

鋼材特性の影響を考慮した合成断面の正曲げ耐力算定式

長崎大学大学院 学生会員○江頭克礎
 長崎大学工学部 正会員 中村聖三
 長崎大学工学部 フェロー 高橋和雄

1. まえがき

我が国の鋼橋上部構造においては、現在まで鋼材の弾性域のみを考慮した設計法が採用されてきており、鋼材の塑性域での性能は有効に活用されていない。しかし、AASHTO 等、諸外国の基準においては、断面の全塑性モーメントを基準とする設計法も規定されており、また塑性設計の概念を導入することは建設コスト削減の観点から有効だと考えられる。著者らは、これまでに合成断面の正曲げ耐力に及ぼす鋼材特性の影響について解析的に検討してきたが、今回はその結果をもとに、鋼材特性を考慮した正曲げ耐力算定式を提案する。

2. 解析方法

本研究ではファイバーモデルを用い、図-1 に示す流れで終局モーメントを算定した。すなわち、まず、床版上縁のトップファイバーのひずみをコンクリートの破壊ひずみとし、中立軸位置を仮定することにより、断面のひずみ分布を決定する。次に、決定されたひずみ分布に対して、材料の応力-ひずみ関係から応力分布を求め、式(1)により断面の合力 F を算定する。 $F=0$ となるまで中立軸の位置を変化させ、繰り返し計算を行う。最後に $F=0$ となった時点の応力分布から式(2)によりモーメントを求め、終局モーメントとする。

$$F = \sum_{i=1}^n \sigma_i A_i \quad \cdots (1), \quad M = \sum_{i=1}^n \sigma_i A_i y_i \quad \cdots (2)$$

ここに、 σ_i : ファイバー i における平均ひずみによる応力、 A_i : ファイバー i の面積、 y_i : 中立軸からファイバーの重心までの距離である。

3. 解析モデル

解析には図-2 に示すコンクリート床版と H 形鋼の合成断面を用いた。H 形鋼は 900mm×300mm×16mm×28mm を基準とし、フランジ幅 b_{ff} 、 b_{bf} を 16~3000mm の間で変化させることにより 52 種類の断面に対して解析を行った。

4. 材料特性

コンクリートの応力-ひずみ関係には、コンクリート標準示方書²⁾で規定されている式(3)~(4)を用いた。

$$\sigma'_c = 0.85 f'_c \left(\frac{\varepsilon'_c}{0.002} \right) \left(2 - \frac{\varepsilon'_c}{0.002} \right), \varepsilon'_c \leq 0.002 \quad \cdots (3)$$

$$\sigma'_c = 0.85 f'_c, 0.002 \leq \varepsilon'_c \leq 0.0035 \left(f'_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2 \right) \quad \cdots (4)$$

ここに、 f'_c : 設計圧縮強度、 f'_{ck} : 設計基準強度、 ε'_c : コンクリートの圧縮ひずみである。ただし、今回は $f'_c = f'_{ck}$ とした。鋼の塑性領域における応力-ひずみ関係は、土木学会新技術小委員会で提案されている式(5)³⁾を用いた。

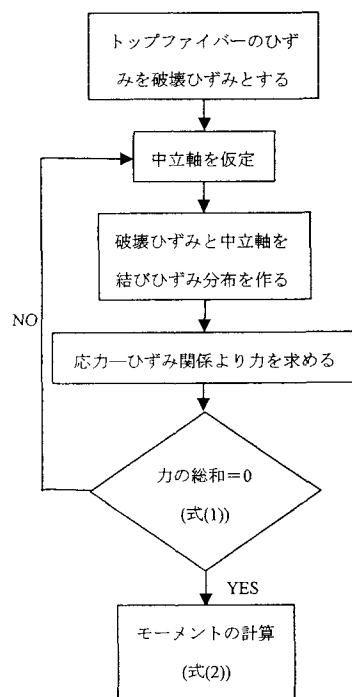


図-1 解析の流れ

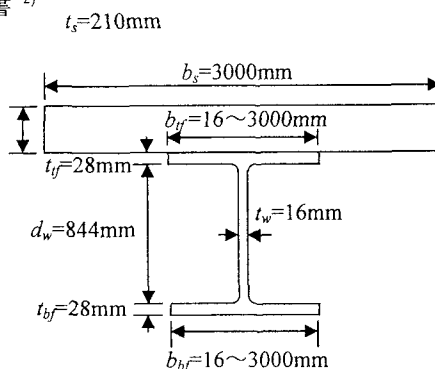


図-2 鋼-コンクリート合成断面

$$\frac{\sigma}{\sigma_y} = \frac{1}{\xi} \frac{E_{st}}{E} \left[1 - \exp \left\{ -\xi \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_y} - \frac{\varepsilon_{st}}{\varepsilon_y} \right) \right\} \right] + 1 \cdots (5)$$

