

軟弱地盤における土留め工事の施工過程における地盤沈下の要因と評価

(株)葵エンジニアリング 国際会員 清水正義
立命館大学理工学部 国際会員 早川 清
大阪大学工学部 国際会員 鍋島康之
日本コンクリート工業(株) 国際会員 可児幸彦

1 はじめに

下水道、共同溝等のライフライン埋設化工事においては、土地の高度利用、農村部の都市化などにより近接施工を余儀なくされるケースが多い。これらの工事の多くは、施工延長は長いが掘削深さは、3.0m～7.0m程度と比較的浅い。このため、土留め工法は、施工性、経済性に優れた鋼矢板土留め工を多用し、土留め壁背面の地盤沈下と近接家屋等への影響予測は、簡易法により背面地盤の沈下影響範囲を予測し、この範囲内に近接家屋等が建つ場合には、鋼矢板を残置し、必要に応じて土留め壁体の剛性増強及び切梁段数の増加による土留め壁の変形抑制対策が採られる。しかし、軟弱地盤の土留め工事では、このような対策を実施して、入念な設計・施工を行ったとしても、予測と乖離した背面地盤の沈下が生じ、近接家屋に損傷を発生させるケースが多い。本研究では、軟弱地盤を対象に、実際の土留め開削工事の各施工過程における土留め挙動の計測結果をもとに、背面地盤の沈下要因の評価と、現状における予測法の課題について検討した。

2 背面地盤の沈下予測の目的と課題

土留め工事においては、さまざまな要因により背面地盤の沈下が発生する。軟弱地盤においては、これらをゼロにすることは、技術的、経済的に困難である。従って、工事による背面地盤沈下が、近接家屋に与える影響を事前に予測し対策を検討しておくことが重要となる。

2.1 背面地盤沈下の予測の目的と項目

土留め工事における背面地盤の沈下は、図2-1に示したように、掘削、埋め戻し及び壁撤去の各施工段階で発生する⁵⁾。近接家屋に損傷を与えない工事を実施するためには、これらが、近接家屋にどのように影響するかを事前に予測し必要な対策を立案することが重要である。このためには、

- ①各施工過程における土留め壁の変形と背面地盤の沈下を定量評価する
- ②各施工過程における背面地盤沈下が近接家屋に与える影響を定量評価することが必要である。

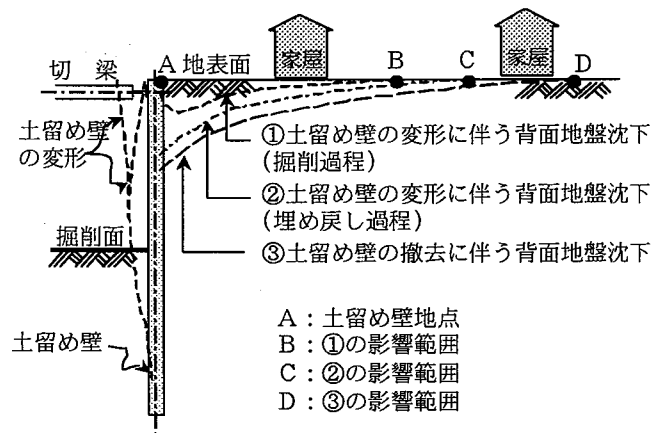


図2-1 背面地盤の沈下模式図

2.2 背面地盤沈下の予測の課題

ライフライン埋設工事の特徴は、掘削深さは浅く、施工延長が長いいため多様な地形・地質や周辺環境に対応することが要求される。また、工事の日進量が大きく、工事実施段階において情報化施工によるフイー

Research of cause and Assessment of ground settlement behavior during construction process of braced excavation on weak foundation

Masayoshi Shimizu, Aoi Engineering Co., Ltd ; Kiyoshi Hayakawa, Ritsumeikan University
Yasuyuki Nabesima Osaka University ; Yukihiro Kani, Nippon Concrete Industries Co., Ltd

ドバックを行うことは現実的に難しい。このため、背面地盤の沈下予測においては次の対応が求められる。

- (1) 背面地盤の沈下予測は、工事の各施工過程で実用的な予測ができること
- (2) 背面地盤の沈下予測は、近接家屋への影響評価ができるように、距離と沈下量が予測できること
- (3) インプット・データは、土留め規模、土質区分とN値程度の簡易データで、しかも、簡易に予測できることである。

2.3 現状における代表的な背面地盤沈下の予測法

現状における土留め壁の背面地盤の沈下予測法は、各種の方法が提案されている。しかし、掘削深さ、地質区分及びN値程度の簡易なデータで、土留め壁の背面地盤の沈下形状を予測できる方法は、図2-2に示した、ベックの沈下図¹⁾及び主働崩壊角によるすべり面を仮定する方法⁴⁾の2つに限定される。他の多くの方法は、土留め壁の最大変形量及び最大沈下量などの特定値を予測するにとどまっている。

