

腐食したトラス下弦材格点部の応力状態の検討

長岡技術科学大学 鋼構造研究室 GANKHUYAG SARANGUA

指導教員 岩崎 英治

1. はじめに

日本では昭和 30 年から 50 年にかけて高度経済成長期に社会資本ストックは集中的に建設された。現在、2 m以上の橋梁約 73 万橋のうち建設後 50 年を経過している橋が 2018 年において 25% であり、2023 年に 39%、2033 年に 63% となり、急激に増加する。これは社会基盤構造物の計画的な維持管理、補修・補強費用は確実に増加していくことが予測される。このため、合理的な維持管理、補修・補強対の重要性が高まっている。

一方、2007 年 8 月に、米国ミネソタ州にトラス橋の破壊による落橋事故が発生した。日本国内では、木曾川大橋、本荘大橋に斜材の破壊が生じていたが、橋梁の落橋には至っていない。しかし、トラス橋は構造冗長の低い構造形式であるため、維持管理に留意する必要がある。

トラス橋の格点部下弦材の上面は、雪などの滞水や土砂が堆積しやすく、写真-1 のような局所的な腐食が生じやすい部位である。格点部の劣化や腐食は複数の部材に影響を与えることにつながり、構造物全体に大きく影響するため、格点部材の応力状態の把握は重要と考えられる。

本研究では、ワーレン形式トラス橋の格点部を対象にし、FEM 解析ソフトを用いて、腐食減肉の生じた下弦材格点部の応力状態を検討することを目的とする。

2. 解析モデル

モデルはシェル要素を用い、モデル範囲は両サイドに斜材が存在するガセットプレートと弦材ウェブが一体になった格点部を対象とする。図-1 には、解析モデルの例を示した。半径 2.5m の範囲を有限要素解析でモデル化する。要素分割に関して、モデル全体の端部の要素分割の大きさを 100mm、斜材の下端部要素の大きさを 50mm、フィレット部はより細かい要素分割で 12.5mm とした。下弦材格点部の応力分布が斜材の角度や斜材のガセットへの差し込み深さによって変化する。そこで、表-1 に示したようにモデル 1 から順に斜材角度を大きくなる 4 パターンに分けられ、各モデルで斜材のガセットへの差し込み深さが 3 パターンあり、全て 12 パターンについて解析を行う。

腐食範囲は、

- 両側のガセットで囲まれた上面の全面が腐食した場合
- 左右のガセットと端部から 200 mm内側が腐食した場合の 2つのケースを対象とする。



写真-1 格点部下弦材上面の腐食状況

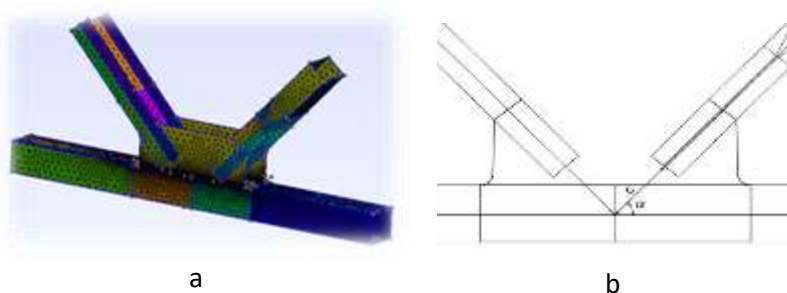


図-1 解析モデル

表-1 各解析モデル

モデル	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	4.3
α (°)	43.03			48.7			54.46			60.26		
c (mm)	510	620	730	450	550	650	400	500	600	360	450	540

3. 下弦材格点部の力の分解

格点に集まる部材の軸力は、力のつり合い条件を満足することから、2個の独立な力により表すことができる。そこで弦材を左右に引張力 N_0 、弦材と斜材によりガセットをせん断変形させるせん断力 S_0 の二つの独立した力を考えると、各部材の軸力は図-2 のように表すことができる。

