

Ⅲ - A104

兵庫県南部地震で被災した高速道路盛土の液状化解析結果について

群馬高専 正会員 ○阿部 博 群馬高専 渡邊直哉 佐賀大学 千明一生 群馬大学 三田 茂

1. はじめに

著者らは、既設土構造物の液状化対策を地震応答解析から行うためのシステム“TOTAL”を作成している。ここでは、兵庫県南部地震で被災した高速道路（第2神明道路：17.3KP）を選び、被害状況を液状化解析結果から検討した。なお、道路公団によって同地点での全応力法¹⁾と有効応力法²⁾に基づく動的解析がすでに行われている。

2. 解析条件

液状化解析にはFEM二次元有効応力時刻歴地震応答解析プログラム³⁾を用い、解析モデルには文献1)に示された全応力解析用の“17.3KP 解析モデル”を選んだ。土質・材料分布図を図-1に示す。図から、シルト混じり砂礫層（材料番号1と13）と軟弱層の境界が大きく傾斜していることが解析地点の特徴といえる。

解析では材料番号7より上の盛土部分（水位以下）では修正R-Oモデルで材料非線形性を、水位以下では材料非線形性に加え、Seedらの過剰間隙水圧発生評価式を時刻歴解析に適用して水圧変化を求めた³⁾。なお、材料番号1と13の砂礫層の水圧発生を無視した解析結果は文献4)で述べたが、ここでは、砂礫層の水圧発生を考慮した解析を行い両者の結果を比較した。材料番号に対応する入力土質定数を表-1と

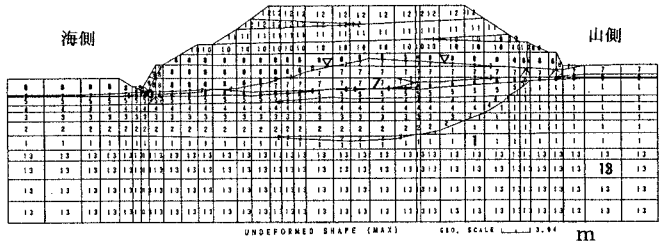


図-1 土質・材料分布図（17.3KP 解析モデル）

表-1 入力土質定数（静的解析）

MAT (NO.)	土質名称	N値	Va (m/s)	γt (t/m ³)	Go (t/m ²)	σ (t/m ²)	排水比 (t/m ²)	σ'v (t/m ²)	σ'm (t/m ²)	Go (t/m ²)	E (t/m ²)	ν
1	OG(シルト混じり砂礫)	25	287	1.9	13821	3805	12	24.05	16.03	3452	38846.8	0.333
2	As(シルト混じり砂)	10	200	1.8	7347	32.68	10.1	22.58	15.04	1694.5	19587.1	0.20777
3	As(シルト混じり砂)	14	222	1.8	9052	29.33	8.3	21.03	14.02	2417.5	24132.6	0.24893
4	As(シルト混じり砂礫)	25	286	1.8	12996	25.54	6.7	19.84	13.23	3573	34647.3	0.35869
5	As(砂)	9	193	1.9	7222	23.6	5.1	18.5	12.33	2056.7	19253.9	0.199327
6	As(砂)	10	200	1.9	7755	22.27	4.3	17.97	11.98	2240.5	20874.8	0.214038
7	B(盛土)水位以下	7	176	2	6469	17.88	2.1	15.78	10.52	1694.5	17246.4	0.178544
8	B(盛土)水位以上	12	212	1.9	8714	13.3	0	13.3	6.87	2925.9	23231.5	0.240508
9	コンクリート	—	—	2.3	—	—	—	—	—	—	100E+05	ν=0.167
10	B(盛土)水位以上	15	227	1.9	9990	10.74	0	10.74	7.16	3733.4	26833.3	0.275724
11	B(盛土)水位以上	12	212	1.9	8714	6.46	0	6.46	4.31	4197.4	23231.5	0.240508
12	B(盛土)水位以上	5	160	1.9	4963	2.19	0	2.19	1.46	4107.4	13231.4	0.138979
13	OG(シルト混じり砂礫)	40	310	1.9	18532	38.52	13.3	25.22	16.81	4543.9	49872.9	0.514243

