

フジタ工業 技術研究所 正員 中村 正博
 東京大学生産技術研究所 正員 片山 恒雄
 東京大学生産技術研究所 正員 久保 慶三郎

1. まえがき

埋設管・沈埋トンネル・地下タンクなどの地下構造物の地震時挙動は周辺地盤に支配され、その合理的耐震設計法を確立するためには地震時における地盤のひずみを把握する必要がある。地震時に地盤に生ずるひずみとしては、従来多用されてきたせん断波が鉛直下方から入射するという仮定に基づくS波重複反射のひずみに加えて、水平に伝播するLove波・Rayleigh波などの表面波によるひずみが考えられる。神山⁽¹⁾は、地盤を成層と考え、実地震波形を用いた表面波による地盤のひずみを求めたが、本報告では、観測された強震記録からS波・Love波・Rayleigh波の分離が困難なことや、実際には地盤が成層でないことを考慮し、実地震波形を用いず、地盤構造と最大加速度のみの情報から表面波による地盤のひずみを求める簡易計算法を示した。さらに、地震観測で得られた各種地中構造物のひずみと本方法による計算結果を比較し、簡易計算法の有用性を確認した。

2. 簡易計算法における仮定

地盤は成層とし、深さ方向の変化は重みをつけてモデル化する。一般に、表面波の伝播速度は円振動数により変化するが、S波重複反射・Love波およびRayleigh波伝播のすべてが、地盤モデルの固有周期 $T = 4H/C_s$ なる振動周期の正弦波形で置換できるものと考え、表面波における伝播速度・波数を一意的に決定する。また、地震時における上下動はRayleigh波のみによるものと考え、上下動最大加速度を基にRayleigh波伝播による地盤のひずみを算定し、水平最大加速度のみが与えられている場合には、その $1/2$ を上下動として用いている。S波・Love波の場合にも、水平最大加速度がそれぞれの波動伝播のみからなるもの仮定に基づき、地盤のひずみを算定する。表面波の伝播方向を x 軸、これと直交する水平方向を y 軸、地盤の深さ方向を z 軸にとれば、Rayleigh波による直ひずみ $\frac{\partial u_R}{\partial x}$ は下式で表わされる。

$$\frac{\partial u_R}{\partial x} = -\frac{A_v}{\omega_R^2} \cdot K \left\{ (2 \frac{K^2}{k^2} - 1) \exp(-\alpha_1 z) - 2 \sqrt{\left(\frac{C_s}{C_R}\right)^2 - \left(\frac{C_s}{C_p}\right)^2} \sqrt{\left(\frac{C_s}{C_R}\right)^2 - 1} \exp(-\beta_1 z) \right\} \frac{\frac{C_s}{C_R}}{\sqrt{\left(\frac{C_s}{C_R}\right)^2 - \left(\frac{C_s}{C_p}\right)^2}} \cos(\omega_R t - Kx)$$

ここに、 $K = \omega_R / C_R$, $k = \omega_R / C_s$, $h = \omega_R / C_p$, $\alpha_1 = \sqrt{K^2 - h^2}$, $\beta_1 = \sqrt{K^2 - k^2}$

A_v : 上下動最大加速度, C_s, C_p, C_R : S波, P波, Rayleigh波の伝播速度, ω_R : 円振動数

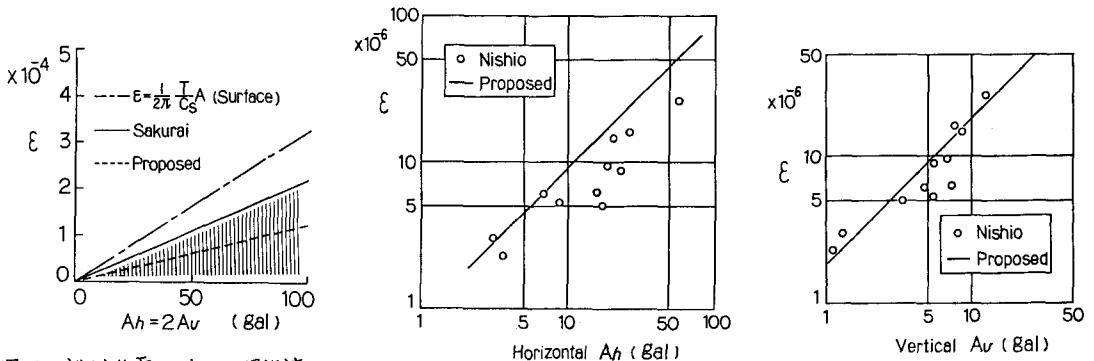


図-1 松代地震における埋設管の

軸ひずみと計算結果の比較⁽²⁾

(a) 水平最大加速度の $1/2$ を用いた場合

(b) 上下動最大加速度を用いた場合

図-2 埋設管の軸ひずみと計算結果の比較⁽³⁾

3. 各種地中構造物の地震観測のひずみと計算結果の比較

図-1は、松代地震における埋設管軸ひずみと本方法の計算結果の比較である。斜線部は実測データの分布、実線はその上限値である。計算結果が上限値より低いのにに対し、埋設管設置位置でのS波伝播速度 C_s より求めた値は過大となる。図-2は、水平最大加速度と上下動最大加速度が与えられている埋設管の軸ひずみ⁽³⁾の比較である。(a)はRayleigh波の上下動振幅を水平最大加速度の $1/2$ とした場合、(b)は実測の上下動最大加速度を用いた場合、の計算結果と実測値の比較である。当然のことながら、実測の上下動振幅を用いる(b)の方がよく一致している。

