

## マイクロゾーニングを目的とした 地下埋設管の地震時被害予測

- 1 まえがき
- 2 応答変位法を用いたマイクロゾーニング
- 3 FEMを用いたマイクロゾーニング
- 4 水道管の被害予測
- 5 むすび

国井隆弘\*

### 要 約

ライフ・ラインと呼ばれる水道管，ガス管等は生活のための重要な供給システムの1つである。これらの施設の特徴は，細長い管状形を有しごく浅い地中に水平に線状あるいは網状に埋設されることである。本研究はこの様な地下埋設管の時震時の被害の予測手法を検討するものである。

被害は管に生じる軸方向の応力によるものが支配的であると仮定し，またこの応力は管の周辺の地盤に発生する地震時ひずみに起因すると考えている。したがって，液状化等の地盤破壊は考慮されていない。

対象地域は東京都・世田谷区の地域であり，地盤特性の把握は約150個所のボーリング資料によっておこなわれている。被害の予測手法は，応答変位法およびFEMを用いて検討されるが，ゾーニングは適当なコンターおよび500m正方形メッシュによっておこなわれている。

### 1 まえがき

水道管，ガス管等の地中埋設管の地震被害が注目され始めたのはそれ程古くない様である。米国での1971年サンフェルナンド地震におけるロスアンジェルス郊外の被害が契機となり，最近の日本における宮城県沖地震，日本海中部地震の被害が大きな社会問題となった。これらの供給あるいは通信システムの被害は特に地震後の災害復旧に強く関連し，ライフラインを確保する目的で被害の軽減および早期復旧が強く望まれている。

埋設管は線状あるいは網状の形で地中に設置されるため，その耐震設計法および耐震性能向上の

ための補強の方法あるいは被害予測手法等の歴史は浅い。平面的には点在し地上につき出た形の通常の構造物に対する地震力の考え方がそのまま埋設管には適用できないことから，埋設管のための地震力の考え方が考案され応答変位法<sup>1)</sup>なる耐震設計法が確立されたのは約10年前である。

埋設管の地震被害予測のためにはゾーニングの考え方をを用いるのが解り易い。ゾーニングを用いて予測手法を提案した研究成果はそれ程多くはない。久保・片山<sup>2)</sup>は，関東地震における東京市内の被害データを基にして，1000m正方形メッシュを用い，メッシュについての地盤条件，卓越振動数およびその変動の率等による統計的手法を展

\* 東京都立大学都市研究センター・工学部

開し、定量的な予測手法を提案している。後藤・高田ら<sup>2)</sup>は震源の規模、震央距離および注目地点の地盤条件を設定した場合について非定常地震動の予測モデルを明らかにして、地盤のひずみを算定する方法を確立し、これをもとにした予測手法を提案している。いずれの予測手法も背景となる考え方が明確であり有用性は大きいと思われる。本研究は、これらの成果で考えているゾーニングの単位をより細かい形で可能とする方法を考えるための検討をおこなったものである。すなわち、500m正方形メッシュ単位を考え、対象を世田谷区とした比較的狭い地域とし、地盤の極部的なひずみの変化を展開することを可能とする方法について検討を進めた。1つの考えられる方法は前述の耐震設計方法である応答変位法を用いる方法である。第2の方法は、表層地盤に鉛直方向の境界を想定してこの両側で地盤特性が異なる場合についてFEMを用いた時刻歴応答解析を実施し、この結果を用いる方法である。第2の方法では、地盤構成のパターンを24通りについて結果を求め、これを各メッシュに適用する。

この様に本研究では地盤のひずみに着目して、これから埋設管に生じる応力を推定する。したがって液状化等の地盤破壊は考慮していない。

## 2 応答変位法を用いたマイクロゾーニング

### 2.1 表層地盤特性の把握

地下埋設管の地震被害に強くかかわる要因の1つとして、埋設管の周辺地盤に生ずる時震時ひずみが考えられる。応答変位法ではこのひずみを地盤の相対変位応答量から算定しようとするものであり、このためには表層地盤の応答に関連する物理量を推定する必要がある。この物理量は次章のFEMを用いた方法のためにも重要な条件となる。

