

腐食切れの生じたトラス橋斜材の 健全性評価に関する数値解析的検討

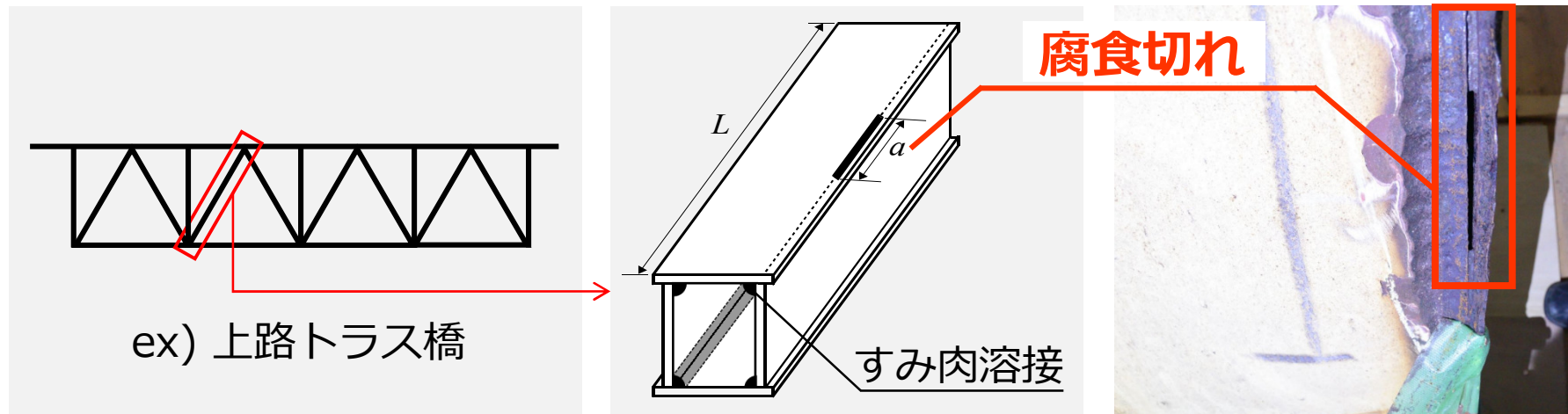
長岡技術科学大学大学院 ○ 山本 寧音
長岡技術科学大学 岩崎 英治

研究背景

我が国の橋梁の現状

- ✓ 供用年数が**50年**を超えるものが急激に増加している.
- ✓ **補修工事の優先度や緊急性の明確化**, より効果的かつ効率的な維持管理方法の確立が求められている.
- ✓ 鋼トラス橋の主な経年劣化要因・・・**腐食**, 疲労

腐食切れの生じた鋼トラス橋の圧縮斜材



損傷への対処方法は, **明確な基準**が定められていない.

研究の目的と流れ

腐食切れの生じた鋼トラス橋の圧縮斜材の健全性評価方法を提案すること。

研究の流れ

腐食切れの生じたトラス橋斜材の健全性を評価するために、**座屈応力に着目したレベル分け**を行う。

座屈応力を求める。

腐食切れの生じたトラス橋斜材の**弾塑性有限要素解析**を実施する。

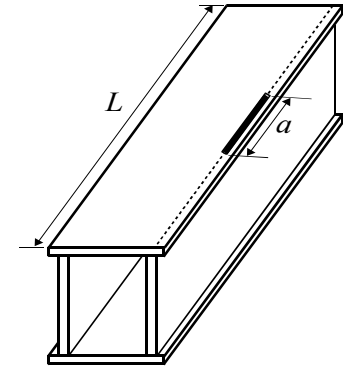
腐食切れの生じたトラス橋斜材に適用可能な**柱と板の座屈応力式**を使用する。

幅厚比パラメータ R を求める。

腐食切れの生じたトラス橋斜材全体をモデル化し、種々の腐食切れ長さにおいて**有限要素法による線形座屈解析**を行う。

腐食切れ長さと座屈応力の関係を求める。

幅厚比パラメータ R を用いて、座屈応力式から種々の腐食切れ長さを有する腐食切れの生じたトラス橋斜材の**座屈応力**を求め、作成したレベル分けに腐食切れ長さと座屈応力の関係を照らし合わせる。



腐食切れの生じた鋼トラス橋斜材のレベル分け



- | | |
|---------|---|
| Level 1 | 局部座屈応力が降伏応力以上である。 |
| Level 2 | 局部座屈応力が降伏応力より小さく、死荷重と示方書による設計活荷重の和の応力以上である。 |
| Level 3 | 局部座屈応力が死荷重と示方書による設計活荷重の和の応力より小さく、死荷重と実際に橋梁に作用している活荷重の和の応力以上である。 |
| Level 4 | 局部座屈応力が死荷重と実際に橋梁に作用している活荷重の和の応力より小さく、死荷重による応力以上である。 |
| Level 5 | 局部座屈応力が死荷重による応力以下である。 |

腐食切れの生じた鋼トラス橋斜材のレベル分け



Level 1 局部座屈応力が降伏応力以上である。

Level 2 局部座屈応力が降伏応力より小さく、死荷重と示方書による設計活荷重の和の応力以上である。

Level 3 局部座屈応力が死荷重と示方書による設計活荷重の和の応力より小さく、死荷重と実際に橋梁に作用している活荷重の和の応力以上である。

Level 4 局部座屈応力が死荷重と実際に橋梁に作用している活荷重の和の応力より小さく、死荷重による応力以上である。

Level 5 局部座屈応力が死荷重による応力以下である。

腐食切れの生じた鋼トラス橋斜材のレベル分け



Level 1 局部座屈応力が降伏応力以上である.

Level 2 局部座屈応力が降伏応力より小さく, 死荷重と示方書による設計活荷重の和の応力以上である.

Level 3 局部座屈応力が死荷重と示方書による設計活荷重の和の応力より小さく, 死荷重と実際に橋梁に作用している活荷重の和の応力以上である.

Level 4 局部座屈応力が死荷重と実際に橋梁に作用している活荷重の和の応力より小さく, 死荷重による応力以上である.

Level 5 局部座屈応力が死荷重による応力以下である.

腐食切れの生じた鋼トラス橋斜材のレベル分け



Level 1	局部座屈応力が降伏応力以上である.
Level 2	局部座屈応力が降伏応力より小さく, 死荷重と示方書による設計活荷重の和の応力以上である.
Level 3	局部座屈応力が死荷重と示方書による設計活荷重の和の応力より小さく, 死荷重と実際に橋梁に作用している活荷重の和の応力以上である.
Level 4	局部座屈応力が死荷重と実際に橋梁に作用している活荷重の和の応力より小さく, 死荷重による応力以上である.
Level 5	局部座屈応力が死荷重による応力以下である.

