

I-40

管路周辺の土の破壊が地震応答に与える影響について

熊本大学工学部 正員 秋吉 卓
八代工業高等専門学校 正員 〇瀬田邦彦
熊本大学工学部 学生員 植野精一
熊本大学工学部 学生員 吉田文雄

1. まえがき 埋設管路と地盤との間のすべりに関してこれまでいくつか解析手法が提案され、管路の弱体部である継手の破損など震害の一部とうまく対応づけられてきたが、地震時にはすべり以外に管体ととりまく周囲の土が破壊することも十分考えられる。そこで本研究ではすべりと土の破壊の両者を考慮した解析手法を提案しようとするもので、解析はこれまでと同様に定常震動を対象とし、土と管路の接触面でのすべりと破壊(剛性劣化)とを等価線形化して線形問題に直している。また管路は管体-継手系を一樣管路に等価的に置き換えたものとする近似手法を用いているが、直管と支管の結合した分岐部を持つような系に対しても比較的容易に適用できる。なお土の剛性劣化の範囲は工学的判断より決定する。

2. 解析手法 図1のように弾性地盤中に水平に埋設された一樣管路に水平方向から管軸に対して角度 ϕ でP波が入射する場合を考える。さらに図2のように管路周囲に層厚 d の剛性劣化した土とすべりが発生した状態にあるものとする。これまでの解析における接触面でのすべりに対応して、境界 B_1, B_2 間の劣化土のせん断抵抗力 T_F を履歴等価系の形として次のように仮定する。

$$T_F = K(1+i\eta)U_1, \quad (K, \eta = \text{等価せん断係数, 減衰定数}) \quad \dots (1)$$

ただし、 $K = G_{eq}/d$, G_{eq} = 劣化部分の等価せん断剛性

また管と土の境界 B_2 における摩擦応力 T_F を図3のような Coulomb 摩擦と仮定し、これを等価線形化すると次式となる。

$$T_F = 4\tau_s \dot{u}_2 / (\pi \omega U_2) \quad \dots (2)$$

ここに、 $u_2 = U_2 \exp[i(\omega t - k_2 z - \phi_{u_2})]$ = すべり変位, および U_2, ϕ_{u_2} = すべり変位の振幅と位相差, $k_2 = k_2 \cos \phi = \omega \cos \phi / v_2 = P$ 波(軸方向)の波数, $v_2 = P$ 波の伝播速度。

軸方向に関する管路の運動方程式は、軸方向管変位を u_3 とすれば、

$$m(\partial^2 u_3 / \partial t^2) = ES(\partial^2 u_3 / \partial z^2) + 2\pi r_0 T_F \quad \dots (3)$$

と表わされる。ここに m, E, S = 管の単位長質量, Young 率, 突断面積。

境界 B_1 において波動解より得られるせん断応力 $T_{rz}|_{r=r_0}$ と T_F とを等値し、境界 B_2 における $T_F = T_1$ の関係と $u_3 = u_1 - (u_1 + u_2)$ の関係を(3)に持込んで整理すれば、 U_2 に関する二次方程式となり、これより U_2 が求られ、同時に解の存在条件よりすべり発生の限界変位も導かれるが、ここでは省略する。最終的に u_3 は次式のように得られる。

$$u_3 = H_{21}(\omega) W_p \cos \phi \cdot \exp[i(\omega t - k_2 z)] \quad (W_p = P \text{波振幅}) \quad \dots (4)$$

