

(22) 地震波の伝播と地盤歪及びダクタイトル管路の挙動に関する実測的考察

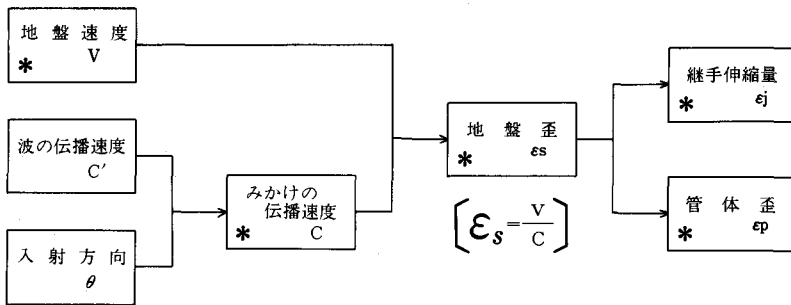
久保田鉄工 正員 北条貞宗
 同上 正員 岩本利行
 同上 ○正員 若井伸彦

1. はじめに

埋設管路の地震時の安全性の検討について、現在実測データによる分析が盛んに行なわれている。しかしこれらの実測はまだ破壊的地震を経験しておらず、実際に事故等の予想される地震レベルでのデータが十分に得られているとは言えない。また、何らかの震害が予想される程度の地震動が得られていても、直下型地震と中距離地震等の違い、或いは震源の方向の違いにより、管路は異なった挙動を示すと考えられる。本報告では同レベルの地震動で、地震波の伝播速度及び伝播方向の違いにより管路の地震時歪の発生に如何なる相違が表われるか実測的に知る必要があると考え、二三の分析による考察を試みたものである。

2. 地震波の伝播と管路の地震時歪

ダクタイトル管路に於ける管路の地震時歪とは、継手部伸縮量 (ϵ_j) と管体歪 (ϵ_p) の2者の合計に相当するが、実際には後者は極わずかな量であり、前者が量的にほぼ地震時歪に等しく継手部で地震力を逃していることは既報で述べた。^{1,2)} 一方、管軸方向の地盤の地震時歪が、管軸方向の地震動の速度成分と、管軸方向の地震波のみかけの伝播速度の比で表現されることは周知の通りである。³⁾ そこで地震波の管軸に対する入射角度 (θ) をも考慮して、管路の地震時歪が発生する要因をブロック図で表わしたのが図1である。



*印は下長観測所で実測中の物理量

図1 地震と管路の挙動要因ブロック図

八戸市下長地震観測所に於ては図1に於ける*印で示した量を全て実測して管路の挙動の因果関係を総合的に調べている。また地震動の三点観測を行なって地震波の入射方向 (θ) の分析を試みている。^{2,3,4)} そこで、これらの実測データをもとにして地震波の伝播速度、伝播方向と管路の地震時歪との関係について実測的考察を行なった。

3. 三点観測による位相差分析

いま図2の様に管軸に沿って測点A、B2点を取り、管軸外に測点Cをとる。図3に示すA・B間の位相差 (ΔT_{AB}) とA・C間の位相差 (ΔT_{AC}) との比を求めることにより入射方向 (θ) を求める。

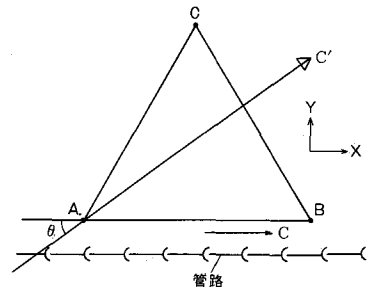


図2 三点観測 (下長観測所)

