

1、はじめに

1995年1月17日に起こった兵庫県南部地震により幾多の被害が報告され、下水システムの耐振性に対する信頼性が社会的ニーズとして求められてきた。このような要請のもと、当社では耐震・免震システム商品の体系的な開発（水道、マス・マンホール、下水）を強力に押し進めていく必要があった。

そこで、地震により発生する地下構造の変動を予測する技術を開発し、下水システムが被る変形、さらには発生する応力を、地震の揺れに同期させて時刻歴で計算する技術の開発を考えた。

開発するシステムにおいては、地震によって3次元構造物に発生する応力を最適化させることが目標となった。今回はそのシステムを用いて開発したマンホール継手を例にとり、地震時の挙動によりマンホール継手に発生する応力を低減させる構造について議論する。

2、開発したシステム

本システムは大きく分けて、基盤から入射した地震波によって表層に発生する揺れを時刻歴で予測する部分とその揺れのデータを基にしてプラスチック下水管が被る時刻歴の変形によって発生する応力の挙動を予測する部分とその変形・応力の表示部に分かれる。

地下構造を予測するシステムでは構造計画研究所製の地下構造解析ソフトFRONTを用いている。同ソフトでは実際に測定された地震波データを時刻歴で入力に用いることができるため、より現実に応じた結果を得ることができるようになっている。本システムにおいては、数十秒続く地震波を加速度の形式で入力し同様に数十秒続く出力を地盤変位の形式で出力するよう設定されている。このように計算された地盤変位の形式の地震波形は、当社が開発したインターフェースソフトを介してHKS社製の3次元非線形構造解析ソフトABAQUS用の入力ファイル形式のデータに変換される。一方、マンホールとマンホール継手、塩ビ管からなる下水システムのモデルはマンホール継手に発生する局部応力を正確に計算するため図面に忠実に3次元CADシステムのSDRC社製のI-Deasでコンピュータ上に再現される。その3次元データはI-Deasシステムでさらに有限要素に分割され、地震波形データと同様にABAQUSに送られる。その後、下水システムのモデルと地震データがABAQUSの入力データとして合成される。このABAQUSはCRAYシステム上で動いており、大量のデータを高速に計算することができる。

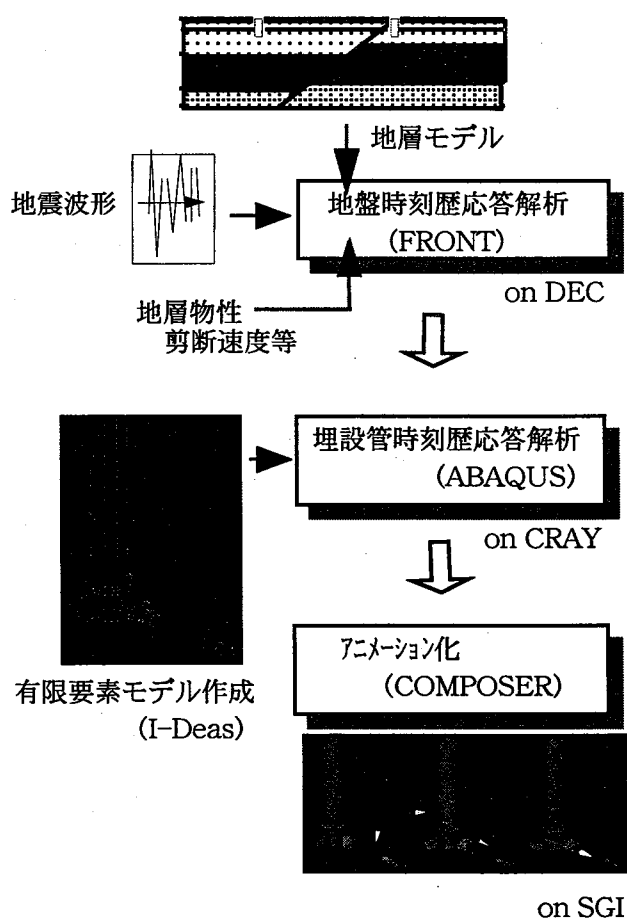


図-1 時刻歴応答解析システム

地震挙動のアニメーション化には画像の高速ハンドリンが可能なSGIのコンピュータを利用して処理している。ソフトはSGI製コンピュータのプリインストールソフトのCOMPOSERを用いている。ABAQUSで計算されたデータはSGIに送られ画像処理される。この処理されたデータは、COMPOSERに送られリアルタイムな画像の作成を可能としている。開発したシステムを図-1に示す。

