

剛体ばねモデルを用いた石積みの耐震安全性に関する一考察

金沢大学工学部 正会員 ○北浦 勝
 金沢大学工学部 正会員 池本 敏和
 金沢大学工学部 学生 針原 研二

1. はじめに

歴史的建造物の保存が叫ばれて久しいが、近年、城郭の石積みなど数百年経つ建造物の中には改修の必要性が出てきているものがある。石積みは外見もよく耐久性にも優れているが、石積み工法は一般に経験に頼っており、科学的な解明がなされていないのが現状である。そこで、本研究では剛体ばねモデルを用いて石積みモデル化するとともに、その静的挙動をシミュレートし、石積みの安定性について考察した。

2. 解析方法

解析には剛体ばねモデル（川井モデル）¹⁾を用いる。このモデルは要素自身を剛体と仮定し、各要素境界面上にはばねを設けるもので、要素境界面上に集中化された表面力の仕事を用いて、エネルギーを評価する。その結果、破壊線が得られ、不連続体に対する解析が可能である。変位パラメータは重心に設定し、三角形の平面要素の場合、自由度は3となる。

解析モデルとして図1のような石積みを想定した。図1中で黒く塗りつぶされた要素が石の要素、斜線部が地盤の要素、その他が裏込め礫の要素である。載荷荷重は図2に示す値を用い、これを標準載荷荷重とする。このときの全荷重は15.6tfとなる。また材料定数を表1のように定める。材料要素の異なる境界では、境界から重心までの距離で重みを付けた材料定数の平均値を用いて解析を行っている。

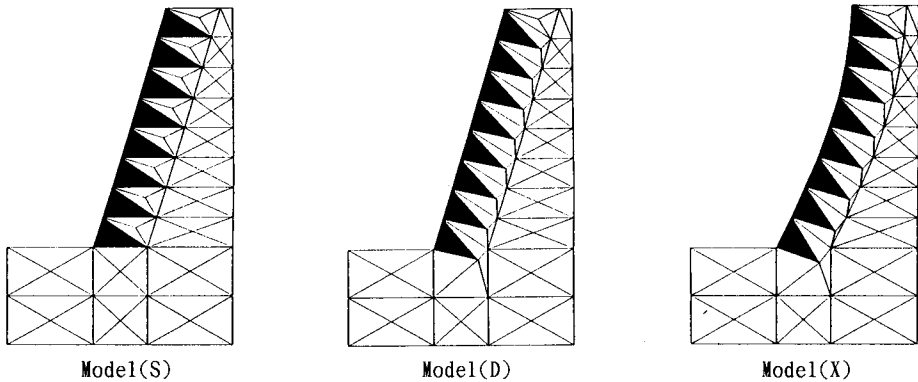


図1 解析モデル

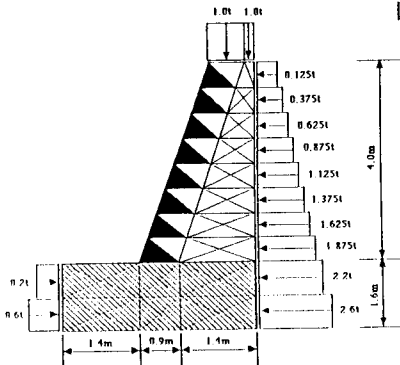


図2 標準載荷荷重

表1 解析に用いる材料定数

	石	裏込め礫	地盤
ヤング率E	$2.0 \times 10^5 \text{ tf/m}^2$	$1.0 \times 10^4 \text{ tf/m}^2$	$3.0 \times 10^3 \text{ tf/m}^2$
単位体積重量 γ	2.5 tf/m^3	1.8 tf/m^3	1.8 tf/m^3
ポアソン比 ν	0.3	0.3	0.4
内部摩擦角 ϕ	10°	30°	30°
せん断強度C	0.0 tf/m^2	2.0 tf/m^2	3.0 tf/m^2

