

地盤と構造物の相互作用に着目したフーチング前面土の取り扱いに関する一検討

中央復建コンサルタンツ(株) 正会員 ○樋口美紀恵  
同上(前、(財)鉄道総合技術研究所) 正会員 今村 年成  
(財)鉄道総合技術研究所 正会員 室野 剛隆  
同 上 正会員 佐藤 勉

1. はじめに

橋梁の耐震設計において、地震作用として慣性力のみを考慮すると、フーチング前面土は地盤抵抗要素として働くことが一般的に知られている。この場合、フーチング前面土の影響を考慮しないほうが、設計上、安全側であると判断できるため、現行設計法ではフーチング前面土を無視して構造物の設計を行っている。しかしながら、地震作用には慣性力の他に地盤変位による影響もあるため、これらの動的相互作用を考慮した上でフーチング前面土の評価を行うことが重要である。本研究では、応答変位法<sup>1)2)</sup>を用いて、地震時にフーチング前面土が抵抗要素として働くのか、作用として働くのかについて検討を行ったので、その結果を報告する。

2. 解析モデルと解析ケース

検討対象構造物は図1に示す群杭基礎橋脚である。地盤条件は、表層地盤が砂質土、杭先端の支持地盤がN値50の砂礫であり、フーチング前面土は鉄道の設計基準<sup>3)</sup>に準じてN値2~3程度の埋戻し土として評価した。解析は、非線形スペクトル法<sup>4)</sup>を用いて構造物に慣性力のみを作用させた場合と、応答変位法を用いて慣性力と地盤変位の両方を作用させた場合の2ケースを行った。また、土層構成が異なる場合のフーチング前面土の効果を確認するために、それぞれ表1に示す3種類の地盤モデルについて検討を行った。

3. 解析結果および考察

(1) 慣性力のみを作用させた場合

解析結果を表2に示す。表中には、構造物の最大応答時の値を示している。また、表中の慣性力は上部工・く体・フーチングに作用させた慣性力の合計を、杭頭せん断力は全本数分の杭頭せん断力の合計を示している。表2では、いずれの地盤モデルにおいても、慣性力よりも杭頭せん断力が小さくなっていることが分かる。これは、フーチング前面土が地盤抵抗として働いているためである。つまり、図2(a)に示すように、慣性力のみを作用させた場合には、「慣性力=杭頭せん断力+フーチング前面抵抗」となることが分かる。従来の設計では、このように、フーチング前面土を地盤抵抗要素として考えていた。

(2) 慣性力と地盤変位を作用させた場合

応答変位法による解析結果を表3に示す。表中の地震作用の組合せは、応答変位法における慣性力Raと地盤変位Rgの組合せ方を示している。応答変位法とは、地盤と構造物の動的相互作用を静的な力に置き換えて考慮する解析キーワード：フーチング前面土、相互作用、応答変位法

連絡先：〒533-0033 大阪市東淀川区東中島 4-11-10 中央復建コンサルタンツ(株) TEL06-6160-2312

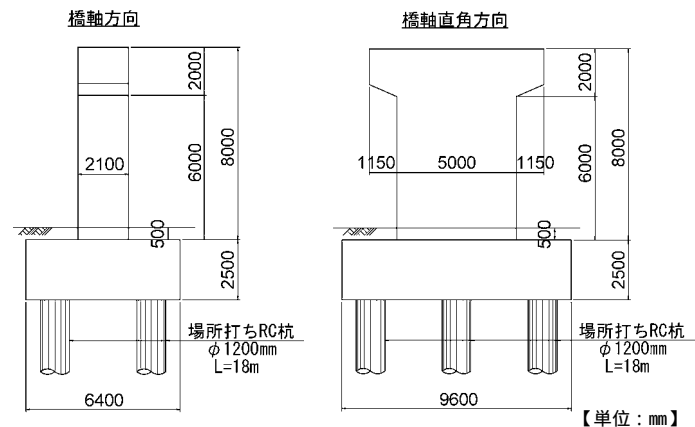


図1：検討対象構造物

表1：地盤モデル一覧

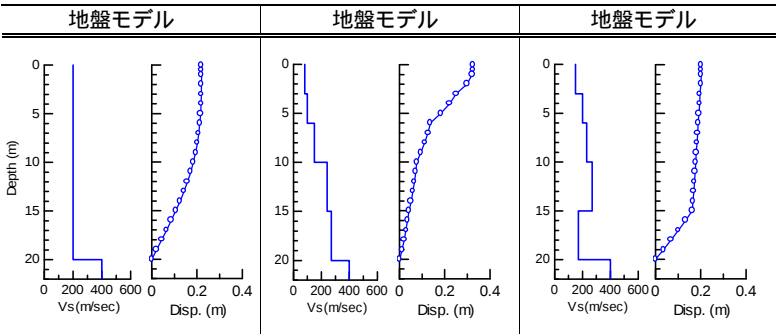


表2：慣性力のみ作用させた場合の解析結果

| 地盤条件        | 地盤モデル        | 地盤モデル        | 地盤モデル        |
|-------------|--------------|--------------|--------------|
| 慣性力         | 6776 kN      | 6776 kN      | 6622 kN      |
| 杭頭せん断力      | 4053 kN      | 4245 kN      | 4274 kN      |
| フーチング前面土の効果 | 2723 kN (抵抗) | 2531 kN (抵抗) | 2348 kN (抵抗) |

手法であり、慣性力と地盤変位の組合せ方が重要となる．ここでは、鉄道の設計基準<sup>4)</sup>に準じて、構造物と地盤の固有周期の比を考慮した組合せ係数を用いることとした．表3より、地盤モデル

