

1. はじめに 一般の地上構造物に作用する地震力は主として慣性力に起因するが、埋設鋼管路では慣性力はほとんど影響しない。しかし埋設鋼管路は線的、面的に大きな広がりを持つため、各埋設地点の相対的な地盤変位すなわち地盤のひずみに起因すると考えられる。従来の研究対象は主に地上構造物であったために、それに必要な加速度計(強震計)が開発され、大地震における加速度記録はかなり計測されているが、埋設鋼管の耐震設計に必要な地盤変位記録の蓄積は、まだ不十分な状態である¹⁾

当社では八戸市水道部の御協力を得て、同市水道用埋設鋼管実ラインの地震時挙動を測定してきた²⁾³⁾。測定項目中、管のひずみ記録は今までの地震規模が小さすぎて読み難かったが、昨年6月の宮城県沖地震ではかなりの記録がとれた。この地震での同市における震度階は4であり、本ラインではないが水道管が一部破損し、106世帯が断水したと報告されている。

本文では観測開始の昭和50年以来53年迄の測定結果と宮城県沖地震の変位の解析結果について報告する。

2. 耐震観測 図-1に示すように外径1200mm、管厚16mmの水道用埋設鋼管の実ラインの一部、約164mを観測対象とした。測定は埋設鋼管の11地点及び近傍の露頭岩盤1地点の計12地点で行なった。鋼管11地点中には弁室とその両端のベローズ管、及び観測端部のベローズ管が含まれる。なお観測地点は西から東へSt.1~12とする。観測地点の土質柱状図を図-2に示すが、露頭岩盤(St.12地点)は鋼管周辺の表層地盤下の基盤と続いているものと考えられる。観測項目は①表層地盤及び岩盤の3成分加速度、②埋設鋼管の管軸方向・管軸直角水平方向加速度、③埋設鋼管の管軸方向・管周方向のひずみ、④ベローズ管の伸縮量、⑤弁室の加速度である。

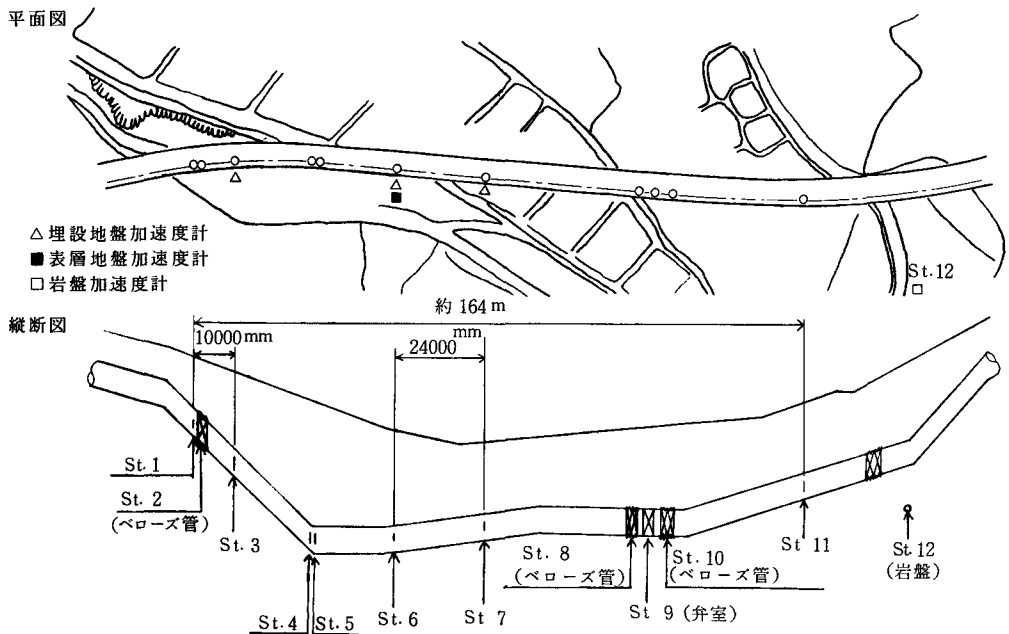


図-1 埋設鋼管路線図

3. 観測記録 昭和50年6月～53年12月に観測された顕著な地震は13回で表-1に示す。沈埋トンネルの地震時のひずみについて 田村等によりマグニチュードをパラメータとして、震央距離と最大ひずみの関係が報告されている⁴⁾。本管路においても過去4年間の値を求め、図-3に示す。沈埋トンネルと本管路とは構造、地盤条件が異なるため同一に議論を進めることはできないが、同様の傾向が見られる。なお最大ひずみの発生点は、St. 4の軸方向の場合が殆んどで、曲がり部の影響と考えられる。例外として昨年の宮城県沖地震(M=7.4)クナシリ島地震(M=7.7)については、各々St. 6, 1で測定され、また同程度の値が広範囲で得られている。

