

腐食減肉が生じた集成柱部材の耐荷力に関する研究

1.背景と目的

日本では1960年代から1980年代までにいわゆる高度成長期といわれるごろに急速な経済発展のために、社会基盤整備の一環として土木インフラ構造物が大量に建築およびストックされてきた。その中には、道路や鉄道などの橋梁構造物も数多く含まれており、近年においては、建築から50年を迎える老朽化橋梁が年々増加している状況にある。このような背景から、近年ではこれらの対策として部分的な補強や補修が行われたり、桁全体が取り替えられたりしている。補修や補強にあたっては、鋼トラス橋における主構造部材および各斜材の耐荷力を適切に検討・評価したうえで合理的かつ経済的な対策や対処法を選定および決定する必要性が強く求められている。そのためには、構造物の腐食状況の調査方法や腐食による耐荷力の低下などについての調査・研究ならびに基礎データの蓄積が求められている。そこで、本研究では腐食減肉が生じた集成柱部材における様々な腐食ケースごとに座屈耐荷力が健全のときと比べて、どのように低下するのかを検討し、上記の構造物の腐食状況の調査法やそれにもなう耐荷力の低下の把握のための基礎データを作ることとする。

1.1 研究の概要

本研究では、長生橋（1937年）の圧縮力を受けるラチス形式のD6組立圧縮材（図-1）を対象として、線形弾性座屈および弾塑性座屈解析による強度の評価を行う。

1.2 解析の概要

構造は図-2のとおりで、65 x 65 x 8のL型-4、65 x 9のLac PL-128の直方体である。鋼材の応力-ひずみ関係には、弾性-完全塑性を想定した。鋼材の降伏応力は 245N/mm^2 を用いた。材料定数は、弾性係数 $E=200000\text{Mpa}$ 、ポアソン比 $\gamma=0.3$ とする。境界条

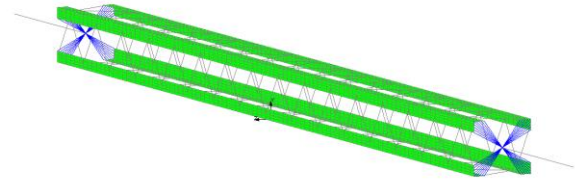


図-1 D6組立圧縮材のモデル図

ヤング係数 E (N/mm ²)	2.00E+05
ポアソン比 γ	0.3
降伏応力 σ_y (N/mm ²)	245E+06

表-1 FEM解析モデル主な諸元

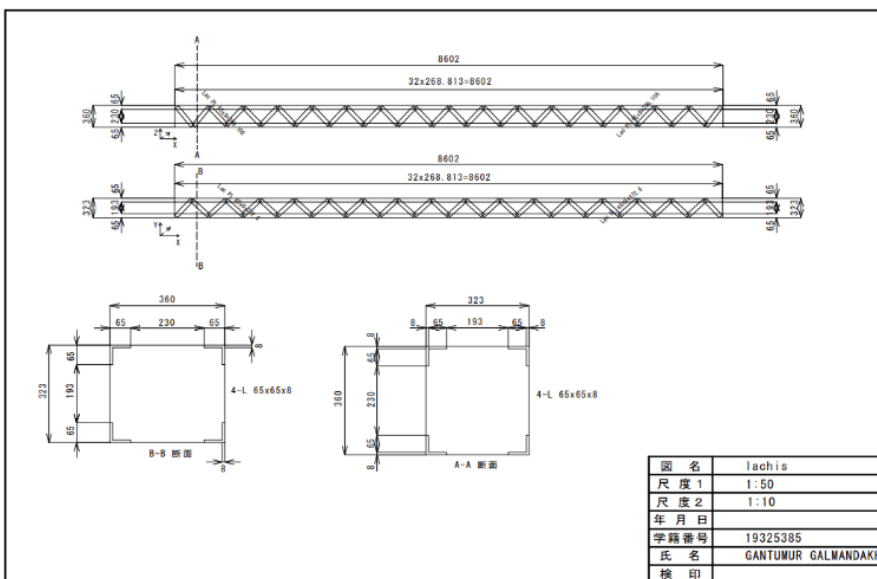


図-2 D6組立圧縮材の断面および寸法図

件は、両端単純支持でX軸の水平移動とY軸回りの回転ができる。また、荷重条件と支持条件を与えるためにL型4つを剛体化させた。

要素にはL型をシェル要素、斜材はbeam要素を使う。分割は、L型の長さを97分割し、L型を構成する2つの板を計算時間の省略を考慮し、2分割し、斜材を4分割した。

2 線形弾性解析結果

まず、線形弾性座屈解析を行い、健全状態のモデルを作った。健全時の部材の全体および局部座屈荷重はそれぞれ $P_{cr} = 2438.75 \text{ K N}$ 、 $P_{cr} = 5305.21 \text{ K N}$ になった。