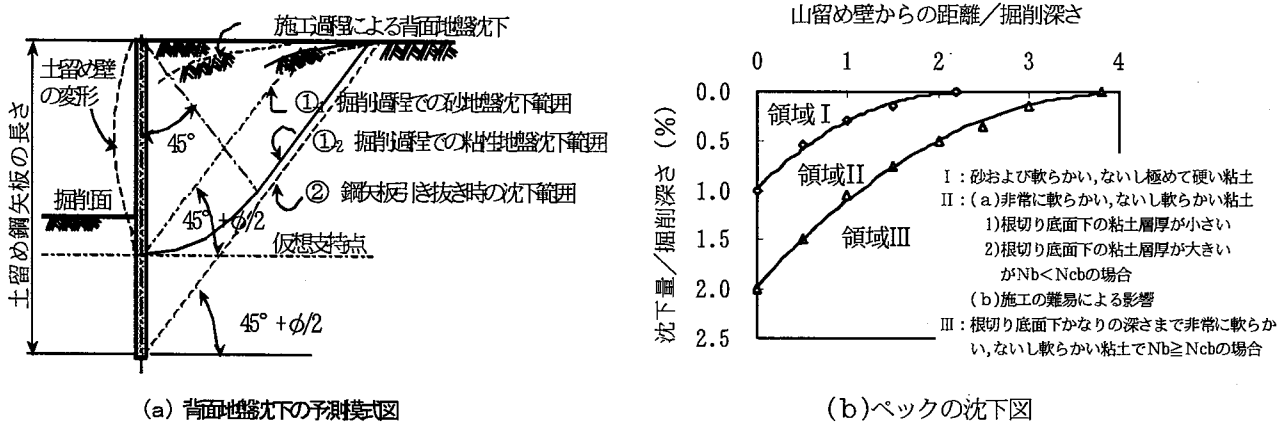


図2-2 背面地盤の沈下予測法

1) すべり面を仮定する方法⁴⁾

本方法は、「道路土工指針」等多くの背面地盤の沈下予測に採用されている。本方法による考え方は、図2-2(a)に示したように、土留め壁の仮想支持点から主働崩壊角によるすべり面と地表面との交点までを、沈下の影響範囲として推定するものである。本方法による予測は、普通地盤においては実用的精度で予測が可能であるが、軟弱地盤においては小さな影響範囲を予測することが多い。

2) ベックの沈下図¹⁾による方法

ベックの沈下図は図2-2(b)に示したとおり、過去の掘削に伴う背面地盤沈下量の実績を分析し、沈下量(S)と距離(L)を掘削深さ(H)で除し無次元化し、掘削深さ、地盤種別、安定係数を指標としてI~IIIの領域に分けた沈下図を作り、背面地盤の沈下量を推定する方法である。

この方法は、沈下量(S)と距離(L)を最大掘削深さ(H)で無次元化しているため、最大掘削深さと基礎地盤特性がわかれば簡単に背面地盤沈下量を推定できる。背面地盤の沈下量の概略的な値を推定するには有効であるが、反面、土留め壁の変形量等を考慮できない欠点を持つ。

3 土留め挙動計測

3.1 土留め架構と地質

図3-1は、各施工過程の土留め挙動の計測実施した土留め架構断面と基礎地質を図示したものである。計測は、5現場15断面について土留め挙動の計測を行った。A現場では背面地盤沈下計測のみ、その他の現場では、各施工過程における土留め壁の変形と背面地盤の沈下計測を行った。地質は、C現場以外は軟