逆に、各部材の軸力が与えられたとき、2個の独立な力は次のように表される。

$$N_0 = \frac{1}{2}(N_1 + N_2) \quad , \quad S_0 = N_2 - N_1$$

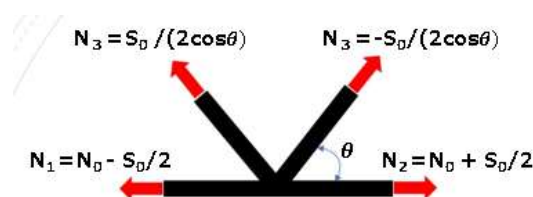


図-2 格点部の力の分解

以下ではそれぞれの独立な力による応力状態を格点部の3つの位置において検討する。

1. 下弦材上面の端部での応力 σ_{eq}
2. 下弦材上面の中央での応力 σ_{eq}
3. 下弦材直上のガセット部の応力 σ_{eq}

ここで、 σ_{eq} はミーゼスを表す。ミーゼス応力とは延性材料の降伏予測に適した判定基準である。

4. 結果

以上の3つの位置において応力を検討したが、ここでは応力が一番大きいため、下弦材直上のガセット部の応力を示す。

4.1 引張力による下弦材直上のガセット部の応力 σ_{eq} (両側のガセットで囲まれた上面の全面が腐食した場合)

図-4.1 には腐食量と引張力が作用している場合の各角度でのガセット部の最大応力の関係を示し、図-4.2 には腐食量と各 c (ガセットへの差し込み深さ) でのガセット部の最大応力の関係を角度が一番小さい(43.03°)と一番大きい(60.26°)において示す。これらのグラフから各角度及び各 c において応力分布は同様であり、腐食量が増加するにつれて応力が増加していることが分かる。

