

# 有限要素法による抗土圧壁体の転倒破壊解析

## " Elasto-plastic finite element collapse analysis of retaining wall by excavation "

田中 忠次 , 岡島 賢治

TANAKA Tadatsugu\* , OKAJIMA Kenji\*

### 1. はじめに

矢板などの抗土圧構造物の片側背面地盤を掘削する開削工は、土木工事において最も頻繁に用いられる工法である。この片側背面地盤掘削による抗土圧構造物に作用する土圧に関する解析には、掘削に伴う構造物の微小変形から破壊まで連続的な解析に有効な解析手法の開発が求められている。本研究で用いた弾塑性有限要素解析手法は、これまで抗土圧構造物の転倒破壊問題について、特定の模型実験との比較ではある程度有効な解析手法であることが分かっている。そこで、本研究では次の検証手段であるスケール効果について、大スケール、小スケールの実験を行い解析結果と比較することで、本弾塑性有限要素解析手法の有効性を検証することを目的とした。

### 2. 模型実験

ひずみ軟化を示す材料は比較する厳密解もないため、解析手法は実験と比較する必要がある。この場合、実験にもスケール効果が生じるので、実験そのものの信頼性を評価しなければならない。従って、ひずみ軟化を示す材料に関わる問題については、実験と解析との相互のやりとりによって現象解明をなされなければならない。また、このことによつてのみ前進しうるものである。

本研究における模型実験は、スケール効果を検証するために大小2つのスケールで模型実験を行った。実験材料は地盤材料に気乾状態の豊浦標準砂を用い、壁体にはアルミニウム板を用いた。大小各スケールの実験装置は、高さ70(45)cm、幅150(100)cm、奥行き50(20)cmの箱型の実験槽を用いた。砂地盤は空中落下法によりホッパーを用いて深さ50(20)cmの地盤を作成した。壁体は砂地盤の中央部に実験槽下床から10(4)cmのところから設置した。壁体に用いたアルミニウム板は厚さ0.5(0.2)cm、高さ65(26)cm、奥行き49.6(19.6)cmである。また、根入れ深さは40(16)cmとした。大小両スケールの実験は密詰め地盤で3回ずつ行った。大スケールと小スケールでは砂地盤深さ、奥行き、壁体寸法について5:2の幾何学相似となるようにした(以上、カッコ内が小スケール)。幅方向については土層の破壊域に大きな影響を与えない十分な距離があり、これは解析により確認を行った。掘削は壁体に対し片側の砂地盤を真空吸引法により非接触にせん断帯が発生するまで掘削し、測定値として壁体頂端部変位を測定した。

### 3. 有限要素解析

本研究の有限要素解析は、implicit-explicit 混合型の動的緩和法と、リターンマッピング法を結合し、ひずみ軟化・せん断帯・異方性を考慮した構成モデルを適用した。降伏関数にはMohr-Coulomb型モデルを、塑性ポテンシャルにはDrucker-Prager型モデルを用いた。有限要素は2次元解析には1点積分を適用した4節点アイソパラメトリック要素を適用した。地盤材料定数は、既往の研究によりキャリブレーションされた値を用いた。大スケールの有限要素メッシュの領域は実験の土層部及び、壁体部の全横断面とした。小スケールの有限要素メッシュは大スケールのメッシュを2/5の幾何学相似となるメッシュとした。掘削は片側のメッシュを1層ずつ除去し、応力を開放することで計算を行った。2次元解析に用いた有限要素メッシュは、要素数3175、節点数3341である(図1)。本研究では、壁体頂端部変位は壁体の傾斜で、掘削深度は(掘削深度)/(根入れ深さ)とした掘削率として比較した。図2に大スケールと小スケールの実験および解析の結果を示す。縦軸が掘削率、横軸が壁体の傾斜角の正接をとる。図2より、実験では同じ掘削率のとき、小スケールの壁体傾斜角が大スケールの結果よりも小さく、破壊しにくいという結果を得た。これに対し、2次元有限要素解析結果では、初期変位においては、大スケールよりも小スケールが若干破壊しにくいものの、破壊進行後はおおむね同じ傾向を示すという結果を得た。また、大スケール、小スケールいずれの場合でも、実験結果は有限要素解析結果よりも破壊しにくいという結果を得た。この実験と解析の結果の相違に対して、実験と解析手法の双方を検討しなおす必要がある。従来の研究より、実験では高さとおよび奥行きとの比が1:1以上であれば側壁面摩擦の影響は避けられると考えられていた。

しかし、実験における観察から実験での側壁面摩擦の影響が関与していると考えられた。本実験においては、側壁面摩擦の影響は完全に除去できないことを考えると、側壁面摩擦の影響を考慮するためには、解析において再検討を行う必要がある。このため、側壁面摩擦の影響を考慮した3次元解析を行い、解析結果と実験結果の再検討をおこなった。

3次元弾塑性有限要素法では、構成式はほぼ2次元弾塑性有限要素法と同じ式を適用した。3次元有限要素は、1点積分の8節点アイソパラメトリック6面体要素を用いた。地盤材料の材料定数は、2次元解析と同じ値を使用し、側壁面との境界部の砂地盤の材料定数は、壁面摩擦角  $=6^\circ$ 、その他は2次元解析と同様の定数を用いた。ここで側壁面と砂地盤との間の摩擦角は滑らかな剛面と砂地盤との側壁面摩擦角として既往の研究より、 $6^\circ$  という値を適用した。

