

鋼矢板山留め壁の引き抜きに伴う周辺地盤への影響

INFLUENCES ON GROUND DISPLACEMENTS CAUSED BY PULLING OUT THE SHEET PILES WALLS

堀内孝英*、 清水正義**

Takahide HORIUCHI, Masayoshi SHIMIZU

In every stage of the earth retaining work, settlement of the ground behind earth retaining walls sometimes happens and produces undesirable effect such as harmful settlement and inclination to the neighboring structures, road and underground structures. In this study, Especially, note was taken of the fact that the ground underwent a larger settlement at surface level when the sheet piles were pull-out than during excavation. Proposed is methods of estimating the maximum surface settlement and the distance of surface settlement from wall caused by pulling out the sheet pile walls in soft ground. Especially, in this paper, the damage done became clear from the relationship between distance of the earth retaining walls and the allowable settlement and the allowable inclined angle of the ground have direct effects upon buildings.

「Keywords」: retaining wall, excavation, settlement, sheet pile, soft ground

1. まえがき

近年、掘削工事に伴う環境問題に関する社会的な意識が高まり、近接施工においては、厳しい制約のもとでの工事が多い。特に、開削工事の場合には、各施工過程で生ずる周辺地盤沈下が問題となる事例が多々ある。

上・下水道、ガス、共同溝等の多くのライフライン工事では、掘削深さが5.0m～10.0mと小規模な山留め掘削工事となるため、施工性、経済性等の観点から鋼矢板山留め工を多く採用している。これらの工事における周辺地盤沈下の影響を予測する方法としては、掘削底面からの主働崩壊角によるスベリ面を仮定し、地表面との交点までを影響範囲とし、近接構造物がその影響範囲外であれば、工事最終時に鋼矢板を引き抜き回収しているのが現状である。しかし、軟弱地盤での掘削工事例においては、鋼矢板引き抜き後の、山留め壁背面地盤の沈下範囲^{1)～4)}が予測以上にまで及び、山留め壁からかなり離れた土間コンクリートのクラックや木造家屋の壁に亀裂が入る等、さまざまな被害が発生している事例⁵⁾が増えている。

ここに、本研究は、軟弱地盤での山留め掘削工事において、掘削、埋め戻しおよび鋼矢板引き抜きの各施工段階における山留め壁背面地盤沈下量と、その影響範囲の経時的挙動を分析し、さらに、①主働崩壊角ならびに、②Peck⁶⁾の方法による沈下量および影響範囲の予測と対比し、その妥当性について検討を行った。その結果、鋼矢板引き抜きによる山留め壁背面地盤の沈下影響範囲は、軟弱地盤では、引き抜き鋼矢板先端

「キーワード」; 山留め壁、掘削、沈下、鋼矢板、軟弱

* 名城大学 理工学部建築学科 (Department of Architecture, Meijo University)

** (株) 葵エンジニアリング (Aoi Engineerig Consultants Co.,Ltd).

から主働崩壊角（または 45° ）によるスベリ面を仮定した予測法は、実状とかなり異なることが明らかとなった。また、沈下量および沈下の影響範囲は、Peckの方法に準拠し、地表面沈下量および山留め壁からの距離を、鋼矢板長さで除し、正規化することにより背面地盤の沈下特性を表現できることが明らかになった。さらに、掘削、埋め戻しおよび鋼矢板引き抜きに伴う背面地盤沈下が木造家屋に、有害な被害を及ぼす地盤傾斜角と許容影響範囲の関係について検討した。

2. 地盤状況と山留め架構

2.1 地盤概要

図-1は、本対象山留め工事現場の地質断面を示したものである。図中には土質柱状図、N値および計測断面を併記してある。地盤の成層構成は、最上部に盛土層(B)があり、この下部に沖積粘土層(Ac1)、沖積砂層(As1)、沖積シルト・粘土層(Ac2、Ac3)と続く。上部の盛土層および粘土層は、N値1~2程度の軟弱地盤であり、沖積砂層は層厚7~12mの均質で中粒なN値5~18程度のルーズな地盤である。下部のシルト・粘土層はN値1~3の軟弱層となっており、本施工現場の地盤は、軟弱地盤である。

