

局所的な地盤条件が鉄道高架橋の被害に与える影響について

菊入 崇¹・室野剛隆¹・永妻真治²・西村昭彦³

¹正会員 工修 (財)鉄道総合技術研究所基礎担当 (〒185 東京都国分寺市光町 2-8-38)

²正会員 同 上

³正会員 工博 同 上

これまでの鉄道高架橋の地震被害では、一連の高架橋のうち被害が局所的に発生しているような被害例が報告されている。このような被害は局所的な地盤の地形・地質の変化、さらに地盤の卓越周期と構造物の固有周期との関係が深く関連していると思われる。

本研究は、過去の鉄道高架橋の被害例の中から、その被害状況が上記の傾向に当てはまるものを調査し、その中でも最も特徴的であった千葉県東方沖地震で被害を受けた鉄道高架橋について、地盤条件を適切に評価した地震応答解析を実施し、実際の被害状況のシミュレーションを行いながら、地盤の局所的な変化が地震時の地盤挙動に与える影響について検討した。

Key Words: topographical irregularities, railway frame structure, earthquake damage, earthquake response analysis

1. 目的

これまでの地震被害では、一連の高架橋のうち被害が局地的に発生しているような被害例が報告されている。このような被害は、局地的な地盤の地形・地質の変化による影響、さらに地盤の卓越周期と構造物の固有周期との関係がと深く関連しているのではないと思われる。ここでは、過去の鉄道高架橋の地震被害の中から、その被害状況が上記の傾向に当たるケースを抽出し、地盤の地震応答解析を実施し、実際の被害状況と対比しながら、地盤の局地的な変化が地震時の地盤挙動に与える影響について検討を行った。

2. 高架橋の被害¹⁾

検討の対象となった高架橋は、千葉県東方沖地震 (1987 年 12 月, $M=6.7$) により大きな被害を受けた。第1高架橋では、中央付近 (第1～6ブロックのうち、第2～4ブロック) において柱上端がせん断破壊によるひび割れ、かぶりの剥離が見られ、杭にも小規模のひび割れが生じた。一方、隣接する

