

地中埋設管モデルの振動実験

東京大学生産技術研究所 田村 重四郎
東京瓦斯(株)総合研究所 西尾 宣明
〃 〃 〃 塚本 克良

1. ま え が き

地中埋設管の地震時被害は過去の震害調査によると、地質・地層の変化が顕著である地域に発生するが、地震時の挙動についてはまだ解明されていない点が多い。従って、筆者等は基盤が傾斜部をもち、表層地盤の厚が変化している山のふもとと下町の境界地域の地盤に埋設管が建設されている場合を想定して、地盤にゼラチン・ゲル、埋設管には硬質ゴム材料を用い、埋設管を含む表層地盤の3次元モデルを作製し、振動台による加振実験を行なったのでその結果について述べる。

2. 実験概要

2-1 埋設管と地盤のモデル化 モデルの材料としては埋設管に天然ゴム、地盤には透明度が非常に良いゼラチン・ゲルを用いた。ゼラチン・ゲルのポアソン比は0.499であり、実際の地盤より多少大きいが簡略化のため地盤と同値であると想定した。又、減衰定数は0.7~1.0%である。表-1に定めた相似則を示す。埋設管は200φ、750φの鋼管を対象とし、パイプを中実棒にして相似則を適用しモデルでは5φ、10φの丸棒ゴムを使用した。硬度は60度であり、伸び率50%、動的弾性係数97.6(kg/cm^2)である。地盤は代表的沖積地盤を想定し、せん断波伝播速度 $V_s = 100$ (%/s)、単体重量 $\gamma = 1.8$ (t/m^3)の地盤を対象とし、相似則を考慮してモデルではゼラチン濃度8.0%動的弾性係数0.20(kg/cm^2)とした。

次に製作したモデルの1例を図-1に示す。基盤傾斜部の勾配は左側で25%、右側で50%である。便宜上表層地盤の部分にセクションA(厚10cm)、B(25%傾斜部)、C(厚15cm)、D(50%傾斜部)、E(厚5cm)に分けることにする。埋設管と地盤の応変変位を写真解析するために夫々にマーカーを設置している。

2-2 実験方法 実験は次のように行なった。(1) 1~15 Hzの強制定常振動実験(正弦波)、(2) El Centro 地震(1940NS)入力振動実験、加振方向は水平方向で埋設管管軸方向と管軸直角方向の場合とについて行なった。測定は(1)のときに写真撮影と16mm映画撮影、(2)のときに16mm映画撮影を行ない、更に(1)、(2)のいずれの場合にも埋設管のひずみ測定と

表-1 相似則

記号	相似則	モデル
長さ L	$L_m/L_p = \frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{100}$
時間 T	$T_m/T_p = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{E_p}{E_m} \cdot \frac{\rho_m}{\rho_p}}$	0.389
加速度 α	$\alpha_m/\alpha_p = \lambda \cdot \frac{E_m}{E_p} \cdot \frac{\rho_p}{\rho_m}$	0.066
ひずみ ϵ	ϵ_m/ϵ_p	1.000
ヤング率 E	E_m/E_p	$\frac{1}{2,500}$
質量 ρ	ρ_m/ρ_p	0.606

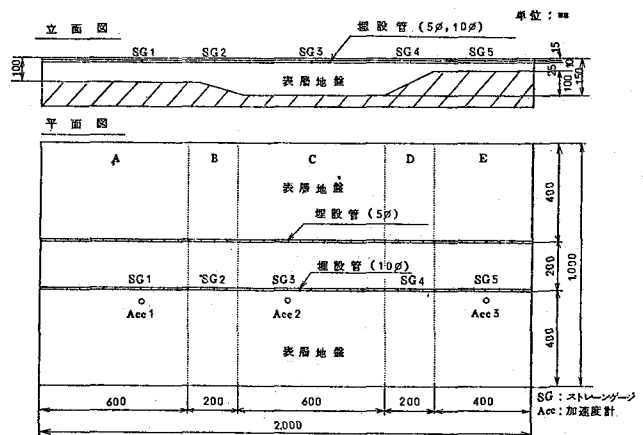


図-1 E_x-座3モデル

地盤の加速度測定を行なっている。

3. 実験結果及び考察

3-1. 強制定常振動実験 周波数を1~15 Hzで連続的に変え、加速度制御と変位制御の場合について実験を行なった。写真1, 2はそれぞれ静止状態と定常振動時の場合の写真である。

