

石積み擁壁の耐震性評価を目的とした動的弾塑性 FEM の拡張のための基礎的研究

群馬大学 正会員 若井明彦

1. はじめに

著者らはこれまで動的弾塑性 FEM を用いて擁壁の地震時挙動の再現を試みてきた(若井他(2006))。壁体を剛体として扱えるコンクリート擁壁, 多数パネルがヒンジ連結された擁壁, 補強土擁壁等では, 実際の構造を FEM のメッシュ分割に容易に反映させることができた。ところが, 石積みやブロック積み擁壁など, 壁体が小さな不連続体の集合体として構築される擁壁では FEM によるモデル化が困難であり, 不連続体ベースの解析的研究が精力的になされてきた。FEM を応用した試みとしては, 静的解析ではあるが渡嘉敷他(2002)による DFEM などがあげられる。彼らは要素間にジョイント要素を配置し, 要素毎の不連続体的な運動と要素群全体の挙動とを整合させて解いた。ただし, 裏込め土の力学特性を必ずしも適切に考慮しておらず, このままでは地震時挙動の再現に拡張することができない。本研究では裏込め土に土の動的変形特性を考慮したモデル化を, 間知石(有限要素)間の不連続挙動を考慮するために特殊な薄層要素を配置することで, より合理的な石積み擁壁の動的応答解析を試みた。同要素はジョイント要素と異なり通常のソリッド要素を薄くしたものであるため, 数値計算上の不安定化が生じにくく, 計算の収束性が極めて良好であることを確認した。

2. 解析モデル

解析モデルの有限要素メッシュを図-1 に示す。間知石は弾性体と仮定した。個々の間知石の間および裏込め土との間には 0.1m 厚さの特殊な薄層要素を挿入した。これは“間知石同士のかみ合い”と“石間に充填された裏グリ石などの材料”の双方を一体化した力学モデルと位置づけられる。適切な要素厚さと強度定数等の設定は今後の課題である。またこの薄層要素はソリッド要素(8 節点アイソパラメトリック要素)であるため, 要素内には通常の連続体としての応力テンソル場が得られる。そこで要素の長軸方向(α)の断面に関する垂直応力 σ_α とせん断方向 τ_α を抽出して, 所定の強度特性に基づき応力補正(σ_α による剥離の判定, 破壊規準式に基づく τ_α の補正)する処理を行っている(図-2)。剥離は引張り強度 σ_t で規定され, 剥離後には常に $\tau_\alpha=0$ とする。また再接触後は $\sigma_t=0$ と仮定する。応力補正は等価節点力として収束計算の中の残差力に加算される。

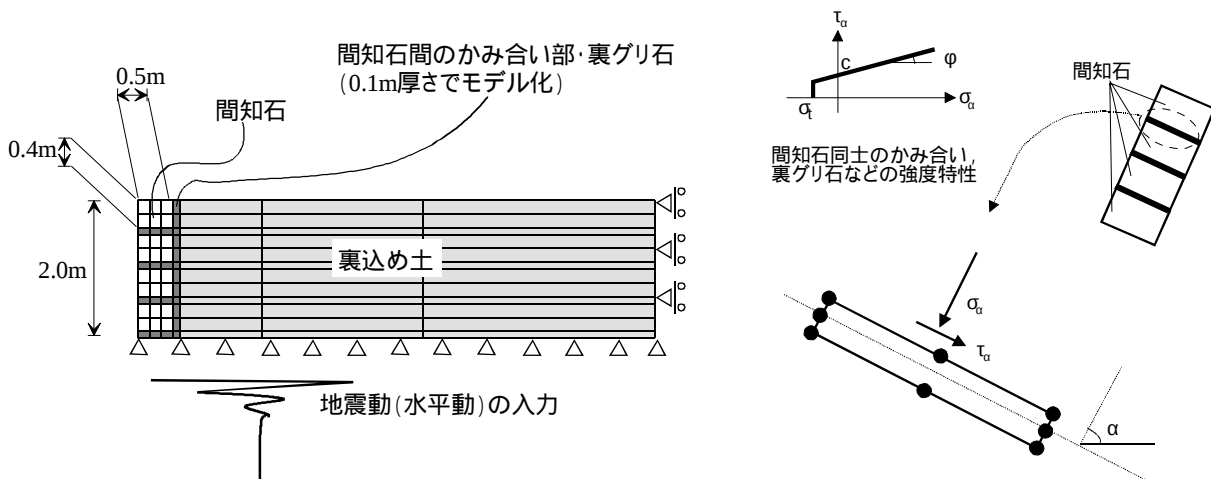


図-1 石積み擁壁(直壁)のモデル(有限要素メッシュ). 図-2 間知石間の強度特性を再現する薄層要素.