弱地盤である。

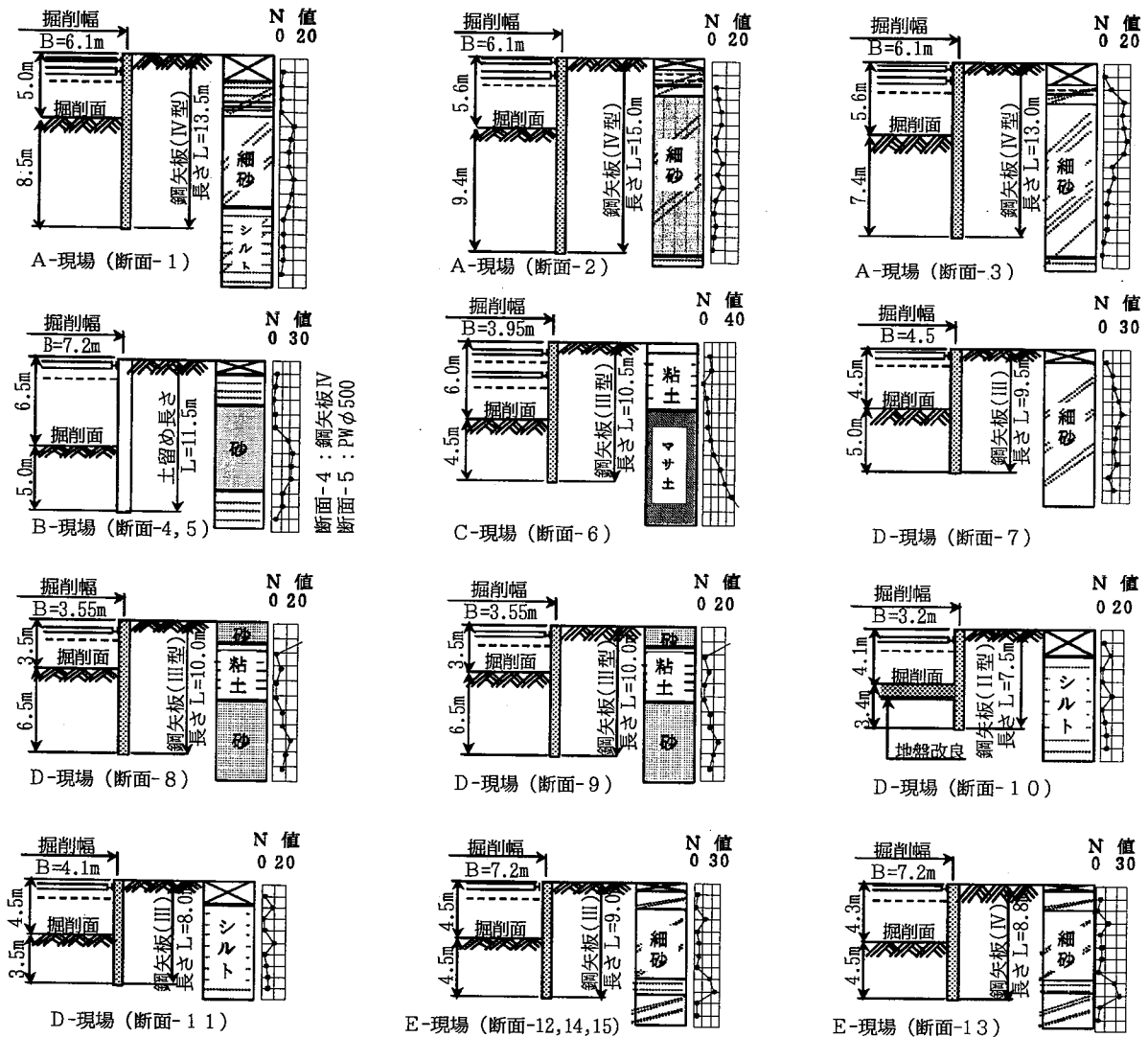


図3-1 土留め架構の断面図

3.2 土留め壁の変形計測

土留め壁の変形挙動計測は、土留め工事の各施工過程、即ち、支保工構築ステップごとの掘削深さに対応させて、図3-2に示した方法で挿入式傾斜計を用いて、土留め壁の根入れ先端を基準として、上方に50cm間隔の傾斜角を計測した。この結果から土留め壁の変形を計算により算定した。

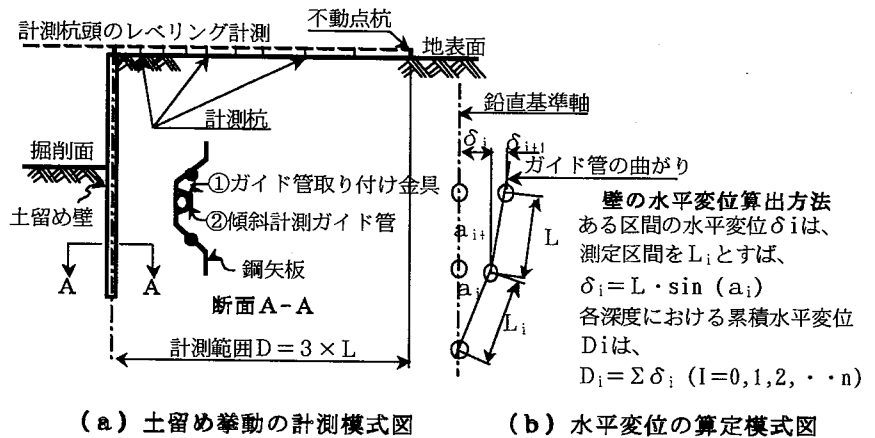


図3-2 土留め挙動の計測図

3.3 土留め壁の変形特性

図3-3は、掘削過程及び埋め戻し過程（切梁撤去）における土留め壁の計測結果より、土留め壁の変形図として、図示したものである。この図によると、土留め壁の施工過程による変形は、次のような特性をあらわしている。

