

(61) 地震時の埋設ダクタイル管路と地盤ひずみの挙動観測

久保田鉄工㈱ 正員 ○岩 本 利 行
 同上 正員 山 村 佳 裕
 同上 正員 北 条 貞 宗

1. はじめに

埋設管路の耐震研究の1つとして、著者らは実際に使用されている管路や地盤ひずみ等の地震時挙動観測を八戸、青森市内等でおこなっている。本報告は地震時のダクタイル管路の直線部の継手伸縮、管体ひずみの挙動と管路、トンネル、タンク等の地中構造物の挙動を支配すると考えられている地盤ひずみについて分析した結果を述べたものである。

2. 地震観測所、地盤の概要及び記録

本報告では、八戸市内で実施している幹線、下長観測所で得られた記録についての分析結果を示す。両観測所では、地震計、地盤内の相対変位を直接に測定する地盤ひずみ計、継手部伸縮計、管体ひずみ計等を設置しており、測定点数は幹線では53点、下長では42点で、無停電装置を備えている。センサーの配置等の詳細内容は紙面の都合上、割愛するので文献^{1, 2)}を参照されたい。

観測対象管路は図1に示すS形ダクタイル管であり、この管路は継手部が引張、圧縮、曲げなどに対して自由に動くことができ、かつロックリングによる離脱防止性能をもつものである。口径は幹線では1,500mm、下長では1,000mmであり、管長は両観測所とも6m(定尺)である。

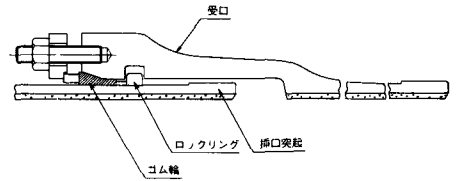


図1 S形ダクタイル管

幹線、下長での土質柱状、PS検層値を図2, 3に示す。これより、幹線の土質は砂質ローム層であり、地表から20m付近にこの地点の支持層(基盤)と考えられる砂岩層がある。なお、当地点は成層構造の地盤である。¹⁾

下長の土質は腐植土層、軟質の砂層及びシルト層からなり、基盤深さが約40mの典型的な成層構造の軟弱地盤帯である。いま、 $T = 4H/V_s$ で卓越周期を求めると、幹線では0.43秒、下長では1.31秒となり、強震記録の実測値^{1, 2)}とほぼ一致する。

分析対象記録は昭和50年5月の観測開始以来の約10年間の記録で、管路の挙動が明確に得られているものを対象とした。幹線では61個、下長では21個であった。

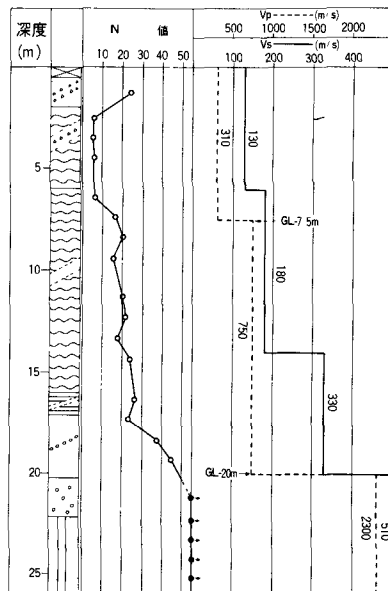


図2 土質、PS検層(幹線)

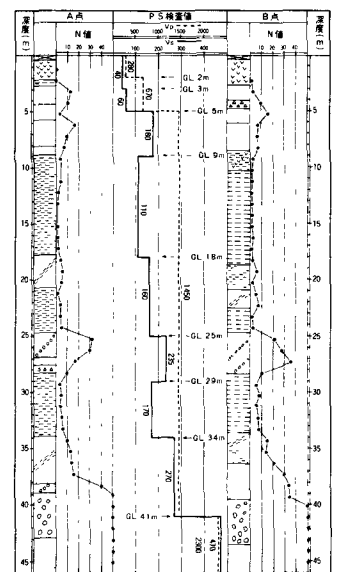


図3 土質、PS検層(下長)

