

I - B 452

地中構造物の免震対策とすべり挙動の関係

川崎製鉄株式会社 正会員 小池 武
同上 正会員 寺本 正

1. はじめに

シールドトンネルのような地中構造物が大きな地震力を受けた際の耐震対策として、従来は構造物継手部に伸縮継手を挿入することで変形性能を向上させる方法が採用されてきたが、近年構造物と周辺地盤の間に免震層を挿入して構造物に作用する外力を低減する工法が提案されるようになった。後者の工法を考える時、「免震層」による外力の低減と構造物周辺地盤間の「すべり」による外力低減の二種類の低減効果について明確にしておくことが、免震対策を効果的に実施する上でも有用と考えられる。

ここでは、免震層を有する地中構造物の地震時ひずみを応答変位法に基づいて算定する手法を提案するとともに、数値計算により免震層による外力低減効果とすべりによる低減効果の比較検討を行なったので、その結果を報告する。

2. 応答変位法による免震効果の簡易評価手法

地中構造物を含む地盤が震動するとき、図1に示すように免震層を有する場合は剛性の小さな免震層と相対的に剛性の大きな周辺地盤がせん断変形を分担している。この時、周辺地盤と免震層のそれぞれの剛性をばねで表現できるとすると、周辺地盤ばね K_A と免震層ばね K_B から合成される合成地盤ばね K_A^* は次式で与えられる。

$$K_A^* = \frac{K_A K_B}{K_A + K_B}$$

図2に示す免震層を持つ地中構造物の解析モデルを用いると、構造物の変位挙動 v_s は図3に示すように免震層区間と非免震層区間ごとに次の釣り合い式が得られる。

$$\rho \frac{\partial^2 v_s}{\partial t^2} - EA \frac{\partial^2 v_s}{\partial x^2} = \pi D \tau_G$$

ここで、 v_G, D, A, E, ρ はそれぞれ地盤変位、口径、断面積、弾性係数、密度である。

$$\pi D \tau_G = \begin{cases} K_A(v_G - v_s) & ; 0 \leq x \leq \frac{L}{4} - \frac{W}{2} \\ K_A^*(v_G - v_s) & ; \frac{L}{4} - \frac{W}{2} \leq x \leq \frac{L}{2} \end{cases}$$

両区間での構造物変位の一般解は次式で表現できる。

$$\begin{aligned} v_s(\xi) &= \beta v_G \sin \xi + A \sinh\left(\frac{\lambda \xi}{k_L \cos \phi}\right) + B \cosh\left(\frac{\lambda \xi}{k_L \cos \phi}\right) \\ v_s^*(\xi) &= \beta^* v_G \sin \xi + A^* \sinh\left(\frac{\lambda^* \xi}{k_L^* \cos \phi}\right) + B^* \cosh\left(\frac{\lambda^* \xi}{k_L^* \cos \phi}\right) \end{aligned}$$

ここで、 ϕ は入射角。 $\xi = k_L x \cos \phi - \omega t$, $k_L = 2\pi/L$

$$\lambda = \sqrt{\frac{K_A}{EA}}, \lambda^* = \sqrt{\frac{K_A^*}{EA}}, \beta = 1 / \left\{ 1 + \left(\frac{k_L \cos \phi}{\lambda} \right)^2 \right\}, \beta^* = 1 / \left\{ 1 + \left(\frac{k_L \cos \phi}{\lambda^*} \right)^2 \right\}$$

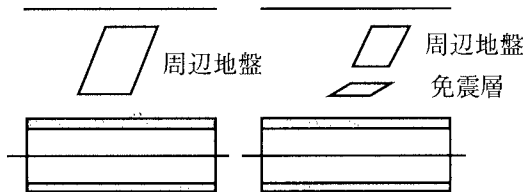


図1 地中構造物周辺地盤のせん断変形

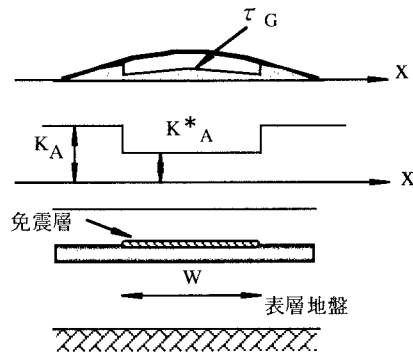


図2 免震層を持つ地中構造物の解析モデル

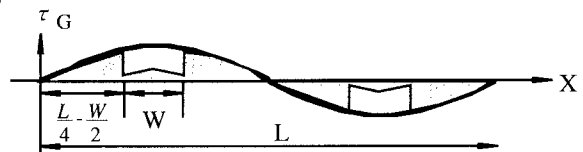


図3 免震層区間でのせん断応力分布の低減

キーワード：応答変位法、免震層、すべり、地盤ばね、地中構造物

〒263-0005 千葉市稲毛区長沼町351 川崎製鉄株式会社 鋼構造研究所 Tel:043-259-3011, Fax:043-259-3014

両者の境界部分での変位, たわみ角の連続性およびそれぞれの領域での正弦波としての境界条件より未定係数 A, A^*, B, B^* を決定すると, 構造物に発生する最大軸ひずみ ϵ_m は次式で算定することができる。

