

建設省 土木研究所 正 栗林 栄一
日本鋼管 正 前田 直寛
日本鋼管 正 O 中村 公信

【まえがき】 地中埋設管、埋地トンネル、等の地中構造物において、各構造要素の間に特殊な材料あるいは機構を挿入することによって耐震継手とし、構造物本体に発生する地震時の断面力を低減しようという試みがなされている。その際、継手にどの程度の許容変位量と設定するかは、継手の設計において重要な問題となる。そこで本報告では、応答変位法の考えに基づいて、継手の変位量と算定する方法について述べ、設計のための資料を提供する。

【モデル化】 断面手法に比べて長手方向に細長い地中構造物では、構造物固有の振動は起りにくく、周辺地盤の変形に追随した挙動を示すと言われている。そこで、構造物本体を、質量を持たない弾性床上の梁とし、地盤のバネを介して地動が入力するような力学モデルを考える。簡単なため、構造物は長手方向に直線的とする。地震波は、構造物に沿って伝播する継波および横波を考える。前者は軸方向振動、後者は曲げ振動と起こす。任意の入射角を有する波は、この二つの波に分解して別々に考えればよい。波の形は正弦波とするが、不規則波の場合は、フーリエ変換を用いることにより、単一正弦波の問題に帰着できる。

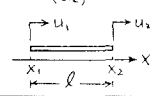
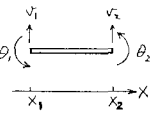
継手としては、伸縮、剪断、曲げの三種類を想定し、いずれも弾性バネで表現する。継手の変位は、このバネの変形量（隣接構造要素端の相対変位）として定義する。

【簡易計算法】 継手のバネ定数を0とすると、継手によって分割された各構造要素は互いに連成しないから、解析的に解くことが容易となる。結果を次頁に示す。

【マトリックス法】 継手のバネ定数が0でない場合、あるいは各要素の諸量が一律でない場合、マトリックス構造解析によらざるを得ない。調和進行波を受ける弾性床上架要素の剛性行列、荷重ベクトル、等を下表に示す。これを一般の変形法と同様の手順にしたがって重ね合わせを行ない、さらに継手バネの剛性行列を加加すれば系全体の釣合式が得られる。結果の一部を次頁に図示する。継手のバネ定数が0でない場合の継手変位係数は、すべての継手の変位振幅のうちで最大のものを、無限弾性床上架の変位振幅で除した値として定義する。

【謝辞】 東太・久保慶三郎教授と委員長とする「トンネル耐震継手技術委員会」の委員の方々に謝意を表す。

【参考文献】 建設省土木研究所、「新耐震設計法(案)」,昭和52年3月

変形	剛性行列	荷重ベクトル	変位ベクトル
軸方向	$[K] = \frac{EA}{l} \cdot \frac{\beta}{\sinh \beta} \begin{bmatrix} \cosh \beta & -1 \\ -1 & \cosh \beta \end{bmatrix} \quad \Rightarrow \beta = \sqrt{\frac{k}{EA}} \cdot l$	$\{P\} = [K] \begin{Bmatrix} u_0 e^{i\delta_1} \\ u_0 e^{i\delta_2} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} i P_0 e^{i\delta_1} \\ -i P_0 e^{i\delta_2} \end{Bmatrix}$ $\Rightarrow \delta_j = (2\pi/L) \cdot X_j \quad (j=1,2)$ $u_0 = \alpha Z_0 \quad \alpha = \frac{1}{1 + \frac{(2\pi)^2 EA}{L^2 R}}$ $P_0 = (2\pi/L) \cdot EA u_0$	$\begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix}$ 
曲げ	$[K] = \frac{EI}{l^3} \cdot \frac{2\beta^3}{\sinh^2 \beta} [A][B][A]$ $\Rightarrow [A] = \begin{bmatrix} 1 & \frac{l}{\beta} & 0 \\ 0 & 1 & \frac{l}{\beta} \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} S = \sin \beta \\ C = \cos \beta \\ sh = \sinh \beta \\ ch = \cosh \beta \end{matrix} \quad \beta = \sqrt{\frac{k}{4EI}} \cdot l$ $[B] = \begin{bmatrix} 2(S-C+sh-ch) & (shch-S-C) & sym. \\ S^2 ch^2 + C^2 sh^2 & -2S-sh & 2(S-C+sh-ch) \\ -2(S-ch+C-sh) & S-ch-C-sh & -(S^2 ch^2 + C^2 sh^2) \end{bmatrix}$	$\{P\} = [K] \begin{Bmatrix} v_0 e^{i\delta_1} \\ i \theta_0 e^{i\delta_1} \\ v_0 e^{i\delta_2} \\ -i \theta_0 e^{i\delta_2} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} i Q_0 e^{i\delta_1} \\ -M_0 e^{i\delta_1} \\ -i Q_0 e^{i\delta_2} \\ M_0 e^{i\delta_2} \end{Bmatrix}$ $\Rightarrow \delta_j = (2\pi/L) \cdot X_j \quad (j=1,2)$ $v_0 = \alpha Z_0 \quad \alpha = \frac{1}{1 + \frac{(2\pi)^2 EI}{L^2 R}}$ $\theta_0 = (2\pi/L) \cdot v_0$ $M_0 = (2\pi/L)^2 \cdot EI v_0$ $Q_0 = (2\pi/L) \cdot EI v_0$	$\begin{Bmatrix} v_1 \\ \theta_1 \\ v_2 \\ \theta_2 \end{Bmatrix}$ 

