

## グラウンドアンカーを併用した斜め土留め工法の適用事例

|        |     |     |    |
|--------|-----|-----|----|
| (株)大林組 | 正会員 | ○青木 | 峻二 |
| (株)大林組 | 正会員 | 前田  | 知就 |
| (株)大林組 | 正会員 | 森山  | 清司 |
| (株)大林組 | 正会員 | 大川  | 祥功 |

### 1. はじめに

「斜め土留め工法」は、開削工事において用いられる仮設工法で、従来、鉛直に設置されていた土留め壁を背面側に傾斜して構築することで土留め壁に作用する土圧を低減させ、切梁やグラウンドアンカー（以下、アンカーと称する）などの支保工を省略または縮減できる工法である。斜め土留め工法を適用した場合、支保工の省略または縮減により、躯体構築時の箱抜きや止水処理部の省略が図られ、躯体の品質向上が可能となる。さらに、支保工の設置および撤去作業が縮減されるため工期短縮およびコスト縮減が可能となる。

筆者らはこれまで、斜め土留め工法を実工事に適用し、斜め土留め壁に作用する土圧低減効果および壁頭部を拘束することによる水平変位の抑制効果を確認している<sup>1), 2)</sup>。本論文は、内部掘削時の壁変形が厳しく制限された条件下で斜め土留め工法を適用した結果、および計測結果にもとづき設計法の考察を行った結果について報告する。

### 2. 工事概要

本工事は、長野駅善光寺口駅前広場整備工事のうち東西自由通路として使用されている既設のボックスカルバートの一部を解体し、新設のボックスカルバートを構築する長さ約 20m×幅約 13m×深さ 10m の開削工事である。図-1 に平面図を示す。土留め壁背面には、送水管が近接しているため、壁の水平変位を抑制する必要があった。そこで、除去式アンカーを併用した斜め土留め工法の適用により壁水平変位抑制を図った。なお、鉛直および斜めの親杭横矢板土留め壁を用いる 1 辺以外の 3 辺は、既設の躯体があるため、その上部に地盤改良による改良体を造成して土留めとした。写真-1 に掘削完了時の状況を示す。

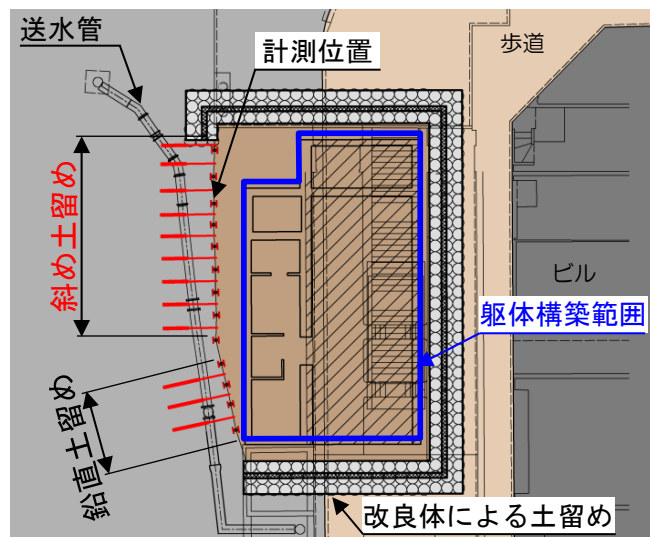


図-1 平面図

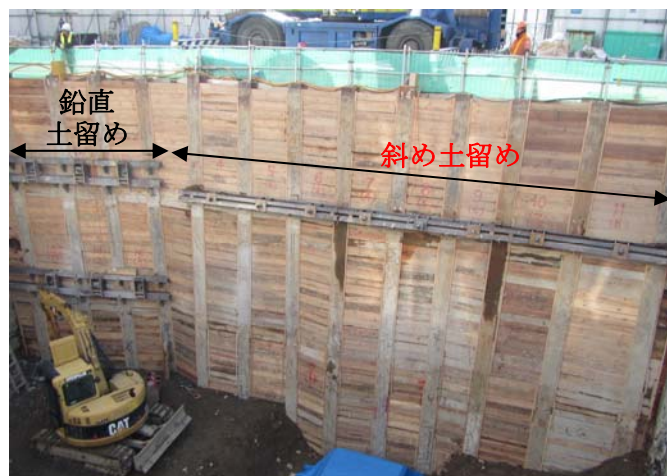


写真-1 土留め壁全景

### 3. 斜め土留めの設計

アンカーを併用した斜め土留めの設計に使用した土質定数、斜め土留めの設計法、および土留め壁の設計結果について述べる。

#### 3. 1 土質定数

地盤構成は、埋土 (Bs) の下に直径が 300mm 以上の玉石を含む N 値 50 以上である硬質な砂礫層 (Ds1 および Ds3) があり、一部に砂層 (Ds2) が介在している。設計用地盤定数 (N 値から設定) を表-1 に示す。

