

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol.12 (1980) No.2

---

Earthquake-induced Structural in Underground Lifeline Pipes

## Earthquake-induced Structural Strains in Underground Lifeline Pipes

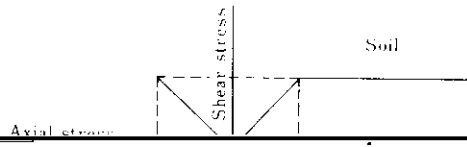
小池 武\*  
Takeshi Koike

### Synopsis:

The risk analysis methodology developed for underground pipeline systems makes use of a conversion factor  $\beta$  in order to estimate the structural strain in the underground pipelines induced by the earthquake seismic motion.

The purposes of this study are (a) to derive a practical procedure to estimate the conversion factor that can be used for straight and bent pipes and tee-junction, and (b) to determine conversion factors for a number of

断応力  $\tau_{cr} = c + \sigma \tan \phi$  を越えた時発生するものと仮定する。ここで、 $c$  は粘着応力、 $\sigma$  はパイプ表面に作用する垂直応力そして  $\phi$  はパイプと周辺土との摩擦角である。



$$= G\gamma_0 \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{L}z\right) \dots\dots\dots(4)$$

ここで、 $D$ :パイプの外径

た正弦波関数で表されることがわかる。したがって、 $u_S$ を求めるため未知数  $B$  と正弦波関数の積として  $u_S$  を次式で与えることにする。

次式で与えられる。

(8)式を(7)式に代入して整理すると結局、 $\gamma_0$

$$\gamma_0 = \left[ \frac{\partial U(x)}{\partial r} \right]_{r=0} \cdot \epsilon_0 \frac{L}{2\pi} \dots\dots(5)$$

表現される。

$$\left( \frac{2\pi D}{L} \right)$$

2.5  $\hat{\beta}_0$ に関する数値計算例

$\beta_0$

$$\frac{1}{1 + \left( \frac{2\pi}{L} \right)^2 \frac{AE}{K_G} \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 + \left( \frac{\omega}{\hat{\omega}} \right)^2} \quad (16)$$

ここで、 $K_G = 2\pi G$ ,  $A = \pi Dd$ ,  $\omega_0 = \sqrt{K_G/(\rho A)}$  である。(10)式で与えられるパイプひずみの最大値

の変換係数  $\hat{\beta}_0$  の(16)式による計算例が示されている。ここで、地盤種別 A は軟弱地盤 (せん断波速度  $C = 150\text{m/s}$ )、C は岩質地盤 ( $C = 500\text{m/s}$ )、B はその中間の地盤 ( $C = 300\text{m/s}$ ) と仮定している。地震波長は  $L = 400\text{m}$  と  $150\text{m}$  の両方の場合を検討し、計算結果によれば、変換係数  $\hat{\beta}_0$  は 1

$\epsilon_s = \hat{\beta}_0 \epsilon_G$  を(1)式に代入することにより、(16)

1に近く、パイプは地盤の動きに追随しているこ

ることになり次式が成立する。

4. すべりを考慮した直管部の地震時ひずみ

$$\tau(\rho, t) = \tau_c \left[ \cos \left( \frac{2\pi}{\rho} \right) \right] \dots \dots \dots (19)$$

盤の間のすべりは、地震規模が十分大きく、パイプと土との間のせん断応力  $\tau_0$  が、限界せん断応力  $\tau_{cr} = c + \sigma \tan \phi$  を越える時に発生すると仮定した。今、(5)式に与えたパイプ周辺地盤の最大せん

$$f(\xi) = \begin{cases} 1, & 0 < \xi < \pi \\ -1, & -\pi < \xi < 0 \end{cases} \dots \dots \dots (20)$$

(19)式を(7)式に代入して、 $u_s$  に関して解けば次式を得る。

$$\epsilon_s \left( \frac{L}{4}, \frac{\pi}{\omega} \right) = 0 \quad \dots\dots\dots(27)$$

の関係式を得る。

(24)式を(7)式(ただし、慣性項=0)に代入し、(25)~(27)式を考慮すれば結局、パイプの最大軸方向ひずみとして次式が得られる。

$$\epsilon_{cr} = q \frac{\gamma_{cr}}{\gamma_0} \hat{\beta}_0 \epsilon_G \quad \dots\dots\dots(28)$$

ただし、

$$q = \frac{\pi}{1 - \frac{4l^*}{L}} \frac{\gamma_0}{1 - \cos\left(\frac{2\pi}{L} l^*\right)} \quad \dots\dots\dots(29)$$

$$= (1 - \beta_{cr}^*) \epsilon_G \frac{L}{2\pi} \quad \dots\dots\dots(31)$$

で求めるとき、変換係数  $\beta_{cr}^*$  は次のように求められる。

$$\beta_{cr}^* = q^* \left( \frac{\gamma_{cr}}{\gamma_0} \right) \hat{\beta}_0 \quad \dots\dots\dots(32)$$