では、慣性力よりも杭頭せん断力が小さく、フーチング前面土は抵抗として働いていることが分かる．一方、地盤モデルでは、慣性力よりも杭頭せん断力が大きく、この場合はフーチング前面土が作用として働いていることが分かる．つまり、図2(b)に示すように、慣性力と地盤変位を考慮した場合には、フーチング前面土は、作用、抵抗のどちらにも成り得ることを確認した．

(3) 地盤と構造物の剛性の大小関係がフーチング前面土の働きに与える影響

フーチング前面土の効果は、地盤と構造物の剛性の大小関係によっても変化すると考えられる．この影響を確認するために、地盤変位のみを作用させた解析を実施した．解析結果を表4に示す．地盤変位のみを作用させた場合、フーチング前面土は作用として働くことが予想され、地盤モデルではこの傾向が認められた．特に、地盤モデルでは、地表面付近で地盤変位が急増するため、フーチング前面土の作用としての働きが非常に大きくなっている．しかしながら、地盤モデル

では、フーチング前面で、作用させた地盤変位と逆方向に荷重が生じており、フーチング前面土が抵抗として働く結果となった．これは、図3に示すように、地盤と構造物の剛性の大小関係によるものと考えられる．つまり、図3(a)に示すように、地盤変位が構造物変位よりも大きい場合は、構造物が地盤によって押され、周辺地盤は構造物に対して「作用」として働くが、図3(b)に示すように、構造物の変位量が地盤変位よりも大きい場合には、構造物は地盤変位によって変位を抑制され、周辺地盤は構造物に対して「抵抗」として働くこととなる．

4. おわりに

本報では、応答変位法を用いて地震時のフーチング前面土の影響について検討を行った．地震作用として慣性力のみを考慮した場合には、フーチング前面土は地盤抵抗要素となるため、設計上、フーチング前面土を無視することは安全側の判断であった．しかしながら、地震時には慣性力の他に地盤変位の影響もあり、これらの相互作用を考慮した場合には、フーチング前面土は抵抗要素となるだけでなく、作用としても影響を及ぼすことを確認した．したがって、構造物の耐震設計においては、フーチング前面土を無視するのではなく、作用としても抵抗としても考慮できるように、地盤ばねを用いて適切に評価する必要があるといえる．

参考文献

1) 西村昭彦：地盤変位を考慮した構造物の設計，基礎工，Vol.6, No.7, pp.48-56, 1978.  
2) 室野剛隆，西村昭彦：杭基礎構造物の地震時応答に与える地盤・構造物の非線形性の影響とその評価手法，第10回日本地震工学シンポジウム，pp.1717-1722, 1998.  
3) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物・抗土圧構造物，丸善出版，1997.  
4) 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，丸善出版，1999.

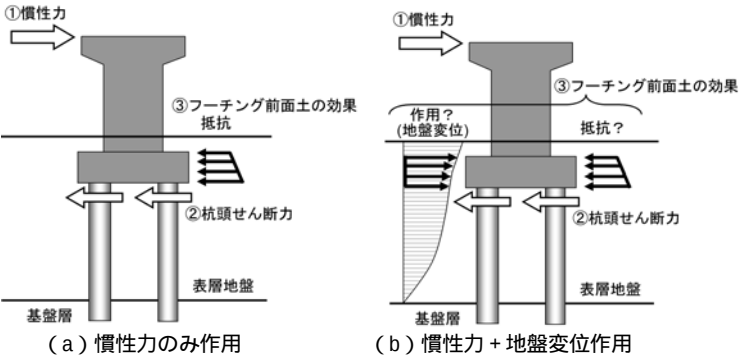


図2：フーチング前面土の効果

表3：慣性力と地盤変位を作用させた場合の解析結果（応答変位法）

| 地盤条件        | 地盤モデル                   | 地盤モデル                   | 地盤モデル                    |
|-------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 地震作用の組合せ    | $R_t = 1.0R_a - 0.7R_g$ | $R_t = 1.0R_a + 1.0R_g$ | $R_t = 1.0R_a - 0.56R_g$ |
| 慣性力         | 6837 kN                 | 6836 kN                 | 6598 kN                  |
| 杭頭せん断力      | 4177 kN                 | 8111 kN                 | 4011 kN                  |
| フーチング前面土の効果 | 2660 kN (抵抗)            | 1275 kN (作用)            | 2587 kN (抵抗)             |

表4：地盤変位のみ作用させた場合の解析結果

| 地盤条件        | 地盤モデル        | 地盤モデル        | 地盤モデル       |
|-------------|--------------|--------------|-------------|
| 慣性力         | 0            | 0            | 0           |
| 杭頭せん断力      | -177 kN      | 2855 kN      | 552 kN      |
| フーチング前面土の効果 | -177 kN (抵抗) | 2855 kN (作用) | 552 kN (作用) |

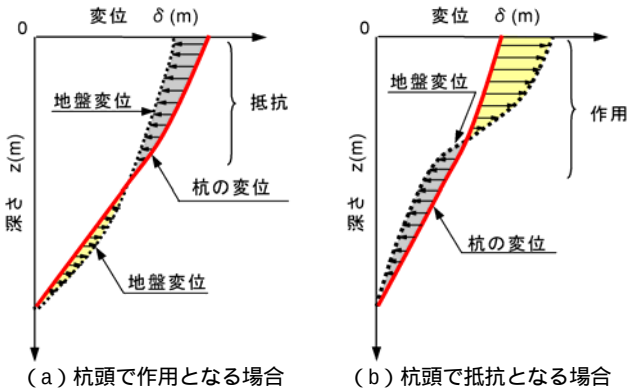


図3：地盤変位と構造物変位の関係