

正曲げを受ける鋼 - コンクリート合成桁の曲げ耐力の確率分布

長崎大学大学院 学生会員 荒木 智 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 正 会 員 呉 慶雄
 長崎大学工学部 フェロー 高橋 和雄

1. まえがき

我が国の道路橋は「道路橋示方書」に基づき設計されている。現行の道路橋示方書には許容応力度設計法が採用されており、構造物は材料の弾性限度内で設計されることになる。そのため、鋼材が本来有する塑性域での伸び性能などを有効に活用していないと考えられ、我が国の社会的背景を考慮すると、断面の全塑性モーメントを基準とする塑性設計法の採用はコスト削減の観点から有効であると思われる。本研究では鋼橋上部構造に対する塑性設計法の確立を最終目的とする研究の一環として、モンテカルロ法¹⁾を用いたシミュレーションを実施し、鋼材特性の応力 - ひずみ関係を規定するパラメータが確率的に変動する場合における鋼 - コンクリート合成断面の正曲げ耐力の確率分布を明らかにする。

2. 解析概要

2-1 解析モデルと材料特性

図 - 1 に示すコンクリート床版と H 形鋼桁の合成断面を解析対象とする。図中に断面形状寸法を示す。

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を用い、鋼材の応力 - ひずみ関係には土木学会新技術小委員会³⁾で提案されたもの(図 - 2)を用いる。ひずみ硬化後の応力 - ひずみ関係を式(1)に示す。式(1)のパラメータのうち、 ξ , E_{st} , ε_{st} を対数正規分布に従う独立した確率変数と仮定する。本研究で用いたコンクリートおよび鋼材の材料特性を、それぞれ表 - 1, 表 - 2 に示す。 ξ , E_{st} , ε_{st} の平均値、標準偏差は、文献 4), 5) を参考に設定した。

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

ここで、 σ_s : 与えられたひずみに対する応力(N/mm²)、 ε : 鋼のひずみである。その他のパラメータは表 - 2 を参照されたい。

2-2 確率分布の算定手順

本研究における曲げ耐力の確率分布の算定手順を以下に示す。

モンテカルロ法を用いたシミュレーションにより、式(1)における3つのパラメータ ξ , E_{st} , ε_{st} について、仮定した対数正規分布に従う擬似乱数を発生させ、その値を決定する。コンクリート床版の上縁のひずみをコンクリートの破壊ひずみとし、中立軸の位置を仮定することにより平面保持の法則に基づきひずみ分布を決定し、材料の応力 - ひずみ関係を用いて応力分布を求める。

釣り合い条件より、各ファイバーにおける力の総和が零と

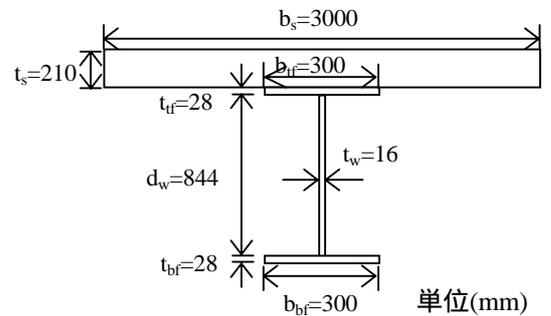


図 - 1 解析モデル

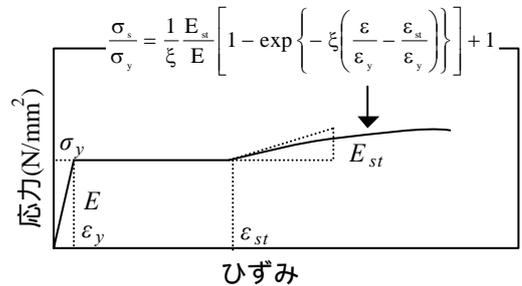


図 - 2 鋼材の応力 - ひずみ関係

表 - 1 コンクリートの材料特性

設計基準強度 f_{ck} (N/mm ²)	30
終局ひずみ ε_u'	0.0035

表 - 2 鋼材の材料特性

鋼種		SS400
ヤング係数 E (N/mm ²)		200000
降伏強度 σ_y (N/mm ²)		235
引張強度 σ_u (N/mm ²)		455
ξ	平均値	0.049
	標準偏差	0.027
ひずみ硬化係数 E_{st} (N/mm ²)	平均値	4070
	標準偏差	1320
ひずみ硬化開始点ひずみ ε_{st}	平均値	0.0185
	標準偏差	0.0049

キーワード：合成断面，正曲げ耐力，確率分布，塑性設計法，ファイバーモデル，鋼材特性

連絡先：〒852-8521 長崎市文教町 1-14 長崎大学工学部社会開発工学科 (TEL) 095-819-2610 (FAX) 095-819-2627

なるまで を繰り返し、釣り合った時点での応力分布から終局モーメントを算定する。

所定の回数（本研究では 5 万回） ～ を繰り返し、得られた曲げ耐力をヒストグラム化する。各範囲の頻度を発生回数で除すことで対応する確率を求める。

3. 解析結果の一例と考察

図 - 3～5 にモンテカルロシミュレーションによって得られた 3 つのパラメータのヒストグラムを、仮定した対数正規分布の確率密度関数と比較して示す。同図には、シミュレーションで得られた各パラメータの平均値と標準偏差も併せて示している。いずれのパラメータについても、シミュレーションより算出されたヒストグラムと対数正規分布の曲線がほぼ重なっている。また、表 - 2 の値と比較すると、算出されたパラメータの平均値、標準偏差の誤差は最大でも 0.4%と極めて小さく、シミュレーションから得られたデータは仮定した対数正規分布に従っていると判断できる。

