

I-547

共同溝および内部管路の地震応答について

八代工業高等専門学校	正 員	○ 瀧田邦彦
熊本大学工学部	正 員	秋吉 卓
運輸省	正 員	稲垣博一

1. まえがき 地震時の都市機能維持の点で、共同溝の耐震性の問題は重要であり、設計では埋設管の耐震設計指針と同様の取扱いをした共同溝設計指針¹⁾が適用されているが、その妥当性を検討した例はあまりなかったようである。そこで本研究では、管路におけるすべりを考慮した地震応答解析手法²⁾を応用して、共同溝の地震応答に関する解析を行い³⁾、さらに、共同溝の内部に収容された管路を集中質量系の離散モデルに置き換えて、内部管路の地震応答についても検討したので報告する。

2. 共同溝・内部管路のモデル化と基礎式 図1のように、共同溝は、本体と目地とが交互に周期的に連なったものを等価な一様断面の連続な弾性床の上のほりに置き換え、地盤は弾性地盤とし、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。このとき共同溝の軸方向・軸直角方向の運動方程式はそれぞれ次式のように表わされる。

$$m_c \frac{\partial^2 v_z}{\partial t^2} = E_c A_c \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} + k_z (w_1 \cos \phi - v_z) \quad \dots (1)$$

$$E_c I_c \frac{\partial^4 v_x}{\partial z^4} + m_c \frac{\partial^2 v_x}{\partial t^2} + N_1 \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} = k_x (w_1 \sin \phi - v_x) \quad \dots (2)$$

ここに、 v_z, v_x = 共同溝の軸方向、軸直角方向変位、 m_c, E_c, A_c, I_c = 共同溝の質量、ヤング率、断面積、断面2次モーメント、 N_1 = 共同溝に働く軸方向力、 k_z, k_x = 軸方向、軸直角方向の単位長さ当りの地盤ばね定数(無限長の平面構造物のすべりを考慮した解⁴⁾を用いる)、

w_1 = 入射波変位。ここでは、共同溝の両端 $z = z_0, z_l$ における軸方向、軸直角方向の構造物変位の周波数応答関数 ($G_z^{(0)}(\omega), G_z^{(l)}(\omega), G_x^{(0)}(\omega), G_x^{(l)}(\omega)$ 等)と地盤変位の周波数応答関数 ($H_s(\omega)$) との比 $g = |G(\omega)/H_s(\omega)|$ を任意に与えて、式(1),(2)を解く。これは両端構造物の沈下・滑動等の共同溝への影響を調べるためにその影響を入力損失の効果の形で与えるものであり、 $g = 1$ のとき入力損失なし、 $g = 0.5$ のとき入力損失50%という境界条件を考えることになる。

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_p で結合した集中質量系にモデル化し、各質点は共同溝とばね k_o で弾性結合され、共同溝の応答変位はばね k_o を介して管路に作用するものとする。各質点の静変位した位置を平衡位置とし、平衡位置からの質点の動変位ベクトルを $\{y\}$ とすれば、質点系の運動方程式は次式で表わされる。

$$[M]\{\ddot{y}\} + [K]\{y\} = -[M][K]^{-1}[K_o]\{\ddot{v}\} \quad (3)$$

ただし、 $[M]$ = 質量マトリクス、 $[K]$ = 管路に関する剛性マトリクス、 $[K_o]$ = 共同溝-管体間のばね k_o による剛性マトリクス、 $\{v\}$ = 共同溝の応答変位ベクトル。式(3)を Fourier 変換することにより、各質点の動変位の周波数応答が求まり、それ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、管路の歪み応答が得られる。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 $\tau_s = \tau/G = 10^{-3}$ 、 G = 土のせん断弾性係数、地震波の入射角 $\phi = 45^\circ$ などを標準値とした。

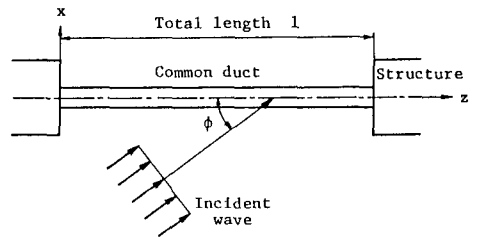


図1 共同溝モデル

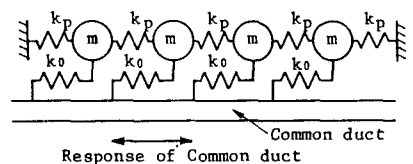


図2 共同溝内部管路モデル

また管路はダクティル鑄鉄管を対象として、軸方向の管体ばね ($k_p = E_p A_p / l_p$) として、管径 0.6 m, 管長 $l_p = 5$ m の場合で約 3×10^4 (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 100 gal として用いた。

