

石場建て建物の最大滑動量の実験的推計に関する検討

Experimental Upper Limit of Maximum Slide Response on Un-anchored Traditional Structure

山田耕司¹

Koji Yamada

¹豊田工業高等専門学校教授 建築学科 (〒471-8525 愛知県豊田市栄生町2-1)

Professor, Toyota national College of Technology, Dept. of Architecture

Traditional Japanese wooden structures are not fixed on the ground, and they slide on stones. Many shaking table tests and parametric analyses have been executed. These reports show the qualitative data on this sliding phenomena of un-anchored traditional structures. The quantitative data on this sliding phenomena is needed for structural design. In this report, I propose the estimation method of the maximum slide response upper limit based on shaking table tests. As a result, another slide displacement occurs on both the same test specimen and the same earthquake motion. The estimated maximum slide displacement is 1.2 times of the average of the maximum slide displacements in one-way.

Keywords : *Un-anchored traditional structure, slide response, shaking table test,*

1. 序

旧来の日本家屋である伝統構法木造建物では、建物上部構造を束石上に設置し、基礎（もしくは地盤）に固定していない。このような建物では、強震時に建物上部構造が束石上を滑っていることが過去の震災調査で確認されている。束石上の滑動による上部構造への影響は、あまり研究されていない。滑動に関する研究は、免震構造物の滑り支承において多い。しかし、これらの研究は、低摩擦係数を想定しており、上部構造は剛と見なせる場合が多い。一方、筆者を含めて、実験^{1)~5)}を通した基礎研究が行われているが、定量的な傾向を掴めるまでには至っていない。解析的なアプローチとして、松本らの研究⁶⁾、米澤らの研究⁷⁾がパラメトリックに解析を行い定性的傾向を論じている。滑動に関する研究として、鋼とモルタル間の滑動に関する研究も行われている。文献8)では、速度履歴依存型の摩擦係数を導入して実験結果を程よく模擬している。しかし、滑動面の正確な特性把握が必要としている。一方、文献9)は黒鉛潤滑を応用した滑動の報告であるが、この中で片方向に滑動が増大する傾向を表現するには、正負方向の摩擦係数の僅かな差の導入が必要であると述べている。この2件の研究より、滑動量を理論的に定量化することは難しいと言える。そこで伝統構法木造建築の地震時の最大滑動量を実験を中心として推定する方法を考える。しかし、全てのパラメータに対して実験を行うのは困難であるので、実験と基本としながら理論で得られる定性的特性を検討に加える。最大滑動量に影響を与えるパラメータは、摩擦係数（摩擦面）、上部構造の固有周期・保有耐力・復元力特性、地震動の非定常特性がある。このうち、理論で得られる定性的特性より¹⁰⁾、上部構造の保有耐力が高い程、滑動が大きいことが分かっている。従って、線形モデルを用いれば、最大滑動量の推定は安全側と考えることができる。地震動特性は、設計法と関連するので本報では言及しない。ただし、上下動も含めた適切な設計用地震動を今後検討する必要はある。残ったパラメータは、摩擦係数（摩擦面）と固有周期となる。そこで本報では、固有周期が規定された試験体の滑動実験から最大滑動量の推定法を検討する。

2. 実験方法

(1) 試験体

試験体を図1に示す。試験体は合板、根太で作成し、鉄板で重量を調整した（1F:3.36kg, 2F:10.52kg(錘8.14kg)）。復元力として、厚さ2mm、幅10mmのステンレス板を上下に固定して用いた。設計目標固有振動数は、ステンレス板1枚(Sus1)で3Hz、ステンレス板2枚(Sus2)で5Hzであるが、Sweep試験の結果、ステンレス板1枚(Sus1)で2.9Hz(h=2.4%)、ステンレス板2枚(Sus2)で3.7Hz(h=1.8%)であった。加えて、上層を固定した剛モデル(Fix)も計測した。なお、試験体Sus1,Sus2は実験中に固有振動数が変動したが、その変動幅は10%以内に抑えた。

