

## 石積み擁壁の道路構造物への適用に関する研究（3） ～不連続変形法（DDA）による耐震評価とその適用性について～

大成建設株式会社 土木本部 正会員 亀村 勝美  
 京都大学大学院 工学研究科 正会員 大津 宏康  
 大成建設株式会社 土木本部 正会員 関 文夫  
 日本道路公団 関西支社 正会員 梁川俊晃  
 京都大学大学院 工学研究科 正会員 西山 哲

### 1. 目的

石積み擁壁による道路構造物の安定性の評価に関しては、これまで文献等による史学のおよび力学的な研究を中心に定量的な考察が行われており、技術者の経験的な判断に拠るところが大きかった。各種数値解析手法を適用して評価する手法も試みられてきたが、当該構造物が個々に独立した石のブロックのかみ合わせにより積み上げられているという複雑な構造であり、それら個々のブロックの挙動を正確にシミュレーションしなければ、安定性に関する定量的な判断が行えないという困難さのために、数値シミュレーションによる評価は信頼性のある結果を提供できない状態である。

本研究はこのような背景を鑑み、石積み擁壁による道路構造物の安定性評価のための数値解析手法の構築を試みたものであり、特に地震動による外力に対する耐震評価を考察するための不連続体解析法による数値シミュレーション技法の確立について論じるものである。

### 2. 不連続体解析法（Discontinuous Deformation Analysis：DDA）について

DDAは、解析対象を不連続面により区切られた任意形状のブロックで表し、有限要素法と同じポテンシャル最小化の原理を用いて、釣合い式を満足するように前記ブロックの動的相互運動を解析するものである。DDAのポテンシャルブロックが接触した場合には、接触部にクーロンの摩擦則を導入し、時間ステップごとに連立方程式を組み立てることで、弾性体の動的な大変形のシミュレーションを可能にする。

要素ブロック内のひずみは一定であるとし、ブロックの重心の剛体変位（ $u_0, v_0$ ）、ブロックの重心を中心とする回転角  $r_0$ 、あるいはブロックの垂直ひずみ、せん断ひずみ（ $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_{xy}$ ）の6個の変形変数を未知数とする。外力、応力、粘性力、慣性力および接触力等による全ポテンシャルエネルギーを計算し、それを最小化することにより導かれる連立一次方程式を解くことで、これらの未知変数を得る。またブロック貫入時には、ブロック間の貫入を許さないようにペナルティ法を適用する。DDAは、解析パラメータの物理的な意味が明確であることからその設定が容易であり、また接触時の挙動が正確に計算できることにより、精度の高い定量的シミュレーションが可能であるという特徴をもつ。

### 3. 解析結果

図1は解析対象である道路構造物を表す概念図である。図では一つの断面を示したが、現場で採取された自然の形のままの石を組み合わせて作られるものであるが、その複雑な組み合わせが当構造物の安定性を決定する要因であり、解析モデルとしてはできるだけ忠実に構造を再現する必要がある。そこで構造物を模写した図面をCADによりデータとして取り込み、そこから直接モデル化できるアルゴリズムを構築した。図2は図1の図面から作成された解析モデルである。モデル図に示したように、固定点は4点設け、そのうち下方にある2点は水平方向、鉛直方向について固定し、この2点に強制変位を与えるための地震動を入力し、構造物の耐震評価を行った。その他の2点は鉛直方向についてのみ固定し、水平方向の変位を許した。なお、表1は図1に対応した各部における物性値である。

キーワード 不連続体解析法、石積み擁壁、耐震評価、道路構造物、数値解析

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1 大成建設株式会社 土木本部 TEL03-5381-5423

