

福岡県西方沖地震時に地盤の不整形性が地盤 - 杭基礎構造物系の応答に与えた影響について

九州大学 学生員 有澤 謙一
 九州大学 フェロー 大塚 久哲
 九州大学 正会員 古川 愛子

1. はじめに

2005年の福岡県西方沖地震時の福岡市中央区の建物被害に関して、天神地区では構造部材が損傷を受けた建物の数は少なかったのに対し、大名・今泉地区においては構造部材に損傷を受けた建物も多く、2つのエリアで被害に有意な差が確認された。これらの応答の差異は不整形地盤の影響によるものではないかと考えられる。本研究では、大名・今泉地区の基盤面が傾斜しているエリアを対象に、2次元有限要素法による地震応答解析を行い、基盤が不整形であることが地盤および杭基礎を有する建物の応答に与えた影響について検討を行った。

2. 本研究の対象とする領域

図1に示す福岡市街地の基盤等高線図より、大名・今泉地区の基盤面はほぼ南西から北東に向かって傾斜しており、不整形地盤が形成されていることがわかる。本研究では、図1に併記する1000mのラインに沿って、2次元有限要素法による非線形地震応答解析を行った。

3. 地盤モデルおよび入力地震動

基盤面深さは図1に示す基盤等高線図より読み取った。表層地盤のS波速度および単位体積重量は、周辺のボーリングデータを参考にし、微動計測により得られた地盤の1次固有周期を再現する値を決定した。地盤モデルを図2に示す。

基盤面に入力する地震動は、基盤傾斜方向の1成分のみとし、基盤面で一様であるとした。(株)建設技術研究所九州支社の地下65m地点における観測波(E+F波)から、1次元等価線形解析によって抽出した基盤露頭波2E波(図3)を使用した。

4. 解析条件

地盤は平面ひずみ要素、杭は梁要素、上部(後述)はばね要素でモデル化した。解析地盤のメッシュの大きさは、水平方向5m(但し、杭の左右100m区間は1m)、鉛直方向1mとした。復元力特性は地盤をR0モデル、杭・上部をトリリニアモデル(修正武田型)とした。拘束条件は地盤モデルの底面を粘性境界、側方は鉛直方向固定・水平方向自由とした。減衰は要素別レーリー減衰とし、地盤・杭・上部ともに2%とした。

杭については場所打ちRC杭(5本杭)とし、杭間隔は5mでフーチングに剛結、5本とも基盤面に着底とした。左の杭から順に、杭1、杭2、...、杭5と呼ぶこととする。上部構造物は7層のRC建物であり、フーチング中央に設置した。

杭の設置箇所としては、真中の杭までの水平距離が 350m 地点(杭長は左から順に 20, 20, 21, 21, 21m)、450m 地点(同 28, 28, 29, 29, 30m)、500m 地点(同 33, 34, 34, 35, 35)、540m 地点(同 38, 39, 40, 41, 42m)、570m 地点(同 43, 44, 45, 46, 48m)、600m 地点(同 50, 50, 51, 51, 51m)、640m 地点(同 52, 52, 52, 52, 51m)、750m 地点(同 48, 48, 48, 47, 47m) 1000m 地点(同 43, 43, 43, 43, 43m)の9ケースについて解析を行った。傾斜モデルの中央杭と同じ深さを持つ成層地盤9ケースについても同様の解析を行った。