位相差の求め方は種々の方法が考えられるが、ここでは次の2つの方法を用いることにした。

A) 目視的方法

2点の速度波形の比較的明確なピークの時間ずれを直接よみとる。

B) 検出数値計算による方法

土岐⁶⁾によれば2点A・Bに於いて得られた各波形 $f_A(t)$ 、 $f_B(t)$ を用い、(1)式のスペクトルの比をとることにより、周波数と位相差の関係が得られる。

$$H+(\omega, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \{f_A(t+\tau) + f_B(t)\} e^{-i\omega t} dt$$

$$H-(\omega, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \{f_A(t+\tau) - f_B(t)\} e^{-i\omega t} dt$$

(1)

A)の方法によれば、純粋な地震波に地表面のゆらぎや各周波数の波の重畳による微妙な波の位相の振動によるノイズ成分をも含めた分析となる。一方複雑な処理を施していない為、測点間の距離が近接しているものについて、実際の管路に影響を与える直接的な位相差情報が得られるものと思われる。

B)の方法は純粋な地震波の伝播特性を得るに有効な方法と思われるが、下長観測所に於けるデータ分析の場合、2測点間の距離が60mと近い為に感度がやや低い。

4. 分析例

以下分析例について述べる。八戸市下長観測所は層厚40mの典型的な軟弱地盤上にあり、φ1000のS形ダクタイト管を埋設している。観測内容は図1・2に示したが、詳細については既報を参考にして戴きたい。^{2,4)}表1は分析の対象とした震源方向の異なる7件の地震記録であり、図4にその分布図を示す。紙面ではこのうちNo.6宮城県沖地震(震度IV)とNo.4青森県東部海岸(震度III)について取扱う。

A) 目視的方法による分析

目視的方法による分析結果を図5・6に示す。これらの位相差値及び入射角はばらつきを含んではいるがそれぞれ時間平均的な傾向値を示している。管軸方向のみかけの波の伝播速度はNo.6では300~1700m/sであり600m/sを中心に、またNo.4では300~2000m/sであり1200m/sを中心にばらついている。また伝播方向については、No.6では最初の30秒で50°前後、それ以降で20°前後にあり、震源方向は46°である。またNo.4では最初の20秒で35°前後、それ以降で40°前後にあるが震源方向は-146°である。すなわちNo.6(宮城県沖地震)では実際の震源方向とよく一致するが、No.4では一致しない。また表1に示す他のデータの分析結果でも同様震源方向と一致しない傾向がみられる。従って、少なくともNo.4の分析結果に表れた特性は観測地点の地域的な影響に支配されていると思われる波であり、震源方向から直接伝播した波ではない様である。

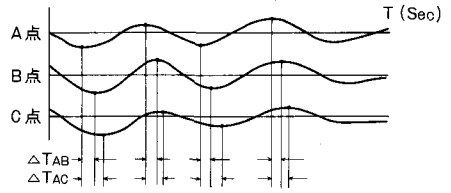


図3 目視による位相差

表1 分析地震一覧表

No.	記録最大加速度 (GAL)			震源場所	発振日時	震源位置 (M)	マグニチュード (M)	震源深さ (KM)	八戸震度
	新 島 観測所	白山浄水 場中観測所	下 長 観測所						
1	3.8	12.6	7.2	中津地方 沖	1978. 3. 7 11: 49	137°44' E 32°08' N	—	440	0
2	12.3	18.8	9.8	エトワフ 島近海	1978. 3. 25 04: 47	149°48' E 44°20' N	7.3	46	1
3	13.4	27.5	27.8	東北地方 東方沖	1978. 4. 5 16: 51	144°28' E 39°42' N	5.5	60	II
4	61.9	97.6	54.7	青森県 東部沿岸	1978. 5. 16 16: 35	141°28' E 40°57' N	5.8	10	III
5	—	—	7.0	青森県 東方沖	1978. 5. 21 21: 08	142°32' E 40°47' N	5.0	30	1
6	137.5	126.5	178.8	宮城県沖	1978. 6. 12 17: 14	142°10' E 38°08' N	7.4	40	IV
7	9.4	—	4.1	北海道 南部	1979. 12. 30 00: 06	143°02' E 42°14' N	5.7	70	II