礎石は、300mm角のみがき御影石（木片との静止摩擦係数は0.54）を用いた。

計測はポテンシオメータおよび加速度計を用い、加振方向滑動（2ヶ）、加振直交方向滑動（1ヶ）、1階部加振方向(1F-NS)、1階部加振直交方向(1F-EW)、2階部加振方向(2F-NS)、加振方向入力加速度(GL-NS)、の6カ所を測定した。

(2) 入力動

本報で用いる入力動は、エルセントロNS、タフトEW、JMA-Kobe NS、BCJ-L2を振動台（サンエス製SPT2D-20K-85L-50T）で加振可能な範囲に調整した波形である。この波形の最大加速度を500,700,900galに調整して加振した。同一試験体、同一加振波で10回繰り返し加振した。

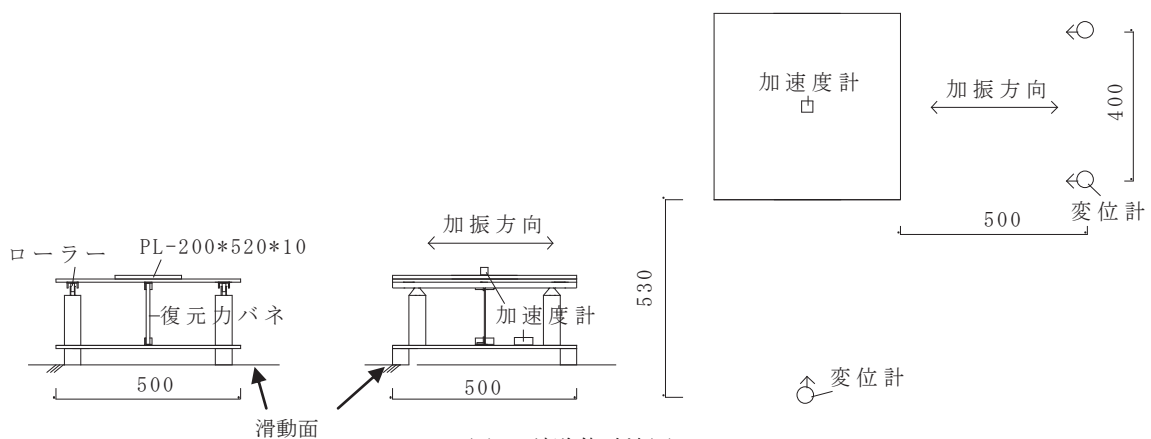


図1 試験体寸法図

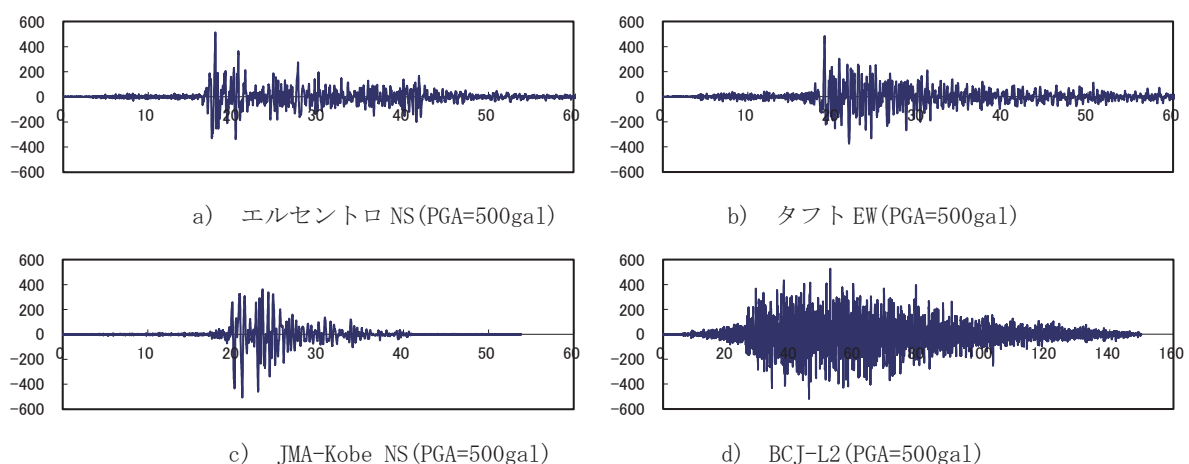


图2 入力加速度波形(GL-NS)

