

## 深い土被りを有する橋脚の地震応答に関する解析的検討

中央復建コンサルタンツ (株) 正会員 ○和仁 晋哉 今村 年成  
 (財) 鉄道総合技術研究所 正会員 室野 剛隆 野上 雄太  
 同 正会員 川西 智浩

**1. はじめに** 既設橋脚の中には、長年の供用期間中に周辺地盤の埋戻しが行われ、深い土被りを有することになったものが存在する。これらの橋脚の地震時挙動については十分に研究されているとは言えず、地震時にどのような現象が生じるのかが未解明であり、耐震診断手法も十分に確立されていない。本研究では、深い土被りを有する橋脚（以下、深い土被り橋脚）の耐震診断手法の確立を念頭におき、地震時挙動の基本特性を把握することを目的として、地盤と構造物を一体でモデル化した3次元FEM地震応答解析を実施したので、その結果を報告する。

**2. 解析条件** 検討対象構造物は、実在する鉄道橋脚をプロトタイプとした土被り7.3mの直接基礎橋脚である。地盤条件は地表面からフーチング底面までを埋戻し層とし、その直下を支持地盤と仮定した。解析には地盤と構造物を一体でモデル化した3次元FEMによる時刻歴地震応答解析手法を用いた。解析領域は構造物の応答が自由地盤の応答に影響を及ぼさないだけの十分広い領域を確保し、境界条件は底面を固定境界、側面を等変位境界とした。なお、計算の効率化の観点から構造物の対称性を考慮して解析領域は半断面とした。柱のモデル化は気中部を通常のビーム要素とし、地中部は地盤との接触条件を表現するためにビーム要素とソリッド要素からなるハイブリッド要素<sup>1)</sup>でモデル化した。検討では主に深い土被り橋脚の地震時挙動の基本特性を把握することを目的としているため、構造物は線形弾性体としている。表層地盤は線形弾性体としてモデル化した<sup>2)</sup>が、そのせん断弾性波速度 $V_s$ は、解析ケースによって50m/s、200m/sと変化させている。支持地盤は、せん断弾性波速度 $V_s$ が400m/sと仮定し、線形弾性体としてモデル化している。減衰には、1Hzで減衰定数 $h$ が5%、10Hzで10%となるレーリー減衰を用いた。また、数値積分には、Newmarkの $\beta$ 法( $\beta=1/4$ )を用い、積分時間刻みは0.01secとした。入力地震動は、耐震設計標準<sup>2)</sup>に記載されているL2地震動スペクトルII適合波(G1地盤)を用いた。

**3. 基本特性** 深い土被り橋脚は、地震時には慣性力の影響だけでなく、地盤変位の影響も受けるものと予想される。そこで、深い土被り橋脚の地震応答の基本特性を把握するために、慣性力の影響だけを考慮できる解析(Case1)と、地盤変位の影響だけを考慮できる解析(Case2)の2ケースを行った。Case1では、橋脚天端に慣性力を静的に作用させるPush Over解析を実施した。Case2では、上部工および橋脚の質量をゼロした時刻歴地震応答解析を実施した。解析で得られた地盤要素の直応力分布を図-1に、橋脚く体の曲げモーメント分布を図-2に示す。

**(1) 慣性力だけが作用する場合** Case1では橋脚前面の土要素に圧縮応力が生じており（前背面は図を参照）、前面土は橋脚く体にとっては抵抗として働いている（図-1(a)参照）。その結果、橋脚く体に発生する曲げモーメントは、気中部では三角形分布となっているが、地中部では地盤が抵抗として働いているため、急激に減少している（図-2(a)参照）。

**(2) 地盤変位だけが作用する場合** Case2では、橋脚背面の土要素に圧縮応力が発生しており、背面土が橋脚を押している様子が確認できる（図-1(b)参照）。橋脚く体の曲げモーメント分布をみると、橋脚には慣性力が作用していないにもかかわらず、地盤変位の影響だけで曲げモーメントが発生している。また、その曲げモーメントは、橋脚背面に引張応力が生じる向きに生じており、く体基部で最大の値を示している。以上より、深い土被り橋脚は、地震時には慣性力の影響だけでなく、地盤変位の影響を受けることが確認できた。