次に、ラチス材の損傷が D6 組み立て圧縮材の耐荷力に及ぼす影響について検討した。そのために、図-2 に示すように部材端部から 800 mm の間隔で、合計 4 か所でラチス材 4 本を取出し、8つのモデル（図-3 参照）を作り、モデルごとの全体座屈の発生荷重を調べた。

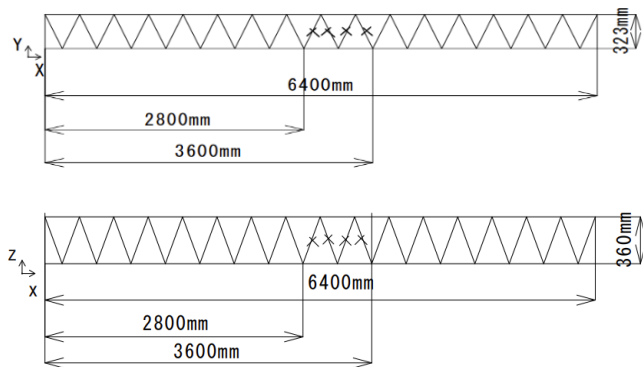


図-4 部材の中央部においてラチス材が損傷したケース

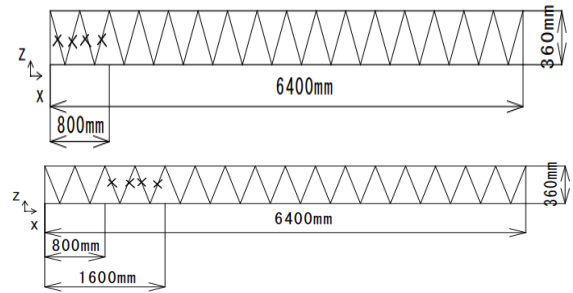


図-3 ラチス材が損傷したケース

なお、部材の高さと幅が違うことから、上面と側面の二つの面を考え、2つのパターンでラチス材を取り出した。また、ラチス材の破断により、部材の座屈耐力に最も大きな影響を及ぼす可能性のある箇所として部材中央部があげられる。そのため、部材中央でもラチス材 4 本を取り出し、座屈発生荷重を調べた（図-4 を参照）。

損傷を受けた部材の残存耐力 (P_{cr}^d) と健全耐力 (P_{cr}) を関連付け、残存耐力と健全耐力との比 (P_{cr}^d/P_{cr}) がラチス材破断位置 x_c とどのような関係にあるかを調べた。その結果を図-5 に示す。図-5 から部材の側面において、ラチス材の損傷位置が中央になるほど、耐荷力の低下量が大きくなることがわかった。一方、部材の上面において、ラチス材の損傷位置が端部になるほど、耐荷力の低下量が大きくなることがわかる。