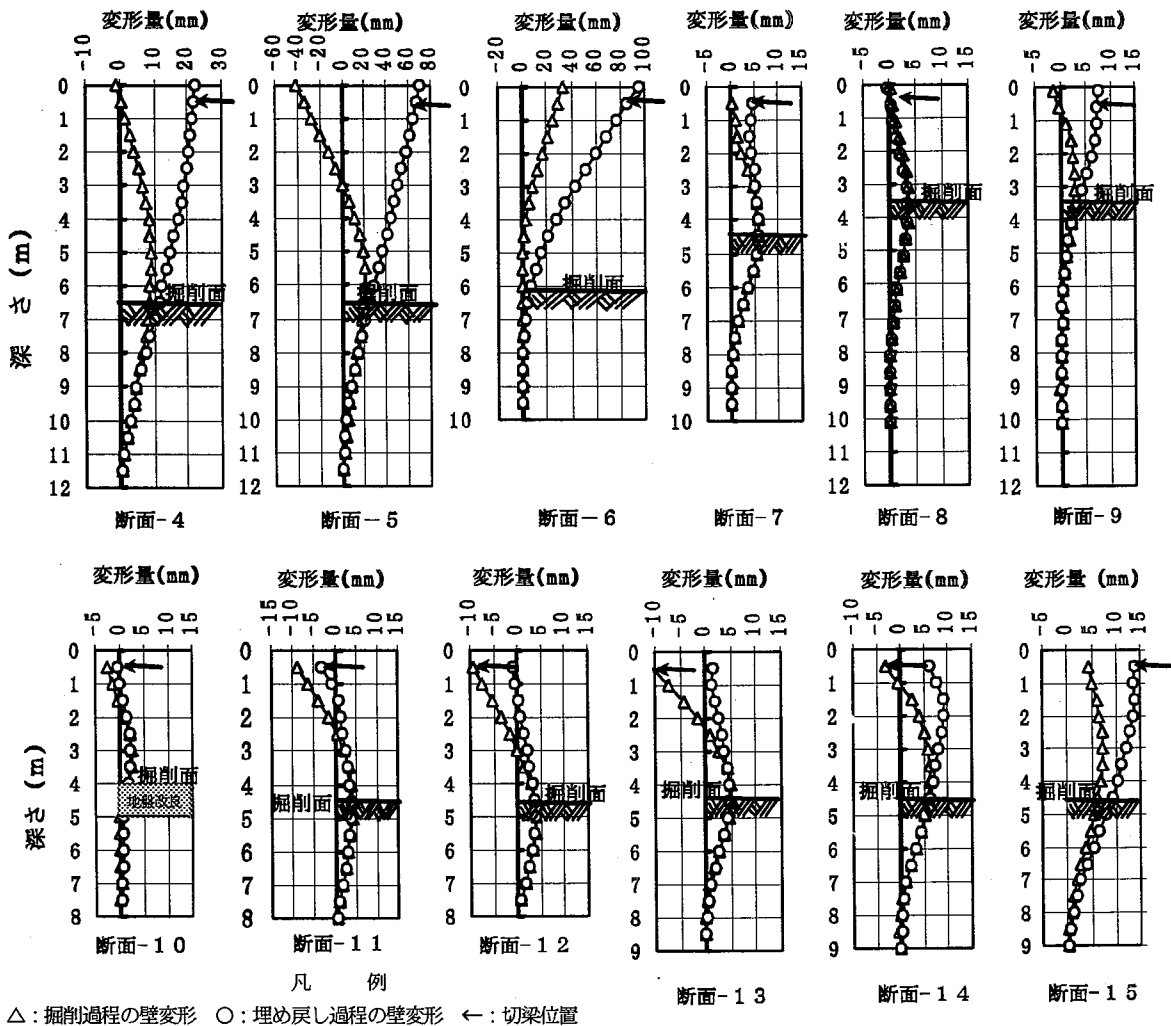


図3-2 土留め壁の実測変形図

- (1) 土留め架構断面、4, 5, 11, 12, 13, 14, 15は軟弱地盤で、土留め壁根入れ部分の変形は、概ね根入れ先端付近から発生している。
- (2) 土留め架構断面、8, 9は軟弱地盤であるが、根入れ長さが他と比較して大幅に長い。この結果、土留め壁の変形は、概ね、根入れ深さ3.0m以深で発生している。
- (3) 土留め架構断面、6は根入れ部の地盤が堅固で根入れ部分の変形は極めて小さい。また、断面10は、断面11と同じ軟弱地盤であるが、掘削底面下1.0mを地盤改良により固化したため変形量は極めて小さい値となった。

これらの土留め壁の変形図より、軟弱地盤における通常施工での土留め壁の変形特性を模式的に画くと、図3-4のようになる。

3.3.1 掘削過程における土留め壁の変形

掘削過程における土留め壁の変形特性としては、変形は根入れ先端より発生し、掘削底面付近で最大変形量が発生している。

地盤改良した場合の土留め壁の変形は、断面-10によると大幅に低減されていることがわかる。

3.3.2 埋め戻し（切梁撤去）過程の土留め壁の変形

埋め戻し過程における土留め壁の変形は、埋め戻し土圧により抑制されるために小さいと考え、考慮されないケースが多い。しかし、図3-3の変形図によると、埋め戻し過程における土留め壁の変形量は、掘削過程における土留め壁の変形量より大きい場合もある。

図3-5 (a) は、掘削過程と埋め戻し過程の土留め壁における最大変形量の比較図を作成したものである。図によると、 $\delta p > \delta h$ となり埋め戻し過程の最大変形量が大きいことがわかる。