キーワード 斜め土留め、計測管理、親杭横矢板、弾塑性解析

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 (株)大林組 本社 生産技術本部技術第一部 TEL 03-5769-1322

表-1 設計用地盤定数

| 土層  | 層厚   | 土質 | $\gamma$<br>kN/m <sup>3</sup> | N値 | C<br>kN/m <sup>2</sup> | $\phi$<br>度 | $E_0$<br>kN/m <sup>2</sup> |
|-----|------|----|-------------------------------|----|------------------------|-------------|----------------------------|
| Bs  | 3.05 | 砂質 | 18                            | 6  | 0                      | 35          | 16800                      |
| Ds1 | 6.75 | 砂礫 | 20                            | 50 | 0                      | 38          | 140000                     |
| Ds2 | 0.70 | 砂質 | 18                            | 5  | 0                      | 35          | 14000                      |
| Ds3 | 9.50 | 砂礫 | 20                            | 50 | 0                      | 38          | 140000                     |

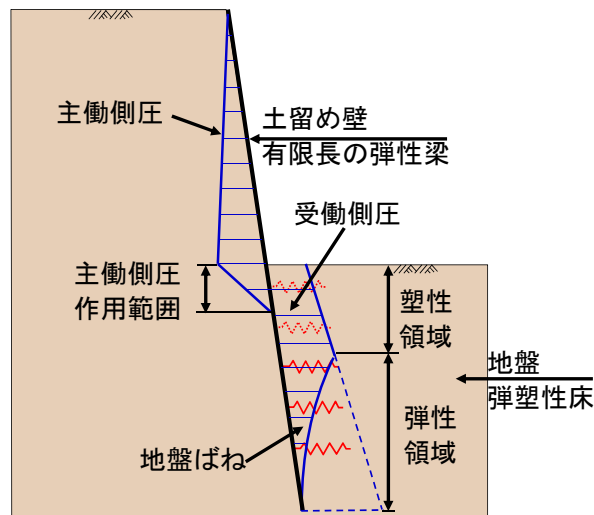


図-2 弾塑性モデル

なお、地下水位は、親杭下端よりも深い位置であったことから、地下水の影響は考慮していない。

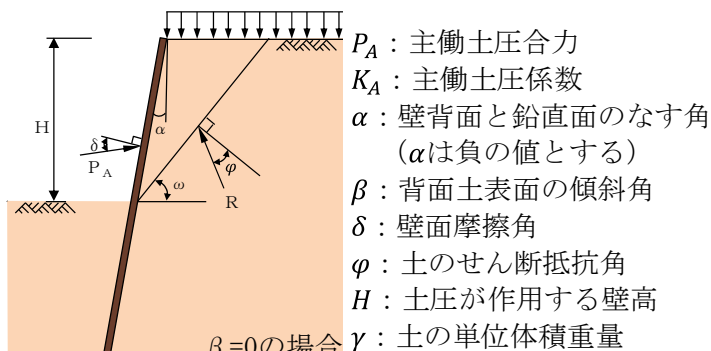
### 3. 2 斜め土留めの設計法

土留めの設計は、図-2 に示すように土留め壁を有限長の弾性梁、地盤を弾塑性床としてモデル化し弾塑性解析により行った。設計用側圧（土圧）は、壁傾斜角  $\alpha$  を考慮するため、文献<sup>3)</sup>における土圧の考え方と同様に図-3 に示すクーロン式により主働土圧係数を求め、土被り圧を乗じて算出した。なお、掘削底面以深の主働側圧の作用範囲は、文献<sup>4)</sup>に示された設計用側圧範囲とした。

土圧係数については、内部摩擦角  $\phi=38^\circ$ 、壁面摩擦角  $\delta=\phi/3$  の条件で、壁背面と鉛直面のなす角を  $\alpha=-5^\circ$  とすることで、主働土圧係数が  $K_a=0.189$  となり、鉛直の場合の主働土圧係数  $K_a=0.238$  より約 20% 低減した。

