

不等分解能型変位計測装置の開発とハイブリッド実験への適用

関西電力 正会員 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. はじめに

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理解

現在用いられている一般的な変位計測装置は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は図1に示すような一定勾配を持つ関係である。この変位電圧関係を図2のように変えることにより、一様な電圧信号変換分割単位を持つA/D変換器を介しても変位電圧関係の傾きにより決定される分解能を変化させることができる。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。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

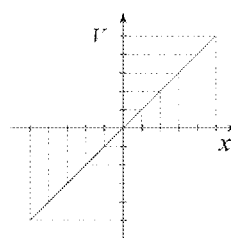


図1 変位電圧関係
(一様)

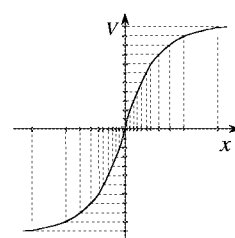


図2 変位電圧関係
(不等)

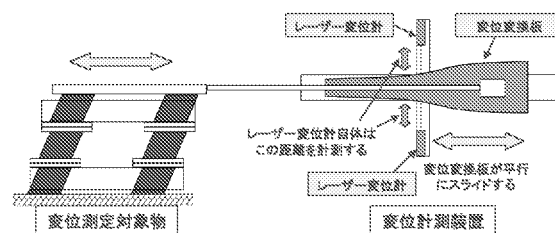


図3 不等分解能型変位計測装置

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。作製した変位計測装置の性能試験を行った結果、変位変換板の製作誤差、レーザー変位計の設置誤差をがみられるとともに、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

Key Words: 不等分解能型変位計測装置, ハイブリッド地震応答実験

〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町 tel.(075)753-5088 fax.(075)753-5926

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、3次関数により表される関係がある。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、相対誤差 $err_{rel} = \Delta(x)/|x| \times 100$ と絶対誤差 $err_{abs} = \Delta x / Fs \times 100$ を用いた。ここで $\Delta(x)$ は変位 $x(cm)$ における誤差の値 (cm) 、 Fs は変位計測装置の計測可能最大レンジ (cm) を示す。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。

4. 変位計測分解能配分法の理論的検討

電圧変位関係に $\arctan$ 関数を用いた変位計測装置は、小変位領域においてより高い分解能を得ることを目的として設計したものである。これとは別の設計法として、変位計測の誤差に注目した設計を行うことが考えられる。一例として、計測変位領域全体にわたって相対誤差を一樣とする原理に基づく分解能の配分を行った。ここでは変位電圧関係式として $\log$ 関数を用いた。図7に変位電圧関数、分解能、推定相対誤差、および推定絶対誤差を示す。 $a_l = 1$ のケースでは、相対誤差は0.5%で一定値となった。一樣分解能型と比較して、変位0cm付近の相対誤差が大幅に低減されていることがわかる。

5. 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、入力地震動は神戸ポートアイランド地表面波NS成分を用いた。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8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。

6. 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を数値的に確認した。

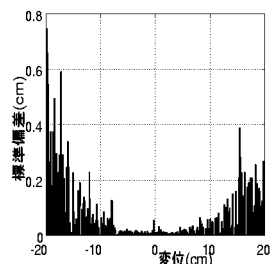


図4 変位誤差の標準偏差

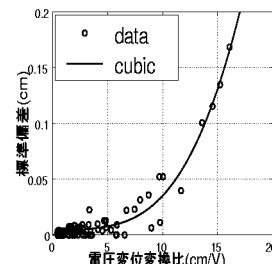


図5 電圧変位変換比 - 標準偏差関係

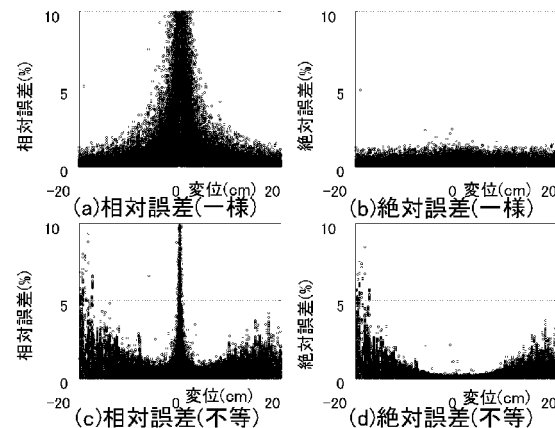


図6 誤差分布

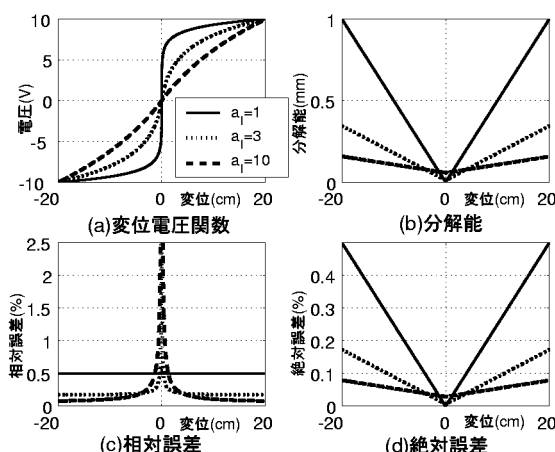


図7 変位計測装置の特性(log関数)

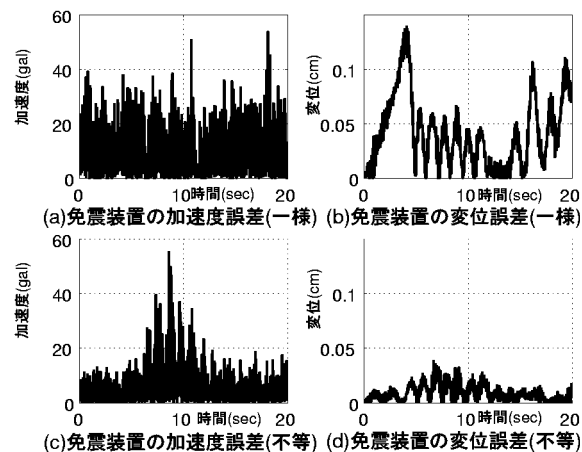


図8 応答解析結果