(65) 兵庫県南部地震にをける杭の応答解析

運輸省港湾技術研究所　外山進一

1　概要

平成７年度兵庫県南部地震の運輸省第三港湾建設局神戸港工事事務所での観測波を入力としてFEMを用いて構造体の一要素である単杭のﾓﾃﾞﾙ計算を実施し地震波と杭の応答特性について明らかにすべく感度分析をして検討する。地震波の鉛直成分も配慮して３次元の計算をする。

2　解析手法

入力波は神戸港工事事務所の構内の地表にをける水平2成分N43W,E43Nと鉛直をX,Y,Z軸とする３次元波の主要部分10秒間を用いている。地震加速度の最大値は、それぞれ502,205,283Galである。

ﾓﾃﾞﾙ地盤は原地盤を簡略化したところ、杭延長上はN=10、杭先端はN=50と比較的標準的な値である。

ｲﾒｰｼﾞとして桟橋を考えながら、ﾓﾃﾞﾙ鋼杭は外径1m、厚さ12mm、10mの自由長、2mの上載荷重100t相当分、-25mの根入れ長さがある。根入れ部分は水平ﾊﾞﾈKh1万t/m3、先端は鉛直ﾊﾞﾈKv3万t/m3で支えられている。

計算にはISAPﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑを用いて、３次元、非連成、線形、減衰定数0.05、時系列応答解析をしている。

応答に影響を及ぼすと考えられる各種諸元を変化させて感度分析を行っている。

3　杭頭自由と固定の杭軸方向の変化

1,2,3次固有周期は、X,Y軸の1,2次、Z軸の1次ﾓｰﾄﾞに対応している。杭頭自由の1,2次固有周期1.8s,3次0.18sと杭頭固定の1,2次0.81s,3次0.18sから、杭頭固定は水平剛性が高く、鉛直剛性は同じであり、水平に対し鉛直剛性が高い傾向は、静的な場合と同じである。杭頭自由と固定の鉛直挙動は同じである。

動的部分の絶対値の最大値を杭軸に沿って変化を調べる。加速度は入力地盤加速度、変位は片持ち梁に上部工荷重が水平に作用した時の変位、ﾓｰﾒﾝﾄは片持ち梁に上部工荷重が水平に作用した時の固定部ﾓｰﾒﾝﾄ、軸力は上部工荷重を基準として正規化している。上部工荷重が水平に作用するとは、1Gの地震加速度が作用していることと同じである。変位と力は同時刻、加速度とは異なる時刻に最大値をとる。X,Y,Z軸別に異なる時刻に最大値をとる。

水平方向は、X,Y軸とも同様な傾向である。静的に杭頭に力が作用した時と同様な傾向であり、上部工に地震の慣性力が作用することにより、杭が曲がり、ﾓｰﾒﾝﾄが生じる。

鉛直加速度は、地盤地震加速度の1.8倍程度まで杭頭に向かって増幅する。変位と軸力は、下方向圧縮で震度法の2倍程度になる。軸力は、単位長さ当たりの単重で増加するが軸方向の変化は少ない。

1）　杭頭自由　図1-3

X,Y軸加速度は、杭頭に向かい地盤地震加速度の1.5倍程度に増幅する。変位は、震度法の1.5倍程度となっている。ﾓｰﾒﾝﾄは、地上で最大値をとり震度法の値程度である。地中では、応答は急速に減衰する。

2）　杭頭固定　図4,5

変位は、静的な杭頭自由の1/4である両端固定梁の変位で正規化している。X,Y軸の加速度、変位は上部工回転固定の影響で上端部の変化が拘束されている。X軸、加速度は入力の1.4倍程度、変位は震度法の1.5倍程度、ﾓｰﾒﾝﾄは震度法の杭頭自由の0.6倍程度となる。Y軸、加速度は1.5倍程度、変位は2倍程度、ﾓｰﾒﾝﾄは同程度となる。上下のﾓｰﾒﾝﾄは、符号が異なる。杭頭自由と比較すると、加速度はあまり変化しないが、変位の絶対値は小さくなり、ﾓｰﾒﾝﾄは上下２カ所に同程度の大きな値がでるが絶対値は小さくなり構造的に楽になる。