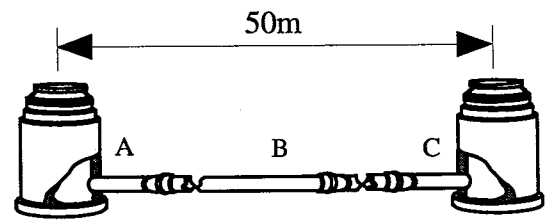


図-2 解析対象の下水システム

3、マンホール継手の解析検討

塩ビ製の下水管とコンクリートマンホールとはマンホール継手で結合され、地震発生時には継手部に大きな応力が発生することが多く、この継手部をどのように設計するかが耐震下水システム設計の大きな課題となっている。今回は、地震により継手部に発生する応力を様々なケースで検討した。

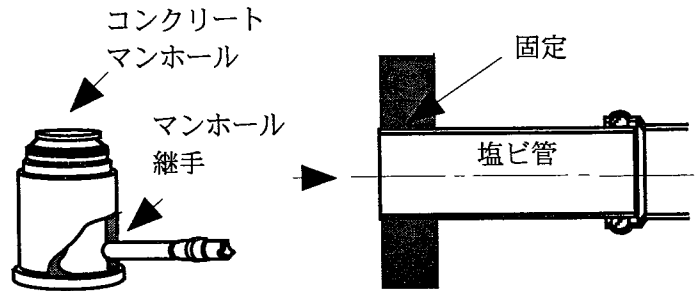


図-3 継手TYPE-1

3-1、解析するマンホール継手

解析モデルの全景は図2に示すようにマンホールと4m定尺管の結合からなる全長50mの管からなり、それらが図6に示す地層の中に土被り1.5mで埋まっている。マンホールと管はマンホール継手で結合されている。今回はマンホール継手の仕様による発生応力の違いを図3、4、5のケースで検討を行う。図3はマンホールに短管が直接繋がった場合、図4は短管に伸縮継手がついた場合、図5は継手部に可とう性を持たせた場合である。

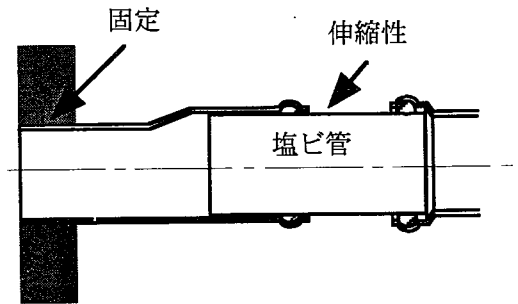


図-4 継手TYPE-2

3-2、地盤の時刻歴応答解析

図6はマンホール、塩ビ下水管モデルが土被り1.5mで埋まっている地層を表現している。この地層では、基盤の上に50mの表層があると考えている。それは、20mの洪積砂層、さらに30mの沖積砂層から構成されていると考える。この地層に、基盤から図7に示す地震波が角度35°で入射した場合を検討した。図8は図2に示すA点、B点、C点の時刻歴変位である。この結果によれば、A点で最大変位を与え、B点、C点に向かうにつれて変位は小さくなっていく。このことは、同一時刻においてそれぞれの点に地震によって発生した変位は異なることを意味している。このことにより、50mのモデルを作成し解析を実施した。

