

上水道管路の形状を考慮した 地震時簡易被害予測に関する研究

渡辺康司¹、宮島昌克²、津田善裕³、北浦 勝⁴

¹学生会員 金沢大学大学院自然科学研究科博士前期課程1年 (〒920 石川県金沢市小立野2丁目40-20)

²正会員 工博 金沢大学助教授 大学院自然科学研究科 (〒920 石川県金沢市小立野2丁目40-20)

³学生会員 金沢大学大学院自然科学研究科博士前期課程2年 (〒920 石川県金沢市小立野2丁目40-20)

⁴フェロー 工博 金沢大学教授 工学部土木建設工学科 (〒920 石川県金沢市小立野2丁目40-20)

地震時被害予測のために、広範囲に埋設されている地中管路を一度に解析することは非常に困難なことである。本研究では、管路を形状ごとにモデル化し地震時応答解析を行い、地震時にどのような形状の管路網で被害の最も起こる可能性が高いかを検討した。つぎに、それらの形状を組み合わせた管路網についても同様の解析を行った。本研究では、応答解析法として応答変位法を用い、地盤ばね定数と継手ばね定数に非線形性を考慮した。以上の解析を通して、管路網全体を一度に解析しなくても、形状ごとに分割して検討することにより、簡易的に被害予測ができることが明らかとなった。

Key Words: water supply pipelines, earthquake damage, seismic response analysis

1. はじめに

地震時におけるライフラインの被害は、過去の地震での被害を見て分かるように都市生活に多大な影響を与える。したがって、耐震診断を行い順次、耐震補強を行うことが重要である。しかし、広範囲に埋設されている地中管路を耐震診断のために一度に解析することは非常に困難なことである。そこで本研究では、上水道管路網の管路を形状ごとにモデル化して、地震時応答解析を行い、地震時にどの形状の管路が最も被害が起こる可能性が高いかを検討し、簡易的な被害予測法について考察した。

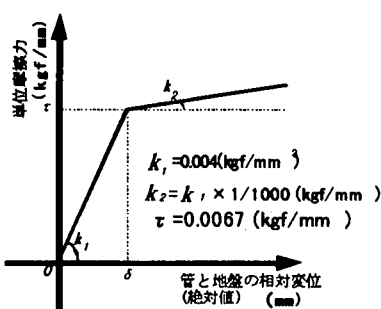
2. 解析方法・解析条件

解析には応答変位法を用い、その際の計算方法として修正伝達マトリックス法¹⁾を用いた。管路を弾性床上の梁としてモデル化し、地盤ばね定数と管路継手を表す継手ばね定数については非線形性を考慮した。本解析で用いた地盤ばね定数とK形継手ばね定数の特性図を図-1に示す。なお、本解析で用い

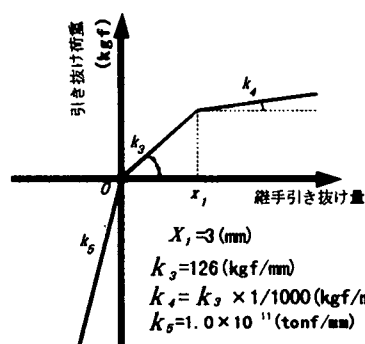
た他の継手についても、それぞれの特性を考慮した継手ばね定数を用いて解析を行った。本解析では、応答計算をする際に、水道施設耐震工法指針²⁾に基づいて、ボーリングデータから正弦波を求め、入力変位として用いている。入力変位については、管路軸方向(z 方向)、管路軸直角方向(x, y 方向)の3方向について設定する必要がある。今回は、鉛直方向である y 方向の変位を考慮せず、2次元での応答解析を行っている。用いたボーリングデータは、兵庫県南部地震において激震地域であった神戸市の会下山地区のボーリングデータである。これにより求められた正弦波は波長173.3m、振幅95mmとなった。

3. 管路形状による影響

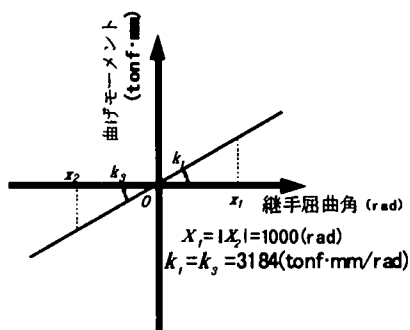
実際に埋設されている管路網は、図-2に示す曲管、T字管、十字管、電信柱などの障害物を避けなければならない場合に用いられる伏越し管、大口径の送水管から小口径の管路に分岐するI字管の5種類の管路形状の組み合わせで形成されていると考えられ



