

## NMM-DDA による擁壁転倒時の土圧問題の解析

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, 地震時の擁壁周辺の力学挙動, 特に背面土圧特性の理解と的確な予測が重要となる.

既往の擁壁模型の振動実験<sup>1)</sup>等により, 擁壁背面の土圧は擁壁と地盤の剥離といった動的相互作用の影響を受けることが知られており, その特性の把握が不可欠である. 筆者らはこれまでに, 地盤と擁壁の相互作用問題に適した数値解析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>2)</sup>に着目し, 擁壁が動的に, 高速で変位した際の主働土圧に関する検討<sup>3)</sup>を行っている. しかし, 同検討では擁壁の変位モードを水平方向の平行移動のみに限定していた. 実際の擁壁は転倒などの回転を含んだ変位モードを示し, それによって土圧分布が変化する<sup>4)</sup>. そこで, 本稿では NMM-DDA を用いて, 特に擁壁が底部を支点に転倒する場合について, 準静的および動的条件下における背面土圧分布特性について検討し, また, 水平に平行移動する場合との比較を行った.

## 2. NMM-DDA の概要

NMM-DDA<sup>2)</sup>は, と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>5)</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>2)</sup>を参照されたい.

## 3. 擁壁の転倒時の主働土圧解析

擁壁の転倒時の背面土圧分布特性について検討するため, NMM-DDA を用いて, 擁壁の主働方向への転倒を想定した解析を実施した. 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一辺 0.5m の正方形で分割された NMM メッシュからなる. 境界条件は地盤部分の下端を水平ローラー, 右端を鉛直ローラーとした. 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, 簡単のため壁面摩擦はないものとした. 以上の条件下で, 擁壁の背面地盤に接する部分の上端 (図 1 の A 点) が 1cm 左側に変位するように下端 (図 1 の B 点) を支点として擁壁を回転させた (約 0.057° 回転させることになる). なお, 擁壁が準静的, および動的に変位する場合の違いを把握するため, 変位にかかる時間を 1sec と 0.1sec の 2 ケース設定した.

解析の結果得られた擁壁変位に伴う水平応力の推移を図 2a, 図 2b 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. 1sec で変位させたケース (図 2a) では擁壁の変位に従い水平土圧は減少し主働土圧

の理論値に一致していくが、擁壁の下部では水平土圧が擁壁の変位に従い大きくなっている。このような水平応力の分布は、Nakaiの静的FEMによる解析<sup>4)</sup>においても観察されており、妥当な結果であると言える。一方、0.1secで変位させたケース(図2b)では、擁壁の変位開始直後には水平土圧は主働土圧よりも小さい値を示す。これは、擁壁と地盤が剥離したためであるが、その後剥離箇所が擁壁に再接触するにしたがい応力は上昇して大部分で主働土圧の理論値と一致し、最終的に1secのケースとほぼ同じ挙動を示した。

一方で、地震時における土圧は擁壁と地盤の剥離などの影響によりクーロン土圧に震度法を適用した物部岡部式の理論値よりも小さくなるのが既往の振動台実験より知られている<sup>1)</sup>。筆者らの既往の解析より、擁壁が急激に水平変位した際には主働土圧の理論値よりも小さい水平土圧が観察されており<sup>3)</sup>、これと、今回実施した解析において、擁壁の急速な転倒による最終的な水平土圧の減少が見られなかったことを踏まえると、地震時の土圧の低減には擁壁の転倒でなく擁壁の水平方向の変位速度が大きく寄与する可能性がある。

5. 結論

本研究においては、擁壁が転倒した場合、水平土圧分布にどのような影響が及ぼされるか検討するために、NMM-DDAを用いて擁壁の主働方向への転倒を考慮した解析を行った。その結果擁壁下部での応力の増大が見られ、この2ケースにおいては最終状態の水平土圧分布に速度の影響はほぼ見られなかった。また、擁壁の転倒は地震時に見られる擁壁背面土圧の低減には影響しにくいという知見が得られた。本稿で得られた知見を今後、地震応答解析の結果分析に役立てることができると考えられる。

参考文献

- 1) 渡辺ら: 第26回地震工学研究発表会公演論文集, pp.725-728,2001.
- 2)Miki ら: *Int. J. of Comput. Methods*, 7(1), pp.1-20, 2010.
- 3)川上ら :第50回地盤工学研究発表会, 2015(投稿中).
- 4)Nakai: *SOILS AND FOUNDATIONS*, Vol.25, No.3, pp98-112, 1985.
- 5)Hashimoto ら: *Geosystem Engineering*, 16(1), pp. 62-74, 2013.

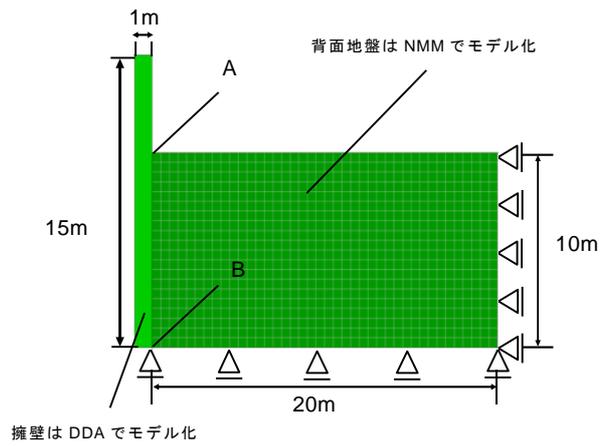
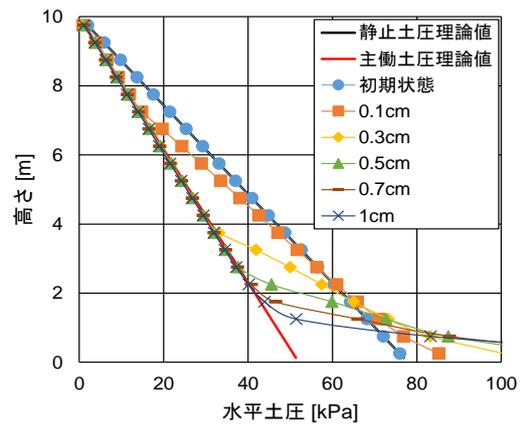


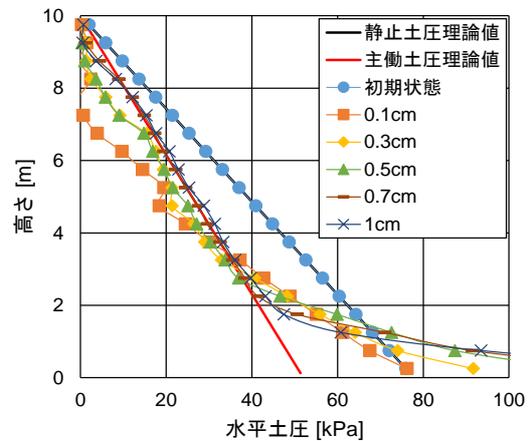
図1 使用モデル図

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/cm <sup>3</sup> ]	1.59	2.31



a) 1secで転倒させる場合



b) 0.1secで転倒させる場合

図2 擁壁の変位に伴う水平土圧分布の推移(転倒)