

軸圧縮力と繰り返し水平変位を受ける梁一柱 の弾塑性分岐挙動に対する一考察

東北大学大学院工学研究科 ○学生員 目黒 誠
東北大学大学院工学研究科 正 員 中沢 正利
東北大学大学院工学研究科 正 員 岩熊 哲夫

1. まえがき

弾塑性材料の梁一柱系が一定軸荷重の下で、連続的漸増振幅完全両振り曲げを受ける場合に、変形形状が初期軸線に対して対称形から非対称へと移行する、いわゆる対称限界の存在が指摘されている。この限界を超えると、梁一柱部材の変形モードが変わることにより応力集中部位が変化し、部材の靱性性能、ひいては耐震設計に対しても影響を与えることが予想される。この対称限界に対する影響因子としては、断面形状、部材長などの構造諸元の他に、弾塑性挙動に関する材料構成則が重要である。よって、金属材料に一般的な等方硬化や移動硬化則と現実的な繰り返し載荷を精度よく表現できる二曲面モデルによる結果の差異等について検討しておくことは重要な意味を持つ、本研究では、基本的な梁一柱系構造を対象とし、対称限界と上記の材料構成則の関係について検討した。

2. 対称限界理論の概略

対称限界理論¹⁾は、図-1に示すような理想化サンドイッチ断面の左右フランジのみで直応力を伝達し、図-2のようなバイリニア型の応力-ひずみ関係をもつ梁一柱モデルを考えたとき、頂点に与える水平振幅が大きくなると変形形状が図-3のように非対称になることを示している。対称限界を表す式は以下の手順で導かれる。

- ある振幅での定常状態から、振幅を増加させた次の定常状態を考え、そのときの応力やたわみの変化率に関する式を導く。
- 梁のせん断変形を無視した初等梁理論に基づく。
- ひずみ-変位関係および応力-ひずみ関係を基に、軸力の釣合い式・モーメントの釣合い式から応力変化率を消去してたわみ変化率に関する微分方程式を得る。
- 柱が左→右、右←左と反転するときのたわみ変化率を平均したものをたわみ変化率の非対称成分とする。
- たわみ変化率の非対称成分が非零になるときを対称限界とする。

対称限界条件は、弾性域と塑性域の境界の高さ η_{EC} と軸力 n の関係に集約され、 $k_E = \sqrt{n}$ 、 $k_P = \sqrt{n/\alpha}$ 、柱の長さを l とすると、具体的に次の式で表される。

$$k_E \sin k_E(\eta_{EC} - l) \{ \cos k_P \eta_{EC} + k_P l \sin k_P \eta_{EC} \} - k_E \cos k_E(\eta_{EC} - l) \{ \sin k_P \eta_{EC} + k_P l \cos k_P \eta_{EC} \} = 0$$

