

加振実験と動的解析による石場建て構法の摩擦力の検討*

秋田県立大学 末次 優大、クアドラ カルロス

1. はじめに

日本の文化財木造建築物には社寺建築を中心に伝統構法によるものが数多く存在する。これは複雑な継手・仕口や貫などにより、粘りで揺れを吸収する柔構造である。

一方、現在の日本国内の戸建て住宅の主流である在来工法（軸組構法）は、一部の接合方法を受け継いでいるものの、筋交いや補強金物を多用した剛構造になっている。

現行の建築基準法等において、木造に関する規定は概ね在来工法で構成されており、これらを伝統構法に援用し耐震性能を評価することは不可能である。しかしながら、平成 20 年度には国土交通省の事業として「伝統的構法の設計法作成及び性能検証実験」検討委員会が設立され、伝統構法に関する実験・検討も行われるようになってきた。

本研究では伝統構法のうち、柱脚を基礎に緊結しない石場建て（礎石建て）に着目し、柱脚の滑り挙動について検討する。本報では、縮小模型を用いた加振実験、およびその結果をもとに摩擦力を考慮したモデルの作成・解析を行い、比較を通して解析結果の妥当性を考察した。

2. 加振実験

縮小模型を振動台に設置し、1100 Gal のパルス波を入力して加振方向の加速度を計 3 回計測した。なお、サンプリング周波数は 200 Hz とした。

図 1 に試験体の概略図、表 1 に試験体の諸元を示す。試験体長辺梁の中央に加速度計 a1, a2, その直下付近の振動台上に a3, a4 を設置した。礎石はコンクリートブロックで代用した。

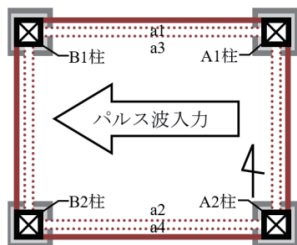


図 1. 試験体概略図

表 1. 試験体諸元

材料	スギ
長辺×短辺	1175×910 mm
高さ	370 mm
質量	42.05 kg

加振実験にあたり、試験体 EW 方向の固有振動数を求めるため、常時微動観測を行った。試験体上 a1, a2, および振動台上の計 3 か所に微動測定器を設置し、600 秒間計測した。このうち波形が安定している 40.96 秒間を選択して高速フーリエ変換を行い、フーリエスペクトルから a1, a2 の伝達関数を算出した（図 2）。卓越振動数は 34.0 Hz で、これが試験体 EW 方向の固有振動数と推定できる。

* Shaking Table Test and FEM Analysis to Evaluate Friction Force on Wood-stone Support
by Y. Suetsugu and C. Cuadra

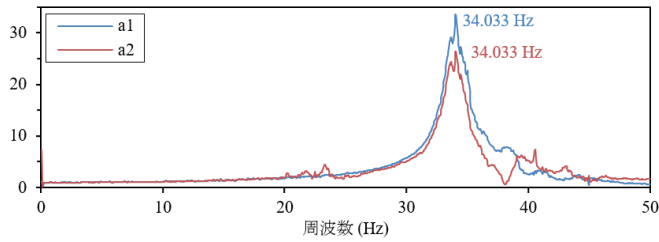
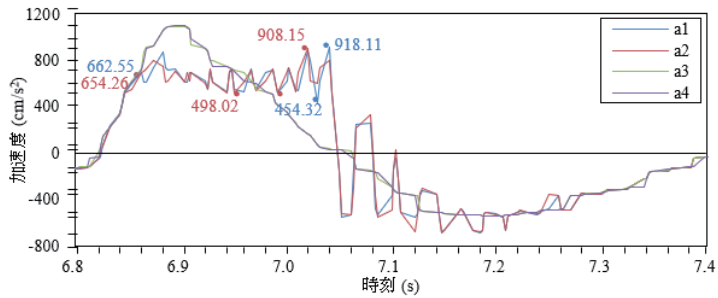
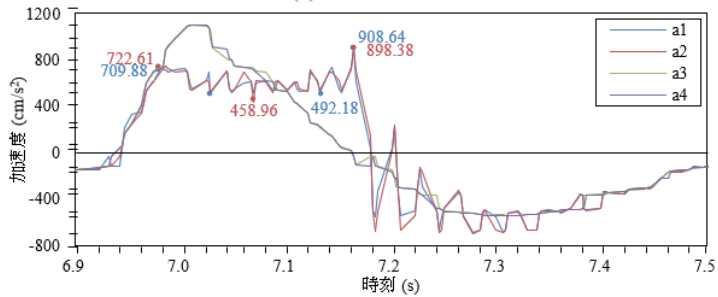


