

冠雪荷重に対する解析モデルを用いた補強方法の検討

東電設計（株） 正会員 ○栗原 幸也
 東京理科大学 正会員 佐伯 昌之

1. 目的

送電用鉄塔（以下、鉄塔）は主に支柱材および腹材に応力伝達するものとして設計されており、応力部材を補剛する補助材は、細長比、支柱材に生ずる軸力の1, 2%および塔上作業時の作業員重量などを考慮して設計している。しかし、豪雪地区では鉄塔上の冠雪により、設計荷重以上の荷重が負荷し、補助材に部材変形や破断が生じている。冠雪が発生する鉄塔のほとんどは、厳寒期において現地調査が困難であり、部材変形に至るメカニズムは明らかになっていない。そこで、試験的に冠雪を模擬した鉛直荷重を与え、部材傾斜値と載荷荷重の関係を確認した。また、この試験結果を表現する解析モデルを作成し、部材の応力分担率を確認し、冠雪荷重の対策方法を検討した。

2. 試験概要

冠雪は主に部材交点に発生することが多いため、図-1 に示すように、対象鉄塔の最下パネルの対辺材とダイヤモンド材交点部に集中荷重を載荷し、部材の傾斜変化を測定し、載荷荷重と部材傾斜変化の関係を確認した。傾斜計は市販のデジタル傾斜計（分解能 0.02° ）6個を部材に設置して、塔上作業員が目視で数値変化を確認した。載荷荷重は部材交点真下に杭を打ち、交点部と杭にワイヤーを設置して張力を200kgピッチで1200kgまで与えた。なお、X軸は部材方向の傾斜変化、Y軸は部材直交方向の傾斜変化である。

3. 傾斜測定結果

図-2 に載荷荷重と各部材の傾斜変化の関係を示す。図-2 の対辺材に設置した傾斜計 A は試験の最中に触れてしまったため、1000kg 以降の傾斜角が低下している。その他の傾斜計はX、Y軸ともに傾斜と載荷荷重は比例関係にあることが確認された。なお、最も敏感に変化したのは突き上げ材の載荷位置付近に設置した傾斜計 F であった。同じく突き上げ材の中点付近に設置した傾斜計 E も Y 軸傾斜変化が大きく、冠雪状況を観測するには突き上げ材に傾斜計を設置することが望ましいと考える。

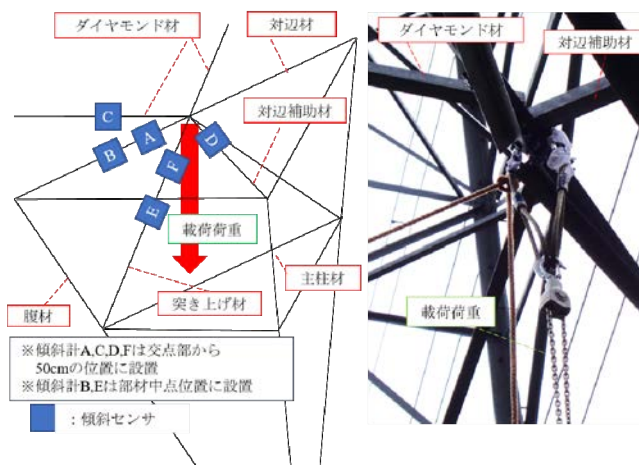


図-1 試験内容

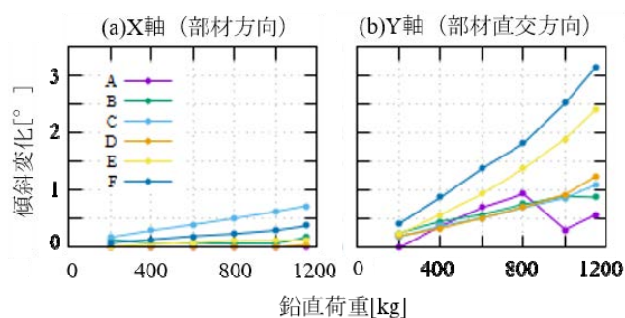


図-2 載荷荷重と各部材の傾斜変化の関係

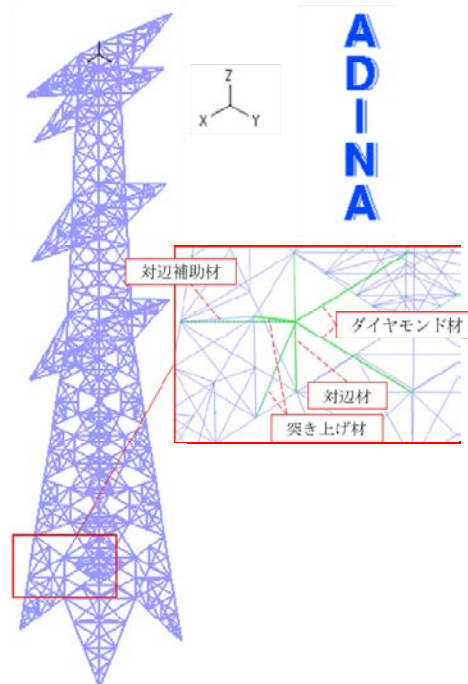


図-3 解析モデル概要

4. 解析モデル作成

図-2 の傾斜変化を表現する解析モデルを作成した。解析モデルは ADINA9.4 を用いて作成し、対象部材は全てビーム要素でモデル化したが、傾斜計測箇所は部材たわみを表現するため、30 分割したモデルで検証した。また、荷重位置は対辺材交点部に鉛直下向きの荷重を考慮した。図-3 に解析モデルの様子を示す。