図3-5 (b) は、掘削過程と埋め戻し過程における土留め壁の変形面積の比較図を作成したものである。埋め戻し過程における変形面積 (a_2) は、掘削過程における変形面積 (a_1) の、概ね、7割に及んでいる。このため近接施工において、土留め壁の変形面積と背面地盤沈下量が、相関するとすれば、埋め戻し過程の土留め壁変形量を考慮することが重要となる。

3.3.3 埋め戻し過程における土留め壁の変形予測

埋め戻し過程における土留め壁の変形は、切梁撤去時の土圧の釣合を考えると、図3-6に示したとおり、埋め戻し側には主動土圧 P_a が作用し、背面側には切梁算定土圧 P が作用していると考えられる。この段階での切梁軸力 P_n は、 $P_n = P - P_a$ で与えられる。この仮定条件により、切梁撤去時における土留め壁頂の変形量を、チャン自立壁公式で求め、実測値と対比したものが、図3-7である。切梁撤去時の土留め壁頂の変位量は、実測値との対比においてバラツキはあるが、簡略的な計算値としては有意な値を示していると考えられる。

3.3.4 土留め壁への作用土圧

簡易法を用いた土留め壁に作用する土圧の算定には、複雑さを反映し、多くの各基準公式³⁾がある。これらの公式の主な相違点は、土圧強度の算定、土圧分布及び地下水圧の考え方の違いである。従

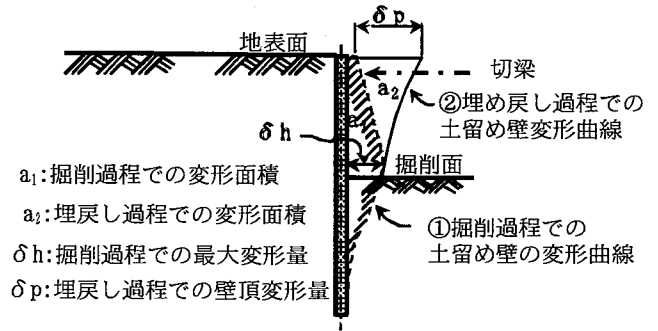


図3-4 土留め壁の施工仮定における変形模式図

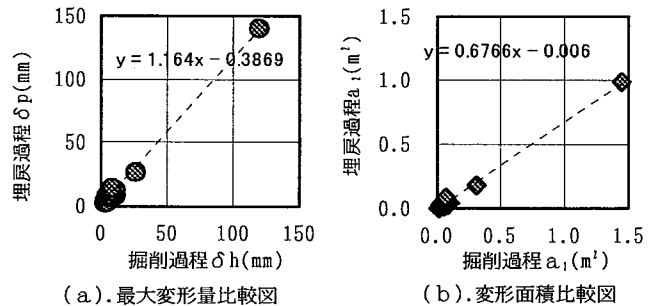
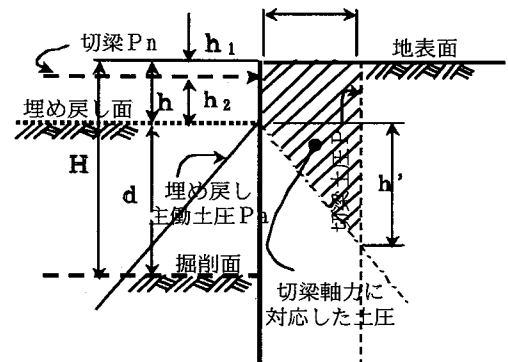


図3-5 土留め壁の変形比較図



砂地盤土での圧算定数
 土の単位体積重量 γ (t/m^3) 掘削深さ H (m)
 定数 a, b $5.0 \leq H$: $a = 1$
 $5.0 > H > 3.0$: $a = 1/4(H-1)$
 $3.0 > H$: $a = 0$

図3-6 埋め戻し過程切梁軸力算定図

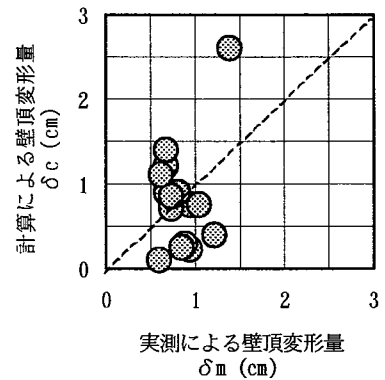


図3-6 壁頂の変形相関図

って、土留め壁の変形を検討する場合において、どの土圧公式を採用するかによって結果は異なる。

図3-8は、これらの各種基準公式³⁾で土圧を算定した場合に、どの程度差が生じるかを、軟弱地盤の具体的数値により比較したものである。この図によると、土圧公式における値には、最小値を与える公式と最大値を与える公式では概ね50%の差が生じることがわかる。

