

## 埋設管路の座屈破壊に対する耐震安全性照査法

武蔵工業大学 学生会員 和田 脩平

武蔵工業大学 正会員 小池 武

### 1. はじめに

2007年新潟県中越沖地震で小口径の直線管路で座屈破壊が発生した。並行に埋設された管路のうち、100mm 管路で座屈破壊が発生し、200mm 管路では発生しなかった。そこで、両者の破壊モードの違いが発生した原因について検討した。

### 2. 埋設管の座屈解析

#### 2.1 座屈強度

弾性支承上の梁に軸方向圧縮力が作用した場合の埋設管の座屈強度  $P_{cr}$  は次式で算定できる。

$$P_{cr} = \left( \frac{\pi \cdot n}{l} \right)^2 \cdot EI + \frac{K_v}{\left( \frac{\pi \cdot n}{l} \right)^2} \quad (1)$$

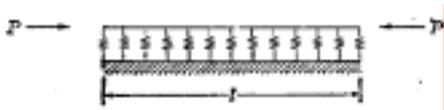


図1 弾性支承上の梁

ここで、 $EI$  は断面曲げ剛性、 $l$  は導管長、 $K_v$  は軸直角方向の地盤ばね定数である。また、 $n$  は式(1)を極小にする  $l$  区間内座屈波長の数を表す。 $K_v$  が大きくなるにつれ、 $n$  が大きいほうが式(1)を最小にする。いま、 $n$  から  $n+1$  への転移が起こる場合を考え、このときの  $K_v$  の極限值は  $n$  の値に関係なく  $P_{cr}$  に同じ値を与えなければならない。これらの条件から極限值が見いだされ、次式が得られる。

$$n^2 + \frac{Kvl^4}{n^2 \pi^4 EI} = (n+1)^2 + \frac{Kvl^4}{(n+1)^2 \pi^4 EI} \quad (2)$$

これを变形すると、

$$\frac{Kvl^4}{\pi^4 EI} = n^2(n+1)^2 \cong n^4 \quad (3)$$

が得られる。

#### 2.2 地震時最大軸方向圧縮力

地震発生時管路にかかる最大発生軸力は次式で算定できる。

$$P_A = \tau_A \cdot A \quad (4)$$

ここで、 $A$  は管路の表面積であり、 $\tau_A$  はせん断応力で次式が与えられる。

$$\tau_A = \frac{2}{L} \frac{EA}{D} \alpha_0 \varepsilon_A \quad (5)$$

ただし、 $D$  は管径、 $A$  は断面積、 $E$  は弾性定数である。また、表層地盤ひずみ ( $\varepsilon_A$ )、ひずみ伝達係数 ( $\alpha_0$ ) は以下の式から求められる。

$$\varepsilon_A = \frac{2\pi}{L} U_h \quad (6)$$

$$\alpha_0 = \frac{1}{1 + \left( \frac{2\pi}{\lambda L} \right)^2} \quad (7)$$

ここで、表層地盤変位  $U_h$ 、軸方向の地盤ばね定数  $K_1$  は以下の式から求められる。

$$U_h = \frac{2}{\pi^2} \cdot S_v(T_G) \cdot T_G \quad (8)$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{K_1}{EA}} \quad (9)$$

$$K_1 = \pi D k_1 \quad (10)$$

$L$  と  $S_v$  は、それぞれの表層地盤の固有周期 ( $T_G$ ) に対応する図2と図3の応答速度と伝播速度から求められる。

$$L = V \cdot T_G \quad (11)$$

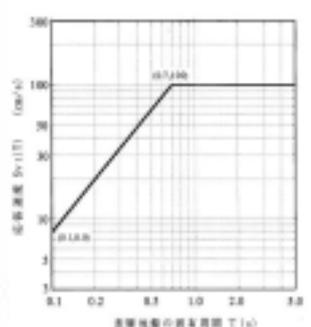
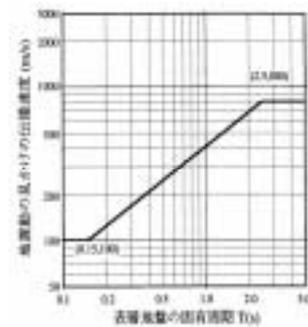


