

(51) 地下管路の地震時挙動観測について

日本電信電話株式会社 建設技術開発室 正員 梶本俊彦
 同 上 正員 中野雅弘
 同 上 正員 澤橋剛志

1. まえがき

筆者らは、電気通信ケーブルを収容保護する地下管路、とう道等通信土木設備の信頼性を向上するための検討の一環として、これら設備の地震時挙動の現地観測を実施している。このうち、今回は地下管路の現地観測システムと観測記録及びその解析結果について報告する。

2. 観測システム

地下管路の現地観測は、現在筑波研究学園都市内と沼津市内の2カ所で実施しているが、本稿では筑波研究学園都市内の観測状況について述べることにする。

観測は、通信ケーブル用地下管路として現在一般的に用いられている75mm鋼管及び硬質ビニル管を対象に実施している。測定項目は、地盤（GL-2.2m及び-3.5.0m）、管路及びマンホールの加速度、管路のひずみ及び鋼管とマンホールの接続部における伸縮継手の変位である。観測設備及び計器設置位置を図-1に示す。

観測地点の地盤条件は、図-2に示すように、基盤は洪積層の密な砂及び砂レキであり、その上部は粘性土と砂質土の互層で構成され、地表面は火山灰土に覆われている。また表層の一次固有周波数は1.8Hz、二次固有周波数は4.0～5.0Hz付近に存在する。

3. 観測記録

観測は1982年3月より開始し、現在までに41件の地震時記録が得られており、これらの中には表-1に示すような震度4（水戸）を記録したのもも3例含まれている。これらの記録のうち、比較的管路に生じたひずみレベルの大きな16件の記録について、管路中間部に生じたひずみの最大値と地震の諸元（マグニチュード及び震央距離）との関係に着目して整理した結果を図-3に示す。この結果から、管路中間部のひずみは、当然のことながらマグニチュードが大きく、震央距離が短い地震ほど大きな値であったことがわかる。また、回帰分析により管路中間部のひずみと地震の諸元との関係を求めると、本観測地点における管路中間部のひずみの推定式として次式を得ることができる。

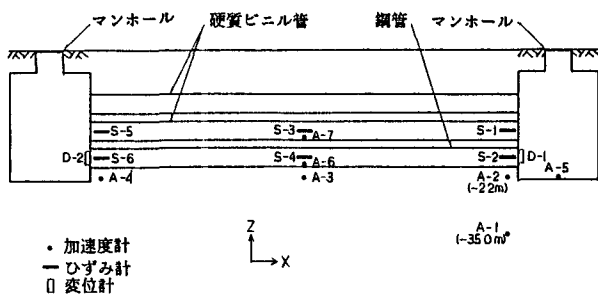


図-1 観測設備及び計器設置位置

層深 (m)	地質名	N 値				S波速度 (m/sec)				
		10	20	30	40	100	200	300	400	500
0	腐土									
	腐灰質粘土									
5	粘土混りシルト									
	細砂									
10	粘土混りシルト									
	細砂									
15	粘土混り中砂									
	細砂									
20	粘土混りシルト									
	砂混りシルト									
25										
30	シルト質細砂									
	砂レキ									
	粘土混り中砂									
35										
40	砂レキ									

図-2 地盤条件

表一 観測された地震（震度4以上）

No	日時	震源地	マグニチュード	震央距離(km)	基盤最大加速度(Gal)
1	57. 3. 7 8:14	鹿島灘	5. 5	65	51. 7
7	57. 7.23 23:24	茨城県沖	7. 0	170	30. 8
24	58. 2.27 21:14	茨城県南西部	6. 0	15	49. 3

(鋼管) : $\text{Log}_{10}(\varepsilon \times 10^{-6}) = -1.10 + 0.51M - 0.35\text{Log}_{10}\Delta$

(硬質ビニル管) : $\text{Log}_{10}(\varepsilon \times 10^{-6}) = -1.18 + 0.53M - 0.34\text{Log}_{10}\Delta$

