

I-451 地震時地盤ひずみの距離減衰式

建設省土木研究所 正員 田村 敬一  
 〃 〃 相沢 興  
 東北大学工学部 水野 孝

1. はじめに

建設省土木研究所では構内の高密度強震観測場(図1参照)で得られた記録をもとに、有限要素法の手法を用いて地震時地盤ひずみの計算を行ってきた<sup>1)</sup>。本小文は、その計算結果をもとに、さらに重回帰分析により地震時地盤ひずみと地震のマグニチュードおよび震央距離との関係式(距離減衰式)について予備的に検討した結果をとりまとめたものである。

2. 地震時地盤ひずみの計算方法

地盤ひずみを算出するためには地震動の変位を求める必要がある。観測で得られた加速度記録から変位を求める方法としては、振動数領域で強震計の特性を補正するためのフィルターをかけ、数値積分を行う方法を用いた。ここで、フィルターの低振動数側および高振動数側の遮断振動数は、それぞれ、1/5Hzおよび20Hzとした。次に、変位から地盤ひずみを計算するために、図2に示すような4観測点から成る4面体要素を想定し、4面体内の点(x, y, z)における変位u(t), v(t), w(t)が次式のようにx, y, zの一次関数で表されるものとする。

$$\begin{aligned} u &= \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 z \\ v &= \alpha_5 + \alpha_6 x + \alpha_7 y + \alpha_8 z \\ w &= \alpha_9 + \alpha_{10} x + \alpha_{11} y + \alpha_{12} z \end{aligned} \quad (1)$$

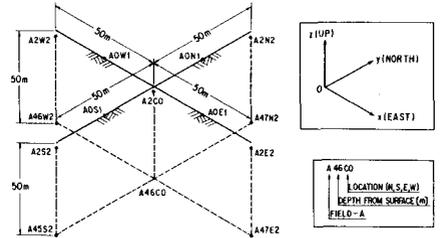
ここで、 $\alpha_i$  ( $i=1\sim 12$ )は未定定数であるが、4観測点のx, y, z方向の座標および変位を与えることにより定めることができる。式(1)により変位u, v, wが求められれば、地盤ひずみ{ $\epsilon$ }は次のように求められる。

$$\begin{aligned} \{\epsilon\} &= \{\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}\}^T \\ &= \left\{ \frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial y}, \frac{\partial w}{\partial z}, \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y}, \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right\}^T \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、式(2)による地盤ひずみ{ $\epsilon$ }は、式(1)に示したように変位を座標の一次関数で表しているため4面体内では一定となり、この意味では本解析で求められるひずみは4面体内の平均的なひずみに相当する。

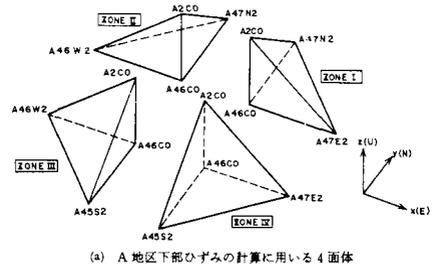
3. 地震時地盤ひずみの計算

上述の手法により、土木研究所構内で得られた合計42地震による記録をもとに地震時地盤ひずみの計算を行った。地盤ひず

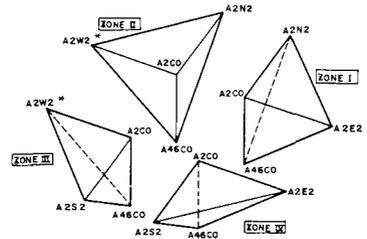


(注) A0E1点は昭和57年9月16日まで観測  
 A2W2点は昭和57年9月16日より観測

図1 強震計の設置位置(土木研究所A地区)



(a) A地区下部ひずみの計算に用いる4面体



(b) A地区上部ひずみの計算に用いる4面体

図2 地盤ひずみ計算用の4面体

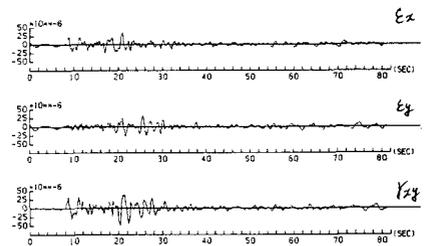


図3 地盤ひずみの計算例

(E Q-28, A地区下部ひずみ, ゾーンI)

みは、図2(a)に示すように地表面下50m付近の観測点を中心とした4個の4面体から算出する地盤ひずみ(A地区下部ひずみ)、図2(b)に示すように地表面付近の観測点を中心とした4個の4面体から算出する地盤ひずみ(A地区上部ひずみ)の2種類に区分して計算を行った。地盤ひずみ波形の一例を図3に示す。