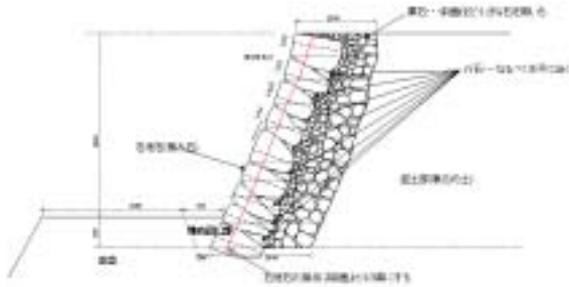


図1. 解析対象の概念図

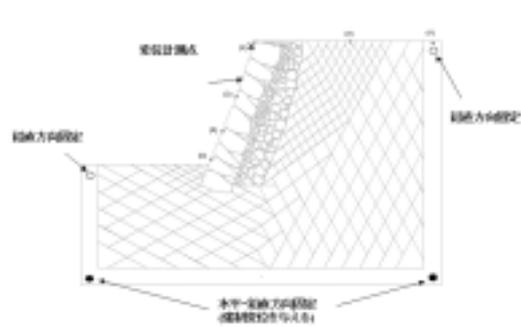


図2. 作成された解析モデル

表1. 解析に用いた物性値

層	粘着力 (tf/m <sup>2</sup> )	内部摩擦 角 (°)	単位体積重 量 (tf/m <sup>3</sup> )	弾性係数 (tf/m <sup>2</sup> )	ポアソ ン比 -
基盤	2.3	33	1.9	8300	0.3
裏込め土	2.3	33	1.9	3000	0.3
埋め戻し 部	2.3	33	1.9	3000	0.3
裏込め栗 石	0	45	2.6	1000000	0.25
積み石	0	45	2.6	1000000	0.25

入力地震波は図3に示すレベル1地震動の波形とした。最大加速度は102.24galであり、解析においては、2回積分することで変位のデータとして入力する。

図2における石垣上の計測点と後背地盤の天端部の応答倍率を図4に示す。後背地盤より石垣石の方が振動の影響を強く受けるが、両者の応答ピークは一致している。これより、石垣石だけが特に大きく振動するような固有振動数はなく、また構造物の固有振動数は、石垣部分と

後背地盤は同じであることが分かる。振動数0.2Hz付近の波は残留変位による長周期の波である。図5は17秒間地震動を加えた後の状態を示したものである。図3の入力地震波に対しては安定であることが分かる。

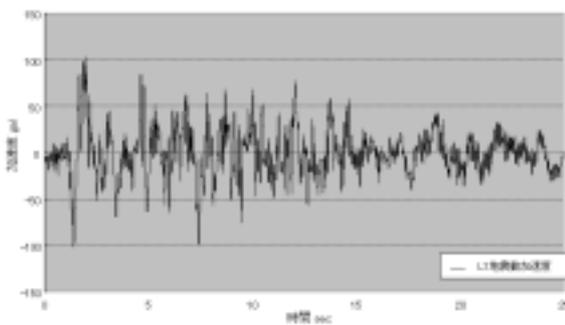


図3 入力地震波形

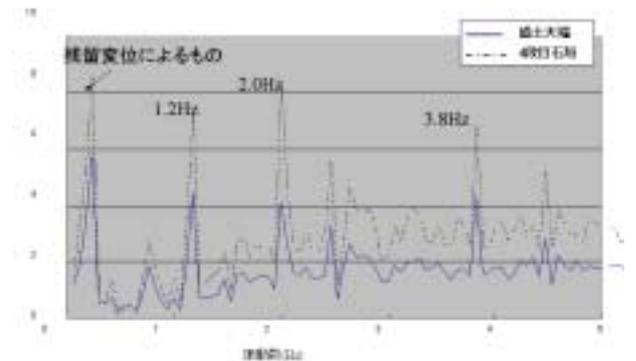


図4 地震応答曲線

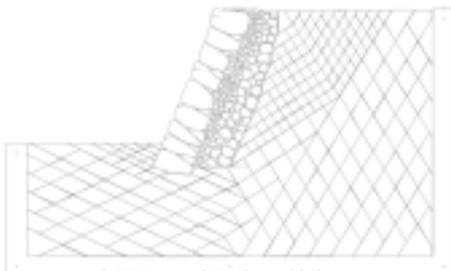


図5. 地震後の擁壁の状態

石積み擁壁といった個々のブロック挙動の定量的な把握によってその安定性を考察する必要のある構造物に対して、本研究で示したような解析対象を忠実に再現するモデル作成法と組み合わせたDDAの有用性を示す結果を得ることができた。またDDAは地震波形の入力に対応した動的解析を可能にし、構造物の耐震評価にも適した手法である。ここに示したものを含めて解析結果の詳細については、講演にて紹介する。

4.まとめ

複雑な構造を有する石積み擁壁の安定性を解析するためのDDAを用いた数値シミュレーション技法の構築を試み、その適用性を検証した。今後はこのDDA解析を環境あるいは景観に配慮した石積み擁壁の設計指針作成へと発展させる予定である。