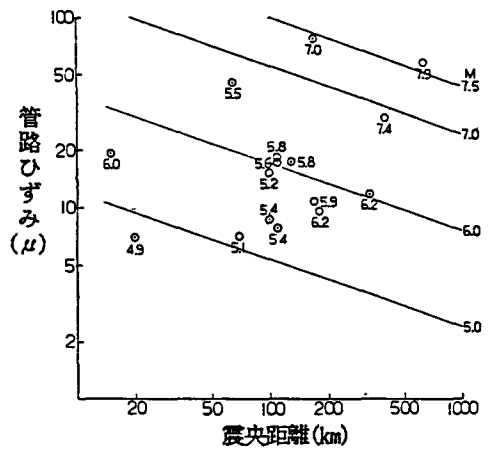
ここに、 ε は管路中間部におけるひずみの最大値、Mは地震のマグニチュード、 Δ は震央距離である。ただし、回帰分析を行った対象の地震は、 $M=4.8\sim 7.9$ 、 $\Delta=15\sim 640$ kmの範囲であり、管路中間部のひずみの最大値は、鋼管で76.6 μ 、硬質ビニル管で95.8 μ 以下である。

4. 解析結果

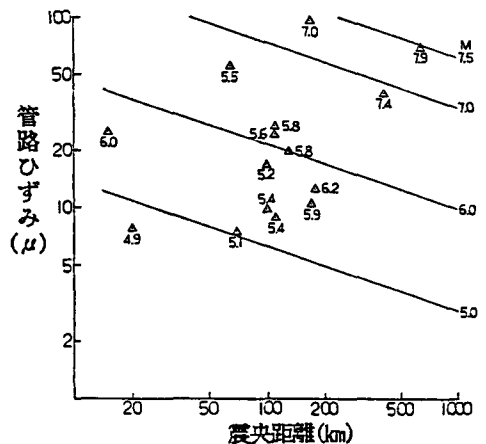
上記の記録のうち、表一に示した3例はいずれも比較的加速度レベルの大きな地震であったが、管路に生じたひずみは各地震によって有意な違いが見られた。そこで、この3例について波形解析を行い、それぞれの地震波の特性と管路中間部に生じたひずみとの関係について、比較検討を行った。この結果を以下に示す。

これらの地盤加速度波形を図一4に、パワースペクトル解析結果を図一5に示す。No. 1及びNo. 7では、表層加速度の卓越周波数は基盤加速度の卓越周波数のほか、表層の一次固有周波数に一致する1.8 Hz付近にも存在することから、地震動が表層地盤の振動特性に従って増幅されたものと考えられる。一方、No. 24では、基盤加速度と表層加速度の卓越周波数がほぼ一致し、表層地盤の振動特性が現れていない。これは基盤と表層の挙動が同様であることを示しており、No. 1及びNo. 7と地震動の性質が明らかに異なっているものと考えられる。

さらに波動の伝播速度について考察するために、地盤加速度の水平・垂直方向相互相関関数解析を行った結果を図一6に示す。No. 1及びNo. 7では、水平方向・垂直方向とも明瞭なピークが現れており、ピーク値を与える時刻から波動の伝播速度を求めると、表一2に示す値を得る。このうち、特に垂直方向の波動の伝播速度は、両地震とも弾性波探査によって求められた表層地盤のS波速度と良く一致している。一方、No. 24では、水平方向・垂直方向とも明瞭なピークが現れていな



