

地震時における管路の滑りに関する一考察

神戸大学工学部 正員 高田至郎  
 鉄建建設 正員 ○小濱文朗

1. まえがき：埋設管路構造物の震害例として、継手の抜け落ちや他の構造物への貫入部での破損が多く見受けられることより、長手方向における地震応答解析では、構造物と周辺地盤の間の滑りを考慮する必要があると思われる。本研究では、滑りが生じる可能性の検討および滑りを考慮した応答解析を波動論を用いて実施し、耐震性検討の一助とした。

2. 滑りが生じる可能性：Fig.1 に示すように埋設構造物の横断面内半径方向に働く平均的な静的土圧Pは次式で推定される。

$$P = (1 + K_0) \cdot \rho_s g H / 2 \quad (1)$$

ここに、 $K_0$ 、 $\rho_s g$ 、 $H$ 、 $a$ 、 $b$  はそれぞれ静止土圧係数、地盤の単位体積重量、埋設構造物の中心位置深さ、外径、内径である。さらに、地盤と構造物の間のまさつ係数を  $f_0$  とすれば、(1)式を用いて構造物の長手方向  $x$  間に働くまさつ力  $F_x$  は次式で計算される。

$$F_x = f_0 \cdot P \cdot l \quad (2)$$

一方、著者らが波動論を用いて、埋設構造物-地盤系の相互作用を解析し、両者の接触面に働く拘束力より軸力  $F$  を演算した結果、次式が得られた<sup>(1)</sup>。

$$F / \rho_s a^2 \omega U_0 = R / \{ (c/c)^2 - 1 + (\rho_s / \rho_p) R / [1 - (b/a)^2] \} \quad (3)$$

ここに、 $U_0$ 、 $\omega$ 、 $c$  は長手方向に伝播する入射波動の変位振幅、振動数、波速である。また、 $\rho_s$ 、 $\rho_p$  は地盤と構造物の密度、 $c$  は構造物内での圧縮波速度である。 $U_0$ 、 $U_x$  を地盤内縦波および横波速度、 $H_n^{(2)}(z)$  を  $n$  次のハンケル関数とすれば、 $R$  は次式で与えられる。

$$R = -2 / \{ Q(\beta a) / [1 - (c/v_0)^2] + Q(\beta a) \}, \quad Q(z) = z H_0^{(2)}(z) / H_1^{(2)}(z) \quad (4)$$

$$\beta a = (\omega a / c) \sqrt{(c/v_0)^2 - 1}, \quad \beta a = (\omega a / c) \sqrt{(c/v_x)^2 - 1}$$

一例として、 $H=3m$ 、 $a=5m$ 、 $\rho_s g=1.8 \text{ ton/m}^3$ 、 $K_0=0.4$ 、 $f_0=0.4$  とし、(2)式より単位長さ当りに働くまさつ力を求めれば、 $F_x=4.0 \text{ ton/m}$  となる。また、(3)式より、フーリエ変換手法によって、コンクリート管の単位長さ当りに働く軸力の地震応答を計算すれば Fig.2 が得られる。用いた入力加速度波形は運輸省港湾技術資料 S265 N である。Fig.2 より最大の軸力は  $F \approx 7.0 \text{ ton/m}$  となり、 $F > F_x$  の関係が得

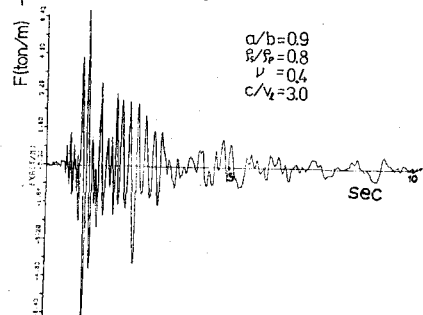


Fig.2 Fの時間応答

られ、まさつ力より大きい軸力が働く場合も予想され、滑りを考慮する必要があると思われる。さらに、軸力  $F / \rho_s a^2 \omega U_0$  と見掛け速度  $c/v_0$  あるいは振動数との関係を調べたのが、Fig.3 ~ Fig.5 である。これら3図より、 $c/v_0$  が 2.0 以上では振動数にかかわらず軸力は-

定値をとること、 $b/a$  が 0.9 付近では軸力は  $c/\sqrt{a}$  に無関係に一定値となることなどが知られる。

3. 滑りを考慮した地震応答解析：波動論より計算される軸力  $F$  が (1) 式で計算されるまさつ力  $F_f$  より大きな値をとる場合には滑りが生じていると考えられる。  $F$  は  $F_f$  より大きな値となり得ず、その時の  $F$  は  $F_f$  に等しいものと仮定する。滑りを考慮している場合の軸力を  $F_x$  とすれば、結局次式が成立しているものと見なす。

$$\left. \begin{aligned} |F_x| < F_f &: F_x = F \\ |F_x| \geq F_f &: F_x = F_f \end{aligned} \right\} \text{----- (5)}$$

