

礎石建ち構造-静摩擦係数について

伝統的な木造軸組の特徴である「礎石建ち」構造を成り立たせる基本的な力学性能は木材と礎石との摩擦力である。摩擦力は摩擦面に垂直に働く力と摩擦係数 (μ) の積で与えられる。

下の写真で見られるように平安時代に建てられた急斜面上の国宝建造物（三徳山・投入堂）や東日本大震災で倒れず、津波にも抵抗した石巻市沿岸部の寺院などは、礎石建ち構造の有効性を示す事例である。2016年熊本地震でも礎石から滑り落ちずに建っている伝統的な木造建物が多く見られた。しかし木造柱と礎石間の摩擦係数に関するデータは少なく、まだ礎石建ち構造の定量的評価が定まっていない。本稿では柱脚部の滑りに関する簡易な検討法と摩擦係数に関する基礎的な試験データを提供する。（2018年9月）



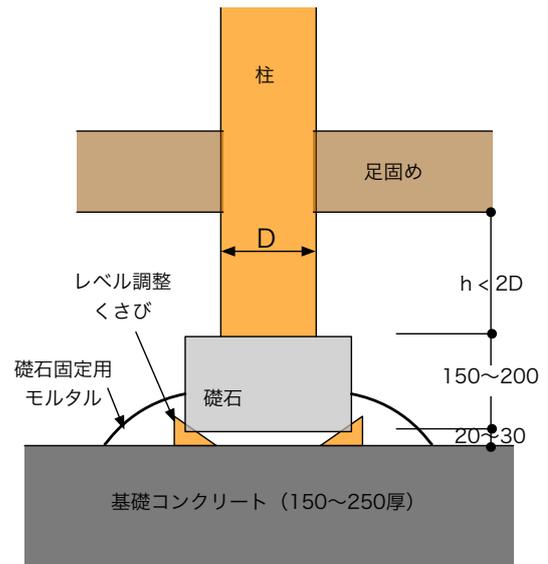
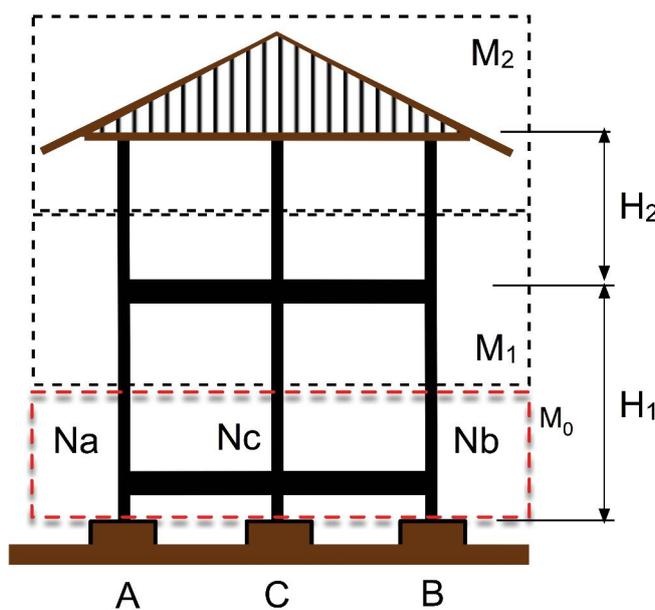
三徳山・投入堂（2007）



石巻市門脇町の寺院（2011）



熊本県宇土市の旧市街地（2016）



礎石建ち構造の新築ディテール事例

滑りの検討法

剛床（あるいは水平力伝達が保証される）と見なされるゾーンの架構全体の鉛直力（地震時）の総和を ΣN とし、目標とする変位（損傷限界あるいは安全限界）時の耐力係数を C_B とし、礎石と木柱の摩擦係数を μ とする。限界変形時（損傷限界または安全限界）の水平力（慣性力）が滑り出そうとする外力に該当し Q で表す。近似的には下式で表す（質点系振動モデルでは1階の下半分 M_0 の慣性力を無視する）、

$$Q = (M_2 + M_1) g \times C_B$$

これに対して滑りに抵抗する力 S は柱脚部に働く鉛直力の総和と摩擦係数の積であらわし、

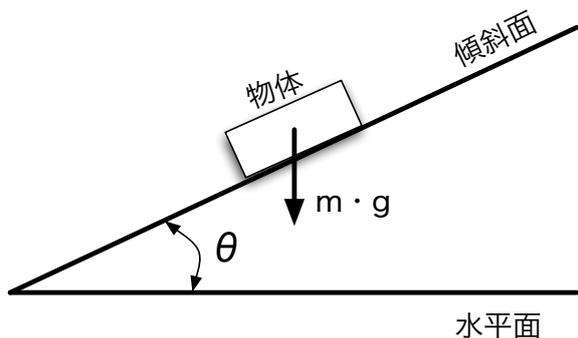
$$S = (\Sigma N) \times \mu$$

ただし各柱の軸力は水平力のために増減しており長期の軸力でないが、一つの構面では圧縮側と引張側の軸力がプラス・マイナスで相殺し、結果的には鉛直力の総和は変わらない。