以下、宮城県沖地震について解析を行なう。なお本地震の深さは40km、八戸市の震央距離270km、最大変位はNS方向6.4mm、EW方向6.8mm、UD方向100mmと報告されている⁵⁾。St. 6, 7, 1, 3の鋼管管軸方向加速度を0.01秒間隔で求め、各々図-4(a)(b), 6(a)(b)に示す。St. 6と7, St. 1と3を比較すると振幅は異なるが位相差は殆んどないとわかる。この位相差が小さいことより、波がほぼ鉛直上方に伝播していると推定できる。

4. 解析手順 ①St. 6と7の加速度の差を直管部分における相対加速度とし、同様にSt. 1と3の差をベローズ管部分の相対加速度とする。(図-4(c), 6(c)参照)

②シンパソン法、ニュートンの $\frac{3}{8}$ 則を用いて相対加速度の数値積分を二回行ない、相対変位を求める。この値は発散するため、中心線を二次式と考えて最小二乗法により中心線補正を行なう。しかし、ドリフトの除去はまだ十分ではなく、ノイズも大きく、変位積分値がかくれる傾向にある。直管部分についてはSt. 6～7間の距離でこの値を除して平均ひずみとし、図-5(d)に示す。

③相対変位値を周波数成分に分解して、これより $T > 0.5$ 秒なる長周期成分を取り除き、フーリエ逆変換を行ない、相対変位から長周期成分の除去を計った。直管部分について平均ひずみに直し、図-5(e)に示したが、効果は少なくドリフトの除去はできない。次に $T > 0.5$ 秒なる長周期成分と $T < 0.1$ なる短周期成分を除去した値を求め、ベローズ管部分は図-6(d)に、直管部分については平均ひずみに直し、図-5(f)に示す。一方、St. 6における管軸方向ひずみ、St. 2におけるベローズ管の伸縮量を図-5(g), 6(e)に示す。

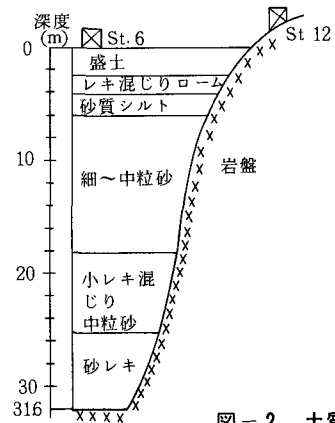


図-2 土質柱状図

表-1 主な地震記録

No.	年月日	震源	マグニチュード	八戸震度
1	50 6 16	岩手県沖	4.9	II
2	50 6 18	青森県東方沖	5.5	II
3	50 9 20	浦河沖	5.9	III
4	50 10 30	浦河沖	6.0	III
5	51 6 2	青森県東方沖	5.0	II
6	51 7 8	岩手県沖	5.9	III
7	52 2 18	青森県東方沖	5.4	III
8	52 9 28	岩手県沿岸	4.8	II
9	53 2 20	宮城県沖	6.7	III
10	53 5 16	青森県東沿岸	5.8	III
11	53 5 16	青森県東沿岸	5.8	III
12	53 6 12	宮城県沖	7.4	IV
13	53 12 6	クナシリ島付近	7.7	IV