3. 実験結果

(1) 滑動の特性

本節では、先ず滑動状況を概観する。いくつかの試験体では、加振中にねじれ滑動および加振直交方向滑動が発生したが、滑動量が加振方向の10%に満たなかった。図3～5に滑動の時刻歴（加振方向の平均値）を10波まとめて示す。図に示した以外の加振ケースは、今回の試験装置では滑動量が礎石寸法を超え、実験できなかった。図中の μ は最大滑動量の平均値であり、 σ/μ は最大滑動量の変動係数である。今回の実験では、Fixの500gal加振時のように滑動が小さ過ぎるケースもあるが概ね滑動を生じた。ほぼ全ての加振事例において、同一の滑動傾向が見られた。ただし、固有周期と最大滑動量の定性的傾向は読み取れなかった。また、Sus1(2.9Hz)のタフトEW(500gal)、同(700gal)、BCJ-L2(500gal)、Sus2(3.7Hz)のJMA-Kobe(700gal)、BCJ-L2(500gal)、FixのBCJ-L2(900gal)、において一方向に滑動が進むケースと原点に戻るケースに分かれた。原点に戻るケースの加振順序は、Sus1(2.9Hz)のタフトEW(500gal)で1回目、同(700gal)で8～10回目、BCJ-L2(500gal)で7～10回目、Sus2(3.7Hz)のJMA-Kobe(700gal)で9～10回目、BCJ-L2(500gal)で6～10回目、FixのBCJ-L2(900gal)で1～2回目である。このため、これら6ケースにおける変動係数は他のケース（変動係数0.2程度）に比して大きい。一方で、最大滑動量を推測するには一方向に滑動が進むケースが重要である。そこで、一方向に滑動が進むケースのみで平均および変動係数を計算した。結果を表1に示す。表より滑動のパターンを統一すれば、変動係数はほぼ0.2程度になると言える。

次に滑動の進展する時間を検討する。エルセントロNSのケースでは最大20秒程度、タフトEWでは最大12秒程度、JMA-Kobe NSでは最大5秒程度、BCJ-L2では最大45秒程度、となっている。これは、BCJ-L2では主要動継続時間が長く、小さな滑動が蓄積された影響と考えられる。

(2) 最大滑動量の推定最大値

次に最大滑動量の推定最大値を最大滑動量の5%上側許容限界で検討する。図6に最大滑動量の信頼率75%における5%上側許容限界を示す。横軸は最大滑動量の平均、縦軸は最大滑動量推定値である。単純に計測事例全てを用いた場合も平均値と推定値に線形性が高いが、一方向にのみ滑動が進展するデータのみを用いた場合は、本稿の範囲ではほぼ線形となっており、推定値は平均値の約1.2倍となっている。

