

第I部門

サーボ型速度計による地盤の永久変位の測定

京都大学工学研究科 正 員 土岐 憲三

京都大学工学研究科 正 員 澤田 純男

京都大学工学研究科 正 員 盛川 仁

京都大学工学研究科 ○学生員 犬飼 信広

1. はじめに

本研究では強震観測用サーボ型速度計をモデルとして、液状化等によって発生する側方流動や地盤傾動を含む地震動の応答シミュレーションを行い、サーボ型速度計による地盤の永久変位測定の可能性を検討する。このタイプの強震計は通常、100秒程度の長周期成分をも精度よく測定することができ、側方流動や地盤傾動のような比較的ゆっくり動く地動の記録にも適している。

2. 解析手法

サーボ型速度計は、地動を受けると振り子の相対変位を変位検出器が検知し、それに相当する電圧を増幅してダイレクト出力に出力する。また、この出力の一部はコイルに帰還され、振り子に対して安定して大きな減衰力を与えている。一般に、このような大きな減衰力をうけた振り子の相対変位は地動速度に比例したものとなるので、上述のダイレクト出力を地動速度と見なすことができる。本研究では、減衰定数250、固有振動数1.5Hzで最大測定範囲が100cm/秒のサーボ型速度計をモデルとして、入力した地動に対する振り子の応答変位を線形加速度法を用いて求める。そしてこれを定数倍してダイレクト速度出力をシミュレートする。図1はこのシミュレーションにおける入出力の伝達特性を表す周波数応答関数である。入力地動としては1994年三陸はるか沖地震の八戸測候所における加速度記録のNS成分に基線補正を施し、帯域通過フィルターを通過させることにより、その変位波形(図2)の始めと終わりの値がそれぞれ0となるようにしたものである。これは永久変位の存在しない地動である。この入力地動に側方流動、地盤傾動に相当する地動を合成し、その出力波形をシミュレートし、入力波形と比較検討する。

3. 永久変位の測定

図2の入力地動に側方流動に相当する地動を合成すると、図3の実線で示す変位波形となる。このような入力地動に対して上記のシミュレーションから得られる変位出力を図3の破線に示した。これらを比較すると、入力として与えた永久変位が出力において、正しく再現されていないことが判る。これは地震計の応答が図1に示すような高域通過フィルターとしての特性をもつため、出力が完全な形で再現されないために起こると思われる。そこでサーボ型速度計のこのような特性を補完するために、速度出力から図4に示す補正曲線を差し引くことにする。この補正により図3の点線で示す変位出力が得られ、入力地動に含まれる永久変位をサーボ型速度計により再現できることが判る。ただし補正曲線は側方流動の開始時刻および継続時間が既知であることを仮定して決定している。そのため、この補正を行う前に速度記録を低域通過フィルターに通過させて側方流動成分を抽出することにより、側方流動の開始時刻および継続時間を知る必要がある。

上記の方法でサーボ型速度計による永久変位測定が可能であることが明らかになったので、側方流動の継続時間をパラメータに選び、測定可能な永久変位の最大値についてパラメータスタディを行った。その結果、継続時間が1秒、10秒、100秒の場合の最大測定値はそれぞれ50cm、525cm、7200cmとなった。またデジタルレコーダー接続時のA-D変換による量子化誤差は高々0.02cm程度であった。

4. 地盤傾動による影響

強震観測中に地盤傾動が起ると振り子に地動とは異なった外力が加わるため、サーボ型速度計の速度記録にもその応答が現れる。この時の速度記録の一例を図5に示す。これより地盤の傾動角が一定値中に落ちついた場合のサーボ型速度計によるダイレクト出力は ϕ に比例した値に収束することが判る。これは測定時間が十分長い場合には最終傾動角 ϕ がダイレクト出力記録から読みとれることを示している。ただし、傾動