5. 解析条件

コンクリートの材料特性については、設計基準強度 30N/mm^2 、ポアソン比 0.2 とし、鋼材の材料特性についてはポアソン比を 0.3、弾性係数を 200000N/mm^2 とした。また、塑性領域のパラメータの影響を調べるため SS400 をベースとし表-1 に示すように YR 、 $\varepsilon_{st}/\varepsilon_y$ を変化させた。また、同じ降伏比でも、 E/E_{st} の組合せにより応力-ひずみ関係は変化し、曲げ耐力も図-3 のように変化するため、式の提案には安全側の値として $E/E_{st}=100$ に対する解析結果を用いる。なお、図-3 において縦軸は終局モーメント M_{test} と全塑性モーメント M_p の比であり、その値が 1.0 以上であれば、その断面は M_p 以上の断面耐力を有することになる。横軸は床版上縁から塑性中立軸までの距離 D_p と ductility factor D^* との比である。なお D^* は、鋼桁の高さ d 、床版厚 t_s を用いて、 $D^*=(d+t_s)/7.5$ と表わせる。また解析を行う際、残留応力の影響についても検討したが、ほとんど影響がなかったため無視している。

6. 算定式の提案とその検証

式(6)に本研究で提案する耐力の算定式を示す。本提案式は、上述したパラメトリック解析の結果得られた M_{test}/M_p と D_p/D^* との関係を二次式と仮定して、各係数を試行錯誤的に求めたものであり、適用範囲は $D_p/D^* < 1.5$ 、 $0.55 < YR < 0.85$ 、 $1 < \varepsilon_{st}/\varepsilon_y < 12$ である。図-4 に代表的なパラメータの組合せに対する算定式と解析値との比較を示すが、両者の誤差は最大でも 6% 以下であり、式の精度は十分であると思われる。

$$\frac{M_{test}}{M_p} = \left\{ -0.52(YR - 0.45)^2 + 0.16 \left(\frac{D_p}{D^*} \right)^2 + \left[1.47(YR - 0.45)^2 - 0.45 \left(\frac{D_p}{D^*} \right) - (YR - 0.45)^2 + 1.37 - 0.005 \left(\frac{\varepsilon_{st}}{\varepsilon_y} \right) \right] \right\} \cdots (6)$$

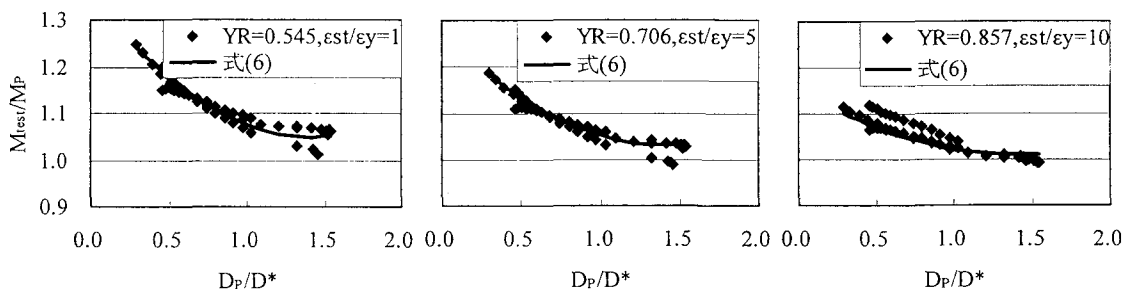


図-4 算定式と解析値の比較

7. 今後の検討

今回は断面の曲げ耐力のみに着目し算定式を提案したが、連続桁などの不静定構造物においては、曲げ耐力以外に断面の変形性能を確保することが重要となるため、そうした観点からの検討も実施したいと考えている。

参考文献

- 1) Wittry, Dennis M.: "An Analytical Study of the Ductility of Steel Concrete Composite Sections", Masters thesis, University of Texas at Austin, December 1993
- 2) 土木学会: "コンクリート標準示方書", P23~25, 1996
- 3) 土木学会鋼構造委員会鋼構造新技術小委員会: "鋼橋の耐震設計指針案と耐震設計のための新技術", 1996