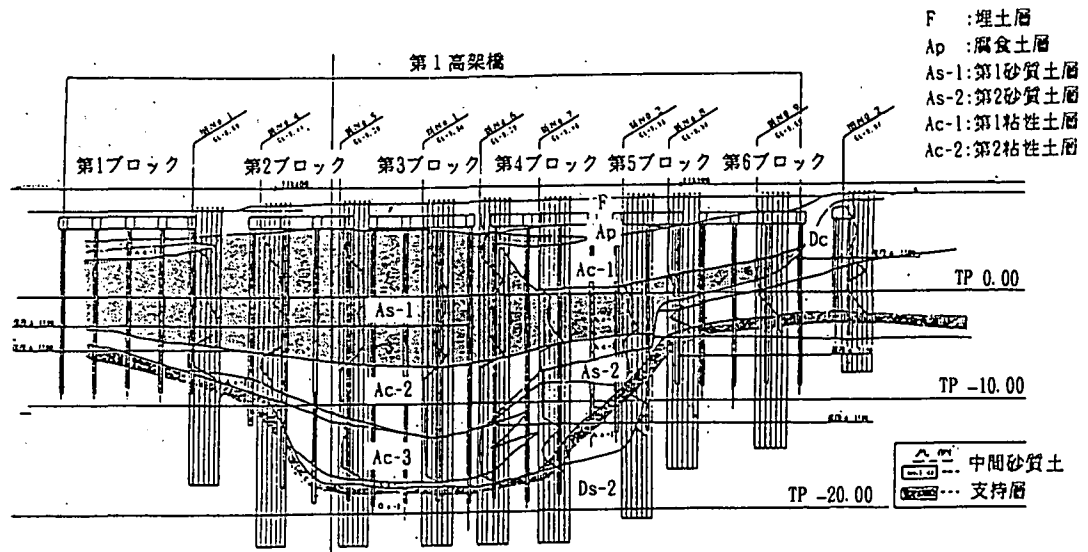
第2高架橋では、特に大きな被害は見られなかった。

3. 地盤条件

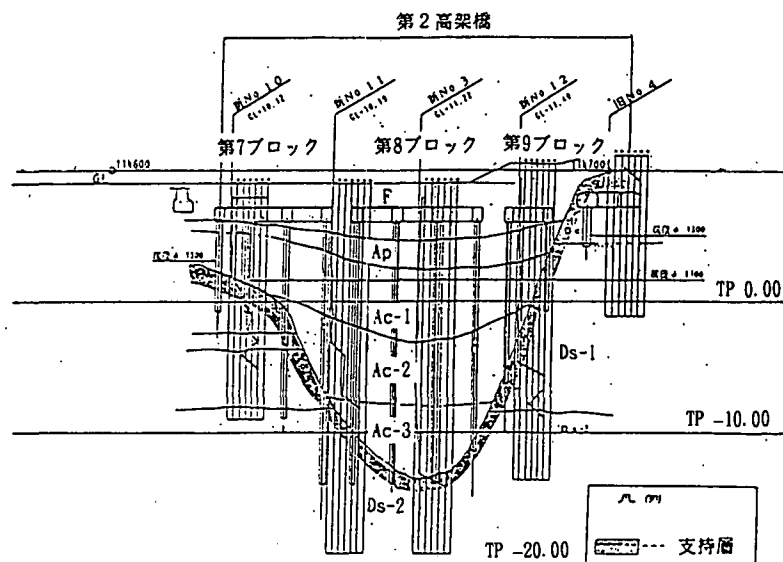
図1に第1高架橋および第2高架橋の地質縦断面図を示す。両高架橋とも中央部の支持層が大きく凹んだいわゆる溺れ谷地形上にあるが、被害が大きかった第1高架橋は、被害がなかった第2高架橋と違い、表層地盤にN値10～50、厚さ10～13mの砂質土 (A_s-1) が介在している。この砂質土は、特に第2、第3ブロックに顕著に介在している。また、第2、第4ブロック付近では、支持層が急激に傾斜を有している。一方、第2高架橋では、第1高架橋で見られた砂質土層は見られず、支持層まで軟弱な粘性土層が主体となっている。第8ブロックで支持層までの深さが最も深く、谷部を挟んだ第7、第9ブロックは急激に支持層が浅くなっており、第1高架橋同様に、基盤面は不整形性を有している。

4. 解析方法

地盤の解析では、有限要素法 (FEM) と境界要



(a) 第1高架橋



(b) 第2高架橋

図1 地盤条件および構造物位置概要

素法 (BEM) のハイブリッド法を用いた解析プログラム²⁾を用いる。これは、複雑な地層分布を細かく評価できる有限要素法と無限領域の波動伝播を取り入れやすい境界要素法のカップリング手法を用いたものである。なお、この解析プログラムは、現段階では地盤のひずみ依存性は考慮できないので、地盤の非線形性を考慮する場合は、事前に数断面について1次元等価線形化法 (SHAKE) を用いて応答解析を実施してひずみレベルを求め、それに応じた G , h を算出し、解析に用いた。

5. 解析モデル

土質定数等の物性値は、土質調査結果に基づいて定めた。また、入力地震動は、検討対象高架橋から約7 km 離れた運輸省港湾技術研究所内に設置され

た地震計で記録されたもの³⁾を用いた。地震計は、泥岩上に設置されており、基盤入力動として適した強震記録であると考えられる。解析上は、この記録を2E (E: 入射波) として基盤に鉛直入射した。