解析用写真を拡大焼付しそれぞれのマーカーの変位振巾を読みとりグラフ化したものを図-2~図-4に示す。

(1). 管軸方向加振の場合 図-2はセクションCの地盤の固有振動数で加振したときの応答変位である。埋設管の管軸方向の剛性の影響は周辺近傍地盤において大きく、管体より1cm離れた地盤ではその影響はなくなっている。従って、Cでは管体から1cm離れた地盤で最大応答変位となり、次に1cm離れた近傍地盤、そして埋設管の順に小さくなっている。B, D付近では地盤と埋設管の応答変位は同程度となり、Eでは応答変位の大きさは埋設管が最も大きく、次に1cm離れた地盤、1cm離れた地盤という順に小さくなっている。ここでCとEでは応答変位の順が逆転していることに注意されたい。

図-3も同様のケースであるが、この場合は管体から5cm離れた地盤と埋設管5φと埋設管10φとの変位の関係のグラフである。応答変位の大きさはCにおいては地盤が最大となり、埋設管5φ埋設管10φの順に小さくなっているが、A, Eでは埋設管10φが最も大きい値を取り、地盤及び埋設管5φは同程度の変位になっている。

埋設管の管軸方向の剛性の影響は口径の大である10φが顕著であり、5φは比較的、地盤に近い変位で応答している。

(2). 管軸直角方向加振の場合 図-4はセクションCの地盤の固有振動数で加振した場合の応答変位のグラフである。管軸直角方向に加振した場合には地盤と埋設管10φの応答変位は殆んど同じであるが、埋設管の方がわずかに小さくなっている。この場合、埋設管は弦の振動によく似た挙動をしCの中央部付近で最大値を取り、B, Dの外

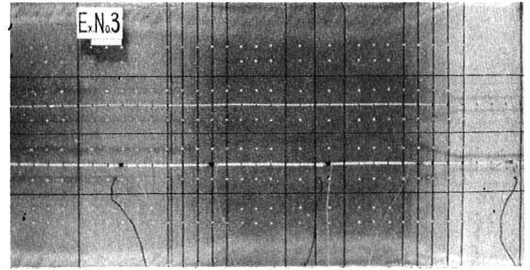


写真-1 静止状態 (モデルNo.3)
埋設管 5φ, 10φ
直計 5, 加速度計 3

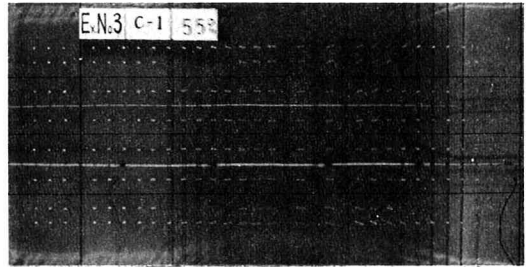


写真-2 地盤固有振動状態 層厚 1.5 cm部

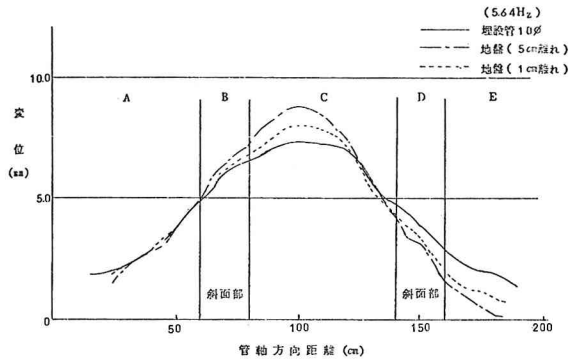


図-2 管軸方向加振時の場合の埋設管と地盤の応答変位

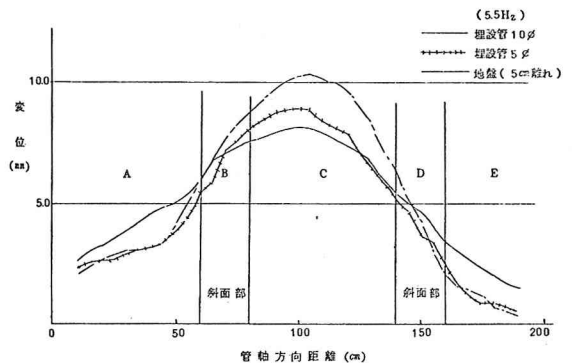


図-3 管軸方向加振時の場合の埋設管と地盤の応答変位

側で殆んど0になっており、あたかもA、Eにおいて固定されているように応答している。

3-2 地盤加速度と埋設管のひずみ

図-1で示した位置で地盤加速度と埋設管の軸方向ひずみを測定したので結果について述べる。

ストレインゲージのベース材料の弾性係数は埋設管モデル材料の弾性係数に比して大きいため測定値は埋設管の真のひずみを表わしてはいないが、応答の波形並びにひずみ発生傾向はそれぞれの振動状態に対し、各々の測定位置におけるひずみを比較することにより知ることができる。以下このような見地から検討を加える。