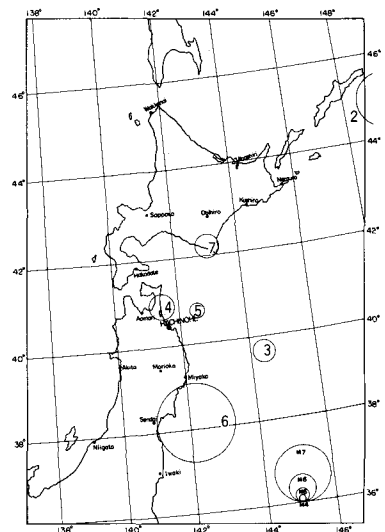


図4 分析地震震源分布図 (No.1を除く)

また管軸方向の地盤速度値を、これらの各時点での分析伝播速度値で除した地盤歪計算値の分析結果を図7・8に示す。No.6(宮城県沖地震)では測定した地盤歪値をよく表現しているが、No.4では実測値よりかなり大きい値となっている。

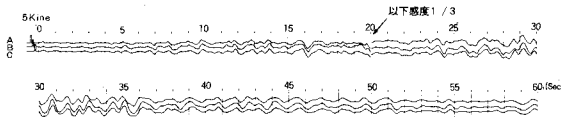


図5 地震波の位相差分析 (No.6、宮城県沖地震)

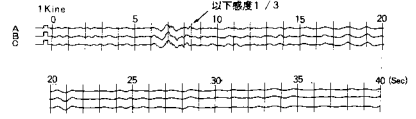


図6 地震波の位相差分析 (No.4)

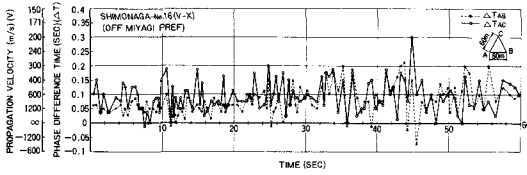


図7 地盤歪計算値と実測値の関係 (No.6、宮城県沖地震)

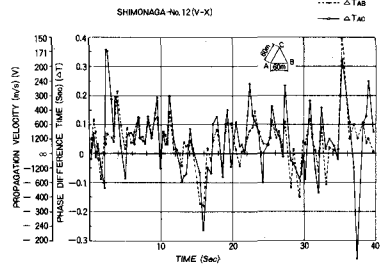


図8 地盤歪計算値と実測値の関係 (No.4)

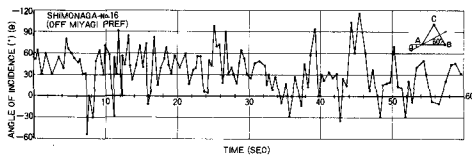


図7 地盤歪計算値と実測値の関係 (No.6、宮城県沖地震)

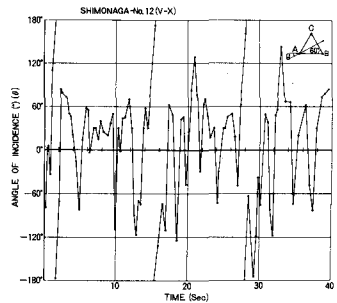


図8 地盤歪計算値と実測値の関係 (No.4)

B) 検出数値計算による方法

検出数値計算プログラムによる検出法で分析を行なった結果 (No.6宮城県沖地震) を図9・10に示す。低周波で分析感度が低いのは、2測点間の距離が60mと近い為である。このチャートによれば、卓越周期 (1.4Hz) 付近で位相差が0.1秒前後であり、みかけの伝播速度は約600m/s程度になるが、卓越周期より低周波に於いてはかなり速い伝播速度の波がみられる。

