

京都大学工学研究科 学生員 ○ 米津 和哉
 京都大学工学研究科 正会員 五十嵐 晃
 京都大学工学研究科 フェロー 家村 浩和

1 概要 ハイブリッド地震応答実験においては本質的に精度の高い変位制御が可能であることが前提となる。精度の高い変位制御を実現するためには、精度の高い変位計測が要求されるが、一般に、精度の高い変位計は、必然的に測定可能範囲が狭くなるため、大きな変位が発生する実験には使用することができない。本研究では、高精度と広い測定範囲の特性を併せ持った変位計測装置として、不等分解能型変位計測装置を開発した。また、アクチュエーター変位制御用の変位計として、開発した不等分解能型変位計測装置を適用してハイブリッド地震応答実験を行った場合の、実験精度に及ぼす影響を数値的に検討した。

2 不等分解能型変位計測装置の基本原 現在用いられている一般的な変位計測装置は、いわゆる一様分解能型の変位計測装置であり、変位値を電圧に変換する際の変位電圧関係が図1に示すような比例関係となる。この変位電圧関係を図2に示したように変化させれば、一様な電圧信号変換分割単位を持つA/D変換器を介しても分解能を変えることができる。この場合、変位電圧関係の傾きにより分解能が決定される。小変位での変位計側の精度を劣化させる大きな要因として、アナログ電圧信号に混入する電圧ノイズがあるが、分解能を上げることで結果的にこの加算的な電圧ノイズの影響を小さくすることになる。

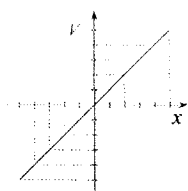


図1 変位電圧関係
(一様)

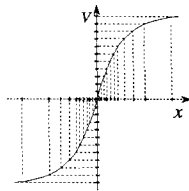


図2 変位電圧関係
(不等)

このような計測を実現するため、図3に示したように平行にスライドする板を測定対象物に取り付け、そ

の板の側面までの距離を計測することで、間接的に測定対象物の変位を測定する。このスライド板の側面の形状により変位電圧関係を設定する。本研究では、変位の小さい領域において高い精度を得ることを目的として変位電圧関係式に $\arctan$ 関数を用いた。またスライド板のスライド垂直方向のブレを補償するため2個のレーザー変位計を用いる。

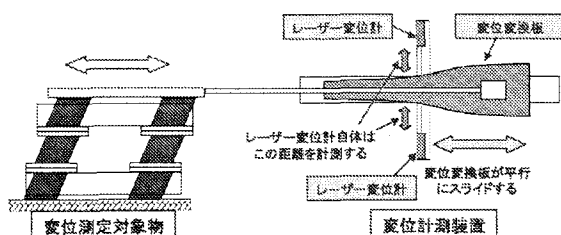


図3 不等分解能型変位計測装置

作製した変位計測装置の性能試験を行った結果、変位交換板の製作誤差、レーザー変位計の設置誤差が見られるとともに、変位電圧関係データには主にアナログ電圧信号に混入するノイズに起因していると考えられる最大50mV程度のばらつきがみられた。性能試験により得られた出力電圧値に対応する統計的な最頻値変位に対するスプライン補間関数を変位電圧関係式とすることで、当初ねらいとした分解能を得られることを確認している。

3 変位計測装置の誤差特性 本研究では、電圧ノイズによって起因する誤差に着目して誤差の検証を行った。図4に計測電圧出力より求めた変位値のばらつきの標準偏差を示した。分解能が高い範囲では、データのばらつきも小さくなることを示している。分解能は、その変位における変位電圧関係式の傾き $A'_s = \Delta v / \Delta x$ が大きければ大きいほど高くなる。ここで、電圧変位変換比 A_s を $A_s = 1/A'_s$ (cm/V) と定義する。各変位値の電圧変位変換比は全般的に標準偏差と同様の傾向を示した。標準偏差と電圧変位変

換比の間に相関関係を推測して、横軸に電圧変位変換比(cm/V)縦軸に標準偏差(cm)をとって、性能試験データをプロットした。その結果、電圧変位変換比に対して標準偏差はほぼ単調増加しているものとみなせることがわかった。図5に示すように、最小二乗法によりフィッティングを行った3次式によって、その関係を良好に表すことができる。