表-2 入力土質定数（動的解析）

MAT (NO.)	α'	β	h max (%)	Φ° (degree)	Φcm (degree)	D50 (mm)	Fc (%)	RL20	η	ξ	Dr (%)	U max
1	2.78	1.47	27	44	28	3	10	0.209	-5	3	59.8	1
2	1.93	0.95	20.5	40	28	0.2	15	0.278	-7	1.5	38.6	1
3	1.93	0.95	20.5	40	28	0.2	15	0.278	-7	1.5	46.9	1
4	2.78	1.47	27	42	28	3	10	0.239	-6	2.5	64.1	1
5	2.14	1.1	22.6	40	28	0.28	10	0.185	-7	1.5	39.5	1
6	2.14	1.1	22.6	40	28	0.28	10	0.197	-7	1.5	42	1
7	1.71	0.78	17.8	40	28	0.28	10	0.179	-7	1.5	36.8	1
8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	51.1	—
9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	61.1	—
11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	62.7	—
12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	49	—
13	2.78	1.47	27	44	28	3	10	0.29	-5	3	74	1

表-2に示す。土質定数等は文献1)を参考にして決めた。ただし、修正R-Oモデルの非線形パラメータとSeedらの水圧発生パラメータ、液状化強度応力比が表示されていない地層のR_{L20}は、東京低地の沖積砂層に適用している液状化強度推定式⁵⁾を援用して求めた。解析モデルの境界条件は文献2)に倣い、側方を水平ローラー、モデル底面を固定とした。入力地震波は神戸海洋気象台で観測されたNS成分とUD成分の最大加速度振幅値を、それぞれ440Galと159Galに調整して2方向入力とした。解析時間はNS成分の主要動部分を含むように12秒間とした。

3. 液状化解析結果と考察

砂礫層の水圧発生を無視した演算10秒後の水圧比分布を図-2に、考慮した結果を図-3にそれぞれ示す。図-2から、傾斜地盤に沿いながら軟弱地盤中に0.6程度の水圧比の領域ができ、0.9以上を示す範囲は図の左側（海側と表示）の水平な軟弱地盤部分に限られることがわかる。文献2)に示されたDYNAFLOWの結果では、0.9以上の水圧比を示す範囲が盛土直下まで及んでいることに注目し、盛土中心から海側に向かって液状化し兵庫県南部地震、盛土、液状化、地震応答解析 〒371 前橋市島羽町580 TEL 027-254-9193 FAX 027-254-9022

側方流動したことを被害原因にあげている。図-2からも、文献2)とほぼ同様の被害推定が可能である。すなわち、海側の軟弱な水平地盤で発生した液状化が盛土直下の基礎地盤の側方拘束を弱めること、加えて盛土直下の基礎地盤の強度が低下するために、傾斜砂礫地盤に沿って盛土が海側にずれたと判断できる。一方、図-3は、左右の水平地盤で0.9以上の水圧比を示し、水圧比の判定から砂礫層でも液状化することがわかる。盛土直下では図-2の水圧と大差ないが、水平地盤の軟弱層と砂礫層の広い範囲で液状化することから被害実態をより説明しやすい。今回のように入力振幅が大きい場合には、砂礫層であっても液状化対象層と考える方が妥当と判断できる。

砂礫層の水圧発生を無視した演算10秒後の変位量を図-4に、考慮した結果を図-5にそれぞれ示す。図-4から、軟弱層での変形形態は複雑で、盛土天端中央付近での変位量は沈下傾向を示すものの、両のり肩では浮き上がりが発生した。砂礫層の水圧発生を考慮した図-5では、盛土が左右に広がる傾向を示し、また、海側のり肩が沈下して実際の被害形態に近い。ただし、両解析結果の沈下量は被災後の実測天端沈下量約20cm²に比べてかなり小さい。これは本解析法が地震外力のみを評価して重力を考慮していないためと考えられ、新たに残留変形解析手法を組み込む必要があるといえる。

