

地震・津波漂流物の複合災害が及ぼす構造物の損傷度に関する基礎的検討

大成建設(株) 技術センター 都市基盤技術研究部 正会員 ○小尾 博俊

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震では地震による被害に加え、その後の津波や漂流物の衝突により構造物の被害がより一層拡大した可能性が指摘されている。これまで地震や津波といった単一災害に対する研究は盛んに行われてきたが、地震、津波、漂流物といった一連の災害による構造物への影響について検討した例は極めて少ない。そこで本検討では、これら複合災害を受ける構造物について数値解析を実施し、構造物の損傷度について評価した。

2. 検討方法および解析モデル

検討対象とする構造物は、鉄道の高架橋として最も一般的な構造形式である RC ラーメン高架橋とした。その構造図を図-1 に示す。本検討では、高架橋の柱を中心に1径間10mあたりの損傷度を評価することとし、図-2 に示す FEM モデルを用いた。

複合災害としては地震とその後続く津波漂流物の衝突を取り上げる。地震動は東北地方太平洋沖地震において、防災科学技術研究所の強震観測網で観測された北上記録波を参考にした。

地震に続く津波漂流物の衝突解析では、粒子法の一つである SPH 法により津波を表現し、構造物は FEM でモデル化した流体-構造連成解析を用いた。陸上に遡上した津波がコンテナを漂流物とし、高架橋の柱に橋軸直角方向から衝突するものと想定した。津波の速度は東北地方太平洋沖地震で観測された最大級の流速を仮定し、初期条件として水深3m、初速10m/s、漂流物は満載時のコンテナ質量24tとした。このときの解析領域を図-3 に示す。

3. 解析ケースおよび解析結果

解析ケースは表-1 に示すように、地震および津波漂流物の衝突をそれぞれ単一災害としたケース1, 2, 3と、地震に引続き津波漂流物の衝突を受ける複合災害としたケース4, 5とした。漂流物は実強度相当の非線形材料と剛性の高い場合を想定した線形材料とを考えた。また、高架橋のプッシュオーバー解析1'による地震応答との比較や、津波の影響を考慮せず、空中で衝突した場合の

比較解析2', 3'も合わせて実施した。

ケース1の地震応答解析で得られた高架橋床版の応答

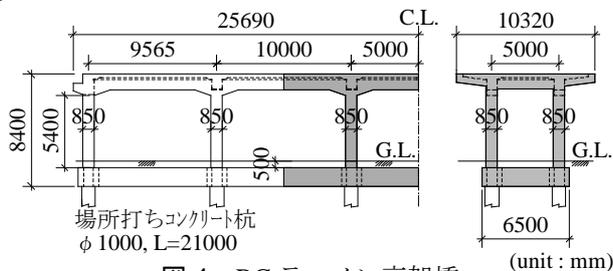
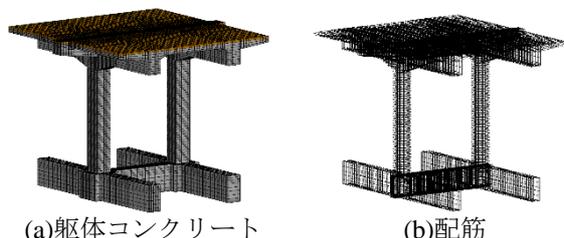


図-1 RC ラーメン高架橋



(a) 躯体コンクリート (b) 配筋
図-2 高架橋1径間 FEM モデル

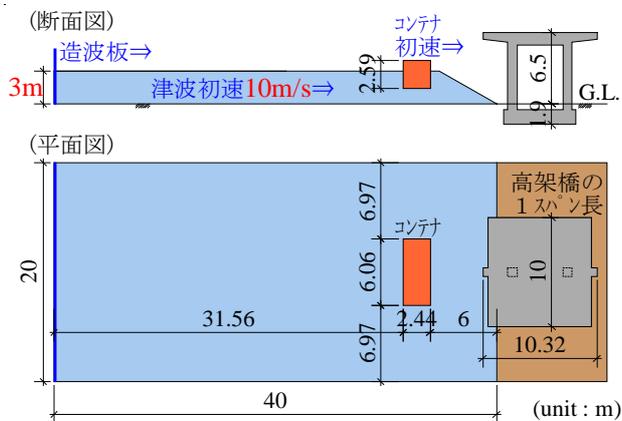


図-3 解析領域

表-1 解析ケース

case	解析内容	備考
1	地震応答解析	—
1'	プッシュオーバー解析	1と比較
2	津波漂流物の衝突(非線形)	—
3	津波漂流物の衝突(線形)	—
2'	空中での衝突(非線形)	2と比較
3'	空中での衝突(線形)	3と比較
4	複合災害 1に引続き, 2を実施	2と比較
5	複合災害 1に引続き, 3を実施	3と比較

キーワード 地震, 津波漂流物, 複合災害, 高架橋, 粒子法

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町344-1 大成建設(株) 技術センター TEL 045-814-7232

変位は最大 85mm 程度であった。これは 1' のプッシュオーバー解析における最大荷重時の変位に概ね相当しており、ケース 1 で与えた地震波は高架橋の耐力にほぼ等しい加振になっていたと言える。

次に、津波漂流物を衝突させたケース 2, 3 と、津波の影響を考慮せず空中で衝突させたケース 2', 3' の解析結果を比較する。漂流物の衝突力と高架橋柱の変位について、それぞれのケースの時刻歴を図-4, 5 に示す。衝突力の最大値は津波の有無にかかわらず、漂流物の剛性が同じであれば概ね同程度となっている。これに対し、高架橋柱の変位は、津波の有無および漂流物の剛性により大きな違いが生じることが分かる。

