

2024年6月21日(金)実施

「第2回 改正規格 送電用鉄塔設計標準 (JEC-5101) の解説」ハイブリッド講習会
参加者アンケートでの質問への回答

質問 1: 上部構造にて、「支柱材と腕金主材以外のボルト接合部はピン結合とする」とございましたが、ボルトを2本以上使用して部材端部を固定する場合には回転は拘束されているような気がいたしております。支柱材と腕金主材以外のボルト接合部をピン結合とした理由をお教えいただければと存じます。

回答 1: 「支柱材と腕金主材以外のボルト接合部」は具体的には鋼管部材のU字継手・溝形継手や山形鋼部材で片フランジのみボルト接合されている部分を示します。建築や土木と言った他分野では摩擦接合が採用されておりますが、送電用鉄塔では支圧ボルト接合が採用されていることから比較的低い軸力でボルト接合部にはボルトクリアランスがあることですべり変形が生じます。よって、複数本のボルトであっても回転は生じます。正確には片フランジのボルト取付面内は回転が生じ、面外は拘束されますが、モデル化が煩雑となるため、JEC-5101では方向に関係なく単純なピン接合を標準モデルとし、モデル単純化によって解析されない強度応力等は別途配慮することとしています。

質問 2: 以下3点質問致します。

- ① 立体解析の適用範囲は JEC-5101 による設計のみとなるのでしょうか、もしくは従来の電技条件でも JEC-5101 通り立体解析を基本とし、平面解析は代用となる想定でしょうか。
- ② 基礎設計について、地震荷重を考慮することで基礎体に生じる地震力の考え方はどのようになるのでしょうか。
- ③ 立体解析する場合、ブライヒ水平材が通るか、腹材が通るかモデルが異なりますがこれは例えば製作規準の改定などにより設計時で想定している詳細構造と実際の製作時の構造が一致しない場合は、設計側に差し戻しが必要であるという理解でよろしいでしょうか。

回答 2:

- ① JEC-5101 は電気学会電気規格調査会の設計標準であり、電技の解析方法を規定するものではありません。
- ② ご質問に記載いただいた「地震荷重を考慮することで基礎体に生じる地震力の考え方」の真意が十分には判りかねますが、「地震によって基礎体に生じる地震力（慣性力）の設計方法」と解釈した場合、回答は以下の通りです。
JEC-5101 では、「震度法や応答変位法では、耐震設計上の地盤面より上の基礎および埋め戻し土に対する地震の影響は、慣性力で評価する。その慣性力は、

基礎重量および基礎直上の土の重量等に設計入力地震強度を乗じて算定する」と規定しています。その具体的な方法については、JEC-5101には記載できていませんが、『道路橋示方書・同解説 耐震設計編』等に準ずることが考えられます。

- ③ ブライヒ交点部分の境界条件を部材が通っているかどうかにより境界条件を変える目的は、一つにはモデルの不安定を回避することが挙げられます。すべてをピン接合とすると場合によってはモデルが不安定となり、解析不能となる可能性があるため、記述の通りのモデル化を推奨しております。製作段階での設計と異なる構造が採用された場合は、その影響を評価検討の上、必要により再解析を行うこと等が考えられます。ただし、JEC-5101の提案モデルによる立体応力解析法は、従来、広く採用されている平面応力解析法と比較すれば、十分に高い解析精度が確保されると考えられます。なお JEC-5101 が示しているのは、あくまでモデル化の「一例」であることをご承知おきください。

質問 3: 地震荷重の耐震設計法について、動的解析法ではなく、静的解析法を採用された理由を教えてください。動的解析法の方が計算が煩雑で解析が大変であるが、精緻な答えが得られると講義で伺いました。これは、ソフトのプログラミングが煩雑なのか、モデル等の入力が煩雑なのか、一般的な計算機のパワー不足が問題なのかご教示ください。

回答 3: 架空送電線は多数の支持物（鉄塔）と電線からなる連鎖構造物であり、その耐震設計を動的解析法で実施する場合は、連鎖構造物のモデル化、解析地震動の作成・入力、解析の実施、解析結果の整理、部材決定、必要により決定部材に基づく解析モデルの変更と再解析等の手順が必要となり、その実施には非常に高度な専門的知識と多大な時間が必要となります。これを標準的な設計法として提示することは困難と考えられることから、JEC-5101では予め多数の動的解析結果を整理・分析し、ほぼ同等の解析結果が算出可能な等価静的手法として「層せん断力係数法」を提案し、これを採用することとしました。

質問 4: 今回の講義の内容も大変勉強になりました。ありがとうございました。さて、下記の通り 3 点質問がございます。

- ① 地震時検討の際の風荷重について、ご質問があります。今回、地震時検討の風荷重についてあまりお話がなかったと記憶しているのですが、JEC-5101では、「地震時基本風速は 10 分間平均風速の年平均を標準とする」とあり、日最大で 7.0m/s と記載があります。しかしながら他方で、「一般的に地震時においては風荷重の重畳を省略できるものとする。」という記載もあります。地震時における風荷重の重畳が省略できる具体的なケース（例、地域、条件など）を

