

正曲げを受ける鋼-コンクリート合成断面の曲げ耐力に及ぼす鋼材特性の影響

長崎大学工学部 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

我が国の鋼橋上部工においては、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きていなかった。しかし、AASHTO等の基準においては、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比較的短スパンの橋梁において経済性が向上するとされており、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な設計法だと考えられる。本研究では、塑性設計法を導入するために必要な鋼材特性に関する基礎的な検討として、正曲げを受ける鋼-コンクリート合成断面に対してファイバーモデルによる解析を行い、曲げ耐力に及ぼす鋼材特性の影響を調査した。

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

解析に用いた断面は図-2に示したコンクリート床版とH形鋼の合成断面であり、床版断面は高さ210mm、幅3000mmである。H形鋼は900mm×300mmを基準とし、フランジ幅を16~2500mmの間で変化させる事により17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⁾で規定されているもの(式(3)~(5))を用いた。概略図を図-3に示す。

$$\sigma_c' = 0.85 f_{cd} \left(\frac{\epsilon_c'}{0.002} \right) \left(2 - \frac{\epsilon_c'}{0.002} \right), \epsilon_c' \leq 0.002 \quad \cdots (3)$$

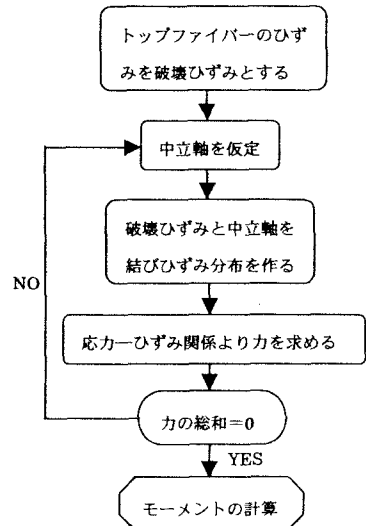


図-1 解析の流れ

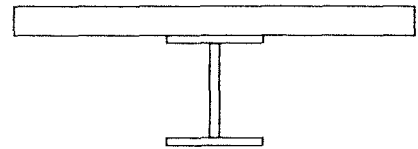


図-2 鋼-コンクリート合成断面

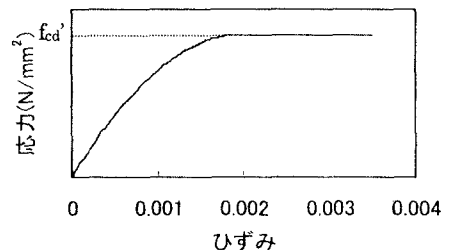


図-3 コンクリートの応力-ひずみ関係

$$\sigma_c' = 0.85 f_{cd}' , 0.002 \leq \varepsilon_c' \leq 0.0035 \left(f_{ck}' \leq 50 \text{ N/mm}^2 \right) \cdots (4)$$

$$\leq 0.0025 \left(f_{ck}' \geq 60 \text{ N/mm}^2 \right) \cdots (5)$$

ここに、 f_{cd}' : 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 $f_{cd}' = f_{ck}'$ とした。

鋼の応力-ひずみ関係には、土木学会新技術小委員会で提案されたもの³⁾を用いた。ひずみ硬化後の応力-ひずみ関係は次式のとおりである(図-4 参照)。

$$\frac{\sigma}{\sigma_y} = \frac{1}{\xi} \frac{E_{st}}{E} \left[1 - \exp \left\{ -\xi \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_y} - \frac{\varepsilon_{st}}{\varepsilon_y} \right) \right\} \right] + 1 \cdots (6)$$

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/mm²、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 とし、その他は表-1 に示す値を用いた。ファイバーモデルによる解析では、比較的容易に初期応力(残留応力)を考慮することができるが、今回は考慮せず解析を行った。

6. 解析結果の一例

図-5 に解析結果の一例を示す。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。横軸は床板上縁から塑性中立軸までの距離 D_p と靱性係数(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¹⁾。

いずれの鋼種においても、 M_{test}/M_p は D_p/D^* の増加に伴い単調に減少する傾向は一致している。しかし、SM570 の場合は、SS400・SM490 と比べ、全般的に M_{test}/M_p の値が小さい。終局モーメントが M_p を上回る D_p/D^* についても、SM570 で若干小さくなっているようである。これらの違いは鋼材特性に起因するものと考えられるが、パラメータである ξ 、 E/E_{st} 、 $\varepsilon_{st}/\varepsilon_y$ のうちどれが主要因であるかは、現時点では不明である。

7. あとがき

本文では、鋼材として SS400、SM490 および SM570 の 3 種類を取り上げ、その平均的な応力-ひずみ関係を用いて、断面の終局モーメントを算定した。その結果、 M_{test}/M_p は鋼材特性により異なることが明らかとなった。しかし、その主要因が何であるかは明確になっていない。今後、鋼材の降伏棚、ひずみ硬化係数などを变化させたパラメトリック解析を行い、それを明らかにする予定である。

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, "コンクリート標準仕方書", 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

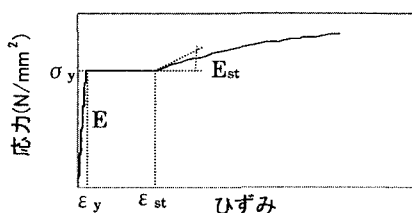


図-4 鋼の応力-ひずみ関係

表-1 鋼材データ

鋼材名	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)	ξ	E/E_{st}	$\varepsilon_{st}/\varepsilon_y$
SS400	235	455	200000	0.06	40	10
SM490	315	550	200000	0.06	30	7
SM570	450	645	200000	0.02	100	3

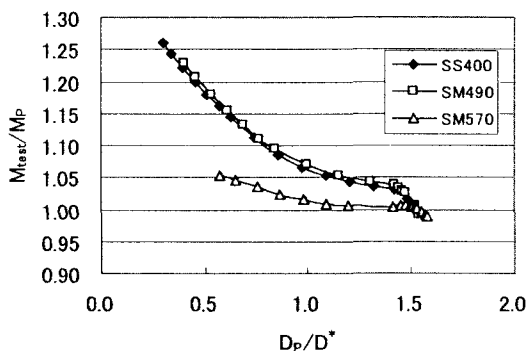


図-5 モーメント比と靱性比の関係