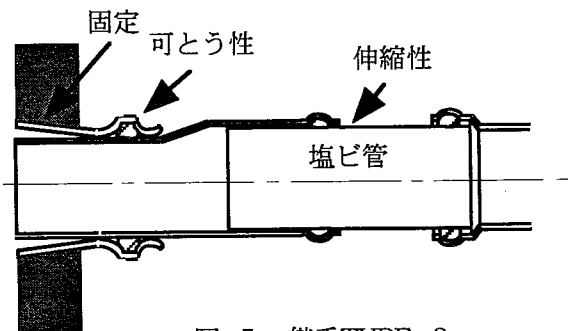


図-5 継手TYPE-3

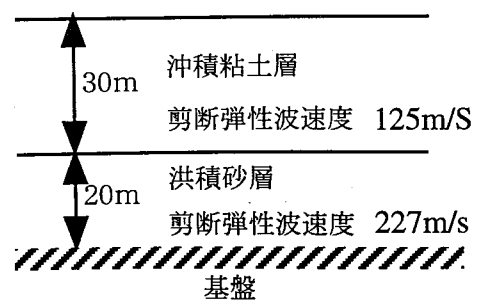


図-6 地層モデル⁽³⁾

3-3、塩ビ下水管システムの構造解析モデル

図9にABAQUSで使用する構造解析モデルを示す。先に検討したように、図9では50m分をモデル化している。下水管は先にも述べたように4mの定尺管を柔に結合したものであり、それぞれはゴム輪で止水性が確保されている。この部

分においてはそれぞれが管軸方向に若干可動できるため、モデル化も軸方向に可動できるよう配慮した。これにより、50mの管のどの部分で最も大きく変形するののかも評価できるようになった。

この下水管モデルは端部において図3、4、5のマンホール継手を介してマンホールに繋がれている。ここで、マンホールはコンクリート製のため塩ビ管に比べて剛性が非常に高い。このことを利用し、マンホールのモデル化は境界条件で対応するとした。また、問題を簡単にするため、マンホールは地震発生時においても動かないと仮定する。この仮定は下水システムにとって最もきつい場合となる。

図3、4、5の継手部と塩ビ管の部分の拡大図を図10に示す。

ここで考慮しなければならないのは、伸縮継手のスライド機構のモデル化であった。当初は、簡単にするため、スライド機構を表現するため、内外の管の代表的な点を選び出し、管軸方向のみ拘束していたが解析の制御が難しく、コンタクトペアを用いた接触機構に切り替えた。これにより、この部分が正しく解析できるようになった。

地震荷重は地層の地震解析の検討の部分で述べたように管軸方向に変化するので、そのことを考慮して解析モデルを作る必要がある。ここでは、4mの定尺管それぞれに地震変位が入力できるようにモデルを設定した。すなわち、前節の地盤の時刻歴解析において4mの定尺管ごとの応答波形を出力し、ABAQUSの強制変位データとした。この時、土と管とは滑りがないという仮定で解析を行った。

3-4、解析結果

解析結果を図11、図12、図13に示す。図13は短管のモデルの場合の結果で、最も大きく変形した時刻での結果で変形結果と発生応力の結果を出力したものである。応力値は $1.6 \times 10^7 \text{Pa}$ となり比較的小さい値を示している。図12は短管に伸縮継手をつけた場合の、最も大きく伸縮した場合の結果であるが、継手部に比較的大きな応力が発生することとなる。

