

# 地盤沈下を受ける地中管路設計式の提案

神戸大学工学部 正会員 高田 至郎

神戸大学大学院 学生員 田邊 揮司良

1. はじめに 地盤沈下を受ける埋設管路の被害挙動を明らかにする大規模沈下実験は、管種・管径・埋設深さ・継手の有無などの種々の条件下で行われており、その結果はその実験条件を満たす管路でしか適用されていない。そこで、現行までの沈下実験データから統一的に沈下挙動を取り扱うべく設計地盤ばね定数および継手を考慮した設計式を提案する。

2. 設計式の誘導 図-1に埋設管路モデルを示す。Case-4では沈下境界部以外に継手モデルを設けていないが、これは設計式の煩雑さを避けるためである。しかし、沈下境界部の継手回転角が最大であることを考えれば、工学的に妥当なモデルと思われる。表-1、2、3に弾性床さのはり理論から誘導された最大曲げひずみ、継手回転角・伸量の設計式を示す。なお、継手伸量は管路の変形状態から算定している。

3. 沈下地盤ばね定数の推定 Case-2において、最大曲げひずみ設計式に地盤沈下量を代入し、地盤ばね定数を逐次変化させ、実験結果と一致する沈下量毎の地盤ばね定数を求めた。継手回転角にも同様の手法を用いた。その結果を図-2に示す。図より、曲げひずみから推定された地盤ばね定数(白印)は沈下量の小さい段階では非常にばらついてゐるが、沈下量が大きくなると右下がりの傾向を示す。そこで、沈下量が小さい段階では地盤ばね定数は一定として取り扱い、沈下量がある値を超えると地盤ばね定数を低下させて考えた。ここで、継手回転角から推定した地盤ばね定数(黒印)は、曲げひずみより推定した値よりも大きい。そこで、両者の地盤ばね定数は別々に取り扱っている。

また、Case-3、4の地盤ばね定数は、沈下側の地盤ばね定数を、図-2に示す曲げひずみに対する定数と等しいと仮定することで、固定側の地盤ばね定数を求めた。図-3に管路の固定側と沈下側の最大曲げひずみデータより算出された固定側の地盤ばね定数を示す。また、実線は沈下側の地盤ばね定数を示している。さらに、同様に継手回転角より算定された固定側の地盤ばね定数も求めている。これらより、固定側の地盤ばね定数

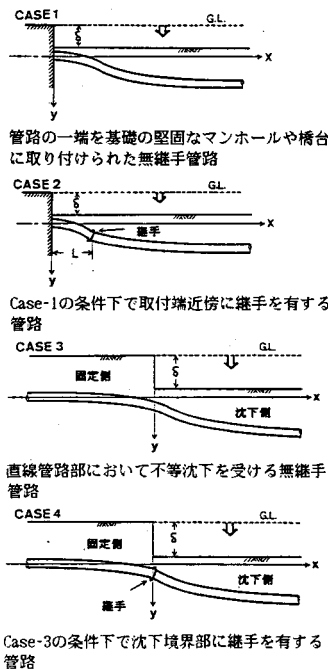


図-1 管路モデル

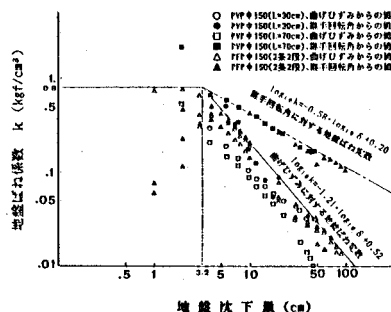


図-2 地盤沈下量と地盤ばね定数の関係 (Case-2)

Shiro TAKADA and Kishiro TANABE

は、沈下側のその約3倍と考えられる。

#### 4. 地盤ばね定数の検討 図-4に本研究で求めた地盤ばね定数を荷重—変位曲線形式表

わしている。図より、ある変位量を境として変位の増大とともに荷重が低下する傾向を示している。これは、平板載荷試験の荷重方向が地盤下向きなのに対し、沈下現象では管路が地盤を上向きに押し上げており、ある変位量を越えると地盤が破壊するためと考えられる。

5. 設計式の有効性 最大曲げひずみ、継手回転角・伸量の設計式に、本研究で求めた地盤ばね定数および地盤沈下量を代入することで、実験値と設計値を比較した。大半の結果は設計式の値が実験値を上回り安全側の評価となっている。結果の図は発表当日示す。

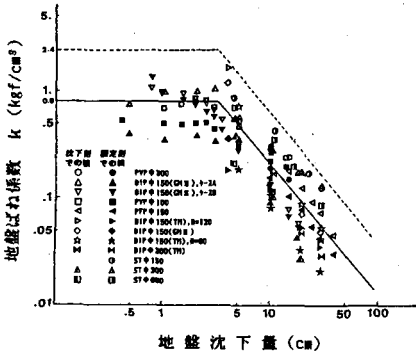


図-3 地盤沈下量と地盤ばね定数の関係(Case-3,4)

