

矢板の引き抜きによる周辺地盤への影響（その3）

矢板 引き抜き 有限要素法

(株)IMAGEi Consultant 国際会員 ○磯部有作
 千葉工業大学 国際会員 鈴木誠
 千葉工業大学 非会員 中村考佑
 千葉工業大学 非会員 鷺尾和紀
 (株)地域地盤環境研究所 名誉会員 中井照夫

1. はじめに

仮設工の土留めなどに用いられる鋼矢板は、施工後に引き抜かれる。その際、鋼矢板と共に土砂も引き上げられ空隙が生じる。この空隙に周辺地盤が流れ込むことにより、地盤沈下や近接構造物への影響を及ぼすことが予想される。このような地盤挙動予測に対して、既往の研究¹⁾では、モデル実験と数値解析により、微小変形の範囲内で地盤への影響を評価している。本研究では、アルミ板を地表面まで引き抜いた際の周辺地盤と地表面への影響を評価することを目的とし、弾塑性有限要素法解析²⁾によりシミュレートする。

2. 実験概要

実験では図1に示したアルミ棒積層体を用いて鋼矢板を引き抜いた際の地盤挙動を検討する。幅 800mm、高さ 200mm にアルミ棒の積層体を作り、中心に長さ 100mm、厚さ 5.0mm、奥行き 50mm のアルミ板を埋設し変位制御装置により引き抜く。変位制御の引き抜き速度は、7 秒間に 0.1mm である。その際、アルミ板に生じる鉛直荷重を板上部に取り付けたロードセルで計測し、引抜き量は変位計により計測し、PIV による解析で、変位ベクトル図・コンター図を用いて地盤挙動を評価する。

3. 解析概要

数値解析には有限要素法による解析コード FEM_{tij}-2D を使い、土の構成式は等方硬化型弾塑性モデル subloading t_{ij} model²⁾を用いた。解析モデルはアルミ板を中心として左右対称な地盤挙動と仮定し、図2に示すようなモデル実験の片側半断面の規模でメッシュ図を作成して行う。側面摩擦を考慮してアルミ板要素と地盤要素の間にジョイント要素³⁾を入れ、板要素の上端の2点に鉛直強制変位を与えることで、地盤からアルミ板が滑る直前の地盤状態を再現することができる。しかし、鉛直強制変位によって地表面まで引き抜くには変形が大きくなり、微小変形理論では解くことができない。そのため、滑り後は板の下端の要素から順に矢板部分の要素を削除していくことで、逐次的に地盤から引き抜かれていく現象を再現する。その際、削除された要素の左下端節点に水平右方向の強制変位(板厚 5mm の半分の 2.5mm)を与える。これを順次地表面まで繰り返すことにより空隙に流れ込む周辺地盤を表現する。また、矢板の側面摩擦は、摩擦角 $\delta=15^\circ$ 、 $\delta=27.5^\circ$ 、 $\delta=40^\circ$ の3パターンで検討する。

4. 実験結果

図3(左)は初期状態からアルミ板を 1mm だけ引き抜いた時点での変位ベクトル図である。アルミ板先端から地表面に向かって放射状に変位が広がり、アルミ板に近いほど変位が大きくなっている。図3(右)はアルミ板を全て引き抜いた後の地表面変化を拡大したものである。赤点線の初期地表面ラインと比較して、アルミ板が埋設されていた部分は大きく沈下している。一方でアルミ板側方の地盤が少し盛り上がり、その外側がまた少し沈下していることが分かる。盛り上がりはアルミ板と共に引き上げられた土砂によるものと考えられる。

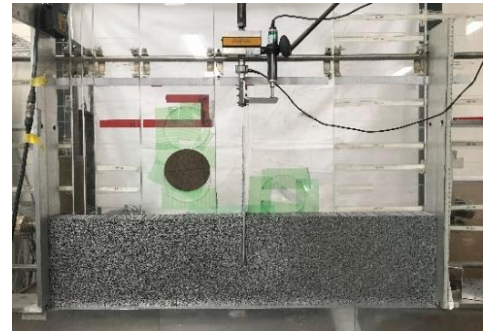


図1 アルミ棒積層体(L=100mm)