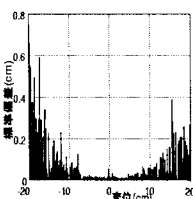


図4 変位誤差の標準偏差

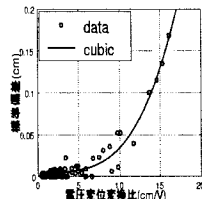


図5 電圧変位変換比 - 標準偏差関係

図6に一樣分解能型、不等分解能型の誤差分布を比較して示す。誤差を評価する指標として、次式で定義されるような相対誤差 err_{rel} と絶対誤差 err_{abs} を用いた。

$$err_{rel} = \frac{\Delta(x)}{|x|} \times 100 \quad (1)$$

$$err_{abs} = \frac{\Delta(x)}{Fs} \times 100 \quad (2)$$

$\Delta(x)$: 変位 $x(cm)$ における誤差の値(cm)

Fs : 変位計測装置の計測可能最大レンジ(cm)

不等分解能型では、変位の小さい領域で相対誤差、絶対誤差ともに低減されていることがわかる。

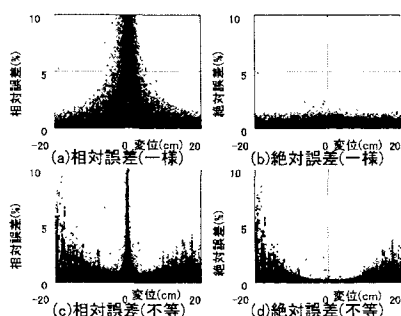


図6 誤差分布

4 ハイブリッド地震応答実験への適用 開発した不等分解能型変位計測装置を適用してハイブリッド地震応答実験を行った場合の、計測精度の配分が実験精度に及ぼす影響を数値的に検討した。免震装置を実験部、上部構造物を計算部としたサブストラクチャー・ハイブリッド地震応答実験を想定し、解析モデルを決定した。解析モデルは、免震装置を基部に

備えた3自由度構造物を想定した。免震装置のモデルはバイリニアモデルとし、入力地震動は途中で振幅が変化する正弦波を用いた。免震装置の復元力を計算する際に用いる変位値に、推定標準偏差を持つ正規分布ノイズの誤差を与えた。図7に一樣分解能型、不等分解能型をそれぞれ用いた場合の応答解析結果を示す。応答変位の小さい領域において不等分解能型では加速度誤差が低減された。また一樣分解能型にてみられた変位誤差の集積現象も見られない。図8に計測変位における変位計側の分解能と応答加速度誤差の関係を示す。偶発的な値を除けばある程度近い値を示した。応答加速度誤差は分解能により極めて強く影響されることがわかった。

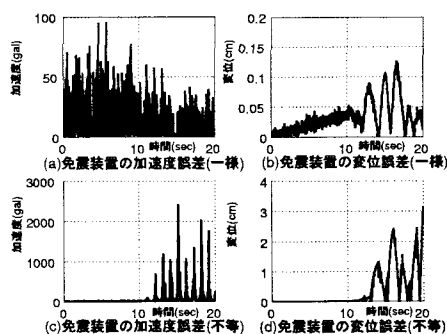


図7 応答解析結果

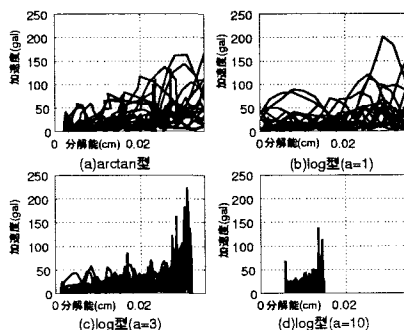


図8 分解能-応答加速度誤差関係

5 結論 従来一定であった分解能をスライド板を用いて変換することにより、効率良く分解能を配分した不等分解能型変位計測装置を開発した。性能試験を行った結果、当初ねらいとした分解能を得られていることを確認した。また、ハイブリッド地震応答実験に不等分解能型変位計測装置を適用した場合、供試体の変位の小さい領域で加速度応答誤差が低減されること、および加速度誤差は計測変位における変位計測装置の分解能により決定されることを数値的に確認した。