(a) 地盤ばね特性



(b) 継手ばね特性 (管軸方向, K型 φ200mm)



(c) 継手ばね特性 (回転方向, K型 φ200mm)

図-1 地盤ばね特性と継手ばね特性

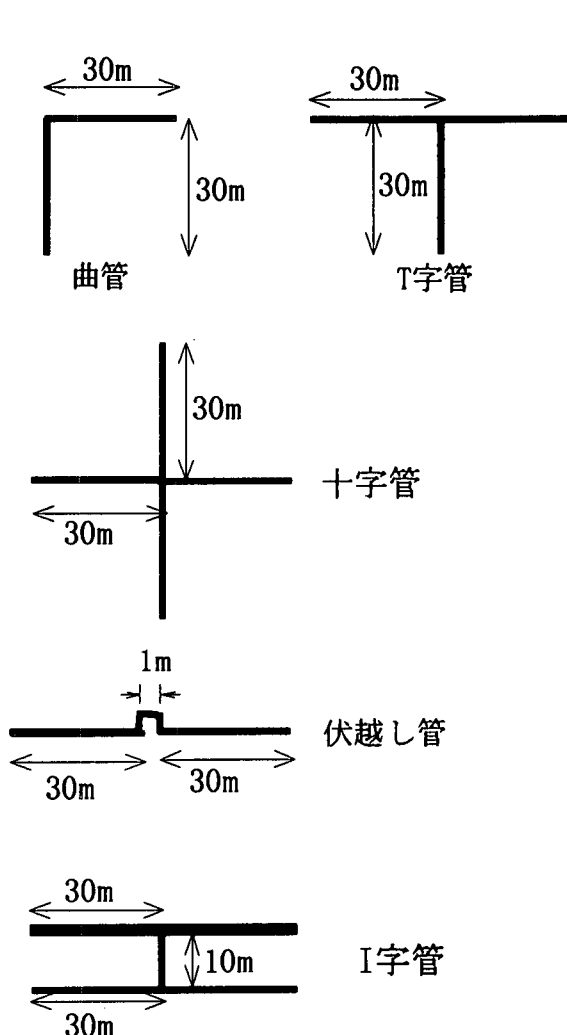


図-2 管路形状

る。ここでは、表-1 に示すように正弦波の入力方向を変えた 3 ケース、位相差を変えた 3 ケースの 6 ケースの入力条件のもとにそれぞれの形状について図-2 の管路長で解析を行った。形状ごとに 6 ケースの中で最大となった応答値を許容値で割った応答・許容値比を比較することにより、どの形状の管路が最も被害を受ける可能性が高いかについて検討した。口径については、I 字管の大口径の管路を 400mm とし、その他の管路の口径を 150mm とした。継手については、分岐部で SII 型継手を用い、その他は K 型継手を用いた。形状ごとに解析を行ったせん断力・許容値比、軸力・許容値比を図-3、4 に示す。これより、曲管で最も値が大きくなっていることが分かる。すなわち、5 種類の管路形状の

