

下フランジに腐食減肉を生じた負曲げを受けるI桁の座屈強度に関する研究

鋼構造研究室 小林 拓矢

指導教員 岩崎 英治

1. 研究背景及び目的

1.1 研究背景

我が国の橋梁インフラは高度経済成長期に集中的に建設されており、供用年数の長期化した橋梁の増加が報告されている¹⁾。とりわけ上部構造の架け替え要因としては腐食損傷が主要因とされる²⁾。このような状況を踏まえ、補修・補強の優先順位を適切に設定することが重要である。そのため、腐食が生じた橋梁に対して簡便に構造的な性能を評価できる手法の確立が求められる。

1.2 研究の目的

本研究では、鋼I桁橋の中間支点付近の下フランジに着目し、腐食減肉が進行した場合における局部座屈応力を定量的に評価する式の導出を目的とした。特に、中間支点部では負の曲げモーメントの作用により下フランジが圧縮状態となることから、腐食による断面欠損が局部座屈応力に及ぼす影響を把握することが重要である。

そこで、図1に示すように腐食部を一定の板厚減少としてモデル化し、板厚の残存率を α (以下、残存率とする)、橋軸方向に発生する腐食部の長さを板幅で無次元化した値を腐食長さ比 β と定義した。そして、これらのパラメータを変化させた座屈解析を実施した。その結果に基づき、幅厚比パラメータ R に腐食を表す変数 α および β を加えた局部座屈応力の評価式を提案した。

2. 方法及び解析モデル

弾塑性解析により腐食が発生している場合の下フランジの局部座屈応力を求めるが、I桁に対して図2のように一つの平板を取り出し、境界条件を与えモデルを簡易的なものとした。材料特性は右に一覧に示す。なお、ミーゼスの降伏条件を採用し、応力ひずみ曲線は2直線モデルで表した。

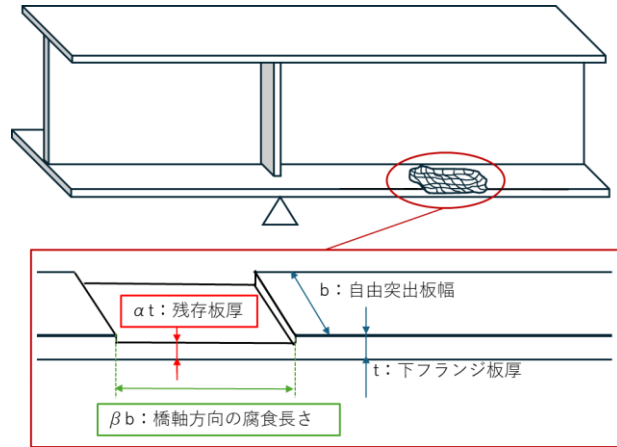


図1 腐食を表す変数

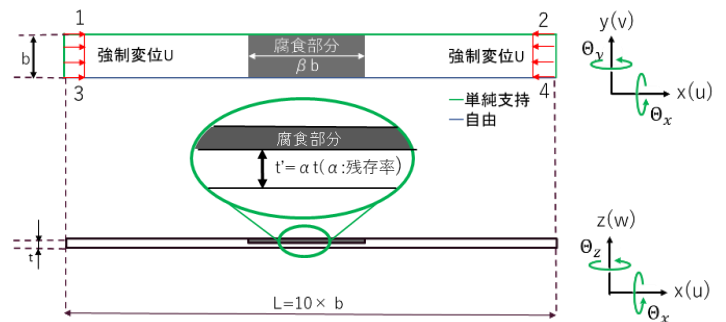


図2 解析モデル

- 材料特性
 - ヤング率: $E = 2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$
 - ポアソン比: $\nu = 0.3$
 - 降伏応力: $\sigma_y = 355 \text{ N/mm}^2$
 - 硬化係数: $H=0.0$

平板の境界条件は三辺単純支持一辺自由であり以下のように設定した。

- 境界条件

線 1-2: $w=0, v=0, \theta_y = 0$

線 1-3: $w=0, u=U, \theta_x = 0$

線 2-4: $w=0, u=-U, \theta_x = 0$

平板の両側には圧縮を仮定し強制変位を与えた。

3. 局部座屈応力式の提案

3.1 座屈応力式

これらの解析結果に基づき回帰分析を実施し、

腐食時における局部座屈応力式を導出した。ここでは、幅厚比パラメータ R のみを変数とした局部座屈応力式を式(1)に示し、さらにその式をグラフとして表したものを図 3 に示す。

$$\frac{\sigma_{rd}}{\sigma_y}(R) = \begin{cases} C(R) & (R < R_1) \\ \frac{C(R)}{1 + a_1(R - R_1)^2} & (R_1 < R < R_2) \\ \frac{a_0 C(R)}{1 + a_2(R - R_1)^2} & (R_2 < R) \end{cases} \quad (1)$$