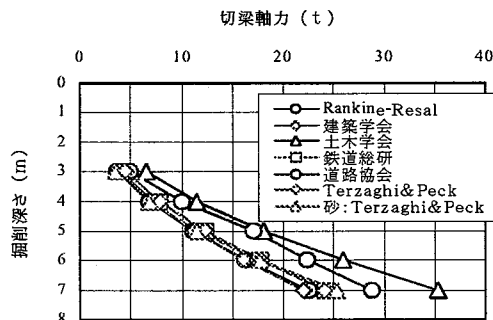


図3-8 掘削深さと切梁軸力

4. 背面地盤の沈下特性

4.1 背面地盤の沈下

土留め壁の背面地盤についての沈下計測は、図3-2に示した土留め壁の直角方向に設けた計測杭のレベルリングにより測定した。

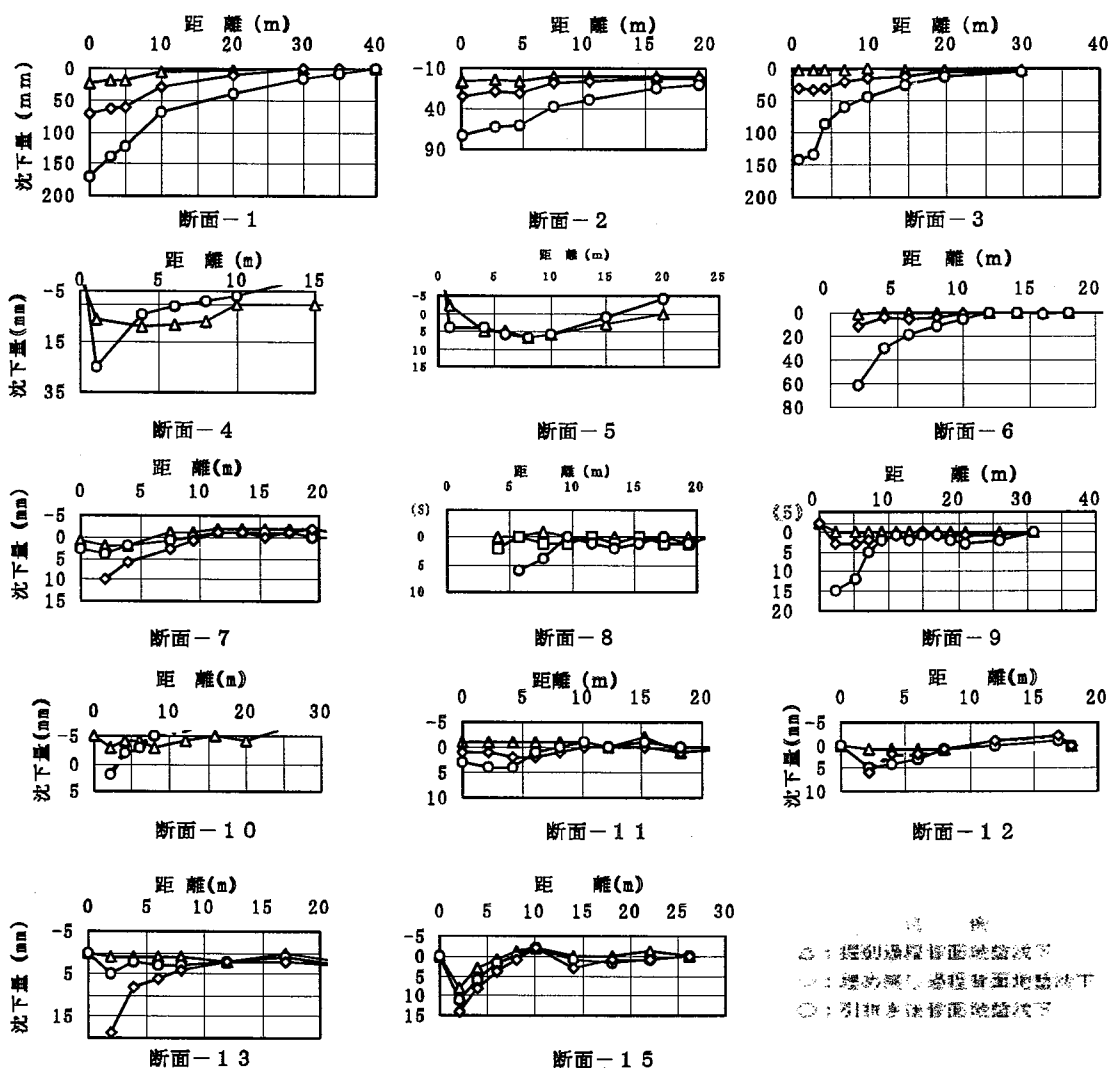


図4-1 実測背面地盤の沈下図

図4-1は、土留め壁背面の実測地盤沈下を掘削過程、埋め戻し過程及び壁の撤去後について図示したものである。図4-2(a)～(c)は、施工過程別の沈下量を土留め工における掘削深さの違いによる影響を統一するために、バックの沈下図に準拠して、沈下量と距離を掘削深さで除して正規化し沈下図として図