ただし、

$$q^* = \frac{\pi^2}{8} \left( 1 - \frac{4l^*}{L} \right) \left( 1 + \frac{4l^*}{L} \right) \frac{\gamma_0}{1 - \cos\left(\frac{2\pi}{L} l^*\right)} \frac{\gamma_0}{1 - \cos\left(\frac{2\pi}{L} l^*\right)} \quad \dots\dots\dots(33)$$

(29)式の  $q$  が、 $l^* = 0$  で  $\pi/2$ 、 $l^* = L/4$  で  $\gamma_0/\gamma_{cr}$

4.2  $\hat{\beta}_0$ 、 $B_{cr}$ 、 $B_{cr}^*$  に関する数値計算例

### 5. 曲管部の地震時ひずみ

#### 5.1 90°ベント管

地震波が地盤内を伝播するとき、直管と地盤との相対変位はベント管に付加的応力を発生させる。とくに Fig. 5 に示すような 90°ベント管の場合に

ここで、

$$k = \pi D k_0 \quad \dots\dots\dots (37)$$

$$\lambda = \left( \frac{k}{4EI} \right)^{1/4} \quad \dots\dots\dots (38)$$

$$\Delta' = \frac{L}{2\pi} \frac{1-\beta}{1+W} \epsilon_G \quad \dots\dots\dots (39)$$

$$\epsilon_S = \frac{M_1}{EI} \frac{D}{5} + \frac{S_2}{4EI}$$



Table 3 Conversion factors for bent pipes and tee-junctions

Table 4 Numerical examples of conversion factor

$L = 400\text{m}$

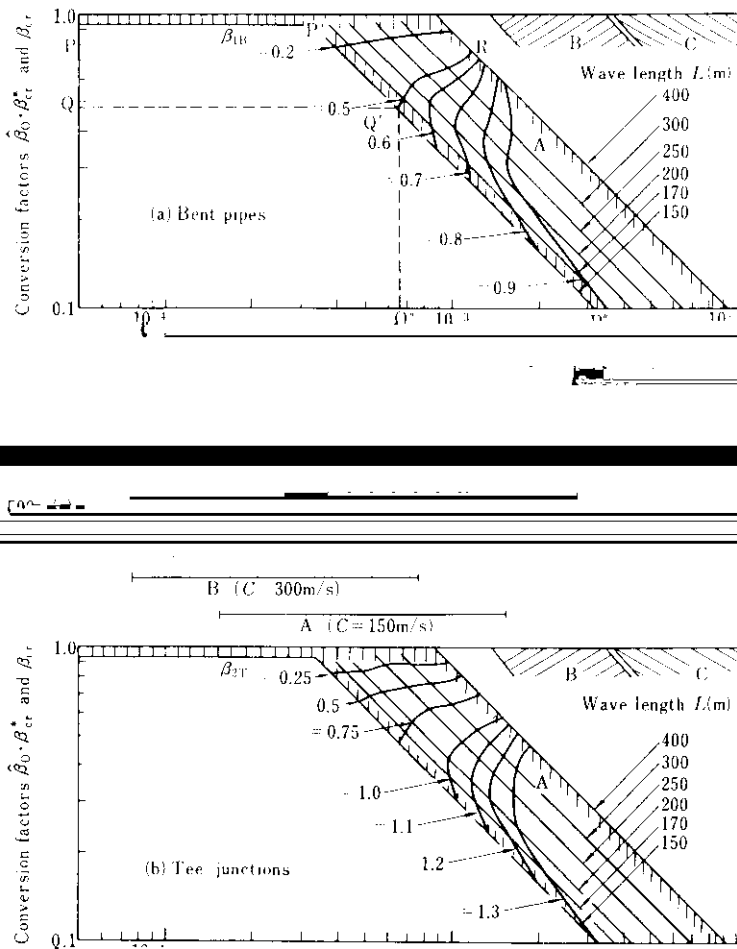


Fig.7 Conversion factors ( $\gamma_{rr}=10^{-3}$ )

かる。

6. あとがき

本論文は、筆者が1978年から翌年にかけて、米国コロンビア大学留学中篠塚正宜教授の指導の下

に行った地震環境下での埋設ライフラインの危険度解析に関する研究の一部である。

今後、本研究をさらに進めていくには、(2)式で導入した地盤変形係数の関数形の決定をはじめ、いくつかの仮定についてそれぞれ検討を加えていくことが必要であろう。

参考文献

- 1) Shinozuka, M. and T. Koike: "Estimation of Structural Strains in Underground Lifeline Pipes," Lifeline Earthquake Engineering-Buried Pipelines, Seismic Risk, and Instrumentation Edited by T. Ariman, S. C. Liu and R. E. Nickell, published by ASME, New York, 1979, 31-48
- 2) Shinozuka, M. and T. Koike: "Seismic Risk of Underground Lifeline Systems Resulting from Fault