

神戸大学工学部 710-会員 高田至郎
 神戸大学大学院 正 員 李 騰雁
 神戸大学大学院 学生会員○堀喜代造

1. はじめに

1995年の兵庫県南部地震では強い地震動だけでなく、地盤の液状化によっても地中構造物やライフラインに甚大な被害を出し、数多くの市民生活に長期にわたって支障を与えるという結果になった。このような都市直下型大地震における液状化現象に対しては、今回の被害を解析・検証して新たな液状化対策を確立することが重要である。ここでは液状化による被害の大きかったポートアイランドの地盤をモデル化し、F.E.M. 2次元有効応力液状化解析によって地盤の挙動解析を行った。また、その結果を用いてはり要素での疑似静的地震応答解析を行い、液状化を受ける埋立地盤内での管路挙動の把握を試みた。

2. F.E.M. 液状化解析

2.1 解析モデル

解析モデルを図-1に示す。今回はポートアイランドの地盤を深さ32m、横幅50mの断面と想定し、それを9層210節点180要素の有限要素に分割したものを解析した。モデルには非液状化層を下端および両端に設定し、両端の節点には粘性境界を考慮した。入力に用いた透水係数、相対密度、最大・最小間隙比、内部摩擦角等は地盤のボーリングデータ等から推定した。入力加速度はポートアイランドの地下32mで記録された地震動の9秒から29秒の20秒間(N-S成分)を用い、その後10秒間で水圧消散解析を行った。図-2に入力加速度を示す。

2.2 解析結果

節点11(地表面)での応答絶対加速度の時刻歴を図-3に、実際に観測された地震動記録と併せて示す。同様に節点116(地下16m)についても図-4に示す。これらの図をみると、加速度の減衰・長周期化といった液状化時の特徴が見られる。各図において全体的に応答値が観測値よりも小さいものとなっているが、これは解析モデルが、実際の現象よりも液状化の発生を過大に評価して剛性の低下が著しくなってしまったためではないかと考えられる。図-3の後半部分で観測値よりも大きな応答を示したことについては、両端に設定した非液状化層の影響であると考えられる。応答加速度に関しては、実際の地盤の挙動をある程度は再現できたのではないと思われる。

次に節点32と節点116の過剰間隙水圧比の時刻歴を図-5に示す。加速度が上昇し始める4秒過ぎに、両節点ともに水圧比が急激に上昇して1.0に達しており、地震動が発生するとすぐに過剰間隙水圧が発生して液状化が起こったことがわかる。しかし実