さらに、津波漂流物が衝突するケース 2, 3 と、地震に引続き津波漂流物が衝突する複合災害としたケース 4, 5 の解析結果を比較する。先と同様に、漂流物の衝突力と高架橋柱の変位について、それぞれのケースの時刻歴を図-6, 7 に示す。すると、衝突力の最大値については、複合災害と津波漂流物のみの単一災害ではほとんど違いがないことが分かる。一方、高架橋柱の変位は、複合災害と単一災害および漂流物の剛性により有意な差が生じる。

最後に、漂流物の剛性が高い場合を想定したケース 3, 5 の損傷過程を考察する。図-8 に時間毎の高架橋の損傷状況を示す。ケース 3 は漂流物の衝突を受ける柱の上下端でコンクリート要素の一部が破壊ひずみ (=0.1 を仮定) に達するものの、破断ひずみ (=0.2 を仮定) に達する鉄筋要素はなく柱の崩壊は免れている。これに対し、ケース 5 は地震応答により相当程度の損傷を受けているため、漂流物の衝突によって柱の上下端を中心に、コンクリートおよび鉄筋要素のひずみは直ちに破壊/破断ひずみに達し、柱の崩壊を招いている。

4. まとめ

本検討の条件内で得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 地震後に津波漂流物の衝突を受ける複合災害は、地震を考慮しない場合と、衝突力に大きな違いは見られないが高架橋の変位には有意な差が生じる。
- (2) また、津波漂流物の質量、衝突速度が同じであっても漂流物の剛性により、高架橋の変位には大きな差が生じる。
- (3) 複合災害では単一災害で生じる損傷が進展・累積する過程を考慮した検討が必要になる。

今後は、シナリオ設定の妥当性、超過外力に対する解析精度等についてさらに検討を進める予定である。

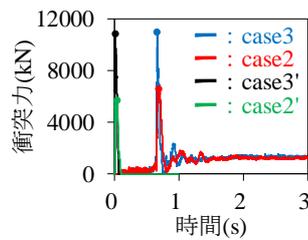


図-4 衝突力時刻歴 (津波 vs. 空中)

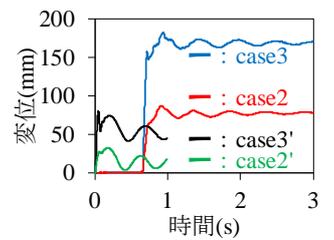


図-5 変位時刻歴 (津波 vs. 空中)

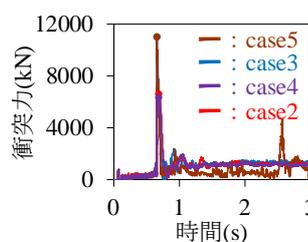


図-6 衝突力時刻歴 (複合 vs. 津波)

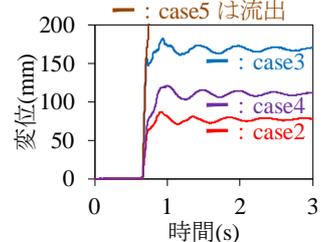


図-7 変位時刻歴 (複合 vs. 津波)

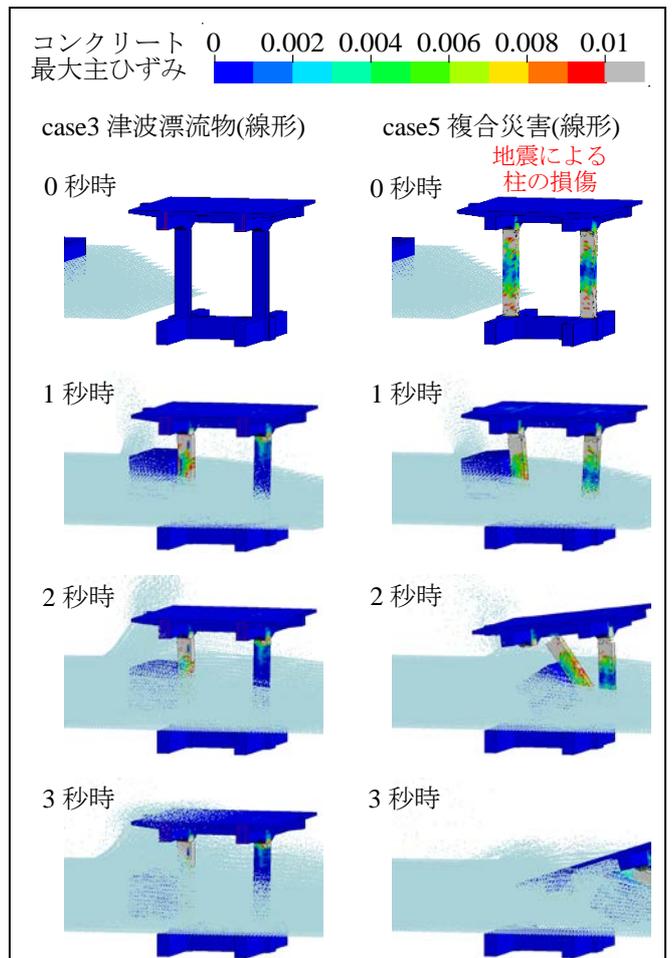


図-8 高架橋の損傷状況

謝辞：本検討に際し、防災科学技術研究所の強震観測網の公開データを利用させていただきました。ここに記して謝意を表します。