

## 2. 構造安定・耐荷力

とりまとめ：有住康則（琉球大学）

論文題目：“腐食などの体積欠損による鋼構造物の残留応力・残留たわみの変化の解析と圧縮板の残存耐荷力評価”

著者：後藤芳顯，川西直樹

掲載：Vol.51A，pp.127-138，2005年3月

討議 [ 貝沼重信（九州大学） ]

局部腐食を底面フラットな溝状にモデル化しているが、実際の腐食性状とは大きく異なる。このようなモデルを用いて、構造部材を対象とした残留応力を議論できるとは考えられない。モデルが妥当である根拠を示してほしい。

回答：実験において検討対象とした体積欠損パターンは鋼溶接箱形断面柱基部の局部的な腐食により生じた体積欠損形状で、供試体では機械切削により人工的に形成した溝として単純化しました。この実験は、腐食などにより体積欠損が生じた構造物の残留応力を含む初期不整の変化を追跡するために著者らが独自に開発した解析手法の妥当性を検証することを第1の目的としたものであります。討議者のご指摘のように実際の腐食欠損形状でなく図-6に示したような単純な溝形状を用いた大きな理由としては、実際の腐食欠損の形状パターンではひずみゲージの貼り付けが難しくここで用いた切断法により腐食面での残留応力を正確に測定することが技術的にほぼ不可能であるからです。本解析法では時間とともに腐食により変化する幾何形状を反映しうる要素を開発したことが特徴であり、このような要素の検証には上記のような単純な腐食欠損形状を用いても十分目的は達成できます。なお、本解析法によると実際の腐食欠損の幾何形状がいかに複雑であろうとも、これが既知であればその初期不整の変化に与える影響を容易かつ厳密に考慮できます。

論文題目：“プレストレスを導入したCFRPによる鋼桁のポストテンション補強法と補強効果に関する研究”

著者：松村政秀・北田俊行・北田 健・並木宏徳

掲載：Vol.51A，pp.183-192，2005年3月

討議 [ 山田聖志（豊橋技術科学大学） ]

CFRPにポストテンションを導入して鋼桁に定着させる場合、実施工では定着部近傍の応力集中がクリティカルになると考えられるので、その点の検討も必要ではないか。

回答：本文中の曲げ載荷実験では、CFRPの端部（定着部）で剥離がクリティカルにならないように十分に長い定着長を採用しております。剥離を考慮したこの定着長の是非については、小型実験およびCrack Closer法に基づき算出したエネルギー開放率に着目して数値解析により検討しております。その結果、CFRP端部での剥離は、CFRPを導入する導入初期引張ひずみの値に影響を受けること、

端部に剥離制御板を追加することによって、エネルギー開放率を低減できることを確認しました。

本補強方法を実構造物に適用性は、上の研究結果に基づいて数値解析により検討をすすめる予定ですが、剥離制御板と適切な初期導入引張ひずみを設定することで、ご指摘の問題を除去可能であると考えております。

討議 [ 小室雅人（室蘭工業大学） ]

1. 曲げ載荷実験に用いた試験体へのCFRPの貼付手順についてももう少し詳しく説明して頂けませんか。
2. 実構造物を想定した場合、フランジ断面に不陸があると思われるが、そのような場合に対して、本補強方法の適用性をどのように考えていますか。

回答：

1. 本文を補足し、プレストレスを導入したCFRPの鋼桁下フランジへの貼付手順を説明いたします。  
i) 鋼桁の両端から約400mmの位置にPS導入治具を設置し、両治具間を鋼棒で締め付けることにより下フランジに所定の圧縮応力を導入します。ii) 下フランジに所定の圧縮応力を導入した状態で、炭素繊維シートを貼付します。このとき、炭素繊維シートを1日に2層ずつ、3回に分けてエポキシ樹脂を含浸させて炭素繊維シートを貼付し、計6層のCFRP板を作成します。なお、今回は、鋼桁は天地逆向けに設置しております。iii) エポキシ樹脂硬化後に、治具を取り除きます。これにより鋼I桁下フランジには圧縮応力が、CFRPには引張応力が導入されます。
2. 炭素繊維シート貼付前に、フランジ表面にグラインダー処理を施し、塗装およびある程度の不陸を除去致した後に、プライマーを塗布します。一方、小型実験において、含浸させるエポキシ樹脂量（塗布厚）が異なる影響は、顕著に認められませんでした。以上より、実構造物を想定したフランジ断面の不陸については未検討ですが、グラインダー処理およびプライマー塗布を施せば、載荷実験と同様に本補強方法の適用性が認められると思われます。

論文題目：“新しいアルミニウム合金製補剛桁の提案”

著者：大倉一郎・北村幸嗣・赤崎 圭輔・卯瀧高久・ビッグ ラズロ ゲルゲリ・三河克己

掲載：Vol.51A，pp.203-210，2005年3月

討議 [ 伊藤義人（名古屋大学） ]

1. 垂直補剛材をFSWで接合するだけではだめか。
2. 腹板を波板にしたらどうか。加工数が少なくなるが。

回答：

1. FSWは隅肉接合ができないので、垂直補剛材をウェブに取り付けることができません。
2. 波板がアルミニウム桁でも有利かどうかは今後の検討課題です。

討議 [ 有住康則 ( 琉球大学 ) ]

- 1 .アルミニウム合金材の材料特性値( 応力 ひずみ関係 ) が極限強度に及ぼす影響はありませんか .
- 2 .アルミニウム合金製補剛桁のライフサイクルコストはどのように考えれば宜しいでしょうか .

