

高潮シミュレーションを連携した橋桁作用力の予測解析

環境社会基盤工学専攻 コンクリート研究室 篠地 叡生
指導教員 中村 文則

1. はじめに

昨今、地震や津波、高潮といった自然災害によって、多くの社会基盤構造物が被害を蒙っている。地震や津波に関しては、過去に発生した大規模な被災を契機に研究が進められている。そのため、現象の工学的特性に加え、構造物への災害外力に関して多くの知見が得られており、現在は耐震・対津波の設計法などが高度に整備されている。しかしながら、高潮災害は、現象に関する予測技術¹⁾に比べ、橋梁に作用する外力に関する研究が非常に少ないのが現状である。また既往研究の成果として、簡易式による波力推定方法²⁾が提案されているが、海底地形や橋桁形状などが極めて限定的あり、汎用的に予測できる手法は確立されていないという課題がある。本研究では、橋梁に作用する高潮波力を予測する汎用的な手法の確立を目的として、高潮シミュレーション技術を連携した橋桁作用力の予測解析モデルの構築を行った。さらに、過去に発生した高潮現象の再現解析を実施し、構築したモデルの妥当性の検証を行った。

2. 高潮波力予測モデル

構築したモデルは、台風(ハリケーン)によって生じる高潮現象と、波浪が橋梁に作用する流体外力を予測するモデルを組み合わせたものである。本モデルは、橋桁の形状や地形条件などを汎用的に考慮し、橋梁周辺の気象、波浪および潮汐(海面)変動を再現するとともに、それに応じた橋桁への流体外力を統合して計算可能である。

高潮予測モデルは、Warnerら³⁾が開発した大気海洋波浪結合モデル COAWST (Coupling Ocean Atmosphere Wave Sediment Transport Modeling System)を用いた。COAWSTは、領域気象モデル WRF、海洋モデル ROMS、波浪推算モデル SWAN を結合したモデルであり、Warnerらによって、ハリケーンを対象とした追算の際、海面温度や波高の追算精度が向上することが報告されており、高潮現象を高精度にモデル化できるため、海岸工学の分野で広く用いられている。

波力予測モデルは、沿岸技術センターより公開されている3次元数値波動水槽 CADMAS-SURF/3Dを用いた。このモデルは、汎用性が高く複雑な自由表面を取り扱うことができる Volume of Fluid 法と Simplified Marker and Cell 法が採用されており、室内実験に代わり様々な地形や構造物に対する波や流れの数値シミュレーションを行うことが可能なモデルである。



図-1 Katrinaによる橋梁被害

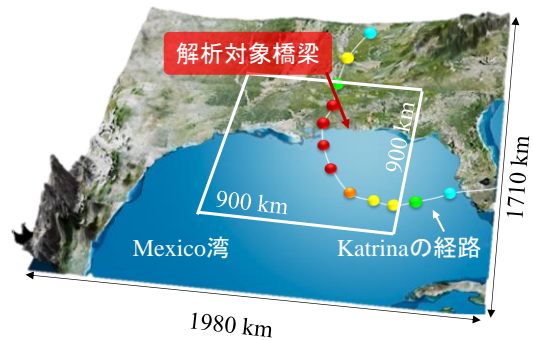


図-2 高潮予測モデルの計算領域

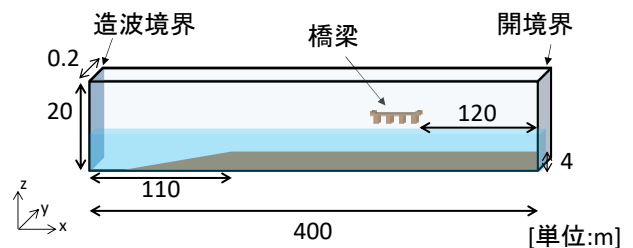


図-3 波力予測モデルの計算領域

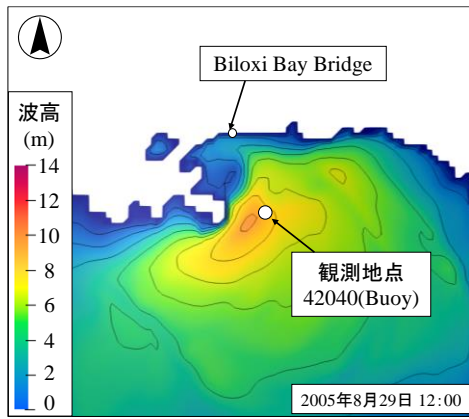
3. 対象とした被害事例と計算条件

3.1. 対象とした高潮による被害事例

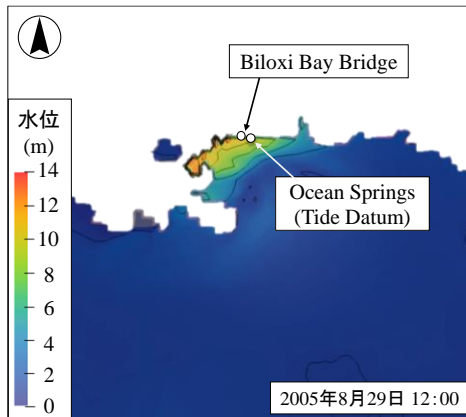
対象とした高潮は、2005年8月末に米国に来襲した Hurricane Katrina である。図-1に、Katrinaによって被災した US-90 Biloxi Bay Bridge の被害の様子を示す。この橋梁は、橋梁全体で125の桁から構成され、その中の桁高がおよそ27ft(約8.4m)以下の100の桁が流出に至ったことが、既往の調査で明らかとなっている。今回はこの橋桁の被害事例を対象に、モデルの妥当性を検証する。

