

離脱防止付ダクタイトイル鑄鉄管の耐震性能評価

東京都市大学 正会員 今井俊雄  
 京都大学 正会員 小池 武

1. はじめに

ダクタイトイル鑄鉄管は、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に示すように旧型と新型がある。旧型は、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、新型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、既往の旧型から離脱防止付継手管路(新型)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タイトイル鑄鉄管を対象として、地震時地盤変位に対する耐震性能を検討する。

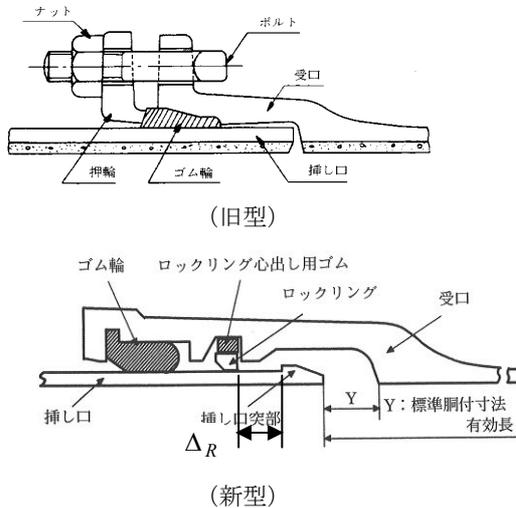


Fig.1 ダクタイトイル鑄鉄管

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。

(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、抜キーワード 離脱防止付継手管路 連結管体数 鑄鉄管 連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1, Tel:03-5707-0104

Table 1 パイプラインの解析条件

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

出し限界変位に対応する限界等価管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。

$$\epsilon_U = \frac{\Delta_{joint}}{l_d} \tag{1}$$

ここで、 $\Delta_{joint}$ ,  $l_d$  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、地盤ひずみが波長  $L$  の正弦波として管路に作用する場合を考える。Fig.2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.2に示すようにBC区間の仮想連続管の最大ひずみは $\epsilon_U$ 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.2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.2のCE区間である。しかし、CE区間の継手は周辺土に拘束され伸び変形は必ずしも容易ではない。

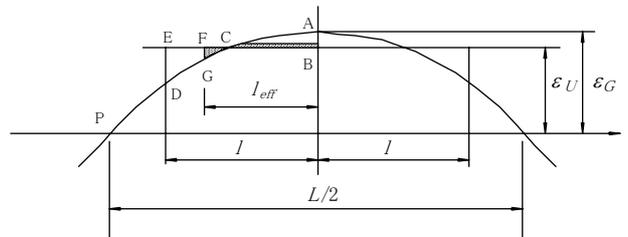


Fig.2 地盤ひずみとパイプひずみ

(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

位に追随する管路群と追随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。

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 $\rho$ を導入して実効区間長 $l_{eff}$ を次式で定義する。

$$l_{eff} \equiv l_d + \rho(l - l_d) \tag{2}$$

ここで、 $l_d$ は単管長。

実効区間長を用いると、四分の一波長における地盤・継手管路相対変位 $\Delta$ は継手変位とすべりにより吸収されることから、次式の関係を得る。

$$\Delta = l_{eff} \varepsilon_G + (1 - q_{eff} \alpha_0) U_h \tag{3}$$

ここで、 $\varepsilon_G, U_h, \alpha_0, q_{eff}$ はそれぞれ地盤最大ひずみ、地盤変位、ひずみ変換係数、実効区間長のすべり係数。

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。

$$n \equiv \frac{l_{eff}}{l_d} = 1 + \rho \left( \frac{l}{l_d} - 1 \right) \tag{4}$$

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(旧型)の引抜抵抗力も DCIP(新型)の引抜抵抗力と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(新型)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(4)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 $\Delta_R$ (Fig.1の変位量 $\Delta_R$ )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、 $\Delta_R$ の確率分布は定義域が上下限を持つ Beta 分布を採用する。まず、四分の一波長内の継手群に作用する地盤変位を次式で算定する。

$$\Delta u_{G,eff} = l_{eff} \cdot \varepsilon_G \tag{5}$$

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。

$$\Delta_{S,i} = \Delta_{S,i-1} - \Delta_{R,i-1} \tag{6}$$

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

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。したがって、期待連結個数は次式で算定できる。

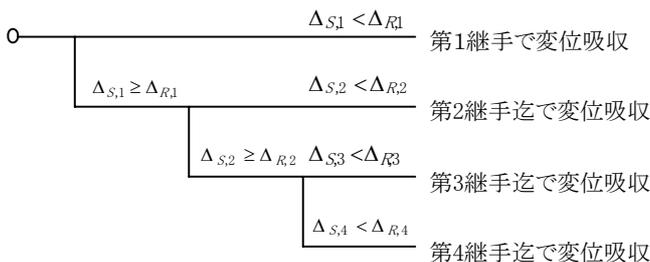


Fig.3 連結挙動継手数の分類用決定樹

$$E(n) = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} i \cdot p_i}{\sum_{i=1}^{\infty} p_i} \tag{7}$$

ただし、

$$\begin{aligned} p_1 &= P[\Delta_{S,1} < \Delta_{R,1}] \\ p_2 &= P[\Delta_{S,2} < \Delta_{R,2}] \cdot (1 - p_1) \\ p_3 &= P[\Delta_{S,3} < \Delta_{R,3}] \cdot (1 - p_1) \cdot (1 - p_2) \end{aligned} \tag{8}$$

各継手の変位吸収能力 $\Delta_R$ が継手限界変位を上限値、下限値ゼロのランダム変数であることから、Fig.4に示すさまざまな Beta 分布 ( $p, q$ は Beta 分布の形状パラメータ) に対するモンテカルロシミュレーションを行うことで、継手個数の平均値を算定した結果を得る。それを Fig.5に示す。

Fig.5によると、初期相対変位が小さい(継手が抜けやすい状態、 $p/q$ が小さい)範囲では継手個数 $n$ の期待値は約2個であり、逆に初期相対変位が大きい(継手が抜けにくい状態、 $p/q$ が大きい)範囲では継手個数期待値が1個程度に変化することがわかる。 $n$ が算定できると連結度係数は式(4)より逆算でき、結果的に実効区間長も式(2)から算定できる。

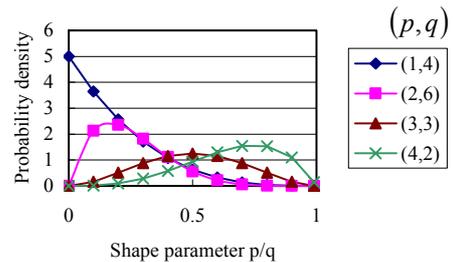


Fig.4 継手初期相対変位の Beta 分布

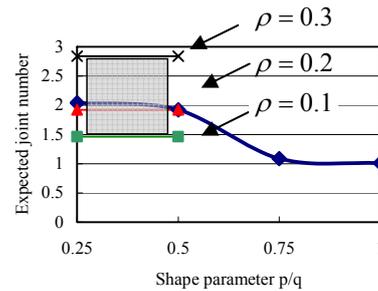


Fig.5 初期継手変位分布に対する連結継手個数の期待値

3. 結論

離脱防止付ダクトイル鋳鉄管(新型)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。