表 -1 正弦波の入力方向

Case	入力方向	位相差
1	南から北	0度
2	南西から北東	0度
3	東から西	0度
4	南から北	90度
5	南から北	180度
6	南から北	270度

中で、曲管部分が最も被害を受ける可能性が高いと考えられる。

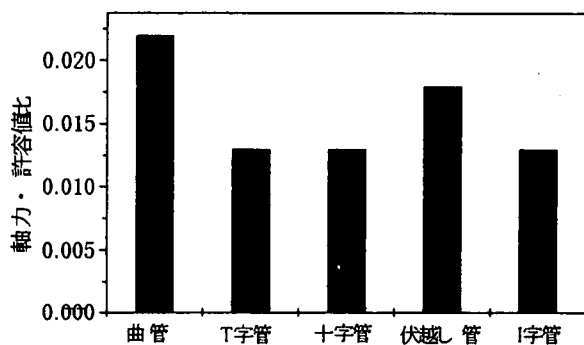


図-3 軸力・許容値比

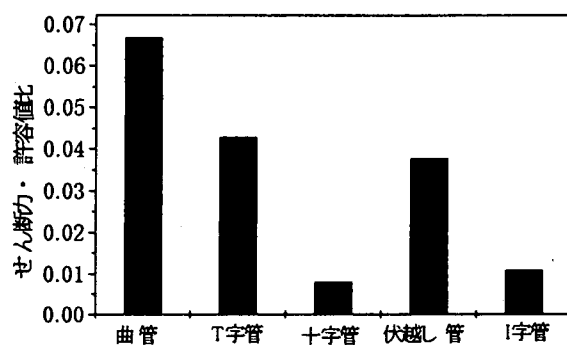


図-4 せん断力・許容値比

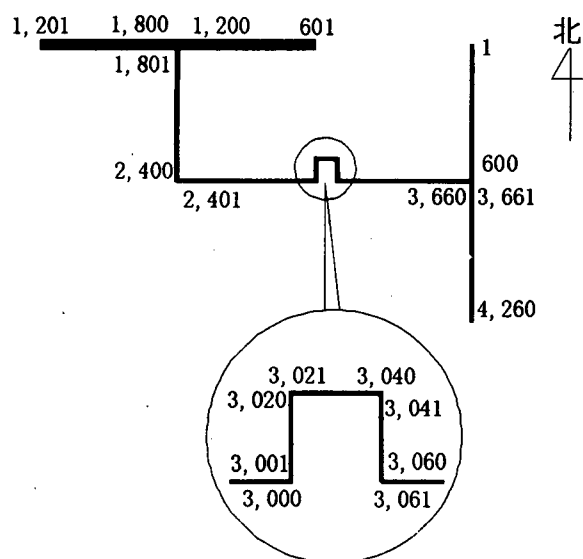


図-5 解析管路網モデル

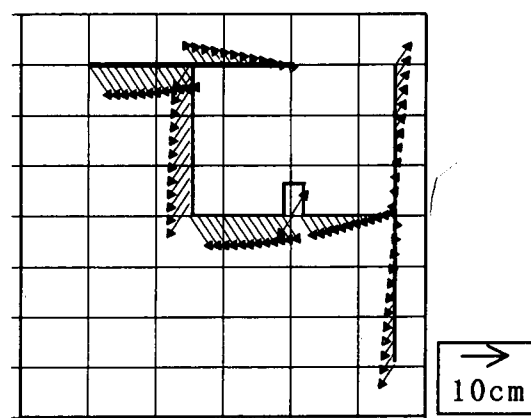


図-6 変位のベクトル表示

4. 管路網の解析

ここでは、3.で行った管路形状を組み合わせた管路網をモデル化し、ここでも曲管部分の応答値が高くなるのかを検討する。解析管路図を図-5に示す。それぞれの管路長さは図-2と同じである。図-5の管路図に記入してある数字は解析対象点番号を示している。解析対象点番号は管路の軸方向に沿って5cmごとに存在しており、600で30mとなっている。3.での解析と同じように解析対象点番号601~1,800のI字型の大口径の部分の口径を400mmとし、その他の管路の口径を150mmとした。入力については、3.で行ったのと同じ6ケースの解析を行った。6ケースの中で最も応答値が高くなったの

が Case2 であったので、その時の入力変位をベクトル表示したものを図-6に、軸力、せん断力、継手の引き抜け量を図-7~9に示す。図-7より、軸力については、解析対象点番号601~1,800の管路の軸力が非常に高くなっている。これは解析対象点番号601~1,800の管路の口径が400mmと他の管路と比べて大きいために応答値が高くなったと考えられる。しかし、口径が400mmと大きくなれば許容値も同時に大きくなる。また、解析対象点番号2,400の曲管の接続部分での軸力が大きな引張り力を示している。管路は管体、継手ともに圧縮よりも引張りに弱いという性質があるため、軸力の大きかった解析対象点番号1、601、2,400での応答値を許容値で割った応答・許容値比を図-10に示す。解析対象点