4　杭頭自由の最大値の感度分析

杭頭自由の杭軸上での最大値について各種諸元の感度分析を進める。

1）　剛性の変化　図6-8

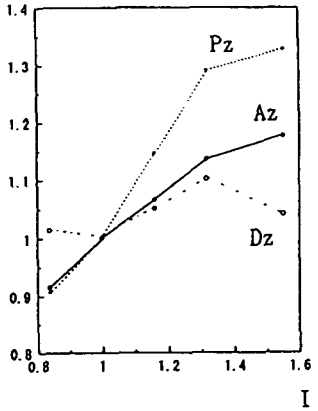

図8 最大加速度Az，変位Dz，軸力Pzと剛性の変化

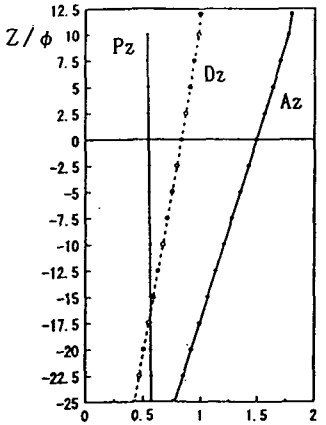

図3 杭頭自由，最大加速度Az，変位Dz，軸力Pzの軸方向変化

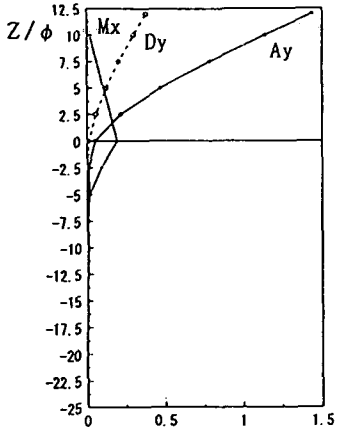

図2 杭頭自由，最大加速度Ay，変位Dy モーメントMxの軸方向変化

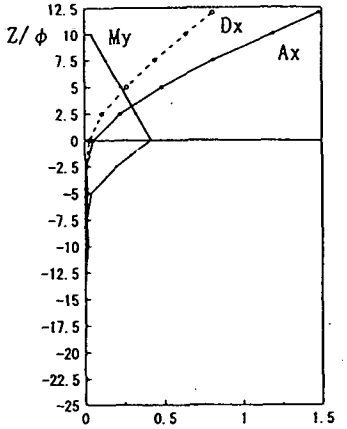

図1 杭頭自由，最大加速度Ax，変位Dx モーメントMyの軸方向変化

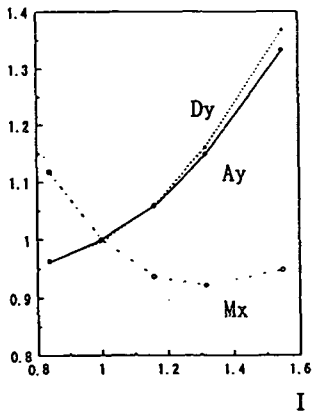

図7 最大加速度Ay，変位Dy，モーメントMxと剛性の変化

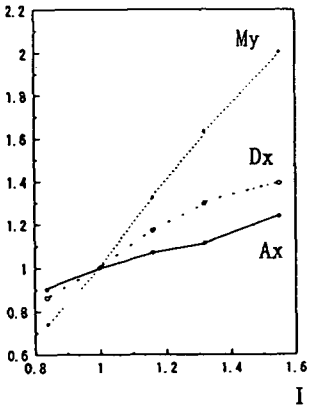

図6 最大加速度Ax，変位Dx，モーメントMyと剛性の変化

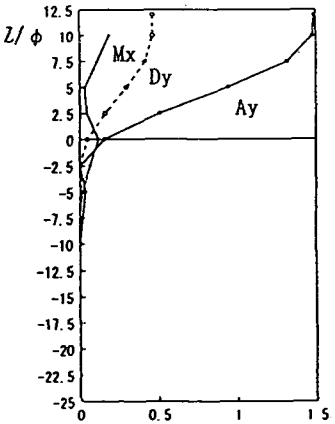

図5 杭頭固定，最大加速度Ay，変位Dy モーメントMxの軸方向変化

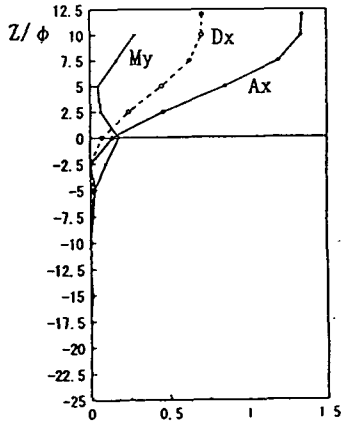

図4 杭頭固定，最大加速度Ax，変位Dx モーメントMyの軸方向変化

鋼管の厚さt=10,12,14,16,19mmと固有周期は負の相関がある。X軸、剛性と加速度、変位、ﾓｰﾒﾝﾄは正の相関がある。Y軸、剛性と加速度、変位は正の相関がある。ﾓｰﾒﾝﾄは曲線的に減少している。卓越加速度方向にﾓｰﾒﾝﾄの集中を起こしている。Z軸、剛性と加速度、変位、軸力は正の相関がある。しかし、剛性が1.3倍を越えると変位は減少し、加速度、軸力の増加率が減少する。断面積の増加によるｴﾈﾙｷﾞｰ吸収により軸方向変化が減少している。