3. 管路の挙動について

図4に観測開始以来、最大の地震であった1978年宮城県沖地震（八戸震度IV）の幹線、下長での記録波形を示す。なお、当記録の管軸方向の最大地盤加速度は幹線で138gal、下長では125galであった。図5に地盤ひずみと管体ひずみ及び継手伸縮量の関係を見るために、上記の記録波形で、同一時刻に読み取った各々の値を示す。また、図中の $e = \epsilon \cdot \ell$ の線は地盤ひずみ(ϵ)を全て継手の伸縮(e)で逃がすとした場合の関係を示す。 ℓ は管長である。図6に幹線での上記地震の地盤ひずみ(ϵ)と継手伸縮量(e)をひずみに換算した値($\epsilon_j = e/\ell$)と管体ひずみ(ϵ_p)を加算した値($\epsilon_j + \epsilon_p$)の関係を示す。



図4-1 記録波形(幹線観測所、A点、宮城県沖地震、昭和53年6月12日)

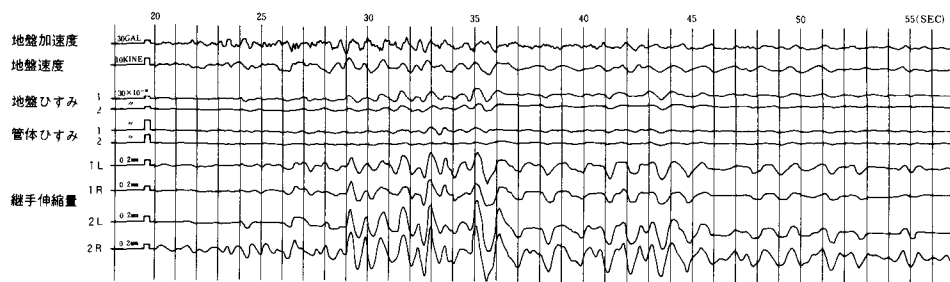


図4-2 記録波形(下長観測所、A点、宮城県沖地震、昭和53年6月12日)

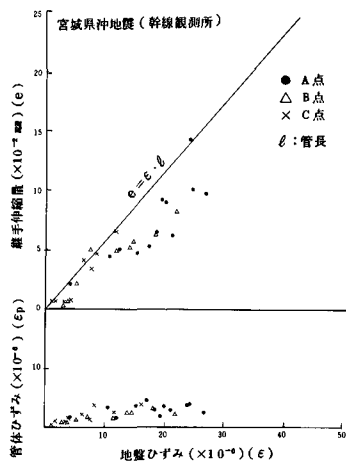


図5-1 地盤ひずみと管体ひずみ、継手伸縮量の関係(幹線)

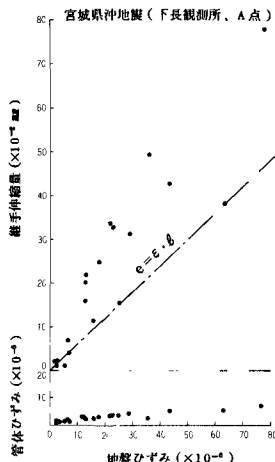


図5-2 地盤ひずみと管体ひずみ、継手伸縮量の関係(下長)

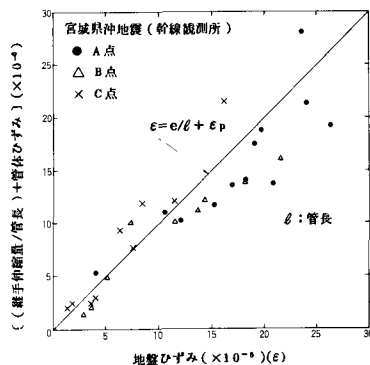


図6 地盤ひずみと管体ひずみ、継手伸縮量の関係(幹線)

上記の図から次のことがわかる。

- (1) 地盤ひずみ、管体ひずみ、継手伸縮の波形が同一位相で挙動していることより、明らかに、管路は地盤ひずみにより力を受けている。
- (2) 地盤ひずみと(ε)と継手伸縮量(e)、管体ひずみ(ε_p)は次の関係にあるものと推察される。

$$\varepsilon = \varepsilon_j + \varepsilon_p = e/l + \varepsilon_p \quad (1)$$

下長において、上記の関係がみられなかったのは、地表面付近の地盤が非常に軟弱であるため、地盤ひずみ計が地盤の動きに、完全に追従しきれなかったためと思われる。このことより、下長における地盤ひずみ値を求める場合は、継手伸縮、管体ひずみの実測値を用いて、(1)式から求めるのがよいと考える。

