

(6) 地震時地盤ひずみの挙動と埋設管ひずみに関する一考察

東京大学生産技術研究所	正員	○ 佐藤暢彦
東京大学生産技術研究所	正員	片山恒雄
フジタ工業株式会社	正員	中村正博
久保田鉄工株式会社	正員	岩本利行
鹿島建設株式会社	技術研究所	正員 大保直人

1. まえがき

地震時地盤ひずみの把握を目的として、高密度アレー観測網内で、近似的に地盤ひずみとみなせる埋設管のひずみ観測と、ロゼット状に設置した3台の地盤ひずみ計を用いた地盤ひずみ観測を行っている。本報告では、これまでに得られた観測記録のうち、最も加速度の大きかった茨城県南部で発生した地震とラブ波が最も卓越した長野県西部地震との記録を対象として、埋設管の地震時ひずみ（以下、管体ひずみとよぶ）と地盤ひずみ計から求められるひずみ（以下、地盤ひずみとよぶ）の比較を行うとともに、3台の地盤ひずみ計から得られる各種ひずみ成分と地震動との関連について考察する。

2. 観測体制

東京大学生産技術研究所千葉実験所構内において実施している地震観測は、(1)高密度アレー観測、(2)地下埋設管のひずみ観測、(3)地盤ひずみの直接観測、の3つで構成されている<sup>1)</sup> (図-1)。高密度アレー観測は、同構内のほぼ全域にある15地点の地表と地中44箇所における3方向地震動加速度を測定する合計132成分から構成されている。地下埋設管は口径φ150mmの鋼管とダクタイル管の2種類であり、90mとこれに直交する30mの長さのL字型に埋設されている。管に発生するひずみは、軸ひずみと曲げひずみに分離できるように、管の左右にストレイン・ゲージを貼付して測定している。地盤ひずみの直接観測は地盤中の2点間の相対変位を直接的に測るものである。製作した地盤ひずみ計は、図-2に示すように、長さ3mの二重管でできている軸部分とその両端にある直径80cmの円板部分から成っている。軸部分の外管の両端は円板に固定されており、中央部はゴム製の蛇腹で両板の相対変位を拘束せず、かつ、外管内に浸水しないように工夫されている。一方、内管の一端は円板に固定されており、もう一枚の円板に固定された変位計によって、2枚の円板間の相対変位が測れるようになっている。このような地盤ひずみ計を3台製作し、埋設管の近くの深さ1.3mの水平面内にロゼット状に設置した(図-1のG1, G2, G3)。

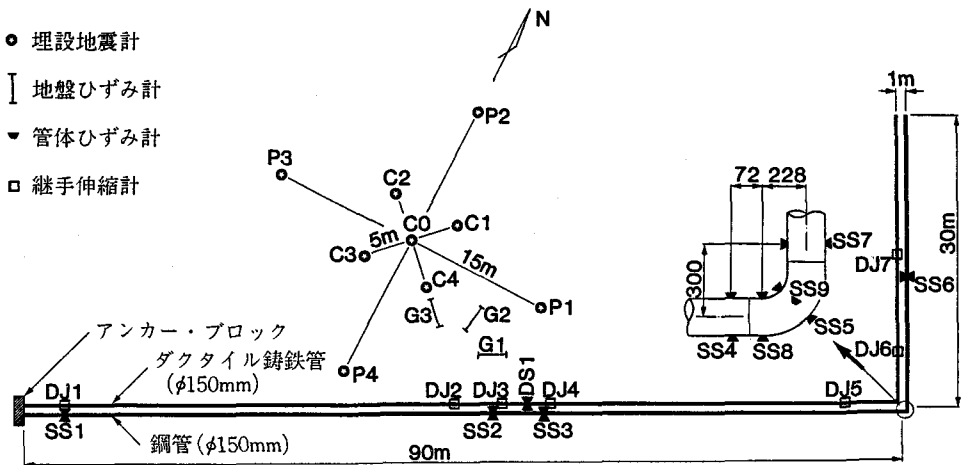


図-1 観測システム

なお、ロゼット状に配置した3台の地盤ひずみ計から任意の方向のひずみ成分を求めることができるが、以下では次のような表記を用いる。90mの管軸長手方向をx軸、30mの管軸長手方向をy軸とし、それぞれの軸に対する直ひずみを $E_x$ と $E_y$ として表す。また、震央と本観測所とを結ぶ方向の直ひずみ成分を $E_r$ 、これと直交する方向の成分を $E_t$ 、せん断ひずみ成分を $E_{rt}$ とする。方位を表す角度については、x軸を基準にして反時計回りにとる。

