# 送電用鉄塔部材を対象とした接合部滑り実験

電力中央研究所 正会員 高畠 大輔

## **1.** はじめに

送電用鉄塔のボルト接合部はせん断接合方式が採用 されているため、巨大地震等で接合部に過大な軸力が 作用すると、接合部で滑りが発生し、鉄塔全体として の減衰効果が期待される<sup>1)</sup>.そのため、巨大地震等に 対する送電用鉄塔の合理的な健全性評価では、接合部 滑りを考慮することが望ましい.本研究では、送電用 鉄塔の健全性や耐力評価の合理化・精緻化を図るうえ で、特にボルト接合部の滑りに着目し、これを地震応 答解析において考慮することを目的としている.本報 告では、ボルト接合部の継手型式やボルト本数、ボル ト軸力やその分布が荷重-接合部変位関係に及ぼす影響 を把握するために実施した要素実験について述べる.

#### 2. 実験概要

試験体の設置状況を図1に,試験ケースを表1に示 す.接合部のみを模擬しており,重ね合わせ継手では, 平板部材2枚を直接1本または2本のボルトで接合し, 突合せ継手では,平板部材2枚を平板1枚を介して2 本のボルトで接合した.用いたボルトはM16で,平板 部材の寸法は,厚み6mm,幅80mmで,幅方向中心 に直径17.5mmのボルト孔を設けた.つまり,ボルト 孔とボルト胴部間には,1.5mmのクリアランスが存在 する.部材及びボルトの材料はSS400とし,溶融亜鉛 めっきを施した.いずれの試験体も荷重作用面(試験 機の中心)を部材接合面と一致させるため,部材の固 定端側に厚み6mm,幅80mmの平板を点溶接した.

実験パラメタは,継手型式,ボルト本数,初期ボルト軸力及びその分布であり,各ケースに対する条件は表1に示す通りである.尚,ボルト2本のケースでは初期ボルト軸力の合計値を等しくし,Case3,5では2本のボルトに同等の初期軸力を与え,Case4,6では,上側ボルトと下側ボルトに1:2の割合で初期軸力を与えた.

主な計測パラメタは,ボルト軸力,接合部変位,部 材に作用する荷重である.載荷方法は,変位制御によ る変位漸増型の静的正負交番載荷である.ただし,滑 りが発生する以前の特性も確認するため,載荷直後は, 想定滑り荷重以下での載荷を1サイクル実施した.与 える強制変位は,0.2mm~1.6mmの間を0.2mm 刻みで

<b>表-1</b> 試験ケース		
ケース名	継手型式	ボルト本数 (初期軸力)
Case1	重ね	1(12kN)
Case2	重ね	1(24kN)
Case3	重ね	2(36kN=18+18kN)
Case4	重ね	2(36kN=12+24kN)
Case5	突合せ	2(36kN=18+18kN)
Case6	突合せ	2(36kN=12+24kN)



(a) 重ね合わせ継手 (b) 突合せ継手

### 図-1 試験体の設置状況

増加させ、-1.6mm まで与えた後は初期位置に戻した.

#### 3. 実験結果及び考察

図2に重ね合わせ継手の結果を示す. ここでは、荷 重、ボルト軸力及びそれらの比(以下、荷重・ボルト軸 力比)と接合部変位との関係を示した.荷重・ボルト軸 力比は、いわゆる荷重と垂直抗力の比となるため、摩 擦係数と捉えることができる. 尚, ボルト2本のケー スでは、個々のボルト及びそれらの合計値について示 した. Casel では、載荷荷重 3kN 程度で滑りが生じ、 サイクル数の増加にともない荷重が増加している. 一 方で、ボルト軸力は1サイクル内での増減はあるもの の、サイクル数の増加にともない減少している. その ため、荷重・ボルト軸力比は、軸力が減少するにもか かわらず増加傾向を示す.これは、接合面のめっきが 剥離し、剥離によって生じた摩耗粉が接合面に取り込 まれ,その結果,摩擦係数が増加するためと考えられ る<sup>2)</sup>. この傾向は, 既往研究<sup>3)</sup> でも確認されている. ま た、クリアランスと同程度の変位を与えると、ボルト がボルト孔へ接触するため、荷重が急激に増加する. 本報告では、載荷後、初めて滑りが生じる荷重を滑り

keyword:送電用鉄塔,ボルト接合部滑り,ボルト軸力,滑り荷重
〒 270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 一般財団法人 電力中央研究所 地球工学研究所 TEL 04-7182-1181



図-3 実験結果 (突合せ継手)

荷重,同時刻の荷重・ボルト軸力比を滑り係数と定義 する.次に,Case2では,Case1に比べて荷重が全体的 に大きいが,荷重やボルト軸力の推移は,Case1とほ ぼ同様である.次にCase3,4に着目する.まず,個々の ボルトに着目すると,Case3では,ボルト軸力及び荷 重・ボルト軸力比の推移が,個々のボルトで同様であ り,荷重・ボルト軸力比は,Case1,2やCase3の合計値 に比べ2倍程度となる.一方で,Case4では個々のボ ルトの軸力減少量が異なり,上ボルトの減少量が下ボ ルトより小さい結果となった.然しながら,荷重やボ ルト軸力の合計値の推移はCase1,2と同様であり,重 ね合わせ継手のように,1つの接合部に対して複数の ボルトで締結されている場合は,ボルト軸力の合計値 で滑り係数を評価すればよいことが確認できる.

次に図3に突合せ継手の結果を示す.ここでは,接 合部が2か所存在するため,荷重-接合部変位関係は, 個々の接合部及びその合計値について示した.さらに, ボルト軸力や荷重・ボルト軸力比の評価においても, 上ボルトに対しては上接合部,下ボルトについては下 接合部,ボルト軸力合計値については接合部変位合計 値を用いた.突合せ継手では,2か所の接合部に異な るタイミングで滑りが生じており,特に,Case6では 下接合部は載荷の後半で生じている.また,個々の接 合部でクリアランスと同程度だけ滑ることができるため、継手全体としては、接合部変位の合計値が大きくなる.一方で、合計値による荷重・ボルト軸力比は、他のケースに比べて小さくなる.しかし、個々のボルト・接合部による荷重・ボルト軸力比は、他のケースと同程度である.つまり、突合せ継手では、1つの継手で2つの接合部の滑りによる減衰効果を期待できる.

最後に図4にボルト軸力と滑り係数の関係を示す. 尚, 突合せ継手では, 個々の接合部に対する滑り係数 と, 継手全体(接合部合計)に対する滑り係数を示し ている. 個々の接合部の結果に着目すると, ケース間 でバラつきがあるものの, 概ね, 一定の値となってい る. 一方で, 継手として滑り係数を考慮した場合, 突 合せ継手では滑り係数が小さくなる.

### まとめ

接合部滑り現象は,接合部ごとに評価する必要があ ることを確認した.また,接合部における締付荷重は, ボルト軸力の合計値で評価すればよいことを確認した.

#### 参考文献

- 松田泰治ら:山型鋼トラス鉄塔の減衰特性に関する研究, 構造工学論文集, Vol.50A, pp.441-448, 2004
- 2) 橋本巨:基礎から学ぶトライボロジー,森北出版,2006
- 3) 山崎智之ら:塗装鉄塔におけるせん断接合ボルトの緩み 現象と再現試験結果について,土木学会第69回年次学 術講演会概要集,pp.1081-1082,2014