

I-11 実測加速度記録による動ひずみ算定に関する一考察

東北工業大学 学生会員 ○須藤 鉄矢  
 東北工業大学 学生会員 吉田 勝  
 東北工業大学 正会員 神山 眞

1.はじめに

震災時における地盤のひずみ特性を把握することは、ライフラインや地下構造物等の耐震解析を行う上で重要な問題であり、解決すべき問題の一つである。しかし、実際には実測で得られた地盤のひずみ観測例は少なく、その究明があまりされていないのが現状である。よって本研究では、高密度アレー観測システム KASSEM によって得られた実測加速度記録から地盤中のひずみを算定するための解析を行うとともに、観測記録による地盤ひずみと地盤の不整形性を考慮した数値シミュレーションとを比較し、妥当性の検証を行う。

2.KASSEM の概要

KASSEM は宮城県柴田町のセンターアレーを中心とした各種の地盤に設置された強震アレーを加えて、全部で66成分の地震動を同時観測する大規模な観測システムである。この観測網の中心を成すセンターアレーは、観測点 V1 を図心として一辺が約 400m の正三角形を形成しており、平面的または立体的に合計 12 の観測点で三成分 (NS,EW,UD) を記録できる埋設地震計が設置されている (図 1)。

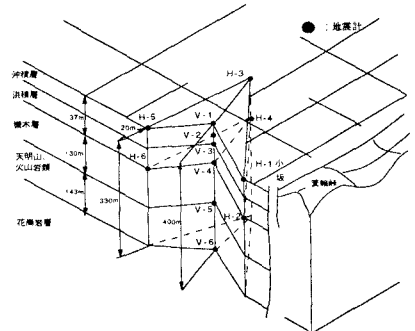


図 1 センターアレーの地震計配置図

3.実測地震記録を利用した地盤ひずみの算定方法

本研究では、実測加速度記録から地盤ひずみを求めるため、今までに得られた地震記録のうち地震の規模、距離、

深さ等を考慮した5つの地震記録を対象に検討を行った。ここでは、センターアレーにおいて V1, H1, H3, H5 の各観測点から成る3つの小三角 (V1-H1-H3), (V1-H1-H5), (V1-H3-H5) ごとに観測点で得られた3成分の加速度記録を2回積分して得られる変位記録を用いてひずみ成分を求めた。ひずみ算定は地震測地学「Seismo Geodetic」で利用される原理を応用した。いま、図2の座標系を参照して、全部で N 個の観測点で3方向の変位記録が同時に得られたとする。このとき基準観測点 O に対する任意の観測点の i 方向の変位差分は、次のように変位の空間微分と観測点間の j 方向で表される。

$$\Delta u_i^{(n)} = u_i^{(n)} - u_i^{(0)} = \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \Delta x_j^{(n)} \quad \left( \begin{matrix} i, j = 1, 2, 3 \\ n = 1, N-1 \end{matrix} \right) \quad (1)$$

$$\Delta x_j^{(n)} = x_j^{(n)} - x_j^{(0)}$$

式 (1) の変位の空間微分からひずみ成分  $e_{ij}$  と回転成分  $\omega_{ij}$  は、次のように与えられる。

$$e_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (2) \quad \omega_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \quad (3)$$

式 (1) の変位差分  $\Delta u_i^{(n)}$  はアレー観測された変位記録によって求められるので、空間微分  $\partial u_i / \partial x_j$  は算定可能となり、最終的に式 (2)、(3) からひずみ成分  $e_{ij}$ 、回転成分  $\omega_{ij}$  が求められる。ここでは予備的なひずみ、回転の算定として地表の4観測点のみを利用して地表での成分のみを求めた。

