

## (8) 相互に離れた場所で生じた地盤ひずみの地震時観測結果の比較

東京理科大学 学生員 高野 工      東京理科大学      正会員 森地 重暉  
 東京理科大学 正会員 今村芳徳      日本技術開発(株) 正会員 佐伯 宗大  
 東京理科大学 学生員 小田幸平

### 1 はじめに

本年の兵庫県南部地震の際に生じた地下鉄構築トンネルでの被害状況を考えると、地中構造物に対する耐震性の検討がより一層重要性を増してきたと思われる。

地中構造物の地震時挙動は、周辺地盤の動きに追従する。そのために、地中構造物の合理的な耐震設計には、地震時に生ずる地盤ひずみの性状を把握することが必要である。著者等はそのような考えに基づき、実施例の少ない地震時における地盤ひずみの直接観測を継続してきた<sup>(1)(2)</sup>。従来の著者等の観測では、対象とした地盤の広さは1m四方であった。この広さは、観測機器の機械的制約に基づいている。しかし、実際の地中構造物の寸法を考慮すると、より広い範囲を観測対象とすることが望ましい。そのように考えて、従来用いた観測設備と同型のもを離れた場所に設置し、同時観測を行った。得られた結果を比較検討することで、広い範囲での地盤ひずみの性状を調べることにする。

### 2 地盤ひずみの観測

地盤ひずみの観測場所は、千葉県野田市にある東京理科大学構内である。この場所において、地盤の自由表面に生ずる3方向の垂直ひずみの観測を実施している。観測地点の位置は、北緯 $35^{\circ}55'03''$ 、東経 $139^{\circ}54'57''$ である。また、観測場所の地盤の土質の状態は、地表面から下方に表土、ローム層、粘土層、シルト層であり、およそ関東地方の中心部における標準的な地盤と考えてよい。

観測には、図-1に示される観測機器を用いた。地表に一辺1mの正三角形を設定し、その頂点に鉄杭(外直径:75mm)を打ち込んだ。杭間の相対変位を測定し、それを杭間長で割った値をひずみとしている。相対変位の測定は差動トランス型の変位計(DS-100型:東京測深(株))により行い、記録のサンプリング間隔は1/100秒である。

上記の観測設備を用い、1988年5月より観測を始めた。また、1994年6月には、これと同型の設備を設置し、両設備を用いての同時観測を開始した。

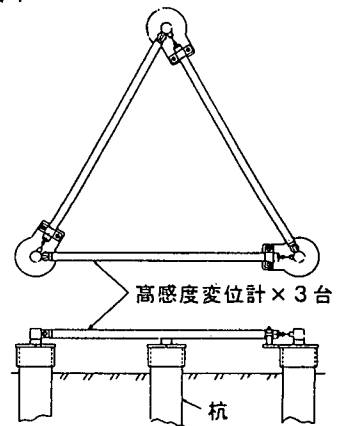


図-1 ひずみ計

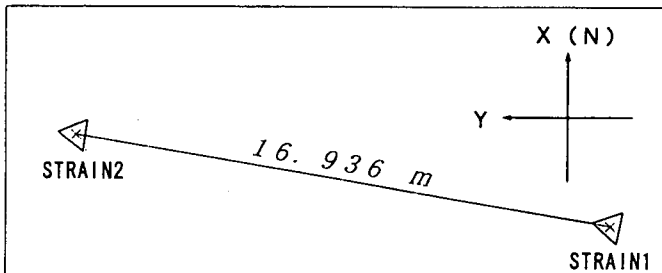


図-2 観測設備の配置

本来、両設備の離隔距離の設定には議論を要する。ここでは、観測場所の制約条件を考慮して、最大限取り得る離隔距離を適用した。2つの観測設備は、図-2 に示すように設置されており、三角形中心点間の距離は約17mである。本文では、既設の設備を STRAIN1、新設のものを STRAIN2 と称している。

