

# 地盤震動に対する日米水道管路の耐震設計法比較

武蔵工業大学 学生会員 長谷川尚美  
武蔵工業大学 正会員 小池 武

## 1. はじめに

日米両国の上水道パイプライン耐震設計指針を相互比較し、設計法の差異が管路断面設計に与える影響を検討した。

## 2. 耐震設計法比較

### (1) 設計地震動の考え方

わが国では1995年兵庫県南部地震以降、レベル1, 2地震動に対する耐震設計を行っているが、米国では1960年代の原子力施設の耐震設計法で地震動レベル2段階照査法が導入されて以来、ライフラインシステムについてもこの耐震評価法が準用されてきた。

とくに、管路が埋設される地表面近くの表層を水平方向に伝播する地震波伝播速度  $C$  の評価が両国で大きく異なる。わが国では、この伝播速度として表層地盤せん断波速度を採用している。しかし、これは表層地盤鉛直方向に伝播する地震動伝播速度を便宜的に水平方向にも準用しているだけであり、工学的判断に基づく定義と見えよう。一方、米国では地震波伝播速度は洪積層地盤を伝播するせん断波速度を想定して従来は2000m/sec程度の伝播速度を地盤ひずみ計算に使用することを推奨していた。しかし最近では、水平方向伝播速度として表面波速度の使用についても言及しており、表面波を利用すると地盤ひずみが大きく評価されることになることコメントしている。

一方、工学的基盤での入力地震動に対して、わが国では設計速度応答スペクトル  $S_v(T)$  を用意しており、地表面での速度応答は  $4/\pi$  倍して算定される。一方、米国では基盤最大速度  $PGV_B$  を下記の式より算定している。

$$PGV_B = \left\{ \left( \frac{386.4}{2\pi} \right) SA_1 \right\} / 1.65$$

ここで、 $SA_1$  は加速度応答スペクトルである。地表面での地盤速度応答  $PGV_S$  は地盤クラスの種類に応じて与えられる地盤係数  $F_V$  を  $PGV_B$  に乗じることにより次式で求められる。

$$PGV_S = F_V \cdot PGV_B$$

### (2) 一体構造管路の耐震設計法

日本では応答変位法を用いて地震震動より算定される地盤歪みから管体歪みを算定している。水道施設耐震工法指針ではレベル1地震動に対する管体歪みを求める際には管と地盤の滑りを考慮しない従来法を維持し、レベル2地震動に対しては新たに滑りを考慮する方針を採用しているため、耐震計算法の体系が必ずしも整合的でない状態にあると言わざるを得ない。

一方、米国では地震動レベルには無関係に管体歪みは地盤歪みと同一であると見なしている。両国の耐震計算法をまとめると以下のとおり。

#### 1) 日本の耐震設計指針

入射角度45度、地震波伝播方向に直角な方向の変位振幅  $U_h$  の正弦波を想定し、そこから地盤歪みを算定。レベル1地震動ではひずみ変換係数  $\alpha_1, \alpha_2$  を用いて地盤歪みから管体歪みを算定している。一方、レベル2地震動では周辺地盤と管体間の滑りを考慮した計算法を示しているが、その計算式は一般の水道技術者にとって適用概念が理解しにくい表現になっている。

$$\text{地盤歪み } \varepsilon_G = \frac{\pi U_h}{L}$$

$$\text{レベル1地震動の埋設鋼管路軸歪み } \varepsilon_{1L} = \alpha_1 \varepsilon_G$$

$$\text{レベル2地震動の埋設鋼管路軸歪み } \varepsilon_{2L} = \frac{L}{\xi}$$

$$\text{埋設鋼管路の曲げ歪み } \varepsilon_B = \alpha_2 \frac{2\pi D}{L} \varepsilon_G$$

$$\text{軸歪みと曲げ歪みの合成歪み } \varepsilon_{1x} = \sqrt{\varepsilon_{1L}^2 + \varepsilon_{1B}^2}$$

#### 2) 米国の耐震設計指針

米国では、埋設管路に発生する地震時歪みは地盤歪みを上限とし、地盤と管路間にすべりが発生しないかぎりほぼ同一の歪みを生じるとして、次の簡易式で管体歪みを算定している。

$$\varepsilon_{pipe} = \varepsilon_G = \frac{PGV_S}{C}$$

$$\text{管体歪み: } \varepsilon_{pipe} \quad \text{地盤歪み: } \varepsilon_G$$

キーワード 耐震設計, 水道管路, 一体構造管路

連絡先 〒258-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 武蔵工業大学工学部都市基盤工学科 TEL03-3703-3111

地盤と管路間のすべり判定は、次式により行っている。

$$\begin{aligned} \varepsilon_{pipe} < \varepsilon_{cr} & : \quad \varepsilon_{pipe} = \varepsilon_G \\ \varepsilon_{pipe} \geq \varepsilon_{cr} & : \quad \varepsilon_{pipe} = \varepsilon_{cr} \end{aligned}$$

