

液状化地盤における鉄道高架橋の応答解析と実現象比較

JR 東日本 正会員 ○藤原 寅士良, 和田 旭弘, 高崎 秀明

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て、千葉県浦安市の京葉線沿線では著しい液状化現象が確認された。しかし、京葉線高架橋は、液状化に配慮した設計を行っていたこともあり、高架橋の傾斜や部材の損傷等の被害が無かった。本論では、鉄道構造物等設計標準耐震設計¹⁾(以下、耐震標準)による方法で、新浦安駅で観測された地震波に基づく静的非線形解析・応答スペクトル法による液状化時の高架橋応答解析を行ったので、解析と実現象の比較結果と考察を述べる。

2. 対象高架橋

再現解析の対象とした高架橋は、著しい液状化現象が確認された新浦安駅付近における一般的な高架橋プロポジション、配筋、杭形式を有するラーメン高架橋とした(図-1 参照)。解析を行う方向は線路直角方向とし、調整桁荷重が載荷される端部ラーメンとした。なお、荷重条件は、地震当時の状況を踏まえ列車荷重が載荷されていない状況とした。材料諸定数・諸元に関しては、建設記録として残されている財産図の値を用いることとし、各種安全係数、材料係数に関しては再現解析なので 1.0 とした。解析に用いた代表的諸元を表-1 に示す。杭部材は、実際は鋼管コンクリート合成杭(SC 杭)であるが、本解析では、鋼管断面積を鉄筋量換算した RC 杭として近似した。地盤バネ値については、建設当時の地質調査結果に基づき N 値換算式により求めており、 α_f (基礎の支持力係数)は 1.0 とした。

3. 新浦安駅観測波による液状化判定結果と弾性加速度応答スペクトル

当該箇所付近の地盤は、N 値換算による V_s 算定式を用いて固有周期を算出すると G6~G7 地盤となる。耐震標準に基づき、新浦安駅観測波を用いて実施した液状化判定結果は、 P_L が 19.9 となり、地盤表層からの約 13m の範囲が $F_L=0.7$ と算出された²⁾。新浦安駅で観測された地震波の弾性加速度応答スペクトル(減衰 5%)を図-2 に示す。なお、京葉線は全体的に東西方向が線路方向であり、線路直角方向は南北方向となるため、観測波は NS 成分で検討することとした。

4. 静的非線形解析結果

耐震標準に従い、 $P_L=19.9$ ($5 \leq P_L < 20$) とした場合の解析結果を図-3 に示す。 $P_L < 20$, $F_L=0.7$ であることから、耐震標準に基づく地盤諸定数の低減係数が 0.2 となり、完全突出杭では無い状態となる。また、 $P_L=19.9$ と算出されているが、 $P_L \geq 20$ 以上として完全突出杭とした場合の解析結果を図-4 に示す。なお、いず

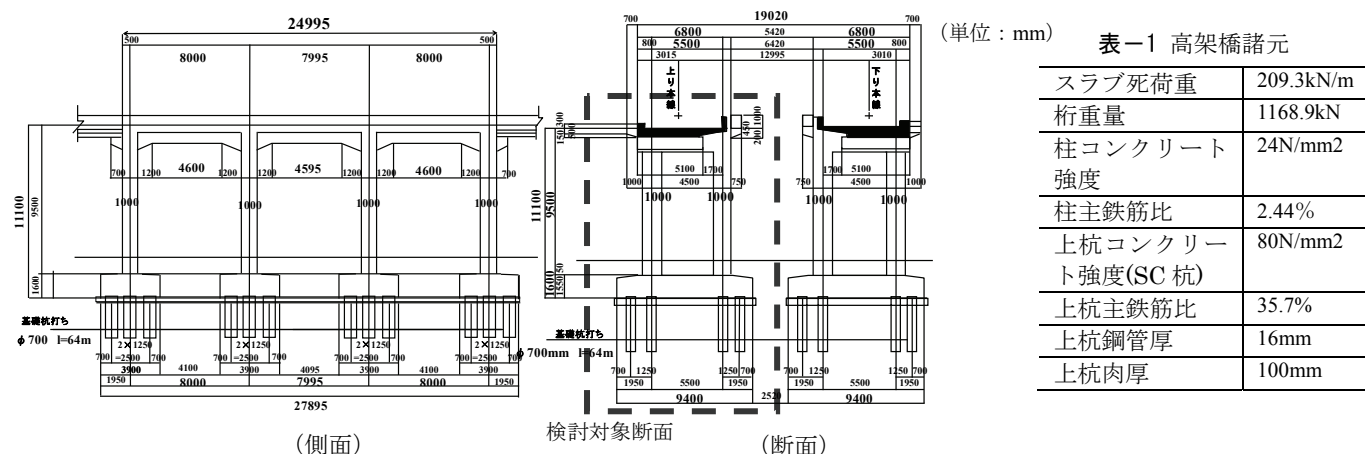


図-1 対象高架橋一般図

キーワード 液状化, 鉄道高架橋, 再現解析

連絡先 〒144-0055 東京都渋谷区代々木 2-2-2 東日本旅客鉄道(株) 構造技術センター TEL 03-5334-1288

れの場合も、耐震標準に基づき、液状化時の耐震設計上の地盤面は、液状化すると判定される層が地表面から 10m 以下となっているため、地表面から 10m と設定した。