### 3. 3 設計結果

図-4 に斜め土留め壁の断面図を示す。土留め壁は、送水管と新設躯体の位置関係から傾斜角を  $5^\circ$  と決定した親杭（H-350×350@1.5m, L=14.0m）とアンカーで構成されている。アンカーは、地表面から 3.0m の位置に設置し、砂礫層（Ds1）をアンカー定着層とし、土留め壁の主働崩壊面を考慮して自由長を決定した。アンカー傾角は、壁に対してアンカーがほぼ



$$P_A = \frac{1}{2} K_A \times \gamma \times H^2$$

$$K_A = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \times \cos(\alpha + \delta) \times \left\{ 1 + \frac{\sin(\varphi + \delta) \times \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\alpha + \delta) \times \cos(\alpha - \beta)} \right\}^2}$$

図-3 クーロン土圧

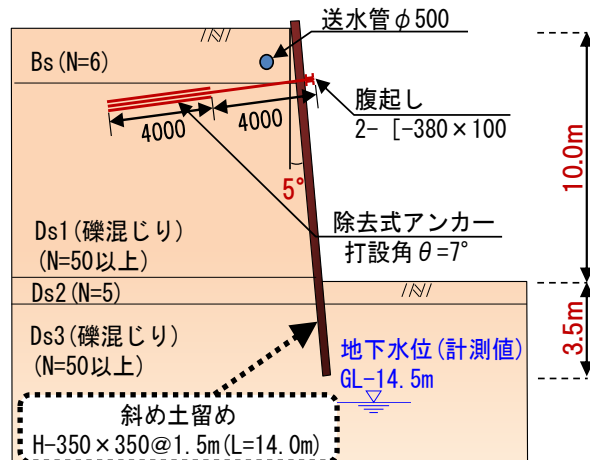


図-4 斜め土留め断面図

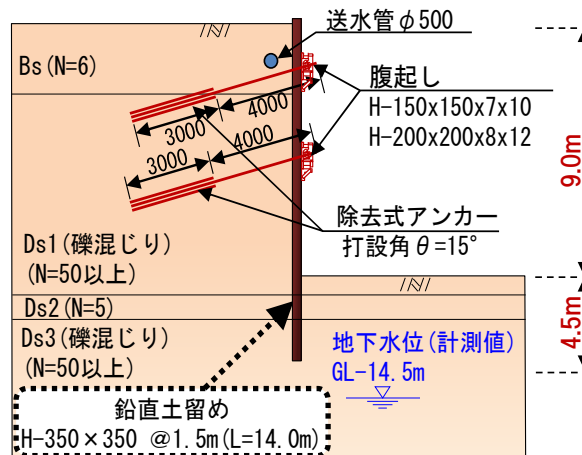


図-5 鉛直土留め断面図



写真-2 経済的な腹起し



写真-3 アースオーガ先行削孔施工状況



写真-4 ALEX 工法オーガ

直角となる  $7^\circ$  とすることで、一般的な台座を必要としない経済的な腹起し (2-[380×100]) とした (写真-2)。なお、土留め背面側に送水管が近接しているため、壁を傾斜させられない範囲ではアンカーを 2 段用いた鉛直の土留め壁とした (図-5)。

壁を  $5^\circ$  傾斜させることで、壁水平変位の許容値を 30mm とした場合に、鉛直土留めと比較してアンカー段数を 1 段減らすことができた。

#### 4. 斜め土留めの施工

斜め土留めの施工に使用した機械、傾斜角度の管理方法、および施工歩掛りについて述べる。

##### 4. 1 施工機械

施工箇所の砂礫層 (Ds1, Ds3) は、N 値 50 以上と硬質で直径 300mm 以上の玉石を多く含んでいるため、親杭打設のためには、先行削孔が必要であった。そのため、斜め土留め工法において初めて先行削孔を適用した。施工機械には、玉石混じりの硬質地盤においてもリーダを  $5^\circ$  傾斜して先行削孔を行うことができるアースオーガ先行削孔工法 (ALEX 工法)



写真-5 削孔完了状況



写真-6 親杭建込み状況

を採用した (写真-3)。

ALEX 工法とは、スクリーと特殊な圧密板 (写真-4) を用いて削孔を行うことで、圧密板により土砂を孔壁に押しつけながら掘削するため、孔壁の崩壊を防ぐとともに排土が少ない先行削孔工法である (写真-5)。先行削孔後は、根固め液を注入して、親杭を建て込んだ。親杭 (H-350×350) は、削孔した孔 (径 550mm) の孔壁に沿ってクレーンで吊りおろし所定の位置に挿入した (写真-6)。

