

京都大学 防災研究所 正会員 三浦 房紀

1. まえがき

従来、構造物-地盤系の動的相互作用を扱う場合、(i)弾性波動論による方法、(ii)有限要素法による方法のいずれも構造物と地盤とは固着状態にあることを前提としており、杭基礎の解析例においても例外ではない。しかるにこのような解析では構造物と地盤との不連続面において剥離や滑動を考慮に入れることができず、現実には生じえない引張力や過剰なせん断力が発生することが考えられる。そこで著者は Goodman によって提案されたジョイント要素¹⁾を構造物と地盤間の動的な剥離や滑動現象²⁾に応用しており、本研究でもこれを導入することによって杭と地盤との接触面における剥離や滑動現象を再現し、さらにこの面に沿う応力を算定することによって地震時における杭の周面摩擦力に関する検討を行った。

2. 解析モデル

本研究では、杭基礎構造物-地盤系のモデルを2種類想定した。図1にモデル1の概略図を示し、表1にその諸元を示す。モデル2は、モデル1と地盤構成が異なるだけでその他の定数は同じである。すなわちモデル1では、地盤が2層から構成されており下層が杭構造物を支持する先端支持杭も、またモデル2では、地盤が1層から成り周面摩擦力を期待する摩擦杭の機構となっている。そしてジョイント要素は、有限要素に分割する際、構造物と地盤との接触する部分に合計45個配置した。なおモデル2の地盤の諸元を表2に示す。

3. 重力に起因する初期応力の算定

引張りに抵抗を示さないジョイント要素であるから、この面上で重力に起因する初期応力を考慮する必要はある。そこで本研究では、施工過程を考慮に入れて次の2段階の過程を経て初期応力を算定した。(1)施工前の地盤内応力を算定し、(2)この応力状態の下で、フーチングおよび杭と地盤との重量差、これと地上構造物の重量との和を荷重として応力を算出し、(1)で求めた応力との和を初期応力とする。このようにして求めた地震外力を受けない常時における杭基礎の応力状態をモデル1、モデル2に対して示したのが図2(a)、(b)である。表3はその時の鉛直力とせん断力の分担荷重、分担率が示しており、モデル2では死荷重に対する杭周面摩擦力の分担率がモデル1より大きくなっている。

4. 杭基礎周面の動的応力状態

本研究では、剥離・滑動現象を解析に導入することによって運動方程式は必然的に非線形となり荷重伝達法によって応答解析を行った。入力地震波は El-Centro (1940) の $N-S$ と $U-D$ の 2 成分の加速度記録を用い、モデル底面から同時に入力した。この結果、フーチングまわり、および杭頭付近のジョイント要素で滑動・剥離が発生している様子が見られた。また杭

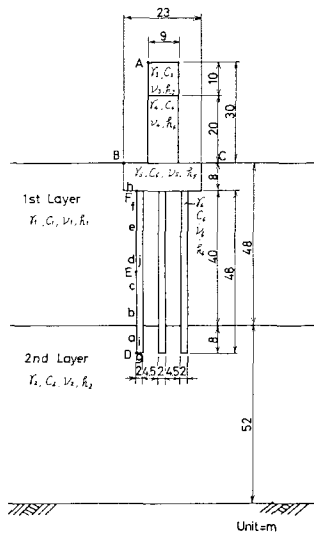


図1 解析モデル

表1 モデル1の諸元

	単位換算量 f (mm/f)	中心角速度 C (°/sec)	ボア・ノック v	減衰定数 k
地盤	$f_1 = 1.7$ $f_2 = 1.8$	$C_1 = 1000$ $C_2 = 300$	$v_1 = 0.333$ $v_2 = 0.333$	$k_1 = 0.2$ $k_2 = 0.2$
上部土	$f_3 = 3.0$ $f_4 = 2.4$	$C_3 = 1600$ $C_4 = 1600$	$v_3 = 0.167$ $v_4 = 0.167$	$k_3 = 0.05$ $k_4 = 0.05$
7-7'部	$f_5 = 2.4$ $f_6 = 2.4$	$C_5 = 1600$ $C_6 = 1600$	$v_5 = 0.167$ $v_6 = 0.167$	$k_5 = 0.05$ $k_6 = 0.05$
杭	$f_7 = 2.4$	$C_7 = 1600$	$v_7 = 0.167$	$k_7 = 0.05$
合計	中心角速度係数 $k_n = 100000 \text{ cm}^2/\text{m}^3$ 角速度係数 $k_n = 100000 \text{ cm}^2/\text{m}^3$ $\theta = 10 \text{ mm}^{-1}$ 、内部摩擦角 $\phi = 35^\circ$			

表2 モデル2の地盤定数

	単位体積重量 γ (ton/m ²)	せん断波速度 C (m/sec)	ポアソン比 ν	減衰定数 h
地盤	$\gamma_1 = 1.8$	$C_1 = 240$	$\nu_1 = 0.333$	$h_1 = 0.2$

