

材料非弾性特性がハイブリッド合成桁の終局曲げ耐力に及ぼす影響

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○山本 亨輔  
 京都大学大学院工学研究科 正会員 河野 広隆  
 京都大学大学院工学研究科 正会員 杉浦 邦征  
 京都大学大学院工学研究科 正会員 大島 義信  
 住友金属工業(株) 正会員 利根川 太郎

1. 研究背景

国内の鋼道路橋は、道路橋示方書・同解説<sup>[1]</sup>に基づき、耐震設計を除き、許容応力度設計法により弾性設計される。一方、諸外国では、座屈破壊を生じないような断面（コンパクト断面）では、終局限界状態に全塑性曲げモーメントを抵抗強度とすることも出来る。また、近年、降伏強度が500MPa以上で溶接・加工性に優れた高性能鋼材の開発が進められている。橋梁の合理化が進む中で、正曲げを受ける鋼-コンクリート合成桁において、引張方向の応力が最も強く働く下フランジにこの高性能鋼材を適用したものをハイブリッド合成桁という。本研究では、このハイブリッド合成桁について、弾塑性有限変位解析により座屈破壊も考慮して、終局曲げ耐力分布を算出することで、終局曲げ耐力の設計法について検討した。

2. 簡易断面解析による材料特性の影響評価

図-1に示すコンクリート床版(3000mm×210mm)とI形鋼桁(900mm×300mm×16mm×28mm)を基本断面とする合成桁を解析対象とする。コンクリートは材料特性の標準示方書<sup>[2]</sup>で規定されている図-2に示す関係式を用い、その材料特性(標準)は表-1に示すとおりとする。鋼材の材料特性は、土木学会新技術小委員会で提案された構成則<sup>[3]</sup>を用いる。その概略図は図-3のようになり、その特性値の標準値は表-2に示すものとする。対象とする材料特性値を変動させ、他の特性値は標準値に固定して、降伏曲げ耐力と終局曲げ耐力を算出する。

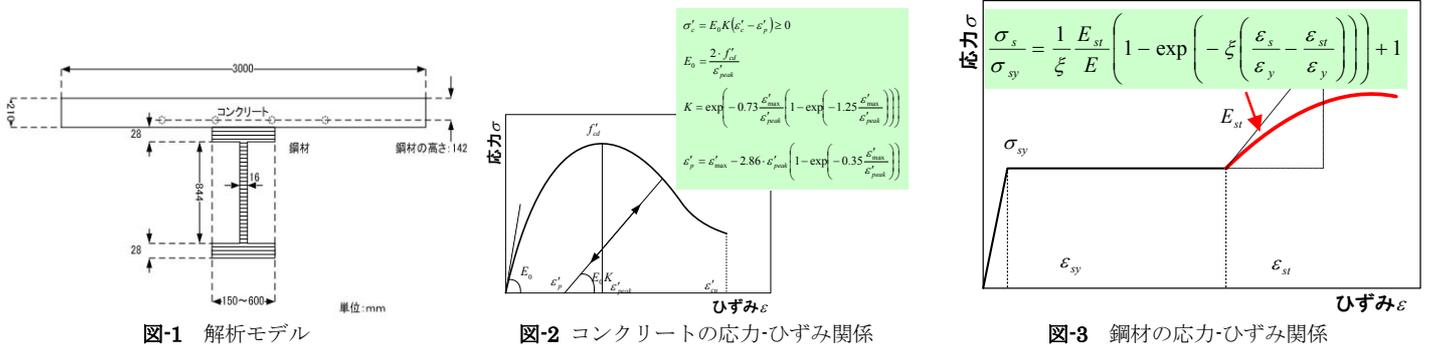


図-1 解析モデル

図-2 コンクリートの応力-ひずみ関係

図-3 鋼材の応力-ひずみ関係

表-2 鋼材の材料特性

鋼種	SS400	SM490	SM490Y	SM570	YP500
降伏点 $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	235	315	355	450	500
$\xi$	0.049	0.052	0.200	0.200	0.350
$E_{st}$ (N/mm <sup>2</sup> )	4070	4550	2000	2000	2000
$\epsilon_{st}$	0.0180	0.0165	0.0062	0.0080	0.0089

