

鋼U形桁の横倒れ座屈の限界値に関する研究

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○山口 慎
芝浦工業大学大学院 学生員 板谷 成敏
芝浦工業大学 正会員 松浦 章夫

1.はじめに 現在の橋梁構造物における経済性の向上は急務であり、桁構造の簡素化はその一つの方法として有益である。U形断面は構造の特性上簡潔な構造であり、同強度のI形桁に比べ、鋼重の削減、溶接箇所の低減が可能になり、合理的な構造が可能になると考えられる。

しかしながら、桁上部の拘束度が低く、断面のせん断中心が図心に比べ低い位置に存在するU形断面は、ねじれに対して有効な断面とは言えず、現在はあまり使用されていないのが現状であり、設計標準及び示方書でも深く取り上げられていない。よって鋼U形断面桁を有効的に使用するには桁の全体横倒れ座屈に対する検討が重要である。

そこで本研究では、鋼U形桁に対して有限要素法による弾塑性安定解析を行い、全体横倒れ座屈に対する検討を行なうことにより、現行の設計標準に対し横倒れ座屈の限界値に新たな提案をすることを目的とする。

2.解析モデル

図-1の断面を持つU形桁をスパン方向20分割、各部材を板厚方向に1分割、板幅方向に40分割、計4000個の要素に分割した解析モデルを用い、桁両端に等曲げモーメント又は桁中央部に集中荷重を載荷する場合を考

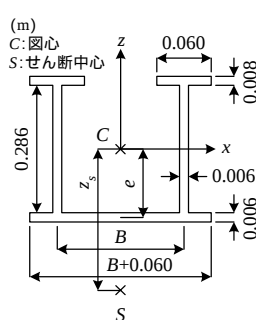


図-1 断面形状

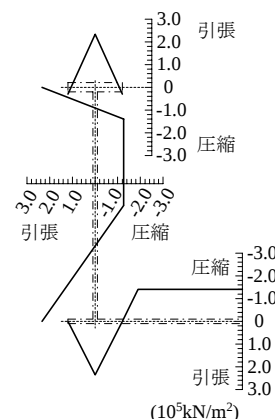


図-2 初期応力

実測値形

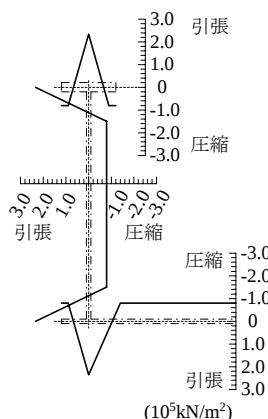


図-3 初期応力

近似形

える。

桁に存在する初期応力には図-2 および図-3 に示されている溶接型の残留応力を使用する。図-2 は過去の実測値¹⁾により測定された値をもとに断面全体の残留応力の釣り合い条件を考慮した残留応力形状であり、図-3 は一般的に用いられる各部材の残留応力の釣り合い条件を考慮した近似形状である。

初期曲がりは一一般的な許容値内である $l/1000$ を用い、初期ねじれ角は 0.001rad を与えてある。

3.解析手法 載荷によって各要素の応力状態を考慮しステップごとに桁断面を作成しその断面をもとに要素剛性マトリックス $[k_f]$ および幾何剛性マトリックス $[k_g]$ を導く。これらをもとに剛性方程式 $\{F\} = ([k_f] + [k_g])d\{\Delta\}$ をたてる。この剛性方程式を dM_x について微分し、 $[k_f]$ が定数であることを考慮すると、 $-d[k_g]\{\Delta\} + d\{F\} = [k_f] + [k_g]d\{\Delta\}$ 。これを Δ について解く事により、各接点変位を求める。

これを断面降伏モーメント M_z の 0.1% ごとに解析し横倒れ座屈の限界値を求める。

4.結果考察 以下は弾塑性安定解析による横倒れ座屈の限界比 M/M_z と設計値および実験値との比較である。

図-4 は等モーメントを載荷した場合の解析結果である。 M/M_z を解析値、実験値および設計値について横軸にウェブ間隔をとって示し、あわせて実験値と解析値の比率も示した。初期応力は図-2の値を使用している。

図-4の解析値における面外方向変位は不安定領域に入った時点の変位であり、本研究ではこの時のモーメントを横倒れ座屈の限界値とみなしている。ウェブ間隔が $0.15\text{m} \sim 0.17\text{m}$ の間で大きな変化が生じており、一般に横倒れ座屈の限界値とされる $L/B=35^{1)}$ (L :スパン, B :ウェブ間隔)とほぼ一致する。ウェブ間隔 0.15m では理論値に比べ M/M_z は 40% 大きな値を示している。この差はウェブ間隔が小さくなるにつれ小さくなっている。

また、実験値¹⁾との比較においては、数値そのものに差は生じてはいるが、全体的な比率において比較してみると両者はほぼ一致している（解析値/実験値 0.8 ）。

キーワード U型断面桁、横倒れ座屈、初期不整、横倒れ座屈の限界値

連絡先: 〒108-8548 東京都港区芝浦 3-9-14 03-5476-3047 Fax: 03-5476-3166 email: m500145@sic.shibaura-it.ac.jp

以下は、図-3 に示す初期応力を用いた場合の横倒れ座屈の限界値である。

図-5 は等モーメント載荷した桁の横倒れ座屈の限界値および面外方向変位である。 $B=0.11\text{m}$ と $B=0.12\text{m}$ との間で大きな変化が見られる。これは $B=0.11\text{m}$ 以下の桁において、上フランジの降伏によって桁が不安定領域に入ったことを示しており、ウェブ間隔が小さい桁においてはウェブ幅 B に対する上フランジ幅 B_2 の比 B_2/B が大きくなり ($B_2/B>0.5$) 上フランジの断面降伏が桁の横倒れ座屈の限界値を小さくすることに寄与しているといえる。

