

京都大学防災研究所 正員 土岐恵三  
 京都大学防災研究所 正員 〇高田至郎

### 1. まえかき

地中に埋設された管状構造物の地震時挙動は埋設地点の地盤運動でほぼ近似されるが、構造物のもつ剛性によって地盤運動を入力と見なした場合には幾分かの入力損失があると考えねばならない。本研究では地盤と構造物の相互作用を考慮した振動系の非定常応答を弾性波動論によって解析し、構造物のひずみ振幅について考察を加えた。また、地震波形状そのものの積分によって地盤と構造物の運動が全く等しいと見なした場合のひずみ算定法について検討し、両解析法による結果より入力損失量について論じた。

### 2. フーリエ変換手法による地震応答解析

弾性体地盤内に円断面の中空管状構造物が埋設されており、構造物から十分離れた場所での加速度波形状  $u_g(t)$  が構造物の長さ方向に伝播する際の応答を解析する。長さ方向での運動の位相がもっとも大きくなる場合を想定してかかる入力を設定し、その伝播速度は地盤内実体波との比率で与えている。定常正弦波入力の場合、軸ひずみ  $\varepsilon_A$ 、曲げひずみ  $\varepsilon_B$  は次のように与えられる。

$$\frac{\varepsilon_A}{u_g \omega} = \frac{i}{\omega C} \left\{ 1 + \frac{1}{\left( \frac{C_0}{C} \right)^2 - 1 + \frac{\rho}{\gamma} \frac{f_d}{1 - (b/a)^2}} \right\} \exp[ik(x - ct)], \quad \frac{\varepsilon_B}{u_g \omega} = \frac{a}{(C_0)^2} \left\{ 1 + \frac{EI(k\rho)^4}{8\pi(a^2 - b^2)\omega^4 - 1 + \frac{\rho}{\gamma} \frac{K_\omega}{1 - (b/a)^2}} \right\} \exp[ik(x - ct)] \quad (1)$$

こゝに  $\omega$ ,  $u_g$ ,  $C$ ,  $k$  は入射波の円振動数、変位振幅、伝播速度、波数を表わし、右肩添字  $A, B$  は軸、曲げひずみを生ぜしめる波の種類に対応している。また、 $a, b, \gamma, C_0$ ,  $EI$  は構造物の外径、内径、密度、圧縮波速度、曲げ剛性を表わしている。 $f_d$ ,  $K_\omega$  は構造物が地盤運動に対して相対運動を起こそうとすることに対する地盤からの拘束力を意味し、入射波の波長の増大とともに絶対値が二次曲線的に増大する複素数値である。式(1)の左辺の  $u_g \omega$  は地盤の運動加速度を表わしており、 $f_d$ ,  $K_\omega$  が複素数値であることから、式(1)の右辺は位相特性をも考慮した単位の入力加速度に対するひずみの周波数伝達関数と見なせる。したがって任意の地震波形状入力に対する応答を求めるには、入力のフーリエ変換と式(1)の伝達関数を乗じて後、逆フーリエ変換を施せばよいことが知られる。Fig. 1 には式(1)の右辺を  $\varepsilon_A$ ,  $\varepsilon_B$  と定め、その振幅に関する周波数伝達関数も示した。軸ひずみは振動数の増大とともに減少する傾向にあり、曲げひずみは一定値を示す。入力加速度が一定で計算した結果であることを考え合わせれば、軸、曲げひずみはそれぞれ、地盤の運動速度、加速度に比例的な量であることが知られる。また、Fig. 2 は入力に用いた地震加速度波形状とそのときの軸、曲げひずみの時間領域にお

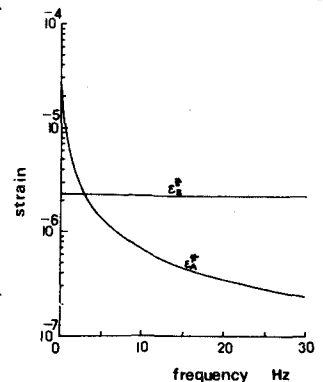


Fig. 1 Frequency response of strains

ける応答を示したものであり、逆フーリエ変換手法を用いて計算した結果である。軸ひずみ波形は入力の短周期成分が濾波されており、曲げひずみ波形は入力波形に近似した特性をもつ。実際に、入力波形の積分によって得られた速度波形は軸ひずみ波形とさわめて類似していることが知られた。

