

共同溝と内部管路の地震応答に関する研究

八代工業高等専門学校 正 員 〇 淵田邦彦

熊本大学工学部 正 員 秋吉 卓

熊本大学工学部 学生員 稲垣博一

熊本大学大学院 学生員 古川昌裕

1. まえがき 数種の管路等を収容する共同溝が、都市施設として数多く建設されており¹⁾、その耐震信頼性を確保することは、今後、管路やトンネル以上に重要となろう。しかしながら、埋設管やトンネルなどの耐震性に関する研究が数多く行われているのに対し、共同溝の地震時挙動を検討した例はあまりなかったようである²⁾。そこで著者らは、管路におけるすべりを考慮した地震応答解析手法³⁾を応用して、共同溝の地震応答を解析するための近似手法を提案し、共同溝の地震時挙動について検討を試みた⁴⁾。本研究では、前手法を一部簡略化するとともに、共同溝の内部に収容された管路を単純なモデルに置き換えることによって、内部管路の地震応答を解析する。

2. 解析手法の概要 共同溝は連続な一様断面とし、全体の剛性は等価剛性で表わされるものとする。また図1のように、共同溝の両端は構造物により支持され、地盤は弾性地盤であり、地震波は共同溝の軸を含む水平面に沿って任意の角度 ϕ で入射するものとする。共同溝を弾性床土のよりとみなせば、軸方向の運動方程式は次式のように表わされる。(w_1 : 入射波変位, ω : 円振動数)

$$m_c \frac{\partial^2 v_z}{\partial t^2} = E_c S_c \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} + p_z \quad (1)$$

ここに、 v_z = 軸方向変位, m_c , E_c , S_c = 共同溝の質量、ヤング率および断面積, p_z = 軸方向の地震力。ここで、地震力 p_z は、すべりを考慮した剛体(平面構造物)の解析より求められた解⁵⁾を用いる。時間項 $e^{i\omega t}$ を省略すれば、上式の解は特解 $v_z^{(1)}$ と同時方程式の一般解 $v_z^{(2)}$ との和で表わされる。

$$v_z^{(1)} = \frac{k_z w_1 \cos \phi}{k_z - m\omega^2 + ES k_l^2 \cos^2 \phi} e^{-ik_l z \cos \phi} = H_z(\omega) w_1 \cos \phi e^{-ik_l z \cos \phi} \quad (2)$$

$$v_z^{(2)} = A_1 e^{\nu_1 z} + A_2 e^{\nu_2 z} \quad (3)$$

共同溝の延長を l とすれば、次式の境界条件より式(3)の未定係数 A_1 , A_2 が決定される。

$$z=0 \quad v_z^{(2)} = G_{z0}(\omega) w_1 \cos \phi, \quad z=l \quad v_z^{(2)} = G_{zl}(\omega) w_1 \cos \phi e^{-ik_l l \cos \phi} \quad (4)$$

ただし、 $G_{z0}(\omega)$, $G_{zl}(\omega)$ = それぞれ共同溝の両端 $z=0, l$ における構造物の周波数応答関数。

軸直角方向についても、同様な手順により、応答を求めることができるが、ここでは省略する。

次に、共同溝の内部に収容された管路を、図2のような、管体ばね k で結合した多質点系でモデル化し、各質点は共同溝とばね k_0 で弾性結合されているものとする。共同溝の応答変位は、ばね k_0 を介して管路に作用するものとし、各質点の静変位した位置を平衡位置とすれば、平衡位置 $z_T(t)$ は次式となる。

$$z_T(t) = K^{-1} K_0 \Phi(t) \quad (5)$$

ここに、 K = 管路に関する剛性マトリクス, K_0 = 共同溝-管体間のばね k による剛性マトリクス, $\Phi(t)$ = 共同溝の応答変位ベクトル。

平衡位置からの質点の動的変位ベクトルを $y(t)$ とすれば、質点系の運動方程式は次式で表わされる。

$$M \ddot{y}(t) + C \dot{y}(t) + K y(t) = C_0 \dot{\Phi}(t) - M K^{-1} K_0 \ddot{\Phi}(t) \quad (6)$$

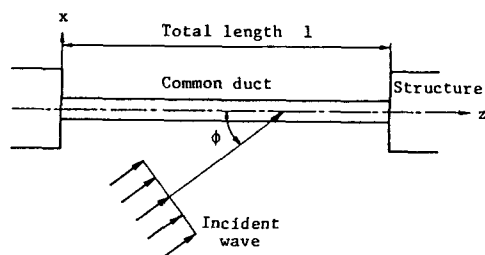


図1 解析モデル

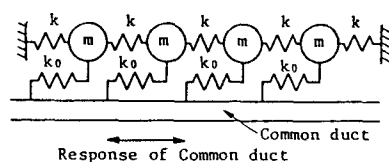


図2 共同溝内部管路モデル

ただし、 M =質量マトリクス、 C 、 C_0 =それぞれ管路および共同溝—管体間に関する減衰マトリクス。

式(6)の両辺をFourier変換すれば、共同溝の動的変位の周波数応答 $Y(i\omega)$ が次式のように求められる。

$$Y(i\omega) = [K - \omega^2 M + i\omega C]^{-1} [\omega^2 M K^{-1} K_0 + i\omega C_0] \Phi(i\omega) \quad (7)$$

