

I - 633

中島大橋（仮称）の架設時制振対策

大阪市 正員 亀井正博 日立造船(株) 正員 田中 洋
日立造船(株) 松山治邦 日立造船(株) ○正員 松下泰弘

1. はじめに

中島大橋は、大阪市西淀川区と兵庫県尼崎市とを結ぶ橋長336.5mの3径間連続斜張橋である。本橋の一般図を図-1に示す。架設地点の制約条件から塔の周辺にはベントの設置ができず、ケーブルで張られた桁の架設はバランスング工法で行う予定にしている。そこで、架設時の耐風安定性を照査するために風洞試験を実施した結果、有害な振動の発生することがわかった。これを改善すべく架設時のみ塔頂にアクティブ制振装置（AMD）を設置して、振動を制御する計画としている。ここでは、制振装置の概要を説明し、その性能確認で行った1/5模型での実験、および数値シミュレーションの結果を報告する。

2. 風洞試験の結果

本橋の架設時の耐風安定性を照査するために、縮尺1/50の3次元弾性模型を用いて、塔単独時、および側径間主桁のP8橋脚到達直前（架設系2）と、到達後（架設系1）の2種類の架設系を対象とした風洞試験を行った。この結果、塔単独時に、風速10m/s程度で塔面外1次の渦励振が発生し、風速22m/s程度で塔面外2次の渦励振の発生することがわかった。このとき、塔頂の最大振幅は、1次で1.5mとなり、2次で0.17mとなる。また、主桁は架設系において、桁たわみ1次が卓越するバフティング振動の発生することがわかった。この時、主桁先端の最大振幅は、架設系2で0.74mとなり、架設系1で0.1mとなる。

3. 制振装置の設計

(1) 振動の許容値

塔の振動に対する許容値は、共振風速が作業限界風速（16m/s）以下の場合は、作業性と安全性を考慮して加速度を50Gal以下とした。この値は、過去の実績から作業者に不快感を与えないように定めたものである。また、共振風速が作業限界風速以上の場合は、架設機材の安全性を考慮して加速度を300Gal以下とする。主桁の振動に対する許容値は、道路橋示方書で定められている活荷重たわみの許容値（ $L/400$ ）から振幅を177mm以下とした。表-1に最大振幅と許容値を示す。これより、塔単独時、および架設系2において制振対策が必要であることがわかった。

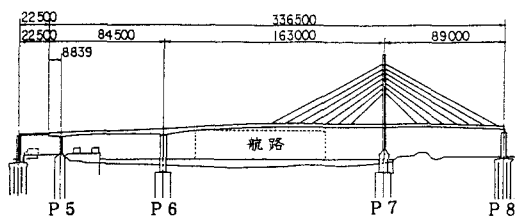


図-1 中島大橋の一般図(単位:mm)

表-1 最大振幅と許容振幅

項目	塔単独時		架設系2		架設系1	
	1次モード	2次モード	1次モード	2次モード	1次モード	2次モード
固有振動数(Hz)	0.494	1.865	0.207	0.639		
対数減衰率	0.01	0.01	0.02	0.02		
最大振幅 (m)	1.500	0.170	0.606	0.082		
主桁先端	---	---	0.740	0.100		
許容振幅 (m)	0.052	0.022	0.145	0.145		
主桁先端	---	---	0.177	0.177		
許容加速度 (Gal)	風速16m/s以下	50	---	---		
風速16m/s以上	---	300	---	---		
制振対策	必要	必要	必要	不要		

(2) 設計概要

塔の架設完了時に、図-2に示すように塔頂に設置し、塔の水平振動を抑え、さらに、その効果によって主桁の鉛直振動も制御する。常時には、AMDとして制振を行い、停電などの非常時には、TMDとして機能するハイブリッドタイプとする。制御方式は、構造物の特性（質量、剛性、etc）の不確定要素に対して影響を受けにくいファジィ制御を用いる。図-3に制御系ブロック図を示す。架設の進行にともない、固有振動数が増加するが、ファジィ制御は、制振対象のモデル化を必要としないため、AMDとしての調整は不要であるが、TMDとして機能するように、バネの取付位置を上下させることにより振動数の調整が可能な構造とする。図-4に構造図を、表-2に設計条件を示す。

表-2 設計条件

項目	TMD	AMD
重錘重量(tf)	3.5	3.5
バネ定数(N/m)	$5.0 \times 10^5 \sim 3.0 \times 10^5$	---
減衰定数(N・s/m)	$5.0 \times 10^2 \sim 3.0 \times 10^2$	---
重錘振幅(m)	0.4~0.14	0.4~0.017
振動数(Hz)	0.2~0.5	0.2~1.865