1) $P_L=19.9$ として計算した場合（完全突出杭ではない場合）

最大応答震度は 0.53 となり、頂部変位が約 100mm と図-3 に示す箇所まで応答する結果となった。解析では柱部が降伏する応答となったが、実現象として柱部は、ひび割れ等も確認されておらず、降伏まで応答しなかったと推定される。解析結果と実現象の差異の理由は、①：鉄筋およびコンクリートの実際の材料諸元が、財産図記載の値よりも大きい、②：実際の杭の水平地盤バネ値が設計上の値より大きい、といった点が考えられる。

2) P_L が 20 以上として計算した場合（完全突出杭とした場合）

最大応答震度が 0.30、頂部変位が約 100mm と図-4 に示す箇所まで応答する結果となった。解析による応答は弾性域であり、実現象にて変状が確認されていない点と整合している。

再現解析の結果、耐震標準に基づき杭部に低減した水平地盤バネを考慮して計算すると柱部が降伏し、実現象と異なる結果となった。しかし、 P_L 値が杭部に低減した水平地盤バネを考慮できない閾値に近いため、完全突出杭として計算すると実現象と整合する結果となった。

5. 考察とまとめ

著しい液状化が発生した箇所におけるラーメン高架橋の再現解析と実現象を比較した結果、実際に顕著な被害が無かった要因として、以下の 3 つのシナリオが推定される。

- ・ 液状化により、完全突出杭の状況となり構造物の固有周期が長くなり、300gal 程度しか応答しなかったため、被害が出なかった。
- ・ 高架橋は約 530gal 応答したが、液状化時の杭部水平地盤バネは設計上考慮されている値よりも大きく、柱の降伏震度が応答震度よりも大きかったため、被害が出なかった。
- ・ 高架橋は約 530gal 応答したが高架橋の材料強度に余裕があり、柱の降伏震度が応答震度よりも大きかったため、被害が出なかった。

また、耐震標準に基づく解析結果と実現象が整合しなかった要因として、以下の 2 点が挙げられる。

第 1 点は、液状化時の水平地盤バネの低減度であり、耐震標準における $P_L \cdot F_L$ の数値に対する水平地盤バネ低減度が大きすぎる点が考えられる。本点について、より詳細な研究や検証が望まれる。

第 2 点は、図-2 で示した弾性加速度応答スペクトルは最初から最後まで観測波形によるものである点である。応答スペクトル法を用いる場合、液状化発生前と液状化発生後に分離して弾性加速度応答スペクトルを算出し、それを用いた検証を行うと解析結果が実現象と整合する可能性がある。

【参考文献】

- 1) 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計：鉄道総合技術研究所編，丸善，1999.10.
- 2) 京葉線における液状化状況と鉄道構造物：和田ら，総合土木研究所 基礎工，2012.4. vol.40, No.4, pp.71-73

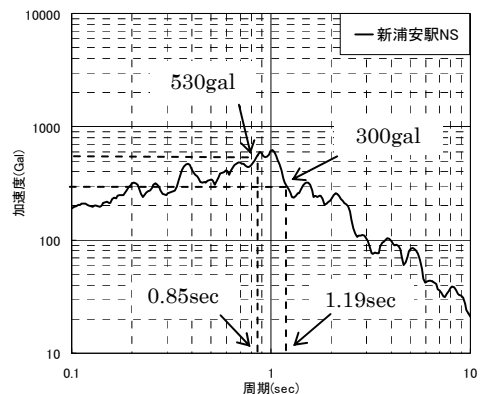


図-2 新浦安駅観測波
弾性加速度応答スペクトル

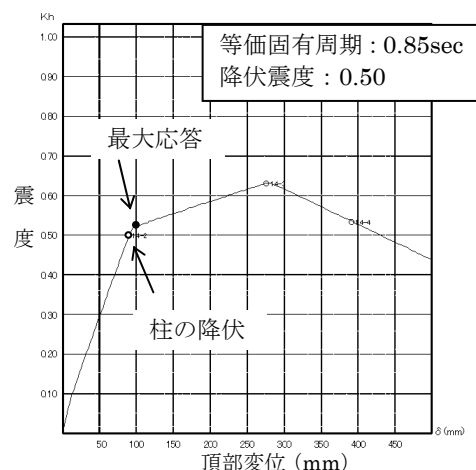


図-3 $P_L=19.9$ とした場合
の荷重変位曲線

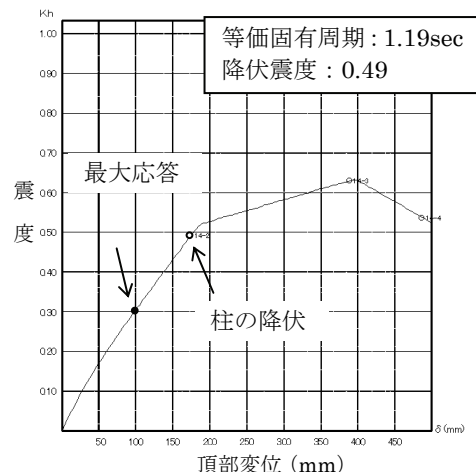


図-4 P_L 20 以上とした場合
の荷重変位曲線