

神戸大学大学院 学生員○田辺揮司良

神戸大学工学部 正 員 高田 至郎

1. 序論 本研究は、1983年日本海中部地震時の大潟村に埋設されていた電話通信施設（マンホール）被害調査結果を基に液状化時の構造物被害の様相を数値解析により定量的に把握することを目的としている。地中構造物の被害は、液状化時の過剰間隙水圧発生に伴う浮力による構造物の浮上、さらに地震動停止後の過剰間隙水圧消散に伴う地盤沈下の二現象としてとらえモデル化している。

2. 解析手法 数値解析は以下の4段階で行った。すべて有限要素法で離散化しモデル化している。

(1) 初期有効応力解析（静的）；構造物自重の影響による初期の地盤内有効応力状態を求める。

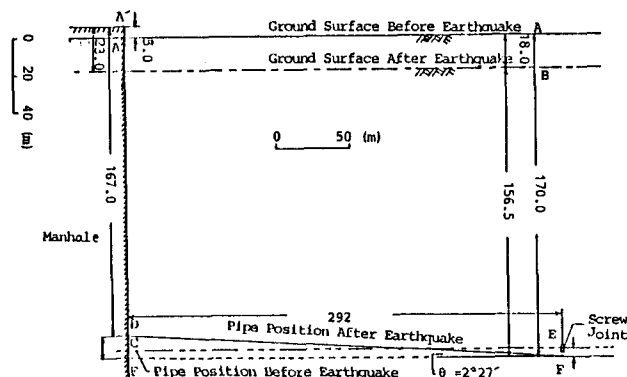
(2) 有効応力液状化解析（動的）；基盤に地震波を入力し、地盤応答値を求める。せん断応力-ひずみ関係は Hardin-Drnevich 履歴ループでモデル化し、その接線剛性を用い増分形式で非線形時刻歴応答解析を行う。数値計算は Wilson の θ 法を用い直接積分する。また過剰間隙水圧量は Finn らの実験結果を基にせん断ひずみの関数として与えている。さらに、過剰間隙水圧発生に伴うせん断剛性の低下は、Seed の提案している体積圧縮係数 mv と過剰間隙水圧比の関係式を、等方等質弾性地盤と仮定することによりせん断剛性と過剰間隙水圧比の関係に直し考慮している。

(3) 構造物浮上解析（動的）；(2)より求まった水圧増分から構造物に浮力を作用させ、構造物の浮上量を解析する。なお、地盤-構造物間にはジョイント要素を用いている。数値計算は Wilson の θ 法を用いている。

(4) 過剰間隙水圧消散・沈下解析（動的）；(2)の最終状態の水圧分布を与え、Biot の圧密理論を用いて過剰間隙水圧消散過程および地盤沈下量を求める。数値計算には中間差分を用いている。

3. 液状化解析（大潟村マンホール） Fig.3.1 に大潟村マンホールの実被害状況を示す。地震前にマンホール頂部のレベルが地表面レベルと等しく、マンホール頂部と管路の取付部が不変との仮定に基づくと、地盤は地震前の地表面レベルに対し約18.0cm沈下し、マンホールは地震前の地表面レベルに対し 5.0cm浮上したことを示している。Fig.3.2に地盤中に見かけの比重0.54のマンホールがある場合の初期有効応力解析より求まった初期有効応力値および地盤モデル、諸物性値を示す。

基盤入力地震波は、運輸省秋田港湾事務所内で観測された加速度波形を、波動伝播の式を用いて基盤に変換した波形を用いた。Fig.3.3に、それぞれの加速度波形およびB、C点での地盤の



Unit: m		Initial Effective Stress (t/m^2)	Initial Shear Modulus (t/m^2)	Compressibility ($\times 10^{-4} m^2/t$)
A x	0.8288	3190	3.135	
	0.9241			
	3.4451			
B x	5.7898	1381.4	7.239	
	8.1453			
C x	11.4533	3700	2.703	

Fig.3.1 Pipeline Behavior in The Vicinity of No.29 Manhole Fig.3.2 Analytical Model of Liquefaction and Characteristics of Ground

加速度応答、さらにB点の変位応答を示す。B点では地盤が液状化し、加速度値が0に収束し、変位が発散する液状化特有の現象が表われている。また、Fig.3.4にA、B、C点の加速度のフーリエスペクトルを示す。最も液状化したB点では、高振動成分がかなり含まれてくることが把握できた。

Fig.3.5に示すモデルに対し、有効応力液状化解析で求めた水圧増分より算出される浮力を与え、地中構造物の浮上解析を行った。地中構造物と地盤間のジョイント要素のばね剛性は $K_x, K_y = 20.0 \text{ t/m}^3$ とした。なお、地盤側のジョイント節点は両方向固定としている。解析はWilsonの θ 法で、 $\Delta t = 0.01$, $\theta = 1.7$ を用いて20.48秒間について計算した。Fig.3.6にA点の変位応答履歴および浮力履歴を示す。7秒付近で浮力増分が大きく作用するため急激に変位が増大するが、浮力増分が0もしくは極めてわずかであれば、構造物は過渡振動している。この浮力の急増による構造物の浮上量の増大は、初期液状化時に地中構造物のひずみが急増し最大値を示すという、片田らや北浦らの実験と一致する現象をシミュレートできたと考えられる。また、構造物の最大浮上量は約50cmとなり、実際の被害調査によるマンホール浮上量の23cmと比較すると、大体の値の推定は解析において可能であると思われる。

