

構造物群に着目した延長 140m の鉄道高架橋の三次元材料非線形地震応答解析

JR 東日本コンサルタンツ（株） フェロー正会員 ○小林 薫
 東日本旅客鉄道（株） テクニカルセンター 正会員 渡部 太一郎
 （株） コムスエンジニアリング 正会員 土屋 智史
 前田建設工業（株） 正会員 米田 大樹
 横浜国立大学 フェロー会員 前川 宏一

1. はじめに

鉄道や道路の構造物は、路線上に配置されるため、線状に連続する形態となる。線状配置の構造物は、道路や河川との交差、他の構造物との隣接、地盤性状などにより構造が変化する。構造物の設計は、構造物単位で行われるのが一般的で、隣接構造物の影響は、鉄道で目違い、折れ角など、列車走行性の照査で評価される場合がある。構造物上の走行列車は、編成長に応じて複数の構造物上に載荷されるため、構造計画、構造設計では複数の構造物を集団とした構造物群として取り扱う必要があると考える。隣接構造物を含めた構造物群での解析は、周辺地盤の挙動を含めた構造物相互の地震時挙動や損傷レベル、付帯設備（PC 電化柱、防音壁）の挙動など、解析結果から様々な情報を得ることができる。これからの情報から、構造物の耐震性能評価、損傷に対する復旧方法、損傷軽減のための耐震補強検討など、構造物群を解析対象にする意義は高いと思われる。

本文は、延長 140m の鉄道高架橋を対象に、地盤と連成した三次元材料非線形 FEM 解析による検討結果を示す。

2. 三次元非線形 FEM 解析の概要

2. 1 検討対象構造物の概要

本検討では、新幹線高架橋を検討対象とした。検討範囲は、高架橋延長で 140m である。構造物の構成は、東京方から 1 層 3 径間 RC ラーメン、橋長 30m の PC 桁、PC 桁は高さ 10m 程度の RC ラーメン橋台で支持、2 層 3 径間 RC ラーメンとなっている。2 層ラーメンの上層の柱では、鋼板巻き補強を行っている。構造物間は、橋長 10m 程度の T 型断面の調整桁で接続されている。

基礎構造は、ひとつのフーチングに多数の RC 既成杭が配置された群杭基礎となっている。RC 既成杭の直径は、RC ラーメン高架橋で 0.35m、RC ラーメン橋台で 0.5m である。杭長は、全構造物共通で 9.0m である。地層構造は、地表から深さ 5m 程度までは N 値 10 程度の砂質ローム、シルトの層で、深さ 5～11m に礫混じり粗砂、細砂で N 値が 15～50 程度とばらついている。支持層は細砂で N 値は 50 程度となっている。

2. 2 解析モデル

図-1 に、解析モデルを示す。地盤と構造物は、三次元ソリッド要素を用いてモデル化した。地盤は、各層の N 値を基本にせん断応力-せん断ひずみ関係の骨格曲線に R-O モデル（体積塑性非考慮）、RC の構成則は岡村・前川モデル¹⁾を用いた。解析ツールは COM3D である。材料強度は、設計値を用いた。

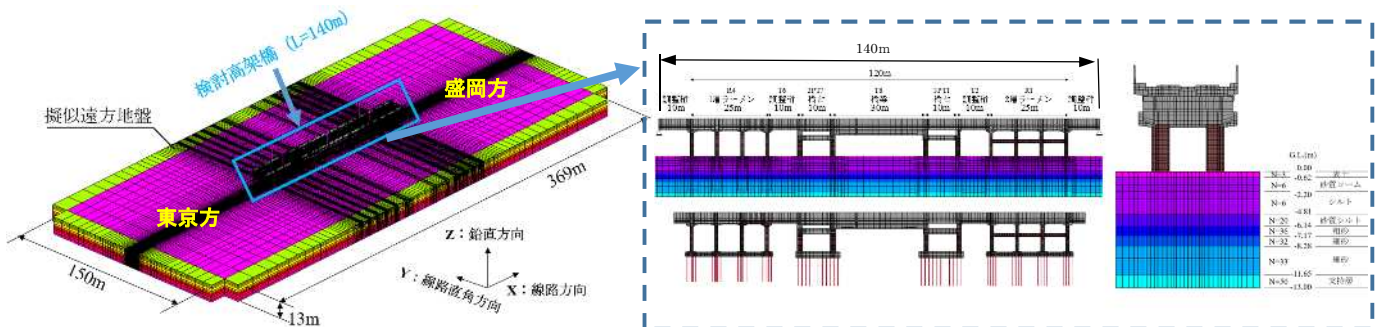


図-1 解析モデル概要図

キーワード 三次元材料非線形 FEM 解析 鉄道高架橋 地盤構造物連成地震応答解析

連絡先 〒331-8513 東京都品川区西品川一丁目 1 番 1 号大崎ガーデンタワー 14F JR 東日本コンサルタンツ（株） TEL03-5435-7629

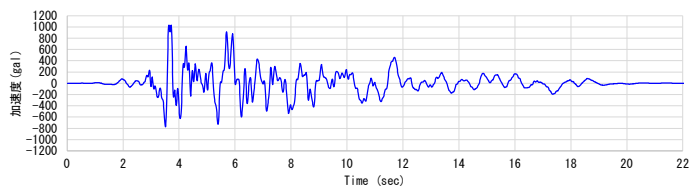
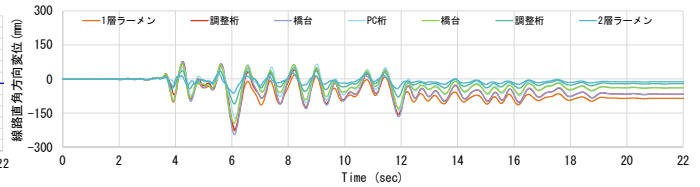
図-2 入力波形²⁾