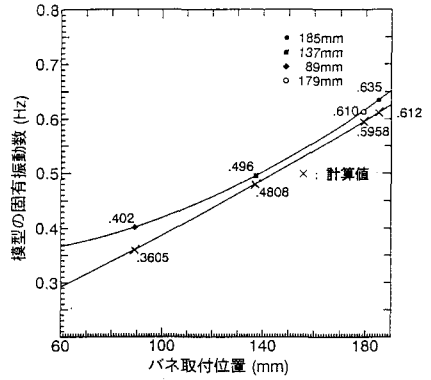


図-5 バネ取付位置と固有振動数の関係

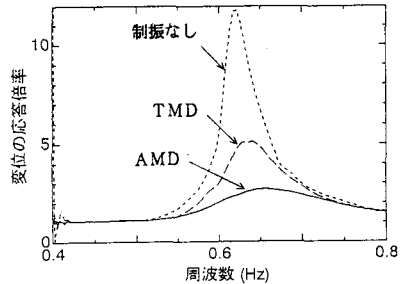


図-6 周波数特性の比較

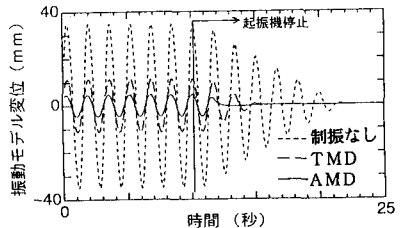


図-7 自由振動波形の比較

表-3 実験値と計算値の比較

制振方法	振動時の変位		模型の重錘変位	
	実験値	計算値	実験値	計算値
制振なし	34.0	34.0	---	---
TMD	12.0	11.5	27.0	25.7
AMD	6.5	7.0	34.0	33.7

表-4 実橋での制振効果

項目		単位:m		
		塔単独時	1次モード	2次モード
許容振幅	最大振幅	0.052	0.022	0.145
	1次モード	1.500	0.170	0.606
	2次モード	0.030	0.007	0.030
制振後振幅	AMD	0.049	0.012	0.049
	TMD	0.087	0.020	0.255
重錘振幅	AMD	0.066	0.015	0.194
	TMD	---	---	---

制振装置

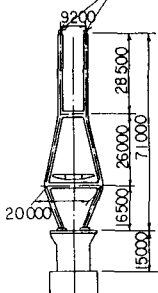


図-2 設置位置(単位:mm)

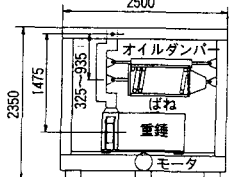


図-4 構造図(単位:mm)

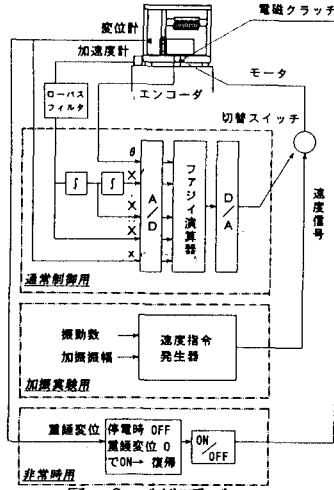


図-3 制御系ブロック図

4. 小型模型実験

制振装置の動作機構とファジィ制御による制振性能を確認するために、縮尺1/5の模型を製作し制振実験を行った。実験は水平振動台に塔の振動数を模擬する振動モデルを設置し、その上に制振装置の模型を搭載して行った。

この実験により以下の項目について確認できた。

- 1) バネの取付位置と固有振動数の関係を図-5に示す。この値は計算値とほぼ一致しており、実機においても振動数の調整が可能と考えられる。
- 2) TMDとAMDの周波数特性の比較を図-6に示す。また、自由振動波形の比較を図-7に示す。これにより、AMDはTMDの2倍の制振効果があることがわかる。
- 3) 模型実験と数値シミュレーションの結果の比較を表-3に示す。実験値と計算値はほぼ一致しており、数値シミュレーションの精度が確認できた。

5. 実橋での制振効果

表-2の設計条件で、実橋での制振効果を数値シミュレーションにより確認した。結果を表-4に示す。これにより、実橋でも振幅を許容振幅以下に抑えられることがわかった。

6. まとめ

本文では、架設時に発生する有害な振動に対する制振対策について述べた。小型模型実験により本装置の動作機構と制振性能、および数値シミュレーションの精度が確認できた。数値シミュレーションにより実橋でも、振幅を許容振幅内に抑えられることがわかった。