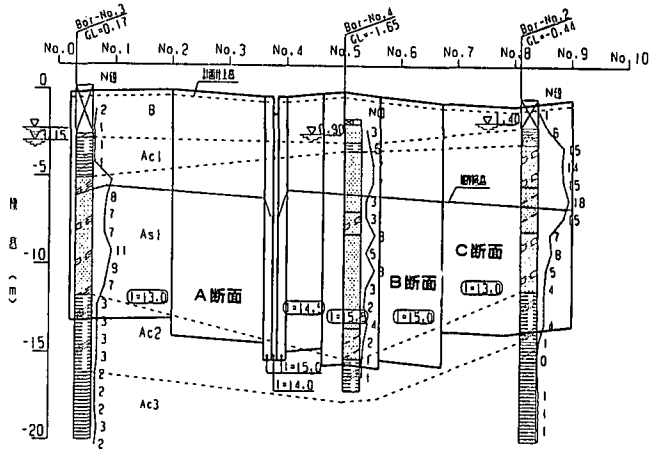


図-1 地質断面図

2.2 山留め架構と工事概要

図-2は、送水管路埋設工事（SP- ϕ 1600mm \times 2連、延長1500m、3工区施工）における代表的な山留め架構と掘削断面を一括示したものである。山留め壁は各断面とも鋼矢板-IV型（長さ13.0~15.0m）を採用し、打ち込み、引き抜きは油圧式杭圧入機を使用した。支保工は2段切梁とし、切梁の

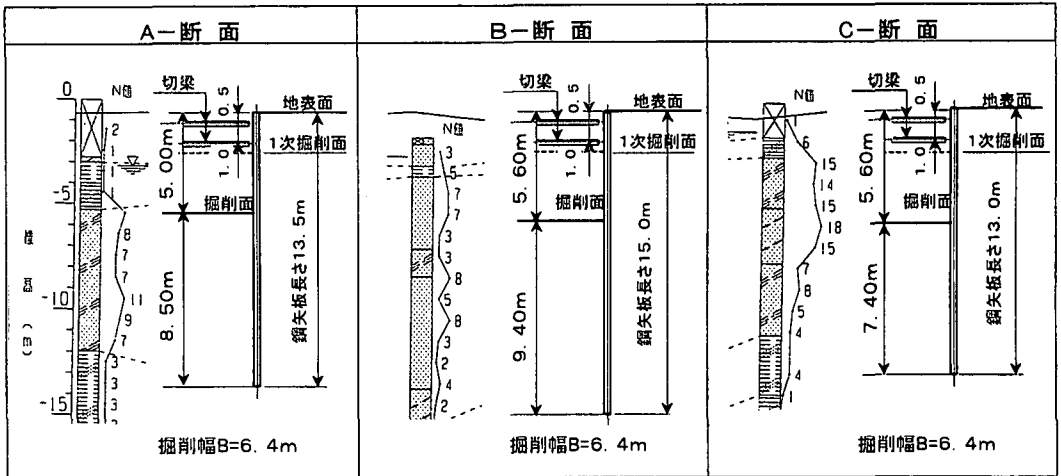


図-2 山留め工架構断面図

架設に際してはプレロードの導入はしていない。工事の手順は、山留め鋼矢板打ち込み後に、掘削、管体敷設、良質土による埋め戻しと切梁撤去の後に鋼矢板の引き抜きを行った。鋼矢板引き抜き時には、引き抜きにより発生する空隙への充填処理は行っていない。なお、今回の工事については、周辺地盤の地下水位低下による圧密沈下を防止するため、鋼矢板先端を不透水層と考えられる粘土層 (Ac2) まで貫入させ、山留め工内部の排水は釜場排水によりドライワーク施工を行った。

3. 地表面の沈下計測と整理方法

山留め工事の、各施工段階における山留め壁背面地盤の沈下量測定位置は、図-3に示すように、山留め壁に直角方向に設置した計測杭をレベルングにより測定した。なお、各断面の計測杭間隔および計測時期は、周辺環境および施工条件等から同一ではない。なお、各施工段階ごとの沈下計測結果の整理は、次のとおりとする。

- ① 掘削時沈下：掘削開始から埋設管体設置完了まで。
- ② 埋め戻し時沈下：埋め戻し開始から埋め戻し完了まで。また、①+②を含め施工時沈下と呼ぶ。
- ③ 鋼矢板壁引き抜き後沈下：鋼矢板引き抜き直前から鋼矢板引き抜き後の沈下計測終了まで。