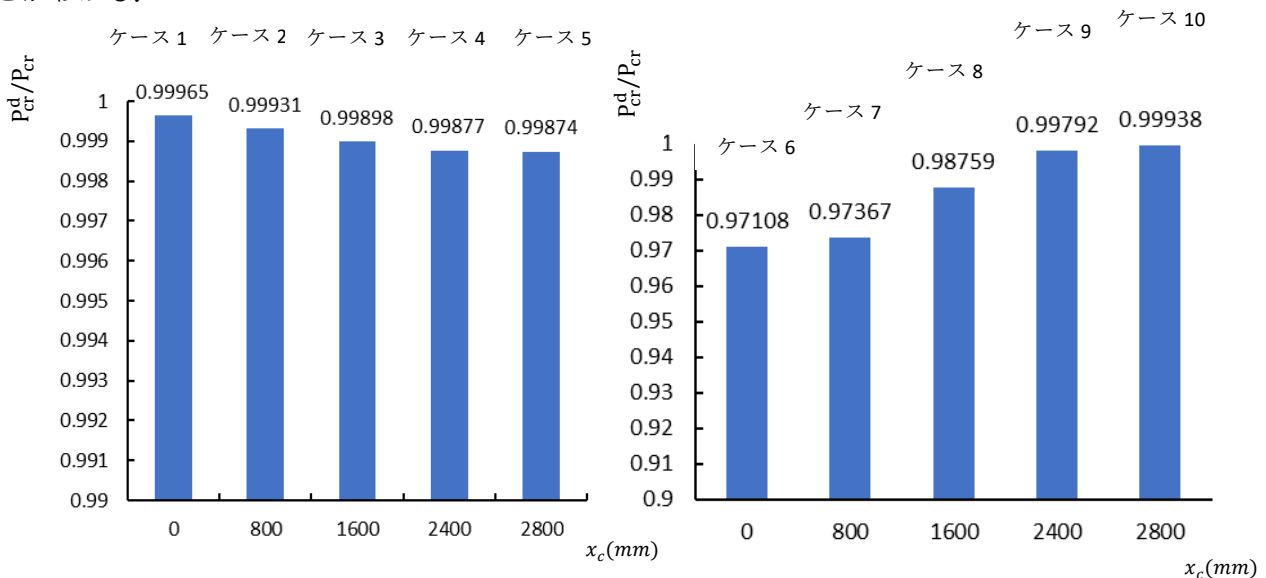


図-5 $P_{cr}^d/P_{cr}-x_c$ の関係

3.弾塑性座屈解析概要

これまでの解析は線形弾性座屈解析なので、部材の初期不正と塑性域での挙動を考慮しておらず、部材の強度を過大評価してしまう恐れがあった。そこで、部材に強度をより正確に評価するため、初期不正を考慮し、弾塑性解析を行った。初期たわみを図-6 に示すように $L/1000$ とし、残留応力の影響はないものとした。

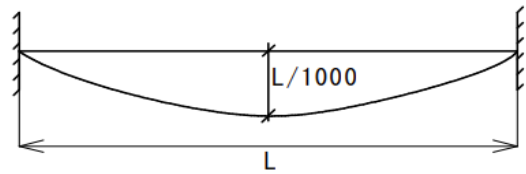


図-6 初期たわみ

3.1 弾塑性座屈解析結果

D6 組み立て圧縮材は 4 つの面とそれを支えるための 128 本ラチス材からできており、ラチス材の破断するケースは無数である。したがって、線形弾性座屈解析の結果に基づいて、計算時間の省略を考慮し、ラチス材の損傷が最も大きい部材の中央および端部のみに絞って、ラチス材の損傷しうる 16 つのケースについて弾塑性解析を行った。

そのためには、まず、D6 組立圧縮材の塑性域での挙動および初期不整を考慮したときの健全状態のモデルを作った。そのときの座屈耐荷力は以下ようになった。

弾塑性解析結果 $P_{cr}=937.0\text{KN}$ になり、線形弾性座屈解析結果は $P_{cr}=2438.75\text{KN}$ であった。D6 部材に初期不整を与えて、弾塑性解析を行った結果、座屈耐荷力は、線形弾性座屈解析に比べて、61% も低下した。(図-7 参照)

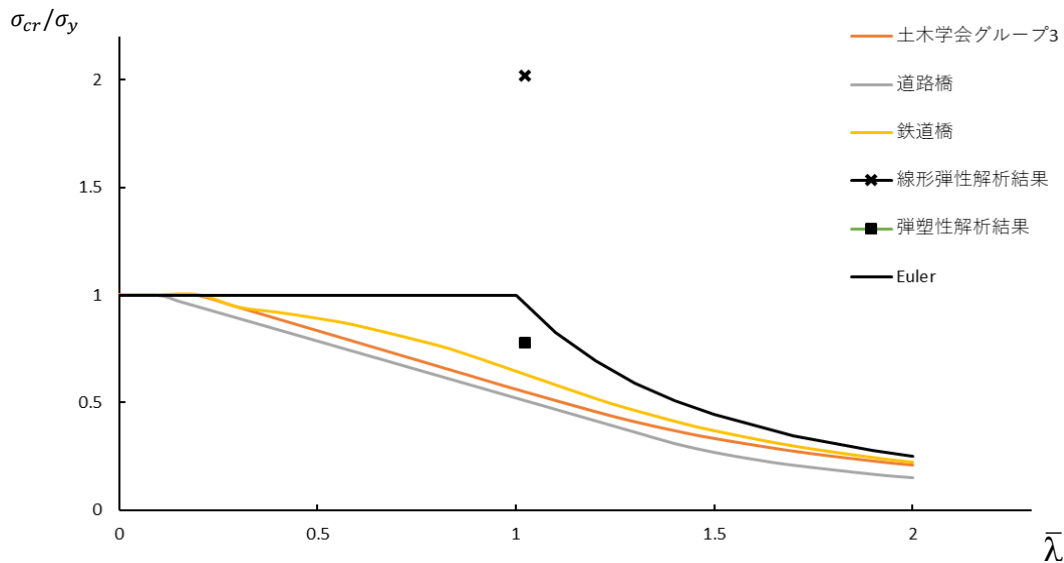


図-7 非線形解析および線形解析の D6 部材の基準耐荷力曲線

次に、16 つのケースごとの座屈応力比を図-8 および図-9 に示す。図-8 および図-9 からラチス材の損傷が D6 部材の座屈耐荷力に及ぼす影響はケース 6、ケース 8 およびケース 12、ケース 15、ケース 16 以外の場合ではほとんど変化ないものの、耐荷力の低下量は最大で 1% にも満たなかった。一方、ケース 6、ケース 12、ケース 15、では座屈耐荷力は健全のときに比べて、それぞれ 6% 程度、7% 程度、ケース 16 では最も大きく 10% 程度低下している。また、4 つの面の中で、全面でラチス材が損傷

