

鉛直シアリンクシステムを用いた制震改修に関する研究

A research on seismic retrofitting using vertical shear link system

○河内佑介⁴, 秦一平¹, 阿久戸信宏¹郭鈞桓², 市川達也³, 川口雄暉³*Yusuke Kawachi⁴, Ipppei Hata¹, Nobuhiro Akuto¹Chunhuan Kuo², Tatsuya Ichikawa³, Yuki Kawaguchi³

Abstract: This paper shows we verified that the vertical shear link system proposed as a vibration damping mechanism for tower structures functions effectively. For verification, the C-type and MC-type tuned dynamic mass systems shown in previous studies were introduced into the vertical shear link system, and vibration tests were performed using sine waves and seismic waves.

1. はじめに

これまでの鉄塔構造物の設計においては風荷重が支配的であり、地震荷重に対しては十分な耐力を保持していると考えられていた。しかし、建設電気技術協会の「新潟県中越沖地震における電気通信施設被災状況調査報告」^[1]、野島の「阪神・淡路大震災における電力・ガス施設の被害と復旧」^[2]によると兵庫県南部地震などの近年に発生した大地震において、柱脚部や鉄塔部材に被害を受けた例が多く、鉄塔構造物の地震対策の必要性が高まっている。そこで、本研究では100m級の鉄塔構造物を対象とした制震機構として提案する鉛直シアリンクシステム（以下、本システム）を配置した縮約試験体の動的性能確認試験を実施し、その応答低減効果から制震性能を把握する。本システムは、水平方向に配置するシアリンク型制震工法を改良し、塔状構造物支柱材の鉛直方向にダンパー・腕水平材・腕斜材を組合せる構成である。また、鉄塔構造物の外周に配置する事で既存部材との干渉が少なく、構造物上部への取付けやダンパーと腕斜材の入替え等が容易である。更に、塔状建築物の曲げ変形(支柱材の伸び縮み)にも効果を発揮する制震機構である。なお、ダンパーとして採用するものは、オイルダンパー単体のC型と、古橋らの研究^[3]に記されているオイルダンパーとダイナミック・マス(D.M.)が並列に配置されたMC型とする。Fig.1にモデル図を示す。

2. 試験体概要

試験体概要図をFig.2に示す。試験体は、高さ120m・根開き約25mの鉄塔構造物を模擬し、鉄塔構造物の下層部を縮約した2層モデルとした。縮約スケールは約1/7（平面3m×3m、高さ4.2m）である。下層部に4基

の本システムを配置し、ダンパー部材の有無により、C型およびMC型の試験を実施する。また、曲げ系の振動モードを再現する為、試験体中心部を軸とする軸回転柱を設け、かつ1層の支柱材をコイルばねとすることで、ロッキング振動を模擬している。試験体の非制震1次固有周期 T_0 は、試験の結果より $T_0 = 1.19$ 秒を採用している。なお、既往の研究^[4]の設計方法より、ダンパー諸元を設定している。Table1にダンパー諸元と複素固有値結果を示す。試験体の減衰定数はC型が $h = 0.04$ 、MC型が $h = 0.12$ である。

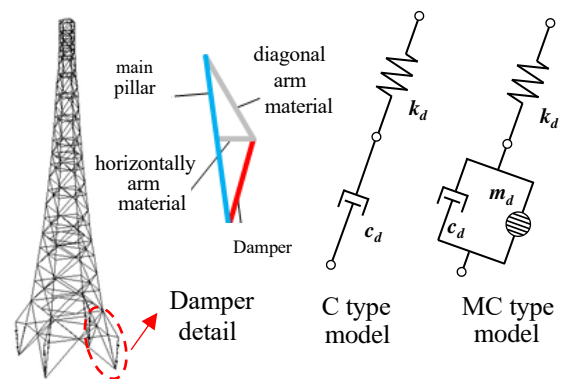


Fig.1 Overview of vertical shear link system

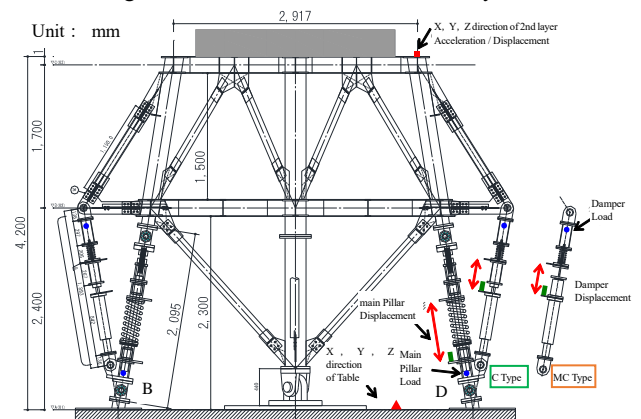


Fig.2 Elevation of test body

3. 正弦波加振試験

C型, MC型による解析及び試験結果を Fig.3 に示す. Fig.3 の T_0 (非制震), $T_{\infty}(C_d=\infty)$, DM 同調($C_d=0$)については, 簡易設計^[4]にて説明している. また, Fig.3 より, X, Y および 45 度方向の試験値の応答倍率が同程度の値であり, 試験入力方向による応答低減効果の差はない. 更に, 解析値と試験値の応答倍率が同程度の値であり, 試験値と解析値の整合性も確認できる. Fig.3 より, C型, MC型は非制震時よりも, 共振点の応答倍率を低減できていることから, C型, MC型を採用した本システムが機能している事が確認できる. また, Fig.4 に本システムのダンパー, 腕水平材, 腕斜材の支力図を示す. 支力図から, 上記3部材にかかる軸応力の割合が予測でき, 本試験体において, その割合は 1 : 0.79 : 1.17 となる. ここで, Table2 に正弦波加振試験の例として, 加振周期 1.2 秒における各部材応力値を示す. 軸力の関係が予測した支力図と概ね一致している事が確認できる. なお, 上記3部材について, 試験結果の曲げモーメントは 0 とみなせる程度の値であることを確認した.

