

マルチスケールモデルを用いた横浜ベイブリッジのタワーリンク脱落防止対策の検討

東京大学 正会員 ○武田 智信
 東京大学 正会員 水谷 司
 東京大学 正会員 長山 智則
 横浜国立大学 フェロー 藤野 陽三

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震において、横浜ベイブリッジで主桁の橋軸直角方向変位を拘束する部材であるウインド杵-ウインドタンク間の衝突が初めて観測された。衝突によりウインドタンクが損傷した場合には、橋軸直角方向の大変位により、タワーリンクの脱落が発生する恐れがある^[1]。この橋梁ではタワーリンクの脱落を想定し、段差防止構造による対策を行っているが、恒久的な交通機能の低下が発生する^[2]。本研究では、タワーリンクの脱落による交通機能の低下を防止するために、ウインドタンクの補強方法を提案し、マルチスケールモデルを用いた動的解析によりその効果を明らかにすることを目的とした。

2. マルチスケールモデルによる衝突応答の再現

設計モデルに基づいて構築した橋梁全体の骨組みモデルと設計図面に基づいてシェル要素・ソリッド要素で構築した衝突部分の詳細モデルを多点拘束によって組み合わせることで、図1に示すマルチスケールモデルを構築した。まず、東北地方太平洋沖地震の本震で観測された衝突による固有振動数の時間変化の再現性について検討するために、振幅が十分小さくなるまでの本震の500秒を用いて動的解析を行った。解析により得られた加速度応答を移動式の時間窓で分割し、各時間窓でシステム同定を適用することで固有振動数の時間変化を推定した。システム同定手法には System Realization using Information Matrix (SRIM)を用いた。図2に観測と解析で推定した固有振動数の時間変化の比較を示す。解析と観測で固有振動数の時間変化が概ね一致しており、マルチスケールモデルにおいて、設計モデルで再現できなかった本震の衝突応答を骨組みモデルと同程度の精度で全時間にわたって再現している。

3. 骨組みモデルによるタワーリンク脱落の防止方法の検討

ウインドタンクを補強した骨組みモデルを用いて、動的解析を行い、補強によるウインドタンクの損傷防止効果について検討した。補強方法は、ウインドタンクの内部にコンクリートを充填して補強する方法、主塔下部横梁にウインドタンクを増設する方法、ウインドタンクを増設さらにウインドタンクの内部にコンクリートを充填する方法の3つの対策を比較した。図3に示すコンクリートを充填させたウインドタンクの詳細モデルに対してプッシュオーバー解析を行い、荷重変位関係から補強時のウインドタンクの骨格曲線を求め、骨組みモデルの衝突ばねの

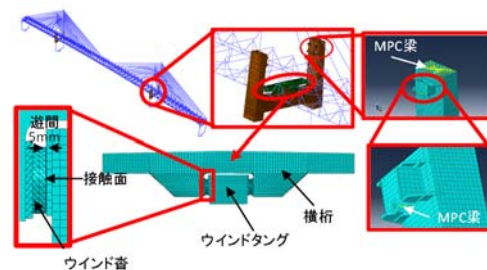


図1 マルチスケールモデル

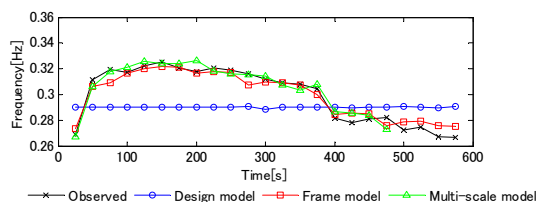


図2 固有振動数の時間変化の比較

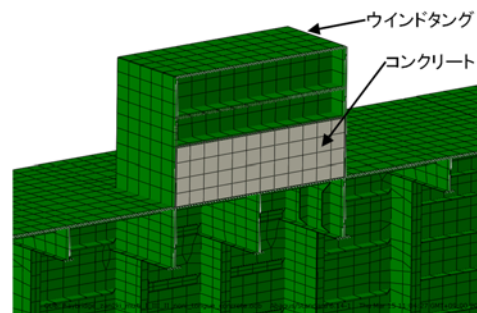


図3 コンクリート充填時のウインドタンク

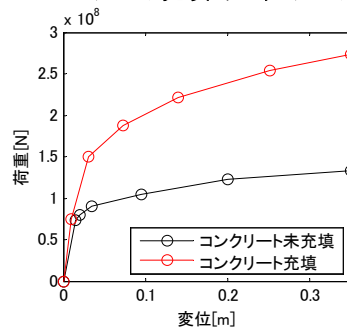


図4 コンクリート充填の有無におけるウインドタンクの骨格曲線の比較

キーワード 地震応答解析, マルチスケールモデル, ウインドタンク, タワーリンク, 衝突, 耐震補強

連絡先

〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学橋梁研究室 TEL 03-5841-6099

骨格曲線に適用した。図 4 にコンクリート充填の有無におけるウインドタングの骨格曲線の比較を示す。コンクリート未充填時では設計耐力である 79.9MN 以降に初期剛性の 10%程度まで剛性が低下しているのに対し、コンクリート充填時には 150MN 程度まで剛性を保っている。また、ウインドタングの増設は、ウインド沓-ウインドタング間の衝突ばね要素の増加により表現した。主塔下部の横梁のスペースを図面から検討した結果、一つの主塔・橋脚当たりウインドタングを 2 つ増設した。

