

早稲田大学 理工学部 学生会員 井口 重信  
早稲田大学 理工学部 正会員 清宮 理

1. はじめに

兵庫県南部地震によって神戸港内の杭式栈橋は大きな被害を受けた。そこで、杭式栈橋の地震時の動的挙動を調べるため、杭～地盤～地盤バネでモデル化し材料非線形性を考慮して動的応答解析を実施したので以下に報告する。

2. 解析条件

今回、計算に用いたのは神戸港西側歩廊橋ドルフィンで、解析モデルを図-1、栈橋周辺の地盤条件を表-1に示す。入力地震動には兵庫県南部地震の-82mで取得されたポートアイランド観測地震波(最大加速度 679gal)を用い、洪積砂礫層 Dsg1 の-46.2mに入力した。

地盤の非線形性はバイリニアールモデルとして、一軸圧縮強さを  $q_u = 1 + N/5$  kgf/cm<sup>2</sup> で計算し、降伏応力  $C$  を  $q_u$  の 1/2 とした。地盤と杭とを結ぶバネ(地盤バネ)は水平・鉛直方向の 2 方向を考えた。水平方向地盤バネ定数  $K_H$  は、水平方向地盤反力係数  $k_H$  (道示の式より算出)から  $K_H = k_H D l$  kgf/cm ( $D$ : 杭径,  $l$ : 層厚)の式で求め、鉛直方向地盤バネ定数  $K_V$  は  $K_H$  の 3 倍とした。また、この非線形地盤バネの降伏応力は、水平方向地盤バネの降伏力を  $P_{HV} = 9CDl$  kgf で、鉛直方向地盤バネの降伏力を  $P_{V0} = \pi CDl$  kgf で算定した。鋼管杭 (SKK490) は、ヤング率  $2.1 \times 10^6$  kgf/cm<sup>2</sup>, ポアソン比 0.3, 単位体積重量 7.85t/m<sup>3</sup>, 降伏応力 3150kgf/cm<sup>2</sup> とした。上部工(鉄筋コンクリート)は、ヤング率  $3.2 \times 10^6$  kgf/cm<sup>2</sup>, ポアソン比 0.167, 単位体積重量 2.3t/m<sup>3</sup> とし、非線形性は考慮しなかった。

以上のような条件で、解析は、杭と地盤を結ぶバネの影響を調べるため、表-2 のような 3 つのケースで行った。

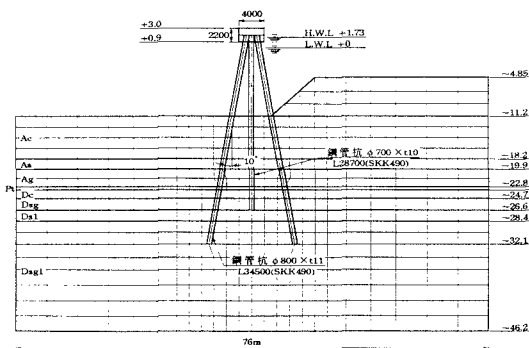


図-1 解析モデル

表-1 地盤条件

種類	標高(m)	$\gamma_s$ (tf/m <sup>3</sup> )	ポアソン比	N値	$E_s$ (kgf/cm <sup>2</sup> )**	$q_u$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	
Ac	沖積粘土層	-4.85 ~ -18.2	1.9	0.49	1.25*	35	2.0
As	沖積砂層	-18.2 ~ -19.9	1.9	0.49	9	252	2.8
Ag	沖積砂礫層	-19.9 ~ -22.8	1.9	0.49	25	700	6.0
Pt	腐植土	-22.8 ~ -23.3	1.6	0.49	20	0.58	5.0
Dc	洪積粘土	-23.3 ~ -24.7	1.7	0.49	30	840	7.0
Dsg	洪積砂礫層	-24.7 ~ -26.6	2.0	0.49	43	1204	9.6
Dsl	洪積砂層	-26.6 ~ -28.4	2.0	0.49	20	560	5.0
Dsg1	洪積砂礫層	-28.4 ~ -46.2	2.0	0.49	50	1400	11.0

\* 第一層のN値は  $N = q_u / 1.6$  ( $q_u = 2.0$  kgf/cm<sup>2</sup>, 実測値)より推定した。  
\*\* 地盤の变形係数  $E_s$  は、 $E_s = 28N$  (道示より)で推定した。

表-2 解析ケース

解析ケース1	地盤バネなし(杭と地盤は剛結合)
解析ケース2	線形地盤バネ
解析ケース3	非線形地盤バネ

3. 解析結果

陸側海底面における断面力の時刻歴を図-2に示す。最大軸力はケース1で61.6tf(8.80sec), ケース2で92.5tf(8.85sec), ケース3で89.8tf(8.85sec)であった。地盤バネを考慮すると、地盤バネを考慮しない場合より3割ほど大きな解析結果となった。地盤バネの非線形性は、今回、ほとんど結果に影響なかった。また、陸側海底面位置における最大曲げモーメントは、ケース1で51.7tfm(4.75sec), ケース2で46.3tfm(6.35sec), ケース3で44.7tfm(7.50sec)で、軸力ほどの差はなかったが、時刻歴で見るとケース1とケース2, 3では、まったく異なった挙動を示した。