3. 解析結果及び考察

Model(S)が崩壊した時の各モデルのすべり線を図3に、各モデルの荷重増分率（作用している全荷重／標準荷荷重）と最上部と最下部の石の水平変位の関係をそれぞれ図4と5に示す。また、各モデルの最終強度を表2に示す。

図3に注目すると、Model(S)は石積み下部にすべり線が集中し、石のはらみ出しが生じる危険があるといえる。一方、その他のモデルには破壊の生じるようなすべり線は見られない。Model(D)、Model(X)は共に、Model(S)の約1.5倍の強度がある。また、最終強度においては約2倍の値を示している。このことからModel(D)、Model(X)のように石の胴を下げることによって、境界でのすべり線の発達を抑制している効果が期待できることが明らかとなった。また、今回の解析ではModel(D)とModel(X)の間には顕著な差は現れなかった。

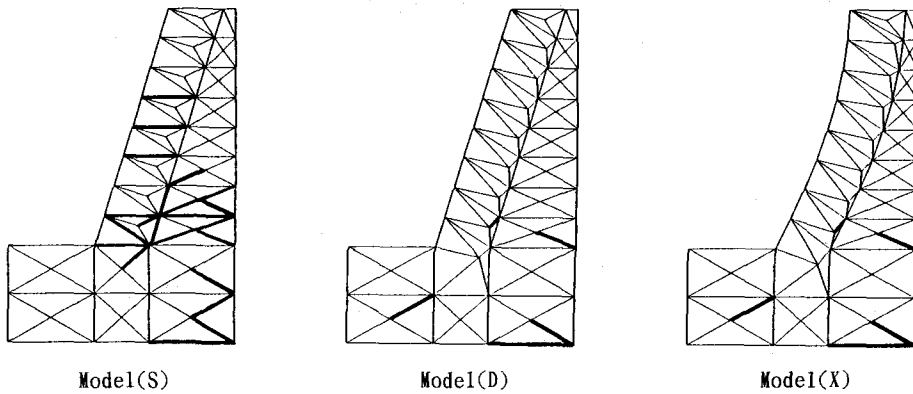


図3 Model(S)崩壊時の各モデルのすべり線の発達状況

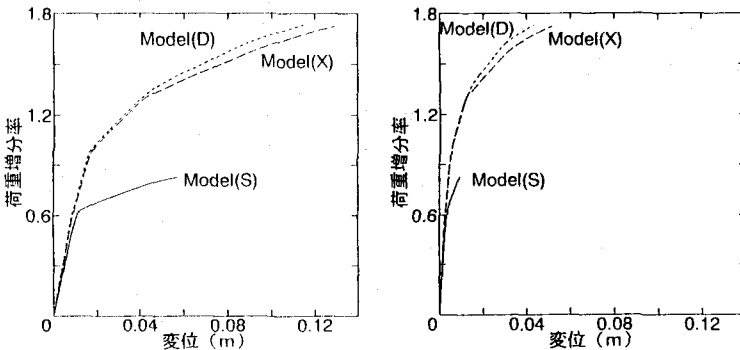


図4 最上部の石の要素の水平変位 図5 最下部の石の要素の水平変位

表2 各モデルの最終強度

	荷重増分率	最終強度
Model (S)	0.84	13.1 t f
Model (D)	1.74	27.1 t f
Model (X)	1.71	26.7 t f

5. おわりに

以上のシミュレーションより、石の胴を下げて積む方が強度が優れていることがわかった。しかし、経験的技術である法返し積み²⁾ (Model(X)に相当)に見られるように、勾配が変化した石積みの方がより堅固であるということを見逃すことはできなかった。今後、これらのモデルを用いて動的解析を行い、法返しの有効性について明らかにし、また石積みの耐震性についても検討していきたい。

参考文献

- 1) 竹内則夫:地盤力学における離散化極限解析、倍風館、1991.
- 2) 大久保森造:石垣の秘法とその解説、理工図書、1987.