図2.地震波の見かけの伝播速度 図3.速度応答スペクトル

キーワード：座屈強度、地震時最大軸方向圧縮力、地盤ばね定数

〒158-8557 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 TEL:03-3703-3111

2.3 座屈に対する耐震安全性照査

(1)  $L/2 < W$  の場合

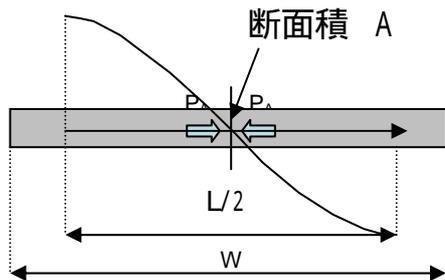


図 4. 無限長管路

波長  $L/2$  より区間長  $W$  が大きい場合は図 4 に示すように半波長区間最大地震荷重が発生する。したがって、軸圧縮力は、次式で与えられる。

$$P_A = EA\alpha_0\varepsilon_A \cdot \frac{\pi}{2} \quad (12)$$

(2)  $L/2 > W$  の場合

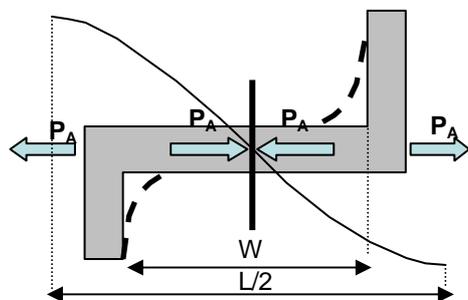


図 5. 有限長管路

$L/2$  より  $W$  が小さい場合、両端の変形をもとに戻そうとする引張力  $P_A$  が発生するので、無限長として考える場合より軸力は小さくなり、次式で安全性の評価ができる。

$$P_A = \frac{W}{L} EA\alpha_0\varepsilon_G \cdot \frac{\pi}{2} - \Delta P_A \approx \frac{W}{L} EA\alpha_0\varepsilon_G \cdot \frac{\pi}{2} \quad (13)$$

3. 解析結果と考察

3.1 数値解析条件

表 1. 材料特性及び地盤特性

データ	記号	単位	100mm 管径	200mm 管径
直径	D	mm	114.3	216.3
板厚	t	mm	4.9	8.2
弾性係数	E	kN/mm <sup>2</sup>	200	200
固有周期	T <sub>G</sub>	s	2.1	2.1

表 2. 条件別地盤ばね定数一覧

	記号	単位	100mm 管径	200mm 管径
通常地盤 (軸方向)	k <sub>1</sub>	N/cm <sup>3</sup>	6.0	6.0
通常地盤 (軸直角方向)	k <sub>v0</sub>	N/cm <sup>3</sup>	18.4	16.6

地盤沈下	k <sub>v1</sub>	N/cm <sup>3</sup>	27.0	22.0
液状化地盤	k <sub>v2</sub>	N/cm <sup>3</sup>	8.1	7.3

単位長当りの軸直角方向の地盤ばね定数は次式から求められる。

$$K_{vi} = k_{vi} \cdot D \quad (14)$$

3.2 解析結果

地盤固有周期 T<sub>G</sub> に対する式 (4) の地震時最大軸力を管径ごとに図 6、図 7 に示す。同図には、K<sub>v</sub>/2 ~ K<sub>v</sub>/100 まで小さくした場合の座屈強度を図中に点線で示している。

(1) 100mm 管路の場合

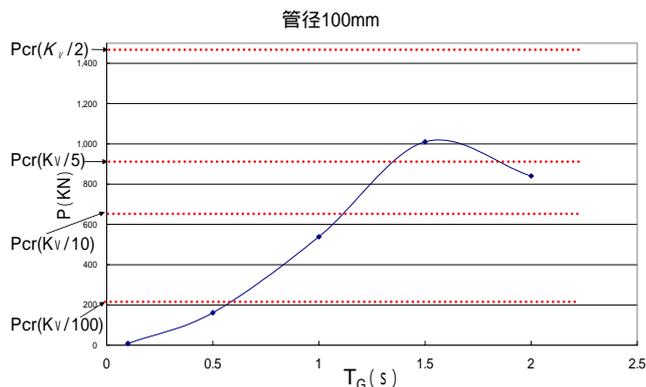


図 6. 管径 100mm

(2) 200mm 管路の場合

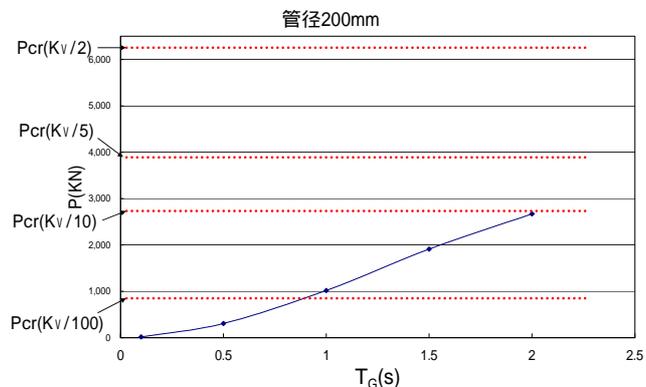


図 7. 管径 200mm

4. 考察とまとめ

被害が発生した地域の表層地盤の固有周期はほぼ 2 秒であり、解析結果では日本ガス協会の高圧ガス導管耐震設計書に定められている、地盤バネ定数の値より 1/5 ~ 1/10 のときに 100mm 導管にだけ座屈被害が起こりうる結果となった。このことから、地盤ばね定数が小さくなる軟弱地盤の場合、今回の座屈挙動が起こる原因について説明できる。今後は地盤ばね定数について詳しく調べる必要がある。

参考文献

- 1) 日本ガス協会：高圧ガス導管耐震設計指針 P 2 5 ~ 4 1
- 2) 経済産業省原子力保安院：<http://www.nisa.meti.go.jp/>
- 3) 土木学会；構造力学公式集 P 1 1 5 ~ 1 1 6