#### 4.3 次元有限要素解析の結果の考察

3次元解析の有限要素メッシュを図3に示す。図中の括弧内の値は小スケールの寸法を示している。この有限要素メッシュは、要素数1548、節点数2086である。大小各スケールの3次元解析の結果と大小各スケールの実験結果を図4に示す。縦軸は掘削率、横軸は壁体の傾斜角の正接を示している。3次元解析結果は、小スケールの解析結果が大スケールの解析結果よりも破壊しにくいという結果を得た。これは、側壁面摩擦の影響が小スケールには相対的に大きく作用することを示しているといえる。また、実験値と比較すると、大スケールの3次元解析結果は実験値をよく表現できているといえる。また、小スケールの3次元解析結果も破壊進行後はある程度実験結果を表現できているといえる。これらの結果から、本実験では側壁面摩擦が影響を与えていたことが確認された。しかし、3次元解析の結果小スケールの実験については、特に初期変形について十分表現できていないため、さらに検討を重ねる必要がある。

#### 5. まとめ

本研究では、抗土圧構造物の掘削による転倒破壊を対象として、弾塑性有限要素法の有効性の検証を目的とし、その1つの手段であるスケール効果を検討した。スケール効果について、実験では小スケールの結果が大スケールの結果よりも破壊しにくいという結果を得たものの、2次元解析では小スケールの結果が大スケールの結果に比べ初期変形では破壊しにくいという結果を得たが破壊の進行後はほぼ同じ傾向を示し、2次元解析では実験結果を十分説明することができなかった。実験時の観察より、実験では側壁面摩擦の影響が大きいと考えられたため側壁面摩擦を考慮した3次元解析を試みた。3次元解析の結果、小スケールが大スケールと比較して破壊しにくい結果が得られた。このため、本研究で対象とした実験では、側壁面摩擦が壁体の頂端部変位に影響を与えていた可能性があることが確認された。以上の結果から、本弾塑性有限要素解析手法は、抗土圧構造物の掘削による転倒破壊のスケール効果という対象においてある程度有望な解析手法であるといえる。また、小スケールの3次元解析結果については、実験結果を十分説明できておらず、この問題に関してさらに検討を重ねる必要がある。

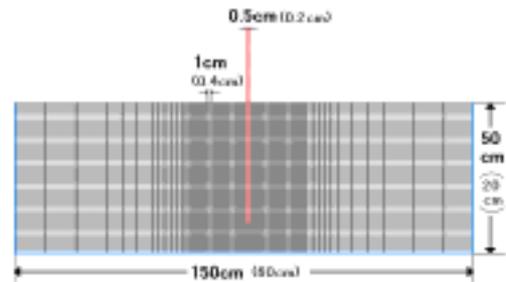


図1 2次元有限要素メッシュ  
Fig.1. 2D Finite element mesh

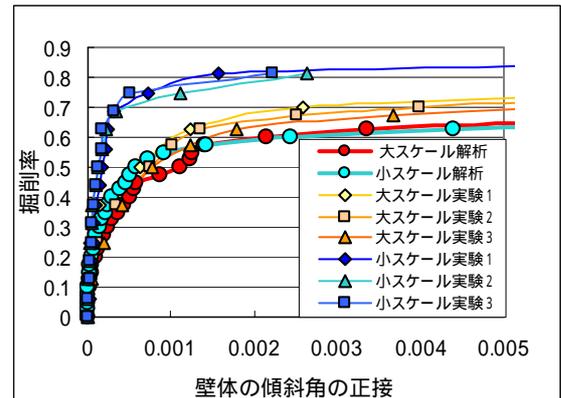


図2 実験結果と2次元解析の壁体頂端部変位の比較  
Fig.2 Comparison of displacement at top of the wall

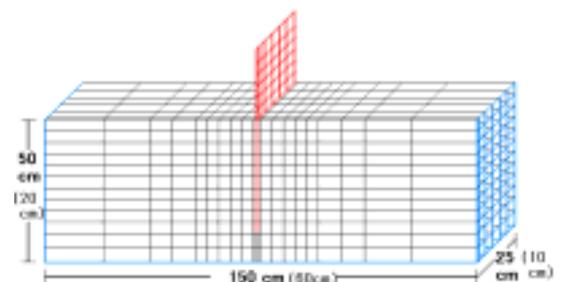


図3 3次元有限要素メッシュ  
Fig.3 3D Finite element mesh

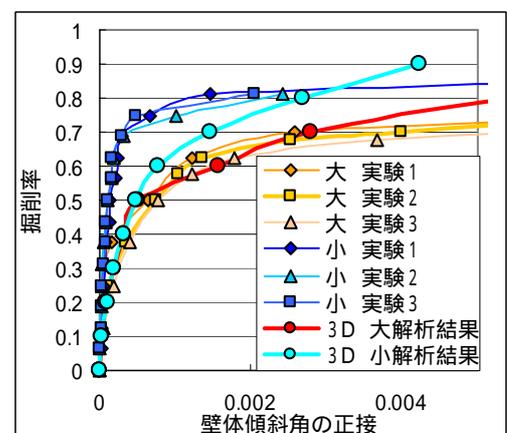


図4 3次元解析と実験の壁体頂端部変位の比較  
Fig.2 Comparison of displacement at top of the wall