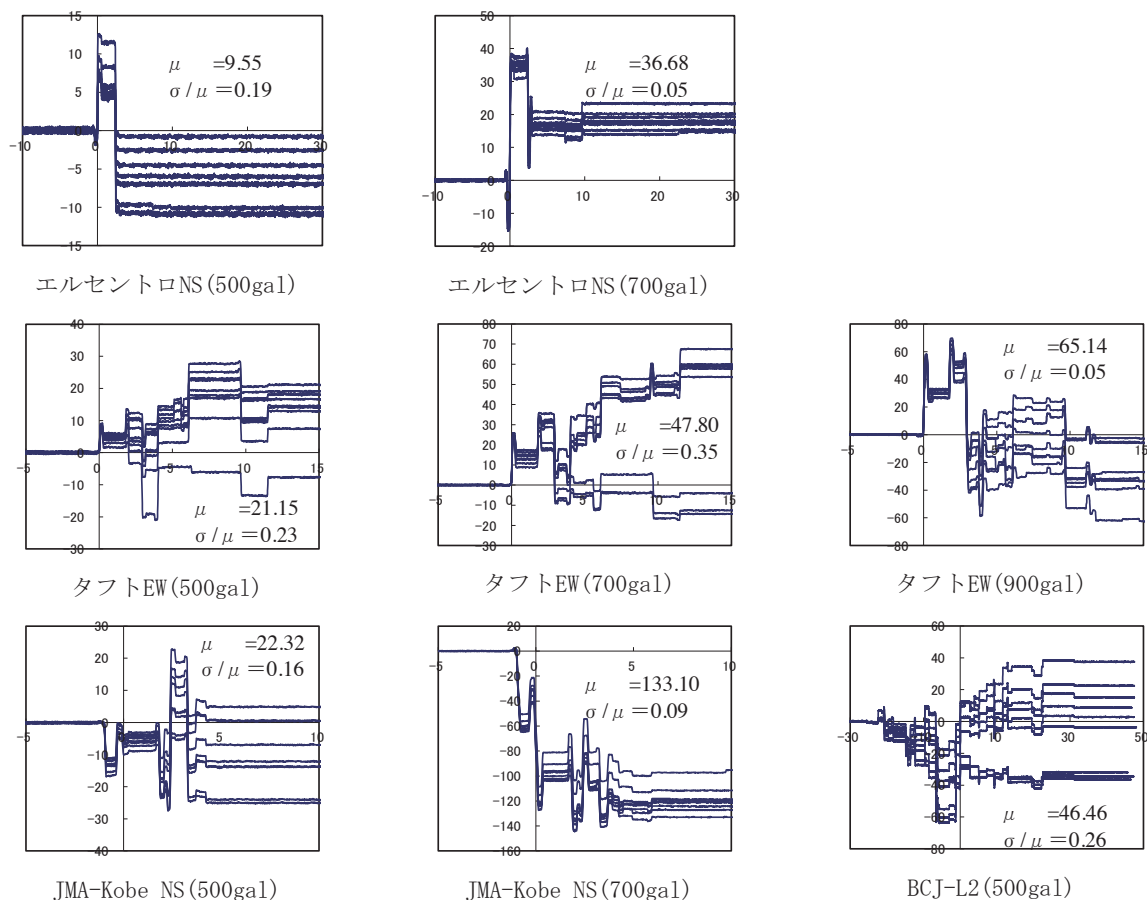


図3 Sus1 (2.9Hz) の滑動時刻歴 (mm, μ : 最大値の平均, σ/μ : 最大値の変動係数)