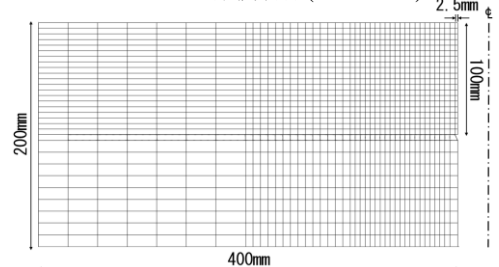


図2 解析メッシュ図

表1 アルミ棒積層体地盤のパラメータ

λ	0.104	compression index	
κ	0.004	swelling index	
e_{nc}	1.91	reference void ratio on normally consolidation line at $p=98\text{kPa}$ & $q=0\text{kPa}$	Same parameters as Cam clay model
R_{cs}	3.5	critical state stress ratio $R_{cs} = (\sigma_1/\sigma_3)_{cs} (comp.)$	
ν_e	0.3	Poisson's ratio	
β	1.91	shape of yield surface (same as original Cam clay at $\beta=1$)	
α	290	influence of confining pressure	

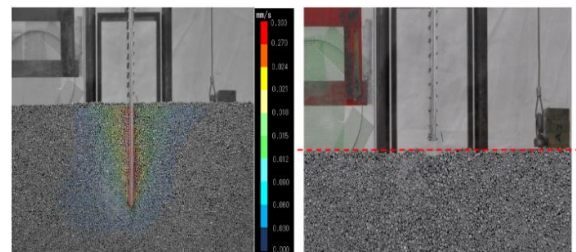


図3 アルミ板 1mm 引き抜き時の変位ベクトル(左)と地表面変化(右)

5. 解析結果

図4は摩擦角 $\delta=40^\circ$ でアルミ板の引き抜きを行った際の変形図を段階的に示したものである。鉛直上向きに2mmの強制変位をかけた変形図(左上)では、アルミ板と接している地盤が上方向に少し引っ張られる形で変形が生じている。これは、地盤とアルミ板の間に摩擦が生じている事を表しており、ジョイント要素の優位性が分かる。地盤内の変形は、アルミ板の下端周辺から地表面に向けて放射状に広がっている。また、引き抜き量に応じて変形量が増加していることが見て取れる。地表面沈下は60mm引き抜き時から少しずつ始まり、100mm引き抜き時には顕著な沈下が見て取れる。沈み方の特徴としては、アルミ板から弧を描くように50mm程離れた地表面が最も深く沈下している。モデル実験のPIVデータと比較しても、地盤内に放射状に変形が現れ、地表面沈下が数ミリ程度発生していることから解析の妥当性が評価できる結果が得られた。

6. 実験と解析の比較

図5は実験と解析でそれぞれ得られた偏差ひずみをコンター図で表したものである。実験ではアルミ板上部に集中してひずみが現れているが、特に摩擦角 $\delta=40^\circ$ の解析(右)でアルミ板周辺に大きなひずみが生じており、広がりも広範囲にわたる。一方で、摩擦角 $\delta=15^\circ$ の解析(中)は実験値と近似した変化が見られる。

図6は実験と解析で得られた鉛直荷重の値をグラフにし、比較したものである。実験(黒線)と比較して最も近似している摩擦角 $\delta=40^\circ$ (赤線)は立ち上がり角度がほぼ同一で、引き抜き量0.2mm、鉛直荷重3Nを越えた辺りから滑り出している。その後に緩やかな上り勾配をとり、1.5mm前後、約4.5Nでピークの値がとられた。他2つは早い段階で頭打ちとなり、滑り出しも早い。このグラフから立ち上がり角度・ピーク値・は、摩擦角の大きさに比例することが分かった。また、滑り出しのポイントも摩擦角により多くなる。

