

I-75

剛体ばねモデルによる石積みの地震時応答解析

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
 (株) フジタ 川崎 陽一

1. はじめに

城郭の石積みなど数百年経つ構造物の中には改修の必要性の出ているものがある。石積みは外見もよく耐久性にも優れている反面、工法は経験に頼らざるを得ず、科学的な考察がほとんど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た石積みの動的解析法を考え、これを簡単な石積みモデルに適用し、石積みの耐震安定性について検討した。

2. 石積みの特徴

社寺、城郭などの建築分野や斜面の土留、堤防、橋などの土木分野、さらに造園に至るまで、石積みは近代まで土木建設の主流であったが、その後コンクリートに取って代わられた。このような経緯には石積み全体としては不連続体であることから、近年まで科学的な解析が困難であったこと、や適当な石が入手しにくくなったことなどが考えられる。しかし経験的には、1) 石の胴を水平より上げず、下げて積むのが良い、2) 小石や砂礫を石の裏にしっかりと込める、3) 法勾配は内側にカーブを描く積み方が堅固である、ことなどがわかっている。

ここでは、これらの経験則を基にいくつかのモデルを考え、石積みの動的応答解析を行なう。

3. 解析方法及びモデル

解析には剛体ばねモデル²⁾(川井モデル)を用いる。動的解析の方程式は

$$F = Ku + C\dot{u} + M\ddot{u}$$

となる。ここで F は外力、 K はばね剛性行列、 C は減衰行列、 M は質量行列、 u は要素重心の剛体変位、 $\dot{\cdot}$ は時間微分を表す。また解析にはNewmark β 法を用いた。解析のフローを図1に示す。

解析モデルとして、図2のような石積みを想定する。塗りつぶした要素は石、その他は石の裏に込める小石や砂礫の集合要素とする。横方向から土圧の分布荷重を境界要素ごとに集中して作用させる。動的解析ではこのような荷重が作用した状態を初期状態とし、さらにEL-CENTRO地震波(NS成分)を作用させる。破壊条件にはモール・クーロンの条件を用いる。また材料定数を表1のように定める。ここに E は弾性係数、 ν はポアソン比、 γ は単位体積重量、 c はせん断強さ、 ϕ は内部摩擦角である。解析モデル及び要素分割としては、図3(a)を基準モデルとし、これ以外に法勾配は同じであるが、胴を上げたり下げたりした、モデル(b)、(c)と、法勾配の異なるモデル(d)、(e)、さらに法勾配を徐々

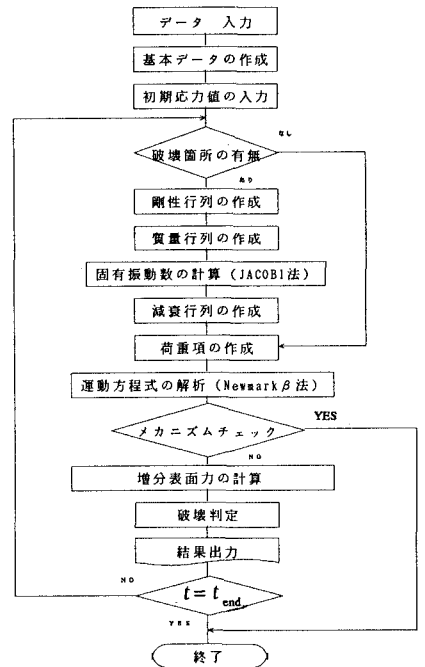


図1 動的解析のフロー

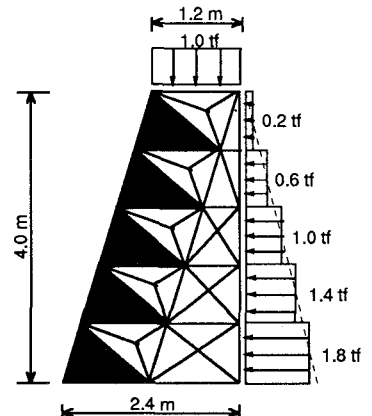


図2 解析モデルの概略

に変化させ(a)、(c)と組み合わせたモデル(f)、(g)を解析対象とした。

4. 解析結果及び考察

モデル(a)、(c)、(f)、(g)の動的応答を図4に示す。図4から胴を下げたモデル(c)の変位応答は小さいことがわかる。法勾配を変化させたモデル(f)は周期が少し長めで、振幅は大きくなっている。これは図5に示すように石積みの中ですべり線が発達し、石積み全体の剛性が低下したためだと考えられる。一方、モデル(g)は(f)に比べ変位も小さく、全てのモデルの中で最も高い耐震性を有しているものと考えられる。これらのことから、胴を下げた石積みは耐震的に優れているといえる。