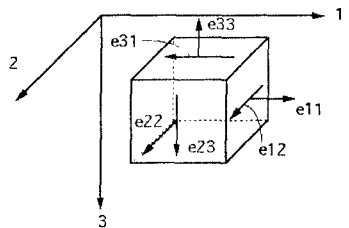


図 2 座標系

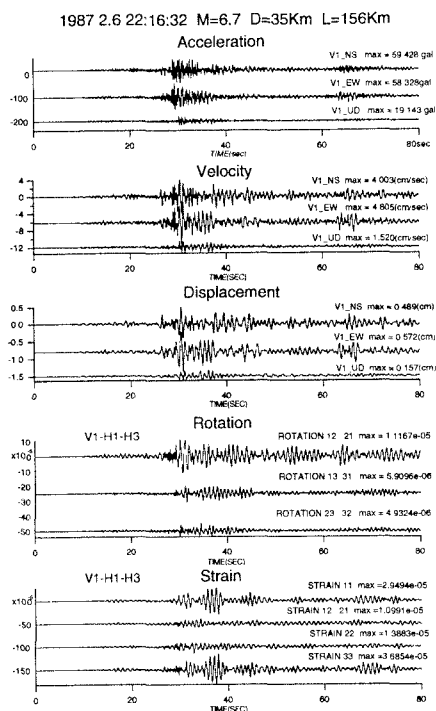


図3 実測波形の時刻歴

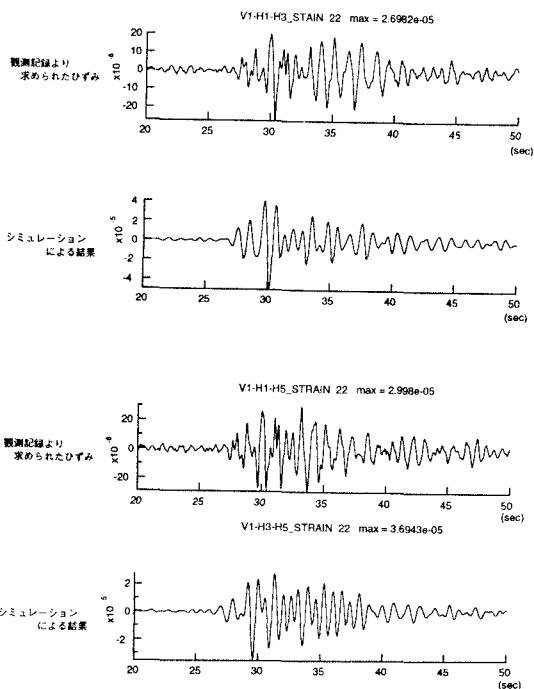


図4 実測波形とシミュレーションとの比較

#### 4 解析結果

図3は小三角形V1-H1-H3での算定された観測加速度、速度、変位と算定された回転成分、ひずみ成分の時刻歴を表したものである。回転成分の波形を見ると加速度の時刻歴と全く異なることがわかる。全般に、回転成分の大きくなるのは最大加速度が生じる時刻付近ではなく、むしろ加速度振幅が小さくなる後半の部分で生じている。この結果はひずみ成分についても同様の傾向が見られ、回転、ひずみの両成分とも慣性力である加速度の挙動に支配されないことが確認される。そこで速度記録、非常常スペクトルなど加速度記録とは別のデータとひずみ、回転成分の時刻歴を比較したところ、速度の時刻歴がこれらの成分とよく対応しており、かつ表面波などの波動伝播の特性によってひずみ、回転成分が強く影響を受けることがわかった。その他、ひずみ成分においてはSTRAIN11,22,33のような直ひずみが、せん断ひずみSTRAIN12より大きな値を示しており、耐震解析上重要なことがこの結果から分かる。一方、図4は観測記録から求めたひずみの実測波形と観測点に対応させ実施したシミュレーションによるひずみ波形とを代表的成分について比較したものである。シミュレーションはPseudo-spectral法によって数値計算し、ひずみの算定を行った。この結果を比較すると実測波形と理論波形とでは全体的にレベル、波形、ひずみの発生時刻、継続時間ともよく似ており、ひずみの最大振幅の発生時刻もほぼ一致している。

#### 4 結論

(1) ひずみを大きくする成分は加速度ではなく、地表付近の局所的な地盤の不整形性によって2次的に発生した表面波であり、この表面波がひずみの発生をもたらしているものと考えられる。(2) 地中構造物等に影響を及ぼすひずみの最大値は、慣性力である最大加速度に対応するのではなく、速度の大きくなる後続の部分で発生することが分かった。(3) 耐震解析における直ひずみの重要性和本研究におけるアレー強震記録による地盤ひずみの算定が地震応答シミュレーションによる検証結果からも妥当性があることが確認された。