3.2. モデルの計算条件

高潮予測モデルの計算領域を図-2に、波力予測モデルの計算領域を図-3に示す。波浪および海洋モデルの計算は図中の白線の領域にて実施し、高潮予測モデルの計算結果を用いて、波力予測モデルの実施している。



(a) 波高分布



(b) 水位分布

図-4 高潮の計算結果

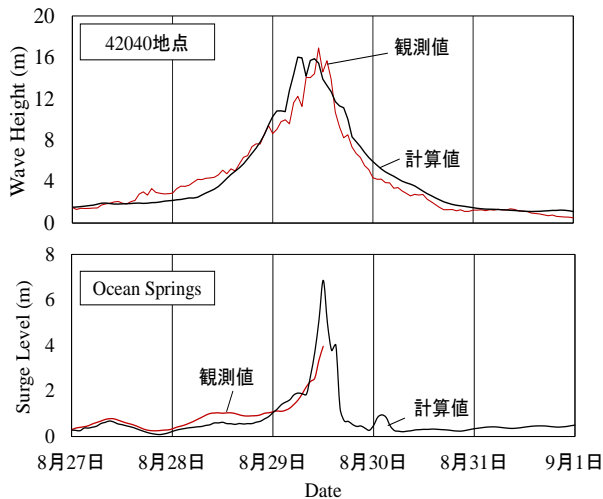


図-5 波高と水位の比較

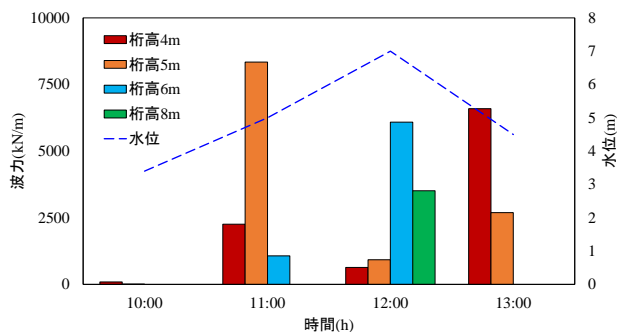


図-6 高潮波力水位の比較

4. 計算結果および考察

4.1. 高潮の予測結果の検証

高潮予測モデルによって高潮を予測した計算結果を図-4に示す。図は、Biloxi Bay Bridgeにおいて最大水位となった8月29日12:00の計算結果である。図(a)が波高、図(b)が水位を表している。図中の白丸印は、橋梁位置と、波高・水位の観測点である。図に示すように、対象橋梁付近では、波高が3.81m、水位が6.86mとなっている。モデルの妥当性を検証するために、米国海洋気象庁の観測値との比較を行った。波高と高潮水位の観測結果と計算結果の比較を図-5に示す。波高の観測値はNational Buoyの42040地点を、水位の観測値はTide DatumのOcean Springsのデータを用いた。図より、波高、水位ともに、計算結果は概ね良好であることが分かる。

4.2. 橋桁の被害予測

図-6は、解析対象橋梁の桁高を変更した際に作用する高潮波力と、水位変動のグラフである。図より、高潮波力が作用している時の橋桁の高さと波高・潮位に大きく依存していることが明らかとなり、流体外力(波力)が最大値となるのは、橋桁下面に波が作用する時であることがわかった。この結果は、Katrinaによる被災状況を再現できており、高潮現象によって発生する波浪および橋梁への流体外力をおおむね再現できていると考えられる。

5. 結論

本研究では、高潮予測モデルを連携した橋桁の作用力予測モデルの構築を行った。その結果、高潮予測モデルによる波高と水位の計算結果は観測結果と傾向が概ね一致していることが示された。橋桁の作用波力の計算では、高潮波力が橋桁の高さと波高・潮位に大きく依存しており、橋桁下面に波が作用する時に流体外力(波力)が最大値となることがわかった。さらに、その結果は、被害状況を再現できていることが明らかとなった。

以上のことから、本研究で構築した高潮現象に応じた橋桁への外力予測モデルは、周辺地形や橋桁形状を汎用的に考慮して、橋桁周辺の高潮現象と橋桁に作用する流体外力を高精度で予測可能であることが示された。

参考文献

- 1) 金 沫列, 安田誠宏, 間瀬 肇: 潮汐・高潮・波浪結合モデルによる土佐湾異常高潮の追算, 海岸工学論文集, Vol.55, 321-325, 2008
- 2) Douglass, S. L., Chen, Q. J., & Olsen, J. M. (2006). Wave Forces on Bridge Decks Prepared for. Transportation, April.
- 3) Warner, J. C., Sherwood, C. R., Signell, R. P., Harris, C. K., & Arango, H. G. (2008). Development of a three-dimensional, regional, coupled wave, current, and sediment-transport model. Computers and Geosciences, Vol.34, No.10, pp.1284-1306