知りたい物理量は主として表層地盤の厚さおよび剛性・密度(せん断波速度)であり、また基盤での同量である。これらの物理量は地表面下方向はもとより、水平方向の平面的な分布特性として把握したい。より細かいマイクロゾーニングのた

めには、それだけ平面的に密度の大きい資料を必要とする。本研究では、世田谷区内の146個所のボーリング柱状図を基にしてこれに地形図等を加え物理量を求めている。図-1は世田谷区の地

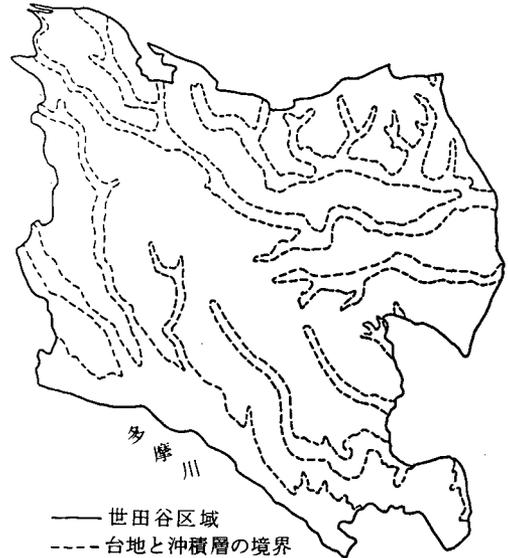


図-1 世田谷の台地と沖積層

盤・地形の概略図であるが、南端部の多摩川に沿った沖積層とともに、東部へ流れる中小河川が山の手台地をきざむ形で形成した細長い陸性の沖積層が特徴づけられる。

### 2.2 解析方法および結果

応答変位法<sup>1)</sup>を用いて地盤のひずみを求めるためには、地盤の各層における層厚とせん断波速度、表層地盤の固有周期、基盤面で考慮する水平震度の三種のデータを必要とする。前述したボーリングの資料はこれらのデータのために用いられる。すなわち、弾性ひずみ状態におけるせん断波速度は各層に対して深さ等を考慮した東京地区地盤の推定式<sup>4)</sup>から求められる。本研究では、基盤を第三紀層とし、N値、層厚にもとづく推定式を用いて、各層におけるせん断波速度を求め、これから表層地盤の固有周期をせん断波の重複理論で算定している。入力地震動は関東地震クラスとし、基盤面において150ガルに対応する水平震度を考

慮した。

図-2は求められた地表面の最大ひずみを示し

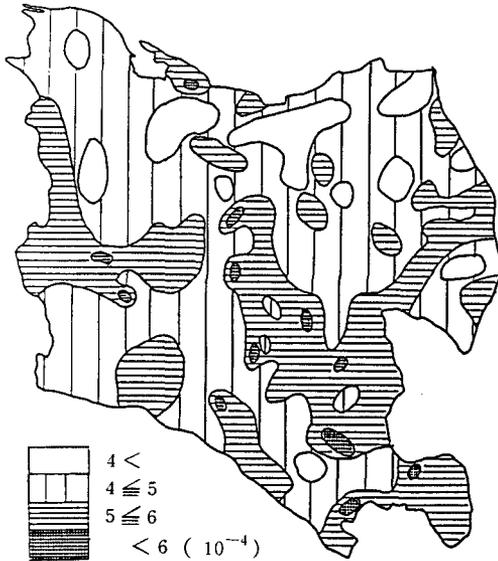


図-2 応答変位法による地表面ひずみ

たものである。埋設管におけるひずみは、深い位置にあれば図の値がどこでも深さに比例して減少するが、通常に埋設される場合には図の値の90%程度以上であろう。また埋設管が水道管、ガス管の様な細長い管である場合、そのひずみは管軸方向が支配的となり、地盤のひずみにほぼ等しいと考えられる。したがって、図-2に示したひずみは埋設管に生じ得る最大のひずみとみなせる。なお埋設管の安全性を計るためには、図のひずみの値を用いて管の材料、断面面積から管に生じる最大の軸方向応力を算定し、耐力と比較することとなる。