4. 地震時地盤ひずみの距離減衰式

最大地震動（最大加速度、最大速度、最大変位）および加速度応答スペクトルの距離減衰式に関して現在までに各種の検討が行われている。それらの結果によれば、実用的な距離減衰式としては次式が実測値との対応がよいとされている<sup>2)</sup>。

$$X(M, \Delta) = a \times 10^{bM} \times (\Delta + \Delta_0)^c \quad (3)$$

ここで、

X:最大地震動、M:地震のマグニチュード、 $\Delta$ :震央距離、 $\Delta_0$

: $\Delta$ が小さい範囲のXを調整するための定数、a, b, c:係数  
本解析では、A地区下部ひずみおよびA地区上部ひずみのそれぞれについて、最大ひずみ（4個の各4面体における最大ひずみを平均した値）の距離減衰式が式(3)により表されるものと仮定し、係数a, b, cを求めた。ただし、ここで、解析の対象とする地盤ひずみは水平面内の伸縮ひずみ( $\epsilon_x, \epsilon_y$ )およびせん断ひずみ( $\gamma_{xy}$ )とした。また、式(3)中の $\Delta_0$ については、文献2)を参考にして30kmとした。重回帰分析により式(3)の係数を求めると表1に示すようになる。さらに、A地区下部ひずみの場合について、最大ひずみの距離減衰特性を示すと図4のようになる。これらの結果より次の事項が指摘される。

1) A地区下部ひずみの距離減衰は、既往の最大地震動の距離減衰<sup>2)</sup>（震央距離の-1.2乗程度）よりも小さい。

2) A地区上部ひずみの距離減衰式は、A地区下部ひずみの距離減衰式と比較して、マグニチュードの影響を敏感に受け、震央距離による減衰が大きい。

3) 一般に、同一マグニチュードおよび同一震央距離で比較すると、せん断ひずみの方が伸縮ひずみよりも大きい。

5. まとめ

高密度強震観測記録をもとに地震時地盤ひずみを算出し、さらに地盤ひずみの距離減衰式について検討した。ただし、現在のところ規模の大きい地震による記録が少なく、特にマグニチュードが大きい場合に距離減衰式の精度が必ずしも十分ではないこと、等の問題が残されている。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所:線状地中構造物の・・・, 土木研究所資料1991号、
- 2) 川島他:最大地震動及び・・・, 土木研究所報告166号

表1 距離減衰式の係数の一覧

区分	係数	重相関係数	標準誤差
A地区下部	$\epsilon_x$	1.036 0.227 -0.149 0.652	0.220
	$\epsilon_y$	0.893 0.350 -0.431 0.817	0.176
	$\gamma_{xy}$	1.030 0.285 -0.216 0.767	0.195
A地区上部	$\epsilon_x$	0.438 0.795 -1.400 0.875	0.223
	$\epsilon_y$	0.409 0.507 -0.618 0.900	0.188
	$\gamma_{xy}$	0.740 0.743 -1.279 0.875	0.256

(注) 同帰式:  $\epsilon = a \times 10^{bM} \times (\Delta + 30)^c \times 10^{-4}$

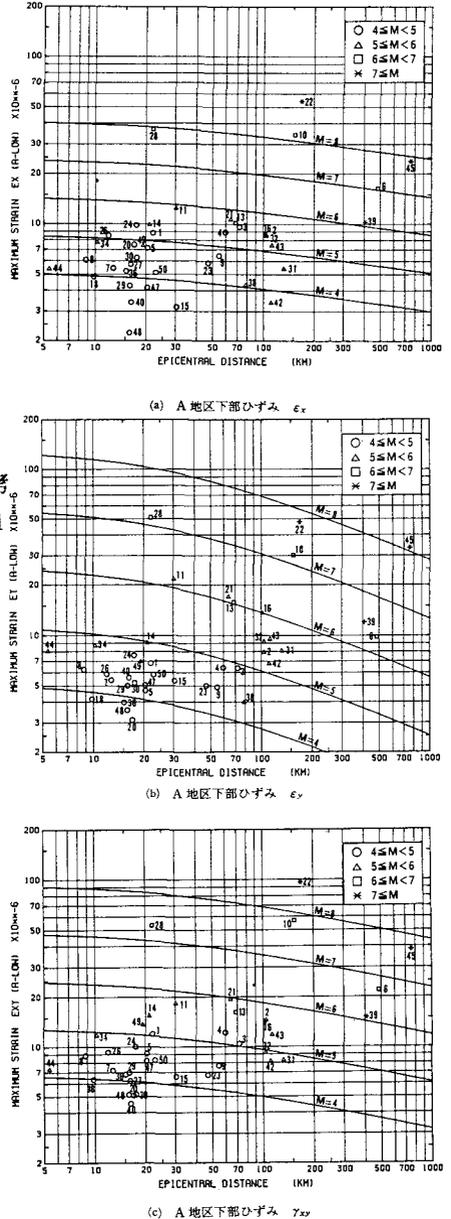


図4 最大地盤ひずみの距離減衰特性