示したものである。

なお、沈下量の大きい断面1～3をAグループ、その他をBグループに分けて図示した。これらの図による各施工過程の背面地盤の沈下特性は、

- ① 掘削過程では、背面地盤の沈下影響範囲は、概ね、 $2 \times$ 掘削深さ(H)で、最大沈下量は掘削深さの0.3%程度と比較的小さい。
- ② 埋め戻し過程では、背面地盤の沈下は、掘削過程に対して影響範囲及び沈下量共に増大し、影響範囲で最大 $3 \times H$ 、沈下量で $0.03 \times H$ 程度に増大する。
- ③ 鋼矢板土留め壁を撤去した場合の背面地盤の沈下は、掘削深さ、基礎地質及び鋼矢板に付着する土量等が影響する。図4-2(c)によると、沈下量が大きく増大するが、影響範囲の変化小さい。

5. 背面地盤の沈下による近接家屋への影響

背面地盤沈下の予測目的は、近接施工の対象となる構造物への影響予測である。影響の程度は構造物の特性により大きく異なる。近接施工として、一般的な家屋を対象にした地盤沈下と家屋の損傷については、家屋の構造・形状、基礎形式などにより異なり、極めて、複雑である。既往の研究²⁾としては、表4-1に示した木造家屋の不同沈下障害と限界傾斜角を示したものなどがある。

一方、土留め工事の背面地盤沈下による地盤の沈下傾斜角は、図5-1に示した地盤傾斜角の算定で求める。そして、図4-1に示した、各施工過程別の沈下図を基に、土留め壁から測定区間ごとの距離と沈下量より土留め壁からの距離と地盤傾斜角の関係を求め、この傾斜角と、表4-1に示した木造家屋の不同沈下障害を起こす限界傾斜角を図示したものが、図5-2である。この図より各施工過程における背面地盤の沈下が近接家屋に影響与える範囲を概定することが可能である。

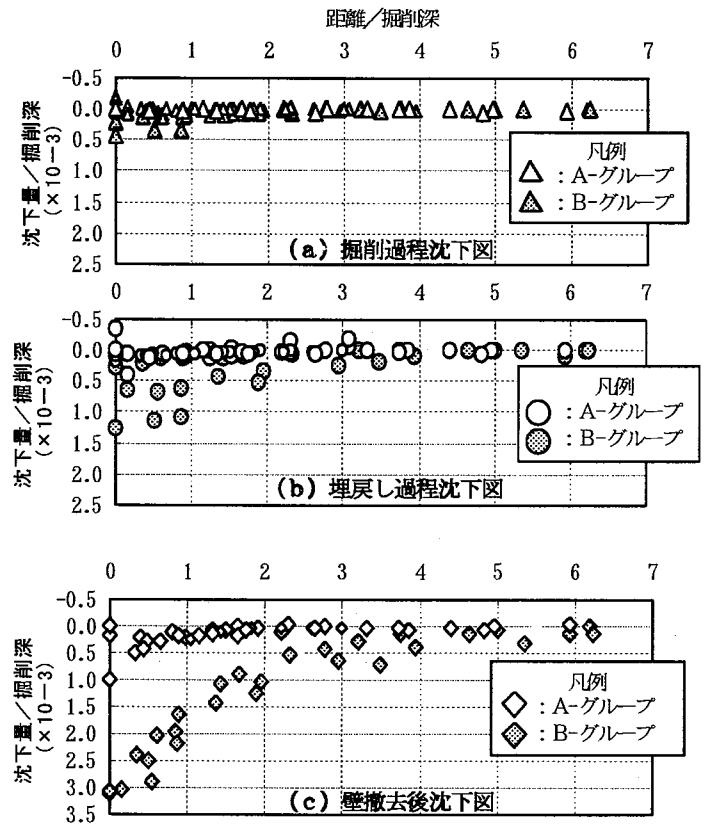


図4-2 施工過程別背面地盤の沈下図

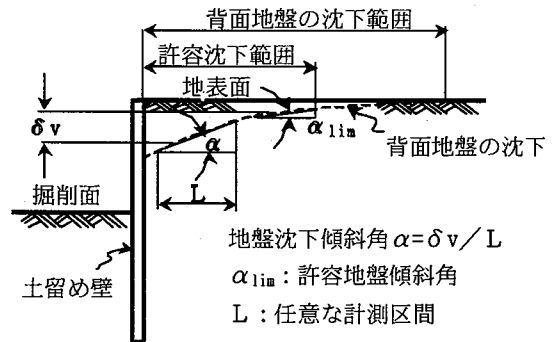


図5-1 地盤傾斜角の算定図

表4-1 木造家屋の不同沈下障害²⁾

設 階	不同沈下障害の状況	限界傾斜角 (rad)
初期段階	モルタル外壁・コンクリートに亀裂が発生する	1/1000
第1段階	束立て床の不陸を生じ、布基礎・土間コンクリートに亀裂が入る	3/1000
第2段階	壁と柱の間に間隙が生じ、壁やタイルに亀裂が発生する。窓・額縁や出入り口接合部に間隙が生じる	5/1000