(a) 鋼管



(b) 硬質ビニル管

図一3 管路中間部のひずみの最大値と地震の諸元の関係

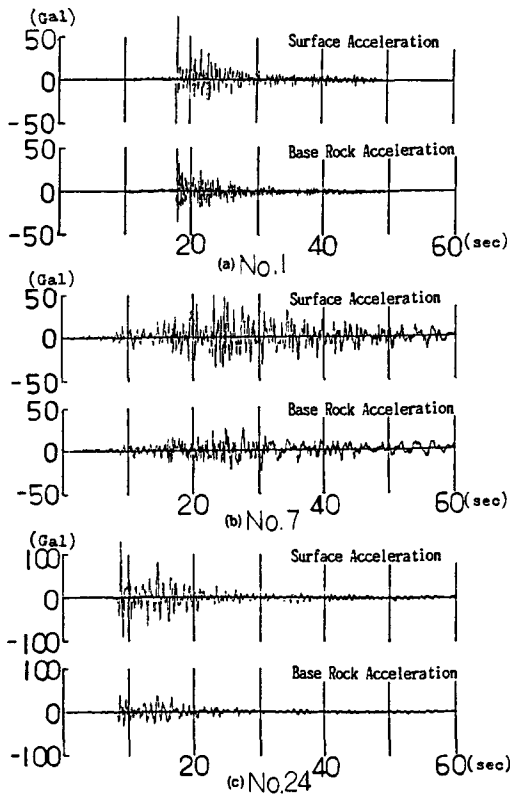


図-4 地盤加速度波形

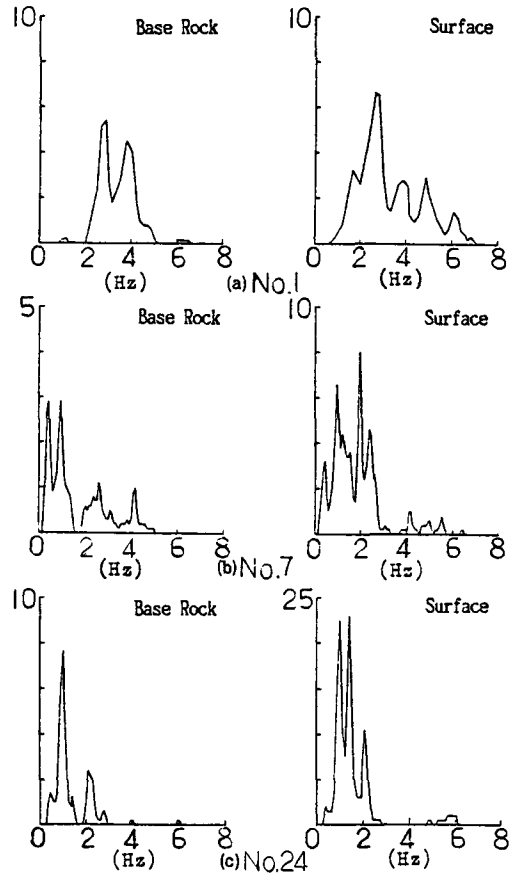


図-5 パワースペクトル解析結果

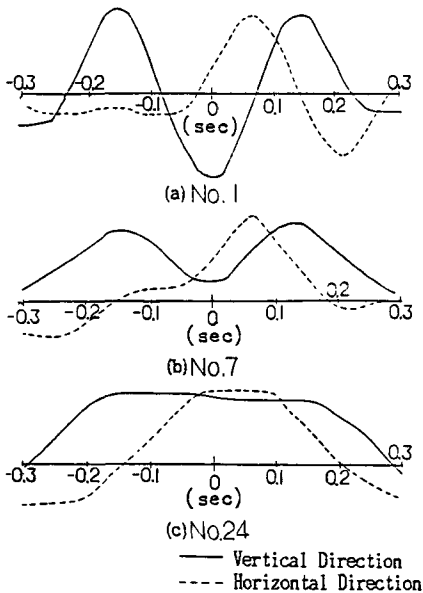


図-6 相互相関関数解析結果

表-2 波動の伝播速度

No	伝播速度(m/sec)	
	垂直方向	水平方向
1	230	1890
7	240	1530

表-3 表層速度と管路中間部のひずみの最大値

No	表層速度 (cm/sec)	管路ひずみ (μ)	
		鋼管	硬質ビニル管
1	1.97	45.7	55.5
7	5.52	76.6	95.8
24	8.94	19.3	25.1