さらに、有効応力液状化解析より得られた水圧分布を与え過剰間隙水圧消散・沈下解析を行った。Fig.3.7に過剰間隙水圧および沈下量の経時変化を示す。透水係数は全層で $k_x, k_y = 1.0 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ と仮定し、 $\Delta t = 1.0$, $Dr = 0.7$, $\nu = 0.4$ で計算した結果、沈下量は1.3cmとなった。これは、全層圧の0.065%に当たる。A点の過剰間隙水圧の経時変化から、地震動停止後50秒間ほどは水圧が上昇している。この水圧上昇は浸透流による力として構造物の浮上解析に取り入れる必要がある。

解析解では、実現象に対し沈下量がさほどでないのは、実現象では砂の側方流動や噴砂現象を伴っており、今回の解析法では限界があると思われる。

参考文献 1)高田他、"液状化を受ける通信用管路の挙動解析と地震対策、"建設工学研究所報告, No.26, 1984, pp. 44-55.

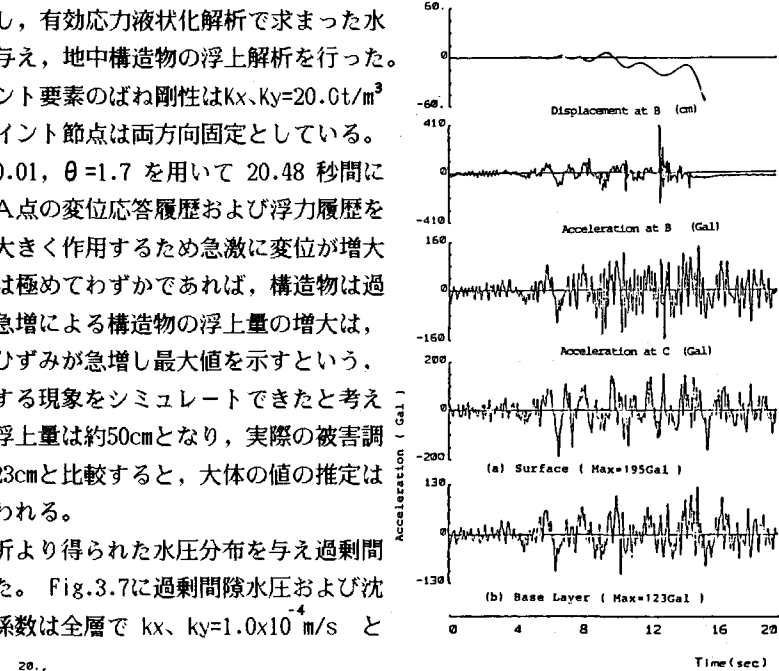


Fig.3.3 Time History of Response Displacement and Accelerations

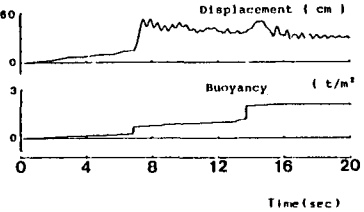


Fig.3.6 Time History of Response Displacement and Pore Water Pressure at Point A

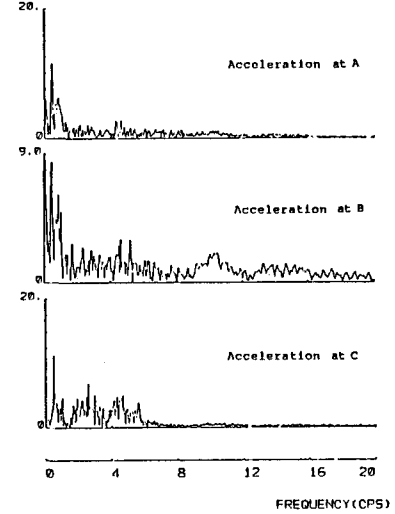


Fig.3.4 Fourier Spectra of Acceleration

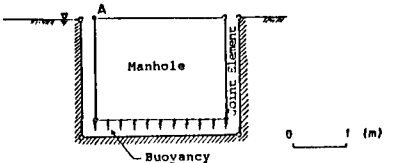


Fig.3.5 Analytical Model of Underground Structure Subject to Buoyancy

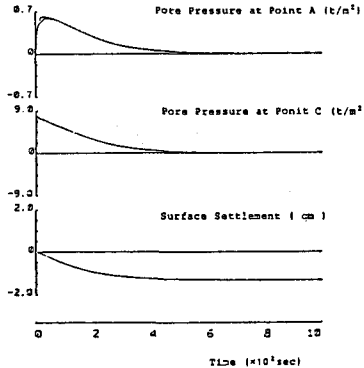


Fig.3.7 Pore Water Pressure Response and Ground Surface Settlement After Earthquake