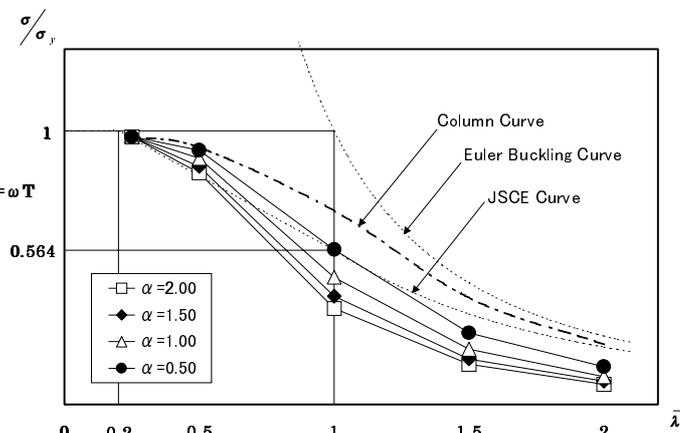


図-4 動耐力と細長比の相関関係

図-4より、 $\bar{\lambda} \geq 1.00$ の範囲では、土木学会基準耐力よりも低い値を示す。また、 $\alpha=2.00$ の場合、動終局耐力は、 $0.25 \leq \bar{\lambda} \leq 0.50$ の範囲では土木学会基準耐力と同程度かわずかに上回るが、 $\bar{\lambda}=1.50$ では約50%まで低下している。 $\alpha=0.50$ における動終局耐力は、 $0.50 \leq \bar{\lambda} \leq 1.50$ の範囲においてほぼ一定の割合で低下する。また、動耐力は、静耐力よりも低い値を示す。

5. 結論

- 1). 幾何学的及び材料非線形による非線形挙動は、振動系に履歴減衰特性を与える。
- 2). 動耐力は、いずれの形鋼を使用した場合でも、本解析で想定した全ての荷重条件の下で静耐力よりも小さくなる事が解った。
- 3). 動不安定が柱耐力に及ぼす影響は、 $\bar{\lambda}$ の増加に伴い、顕著になることが解る。

参考文献

1). Yabuki, T et al : Inelastic Dynamic Instabilities of Steel Columns, The 7th International Symposium on Structural Failure and Plasticity. Melbourne, Australia, 2000, 527~532