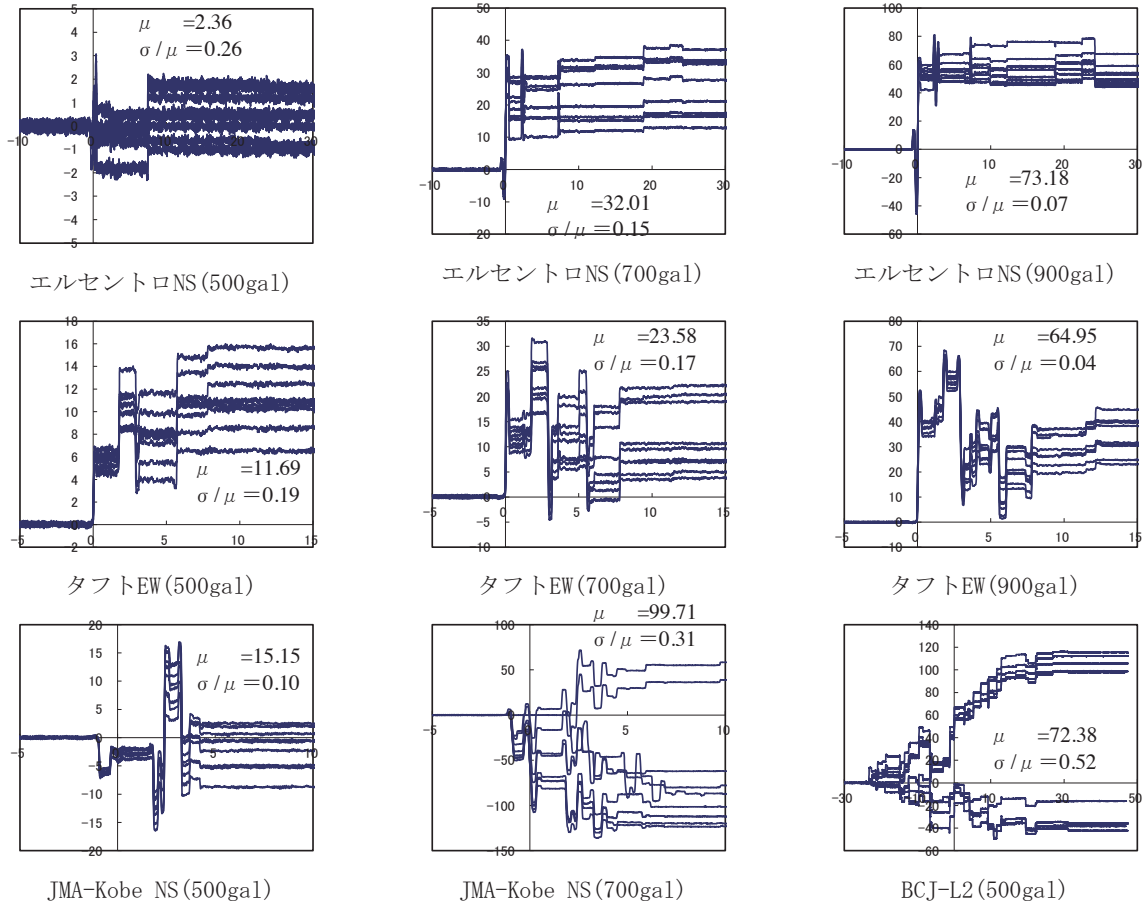
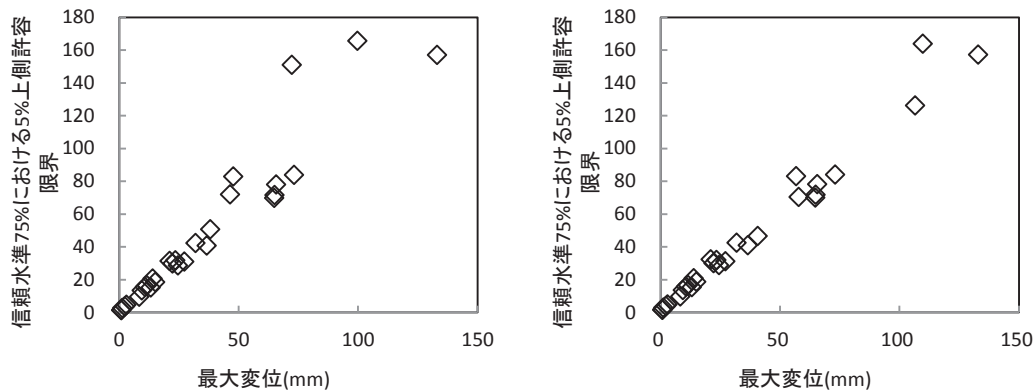


図4 Sus2 (3.7Hz) の滑動時刻歴 (mm, μ : 最大値の平均, σ/μ : 最大値の変動係数)

