

冠雪荷重による部材損傷メカニズムの把握と対策工の検討

Study on the Mechanism of Structural Member Damage due to Snow Cap Load

and the Countermeasure

栗原 幸也（東電設計（株））矢口 龍太（東電設計（株））長浜 義彦（東電設計（株））佐伯 昌之（東理大・理工）

Tatsuya KURIHARA, Tokyo Electric Power Services CO.,Ltd.

Ryuta YAGUCHI, Tokyo Electric Power Services CO.,Ltd.

Yoshihiko NAGAHAMA, Tokyo Electric Power Services CO.,Ltd.

Masayuki SAEKI, Tokyo University of Science

E-mail: t.kurihara@tepsco.co.jp

In transmission towers can be damaged by snow cap. Therefore, authors conducted full-scale tests to confirm the relationship between the change in member inclination and the snow load. Furthermore, we developed an analytical model to simulate the test results and investigated countermeasures against snow loads on the analytical model.

1. はじめに

豪雪地区の送電用鉄塔（以下、鉄塔）は、部材上に冠雪が発生し、設計値以上の荷重が生じることで、部材変形や破断が発生することがある。冠雪が発生する鉄塔のほとんどは、厳寒期において頻繁な現地調査が困難な場所に建設されており、冠雪による部材変形の詳細なメカニズムは明らかになっていない。このため本稿では、実際の鉄塔に冠雪荷重を模擬した荷重を与え、部材の傾斜変化と冠雪荷重の関係を確認した。さらに、試験結果を表現するための解析モデルを構築し、解析モデル上にて冠雪荷重を防止するための方法を検討した。

2. 試験概要

Fig.1 に対象部材と計測機器配置図を示す。載荷試験用の治具を鉄塔のダイヤモンド材（主に鉄塔下部に設置される部材の補剛を目的とした部材）に設置し、冠雪を模擬した偏心モーメントと鉛直荷重を載荷した。加えて、載荷位置を中心に左右対称にデジタル傾斜計（分解能 0.02°）を設置することにより挙動を確認した。Table1 に、実施ケース毎の載荷位置と荷重を示す。なお、ねじり方向の正負の関係は、Fig.1(b)のとおりである。

3. 鉛直荷重と傾斜変化の関係

鉛直荷重と各傾斜計の関係を図2に示す。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。上記試験により、以下の3点の有意な結果を得た。

- ①：傾斜量と鉛直荷重は全ケースで比例関係であった。
- ②：ダイヤモンド補助材側に設置した傾斜計の方がX 軸Y 軸ともに傾斜量が小さかった。
- ③：傾斜計 D、C、F はY 軸に約 1° 回転した。
- ②について、傾斜量が左右対称とならなかった理由は、荷位置と反力が発生する位置の若干のずれによるものと推察する。③では、重心位置に載荷していてもねじりが発生し、偏心モーメントがない状態でもY 軸に約 1° 回転することがわかった。