7. まとめ

本研究により、微小変形理論では解くことができなかったアルミ板の引き抜きのシミュレーションを、要素削除と水平強制変位の手順を繰り返すことを提案した。これにより、周辺地盤の応力状態や地表面沈下を見ることが可能となった。ただし、現時点では様々な制約のもとで解析を行っているので、下記のような課題が残った。

本解析において、アルミ板に生じる鉛直方向荷重と地盤内の偏差ひずみの両方を同一の摩擦角を用いて再現することは難しかった。摩擦角パラメータの変更による改善を試みたが、解決には至らなかった。そのため、準備段階での摩擦角を見直すことも必要である。一方、考えられる原因として、解析で用いるモデル地盤内の初期圧力が実験に比べ低かったことが挙げられる。地盤内の圧力を増すことで、地盤とアルミ板の間に生じる摩擦力を高めることが可能であれば、低い摩擦角を用いたとしても理想的な鉛直荷重値を得られる可能性もあるので検討していく所存である。

参考文献

- 1) 磯部ら: 矢板の引き抜きによる周辺地盤への影響(その2), 第54回地盤工学研究発表会, pp.807-808, 2019.
- 2) Nakai, T. & Hinokio, M.: A simple elastoplastic model for normally and over consolidated soils with unified material parameters, Soil and Foundation, 44(2), pp.53-70, 2004.
- 3) Nakai, T.: Finite element computations for active and passive earth pressure problems, Soil and Foundation, 25(3), pp.98-112, 1985.

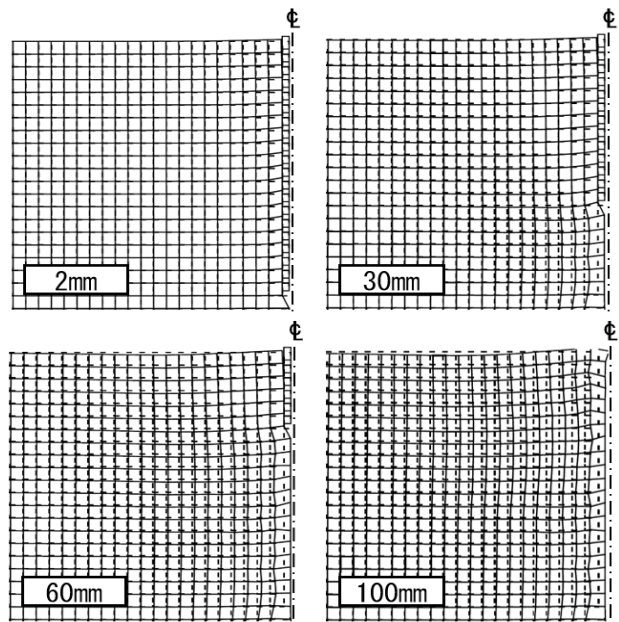


図4 100mm引き抜きまでの変形図($\delta=40.0^\circ$)

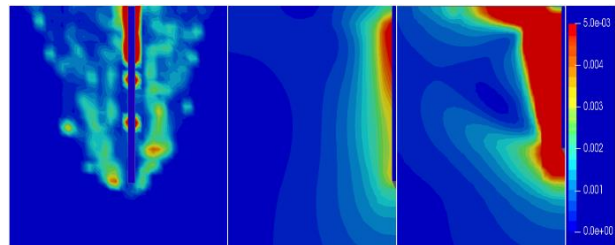


図5 1mm引き抜き時の偏差ひずみ
(左-実験、中右-解析)

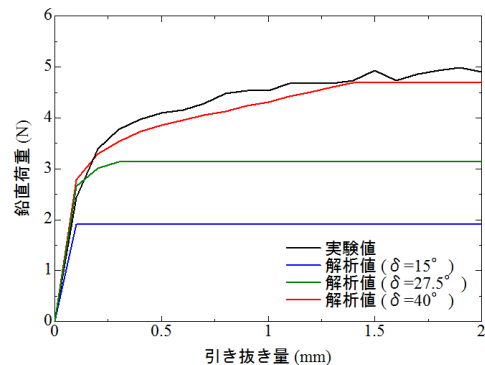


図6 鉛直荷重-引抜き量の関係