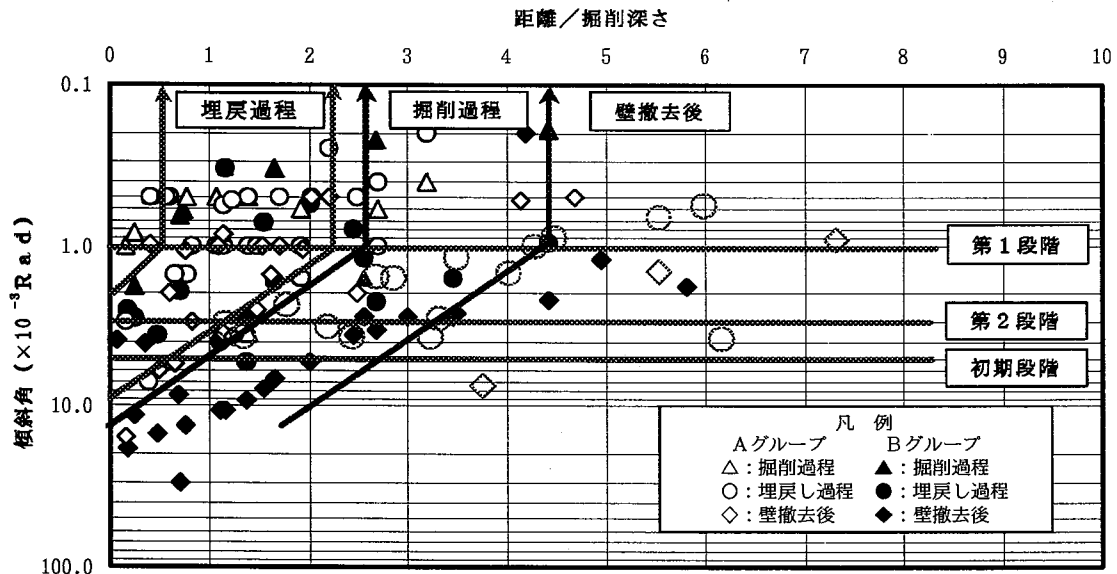


図5-2 土留め壁からの距離と地盤の沈下傾斜角

6. まとめ

本研究では、土留め工事の各施工過程において生じる土留め壁の変形と背面地盤の沈下特性について、掘削深さと地盤条件を基に検討した。さらに、背面地盤の沈下による不同沈下傾斜角に着目し、木造家屋の不同沈下による損傷との関連より、土留め工事の各施工過程で発生する土留め壁背面地盤の沈下特性が、近接木造家屋にどの程度の障害を及ぼすかを、事前に把握するための有効的手法についての検討を行った。これらの結果より、次のことが明らかとなった。

(1) 施工過程における土留め壁の変形特性

- ・土留め壁の変形は、根入れ部の基礎地盤が軟弱な場合には、土留め壁の根入れ先端から発生する。
- ・埋め戻し過程の土留め壁頂変形量 (δp) > 掘削過程土留め壁最大変形量 (δh) となり、埋め戻し過程における最大変形量が大きい。
- ・土留め壁の変形面積は、掘削過程 (a_1) : 埋め戻し過程 (a_2) では、概ね 1 : 0.7 に及び、埋め戻し過程における土留め壁の変形面積も大きなウエイトを占める。

(2) 背面地盤の沈下特性

軟弱地盤の土留め工事では、掘削深さが比較的小さい場合でも土留め壁の変形や壁の撤去に伴い、近接家屋等に影響を及ぼす背面地盤の沈下が発生する。これらの沈下影響範囲は、ベックの沈下図と良く整合し、すべり面を仮定する予測は危険側の予測となる。

(3) 木造家屋に初期段階の損傷を与える影響範囲は、掘削過程では概ね $0.5 \times H$ 、埋め戻し過程では $2.5 \times H$ 、撤去した場合は $3.2 \times H$ まで影響する。また、土留め壁の根入れ部が極めて軟弱な場合は、掘削過程では概ね $3.5 \times H$ 、埋め戻し過程では $4.2 \times H$ 、撤去した場合は $5.5 \times H$ までに拡大する可能性がある。

参考文献

- 1) Peck, P.B.: Deep Excavations and Tunnelling, 7th Inter. Conf. SMFE, The State of Art, pp. 259~290, 1969.
- 2) (社) 地盤工学会: 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, pp.54~55, 1997.
- 3) (社) 地盤工学会: 根切り・土留めの設計・施工に関するシンポジウム発表論文集, pp.1~11, 1998
- 4) (社) 日本道路協会: 道路土工, 仮設構造物工指針, pp.53~57, 1999.
- 5) (社) 地盤工学会: 第48回地盤工学シンポジウム 平成14年度論文集, pp.313~318, 2003.