残留変位を含む強震記録の積分について

弘前大学　正会員　片岡俊一
弘前大学理工学部地球環境学科　田澤佑奈

1. はじめに

最近の強震計は性能が向上し，加速度記録を積分することで残留変位が得られるとの報告が少なくない．著者の一人も，時間領域，周波数領域いずれの領域における積分であっても，加速度記録から残留変位を得ることが原理的に可能であることを以前指摘している．しかしながら，検討に用いたものは振動台で再現したせいぜい 10cm 程度の変位であった．最近の変位はそれよりも格段に大きく，一方で強震計の性能も向上していることから，新たな知見を得るために，強震計を用いて残留変位がある加振実験を行い，積分方法について再度検討してみた．

2. 実験概要

実験では Kinemetrics 社製の強震計 Altus K2 を用いた．この強震計の収録部分では 24bit の Δ−Σ 型 AD 変換を行っており，分解能は 19bit とされている．フルスケールは 2g で，100Hz サンプリングで収録した．内蔵センサーは Episensor である．

この強震計を水平 1 方向に 20cm から 120cm（目標値，以下同じ）変位させる実験を 14 ケース，上下方向にのみ 70cm または 90cm 変位させる実験を各 1 ケース，水平方向と上下方向にともに 70cm 程度変位させる実験を 6 ケース行った．水平方向のみの実験では強震計を台車に乗せてプラス方向あるいはマイナス方向に移動させた．上下方向の移動を含む場合には人が直接強震計を持ち上げている．

外部には計測機器を取り付けなかったが，背景と床面にスケールを配置し，実験全体を動画・静止画で撮影した．収録データは鹿島俊英氏が開発したフリーソフトウェア ViewWave を利用して，アスキーデータに変換して利用した．

3. 積分方法による結果の違い

加速度波形の積分には，離散化データの間は線形に変化していると仮定する線形加速度法（あるいは台形則）が通常用いられているものと思われるが，離散化データの変化が二次関数であるとするシンプソン則でも積分は可能である．積分精度としては，当然シンプソン則の方が高い．そこで，実験結果を各々の方法で二回積分して変位を求めて比較してみた．殆どの場合で変位は発散していたが，積分の最終値を比較したものが図 1 である．図から結果は全く同じであることが分かる．そこで，以降は積分は台形則で行うこととした．

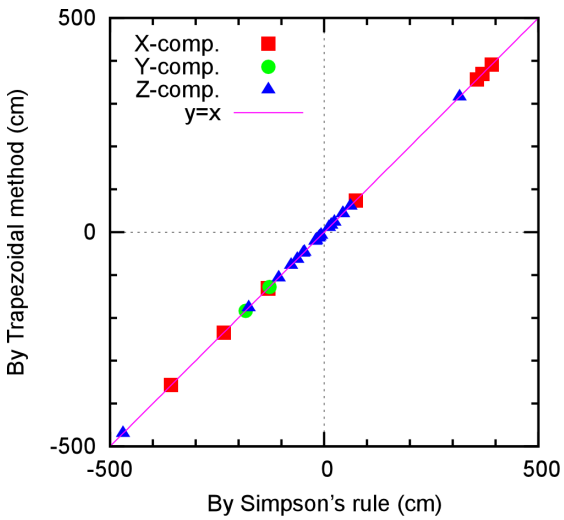

図 1　積分方法による違いの比較．

3. 積分結果

前に殆どの場合は発散すると書いたが，上下方向にのみ変位させた場合には，台形則により加速度を 2 回積分することで残留変位を得ることができた．その一例を図 2 に示す．この実験は 67cm 強震計を持ち上げ，さらに 18cm 持ち上げ（合計で 85cm），最後に床面に下ろしている（目標

振動試験，強震計
連絡先：　036-8561　弘前市文京町 3，E-mail: kataoka@hirosaki-u.ac.jp

は 90cm）．詳細にみると変位の中断時点以降で変位が下がっているが，これは積分の誤差であり，さらに床面に下ろした時点で変位がマイナスとなっている．しかしながら，積分結果は振幅を含めて実験を概ね再現している．もう 1 例の上下方向の実験も同様の結果であった．

4. 加速度波形の基線補正

変位が発散する場合の多くは，速度が線形に変化していた．そこで，速度波形の後半部分に直線を当てはめ，その勾配を加速度の基線ずれと考えて積分した．その結果の一例を図 3 に示すが，残留変位が適切に求められる．

実験結果全てを同様に補正してみたが，良い結果が得られない場合もあった．良い結果が得られる条件を検討するために，移動に要した時間と移動距離から求めた平均的な移動速度と移動距離で整理したものが図 4 である．図中の A は図 3 のような良い結果のもの，B は変位最大値は実験を再現しているが，その後，変位が安定しないもの，C は実験最大変位を再現できないものである．この結果からは，移動速度および移動量が大きいと加速度の基線補正だけでもっともらしい変位が得られることが分かる．