いが、水平方向ではわずかに位相差が見られ、波動の伝播速度として2700m/sという値を得た。しかしながら、垂直方向ではほとんど位相差が見られず、見掛け上波動の伝播速度はきわめて大きな値となる。このことは、No. 24では基盤から表層への波動の伝播が考えられず、パワースペクトル解析における考察と同様な結果を示すものである。

これら3例の地震による表層速度の最大値と管路中間部のひずみの最大値を比較したものを表—3に示す。これによると、No. 24では表層速度の大きさと比較して、管路中間部のひずみがきわめて小さな値となっていることがわかる。これは前述したように、見掛け上の伝播速度すなわち見掛け上の地震波の波長がきわめて大きいことによるものであり、No. 24のような直下型地震の特徴と考えられる。

5. 数値解析

上記の3例について、観測された基盤加速度波を入力波として、多質点系バネマスモデルによる動的解析法を用いて管路に生じるひずみの解析値を求め、観測値との照合を行った結果を図—7に示す。なお、解析において地盤と管路の間のばね定数は、動的载荷実験¹⁾により求めた値を用いた。

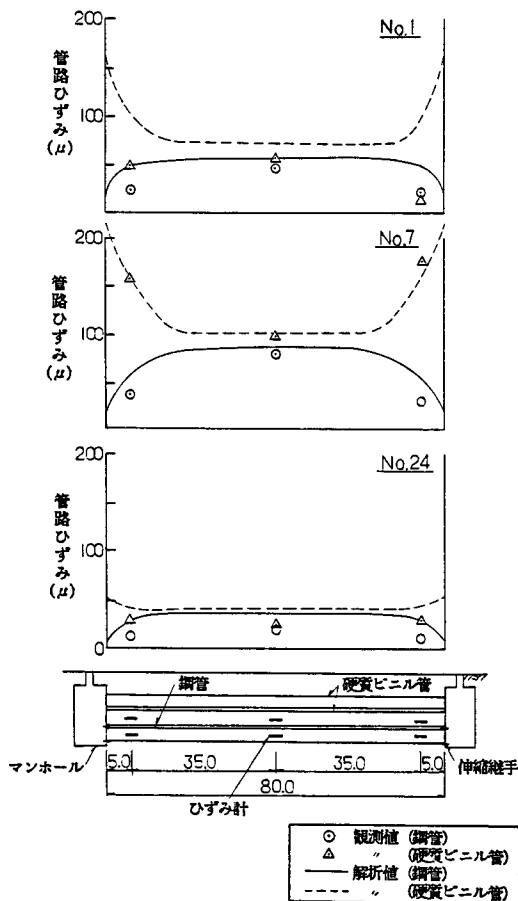
管路の長手方向のひずみ分布は、鋼管ではマンホールとの接続を伸縮構造としているため、その応力緩和効果により、マンホール近傍における管路ひずみは中間部と比べて小さな値となり、一方硬質ビニル管では、マンホールとの接続を接着構造としているため、マンホール近傍において中間部と同程度以上のひずみが生じるものと考えられる。解析値と観測値を比較すると、概ね良く一致しており、動的解析法は上記の構造条件や前述した地震波の特性による管路の挙動の違いを良く説明していることがわかる。

6. おわりに

今回、現地観測により得られたデータに基づき、管路中間部に生じるひずみの推定式を求めるとともに、比較的加速度レベルの大きな3例の記録について波形解析を行い、地震波の特性と管路に生じたひずみの関係について検討を行った。さらに、数値解析による解析値と観測値の照合を行った結果、動的解析法は概ね管路の挙動を説明できることが判明した。今後は、さらに観測を継続してデータの蓄積を図り、大きな地盤ひずみを受けた場合の地盤と管路の間のすべりの影響等について検討を進めるとともに、表面波が卓越するような地震について、これに着目した解析により管路に生じるひずみの分析等を行う予定である。

参考文献

- 1) 白川・奥村・澤橋：地下管路の動的载荷実験について（土木学会第37回年次学術講演会）



図—7 管路ひずみの観測値と解析値の比較