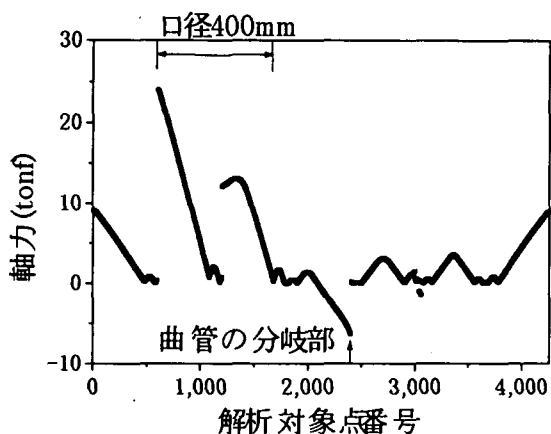


図-7 軸力

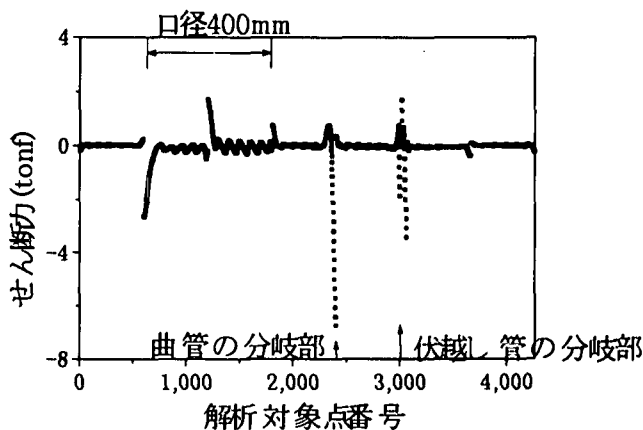


図-8 せん断力

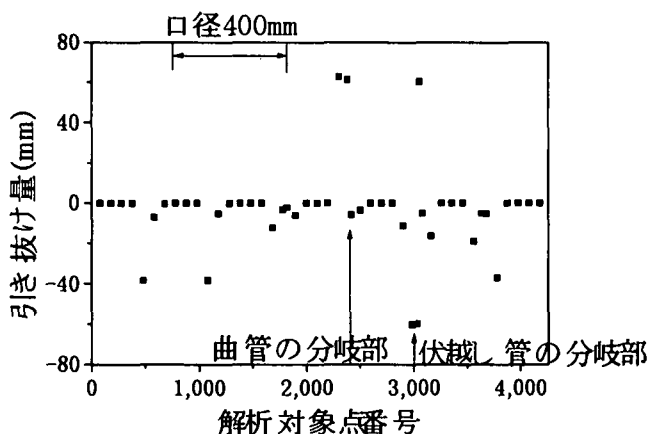


図-9 継手の引き抜け量

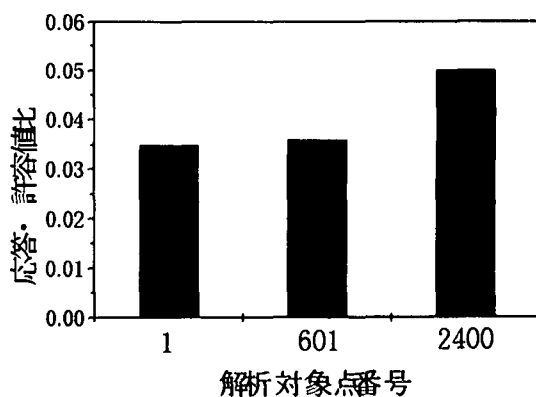


図-10 軸力の応答・許容値比

番号 1、601 での応答・許容値比は 0.036 となり、解析対象点番号 2,400 の曲管部分での応答・許容値比を算出すると 0.050 となり、軸力についても曲管の方が被害を受ける可能性が高いと思われる。せん断力は図-8 より、解析対象点番号の 2,400 と 3,000 付近で大きな値となった。この部分は、曲管の接続部分と伏せ越し管の障害物を避ける曲管の部分である。このことから、曲管は接続部分で 90 度と角度が変わって配管されているために管路に大きな負担がかかっていると考えられる。このため、曲管は被害を受ける可能性が高いと考えられる。図-9 より、継手の引き抜け量については解析対象点番号 2,400 の曲管の分岐部と 3,000 の伏せ越し管の分岐部で応答値が高くなっているのが分かる。これより、管路網においても被害を受ける可能性が最も高いのは曲管部分であると考えられる。

5. まとめ

今回の解析により、図-2 の管路形状ごとの解析結果と、図-5 の管路網の解析結果とがよい対応を示していることが分かる。すなわち、数種類の管路形状を組み合わせた管路を数多く作成し、解析しておくことにより、どのような管路の組み合わせが最も応答値が大きくなるかが分かり、複雑な管路網の簡易被害予測を行うことができるものと考えられる。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、(株)クボタ鉄管研究所の櫻井祥己副部長、川久保知一氏、岸田晋輔氏に有益なご意見を賜った。記して、深謝します。

参考文献

- 1) 中村秀治：数値誤差の改善を考慮した伝達マトリックス法の提案，土木学会論文集，No. 289，pp. 43-53，1979.
- 2) 社)日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説 1997 年版，1997.