気象庁「地震月報」による。

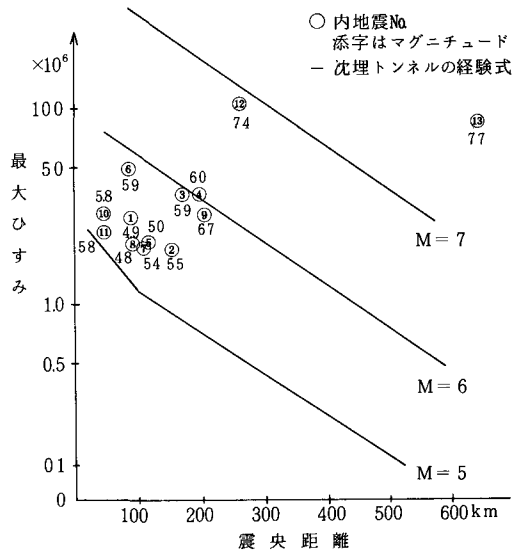


図-3 震央距離～最大ひずみ関係

5. 考察 多項式による中心線補正に

ついては栗原等の論文によると、一般的に次数が高い程近似度が高いか、近似度のレベルとしては依然低いとされている⁶⁾。またこの補正を行なうまでに入る誤差として(Ⅰ)加速度計自身の誤差、(Ⅱ)アナログ⇄デジタル変換時に入る誤差、(Ⅲ)相対加速度の計算時の時間のずれによる誤差、(Ⅳ)二回積分による誤差等が主に考えられる。この誤差の大きさが不明瞭である事、多項式による中心線補正の方法が簡単である事を考え合わせて、本論文では多項式による補正を二次式で考えて発散を修正するという範囲に止まり、その結果から特定周期を取り除いたものを相対変位としてとらえる試みをしたわけである。今回、特定周期として $T > 0.5$ 秒、 $T < 0.1$ 秒を除去した根拠は実測値図

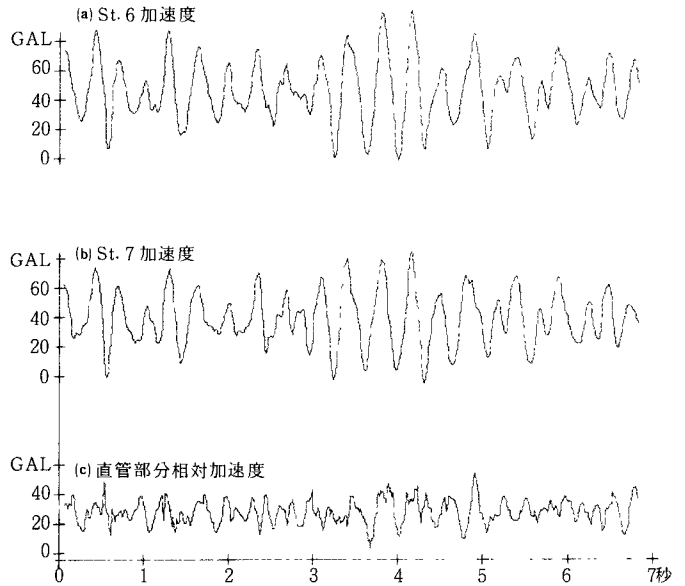


図-4 直管部分の波形

－5(図)からの判断であるが、今後数多くのデータにより、除去する周期の各地震との対応・一般化を計りたい。

各変位の計算値は、実測の直管の垂・ベローズ管の伸縮量と比べ、オーダー的には等しいが、若干大きめの値を取っている。これは計算で求めた相対加速度が、前述の誤差(Ⅰ)(Ⅱ)によりバラツキの大きいものになっており、二回積分を通してより増大すると考えられるからである。

また、計算値と実測値の位相のずれはビジュグラフのチャート速度の乱れた部分に大きく表われている。

6. まとめ

- ①本ラインに記録された地震の最大ひずみは、主に曲がり部で生じ、マグニチュードをパラメータとして震央距離と相関がある。
- ②実測の加速度より相対変位を求める際、積分後の補正值から $0.1 < T < 0.5$ 秒なる周期のみを残したフーリエ逆変換値が、ほぼ実測値と一致する。
- ③振幅・位相のずれについては観測記録間の時間的ずれ、記録速度の変動等の時間によるものが多い。

[参考文献]

- 1) 高橋・宮島・宮内：実験に基づく水道用埋設鋼管等の地震時設計許容値 第29回全国水道研究発表会講演集 1978年
- 2) 宮島・宮内・青野：埋設鋼管における地震時挙動、第14回地震工学研究発表会 1976年
- 3) 宮島・宮内・白川・青野 AN EXAMPLE OF SEISMIC DESIGN AND EARTHQUAKE RESPONSE MEASUREMENT OF A BURIED PIPELINE 日米科学協力セミナー、ライフライン系に重点をおいた地震工学研究講演論文集 1976年
- 4) 田村・岡本・加藤・トンネルの地震観測 第5回地震工学シンポジウム講演集 1978年
- 5) 気象庁・1978年宮城県沖地震調査報告 気象庁技術報告 1978年
- 6) 栗原・桜井：地震加速度波形の積分 技術研究所研究報告 電力中央研究所 1969年

