

## 石積壁の地震時挙動解析に用いる簡易モデル

鉄道総研 ○(正)太田直之 (正)杉山友康 (正)布川 修  
 国土舘大学 (フェロー)岡田勝也  
 大林組 (正)山田祐樹 (正)山本 彰 (正)鳥井原誠

## 1. はじめに

筆者らは、模型石積壁を用いた振動台実験で明らかにした石積壁の地震時変形メカニズム<sup>1)</sup>を基にして、石積壁の挙動を再現するための簡易な解析モデルを検討してきた<sup>2)</sup>。本報告では、この解析手法の実物石積壁への適用性について述べる。

## 2. 提案する解析モデルの概要

提案する石積壁の解析モデルは、図-1に示すような梁およびばね要素で構成した2次元モデルである。間知石は剛性の高いT字形の梁で表し、その質点は図-1(a)のように間知石の重心に位置する。

個々の間知石は図-1(a)に示す合端で隣接する間知石と互いに接触しながら、間知石下端を中心に回転運動をしていることを振動台実験で確認した<sup>1)</sup>。そこで、間知石同士の接点は、回転ばね $k_r$ および摩擦による抵抗を表す2方向のばね(水平摩擦ばね $k_{fh}$ および鉛直摩擦ばね $k_{fv}$ )によって連結した。

また、間知石は控えおよび胴尻の部分で裏グリ石により拘束されている。そこで、間知石が裏グリ石から受ける反力を水平および鉛直の2方向のばね(水平地盤ばね $k_{sh}$ および鉛直地盤ばね $k_{sv}$ )として表した。ここで間知石は、背面地山方向への慣性力が働く場合には裏グリ石の反力を受け、これと反対方向への慣性力が働く場合には裏グリ石の反力を受けない。したがって、裏グリ石の地盤ばね $k_s$ は、間知石が背面地山方向への慣性力を受けるときのみ作用するものとした。

解析モデルにおける個々の間知石の運動方程式は以下のようにまとめられる。

$$M\ddot{X}T + KXT = F$$

ここで

$$M = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \\ \theta \end{bmatrix}, \quad K = \begin{bmatrix} k_{fh} + k_{sh} & 0 & 0 \\ 0 & k_{fv} + k_{sv} & 0 \\ k_{sh} \cdot L_1 & k_{sv} \cdot L_2 & k_r \end{bmatrix}, \quad F = \begin{bmatrix} P \sin \alpha \\ P \cos \alpha \\ P \sin \alpha \cdot L_1 \end{bmatrix}$$

また、 $m$ は間知石の質量、 $I$ は合端を回転中心とした間知石の慣性モーメント、 $u_x$ 、 $u_y$ は壁面垂直方向および壁面平行方向の変位、 $\theta$ は回転角、 $L_1$ は合端から間知石重心までのx方向の距離、 $L_2$ は壁面から重心位置までの距離である。また、 $T$ は石積壁の勾配 $\alpha$ を考慮した座標変換マトリックスである。このような個々の間知石モデルを積み上げて、図-1(b)のような石積壁のモデルを作成した。

## 3. 外力の入力方法

加速度正弦波を用いた模型振動台実験では、大変形に至る前の段階における模型石積壁の変形は、線形的に増加することを明らかにした<sup>1)</sup>。そこで、解析における外力の入力方法は、加速度振幅の最大値をモデルに静的に作用させることとした。すなわち、模型石積壁を用いた振動台実験では、一定振幅の波を20回繰り返す

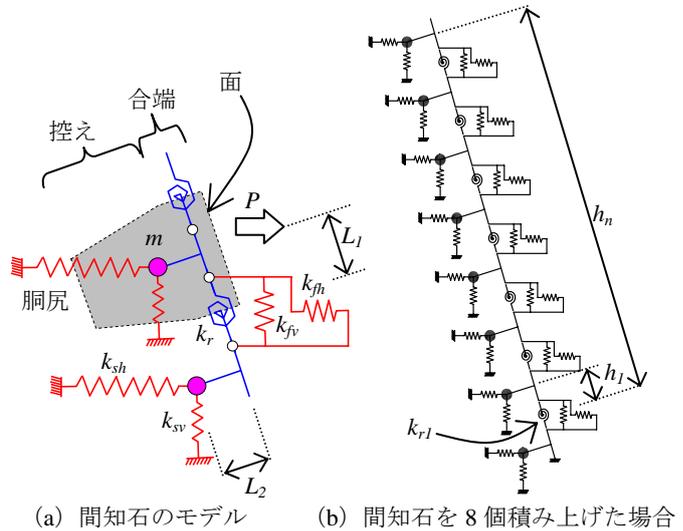


図-1 提案する石積壁の解析モデル

て入力していることから、1 振幅の加速度による慣性力を解析モデルに静的に作用させて変位を算定し、これを20 倍した値を加振後の残留変位とした。

3. 各要素の設定

裏グリ石を用いた平板載荷試験によって得られた地盤反力係数を地盤ばねに、また、間知石の合端に作用する摩擦力を求めて摩擦ばねに適用した。間知石間の回転ばねは、間知石の形状、重量、壁面勾配を考慮して算定した地山側へもたれる間知石のモーメントと、実験で明らかにした微小変形領域における変位振幅とから求めた。各要素の設定方法の詳細については既に報告した<sup>2)</sup>。

