

京都大学 学生会員 ○川上紘平, 橋本涼太  
京都大学 正会員 三村 衛, 肥後陽介

## 1. はじめに

擁壁は主に土構造物の安定性を高めるために施工される抗土圧構造物であるが、近年地震時に深刻な被害を受ける事例が確認されている。被害の抑制のためには、地震時の擁壁の力学挙動の理解と、的確な予測が重要となる。本研究では地盤と擁壁の相互作用問題に適した数値解析手法として不連続体解析手法の一つであるマニフォールド法 - 不連続変形法連成解析 (NMM-DDA)<sup>1)</sup>に着目した。同手法を用いて地震応答解析を行うための前提条件として、準静的条件で土圧現象を正確に表現できる必要がある。そこで、本研究では NMM-DDA を用いて Rankine 土圧を想定した準静的条件での主働土圧、受働土圧を算出し理論解との比較を行うとともに、ひずみが局所化する条件で解析を行い、NMM-DDA が滑り面や土塊を適切に表現できるかを確認した。

## 2. NMM-DDA の概要

NMM-DDA<sup>1)</sup>は、ともに離散体の解析手法であるマニフォールド法 (NMM) と不連続変形法 (DDA) の連成解析手法である。両手法はともに複数の多角形ブロックからなる系を対象とした動的接触解析手法であるが、空間離散化に違いが見られる。DDA では変位変数としてブロックの剛体回転を陽に含み、擁壁の転倒など回転運動を含む問題に適する。一方、NMM では FEM と同様に変位をメッシュの節点に離散化するため、地盤内の詳細な応力・ひずみ状態を表現するのに適する。NMM-DDA では解析対象とする各ブロックについて、NMM と DDA のいずれでモデル化するかを指定した上で、各ブロック間の接触をペナルティ法によって定式化することで同時解析を可能にしておき、地盤と擁壁の相互作用問題をより適切に扱えると期待される。また、本質的に FEM と等価な理論構造を持つ NMM には各種構成則の導入が可能であ

る<sup>2)</sup>。本研究では降伏関数を Mohr-Coulomb の破壊規準、塑性ポテンシャルを平面ひずみ条件の Drucker-Prager 型の式とした弾完全塑性モデル (以降、MC-DP モデル) を使用した。NMM-DDA の理論の詳細は参考文献<sup>1)</sup>を参照されたい。

## 3. Rankine 土圧を想定した主働・受働土圧解析

NMM-DDA は元来亀裂性岩盤を対象として開発された手法であるため地盤工学分野における適用例が少なく、土圧問題に適用された事例も存在しない。したがって、本手法の適用性を検証するために、Rankine の土圧理論で想定されているような準静的条件での主働および受働土圧の解析を行い、理論解と比較した。図 1 に使用した解析モデルおよび境界条件を示す。解析モデルは擁壁を模した DDA ブロックと背面地盤を模した NMM メッシュからなる。境界条件は下端を水平ローラー、右端を鉛直ローラーとした。NMM メッシュは一辺 0.5m の正方形で分割されている。構成モデルは、地盤には先述の MC-DP モデルを、擁壁は線形弾性体を用い、それぞれ表 1 に示す物性値を使用した。なお、簡単のために壁面摩擦はないものとした。以上の条件で、擁壁を水平方向に変位させ、主働および受働土圧の解析を行った。

まず、主働土圧については擁壁を 0.1cm/s の速さで 1cm 左向きに変位させた。その結果得られた擁壁変位に伴う水平土圧の推移を図 2 に示す。これは、擁壁背面に接する 20 個の地盤要素の水平応力をプロットしたものである。土圧は擁壁変位に伴って減少し、変位量 0.5cm の時点で地盤全体が主働土圧の理論解と一致し、その後定常化している。受働土圧については、擁壁を右向きに 1.0cm/s の速さで 20cm 変位させた。解析から得られた水平土圧の推移を図 3 に示す。擁壁が変位するに従って土圧は上昇し、変位量 7cm の時点で地盤全体が受働土圧の理論解に一致し、定常化した。以上より、

NMM-DDA により準静的条件での主働，受働土圧が理論解通りに計算できることが確認された。

#### 4. ひずみの局所化を考慮した解析

実際の擁壁を想定した場合，ひずみが局所化し，滑り土塊が発生するという挙動が見られる．したがって，滑り土塊が発生する場合の滑り面付近の状態を確認するため，ひずみの局所化のトリガーとして，背面地盤の境界条件を変化させた主働土圧の解析を行った．解析モデルは図 1 のものを使用し，物性値は表 1 のものを用いたが，背面地盤の左下の節点に水平方向の変位を固定する条件を加えた．3.と同様に擁壁を水平方向に 0.1cm/s の速度で 1cm 変位させることで背面地盤を主働状態にした．