### 3. 地震波形によるひずみ算定

地盤と構造物が全く同様な動きをするものと仮定すれば、軸ひずみは  $V/C$ 、曲げひずみは  $A/(C\omega)$  で計算される。 $V, A$  は地盤の速度、加速度値である。 $Z$  による方法と比較すれば、その差異が構造物の剛性による入力損失量であると考えられる。

Fig. 3, 4 には 6 種類の地震波を用いて、両手法による最大ひずみ振幅の計算結果を示した。横軸には用いた加速度地震波の卓越周期をとっているが、同一最大加速度入力の場合、卓越周期の大きいものは

軸ひずみは増加する傾向にある。また、いずれの入力でもフーリエ変換手法によるひずみ振幅の方が波形積分による結果よりも 1~2 割程度小さくなっており、この計算例では上記の程度の入力損失と考えられる。

一方、入力加速度とその周期が既知の場合、速度値を知り得れば、

軸ひずみ推定には便宜である。そこで多くの加速度地震波形を積分した結果より最大加速度、速度、卓越周期の関係を Fig. 5, 6 に示した。Fig. 5 には卓越周期の 3 つの分類に対して加速度、速度の関係と、Fig. 6 は加速度一定とした場合の速度と周期の関係を示してある。

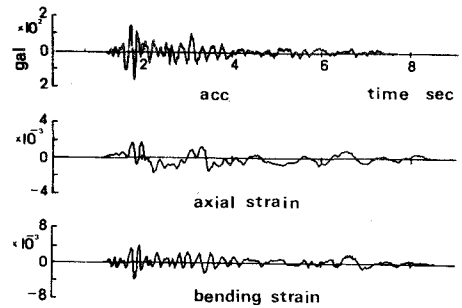


Fig. 2 Earthquake response of strains

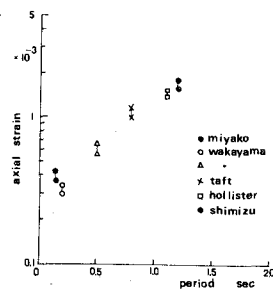


Fig. 3 Relation between axial strain and period

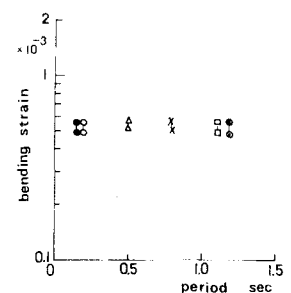


Fig. 4 Relation between bending strain and period

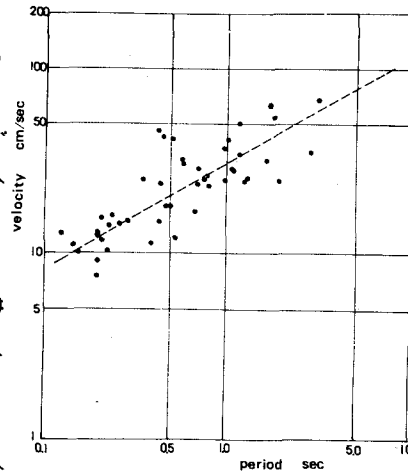


Fig. 6 Relation between velocity and period

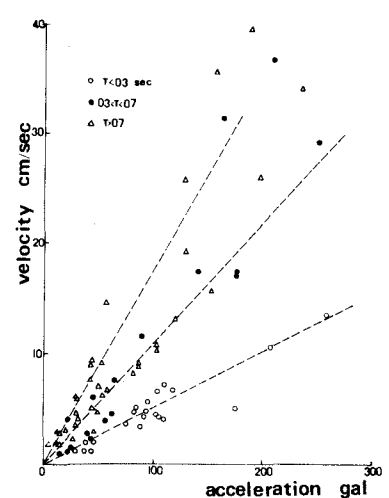


Fig. 5 Relation between  $A_{max}$  and  $V_{max}$

参考文献 1) 後藤利男, 堀江三, 高田正郎: 地震環境の刷新性について, 土木学会第 12 回地震工学研究発表会講演要旨, '72.7, pp. 103~106.

2) 小林昭雄: 埋設管の地震時ひずみに関する研究, 京都大学博士論文, '74.3.