

# 振動実験に基づく名古屋テレビ塔の振動特性に関する研究

名古屋大学工学部社会環境工学科  
建築学コース福和研究室 豊部立

## 1. 研究の目的と背景

名古屋市中区栄の久屋大通公園内に立地する名古屋テレビ塔は、2011年7月の地上デジタル放送への完全移行に伴い電波塔としての役目を終えることになっている。名古屋テレビ塔は、内藤多仲により設計され、1954年に日本で初めてのテレビ放送電波送信用集約電波塔として竣工した。その後、名古屋市域をはじめとする広い地域に向けての電波塔として機能する傍ら、観光名所として多くの人々に親しまれてきた。また2005年には国から登録有形文化財として指定されるなど、名古屋市中心部のランドマークとして景観上非常に重要な存在であり、電波塔としての機能を失ってからも文化財として保存していくことが望ましい。

名古屋市域では将来起こりうる東海・東南海地震による被害が想定されており、テレビ塔のような長周期、低減衰の構造物では、長周期地震動と共振し、損傷する可能性がある。この先、長く保存していくには、補強工事を行い耐力を向上させる必要がある。テレビ塔は文化財であり、外観の大きな変更は許されないため、免震化による補強が適切である。本研究では、名古屋テレビ塔の免震補強設計を行うにあたって、必要となる固有振動数、減衰定数などの振動特性の把握を目的として振動実験を実施し、その結果について分析・考察を行う。

## 2. 対象建造物の概要

対象建造物は、アンテナを含めた最高部高さ180m、塔体高さ138mの四角構桁式自立鉄塔であり、高さ20m付近に重量約1250tの3層建屋、高さ90m付近に重量約230tの展望台が設置されている。建造物概要を表1に示す。

## 3. 振動実験の内容

振動実験は9月3日、4日の2日間にわたって実施した。初日に展望台中央、3層建屋の上層(4F)中央、偏心位置にある1Fコアに動コイル型の微動計を1台ずつ、計3台配置して常時微動計測を行った。安全上の制約があり、展望台より高い位置ではセンサーを設置できなかった。翌日は、立体モード形状の特定、振幅依存性の確認を目的として、展望台に3台のセンサーを追加し、人力加振実験と常時微動計測を行った。低次の加振場所は主に展望台南側とした。観測体制の配置図を図1、常時微動計測と人力加振実験の内容を表2と表3にそれぞれ示す。平均風速、風向は名古屋地方気象台で観測されたものを示している。また、テレビ塔では定常的な強震観測も行っている。

## 4. 微動記録に基づく建物の減衰定数と固有周期

表2 case.4の展望台中央センサーで得られた微動記録から求めた速度フーリエスペクトルを成分毎に図2に示す。図2より多数のピークが存在し、特に0Hz~2.0Hzにおいて、鋭い明瞭なピークが5つ確認できる。各成分とも固有振動数が非常に近接している。またNW-SE成分のみIVのピークがないことが分かる。この5つのピークを対象にして各々バンドパス・フィルタを施し、RD法によって生成したRD波形に1自由度系の自由振動波形フィッティングして推定した固有振動数と減衰定数の値を表4に示す。なおNE-SW、NW-SE成分は後述する人力加振時と同様にIとIIのピークのみを対象としている。全ての場合で、減衰定数の値が1%を大きく下回っている。

表1 建物概要

階数	地上	6階
	地下	1階
高さ	最高部高さ	180m
	塔体高さ	138m
構造種別	塔体	S造
	形式	四角構桁式自立鉄塔
重量	塔体重量	2153t
	建屋総重量	1469t
面積	敷地面積	1600㎡
	延べ床面積	2397㎡

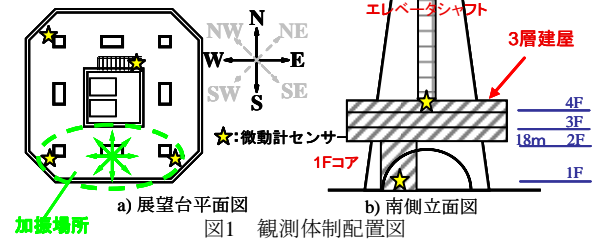


図1 観測体制配置図

表2 常時微動計測の内容

case	計測開始時間	収録時間	平均風速	風向	センサー数
1	15:52 (9月3日)	63 min	2.6 m/s	北西	3台
2	18:10 (9月3日)	30 min	4.6 m/s	北西	3台
3	21:30 (9月3日)	30 min	2.9 m/s	北西	3台
4	3:00 (9月4日)	120 min	2.6 m/s	北北西	3台
5	9:22 (9月4日)	16 min	3.0 m/s	北西	6台

表3 人力加振実験の内容

対象ピーク	加振振動数	加振方向(加振人数)
I	0.62 Hz	南北(15),東西(15)
II	0.79 Hz	北東-南西(14),北西-南東(15)
III	1.42 Hz	南北(13),東西(13)
IV	1.61 Hz	
V	1.91 Hz	