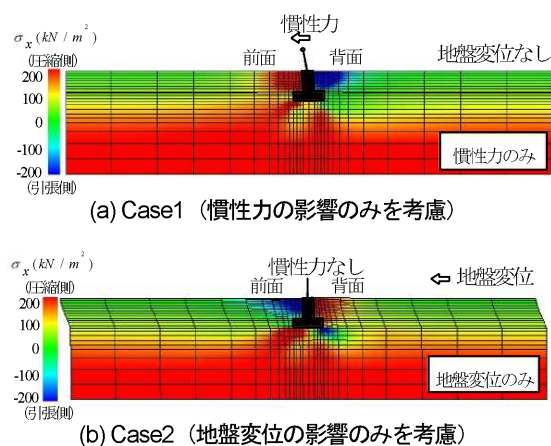


図-1 地盤要素の直応力の水平成分の分布

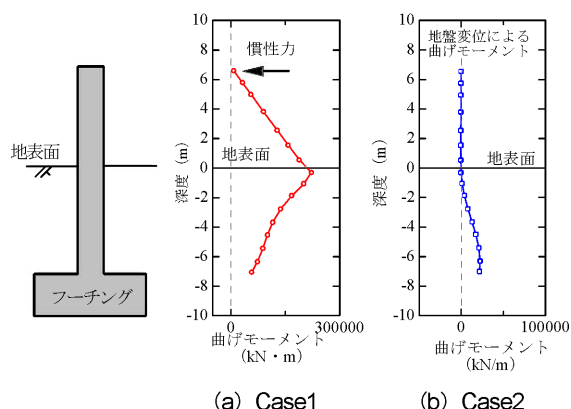


図-2 橋脚く体の曲げモーメント分布

キーワード 深い土被り橋脚、動的相互作用、地盤と構造物の固有周期、3次元FEM、地震応答解析

連絡先 〒533-0033 大阪市東淀川区東中島4-11-10 TEL: 06-6160-2312 FAX: 06-6160-1205

#### 4. 地盤と構造物の固有周期の大小関係の影響

次に、表層地盤の周期と構造物の周期の大小関係を変化させた場合に、深い土被り橋脚の地震応答がどのように変化するかについて調べる。そこで、表層地盤のせん断波速度  $V_s$  を変化させて、地盤の固有周期  $T_g$  と構造物の固有周期  $T_s$  の大小関係が異なる2つの解析を実施した。解析で得られた地盤要素の水平直応力分布と橋脚く体の曲げモーメント分布を図-3（慣性力最大時刻）および図-4（地盤変位最大時刻）に示す。なお、

同図には、上部工および橋脚の質量をゼロとした解析も合わせて実施することで求めた地盤変位による曲げモーメントを示すとともに、解析結果から地盤変位による曲げモーメントを差し引いて算出した慣性力による曲げモーメントも合わせて示している。

(1)  $T_g < T_s$  の場合 慣性力最大時刻に着目する。図-3(a)を見ると、この時刻では、慣性力の作用方向と地盤変位の作用方向が逆向きになっており、橋脚前面の地盤要素には圧縮応力が発生していることが分かる。く体の曲げモーメント分布について、地盤変位の影響と慣性力の影響をそれぞれ分離したグラフを見ると、地盤変位による曲げモーメントと慣性力による曲げモーメントが逆符号になっており、慣性力だけが作用した場合に比べて、実際に発生している曲げモーメントは低減されている。地盤変位が最大の時刻についても、同様の傾向が認められる（図-4(a)参照）。以上より、地盤の周期が構造物の周期よりも短い場合には、周辺地盤によって橋脚く体に発生する曲げモーメントは低減されることが確認できた。

(2)  $T_g > T_s$  の場合 慣性力最大時刻に着目する。図-3(b)を見ると、この時刻では、慣性力の作用方向と地盤変位の作用方向が同じ向きになっており、橋脚背面の地盤要素に圧縮応力が発生していることが分かる。く体の曲げモーメント分布について、地盤変位の影響と慣性力の影響をそれぞれ分離したグラフを見ると、地盤変位による曲げモーメントと慣性力による曲げモーメントが同符号になっており、慣性力だけが作用した場合以上に、実際に発生している曲げモーメントが増大している。地盤変位が最大の時刻についても同様の傾向が認められる（図-4(b)参照）。以上より、地盤の周期が構造物の周期よりも長い場合には、地盤変位の影響によって橋脚く体に発生する曲げモーメントは増大することが確認できた。

なお、地盤と構造物の周期の大小関係で地盤変位と慣性力の掛かり方が変化することは、著者の一人が杭を対象として検討しており<sup>3)</sup>、その結果と整合的である。