一般に沖積層においては台地に比べて大きなひずみが予想されるが、図-1と図-2を比較した場合、両図の間に強い相関性はみられない。この理由を明確に説明できないが、沖積層は低地が多く表層地盤厚が小さいため固有周期も比較的短くなったことが考えられる。

### 3 FEMを用いたマイクロゾーニング

#### 3.1 表層地盤のFEMモデル

過去の地震における埋設管の被害調査では、地盤特性が急変する表層地盤において、その境界部に被害が多発する例がよく示されている。この原因は境界部の両側における地盤の震動の差異が大きく、埋設管がこれに追従できなかったことと思われる。この様な現象は、応答変位法では原理的に説明できない。ここにFEMを用いるマイクロゾーニングの立脚点がある。

したがって、表層地盤のFEMモデルには鉛直方向に1つの層境界を設ける。埋設管はこの層境界を横切る形で水平に設置されているとする。境界両側地盤の特性の差異は、前述したボーリング資料をもとにその範囲が把握される。同様に、表層地盤の特性および層厚の範囲の分布も判断される。この結果、第三紀層を基盤にして、その上に洪積層と沖積層からなる表層地盤モデルを設定することとした。図-3にこれらの地盤の構成の説

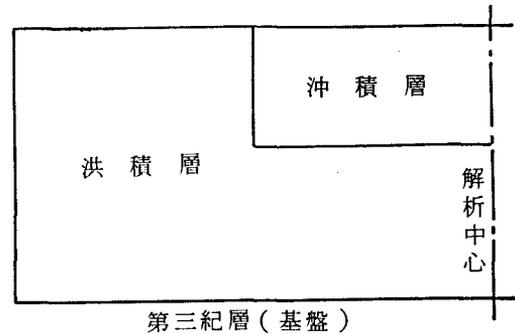


図-3 地盤構成

明を示す。

表層地盤の特性をパラメータとして組み合わせによって各種地盤を表現するため、以下の様な場合を考えた。

表層地盤厚さ	2通り
沖積層の厚さ	2通り
洪積層のせん断波速度	2通り
沖積層のせん断波速度	3通り

したがって、モデルの形式は24パターンとなる。地盤に生じる最大ひずみはこのパターンごとに求



究ではマイクロゾーニングの方法の一例として、両者の合成を考える。応答変位法のゾーニングを示す図-2を図-5のようなメッシュのゾーニングに置換する。この場合、メッシュのひずみの値は図-2を作成した資料にもどり、メッシュ内で予測ひずみ値が変化するときには面積を用いた重みづけ平均値とする。この結果とFEMの結果を比較し、両者のうち大きい方のひずみ値を採用する。この様にして、応答変位法では表現できなかった地盤の急変部をFEMによっておぎない、FEMでは把握できなかった均一地盤のひずみを応答変位法にたよる形となる。

図-6にマイクロゾーニングの結果を示す。当

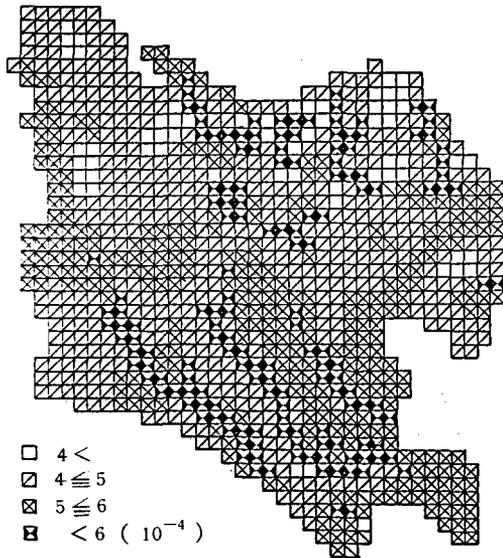


図-6 応答変位法とFEMを併用した地表面のひずみ

然ながら図-6は図-2より図-5の影響を強く受けている。水道管の被害予測のためには、水道管の配管状況を知る必要がある。ここでは、径が500mm以下の比較的小口径に注目する。大口径の本管はこれまで展開してきた考え方の仮定、すなわち細長い管の考え方に問題が残ることおよび本管は本数が少なく管路網が明確であるから、そのネットワークに沿った解析が望まれるからである。