以上から近似的に言えば、滑りの検討は限界変形時の耐力係数 (C_B) と摩擦係数 (μ) を比較することになる。

静摩擦係数試験（斜面滑り法）

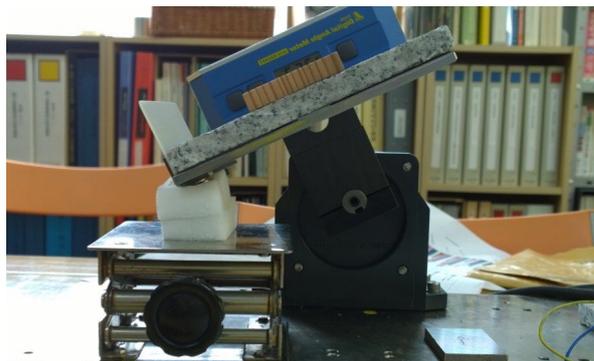
木造柱と礎石の摩擦係数を調べるために下図に示す方法で市販の高校物理教材と同じ装置を用いて斜面滑り試験を行った。



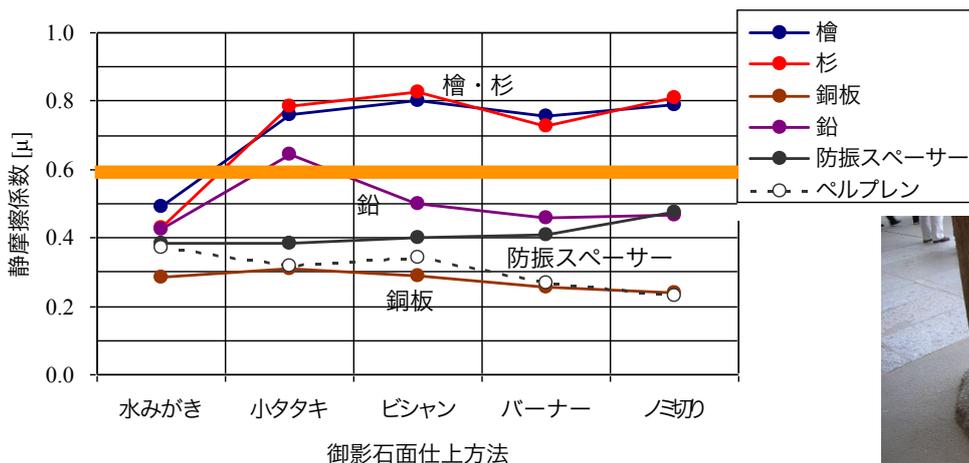
$$\mu = \tan \theta$$

μ : 静摩擦係数 θ : 物体が傾斜面を滑り出す角度

m : 物体の質量 g : 重力の加速度 $m \cdot g$: 物体の重さ



(試験実施) 2014年
(株) SERB &
スターライト工業 (株)
(試験体提供)
鳥羽瀬社寺建築 (株)



摩擦係数試験結果 (礎石面の仕上げ程度による差)



(参考) 東大寺南大門の柱脚部

摩擦係数試験結果について

傾斜面として御影石の表面仕上げをパラメーターとし、ヒノキ材およびスギ材（小口面）の摩擦係数を調べた。また礎石と木材の間に鉛板や他の樹脂または金属材料をはさんだ場合を想定する試験も行った。結果は御影石（水磨き）を除いて、礎石と木材の静摩擦係数は0.8程度であった。間に金属板や樹脂材料をはさむと摩擦係数は約1/2になる結果も得られた。

(参考) 摩擦係数に関する研究論文

- 1) 森田・花里・柳沢「伝統的木造建築の構造性能評価-木材の摩擦試験と車知の圧縮試験」日本建築学会大会学術講演梗概集、2002年8月
- 2) 上谷宏二・荒木慶一ほか「伝統木造建築物柱脚の平面接触モデルに関する実験的研究」日本建築学会構造系論文集、2004年8月
- 3) 荒木慶一ほか「伝統木造柱脚-礎石間の静摩擦係数」日本建築学会技術報告集、2009年6月