5. おわりに

以上見たように、法勾配を変化させ、石の胴を下げて積む方が耐震性に優れていることがわかった。これは経験則と一致しており、このことから、石積みの挙動メカニズムをある程度近似するモデルが構築できたと考えている。今後は、より詳しい石積みのモデル

表1 材料定数

	$E(\text{tf/m}^2)$	ν	$\gamma(\text{tf/m}^3)$	$c(\text{tf/m}^2)$	$\phi(^{\circ})$
石	2.0×10^5	0.3	2.5	0.0	20
内部	1.0×10^4	0.3	1.8	2.0	30

と対象と、検討する予定である。

参考文献 1) 大久保森造:石垣の秘法とその解説、理工図書、pp.105-109、1987.

2) 竹内則夫:地盤力学における離散化極限解析、培風館、pp.10-13、1991.

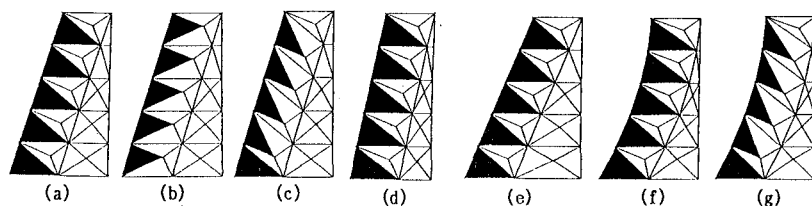


図3 解析モデルの要素分割

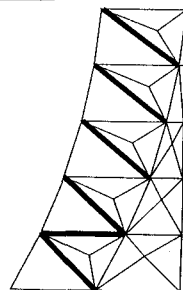
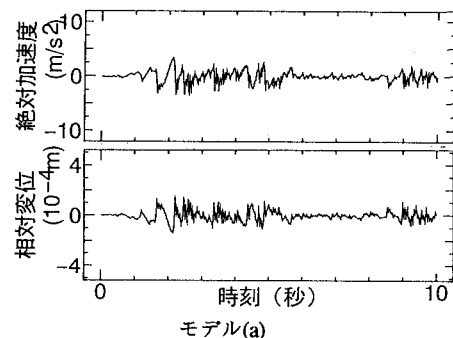
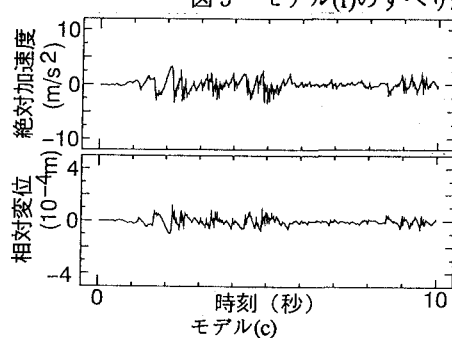


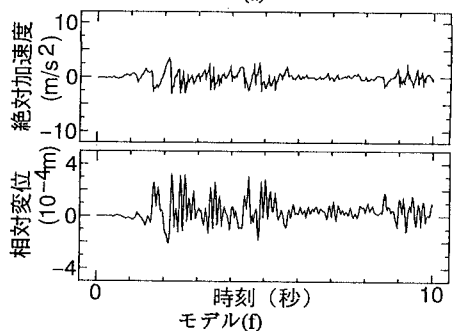
図5 モデル(f)のすべり線



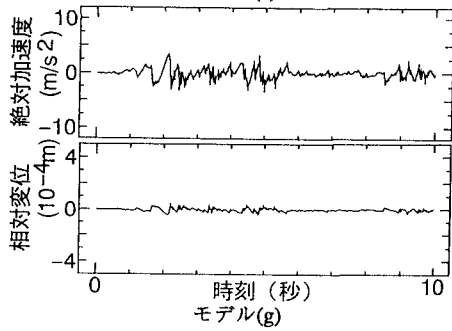
モデル(a)



モデル(c)



モデル(f)



モデル(g)

図4 最上部の石の水平加速度と相対変位の時刻歴波形