

鋼矢板と nailing による盛土基礎地盤補強工法の実地盤解析による検討

名古屋工業大学 学生会員 ○吉田泰規 菅野裕介
名古屋工業大学 正会員 中井照夫 H.M.Shahin
財鋼管杭・鋼矢板技術協会 齋藤勲 西山輝樹 戸田和秀

1.はじめに

地震発生時、軟弱地盤上の盛土や構造物はそれ自体の破壊の他に基礎地盤側方変位を生じさせ、周辺構造物に影響を与えることがある。特に既設盛土、構造物には耐震補強も含め沈下および側方変位に対する対策が必要とされ、堤防や高速道路などの既設盛土を対象とした合理的な対策工法の開発が望まれている。これまでに補強と側方変位抑止効果が期待できる鋼矢板と補強土工法の1つである Nailing に着目し、2次元モデル試験と数値解析からその補強効果・補強メカニズムについて検討を行ってきた¹⁾。本稿では実地盤のスケールで鋼矢板と Nailing の複合工法について数値解析結果からその効果・メカニズムについて検討する。

2. 実地盤における盛土建設を想定した土・水連成解析概要

想定地盤を図1に示す。盛土は天端幅5m、底面幅25m、高さ5mの等脚台形とし、法面の勾配は1:2とした。なお、基礎幅Bは盛土を等価な矩形断面と考え、 $B=15\text{m}$ とする。解析メッシュを図2に示す。左右対称な地盤を想定しているので解析は半断面で行い、基礎地盤の寸法は幅62.5m、深さ60mとした。地盤材料は軟弱な粘土地盤を想定し藤の森粘土(単位体積重量 $\gamma_{sat}=1.89\text{tn/m}^3$)、盛土材料は豊浦砂(単位体積重量 $\gamma_t=1.58\text{tn/m}^3$)とする。なお、鋼矢板の重量は考慮していない。境界条件は、地盤底面を水平および鉛直方向ともに固定、側面を鉛直方向のみ自由とする。また、粘土地盤底面および側面は非排水、上面(地表面)のみを排水条件とする。なお、鋼矢板を挟む地盤間の水の行き来は可能としている。盛土の建設は、下層⇒中層⇒上層の順に各層の盛土の単位体積重量を0から段階的に上げていくことにより表現した。盛土基礎地盤の初期状態は過圧密比 $\text{OCR}=1.0$ 、 2.0 の2ケースを仮定し、無補強地盤(no sheet pile)、長さ $L=15\text{m}$ (1B)、 30m (2B)、柔剛2種類の鋼矢板を法尻に圧入したケース、鋼矢板と Nailing の組み合わせたケース、鋼矢板と tie rod を組み合わせたケースについて数値解析を行った。盛土建設後は、基礎地盤に発生した過剰間隙水圧が消散するまで計算を行った。なお、本稿では表1に記された5ケースの試験の解析結果を示す。この5ケースはすべて正規圧密地盤($\text{OCR}=1$)、剛性の小さい鋼矢板で行った。解析は平面ひずみ条件、土・水連成条件下で微小変形理論に基づく有限要素解析(FEMtij-2D)を実施した。地盤材料の構成モデルには *subloading t_{ij} model*²⁾を用いた。鋼矢板と Nailing は beam 要素、鋼矢板と地盤間、Nailing と地盤間の摩擦は弾塑性 joint 要素³⁾で、両矢板の上部を繋ぐ tie rod は引張のみに抵抗する truss 要素でモデル化した。材料パラメータは、豊浦砂は $\lambda=0.0700$ 、 $\kappa=0.0045$ 、 $N=1.1$ 、 $R_{cs}=3.2$ 、 $\nu_e=0.2$ 、 $\beta=2.0$ 、 $a_{AF}=30$ 、 $a_{IC}=500$ 、藤の森粘土は $\lambda=0.1040$ 、 $\kappa=0.01$ 、 $N=0.83$ 、 $R_{cs}=3.5$ 、 $\nu_e=0.2$ 、 $\beta=1.5$ 、 $a_{AF}=a_{IC}=500$ である。

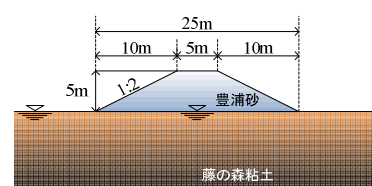


図1 想定地盤

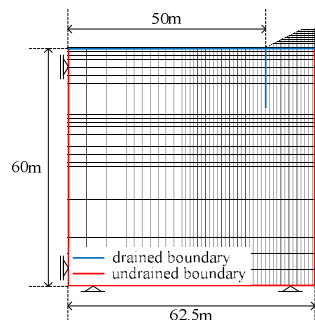


図2 解析メッシュ

表1 検討パターン

no sheet pile	sheet pile	
	L=15m	L=30m
with tie rod		with Nailing
L=15m		L=15m

3.結果と考察

圧密完了後における変位ベクトル分布を図3に示す。同図より、過圧密比 $\text{OCR}=1.0$ の無補強地盤(no sheet pile)では盛土形状が保てず、基礎地盤が側方に流動していることが分かる。鋼矢板で補強した場合は、盛土の形状をそれなりに保っていることが確認できる。これは鋼矢板を圧入したことで基礎地盤の側方流動が抑制された

