

日本電信電話株式会社 正会員○松田 淳

同 正会員 倉谷 光一

同 正会員 鈴木 崇伸

1. はじめに

NTTでは、現在通信ケーブルを収容する地下設備として、強度、剛性の高い外管の中に、経済性や作業性に優れる硬質ビニル管を布設する管路方式を検討している（以下、前者を外管、後者を内管と呼ぶ）。上載荷重や不等沈下に対しては、外管の剛性により信頼性が見込まれるが、地震時には外管と内管は別々の運動をすることが予想される。本報告では、地震時における内管の挙動をシュミレートする手法を示し、その振動特性について述べる。

2. 管路体系内での位置づけ

外管中に内管を布設する方法は、光ファイバケーブルの出現に伴う需要の変動に対応した投資を行うことを目的とするものであり、現在最適の方式を模索中である。一例として、図1に示す方法が考えられるが、これによれば、外管布設後、最初に布設するケーブル条数見合いの内管を布設し、その後必要におうじて内管を布設することができる。

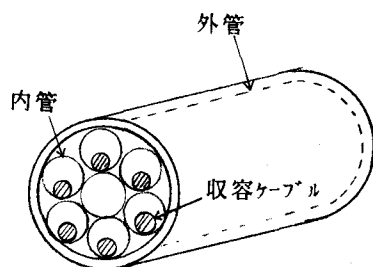


図1

3. 解析手法

解析時に以下の仮定を設ける。

- (1) 振動方向は軸方向のみを考える。
- (2) 外管と地盤は、すべりはないものとする。
- (3) 内管は全て一体となって運動すると考える。
- (4) 内管、外管は十分に長いものとし、両者の間に作用する摩擦力は一様なクーロン摩擦力とする。

管の運動方程式としては、

$$(\text{内管}) \quad \rho_i A_i \frac{\partial^2 u_i}{\partial x^2} - E_i A_i \frac{\partial^2 u_i}{\partial x^2} = F \text{sign}(\dot{y}) \quad (1)$$

$$(\text{外管}) \quad \rho_e A_e \frac{\partial^2 u_e}{\partial x^2} - E_e A_e \frac{\partial^2 u_e}{\partial x^2} + K u_e = K w_g \quad (2)$$

K: 外管と地盤のバネ定数

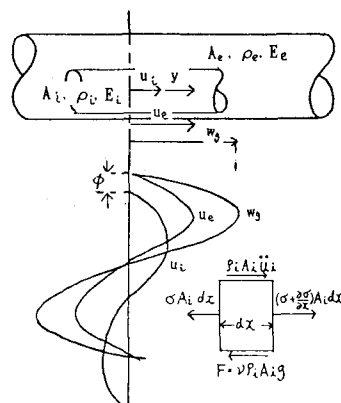
定常調和振動を仮定して、

$$u_e = U_e \exp i(\omega t - kx) \quad (3)$$

$$y = Y \exp i(\omega t - kx - \phi) \quad (4)$$

$$u_i = u_e - y \quad (5)$$

$$\text{sign}(\dot{y}) = i \exp i(\omega t - kx - \phi) \quad (6)$$



W: 地盤
u: 変位
y: すべり変位
A: 断面積
rho: 単位質量
E: ヤング率
nu: ポアソン比
(i): 内管
(e): 外管

図2 解析モデル

として方程式を解くと

$$u_e = \beta W_g \quad (7)$$

$$u_i = \begin{cases} \gamma U_e & |u_e|_{\max} > (\frac{T}{2\pi})^2 \alpha_{cr} \\ U_e & |u_e|_{\max} < (\frac{T}{2\pi})^2 \alpha_{cr} \end{cases} \quad (8)$$

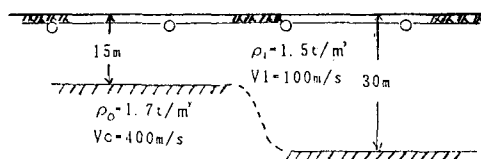


図3 シミュレーションモデル

$$\text{但し, } \alpha_{cr} = \beta_i g_{i2} \nu / |p_i - E_i / c^2|$$

$$\beta = 1 / \{ 1 + E_e A_e / K \cdot (\frac{2\pi}{L})^2 \}, \gamma = (\frac{T}{2\pi}) \alpha_{cr} \exp(-i\phi)$$

$$\gamma = \sqrt{u_e^2 - |u_i|_{\max}^2}, \phi = -\tan^{-1}(|u_i|_{\max} / \gamma)$$