腐食切れの生じた鋼トラス橋斜材のレベル分け



Level 1	局部座屈応力が降伏応力以上である。
Level 2	局部座屈応力が降伏応力より小さく、死荷重と示方書による設計活荷重の和の応力以上である。
Level 3	局部座屈応力が死荷重と示方書による設計活荷重の和の応力より小さく、死荷重と実際に橋梁に作用している活荷重の和の応力以上である。
Level 4	局部座屈応力が死荷重と実際に橋梁に作用している活荷重の和の応力より小さく、死荷重による応力以上である。
Level 5	局部座屈応力が死荷重による応力以下である。

腐食切れの生じた鋼トラス橋斜材のレベル分け



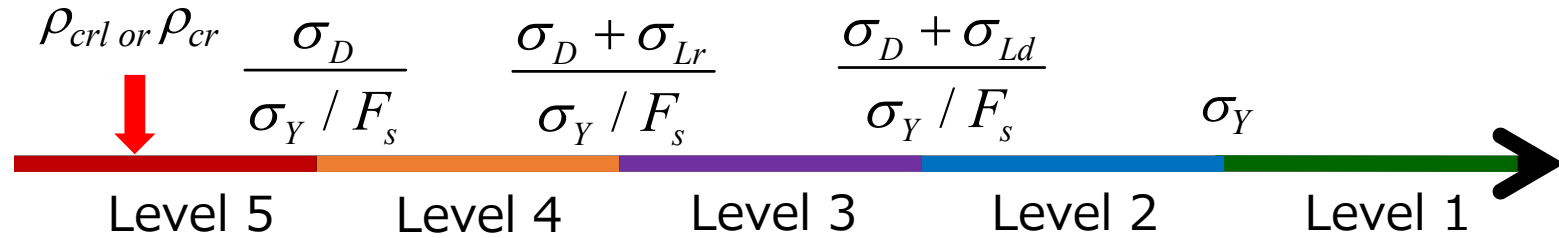
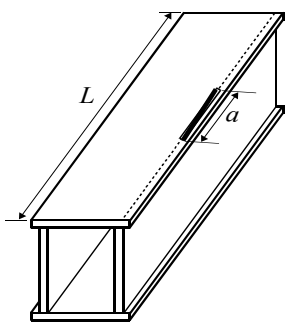
Level 1	局部座屈応力が降伏応力以上である。
Level 2	局部座屈応力が降伏応力より小さく、死荷重と示方書による設計活荷重の和の応力以上である。
Level 3	局部座屈応力が死荷重と示方書による設計活荷重の和の応力より小さく、死荷重と実際に橋梁に作用している活荷重の和の応力以上である。
Level 4	局部座屈応力が死荷重と実際に橋梁に作用している活荷重の和の応力より小さく、死荷重による応力以上である。
Level 5	局部座屈応力が死荷重による応力以下である。

腐食切れの生じた鋼トラス橋斜材のレベル分け



- | | |
|---------|---|
| Level 1 | 局部座屈応力が降伏応力より大きい。 |
| Level 2 | 連成座屈応力が降伏応力より小さく、死荷重と示方書による設計活荷重の和の応力以上である。 |
| Level 3 | 連成座屈応力が死荷重と示方書による設計活荷重の和の応力より小さく、死荷重と実際に橋梁に作用している活荷重の和の応力以上である。 |
| Level 4 | 連成座屈応力が死荷重と実際に橋梁に作用している活荷重の和の応力より小さく、死荷重による応力以上である。 |
| Level 5 | 連成座屈応力が死荷重による応力以下である。 |

腐食切れの生じた鋼トラス橋斜材のレベル分け



Type A : $\sigma_Y \leq \sigma_{crg}$

Type B : $\sigma_{crg} < \sigma_Y$

Level 1 $\rho_{crl} = 1$

$\rho_{crg} < 1$

Level 2 $\frac{\sigma_D + \sigma_{Ld}}{\sigma_Y / F_s} \leq \rho_{crl} < 1$

$\frac{\sigma_D + \sigma_{Ld}}{\sigma_Y / F_s} \leq \rho_{cr} < \rho_{crg}$

Level 3 $\frac{\sigma_D + \sigma_{Lr}}{\sigma_Y / F_s} \leq \rho_{crl} < \frac{\sigma_D + \sigma_{Ld}}{\sigma_Y / F_s}$

$\frac{\sigma_D + \sigma_{Lr}}{\sigma_Y / F_s} \leq \rho_{cr} < \frac{\sigma_D + \sigma_{Ld}}{\sigma_Y / F_s}$

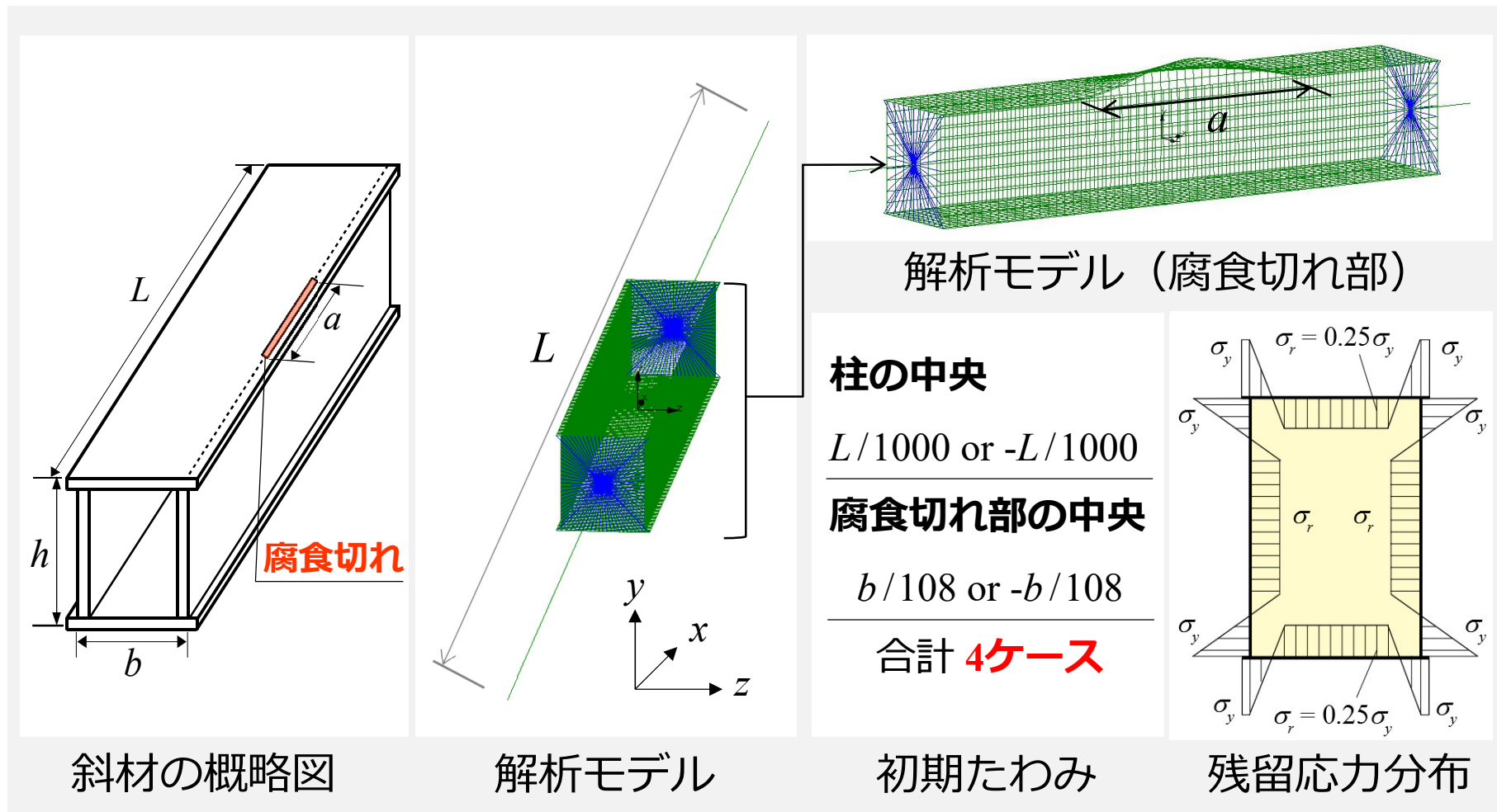
Level 4 $\frac{\sigma_D}{\sigma_Y / F_s} \leq \rho_{crl} < \frac{\sigma_D + \sigma_{Lr}}{\sigma_Y / F_s}$

