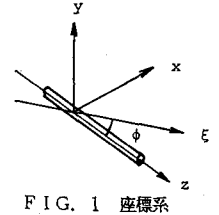


1. まえがき 埋設管の地震時ひずみ算定法について、従来よりいくつかの解析手法^{1), 2), 3)}が提案されているが、ここでは埋設管の地震時ひずみと発生させる上で主要な働きとする周辺地盤内の2種類のせん断変形を厳密に考慮した管ひずみ算定法を示すとともに、既存の耐震設計基準・指針で用いられる動的バネ定数について再検討した。さらに、軸方向すべり発生時の管ひずみ低減効果を評価する新しい算定式を提案するとともに、従来式との関係を示明かにした。

2. 解析概要 無限弾性体内に埋設された管路に対し、Fig.1に示すように水平方向に伝播する進行波（波数 k_L ）が入射角 ϕ で入射する場合について考察する。



管路に入射する地震波を
$$v_g^{\infty}(t, z) = V_g(\omega) \exp \{ i(k_L z - \omega t) \} \quad (1)$$

自然地盤内の地盤変位を
$$\underline{u}^{\infty} = (u_r^{\infty}, u_{\theta}^{\infty}, u_z^{\infty}) \quad (2)$$

埋設管近傍での地盤変位を
$$u^* = u^{\infty} - u \quad (3)$$

とすると、 u は無限遠で零の境界条件を満足する3次元波動解として、次の変位ポテンシャルにより表現できる。

$$u = (\text{grad } \phi + \text{rot } \psi) \exp(-i\omega t) \quad (4)$$

ここで、式(4)のベクトルポテンシャル $\phi = (0, \psi_{\theta}, \psi_z)$ は埋設管周辺地盤のせん断変形を規定するもの²⁾あり、埋設管の軸方向伸び、軸直角方向曲がり変形に関連する ψ_{θ} , ψ_z のみを取扱うものとする。

いま、埋設管の軸方向、軸直角方向の変形を次式で定義する。

$$\text{軸方向変形} \quad u_{pA}^*(t, z) = u_z^{\infty} - v_{pA} \exp \{ i(k_L z \cos \phi - \omega t) \} \quad (5)$$

$$\text{軸直角方向変形} \quad u_{pB}^*(t, z) = u_{\theta}^{\infty} \cos \phi - v_{pB} \exp \{ i(k_L z \cos \phi - \omega t) \} \quad (6)$$

一、埋設管表面での連続条件、管のつりあい式について、輻射法²⁾に従うと、結局次式で定義するひずみ伝達率が、従来の弾性床上の梁モデルに対する振動解に帰着する形で得られる。

$$\beta_{SA} = \left| \frac{v_{pA}^*}{u_{\theta}^{\infty}} \right| = 1 / \left[1 + \left\{ 1 - \left(\frac{c_A}{c_B} \right)^2 \right\} \left(\frac{k_L \cos \phi}{\lambda_A} \right)^2 \right] \quad (7)$$

$$\beta_{SB} = \left| \frac{v_{pB}^*}{u_{\theta}^{\infty}} \right| = 1 / \left[1 + \left\{ 1 - \left(\frac{c_A}{c_B} \right)^2 \right\} \left(\frac{k_L \cos \phi}{\lambda_B} \right)^4 \right] \quad (8)$$

ここで、 $c_A = \sqrt{E/\rho}$, $c_B = \sqrt{EI/(\rho A)} (k_L \cos \phi)$, $c_A = \omega / (k_L \cos \phi)$, $\lambda_A = \sqrt{KA/(EA)}$, $\lambda_B = \sqrt[4]{KB/(EI)}$, k_L は、 ρ , E , A , I , μ はそれぞれ管の密度、ヤング率、断面積、断面二次モーメント、 E のせん断弾性定数である。そして、式(7), (8) の λ_A , λ_B に含まれる動的バネ定数は次式で与えられる。

$$k_A = \frac{KA}{\mu} = 2\pi \frac{g_s a}{R_A} \left\{ \frac{H_1^{(4)}(g_s a)}{H_0^{(4)}(g_s a)} + \left(\frac{k_L \cos \phi}{g_s a} \right)^2 \left(\frac{2g_p}{g_s} - 1 \right) \right\} \quad (9)$$

ただし、

$$R_A = 1 + \left(\frac{k_L a \cos \phi}{g_s a} \right)^2 \frac{g_s}{g_p} \frac{H_0^{(4)}(g_p a)}{H_1^{(4)}(g_p a)} \quad (10)$$

$$k_B = \frac{KB}{\mu} = \pi (P_1 + P_2) / \left[H_1^{(4)}(g_p a) + n a \frac{\partial H_1^{(4)}(g_s r)}{\partial r} \right]_{r=a} \quad (11)$$