さらに、共同溝の絶対変位応答 $Z(i\omega)$ は、平衡位置と式(6)の和より、次式となる。

$$Z(i\omega) = Z_T(i\omega) + Y(i\omega) \quad (8)$$

式(8)を軸方向および軸直角方向の座標軸に関して微分すれば、管路の歪応答が得られる。さらに、それらのFourier逆変換をとれば、時間応答を求めることができる。

3. 数値計算結果と考察 数値計算では、土のS波速度 $v_s=100\text{m/s}$ 、共同溝の延長距離 $l=500\text{m}$ 、共同溝断面(幅×高さ)= $4\times 4\text{m}$ 、共同溝の縦波伝播速度 $v_p=1000\text{m/s}$ 、無次元すべり摩擦抵抗 $\tau_s=10^{-3}$ 、地震波の入射角 $\phi=45^\circ$ などを標準値とした。また管路はダクタイル鋳鉄管を対象として、軸方向の管体ばねとして、管径0.6m、管長5mの場合で約 $3\times 10^4(\text{tonf/m})$ 程度を用いた。軸直角方向ばね、共同溝—管体間ばねは、軸方向ばねと同程度かそれ以下とした。入射波はEl Centro(1940)強震記録のNS・EW成分の加速度最大値を100galとして用いた。図3は、共同溝(点線)および管路(実線)の全歪のRMS応答分布の一例である。(a),(b),(c)のCase 1,2,3は共同溝両端の構造物の周波数応答関数(FRF)として、それぞれ、1.0, 0.5(軸方向のみ)および0.5(軸直角方向のみ)とした場合に対応している。Case2,3は、滑動や沈下などの相対運動を、入力損失の形で与えるものである。図3(a)では、共同溝の歪は同程度の大ききで分布しているが、(b),(c)では、

共同溝の両端付近での応答が大きくなることが示されている。一方、管路の歪は、共同溝の歪よりも小さくなっており、耐震的には、共同溝が内部管路を保護するように働く可能性がある。その他の結果については講演時にゆずる。

参考文献 1)佐藤・他：共同溝，森北出版，1981. 2)日本道路協会：共同溝設計指針，1986. 3)秋吉・湊田：土木学会論文報告集，第334号，1983. 4)湊田・秋吉・他：土木学会年次講演集，1988. 5)秋吉・他：土木学会西部支部講演集，1988.

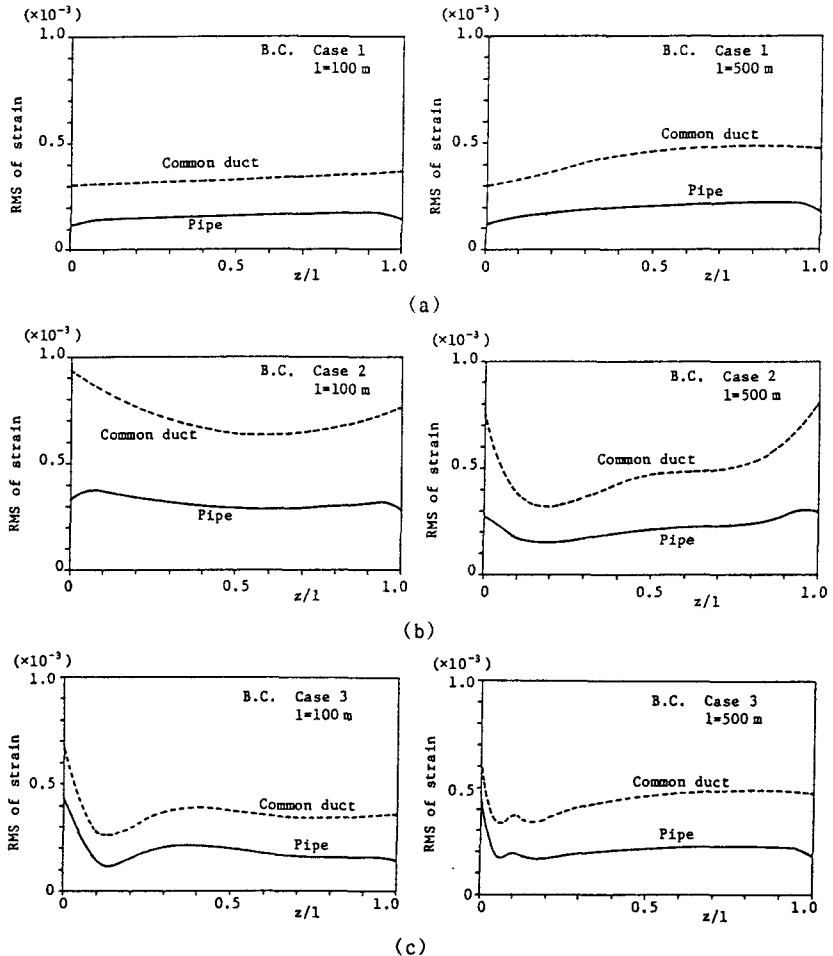


図3 RMS応答歪の分布