### 3 観測記録の比較

2つのひずみ観測設備で観測を始めてから現在までに、27個の観測記録が得られている。これらの記録について、2つの設備で得られた記録を比較検討する。図-3 に観測結果の一例を示す。これは、95年1月8日に発生した地震のものであり、表示した成分はせん断ひずみ  $\gamma_{xy}$  である。図-4 には同記録より算定した Mohr のひずみ円の時間的変化を示した。この図は、同記録の記録開始後12.00(秒)~12.19(秒)について表示したものである。X(真北)方向の垂直ひずみを  $\epsilon_x$  とすると、図中の黒点は、 $(\epsilon_x, \gamma_{xy}/2)$  を表している互いの記録は同時刻で似ている場合もあるが、一見すると全体的には類似しているとは言い難い。これらの記録を比較検討するために、次の3つの力学的性質-①主ひずみの方向②ひずみ状態の性質③主ひずみとせん断ひずみの大きさの比-に着目した。

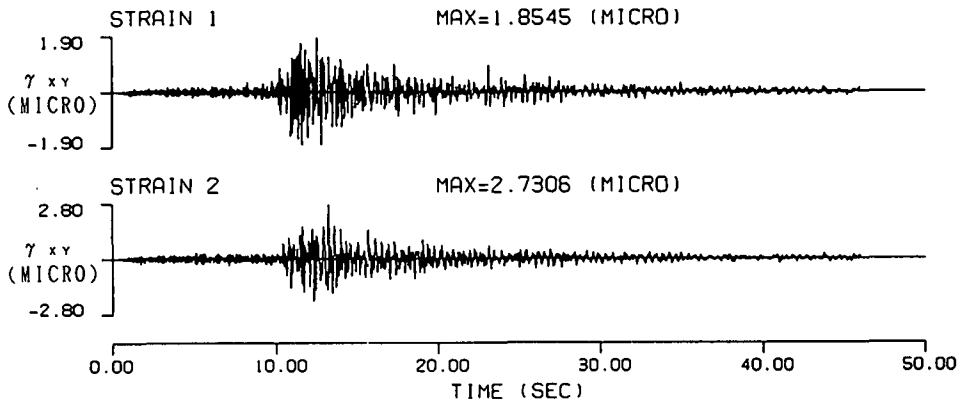


図-3 記録の時刻歴波形('95.1.8)

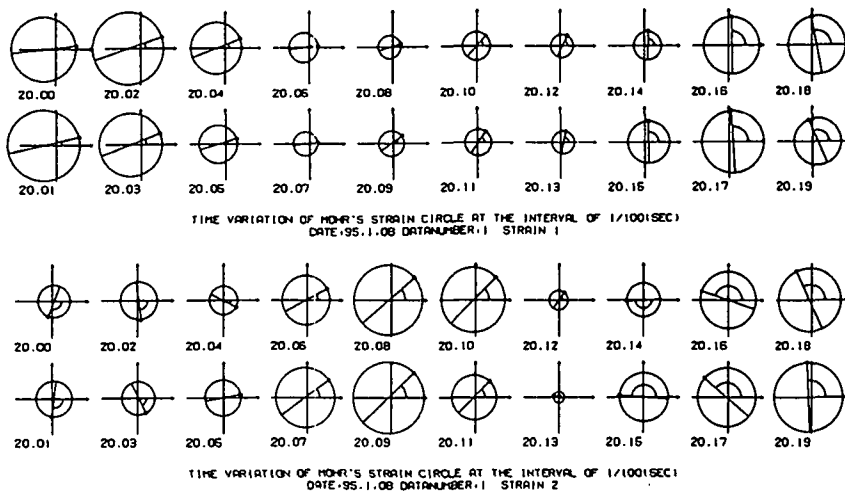


図-4 MOHRのひずみ円の時間的変化('95.1.8:20.00(sec)~20.19(sec))