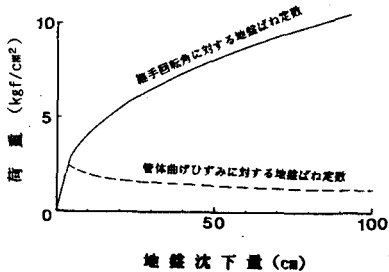


図-4 荷重—地盤沈下量関係

表-1 最大曲げひずみ算定式

| Case-1 | $\delta \beta \neq 0 \quad (x=0)$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Case-2 | $\delta \beta \neq 0 \quad \frac{e^{\beta L} (2 + \frac{EI}{K_R} \beta) + e^{-\beta L} \frac{EI}{K_R} \beta \{1 - 2 \cos \beta L (\cos \beta L - \sin \beta L)\}}{e^{\beta L} (2 + \frac{EI}{K_R} \beta) + e^{-\beta L} \frac{EI}{K_R} \beta \{1 + 2 \cos \beta L (\cos \beta L - \sin \beta L)\}}$ $(x=0)$                                                                                                                                          |
| Case-3 | 固定側<br>$\frac{\delta \beta_2 \neq 0}{1 + \lambda^2} e^{-\beta_2 x} \left( \frac{1 - \lambda}{1 + \lambda} \cos \beta_1 x - \sin \beta_1 x \right)$ $x = -\frac{1}{\beta_1} \sin^{-1} \left( \frac{\lambda}{\sqrt{1 + \lambda^2}} \right)$                                                                                                                                                                                                            |
|        | 沈下側<br>$\frac{\delta \beta_2 \neq 0}{1 + \lambda^2} e^{-\beta_2 x} \left( \frac{1 - \lambda}{1 + \lambda} \cos \beta_2 x - \sin \beta_2 x \right)$ $x = -\frac{1}{\beta_2} \sin^{-1} \left( \frac{-1}{\sqrt{1 + \lambda^2}} \right)$                                                                                                                                                                                                                 |
| Case-4 | 固定側<br>$\frac{\delta \beta_2 \neq 0 e^{-\beta_2 x} \left( (1 - \lambda^2) \cos \beta_2 x - ((1 + \lambda)^2 + \lambda \frac{2EI}{K_R} \beta_2) \sin \beta_2 x \right)}{(1 + \lambda^2) \frac{2EI}{K_R} \beta_2 (1 + \lambda)^2 (1 + \lambda^2)}$ $x = -\frac{1}{\beta_1} \sin^{-1} \left\{ \frac{\lambda \frac{EI}{K_R} \beta_2 (1 + \lambda)}{2(\lambda \frac{EI}{K_R} \beta_2)^2 + (1 + \lambda)^2 (2\lambda - \beta_2 (1 + \lambda)^2)} \right\}$ |
|        | 沈下側<br>$\frac{\delta \beta_2 \neq 0 e^{-\beta_2 x} \left( (1 - \lambda^2) \cos \beta_2 x - ((1 + \lambda)^2 + \lambda \frac{2EI}{K_R} \beta_2) \sin \beta_2 x \right)}{(1 + \lambda^2) \frac{2EI}{K_R} \beta_2 (1 + \lambda)^2 (1 + \lambda^2)}$ $x = -\frac{1}{\beta_2} \sin^{-1} \left\{ \frac{-(\frac{EI}{K_R} \beta_2 (1 + \lambda))}{2(\lambda \frac{EI}{K_R} \beta_2)^2 + (1 + \lambda)^2 (2\lambda - \beta_2 (1 + \lambda)^2)} \right\}$      |

ここに、 $\beta^2 = K/4EI$ ,  $K$ :地盤ばね係数(kgf/cm<sup>2</sup>),  $EI$ :管体剛性,  $D$ :管路外径(cm),  $L$ :継手距離(cm),  $K_R$ :継手回転特性(kgf·cm/rad),  $\lambda = \beta_2/\beta_1$ である。また、添字の1は固定側を、2は沈下側の値を表している。

表-2 継手回転角算定式

|        |                                                                                                                                                                     |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Case-2 | $\frac{2 \delta \beta^2 (\cos \beta L - \sin \beta L)}{e^{\beta L} \frac{K_R}{EI} + \beta \cosh \beta L + e^{-\beta L} \cos \beta L (\cos \beta L - \sin \beta L)}$ |
| Case-4 | $\frac{\delta (1 - \beta_2) \frac{2EI}{K_R} \beta_2^2}{(1 + \lambda^2) \frac{2EI}{K_R} \beta_2 (1 + \lambda)^2 (1 + \lambda^2)}$                                    |

表-3 継手伸量算定式

|        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Case-2 | $\Delta = \sqrt{L^2 + V_1^2} - L + \sqrt{L'^2 + (\delta - V_1)^2} - L'$ $V_1 = \delta \left\{ \frac{e^{\beta L} (\sin \beta L + \cosh \beta L) + \frac{2EI}{K_R} \beta \cosh \beta L}{e^{\beta L} + e^{-\beta L} \frac{EI}{K_R} \beta \cosh \beta L (\cos \beta L - \sin \beta L) + \frac{EI}{K_R} \beta \cosh \beta L} \right\}$ |
| Case-4 | $\Delta = \sqrt{L_1^2 + V_1^2} - L_1 + \sqrt{L_2^2 + (\delta - V_1)^2} - L_2$ $V_1 = \delta \frac{\lambda^2 \frac{2EI}{K_R} \beta_2 (1 + \lambda)^2}{(1 + \lambda^2) \frac{2EI}{K_R} \beta_2 (1 + \lambda)^2 (1 + \lambda^2)}$                                                                                                    |

$L$ :継手距離(cm),  $L'$ :第2管の長さ(cm),  $V_1$ :継手部の変位量(cm),  $L_1$ :沈下境界部から固定側第1継手までの距離(cm),  $L_2$ :沈下境界部から沈下側第1継手までの距離(cm)、ある。