

橋梁用高性能鋼を用いた圧縮補剛板の終局耐力に関する解析的研究

室蘭工業大学

学生会員

○沼田 あずさ

室蘭工業大学大学院

正会員

小室 雅人

室蘭工業大学大学院

学生会員

瓦井 智貴

埼玉大学

正会員

奥井 義昭

1. はじめに

本研究では、道路橋示方書に規定されている圧縮板の耐力曲線の見直しのための基礎資料を収集することを目的に、有限要素解析とモンテカルロシミュレーションを併用し、その終局耐力の算定を試みた。SBHS500 および SBHS700 材を対象に初期不整(残留応力と初期たわみ)のバラツキを考慮し、限界強度の統計学的評価を行った。

2. 検討方法

図1には、研究のフローチャートを示す。以下、各項目について述べる。なお、長手方向初期たわみ δ_{01} は横補剛材間隔 a で無次元化した量 $1000\delta_{01}/a$ 、補剛材間初期たわみ Δ は縦リブ間隔 b で無次元化した量 $150\Delta/b$ 、残留応力 σ_{rc} および限界強度 σ_{cr} は鋼材の降伏応力 σ_y で無次元化した σ_{rc}/σ_y および σ_{cr}/σ_y として取り扱うこととする。

- 1) 既往の研究成果に基づき、圧縮側の残留応力と初期たわみに関するバラツキの確率密度関数を設定する。
- 2) 1)の残留応力および初期たわみのバラツキを考慮した有限要素解析を行う。図2には、有限要素解析によって得られた無次元荷重変位曲線 $R_r = 0.4, 0.8, 1.2$ を一例として示している。また図3には、解析パラメータを示す。ここでは、補剛材間初期たわみ(3種類)、長手方向初期たわみ(6種類)、残留応力(5種類)を考慮した。なお、図には $150\Delta/b = 0$ を示している。
- 3) 2)の結果より、残留応力と初期たわみによる限界強度 σ_{cr}/σ_y の近似式(応答曲面)を算出する。

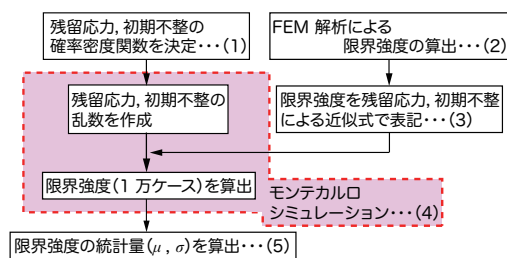


図1 検討方法の流れ

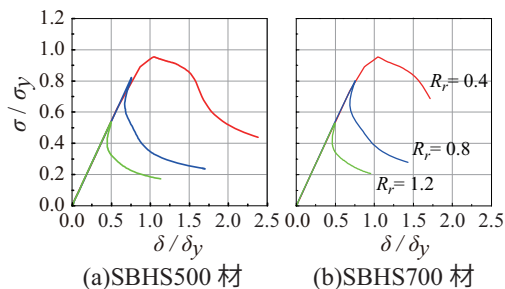


図2 無次元応力-無次元変位関係

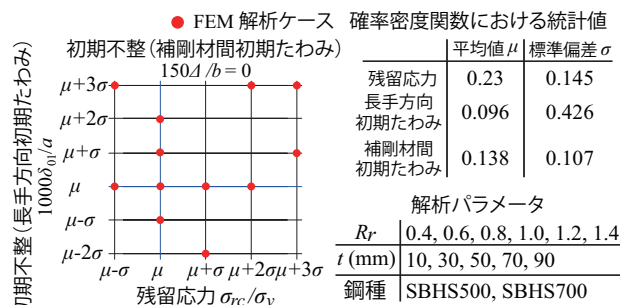


図3 解析パラメータ

$$\sigma_{cr}/\sigma_y = p_{000} + p_{100}x + p_{200}x^2 + p_{020}y^2 + p_{002}z^2 + p_{120}xy^2 + p_{102}xz^2 + p_{220}x^2y^2 + p_{202}x^2z^2 + p_{022}y^2z^2 + p_{122}xy^2z^2 + p_{222}x^2y^2z^2 \quad (1)$$