表1 最大滑動量の平均・変動係数の再計算結果

ケース		μ (σ/μ)	再計算結果 (μ (σ/μ) : 用いたデータ数)
Sus1 (2.9Hz)	タフトEW (500gal)	21.15 (0.23)	21.16 (0.24) : 9
	タフトEW (700gal)	47.80 (0.35)	56.87 (0.17) : 7
	BCJ-L2 (500gal)	46.46 (0.26)	57.98 (0.09) : 4
Sus2 (3.7Hz)	JMA-Kobe (700gal)	99.71 (0.31)	110.01 (0.22) : 8
	BCJ-L2 (500gal)	72.38 (0.52)	106.73 (0.07) : 5
Fix	BCJ-L2 (900gal)	38.20 (0.16)	40.81 (0.06) : 8



全10データを用いた場合

滑動が一方のみに進むデータを用いた場合

図6 最大滑動量の信頼率75%における5%上側許容限界 (横軸: 最大滑動量の平均)

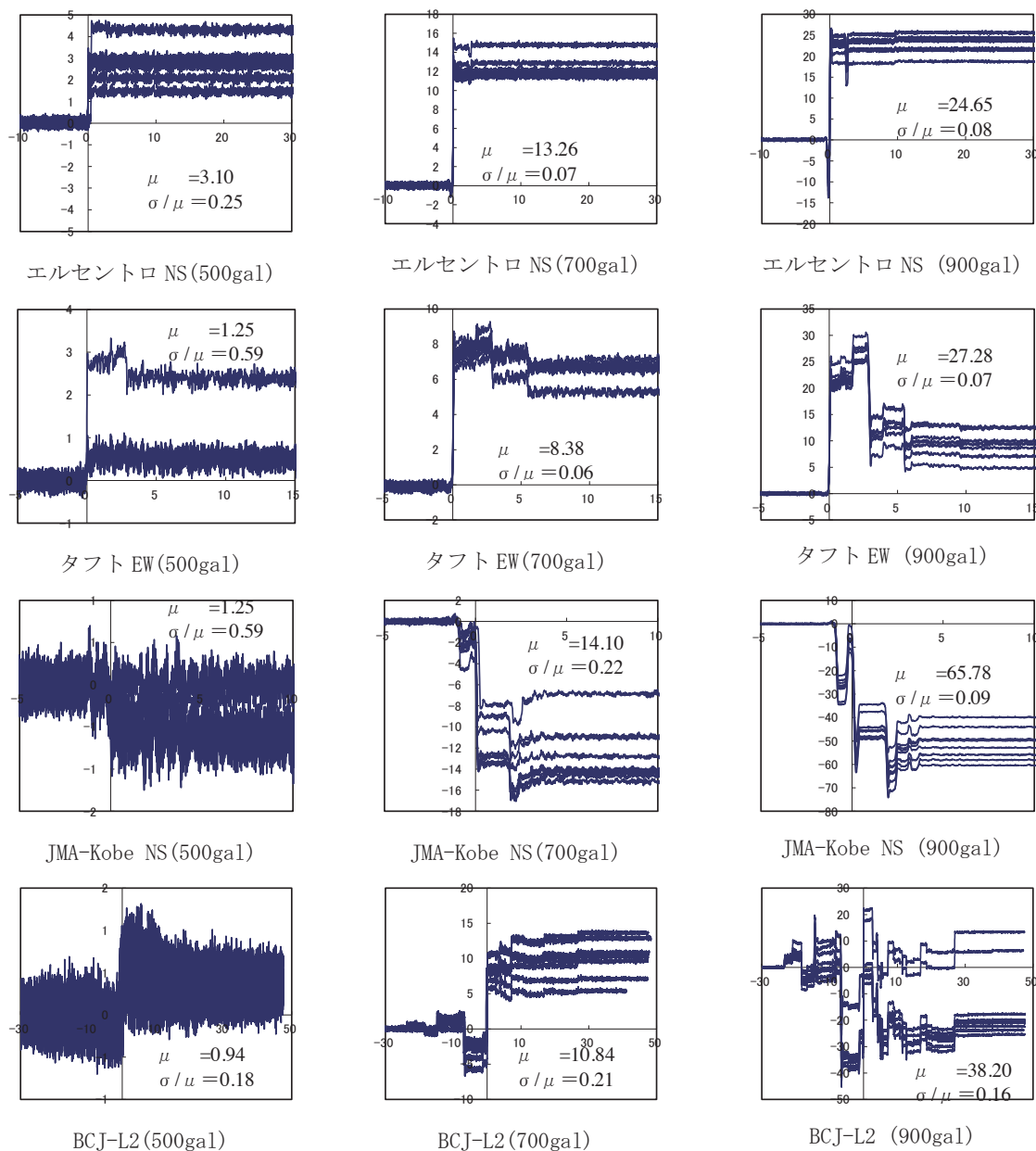


図5 Fixの滑動時刻歴 (mm, μ : 最大値の平均, σ/μ : 最大値の変動係数)

4. 結語

本報では、強震時における建物上部構造の滑動量把握を目的として、固有周期が規定された試験体の滑動実験から最大滑動量の推定法を検討した。その結果、構造物の固有周期、地震動、により、滑動量が変化すること、同一試験体・同一加振波でも滑動の時刻歴が定性的に異なるケースがあること、最大滑動量を発生する滑動時刻歴の最大滑動量の変動係数は0.2程度であること、最大滑動量の推定値は最大滑動量を発生する滑動時刻歴の最大滑動量平均値の1.2倍程度であること、が分かった。以上より、強震時における建物上部構造の滑動量を実験で得られた最大滑動量平均値を用いて推測し、その最大滑動量を許容する大きさ束石を設置すれば良いと言える。今後は、実大建物との比較実験、設計用地震動の設定、および、多数の固有周期の試験体による実験が必要である。

参考文献

