

京都大学防災研究所 正 員 佐藤忠信

京都大学工学部 ○ 学生員 畑山吉孝

1. はじめに

地震時における地盤の応答計算では、土の動的性質を明確にさせることが重要であり、また、土の動変形特性はひずみの大きさによって決定できることが知られている。しかし、動的ひずみを計測するシステムが実用化されていなかったため、地盤のひずみ量と地震動との関係が必ずしも明確にされていない。そこで本研究では、地盤内のせん断ひずみを直接計測するためのシステムの試作を行う。

2. ひずみ計測装置の概要

今回試作したひずみ計測装置の概略を図-1に示す。水平せん断ひずみ2成分計測可能にするために、2枚のリン青銅製プレート（縦4.5cm×横2.8cm）を90度ずらして、縦方向に接続した。本実験では、プレートの表面にひずみゲージを貼付し、屈曲時のひずみゲージの電圧を検出し、予め行ったキャリブレーションの較正值から、アルミニウム棒の屈折角を調べる。図-2において、 θ_1 、 $\Delta\theta_{12}$ 、 $\Delta\theta_{23}$ を計測屈折角とすると、

$$\gamma_1 = du/dz = \tan \theta_1$$

$$\gamma_2 = \tan \theta_2 = \tan(\theta_1 + \Delta\theta_{12})$$

$$\gamma_3 = \tan \theta_3 = \tan(\theta_2 + \Delta\theta_{23}) = \tan(\theta_1 + \Delta\theta_{12} + \Delta\theta_{23})$$

と屈折角からそれぞれのせん断ひずみが求められる。

3. 有限要素解析によるシミュレーション

実地盤へひずみ測定システムを導入した場合の有限要素解析によるシミュレーションを行い、実地盤の振動特性にひずみ測定システムが与える影響、ひずみ測定システムの各諸元値について検討する。表-1に示すように棒長、棒の線密度、EA及びEI、計測部回転バネ剛性をパラメータとして変化させて解析を行った。解析結果より、モデル地盤の共振点は7 Hzに見られた。図-3にcase0,1,9,10において入力振動変位が最大となる位相での、計測装置を含む面内の鉛直測線上の5 Hz、7 Hz、9 Hzでの水平変位モードを示す。また地盤底面での最大変位振幅は図の一マスに相当し、*で繋がれた線は、底面が一マス揺れたときのその上部の点の振動状態を示す。case1からcase8では梁部が地盤内のせん断力により曲がり、特にcase2,4,6,8の場合では著しい曲げが見られた。case10,12においても少なからず曲げはあるが、case9,11では梁部の曲げはない。以上のことから、棒長は1m以下が適当で、曲げ剛性EIは 2.7×10^6 程度がよいと考えられ、case9とcase0の変位の比較より歪み計測システムの地盤への影響は少ないといえる。ばね剛性の値もcase9とcase11の比較から $7 \text{ N} \cdot \text{m/rad}$ 以下であれば影響はないと考えられる。実際問題として、曲げ剛性を極端に上げるには断面積を大きく取らねばならず、その対策として、棒長を小さくすることにより、棒の曲げにより生じる歪の測定値（屈折角より求まる）の誤差は小さく抑えられる。

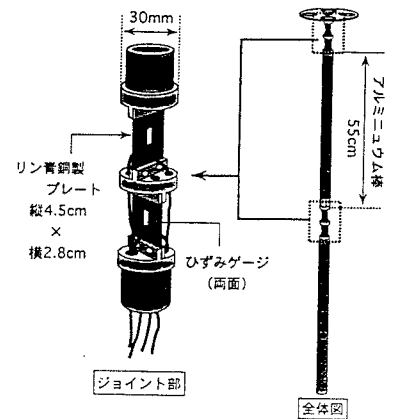


図-1 ひずみ計測装置概略図

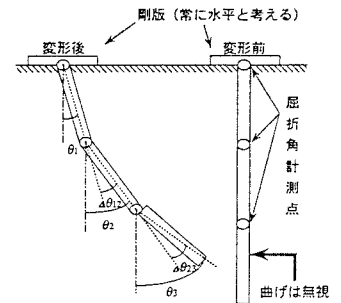
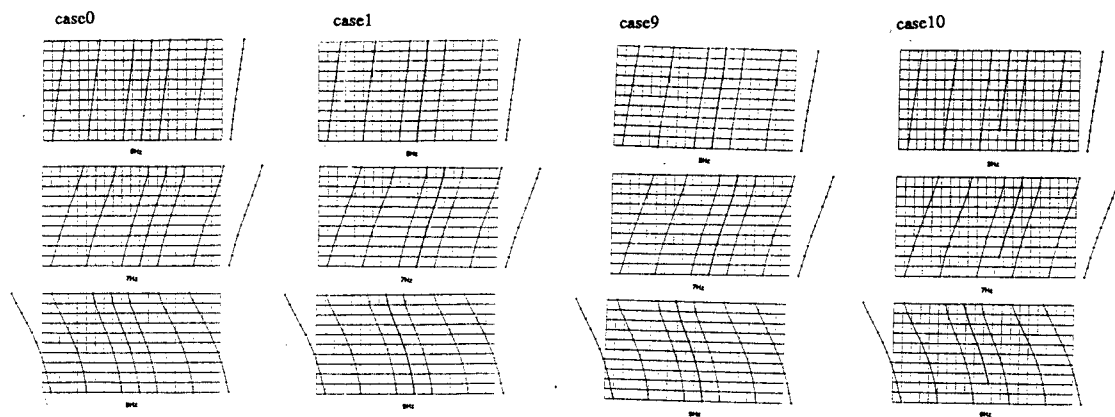