①主ひずみの方向性について

時刻歴の記録より最大主ひずみの方向とX軸（真北）とのなす角 $\theta$ を算定し、継続時間内での確率密度分布を求めた。図-5には、STRAIN1とSTRAIN2とから得られた確率密度分布を、同一地震について比較したものが示されている。この図から、双方の確率密度が2つの山を持って分布しており、また、ピークを与える $\theta$ の値はSTRAIN1とSTRAIN2とで大差はないことがわかる。図-6には、今までに観測された全地震記録（STRAIN1で101個、STRAIN2で27個）について、ピークを与える $\theta$ の値を示した。縦軸は各記録2つある $\theta$ の値であり、横軸は記録の古い順から付けた番号である。図中●印はSTRAIN1について、○印はSTRAIN2についてのものである。この図を見ると、 $\theta$ の値は地震により差異はなくほぼ一定であり、2つの $\theta$ の差は約 $90^\circ$ であることがわかる。

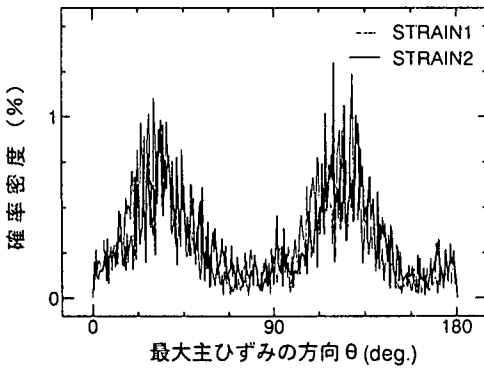


図-5  $\theta$ の確率密度分布 ('95.1.8)

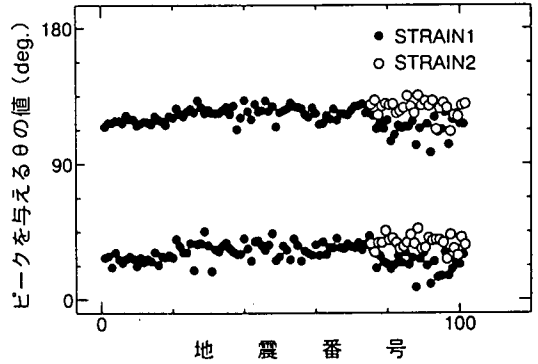


図-6 ピークを与える $\theta$ と地震番号との関係

②ひずみの状態の性質について

時刻歴の記録より、最大せん断ひずみ( $\gamma_{max}$ )と主ひずみ和( $\epsilon_1 + \epsilon_2$ )との比( $(\epsilon_1 + \epsilon_2) / \gamma_{max}$ )を算定し、継続時間内での確率密度分布を求めた。図-7には、この分布が示されている(図中太線)。これらの図を見ると、STRAIN1とSTRAIN2の場合ともに、0(即ち、純せん断状態)を中心に分布していることがわかる。また図中の細線は、ひずみの大きい時刻についてこの確率密度分布を求めたものである。ここでひずみの大きい時刻とは、最大せん断ひずみとその時刻歴における最大値の2割以上になる時刻である。これらの図からSTRAIN1とSTRAIN2の場合ともに、ひずみが大きくなるほど純せん断状態に近づくことがわかる。

