

パシフィックコンサルタンツ 正員 児玉 豊
 京都大学 正員 後藤 尚男
 京都大学 正員 亀田 弘行

1はじめに H型鋼梁内に生じる塑性ヒンジの変形能力を決定する要因の一つとして横座屈が考えられている。田中らの研究¹⁾によると、ある変位振幅以上で交番曲げを繰返すと繰返しごとに横座屈が進行すること、さらに安定な履歴ループを得ることのできる変位振幅は単調載荷時の変形能力に比べて半分以下になることが指摘されている。本研究は、このような変形能力の低下をもたらす原因のいくつかを解析的に調べようとしたものである。

2対象とする梁 対象とする梁は、図1に示されるようにスパン長 $2l$ の単純梁であり、そのスパン中央において集中荷重 P を受けるものとする。横たわみ w にねじれ θ に対しては、両端で単純支持、載荷点では完全に拘束されている。したがって、解析では2次の横座屈を対象とすることになる。

3応力-ひずみ関係 図2に示されるように、初めて降伏する場合だけ AB のような塑性流れ領域を現わし、その後 BC のようにひずみ硬化域にはいる。Cにおいて応力が反転すると、反対側の降伏応力に達するまで弾性的に進行し、その後ただうにひずみ硬化域にはいる。このモデルの表現しているところは、一旦塑性履歴を受けると塑性流れ領域が消滅すること、繰返し硬化現象である。SS41の引張試験結果より、Bにおけるひずみは降伏ひずみ ϵ_y の12.4倍、ひずみ硬化係数 $n=62.8$ とする。

4解析の前提 (1)平面保持が成り立つ。(2)降伏条件、塑性変形は曲げによる直応力のみを考慮する。(3)残留応力は無視する。(4)たわみに及ぼすせん断変形の影響は考慮しない。(5)初期変形、荷重の偏心はないものとする。(6)局部座屈の影響は考慮しない。(7)ねじれ剛性は全断面有効とする。また、本例のようなモーメント勾配を持つ梁を接線係数理論によ、てその横座屈を予測する場合は、塑性流れ領域中に留ま、ている要素の接線剛性 E_p のとり方によ、て大きな影響を受けることが指摘されている²⁾。M.G.Layの理論によ、て、モーメント勾配を受ける梁の接線弱軸曲げ剛性 $(EI_y)_t$ 、接線曲げねじれ剛性 $(EI_{\theta})_t$ を求める場合には、計算上塑性流れ領域中に留ま、ている要素の接線剛性 E_p は、0ではなく E_p/E とすべきであるとしている。また、 $E_p=0$ とした場合の接線座屈荷重は実験値よりかなり小さく、 $E_p=E$ とする場合は控え目なざる妥当な値を手えるとしている。本研究ではこの点についても調べてみた。

5解析の方法 系の対称性を考慮して、梁の半スパンを100等分し、各断面を図3のように層状要素に分割する。片側フランジ25層、ウェブの半分を25層に分割した。荷重を手える各断面に作用している曲げモーメントが決まり、それに対応する曲率を探すことによ、て逐次計算を行な、た。

横座屈の計算はRayleigh-Ritz法を用いた。基礎式は

$$\frac{P_0^2}{4} \int_0^l \frac{1}{(EI_y)_t} (l-z)^2 \psi^2 dz = \int_0^l GJ \left(\frac{d\psi}{dz} \right)^2 dz + \int_0^l (EI_{\theta})_t \left(\frac{d^2\psi}{dz^2} \right)^2 dz \quad (1)$$

ここに、 ψ :ねじれ角、 z :梁軸に沿、た座標で原点はスパン中央、 GJ :ねじれ剛性、ねじれ角 ψ は前記の境界条件を満足するように正弦関数を取り

$$\psi = \sum_{i=1}^m \psi_i \sin(i \frac{\pi z}{l}) \quad (2)$$

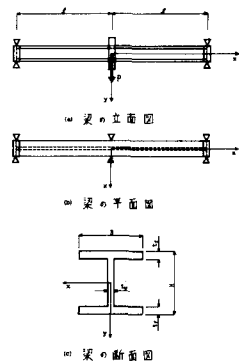


図1 対象とする梁

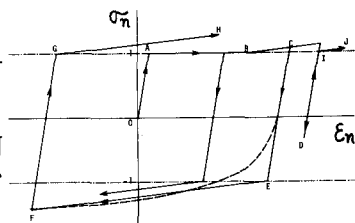


図2 応力-ひずみ関係

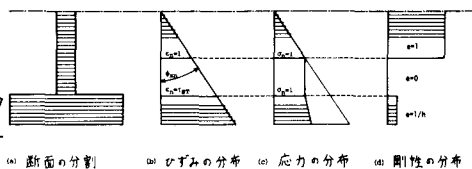


図3 断面の分割とひずみ、応力の分布

とした。このように計算して、三角級数の項数 $m=4$ とした場合の図が図4である。図中の実線(載荷曲線)と一点鎖線($E_p=0$)あるいは実線($E_p=E/R$)が交差する点が座屈する点であり、その点の荷重が座屈荷重、変位が変形能力となる。なお図中の荷重なるびに変位は、スパン中央のフランジ外縁が降伏し始めるときの荷重なるびに変位が無次元化されている。また三角級数の項数 m と変形能力 δ_{cr} の関係が、 $E_p=0$ 、 $E_p=E/R$ の場合についてそれぞれ図5、図6に示されている。同図より、いずれの場合でも $m=10$ とすれば十分収束している。

