

(25) 絶対時刻付強震計による三点アレー観測と地盤ひずみの推定

京都大学工学部 中西伸二 山田善一
 家村浩和 伊津野和行
 大成建設 黒沢 亘

1. はじめに

著者らの研究室においては、1984年2月より絶対時刻付デジタル型強震計3台を川崎市内に設置し、三点アレー観測を実施している。本研究は、その三点アレー観測システムを紹介するとともに、この観測システムで得られた加速度地震記録を用いて地盤変位を算出し、これより各観測点を結んだ地盤の水平面内の地盤ひずみなどを推定した。これらの推定値の妥当性について、同三点アレー観測近傍に設置されている埋設管路の地震時ひずみ記録と比較検討した。その結果、両者はかなり良い一致を示した。さらに、強震計設置場所における常時微動計測も合わせて実施し、三点アレー観測場所の地震動に対する地盤特性についても考察した。これらの結果について述べる。

2. 強震計の概要と三点アレー観測システム

表.1 デジタル強震計の主要性能

1). 絶対時刻付デジタル型強震計の概要 本三点アレー観測に使用している絶対時刻付デジタル型強震計は、株式会社東芝製のデジタル強震計SANTAC-17Eである。その主な性能を表.1に示す。この強震計の特長は、①A-D変換は16bitであり高精度の記録が得られる、②1/200秒の精度の水晶時計を内蔵しNHKラジオ時報により、0.005秒の精度で時刻修正する、③5秒の遅延装置を有しているのでP波から記録できる等である。従ってこの強震計を使用すると遠距離間に設置された強震記録でも、再生時に絶対時刻を合せた再生ができる。

名称	デジタル強震計
形式	SANTAC-17E
感震方向	水平成分×2+鉛直成分×1 タイムコード信号
測定範囲	0 ~ ±1000 gal
周波数応答	0.1 ~ 30 Hz
加速度検出器	サーボ型加速度計
記録制御	全デジタル式 (MC-6800マイクロプロセッサ)
A/D変換	逐次比較方式 16 bit バイナリ
遅延装置	全チャンネル 5秒
水晶時計	月、日、時、分、秒表示、大小月自動判別
時計精度	日差 ±0.01秒以内
自動修正	NHKラジオ時報により、±1分以内の進み、遅れを0.005秒の精度で時刻修正
記録方式	デジタル磁気テープ PE方式
使用磁気テープ	スリーエム DC-300A型
テープ速度	8 inch/sec
最大記録時間	約30分
起動方式	上下方向センサーにより検出 1gal ~ 10galの間、起動レベルの変更可能 又、水平方向センサーからの検出も可能
起動停止条件	水平方向加速度の平均値が5gal以下になった後、10秒後に停止
電源	AC-100V
消費電力	約35VA
停電補償	内蔵電池により、約180分作動
外ケース	520 × 340 × 200 (mm)

2). 三点アレー観測システム 本観測システムは、上記デジタル強震計3台を1984年2月7日、川崎市の日本鋼管中央技術研究所渡田地区内に設置して以来、現在も継続実施中である。強震計の設置状況を Fig.1に示す。3台の強震計の直線距離は、①~②間が160.0 m、②~③間が179.5 m、③~①間が166.0 mとなっており、三角形を形成している。以下、3台の強震計設置場所①、②、③で収集された強震記録を各々No.1、No.2、No.3強震記録と呼ぶ。3台の強震計設置場所の地盤は、ほぼ平坦な旧埋立地で、水平で規則的な地層を持つが、比較的軟弱な地質で構成されている。Fig.3に地盤の柱状図を示す。なお、この柱状図は日本鋼管中央技術研究所より提供されたものである。

3. 三点アレー観測結果と解析データ

本観測を開始して以来、いくつかの強震記録が観測されているが、本研究の解析データとしては、1984年3月8日午前11時18分頃発生した鳥島近海地震 (M=7.9、震央距離=約700 Km、深さ=約452 Km、震度=東京Ⅳ、横浜Ⅲ、仙台Ⅲ) を用いた。本解析の強震データとして用いた理由は、マグニチュードが大きく、震源が遠距離で深いので、ほぼ日本列島全体を振動させた地震だからである。3台の強震計で観測された N-S 成分の加速度記録を Fig.3 にしめす。いずれも S 波到着時刻後の記録である。なお、実記録は P 波から観測されている。最大加速度は、No.1 が 17.4gal (N-S)、No.2 が 17.8gal (N-S)、No.3 が 17.3gal (E-W) であった。