の挙動は、その周辺の地盤の構成により相当異なったものとなり、モデル1では杭の先端と杭頭とでその応答に顕著な差が認められる反面、モデル2では両者の応答には顕著な差は認められなかった。さらに杭周面に発生する動的な応力のうち杭先端に発生する鉛直応力が最大となる時刻における応力状態を図示したものが図3(a)、(b)である。この時の鉛直力とせん断力の分担率を示したのが表4である。これより、杭先端の分担率は、モデル1、2共に震動荷重の約30%であることがわかる。したがって、震動荷重の全てが杭の先端に伝達されるわけではなく、その多くの部分は杭周面の摩擦力によって分担されており、せん断力と鉛直力の分担率は3.で述べた自重のみによる場合とその大小関係が逆転している。

表らは各種の設計基準・設計指針による杭の支持力に関する安全率を示している。このように地震時の安全率は常時のそれより小さくなっているが、その反面作用外力は増加しているから、外力の作用状態によってはこの安全率を確保できなくなる場合がある。しかしながら、このような場合も基本的には静的な外力作用時と同様に、杭先端での鉛直力と支持力との比から安全率を定めることになるが、上述のように動的な状態では全荷重による杭周面摩擦力が増加して杭先端の鉛直力の割合が低下するから、杭先端の鉛直力だけから安全率を定めることは過大な杭断面積を要求していることになる可能性がある。したがって、動荷重下での杭の周面摩擦力と鉛直力との大小関係の比較を詳細に行うことにより、より安全で合理的な設計が行えると考えられるが、一般性のある結論を得るにはさらに多くの場合について検討を行わねばならない。

Model 1 10 ton-f/m² Model 2 10 ton-f/m²

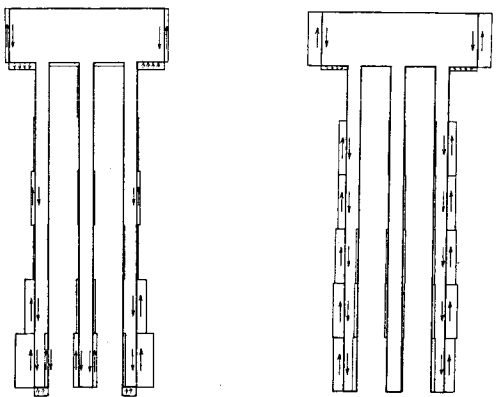


図2 (a). モデル1の静的応力分布 (b). モデル2の静的応力分布

Model 1 50 ton-f/m² Model 2 20 ton-f/m²

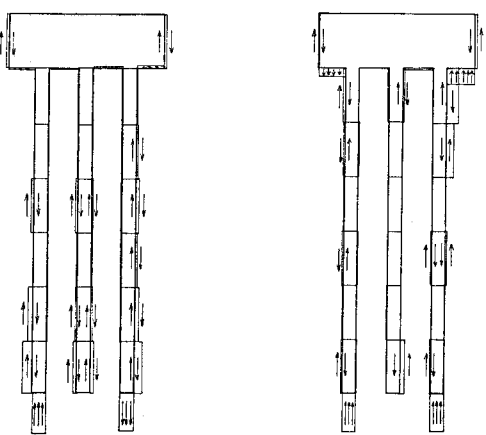


図3 (a) モデル1の動的応力分布 (b) モデル2の動的応力分布

参考文献 (1) Goodman, R.E.: Method of Geological Engineering in Discontinuous Rocks, W.P.C. ch.8, pp.300~368, 1976
(2) 土岐・佐藤・三浦: 強震時における地盤と構造物間の剥離と滑動, 土木学会論文報告集, 投稿中

表3 静的荷重の分担率

	モデル1	モデル2
① 第2層基礎の重量 ton-f/m	1027.6	985.2
② 分担荷重 ton-f/m	717.2	582.9
③ ①/②の分担率 %	70.0	59.2
④ せん断力 分担荷重 ton-f/m	308.4	402.3
⑤ ③/④の分担率 %	30.0	40.8

表4 動的荷重の分担率

モデル1	分担荷重 (ton-f)	分担率 %
せん断力		
フーチング	24.0	7.2
杭	361.6	57.4
鉛直力		
フーチング	23.2	2.8
杭	180.0	27.6
計	628.8	100

モデル2	分担荷重 (ton-f)	分担率 %
せん断力		
フーチング	15.2	9.4
杭	59.6	30.8
鉛直力		
フーチング	50.8	31.4
杭	46.0	28.4
計	161.6	100

表5 安全率

	常時	地震時
建築基礎構造設計基準	3以上	1.5以上
道路橋下部構造設計指針	3(4)以上	2(3)以上
港湾構造物設計基準	2.5以上	1.5(2.5)以上

注 () 内は厚さ2mの場合