4. 偏心モーメントと傾斜変化の関係

偏心モーメントと傾斜計 C、D の関係を Fig.3 に示す。Fig.3 より、以下の2点の特徴を確認した。なお、鉛直荷重時の特徴①、②は同様の傾向を確認した。

- ①：Y 軸の傾斜変化は偏心モーメントで決定する
- ②：全体的に正の偏心モーメントの方が傾斜変化大

①より、X 軸の傾斜変化は荷重によって部材が撓むためばらつくが、Y 軸の傾斜変化は部材撓みの影響よりも偏心モーメントの影響が大きいことがわかった。

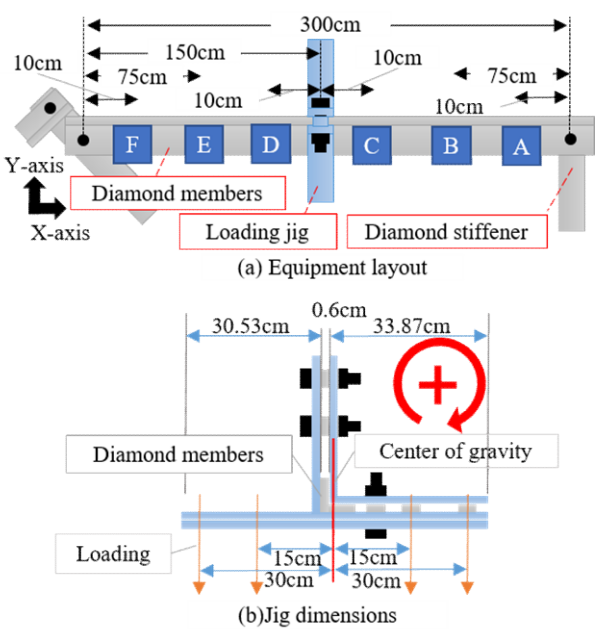


Fig. 1 Equipment layout

Table 1 Load case

Eccentric distance [mm]	Load[kg]							
	25	50	75	100	125	150	175	200
0	○	○	○	○	○	○	○	○
±150	○	○	○	○	○	○	-	-
±225	○	○	○	○	-	-	-	-
±300	○	○	-	-	-	-	-	-

○：Implemented Cases

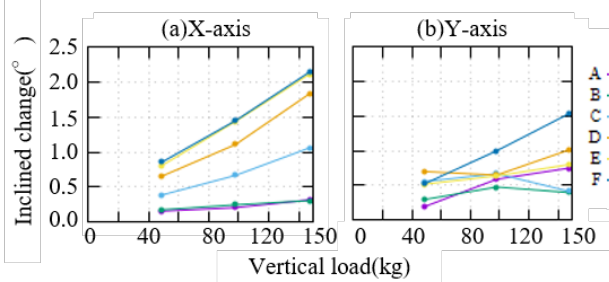


Fig. 2 Relationship between vertical load and inclined

5. 解析モデルについて

試験結果の傾斜変化を表現する解析モデルを有限要素法コード ADINA9.4 で作成した. 解析モデルを Fig.4 に示す. 対象部材であるダイヤモンド材はねじりによる傾斜変化を確認するためシェル要素にし, その他部材はビーム要素とした. また, 載荷位置は Fig.4(c)に示す通り山形材の背の部分に与えた.

6. 解析結果と実験結果の比較 (鉛直荷重)

Fig.4の解析モデルに鉛直荷重を与え実測と解析の比較を行った. その結果を Fig.5(a)に示す. なお, 比較検討は傾斜計 A, B, C で行った. Fig.5(a)より, 50kg までは比較的一致していたが, 150kg 時は Y 軸で約 1° の誤差が生じた. 原因は荷重の載荷位置は試験同様に部材の端部ではなく部材の重心点に与えたためであり, モデルを改良して再解析を行った. その結果を Fig.5(b)に示す. Fig.5(b)より, Y 軸の最も誤差が大きかった箇所は 0.10° になり, 誤差は全体的に小さくなった. また, 実測で 50kg から 150kg の変化では, Y 軸の傾斜変化はほとんどなく, 解析結果でも同様の結果が得られたため, 解析モデルは実際の試験結果をよく再現できていると言える.

7. 解析結果と実験結果の比較 (偏心モーメント)

Fig.4 の解析モデルを用いて, 偏心モーメントと鉛直荷重による傾斜角変化を実測結果と比較した. 比較検討は Table 2 内に記載している荷重とし, 得られた結果も Table 2 に示す. Table 2 より, X 軸の傾斜変化は比較的一致していたが, Y 軸の傾斜変化は実測結果よりも 2 倍以上異なった. この要因はボルト接合部と考え, モデルを再検討した. 現状の解析モデルは対象部材のダイヤモンド材を各部材交点の一点所で固定したが, 実際の固定状況はボルト幅分 (16mm) あるため, このボルト幅を考慮して再解析した. その結果を Table 2 に示す. Table 2 より, 前回モデルよりも全体的に誤差が少なくなり, 傾斜傾向も表現できていることからこの解析モデルは試験結果を再現できたと考える.

8. 改修方法について

鉄塔の改修方法として強度不足箇所の部材サイズを大きくすることがある. そこで, Fig.4 の解析モデルを用いて, 部材サイズ別の偏心モーメントと傾斜変化の関係を確認した. なお, 検討位置は傾斜計 B の位置とした. また, 部材サイズはダイヤモンド材で使用が想定される L45×4~L65×6 の 6 種類とし, 鉛直荷重は 980N に固定し, 偏心距離を 100mm, 200mm の 2 種類で実施した. 偏心モーメントと傾斜変化の関係を確認した結果を Table 3 に示す. Table 3 より, 部材厚さ 4mm は大きく回転し, 部材厚さが厚くなるほど Y 軸の傾斜変化は小さくなった. 以上より, 冠雪荷重の補強方法は部材厚を厚くすることが重要と考える.