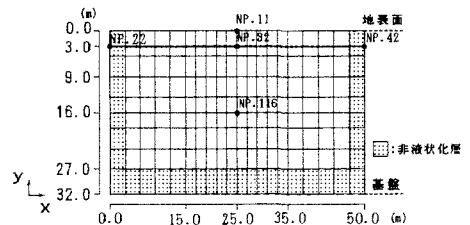


図-1 解析モデル

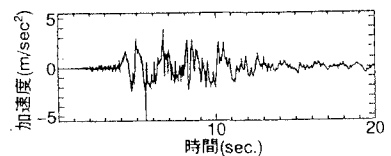


図-2 入力加速度

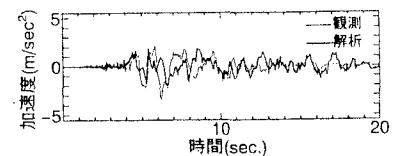


図-3 地表面の応答絶対加速度時刻歴

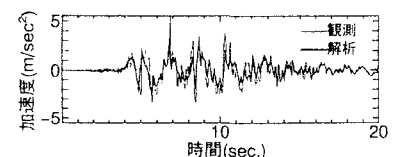


図-4 地下16mの応答絶対加速度時刻歴

際の地震時にこれほど急激に液状化が起こったとは考えにくく、今回の水圧発生モデルが過剰間隙水圧が上昇しやすいものであったことに起因するのではないかと考えられる。

次に節点22～42の最終変位量を水平方向を図-6に、鉛直方向を図-7に示す。鉛直方向変位が左右対称の傾向にあるのは対称モデルに非対称の入力を与えたからである。

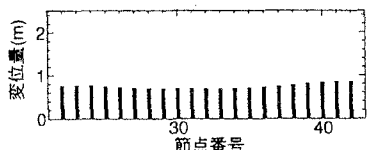


図-6 水平方向最終変位量

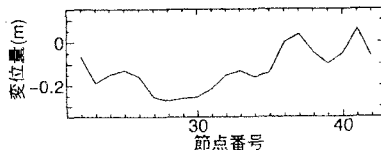


図-7 鉛直方向最終変位量

3. はり理論による地中管路挙動解析

図-8に管路モデルを示す。前節で得られた変位量を入力変位とし、図に示す液状化層に地盤変位として作用させた。水平方向変位は管軸方向に作用させた。管路はモデル1として溶接鋼管、モデル2として継手のあるダクトイル鋳鉄管(DIP管)を使用し、管径、管厚、標準管長などの材料特性は同じ値を用いた。各モデルの管体ひずみ分布を図-9、図-10に、モデル2の継手伸縮量・回転量を図-11、図-12に示す。

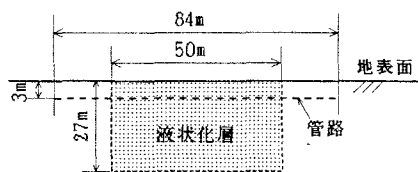


図-8 管路モデル

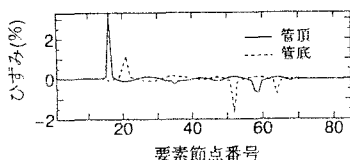


図-9 鋼管ひずみ分布図

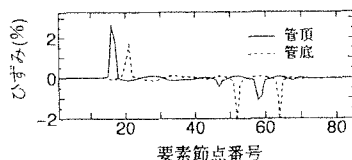


図-10 DIP管ひずみ分布図

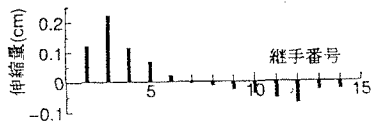


図-11 DIP管継手伸縮量

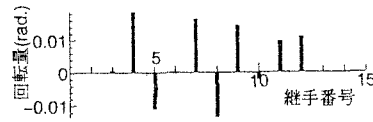


図-12 DIP管継手回転量

図-9、図-10を見ると液状化層にある部分の管の左側で引張り、右側で圧縮を受けており、管軸方向変位の影響が強く現れていることがわかる。その大きさは最大で2～3%となっており、ガス指針に従った場合の許容ひずみ0.77%をはるかに上回るという結果になった。DIP管の最大ひずみは鋼管のものより小さくなっているが、これは継手によって管体のひずみ量が吸収されたものと考えられる。今回用いた継手は伸縮特性が圧縮側に余裕のないものであったので、圧縮ひずみはさほど小さくなっていない。また、各モデルで管頂・管底ひずみのピークがずれているのは鉛直方向変位によって管が撓んだ結果によるものと考えられる。図-11、図-12を見ても各方向の入力変位の影響が現れていることがわかる。

4. まとめ

液状化解析では応答加速度に関しては粘性境界を考慮することによって観測値とよく一致するという結果が得られた。応答変位に関しても実際の地盤変位量と同じ程度の結果が得られ、比較的よい解析結果といえる。地中管路の挙動解析では液状化解析で得た地盤変位量を入力として解析を行い、管軸方向の地盤変位によって管体ひずみが設計許容ひずみを越えるという結果を得た。また、継手を有する管路は継手がひずみを吸収し、管体のひずみ量が小さくなるという傾向が見られた。

【参考文献】日本ガス協会：ガス導管耐震設計指針，1982. 3.