4. 地震動の速度、変位の算出

速度、変位を算出する前に、地震動の特性を知る必要がある。特に計測数値化などの段階で混入して来る長周期成分波の存在などを知り、これを除去しなければならない。まず、地震動のスペクトル特性の非正常性を検討するため、ランニング・スペクトルを求めた。観測点 No.1 における 3 方向のランニング・スペクトルを Fig.4 に示した。同図に示すように、時間の経過につれて卓越振動数は低振動数側へ移っていくことがわかる。この卓越振動数の移動は、

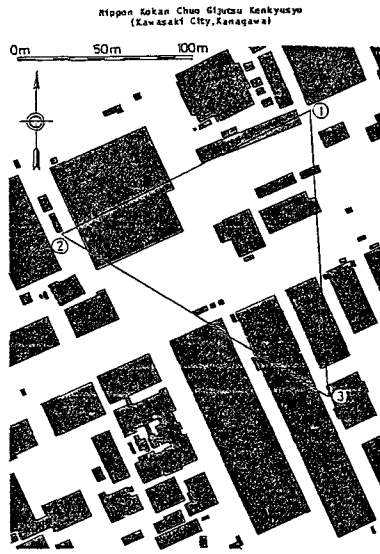


Fig.1 Locations of SAMTAC-17E

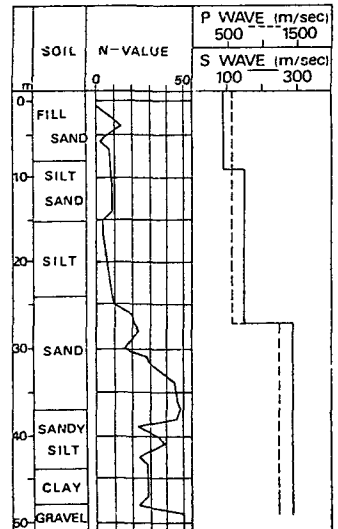


Fig.2 Boring Log

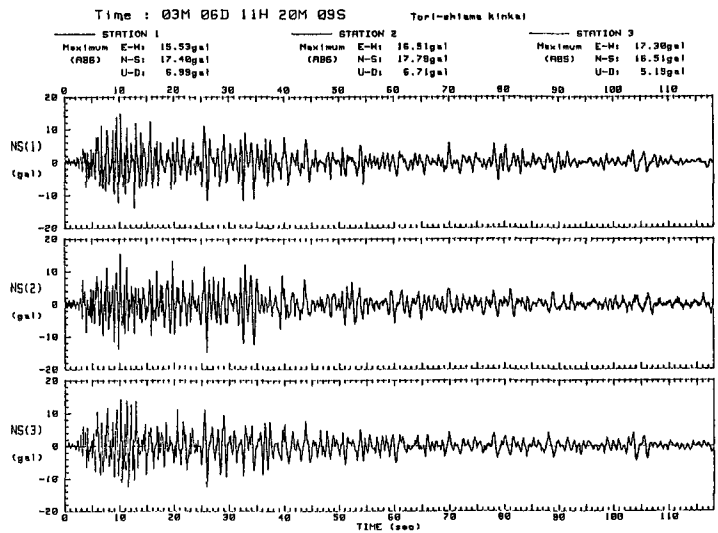


Fig.3 Recorded Accelerograms (N-S)

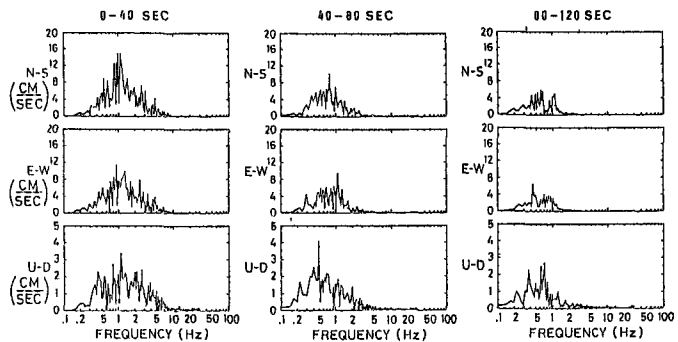


Fig.4 Running Spectra of Acceleration (No.1)

その前半部において実体波を中心とした波動が、その後半部においては表面波を中心とした波動が、おのおの卓越している結果であろうと考えられる。また、信頼性の高いデータを得るために長周期および短周期のノイズを除去するが、本研究では振動数範囲の異なる各種のフィルターによる解析結果を総合的に判定した結果、遮断振動数が0.1~30HzのOrmsbyフィルターを用いた。このような補正を行なった加速度記録を積分することにより、速度・変位を算出することができる。Fig.4は、観測点 No.1 N-S 成分の加速度・速度・変位の三波形を示す。