各対策を施した骨組みモデルを用いて動的解析を行った。入力地震動は道路橋示方書のレベル 2 設計地震動 I-III-II を用いた。図 5 に無対策および各対策におけるウインドタング 1 基当たりの衝突ばねの履歴曲線を示す。無対策時にはウインドタングは設計耐力である 79.9MN を大きく上回る衝突力が発生している。また、ウインドタングを 3 基に増設した場合でも設計耐力を上回る衝突力が発生している。一方、ウインドタングにコンクリートを充填した場合はウインドタングが塑性化するものの、無対策に比べてウインドタングの変位が抑制され、コンクリートを充填したウインドタングを 3 基に増設した場合には、損傷をさらに抑制できる。

4. マルチスケールモデルによる補強効果の評価

骨組みモデルの解析結果に基づき、ウインドタングにコンクリートを充填させたマルチスケールモデルを用いて骨組みモデルと同様の地震動を入力して動的解析を行い、対策を行った場合のタワーリンクの変位およびウインドタングの損傷の抑制効果について検討した。無対策時とコンクリート充填時におけるタワーリンクの橋軸直角方向の最大変位の比較を表 1 に示す。無対策では約 70cm の変位が発生しているが、ウインドタングにコンクリートを充填することで橋軸直角方向変位を

脱落が発生する無対策時に対して約 66%低減している。また、図 6 にタワーリンクの最大変位時におけるコンクリート充填の有無による相当塑性ひずみ分布の比較を示す。無対策時にはウインドタング基部が大きく塑性化している。一方、ウインドタングにコンクリートを充填した場合には、ウインドタングの塑性化は抑えられている。しかし、横梁の塑性化が無対策に比べて進展し、ウインドタングの損傷より復旧が困難である横梁の損傷に遷移する可能性があるため、ウインドタングを補強する際はコンクリート充填と併せて横梁の補強を行うことが必要である。

5. 結論

本研究では、マルチスケールモデルを用いた動的解析により推定したウインドタング損傷後のタワーリンク脱落を防ぐ具体的な対策を検討した。その結果、横梁の補強も併せて行う必要があるものの、ウインドタング内部にコンクリートを充填することでウインドタングの損傷を防ぎ、タワーリンクの変位を約 66%抑制できることを示した。

謝辞

本研究において、貴重なご意見を頂いた首都高速道路の並川様、(株)長大の矢部様に感謝の意を表します。

参考文献 [1] 武田智信: 主塔 - 主桁間の衝突を伴う長大橋の地震応答の再現と大地震時の損傷過程の推定, 東京大学博士論文, 2017. [2] 小森和男, 吉川博, 小田桐直幸, 木下琢雄, 溝口孝夫, 藤野陽三, 矢部正明: 首都高速道路における長大橋耐震補強検討, 土木学会論文集 No. 801/I-73, pp.1-20, 2005.

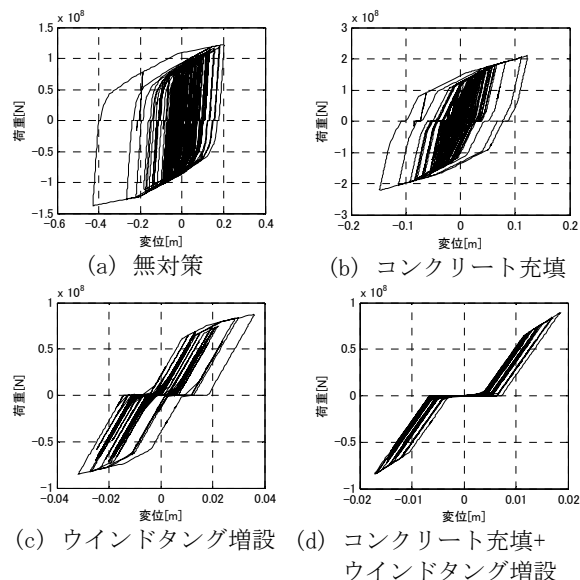


図 5 各対策における衝突ばねの履歴曲線

表 1 タワーリンクの橋軸直角方向最大変位の比較

	最大[m]	変化率(B/A)
無対策(A)	0.691	0.341
コンクリート充填(B)	0.236	

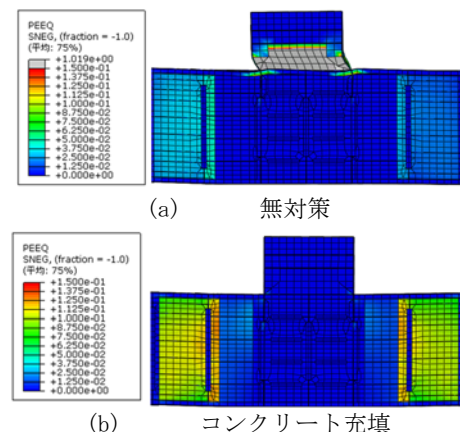


図 6 コンクリート充填の有無による相当塑性ひずみ分布の比較