図13は可とう性を与えた継手を用いた場合の最も大きく



図-7 入力地震波

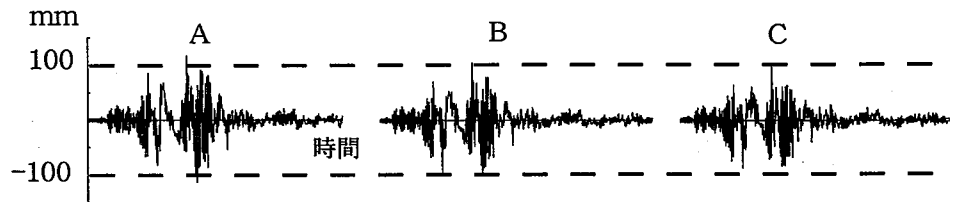


図-8 地盤の時刻歴応答結果

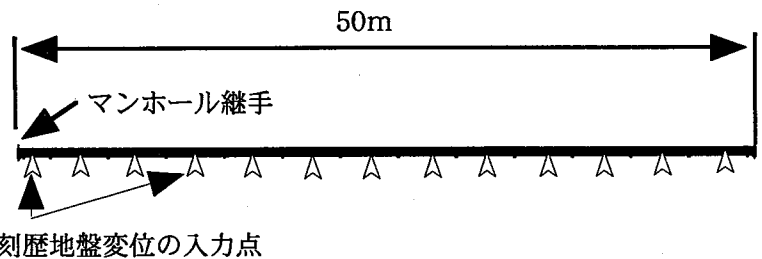


図-9 解析全体モデル

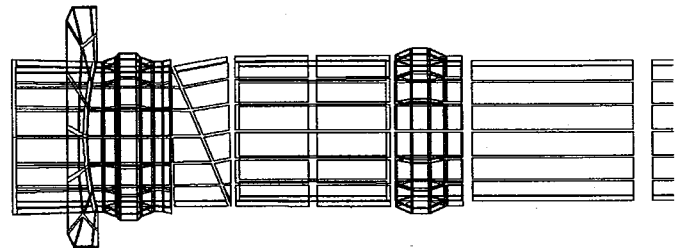


図10 TYPE-3のFEMモデル

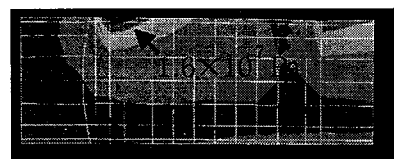
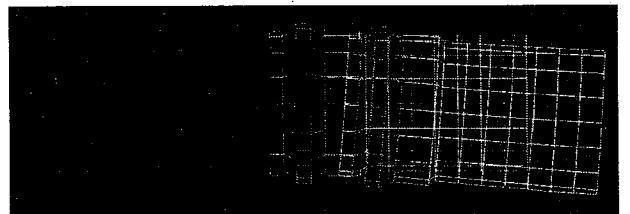


図-11 解析結果 TYPE-1

変位した時刻における結果である。この場合においては、応力は $4.0 \times 10^6 \text{Pa}$ となり大きく改善されていることがわかる。

当社では以上のようなこと等を考慮し、耐震性を考慮した下水システムの開発を行っている。

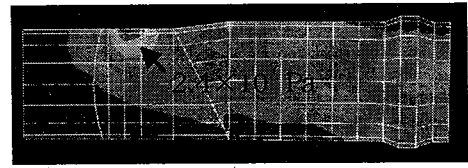


図-12 解析結果 TYPE-2

4、おわりに

下水管システムの耐震設計に解析システムを開発し下水システムの合理的な設計が可能となった。今回の解析は管と土の滑りがないとして解析を行ったが、滑りを考慮したシステムを現在検討中であり、近日中にシステム化がなされる予定である。

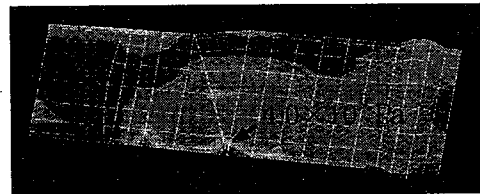
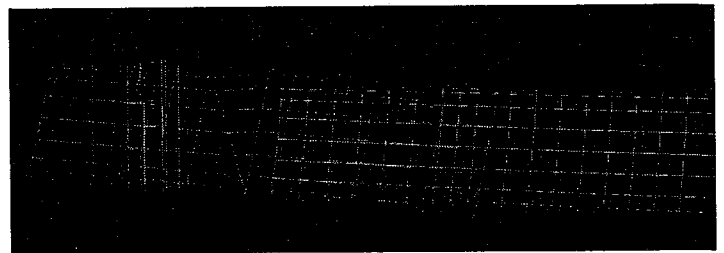


図-13 解析結果 TYPE-3

参考文献

- 1、ABAQUS Standard User's Manual、Version 5.5、
Hibbit . Karlson \$ sorensen . Inc
- 2、FRONT User's Manual、Version 3.0、構造計研
研究所
- 3、土岐等、[関西における地下空間の活用と技術]、1994年8月、(財)土木学会関西支部