

I - B 98

等価線形解析による液状化した埋立地盤の地震時挙動の評価

飛島建設技術研究所 正会員 三輪 滋
飛島建設技術研究所 正会員 池田 隆明

1. はじめに

設計実務において、液状化した地盤の地震動増幅特性を評価する場合には、有効応力解析法などよりも、より簡易な方法が望まれる。等価線形解析法は、液状化が生じるようなひずみの大きな領域までは評価が難しいとされているが、液状化の影響を何らかの形で取り込み評価する試みもなされている^{1)~7)}。ここでは等価線形解析で、液状化による地盤のせん断剛性の低下を適切に評価することにより、簡易に液状化した地盤の挙動を評価する手法を検討し、さらにこれを用いて兵庫県南部地震の際の、埋立地の地震時挙動の評価を試みる。

2. 検討手法

液状化を考慮した等価線形解析は以下の手順で行う⁵⁾⁶⁾⁷⁾。まず通常の等価線形解析を実施し、得られた地盤のせん断応力と液状化の可能性のある層の液状化強度を比較して、液状化の有無を判断する。液状化層に対しては、液状化で考えられるせん断剛性の低下を行う。そのほかの層に対しては、等価線形解析の収束剛性を用いて、再度線形計算を行い、液状化を考慮した地震動増幅を評価する。さらに、この方法による結果と観測記録および通常の等価線形解析結果を比較検討する。

3. 検討対象地点と地盤

検討地点は、図-1に示す。1995年兵庫県南部地震で液状化した臨海埋立地で、地震動記録の得られた神戸ポートアイランド⁸⁾・東神戸大橋⁹⁾である。地盤モデルは、観測サイトの地盤データと周辺の

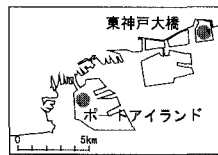


図-1 検討地点

表-1 地盤モデル

神戸ポートアイランド			東神戸大橋		
depth(m)	Vs(m/s)	ρ (t/m ³)	depth(m)	Vs(m/s)	ρ (t/m ³)
3.0	170	1.9	3	113	1.8
5.0	170	1.9	3.9	113	2
12.6	210	2	12.5	137	2
19.0	210	2	16.8	177	2
27.0	180	1.6	24.1	150	1.64
33.0	25	1.8	25.25	248	1.85
50.0	310	1.9	33	280	2
61.0	350	1.9	54	320	1.9
79.0	300	1.8	66	300	1.8
83.0	320	2	base	350	2
base	320	2			

地盤調査結果に基づいて設定した⁵⁾⁶⁾。動的変形特性や液状化強度地盤は、周辺地盤で得られた試料の試験値に基づいて設定した⁵⁾⁶⁾。また、液状化した地盤のせん断剛性については、既往の研究での観測記録の逆解析などから液状化層のひずみや剛性を推定した結果の整理から、1/20~1/100 程度であること⁵⁾に基づいて、液状化層のせん断剛性を初期せん断剛性の 1/50 と設定した。地盤モデルを表-1に示す。ポートアイランドの最深部観測点は Ma12 層より深い S 波速度 300m/s 以上の砂礫層内の GL-83m に設置されており、この地震動の NS 成分を入力地震動とした。東神戸大橋地点の入力位置は同等の層が出現する GL-66m とした。また、東神戸大橋地点では、ポートアイランドの液状化を考慮した検討で得た GL-83m での入射波(2E)を入力した検討、東神戸大橋の GL-34m の記録(NS 成分)をその深さでの入力地震動とした検討(液状化を考慮した場合)も行った。

4. 地盤の応答解析と結果の検討

図-2に応答値を観測値との比として示す。最大加速度はばらつきがあり明瞭ではないが、地盤の挙動との相関が高いとされる最大速度や SI 値は、液状化を考慮した解析（以下、図中では「液状化」と表現する）は、液状化層以深だけでなく、液状化の影響を受けた地表や地表付近においても、観測値との一致度が高い。図-3にポートアイランドについて、解析で求められた加速度時刻歴を観測記録と比較して示す。通常の等価線形解析では、主要動の最初の 2 波以降において、液状化層の下 GL-16m で位相が遅れ、液状化層の上の地表面では位相が進んでいる。一方、液状化を考慮した解析では GL-16m でおおむね観測記録と一致し、地表面では、剛性が一定であることから、主要動の前半では位相遅れが見られるものの、液状化して長周期化し振幅が減少する主要動の後半以降ではよく一致し、液状化の挙動を概ね表現できていると考えられる。

キーワード：液状化、地盤震動、等価線形解析、地震動増幅特性、強震観測記録

〒270-0222 千葉県東葛飾郡関宿町木間ヶ瀬 5472 飛島建設技術研究所 TEL:0471-98-7553,FAX:0471-98-7586

図-4 にトリパタイト表示した加速度応答スペクトル（減衰定数 5%），および，地盤の増幅特性を表すものとして，地中と地表の記録の応答スペクトル比を観測と解析で比較して示す．いずれも液状化を考慮した場合の方が観測値に近いスペクトル特性を示しており，増幅特性も，液状化による卓越周期の長周期化や増幅倍率の変化がかなりよく評価されていると考えられる．東神戸大橋地点においても，この地点の GL-34m 観測波を GL-34m に入力した場合の地表の応答の再現性には及ばないものの，地表や GL-34m での特性を概ね表現している．またポートアイランドの観測波入力の場合よりも，入射波入力の場合の方が 1 秒以上の周期で一致度は高く，観測波には観測地点の表層地盤の影響が無視できない程度に含まれていると考えられるが，その差は大きくはない．

