

地震による地盤変位の影響を考慮した橋梁基礎杭の検討

(株)第一コンサルタンツ 正会員 ○右城 猛

(株)ロイヤルコンサルタント 筒井秀樹

愛媛大学 大学院理工学研究科 フェロー 森伸一郎

1. まえがき

兵庫県南部地震(1995)を契機に、わが国の橋梁設計は飛躍的に進歩した。従来の震度法以外に地震時保有水平耐力法、時刻歴応答解析法といった構造物や地盤の塑性を考慮した設計が行われるようになった。しかし、これらの設計では、橋梁基礎と地盤は一体的に運動するものと仮定しており、地盤の変形を考慮したものにはなっていない。過去の地震被害調査から、地盤変形に起因して基礎杭が破損されることが明らかにされている。

30 年後に 50%の確率とされている南海地震が発生すると四国の自動車道の基礎杭も被害を受けることが懸念される。高知自動車道における高架橋を対象に、地盤変形が杭基礎に与える影響について検討したので、その結果を発表する。

2. 解析手法

解析には「鉄道構造物等標準・同解説、1999」に示されている応答変位法を用いた。この方法は、補正係数を乗じて補正した慣性力と地盤変位を骨組みモデルに作用させて静的解析を行い、地盤と構造物の動的相互作用を考慮した基礎杭の応答を簡易的に求めるものである。

解析を行ったのは高知自動車道の高架橋の橋脚で、基礎は $\phi 1.5\text{m} \times 27\text{m}$ の場所打ち杭(3×3 列)である(図-1)。杭は、相対剛性が $\beta L=3.12$ であり半無限長と見なせる。地盤の特性値 $T_g (= \sum 4H_i/V_{si})$ は 0.78 s で、耐震設計上の地盤種別は III 種となる。

解析モデルは、図-2 のように地盤ばねで拘束された二次元骨組モデルとした。地盤の鉛直ばねは杭の支持力、水平ばねは受働土圧を上限値とするバイリニア型とし、道路橋示方書式で算定した。杭体の曲げモーメントと曲率の関係は、図-3 のトリリニア型とした。

地表面の加速度波形は、中央防災会議が公表している南海地震の地震波(図-4)を基盤に入力させ、せん断型 1 次元波動理論に基づいた解析プログラム SHAKE で求めた。また、地表面変位が最大となる時刻における地盤変位分布を求め(図-5(a)の破線)、基礎杭に作用させる外力とした。

静的骨組み解析に用いる慣性力 H_0 、 V_0 、 M_0 は、基礎を支持ばねに置き換えた 1 橋脚多質点系モデルとした動的解析を行い、橋脚天端位置の応答加速度が最大となった時刻にフーチング下面 (= 杭頭) に作用する水平力、鉛直力、モーメントを採用した。