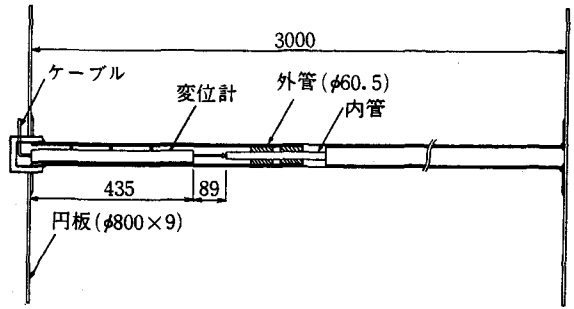


図-2 地盤ひずみ計

### 3. 地盤ひずみと埋設管のひずみの比較

1987年6月現在、およそ90の地震記録を得ている。本報告では、このうち加速度で最大の記録を与えた直下型に近い茨城県南部に発生した地震（以下、地震1とよぶ）と、ラブ波が典型的に現れた遠距離地震に相当する長野県西部地震（以下、地震2とよぶ）を用いて、地盤加速度と埋設管のひずみの比較、ならびに地盤ひずみと管体ひずみの比較を行う。表-1に両地震の諸元を示す。

図-3に示した地盤加速度と管体ひずみの記録波形によれば、地震1では、記録開始後10数秒の実体波とみられる部分で地盤加速度と管体ひずみが大きくなっているのに対して、地震2では、記録を開始しておよそ2分後の表面波とみられる部分で加速度レベルが地震1の1/20程度にもかかわらず、管体ひずみがほぼ同じレベルまで大きくなっていることが注目される。

表-1 記録地震諸元

	発生 年月日	震央位置		マグニ チュード	震源 深さ	震央 距離	震 度	最大振幅	
		北緯	東経					加速度	管体ひずみ
地震1	1985/10/4	35°52'	140°10'	6.1	78km	28km	4	82gal	18.8×10 <sup>-6</sup>
地震2	1984/9/14	35°49'	137°34'	6.8	2km	232km	2	4gal	18.5×10 <sup>-6</sup>

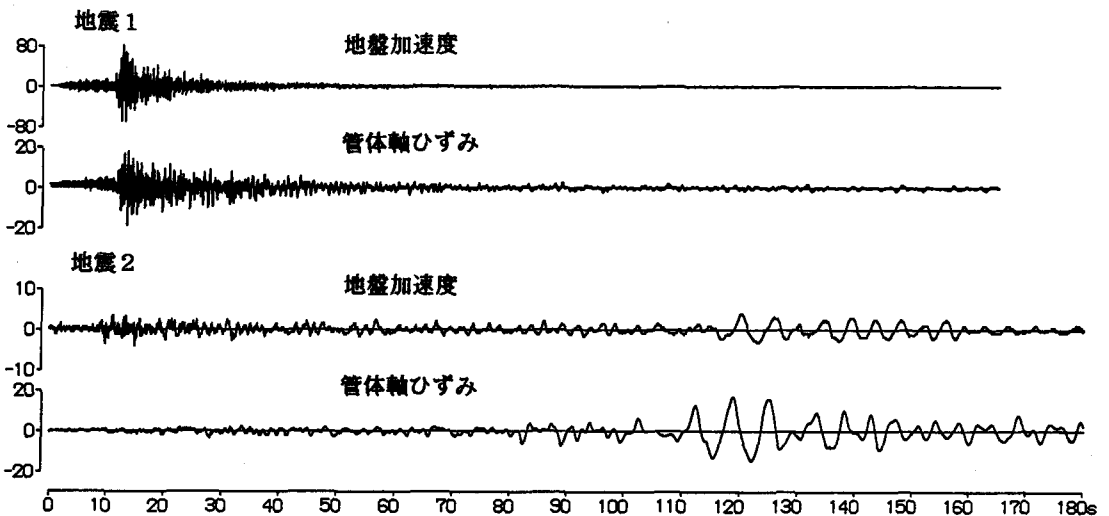


図-3 地盤加速度と管体ひずみの典型的な記録波形

3台の地盤ひずみ計が水平面にロゼット状に設置されているため、水平面内の任意方向の直ひずみとせん断ひずみを求めることができる。なお、図-3に示す全記録のうち、大きなひずみが生じている部分、すなわち地震1では記録開始後10数秒から4秒間、地震2では記録開始後2分から40秒間だけを抽出し、以下の検討の対象としている。