ここで, $\delta_p = \epsilon_L^p k_L \sin \phi$, $\delta_s = \epsilon_L^s k_L \sin \phi$, $\alpha_1 = v_p/v_s$, $\alpha_2 = v_L/v_s$,
 $\epsilon_L^p = \sqrt{\alpha_2^2 - \alpha_1^2 \cos^2 \phi} / (\alpha_1 \sin \phi)$, $\epsilon_L^s = \sqrt{\alpha_2^2 - \cos^2 \phi} / \sin \phi$, $H_j^{(n)}$ は第 j 次 n ハンケル
 関数。ただし, v_p , v_s , v_L はそれぞれ p 波, s 波, 進行波の伝播速度であり, a は管半径。また, P_1 , P_2 ,
 n の具体的な表現については後面の都合上割愛した。

筆者は、文献 1) において軸方向すべり発生時の埋設管しずみの低減効果を評価するため係数 δ を導入し、近
 似すべりモデルに対する解析解を与えた。今回、すべり挙動の厳密解を求めたため、管内 q 法 3) を用い、
 そこを無視した慣性効果も考慮して係数 δ_s の解析解を次のように求めた。

$$\delta_s = 1 - \frac{s(1+k^2) - \sin \nu_0}{\kappa \sinh(\kappa \nu_0)} \quad (12)$$

ここで、

$$s = \frac{\kappa \cos \nu_0 \tanh(\kappa \nu_0) + \sin \nu_0}{(1+k^2) \{ \kappa (\pi/2 - \nu_0) \tanh(\kappa \nu_0) + 1 \}}$$

$$\kappa = \sqrt{k_A / [E \{ 1 - (C_A/C_A)^2 \}]} / (k_L \cos \phi)$$

$$\tau_G / \tau_{cr} = (1 - \delta_s^* \beta_{SA}) / s \quad (13)$$

$$\delta_s^* = \left(1 + \frac{1}{\kappa^2} \right) \left\{ \sin \nu_0 - s \left[1 - \left\{ \frac{\pi^2}{8} + \left(\frac{\nu_0^2}{2} - \frac{\pi}{2} \nu_0 \right) \kappa^2 \right\} \right] \right\} \quad (14)$$

ただし, τ_G は埋設管表面に作用するせん断応力, τ_{cr} はすべり開始時のせん断応力。

3. 数値計算結果 Fig. 2, 3 はそれぞれ式 (9), (11) の動的バネ定数 k_A , k_B の数値計算結果である。
 同図によると, $k_L a \leq 10^{-2}$ で $k_A = 1$, $k_B = 3$ を示し、一方 $k_L a > 10^{-2}$ では入射角 ϕ の影響が現われ、 k_A
 の値が 2~3 の大きさになる傾向を示す。このことは、既存の基準 (JWWA) で示唆している $k_A = k_B = 3$
 という値が長い波長域で k_A に関して過大であることを示している。

Fig. 4 はすべりの低減効果 δ_s と τ_G / τ_{cr} の関係を示したものである。 δ_s は β_s に依存し、 β_s の増加とも
 ともに 1 の値に漸近する傾向を示す。また、文献 1) に与えた δ の値が $\beta_s = 0$ の場合に相当することがわかる。

参考文献

- 1) 小池：土木学会論文報告集，第 331 号，pp. 13-24，1983
- 2) 鶴飼・山口：土質工学会論文報告集，Vol. 19, No. 4, pp. 98-102，1979
- 3) 宮内：相模原技術センター報告，第 6 号，1974

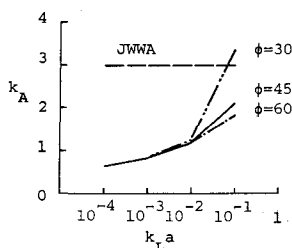


FIG. 2 軸方向動的バネ定数

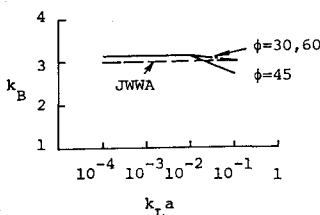


FIG. 3 軸直角方向動的バネ定数

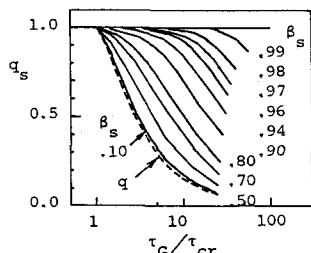


FIG. 4 すべりによる低減効果