

コンクリート被覆鋼管の耐震設計

武蔵工業大学 学生会員 田中 匠 正員 小池 武

1. はじめに

本研究では、水道管路用コンクリート被覆鋼管の耐震設計手法の定式化をおこなった。

管体はコンクリート製の外装管と鋼管によって一体構造となっており、接合部分は内装管である鋼管部分のみ溶接接合し、外装管は接合をしないという構造になっているので、管部分と継ぎ手部分では剛性が変わってしまう。そこで、一様な剛性をもつ管体への適用を前提としている既往の応答変位法を用いることができないため、コンクリート被覆鋼管に適用する応答変位法について検討した。

2. 研究手法

1) モデル化

コンクリート被覆鋼管とは次に示すように外装管にコンクリート管、内装管に鋼管を用いており、間にモルタルを流し込むことによって一体構造となっており、また継ぎ手部分は内側の巻き込み鋼管を溶接し、コンクリート管同士は接合していない構造となっている。線状地下構造物では、地震によって軸直角方向に曲がったり、軸方向に伸び縮みといった動きをする。またコンクリート被覆鋼管は水道・下水道用コンクリート被覆鋼管なので、耐震設計の大枠は水道施設耐震工法指針に従って設計するものとした。

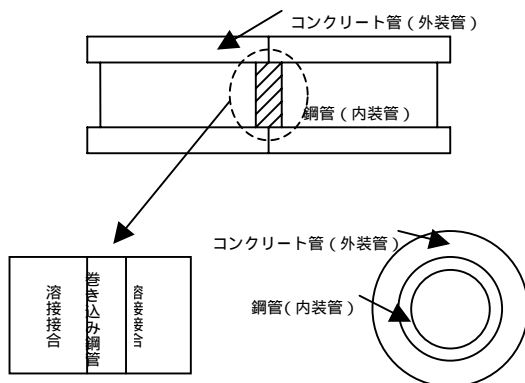


図1 コンクリート被覆鋼管の構造モデル

2) 地震時挙動

コンクリート被覆鋼管は管部分と継ぎ手部分とでは特性が異なるために、従来の応答変位法を用いる事ができない。そこでコンクリート被覆鋼管に見合うよう修正する。まず従来の応答変位法では

$$\varepsilon_P = \alpha \varepsilon_G \quad \varepsilon_G : \text{地盤ひずみ}$$
$$\alpha = \frac{1}{1 + \left(\frac{2\pi}{\lambda L} \right)^2} \quad (1) \quad \lambda = \sqrt{\frac{K}{EA}} \quad (2)$$

となる。今回コンクリート被覆鋼管は、剛性の異なる二種の管が直列に連なった管路と考えると、

$$\beta = 1 + \frac{E_c A_c}{E_s A_s} \quad (3) \quad \lambda = \sqrt{\frac{K}{\beta EA}} \quad (4)$$

とおくことができ、コンクリート被覆鋼管としての剛性を求める事ができる。

また変位・ひずみ計算例として次のような流れで算出を行なう。

- 初期条件に基づき、すべりを考慮しないパイプの変位量の算出
- すべりを考慮しないパイプのひずみの算出
- すべりを考慮しないパイプのせん断応力の算出
- のせん断応力図に限界せん断応力を加え、それを考慮に入れたせん断応力の算出
- すべりを考慮したせん断応力図からすべりを考慮したひずみの算出
- のひずみ曲線から変位量の算出

変位量・ひずみせん断応力はそれぞれ以下の式で算出できる。

$$\tau = t \frac{d\sigma_P}{dx} \quad (5) \quad \varepsilon = \int \frac{\tau}{Et} dx \quad (6) \quad u = \int \varepsilon dx = \int \int \frac{\tau}{Et} dx dx \quad (7)$$

また軸直角方向においては次のような α を用いることによって算出できる。

$$\alpha = \frac{1}{1 + \left(\frac{2\pi}{\lambda L}\right)^4} \quad (8) \quad \lambda = \sqrt[4]{\frac{k}{EI}} \quad (9)$$

すべりを考慮したひずみ・変位曲線については、せん断応力図に最大せん断応力を引くことにより考慮する。式は次式

$$\varepsilon = \int \frac{\tau}{Et} dx = \int \frac{2A}{LDt} \alpha_0 \varepsilon_G \sin kx \quad dx \quad (\tau \leq \tau_{cr} \text{ 部分}) \quad (10)$$

$$\varepsilon = \int \frac{\tau_{cr}}{Et} dx \quad (\tau \geq \tau_{cr} \text{ 部分}) \quad (11)$$