ここに、 $H_{21}(\omega)$ = 管の軸方向変位の周波数応答関数。

管軸直角方向変位も同様の手順で導かれ、さらに継手伸縮量を管体のすべり量と継手前後端間の相対変位との和とすれば解析的に求めら

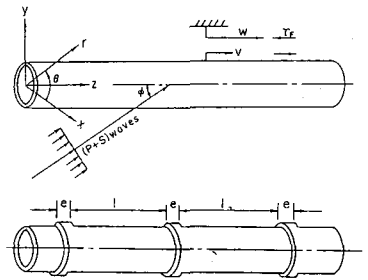


図1 管路モデル

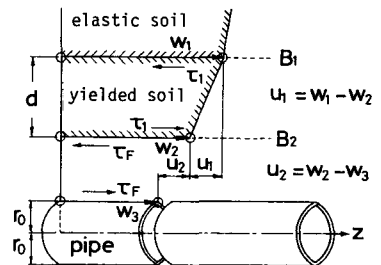


図2 土と管の変形模式図

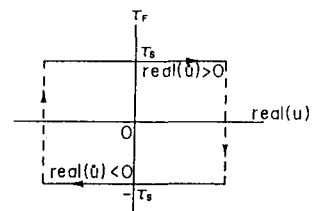


図3 接触面のすべり変位と摩擦応力

れる（詳細は文献3, 4参照）。S波入射の場合についてはP波入射の場合から容易に導かれる。

3. 数値計算結果と考察 入射波としてEl Centro(1940)のNS, EW成分の強震部のRMS値を各々50galにしたものを標準値として用い（図4参照），土と管のひずみおよび管継手伸縮量のRMS値を数値計算した。諸量のうち，土の劣化部分の等価せん断剛性 G_{eq} とすべり摩擦応力 τ は土のせん断弾性係数 G で除して無次元化している。図5より $1/6$ の小さな軟い地盤ほどすべりにくいといえるが， τ_0 の低下とともにすべりが発生し，管体の負担が軽減されることがわかる。図6では， G_{eq} が小さく土の劣化が進むとすべりが生じなくても σ_s の低下とともに σ_p が低下している。これは地震波のエネルギーが土の劣化部分で吸収されるためと考えられ，図7, 8でも同様の傾向が示されている。図9～11より，継手伸縮量を低減するには継手を多く入れて管長を短くすべきであり，特に硬い地盤ほどそれが効果的といえる。また G_{eq} の低下によってすべりにくくなれば， σ_s が緩和される場合もありうるなどが示されている。

*参考文献 1) 高田：土木学会論文報告集，第249号，1976。2) 鶴飼：土木学会論文報告集，第272号，1978。3) 秋吉・淵田：Proc. Soil Dyn. Earthq. Eng. Conf. 1982。4) 秋吉・淵田：第17回地震工学研究発表会，1983。

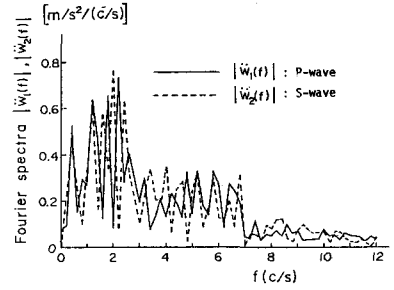


図4 標準入力P・S波（：RMS 50gal）

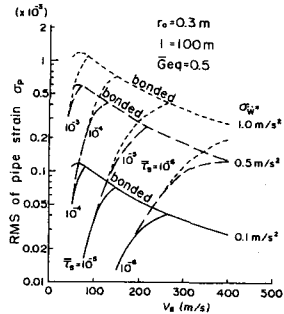


図5 管ひずみ σ_p と土のS波速度 v_s との関係

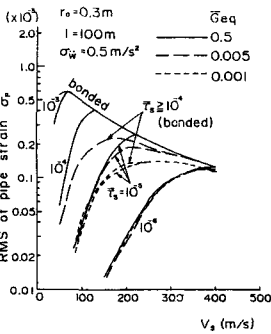


図6 管ひずみ σ_p と v_s との関係

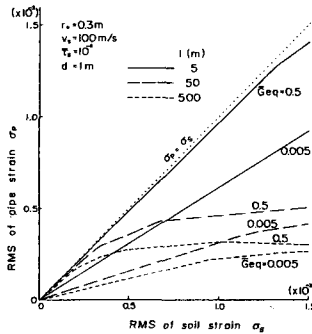


図7 管ひずみ σ_p と土ひずみ σ_s との関係

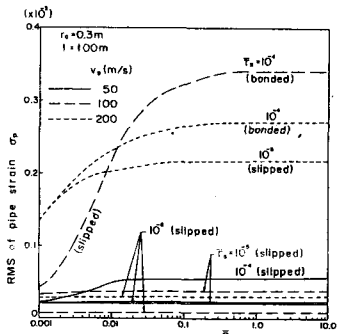


図8 管ひずみ σ_p と等価剛性 G_{eq} との関係

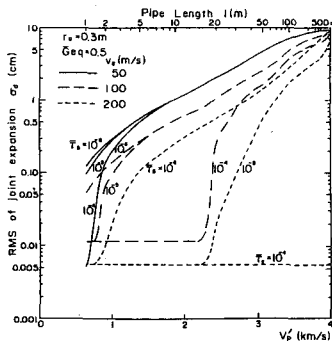


図9 継手伸縮量 Δ と管長 l との関係

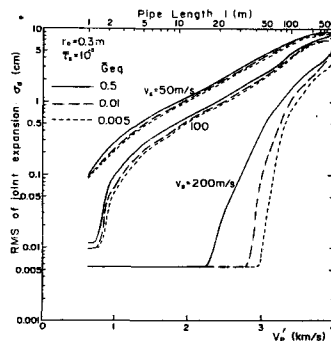


図10 継手伸縮量 Δ と管長 l との関係

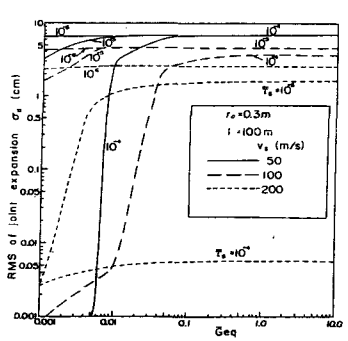


図11 継手伸縮量 Δ と等価剛性 G_{eq} との関係