$\frac{\sigma_D}{\sigma_Y / F_s} \leq \rho_{cr} < \frac{\sigma_D + \sigma_{Lr}}{\sigma_Y / F_s}$

Level 5 $\rho_{crl} \leq \frac{\sigma_D}{\sigma_Y / F_s}$

$\rho_{cr} \leq \frac{\sigma_D}{\sigma_Y / F_s}$

腐食切れの生じたトラス橋斜材の弾塑性有限要素解析



対象部材 | 既設橋梁S ($\sigma_Y = 355 \text{ N/mm}^2$), 既設橋梁M ($\sigma_Y = 315 \text{ N/mm}^2$)

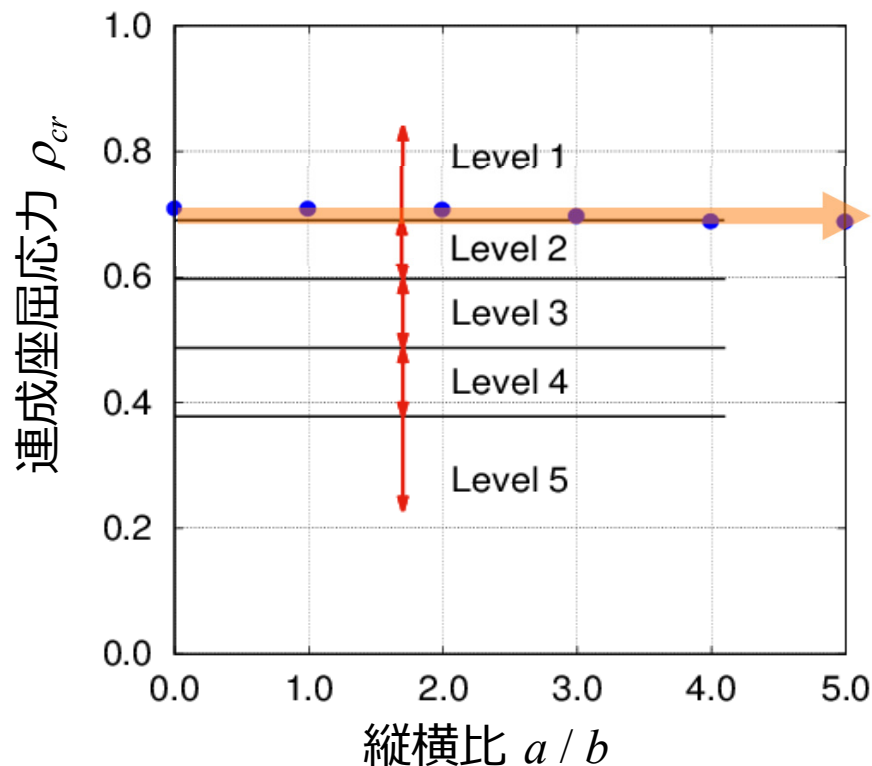
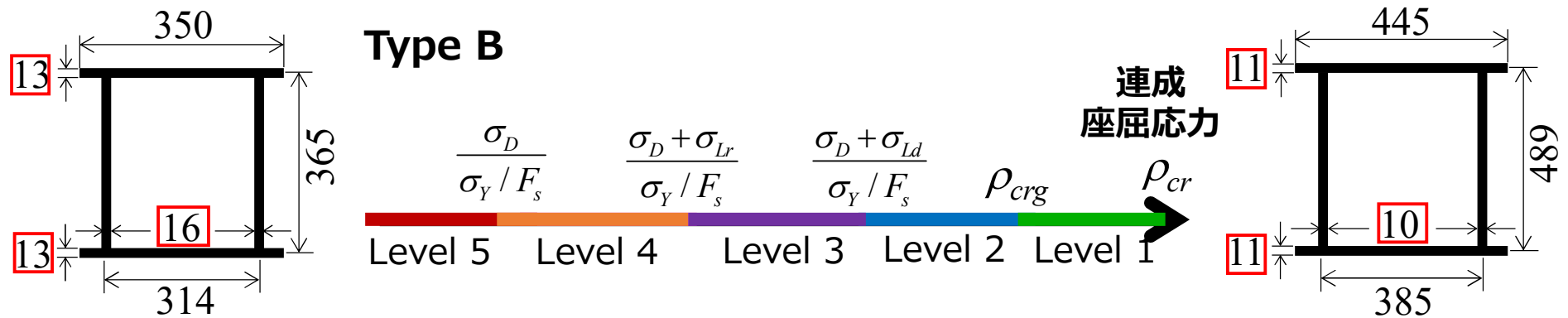
解析法 | 変位増分法

要素タイプ | シェル要素+ビーム要素

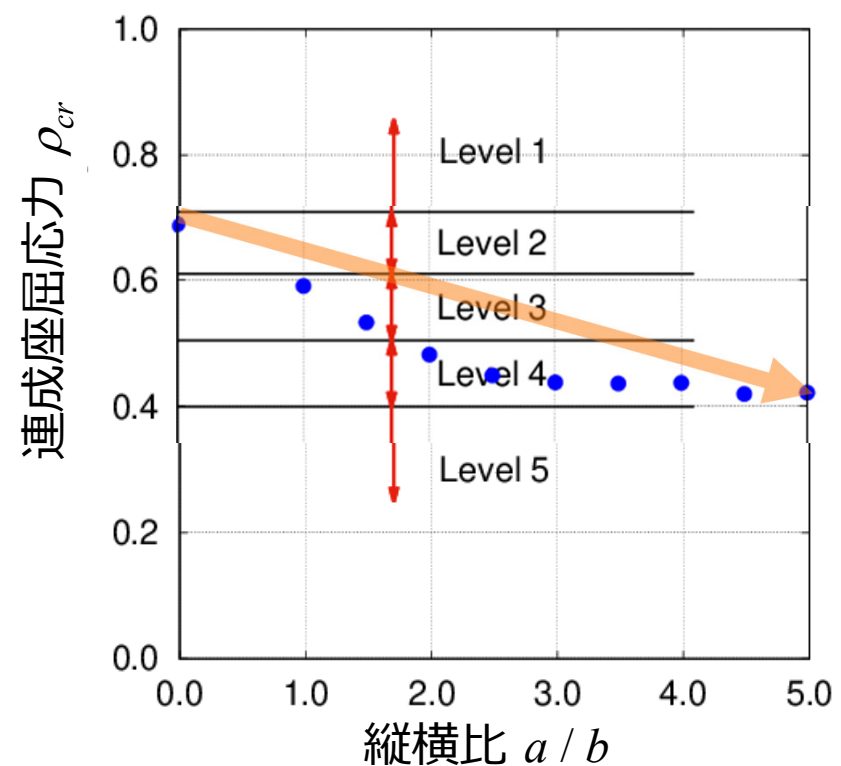
ヤング係数 E | $200 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$