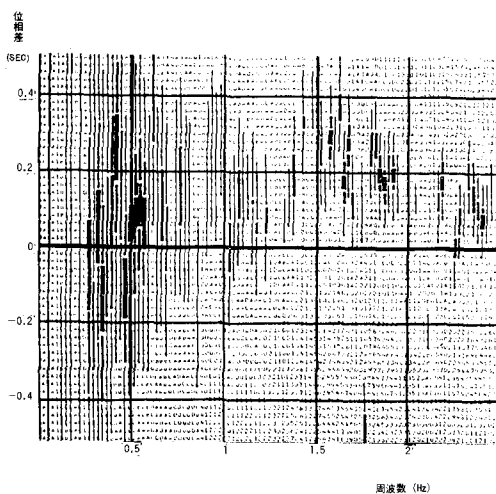


図9 位相差チャート (No.6、宮城県沖地震、A・B点)

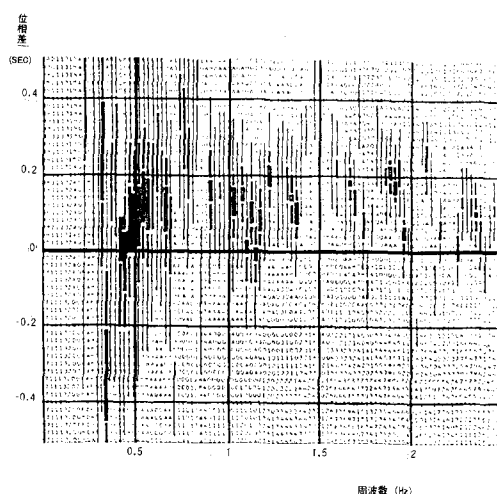


図10位相差チャート (No.6、宮城県沖地震、A・C点)

5. おわりに

管路の地震時歪について冒頭に述べた様な関心より二三の分析を試みた結果について述べたが、宮城県沖地震以外に大きな歪値を測定したデータがなく、明確に結論づけるべき結果は未だ得られていない。これまでの分析結果より次の様な見解が得られた。

- (1) 位相差分析の目視的方法では、地震波の伝播方向がある明確な方向性をもっていることを観察できる。また地震波の中には必ずしも波の伝播方向が震源方向と一致しないものがあり、これは観測地点の地域的な影響に支配されている波と推測される。
- (2) 管軸方向の地盤速度値と目視的方法により求めた管軸方向のみかけの伝播速度の比で計算した地盤歪計算値は、宮城県沖地震では実測歪値とよく一致したが、比較的小さな地震では実測歪より大きな値となった。
- (3) 検出数値計算による位相差分析で、卓越周期付近では目視的分析による結果と類いの傾向を示すが、より低周波では伝播速度の速い波の存在が推測される。

現状では、明確に比較できる地震記録が未だ十分とはいえ、今後大きな地震動を記録すべく観測を続けていく必要がある。また、現状の分析に於けるノイズ成分を除去する技術の適用や地震波の識別を今後進めていきたい。尚、地震観測は八戸市水道部の御協力のもとに行っており、紙面を借りて深く謝意を表する。

参考文献

- 1) 小軽米、北条、岩本：八戸市白山浄水場系配水幹線の耐震ダクタイル管路の地震時挙動観測、第5回日本地震工学シンポジウム、1978
- 2) 小軽米、北条、若井：八戸市下長地区に於ける耐震ダクタイル管路の地震時挙動観測、第15回地震工学研究発表会、1979
- 3) 北条、岩本、若井：耐震ダクタイル管路の地震時挙動観測（伝播速度と地盤歪について）、第35回土木学会講演会、1980
- 4) 小軽米、大沢ほか：八戸市下長地区に於ける耐震ダクタイル管路の地震時挙動観測、第32回全国水道研究発表会、1981
- 5) 桜井彰雄：地盤の震動解析に基づく埋設パイプラインの耐震性の研究、1971
- 6) 土岐憲三：強震加速度記録による位相速度の検出、第4回地震工学シンポジウム、1975