なお，加速度の基線のずれを求めるのに文献 2)で提案された手法も適用してみたが，積分した変位が一定値であるという判断基準で考えると，試行錯誤的に基線ずれを求めた方が良い結果が得られる場合が多かった．

5. まとめ

強震計に対して，残留変位を含む実験を行い，その結果から残留変位が得られるかを検討した．試行錯誤的に積分することにより残留変位が得られる場合もあったが，一般性がある方法を見つけるには至っていない．実用に供せられるように，今後更に検討を進める予定である．

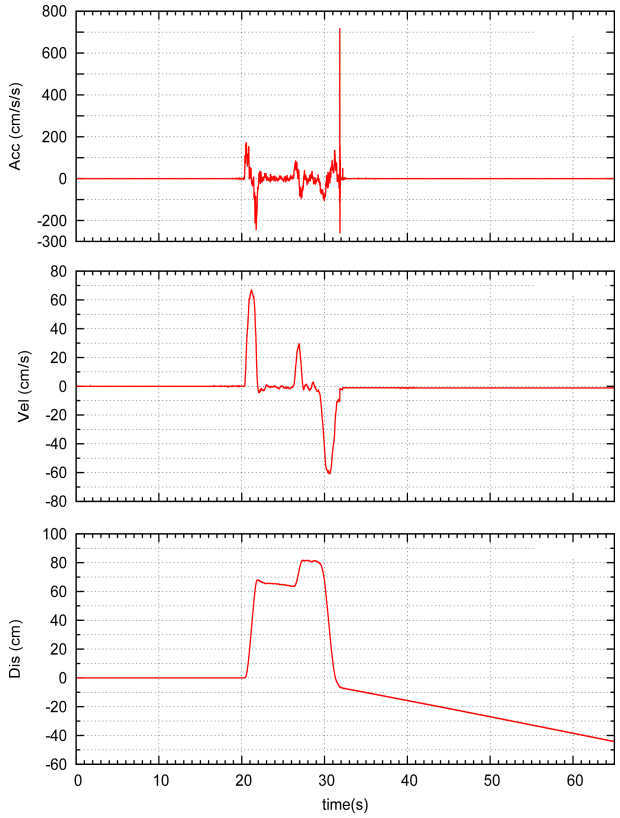

図 2　上下方向に変位させた時の加速度（上段）とそれを積分してもとめた速度（中段），変位（下段）

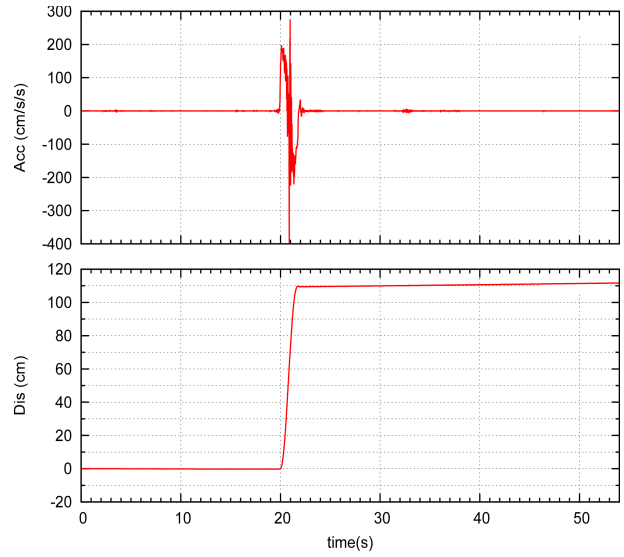

図 3　水平方向に変位させた時の加速度（上段）と基線を補正して求めた変位（下段）．

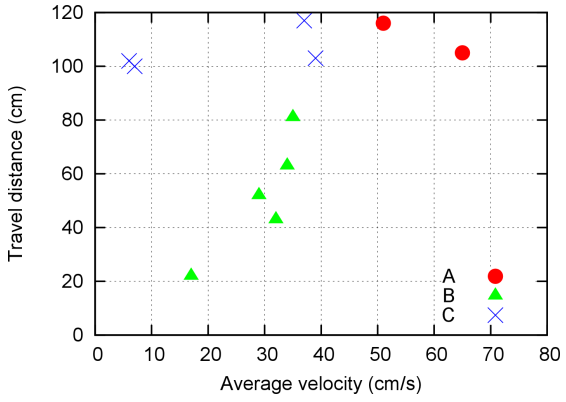

図 4　移動速度と移動距離で整理した積分結果

謝辞

本研究は JSPS 科研費（課題番号 26560169）からの補助を受けたものである．

参考文献　1)　Kashima's Office:ViewWave smo.kenken.go.jp/~kashima/ja/viewwave　2)　Javelaud E.H., Ohmachi T., Inoue S.; A Quantitative approach for estimating coseismic displacement in the near field from strong-motion accelerographs, BSSA 101, No.3, 1182-1198, 2011.