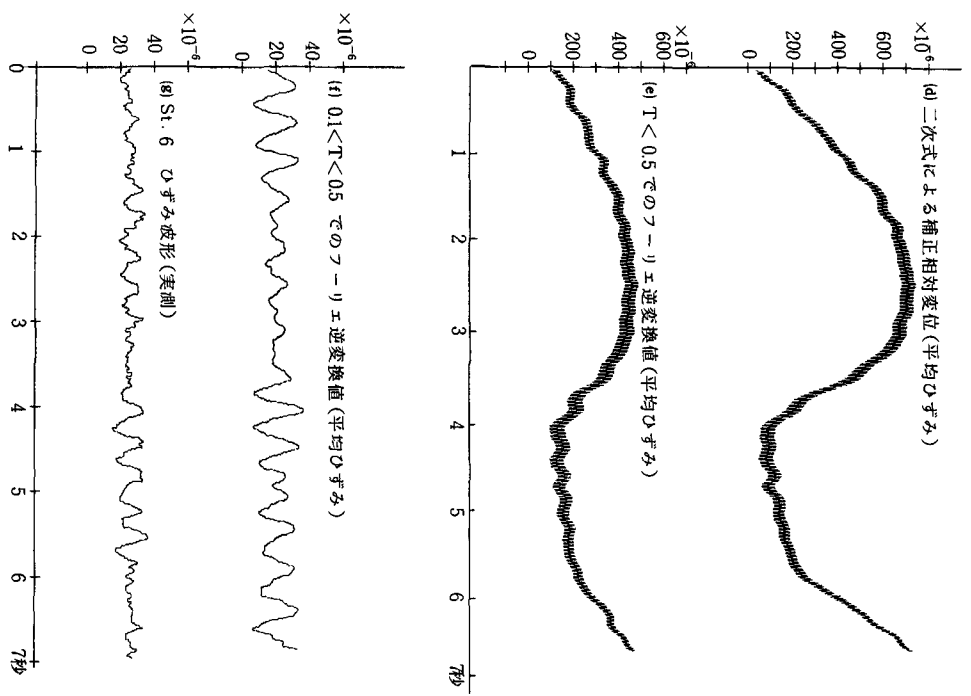


図-5 直管部分の波形

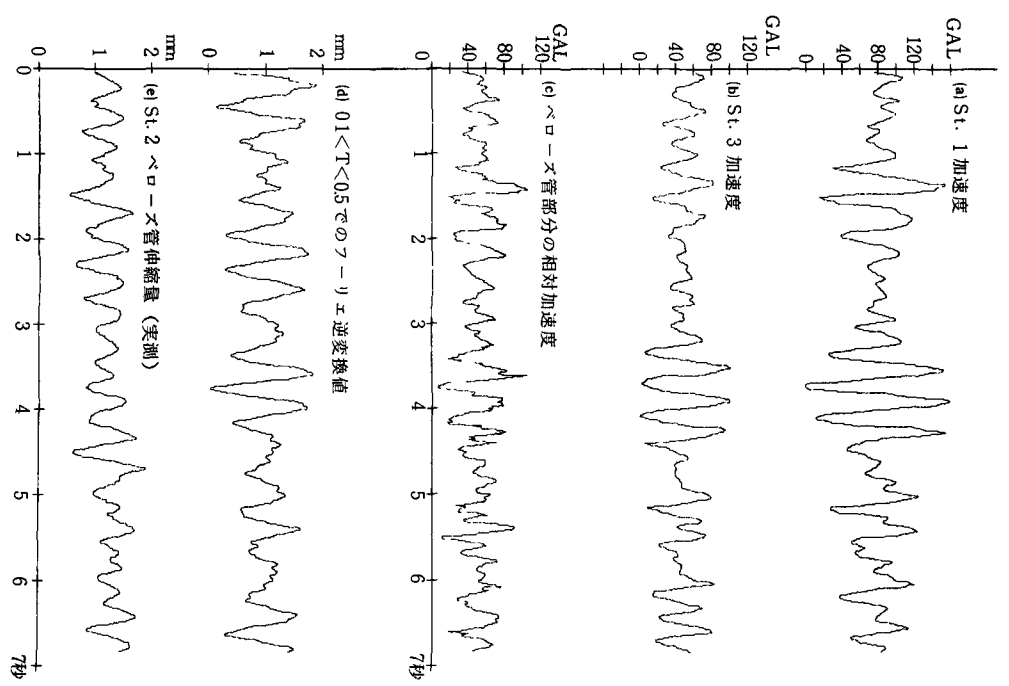


図-6 ベローヌ管部分の波形