

免震斜張橋の主塔耐風設計における等価質量と等価減衰定数の評価法

長大 正会員 ○深谷 茂広 正会員 鈴木 俊洋 正会員 舘 浩司
 阪神高速道路 正会員 杉山 裕樹 正会員 河野 晴彦 正会員 篠田 隆作
 阪神高速道路（現：土木研究所）正会員 西原 知彦

1. はじめに

吊橋や斜張橋といった長大橋においては耐風安定性（以下、耐風性）の確保が重要な課題であり、風洞試験に基づく耐風性の照査と耐風対策検討の実施による耐風性の向上を図る動的耐風設計が行われてきた。

一般的な鋼製主塔の耐風対策としては、断面形状の変更（隅切、面取など）による空力対策、TMD や TLD といった減衰付加対策、板厚や材質を調整することによる許容振幅の向上が挙げられる。特に塔高が高い主塔では、空力対策だけで十分な制振効果が得られない場合があり、減衰付加対策の採用には維持管理の課題を有すること、板厚や材質変更ではコスト増になる等、いずれかの対策だけでは十分とはいえない場合がある。このため長大橋の耐風設計を行う場合、既往の長大橋の耐風設計事例が判断材料として有用である。

また、近年、免震支承を設置した免震斜張橋が計画される傾向にあり、既往の斜張橋は非免震構造の事例が多いため、免震長大橋特有の主塔耐風設計法について整理する必要がある。

そこで、本稿では1主塔免震斜張橋における主塔の動的耐風設計において重要となる等価質量と等価減衰定数の評価法について提案する。

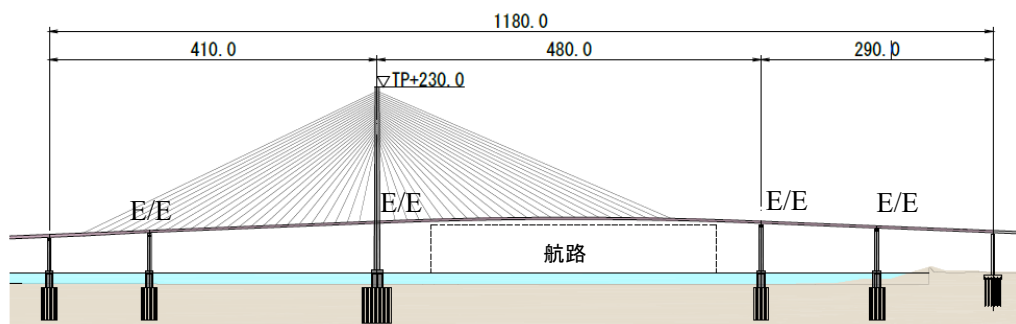


図-1 対象橋梁一般図 (E/E: 水平2方向弾性支持を意味する)

2. 免震支承変位が主塔等価質量に及ぼす影響

主塔の振動特性の把握及び風洞試験の実施にあたっては、主塔の等価質量を設定する必要があります。一般的な弾性支持の非免震構造であれば、支承剛性が一定であるため、桁・ケーブルと主塔の振動の連成の影響を考慮した主塔の等価質量の評価には防護柵と舗装による主桁剛性への影響に配慮すれば適切に設定できる。

一方、図-1に示される免震支承を有する1主塔斜張橋では、振動発現時の支承変位量（せん断ひずみ）により支承剛性および桁・ケーブルの塔への振動の連成の影響が変化するため、図-2に示されるように、面内1次と面内2次の主塔の等価質量は支承せん断ひずみに依存する結果となった。従って、風による振動時の変位量が定まらない風洞試験実施前においては、支承せん断ひずみと等価質量の関係から安全側に設定した上で、スクルートン数の影響について確認試験を行い、最終的な発現振幅はスクルートン数により補正して評価することとする。

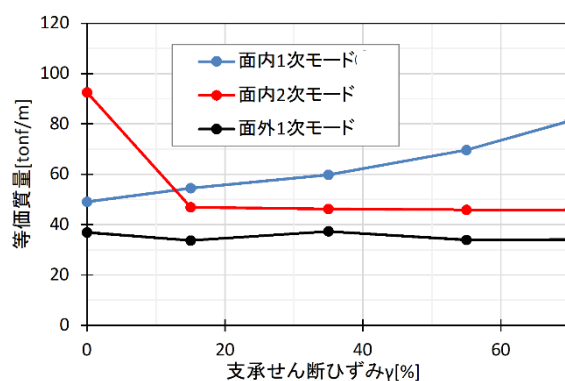


図-2 支承せん断ひずみと主塔等価質量

キーワード 斜張橋, 鋼製主塔, 耐風設計, 免震支承, 等価質量, 履歴減衰

連絡先 〒550-0013 大阪府大阪市西区新町 2-20-6 株式会社長大 大阪支社 TEL 06-6541-5796

3. 免震支承の減衰効果を考慮した主塔の等価減衰定数

図-1 の対象橋梁の主塔は国内最大級の高さを有しており、架設時だけでなく完成時の風による振動に対する耐風性の確保が必要となる。特に主塔形状として橋軸方向（面外）には1本主塔であるため、橋軸直角方向の風に対する主塔面外1次振動の渦励振が主塔面内振動より卓越することが風洞試験により確認された。

