

直下型地震を想定した場合の埋立地の液状化有効応力解析

中電技術コンサルタント(株) 正会員 ○大畑徹夫 片山吉史
 山口大学 工学部 正会員 三浦房紀
 岐阜大学 工学部 正会員 八嶋 厚

○ はじめに

兵庫県南部地震において、埋立地のようなゆるく飽和した軟弱な地盤が液状化し、その周辺の海岸および河川の護岸構造物が前面に傾斜または沈下するといった被害が多く報告されている。本報告では、埋立地における河川護岸を対象とし直下型地震を想定した場合の2次元液状化有効応力解析を実施した例について示すものである。

○ 液状化有効応力解析条件

液状化時の地盤および周辺構造物の地震応答解析においては、これまで多くの解析法が提案されてきているが、このうち有効応力解析は、地盤材料を土と水とに分けて考える方法で、液状化時の地盤の挙動を解析的に予測する最も厳密な方法であるとされている。本報告でも岡・八嶋によるLIQCA-2D（1995年版）により2次元有効応力解析¹⁾を行っている。

解析対象は、河川に直行する河床－護岸－背後地盤から成る図-1の断面を対象とし、背後地盤は地表より埋土、上部砂層、沖積粘土層、粘土質砂層、砂礫層より成っており、砂礫層上端を入力基盤面とし、基盤面以浅の表層地盤37.5mを地質調査資料から表-1のとおりモデル化した。地下水位（GL-3.0m）以深の埋土および上部砂層を液状化対象層とし、その液状化強度は、対象としている地域において同様な地層で過去実施された液状化試験結果をもちいて要素シミュレーションを行い、パラメータを決めている。図-2に液状化強度曲線の試験値および計算値を、図-3, 4にシミュレーション結果である有効応力経路と応力～ひずみ曲線の一例を示す。境界条件は底面を拘束、側面を等変位境界とし、排水条件は底面および側面を非排水、地下水位面を排水条件とした。入力地震動は、直下型地震を想定し作成された図-5の加速度波形を入力した。

○ 解析結果

図-6に最大加速度コンターを示す。基盤入力加速度348galに対し、液状化層では下端部で500gal上端部で400gal程度に減少し地表面では550gal程度である。ただし、河床部では700gal以上の部分もある。図-7, 8に、護岸背後地表面の加速度と変位の水平成分の時刻歴を示す。同図にはSHAKEによる結果を比較のために示す。同図によるとSHAKEで最大加速度が360gal、最大変位が3.1cmに対し、LIQCAでは、それぞれ550gal, 8cmとSHAKEに比べ大きな値を示す。LIQCAでは、有効応力解析特有の残留変形量が評価されており、護岸前面方向には5cm程度発生している。これは護岸背後地盤地表面全体に対して同様の傾向にあり水平方向に5cm、鉛直下方に3～5cm程度の残留変形が発生している。

図-9に過剰間隙水圧比コンター（20秒後）を示す。護岸背後および河床側で0.8～1.0以下程度の値となり、液状化の発生が認められる。一方、地盤の高低差がある個所には、常時からせん断力が発生しており、こうした個所には液状化強度が高いとされている。このため護岸直下については初期せん断応力働いているため間隙水圧の上昇は少ない。図-10には、護岸背後地盤の深度8m付近の過剰間隙水圧比の時刻歴図を示す。同図によると地震発生から約2秒付近から徐々に過剰間隙水圧比は上昇し、13秒後には、0.8に達する。

○ 考察

解析結果に見られるように過剰間隙水圧比で1.0の完全液状化までには至らないが、0.8程度の液状化が予想され、護岸背後の水平変位、沈下量は、10cm以下となった。ただし、これは既存のデータにより大まかな傾向を知るための概略値であり、構造物の挙動も含めて詳細に予測するためには、今後さらに精度の高いデータを蓄積することが課題である。

表-1 有効応力解析用地盤データ

材料名	層厚 m	N値	qu kgf/cm ²	σ'_{vm} 比 v	間隙比 e	単体重量 tf/m ³	Vs m/s	透水係数 k m/s
埋立土	3.0	10	—	0.25	0.85	1.80	169	—
埋立土	1.0	10	—	0.25	0.85	2.00	169	6.9E-05
上部砂層	13.0	12	—	0.25	0.75	2.00	184	2.6E-05
沖積粘土層	2.0	—	2.14	0.30	1.13	1.76	258	3.0E-08
沖積粘土層	10.0	—	2.84	0.30	1.76	1.58	283	3.0E-08
沖積粘土層	5.0	—	1.18	0.30	0.94	1.84	211	1.1E-07
粘土質砂層	3.5	15	—	0.25	0.75	2.10	198	1.8E-02