表-1 コンクリートの材料特性

設計基準強度 $f'_{ck}$	30 (N/mm <sup>2</sup> )
ピーク時のひずみ $\epsilon'_{peak}$	0.002
終局ひずみ $\epsilon'_{cu}$	0.0035

簡易断面解析の結果の例を図-4に示す。ここで曲げ降伏比とは終局曲げ耐力に対する降伏曲げ耐力の比率である。図より、全体としてハイブリッド合成桁では、用いる普通鋼材(圧縮側フランジおよびウェブ)の降伏強度を大きくするほど、曲げ降伏比が上昇する傾向を持つことが分かる。曲げ降伏比の上昇は、初期降伏から終局限界状態に至る余剰耐力が小さいことを意味し、降伏後の性能を制限することになる。材料特性のうち、コンクリートの設計基準強度の増加、鋼材の降伏強度の減少、高性能鋼材の降伏強度の増加が、合成桁の曲げ降伏比を特に大きく低減できることが分かる。また、コンクリートのピーク時のひずみや普通鋼材の硬化開始点ひずみも影響が大きいパラメータである。

キーワード：ハイブリッド合成桁, 材料非弾性, 曲げ耐力, 終局時挙動

連絡先：〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 TEL) 075-383-3321 FAX) 075-383-3324