6. 解析結果

(1) 最大応答加速度・変位の空間分布

各高架橋の地表面における最大応答加速度および最大応答変位の空間分布を図3に示す。

a) 第1高架橋

応答加速度、応答変位とも複雑な分布をしており、基盤面の不整形性ととも表層地盤の地層構成も大きく影響していると考えられる。最大応答加速度で評価した場合、被害が顕著だった第3ブロック付近で大きな加速度が発生する一方、被害がなかった第

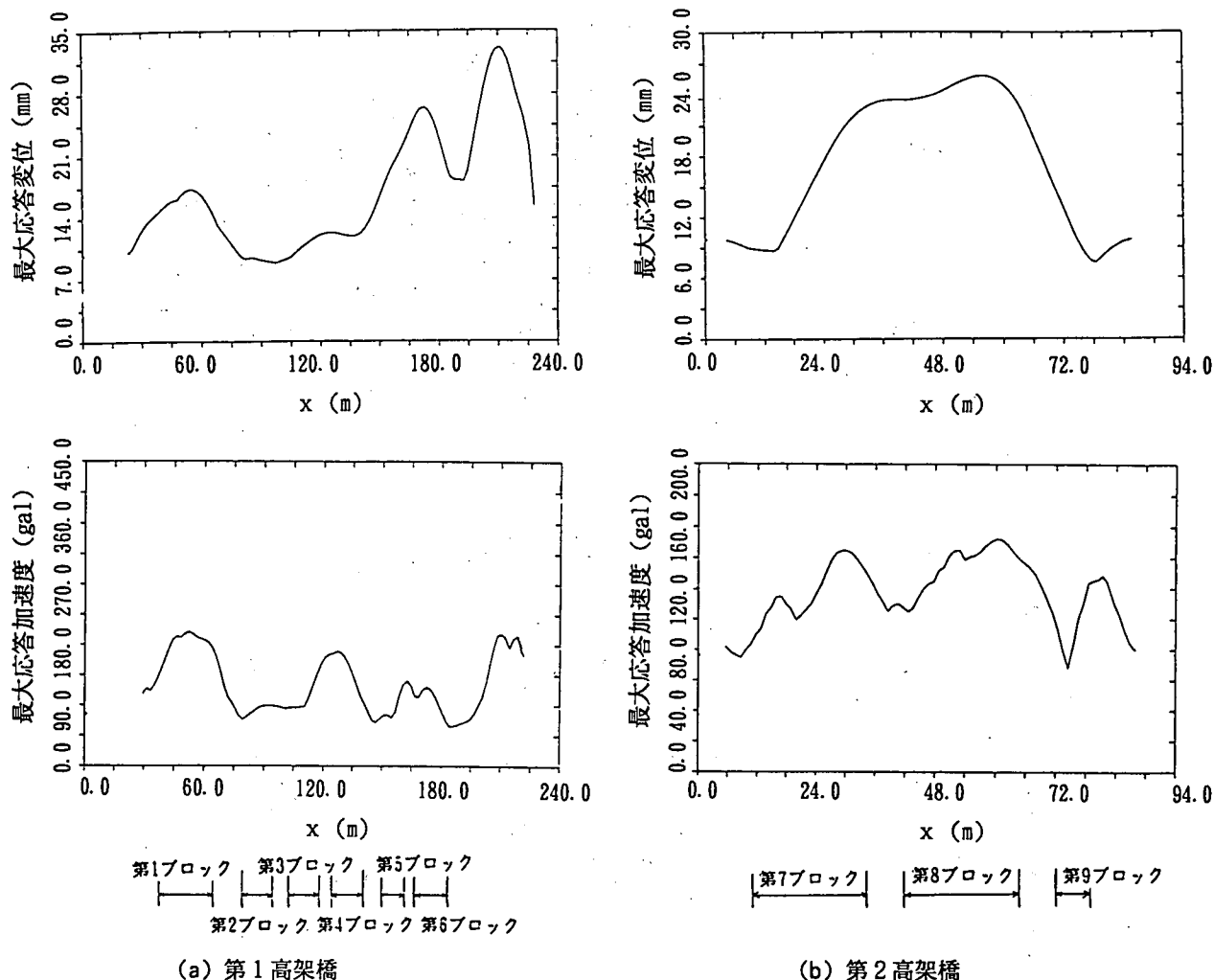


図2 最大応答値の空間分布（線路方向）

1, 第6ブロック付近でも大きな加速度を生じている。また、第1高架橋と第2高架橋では、レベルの違いが少なく、最大応答加速度の空間分布からだけでは、解析結果が実際の被害状況を説明しているとは言えない。