2）　上部工荷重の変化　図9-11

上部工荷重50,100,200,400,600tと固有周期は正の相関がある。荷重の増加は、X,Y軸で加速度の抑制効果が見られ75%程度となる。4倍荷重で変位、ﾓｰﾒﾝﾄはﾋﾟｰｸに達する。Z軸、荷重と加速度、変位、軸力は正の相関がある。しかし、加速度の増加は緩やかである。

3）　地盤ﾊﾞﾈ定数の変化　図12-14

X,Y軸地盤ﾊﾞﾈ定数Kh=0.1,0.5,1,2,3万t/m3と固有周期は負の相関がある。X軸、Khと加速度、変位、ﾓｰﾒﾝﾄは正の相関がある。Y軸、Khと加速度、ﾓｰﾒﾝﾄは正の相関があるが、変位は減少している。卓越加速度の方向への集中が見られる。Z軸地盤ﾊﾞﾈ定数Kv=1,2,3,4,5万t/m3と固有周期は負の相関がある。Kvと加速度、軸力は正の相関がある。変位は変化が小さくなる。

4）　減衰定数の変化　図15-17

減衰定数0,0.03,0.05,0.07,0.1と加速度、変位、力は負の相関がある。Y軸加速度は変化ほぼなし。

5）　自由長の変化　図18-20

地表と荷重中心との距離である自由長1.5,3,5,7,9,11mと固有周期は正の相関がある。X,Y軸、変位、ﾓｰﾒﾝﾄはﾋﾟｰｸがあり、加速度は山谷ができる。Z軸、固有周期の増加率は小さい。自由長と加速度、軸力は負の相関がある。変位はﾋﾟｰｸがある。

5　まとめ

地盤の鉛直剛性が高いため、上下動は高周波数を多く含んでいる。杭は軸方向の剛性が高く振動はそのまま上端まで達する。耐震構造は、剛性、重量、地盤強度が増加することが多い、しかし意図とは逆に応答を大きくする。