図-2 に主塔面外1次の振動モードを示すが、主塔の振幅が塔中間部で最大になる時、主塔部の支承も変位することが確認できる。従って、渦励振のような定常振動が発現する場合、支承の履歴減衰効果が期待できる。耐風設計における免震支承の減衰効果としては、文献1)に提案されており、LRB（鉛プラグ入り積層ゴム支承）ではせん断ひずみ5%の小振幅下で等価減衰定数 h_{eq} として0.2以上が確認されている。

そこで、主塔面外1次での渦励振に対する免震支承の減衰付加効果を確認するため、各構造部材に減衰を入れた固有値解析を行い、モード減衰を表-1のように整理した。その結果、非免震橋での主塔風洞試験での対数減衰率 $\delta = 0.02$ に対して9倍の減衰が確保されることが確認された。

これは渦励振による応答振幅が $\delta = 0.02$ の1/9程度に低減できる可能性を示唆しており、免震支承の減衰効果を考慮することで、耐風安定性の確保が十分可能と想定される。さらに免震支承は耐震対策のために設置されているものであり、耐風対策のため別途追加の費用が必要ないことから、LCCの低減にもつながる。

以上より、免震支承を有する長大橋の主塔耐風設計では、免震支承の履歴減衰効果を適切に見込むことが望ましいと考えられる。

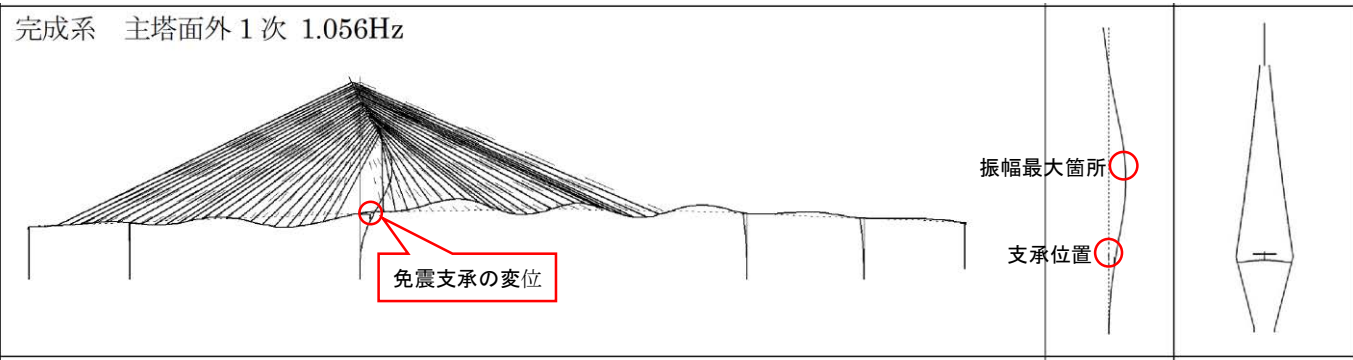


図-2 主塔面外1次（完成系）の振動モード

表-1 主塔面外1次のモード減衰				
構造部材	部材の対数減衰率 δ_s	着目モードにおける各部材のエネルギー寄与率 α	着目モードの部材の減衰性能 $\delta_{ms} = \alpha \delta_s$	
主桁	0.020	0.159	0.0032	2%
主塔	0.010	0.334	0.0033	2%
橋脚	0.010	0.008	0.0001	0%
ケーブル	0.003	0.349	0.0010	0%
台座ブロック	0.000	0.005	0.0000	0%
基礎	0.000	0.004	0.0000	0%
免震支承	1.257	0.140	0.1757	96%
モード減衰		$\delta_m = \sum \delta_{ms} =$	0.1834	100%
風洞試験の減衰 $\delta_0 = 0.02$ に対する比率		$\delta_m / \delta_0 =$	9.17	

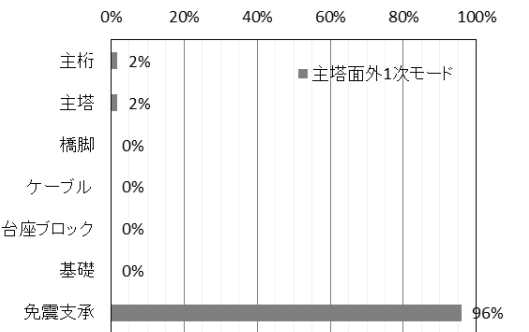


図-3 モード減衰に対する各部材の寄与率

4. おわりに

- 免震支承を有する斜張橋の主塔耐風設計における等価質量と等価減衰定数の評価法について提案した。
- ①等価質量：主塔の等価質量は風振動発現時の免震支承変位量（せん断ひずみ）に依存するため、風洞試験では安全側な支承変位量で設定を行い、最終的にはスクルートン数の補正を行い、耐風安定性を評価する。
 - ②等価減衰定数：免震支承の履歴減衰効果を適切に考慮することで、経済的で合理的な耐風設計が可能となる。

参考文献

1)米田昌弘, 崎嶋毅昇：可動支点を免震支承化した橋梁構造物の耐風安定性に関する一考察,土木学会論文集, 1999年3月