**5. 結論** 本研究では深い土被り橋脚の地震時挙動の基本特性を把握することを目的として、地盤と構造物を一体でモデル化した3次元FEM地震応答解析を実施した。得られた結論は次の通りである。(1) 深い土被り橋脚では、橋脚く体に地盤変位による断面力が発生する。(2) 地盤と構造物の固有周期の大小関係の違いで地盤変位と慣性力の掛かり方が変化する。

**謝辞** 本研究では、名工大の張鋒教授に解析プログラム(DGPPILE-3D)を借用させて頂きました。記して感謝いたします。

**参考文献** : 1) Feng Zhang, Makoto Kimura, Teruo Nakai and Takuya Hoshikawa : Mechanical Behavior of Pile Foundations Subjected to Cyclic Lateral Loading up to the Ultimate State, Soils and Foundations, Vol.40 No.5, pp.1-17, 2000. 2) 鉄道総合技術研究所 : 鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計), 1999. 3) 室野 剛隆, 西村 昭彦, 永妻 真治 : 軟弱地盤中の杭基礎構造物の地震応答特性と耐震設計への応用, 構造工学論文集, Vol.44.A, 1998年3月。

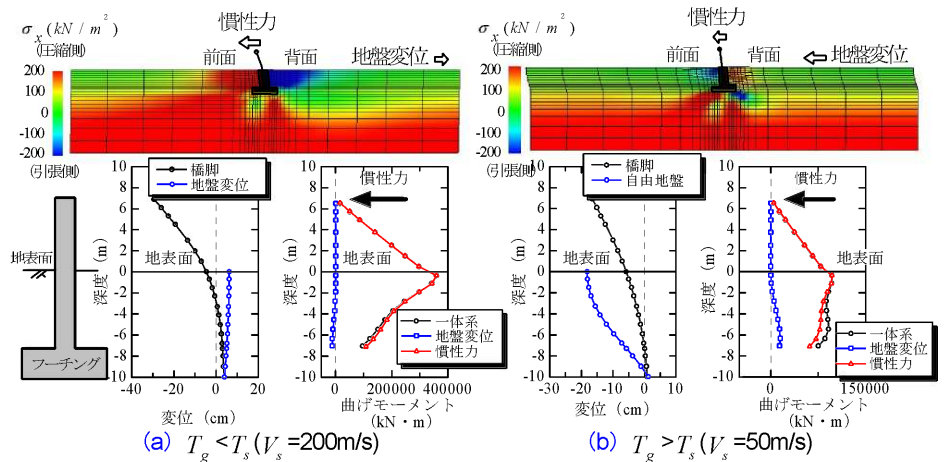


図-3 地盤要素の水平直応力分布と橋脚く体の曲げモーメント分布（慣性力最大時）

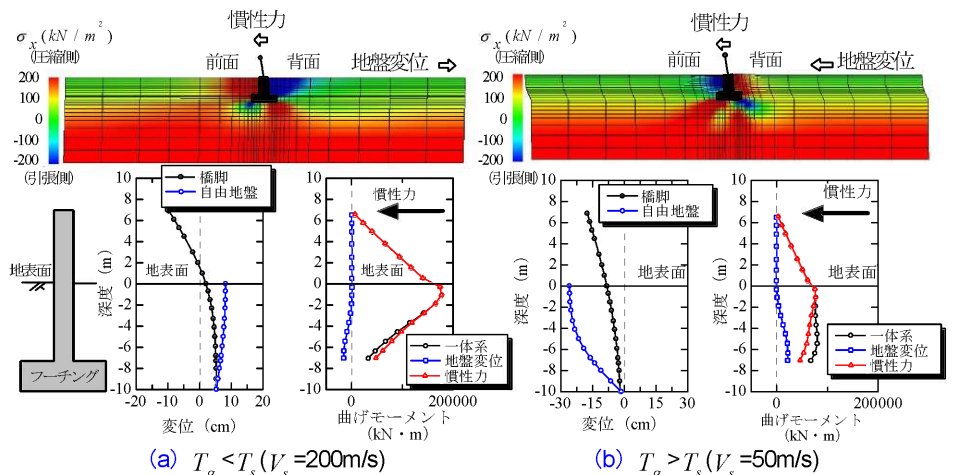


図-4 地盤要素の水平直応力分布と橋脚く体の曲げモーメント分布（地盤変位最大時）