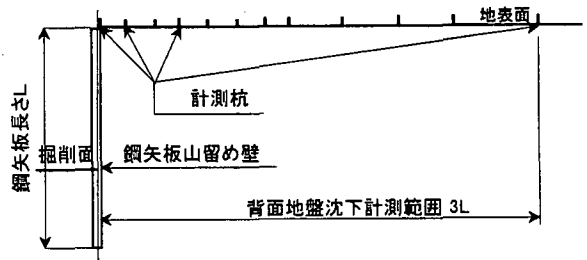


図-3 背面地盤沈下計測図

4. 鋼矢板壁背面地盤の経時的沈下計測結果と検討

4.1 背面地盤沈下の経時変化

図-4(a)は、C断面の山留め壁からの距離と背面地盤の沈下量との関係を、各施工段階における経過日数をパラメータとして描いたものである。また、図-4(b)は、同断面の、各施工段階の経過日数と、地盤沈下量の関係を山留め壁からの距離をパラメータとして描いたものである。

図-4(a)、(b)から、沈下量と山留め壁からの距離との関係を施工段階別に注目してみると沈下量は、山留め壁から5.0mまでと10.0mおよびそれ以上大きく異なることがわかる。埋め戻し段階で、山留め壁内側に埋め戻し土圧が作用する段階においても、背面地盤の沈下は、緩やかではあるが継続して増加している。特に、埋め戻し以降の山留め壁から10mまでの範囲内の沈下量は大きく、掘削時の沈下量に対して埋め戻し時は約3倍、鋼矢板引き抜き後は4倍以上となっている。

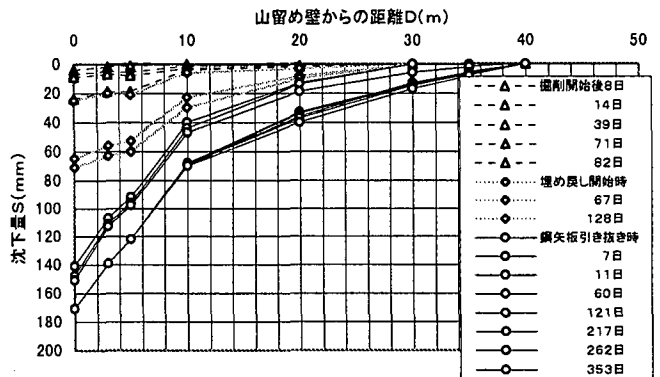


図-4(a) 背面地盤の沈下曲線(C断面)

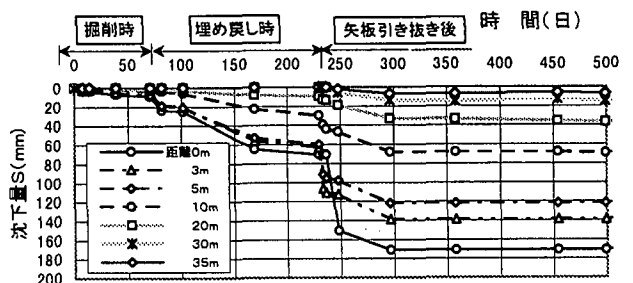


図-4(b) 背面地盤の距離別経時的沈下(C断面)

図-5は、A、B、C断面の最大沈下量（距離0m地点）における経時的沈下状況を示したものである。同図中の上部には、各施工段階を併記してある。なお、B断面の（右）、（左）とは、掘削断面に対して右側、左側の計測値である。B断面の鋼矢板引き抜き後の背面地盤沈下計測期間は30日と短いが、右側と左側の沈下量に大きな差は認められない。表-1は、各断面における施工段階別の背面地盤の最大沈下量を整理したものである。

