

審査の結果の要旨

氏名 武田 智信

横浜ベイブリッジでは、東北地方太平洋沖地震において橋軸直角方向の応答により、ウインドタンクとウインド沓の間での衝突が観察され、タワーリンクのボルト破断も確認された。衝突によりウインドタンクが損傷すれば、橋軸直角方向の拘束力が低下し、タワーリンクの脱落に至る恐れがある。脱落后を想定した耐震補強がなされているものの、一旦脱落が生じれば長期間の交通機能の低下は免れない。

しかし、ウインドタンクの損傷過程やその後にタワーリンクにどのような応力や変形が発生し脱落に至るかといった過程は明らかになっていない。ウインドタンク損傷については静的解析による検討のみであり、タワーリンク脱落については動的解析から得られた最大変位と図面を基にした、タワーリンク部材の干渉の有無のみにより脱落判定している。発生したタワーリンクのボルト破断もメカニズムが分かっておらず、さらに、ウインド沓とウインドタンクは一体となって挙動すると仮定されており衝突を考慮した検討もなされていない。ウインドタンク、タワーリンク系の損傷過程を明らかにすることは、長期間の交通機能低下を防ぐための対策を検討する上でも重要である。本論文は、横浜ベイブリッジを対象とし、観測された応答を再現した上で、大地震時の長大橋の衝突による損傷過程を明らかにすることを目的とするものである。

まず、二次部材およびタワーリンクの剛性や、ウインド沓とウインドタンク間の遊間も考慮して、橋梁全体を3次元骨組みモデルで表し、東北地方太平洋沖地震の本震と余震の観測記録との比較によりモデルの妥当性を検証している。地震時に卓越する水平方向のモード振動数は観測値と整合的である。さらに、衝突発生時には固有振動数の増加が観測されたが、観測データに合わせたモデル修正をすることなく、この変化を再現している。要素別レイリー減衰により高次モードの応答を低減し、衝突を含む時刻歴応答を、加速度・変位の最大値、衝突応答の間隔、対象モードのフーリエ振幅スペクトル、および加速度 RMS の観点から再現している。

続いて、構築した3次元骨組みモデルに対して、将来の大地震を想定し、レ

レベル 2 地震動を入力し、ウインドタンクが損傷する地震動について検討を行っている。その結果、道路橋示方書で規定されているレベル 2 地震動において衝突力がウインドタンクの耐力を大きく上回り、ウインドタンクが損傷する可能性があることを示している。

次に、全体応答に加えて局部損傷も再現するため、主塔、横梁、ウインドタンク、ウインド脊をシェルおよびソリッド要素で詳細にモデル化し、骨組みモデルと組み合わせることでマルチスケールモデルを構築している。東北地方太平洋沖地震の本震を用いた動的解析を行い、加速度応答の時刻歴および固有振動数の時間変化といった全体応答を骨組みモデルと同程度の精度で再現している。さらに、動的解析から得られたタワーリンク部分の橋軸直角方向の最大変位を、ソリッド要素からなるタワーリンクの詳細モデルに静的に入力し、タワーリンクのボルト破断を再現している。

最後に、骨組みモデルの動的解析でウインドタンクが損傷すると判定された地震動をマルチスケールモデルに入力し、ウインドタンクやタワーリンクの損傷過程を推定している。ウインドタンクは基部にせん断変形が発生し、延性破壊に至っている。さらに、動的解析から得られたタワーリンクの最大変位をタワーリンク - 主塔一体モデルに入力し、タワーリンク - 主塔間の衝突により生じる主塔の損傷および、ウインドタンク損傷後におけるタワーリンクの脱落可能性について検討している。その結果、タワーリンクが主塔に接近する場合、タワーリンクが主塔に衝突し、主塔のダイヤフラムおよび縦リブが一部塑性化する一方で、タワーリンクの上側のピンが約 20cm 抜け、余裕量が 1/3 まで低下することを明らかにしている。また、タワーリンクが主塔から離れる場合、タワーリンクの上側のピンが抜け、タワーリンクが脱落することを示している。

本論文は、長大橋で観測された極めて稀で貴重な、衝突を含む地震応答記録に基づいて、全体応答と局所的な応答の双方を現実的な計算コストで再現するマルチスケールモデルを構築した上で、大地震を想定した動的解析を行うことにより損傷過程を明らかにしている。今後はタワーリンク脱落など供用性を低下させ復旧に時間を要する重大な損傷を防ぐための具体的な対策の検討が可能となり、工学上の意義は大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。