

四電技術コンサルタント 正員 杉峯正夫

建設省土木研究所 / 田村敬一

/ 相沢 興

1.はじめに

建設省土木研究所では、 $\frac{1}{200}$ 秒のサンプリング間隔で16ビットAD変換器を用いたデジタル強震計(表1)を高密度強震観測に使用している。本小文は、強震計相互間の感度補正を行った上で、ある2台の強震計の記録から計算される地盤ひずみの精度について検討した結果を報告するものである。

2.検討方法

振動台上に8台の強震計を固定し、図1に示す5実測記録を入力地震動として、加振実験を行った。ただし、実験ケースとしては、表2に示すように加速度レベルを2種類に変えることにより、 $2 \times 5 = 10$ ケースとした。強震計の加速度記録から変位を求める方法としては、振動数領域で加速度記録にバンドパスフィルターをかけ、数値積分する方法を用いた。ここで、フィルターの低振動数側および高振動数側の遮断振動数は、参考文献1)で変位の再現性がよいことが確認された、 $\frac{1}{10}$ Hzおよび20Hzとした。このようにして2台の強震計の加速度記録から求めた変位を $d_1(t)$ および $d_2(t)$ とする。次に、強震計間の相対変位 $d_1(t) - d_2(t)$ の精度を検討するために、次式で表されるパラメータ η を定義する。なお、以後の解析においては、 $d_1(t)$ としては強震計1~7より求めた変位を、また、 $d_2(t)$ としては強震計8から求めた変位を用いることにする。

$$\eta = |d_1(t) - d_2(t)|_{\max} / |d_2(t)|_{\max} \quad \cdots (1)$$

パラメータ η の計算例を示すと、図2の実線のようにになる。また、一般に、 η の値は記録の継続時間が長い富津岬、南港、扇島記録の場合には最大10%程度、継続時間が短い沼津、板島橋記録の場合には最大20%程度である。

3.強震計相互間の感度補正

各強震計について、記録された最大加速度をもとに、次のような方法で感度補正を行った。いま、強震計を m (=8)台、実験ケースを n (=10)ケースとして、強震計 i の実験ケース n における最大加速度を X_{ij} とする。また、実験ケース n の最大加速度の最適値 X_j^* を次式で定義するものとする。

$$X_j^* = \sum_{i=1}^m X_{ij} / m \quad \cdots (2)$$

最小2乗法により、強震計 i に対する補正係数 C_i を次のように求める。

$$C_i = \sum_{j=1}^n (C_i X_{ij} - X_j^*)^2 \quad \cdots (3)$$

$\frac{\partial C_i}{\partial C_i} = 0$ において、

$$C_i = \sum_{j=1}^n X_{ij} \cdot X_j^* / \sum_{j=1}^n X_{ij}^2 \quad \cdots (4)$$

各強震計に対する補正係数の一覧を示すと、表2のようにになる。表2より、補正係数の値は0.95~1.05程度であることがわかる。次に、感度補正を施した加速度記録をもとに変位を計算し、式(1)で表される相対変位の精度のパラメータ η を求めると、図2の破線のようにになる。図2より、一般に、補正を加えることにより η の値は減少し、相対変位の精度は向上するが、その向上の度合は必ずしも大きくないことがわかる。

4.地盤ひずみの精度

地震時の有限地盤ひずみ(伸縮ひずみ)の最大値 $\varepsilon_{\max}$ は、2台の強震計間の距離を L とすれば、次のように表される。

$$\varepsilon_{\max} = |d_1(t) - d_2(t)|_{\max} / L \quad \cdots (5)$$

ここで、式(1)より、2点間の相対変位の最大値には次式で表される誤差 $|d_1(t) - d_2(t)|_{\max}^{\text{ERROR}}$ が含まれている。

$$|d_1(t) - d_2(t)|_{\max}^{\text{ERROR}} = \eta \cdot |d_2(t)|_{\max} \quad \text{-----(6)}$$

式(6)を式(5)に代入することにより、 $\varepsilon_{\max}$ に含まれる誤差 $\varepsilon_{\max}^{\text{ERROR}}$ は次式で表される。

$$\varepsilon_{\max}^{\text{ERROR}} = \eta \cdot |d_2(t)|_{\max} / L \quad \text{-----(7)}$$

いま、 η は3.で継続時間の長い記録から求められた10%とし、また、 $L = 100(\text{m})$ 、 $|d_2(t)|_{\max} = 1(\text{cm})$ とすれば $\varepsilon_{\max}^{\text{ERROR}} = 10 \times 10^{-6}$ となる。

