

地震時の埋設管路挙動把握のための振動実験について

又保田鉄工株式会社 宮本宏 ○北條貞宗 古庄健次

1. まえがき

地震時に埋設管路がどう挙動するかを検討するため、新しく考案した振動実験装置で振動実験し、直線管路の場合の管体応力、継手伸縮量等を求めた。以下実験結果を報告する。

2. 振動実験装置

今回考案した振動実験装置は、図-1のように、小さな振動台を多数並べた構造であり、各々の振動台を独立に往復運動させるようになっている。各振動台の往復運動周期、振幅を同じにして、位相のみをずらして、正弦波の継波が伝わるようにし、振動台間の相対変位を作るようにした。この振動台に土を乗せることにより、土は往復運動と圧縮、膨張、剪断作用を受け、実際の地震時の地盤に近似した動きが再現できる。この人工地震地盤の中に管を埋設し、土被りに相当する土圧を加え、管路の挙動を計測しようとするものである。

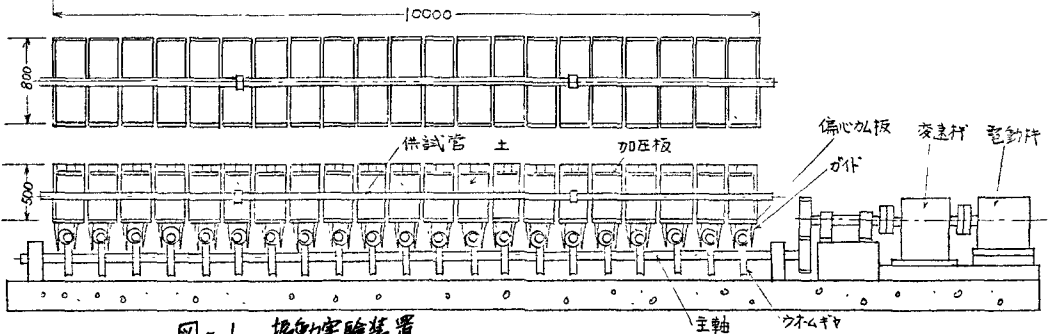


図-1 振動実験装置

振動実験装置の諸元

○振動条件

波の方向 装置長手方向に正弦疎密波
 波長 0~100 m
 加速度 0~400 gal
 周期 0~1.2 sec
 振幅 0~±76 mm

○地盤

大きさ 0.5 m × 0.8 m × 10 m
 土質 砂、粘土等任意
 発生歪 0~±4500 × 10⁻⁶
 土圧 0~0.4 kg/cm²

○供試管 50φ~100φ 長さ10m 迄

3. 振動実験調査項目

この振動実験装置を用いて次のような項目を実験で求めることにした。

- (1) 直線管路の管体応力、継手伸縮量：管長、土圧、土歪、加速度、周期、フランジの有無、土質の違い等との関係
- (2) 曲管、立上り、分岐部等の応力集中度
- (3) 管と土との静的、動的摩擦抵抗

4. 実験

(1) 実験-I 地震動が波長100mの疎密波と仮定した場合の振動実験

供試管: 0.6t x 50φ鋼管, 波長: 100m, 振幅: ±76mm, 周期: 1.0 sec

土の発生歪: ±4500×10⁻⁶, 土質: 山砂, フランジ: 無し

表-1 実験-Iの条件

実験No.	管長l (m)	加速度 (gal)	土圧 (kg/cm ²)
I-1	2.0	300	0.09
-2			0.18
-3		220	0.09
-4			0.18
-5	6.7	300	0.09
-6			0.18
-7		220	0.09
-8			0.18

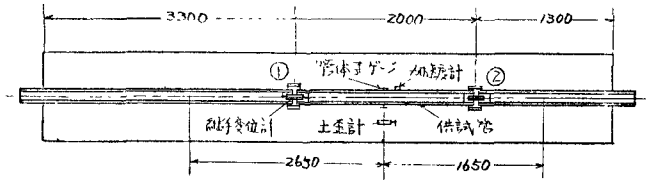


図-2 実験-Iの試験方法(管長2mの場合)

(2) 実験-II 同じく波長18mでの振動実験

実験-Iと異なる条件は、波長: 18m, 振幅: ±5mm, 加速度: 20 gal, 土の発生歪: ±1700×10⁻⁶

実験No.	管長l (m)	土圧 (kg/cm ²)
II-1	2.0	0.18
-2		0.27
-3		0.36
-4	3.9	0.18
-5		0.27
-6		0.36
-7	10.0	0.18
-8		0.27
-9		0.36