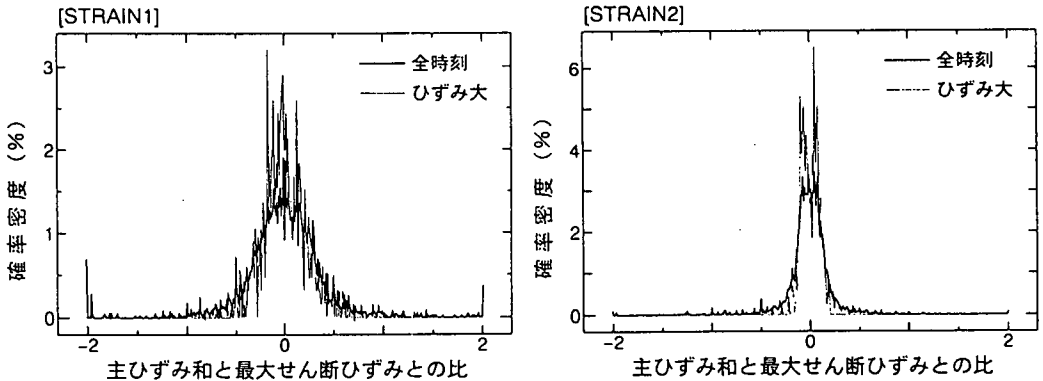


図-7  $(\epsilon_1 + \epsilon_2) / \gamma_{max}$ の確率密度分布 ('95.1.8)

③主ひずみとせん断ひずみの大きさの比について

観測されている全記録について、次の2つの値-最大せん断ひずみ( $\gamma_{max}$ )、主ひずみの絶対値の大きい方( $|\epsilon_1|$  または  $|\epsilon_2|$ ) の時刻歴での最大値を求めた。図-8 にはこれらの関係が示されている。縦軸は最大せん断ひずみの時刻歴最大値であり、横軸は絶対値最大の主ひずみの時刻歴最大値である。図中○印は STRAIN1 について、●印は STRAIN2 について示したものである。この図から、STRAIN1 と STRAIN2 の場合ともに、2つの最大値間に一定の関係があるのがわかる。図中の直線は次式のように表される。

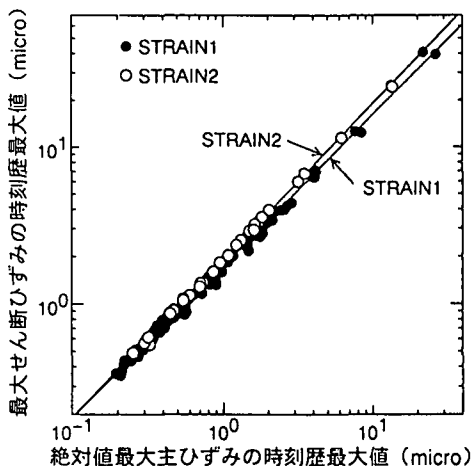


図-8 絶対値最大の主ひずみの最大値と最大せん断ひずみの最大値との関係

$$\gamma_{max} = 1.744 \times \text{MAX}(|\epsilon_1|_{max}, |\epsilon_2|_{max})^{0.965} \quad [\text{STRAIN1}]$$

$$\gamma_{max} = 1.900 \times \text{MAX}(|\epsilon_1|_{max}, |\epsilon_2|_{max})^{0.997} \quad [\text{STRAIN2}]$$

純せん断状態では、最大主ひずみの2倍が最大せん断ひずみとなる。上式から、双方ともにこの状態に近いと考えられる。

4 結び

地震時に生ずる広範囲の地盤ひずみの性質を調べるために、相互に約17m離れた2地点で地盤ひずみの同時観測を行っている。これらの力学的性質に注目し、比較検討を行った。その結果、双方のひずみの性質は同様の性質を示すことがわかった。2地点で観測されたひずみに共通してみられる性質は以下の通りである。

- ①最大主ひずみの方向とX軸(真北)との成す角は、地震によってあまり差異がない。
- ②当該観測場所に生ずる地表面でのひずみは、純せん断状態に近い。また、同一地震ではひずみが大きい時刻ほどこの傾向が強い。
- ③最大せん断ひずみの時刻歴における最大値は、主ひずみの時刻歴における最大値のほぼ2倍である。

5 謝辞

本研究をなすにあたり、小川育英会には多大なご援助をいただきました。深甚なる謝意を表します。

参考文献

(1) 森地 重暉・今村 芳徳・佐伯 宗大：地震時に生ずる地盤ひずみの観測とその結果について、構造工学論文集, Vol.40A, 7-15, pp.841~854, 1994年3月。  
 (2) 森地 重暉・今村 芳徳・佐伯 宗大：地震時に生ずる地盤ひずみの観測結果について、第9回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.205~210, 1994年。