図-2 ひずみ測定方法

ケース	棒長 (1g/m)	棒径(mm)	ばね剛性 (N/m/rad)	EA	EI
case0	0.7	1	6.87×10^3	1.8×10^3	1.8×10^3
case1	0.7	2	6.87×10^3	1.8×10^3	1.8×10^3
case2	1.1	1	6.87×10^3	2.7×10^3	2.7×10^3
case3	1.1	2	6.87×10^3	2.7×10^3	2.7×10^3
case4	3.5	1	6.87×10^3	8.4×10^3	2.7×10^3
case5	3.5	2	6.87×10^3	8.4×10^3	2.7×10^3
case6	32.0	1	6.87×10^3	8.4×10^3	2.7×10^3
case7	32.0	2	6.87×10^3	8.4×10^3	2.7×10^3
case8	98.0	1	6.87×10^3	2.6×10^3	2.7×10^3
case9	98.0	2	6.87×10^3	2.6×10^3	2.7×10^3
case10	98.0	1	6.87	2.6×10^3	2.7×10^3
case11	98.0	2	6.87	2.6×10^3	2.7×10^3
case12	98.0	2	6.87	2.6×10^3	2.7×10^3

表-1 各ケースの特性値



4. 振動台実験

図-3 解析による振動モード

試作したひずみ測定システムの適用性を検討するために模型振動台実験を実施した。ひずみ測定システムを用いて計測した地盤内ひずみと、各層における絶対加速度の時刻歴データより算定した地盤ひずみを比較する。図-4に示すようなモデル地盤を作成し、振動台により一方向加振する。地盤密度は $\gamma_t = 1.68 \text{ gf/cm}^3$ であった。図-5にひずみ測定装置で計測した地盤ひずみ（図中細線）と、土槽底部・地盤中部・地表面で計測した加速度時刻歴を時間について2階積分して求めた変位に基づいて計算したせん断ひずみ（図中太線）の時刻歴を示す。ひずみ測定システムによって測定した地盤内ひずみは、加速度計測データに基づいたひずみ算定結果と比較して数倍大きなひずみ値を示している。図-6はランダム地震波による加振実験における結果である。加速度計より求めた地盤のひずみと、ひずみ計測システムにより得られたひずみの不一致の原因の一つとしては、計測棒上部に設置した蓋部の質量による運動が考えられる。ひずみ測定装置による計測は蓋部が地盤表面に固定されており、かつその質量が無視できるものとして行われている。しかし、実際には蓋部は無視できない質量を有している。さらに、地盤が十分締め固まっておらず、ある程度蓋部が可動であることが推定できる。これらの要因により蓋部が固有の振動系を形成し、装置上部において過度の曲げ応答を示し、ひずみ測定システムの観測データより算定された地盤のひずみが大きな振幅を有したと考えられる。

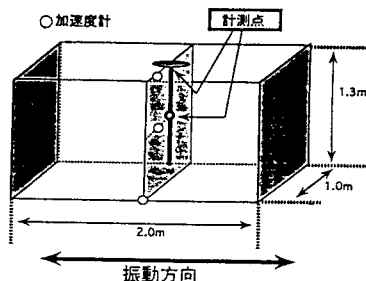


図-4 実験概要図

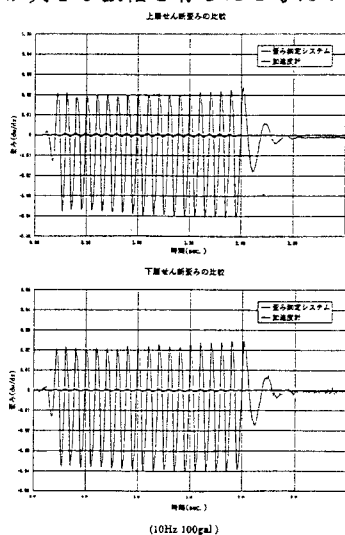


図-5 加速度計より求めた歪の時刻歴とひずみ測定システムより求めた歪の時刻歴

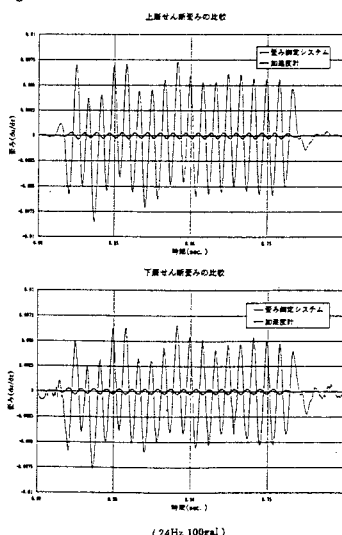


図-6 加速度計より求めた歪の時刻歴とひずみ測定システムより求めた歪の時刻歴