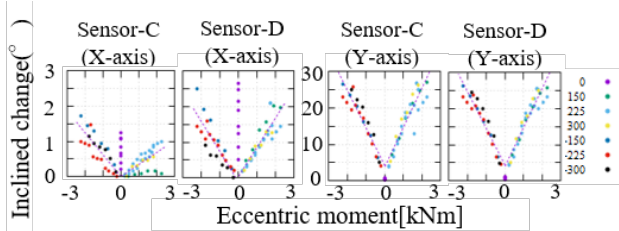


Fig.3 Relationship between eccentric moment and inclined

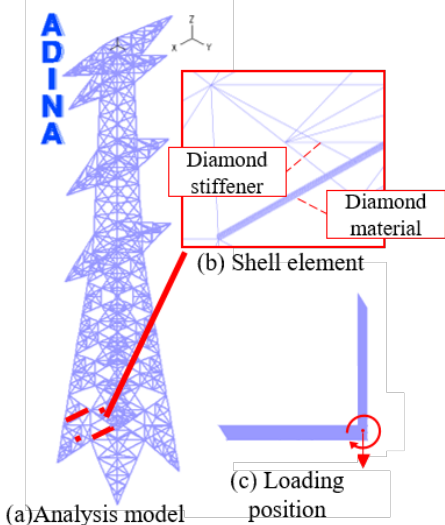


Fig. 4 Analysis model

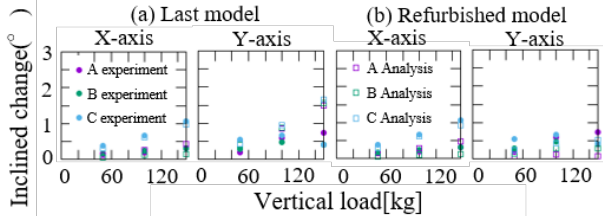


Fig. 5 Comparison result of analysis and measurement

Table 2 Comparison result of analysis and measurement

Eccentric distance [mm]	Load [kg]	Item	X-axis			Y-axis		
			A	B	C	A	B	C
150	50	Exp	0.40	0.49	0.07	1.40	6.52	11.56
		Ana	0.48	0.29	0.04	15.58	18.36	21.31
		I ana	0.76	0.60	0.40	1.36	6.15	11.27
150	100	Exp	0.84	0.99	0.15	2.11	11.56	21.15
		Ana	1.20	0.79	0.33	44.08	48.33	52.33
		I ana	1.58	1.26	0.90	2.82	12.52	22.39
225	50	Exp	0.43	1.03	0.64	1.41	11.24	18.65
		Ana	0.75	0.55	0.31	28.98	33.27	37.55
		I ana	1.09	0.92	0.73	1.89	9.08	16.63
300	50	Exp	0.35	1.14	0.45	1.30	10.36	17.49
		Ana	1.05	0.86	0.65	47.05	50.95	54.61
		I ana	1.45	1.26	1.09	2.45	12.13	21.99

※Exp:experiment Ana:analysis I ana:Improvement analysis

Table3 Relationship of moment and inclined (materials)

material	Eccentric distance [mm]	Load [kg]	X [°]			Y [°]		
			A	B	C	A	B	C
L45×4	10	100	0.55	0.86	1.38	0.64	7.21	14.20
	20	100	1.10	1.29	5.75	2.95	16.83	36.86
L50×4	10	100	0.63	0.87	1.28	0.68	7.15	14.01
	20	100	1.54	1.71	2.93	2.80	16.84	31.26
L50×6	10	100	0.12	0.29	0.56	0.01	2.03	4.22
	20	100	0.37	0.54	0.80	0.51	4.49	8.79
L60×4	10	100	0.72	0.87	1.12	0.78	7.09	13.75
	20	100	1.72	1.79	2.21	2.51	16.18	29.35
L60×5	10	100	0.33	0.47	0.67	0.29	3.59	7.14
	20	100	0.79	0.90	1.10	1.09	7.79	14.84
L65×6	10	100	0.18	0.28	0.41	0.14	2.08	4.17
	20	100	0.45	0.53	0.66	0.67	4.57	8.74