

矢板の引き抜きによる周辺地盤への影響 (その2)

矢板 引き抜き 有限要素法

(株)地層科学研究所 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 佐久間遵
(株)地域地盤環境研究所 国際会員 中井照夫

1. はじめに

近年、掘削工事に伴う近接への環境問題に関する意識が高まり、厳しい制約のもとでの工事が多い。都市部での掘削現場においては打設しと引抜きが容易であることから、仮設工として鋼矢板は広く用いられている。また、港湾や河川などの護岸工事においても土留めの役割で用いられる。しかし、仮設工として用いられた鋼矢板は残置せず引抜く必要があるが、その引抜き時に地盤との間で摩擦によって周辺地盤に影響が生じ、引抜いた後は、設置されたいた矢板跡の空隙にわずかであるが地盤の流動が起き周辺の地表面においても変位が生じることが懸念されている。更に、鋼矢板の深さが深いほど地盤への影響は増大することが考えられる。本研究では、このような地盤挙動予測に対して、既往の研究では、アルミ棒積層体を用いたモデル実験と数値解析によって、鋼矢板の深さによる地盤への影響の変化を評価している¹⁾。その際、モデル実験で用いるアルミ板の長さが300、250、200、150mmに対し、0.5mmだけ引き抜いている。本研究は、鋼矢板を地表面まで引き抜いた際の周辺地盤への影響と地表面沈下を評価することを目的とし、弾塑性有限要素法解析²⁾により検討した。

2. 解析のモデル化

藤森粘土地盤を対象とし、2次元弾塑性有限要素法を用いた解析から、鋼矢板を引き抜いた際の地盤挙動を把握する。図1に、赤い部分である鋼矢板の長さLを15mとした場合の解析メッシュを示す。

本研究で用いる鋼矢板はII型を仮定したが、特別な条件や意味を持っていないということではない。通常、数値解析においては鋼矢板を梁要素でモデル化することが一般的であるが、本検討は鋼矢板そのものの断面力を計算することを目的とはしとせず、矢板を引抜いた後の流れ込み沈下を表現することを目的としたため、平面要素でモデル化した。ただし、鋼矢板の剛性EAと等しくなるようにモデルのヤング率を設定する。梁要素でモデル化した場合のヤング率と1mあたりの断面積をそれぞれE、A、平面要素でモデル化した場合の鋼矢板モデルのヤング率と奥行1mあたりの断面積をそれぞれE'、A'とするとEA=E'A'となるようE'を求める。鋼矢板のヤング率は $E=2.0 \times 10^8$ (kN/m²)、1mあたりの断面積は $A=0.0153$ (m²/m)であるのに対し、モデルの奥行1mあたりの等価な断面積は $A'=0.2$ (m²/m)である。E'は次式より算定した。

$$EA=2.00 \times 10^8 \times 0.0153=3.18 \times 10^6 \text{ (kN/m/m)}$$

$$E'A'=0.2 \times E'=3.18 \times 10^6$$

$$E'=1.59 \times 10^7 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

3. 数値解析の概要と解析条件

数値解析には有限要素法による解析コード FEM_{tij}-2D を用い、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。解析は、側面摩擦を考慮して鋼矢板の上端の2点に鉛直強制変位を与え、地盤から鋼矢板が滑る直前の応力と変位を求めることができるが、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、微小変形理論の解析コードでは解くことができない。そのため、図3に示すように、鋼矢板モデルの下端の要素から徐々に鋼矢板分を収縮方向の体積ひずみを与えることで、地盤からの引抜きを試みた。モデルの断面積A'に対する鋼矢板の断面積Aの割合は7.65%であるため、

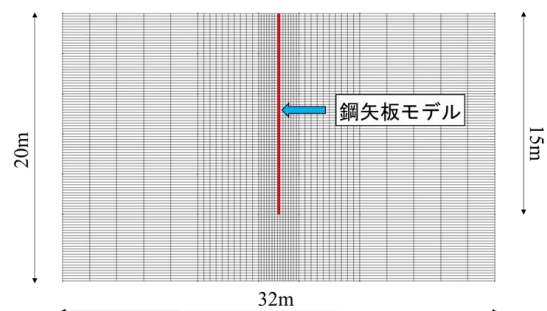


図1 解析メッシュ図

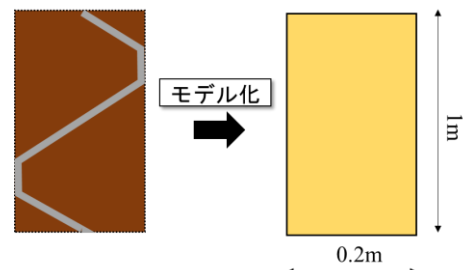


図2 平面要素でモデル化した場合の鋼矢板のモデル化のイメージ図

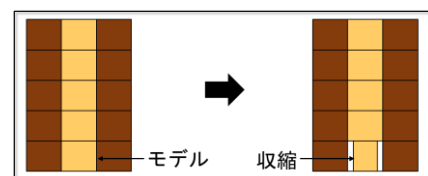


図3 収縮のイメージ図

モデルの断面積から鋼矢板の断面積分である 7.65%を収縮させるように体積ひずみを与える。収縮させる要素は水とカップリングした線形弾性体で、x 軸方向のヤング率を y 軸方向のヤング率の 10 分の 1 倍とすることで、鉛直軸対象に収縮するように設定した。収縮させた要素は、応力を継承した元の地盤に戻すことが望ましいが、要素を収縮させるときに引張応力が生じており、地盤に戻した際に引張破壊を起こしてしまうため、要素収縮後は線形弾性体に戻すことで問題を解消している。これを順次、地表面まで繰り返す。このときの周辺地盤への影響と地表面沈下の影響範囲を評価する。鋼矢板モデルを収縮させる際、その周りにある要素に干渉しないように 1 要素ごとにジョイント要素³⁾を入れ、周りの要素と分離し、引張応力が生じないようにした。このとき、滑りやすいように摩擦角は 10° とした。

