

初期不整と残留応力のばらつきと SBHS 鋼材を考慮した板の局部座屈強度に関する研究

埼玉大学 学生会員 ○萩原 光一
埼玉大学 正会員 奥井 義昭
埼玉大学 学生会員 Dang Viet Duc

1. 背景および目的

現行の道路橋の設計基準 Ⅱにおける鋼板の座屈基準耐荷力曲線は実験結果に比べ、一部では危険側に、一部では大きく安全側となっており、改善が必要とされている。また、近年設計基準の趨勢は信頼性設計法に基づいた部分係数法が主流となりつつあり、限界強度のバラツキを考慮した統計量が必要となる。しかし、現在の耐荷力曲線に関して、そのような情報は明らかでないのが現状である。さらに、耐荷力曲線に関する既往の研究では、100mm までの厚板および SBHS 鋼材を用いた実験や解析が行われておらず、これらの影響が考慮されていない。以上の背景から、本研究では周辺単純支持板の鋼板の局部座屈強度の統計量を算定することを目的とした。その際、部材耐力に影響を与える初期変位と残留応力のバラツキ、および SBHS500 と SBHS700 を含む計 6 種類の鋼材を考慮し、板厚は 100mm までを取り扱った。

2. 研究方法

図 1 に研究方法のフローを示す。まず福本らの実験データ Ⅱに基づき、初期変位と残留応力のバラツキの確率密度関数を設定した。次に、初期変位と残留応力の平均値もしくは平均値±標準偏差などの値を与えた際の周辺単純支持板の限界強度を FEM 解析により求めた。さらに初期変位と残留応力の代数式

$$\sigma_u/\sigma_y = p_{10}x + p_{01}y + p_{20}x^2 + p_{11}xy + p_{02}y^2 + p_{30}x^3 + p_{21}x^2y + p_{12}xy^2 + p_{03}y^3 \quad (1)$$

で表し、上式中の p_{ij} を鋼種および座屈パラメータ R などの FEM 解析結果を用いて最小二乗法により決定した。ここで x は無次元化した残留応力、 y は無次元化した初期変位である。表 1 に本研究で考慮した鋼種および R 値を示す。この近似式をモンテカルロシミュレーションで用いることにより、限界強度の統計量を算出した。

3. モンテカルロシミュレーションによる統計量の解析

(1) 無次元化した限界強度の統計量

モンテカルロシミュレーションにより、限界強度の統計量を算出し、福本式および道示基準と比較した (図 2)。本研究で求められた限界強度の平均値 μ は、実験結果より求めた限界強度の平均値曲線 (福本式) とほぼ一致している。しかし、福本式における無次元化した限界強度の標準偏差 (0.087) に比べ、本研究の標準偏差 σ の最大値は 0.052 となり、福本式では限界強度のバラツキを過大評価している可能性がある。さらに、本研究では鋼種や座屈パラメータ R 毎の限界強度のバラツキを評価することが可能であり、 $R \geq 0.9$ では鋼種が限界強度の平均値と標準偏差にほぼ影響しない (図 3 および図 4)。また、標準偏差は $R \leq 0.5$ では SBHS 鋼よりも普通鋼の方が小さく、 $R \geq 0.6$ では普通鋼よりも SBHS 鋼の方が大きいことが分かった。

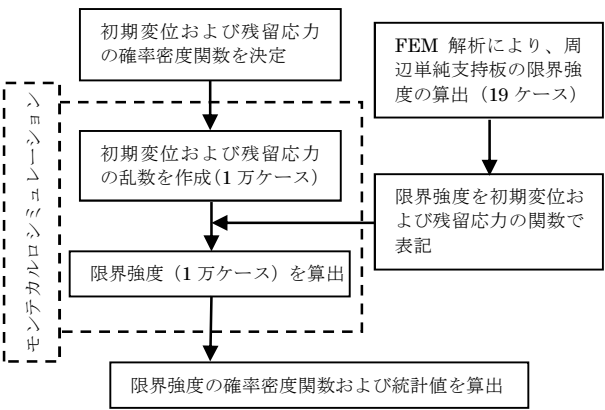


図1. 研究方法のフロー

表1. 鋼種および座屈パラメータ R のケーススタディ

鋼種	SM400,SM490,SM490Y, SM570,SBHS500,SBHS700	計6種
座屈パラメータ R	0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.92, 1.08, 1.16, 1.28, 1.4	計10ケース

キーワード 板座屈, モンテカルロシミュレーション, 初期変位, 残留応力, SBHS

連絡先 〒160-0004 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学建設構造工学研究室 TEL048-858-3558