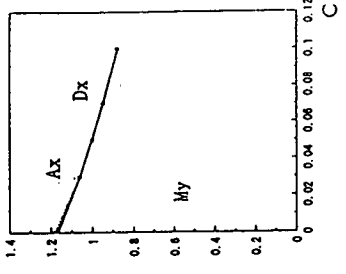

図15 最大加速度Ax,変位Dx,
モーメントMyと減衰定数変化

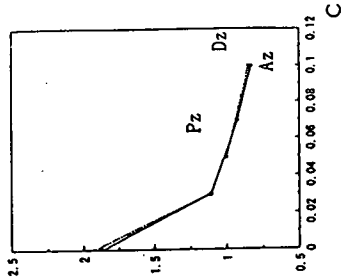

図17 最大加速度Az,変位Dz,軸力Pzと
減衰定数の変化

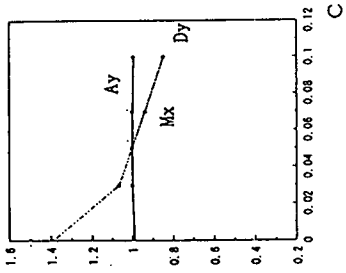

図16 最大加速度Ay,変位Dy,
モーメントMxと減衰定数の変化

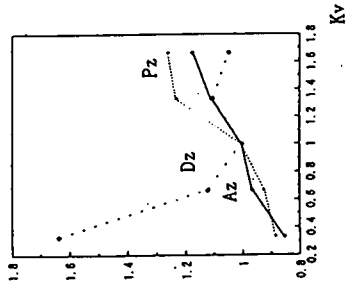

図14 最大加速度Az,変位Dz,
軸力Pzと　鉛直バネの変化

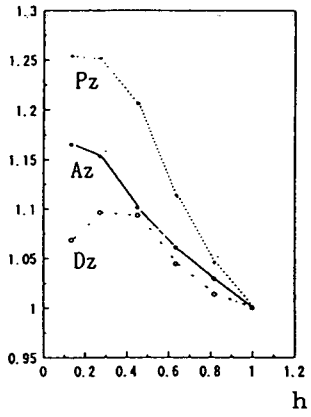

図20 最大加速度Az, 変位Dz, 軸力Pzと自由長の変化

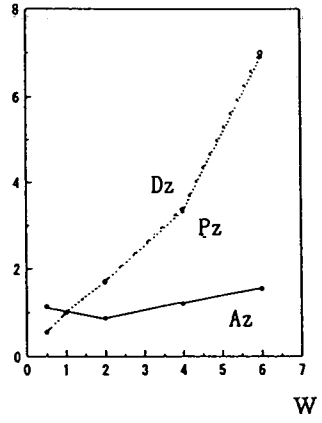

図11 最大加速度Az, 変位Dz, 軸力Pzと上部工荷重Wの変化

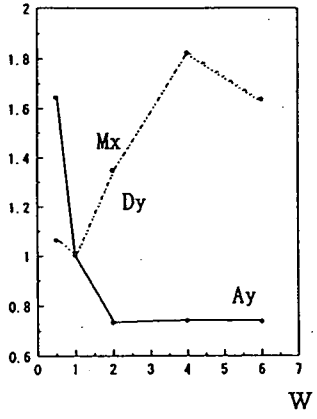

図10 最大加速度Ay, 変位Dy, モーメントMxと上部工荷重Wの変化

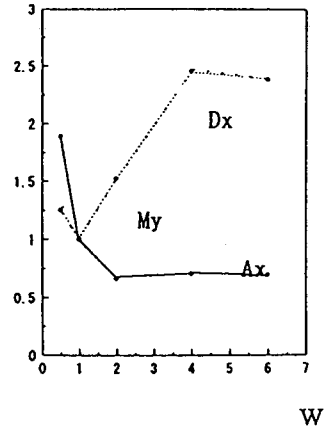

図9 最大加速度Ax, 変位Dx, モーメントMyと上部工荷重Wの変化

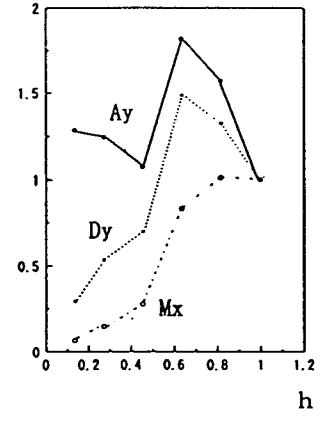

図19 最大加速度Ay, 変位Dy, モーメントMxと自由長の変化

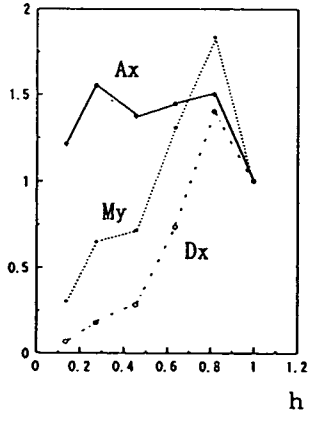

図18 最大加速度Ax, 変位Dx, モーメントMyと自由長の変化

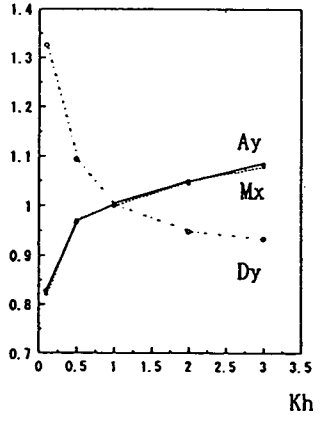

図13 最大加速度Ay, 変位Dy, モーメントMxと水平バネの変化

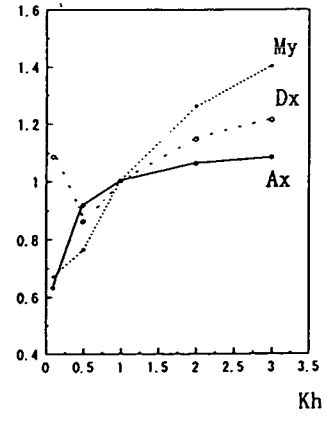

図12 最大加速度Ax, 変位Dx, モーメントMyと水平バネの変化