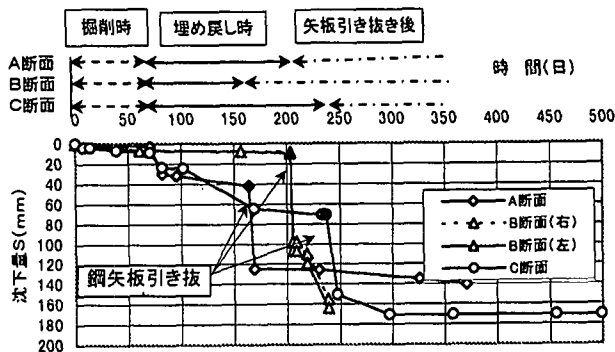


図-5 背面地盤の経時的沈下

図-5および表-1より、各断面とも、鋼矢板引き抜きに伴う背面地盤沈下量は、掘削、埋め戻し段階に比べ最も大きく、全沈下量の60~90%を占めている。特に、B断面においては、鋼矢板引き抜き後から沈下が安定する状況まで計測されていないが、鋼矢板の長さが長いことと、本施工区間の土質が他の断面と比べ軟弱シルト地盤のため、矢板引き抜き時に矢板に土砂が付着し、空隙部が生じたため空隙部への土砂移動による、即時的沈下量を増加させていると考えられる。

表-1 施工段階別背面地盤の最大沈下量(単位:mm)

断面	掘削時	埋め戻し時	鋼矢板引き抜き時	全沈下量
A断面	32(21)	10(6)	113(73)	155(100)
B断面「右」	7(4)	2(1)	155(91)	171(100)
C断面	25(15)	46(27)	100(58)	171(100)

注:()は、全沈下量に対する要因別沈下割合を示す。

4.2 背面地盤沈下と影響範囲の検討

(1) 主動崩壊角について

一般に、山留め工の背面地盤沈下の影響範囲の予測は、掘削底面または鋼矢板先端から主動崩壊角（または 45° ）を仮定して求めることが多い。

図-6は、A、B、C各断面における背面地盤の沈下分布状況を、施工時と鋼矢板引き抜き後の山留め壁からの距離との関係で示したものである。同図には、掘削底面および鋼矢板先端と最大影響範囲（沈下量ゼロ点）を結んだ傾斜角 α および β （以下、これらに影響角 α 、 β という）を併記してある。

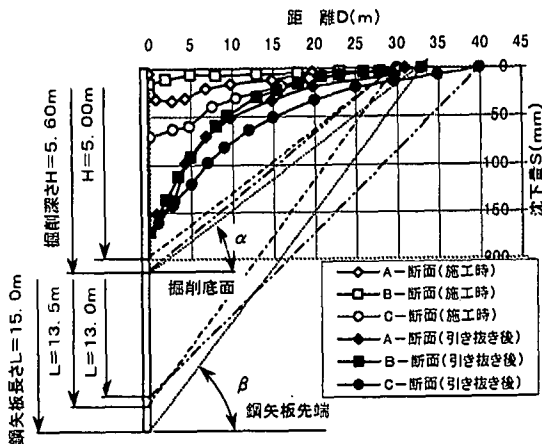


図-6 背面地盤沈下図

表-2は、各断面における α 、 β を求め一覧表に示したものである。同表中の内部摩擦角 ϕ および主動崩壊角 θ は、それぞれ、図-2に示した土質柱状図より、鋼矢板打ち込み区間の平均N値により推定した値を示した。

表-2 沈下の影響範囲Dと影響角 α 、 β

断面	鋼矢板長さL(m)	地盤の内摩擦角 $\phi(^{\circ})$	地盤の主動崩壊角 $\theta(^{\circ})$	影響範囲		影響角度			
				施工時D1(m)	抜き後D2(m)	施工時 $\alpha(^{\circ})$	施工時 $\beta(^{\circ})$	抜き後 $\alpha(^{\circ})$	抜き後 $\beta(^{\circ})$
A-断面	13.5	25.0	57.5	31.0	31.0	9.5	23.5	9.2	23.5
B-断面	15.0	25.0	57.5	33.0	26.0	9.6	21.5	12.2	30.0
C-断面	13.0	30.0	60.0	30.0	40.0	10.6	23.4	8.0	18.0

図-7は、鋼矢板引き抜き長ささと背

面地盤沈下の最大影響範囲との関係を示したものである。また、同図中には、表-2で求めた主働崩壊角 θ （および 45° ）、内部摩擦角 ϕ の範囲を併記して示した。