図 3 は, 共同溝(破線)および管路(実線)の全歪の最大値応答分布の一例である。(a),(b),(c) は共同溝両端における構造物の入力損失をそれぞれ, 0%, 50% (軸方向のみ) および 50% (軸直角方向のみ) とした場合に対応している。図 3 (a) では, 共同溝の歪は同程度の大きさで分布しているが, (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。また管路の歪は, 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。一方, 図中の点線は, 共同溝設計指針¹⁾による歪の計算例であり, 地盤の卓越周期 1 sec, 加速度入力 100gal に対する値である。指針による歪の設計値は, 図 3 (a) の通常の場合は本研究による計算値に比べて十分に安全側であり, (b),(c) の両端構造物の入力損失 50% の場合には端部近辺における本研究の計算値と比較できる程度の大きさとなっており, 指針の設計値はかなり高めに設定されているようである。

図 4 は共同溝を正方形断面としてその断面寸法 D に対して端部における歪の最大値を示したものである。断面寸法が大なるほど歪が低下し両端の構造物の入力損失の影響は小さくなるが, Case2 のように, 断面規模が小さいときには端部に歪が集中しやすくなるので注意を要する。

図 5 は共同溝—管体間ばねの標準値に対する比を横軸にとり, 端部における内部管路歪の最大値を示したものである。Case2,3 のように共同溝の歪応答が端部に集中するときには, 内部管路の歪も大きくなるので, 共同溝—管体間ばねを何らかの方法で軟らかくして内部管路の歪を小さくする必要がある。その他の結果は講演時にゆずる。

参考文献 1) 日本道路協会：共同溝設計指針, 1986. 2) 秋吉・淵田：土木学会論文報告集, 第 334 号, pp.25 ~ 34, 1983. 3) 淵田・秋吉・他：土木学会年次学術講演大会講演概要集, pp.1134 ~ 1135, 1988.10.

4) 秋吉・他：土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.78 ~ 79, 1988.3.

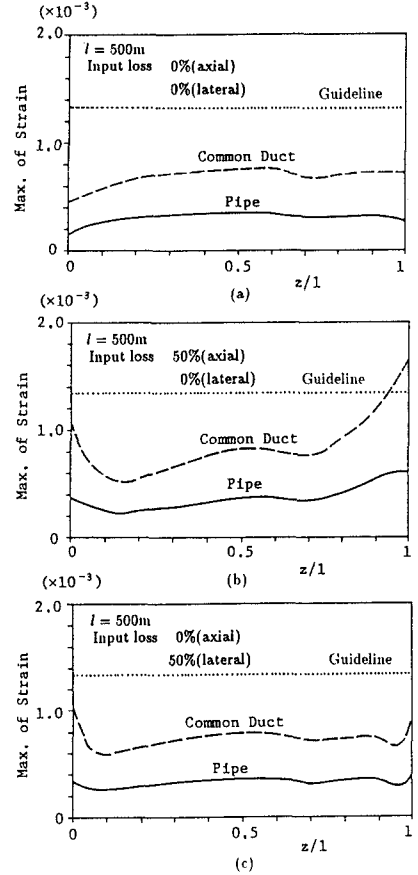


図 3 応答歪の最大値分布

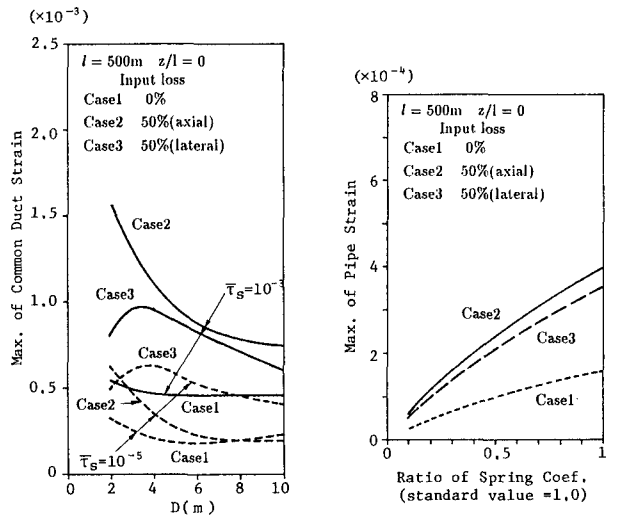


図 4 共同溝歪の最大値と断面寸法 D との関係

図 5 管歪の最大値と共同溝—管体間ばね比との関係