

オスマン・ガージー橋 AMD による主塔の振動制御

(株)IHI インフラシステム 正会員 ○高井 祐輔
(株)IHI インフラシステム 井澤 竜生

1. はじめに

吊橋の鋼製主塔は、その細長い断面形状や2脚並列配置といった構造特性により、風による振動、いわゆる渦励振やギャロッピングの影響を受けやすいことが知られている。オスマン・ガージー橋では、自社製品であるアクティブマスダンパー(AMD)を採用することで、供用下および架設時の主塔の振動を制御している。供用下において橋梁の主塔に AMD が採用されたのは本工事が世界初となる。本論文では、AMD の設計概要と現地での性能確認試験結果にて確認された AMD の有効性について述べる。

2. 設計要求

2-1. 供用下における設計要求

全橋モデルの風洞試験から、本橋においては設計風速以下であっても主塔に渦励振が発生する可能性が予測されており、構造の安全性から共振振幅を 0.15m 以下とすることを設計要求事項としている。モード解析から得られた各主塔における面外曲げ1次モードおよび風洞試験より得られた振幅-減衰の関係からこの条件を満足させるために必要となる付加減衰を求めた。

2-2. 主塔架設時における設計要求

図1に主塔の橋軸方向曲げ1次モードにおける共振風速、設計風速および作業時最大風速(16m/s)の関係を示す。主塔の架設高さが海拔約+125m 以上になると設計風速以下でも共振が起こり、海拔約+175m 以上となると最大作業時風速以下でも振動が発生することが分かる。従い、これらの架設ステップに合わせて、構造安全性および作業性の確保の観点から必要となる付加減衰を求めた。

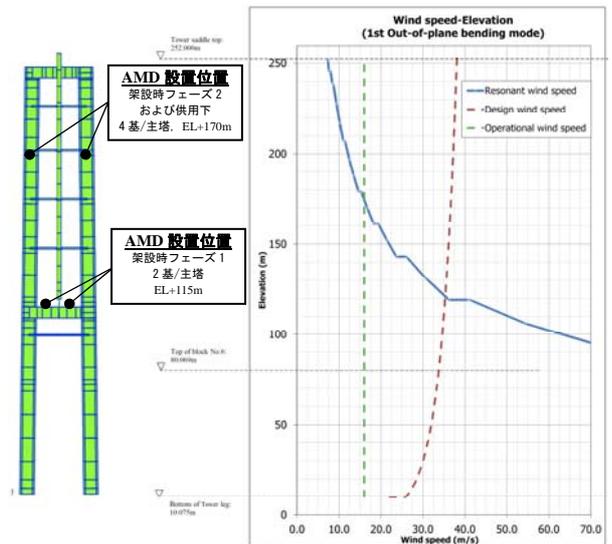


図-1 共振振動、設計風速、作業時風速の関係

3. AMD の設計

自社開発の AMD は、アクチュエータでリニアガイド上の重り(可動マス)を左右に往復させ、その可動マスの慣性力を用いて振動を制御する。他の制振装置とは異なり、ばねや振り子などの補助的な支持機構を用いずに、リニアモータのみにて可動マスを動かしている。そのためコンパクトなサイズ、重量にて設計することができ、主塔内の限られた空間内での設置が実現できた。この点において本 AMD が本橋において最適なシステムであったといえる。供用下では塔脚ブロック14のダイヤフラム上に AMD が設置された。これは海拔約+170m であり、完成系での橋軸方向曲げ1次モードの最大固有ベクトル位置となっている。架設時には主塔の架設進捗に合わせて、フェーズ1で下段水平梁上に設置し、フェーズ2で本設位置と同じ



図-2 リニアモータ駆動型制振装置

表-1 AMD の設計条件と仕様

		設置場所	一般化質量 ton/tower	AMD要求性能 マックスストローク ton-m/tower	AMD製品性能 マックスストローク ton-m/tower	支配条件	架設 ステップ
架設時	フェーズ1	下段水平梁	5847	8.3	10.0	構造安全性	11-20
	フェーズ2	ブロック14	9431	13.4	20.0	作業性	21-39
供用下		ブロック14	3910	11.6	20.0	構造安全性	-

キーワード 鋼製主塔, 渦励振, AMD, リニアモータ, 制振装置, 減衰定数

連絡先 〒108-0023 東京都港区芝浦3丁目17番12号 吾妻ビル (株)IHI インフラシステム TEL 03-3769-8660

くブロック 14 内へ移設された。表 1 に各段階での設計条件と AMD の設計性能をまとめている。架設時フェーズ 2 の要求性能の方が供用下での要求性能よりも高いため、架設時の作業性を確保するための設計パラメータにより AMD は設計された。各塔脚に 2 基の AMD、橋梁全体で 8 基が設置された。AMD 1 基当たりの重量は可動マス 10 トンを含めて 15 トンである。有効ストロークは+/-0.5m であり、幅 1600mm、長さ 3864mm、高さ 1350mm である。架設時フェーズ 1 においては、1 塔脚当たり 1 基の AMD を稼働させることで主塔の振動を制御することができた。