- (3) 地盤ひずみが大きくなると、継手伸縮量は比例して大きくなる。地震時に発生する管体ひずみは継手伸縮量の値に比べて、非常に小さい。剛性が地盤に比べて非常に高く、管長が6 m前後のダクトイル管路の地震時の継手伸縮量の計算は(1)式でε_p ≪ e/lを考慮して、(2)式でおこなえばよいと考える。ここで、eは継手伸縮量、εは地盤ひずみ、lは管長である。

$$e = \varepsilon \cdot l \quad (2)$$

- (4) 一方、管体ひずみは地盤ひずみが大きくなっても、ある一定値以上には大きくなる。幹線では4 × 10⁻⁶、下長では6 × 10⁻⁶前後である。応力(σ = ε_p · E, E = 1.6 × 10⁸ kgf/cm²)に換算すると、各々、6.4 kgf/cm²、9.6 kgf/cm²とダクトイル管の引張強度(4,200 kgf/cm²以上)に比べて非常に小さい。

管体ひずみが一定値であることは、地盤と管体とがすべっていることを示すものと思われ、以下にその検討結果を示す。

幹線、下長の管路の埋戻しは図7に示すように、山砂によっておこなわれている。いま、例えば、図8に示す状況ですべりが発生したとすると、管体に発生するひずみは(3)式で表現される。

$$\varepsilon_p = \frac{\pi \cdot D \cdot f \cdot l}{2 A_0 \cdot E} \quad (3)$$

ここで、Dは管の外径、A₀は管の実断面積、Eは管体のヤング率、lは管長、fは地盤と管体の単位面積当りの摩擦力である。(3)式を用いて、fを求めると、幹線ではf = 0.038 kgf/cm²、下長ではf = 0.041 kgf/cm²となる。いま、fを土のせん断強度で表現できるとすると、(4)式で表わされる。

$$\begin{aligned} f &= C + K \cdot \sigma_v \cdot \tan \phi \\ \sigma_v &= \gamma \cdot h \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、Cは粘着力、Kは静止土圧係数、σ_vは鉛直有効応力、φは内部摩擦角、γは土の単位体積重量、hは地表面から管中心までの深さである。幹線、下長とも砂で埋戻しているので、C = 0、φ = 35°とし、かつ、γ = 1.7 × 10⁻³ kgf/cm³、K = 0.3としてfを求めると、幹線(h = 2.25 m)ではf = 0.080 kgf/cm²、下長(h = 2.0 m)ではf = 0.071 kgf/cm²となる。(3)式で求めた値に比べて、(4)式による値は、幹線では2.1倍、下長では1.7倍大きい。管長が6 m前後のダクトイル管路の地震時の管体応力(σ = ε_p · E)を計算する場合、(3)式を用い、fは(4)式の土のせん断強度で与えておけばよいと考える。

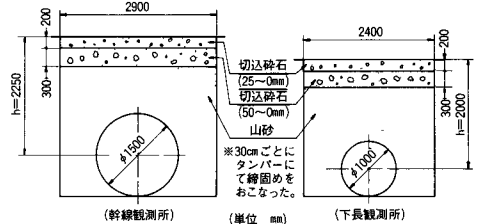


図7 管路の埋戻し状況

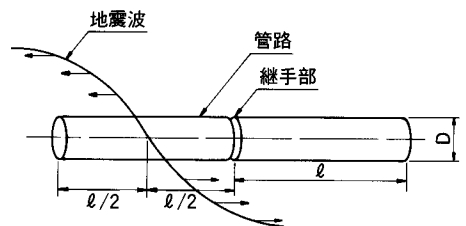


図8 地盤と管路のすべり状況モデル(例)

4. 地盤ひずみについて

図9に幹線、下長における最大地盤速度(v)と最大地盤ひずみ(ε)の関係を示す。最大地盤速度が1 cm/sec以上の回帰式及びその相関係数(r)は(5)式となる。

$$\begin{aligned} \text{幹線} \quad \epsilon &= 5.24 v^{1.00} (\times 10^{-6}) \quad (r=0.930) \\ \text{下長} \quad \epsilon &= 6.80 v^{1.35} (\times 10^{-6}) \quad (r=0.945) \end{aligned} \quad (5)$$

