

## 上下動を考慮した石積みの地震時挙動解析

金沢大学大学院 ○西田 陽一  
 金沢大学工学部 正会員 池本 敏和  
 金沢大学工学部 正会員 北浦 勝

### 1. はじめに

石積みは美観、耐久性に優れているので古くから土木分野で利用され、未だに残っているところも少なくない。しかし近年、城郭などの石積みは老朽化により崩壊の危険性が出てきている。ところが一般に石積みは構造が複雑で科学的な工法が確立されておらず、その特性を力学的に解明することが重要な課題となっている。そこで本研究では、静的な荷重および上下動を考慮した地震動に対する挙動を剛体ばねモデル<sup>1)</sup>を用いてシミュレートした。このとき、石積みの断面形状が静的及び動的挙動に対してどのような影響を及ぼすかをいくつかの石積みのモデルを用いて比較、検討した。

### 2. 解析方法

#### 2.1 解析理論

解析には剛体ばねモデル(川井モデル)を用いる<sup>2)</sup>。このモデルでは要素自身を剛体と仮定し、各要素境界面上に集中化された表面力の仕事をを用いて、エネルギーを評価する。

#### 2.2 解析モデル

解析モデルとして、図1に示すような石積み想定する。図中で黒く塗りつぶされた要素が石の要素、ドット部分が地盤の要素、その他は裏込めの砂礫要素とする。また、図1中に示された荷重は背後からの分布土圧と、上部の構造物や歩行者からの荷重を受けることを考慮して作用させ、このような状態を標準載荷荷重とする。破壊条件にはモール・クーロンの条件を用い、地震力として、静的荷重を背後から作用させ、挙動解析を行った。このとき材料定数を表1のように定める。解析モデルの要素分割を図2に示す。石の底面を水平に積み、石積みの法勾配を直線にしたMODEL1を基準モデルとし、石の胴を下げたMODEL2、石の胴を下げ法勾配を緩やかに変化したMODEL3を解析対象とした。

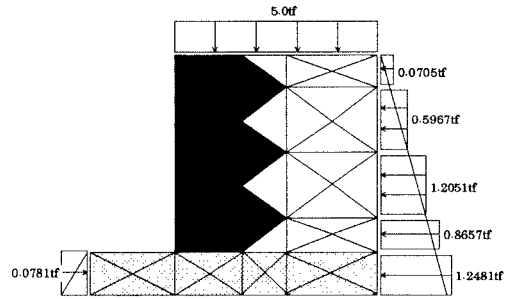


図1 標準載荷荷重

＜表1 解析に用いる物性値＞			
	石	地盤	裏込め礫
単位体積重量	2.5tf/m <sup>3</sup>	1.8 tf/m <sup>3</sup>	1.8tf/m <sup>3</sup>
ヤング率	2.0×10 <sup>4</sup> tf/m <sup>2</sup>	1.0×10 <sup>2</sup> tf/m <sup>2</sup>	3.0×10 <sup>3</sup> tf/m <sup>2</sup>
内部摩擦角	10°	20°	20°
粘着力	30tf/m <sup>2</sup>	0.1tf/m <sup>2</sup>	0.3tf/m <sup>2</sup>

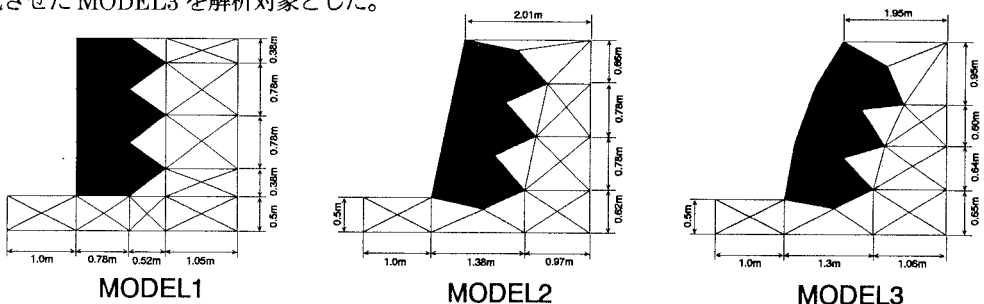


図2 解析モデル

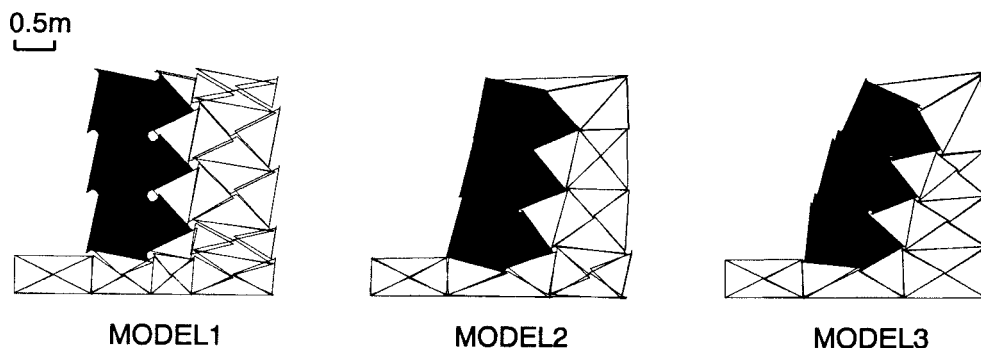


図3 崩壊時の変形モード

### 3. 解析結果及び考察

#### 3.1 静的解析

各モデルの最終強度を表2に、崩壊時の変形モードを図3に示す。表2において各モデルの荷重増分率（作用している全荷重／標準載荷荷重）を比較するとMODEL1が最も小さく、次いでMODEL2、MODEL3の順に大きくなり、それに伴って最終強度も高くなっている。ここに最終強度とは、標準載荷荷重に荷重増分率を乗じたものである。また、変形モードの図を見ると、MODEL1は他の2つに比べて大きく変位しているのがわかる。これより、MODEL2やMODEL3のような石の胴を下げる積み方は、背後からの静的地震力に比較的強い構造であることが明らかとなった。

#### 3.2 固有値解析

各モデルの1次、2次の固有振動数を求めた結果を表3に示す。これらのモデルの中で最も固有振動数の高いMODEL3は、先に述べた静的解析の結果においても強度が高くなった。逆に、固有振動数の低いMODEL1の強度は小さくなっている。一般に固有振動数の低い方が地震時の変位振幅が大きくなり、石積みの強度が低下し、崩壊に至る可能性が考えられる。

### 4. おわりに

いくつかの石積みモデルを想定し、剛体ばねモデルを用いた地震時安定解析を行った。静的解析及び固有値解析を通じて、石の胴を下げる積み方の安定性が明らかとなった。特に、土木構造物ではあまり見られないMODEL3のような逆お椀型の構造が、意外に強い強度を示すことがわかった。最後に、入力地震波を想定した動的解析の結果については、講演時に発表する予定である。

#### 〈参考文献〉

- 1) 川井忠彦：離散化極限解析概要、培風館、1991.
- 2) 竹内則雄：地盤力学における離散化極限解析、培風館、1991.