図-5、図-6は地盤厚の異なるC、Aのそれぞれの固有振動数で加振した場合の応答波形である。図-5では地盤加速度はAcc2(C)で最大であるが、管体ひずみはSG1(A)で最大となり、SG2(B)、SG4(D)で大きい値となっている。

ここで注意すべき点はCでは地盤加速度が最大であるが、SG3(C)の管体ひずみは小さいという事である。

図-6では地盤加速度はAcc1(A)で最大であり管体ひずみはSG1(A)で最大となり、次にSG2(B)が大きい値となっている。

図-7に地盤加速度と管体ひずみの大きさを表わしたグラフを示す。(a)、(b)はそれぞれC、Aの固有振動数近くで加振した場合の応答値であるがいずれの場合も管体ひずみで大きい値がでているのは傾斜部或いはその近傍であることが分かる。

3-3 El Centro地震入力振動実験

El Centro地震波を管軸方向に基盤から入力(最大加速度: $50g_{al}$, 時間: 4倍早送り)したときの地盤加速度と埋設管のひずみの応答波形を図-8に示す。地盤加速度はAcc2(C)で最大値をとり、厚順にAcc1(A)、Acc3(E)と小さい応答値になり、それぞれの厚の地盤の固有振動数が応答波形に影響を及ぼしていることが分かる。管体の管軸方向ひずみの波形は地盤加速度波形に表われている長い周期の成分に反応していることが分かる。管体ひずみの最大値はSG2(B)で生じている。他にSG4(D)、SG1(A)、SG5(E)では大き