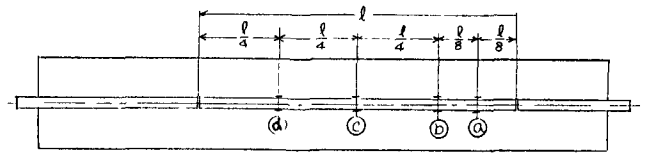


図-3 実験-IIの歪ゲージ位置

(3) 実験-III 管と砂との摩擦抵抗

実験-Iに用いた砂に供試管を油圧ジャッキで押し込み、管と砂との静的摩擦抵抗を測定した。

5. 実験結果

(1) 実験-I 代表的な実測波形を図-4, 5, 6, 7に示す。最大値を示すと図-8を得た。



図-4 実験 I-6の管体加速度

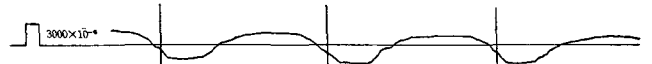


図-5 実験 I-6の土歪

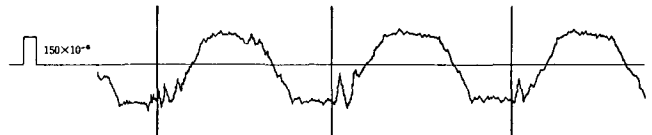


図-6 実験 I-6の管体歪

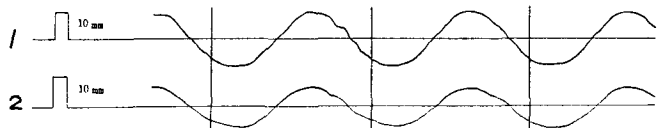


図-7 実験 I-6の継手伸縮量

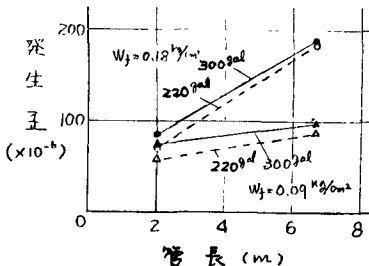


図-8 管体発生歪(実験-I)

これらから次のようなことが判った。

- a) 管体加速度は、ほぼ設定加速度が得られた。
- b) 土歪は、圧縮、引張りが交互にくり返された。
- c) 継手伸縮量の波形は互いに正弦波を示し、最大値は管長にほぼ比例した。

(2) 実験-II

代表的な突測波形を図-9に示す。
最大歪の軸方向分布を示すと図-10を得た。これらから次のようなことが判った。

- a) 管体歪の波形は、中央部で互いに正弦波を示しているが、端に行くほど波形のくずれがひどくなっている。即ち土は管の中央付近を境いに、左右に延びていると言える。
- b) 図-10より、管体歪の分布は中央部が最大となる二等辺三角形であり、管と土との摩擦力を考慮した時の理論形状に一致する。

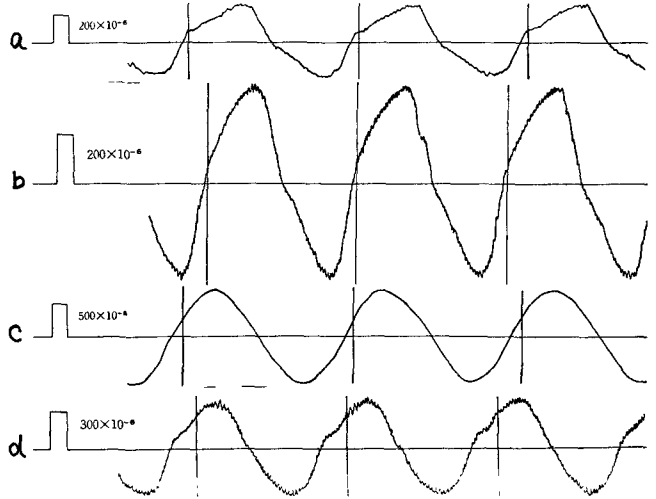


図-9 各位置での管体歪(実験II-9の例)

- c) 管体歪は実験-Iと同じく、管長が長い程、土圧が大きい程、大きくなった。

(3) 実験-III

管単位長さ当りの静的摩擦力はほぼ土圧に比例しており、図-11の通りであった。

6 考察

(1) 管体歪について

管体発生歪は、地震の加速度、周期よりも、土の歪量、管長、土の摩擦力などによって決まると言えよう。管長を l 、管単位長さ当りの摩擦力を f_0 、管材の縦弾性係数を E 、管の鉄線断面積を A_0 、波長を L とした時、軸方向最大管体歪 E_p は次式で示される。

- a) 管長が半波長より短い場合
$$E_p = \frac{f_0 l}{2EA_0} \dots\dots (1)$$
- b) 同様に長い場合
$$E_p = \frac{f_0 L}{4EA_0} \dots\dots (2)$$

