

第I部門 鋼およびコンクリートの材料特性がハイブリッド合成桁の曲げ耐力分布に及ぼす影響

京都大学工学部
 京都大学大学院工学研究科
 京都大学大学院工学研究科
 京都大学大学院工学研究科
 住友金属工業(株)

学生員
 正会員
 正会員
 正会員
 正会員

○山本亨輔
 河野広隆
 杉浦邦征
 大島義信
 利根川太郎

1. 背景と目的

国内の鋼道路橋は、道路橋示方書・同解説に基づき、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。一方で、諸外国では、座屈破壊が生じないような断面（コンパクト断面）では、その終局限界状態に基づき、全塑性曲げモーメントを抵抗強度とする。合成桁の設計を考える時、全塑性曲げモーメントを用いて終局状態を照査するためには、弾性域における材料特性だけでなく、塑性域における鋼材およびコンクリートの材料特性が重要なパラメータとなる。これまでにコンクリートの圧縮強度と鋼材降伏点が高率的に変動する場合の合成桁の正曲げ耐力を算出し、設計強度式が提案されてきた^[1]。しかし、座屈破壊による耐力低下などの影響を考慮するに至っていない。

一方、降伏強度が 500MPa 程度で高性能鋼材の開発が進められ、鋼構造の合理化に役立っている。このような背景を考慮し、高性能鋼材を適用した合成桁、特に曲げ耐力への荷重の分担が大きい引張側フランジに高性能鋼材を適用し、分担が小さい圧縮側フランジおよびウェブには従来鋼を適用するハイブリッド合成桁の導入も視野に入れて、合成桁の鋼およびコンクリートの材料特性が曲げ耐力に及ぼす影響を簡易断面解析により評価することを本研究の目的とする。

また、確率量ととらえた材料特性に基づき、座屈破壊も考慮可能な弾塑性有限変位解析により、曲げ耐力の確率量を算出し、終局曲げ耐力の評価式の提案を試みる。

2. 簡易断面解析による合成桁の曲げ性能評価

図-1 に示すコンクリート床版(3000 mm×210 mm)と I 形鋼桁(900 mm×300 mm×16 mm×28 mm)を基本モデルとする合成桁を解析対象とする。この場合、フランジ幅は 300 mm であるが、フランジ幅を 150 mm, 450 mm, 600 mm と変動させた場合についても同様の検討を行う。材料特性のコンクリート標準示方書で規定されている図-2 に示す関係式を用い^[2]、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^[3]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。

表-1 コンクリートの材料特性

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

表-2 鋼材の材料特性

鋼種	SS400	SM490	SM490Y	SM570	YP500
降伏点 σ_y (N/mm ²)	235	315	355	450	500
ξ	0.049	0.052	0.200	0.200	0.350
E_{st} (N/mm ²)	4070	4550	2000	2000	2000
ϵ_{st}	0.0180	0.0165	0.0062	0.0080	0.0089

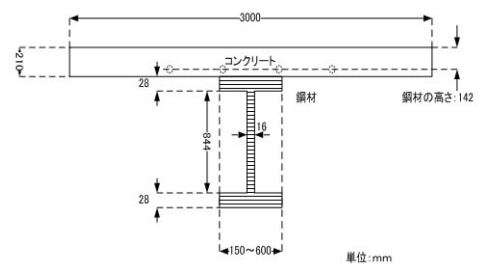


図-1 解析モデル

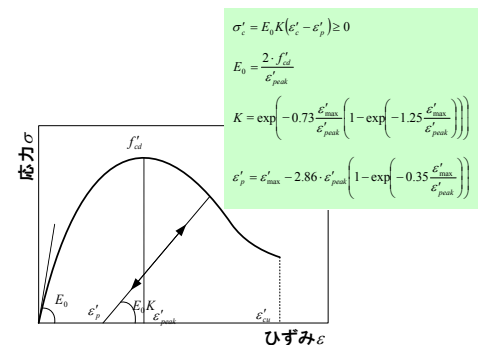


図-2 コンクリートの応力-ひずみ関係

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、その他では、コンクリートの終局ひずみの増加および高性能鋼材(引張側フランジ)の E_{st} を大きくする

