

離脱防止付ダクトイル鋳鉄管の耐震性能

東京都市大学 学生会員 今井直也
同上 正会員 小池 武

1. はじめに

ダクトイル鋳鉄管は、機械式継手を持つ管体であり、代表的な継ぎ手形式として、図 1, 2 に示すように K 形と S 形がある。K 形の方が市場で使用され始めた歴史は古く、S 形は 1990 年代になって開発された新しいダクトイル鋳鉄管であり、とくに耐震性能を強化した継手であることから耐震管とも呼ばれている。

K 形は、Fig.1 に示すようにゴム輪の面圧により止水性を確保しているが引抜抵抗はそれほど期待できない。

一方、S 形は地盤変動時に順応する大きな伸縮性と可とう性を備えた耐震継手で、管挿し口がスライドし、ロックリングと挿し口突部が引掛かることにより離脱防止力が発揮される構造になっている。

近年の耐震補強対策として、既往の機械継手管路(Cast iron pipe, CIP および Ductile cast iron pipe, DCIP-K 形)から離脱防止付継手管路(DCIP-S 形)への更新という形で耐震化対策が進められている。そして、現在までのところこの離脱防止付継手管路の被害実績がないことから、実務者の間ではその耐震性能に対して多大の期待がなされている。しかし、性能規定型耐震設計を実現するためには、離脱防止付継手の破壊メカニズムを明確化してその終局限界水準を把握し、採用する耐震補強対策によりどのような耐震性能を確保できるようになるのか定量的に把握することが不可欠である。

そこで本研究では、耐震継手を有するダクトイル鋳鉄管 S 形を対象として、地震時地盤変位に対する耐震性能を検討する。

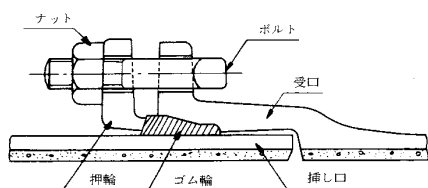


Fig.1 ダクトイル鋳鉄管 (K 形)

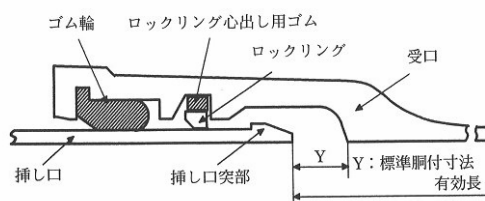


Fig.2 ダクトイル鋳鉄管 (S 形)

2. 理論解析

解析対象とする埋設パイプラインは、Table 1 に示す表層地盤内に埋設されているとし、配水管路の代表管径として 150mm
キーワード 離脱防止付継手管路 連結管体数 鋳鉄管

Table.1 パイプラインの解析条件

Item	Symbol	Unit	Amount
Typical period of ground	T_G	sec	1
Travelling velocity	V	m/sec	400
Response velocity spectrum	S_v	cm/sec	100
Diameter	D	mm	150
Height of resisting thickness	r	mm	3
Pipe length	l	m	5

の機械継手水道管路の耐震安全性を応答変位法に従って検討する。応答変位法¹⁾によれば、地盤変位振幅、地盤ひずみは次式で与えられる。

$$U_h = \frac{2}{\pi^2} S_v(T_G) \cdot T_G \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{H}\right) \quad (1)$$

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

ここで、 S_v, T_G, H, L はそれぞれ表層地盤の速度応答スペクトル、地盤の固有周期、地盤高そして水平方向伝播波長である。

(1) 限界等価管ひずみ

解析の都合上、継手管路を連続管として取り扱うため、拔出し限界変位に対応する限界等価ひずみを持つ様な管体としてモデル化する。すなわち、限界等価管ひずみを次式で定義する。

$$\varepsilon_U = \frac{\Delta_{joint}}{l_d} \quad (3)$$

ここで、 Δ_{joint}, l_d はそれぞれ継手限界変位、単管長である。

(2) 地盤変形に追従する離脱防止付継手の軸方向変形挙動

いま、地盤ひずみが正弦波として管路に作用する場合を考える。Fig.3 は正弦波の地盤ひずみが作用したときの管軸方向に沿って発生する仮想連続管のひずみ分布である。

同図において、限界等価管ひずみが地盤ひずみより大きい場合は仮想連続管は地盤ひずみにほぼ等しいひずみを生じることから、各継手ごとに地盤変位に相当する継手変位を生じることになる。一方、もし、限界等価管ひずみが地盤ひずみより小さい場合は、Fig.3 に示すように BC 区間の仮想連続管の最大ひずみは ε_U となり、それ以上の地盤変位に追従できなくなる。実際には、地盤変位が継手伸び性能を超える時、両者の変位差は隣接する継手が追加的に伸びることで補償される。継手が追加的に伸びる必要がある区間は、Fig.3 の地盤ひずみ(AC)区間と仮想連続管(BC)区間の相対変位(影線 ABC 部分)を解消できる区間でなければならない。その追加継手区間は Fig.3 の CE 区間であり、その距離は ACB 区間の伸び変位と CDE 区間の伸び変位が等しくなる条件から式(16)