角が 0.11° を超えると速度記録は振り切れるため、 $\phi > 0.11^\circ$ となる傾動の測定は不可能である。

5. 地盤傾動の除去

地動に側方流動と地盤傾動の両方が含まれている場合、記録から永久変位を測定するためには地盤傾動による応答の影響を除去する必要があるが、記録から地盤傾動の変動過程を正確に推定することは困難である。特に除去すべき地盤傾動の開始時刻や継続時間に誤差があると、得られた変位波形には見かけの永久変位が生じ、永久変位測定の大きな障害となる。このため速度記録から除去すべき地盤傾動の開始時刻、継続時間に種々の誤差を与えてシミュレーションを行い、図6に示す変位波形を得た。この図より、変位波形には除去すべき地盤傾動の推定値に依存しない部分が存在し、この部分のみを対象として解析を行うことで、見かけの永久変位の影響を受けずに真の永久変位を評価できる可能性があることが判る。

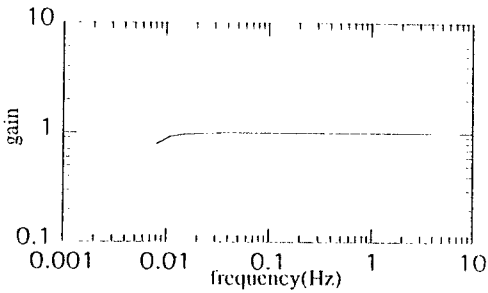


図1 サーボ型速度計の周波数応答関数

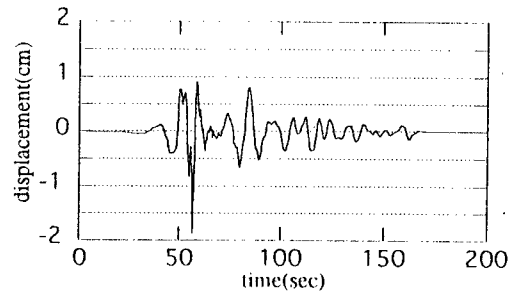


図2 大気地震動(変位)

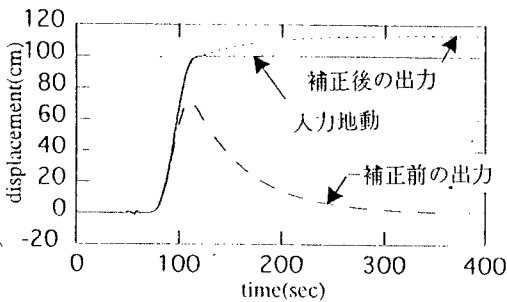


図3 変位波形

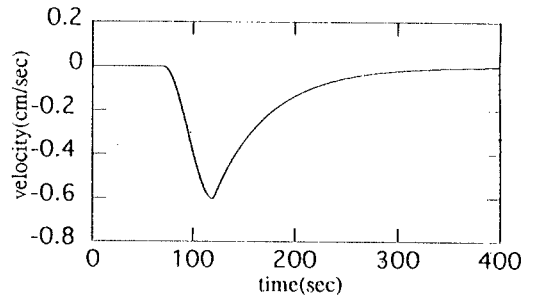


図4 補正曲線

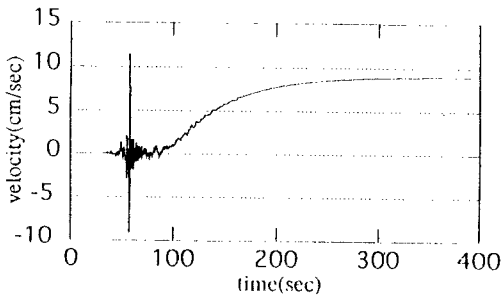


図5 地盤傾動のある速度記録

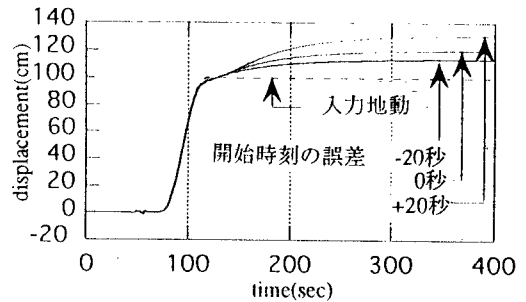


図6 変位波形 (継続時間の誤差 全て+50秒)