ことが効果的である。なお、相対的に高性能鋼材の材料特性値の変動は、普通鋼材(ウェブおよび圧縮側フランジ)の材料特性値の変動よりも大きな影響を与える。

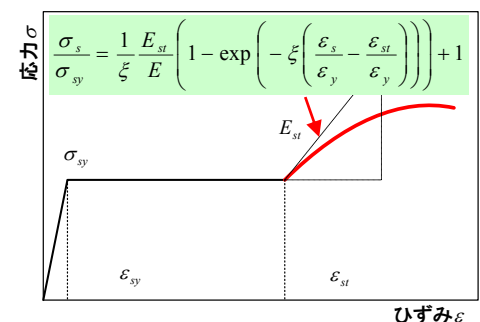


図-3 鋼材の応力-ひずみ関係

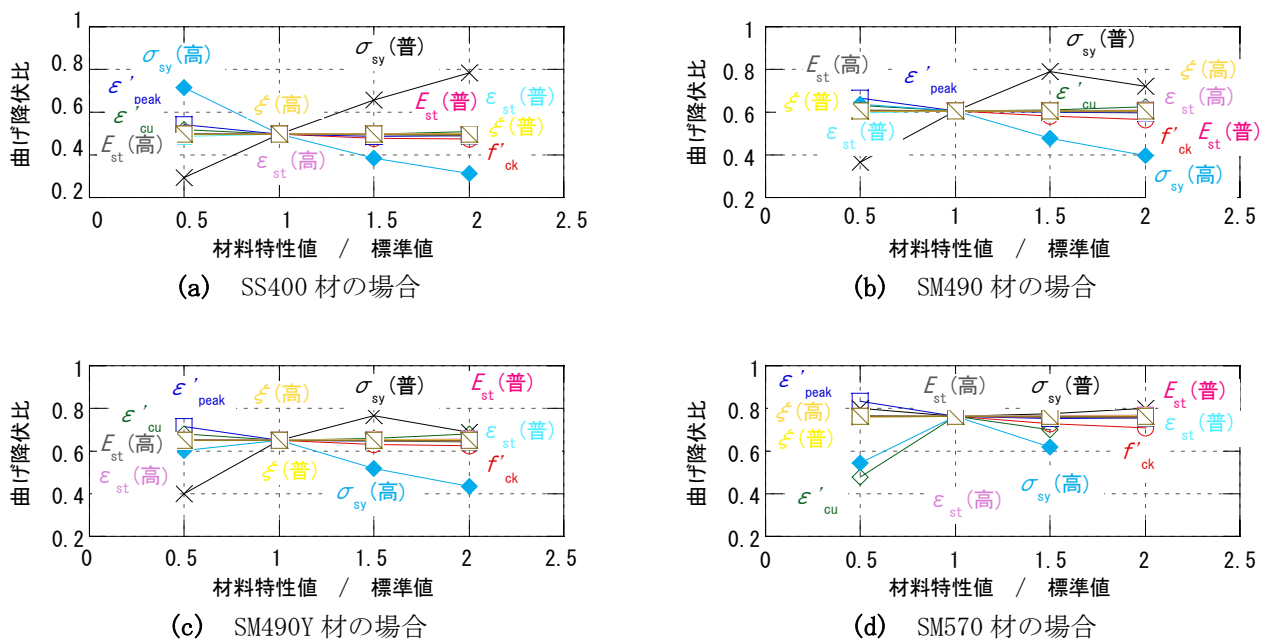


図-4 材料特性の変動による曲げ降伏比の変動
(フランジ幅 300 mm の場合)

3. 弾塑性有限変位解析による合成桁の曲げ性能評価

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。今回用いたモデルは図-5 のようになる。鋼桁中央に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 $44.6 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ とし、これに平均値 0.95, 標準偏差 0.08 である正規乱数を掛け合わせることで確率量とした。また、普通鋼材に SM490Y 材とし、降伏強度を平均値 $426 \text{ (N/mm}^2\text{)}$, 標準偏差 28.4 とする正規乱数で与えた。また、高性能鋼材は YP500 材を適用し、降伏強度を平均値 $620 \text{ (N/mm}^2\text{)}$, γ 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モーメントは $3.51 \text{ (MN}\cdot\text{m)}$ 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。

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、より座屈が起こ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。

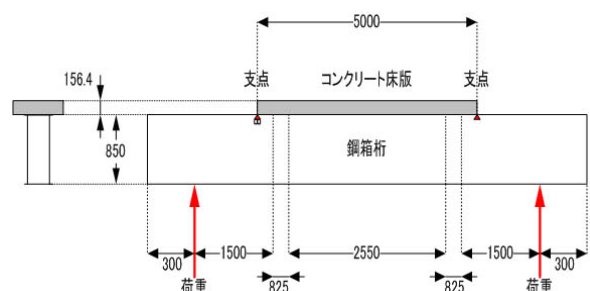


図-5 弾塑性有限変位解析モデル

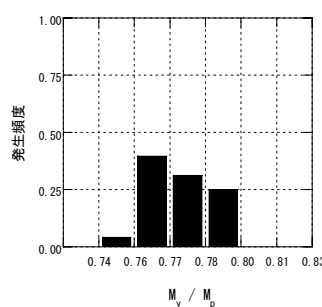


図-6 降伏曲げ耐力分布

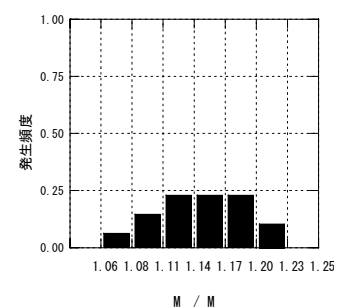


図-7 終局曲げ耐力分布

【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] 荒木智，江藤克礎，中村聖三，高橋和雄：材料強度のバラツキを考慮した合成コンパクト断面の正曲げ耐力設計式，土木学会第 61 回年次学術講演会（平成 18 年 9 月），1-343，pp.683-684，2006.9。
- [3] 土木学会：コンクリート標準示方書，pp.22-25，1996。
- [4] 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。