

液状化地盤上の盛土構造物の変形解析

東北大学 学生会員○佐藤賢一

〃 正会員 風間基樹

〃 正会員 柳沢栄司

1. はじめに

今日、地盤の液状化を考慮した土構造物の変形解析法が数多く提案され、利用されてきている。本研究では2次元有効応力解析により河川堤防盛土について地震時残留変形解析を行い、実被害との比較検討を行う。特に本研究では盛土の被災変形量と地盤要素レベルのひずみ量との対応関係を考察する。

2. 解析方法

北海道南西沖地震により被災した後志利別川河川堤防の盛土について、2次元有効応力解析を行った。解析には有限要素法に基づく地震応答解析プログラムである FLIP¹⁾を用いた。FLIP では、土の応力-ひずみモデルとしては、双曲線モデルを組合わせたマルチスプリングモデルを使用し、過剰間隙水圧モデルについては変相線を伴う液状化フロントを仮定した有効応力経路をモデル化している。土の動的特性を規定するパラメータは各土層に対する土質試験の結果により決定した。また、液状化に関するパラメータは繰返し三軸試験をシミュレーションし土質試験から得られた液状化強度曲線にフィッティングするように決定した。要素解析シミュレーションの結果の一例を図1に、決定した土質定数を表1に示す。使用した盛土断面は新栄橋左岸上流の盛土で盛土の天端沈下量が約2.7mと被災変形量の大きかった堤防盛土であり盛土断面を含む幅80mの領域を解析対象とした。盛土の解析モデルを図2に、解析に用いた有限要素メッシュを図3に示す。解析断面の左右境界は無限遠方における成層地盤の地震応答を考慮するため粘性境界とし波動透過境界とした。入力地震波は北海道南西沖地震において寿都観測所の地表面で観測された地震波を入力基盤に戻した入射波を用いた。入力加速度レベルは50, 100, 200(実地震動レベル), 300, 400(Gal)の5段階とした。図4に入射波形を示す。

3. 結果と考察

加震80秒後の変形図及び過剰間隙水圧分布、最大せん断ひずみ分布、残留せん断ひずみ分布を図5(a), (b), (c), (d)に示す。盛土天端の最大沈下量は約22cm、水平変位量は約28cm、のり尻の水平変位は約10cmであった。実被害と比べ天端沈下量は10%程度にとどまった。過剰間隙水圧比は盛土直下からのり面にかけては0.3～0.7の比較的小きな水圧比を示した。しかし盛土以外の水平地盤では液状化層である浅い砂の層は過剰間隙水圧比が0.9以上と高い値となっていた。以上のことより盛土直下以外の水平地盤の砂層が液状化したことにより盛土直下における側方拘束圧の低下から盛土の沈下が起きたと考えられる。一方、せん断ひずみは変形の大きかった盛土のり面部分で大きな値を示しているほか、液状化したと思われる浅い砂層において大きくなっている。このことから盛土の被災変形量に盛土の基礎地盤の液状化層が大きく影響を与えていると考えられる。

次に図3に示す盛土、盛土直下、のり尻直下の3地点の要素ひずみと盛土被災変形量との関係を検討するため、複数の要素の平均せん断ひずみと変形量の関係を図6(a), (b), (c), (d)に示す。縦軸には変形の割合を横軸には平均せん断ひずみをとった。 ΔH は最大天端沈下量、 H は盛土高、 ΔL はのり尻の水平変位量、 L は盛土幅である。図より要素に生じる最大せん断ひずみが大きくなるほど被災変形量が大きくなることが分かる。変形はのり尻直下液状化層の平均最大ひずみが2%程度から急増している。一方、残留ひずみにおいても砂層では同様の傾向がみられるが盛土中央の要素では変形の割合が増加しても要素の残留ひずみが減少するという結果になった。

4. 結論

盛土構造物に対する地震応答解析を行った結果、盛土の沈下は盛土の基礎地盤における浅い砂層の液状化が原因であると考えられる。しかしながら解析結果と実被害の変形量には大きく差があり、この原因については検討中である。また、盛土の被災変形量と盛土下層地盤の液状化層における要素レベルのひずみ量を比較したところ相関が存在し、ある数居値を越えると盛土の被災変形量が大きくなるようである。盛土の形状や地震動の違いによらず、ある程度一定の関係が得られれば要素試験で考慮すべきひずみレベルの概略が決まることになる。ただし現段階では初期せん断の影響などを考慮しておらず今後の検討が必要である。また、累積損失エネルギーなどの要素諸元と被災変形量との関係も併せて検討していきたい。

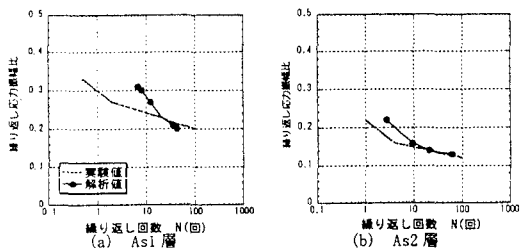


図1 液状化強度曲線

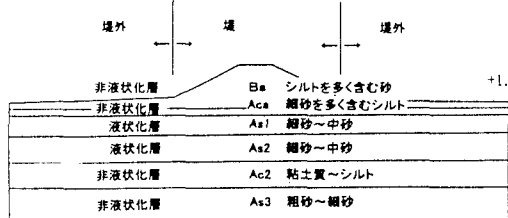
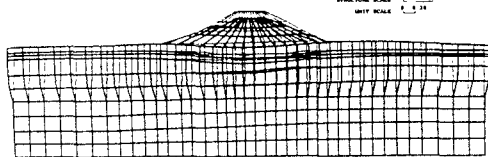
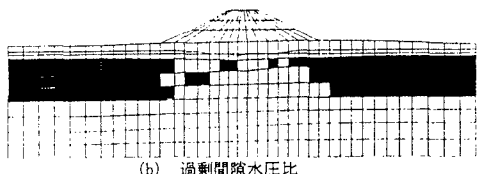