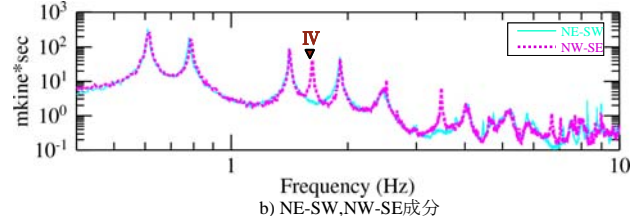
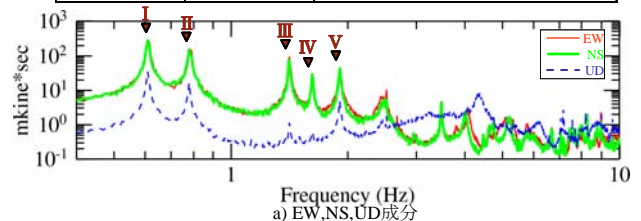


図2 微動時の速度フーリエスペクトル

表4 微動時の固有振動数と減衰定数

		対象ピーク				
		I	II	III	IV	V
EW	固有振動数(Hz)	0.61	0.79	1.42	1.62	1.91
	減衰定数(%)	0.26	0.48	0.23	0.20	0.36
NS	固有振動数(Hz)	0.61	0.78	1.42	1.62	1.91
	減衰定数(%)	0.36	0.55	0.22	0.19	0.25
NE-SW	固有振動数(Hz)	0.61	0.78	-	-	-
	減衰定数(%)	0.28	0.31	-	-	-
NW-SE	固有振動数(Hz)	0.61	0.79	-	-	-
	減衰定数(%)	0.32	0.30	-	-	-

## 5. 人力加振記録に基づく建物の固有振動数と減衰定数

人力加振実験によって得られた自由振動波形の一例とそこから対数減衰率により算出した1周期毎の減衰定数を図3に示す。加振項目毎の固有振動数と減衰定数を表5に示す。図3から人力加振によって加振方向の成分だけではなく、それと直交する成分も増幅している様子が確認できる。図3a)から減衰定数の値は、評価区間によって大きく変化することが分かる。図3a)では130秒~210秒、図3b)では70秒~120秒の平均区間をとり評価した値を表5に示している。固有振動数は表4の微動時より若干低い値を示しており、振幅依存性がみられる。減衰定数は微動時に比べてかなり大きな値を示しており、対象成分に直交する成分の増幅による運動エネルギーの移動が影響している可能性がある。

## 6. 加振時の建造物挙動と立体振動特性

加振時における減衰定数の過大評価に関する考察や、建造物上部の挙動の確認を目的とし、展望台に設置した4つのセンサーで得られた記録からオービットを求め、その1例を図4に示す。回転運動から方向性を持った特殊な減衰現象が生じており、運動エネルギーが加振方向から直交方向へと移っていることが分かる。この現象が加振時の減衰定数の過大評価につながっている。アニメーションツールを用いて、東西方向への加振時のモード形状と、微動時の記録から各振動数ピークに絞った場合のモード形状図5に示す。展望台