ポアソン比 ν | 0.3

腐食切れの生じたトラス橋斜材の弾塑性有限要素解析



(a) 既設橋梁 S: $L = 9332\text{m}$



(b) 既設橋梁 M: $L = 12083\text{m}$

研究目的

腐食切れの生じた鋼トラス橋の圧縮斜材の健全性評価方法を提案すること。

研究の流れ

腐食切れの生じたトラス橋斜材の健全性を評価するために、**座屈応力に着目したレベル分け**を行う。

座屈応力を求める。

腐食切れの生じたトラス橋斜材の**弾塑性有限要素解析**を実施する。

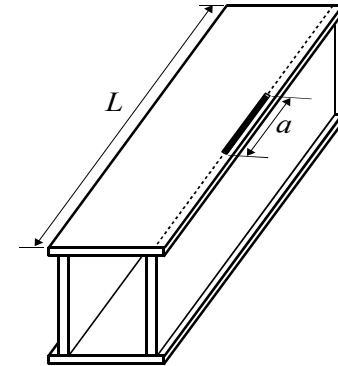
腐食切れの生じたトラス橋斜材に適用可能な**柱と板の座屈応力式**を使用する。

幅厚比パラメータ R を求める。

腐食切れの生じたトラス橋斜材全体をモデル化し、種々の腐食切れ長さにおいて**有限要素法による線形座屈解析**を行う。

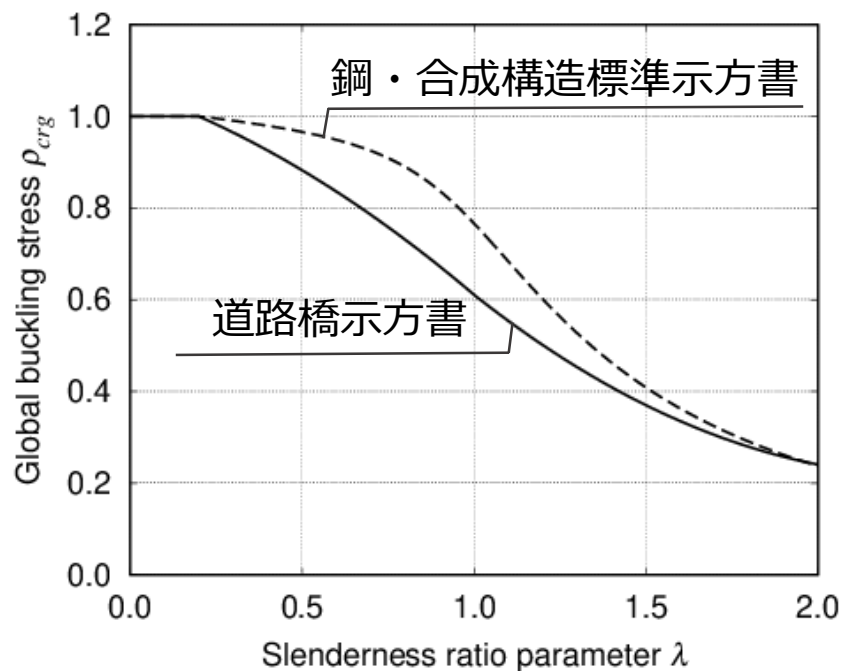
腐食切れ長さと座屈応力の関係を求める。

幅厚比パラメータ R を用いて、座屈応力式から種々の腐食切れ長さを有する腐食切れの生じたトラス橋斜材の**座屈応力**を求め、作成したレベル分けに腐食切れ長さと座屈応力の関係を照らし合わせる。

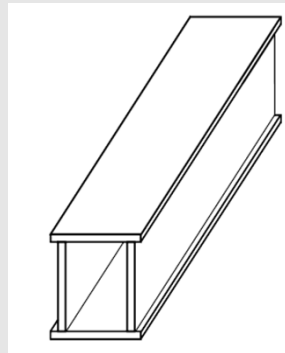
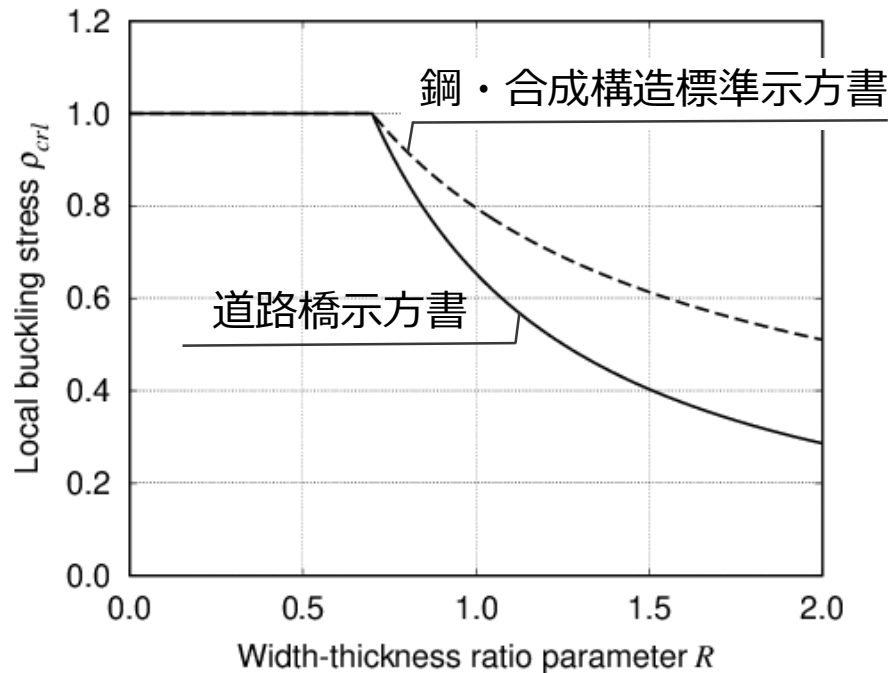