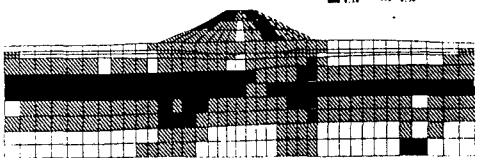
図2 盛土の解析モデル



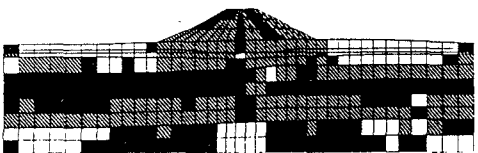
(a) 残留変形図



(b) 過剰間隙水圧比



(c) 最大せん断ひずみ分布



(d) 残留せん断ひずみ分布

図5 解析結果(200Gal 実地震動入力時)

表1 使用した土質定数

層の種類	層厚 (m)	密度 (g/cm ³)	間隙率 (%)	圧縮係数 (1/kPa)	せん断弾性係数 (kPa)	体積弾性係数 (kPa)	ポアソン比	摩擦角 (°)	粘聚力 (kPa)
As1(Upper water)	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As1(Lower water)	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As2	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As3	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As4	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As5	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As6	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As7	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As8	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As9	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As10	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As11	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As12	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As13	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As14	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As15	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As16	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As17	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As18	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As19	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As20	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As21	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As22	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As23	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As24	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As25	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As26	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As27	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As28	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As29	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As30	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As31	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As32	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As33	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As34	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As35	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As36	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As37	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As38	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As39	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As40	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As41	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As42	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As43	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As44	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As45	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As46	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As47	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As48	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As49	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As50	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As51	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As52	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As53	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As54	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As55	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As56	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As57	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As58	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As59	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As60	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As61	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As62	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As63	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As64	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As65	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As66	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As67	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As68	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As69	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As70	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As71	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As72	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As73	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As74	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As75	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As76	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As77	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As78	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As79	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As80	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As81	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As82	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As83	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As84	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As85	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As86	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As87	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As88	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As89	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As90	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As91	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As92	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As93	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As94	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As95	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As96	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As97	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As98	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As99	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0
As100	0.8	1.80	17.8	113.7	20684.3	35641.4	0.49	0	0

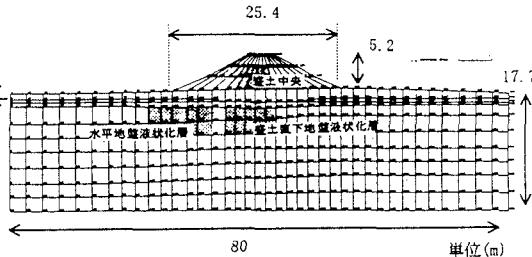


図3 FEM 解析モデル (数字は節点番号)

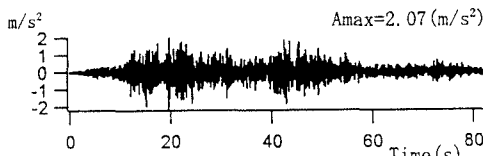
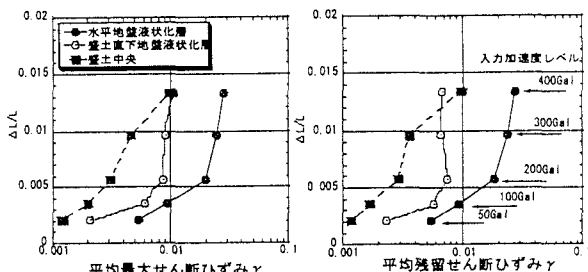
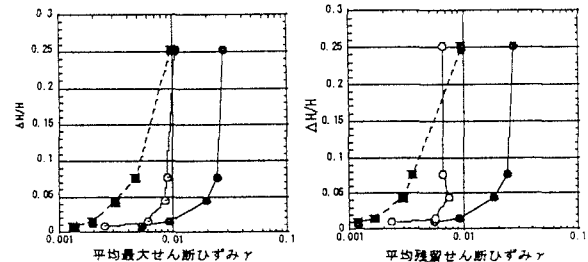


図4 入力地震波形



(a) のり尻水平変位-最大ひずみ関係 (b) のり尻水平変位-残留ひずみ関係



(c) 天端沈下量-最大せん断ひずみ関係 (d) 天端沈下量-残留せん断ひずみ関係

図5 解析結果(200Gal 実地震動入力時)

図6 せん断ひずみと盛土変形量

参考文献:

1) 井合 進、松永 康男、亀岡 知弘: ひずみ空間における塑性土に基づくサイクリックモビリティのモデル、港湾技術研究所、第29巻、第4号、1990