##### 4. 2 傾斜角度の管理方法

アースオーガ先行削孔時から親杭建込み時の傾斜角度管理は、次に示す 3 つの方法により行った。

###### (i) オーガ傾斜角の管理

先行削孔を行うオーガの傾斜角度を打設開始前および打設途中にデジタル傾斜測定器 (写真-7) で直接計測して管理した。

###### (ii) リーダ傾斜角の管理

(i) でオーガ傾斜角を所定の打設角度に設定後、削孔中はリーダ傾斜角を操作盤のモニタ (写真-8)



写真-7 デジタル傾斜測定器



写真-8 リーダ傾斜角のモニタ

によりリアルタイムで監視し、管理した。

(iii) 丁張による位置の管理

削孔中および親杭建込み時は、傾斜角度を施工箇所両端に設置した丁張により管理した(写真-9)。

上記の(i)、(ii)および(iii)の3つの方法により、親杭の打設精度を杭頭部で $\pm 1^\circ$ 以内で管理することができた。

#### 4. 3 施工歩掛り

アースオーガ先行削孔工法を用いた斜め先行削孔の施工歩掛りは、鉛直の場合と同程度の28m/日(2本/日)であった。

### 5. 土質試験

内部掘削時の壁変形をシミュレーションする時の地盤定数の設定を目的として、現場密度試験、大型三軸圧縮試験、および平板載荷試験を実施した。それぞれの土質試験結果と設計値の比較を表-2に示す。

#### 5. 1 現場密度試験

床付け掘削時(GL-8.0m付近)に、現場密度試験を行った結果、砂礫層の単位体積重量は $\gamma=23\text{kN/m}^3$ であった。写真-10に示すように、試験箇所の地盤に最大で直径500mm程度の玉石が含まれていたことから、単位体積重量が設計で使用した $\gamma=20\text{kN/m}^3$ より



写真-9 丁張設置状況

表-2 砂礫層の設計用地盤定数と土質試験結果の比較

|                               | 設計値    | 試験結果   |
|-------------------------------|--------|--------|
| 単位体積重 $\gamma(\text{kN/m}^3)$ | 20     | 23     |
| 内部摩擦角 $\phi(^{\circ})$        | 38     | 36     |
| 粘着力 $c(\text{kN/m}^2)$        | 0      | 2      |
| 変形係数 $E_0(\text{kN/m}^2)$     | 140000 | 123800 |



写真-10 地山状況

りも大きくなったと推定できる。

#### 5. 2 大型三軸圧縮試験

床付け時(GL-10.0m)に砂礫層の試料を採取して、大型三軸圧縮試験(供試体 $\phi 300\text{mm} \times H 600\text{mm}$ )を行った。最大粒径50mmにせん頭粒度調整し、礫補正した試料で実施した大型三軸圧縮試験の結果では、せん断抵抗角は $36^\circ$ で、粘着力は $2\text{kN/m}^2$ であった。試験結果の粘着力は、小さな値となったが、攪乱試料を用いた大型三軸圧縮試験結果から得られた粘着力は、原地盤の状況とは異なると考えられる。写真-10に示すように、掘削時に地山が固結した状況で孔壁が自立していたことから、粘着力が数 $10\text{kN/m}^2$ 程度であったと想定される。

### 5. 3 平板載荷試験

床付け時（GL-10.0m）に平板載荷試験を行った結果変形係数は  $E_0=123800\text{kN/m}^2$  であった。

## 6. 計測項目および計測結果

内部掘削時の壁計測項目，および計測結果について述べる。

### 6. 1 計測項目

現場計測項目は，地下水位，アンカー荷重，壁水平変位（以下，変位）とした。地下水位は，土留め壁背面に削孔した計測孔に水位計を挿入して計測した。アンカー荷重は，アンカーヘッドに荷重計を取り付け計測した。変位は，親杭に多段式傾斜計を取り付け計測した。アンカー荷重と変位の計測位置は，掘削深さが 10m の位置とした（図-1）。

### 6. 2 計測結果

地下水位，アンカー荷重，変位の計測結果について述べる。

#### 6. 2. 1 地下水位

地下水位の計測値は，GL-14.5m 付近と杭下端よりも深い位置であった。

#### 6. 2. 2 アンカー荷重

アンカー設置時にプレロード（設計荷重の 60%程度=165kN/本）を導入した。プレロード後にアンカー荷重値は低下し，設計荷重の 30%程度（85kN/本）となり，掘削を進めても荷重は増加しなかった。

#### 6. 2. 3 変位

1 次掘削（GL-3.5m）時の最大変位量は，杭頭部で 22mm であった。その後，アンカー設置時に変位が大きく減少し，アンカー設置箇所付近では変位が負の値となった。最終掘削（GL-10.0m）時の最大変位量は，杭頭部で 3mm となり，アンカー下では変位がほとんど増加しなかった。