実際の桁との比較として図-6 に示すような桁高 1.5m 、 $B=0.5\sim 2.5\text{m}$ の鋼U形桁についても同様の解析を、横倒れ座屈の限界値を縦軸にとり、横軸に L/B をとることにより設計値との比較検討を行なった。 $B>1.5\text{m}$ において $L/B<50$ の領域では初期応力の影響によって $M/M_z=0.7$ 付近で桁断面降伏に至っている。 $L/B>50$ の領域では横倒れ座屈理論に沿った挙動を示している。

また、桁高に比べウェブ間隔が狭い桁は桁断面の降伏に至る前に横倒れ座屈の限界値に達していることがわかり、図-5 と同様に $B_2/B>0.5$ では上フランジの降伏が横倒れ座屈の限界値の低下に寄与している。

よってウェブ間隔が桁高程度であれば横倒れ座屈の限界値は、 $L/B>50$ まで余裕を持たせることが可能である。

図-7 は集中荷重を $B=0.15\text{m}$ 及び 0.30m の桁の載荷点を断面中心から偏心させて載荷した場合の挙動変化を示している。 $B=0.15\text{m}$ の桁において、桁中心からの距離 0.075m (ウェブ上) に載荷した場合、 $B=0.30\text{m}$ の桁において桁中央部に載荷した場合と同等の変位を生じている。荷重偏心による横倒れ座屈挙動の変化は、荷重の桁中心からの水平方向の偏心距離 e_{cn} と、せん断中心からの鉛直方向の距離に比例しているといえる。

5.まとめ 本研究では鋼U形桁の横倒れ座屈挙動について弾塑性安定解析を行なう事により、横倒れ座屈の限界値を求めることができた。横倒れ座屈モーメントの限界値はウェブ幅が桁高程度の桁では、設計値 $L/B>35^{1)}$ に対し $L/B>50$ まで向上させることが可能である。

また、集中荷重載荷においては、せん断中心が図心から離れていることにより、荷重の偏心が横倒れ座屈挙動に大きく影響を及ぼすことがわかった。この点については現設計標準では取り上げられておらず、今後、更なる解析がすすめられることが望まれる。

参考文献 1) 福本・久保：U形断面桁の横倒れ座屈強度，土木学会論文報告集，第264号，1977年8月

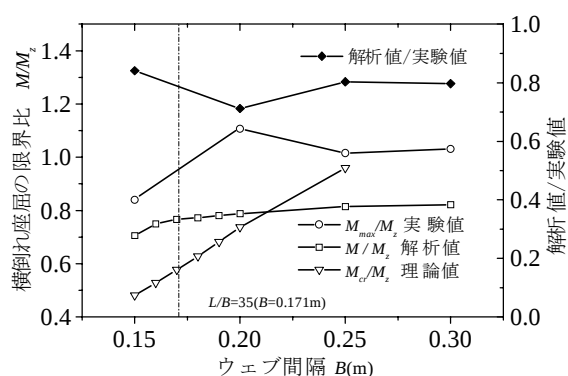


図-4 解析値と実験値との比較

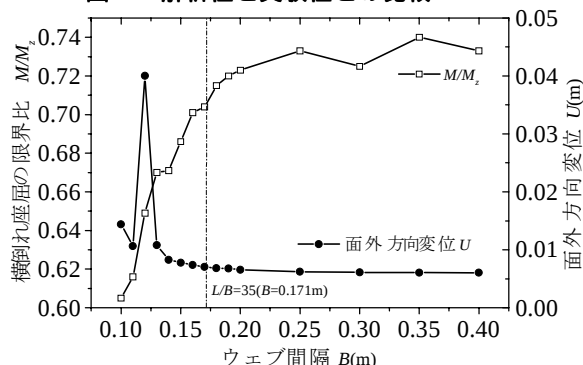


図-5 横倒れ座屈限界値および面外方向変位

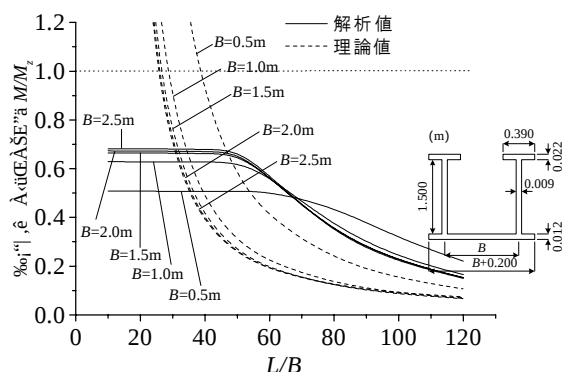
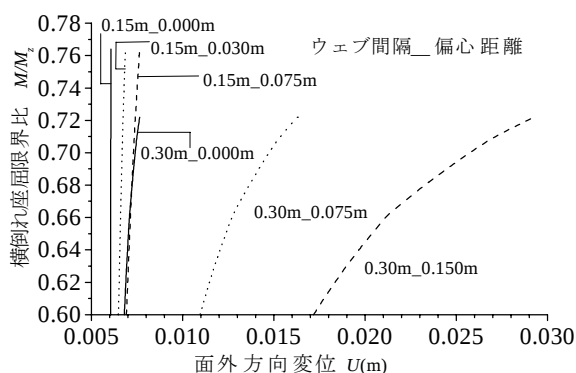


図-6 実桁における解析値と設計値との比較



ウェブ幅	0.30m			0.15m		
偏心(m)	0.000	0.075	0.150	0.000	0.003	0.075
載荷点						

図-7 水平方向偏心荷重による挙動変化