4. 地震波加振試験

入力地震波の応答スペクトル($h = 0.05$)を Fig.5 に示す. 本試験で採用する地震波は, 1 方向加振の告示波, BCJ-L2, 2 方向加振の JR-TAKATORI, JMA-KOBE とした. Table3, Table4 に C 型と MC 型の試験結果を示す. 更に, 比較のために非制震時の主柱変形と 2 層目変位を () 内に示す. パルス性地震動である JR-TAKATORI に対して, C 型よりも MC 型の制震効果が顕著である事が確認できる. 一方, 試験体の制約上, 入力レベルを比較的小さくした告示波では, 試験体のダンパーの内部摩擦の影響によって, ダンパー変形が小さく制震効果が減少したと考えられる.

5. まとめ

本論文では, 本システムを用いた C 型および MC 型試験体の試験結果を示した. 正弦波および模擬地震波を用いた動的試験により, C 型および MC 型の応答低減効果を示すことで, 本システムの有効性を確認した.

Table 1 Complex eigenvalue analysis result and damper parameters

Model	Mode	Period(s)	h	C_d (kN·s/m)	m_d (ton)
Non-seismic	1st	1.185	-	-	-
C type	1st	1.183	0.04	10.16	-
MC type	1st	1.303	0.12	10.16	3.46
	D.M.	0.97	0.18		

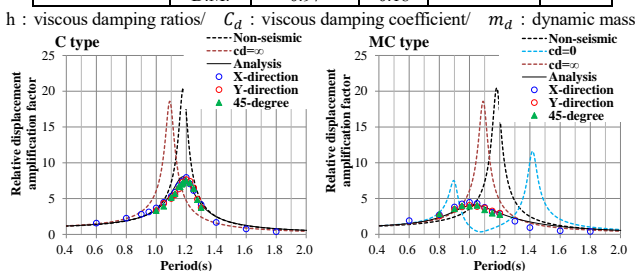


Fig.3 Amplification factor of C type and MC type

Table 2 Stress of C type specimen

Element	Stress		Stress degree (N/mm ²)	
	Axial force (kN)	Bending moment(kN·m)	Axis	Bending
Damper	0.66(1.00)	—	0.36	—
Horizontally Arm material	0.48(0.73)	0.00	0.16	0.00
Diagonal Arm material	0.73(1.11)	0.00	0.31	0.00

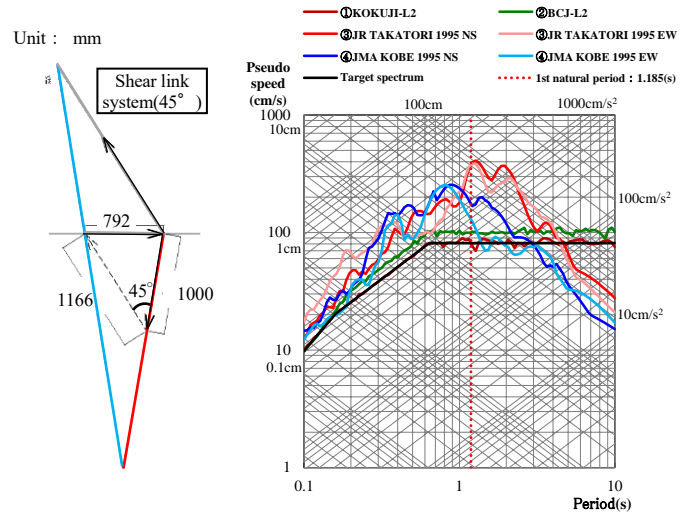


Fig.4 Force diagram

Fig.5 Simulated ground motion response spectrum

Table 3 Test results for simulated ground motion of C type

Grand motion	1 way		2 way			
	KOKUJI L2	BCJ-L2	JR-TAKATORI		JMA-KOBE	
Direction	X	X	X	Y	X	Y
Input scale	16.0%	-	3.3%		-	
2nd layer (mm)	23.7 (29.4)	-	24.8 (28.0)	24.7 (26.2)	-	-
Main pillar (mm)	6.9 (8.2)	-	10.9 (13.3)		-	
Damper (mm)	7.1	-	11.4		-	

Table 4 Test results for simulated ground motion of MC type

Grand motion	1 way		2 way			
	KOKUJI L2	BCJ-L2	JR-TAKATORI		JMA-KOBE	
Direction	X	X	X	Y	X	Y
Input scale	16.0%	13.0%	3.3%		6.5%	
2nd layer (mm)	24.9 (29.4)	15.0 (28.6)	14.5 (28.0)	15.0 (26.2)	22.5 (28.5)	14.3 (18.4)
Main pillar (mm)	7.3 (8.2)	6.4 (8.6)	7.3 (13.3)		10.4 (12.2)	
Damper (mm)	9.0	8.1	8.5		12.5	

6. 参考文献

- [1] 新潟県中越地震における電気通信施設被災状況調査報告, 社団法人 建設電気技術協会, 1941
- [2] 野島暢呂: 阪神・淡路大震災における電力・ガス施設の被害と復旧, 安全工学, 35 巻, 1 号, pp.50-56, 1996
- [3] 鈴木亨, 古橋剛, 光坂勇治: 増幅機構付き減衰装置の高速領域における性能評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2 分冊, pp.759-760, 2003.9
- [4] 石丸辰治, 秦一平, 三上淳治, 公塚正行: 付加剛比による D.M.同調システムの簡易設計法, 日本建築学会構造系論文集, 第 75 巻, 第 654 号, 2010.8