キーワード: 杭式栈橋, F.E.M, 動的解析

連絡先: 〒169 新宿区大久保 3-4-1 (早稲田大学理工学部土木工学科清宮研究室) TEL/FAX 03-5286-3852

杭頭変位最大時(ケース3で8.89cm, 4.45sec)の断面力及び水平変位の深度分布を図-3に示す。最大軸力は、どのケースも陸側杭の-24.6mで発生し、ケース1で84.0tf、ケース2, 3で90.6tfであった。最大せん断力は、ケース1で311tf(陸側杭)、ケース2, 3で344tf(海側杭)でいずれも中央杭のなくなる-26.6mで発生している。最大曲げモーメントはケース1で284.1tfm(陸側杭)、ケース2, 3で314.0tfm(海側杭)でいずれも中央杭のなくなる-26.6mで発生している。曲げモーメント図で-22.7mに発生するピークは、この位置に薄い腐植土層をはさみ急激に地盤条件が変化しているためだと思われる。座屈は陸側杭の場合、軸力432tf、曲げモーメント85tfmで起こるので、今回の解析結果では曲げによって座屈することになる。

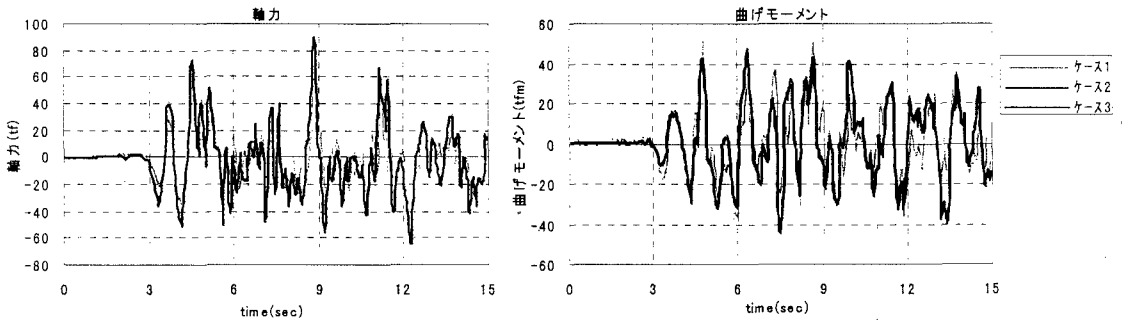


図-2 陸側海底面における断面力の時刻歴

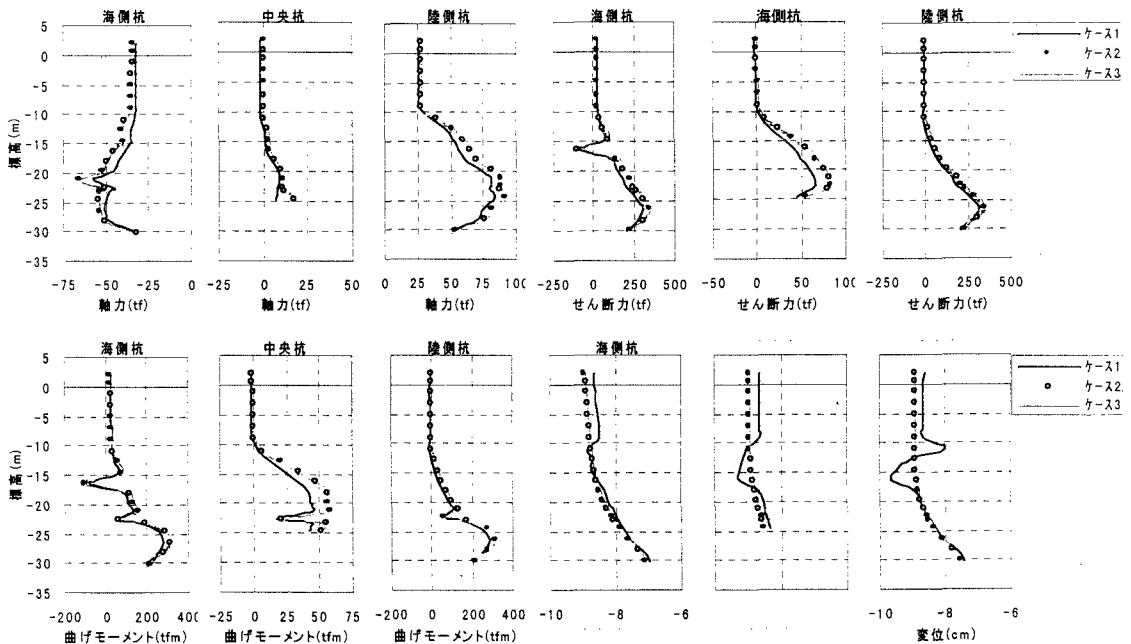


図-3 最大水平変位時(4.45sec)における断面力・水平変位の深度分布

#### 4. まとめ

今回の検討では、地盤と杭の間にバネをモデル化すると軸力が増加することが分かったが、このバネの非線形性の影響は小さかった。杭に発生する断面力は、杭頭部や海底面より地層構成が変化するところで最大となった。

#### 5. 参考文献

- 1) 清宮理, 清水由貴夫, 南兼一郎: 杭式係船岸の地震被害の要因に関する一考察, 第24回地震工学研究発表会, pp.909 ~ 912, 1997.7
- 2) (財)沿岸開発技術研究センター: 保安庁ドルフィンの静的弾塑性解析(その2), 鋼構造岸壁検討部会(第3回)資料-4-1, 1997.2
- 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, 1990.2