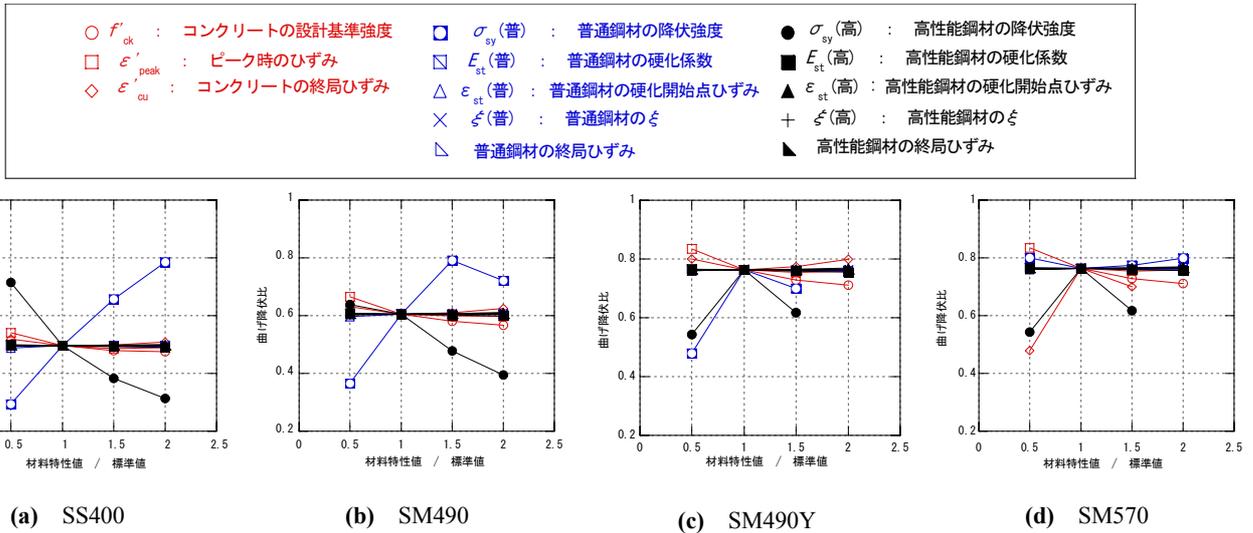


図-4 材料特性値の変動が曲げ降伏比に及ぼす影響

3. 弾塑性有限変位解析による合成桁の性能評価

簡易断面解析では座屈現象による終局強度の低下を考慮できない。そこで、弾塑性有限変位解析により、座屈破壊を考慮した曲げ耐力の分布を算出した。今回用いた解析モデルは図-5 のようになる。鋼桁は4枚のダイアフラムを持つ箱桁構造をしている。コンクリートの材料特性は設計基準強度を 30 (N/mm<sup>2</sup>) とし、圧縮強度を平均値 42.08 (N/mm<sup>2</sup>)、標準偏差 7.36 である正規乱数で与えた。また、普通鋼材に SM490Y 材とし、降伏強度を平均値 426 (N/mm<sup>2</sup>)、標準偏差 28.4 とする正規乱数で与えた。高性能鋼材は YP500 材を適用し、降伏強度を平均値 620 (N/mm<sup>2</sup>)、 $\gamma$  値を 18.9 とするワイブル分布乱数で与えた。

なお、この断面における全塑性曲げモーメントは 3.260 (MN・m) である。結果は図-6、図-7 のようになる。図のように、降伏曲げ耐力は全塑性曲げモーメントの 0.76~0.81 倍程度、終局曲げ耐力は 1.08~1.23 倍程度に分布することが分かる。降伏曲げ耐力に対して、終局曲げ耐力は約 1.5 倍であり、終局限界状態を考慮した合成桁の設計は有効であることが分かる。

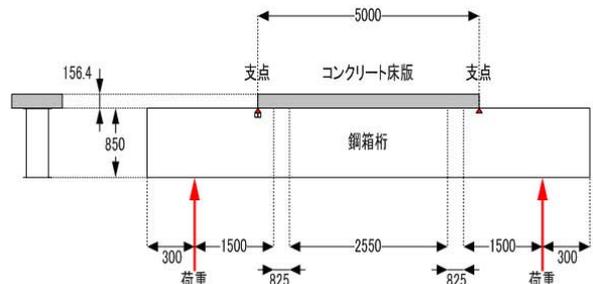


図-5 弾塑性有限変位解析モデル

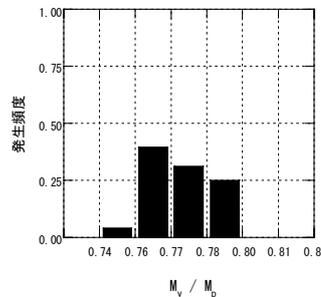


図-6 降伏曲げ耐力分布

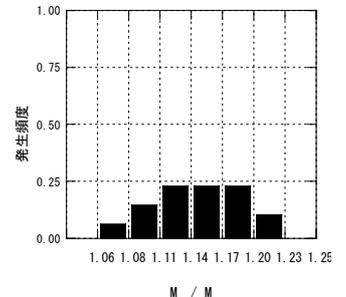


図-7 終局曲げ耐力分布

4. 結論

合成桁の設計において限界状態設計法を導入し、終局限界状態の設計法を確立することは有効であると考えられる。その際に、終局曲げ耐力として全塑性曲げモーメントにより評価することが妥当であると考えられる。今後の課題としては、より座屈が起りやすいスレンダーな鋼断面を有する合成桁モデルに対しても、同様の弾塑性有限変位解析を実施し、安全係数の適切な値を検討していく必要がある。

参考文献

[1] 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，平成 14 年 3 月。  
 [2] 土木学会：コンクリート標準示方書，pp. 22-25，1996。  
 [3] 利根川太郎，山口隆司，杉浦邦征，渡邊英一：薄肉少補剛ウェブ合成ハイブリッド箱桁の正曲げ終局強度に関する解析的研究，土木学会論文集A，Vol. 62/No. 2，pp. 300-311，2006. 4。