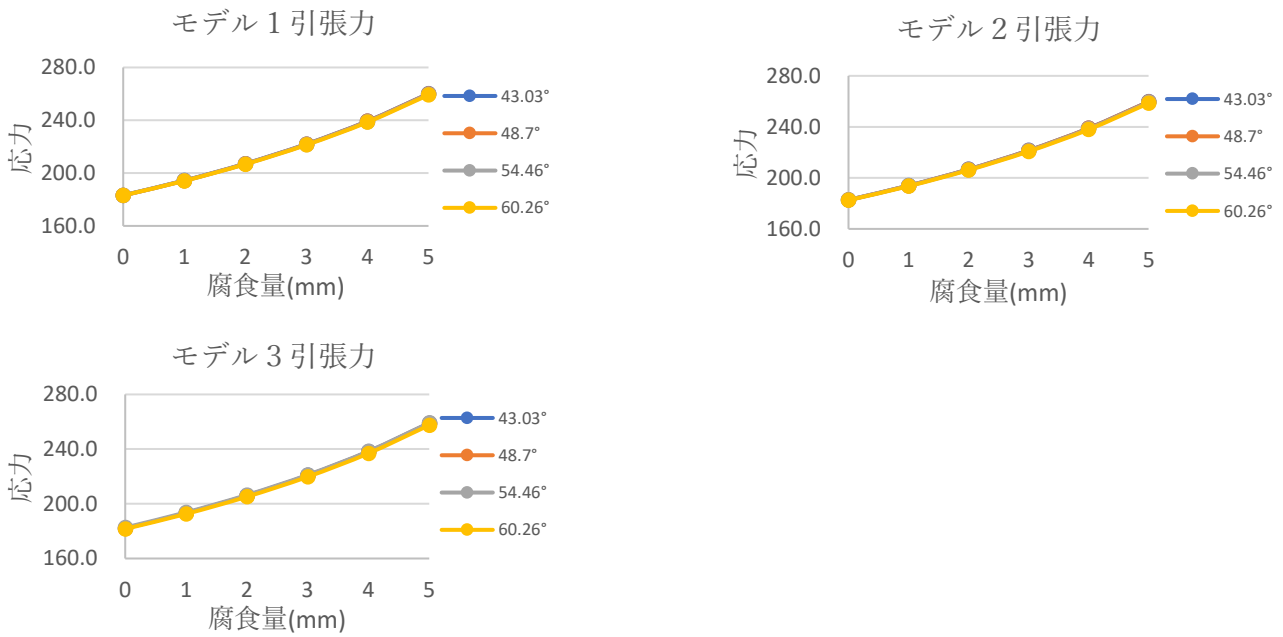


図-4.1 各角度での腐食量と応力最大値関係

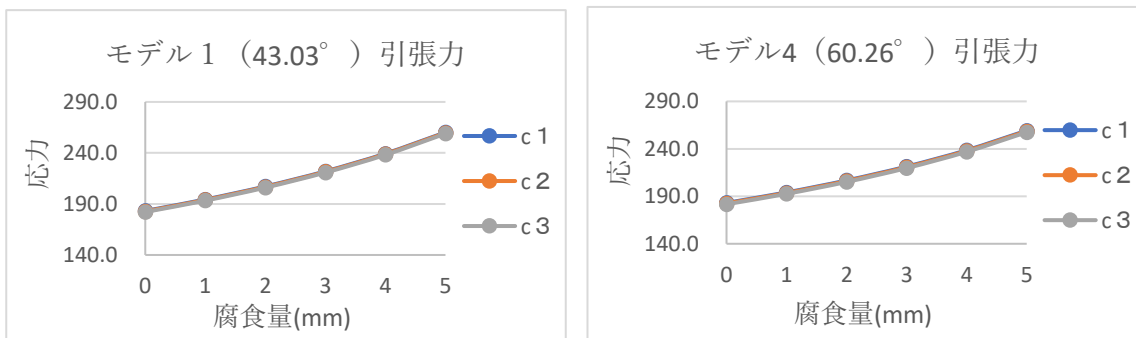


図-4.2 各ガセットへの差し込み深さでの腐食量と応力最大値関係

4.2 せん断力による下弦材直上のガセット部の応力 σ_{eq} (両側のガセットで囲まれた上面の全面が腐食した場合)

図-4.3 は腐食量と各角度での最大応力値の関係をせん断力が作用している下弦材上面直上のガセット部において作成したグラフである。図-4.4 は角度が一番小さい(43.03°)と一番大きい(60.26°)において腐食量と各 c(ガセットへの差し込み深さ)での最大応力値の関係をせん断力が作用している下弦材上面直上のガセット部において作成したグラフである。ここからせん断力が作用している場合、角度が大きくなるにつれて応力が低下していることが分かる。一方、ガセットへの差し込み深さ(c)の変化は応力に影響しないことが分かる。