腐食切れの生じたトラス橋斜材の座屈応力式

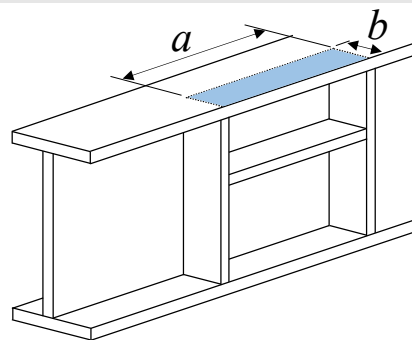
柱の座屈応力式（箱型断面部材）



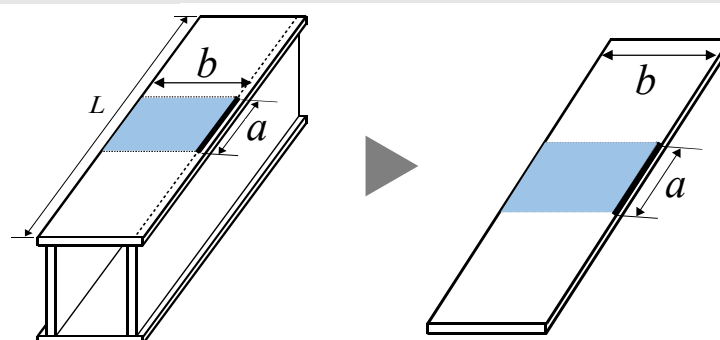
板の座屈応力式（自由突出板）



箱型断面部材



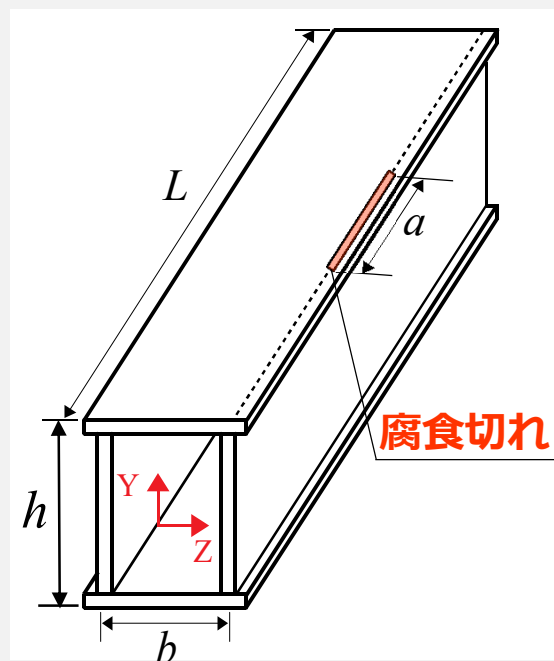
自由突出板



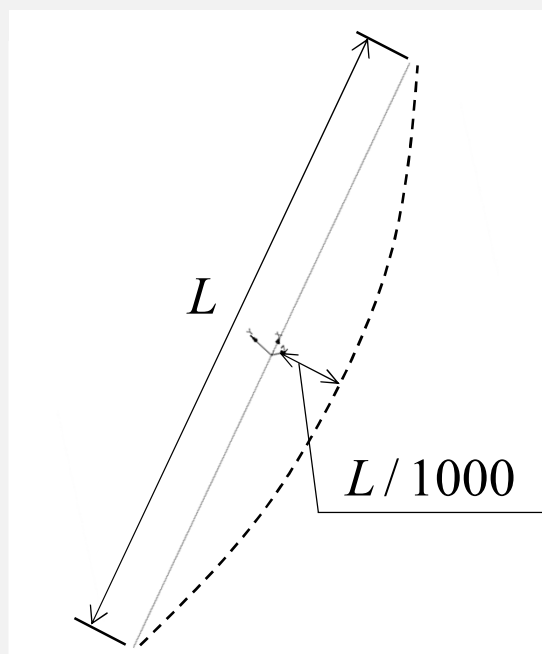
腐食切れの生じたトラス橋斜材とフランジ部分

柱の座屈応力式の作成

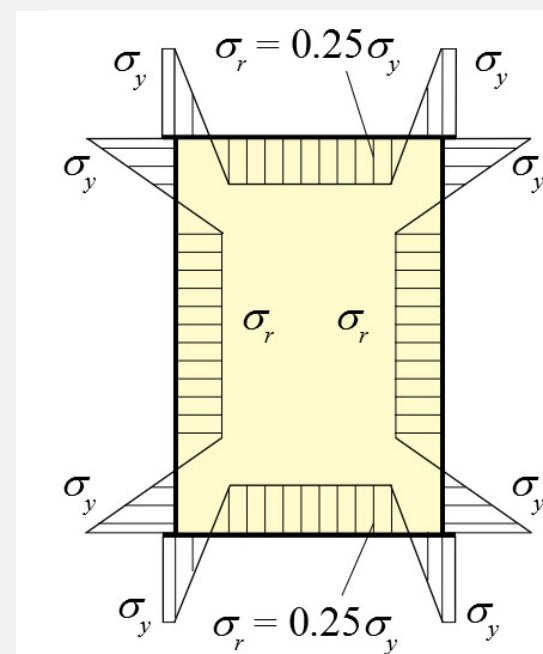
道路橋示方書と鋼・合成構造標準示方書による柱の座屈応力式の適用性を検討する.



斜材の概略図



解析モデル



残留応力分布

対象部材 | 既設橋梁S (斜材1, 斜材3), 既設橋梁T (斜材1)

