

移動体に搭載する簡易相対重力計のための2軸のジンバルを用いた支持機構に関する研究 Support mechanism for a relative gravimeter using two-axes gimbal on a mobile carrier

徳江 聡^{1*}, 松尾 寛子¹, 今枝 佑輔¹, 盛川 仁¹, 松田 滋夫²

Satoshi Tokue^{1*}, Hiroko Matsuo¹, Yusuke Imaeda¹, Hitoshi Morikawa¹, Shigeo Matsuda²

¹ 東工大 総理工, ² クローパテック株式会社

¹Tokyo Institute of Technology, ²Clover tech. Inc.

近年の地震動予測においては、対象地域の地盤構造のモデル化が課題とされている。地盤の密度構造は地震波の速度構造と相関が高いと考えられており、比較的短時間に広域の密度構造を推定することが出来る重力探査は、地震動予測の面からも有力な探査法の一つであると言える。

現在、重力異常を測定する相対重力計として、比較的安価で高精度なセンサーであるフォースバランス型加速度計を採用した簡易相対重力計の開発を行なっている。従来の重力計に比べ小型かつ軽量、さらに移動しながらの測定に耐える重力計を開発することを目的としており、移動体上での重力探査が可能となれば、地表面で1地点ずつ行う従来の陸上重力探査に比べより広範囲を緻密に探査することが期待できる。また、現在重力探査が困難とされる密林地帯や臨海境界域等の地域での測定が可能となるため、地球全体の重力測定精度の向上にも貢献できると考えられる。

このような状況の元で、本研究では実際に簡易相対重力計を移動体に搭載した場合に想定される垂直及び水平方向の振動を出来る限り取り除くような、2軸のジンバルを用いた支持機構を考案し、そのモデル化を行い特性の解析を行った。また実際にジンバルの試作機を製作し、加振実験を行った。

重力計の支持機構にジンバルを採用した理由としては、移動体の傾斜に対してある程度の水平を保証できるような機構が必要だということが挙げられる。重力計内部には傾斜計が設置されており、その出力を用いて補正を行うことで厳密な水平維持機構を搭載しなくても重力探査が可能となるのではないかと考えている。その為従来の船上重力計等に用いられている船上重力計に比べ非常に単純かつ小型な機構として、2軸のジンバルに重力計を吊り下げるような支持機構を採用した。なおジンバルは減衰付きのバネにより支持されており、移動体の振動を軽減出来るようになっている。さらに重力計を吊り下げているジンバルの支持部にも減衰がかかるような機構を挟むことで、重力計が自由振動してしまわないようにする。これらの考え方のもと、ジンバルと重力計のモデル化を行った。

2次元及び3次元のモデルを考え、それぞれについて運動方程式を導いた。その結果、ジンバル全体の重心の並進運動と、吊り下げた重力計の振り子運動との間には連成する項が存在し、特に重心の振り子運動では非線形な挙動を示すことが明らかとなった。また入力加速度に対する応答加速度の振幅倍率である周波数応答関数を数値解析により求めたところ、バネの減衰係数を適切に設定することで、重力の変化が観測されると予想される長周期側の振動による外部ノイズを非常によく吸収することができそうであることが分かった。しかし一方で、ジンバルの動きをシミュレートする上では非線形項の存在が問題となりそうであることや、設定が難しいパラメータの影響が大きくなりそうである事等が明らかとなった。

その後、実際にジンバルの試作機を用いて加振実験を行った。本実験では重力計の代わりに重力計のセンサー部に相当する加速度計を直接ジンバルに設置して行った。入力加速度を同時に測定するために、同じ加速度計をもう一台用意し、ジンバルが設置されている台上に設置して同時に計測を行なった。また、本実験では簡単のためジンバルの自由度を1方向のみに固定し、2次元モデルとの比較を行う。

スイープ試験の結果からジンバル全体の加速度に関する周波数応答関数が得られた。25Hz付近に応答倍率が4倍から6倍程度のピークが見られ、30Hz付近にももう一つ小さなピークが観測された。しかしモデルの制約により1次の固有振動モードしか得ることができないため、実験で得られた周波数応答関数を完全に再現することはできない。そこで25Hz付近に現れた応答を再現することを目標にパラメータを設定し、数値計算による解析を行った。その結果25Hz付近の振幅は再現されており、位相に関しては全ての周波数域でよく一致している事が分かった。また実際にジンバルを用いた重力計を作成する上で、センサーとデータロガーを接続するケーブルが大きな問題となりそうである事も分かってきた。

重力を観測するためにはまだ多くの問題があることが明らかとなったが、モデルの改善や観測上での工夫によって結果が改善される見込みがあることも分かった。今後は3次元モデルへの拡張や、実際に移動体に搭載した場合の挙動解析等を行う予定である。

Keywords: gravity survey, gimbal, force-balanced accelerometer, frequency response function