図-3は沈埋トンネルの軸ひずみ⁽⁴⁾の比較であり、斜線部は実測データの分布、実線および破線はそれぞれ、その上限値、下限値である。トンネルを弾性床土上の梁と考えると求めた最大ひずみ(三点鎖線)は、本方法による地盤ひずみとほぼ一致する。また、本方法の計算結果から沈埋トンネルのひずみを求めると、実測データの上限値とほぼ一致する。

図-4は、堅型円筒形地下タンクの円周方向ひずみ ϵ_θ と、地表の2地点の相対変位から求めた地盤の直ひずみ ϵ_{xx} およびせん断ひずみ ϵ_{xy} ⁽⁵⁾の比較であり、図-5も地盤のひずみ⁽⁶⁾との比較を示している。図-4の実線は、地下タンクを円形梁と考えた場合、本方法から求めたRayleigh波による直ひずみでタンクに生じる ϵ_θ である。地盤のひずみに関しては図-4、図-5とも、計算結果が若干大きくなっている。

4. あとがき

簡易計算法による結果は、各種地中構造物の実測値と比較的よく一致するが、この大部分はRayleigh波による直ひずみ成分での比較である。実際に地盤に生じる地震時ひずみがS波・Love波・Rayleigh波によるひずみの重ね合わせであることを考えれば、今後はより多くの実測値との対比とともに、本方法における仮定の見直しが必要であろう。さらに本方法が弾性波動論に基づくことより、強震時における地盤のひずみを算定する場合にも、再考が必要となる。

参考文献

- (1) 神山：土木学会論文報告集，第250号，1976.6.
- (2) 桜井，高橋他：電力中央研究所報告No.67058,1967.10.
- (3) 西尾，宇梶他：第5回日本地震工学シンポジウム，1978.
- (4) 田村，岡本他：生産研究，24巻5号，1975.
- (5) 浜田：東京大学博士論文，1980.
- (6) J.P.Wright，高田：第5回日本地震工学シンポジウム，1978.

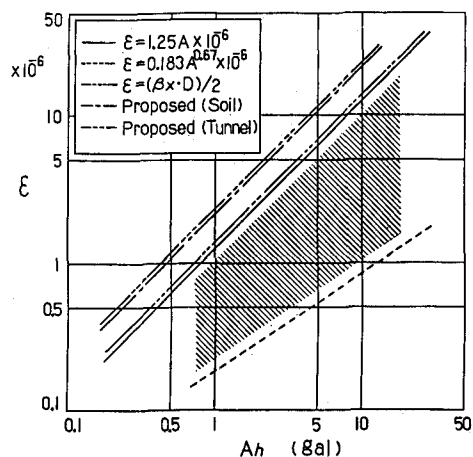


図3 沈埋トンネルのひずみと計算結果の比較⁽⁴⁾

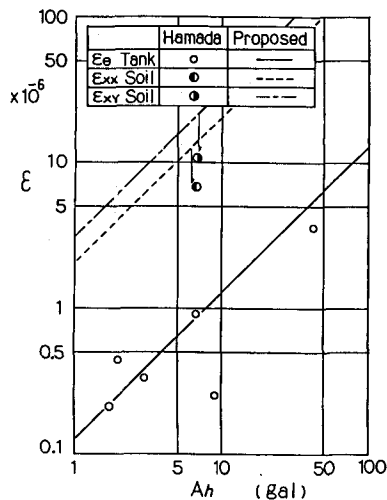


図4 地下タンクおよび周辺地盤のひずみと計算結果との比較⁽⁵⁾

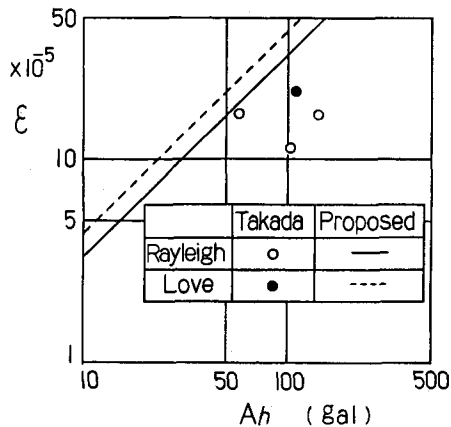


図5 地盤のひずみと計算結果の比較⁽⁶⁾