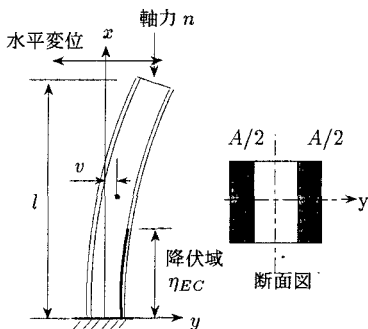


図-1 対称限界理論のモデル

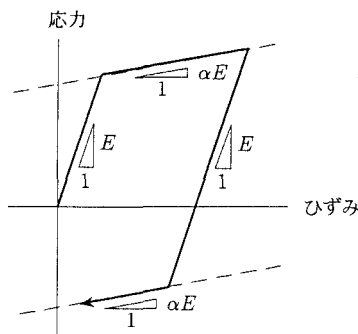


図-2 応力-ひずみ関係

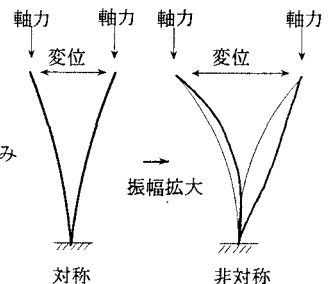


図-3 変形形状の変化

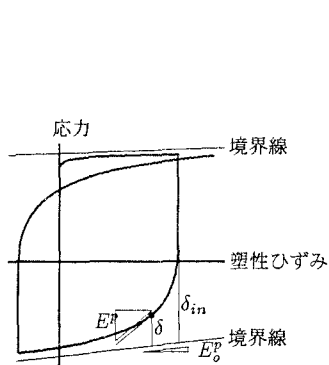


図-4 応力-塑性ひずみ曲線

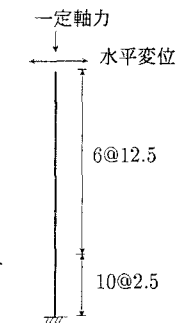


図-5 有限要素解析
モデル

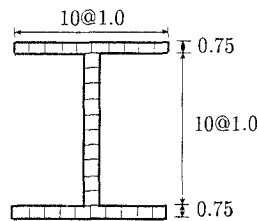


図-6 梁-柱の断面

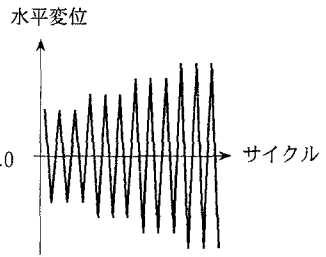


図-7 頂点に与える変位

3. 二曲面モデルの概略

二曲面モデル²⁾は、応力-塑性ひずみ曲線の接線の傾き E^p を与える。一軸応力状態では図-4 のように応力-ひずみ曲線が漸近する傾き E_0^p の境界線を考え、応力点と境界線との距離 δ によって E^p を次のように表す。

$$E^p = E_0^p + h \frac{\delta}{\delta_{in} - \delta}, \quad h = d\delta + e$$

ここで h は曲率に関するパラメータで、 d 、 e は実験で得られた応力-ひずみ関係にカーブフィッティングすることで決定される材料に固有な定数、 δ_{in} は弾性から塑性に移るときの δ の値である。境界線は累積塑性ひずみ量によってその位置と傾きを変化させる。

4. 有限要素法による解析例

図-5に示される、一定軸圧縮力と繰返し水平変位を受ける梁-柱モデルに上記の二曲面モデルによる材料構成則を用い、有限要素解析を行った。梁-柱は図-6のようなI形の断面を持つ。頂点に与える水平変位は図-7のように繰り返して3回ごとに振幅を大きくしていく。軸力を降伏軸力の0.6倍としたときの梁-柱の中央の変位を追跡した解析結果を図-8に示す。ここで、梁-柱が右→左と反転するときの変位を v_R 、左→右と反転するときの変位を v_L とし、変位の対称成分 v_f と非対称成分 v_b をそれぞれ次の式で表した。

$$v_f = \frac{1}{2}(v_R - v_L), \quad v_b = \frac{1}{2}(v_R + v_L)$$

梁-柱の基部が塑性化すると、頂点の振幅を増加させた段階で非対称成分が生じる。同じ振幅でも2回目になると非対称成分は小さくなる。3回目に同じ振幅を与えたときの非対称成分の大きさは2回目のときと変わらない。振幅を大きくしていくと繰り返して1回目と2回目以降の非対称成分の差が大きくなる傾向がみられた。

参考文献

- 1) K. Uetani: Uniqueness criterion for incremental variation of steady state and symmetry limit *J.Mech.Phys.Solids*, Vol.37, No.4, pp.495-514, 1989.
- 2) 水野・沈・宇佐美: 鋼素材に対する修正二曲面モデルの一般定式化, 構造工学論文集, Vol.40A, pp.235-248, 1994.3.

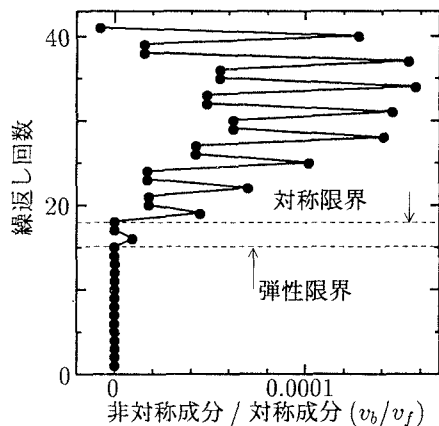


図-8 たわみの非対称成分