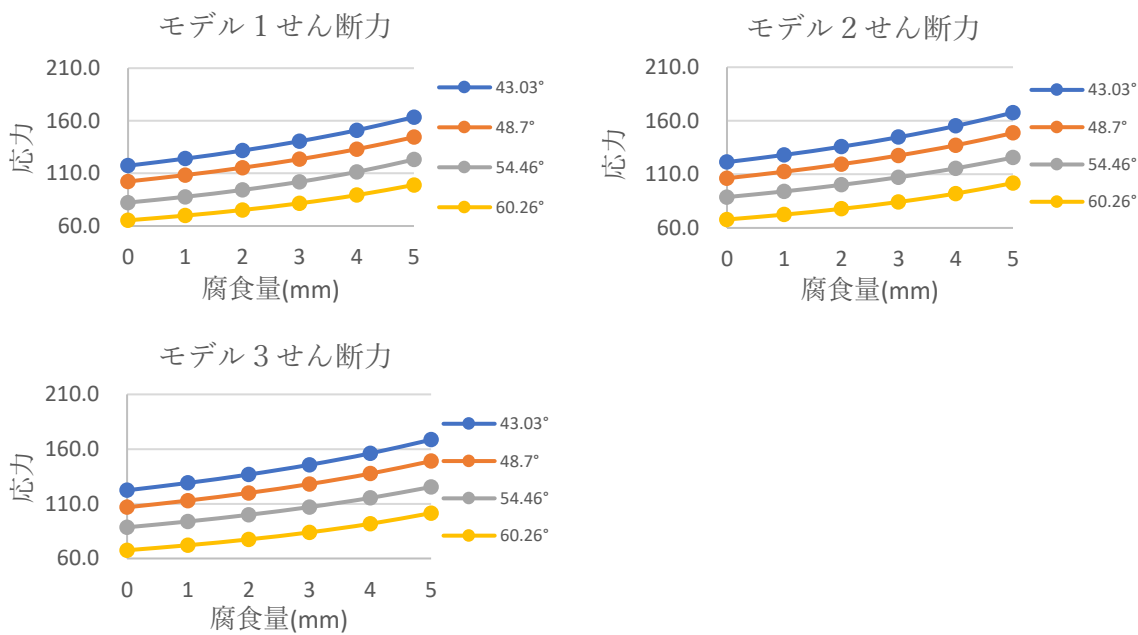


図-4.3 各角度での腐食量と応力最大値関係

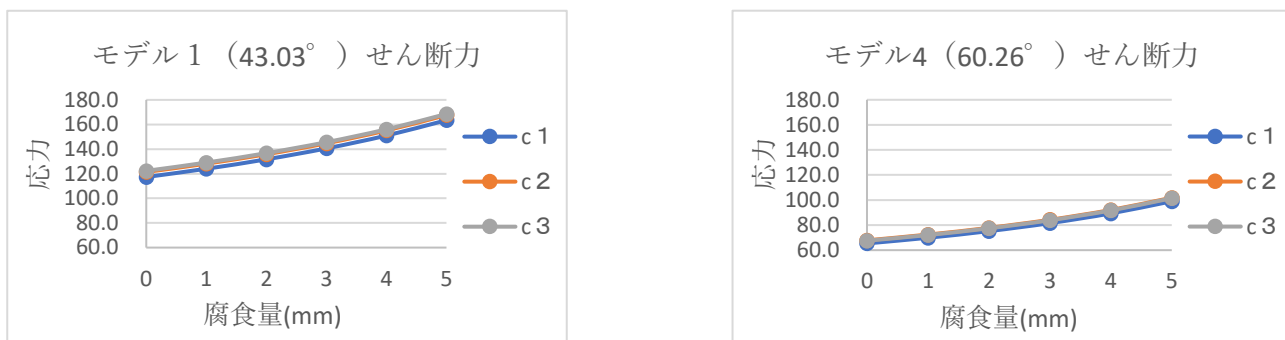
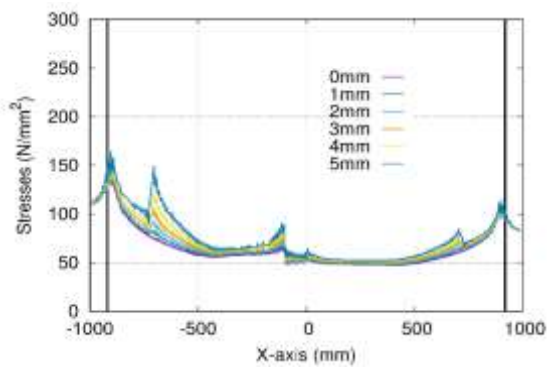


図-4.4 各ガセットへの差し込み深さでの腐食量と応力最大値関係

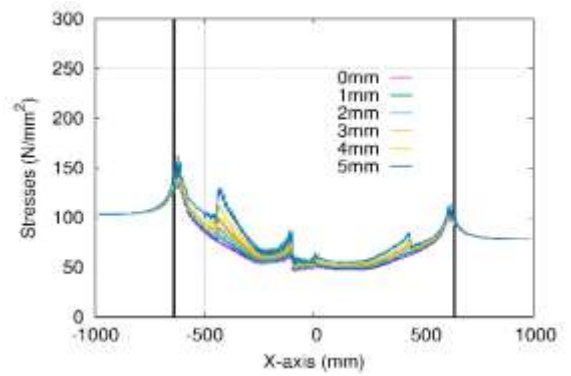
4.3 引張力による下弦材上面の端部での応力 σ_{eq} (腐食範囲が内側に 200 mmを離れた場合)