4. 現地性能確認試験

現地性能確認試験は 2 段階に分けて実施された。まず主塔の振動特性を把握する必要がある。振動特性は、主塔の自然風による微振動を計測することで入手できる。固有振動数は計測されたデータを数値的に加工することで推測される。ここで得られた対象となる振動モードの固有振動数付近の振動を AMD によって強制的に主塔に与えて、固有振動数を確認する。これにより、主塔の振動特性が評価された後、AMD の最終パラメータの調整が実施される。

次に性能確認試験である。ここでは AMD による制振の有無による主塔の減衰を比較することで AMD の付加減衰が確認される。この試験は自由振動条件下で行われる。主塔は AMD によって加振され、ある振幅に達すると AMD は停止する。AMD が停止し続けた場合、主塔の振動は固有の減衰により徐々に弱まっていく。一方、AMD が一旦停止した後に制振装置として動き始めた場合、主塔の振動はより高い減衰により、より早く弱まっていく。この試験から自由振動の時刻歴応答が計測され、AMD による付加減衰を求めることができる。

ここでは後者のステップである性能試験の結果を図 3 に示す。上段 2 つのグラフが AMD による制振なし、下段 2 つが AMD による制振ありの応答波形を示しており、それぞれの上段が主塔の加速度、下段が AMD の変位を示す。これらの図から AMD が再稼働後に主塔の振動に合わせて適切に作動し、主塔へ減衰効果を与えていることが確認できた。表 2 に全ケースにおける試験結果をまとめた。いずれのケースにおいても設計要求を満足する結果が得られ、AMD により主塔の振動が制御されていることが確認できた。

5. まとめ

オスマン・ガージー橋の供用下および架設時における風による主塔の振動に対して、AMD を採用することで本体構造への影響を最小限とし、かつ架設施工性が向上するように振動を制御できることが確認できた。本 AMD は主塔という限られた空間内であっても設置可能であり、本体構造の設計、製作、施工へのインパクトを与えることなく施工できたこともここに付け加えておく。本稿が今後の長大橋の制振対策へ寄与することを期待している。

参考文献

- M.INOUE, T.Kawakami et al, *IZMIT Bay Suspension Bridge – Finding and Consideration for Vibration control of Tower by Active mass damper* (IABSE 2015 in Geneva, Swiss), 09.2015, published by CRC press, ISBN: 978-3-85748-140-6

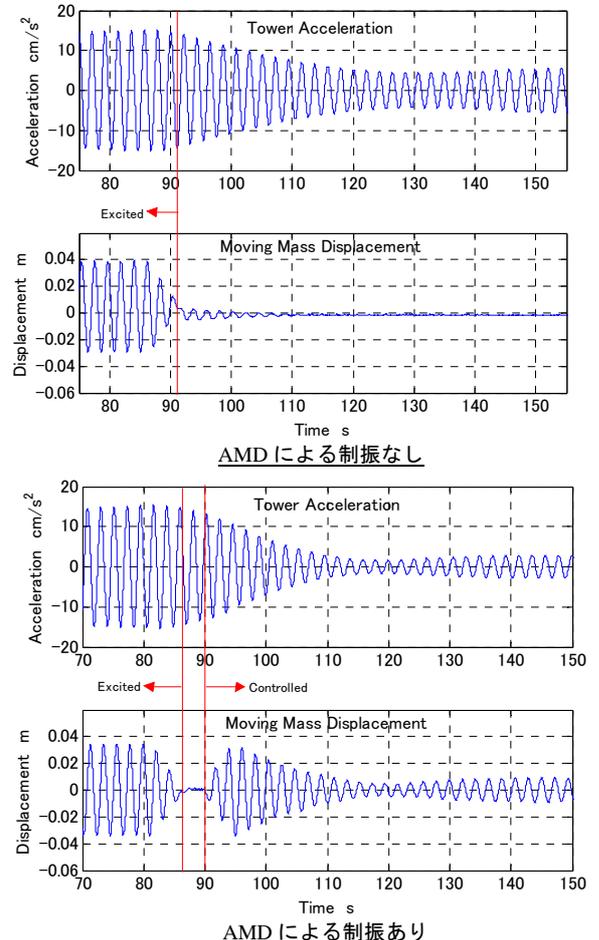


図-3 自由振動試験での時刻歴応答波形

表-2 AMD による減衰確認結果

			減衰定数			判定
			AMD制振なし	AMD制振あり	要求値	
架設時	フェーズ1	北塔	0.52%	0.93%	0.48-0.72%	OK
		南塔	0.26%	0.75%	0.48-0.72%	OK
	フェーズ2	北塔	1.11%	1.68%	0.53-0.74%	OK
		南塔	1.38%	1.79%	0.53-0.74%	OK
供用下(完成系)	北塔	0.70%	1.58%	1.29%	OK	
	南塔	0.69%	2.08%	0.41%	OK	