

高知道における道路橋杭基礎の質点系動的解析

(株) 芙蓉コンサルタント正会員 須賀 幸一

小倉 和壽

愛媛大学工学部 フェロー 森 伸一郎

1. はじめに

地震により発生した波動は、地盤内を伝播し表層地盤に達した後、構造物基礎に運動を与え、これにともなう、上部構造物も運動を始める。さらに構造物が運動することにより、地盤に力を作用させる。すなわち、橋梁構造物は地震により、上部構造～基礎構造～地盤それぞれが慣性力を受けつつ、お互いに影響を及ぼしあう状況となる。このうち特に基礎構造～地盤においては、地盤が地震動を受けて変形することが直接的に基礎構造物の挙動に影響することが知られている。本研究においては、高知自動車道における道路橋杭基礎をモデルとして、動的相互作用の影響を考慮した質点系動的解析を実施し、地震時の振動による地盤変形の杭への影響を検討するものである。

2. 解析手法

地盤と杭－構造系の動的相互作用問題に対して、多自由度の集中質点系モデル（Penzien 型モデル）を採用する。解析モデルの基本的な考え方は、(1) 杭－構造物系と (2) 構造物の影響のない自由地盤の二つの系とし、それぞれの系を一系列の質点系ばねモデルで表現する。(3) 地盤のせん断振動による深さ方向の地盤の変位を杭周囲の水平方向のばね（以下、相互作用ばねと呼ぶ）を介して杭に作用させる。(4) 杭基礎近傍の付加地盤（系）をせん断土柱としてモデル化する。図-1 に解析対象の橋脚基礎と質点系モデルを示す。

(1) 解析対象の橋脚基礎

高知自動車道における既存橋梁から、地震時の地盤と構造物の動的相互作用の影響が大きいと想定される橋梁基礎を選定し、解析対象モデルとした。橋脚は断面がφ3.0mの円形柱のT型橋脚であり、重量は8,996kNである。また、支承条件は固定支承であり、地震時に上部工を分担する荷重は7,100kNである。基礎杭は径1.5mの場所打ち杭（3列×3列）で長さは27mである。

(2) 地盤条件

対象となる地点のボーリングから土質、N値を求め、道路橋示方書の式 $\{v_s=100 \times N^{1/3}$ (粘性土, $1 \leq N \leq 25$), $V_s=80 \times N^{1/3}$ (砂質土, $1 \leq N \leq 50$) $\}$ を用いせん断波速度を求めた。地盤は、比較的軟弱な層が20m程度続いており、地盤の特性値 $T_g (= \sum 4H_i/V_{si})$ は、0.78sであり、III種地盤となる。表-1に地盤条件を示す。

(3) 解析モデル

杭－構造物系の質点間隔は、フーチングの部分を除き1mを標準とし、地層境界に質点を設ける。杭－構造物系と地盤との間の動的相互作用を考慮するために、ばね、ダッシュポット、有効質量を設定した。周辺地盤についてはエネルギー等価で求めた付加質量と等価な体積・面積の変断面土柱と考え、変断面土柱の節点間のせん断剛性を算出して周辺地盤系のせん断ばねを算出した。

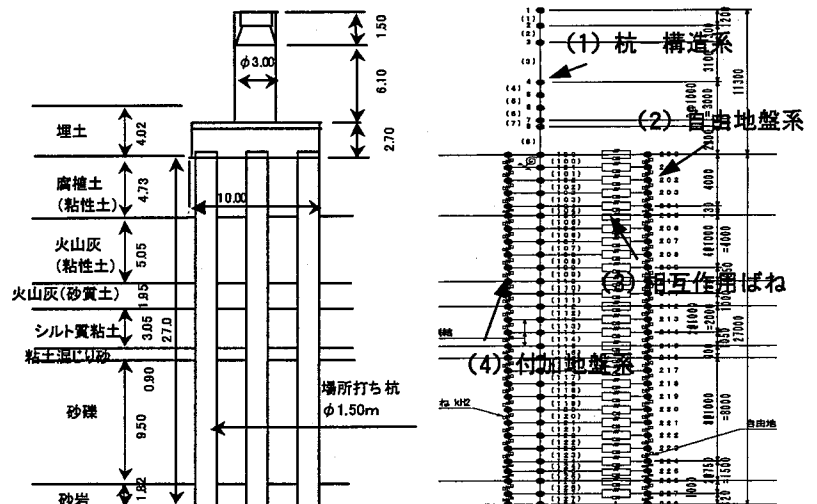


図-1 解析対象の橋脚基礎と質点系モデル

表-1 地盤条件

層	土質	層厚 (m)	重み付き平均N値	単位重量 (t/m ³)	せん断波速度 (m/s)	せん断剛性 (kN/m ²)
1	埋め土	4.02	3.6	1.7	153	39,795
2	腐植土	4.73	1.1	1.3	103	13,792
3	火山灰	5.05	3.3	1.7	119	24,074
4	火山灰	1.95	23.5	1.7	229	89,150
5	シルト質粘土	3.05	3.6	1.7	153	39,795
6	粘土混じり砂	0.90	8	1.7	160	43,520
7	砂礫	9.50	20.8	1.9	220	91,960
8	砂岩	1.82	90	2.1	700	1,029,000