した場合（ケース 8）では、座屈耐荷力は健全の時に比べて 18%も低下した。したがって、D6 組立圧縮部材では、中央部の 4つの面で同時にラチス材が損傷しない限り、座屈耐荷力は低下することはあまりなく、安全であると考えられる。

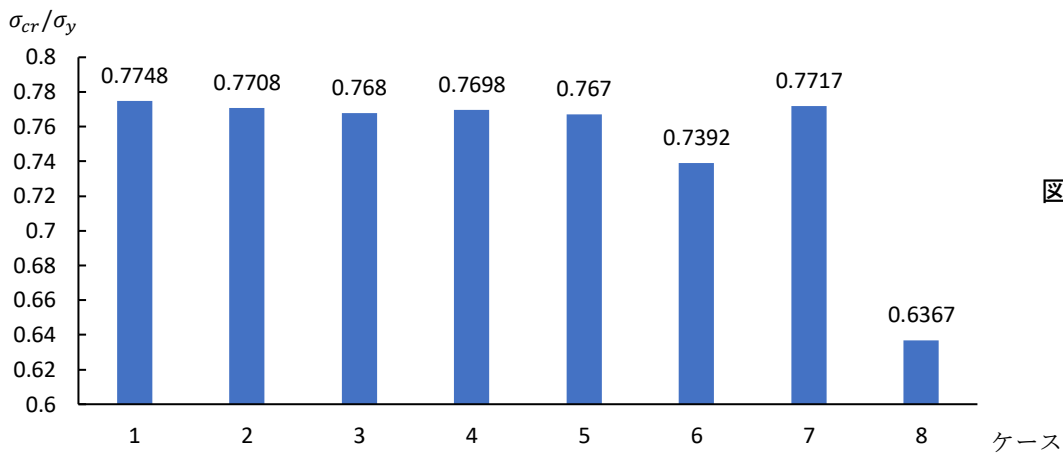


図-4.8 各モデルの座屈応力比

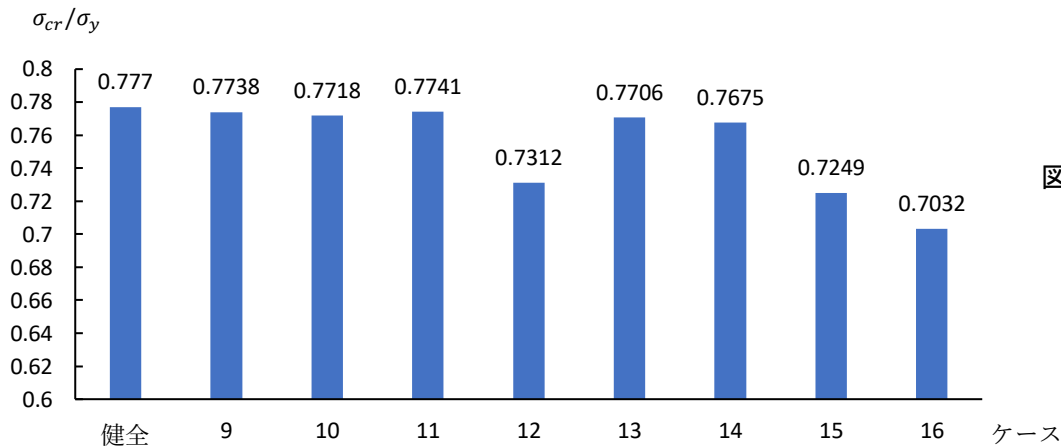


図-4.9 各モデルの座屈応力比

4.まとめ

部材の中央部および端部において 8 から 12 本のラチス材が損傷しても、ケース 8 以外の場合では、部材の耐荷力ほとんど変わらなかった。したがって、ラチス材の損傷のみで部材の座屈耐荷力は低下することはあまりなく、ラチス材の破断を発端として部材が崩壊することが考えられない。つまり、対象部材の設計は十分に安全側であると思われる。

【参考文献】

- 1) 社団法人, 日本土木学会, 鋼構造座屈設計指針, pp. 40~45, 2007
- 2) 社団法人, 日本土木学会, 鋼構造座屈設計指針, pp. 12~15, 2007
- 3) 舘石和雄, 鋼構造学, コロナ社, pp. 58~60, 2011
- 4) 劉 翠平, 宮下 剛, 長井正詞, 局部座屈を有する CT 形鋼の残存耐力に関する考察, 土木学会 関東支部新潟会研究調査発表会, No28, pp. 3~4, 2010