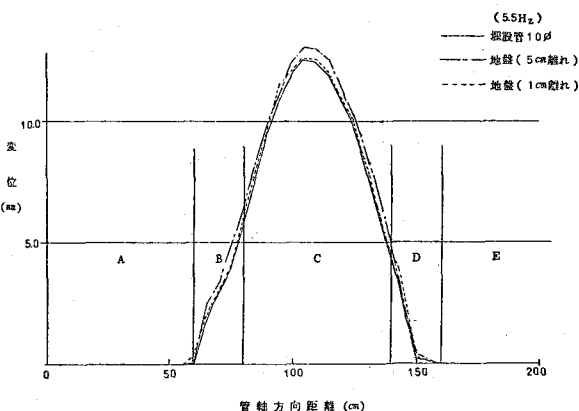


図-4 管軸直角方向加振時の場合の埋設管と地盤の応答変位

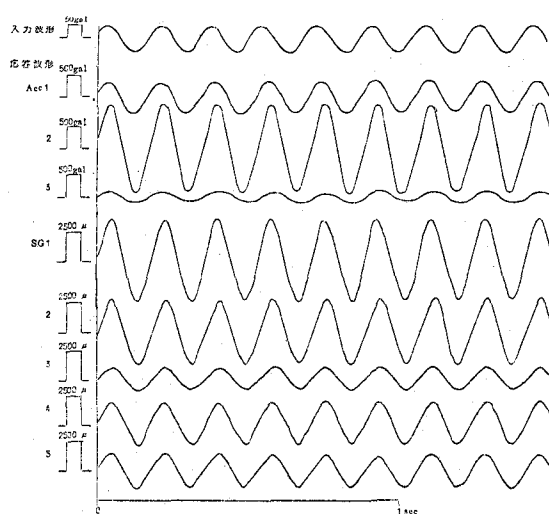


図-5 強制定常振動応答波形 5.5 Hz

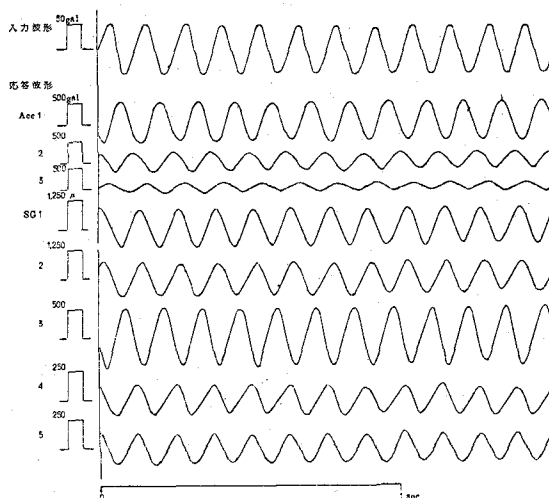


図-6 強制定常振動応答波形 7.8 Hz

ひずみが発生するが、厚さが最も厚いCのSGは加速度が最大であるにもかかわらずひずみが小さいことが注目される。

4. ま と め

以上の実験結果及び考察より次のことが分かったので報告する。

- (1). 地震時埋設管に発生する管軸方向ひずみの大きさは地盤構造条件によって変わるので、地盤の変位の大きさと埋設管に発生するひずみの大きさは必ずしも比例しない。
- (2). 地震時埋設管に発生する管軸方向ひずみは基礎の傾斜部及びその近傍において大きく、特に傾斜が緩やかな場合は斜面上部の表層地盤の厚さが小さい側に、傾斜が急な場合には厚さが大きい側に最大ひずみが発生する。
- (3). 地震時に埋設管に生じる曲げ応力も基礎の傾斜部付近で大きくなり、特に斜面上部の表層地盤の厚さが小さい側で最大となる。
- (4). 斜面部及びその近傍については、地震時に表層地盤の厚さの大きい方が斜面部の挙動に及ぼす影響は大きく、その挙動により埋設管にひずみが発生する。
- (5). 傾斜部をもつ表層地盤中に埋設管を建設する場合には地震時に発生する管軸方向ひずみを吸収できるようにするのが良い。

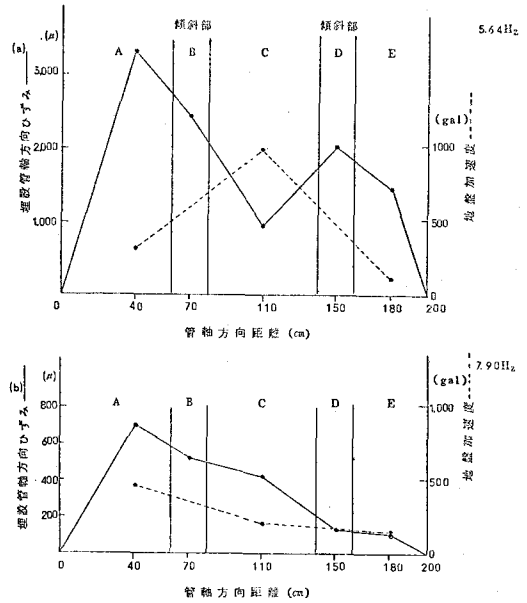


図-7 地震加速度と管体ひずみ

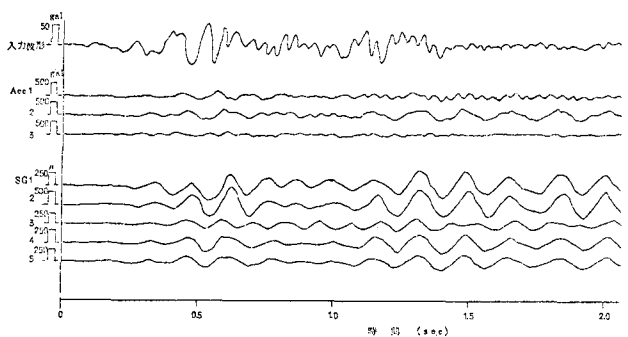


図-8 El Centro 地震応答波形
Acc: 地震加速度 SG: 管体ひずみ

5. あ と が き

本実験により地盤構造の面からみた埋設管の地震時挙動の特性を把握することができた。

今後、この実験の結果と実際の埋設管の地震時挙動の観測結果とを総合して埋設管を建設する場合の耐震設計資料を得る考えである。

(参考文献)

- (1). 田村重四郎、他「地埋トンネルの模型振動実験」第11回地震工学研究発表会 '71.
- (2). 久保慶三郎、他「地下埋設管震害の定量的解析」第4回日本地震工学シンポジウム '75
- (3). 栗林栄一、他「ゼラチン等地盤模型振動実験材料の弾性特性」第12回地震工学研究発表会 '72
- (4). 榎井彰雄、高橋忠 Dynamic Stresses of Underground Pipe Lines During EQKE, Proc. of 4th WCEE '69
- (5). 西尾宣明、塚本克良、他「地震時における埋設管の挙動に関する調査実験」東京瓦斯(株) 総研資料 '73