σ_{rd} : 局部座屈応力 , σ_{rd} : 降伏応力

また、 $R = R_2$ 時の連続条件として、

$$\alpha_0 = \frac{1 + a_2(R_2 - R_1)}{1 + a_1(R_2 - R_1)^2}$$

$R < R_1$ の挙動を表現する曲線として、

$$C(R) = \frac{1}{R_1} \{(R_1 - R)c_0 + Rc_1\}$$

が与えられる。

3.2 応力式導出の流れ

局部座屈応力式(1)は、幅厚比パラメータ R のみを変数とする式であり、残存率 α および腐食長さ比 β は考慮されない。これらを変数として組み込むため、式(1)を構成する各係数を α または β の関数として扱う。ただし、その組み込み方は係数に応じて異なる。ここでは例として、 $R=0$ における座屈応力を表す係数 c_0 について述べる。

1. 係数 c_0 を式(2)のように残存率 α を変数とした式を仮定し、回帰分析を実行すると係数 b_0 が与えられた。

$$c_0 = \begin{cases} b_{01}\alpha & (\alpha \leq b_0) \\ b_{02}(\alpha - 1.0)^2 + 1.0 & (b_0 \leq \alpha) \end{cases} \quad (2)$$

なお、 $b_{01} = \frac{2}{1 + b_0}$, $b_{02} = \frac{1}{(b_0 - 1)(b_0 + 1)}$

2. 導出された係数 b_0 について腐食長さ比 β を変数とした関数として、式(3)を仮定し回帰分析を実施した。

$$b_0 = 1 - 7.101/(\beta + 2.165)^{3.727} \quad (3)$$

同様の操作を他の係数についても実施し、腐食時の局部座屈応力式を導出した。

3.3 評価式妥当性の検討

導出した評価式の妥当性を確認するため、図 4

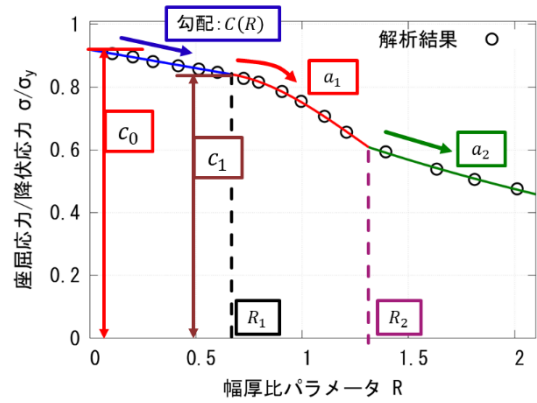


図 3 座屈応力曲線

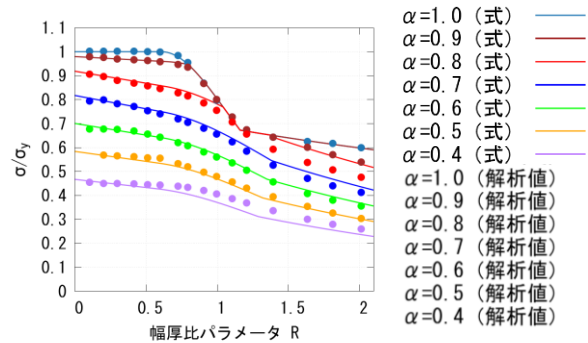


図 4 評価式と解析結果の比較 ($\beta=0.2$)

に腐食長さ比 $\beta=0.2$ の応力式と有限要素解析結果との比較を示す。残存率 α が 0.8 及び 0.9 の場合に幅厚比パラメータ R の大きい範囲で誤差が増加し、また残存率の小さい $\alpha=0.4$ の場合においても大きな誤差が確認できる。

4. 今後の課題

本研究で導出した評価式には、腐食長さ比 β が小さい場合に誤差が生じることが確認された。そのため、追加解析による評価式の精度の改善が求められる。

また、下フランジの板部分のみを対象に局部座屈応力を評価したが、実際の I 桁構造ではウェブや上フランジなどの部材も耐荷性能に寄与する。そのため、他部材の抵抗力も含めた I 桁全体での照査方法の検討が重要である。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局：道路メンテナンス年報，国土交通省道路局,2024
- 2) 白戸真大，藤田裕士，高橋慶：橋梁の架替に関する調査結果(V)，国土技術政策総合研究所資料第 1112 号，2020