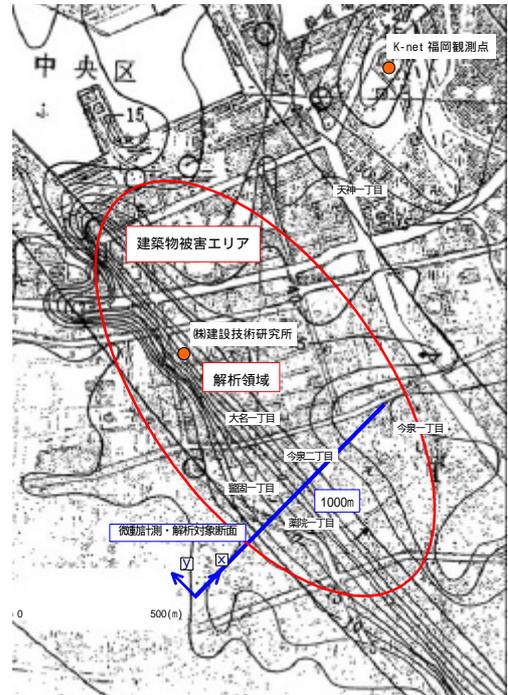


図1 基盤等高線図と解析領域

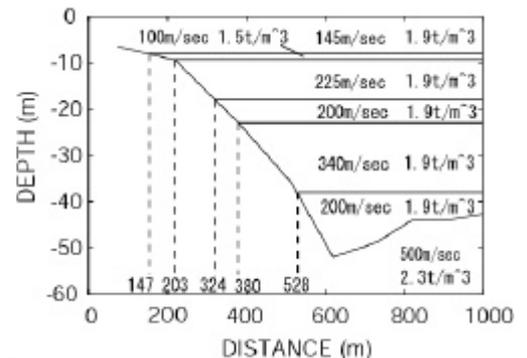


図2 地盤モデル

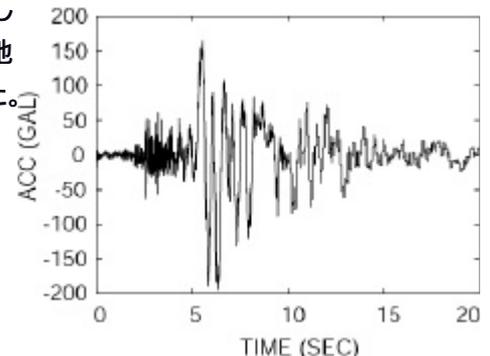


図3 入力地震動(2E波)

5. 解析結果

(1) 地表面加速度分布

図4は、地盤のみを対象として2次元および1次元線形解析を行ったときの地表面最大加速度分布の比較である。1次元解析の場合は、570m地点で最大値を示しているが、これは地盤の固有周期と入力地震動の卓越周期が一致する点である。2次元解析の場合は、傾斜の終わる地点よりやや北東側の640m地点において最大値を取り、基盤面の傾斜による増幅効果が現れている。

図5は、構造物を640m地点に設置した場合の地表面最大加速度分布の比較である。杭を設置した場合も、傾斜地盤の方が640m地点において大きな最大加速度を示している。また、全てのケースに共通した結果であるが、成層地盤では杭の両側で最大加速度が最大値を示すのに対し、傾斜地盤では杭の左側(傾斜の浅い側)で最大値を示した。

(2) 上部構造物の応答塑性率

傾斜・成層地盤ともに、9ケース全てにおいて、2層目の応答塑性率が最大値を示した。図6に、各地点に杭を設置したときの2層目の応答塑性率の比較を示す。地表面最大加速度に傾斜の影響が最も強く表れた640m地点において、上部構造物についても成層地盤を上回る塑性率が得られており、傾斜の影響が顕著である。

(3) 杭の軸力

表1は、横方向に5本の杭、縦方向に杭の設置位置をとり、それぞれの位置で、各杭の最大軸力を傾斜・成層地盤で比較した結果である。傾斜地盤における杭の最大軸力が、成層地盤における杭の最大軸力より2倍以上大きいときを○、1倍以上2倍未満のときを△、ほぼ同程度であるときを□、傾斜地盤の方が最大軸力が小さいときを×とした。多くのケースで傾斜地盤での最大軸力が成層地盤を大きく上回り、基盤面の傾斜の影響は杭の軸力に顕著に見られた。地盤の地表面最大加速度や、上部構造物の応答塑性率は、傾斜が終わる地点よりやや北東側の640m地点で最大値を示したのに対し、杭の軸力は基盤面の傾斜が大きな540-600m地点において非常に大きな差が見られた。