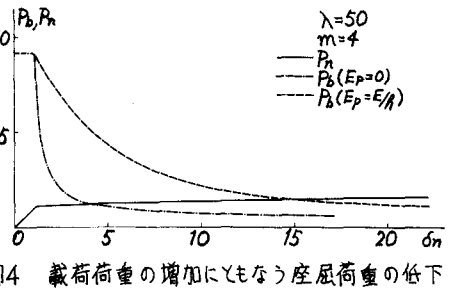


図4 載荷荷重の増加に伴う座屈荷重の低下

6. 単調載荷時 単調載荷時の座屈荷重なるびに変形能力が図7、図8に示されている。図7より、 $E_p=0$ とする場合の座屈荷重(実線)は最大荷重(0F)の予測値としてはかなり小さいことが認められる。特に図8の変形能力の場合、 $E_p=0$ とする場合(実線)は横たわりの大きくなり始める時点の変形($\times$ F)とはよく一致しているが、変形能力(0F)の予測値としては過小であることが認められる。一方、 $E_p=E/R$ の場合(実線)は、控え目ながら変形能力の予測値としては妥当であると考えられる。

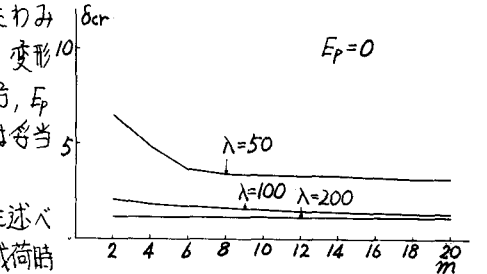


図5 三角級数の項数 m と変形能力 δ_{cr}

7. 交番載荷時 交番載荷時の梁の挙動については当日 会場でも述べるが文献3)を参照されたい。結果は図9に示されており、単調載荷時に比較して交番載荷時には変形能力が大幅に低下するという現象を、本解析結果は定性的によく表わしていると考えられる。

8. 結論 H型鋼梁が交番曲げを受けると、塑性流れ領域の消滅と繰返し硬化現象とにより、塑性ヒンジ領域が拡大する。その結果、同一の変形でも単調載荷時よりは 横座屈に対する梁全体の抵抗が低下する。さらに、荷重低下のメカニズム自体が異なるため、交番載荷時の変形能力は単調載荷時のそれに比べてかなり低下するものと考えられる。

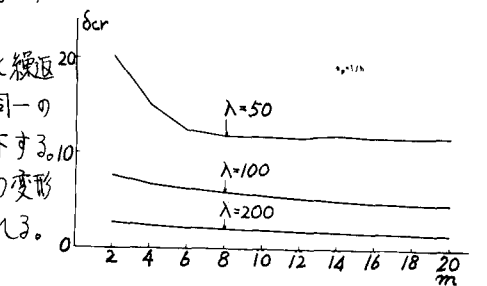


図6 三角級数の項数 m と変形能力 δ_{cr}

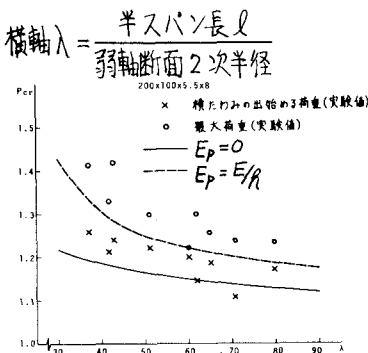


図7 座屈荷重 P_{cr} (単調載荷時)

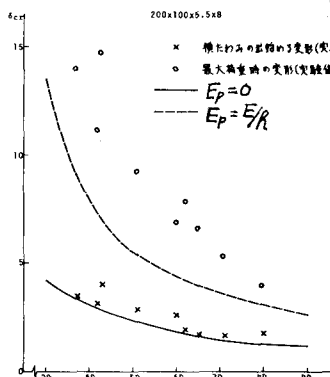


図8 変形能力 δ_{cr} (単調載荷時)

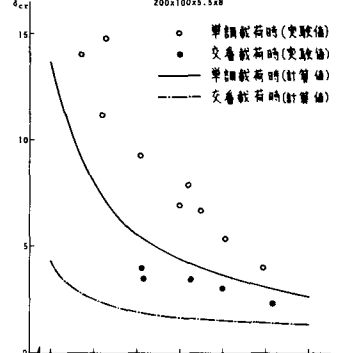


図9 変形能力 δ_{cr} (交番載荷時)

図7~9の実験値はいずれも文献1)による。

- 1) 田中, 高梨他: 繰返し載荷を受ける鋼構造の部材, 生産年報, 25巻2号, 1973年2月
- 2) M.G. Lay: Flange Local Buckling in Wide-Flange Shapes, Proc. of ASCE, No. ST6, Dec. 1965
- 3) 後藤, 児玉, 亀田, 小池: 昭和51年度関西支部年次学術講演概要集, I-57