ためだと考えられる。Nailing、tie rod を施した結果では、鋼矢板のみの結果を比べると、より効果があることが分かる。特に Nailing の結果は側方流動をほとんど発生させない。また、矢板をある長さ 15m(1B)以上長くしても大きな違いは生じなかった。図 4 に盛土基礎地盤の鉛直変位時刻歴を示す。同図は盛土基礎下部における深度 4m 地点の鉛直変位である。同図から、粘土地盤の圧密沈下は地表面のみ排水となっているため 50 年程度要することになっている。基礎地盤に補強工法を加えることにより沈下を抑制するが、圧密終了時間が特に短くなる訳ではない。Nailing を組み合わせた工法は効果があり、矢板が長い場合はむしろこの場所では沈下量が大きくなる。無補強地盤では盛土建設に伴う側方流動が生じるため盛土基礎地盤の圧密は進まず、地盤が緩い状態で盛土を建設していくことになり、結果的に最終沈下量が大きくなってしまふと考えられる。図 5 に盛土建設に伴う基礎地盤の地表面形状を示す。同図に示すものは圧密完了後の結果である。無補強地盤では法尻において 1.2m 隆起し、盛土中央付近で 2.8m ほどの沈下が生じている。補強を施した場合ではこのような隆起と沈下を大幅に低減する結果となった。その中でも Nailing で補強した場合は、鋼矢板のみと tie rod と比べても隆起はほとんど起こっておらず、沈下も 1.1m 程度となり、沈下抑制効果が一番大きいと言える。これは図 3 で見られたように、Nailing を施したものは側方流動がほとんど発生していないからだと考えられる。また、矢板が長くても補強効果にはほとんど影響はなかった。図 6 に盛土建設に伴う法尻近傍の側方変位深度分布を示す。白抜きのプロット線は盛土完成直後の側方変位であり、色塗りのプロット線は圧密完了時の側方変位を示している。本稿には掲載していないが無補強地盤では法尻近傍において 2m 程度側方変位する。それに比べ図 6 に示した 3 つのケースは側方変位を 1/10 程度に低減している。鋼矢板のみの場合では矢板上部が固定されていないため、地盤の側方流動と共に矢板が変形している。これとは異なり tie rod と Nailing によって矢板上部が固定されている 2 ケースは大きい効果を発揮した。特に Nailing の圧密後の矢板上部は盛土載荷直後よりむしろ盛土側に変位している。これは適切な構成モデルを用いたときには、過剰間隙水圧の消散時に側方変位はあまり出ないことを反映しているとともに、地盤の圧密の進行とともに Nailing も沈下し、それに伴い矢板上部が盛土側に引っ張られることによると考えられる。

4.まとめ

本稿では基礎や盛土の耐震化と側方流動抑止を目的とした鋼矢板と Nailing 工法の補強効果について数値解析による検討を行った。鋼矢板のみの補強の検討から、無補強に比べ側方変位流動、地表面沈下に一定の効果を発揮するが大きな効果は見込めないことが分かった。これに対し、Nailing 工法を組み合わせると、圧密とともに矢板上部の引張が効果的に働き、側方変位と地表面沈下抑えられることが分かった。

参考文献

1) 酒井ら 鋼矢板と Nailing を組み合わせた基礎地盤補強工法の実験および解析 第 46 回地盤工学研究発表会発表講演集(2011) 2) Nakai,T.&Hinokio,M.(2004)S&F,44(2),53-70 3)Nakai,T.(1985)S&F,25(3),98-112.

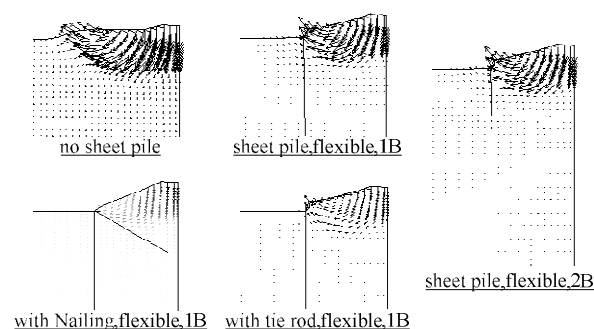


図 3 変位ベクトル分布 (OCR = 1.0)

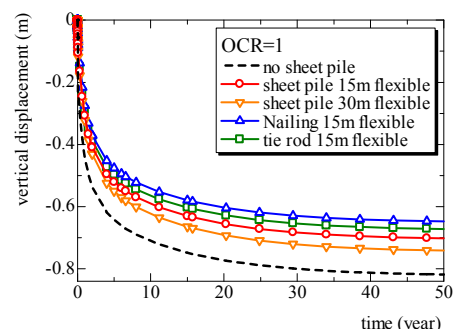


図 4 盛土基礎地盤の鉛直変位時刻歴

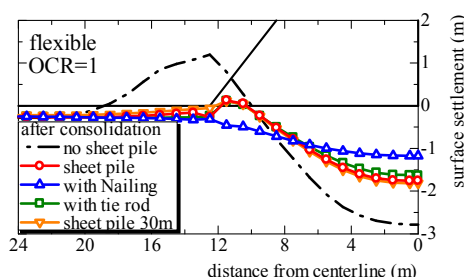


図 5 基礎地盤の地表面形状

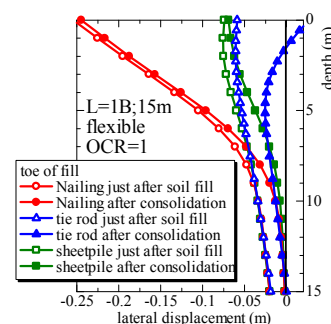


図 6 側方変位深度分布