

アレー強震記録による地盤ひずみの算定

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

地震が発生する際に地盤中に生じるひずみは、地下ライフラインや地下構造物などに大きな影響を与えることが知られている。こうしたことから地中構造物の地震応等特性を知るためにも地震時に生じる地盤ひずみを究明することが重要である。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 によって得られた地震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地震応答シミュレーションによるひずみとを比較して、その妥当性を検証することを試みた。

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3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にセンターアレーの地震計配置図を示す。

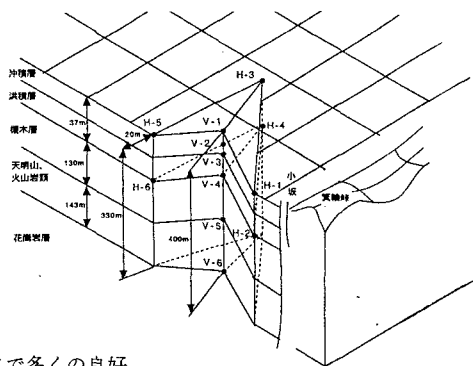


図1 センターアレーの地震計配置図

3.実測地震記録を利用した地盤ひずみの算定方法

1984年から観測体制に入っている KASSEM は現在まで多くの良好な記録を得ている。そこで本研究では、観測記録から地盤中のひずみを求めるため1985年から1996年の間に発生した地震のうち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、次式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。

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

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

式(1)の変位の空間微分からひずみ成分 e_{ij} と回転成分 ω_{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 $\frac{\partial u_i}{\partial x_j}$ 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 ω_{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。

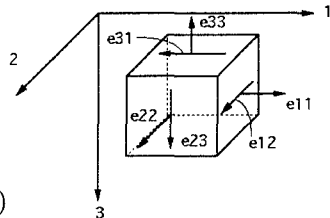


図2 座標系

1996 2.17 0:22:58 M=6.5 D=58Km L=177Km

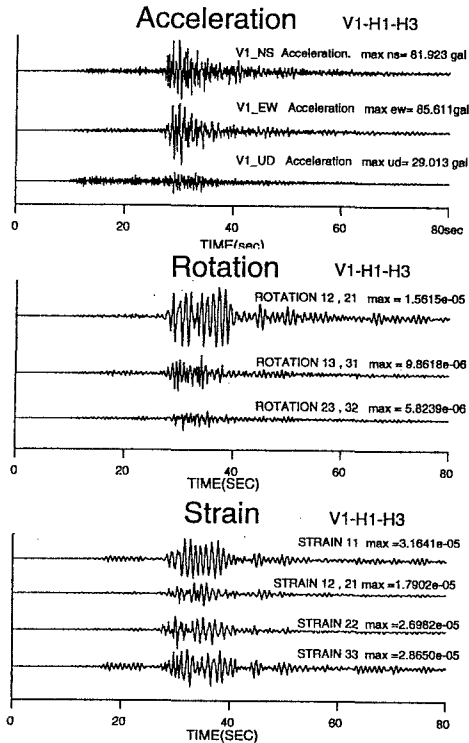


図3 実測波形の時刻歴

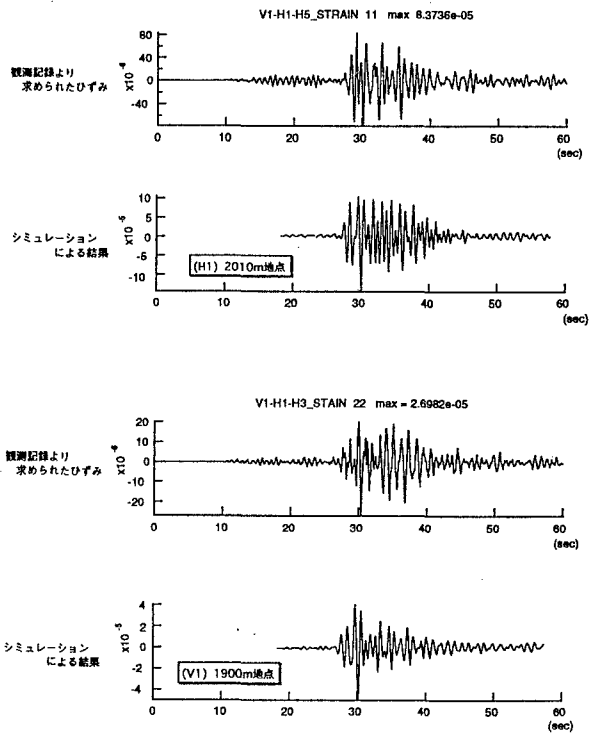


図4 実測波形とシミュレーションとの比較

3 解析結果

観測された数種の地震記録から、地震の規模、距離、深さ等を考慮した記録を選定し、地盤ひずみの算定を行った。ここでは、代表的な地震について1つの小三角形で求めた地盤ひずみの算定結果を示す。図3は小三角形V1-H1-H3での算定された観測加速度、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。この傾向はひずみ成分についても同様で、回転、ひずみの両成分とも加速度の挙動に支配されないことが確認される。速度記録、非定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、速度がこれらの成分とよく対応し、かつ表面は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。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、この表面波が波の増幅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) 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は地震応等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。