5. 地盤の平面ひずみの算出

Fig.1の観測点 No.3 を原点とし、E-Wをx軸に、N-Sをy軸にとり、Fig.6のような局所座標系を仮定して、上記4.で得られた変位を二次元有限要素である節点(観測点)に作用させることにより、3節点を結んだ地盤の平均平面ひずみ(N-S, E-W2方向の伸縮ひずみおよび、平面内のせん断ひずみ)を算出することができる。Fig.7は、算出した ϵ_y のひずみである。 ϵ_y の最大ひずみは11.8 μ 、また ϵ_x は15.6 μ であった。

6. 埋設管路の実測ひずみとの比較

三点アレー観測地点近傍で実測された埋設管路(長手方向NE 66°)伸縮実測ひずみをFig.8に示す。この埋設管路の実測ひずみデータは、日本鋼管㈱中

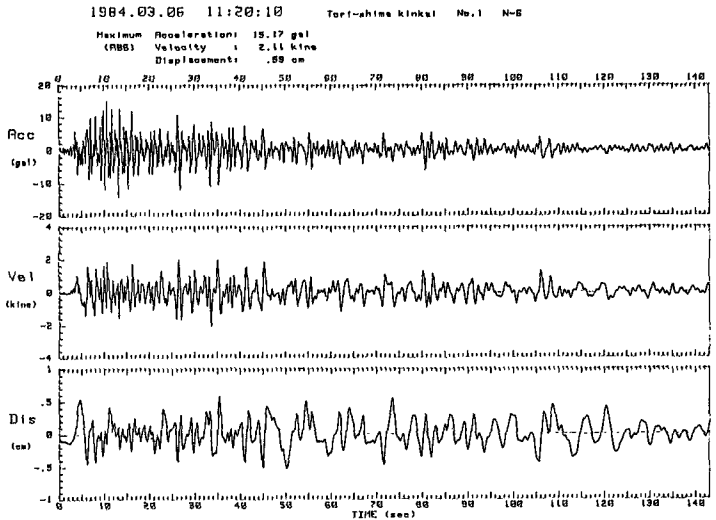
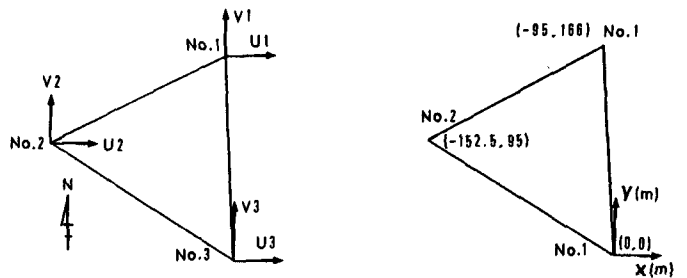


Fig.5 Corrected Acceleration, Velocity and Displacement



(a) Normal Displacements (b) Local Coordinate System

Fig.6 Coordinates

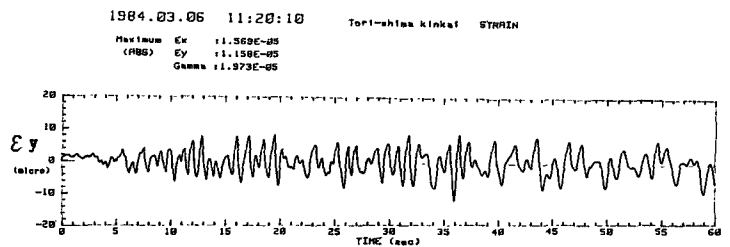


Fig.7 Calculated Ground Strain

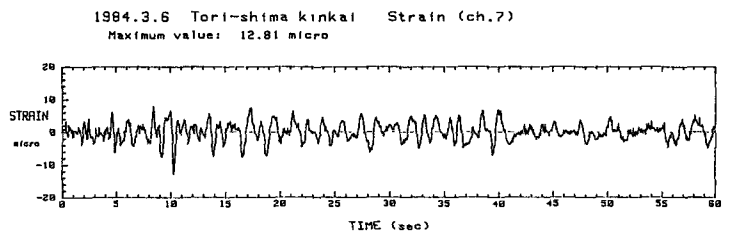


Fig.8 Observed Pipe Strain

中央技術研究所より提供されたものである。埋設管路の概要は、水道鋼管路で地表面下3m、内径1800mm、肉厚19mmである。ひずみの測定位置は、伸縮可とう管から200m程度離れている。Fig.7の計算値とFig.8の実測値は、同一方向のものでなく、また時間軸も一致していないため直接比較することは