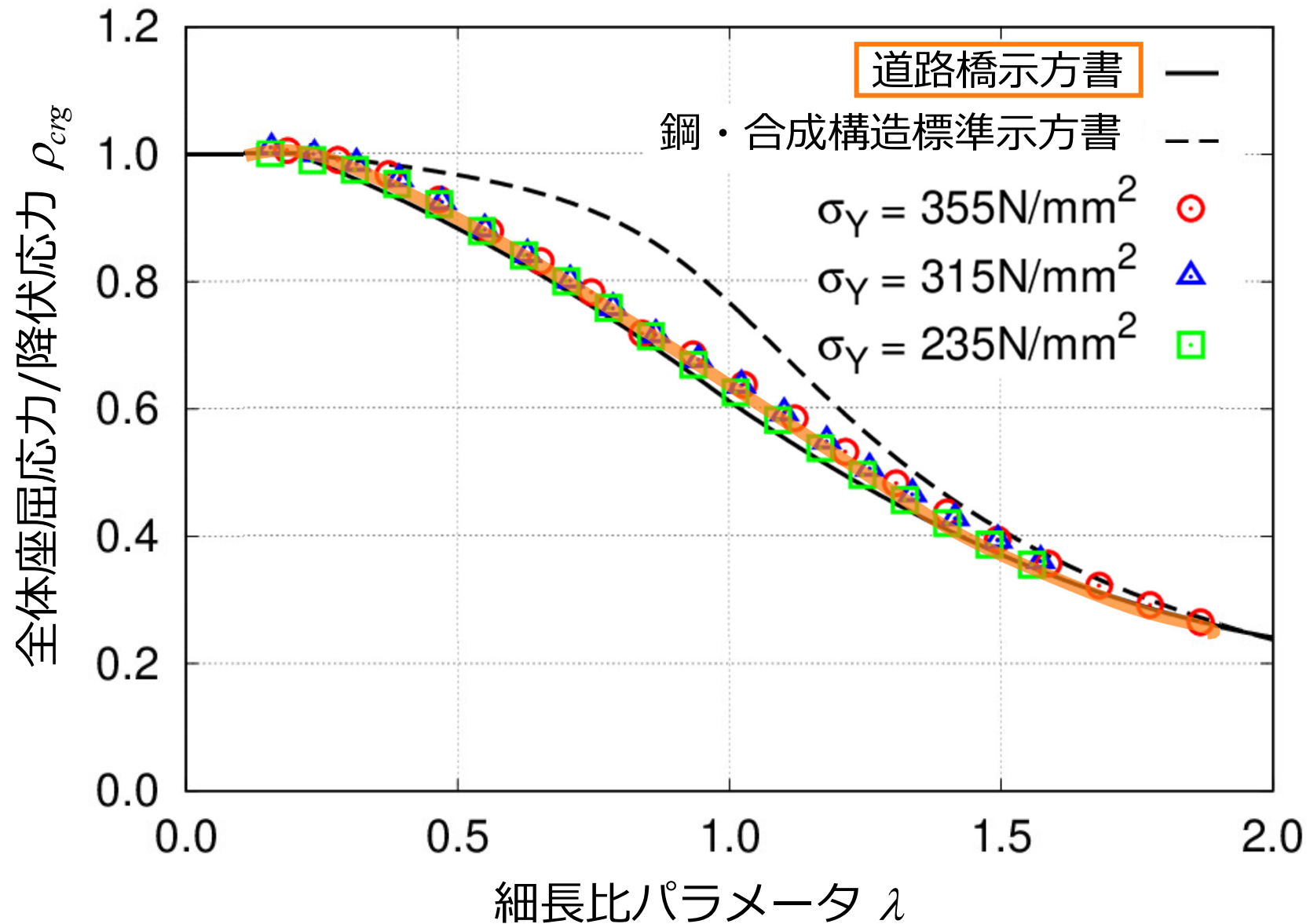
解析法 | 変位増分法

要素タイプ | ビーム要素

ヤング係数 E | $200 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$

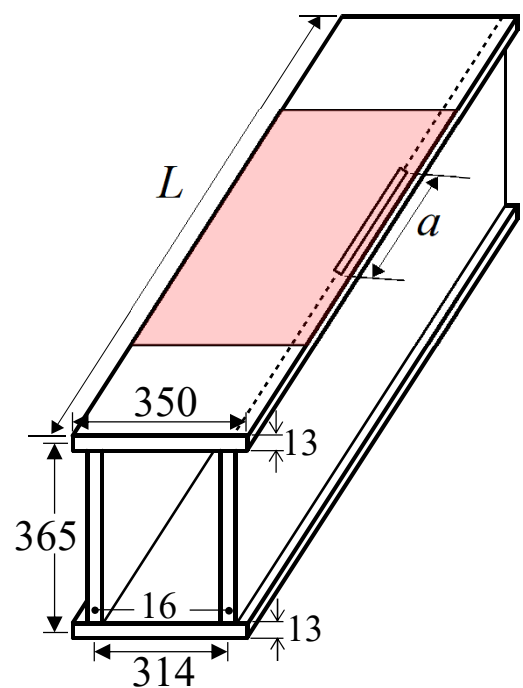
ポアソン比 ν | 0.3

柱の座屈応力式の作成

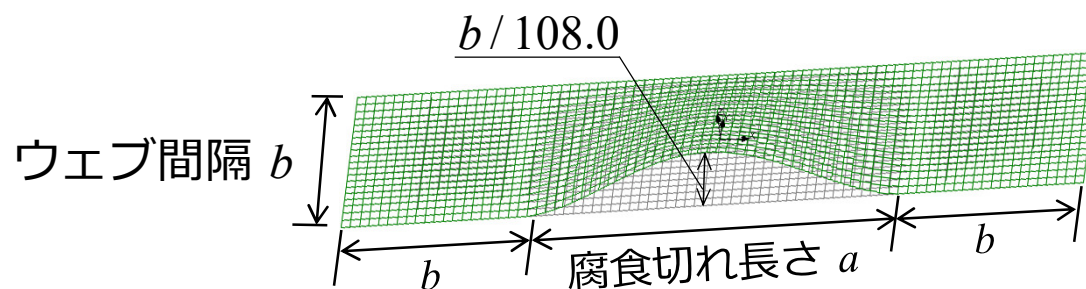


板の座屈力式の作成

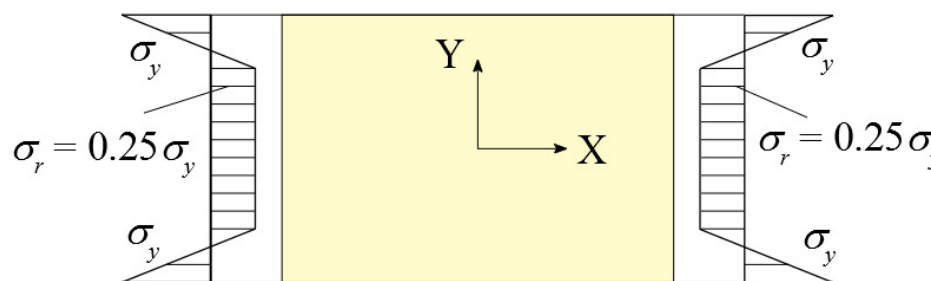
道路橋示方書と鋼・合成構造標準示方書による**自由突出板の座屈力式**の適用性を検討する。



斜材1の概略図



解析モデル



残留応力分布

対象部材 | 既設橋梁S (斜材1)

解析法 | 変位増分法

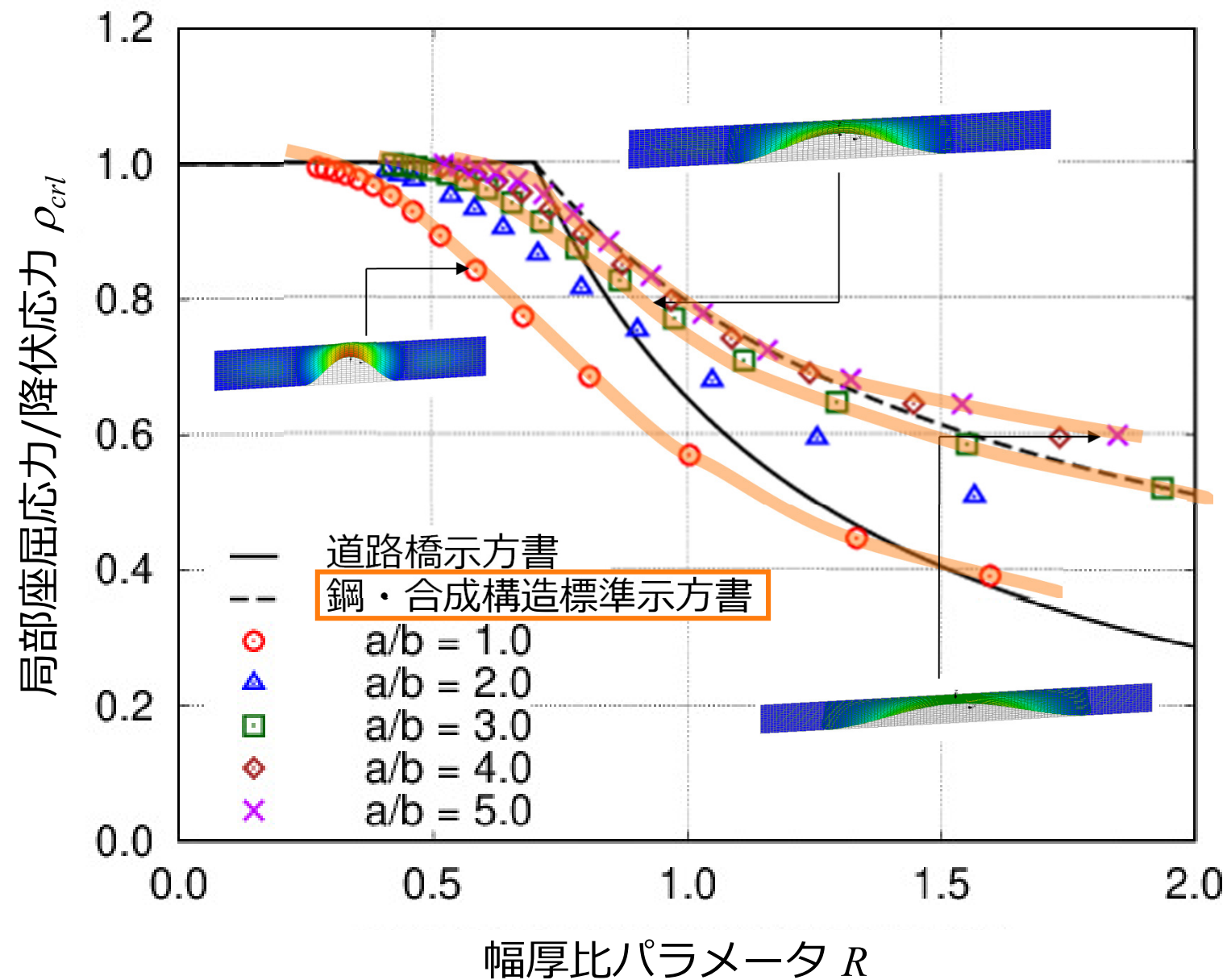
ヤング係数 E | $200 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$