4. まとめ

第2神明道路の17.3KPでの盛土被害は液状化によるものと判断できる。特に、砂礫層の過剰間隙水圧発生を考慮した結果が被害実態を説明しやすい。ただし、本解析法のみでは地震後変形量の再現性に限界があることもわかった。最後に、被災地点17.3KPを検証モデルとすることに快諾して下さった川井田氏（日本道路公団）に感謝いたします。

参考文献 1) 伊藤 謙, 木村 裕之: 道路盛土の震災復旧における動的解析の一例, 土と基礎, Vol. 44, No. 3, Ser. No. 458, pp. 49-51, 1996.

2) 長尾, 川井田ら: 兵庫県南部地震における高速道路盛土の挙動に関する解析, 第31回地盤工学研究発表会, pp. 1269-1270, 1996.

3) 阿部 博: 盛土を含む砂地盤の液状化模型振動台実験, 土木学会論文集, No. 554/III-37, pp. 1-17, 1996.

4) 阿部 博ら: 兵庫県南部地震で被災した高速道路盛土の液状化解析, 第32回地盤工学研究発表会（投稿中）, 1997.

5) 阿部 博, 草野 郁: 東京低地における地盤の再液状化現象, 土木学会論文集, No. 554/III-37, pp. 157-171, 1996.

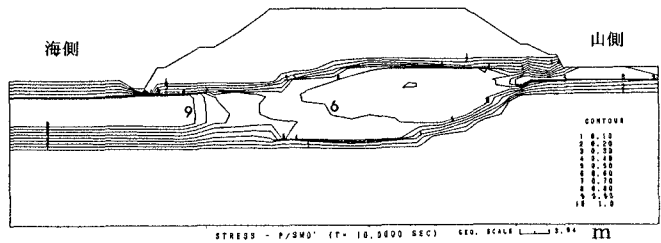


図-2 間隙水圧比分布（砂礫層水圧無視：演算10秒後）

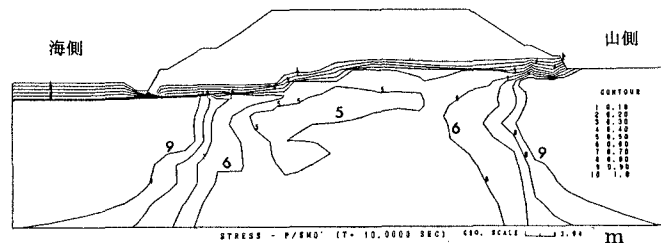


図-3 間隙水圧比分布（砂礫層水圧考慮：演算10秒後）

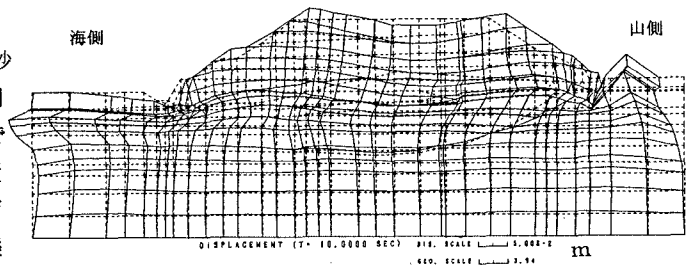


図-4 変位量分布（砂礫層水圧無視：演算10秒後）

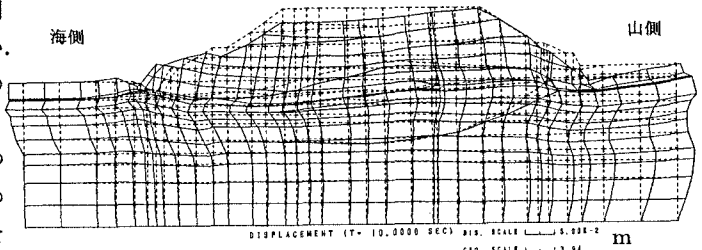


図-5 変位量分布（砂礫層水圧考慮：演算10秒後）