図-3 線路直角方向の応答変位時刻歴

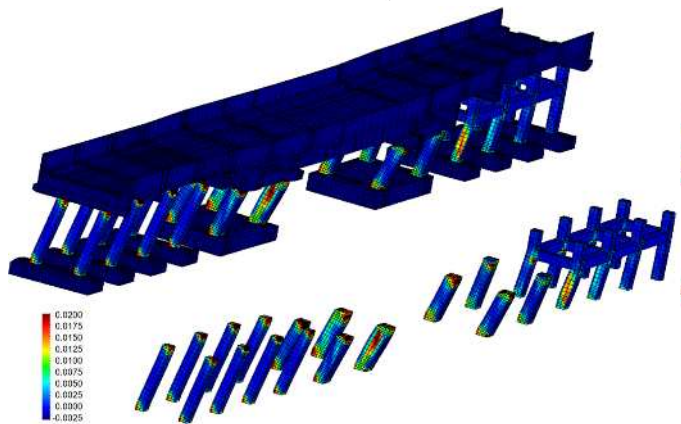


図-4 負側最大時のコンクリート引張損傷+変形図

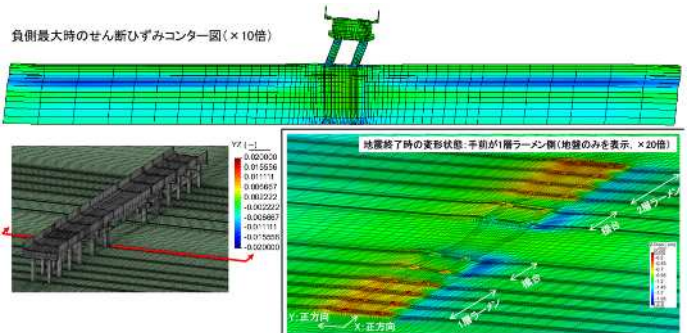


図-5 負側最大時の地盤せん断ひずみと地震終了後の変形

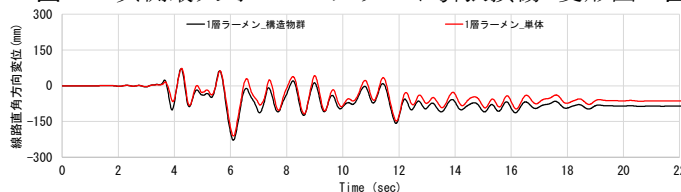


図-6 ラーメン高架橋単体と構造物群の解析結果比較

解析は、モデル側面を鉛直ローラーとして、死荷重と土圧を常時荷重として考慮した後、粘性境界を介して自由地盤振動を模した疑似遠方地盤を接続して線路直角方向に図-2の地震動²⁾を入力した。この時、モデル底面にもエネルギーの逸散を考慮するための粘性境界を設定している。

3. 解析結果

代表位置における、線路直角方向の応答変位時刻歴を図-3に示す。重量のあるPC桁が振動の支配的要因となっており、約6.1秒時に1層ラーメン側のラーメン橋台で負側最大変位となっている。負側最大時のコンクリートの引張損傷を表す偏差ひずみ第2不変量の重み付け平均を行ったコンターに、変形図(変形量10倍に拡大)を重ねて図-4に示す。これによれば、1層ラーメンや2層ラーメン側の橋台は曲げ型の応答となっているが、1層ラーメン側の橋台や2層ラーメンの一部の柱では、せん断型の損傷が確認できる。類似形状の2つの橋台で損傷に明確な差異がみられ、連続する構造物群の形状や支持/支承条件や地震中に変動する荷重分担等の影響が表れている。図-5に構造物周辺の負側最大時の地盤せん断ひずみコンター図と、地震終了後の変形(沈下)状態を示す。地層条件に応じて最大で数%程度のひずみを示し、基礎構造との相互作用で構造物周辺の地盤沈下量に差異がみらる。

1層ラーメンと2層ラーメンをそれぞれ単体で地盤とともにモデル化し、ラーメン端部では調整桁の半分の重量を考慮して、構造物群と同様の地震応答解析を行った結果を図-6に示す。単体の解析では、1層ラーメンは応答変位が幾分小さくなる程度であったが、2層ラーメンは顕著に小さくなった。振動特性や損傷モードは構造物群と類似するが、変位が小さくなり2層ラーメンのせん断損傷度合いに差異がみられた。隣接構造物の影響と判断できる。

4. まとめ

延長140mの鉄道高架橋を対象に地盤と構造物を連成した地震応答解析を実施し、構造物群として相互作用を直接考慮することで隣接構造物等の影響を確認した。既設構造物の耐荷力を評価する場合等に、この種の検討が有効になると考えている。

参考文献 1) Maekawa, K., Okamura, H. and Pimanmas, A. : Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete, SPON PRESS, 2003.

2) 国土交通省鉄道局監修鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計), 平成24年7月, 丸善