5.まとめ

2台の強震計の加速度記録から求めた相対変位の最大値は、最大変位の10%程度であり、これは地震動の最大変位を1cm、観測点間の距離を100mとすれば、地震時地盤ひずみに 10×10^{-6} 程度の誤差が生じることを意味する。また、本報告で提案した感度補正を施すことにより、強震計相互間の記録精度を向上させることができるが、感度補正による精度の向上は必ずし

表1 デジタル強震計の主要仕様

換振器	速度帰還型サブタイフ加速度計
固有振動数	5Hz
減衰定数	240
測定加速度範囲	$\pm 1000 \text{gal}$
AD変換器	16ビット
サンプリング間隔	$\frac{1}{200} \text{秒}$

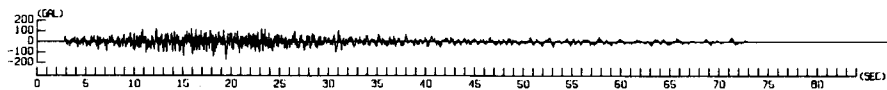
も大きなものではなく、相対変位の精度には、強震計の感度の違いだけではなく、変位の計算方法、記録の継続時間等、他の要因も関与していると考えられる。

表2 加振実験の一覧

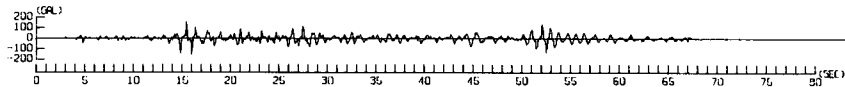
実験ケース	記録名	最大加速度 ^(a) (gal)	最大変位 ^(b) (cm)
1	富津岬	167.6	2.90
2	南港	157.6	3.02
3	扇島	139.3	2.91
4	沼津	158.0	1.01
5	板島橋	154.2	0.83
6	富津岬	351.2	4.70
7	南港	243.5	6.96
8	扇島	343.4	4.95
9	沼津	439.2	2.08
10	板島橋	399.7	1.34

注)8台の強震計の平均値

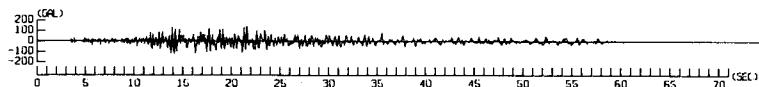
参考文献 1)建設省土木研究所：高密度強震観測用デジタル強震計の記録精度に関する実験的検討，土研資料，第2019号，昭和58年8月



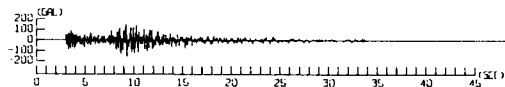
(a) 富津岬記録



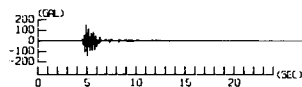
(b) 南港記録



(c) 扇島記録



(d) 沼津記録



(e) 板島橋記録

図1 加振実験に用いた加速度記録

表3 補正係数の一覧

強震計番号	補正係数
1	1.04
2	0.99
3	1.06
4	0.95
5	0.98
6	1.01
7	0.97
8	1.01

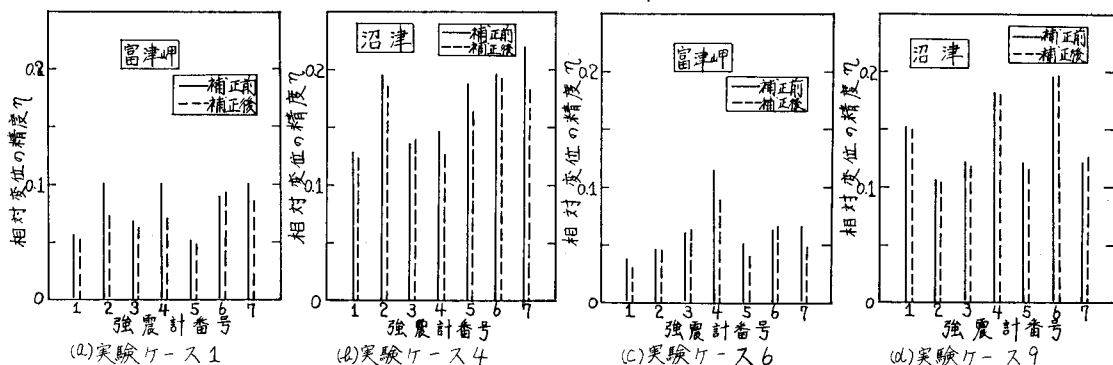


図2 η による相対変位の精度