図-7、表-2より、施工時と鋼矢板引き抜き後の最終計測時点における各断面の最大沈下影響範囲に着目すると、鋼矢板先端からの影響角 β は、主働崩壊角 θ より大幅に小さく、いずれの場合も地盤の内部摩擦角 ϕ に近い値である。したがって、影響範囲を一般に適用されている主働崩壊角 θ および 45° で求めることは、小さく予測することとなる。

(2) Peckの方法について

Peckは、開削工法における掘削深さと背面地盤沈下量およびその影響範囲について、多くの実績値をもとに地盤の種類別に分類し、地盤の種類と安定係数を指標として、地表面沈下量（S）、山留め壁からの距離（D）を、最大掘削深さ（H）で除して正規化した沈下図を提案している。この方法に準拠し、背面地盤沈下量の計測値を、施工時と鋼矢板引き抜き後の最終沈下時について、掘削深さ（D）および鋼矢板引き抜き長さ（L）で除し、正規化して整理したものが、図-8（a）（b）である。なお、それぞれの図中には、Peckが提案した地盤種別による領域の境界を併記してある。ここに、Iの領域とは、砂および軟らかい粘土、硬い粘土。IIの領域とは、非常に軟らかい、ないし軟らかい粘土および根入れ部の粘土層が厚く、 $N_b < N_{c,b}$ 。IIIの領域とは、根切り底面下のかなりの深さまで非常に軟らかい、ないし軟らかい粘土、 $N_b > N_{c,b}$ である。なお、 N_b は安定係数、 $N_{c,b}$ は限界安定係数である。

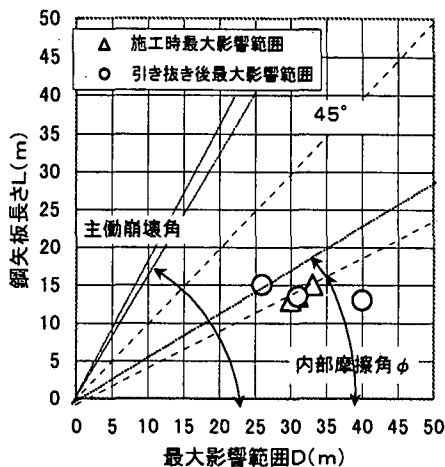


図-7 最大影響範囲の影響角

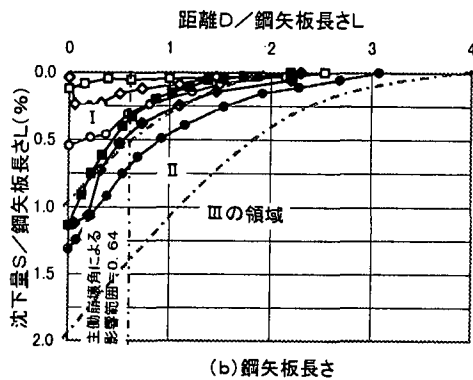
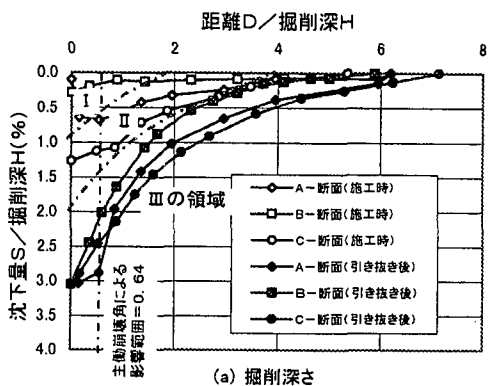


図-8 地表面沈下と掘削深さおよび鋼矢板長さとの関係

図-8（a）、（b）において沈下量と沈下の影響範囲について Peck の領域との関係で見ると次のことがいえる。施工時の沈下量および沈下の影響範囲は、掘削深さを基準とした図-8（a）においては、IIの領域に入り、鋼矢板長さを基準とした図-8（b）では、ほぼIの領域にはいる。図-2に示した、本工事現場の地質状況との対比から Peck の適用性について検討すると、A断面は掘削面までが粘性土地盤でIIの領域に、また、B、C断面は、砂質地盤でIの領域になり、Peck に準拠して沈下量と沈下範囲を予測するならば、鋼矢板引き抜き長さを基準とした方がよい。