b) 第2高架橋

第2高架橋では、谷を埋めている土質が粘性土で地層構成も平坦であり、応答変位、応答加速度とも基盤面の不整形性による影響が顕著に現れている。

(2) 加速度応答スペクトル

次に、地盤の解析結果から得られた地表面の応答によって、構造物の応答がどのようなになったかを検討する。各高架橋のブロックが存在する位置から3点ずつ代表点を取り出し、その地表面の応答波形の加速度応答スペクトルで示したのが、図3である。なお、減衰定数は、 $h = 0.02$ とした。

a) 第1高架橋

第3, 4ブロックのみ0.4~0.5秒付近の応答が卓越し、その他のブロックでは0.2秒程度の短周期の応答が卓越している。構造物の固有周期は、地震

後の実測結果では、第1高架橋で0.38秒、第2高架橋で0.29秒であった。両高架橋は構造形式が同じであるため、本来の固有周期はほぼ同程度であると考えられるが、第1高架橋は、地震による被害を受け、柱等の剛性低下のために固有周期が低くなったものと思われる。被害が特に大きかった第3ブロックでは、0.38秒の固有周期を持つ構造物は1000gal程度の応答加速度になることが分かる。静的な耐力解析から、高架橋は柱のせん断先行型の破壊形式となり、その時の震度が0.74~0.89であることが分かっている⁴⁾。このことから、第3ブロックの柱がせん断破壊したという実際の被害状況と解析結果とが非常によく対応している。また、軽い被害を受けた第4ブロックでは、0.38秒付近で500~700gal程度の応答加速度になり、耐力的に厳しい状況であったことが解析からも分かる。

一方、特に目立った被害がなかった第5, 6ブロックでは、この周期帯では応答加速度は400gal以下であり、せん断破壊しないことが確認できた。また、第6ブロック付近で局所的に大きな加速度が生じていたが、その卓越周期は構造物のそれとずれて

