

材料特性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

長崎大学大学院 学生会員 荒木 智 長崎大学工学部 正 会 員 中村聖三
 長崎大学大学院 学生会員 江頭克礎 長崎大学工学部 フェロー 高橋和雄

1. はじめに

我が国の道路橋は、大地震に対する耐震設計を除き許容応力度設計法が採用されている道路橋示方書・同解説に基づき設計される。これは、荷重作用によって構造材料の中に生ずる応力が弾性限界以下になるように設計されることを意味する。一方、諸外国の設計基準には圧縮域における座屈現象が生じないような断面においては、その曲げ抵抗として全塑性モーメントをとる塑性設計法も規定されている。本研究では、我が国独自の塑性設計法の確立を最終目的とする研究の一環として、江頭ら¹⁾ が用いた手法にモンテカルロシミュレーションを応用し、鋼 - コンクリート合成桁においてコンクリート圧縮強度と鋼材降伏点²⁾ が確率的に変動する場合における正曲げ耐力を示す。

2. 解析概要

2.1 解析モデルと材料特性

本研究では、正曲げを受けるコンクリート床版(3000mm×210mm)と H 形鋼(900mm×300mm(変化させる)×16mm×28mm)の合成断面を解析対象としている。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で規定されているものを用い、その特性は表-1 に示すとおりとする。表中の平均値と標準偏差は、変動係数 17.5(%)と仮定し、圧縮強度が設計基準強度を下回る確率が 5(%)となるよう定めている。鋼材の応力 - ひずみ関係には、土木学会新技術小委員会で提案された構成則を用いる。その概略図を図-1 に、用いた材料特性を表-2 に示す。パラメータ ξ , E_{st} , および ε_{st} の値、および降伏点の平均値と標準偏差は文献 2), 3)を参考に設定したものである。

2.2 解析方法

本研究における正曲げ耐力の計算にはファイバーモデルを用い、以下の手順で確率分布を算定する。

- 1) モンテカルロシミュレーションにより、コンクリート圧縮強度には正規分布、鋼材降伏点には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。
- 2) コンクリート床版の上縁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。
- 3) つり合い条件より、各ファイバーにおける力の総和が零となるまで 2)を繰返し、つり合った時点での応力分布から曲げ耐力(M_u)を算定する。
- 4) 所定回数(本研究では5万回) 2)~3)を繰返し、曲げ耐力を算出する。それらの値をコンクリート設計基準強度と鋼材降伏点規格下限値を用いて算出した全塑性モーメント(M_p)で無次元化し、統計特性値を算出する。

表-1 コンクリート特性

設計基準強度 f_{ck}' (N/mm ²)	30	
圧縮強度 f_c' (N/mm ²)	平均値	42.08
	標準偏差	7.36
終局ひずみ ε_u'	0.0035	

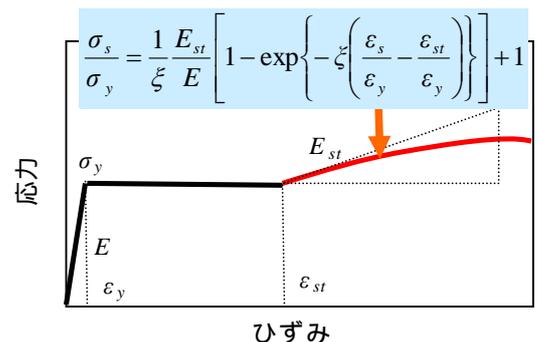


図-1 鋼材の応力 - ひずみ関係

表-2 鋼材特性

鋼 種	SS400	SM490	SM490Y	SM570	
ξ	0.049	0.052	0.200	0.200	
E_{st} (N/mm ²)	4070	4550	2000	2000	
ε_{st}	0.0185	0.0170	0.0064	0.0082	
降伏点 σ_y (N/mm ²)	平均値	293.75	396.90	426.00	549.00
	標準偏差	23.50	34.65	28.40	36.00
降伏点規格下限値 (N/mm ²)	235	315	355	450	

3. 曲げ耐力の確率分布

$D_p / D_t = 0.1, 0.9$ における M_u / M_p の確率分布を鋼種別に図-2に示す. ここで, D_t : 全高さ, D_p : 床版上縁から塑性中立軸までの距離である. 本来ならば縦棒グラフとして表示すべきだが, 比較を容易にするため, ここでは折れ線グラフとしている. なお, ヒストグラム作成時の横軸の刻み幅は0.05である. 図-2より, D_p / D_t の値を0.1から0.9とすることで, どの鋼種においても曲げ耐力の確率分布の分布範囲は大きくなり, 曲げ耐力の値が小さいほうへ広がっているようにみえる. これは, SS400, SM490, および SM490Y において顕著に現れている. また, $D_p / D_t = 0.1$ に対して0.9での M_u / M_p の平均値は, SS400, SM490, および SM490Y に関して3~5%程度, SM570 に関して11%程度低下している. これらのことより, 塑性中立軸の位置が下がることで, 断面の M_p に対してコンクリートの圧壊で決定される断面の M_u が相対的に小さくなるといえる.

