

交番集中荷重を受けた単純梁の弾塑性横倒れ座屈に関する解析的研究

京大 正員 後藤 尚男 パシフィックコンサルタンツ 正員 〇 湊 豊
 京大 正員 亀田 弘行 川崎製鉄 正員 小池 武

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倒れ座屈が考えられている。従来の研究は、おもに単調に増加する荷重を対象としており、したがって、その場合の変形能力としては、座屈による除荷が始まる時点における変形が用いられてきた。しかし、田中らの研究によると、ある変位振幅以上で交番曲げを繰返すと繰返すごとに横倒れ座屈が進行し、安定な履歴ループが得られなくなる。さらに、安定な履歴ループを得ることのできる変位振幅、すなわち交番載荷時の変形能力は単調載荷時のそれに比べて半分以下になることが指摘されている。このことは、耐震設計のように繰返し荷重を対象とする場合は非常に重要な問題である。そこで本研究は、このような変形能力の差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を受けるものとする。また、断面は上下フランジ厚の等しい2軸対称断面とする。横たわみなるびにねじれに対しては、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次の横倒れ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的に進行し、その後ただちにひずみ硬化域にはいる。このモデルの表現している所は、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 $n=62.8$ としている。

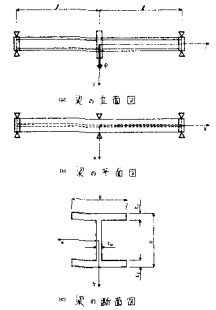


図1 対象とする梁

4.解析の前提と手法 解析は次のような仮定のもとに行なう。

- (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、荷重の偏心は無いものとする。(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。

計算に当っては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。荷重を与えると各断面に作用

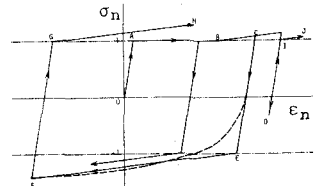
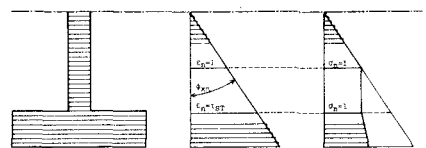


図2 応力-ひずみ関係



(a) 断面の分割 (b) ひずみの分布 (c) 応力の分布
 図3 断面の分割とひずみ、応力の分布

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、て計算を *step by step* に進めた。求められた曲率を積分すること
 によ、て載荷束のたわみを計算した。また、同時に各断面の接線
 弱軸曲げ剛性ならびに接線曲げねじれ剛性も計算して、接線係数理
 論により *Rayleigh-Ritz* 法を用いることによ、て座屈荷重ならびに変
 形能力を計算した。ただし、塑性流れ領域中にある部分の接線剛性
 を0とすると、座屈荷重、変形能力も極端に小さな値とな、てしま
 う。そこで、M.G.Layの理論に従い、塑性流れ領域中にある部分の
 接線剛性としてはひずみ硬化域における剛性を用いて、弱軸曲げ剛
 性ならびに曲げねじれ剛性を計算した場合の接線係数座屈荷重なら
 びに変形能力を単調載荷時の予測値として採用した。なお、荷重 P_n 、
 載荷束のたわみ δ_n は、それぞれスパン中央のフランジ外縁が降伏し
 始めるときの値で無次元化されている。

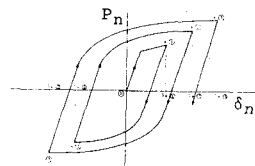


図4 荷重反転位置の記号

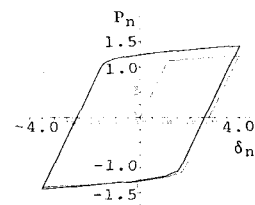


図5 交番載荷時の履歴ループ

5. 定変位交番載荷時の梁の挙動

図4のように各荷重反転位置
 に記号を付して表現する。図5に
 変位振幅 $\delta_n=4$ の場合が示され
 ている。同図より、交番載荷時
 には定常状態においては、処
 女載荷時よりかなり大きな荷重
 に到達していることがわかる。図
 6には、定常状態にいたるまで
 の塑性ヒンジ内部の状態が示さ
 れている。同図より、定変位交
 番載荷を行なうと+④から-④
 に到る過程で塑性ヒンジ領域が
 大幅に拡大するのが認められる。
 このようにヒンジ領域の拡大す
 る理由は、+④から-④の過
 程で処女載荷時の塑性変形の倍
 近くの塑性変形を受けること
 で、塑性流れ領域の消滅と繰返
 し硬化現象とである。その結
 果、定常状態においては、図7
 に示されるように同一の変形
 でも単調載荷時よりは大きな荷
 重に到達するようになる。

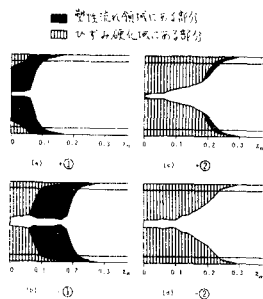


図6 塑性ヒンジ領域内部の変化

6. 変形能力の比較

交番載荷時には、最も荷重の大きくな
 っている定常状態を対象として、荷重振幅 P_n が接線係数座屈荷重よ
 り小さければ安定な履歴ループを得ることが出来るものとする。
 このようにして得られた変形能力の予測値と文献1)による実験結
 果とを図8に示す。同図より交番載荷時には変形能力が低下する
 という定性的傾向を解析結果はよく表わしていると考えられる。

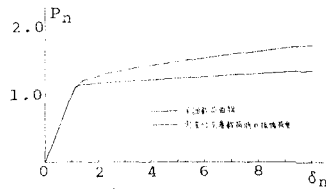


図7 荷重振幅と変位振幅

7. 結論

H型鋼梁が交番曲げを受けると、塑性ヒンジ領域が拡大
 し、その結果 横倒れ座屈に対する梁全体としての拮抗が低下す
 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。

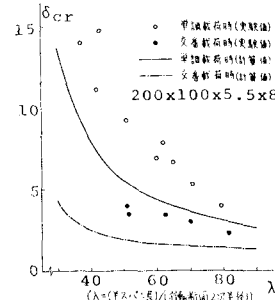


図8 変形能力 δ_{cr} の比較 (実験値は文献1)による)

1) 田中他：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) Lay, M.G.: Flange Local Buckling in Wide-Flange Shapes, Proc. of ASCE, No. ST6, Dec., 1965