図 - 6 には、SS400 の平均的な特性を用いて算定した曲げ耐力の確率分布を示す。同図には、算定された曲げ耐力の平均値と標準偏差、さらに、全塑性モーメントも併せて示している。曲げ耐力の最小値にて確率が高くなっている。これは、ひずみ硬化開始点ひずみがある値より大きくなると、下フランジ最外縁のファイバーのひずみが降伏棚にありひずみ硬化域に達しないためだと考えられる。曲げ耐力の分布形状は最小値付近を除いて、ほぼ左右対称の正規分布に近い形状を呈している。また、全塑性モーメントを下回る曲げ耐力の発生確率は0.0265となった。さらに、全塑性モーメント $4.369 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{mm}$ に対して、シミュレーションより得られた曲げ耐力の最小値からの累積確率が1%および5%に対する値は、それぞれ $4.359 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{mm}$ 、 $4.426 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{mm}$ と算定された。

4. あとがき

本研究では、鋼材の応力 - ひずみ関係を規定するパラメータを対数正規分布に従う確率変数であると仮定しモンテカルロシミュレーションを適用することで、鋼 - コンクリート合成断面の曲げ耐力の確率分布を算定した。今後、3 つのパラメータ ξ , E_{st} , ε_{st} の平均値と標準偏差、断面のフランジ幅、および降伏点を变化させて正曲げ耐力の確率分布に対する影響を明らかにする予定である。また、今回独立に変化させた鋼材パラメータにおける相関関係の有無を調査するとともに、全塑性モーメントを下回る曲げ耐力を発生させるパラメータの組み合わせなどに関して検討したいと考えている。

参考文献 1) 伊藤ほか：土木・建築のための確率・統計の応用，pp297～356，1988 2) 土木学会：コンクリート標準示方書，pp23～25，1996 3) 土木学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 4) 青木ほか：素材引張試験結果による構造用鋼材の力学的性質に関する統計的調査，日本建築学会構造系論文報告集 358号，pp94～102 5) 日本鋼構造協会：鋼橋の要求性能と安全性評価技術，pp13～21，2002

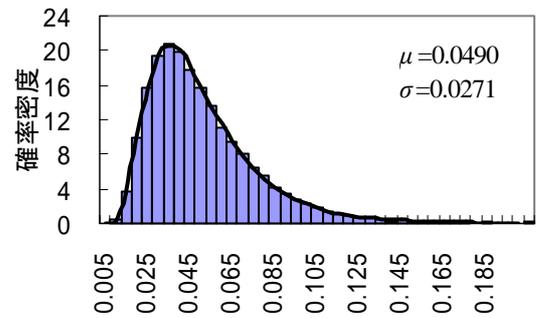


図 - 3 確率密度関数 ()

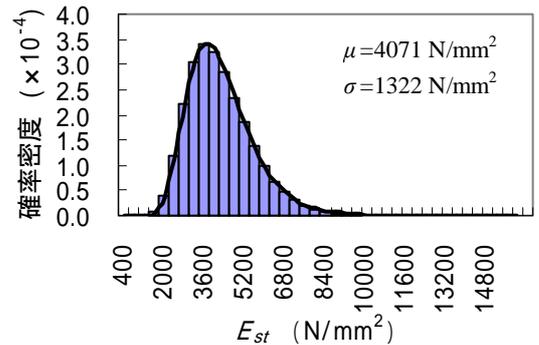


図 - 4 確率密度関数 (E_{st})

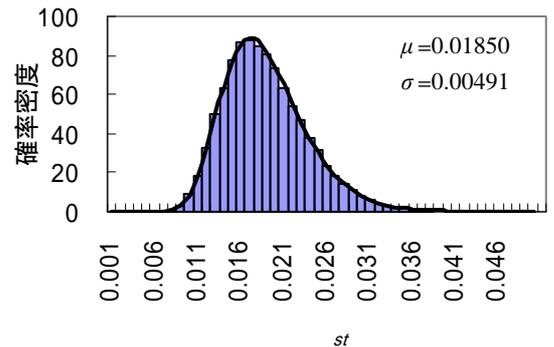


図 - 5 確率密度関数 (st)

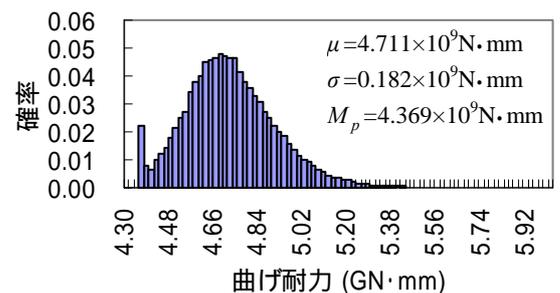


図 - 6 曲げ耐力のヒストグラム