降伏応力 σ_y | 355 N/mm^2

要素タイプ | シェル要素

ポアソン比 ν | 0.3

板の座屈応力式の作成



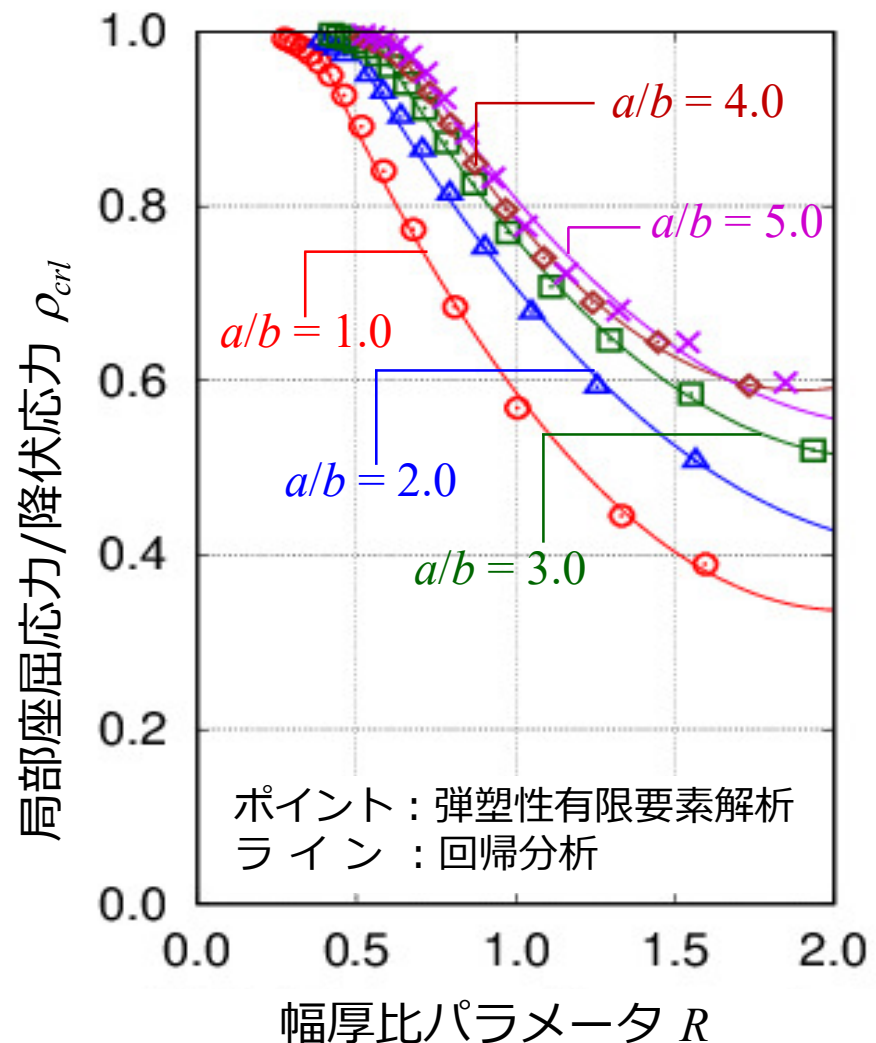
板の座屈応力式の作成 | 回帰分析

$$\rho_{crl} = d_0 R^2 + d_1 R + d_2$$

a/b	d_0	d_1	d_2
1.0	0.233	-0.950	1.300
2.0	0.169	-0.785	1.320
3.0	0.188	-0.811	1.390
4.0	0.246	-0.933	1.470
5.0	0.177	-0.783	1.410

$$d_i = p_0 \left(\frac{a}{b}\right)^4 + p_1 \left(\frac{a}{b}\right)^3 + p_2 \left(\frac{a}{b}\right)^2 + p_3 \left(\frac{a}{b}\right) + p_4$$

d_i	p_0	p_1	p_2	p_3	p_4
d_0	-0.00508	0.0435	-0.0924	-0.0150	0.302
d_1	0.0114	-0.0979	0.208	0.0570	-1.13
d_2	-0.00621	0.0591	-0.178	0.234	1.20

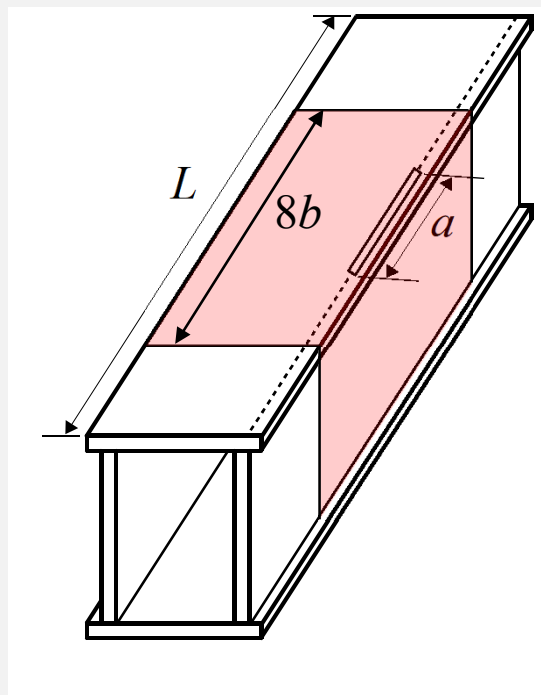


初期たわみや残留応力のない完全系の
板の局部座屈応力

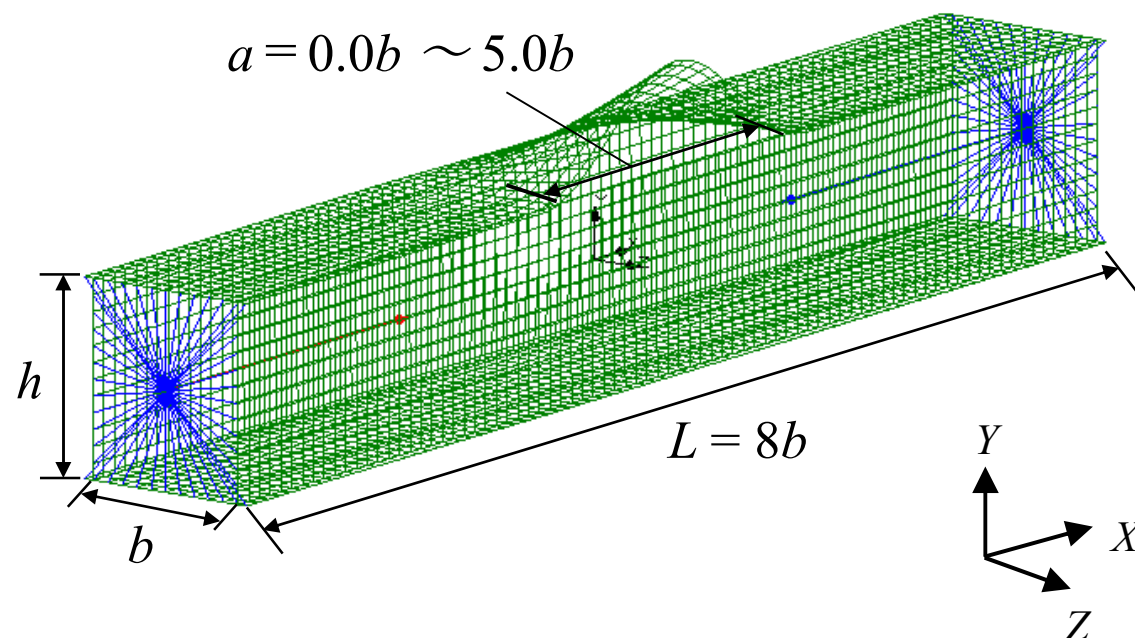
$$\rho_{crl} = \frac{\sigma_{crl}}{\sigma_Y} = \frac{1}{R^2} \quad \blacktriangleright \quad R = \sqrt{\frac{\sigma_Y}{\sigma_{crl}^{FEA}}}$$

腐食切れの生じたトラス橋斜材の健全性評価

有限要素法による線形座屈解析を実施し，腐食切れの生じた鋼トラス橋斜材の座屈応力を求める。



斜材1の概略図



斜材1の数値解析モデル

対象部材 | 既設橋梁S (斜材1)