なお、上記の記録の一部についてはすでに、中村、片山、久保³⁾によって報告されている。

別途、分析をおこなった下長での1978年宮城県沖地震等の記録波形の分析結果によれば、地盤ひずみは400 m前後の深い層まで考慮したレイリー波(含む高次モード)によるものであるとの結果を得ている。^{2, 4)}

いま、両観測所の地盤ひずみは(6)式の地震波の伝播によって発生するとして、地震波の伝播速度(V)を求めると、幹線ではV=1908 m/s、下長ではV=924 m/sとなる。分析対象記録は最大地盤速度が1 cm/sec以上のものとした。

$$\epsilon = v / V \quad (6)$$

図10に幹線での深部まで推定した地盤モデルを示す。下長については紙面の都合上、割愛するので文献²⁾を参照されたい。当モデルによるレイリー波、ラブ波の位相速度の理論分散曲線(基本モード)を図11に示す。また、図中に、卓越周期での上記の地震波の伝播速度をプロットで示す。この図より、(6)式によって求めた伝播速度は幹線、下長ともレイリー波の伝播速度に近いことがわかる。

以上のことより、かなり大胆ではあるが、幹線、下長観測所の地盤ひずみは400 m前後の深部の地盤まで考慮したレイリー波の伝播速度によって発生しているものと推定される。

5. おわりに

以上、埋設ダクタイル管路と地盤ひずみの地震時挙動観測記録の分析結果を述べた。今後、当観測所で震度IV以上の記録の集積を図るとともに、青森市内等の他の観測所での記録の分析をおこなってゆきたい。

当地震観測は八戸市水道部殿の御協力のもとにおこなっており、紙面を借りて深く謝意を表する次第である。

参考文献

- (1) 小軽米、北条、岩本：第5回日本地震工学シンポジウム、1978年11月。
- (2) 岩本、若井、山路：第6回日本地震工学シンポジウム、1982年12月。
- (3) 中村、片山、久保：土木学会論文報告集、第320号、1982年4月。
- (4) 岩本、若井、山路：第17回地震工学研究発表会、1983年7月。

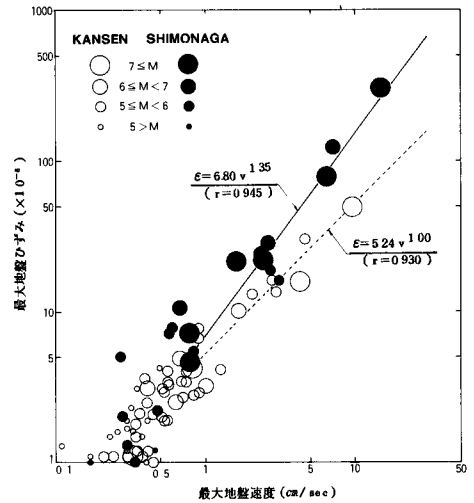


図9 最大地盤速度と最大地盤ひずみの関係(幹線、下長)

V _p (m/sec)	V _s (m/sec)	ρ (gf/cm ³)	H (m)	深度 (m)
310	130	14	6	0
310	180	14	1.5	6
750	180	18	6.5	7.5
750	330	19	6	14
2300	510	21	6	20
3000	1300	21	174	26
5000	2800	26	∞	200

図10 地盤モデル(幹線)

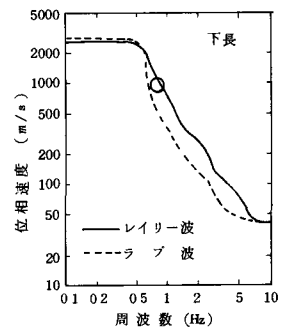
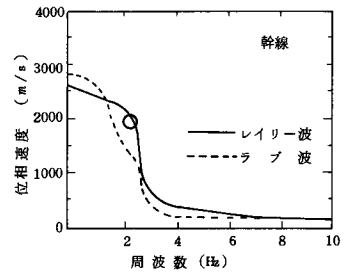


図11 レイリー波、ラブ波の理論分散曲線(幹線、下長)