お示しいただけないでしょうか。

- ② 同じく、地震時検討の際の風荷重について、ご質問します。常時、風が吹いている可能性が高い場所は「現地の風速を観測した上で、」と記載がありますが、現地の風速を観測する必要がある具体的なケース（例、地域、条件など）をお示しいただけないでしょうか。
- ③ 平面解析（平面静定トラスに置き換えた解析法）は「立体解析法との違いを十分配慮した上で使用できる」「曲げモーメントの影響を考慮した立体応力解析との違いを配慮した上で使用することを推奨する」と記載がありますが、従来の平面解析にどのような具体的手法を用いることで、配慮したことになるかお示しいただけないでしょうか。

回答 4 : 以下の通り回答いたします。

- ① 作用の組合せを考慮する際に、一般に複数の作用は主たる作用と従たる作用に分類されますが、主たる作用と従たる作用の同時生起性が高くない場合は、従たる作用の特性値は年超過確率の比較的大きな設計供用期間中に「しばしば起こりうる程度の値」とすることができるとされています。これは同時生起性の低い作用の特性値をすべて年超過確率の小さな値に設定して組み合わせることは、合理的ではないと考えられるためです。このような作用の組合せに関する一般原則は **Turkstra 則**と呼ばれます。

JEC-5101 でもこの **Turkstra 則**に基づき、地震荷重に組み合わせる風荷重について「**10 分間平均風速の年平均値**」としました。ただし、一般的には **10 分間風速の年平均値**を考慮してもその風荷重は主たる荷重に比べて無視できるほどに小さいため、一般には風荷重を省略可能としています。ただし、架空送電線路は様々な地域や地形、例えば風の吹き抜けやすい尾根上や海岸近傍など、日常的に比較的高い風が発生する地点に建設される場合もあります。このような場合は、当該地点における日常風による風荷重を耐震設計に織り込むことが考えられます。

- ② 上述のとおり、日常的に比較的高い風が吹く地点については、従たる荷重として風荷重を地震荷重に重畳させることが望ましいと考えられます。観測の必要性を定量的に示すことは難しいですが、観測によらず気流シミュレーション等により評価する方法や、過去の観測例や文献等を参照し、現地で想定される日常的な風速を包含するよう配慮した設計風速を設定するなどの方法が考えられます。
- ③ 過去の実規模骨組試験（附属書 C の参考文献 10, 11 など参照）から従来の平面応力解析法による軸力だけでは現象を評価しきれないことが確認されています。**JEC-5101** では荷重の精緻化を図ったことから、これに整合させるために応力解析法も極力、精緻化を図る必要があると判断し立体応力解析法を基本としまし

た。したがって立体応力解析法の採用が推奨されますが、事情により平面応力解析法で解析を行う場合は、予め立体応力解析法と平面応力解析法の差異を分析評価の上、平面応力解析法では評価できない部分を包含するよう部材安全率を織り込むことで補完する等の方法が考えられます。

質問 5：層せん断力係数法について、JEC-TR-00007 で算定例が示されたのち、電協研 73-3 号では応力分布が動解結果を下回るケースなどがあり課題を残した状態だったかと思えます。このたびの JEC-5101 では曲げ点下部の腹材の補正など示され、この手法はおおむね確立されたのでしょうか。まだ改良される余地がありますか。

回答 5：層せん断力係数法の課題の一つに「曲げ点下腹材において動的解析との乖離が大きい」ことがありましたが、この点については二次モードによる軸力を全モードに二乗和平方根により加算して補正する手法を考案した結果、概ね動的解析結果と同等の結果を得られることを確認したため、本手法を規格に反映しました。ただし、本手法では 60m 以上の懸垂鉄塔等、依然として動的解析結果との乖離が少なくなないケースもあり、これは層せん断力係数を総重量と一次固有周期で代表させたことや、一次固有周期 (sec) を $H/100$ と簡便評価したことなどが影響している可能性があると考えています。従いまして本規格で示す層せん断力係数法には、依然として改良の余地は残されており、これは今後の課題と認識しています。

質問 6：以下 2 点質問致します。

- ① 座屈カーブ RT を講義では TR と呼ばれていましたが、読みは RT で良いでしょうか。
- ② 鋼管腹材の継手形状によらず座屈カーブ RT-a を使用しても良いものでしょうか。(例：I 字,T 字,溝形)

回答 6：以下の通り回答いたします。

- ① 大変失礼をいたしました。RT です。
- ② この規格の本文では規定しておりませんが、P.238 に示す通り基本的には「両端を U 字継手」の部材を対象としております。ただし、溝形継手に関しては鉄塔協会機関誌鉄塔 No.44 (1979)『鋼管鉄塔の溝型継手、CP 仕口の耐力試験』では偏心で耐力低下するより、端部プレートの剛性が U 字継手より高いことにより、座屈耐力は U 字継手と同等以上となることが述べられておりますので、RT-a カーブを適用可と考えられます。I 字、T 字継手に対して RT-a カーブを適用する場合は溝形継手と同様な検討が必要となります。