5. 木造家屋に影響を及ぼす範囲について

近接施工の山留め壁背面地盤沈下における影響範囲は、近接する構造物に、有害な影響を与えない許容沈下量および許容傾斜角を、構造物の重要度および構造形式や基礎形式によって定める事が重要となる。木造家屋を対象とした場合の沈下障害は、主に、地盤の沈下に伴う相対沈下量（傾斜角）により発生する。そして、被害が発生し始めるといわれている地盤傾斜角は、概ね 0.001 (rad) といわれている。地盤傾斜角 0.001 (rad) を考慮した許容影響範囲の関係は、図-9 に示すとおりである。図-10 は、各断面における背面地盤沈下分布図より施工時と鋼矢板引き抜き後の、地盤傾斜角を 0.001 (rad) として求めた許容影響範囲を、鋼矢板長さとの関係で描いたものである。この図より、施工時における許容影響範囲は、2~18.5m と小さく、鋼矢板を引き抜いた場合の許容影響範囲は、18.5~40.0m と大きく拡大する。

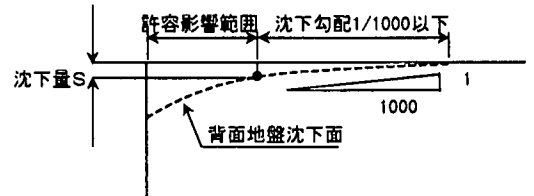


図-9 許容影響範囲説明図

6. まとめ

掘削開始から鋼矢板引き抜きに伴う背面地盤の沈下量と影響範囲とについて、現場計測結果を用いて検討した結果、次のような事項が明らかになった。

- 1) 山留め開削工事において、鋼矢板を引き抜いた場合の背面地盤沈下量は、施工時沈下量より大きくなる。
- 2) 山留め鋼矢板引き抜きに伴う背面地盤沈下特性は、Peckの方法に準拠し、山留め壁からの距離D、沈下量Sを鋼矢板長さLで除し、正規化（無次元化）することにより明確に表現できる。
- 3) 軟弱地盤での山留め開削工事においては、掘削時、埋め戻し時および鋼矢板引き抜き時における背面沈下の影響範囲は、主働崩壊角を想定した影響範囲よりおおきくなるが、木造家屋に影響を及ぼす許容地盤傾斜角 0.001 (rad) を考慮することにより適正な評価が可能となる。
- 4) Peckの方法で評価する場合の、今後の課題としては、山留め壁の変形量および鋼矢板引き抜き時の空隙量との関係を取り入れる必要がある。

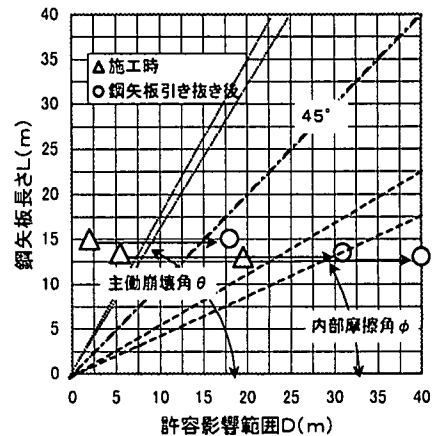


図-10 沈下勾配1/1000の影響範囲

参考文献

- 1) 森 麟、杉本隆男、田代郁夫、田中 禎：軟弱粘性土地盤における矢板引き抜きに伴う地盤変形に関する研究、土木学会論文集、No. 454/・-20、1992)
- 2) 本田健一、山本 博、阿江治：土留め杭引き抜きに伴う地盤沈下予測方法に関する一考察、土木学会年次学術講演会概要集、・、PP. 397~398、1984
- 3) 安井和夫、田中孝二：矢板引き抜き時の立孔部における現場計測、第20回土質工学研究発表講演集、PP. 1542~1544、1985
- 4) 田代郁夫、田中 禎：山止め壁の引き抜きに伴う周辺地盤の変形、第26回土質工学研究発表講演集、pp. 1561~1562、1991
- 5) 地盤工学会編・建設工事に伴う周辺住宅の地盤沈下被害の現状と対策講習会講演資料、1997
- 6) Peck, R. B.: Deep Excavations and Tunneling in soft Ground. Proc. 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico, State-of-the-art Volume, pp. 225-290, 1969