図 1. 伝達関数

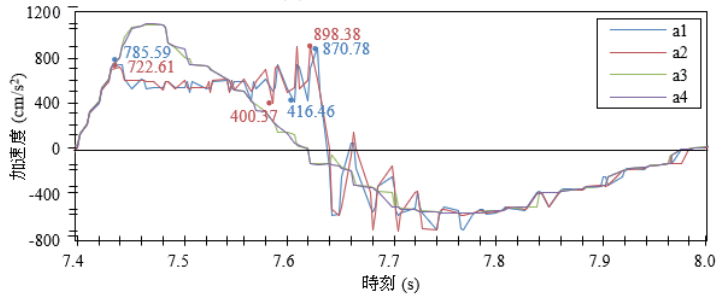
各観測点の加速度の一部を図 2 に示す。なお、グラフ中の点と数字は、滑り出し加速度、摩擦時の最小加速度・最大加速度を示している。滑り出し加速度は、試験体上と振動台上の加速度に顕著な差が発生する点の加速度とした。



(a) 加振 1 回目



(b) 加振 2 回目



(c) 加振 3 回目

図 2. 各観測点の加速度

表 1. 滑り出し加速度と平均加速度

Run	滑り出し加速度 (cm/s ²)			平均加速度 (cm/s ²) (max a _i + min a _i)/2		
	a1	a2	平均	a1	a2	平均
1 回目	662.55	654.26	658.41	686.22	703.09	694.65
2 回目	709.88	722.61	716.25	700.41	678.67	689.54
3 回目	785.59	722.61	754.10	643.62	649.38	646.50
平均			709.58			676.90

最小加速度と最大加速度の平均値を平均加速度と定義し、各回の滑り出し加速度と平均加速度を表 1 に示す。滑り出し加速度は判断が難しく各回のばらつきが大きいため、ばらつきの小さい平均加速度を用いると、試験体の摩擦係数は $\mu = a/g = 676.90/980.665 = 0.690$ と推測される。

3. 動的解析

構造解析ソフト「SAP2000」を用い、試験体のモデル化および時刻歴応答解析を行った。入力波には加振実験と同じものを使用した。モデルは図 4 に示す。

解析モデルの使用材料は、柱・梁などに用いる Wood、天板に用いる Plywood とし、表 3 の通り定義した。柱脚部はすべて摩擦係数の等しい滑り支承と見なし、Friction Isolator Property を適用した。その諸元を表 4 に示す。水平方向の剛性は、加振実験試験体の質量および固有振動数から求め、鉛直方向の有効剛性は剛と見なせる十分大きい値に設定した。また、摩擦面を水平とするため、曲面半径は無量大に設定した。

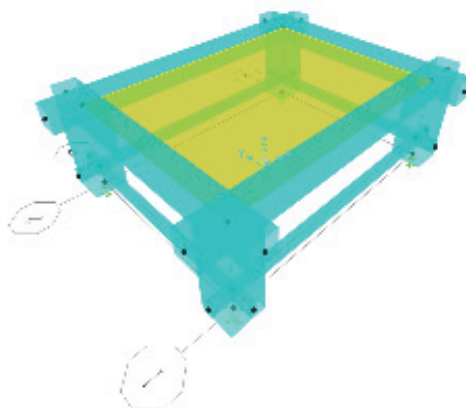


図 4. 解析モデル

表 2. 材料定義

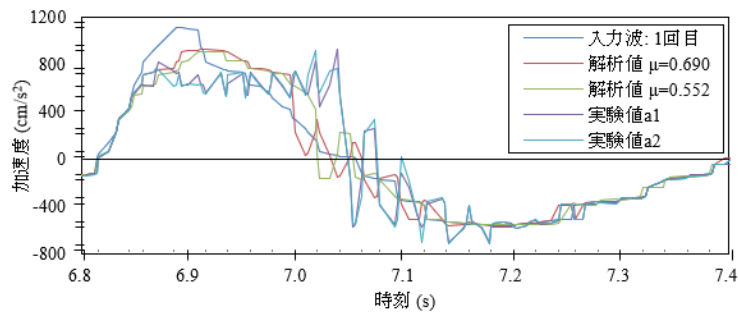
Property	Wood	Plywood
Weight per Unit Volume ($\times 10^{-6}$ kN/cm ³)	3.80	6.00
Modulus of Elasticity (kN/cm ²)	750	1050
Poisson	0.4	0.4

表 3. Friction Isolator Property 諸元

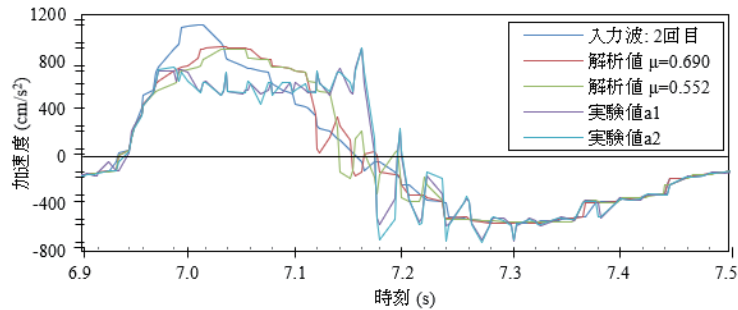
Stiffness (X, Y)	4.8 kN/cm
Friction Coefficient; μ	0.690, 0.552
Effective Stiffness (Z)	100000 kN/cm
Effective Damping	0
Net Pendulum Radius	∞