ここで、 x は σ_{rc}/σ_y 、 y は $1000\delta_{01}/a$ 、 z は $150\Delta/b$ である。上式中の未知数 p_{ijk} に関しては、鋼種および幅厚比パラメータ R_r ごとの FEM 解析結果を用いて最小二乗法により決定した。

- 4) 3)で算出した応答曲面を用いて、1)の確率密度関数によるモンテカルロシミュレーションを実施し、限界強度 σ_{cr}/σ_y の算出を行った。なおシミュレーション試行回数は既往の研究より収束性が十分に確保される10,000回とした。図4には、得られた応答曲面の一例として $R_r = 0.8$ (SBHS500 材)を示している。
- 5) 4)の結果を用いて、限界強度の確率密度分布 σ_{cr}/σ_y を求め、限界強度に関する統計量(平均値 μ および標準偏差 σ)を算出する。図5には、頻度分布の一例として $R_r = 0.4, 0.8$ (SBHS500 材)の結果を示している。

3. 検討モデル

3.1 形状寸法

図6には、本研究で想定した多リブモデルを示している。補剛される板のアスペクト比 $\alpha (= a/B)$ は限界強度がほぼ最低値となる $\alpha = 1.0$ と固定した。また、板厚 t と R_r を固定することで、短辺 b を(2)式から算出した。ただし、短辺 b が200 mm 以下および2,500 mm 以上となる場合は非現実的であることから、本解析では除外した。補剛材寸法は、道路橋示方書に規定されている必要剛比を丁度満足するように決定した。なお、幅厚比パラメータ R_r は以下の式で表される。

$$R_r = \frac{B}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \cdot \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k_R}} \quad (2)$$

キーワード：補剛板、終局強度、初期たわみ、残留応力、モンテカルロシミュレーション

連絡先：〒050-8585 室蘭工業大学大学院 くらし環境系領域 社会基盤ユニット TEL/FAX:0143-45-5228

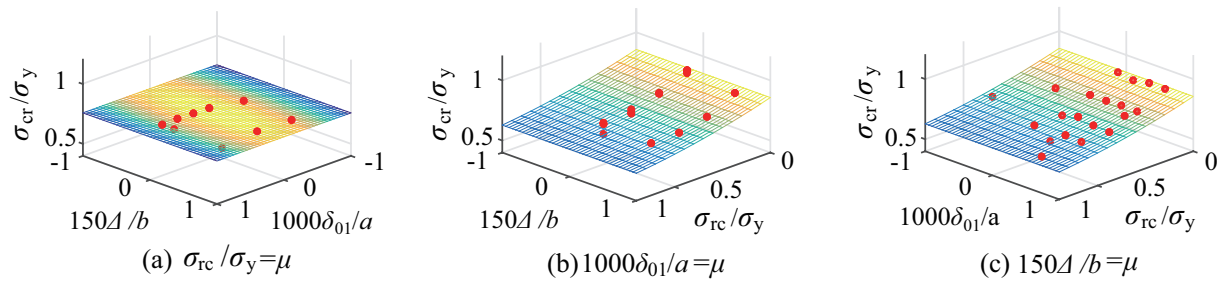
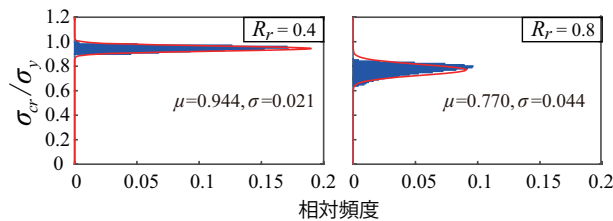
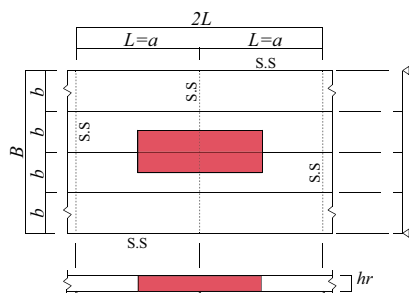
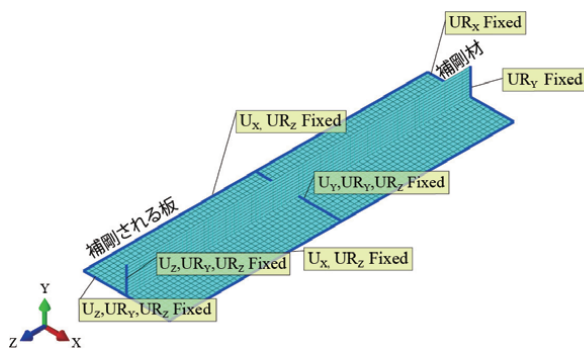
図4 応答局面の一例(SBHS500材, $R_r = 0.8$)図5 頻度分布(SBHS500材, $R_r = 0.4$ $R_r = 0.8$)図6 想定するモデル ($n = 4$)