4. 実験結果と解析結果との比較

実験に用いた模型石積壁の概要を図-2 に示す。実験では、香川<sup>3)</sup> が示した重力場における振動台実験に関する相似則の考え方にに基づき、表-1 のような相似率で作成した実物の 1/3 スケールの模型石積壁を作成して実験に用いた。模型の間知石を 1:0.3 の勾配で 8 段および 12 段積み重ねて、高さ約 1m および 1.5m の石積壁を構築した（実物では高さ 3m および 4.5m の石積壁に相当する）。また模型は、地震に対して十分高い剛性の基礎地盤上に構築されている石積壁を想定したものである。

相似率に基づき実験結果を実物大に換算した残留水平変位と、図-1 のようなモデルを用いた解析によって求めた実物大石積壁の挙動を図-3 で比較した。実験および解析の両結果とも、石積壁下端部を回転の中心とする転倒モードの変形が現れており、実験結果と解析結果とはよく一致していることがわかる。また、高さ 3m の石積壁を入力加速度 600gal で加振した場合のみ、解析結果より実験結果の方が若干大きな残留水平変位が現れているが、その他の場合は解析結果の方が実験結果より大きな残留水平変位を示している。すなわち、石積壁が不安定化して微小な変位が生じ始める段階においては、解析結果は実際の変位量よりも大きな値を算定することになり、この解析結果を実務に適用した場合には、安全側の評価がなされるといえる。

5. おわりに

上述のように、実験結果に基づく実物石積壁の挙動と解析結果とはよく一致することから、提案する解析手法は実物石積壁に適用可能であると考えられる。今後、本報の検討結果を基にして、石積壁の地震時安定度評価手法をまとめる予定である。

【参考文献】

- 1) 太田直之, 杉山友康, 岡田勝也, 鳥井原誠, 山本彰, 山田祐樹: 間知石による石積壁の地震時変形メカニズムに関する実験的研究, 土木学会論文集 Vol.62, No.2, 2006.
- 2) 太田直之, 杉山友康, 布川 修, 岡田勝也, 鳥井原誠, 山本彰, 山田祐樹: 石積壁の地震時挙動解析に用いる簡易モデルの適用性に関する検討, 第 42 地盤工学研究発表会, 2007, 投稿中
- 3) 香川崇章: 土構造物の模型振動台実験における相似則, 土木学会論文報告集, 第 275 号, pp.69-77, 1978.

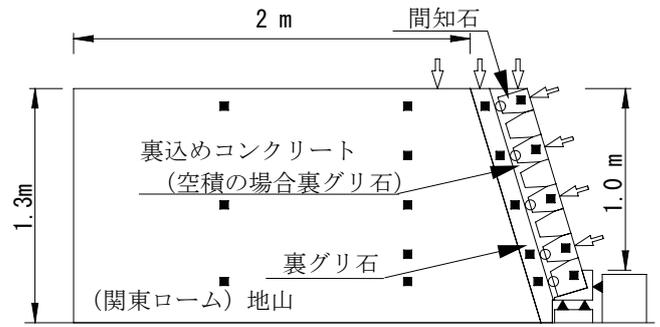


図-2 実験に用いた模型石積壁 (高さ 1m の場合)

表-1 模型振動台実験での相似率

項目	模型/実物	縮尺 λ=3 の相似率
土の密度	1	1
長さ	1/λ	1/3
応力	1/λ	1/3
ひずみ	1/λ <sup>1/2</sup>	1/1.7
弾性係数	1/λ <sup>1/2</sup>	1/1.7
EI	1/λ <sup>7/2</sup>	1/46.8
EA	1/λ <sup>5/2</sup>	1/15.6
荷重, 力	1/λ <sup>3</sup>	1/27
変位	1/λ <sup>3/2</sup>	1/5.2
振動数	λ <sup>3/4</sup>	2.2
時間	1/λ <sup>3/4</sup>	1/2.2
加速度	1	1

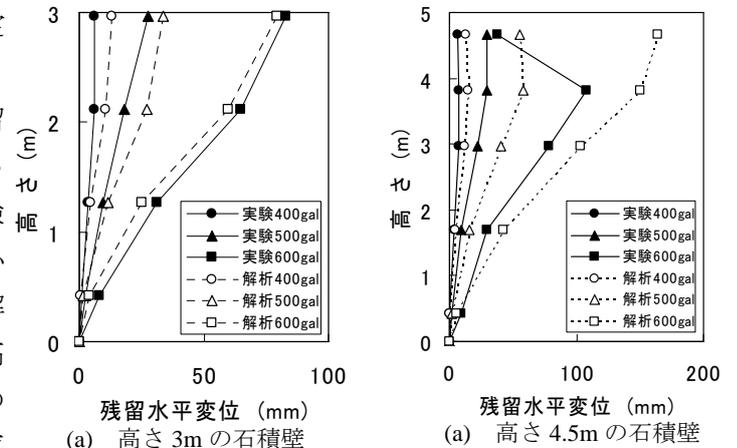


図-3 加振後における残留水平変位の分布