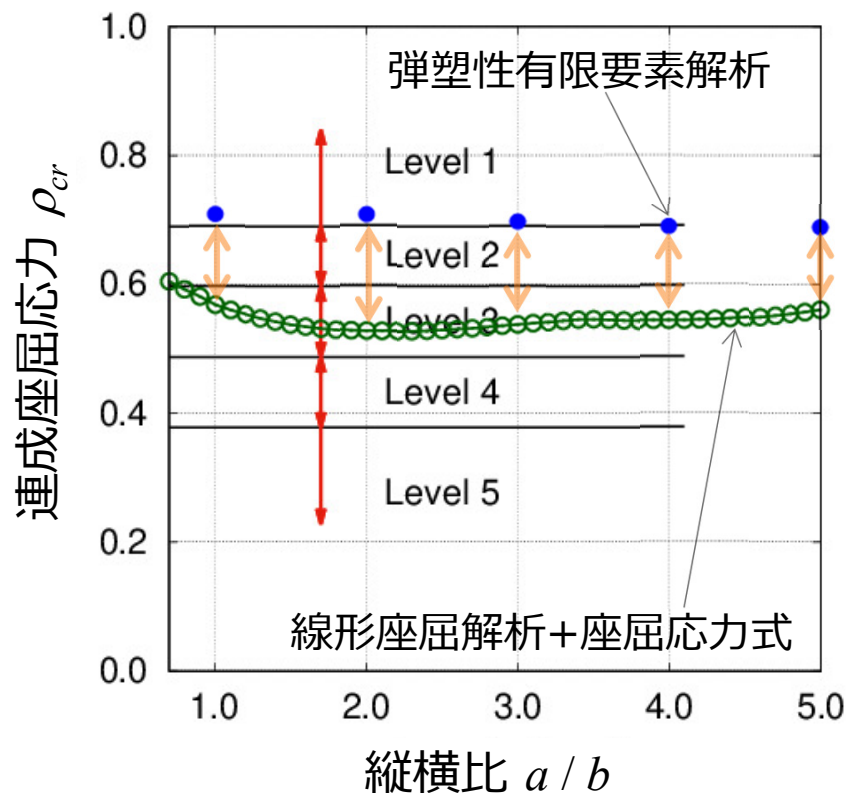
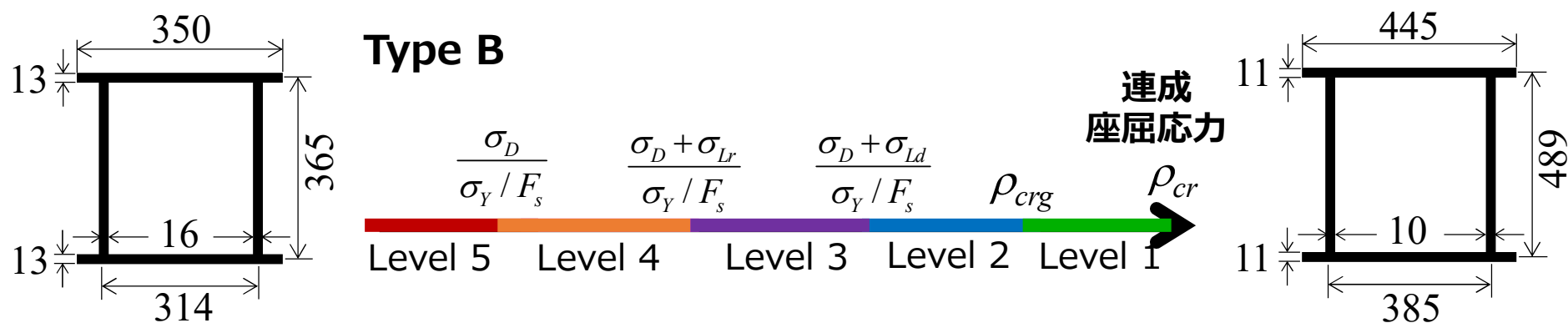
降伏応力 σ_Y | 355 N/mm^2

ヤング係数 E | $200 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$

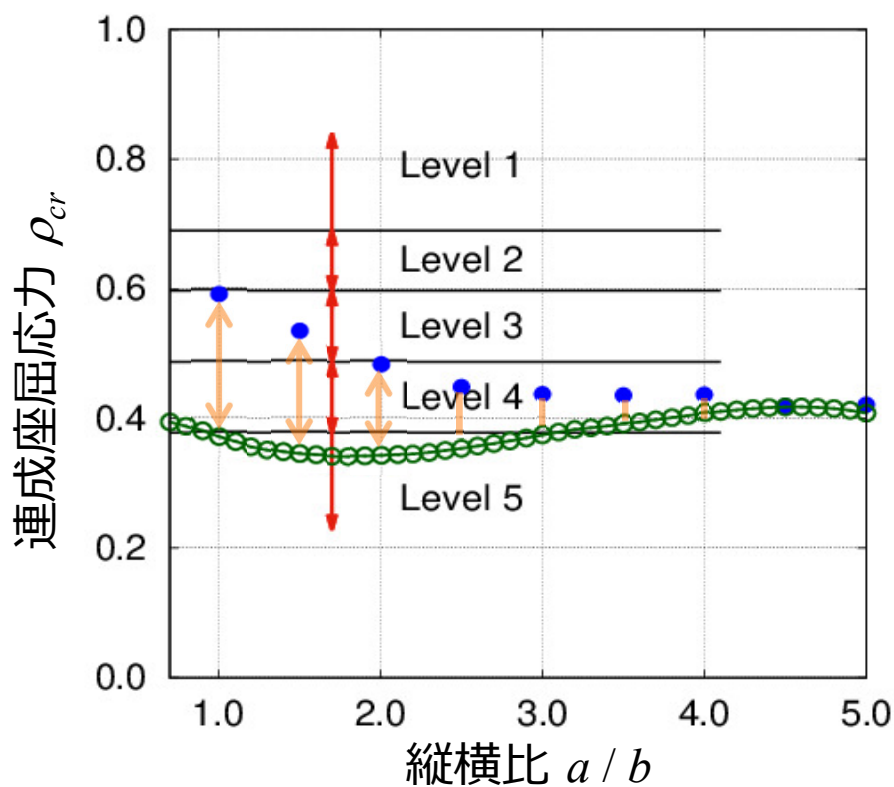
要素タイプ | シェル要素

ポアソン比 ν | 0.3

腐食切れの生じたトラス橋斜材の健全性評価



(a) 既設橋梁 S: $L = 9332\text{m}$



(b) 既設橋梁 M: $L = 12083\text{m}$

まとめと今後の予定

- ✓ 腐食切れの生じたトラス橋斜材の座屈応力に着目し，連成座屈を考慮した腐食切れのレベル分けを示した．
- ✓ 弾塑性有限要素解析と回帰分析により，縦横比 a/b の変化や初期たわみ，残留応力の影響を考慮した柱と板の座屈応力式を作成した．
- ✓ 腐食切れの生じたトラス橋斜材の弾塑性有限要素解析を実施し，座屈応力と腐食切れの長さの関係を示し，作成したレベル分けとの比較を行った．また，線形座屈解析により計算した座屈応力との比較を行った．

今後の課題

- ✓ 腐食切れの生じたトラス橋斜材の**連成座屈応力**の導出方法の妥当性を検討する.
- ✓ 腐食切れの生じたトラス橋斜材の板の解析モデルに与える**支持条件**の影響について検討する.
- ✓ 腐食切れの生じたトラス橋斜材の幅厚比パラメータの導出について, **有限要素法による線形座屈解析を用いない方法**を検討する.
- ✓ 腐食切れ長さと座屈応力の関係に与える**腐食切れの生じる位置と腐食切れの数**の影響について検討する.
- ✓ **複数の圧縮部材**を解析モデルに用い, 腐食切れ長さと座屈応力の関係を明らかにする.