以上ではガセットの端部と腐食範囲が重なっていることから、応力増加を検討するのが困難であるから、ここでは腐食範囲が内側に 200 mmに離れた場合の計算をやった。

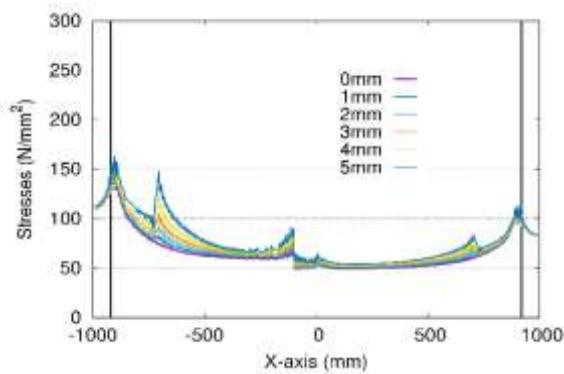
図-4.5 腐食範囲が内側に 200 mmに離れた場合での引張力による応力分布である。ガセット端部には腐食範囲の端部より大きい応力発生していることが明らかである。図-4.6 は腐食範囲が内側に 200 mmに離れた場合でのせん断力による応力分布である。ここから角度が小さい場合(43.03°)はガセットの端部と腐食範囲の端部にはほぼ同様な応力が発生しているが、角度が大きくなるにつれて腐食範囲の端部での応力がガセットの端部より大きくなっていることが分かる。



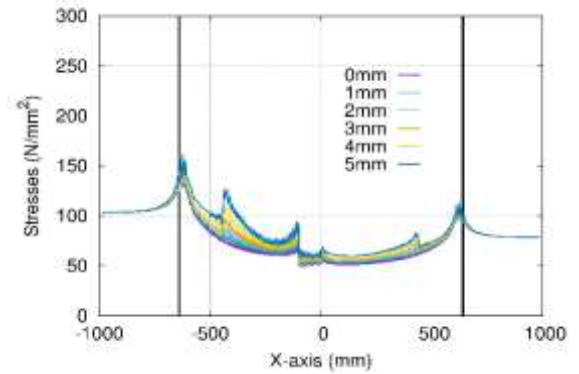
モデル 1.1 (43.03°)



モデル 4.1 (60.26°)



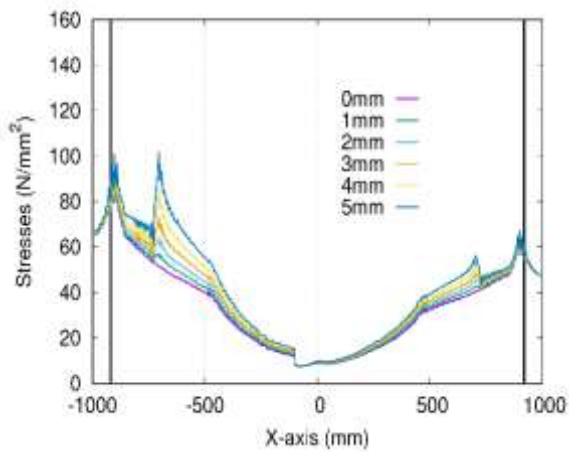
モデル 1.3 (43.03°)



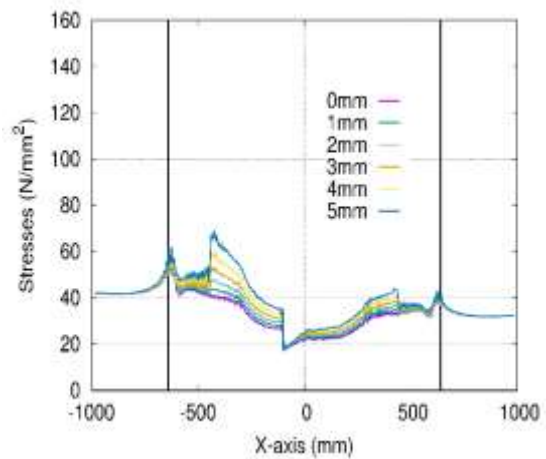
モデル 4.3 (60.26°)