硬質ビニル管の場合、 $E_i / (p_i c^2) \ll 1$ となるので、内管は一定の加速度振幅を用し、入力レベルに応じて位相が遅れる振動をする。

4. 解析結果

(A) 図3に示す地盤の表面付近に管路が設置されているとし、下層地盤での地震動を周期にかかわらず3 kineとした場合の外管と内管の応答を求めてみる。

なお、外管と内管の摩擦係数は、実験データより $\nu=0.1$ とし軸方向の位相速度を $C=(\nu_o+\nu_i)/2=250$ m/s とする。図4は $H=15$ OR 30 m の場合の計算結果を示すが、短波長域においては外管の剛性により、振動はかなり低減され、さらにそのピークはすべりにより低減される。長波長域においては低減の割合は小さく、地盤に追従した大きな振動を生ずる。

(B) 次にEl Centro 地震記録中の主要な波動成分を、その周期の定常波とみなして管路に入力し、発生する歪を調べたのが図5である。但し、この場合も軸方向の位相速度は $C=250$ m/s としている。図5より明らかなように低周期域 $T < 1$ sec では内管に発生する歪は大きく軽減され、外管の歪の半分程度になっている。一方、 $T > 1$ sec の領域では、内管は外管と同様の運動をし、大きな歪を生じている。しかし $T > 1$ sec といった長周期域では、位相速度は地盤深部の影響を受け、より大きくなると考えられ、発生する歪はより小さくなるであろう。以上述べた内管の挙動をまとめると図6となり、慣性力によるすべりが大きな影響をもつことがわかった。

5. おわりに

外管、内管という二重構造における地震時振動特性を簡単なモデルを想定して調べた。本解析では外管と地盤はすべりが無いこと及び内管は一体運動をすること、という仮定のもとに解析を行ったが、実際には外管のすべり及び内管相互に生じるすべり、による歪の低減効果が大であると考えられる。ゆえに、今回の解析結果よりさらに歪が低減されると考えられ、二重構造は免震構造として優れたものであるといえる。今後は、実験結果を踏まえ外管の免震化とともに内管の安全性を高める構造を検討する予定である。

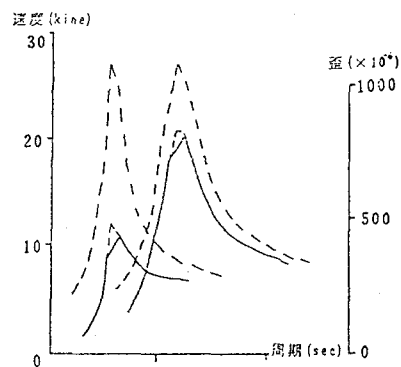


図4 外管と内管の応答

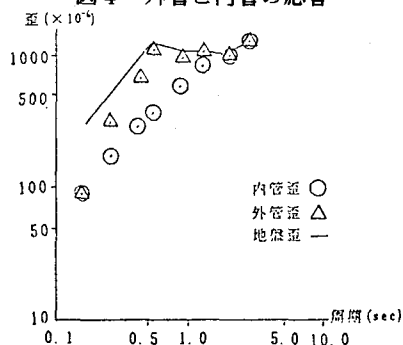


図5 El Centro地震想定シミュレーション

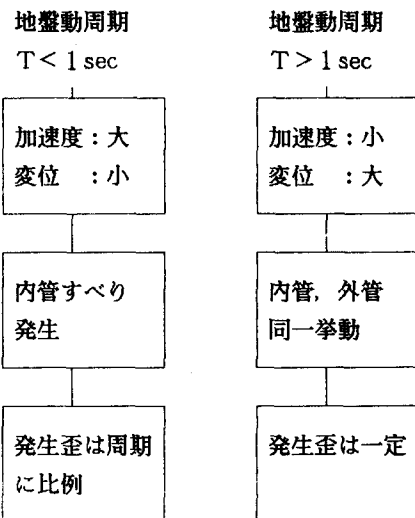


図6 内管挙動概要