回答 :

- 1 .アルミニウム合金材は降伏点を持たず , 応力 ひずみ関係は 0.2% 耐力の近傍で曲がります . アルミニウム桁の耐荷力を論議する上で , このことを考慮しなければなりません .
- 2 .アルミニウム桁は塗装を必要としないので , アルミニウム桁のライフサイクルコストは鋼桁のそれより低くなるのが予想されます . しかし , アルミニウム材料は価格が高いため , 建設コストが高くなり , アルミニウム桁の採用が敬遠されるようです . したがって建設コストを下げするために , アルミニウム材料を減らす桁構造を開発しなければなりません .

論文題目 : “ 送電用鉄塔に用いる鋼管の偏心を考慮した軸圧縮座屈耐力に関する基礎的検討 ”

著者 : 中村秀治・三上康朗・藤井真人・中村雅樹・小澤武範・中山 健・佐竹亮一  
掲載 : Vol.51A , pp.219-228 , 2005 年 3 月

討議 [ 松村政秀(大阪市立大学) ]

鉄塔と基礎定着部の耐力力のバランスを考えた場合、今後、損傷しないあるいは限られた損傷にとどめる鉄塔の設計を目標とされているのでしょうか。鉄塔の設計法が変更されることによって基礎定着部（一般の土木構造物よりも小規模かつ簡易な構造かと思いますが）の設計法も大きく変える必要は生じますか。

回答 : 鉄塔においては、上部トラス構造よりも、基礎の方が耐力に余裕があるように設計されています。上部トラス構造で言いますと、荷重 - 変位関係はほとんど直線で立ち上がり、基礎定着部から折れ曲り点の間の主柱材が軸圧縮力で座屈し、崩壊するのが通常です。設計上、大型台風や大地震のような異常時は降伏点応力まで認めています。橋脚のように曲げ座屈ではないので、繰り返し力によるエネルギー吸収効果などもあまり期待できません。したがって、限られた損傷にとどめるという考えは、適用する余地が無いのが実態と考えております。

討議 [ 福本和弘 ( 日立造船 ( 株 ) ) ]

シームレス管は対象とされていませんか。送電用鉄塔にはシームレス管は用いられないのでしょうか。

回答 : 送電用鉄塔にシームレス管は用いておりません。鉄塔用の STKT590 が用いられることが多いのですが、シームレスではありません。主たる理由は価格であると思われ、製造工程は ERW または UOE です。30 年くらい昔に、一部シームレス管を用いたこともあるようですが、径厚比の関係でシームレス管を用いざるを得なかった背景

があったようです。

論文題目 : “ 地震時の構造不安定現象に関する実験および解析的研究 ”

著者 : 大塚 久哲 , 為廣 尚起 , 宮森 保紀 , 藤井 義法 , 清水 晋作  
掲載 : Vol.51A , pp.239-248 , 2005 年 3 月

討議 [ 松村政秀 ( 大阪市立大学 ) ]

- 1 .解析に座屈が考慮できる場合には、実施されている手法は必要とならないのか。
- 2 .固有値解析のステップを加えることが解析時間へ及ぼす増加の程度は。

回答 :

1 .まず、動的解析中に発生する急激な振動モードの変化（静的問題における分岐に相当するような挙動）は一般的な複合非線形解析手法では看過される可能性があると思います。「（動的）解析に座屈が考慮できているのか？」から再考した結果の提案とご理解ください。

また、座屈の臨界点を逃さず捉えて確実に動的座屈現象が現れる手法を用いたと仮定して、当該地震動に対し座屈は発生しないという判定が出たときに、その判定以外にどのような情報を得ることができるかが重要であると考えます。判定しか得られないのであれば、十分な余裕を持って座屈しなかったことを示すためには、判定が出るまで地震動を段階的に増幅させて繰り返し動的解析を実施し臨界点を探索しなければなりません。

提案手法は座屈判定が出ない場合でも、「最も座屈に接近した時刻はいつか？」「そのときどのようなモードの座屈に接近していたか？」「どの程度まで接近していたか？」「A 案と B 案ではどちらがより余裕が少なかったか」等の情報を得ることができます。

2 .解析ステップ中に固有値解析を挿入した場合の計算所要時間は当然増大しますが、動的解析の積分時間間隔 ( $t$ ) より荒い刻みで固有値解析を挿入して全継続時間の中から「危険時間帯」を絞り込み、危険時間帯のみ全ステップ固有値解析を挿入して再 RUN するといった運用面の工夫で負荷低減を図っています。

本文の鋼中路アーチ橋の例題では  $t=0.001$  秒の動的解析に、0.01 秒間隔で固有値解析を挿入して、筆者らの計算環境（標準的な PC ですが）での継続時間 30 秒間の計算時間は固有値解析を挿入しない場合の約 1.6 倍でした。

討議 [ 内藤美樹 ( 東北大学 ) ]

今後の検討において、座屈後挙動を解析で再現することは可能でしょうか？お考えをお聞かせください。

回答 : ご指摘の問題には対処可能であると考え、現在取り組んでおります。

検出した座屈現象の影響の大きさが、座屈モードから明らかに甚大であると判断できる場合、座屈後挙動を再現する必要性は低いですが、判断し難い場合は座屈後挙動を再現して性状を定性的に確認する必要性が生じてくると思います。