L は伝播速度と卓越周期から求められるが、 f_0 は土質、土圧、管径、管の表面状態などによって異なる値をとる。更に静的

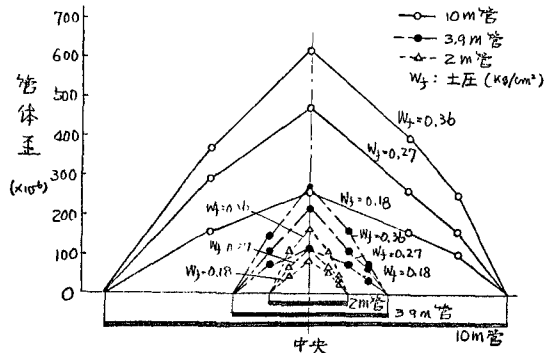


図-10 管体最大歪の軸方向分布

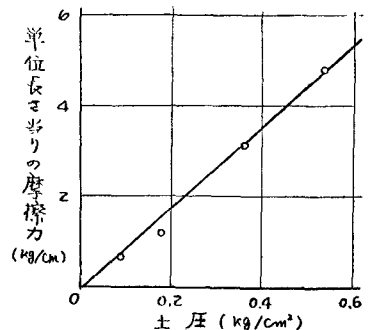


図-11 埋設管の摩擦力(実験-III)

状態、動的な状態

でも違うであろう。

いま、静的な摩擦
力を f とし、動的
な場合の補正係
数を m として

$$f_0 = mf$$

で表わすと、別の
動的な摩擦測定

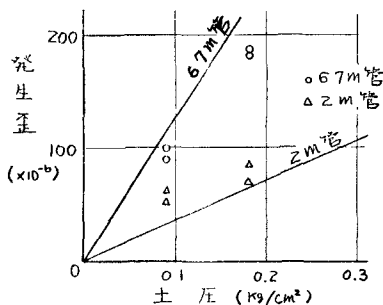


図-12 管体歪 (実験-I)

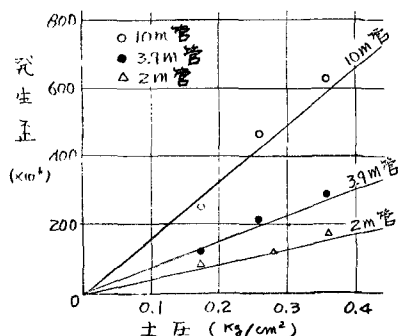


図-13 管体歪 (実験-II)

実験から、実験-I、実験-IIのような場合に $m=0.8$ 程度に落ちた。以上の値を用いて計算した値と実測値とを比較したのが図-12, 13 であるがほぼ合致していると言えよう。

(2) 継手伸縮量について

実験の結果、継手伸縮量はほぼ管長に比例するんが判ったが、継手部の伸縮は土の歪が継手に集中したと見てよいので、波長に対し比較的短い管は、管長 l 、土歪 ϵ 、管体歪 ϵ_p とすると、最大継手伸縮量 e は次式で示される。

$$e = l(\epsilon - \epsilon_p) \dots \dots \dots (3)$$

一般に管が短く、剛性が大きい場合 ϵ_p は無視してよい。
図-14 に計算値と実測値を比較して示したが、ほぼ合致していると言えよう。しかし長尺管ではあまり合致性がよくないので、次式のように補正する必要があると思われる。

$$e = le \epsilon \dots \dots \dots (4)$$

ここに le は相当管長で、管と土との相対的な不動点間距離を示し、管長が長くなると管の土に対する不動点が管の中央でなく、疎密波の密の部分、言い換えると、土圧の高い部分（ここは摩擦力も大きい）に移動するものと考えられる。管単位長さ l の管が土圧 W_0 で埋設された状態で、波長 λ 、土圧変化量 W_0 の地震を受けた場合の le は次式となる。

$$le = \frac{2\pi L l \cos 2\pi h + L^2 \sin 2\pi h + L^2 + 2\pi l^2 i}{\pi L \cos 2\pi h + 2\pi l^2 i} \dots \dots (5)$$

$$\text{但し } h = -\frac{l}{\lambda} - \frac{l}{L}, \quad i = \frac{W_0}{W_0}$$

今 $i=1$ と仮定し、更に土の密から疎に移動する管の相対変位 ϵ_i を考慮して計算したのが図-15 であるがほぼ合致していると言えよう。

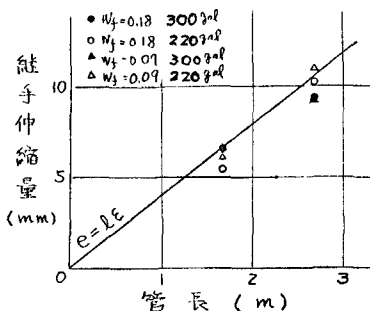


図-14 継手伸縮量 (実験-I)

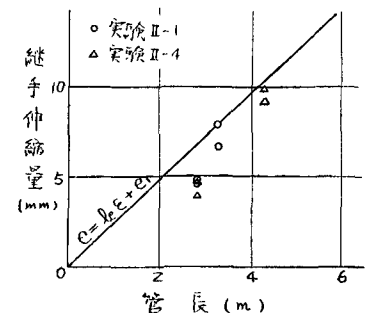


図-15 継手伸縮量 (実験-II)

7. あとがき

埋設管の地震時の挙動を把握する方法として、位相差をもつ振動台による実験は種々の条件下での再現実験が可能であり有効な方法と言えよう。また今回応力集中問題は割愛したが、今後の問題として指道されよう。

[参考文献] 村井・高橋・堤他「松代地震に利用した中電線路埋設管の耐震研究」電研技研報告 67058