世田谷区全体の水道管の配管密度は既知であるから<sup>2)</sup>、これを用いて、人工密度分布によって各

メッシュごとの配管密度を算定する。このとき、区内の町丁別人口を面積比例配分でメッシュの人口に配分する方法を取り入れている。さらに、区内の平均ひずみを求めておき、区全体での予測被害個所数が得られれば、ひずみの大きさに応じたメッシュごとの被害個所数が算定できる。ここでは世田谷区の被害予測の総数として久保ら<sup>1)</sup>の予測値を用いることとした。図-7にこのようにし

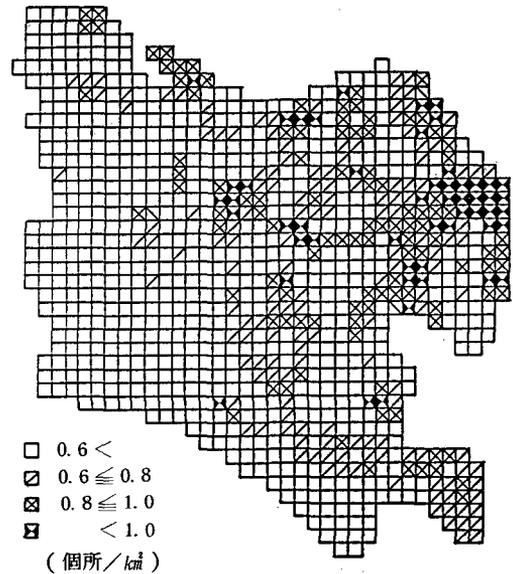


図-7 水道管の被害予測の一例

て求めた水道管の被害予測例を示す。配管密度の影響を受けて、図-6とは異なり世田谷区の北東部に予測被害個所が多くなっている。

## 5 むすび

たとえば全壊住家10件以上あるいは死者行方不明10人以上の被害をもたらした被害地震を振り返ってみると、明治20年頃から50~60回発生している。すなわち約2年に1回は日本のどこかでこの様な被害を受けていることになる。地震の後におこなわれる各種の調査は近年になりよくおこなわれそのレベルもかなり上昇してきている。そしてたとえば被害の発生要因について多くの解析もおこなわれて貴重な情報を提供している。

しかしながら、あらかじめ被害の予測をおこな

っていた地域に地震被害が発生したという例はかなり広域的な予測の場合を除いてほとんどない様である。もし詳細な予測がおこなわれている地域に被害が発生した場合、地震後の調査結果をも合わせてかなり意義の深い解析結果が得られるものと期待される。また一般には、被害予測の細かさと地震後の調査のそれとは大きな差がみられる様でもある。

本研究は以上の様な考えに立ち、かなり密度の高いゾーニングをできるだけ簡単な手段でおこなうための方法について検討をおこなった。これにより、できるだけ多くの地域で細かな被害予測を実施し、いろいろな意味での地震待ち態勢を考えたわけである。

末尾ながら、本研究を中心になって進めた元大学院学生田中英朗氏、またFEMでご助力いただいた大林組技術研究所の菊地敏男氏に感謝いたします。

## 文 献 一 覧

- 1) 「新耐震設計法(案)」建設省総合技術開発プロジェクト, 1977。
- 2) 久保慶三郎・片山恒男  
1978 「地下埋設管の被害」『東京都区部における被害想定に関する報告書』東京都防災会議。
- 3) 後藤尚男・亀田弘行・他  
1981 「埋設管の震害予測のためのマイクロゾーニングについて」『京都大学防災研究所年報』第24号B-2。
- 4) 田治米辰男・望月利男・松田馨余  
1977 「地盤と震害——地域防災研究からのアプローチ」『槇書店』

## Key Words (キー・ワード)

**Micro Zoning** (マイクロゾーニング), **Buried Pipeline** (地下埋設管), **Seismic Deformation Method** (応答変位法), **FEM (Finite Element Method)** (有限要素法), **Surface** (表層地盤), **Damage Estimation** (被害予測), **Velocity of Shear Wave** (せん断波速度)