解析結果について述べる．図 4 に最終状態での偏差ひずみの分布図を示した．擁壁下部では水平方向から一定の角度を持つ偏差ひずみの集中域が見られる．固定されている要素の直上の要素の重心と背面地盤上端の最も偏差ひずみが大きい要素の重心を結ぶ直線を滑り面と仮定し図 4 中に破線で示す．本解析の条件では主働破壊時の滑り面角度の理論値は  $60^\circ$  となるが，数値解析より得られた滑り面角度は  $59.47^\circ$  となり，両者は概ね一致している．図 5 に解析終了時の水平方向変位分布図を示す．滑り面より上は全体が一樣に変位しており滑り土塊が生成しているといえる．以上より，主働破壊に伴うひずみの局所化現象を NMM-DDA を用いて表現できるということが確認された．

#### 5. 結論

NMM-DDA を擁壁の地震応答解析に適用する際的前提条件となる，準静的な条件における土圧現象の表現の検証のために主働土圧，受働土圧のシミュレーションとひずみの局所化を考慮した解析を行った．その結果，準静的な条件において同解析手法は，土圧を正しく計算でき，ひずみの局所化現象を適切に表現すると確認された．また，上記の解析は擁壁と地盤が独立した状態で擁壁のみに変位を与えて行ったが，それに伴って地盤は変形し土圧現象を適切に表現した．以上より，NMM-DDA の地盤と擁壁の相互作用問題への適用性が確認されたといえる．

#### 参考文献

- 1) Miki ら., *Int. J. of Comput. Methods*, 7(1), pp.1-20, 2010.
- 2) Hashimoto ら : *Geosystem Engineering*, 16(1), pp. 62-74, 2013.

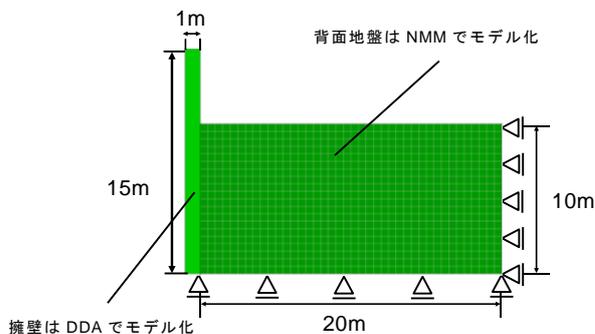


図 1 使用モデル図

表 1 使用物性値

	地盤	擁壁
ヤング率[kPa]	1.0E+05	1.0E+06
ポアソン比	0.333	0.2
内部摩擦角[°]	30	-
単位体積質量[g/cm³]	1.59	2.31

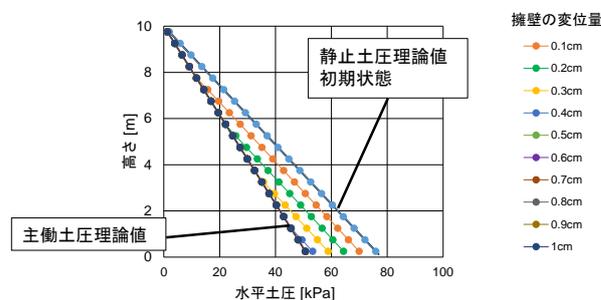


図 2 擁壁の変位に伴う水平土圧分布の推移（主働時）

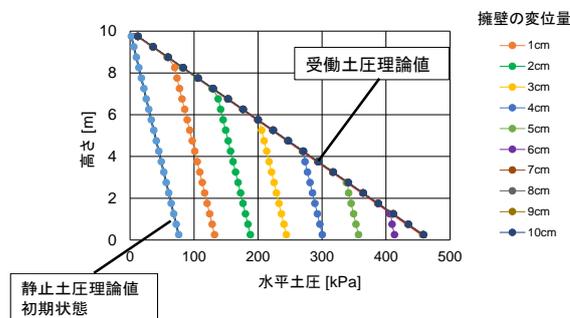


図 3 擁壁の変位に伴う水平土圧分布の推移（受働時）

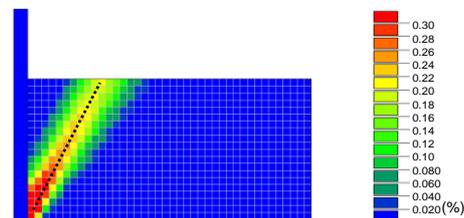


図 4 解析終了時の偏差ひずみ分布図

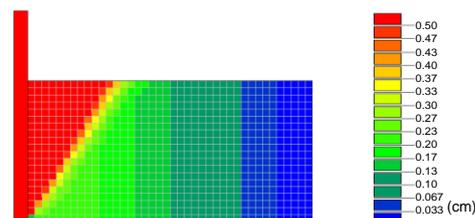


図 5 解析終了時の水平変位分布図（左向きが正）