図7 解析モデルと境界条件

ここで B : 補剛板の全幅, t : 板厚, σ_y : 降伏応力, E : 弾性係数(200 GPa), ν : ポアソン比(0.3), k_R : 座屈係数($4n^2$, n は補剛板で区切られるパネル数)である。

3.2 解析モデルおよび境界条件

図7には, 解析モデルおよび境界条件を示している。本研究では補剛材によって区切られるパネル数を $n = 4$ と固定している。また, モデルの周囲については, 対称性を考慮した境界条件となっている。また, 要素分割は形状寸法にかかわらず, 短辺 b を 20 分割, 長辺 a を 80 分割, 補剛版の高さ h_r を 10 分割とした。要素には, 4 節点シェル要素を用い, 板厚方向の積分点は 11 とした。なお, 各鋼材の材料構成則に関しては, 既往の研究で使用されているマルチリニア型の応力-ひずみ関係を与えている。

4. 解析結果および考察

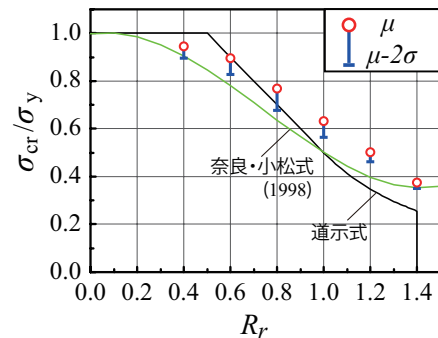


図8 耐力力線と奈良・小松式との比較

図8には, モンテカルロシミュレーションより得られた2鋼種の平均終局強度の統計量と幅厚比パラメータ R_r の関係を道路橋示方書の耐力力曲線と比較して示している。図より $R_r > 0.8$ 領域では安全側, $0.4 \leq R_r \leq 0.8$ の範囲では危険側の評価を与えていることが分かる。また, 終局強度のバラツキとしては $R_r = 0.8$ で最大となることが分かる。これは, 弾性座屈域と塑性降伏域の境界域にあることから残留応力や初期たわみの影響を受けやすいことによるものと考えられる。

5. まとめ

有限要素解析とモンテカルロシミュレーションを併用し, 圧縮補剛板の終局強度の統計量を推定した。得られた結果をまとめると以下ようになる。

- 1) 本解析手法により得られた終局強度は現行の耐力力曲線と比較すると $R_r > 0.8$ 領域では安全側, $0.4 \leq R_r \leq 0.8$ の範囲では危険側の評価を与える。
- 2) 終局強度のバラツキ(標準偏差)は $R_r = 0.8$ のときに最も大きくなる。
- 3) 残留応力や初期たわみの統計データに基づいたより合理的な終局強度分布を提示した。

参考文献

- 1) 日本道路協会: 道路示方書・同解説 (I 共通編・II 鋼橋編)
- 4) 北田 俊行, 中井 博, 越智 内士: 高張力鋼を用いた圧縮版・圧縮補剛版の終局強度に関する研究, 構造工学論文集 Vol.41A, 2000.3
- 5) Fukumoto, Y. and Itoh, Y.: Basic Compressive Strength of Steel Plates from Test Data, *Proc. of JSCE*, No.344/I-1 (Structural Eng./Earthquake Eng.), pp.129-139, 1984.4.
- 6) 村越 潤, 梁取 直樹, 有馬 敬育, 清水 英樹, 小森 大資: 鋼材料・鋼部材の強度等に関する統計データの調査, 土木研究所資料, No.4090, 2008.3