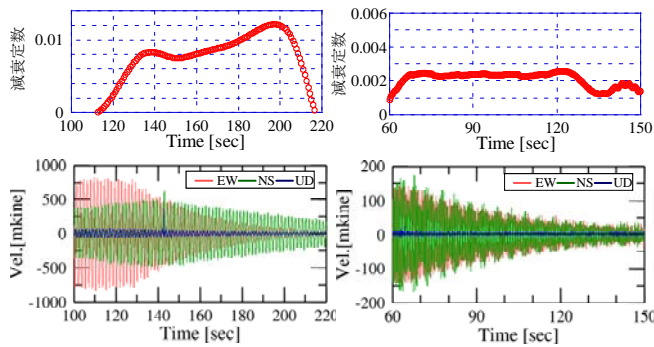


図3 人力加振による自由振動波形と1周期毎の減衰定数

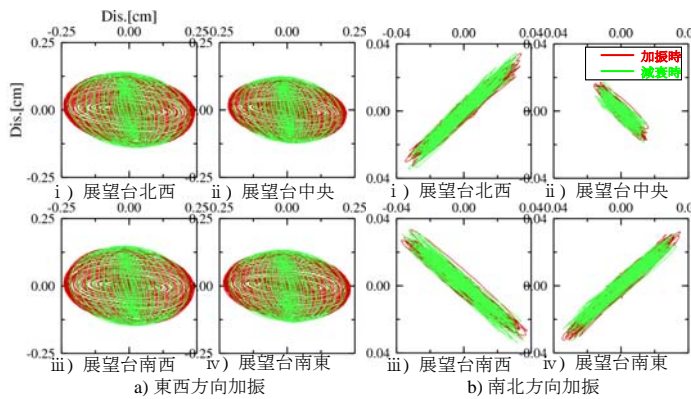


図4 人力加振時のオービット

表5 加振時の固有振動数と減衰定数

		対象ピーク				
		I	II	III	IV	V
EW	固有振動数(Hz)	0.61	0.78	1.41	1.61	1.91
	減衰定数(%)	0.91	0.68	0.30	0.26	0.75
NS	固有振動数(Hz)	0.60	0.78	1.40	1.61	1.90
	減衰定数(%)	1.11	0.90	0.45	0.24	0.65
NE-SW	固有振動数(Hz)	0.61	0.78	-	-	-
	減衰定数(%)	0.44	0.43	-	-	-
NW-SE	固有振動数(Hz)	0.61	0.78	-	-	-
	減衰定数(%)	0.50	0.56	-	-	-

床面の傾きからピーク I では曲げ変形、ピーク III ではせん断変形していると考えられ、ピーク IV では図心を中心としたねじれ振動の様子が確認できる。なお、ピーク II ではピーク I とほぼ同様のモード形状を示している。ピーク V はピーク I または II の 2 次モードだと考えられるが、本実験でのセンサー配置では、その詳細な特定にはいたらなかった。微動時と加振時を比較すると、振幅と振動方向は違うが、高さ方向のモード形状はほぼ同じである。

## 7. 非比例減衰系モデルの検討

図4a)での特殊な減衰現象を理論的に説明するために、図6a)のような1質点2自由度モデルを作成し検討を行う。2方向の剛性、減衰を等しく設定し、減衰マトリクス非対角項の値を変化させて自由振動性状の比較を行う。図6b)の比例減衰系と比較して、図6c)の非比例減衰系では、実現象で見られたような運動エネルギーの移動の様子が確認できる。この結果から、テレビ塔の様な2方向の固有値が近接した、減衰の小さい建造物の応答評価では、非比例減衰系モデルの検討が重要になることが示された。

## 8. 結論と今後の課題

今回の研究により、名古屋テレビ塔の固有振動数と減衰定数を概ね推定でき、振幅依存性を確認できた。しかし、今回のセンサー配置ではモード形状の考察が不十分であり、その特定のために立体振動モデルを作成し、モード解析を行うことが必要である。その際に、非比例減衰系を検討したモデルを作成することが、鉄塔の詳細な応答評価につながると考えられる。

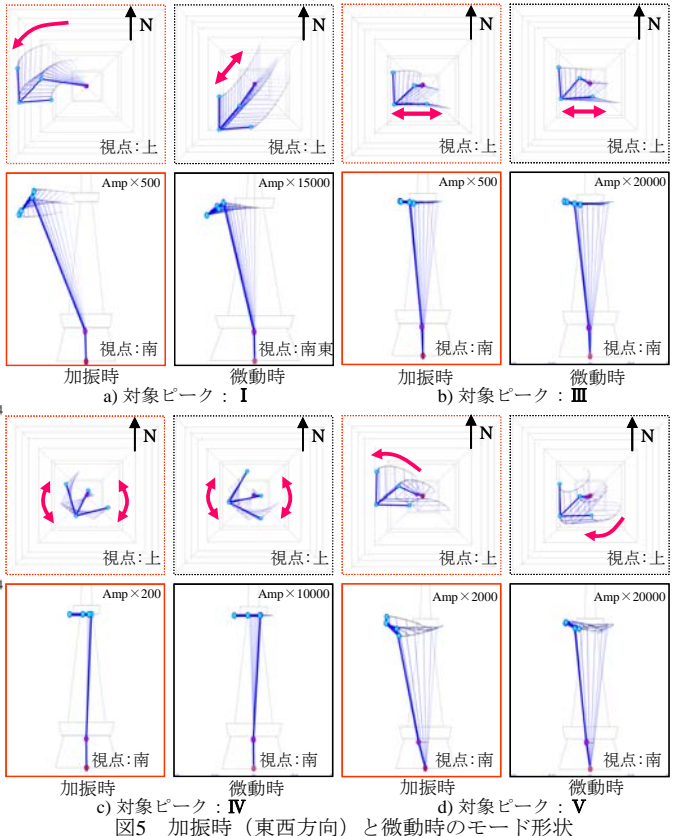


図5 加振時（東西方向）と微動時のモード形状

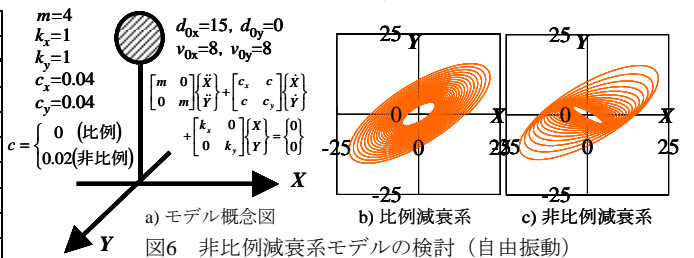


図6 非比例減衰系モデルの検討（自由振動）