ここで、

$$\varepsilon_{cr} = \frac{T_u L}{4AE}$$

ただし、 $T_u L$ はそれぞれ単位長さ当りのすべり力および見かけの伝播波長である。

3. 数値検討例

(1) モデル地盤

日米両国の管体歪みを比較するために、地震動振幅およびモデル地盤および管路を同一にして表1に設定する。

表1 数値検討モデル

Ground depth	H	m	30
Typical period	TG	sec	1
Shear velocity	V	m/sec	120
Diameter	D	mm	1000
Thickness	t	mm	10

(2) 地盤ひずみと管路ひずみ

図1はレベル2地震動について検討したもので、わが国の水道施設耐震工法指針における地盤歪み  $eG-W$  と管体ひずみ  $ep-W$  を比較したものである。また、参考のために、同一寸法の管路を日本ガス協会の耐震設計指針に基づいて算定した場合の結果も表示している。

同図によると、水道工法指針では管体歪みが地盤歪みに比較して非常に小さく且つ一定値になることを示している。一方、日本ガス協会の耐震設計指針に従った場合は短周期地盤では管体歪みは地盤歪みより小さいが長周期地盤では管体歪みが地盤歪みに一致する傾向になることを示している。

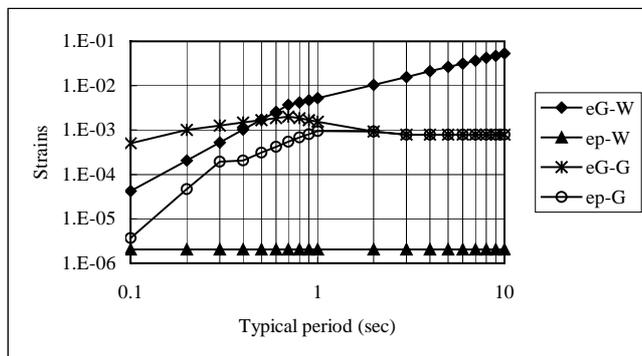


図1 日本の耐震設計における地盤歪みと管体歪み

図2は米国の耐震設計における地盤歪みと管体歪みを比較したものである。ここでは、伝播波長が短い地盤条件では管体歪みは地盤歪みに一致し、長伝播波長では管体歪みが地盤歪みより小さくなる傾向を示している。

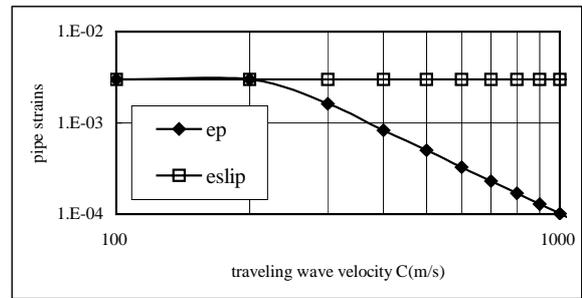


図2 米国の耐震設計における地盤歪みと管体歪み

図1, 2より、日本水道協会耐震工法指針による管体歪みが米国での管体歪みに比較して相当小さい値を示しているが、日本ガス協会耐震設計指針に基づく管体歪みは米国の管体歪みとほぼ同水準の値を示している。

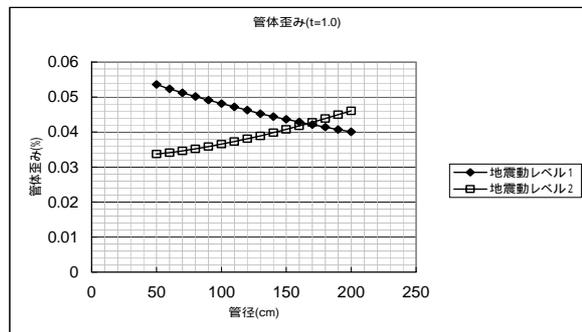


図3 レベル1, 2地震動に対する管体歪み

図3ではレベル1地震動に対する管体歪みがレベル2地震動に対する管体歪みを主要な管径範囲で上回っている。この結果は両者の耐震計算手法の相違が原因であるが、実務的にも問題の多い結果であり、早急に設計体系の見直しが必要な点である。

4. 結論

日米両国の水道埋設管路耐震設計法を比較検討した。数値計算結果によると、日本の水道管地震時管体歪みは米国の管体歪みに比較して相当小さく評価をしていることが判明した。

また、レベル1地震動に対する管体歪みがレベル2地震動レベル2地震動に対する管体歪みを上回るなど、再検討すべき課題がいくつかあることが判明した。

参考文献

- 1) 社団法人日本水道協会：水道施設耐震設計工法指針・解説, 1997.
- 2) American Lifelines Alliance : Seismic Guidelines for Water pipelines, ALA, 2002.
- 3) 社団法人日本ガス協会：高圧ガス導管耐震設計指針, JGA 指 206 03, 2004.