図-1 解析対象断面

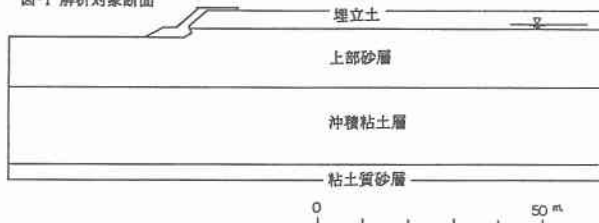


図-6 最大水平加速度コンター (gal)

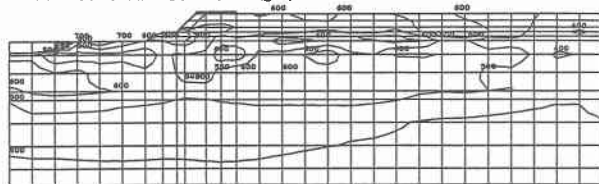


図-9 過剰間隙水圧比コンター

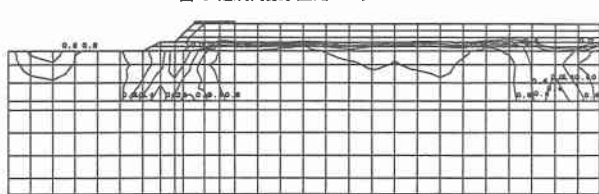


図-10 過剰間隙水圧比時刻歴 (護岸背後, GL-8m)

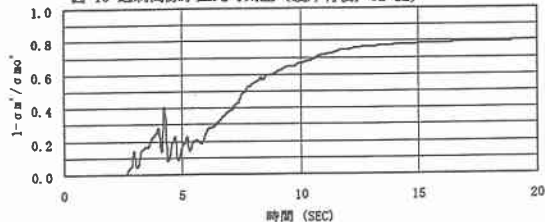


図-2 液化強度曲線 (上部砂層)



図-3 有効応力経路 (上部砂層)

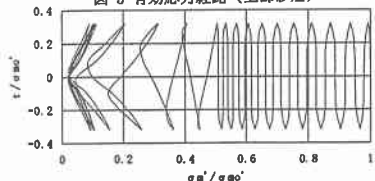


図-4 応力ひずみ曲線 (上部砂層)

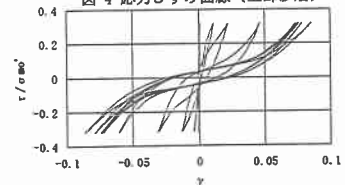


図-5 基盤入力加速度

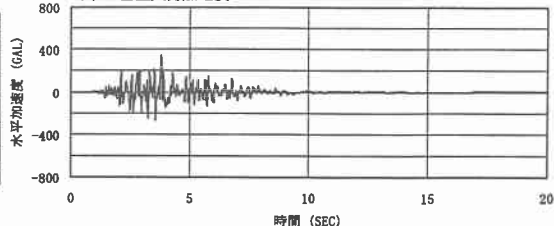


図-7 水平加速度時刻歴 (護岸背後, 地表面)

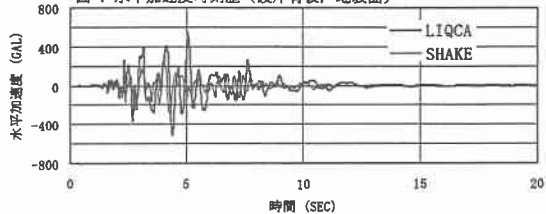
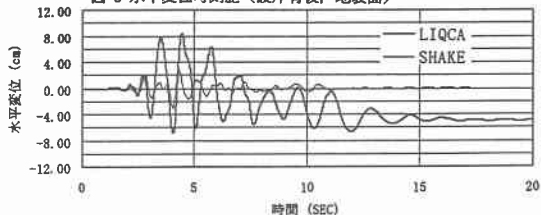


図-8 水平変位時刻歴 (護岸背後, 地表面)



参考文献 1) Oka, F., Yashima, A., Shibata, T., Kato, M., Uzuoka, R.: FEM-FDM coupled liquefaction analysis of a porous soil using an elasto-plastic model, Applied Scientific Research 52, pp. 209 ~245, 1994