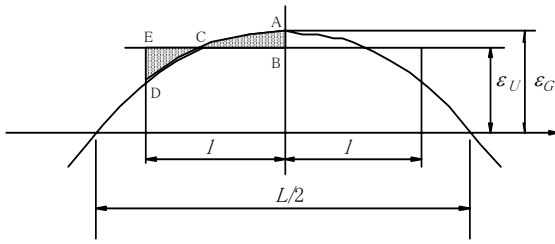


Fig.3 地盤ひずみとパイプひずみ

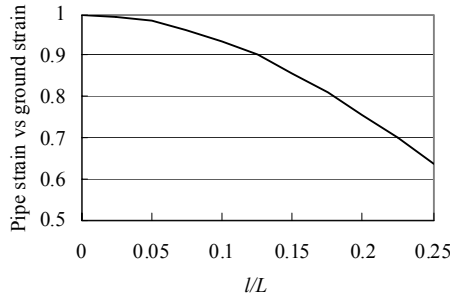


Fig.4 地盤ひずみとパイプひずみ

み比 $\varepsilon_U / \varepsilon_G$ と区間長比 l/L の関係が Fig.4 のように得られる。

$$\begin{aligned} \int_0^l \left\{ \varepsilon_G \cos \left(\frac{2\pi}{L} x \right) - \varepsilon_U \right\} dx &= 0 \\ \Rightarrow \varepsilon_G \frac{L}{2\pi} \sin \left(\frac{2\pi}{L} l \right) - \varepsilon_U \cdot l &= 0 \\ \Rightarrow \frac{L}{2\pi \cdot l} \sin \left(\frac{2\pi}{L} l \right) &= \frac{\varepsilon_U}{\varepsilon_G} \end{aligned} \quad (4)$$

(3) 複数継手の一体的挙動区間長

継手管が地盤震動に対して実効的にどの程度一体的に挙動するかは、それぞれの継手の変形のし易さに依存し、地盤変位に追従する管路群と追従できず管と地盤間ですべりを発生する部分が混在することになると推察される。

地盤変位と連結管の間の相対変位は、式(4)で得られた区間長 BE 間で吸収されねばならないが、まず B 点の継手でその変位を吸収し、それで吸収できない残りの変位を隣接する継手変位により順次吸収してゆくことになる。それぞれの継手吸収変位量はすべての継手で一定ではなく、設置時の施工誤差および使用中の荷重条件の影響を受けてそれぞれ異なる可能性があり、何個の継手で上述の相対変位をすべて吸収できるかは必ずしも予測可能ではない。

この複数継手管の一体的挙動の程度を表現するために、連結係数 ρ を導入して実効区間長 l_{eff} を次式で定義する。

$$l_{eff} \equiv l_d + \rho(l - l_d) \quad (5)$$

ここで、 l_d は単管長。

実効区間長を単管長で除すことで、一体的に運動する継手個数が次式で算定できることになる。

$$n \equiv \frac{l_{eff}}{l_d} = 1 + \rho \left(\frac{l}{l_d} - 1 \right) \quad (6)$$

ここで、 n を連結管体数と呼ぶことにする。

一般に、CIP 継手の引抜抵抗力は隣接継手に伝達されない

ことから、その連結度係数 $\rho=0$ となる。DCIP(K 形)の引抜抵抗力も DCIP(S 形)の引抜抵抗力に比較すると格段に小さい。したがって、その連結度係数は $\rho=0.01$ に設定する。一方、DCIP(S 形)については、連結管体が一体的に挙動して地盤管路間の相対変位を吸収できる継手個数から式(6)よりその連結度係数が推定できる。

(4) 連結継手個数の推定

個々の継手は不規則な変位吸収能力 Δ_R を持っているが、その範囲は $0 \leq \Delta_R \leq \Delta_{joint}$ となる。したがって、 Δ_R の確率分布は定義域が上下限を持つ Beta 分布を採用する。一方、地盤管体間相対変位は次式で算定する。

$$\Delta u_{G,eff} = l_{eff} \cdot \varepsilon_G \quad (7)$$

第 i 番目の継手の変位吸収能力を $\Delta_{R,i}$ とし、作用する地盤変位を $\Delta_{S,i}$ とすると、その変位は次式で与えられる。

$$\Delta_{S,i} = \Delta_{S,i-1} - \Delta_{R,i-1} \quad (8)$$

$$\Delta_{S,1} = \Delta u_{G,eff}$$

第 i 番目迄の全継手で地盤管体間相対変位を吸収できる場合分けは以下の決定樹で分類できる。

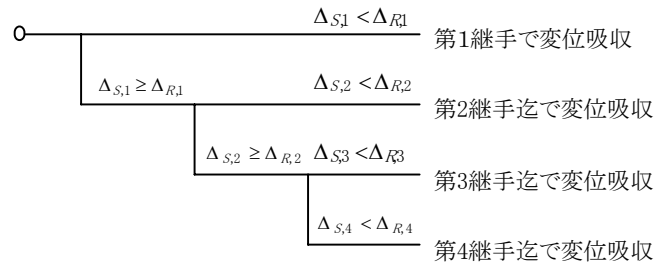


Fig.5 連結挙動継手数の分類用決定樹

したがって、期待連結個数は次式で算定できる。

$$E(n) = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} i \cdot p_i}{\sum_{i=1}^{\infty} p_i} \quad (9)$$

ただし、

$$\begin{aligned} p_1 &= P[\Delta_{S,1} < \Delta_{R,1}] \\ p_2 &= P[\Delta_{S,2} < \Delta_{R,2}] \cdot (1 - p_1) \\ p_3 &= P[\Delta_{S,3} < \Delta_{R,3}] \cdot (1 - p_1) \cdot (1 - p_2) \end{aligned} \quad (10)$$

3. 結論

離脱防止付ダクトイル鋳鉄管 (S 形 DCIP) の耐震性能を理論的に検討する手法を展開した。地盤・管間の相対変位を吸収するために、複数継手管が一体的に挙動する個数、作用区間の算定式を誘導した。

参考文献

- 1) 日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説，1997 年版，日本水道協会，1997。