

道路橋の津波被害再現解析

	(株)地震工学研究開発センター	正会員	○菅付 紘一
宮崎大学	工学部社会環境システム工学科	正会員	原田 隆典
	(株)地震工学研究開発センター	正会員	坂本 佳子
	(株)耐震解析研究所	正会員	野中 哲也
	(株)耐震解析研究所	正会員	吉野 広一
名城大学	理工学部建設システム工学科	フェロー会員	宇佐美 勉

1. はじめに

2011年3月11日にマグニチュード9.0の東北地方太平洋沖地震が発生し、この地震に伴った津波により、道路、ライフライン、構造物などが被災した。橋梁に対しては、I桁橋の桁が流失するといった被害が多数見受けられた（例えば、小泉大橋等）。2004年に発生したスマトラ沖地震および今回の東北地方太平洋沖地震により、津波についての研究が進み、橋梁の上部構造の流失メカニズム等が解明されつつある。著者らも3次元の流体解析ソフトによる津波解析およびその結果を用いた構造解析を実施して研究を進めている。本文では、これまで解析的検討を行ってきた小泉大橋およびその周辺についての津波被害の再現解析結果を報告する。

2. 対象橋梁の被害状況

検討対象橋梁の小泉大橋は、橋長が約180m、鋼3径間連続非合成I桁橋が2連で構成されている。この橋梁が東北地方太平洋沖地震に伴った津波によって大きな被害を受けた。写真-1に示すように、上部構造全てが流失し、さらに橋脚1基も倒壊した。橋梁本体だけでなく、橋台背面盛土や河川堤防までが洗掘された^{1),2)}。



写真-1 被害状況写真(Google Earth)

3. 再現解析の条件

3.1 解析対象領域

対象橋梁を含む幅250m(=橋長+70m)×長さ440m(津波進行方向)×高さ20mの直方体の領域を解析対象とする。河口側の領域端部(造波境界面)から津波を作用させる。対象橋梁の中心位置は、その端部から400mの位置にある。対象橋梁から下流境界面(津波の進行方向に対して下流側の端部)までは、解析領域をできるだけ小さくするため50mと短くした。本解析では、下流境界面において波が反射しない放射境界を定義しているため、このように50mにしても問題ない。造波境界側については、後述するようにゆっくり水位を上げる造波形状にするため、距離を長めの400mとした。

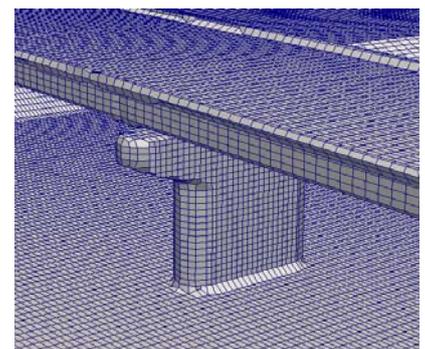


図-1 解析モデルメッシュ図

本解析領域に対して効率よくセル分割を行うため、対象橋梁近辺においては図-1に示すように細かくセル分割する。造波境界面近辺ではひとつのセルのサイズが2mであるが、橋梁近辺では0.25mまで小さくなっている。以上のようにセル分割して、本解析モデルは約1400万セルの大規模なモデルとなっている。

3.2 解析条件

対象橋梁が桁橋であることから、桁内の空気の塊が大きく影響することが著者らの研究³⁾でわかっているため、2相流(水と空気の不混和流体の非圧縮性)の解析とする。2相流解析ソフトとしてOpenFOAM⁴⁾を用いることにした。本解析ソフトは、離散化手法として有限体積法が、自由表面解析モデルとしてVOF法が採用されている。また、このソフトには津波の造波機能がないため、著者らとその機能を追加して解析を実

施した。造波条件としては、120秒で5m水位変動するような、ゆっくり水位が上昇する波を定義した。なお、前述の解析領域における橋梁の寸法および初期水位や水位変動（津波浸水深）については、文献1)、2)を参考にして決定した。

4. 解析結果

4.1 橋梁を含む周辺の解析結果

小泉大橋を含む周辺の解析結果の一部を図-2に示す。同図(a)では、津波が河川堤防を乗り越えながら、橋梁へ近づいているのがわかる。津波の先端部については、ソリトン分裂のような現象が起き、橋梁手前で津波先端部が多少盛り上がっていることもわかる。なお、橋梁近辺では、ソリトン分裂が十分に表現できるサイズ0.25m（1波長を20分割以上）になっている。