図-4は埋設管の軸ひずみSS3AならびにSS6Aと、これらに対応する地盤ひずみExならびにEyをそれぞれ比較している。地盤ひずみと管体ひずみの位相は実体波の地震1と表面波の地震2のいずれにおいてもよく一致しているが、そのひずみの値は地盤ひずみより埋設管のそれが大きくなっている。一般に、埋設管のひずみは地盤のそれより小さいものと考えられる。したがって、地盤ひずみ計で得られた値はいわゆる地盤ひずみ量を直接示しているわけではなく、文字どおりの地盤ひずみ計とするためには何らかの補正係数を乗じる必

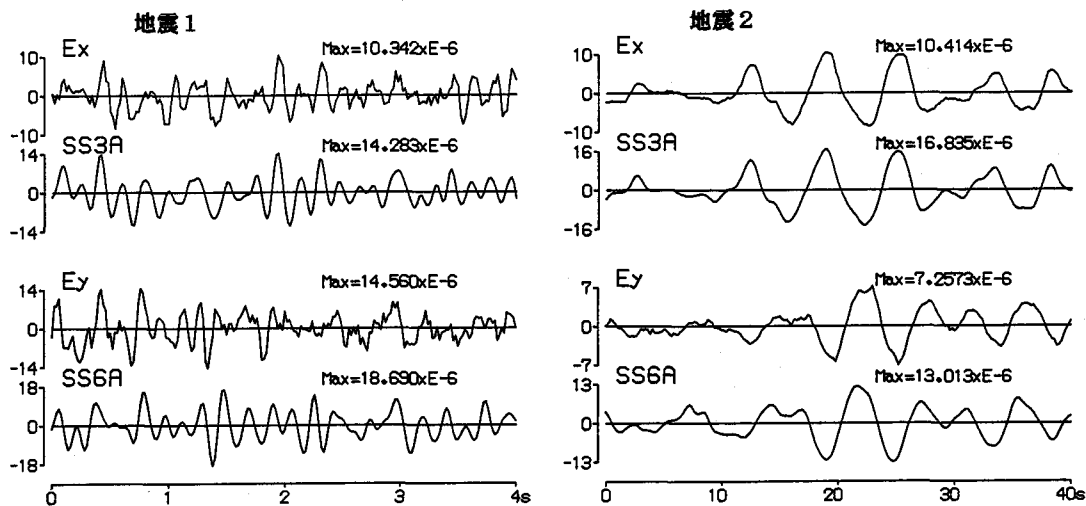


図-4 地盤ひずみ計と埋設管の波形の比較

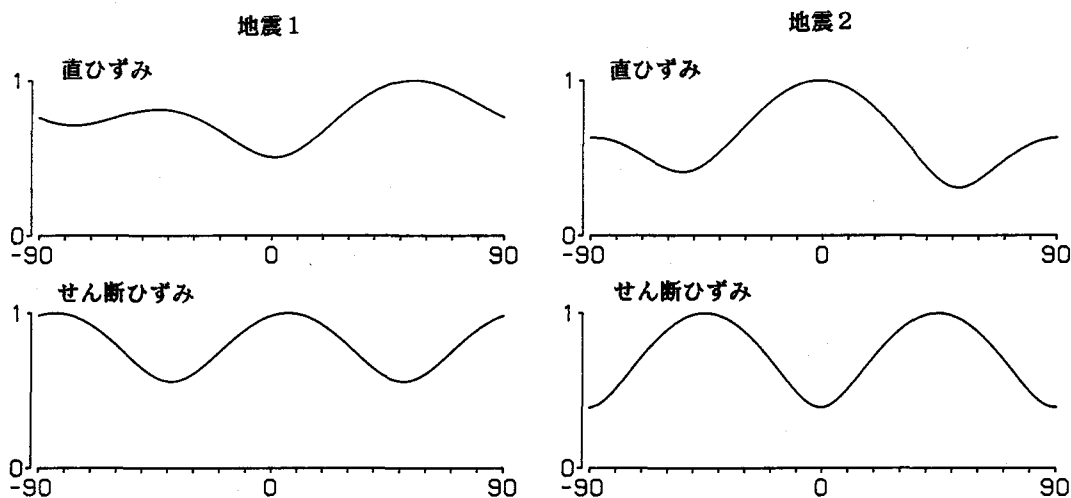


図-5 方位による地盤ひずみの平均振幅の変化

要がある。

-90から+90までの各角度の方向に対する直ひずみとせん断ひずみの平均振幅を地盤ひずみ計の記録から求め、その大小関係のみを最大値を1と正規化して示したものが図-5である。当然のことながら、直ひずみが最大のときにせん断ひずみが最小になっており、せん断ひずみは90度角度が異なると同じ値を示している。地震1においては最大の直ひずみを与える方向は55度、地震2においては-3度である。地震1における55度という方向は丁度震央方向と一致しているが、地震2の-3度は震央方向の-28度と25度の差がある。地震2による地盤振動はラブ波の伝播によることが確認されており、その入射方向は震央方向と一致していた<sup>2)</sup>。ラブ波のみが伝播すると考えるならば、せん断ひずみが最大となる方向と震央方向とは一致するはずであり、上述の25度のひらきと矛盾する。したがって、地震2における波動はラブ波以外のものも含まれていたと推察される。