$$\epsilon_m = \beta \epsilon_G + \lambda A$$

ただし, 係数 A は右式より算定される。

$$\begin{bmatrix} \sinh \zeta & -\sinh \zeta^* + \frac{\cosh \zeta^*}{\tanh\left(\zeta^* \frac{\pi}{2\xi_W}\right)} \\ \frac{\zeta}{\xi_W} \cosh \zeta & -\frac{\zeta^*}{\xi_W} \left(\cosh \zeta^* - \frac{\sinh \zeta^*}{\tanh\left(\zeta^* \frac{\pi}{2\xi_W}\right)} \right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ A^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\beta^* - \beta) v_{GS} \sin \xi_W \\ (\beta^* - \beta) v_{GC} \cos \xi_W \end{bmatrix}$$

$$\zeta = \frac{\lambda}{k_L \cos \phi} \xi_W, \quad \zeta^* = \frac{\lambda^*}{k_L \cos \phi} \xi_W, \quad \xi_W = k_L \left(\frac{L}{4} - \frac{W}{2} \right) \cos \phi - \omega t$$

3. すべり挙動と免震効果の影響比較

周辺地盤の応力ひずみ特性として図4を用いると, すべりが生じた状態の地中構造物に作用するせん断応力は図5となる。この時, 地中構造物の軸方向ひずみは, 文献1) で詳述されているひずみ低減係数 q を用いて次式で求められる。

$$\epsilon_S = q \beta \epsilon_G$$

ここでは, 水道施設耐震工法指針に従ってレベル2地震動に対する耐震設計を行なった。数値計算では, $D=2.75\text{m}$ の鋼製セグメントを用いたシールドトンネルを想定して, 免震層区間幅および剛性の効果を検討した。さらに, すべり開始限界応力 τ_{cr} の影響も検討した。

図6の $\epsilon_G, \epsilon_m, \epsilon_s, \epsilon_m$ はそれぞれ地盤ひずみ, 免震層, すべりのいずれの効果も考慮しない場合の構造物ひずみ, すべりを考慮した場合の構造物ひずみそして免震層を考慮した場合の構造物ひずみである。

図6の3図を比較すると, 免震層剛性の効果が小さく, 免震層の区間幅を地震波長の20%程度にすると, 短周期地盤で低減効果が見られる。しかしすべりによる低減効果が免震層以上に大きいことを示している。

4. まとめ

数値解析結果をまとめると以下のとおり。

- (1) 限界せん断応力が 2kgf/cm^2 以下の場合, 比較的長周期地盤側ですべりの方が免震層よりひずみ低減効果が大きい。
- (2) 免震層の幅が地震波長の20%程度の時, 短周期地盤側でひずみ低減効果が見られる。
- (3) 免震層の剛性を低下させることによるひずみ低減効果は小さい。

参考文献

- 1) 小池 武 (1983): 埋設パイプラインの地震時ひずみ評価, 土木学会論文報告集, No.331, pp.13-24.

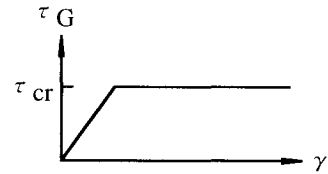


図4 土の応力ひずみ特性のモデル化

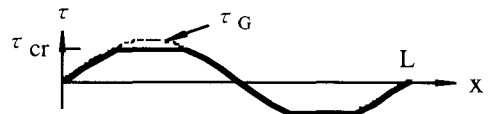
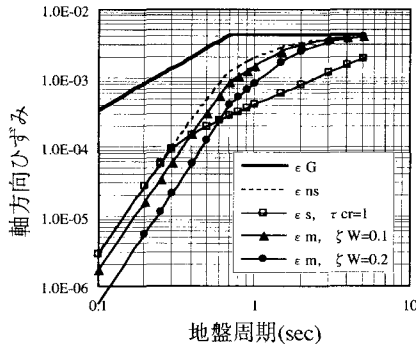
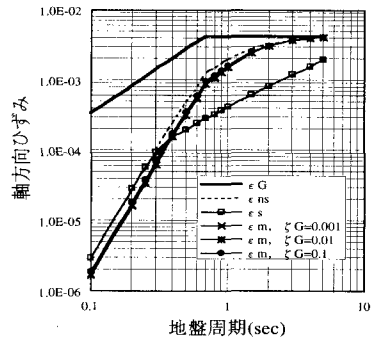


図5 地中構造物に作用するすべり状態のせん断応力分布

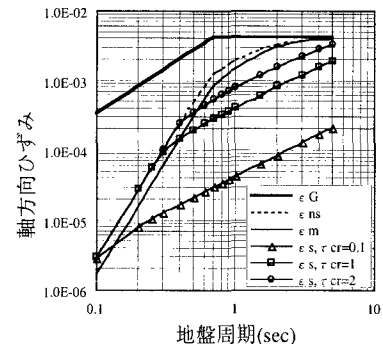


(1) 免震層区間幅の影響

図6 地中構造物の軸方向ひずみに与える免震層とすべりの効果比較



(2) 免震層剛性の影響



(3) すべり開始限界応力の影響