アイソレータの摩擦係数は、実験結果から求めた 0.690 およびその 80%である 0.552 の 2 通りを設定し、固有振動数はそれぞれ、34.3 Hz, 32.1 Hz となったため、作成したモデルは妥当であると判断した。

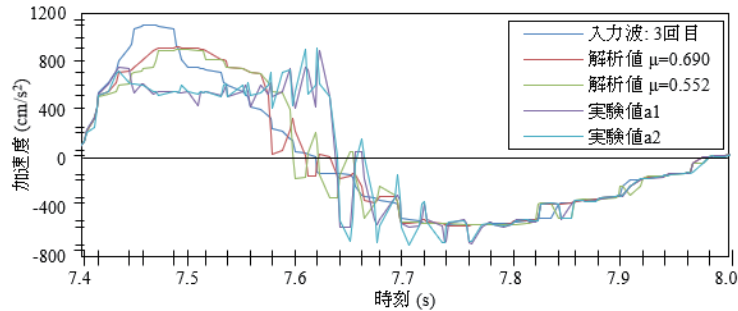
加振実験 1 回目、2 回目、3 回目の入力波を入力したときの柱上部の加速度を図 5 に示す。



(a) 入力波: 1 回目



(b) 入力波: 2 回目



(c) 入力波: 3 回目

図. 5 解析結果と実験値の比較

$\mu=0.690$ の解析結果は、滑り出し加速度が実験結果とほぼ一致するが、摩擦が発生している時間が実験より 0.05~0.06 秒ほど短く、動摩擦係数が実際よりも大きくなっていると考えられる。

$\mu=0.552$ の解析結果は、滑り出し加速度が実験結果より小さいが、摩擦が発生している時間は $\mu=0.690$ の場合より長く、実験結果より短い結果になった。

図 6 は、摩擦力-変位 (アイソレータの力-変位) 関係を示している。どちらの摩擦係数の場合も、柱 A1・A2 側と柱 B1・B2 側のせん断力に差異があり、軸力に偏りが発生していることが確認できる。

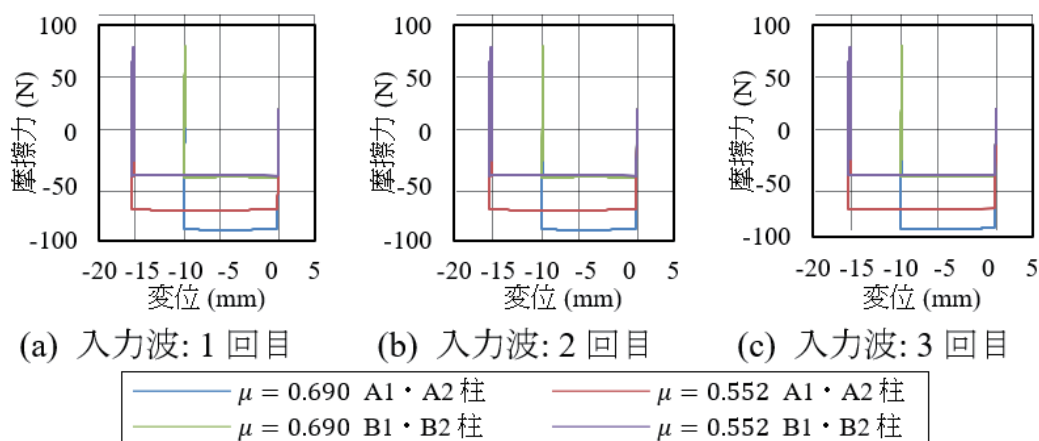


図 6. 摩擦力-変位 関係

4. まとめ

石場建てについて加振実験および解析の結果を比較し、滑り出しの加速度は概ね一致することを確認した。しかし、摩擦が発生している時間については、小さい摩擦係数を用いても大きな差異が認められるため、今後さらなる検討が必要である。また柱脚の滑り挙動について、摩擦力のほか、摩擦時の速度・滑り量を含めた検討を行っていく。さらに、礎石に石材を使用した場合の摩擦係数の検討も同様に行う。

参考文献

- 1) 齋藤悠介：微動測定と加振実験による神社建築の振動特性に関する検討，秋田県立大学卒業論文，2015.1
- 2) 上原勇真：石場建て構造の動的解析と加振実験の摩擦力の検討，秋田県立大学卒業論文，2018.1