キーワード 地震, 石積み擁壁, 耐震性, 弾塑性, 有限要素法

連絡先 〒376-8515 群馬県桐生市天神町 1-5-1 群馬大学大学院工学研究科 若井明彦 wakai@ce.gunma-u.ac.jp

表-1 解析に用いた材料定数の一覧．

	ヤング率 $E(\text{kN/m}^2)$	ポアソン比 ν	粘着力 $c(\text{kN/m}^2)$	内部摩擦 角 ϕ (deg)	ダイレイタシー角 ψ (deg)	$b\gamma_{G0}$	n	単位体積重量 $\gamma(\text{kN/m}^3)$	引張り強度 $\sigma_t(\text{kN/m}^2)$
間知石	25000000	0.15	-	-	-	-	-	20.	-
間知石間の 薄層要素	15000	0.49	1	30	0			20.	0
裏込め土	150000	0.3	0	35	0	0.85	2.5	19.	-

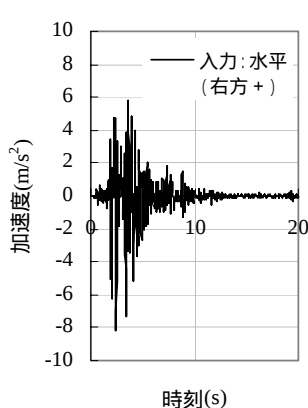


図-3 入力地震波形（水平成分）．

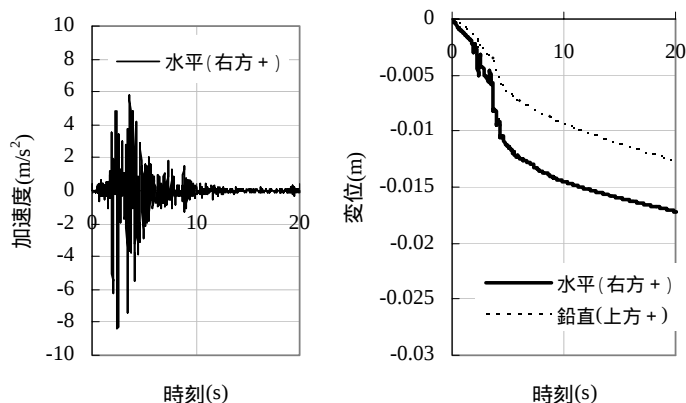
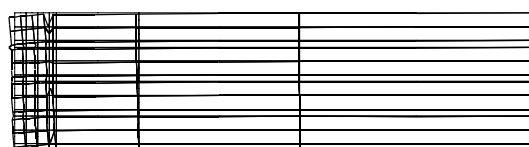


図-4 擁壁の上端位置の応答加速度・応答変位の時刻歴．

< 変位を5倍に強調 >



せん断ひずみ (%)

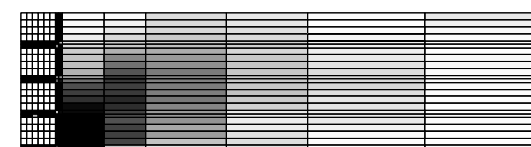


図-5 地震後の変形状（左：残留変形，右：最大せん断ひずみ）．

解析に用いた材料定数を表-1 に示す。個々の値に具体的な根拠はなく、あくまでも一つの事例解析である。裏込め土には鵜飼・若井による簡易繰返し载荷モデル（Wakai&Ugai (2004)）を適用し、物性値については一般的なものを仮定した。なお、大変形の効果を考慮するため、Update Lagrange 法を採用した。

3. 解析結果とまとめ

入力波形は兵庫県南部地震における神戸海洋気象台波形の NS 成分（図-3）である。解析で得られた擁壁上端の応答加速度と応答変位の時刻歴を図-4 に示す。加速度の増幅はほとんど見られない。残留水平変位は 1cm 強であるが、地震動の終息後も変位進行が継続していることから、擁壁は崩壊する可能性がある。地震後の全体的変形状を図-5 に示す。左は残留変形の状況（変位を 5 倍に強調）を、右は残留最大せん断ひずみ分布を示したものである。擁壁全体が前面側へ転倒するとともに、壁体下端付近から主働すべり面が生じている。

今後は石積み擁壁の耐震実験や地震時被害記録との比較を通じて、力学モデルの精緻化を進めたい。

参考文献

- 渡嘉敷直彦，アイダンオメル，清水泰弘，川本眺万（2002）：個別有限要素法（DFEM）による不連続岩盤および石積み構造の力学的安定性評価，第 11 回岩の力学国内シンポジウム講演概要集，pp.149-154.
- Wakai, A. and Ugai, K.(2004)：A simple constitutive model for the seismic analysis of slopes and its applications，Soils and Foundations, Vol.44, No.4, pp.83-97．
- 若井明彦，天野正道，飯塚豊，鵜飼恵三（2006）：ジオグリッドとコンクリートパネルからなる補強土擁壁の耐震性評価のための数値解析，土木学会論文集，No.813 / -74, pp.157-168．