4. M_u / M_p と D_p / D_t の関係

図-3に M_u / M_p の1%, 5%非超過確率値と D_p / D_t の関係を, $M_u / M_p = 1$ となる D_p / D_t の値と併せて示す. なお, 塑性中立軸の位置を変化させるため, フランジ幅のみを変化させている. また, D_p / D_t の値は0.9を上限としている. 図-3より, D_p / D_t の値が0.2付近を境として M_u / M_p の傾きが急に変化しているように見えるが, これは塑性中立軸の位置が床版から上フランジ, ウェブへ移る境目であるからだと考えられる. D_p / D_t の増加に伴い, 特に SS400, SM490, および SM490Y において, 1%と5%の非超過確率値の差が大きくなっているように見える. これは3.で示したように, D_p / D_t が大きくなると, これらの鋼種において M_u / M_p のばらつきが大きくなるからだと考えられる. また, 鋼材の強度が大きくなるほど M_u / M_p のばらつきが小さくなるため, 各非超過確率値の差は小さくなっている. M_u の1%非超過確率値に関して $M_u / M_p = 1$ となる D_p / D_t の値は, SS400, SM490, SM490Y, SM570 に対して, それぞれ0.35, 0.55, 0.52, 0.30となった. また, 5%非超過確率値に関しては, SM570 において D_p / D_t の値が0.61を境に M_p を下回った.

5. まとめ

本研究では, 合成桁において, コンクリート圧縮強度と鋼材降伏点が確率的に変動する場合における正曲げ耐力を示した. 今後, 正曲げ耐力の算定式の構築を目指す.

参考文献

- 1) 江頭ら: 鋼-コンクリート合成断面の正曲げ耐力に及ぼす鋼材特性の影響, 構造工学論文集, Vol.49A, pp.791-798, 2003.3.
- 2) 青木ら: 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第358号, pp.94-102
- 3) 奈良ら: 橋梁向け構造用鋼板の板厚および強度に関する統計調査, 土木学会論文集, No.752/I-66, pp.299-310, 2004.

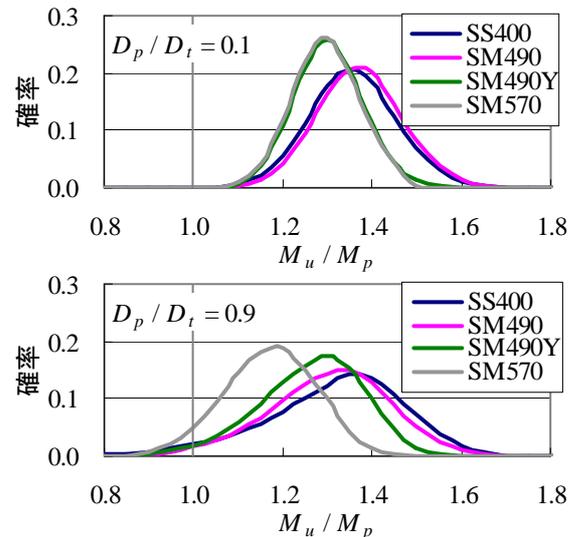


図-2 無次元化した曲げ耐力の確率分布

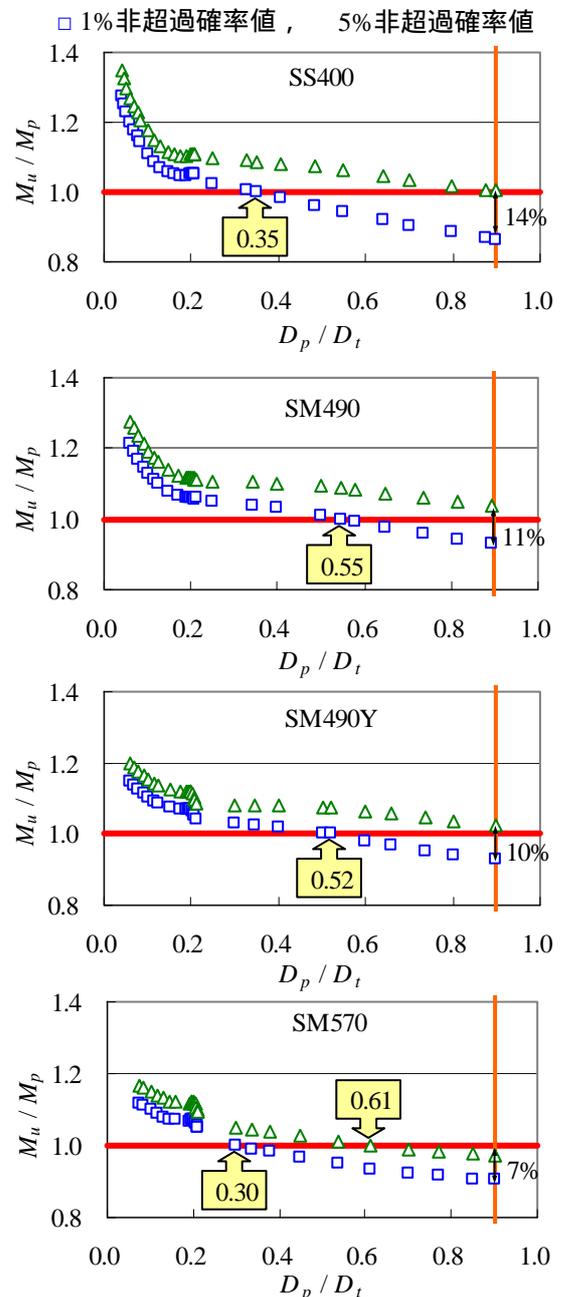


図-3 M_u / M_p と D_p / D_t の関係