

首都高速道路公団 正員 下里哲弘

琉球大学工学部 正員 矢吹哲哉

琉球大学工学部 正員 有住康則

1. まえがき

現在桁構造に対しての設計は、フランジ及びウェブの局部座屈を考慮して断面降伏モーメント M_y を規準としている。最近、塑性棚が短い、低降伏比のLYR鋼が開発された。この鋼材を使用した場合、ひずみ硬化による耐荷力向上が予想され、 M_y ないしは全塑性モーメント M_p までの耐荷力を基準とした設計が可能になると考えられる。そこで、ここではLYR鋼使用桁の耐荷力特性を、桁の強度を支配する横倒れ座屈が生じやすい開断面桁を対象に、三次元非線形解析による数値解析に基づき検討する。

2. 解析方法及び解析法の検証

本解析では、材料の塑性化及びひずみ硬化による材料非線形性と有限変形時の釣合いに影響を及ぼす幾何学的非線形性を考慮した任意開断面部材の三次元弾塑性有限変位解析法の定式化を行った。幾何学的非線形挙動は、すべての変数が第1次釣合い状態を参照して定義される更新ラグランジュ法による増分理論を用いて評価する。材料非線形性はPrandtl-Reussの塑性流れ理論に従うものとし、降伏条件はVon-Misesの降伏条件式を用いた。また、鋼材質は等方硬化弾塑性体とし、ひずみ硬化域では任意のひずみ硬化曲線が取り込めるよう定式化した。尚、本解析は梁要素モデル有限要素法を用い、非線形挙動は、Newton-Raphson法を併用した荷重増分法で数値解析を行った。

図-1は、圧延I形桁の実験結果¹⁾と本解析との比較を示す荷重変位曲線である。残留応力度分布、元たわみ量及び材料定数は実供試体の測定値とした。図の縦軸は載荷荷重 P 、横軸はスパン中央での圧縮フランジの面外変位 (δ_H) である。本解析値と実験値を比較すると、 $L=1.5\text{m}$ の場合では極めてよく一致しており、 $L=2.0\text{m}$ 、 2.6m でも良好な一致が見られる。よって、本解析は残留応力度及び元たわみを考慮した二軸対称断面桁の終局状態に至るまでの挙動を精度良く評価できると言えよう。

3. 解析モデル

解析に使用したモデルは、図-2のようなI形、溝形及びJ形断面桁である。又、その開断面桁は強軸回りの等曲げモーメント M を受け、両端での支持条件は面内、面外たわみ及びねじり角共に単純支持を満足させている。解析パラメータは、圧縮フランジ断面積 A_f と腹板断面積 A_w との比 A_w/A_f 、桁のスパン長 L と圧縮フランジ幅 b との比 L/b 、元たわみ e_0 、鋼材質及び残留応力度とした。尚、残留応力度パラメータは、圧縮残留 $\sigma_{rc} = 0.3\sigma_Y$ (I形)、平均引張残留応力度の領域幅 X (溝形、J形) である。

4. LYR鋼耐荷力特性

図-3は、LYR鋼使用I形断面桁について、 A_w/A_f を変化させた解析結果の一例である。図の縦軸は終局曲げモーメントを

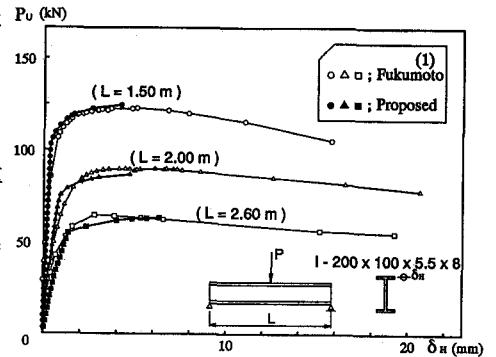


図-1 解析精度

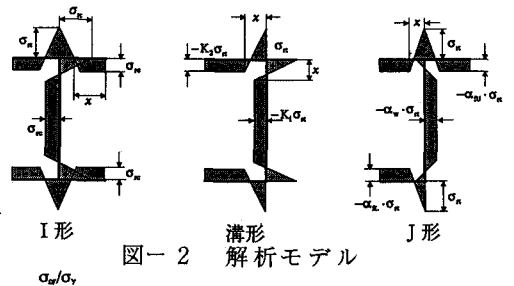


図-2 解析モデル

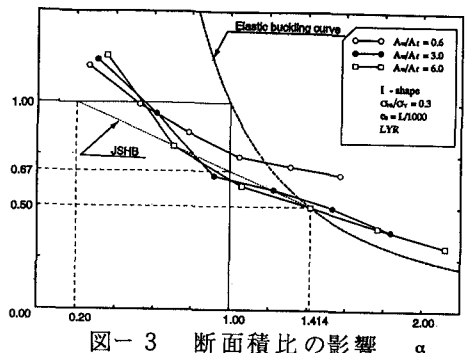


図-3 断面積比の影響

断面強軸まわりの断面係数で除した値を鋼材の降伏点応力度で無次元化した値 σ_{cr}/σ_y 、横軸は横倒れ座屈パラメータ $\alpha = 2/\pi \sqrt{3 + A_w/A_f} \sqrt{\sigma_y/E} \cdot L/b$ である。図より、 α を一定とした場合 $\sigma_{cr}/\sigma_y \geq 1.0$ においては、 A_w/A_f の増加に伴い耐荷力も増加する。しかし、 $\sigma_{cr}/\sigma_y \leq 1.0$ においては、逆に A_w/A_f が小さいほど耐荷力が増加する。この傾向は α が大きい程顕著となる。