注) 上表において、特に説明のない記号は、次頁と同じ。

変形	継手バネ定数を〇とした場合の継手変位量の計算フロー	無限バネ定数の変換	継手バネ定数が〇の場合	継手変位係数	継手バネ定数が〇でない場合
軸方向	EA: 構造物の曲げ剛性 ℓ: 継手間隔 K: 地盤のバネ定数 L: 継手の長さ Z_0: 継手の変位振幅 $\beta = \sqrt{\frac{K}{EA}} \cdot \ell \quad \gamma = \frac{2\pi\ell}{L}$ $\alpha = \frac{1}{1 + (\gamma/\beta)^2}$ 無限弾性床土梁の変位振幅 $u_0 = \alpha Z_0$ 継手の変位係数 $u_j = u_0 \bar{u}_j$ 継手変位係数 $\bar{u}_j = \frac{2\gamma \cosh \beta - \cos \gamma}{\beta \sinh \beta}$	$\mu = \sqrt{\frac{K}{EA}} \cdot L = \frac{2\pi\beta}{\gamma}$ $\left\{ \begin{array}{l} \beta = \frac{\gamma}{L} \\ \gamma = \frac{2\pi\ell}{L} \end{array} \right.$ 並に $\left\{ \begin{array}{l} \beta = \mu \ell \\ \gamma = 2\pi \nu \end{array} \right.$		N_j : 伸縮継手の個数 K_p : 伸縮継手のバネ定数 $\bar{u}_j = (\text{継手変位量の最大値})/u_0$	
曲	EI: 構造物の曲げ剛性 ℓ: 継手間隔 K: 地盤のバネ定数 L: 継手の長さ Z_0: 継手の変位振幅 $\beta = \sqrt{\frac{K}{4EI}} \cdot \ell \quad \gamma = \frac{2\pi\ell}{L}$ $\alpha = \frac{1}{1 + (\gamma/\beta)^2/4}$ 無限3弾性床土梁の変位振幅 $v_0 = \alpha Z_0$ $\theta_0 = \frac{2\pi}{L} v_0$ 継手の変位振幅 $v_j = v_0 \bar{v}_j$ $\theta_j = \theta_0 \bar{\theta}_j$ 継手変位係数 $\bar{v}_j = \frac{2}{\gamma} \left(\frac{\gamma}{\beta} \right) \left \frac{\gamma_2 \cos \gamma - \beta \gamma_2 \sin \gamma}{\gamma} + \gamma_2 \right$ $\bar{\theta}_j = \frac{2}{\gamma} \cdot \frac{\gamma}{\beta} \cdot \left \frac{\gamma_2 \cos \gamma + \gamma \gamma_2 \sin \gamma}{\beta} - \gamma_2 \right$	$\mu = \sqrt{\frac{K}{EI}} \cdot L = \frac{2\sqrt{2}\pi\beta}{\gamma}$ $\left\{ \begin{array}{l} \beta = \frac{\gamma}{L} \\ \gamma = \frac{2\pi\ell}{L} \end{array} \right.$ 並に $\left\{ \begin{array}{l} \beta = \frac{\mu \ell}{\sqrt{2}} \\ \gamma = 2\pi \nu \end{array} \right.$		N_j : 曲り継手の個数 K_m : 曲り継手のバネ定数 ただし、曲り継手のバネ定数は、無限大とする $\bar{v}_j = (\text{継手変位量の最大値})/\theta_0$	