3) 設計法

地震波が表層地盤を水平方向に伝播する時の波長、埋設管位置における地盤の水平変位振幅、管軸方向の地盤のひずみ、管の地震時軸ひずみ、管の地震時軸直角方向ひずみ、をそれぞれ次式で算出する。

$$L = VT_G \quad (12) \quad U_h = S'_v T_G \frac{2}{\pi^2} \quad (13)$$

$$\varepsilon_G = \frac{\pi}{L} U_h \quad (14) \quad \varepsilon_s^A = \alpha_A \varepsilon_G \quad (15)$$

$$\varepsilon_s^B = 2\alpha_B \varepsilon_G \left(\frac{2\pi D}{L} \right) = \frac{2\pi\alpha_B \varepsilon_G D}{L} \quad (16)$$

$$\varepsilon_s = \sqrt{(\varepsilon_s^A)^2 + (\varepsilon_s^B)^2} \quad (17)$$

によってそれぞれ各値を算出することができ、許容値 ε_{cr} を算出することによって、安全であるか否かを判断できる。許容値は次式によって算出する。

$$\varepsilon_{cr} = \frac{46t}{D} \quad (18)$$

3. 数値計算事例

本研究の初期条件によって得られた地震時挙動は以下のグラフのようになる。

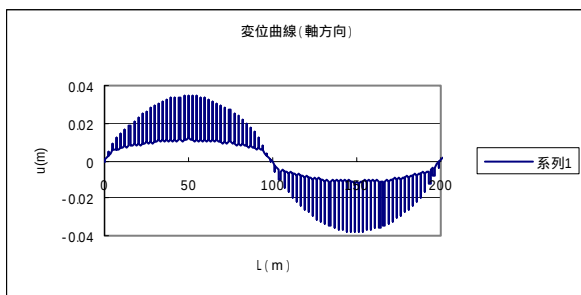


図2 管路の変形曲線

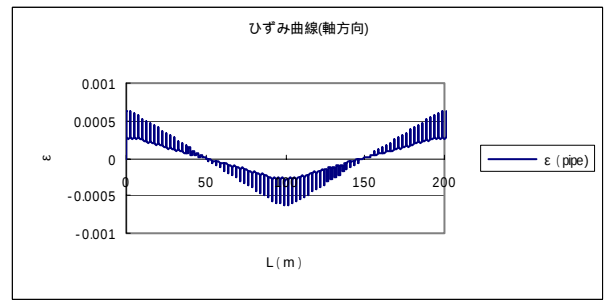


図3 管路のひずみ曲線

本管は管部分と継ぎ手部分の剛性が違うため、上図2, 3のような地震時挙動となる。

また耐震設計によって得られた合成ひずみ及び許容値は以下のグラフのようになる。

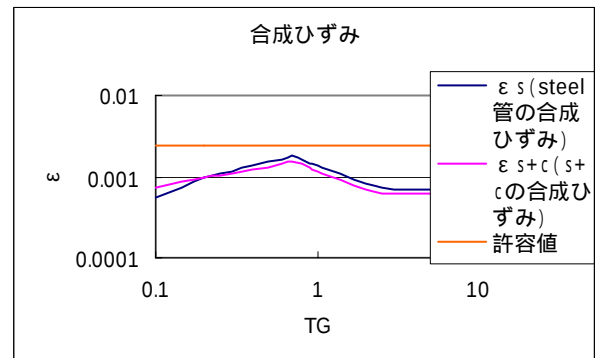


図4 合成ひずみ曲線

本研究の初期条件より許容値は $\varepsilon_{cr} = 0.24\%$ となる。その結果上図4を見ると合成ひずみが許容値を超えないという結果が得られたため、本研究のコンクリート被覆鋼管は安全であると判断できる。

4. 結論

コンクリート被覆鋼管に適用する応答変位法の定式化を行った。

水道施設耐震工法指針に基づいて耐震計算を行った結果、レベル2地震動に対してコンクリート被覆鋼管が許容ひずみ限界値を超過せず、耐震的に安全であることが確認できた。