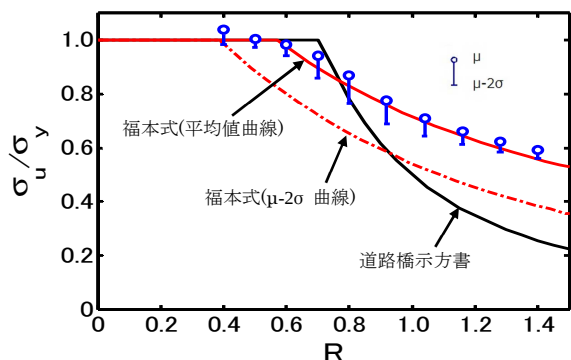


図2. 全鋼種平均の限界強度の平均値および標準偏差と限界強度算定式の比較

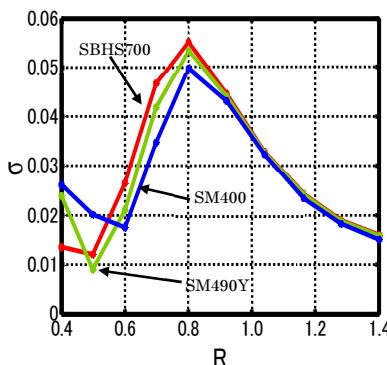


図3. 鋼種ごとの無次元化した限界強度の標準偏差 σ

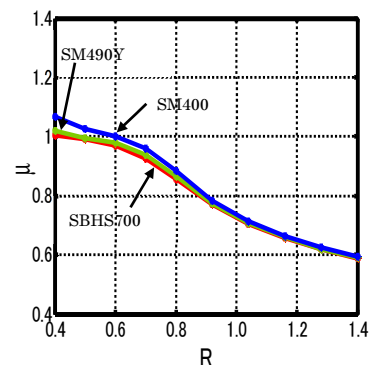


図4. 鋼種ごとの無次元化した限界強度の平均値 μ

(2) 残留応力と降伏応力が独立な場合の統計量の推定

(1)のシミュレーションでは降伏応力で無次元化した残留応力 σ_{rc}/σ_y を一定として解析を行ったが、小松ら³⁾は実測結果より、無次元化した圧縮残留応力は鋼材の降伏応力に依存していないことを示している。残留応力と降伏応力が独立な場合、高降伏点鋼材において、降伏応力に対する残留応力の割合が普通鋼よりも小さくなる。このことから、高降伏点鋼材がさらに有用になることが予想される。

小松ら³⁾の実測値に基づき、残留応力の平均値および標準偏差を変更し(表2)、この条件下でモンテカルロシミュレーションを実施した。図5はこの条件に伴う無次元化した限界強度の平均値 μ の変化を示している。この場合、無次元化した残留応力が一定とした結果に較べて、高強度鋼材ほど限界強度が増加する傾向が現れ、 $R=0.92$ のとき、各鋼種の限界強度の平均値が最も大きく変化し、SBHS700の平均値は3.4%増加した。

表2. 残留応力と降伏応力が独立な場合の残留応力の統計量

鋼種	ALL
降伏応力(N/mm ²)	ALL
σ_{rc}/σ_y の平均値	0.230
σ_{rc}/σ_y の標準偏差	0.145



無次元化した残留応力の平均値および標準偏差を変更

鋼種	SM400	SM490	SM490Y	SM570	SBHS500	SBHS700
降伏応力(N/mm ²)	245	325	365	460	500	700
σ_{rc}/σ_y の平均値	0.300	0.250	0.230	0.200	0.187	0.149
σ_{rc}/σ_y の標準偏差	0.189	0.158	0.145	0.126	0.118	0.094

4. 結論

本研究の限界強度の平均値は福本式の平均値曲線とほぼ一致している。 $R \geq 0.9$ では鋼種が限界強度の平均値と標準偏差にほぼ影響しないことや、標準偏差は $R \leq 0.5$ ではSBHS鋼よりも普通鋼の方が小さく、 $R \geq 0.6$ では普通鋼よりもSBHS鋼の方が大きいことが分かった。

残留応力 σ_{rc} と降伏応力が独立な場合、そうでない場合の結果に較べ、高強度鋼材ほど限界強度が増加し、 $R=0.92$ のとき、各鋼種の限界強度の平均値が最も大きく変化し、SBHS700の平均値は3.4%増加した。

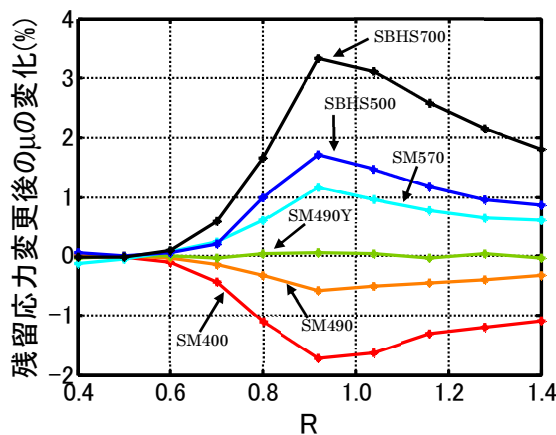


図5. 鋼種ごとの無次元化した限界強度の平均値 μ

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ 鋼橋編、2002年5月
- 2) Fukumoto, Y. and Itoh, Y.(1984): Basic compressive strength of steel plates from test data, Proc. of JSCE, Structural Eng./Earthquake Eng., No.344, pp.129-139, 1984
- 3) 小松 定夫, 牛尾 正之, 北田 俊行(1977): 補剛板の溶接部残留応力および初期たわみに関する実験的研究, 土木学会論文集, 第265号, pp.25, 1977.9