自由地盤は、総体として杭構造物系と周辺地盤系の質量の1000倍程度となる等断面土柱を想定した。また相互作用ばねと付加質量は Mindlin-2 解を利用した三輪・森の簡略算定式¹⁾により算定した。杭は平面的に3列@3本の配置であるが、この質点系モデルでは1本の杭に集約しているために、群杭による回転抵抗力をモデル化するために、フーチング位置に回転ばねを設けた。この回転ばねは道路橋示方書における杭基礎の集約ばね(回転ばね)により算出した。

3. 動的解析

動的解析は、時刻歴応答解析とし、積分手法は Newmark β 法 ($\beta=1/4$)、数値積分間隔は $\Delta t=0.001$ 秒とした。入力地震動は、中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」において検討された地震動(以下、南海地震波と称す)を取得し、基盤の入力地震動波とした(図-2)。橋脚柱基部および杭の材料特性は、M- ϕ 骨格曲線をトリリニア型とし、復元力特性は武田モデルとした。なお、地盤に関しては、今回は線形解析のみの報告であるため、 $G_0=\rho \cdot V_s^2$ で求めた初期せん断剛性より、相互作用ばねや周辺地盤と自由地盤のせん断ばねを算定した。解析ソフトは DYNA2E を使用し、減衰はレーリー減衰とし、線形時の地盤の1次と2次の振動数で減衰定数が、5%となるように設定した。

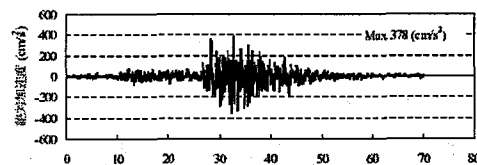


図-2 基盤での入力地震動(南海地震波)

4. 解析結果

(1) 固有値解析

表-3 固有値解析の結果

質点系モデルの固有値解析結果を表-3に、また図-3に固有モードを示す。この系の主な挙動は、①地盤1次(0.715s)、③地盤2次(0.292s)、⑤地盤3次(0.170s)、②構造物並進(0.414s)のモードによって支配されることがわかる。	固有モード	振動数 (Hz)	周期 (sec)	刺激係数
	1	1.3987	0.715	2.148E+03
	2	2.4154	0.414	-5.421E+02
	3	3.4222	0.2922	-1.176E+03
	4	3.6447	0.2744	-9.655E+01
	5	5.8668	0.1704	7.619E+02
	6	8.2625	0.121	5.107E+02
	7	10.373	0.0964	-2.956E+02

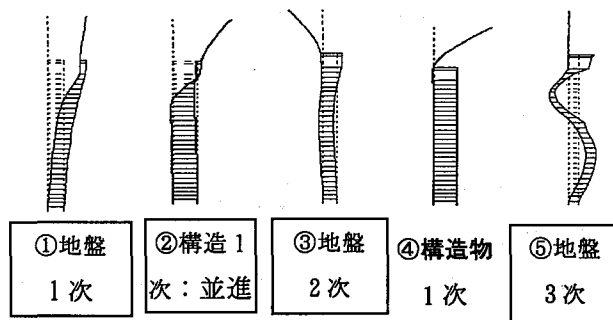


図-3 固有モード

(2) 線形応答解析

図-4に最大杭応答値を示した。左からa.変位分布、b.相互作用ばねとせん断ばねの最大軸力、c.曲げモーメントの最大値を示す。杭-構造物系の変位は比較的滑らかであるが、地中-10m~15m付近の相互作用ばねやせん断ばねには、大きなばね軸力が発生している。その結果、杭頭部以外の地中部(杭下10m以深)に大きな曲げモーメントが発生している。これは10m付近に比較的硬い火山灰層(砂質土 $N=23$)があり、その前後の軟らかい地層との境界において地盤変位による大きな応力が発生したと考えられる。線形解析においても、地震時の地盤変形による杭応答への影響が大きいことがわかった。今後は地盤の非線形特性を取り入れて、地震時の杭の挙動を合理的に評価する予定である。

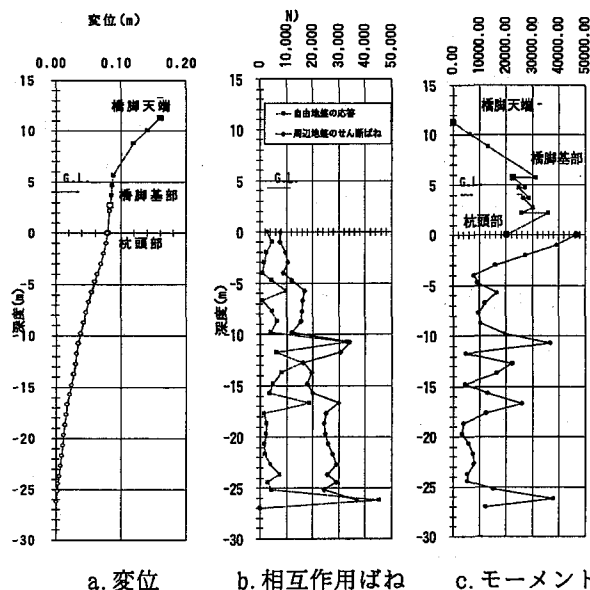


図-4 最大杭応答値

謝辞：本研究は地盤工学会四国支部における「NEXCO 西日本耐震性評価手法検討委員会」において検討したものである。ここに、西日本高速道路(株)四国支社の関係者に対して、記して感謝の意を表します。

参考文献：三輪滋，森伸一郎：群杭基礎の相互作用ばねの簡易評価式に関する検討，第24回地震工学研究発表会講演論文集，1997.7，pp.641-644