$F_x$  の時間履歴の一例を示せば Fig. 7 (a) のようである。また、Fig. 6 には入力加速度と軸力の関係を示している。両者は明らかに比例関係にあり、図に示すように直線部の傾きを  $\alpha$  とすれば、滑りはじめる時の入力加速度  $\dot{u}(t)$  は次式で予測できる。

$$|\dot{u}(t)| = |F_f / \alpha| \text{----- (6)}$$

次に相対変位  $u(t)$  の地震応答計算手法について述べる。相対変位の加速度に対する伝達関数を  $J(\omega)$ 、入力加速度のフーリエ変換を  $A(\omega)$  とすれば、

$$u(t) = \int_0^T J(\omega) A(\omega) e^{i\omega t} d\omega \text{----- (7)}$$

また、 $J(\omega)$  は軸力の伝達関数  $H^*(\omega)$  と次の関係にある。

$$\omega^2 J(\omega) = \{1 + H^*(\omega) / \rho_0 a^2\} / \{1 - (c/\omega)^2\} \text{----- (8)}$$

したがって、 $H^*(\omega)$  を求めれば  $u(t)$  が計算される。滑りを考慮することによって軸力の伝達関数が変形されたと考えられるので、Fig. 7 (a) の波形をフーリエ変換したものを  $G(\omega)$  とおけば、次式が得られる。

$$H^*(\omega) = G(\omega) / A(\omega) \text{----- (9)}$$

(7)~(9) 式を用いて計算した相対変位応答を Fig. 7 (b) に示す。図中の数値の場合数  $m$  程度の相対変位が見られる。本解析では無限に長い一様な埋設管路を想定しているが、一般に地盤と一体となって挙動する部分をもつ系では相対変位が分だけひずみが大きくなることと予測され  $u(t)$  の算定はきわめて重要と思われる。

Fig. 8 には、 $F_f / \max(F_x)$  と最大相対変位の関係を応答計算結果により図示してある。

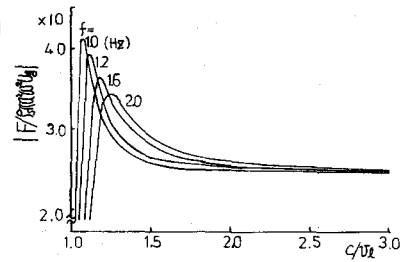


Fig. 3  $|F|/(\rho_0 a^2 u_0)$  と  $c/\sqrt{a}$  の関係

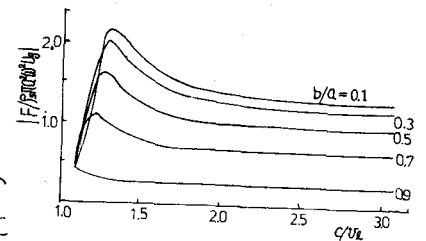


Fig. 4  $|F|/(\rho_0 a^2 u_0)$  と  $c/\sqrt{a}$  の関係

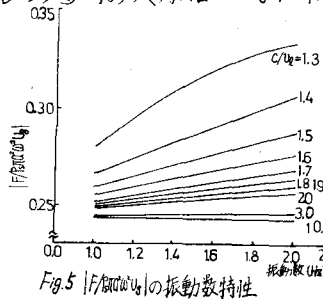


Fig. 5  $|F|/(\rho_0 a^2 u_0)$  の振動数特性

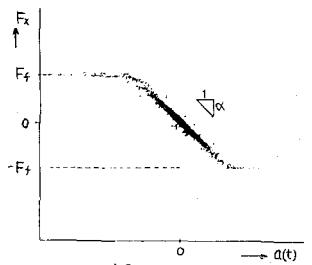


Fig. 6 加速度と軸力の関係

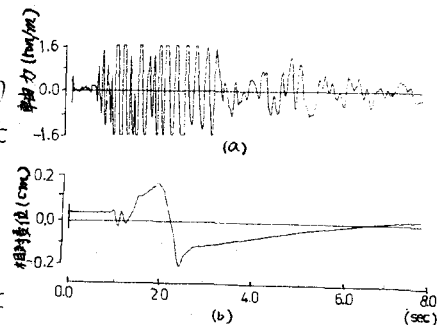


Fig. 7 軸力-相対変位の時間応答

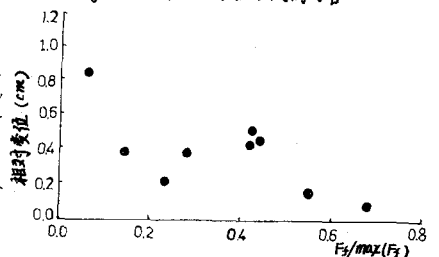


Fig. 8 まさつ力と相対変位の関係

(1) Kenzo Takei and Shiro Takada; B.D.P.R.I., Kyoto Univ., Vol. 24, 1974. 6