図-4.5 引張力 N0 による下弦材上面端部でのミーゼス応力

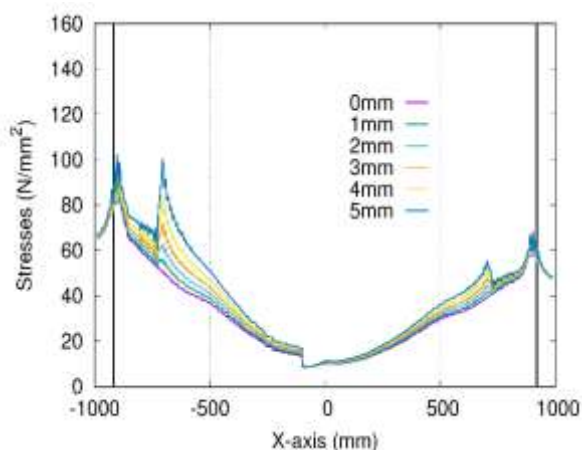
4.4 せん断力による下弦材上面の端部での応力 σ_{eq} (腐食範囲が内側に 200 mm を離れた場合)



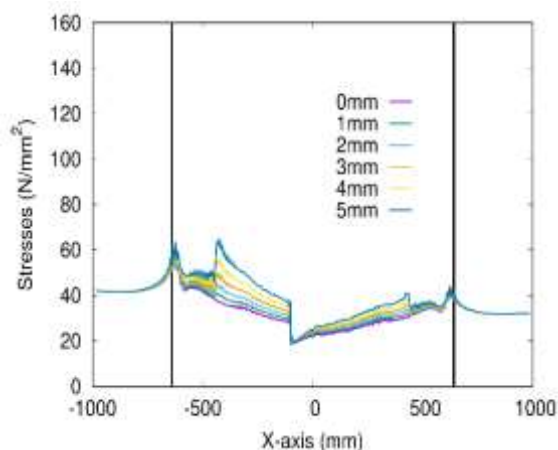
モデル 1.1 (43.03°)



モデル 4.1 (60.26°)



モデル 1.3 (43.03°)



モデル 4.3 (60.26°)

図-4.6 せん断力 S_0 による下弦材上面端部でのミーゼス応力

5. まとめ

本研究では、ワーレン形式トラス橋の格点部を対象にし、FEM 解析ソフトを用いて、腐食減肉が生じた下弦材格点部の応力状態を検討することを目的とし、カセットプレートの合計 12 モデルの FEM 解析を行い、ミーゼス応力の増加率を検討した。これにより得られた知見を以下に示す。

- (1) 同様な力が作用している場合、下弦材直上のガセット部には上面の端部と中央より大きい応力が発生し、桁厚減少による応力増加率も高い。
- (2) 引張力とせん断力が作用している場合両方とも腐食量が増えるにつれて応力が増加する。
- (3) 引張力が作用している場合、応力増加には角度とガセットへの差し込み深さの変化が関係なく、各モデルで同様な応力分布を示した。一方、せん断力が作用している場合、角度が大きくなるにつれて応力が低下しており、ガセットへの差し込み深さによる応力はほぼ同様である。
- (4) ガセット端部と腐食範囲が重なっていない際には引張力が作用している場合、ガセットの端部には腐食範囲端より大きい応力が発生し、せん断力が作用している場合は腐食範囲端部にガセットの端部より大きい応力が発生する。

これからの課題としてワーレン形式トラス橋の格点部の応力状況を把握する簡易評価式の提案が残されており、FEM 解析結果と比較し、妥当性を検討することが必要である。