(4) 杭のせん断力

せん断力は、傾斜・成層地盤とも、全9ケースにおいて、杭頭で最大値を示した。成層地盤は5本の杭全てが同程度のせん断力分布をとったが、傾斜地盤では杭の位置による違いが見られた。図7は、各杭設置箇所における杭頭のせん断力を、傾斜地盤の左右両端の杭(杭1と杭5)、成層地盤の最も左の杭(杭1)と比較したものである。(成層地盤では、杭1と杭5で同じせん断力を示した。)傾斜が急な地点において、左側の杭1のせん断力は成層地盤における杭のせん断力を大きく上回り、逆に右側の杭5では下回っている。基盤面が傾斜している地点では基盤面の浅い側の杭がより大きなせん断力を受けることがわかった。

6. まとめ

基盤面の傾斜が終わる地点よりやや北東側において、不整形性の影響により、地表面最大加速度が増幅され、杭基礎を持つ上部構造物の応答塑性率が成層地盤より大きくなった。杭の断面力については、傾斜が急な地点において杭の軸力が成層地盤より大きくなり、基盤面が浅い側(左側)の杭のせん断力が成層地盤を大きく上回るせん断力が得られた。本研究では以上のことがわかり、福岡県西方沖地震では基盤面が傾斜している大名・今泉地区で被害が大きかったが、本研究の解析結果はこの事実と整合性のある結果と言える。

参考文献

(社)九州地質調査業協会,福岡地盤図作成グループ:福岡地質図 基盤岩表面等高線図,帝国地図,1981

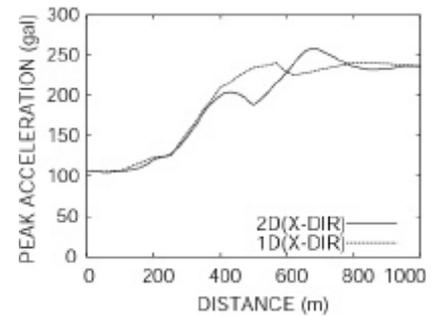


図4 地表面最大加速度分布(地盤のみ)

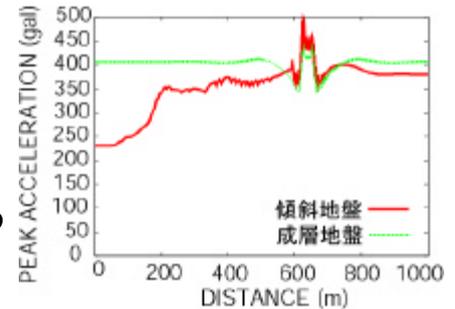


図5 地表面最大加速度分布 (杭を640m地点に設置の場合)

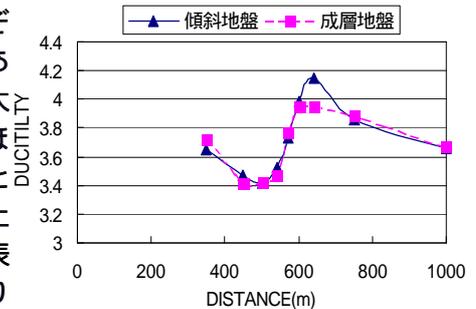


図6 上部構造物2層目の応答塑性率

表1. 杭の軸力の比較

	杭1	杭2	杭3	杭4	杭5
350m	×				
450m	×				
500m	×				
540m					
570m					
600m					
640m	—				
750m					
1000m	—	—	—	—	—

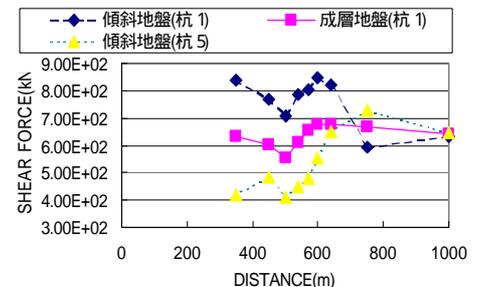


図7 せん断力の比較