subloading t_{ij} model で必要な材料パラメータは、圧縮指数 λ 、膨潤指数 κ および弾性成分のポアソン比 ν_e 、等方応力 98kPa 下における正規圧密線上の間隙比を表わす N 、破壊応力比 R_{cs} 、降伏面の形状を規定するパラメータ β 、過圧密の解消速度を表す a である。入力値は表 1 に示す。

4. 実験と解析の比較

図 4 は鋼矢板を引き抜いた際の偏差ひずみを示す。鋼矢板近傍で偏差ひずみが大きく表れており、周辺地盤では、鋼矢板下端部や地表面に近づくにつれて影響範囲が広がっている。図 5 は変形量を 10 倍にし、鋼矢板付近を拡大した変形図を示す。鋼矢板の引抜き後、周辺地盤が空隙に流れ込み地表面では沈下している。図 6 は地表面沈下の分布を示す。中心から遠ざかるにつれて緩やかになっているが、16m 離れた付近まで鋼矢板の引抜きによる影響が及んでいる。図 7 は鋼矢板を引き抜いた量を時系列的（水平軸）に出力した周辺地盤の沈下量を示す。引抜き箇所から 1.5m の地点を赤線、7.5m の地点を青線、16m の地点を緑線で示した。引抜き量に対して沈下量の推移は、全ての地点で共通して、引抜きが進むにつれて沈下量の変化が緩やかになっている傾向を示した。また、引抜き箇所から遠ざかるにつれて沈下量の変化は緩やかになる傾向を示した。

5. 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鋼矢板の引抜きのシミュレートが、要素を収縮させることにより可能であることを示し、周辺地盤の応力状態や地表面沈下を予測することが可能である。ただし、現時点では様々な仮定のもとで解析を行っているため課題も残った。本報告では、現実ではないが、土水連成での解析は不安定な状態も起こるため、まずは乾燥状態の藤森粘土地盤を仮定している。今後は砂地盤を対象とした検討や飽和地盤における土水連成解析の検討を行い、解析手法を確立していく日長がある。本報告では、要素を収縮させた後のその要素は線形弾性体モデルに置き換えているが、元の地盤要素に戻すことができればより現実に近い挙動を示すことができるため、弾塑性モデルに戻す検討も必要である。また、本来は鋼矢板モデルに垂直方向の強制変位を与え、地盤から滑り出す直前の周辺地盤の応力と変位を継承してからの段階を踏まえて鋼矢板の引抜きをシミュレートすることが望ましい。今回は鋼矢板の深さが 15m の場合のみの影響を評価した。鋼矢板の深さによる影響変化については既往の研究⁴⁾で検討しているため、他のパターンでの解析を行うことで妥当性を評価していくことが課題である。

参考文献

- 磯部ら：矢板の引き抜きによる周辺地盤への影響，第 53 回地盤工学研究発表会，(2018)，923-924.
- 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
- Nakai, T. : Finite element computations for active and passive earth pressure problems, Soil and Foundation, 25(3), pp.98-112, 1985

表 1 アルミ棒積層体地盤のパラメータ

λ	0.104	compression index	Same parameters as Cam clay model
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	

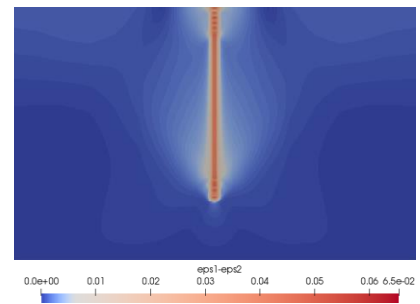


図 4 偏差ひずみ分布図

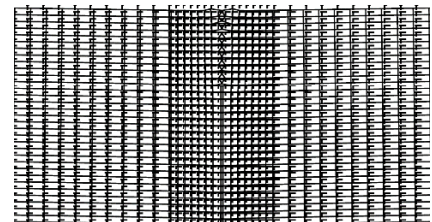


図 5 変形図

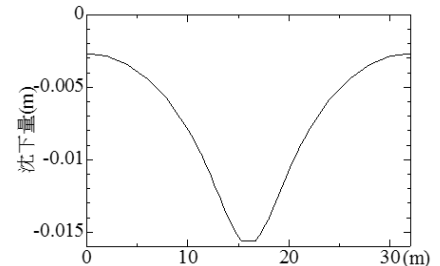


図 6 地表面の沈下量

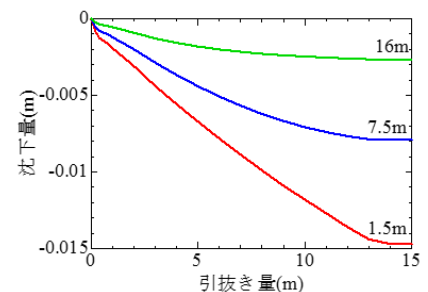


図 7 引抜き量に対する沈下量