震央方向とその直交方向の直ひずみ ( $E_r$  と  $E_t$ ) とせん断ひずみ ( $E_{rt}$ ) を求めたものが図-6の上3段の波形である。これらのひずみ成分のうち、2つ以上の成分が同じ瞬間に最大ひずみ値の25%を越すときの主ひずみ方向を求めたものを図-6の最下段に示す。3成分のひずみ振幅の大小に着目すれば、地震1においては  $E_{rt}$ 、地震2においては  $E_t$  が小さい。一方、主ひずみ方向については地震1の場合はかなりばらついているのに対して、地震2の場合は比較的まとまっている。これは、地震2ではラブ波以外の波動の伝播も考えられものの、それらを組合わせた結果は比較的単純な現象になっているのに対して、地震1の地盤振動は水平2方向のS波の重複反射でおおむね説明でき、瞬間瞬間でみた地盤の振動方向は複雑に変化していることによるものと考えられる。

#### 4. おわりに

本報告では、埋設管のひずみとロゼット状に配置した地盤ひずみ計から求めたひずみを用い、地盤の挙動について述べた。今後、他の記録についても同様の検討を加えることにより、地震時地盤ひずみについての資料を蓄積していく予定である。

#### [参考文献]

- 1) 佐藤・片山：“地震動と地盤ひずみの観測”、生産研究、第36巻9号、1984年9月。
- 2) 佐藤・片山・大保・中村・岩本：“長野県西部地震における埋設管のひずみと波動伝播”、土木学会第40回年次学術講演会、I-197、1987年9月。

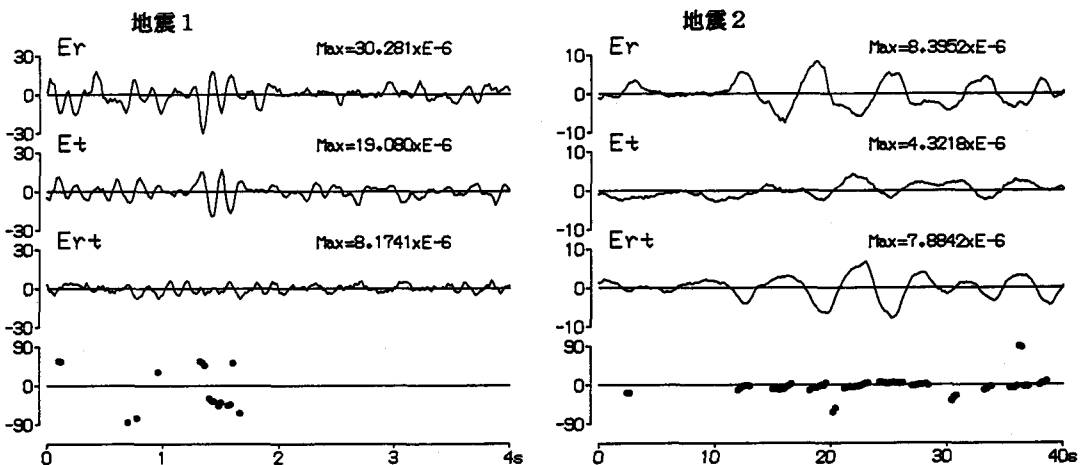


図-6 地盤の3成分のひずみ波形(上3段)と主ひずみ方位の時間的変化(最下段)