5. 結論

以上の検討から次のようなことがわかった．

- 1) 兵庫県南部地震の際，ポートアイランド，東神戸大橋の観測記録と解析の比較から，液状化を考慮した等価線形解析法は，液状化を含むようなひずみレベルが大きな場合における地盤の非線形増幅特性評価にも有効と考えられる．
- 2) 兵庫県南部地震の際，ポートアイランドの GL-83m の地震動を用いた検討で，神戸市東部の深江浜の地震動特性を概ね表現できた．このことから，兵庫県南部地震の際に，ポートアイランドから深江浜にかけての激しい液状化が生じた埋立地においては，深度の分布は幾分ことなるものの，Ma12 層の下の方砂礫層を工学的基盤面と考えた場合，そこでの入力地震動のレベルは比較的広い範囲でほぼ同程度であったと考えられる．

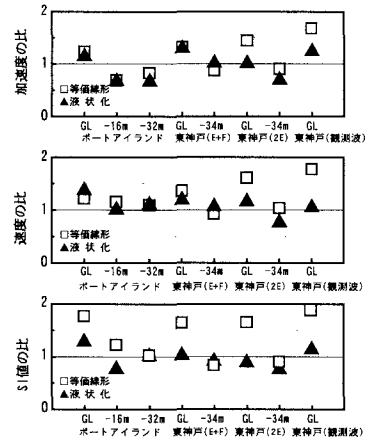


図-2 各応答値の比較

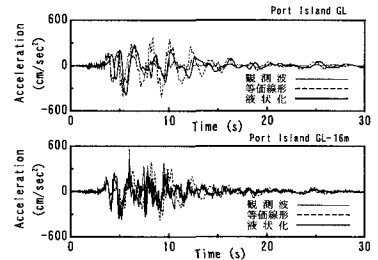


図-3 加速度時刻歴の比較（※：ポートアイランド）

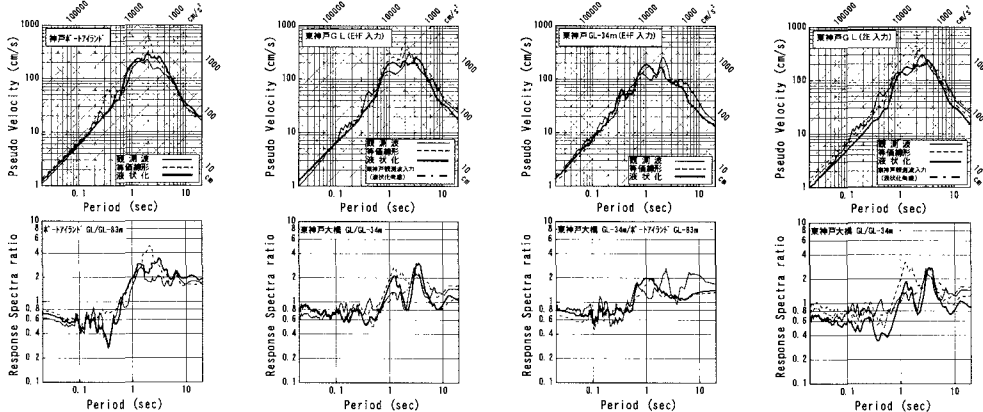


図-4 応答スペクトル（減衰定数 5%）と応答スペクトル比の比較

【謝辞】 検討には神戸市のポートアイランドの記録，建設省土木研究所の東神戸大橋の記録を使用させていただきました．深く感謝の意を表します．また，計算の実施・データ整理に多大な協力をいただいた鈴木重良氏に感謝の意を表します．

【参考文献】 1) 田村敬一ほか：液状化を考慮した簡易な地震応答解析，土木学会第 51 回年次学術講演会講演概要集，第Ⅲ部門，pp.336-337, 1996, 2) 田中幸久：等価線形解析による液状化解析の可能性，土木学会第 51 回年次学術講演会講演概要集，第Ⅲ部門，pp.338-339, 1996, 3) 沼田淳紀ほか：神戸ポートアイランドにおける地震応答解析と簡易液状化判定，第 10 回日本地震工学シンポジウム，pp.1481-1486, 1998, 4) 國生剛治ほか：等価線形解析の大ひずみレベルへの適用の試み，第 33 回地震工学研究発表会，pp.773-774, 1998, 5) 三輪滋ほか：兵庫県南部地震における埋立地盤の地震時挙動の検討（その 2：液状化したまき土層に生じたひずみの検討），第 33 回地震工学研究発表会，pp.877-878, 1998, 6) S.Miwa et al.: Earthquake response evaluation of sites in liquefied area, Special Volume on Simultaneous Simulation for KOBE, 2nd International Symposium on The Effect of Surface Geology on Seismic Motion, pp.163-170, 1998, 7) 三輪滋ほか：等価線形解析による液状化した地盤における地震動の評価，第 34 回地震工学研究発表会，1999（投稿中），8) 神戸市開発局：兵庫県南部地震による埋立地地盤変状調査報告書，1995, 9) 建設省土木研究所：土木構造物における加速度記録（No.21），土木研究所集報，第 64 号，1995