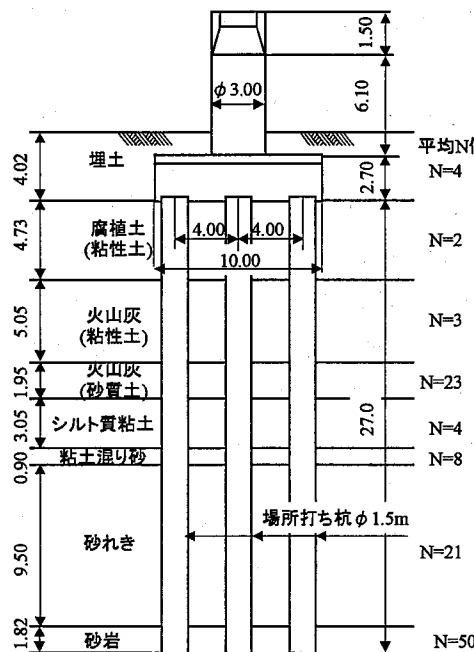


図-1 橋脚と地盤

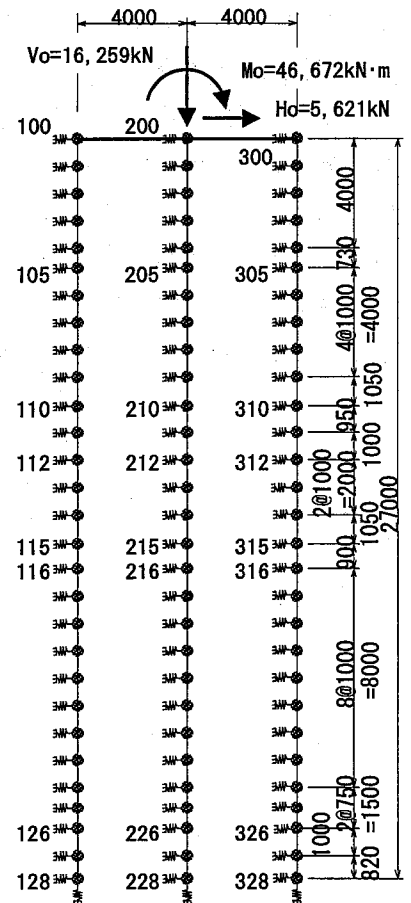


図-2 骨組みモデル

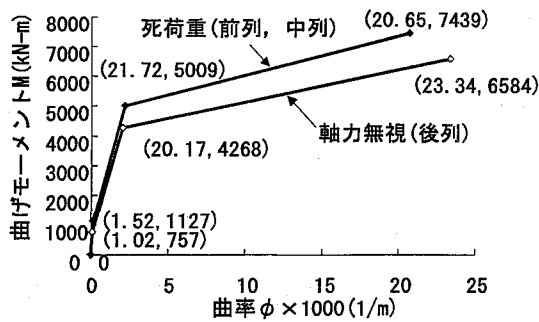


図-3 杭体の M- ϕ 関係

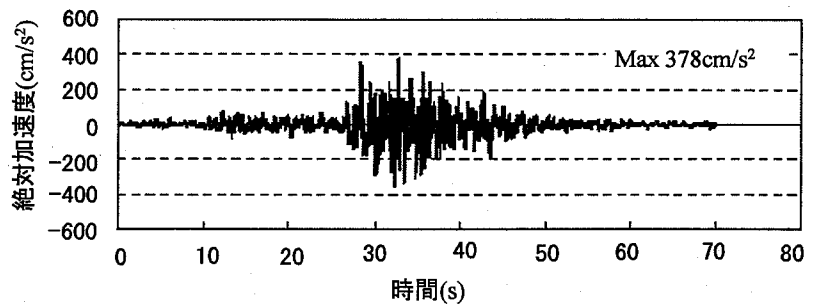


図-4 基盤に入力した加速度波形

当該橋脚における構造物と地盤の相互作用を考慮した補正係数は、上限値 $\nu_U=1.0$ 、下限値 $\nu_L=0$ であるので、①慣性力のみを作用させた場合、②地盤変位のみを作用させた場合、③慣性力と地盤変位を組み合わせさせた場合の3ケースについて解析した。解析では、部材及び地盤の非線形性を考慮するので、慣性力と地盤変位による応答を別々に求めて後から重ね合わせることにはできない。このためケース③の応答は、先ず地盤変位を作用させて解析し、その結果を初期値として慣性力を作用させて応答を求めた。

3. 解析結果

解析結果を図-5に示す。南海地震で想定される架橋地点の地盤の相対変位は、地表面で20cmである。地盤変位を無視して上部構造及び橋脚躯体の慣性力のみで解析すると、杭頭の水平変位量は1.6cm、杭体の最大曲げモーメントは1073kN・m、最大塑性率は0.13となる。地盤変位のみで解析すると、杭頭の水平変位量は11cm、杭体の最大曲げモーメントは3860kN・m、最大塑性率は0.83となる。慣性力と地盤変位の両方を重ね合わせると、杭頭の水平変位量は16cm、杭体の最大曲げモーメントは4818kN・m、最大塑性率は3.3となる。慣性力のみで解析した場合に比べて、杭の変位量は10倍、曲げモーメントは4.5倍となっている。

地盤変位を考慮すると、慣性力のみで解析した場合より杭頭変位や曲げモーメントが大きくなる。今回検討した基礎杭の塑性率は3程度であり、道路橋示方書に規定されている許容塑性率の範囲内にあるが、地盤条件によっては道路橋で規定している基礎の保有水平耐力照査を満足していても、南海地震に対して安全性が確保できないケースも起こりえると考えられる。

謝辞：本研究は地盤工学会四国支部の「NEXCO 西日本耐震性評価手法検討委員会基礎WG(主査：森伸一郎)」において検討したものがある。西日本高速道路(株)四国支社の関係者に感謝の意を表します。

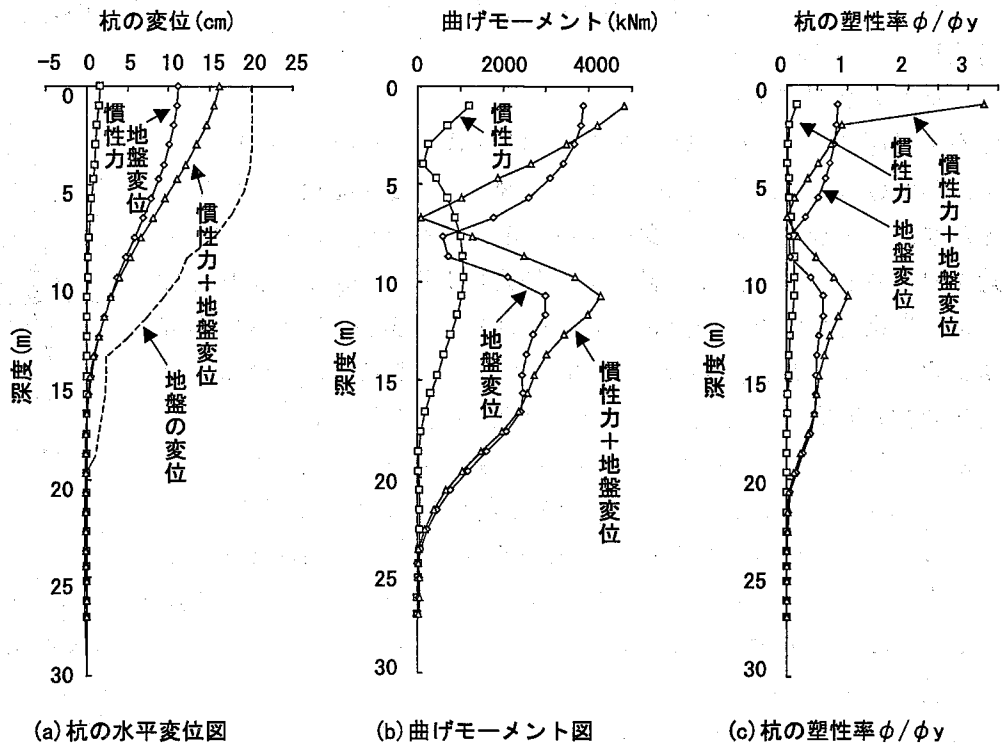


図-5 解析結果