図-4 は、LYR鋼使用 I 形断面桁の終局状態の変形図の一例である。図より、圧縮フランジがスパン中央で面外方向に大きく変形する横倒れが生じているのが伺える。

図-5 は I 形断面桁について鋼材質の耐荷力に及ぼす影響の検討結果の一例である。図より、耐荷力に及ぼす鋼材質の影響は、 $\alpha > 1.0$ では、大きな定量的相違は見られないが、 $\alpha \leq 1.0$ の場合 LYR 鋼が他の鋼材に比較して耐荷力が大きくなる傾向を示す。これは、ひずみ硬化に起因していると考えられ、塑性棚の短い LYR 鋼の特徴であると言える。

図-6 は、図-5 の各鋼材に対応する桁中央断面圧縮フランジ部での相当応力度-相当ひずみ曲線である。図の破線は本解析で仮定したひずみ硬化曲線である。図より、LYR 鋼でひずみ硬化域に入っているのが伺える。

図-7 は LYR 鋼使用桁について塑性棚 (ϵ_{PL}) を変化させた場合の検討結果の一例である。ここでは、 $\epsilon_{PL} = 0.00\%$ 、 0.27% 、 2.00% (SS41 鋼相当) とした。図より $\alpha \geq 1.0$ においてはその影響はほとんど見られないが、 $\alpha \leq 1.0$ において、 α が小さくなるほど塑性流れ領域が無い、即ち、弾性域から直ちにひずみ硬化領域に入る場合が最も高い耐荷力を示した。次いで、 $\epsilon_{PL} = 0.27\%$ 、 2.00% の順となった。従って、これは、LYR 鋼を開発する場合、塑性棚をなくした方がひずみ硬化による耐荷力向上が期待できる。

5. あとがき

今回、降伏強度を越える設計基準強度の活用という観点から、LYR 鋼使用桁耐荷力に関する検討を行った。LYR 鋼使用桁は他の鋼材に比較して耐荷力向上が認められ、コンパクト断面等を使用した場合益々その特性を発揮するものと思われる。今後、LYR 鋼使用の各種断面桁の耐荷力模型実験と溶接による残留応力度の実測資料が、設計基準の確立のために必要である。

参考文献 1) Fukumoto, Y., Y. Itoh, and M. Kubo: Strength Variation of Laterally Unsupported Beams, Proc of ASCE, 1980

2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（共通編・鋼橋編）平成2年2月

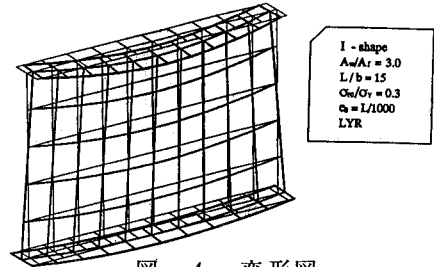


図-4 変形図

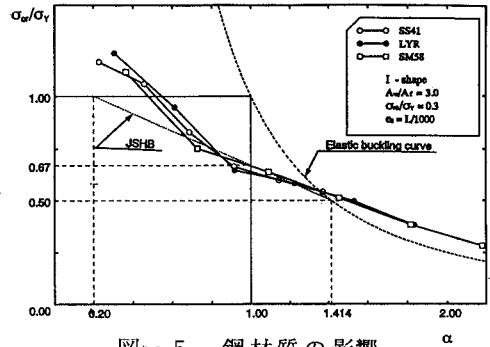


図-5 鋼材質の影響

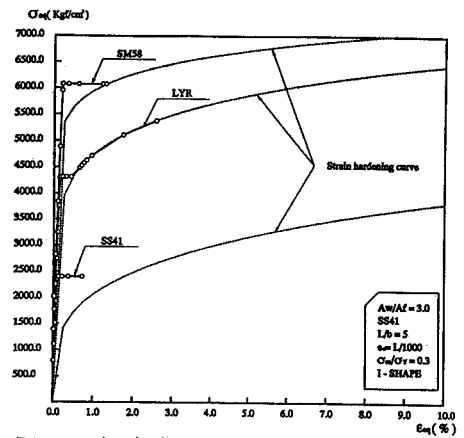


図-6 相当応力度-相当ひずみ曲線

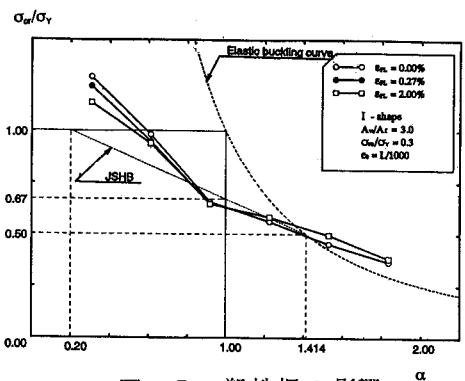


図-7 塑性棚の影響