できないが、周波数特性などは比較的よく似ている。三点アレー観測より算出した地盤の最大平均平面ひずみは5.で述べたとおり $\epsilon_y = 11.6\mu$ 、 $\epsilon_x = 15.6\mu$ であった。一方、埋設管路の最大ひずみは12.8 μ であるので最大値は、ほぼ一致している。しかし、波形に関しては、Fig.7はFig.8と比較して高周波成分がカットされた波形となっている。これは、Fig.7のひずみは約180m離れた三地点の加速度記録を数値積分して求めた平均平面ひずみ波形なのでやむを得ないと考える。

7. 常時微動波形のフーリエスペクトルとの比較

Fig.9は、三点アレー観測場所の地表面の常時微動変位波形である。Fig.10は、Fig.3のNo.1の加速度記録のフーリエスペクトルである。Fig.11は、埋設管路の伸縮ひずみのフーリエスペクトルである。Fig.12は、三点アレー観測の強震計設置場所の地表面の常時微動変位記録のフーリエスペクトルである。なお、これらのフーリエスペクトルには、Parzenウィンドウをほどこしてある。Fig.10とFig.12のフーリエスペクトルから言えることは、三点アレー観測の強震計設置場所の地表面の地盤の卓越振動数は、約1Hzである。それに対して、Fig.11の埋設管路の伸縮ひずみのフーリエスペクトルが、約1Hzと別に0.5Hz～0.75Hz間で卓越しているのは、埋設管路に固有な振動の影響であろうと思われる。

8. 謝辞

三点アレー観測場所の地盤の柱状図及び埋設管路の実測ひずみデータ等を提供して下さった日本鋼管中央技術研究所の関係者の皆様に感謝します。

9. 参考文献

- 1). G.N. スミス著、瀬川富士訳：有限要素法による応力解析入門、ブレイン図書出版、1974年10月
- 2). 大石、関口：埋設管路の地震観測と応答解析、第6回地震工学シンポジウム、1982年12月
- 3). 山田、家村、伊津野、中西、黒沢：三点アレー加速度記録による地盤ひずみの推定、土木学会関西支部昭和60年度学術講演会概要集、昭和60年5月

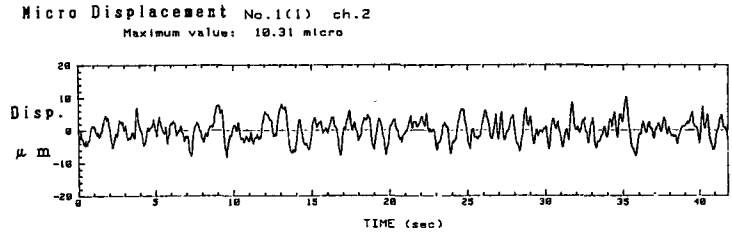


Fig.9 Recorded Displacement of Microtremor

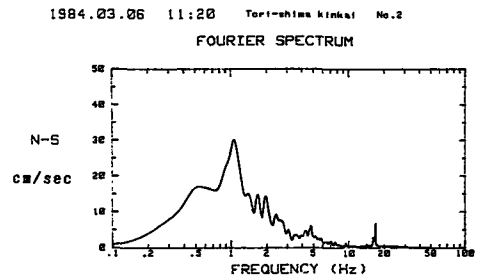


Fig.10 Fourier Spectrum of Recorded Ground Acceleration

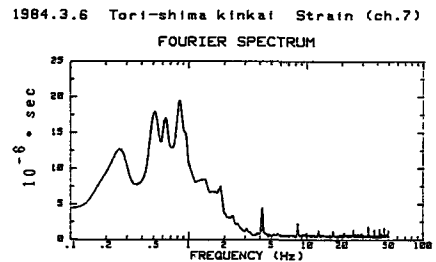


Fig.11 Fourier Spectrum of Recorded Pipe Strain

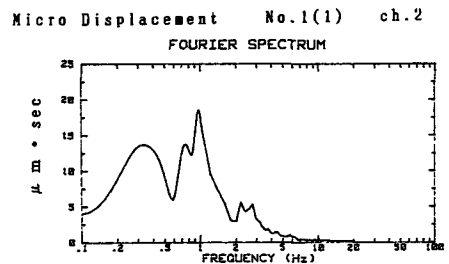


Fig.12 Fourier Spectrum of Recorded Microtremor