同図(b)では、津波が上部構造を乗り越え始めていること、さらに両サイドの橋台背面の道路盛土も津波が乗り越えていることがわかる。津波が道路盛土を乗り越えるため、橋台側の水位が増すことになって、橋梁の桁上を中央に向かって津波が流れる様子もわかる。このように道路盛土および河川堤防を津波が早い速度で越流するため、前述した写真のようにこの部分が洗掘されると想像できる。

4.2 桁に採用する波力

本津波解析により、対象橋梁の桁周りの圧力が算出できる。その圧力から鉛直方向の波力へ変換して、その波力（橋梁中央部の1径間分の合計波力）の時刻歴をグラフにすると図-3のようになる。このグラフから、桁に津波が衝突して、津波が上部工を越流し始めた時点（70秒付近）で、最大の鉛直方向波力を示すのがわかる。この鉛直波力は約5000kNにも達し、桁の死荷重より大きい。このことから、前述した写真のように桁が流失したといえる。

5. まとめ

小泉大橋に対して、3次元津波解析を実施することにより、津波被害の再現について解析的に検討を行った。できるだけ実現象に近づけるため、橋梁も含めた詳細な解析モデルを構築して、ゆっくり水位が上昇する津波を想定した解析条件とした。本検討により、対象橋梁の桁が流失して、橋台背面盛土や河川堤防が洗掘されたことが、概ね再現および想像できる結果が得られたと思われる。

謝辞：本論文において、造波方法及び境界の設定など、解析を実施するにあたり名古屋大学の川崎浩司准教授にご指導を頂いた。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 片岡, 金子, 松岡, 長屋: 道路橋の地震・津波複合応答解析, 第15回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 2012年7月.
- 2) (独) 土木研究所: 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震土木施設災害調査速報.
- 3) 吉野, 野中, 原田, 坂本, 菅付: I桁橋に対する津波作用力特性の解析的検討, 第15回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 2012年7月.
- 4) OpenFOAM ユーザー会, 一般社団法人オープンCAE学会: OpenFOAM ユーザガイド和訳, 2010.

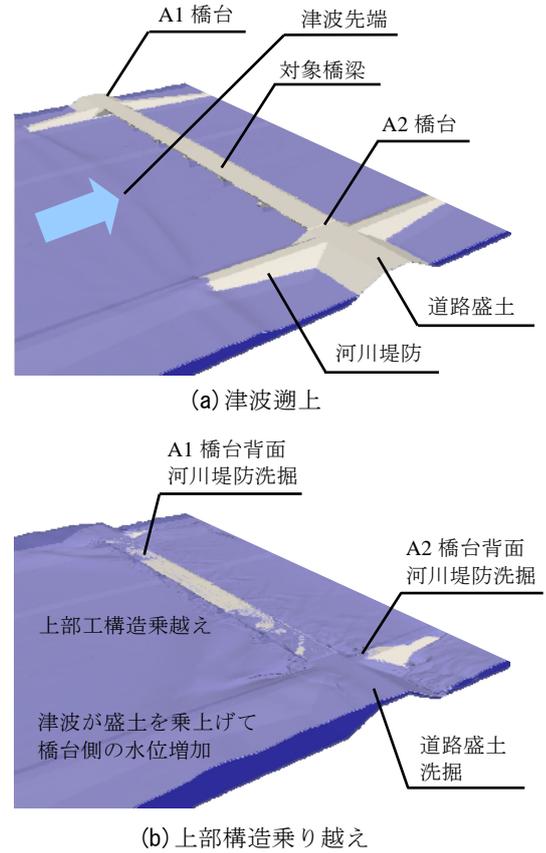


図-2 解析結果

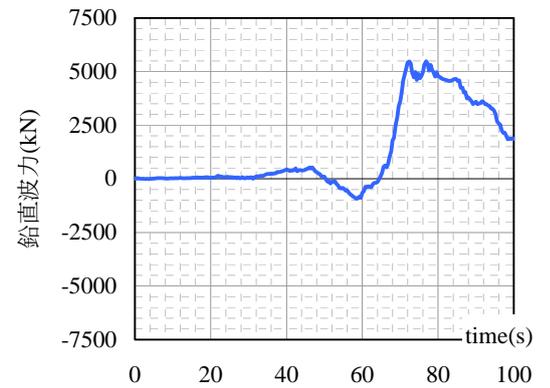


図-3 鉛直方向波力(支間 P3-P4)