- 1) 山田耕司：束立て床の滑動免震効果に関する実験的研究，日本地震工学会大会－2003梗概集, pp.2-3, 2003

- 2) 川上沢馬, 向坊恭介, 山田耕司, 鈴木祥之: 柱脚を固定しない木造建物のロッキングと滑動, 日本地震工学会・大会—2007 梗概集, pp.286-287, 2007
- 3) 向坊恭介, 川上沢馬, 鈴木祥之: 礎石建て構法木造建物の地震時挙動に関する研究 その1振動台実験, 日本建築学会講演梗概集C-1, pp.175-176, 2008
- 4) 川上沢馬, 向坊恭介, 鈴木祥之: 礎石建て構法木造建物の地震時挙動に関する研究 その2地震応答解析, 日本建築学会講演梗概集C-1, pp.177-178, 2008
- 5) 吉田尚弘, 向坊恭介, 大岡優, 伊津野和行: 礎石建て構法木造建築物の柱脚滑り挙動の解析的研究, 日本建築学会講演梗概集C-1, pp.561-562, 2009
- 6) 松本 憲幸, 河合 直人: 伝統的木造住宅の地震時挙動に関する解析的研究, 日本建築学会講演梗概集C-1, pp.429-430, 2012
- 7) 米澤 美貴, 向井 洋一, 鈴木 祥之: 伝統的構法による礎石立ち木造建築物実大試験体の柱脚部のすべり挙動の解析的評価, 日本建築学会講演梗概集C-1, pp.295-296, 2012
- 8) 榎田竜太, 池永昌容, 長江拓也, 中島正愛: 鋼とモルタルのすべり面をもつ柔・剛構造物の動摩擦特性と地震応答特性, 日本建築学会構造系論文集 第76巻 第661号, pp.527-534, 2011.03
- 9) 榎田竜太, 長江拓也, 池永昌容, 稲美充顕, 中島正愛: 黒鉛潤滑を応用した直置き型鋼構造建物柱脚の摩擦低減, 日本建築学会構造系論文集 第78巻 第685号, pp.435-444, 2013.03
- 10) 山田耕司, 向坊恭介, 鈴木祥之: 建物固有周期と入力動周期の建物滑動量への影響, 第13 回日本地震工学シンポジウム (2010) 論文集, pp.4040-4047, 2010.11