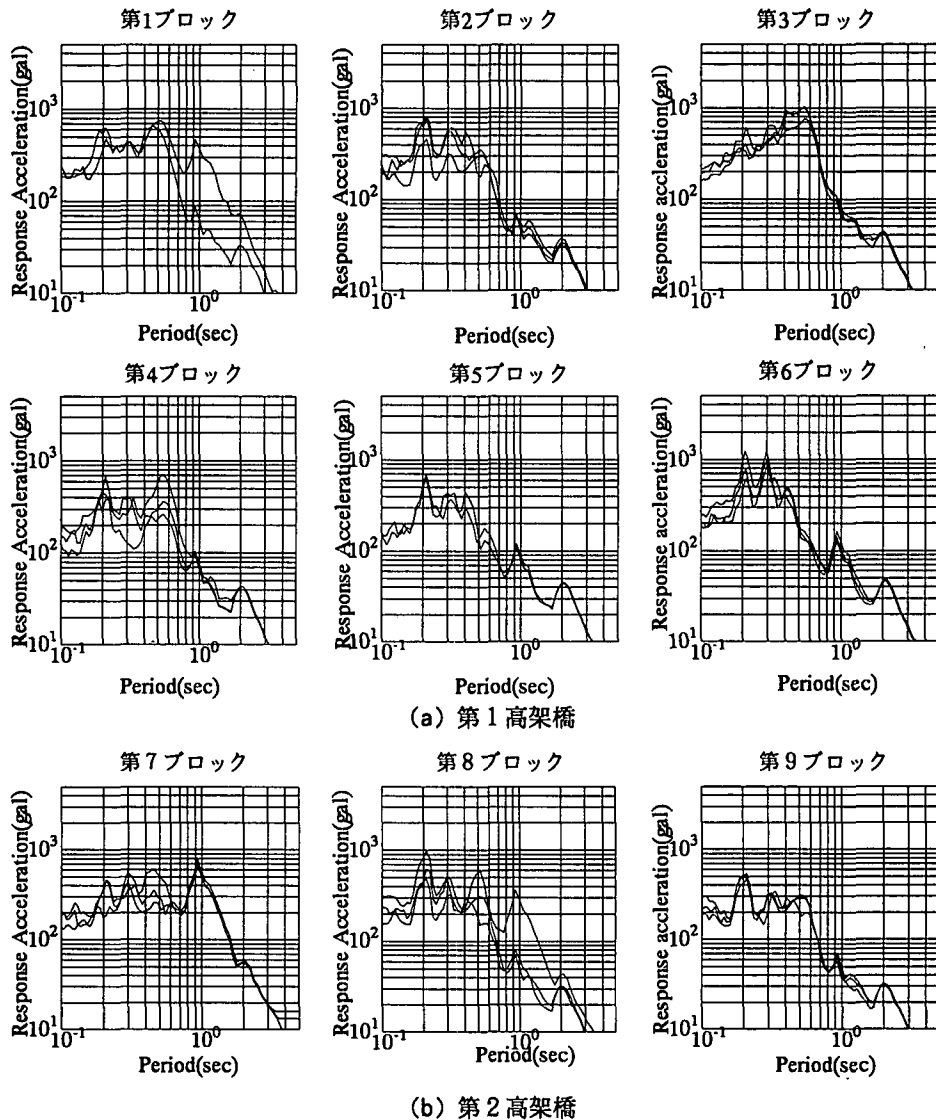


図3 加速度応答スペクトル

おり、被害に結びつかなかったものと推測される。

b) 第2 高架橋

第2 高架橋では、構造物の固有周期が存在すると思われる 0.29 秒付近では、構造物の応答加速度は 500 gal 程度以下であり、せん断破壊には至らないことが分かる。

このように、解析の結果は、実際の被害状況とよく一致しており、地盤を適切に評価することで実際の被害原因をよく説明しうることが分かった。

8. おわりに

今回は、過去に地震によって被害があった地盤について、土質調査結果に基づいて地盤をモデル化し、地盤の局地的な変化を2次元でモデル化することで、地盤の地震応答解析を実施した。その結果、適切に地盤を評価することで構造物の複雑な被害状況を説明できることが確認できた。また、被害状況の説明には、最大加速度のみではなく、その周期特性が重

要であることも再確認された。

今後の耐震設計では、基盤面の形状、表層地盤の特性を反映した設計法の確立が重要であると考えられる。

謝辞：本解析を行うにあたり、資料を提供して頂いた京浜急行電鉄(株)丹生春雄課長に謝意を表します。

参考文献

- 1) 水深高架橋被害調査委員会：千葉県東方沖地震による水深高架橋被害調査報告書, 昭和 63 年 9 月
- 2) JIANG, JIANQUEN, STUDIES ON DYNAMIC SOIL-STRUCTURE INTERACTION OF EXTENDED HIGH-PIER BRIDGES, Ph. D. THESIS OF OKAYAMA UNIVERSITY, 1993. 9
- 3) 倉田, 野田, 樋口：千葉県東方沖地震の港湾地域における強震記録, 港湾技研資料 No. 619
- 4) 西村, 松本, 棚村：鉄道高架橋の震害と原因の推定(その2), 第 20 回地震工学研究発表会講演概要, pp. 17 ~20, 平成元年 7 月