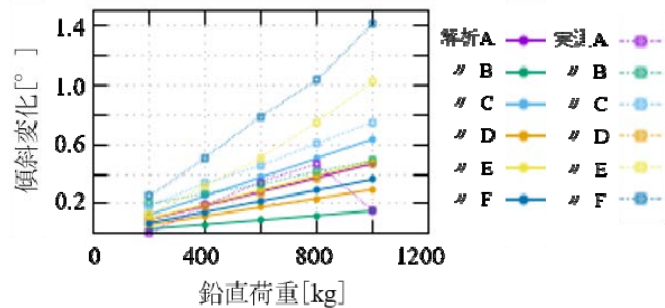


図-4 比較検討結果

5. 比較検討結果

図-3 の解析モデルを用いて得られた該当箇所の傾斜変化と実測の比較結果を図-4 に示す。なお、解析モデルがシェル要素ではないため、3次元の節点変化から傾斜変化を求めた。そのため、実測値は X 軸 Y 軸の傾斜変化のベクトルで比較する。図-3 より、突き上げ材以外の部材傾斜変化は比較的一致していた。突き上げ材は荷重が大きくなるほど傾斜変化の差が大きくなり、荷重 1000kg 時は 2 倍近い誤差が生じた。これは実測結果からも確認されているように突き上げ材に発生しているねじり力を解析モデルで表現できていないためと考える。

しかし、ねじりの影響がない X 軸の部材たわみのみで比較すると比較的一致しており、解析モデルはねじり部分を表現できていないが、荷重荷重による軸力変化は問題なく再現できると考えた。

6. 冠雪荷重対策方法の検討

図-3 の解析モデルを用いて得られた荷重荷重と軸力の関係を表-1 に示す。また、該当部材の強度検討結果を表-2 に示す。表-1、より、対辺材とダイヤモンド材の交点に鉛直荷重を与えると突き上げ材に多くの荷重が流れることが確認された。表-1、2 より、突き上げ材以外の部材は強度不足が生じないが突き上げ材は鉛直荷重 1400kg 時に部材強度不足が生じ、2000kg を超過すると降伏点に至ることが確認された。

突き上げ材に応力が多く分担されることが確認されたため、突き上げ材に応力低減効果が望める交点吊材有無による応力状況の違いを確認した。表-3 に交点吊材を考慮した際の各部材の応力状況を示す。表-3 より、追加された交点吊材に多くの応力が流れるため、全体的に部材に生じる応力が低下し、突き上げ材の強度不足もなくなることが確認された。このことから交点吊材を追加することで交点部の冠雪の影響を緩和できることが確認された。なお、交点吊材を挿入する際は主に引張荷重での設計となるため、そこまで大きな部材挿入とはならないが細長比の制限の確認やボルト強度には注意が必要である。

表-1 交点吊材なし 応力分担状況

鉛直荷重 [kg]	応力 [kN]			
	対辺材	対辺補助材	ダイヤモンド材	突き上げ材
500	-0.1	2.2	-0.8	-4.6
1000	-0.3	4.4	-1.7	-9.2
1200	-0.4	5.2	-2.0	-11.1
1400	-0.4	6.1	-2.4	-12.9
1600	-0.5	7.0	-2.7	-14.8
1800	-0.5	7.9	-3.0	-16.6
2000	-0.6	8.7	-3.4	-18.4

表-2 部材強度表

部材名	部材サイズ	部材長 [cm]	細長比	圧縮強度 [kN]	引張強度 [kN]	ボルト強度 [kN]	圧縮降伏点 [kN]
突き上げ材	L60×4	245	206	12.5	44.9	15.1	18.7
対辺材	L60×4	260	219	11.2	44.9	15.1	16.8
対辺補助材	L60×4	260	219	11.2	44.9	15.1	16.8
ダイヤモンド材	L45×4	184	210	9.0	30.4	15.1	13.5

表-3 交点吊材あり 応力分担状況

鉛直荷重 [kg]	応力 [kN]				
	対辺材	対辺補助材	ダイヤモンド材	突き上げ材	交点吊材
500	0.1	-0.2	0.1	-1.9	3.3
1000	0.1	-0.3	0.1	-3.7	6.7
1200	0.2	-0.4	0.1	-4.5	8.0
1400	0.2	-0.5	0.2	-5.2	9.3
1600	0.2	-0.6	0.2	-6.0	10.7
1800	0.2	-0.6	0.2	-6.7	12.0
2000	0.3	-0.7	0.2	-7.5	13.4

キーワード 送電用鉄塔, 冠雪, 山形材, 応力伝達, 冠雪対策方法

連絡先 〒135-0062 東京都江東区東雲 1 丁目-7-12 KDX 豊洲グランスクエア 3 階 東電設計 (株) TEL03-6372-5510