## 7. 考察およびシミュレーション

内部掘削時の計測結果に関する考察と土質試験結果を考慮したシミュレーション結果について述べる。

### 7. 1 考察

計測結果に関する考察を 1 次掘削時と最終掘削時にわけて考察する。

#### 7. 1. 1 1 次掘削時

1 次掘削時の設計値，計測値を図-6 に示す。

1 次掘削時の変位は，設計値と計測値が近似していることから，地盤定数や上載荷重の影響を適切に設



写真-11 1次掘削状況

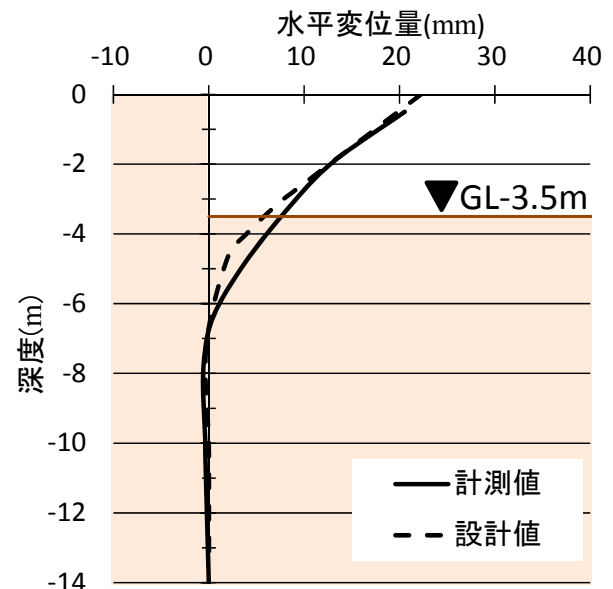


図-6 1次掘削時の壁水平変位分布

定，考慮することで，斜め土留め工法においても，壁変形を精度良く推定できることを確認した。

#### 7. 1. 2 最終掘削時

最終掘削時の計測値，設計値，および土質試験の結果を用いたシミュレーション，および粘着力を考慮した再シミュレーションの結果を図-7 に示す。

最終掘削時の変位は，計測値が設計値よりも小さくなった。この差異は，下記の 3 つの原因が考えられる。

##### (a) アンカー設置時のプレロード量

アンカー設置時に変位が減少した原因の 1 つは，アンカーのプレロード量が挙げられる。アンカー荷重の計測より，プレロード後にアンカー荷重が低下し，掘削完了時までアンカー荷重が増加することがなかったため，作用した主働側圧と比較して導入したプレロードが過大であったと考えられる。また，アンカー設置後から最終掘削時にかけてアンカー位

置で変位が増加しなかったため、作用側圧に対してアンカーによる壁の拘束効果が大きかったと推定できる。

#### (b) 埋設物撤去後のアンカープレロード

計測位置とした親杭付近にあった既設の下水道管を掘削に伴い撤去した後に、アンカーにプレロードをかけたため、下水道管撤去後の緩い地盤により、親杭が背面側へ動いたと考える。

#### (c) 最終掘削時の作用側圧

アンカー下から床付け面で変位が大きく増加していない原因の 1 つは、設計時に想定していた側圧と実際に作用した側圧の差異から、作用力である主働土圧が小さく、抵抗力である受働土圧が大きかったためと推定できる。

### 7. 2 シミュレーション

最終掘削時の変位に関して、土質試験結果より得られた値を用いてシミュレーションを行った。その結果、アンカー下から床付け面より上の範囲で変位が増加する傾向は設計値と変わらなかった。

そこで、土質試験時の地山の固結状況から、砂質地盤であっても数  $10\text{kN/m}^2$  程度の粘着力を有していたと想定し、粘着力を  $20\text{kN/m}^2$  として再シミュレーションを行った。その結果、アンカー下から床付け面より上での変位が増加しない計測値と同様の傾向を得ることができた。このことから、施工箇所の地盤では、 $20\text{kN/m}^2$  以上の粘着力が存在したと推定できる。

再シミュレーションから、地盤の粘着力が壁変位に大きな影響を与えることが示された。最終掘削時の設計値と計測値の変位の差異の原因のうち、a および c は粘着力が影響していると推定される。ただし、砂質地盤における見かけの粘着力は、地下水位等の影響を受けやすいため、設計で考慮するには十分な検討が必要である。

## 8. まとめ

### 8. 1 設計法

土留め施工時に壁変形に対する許容値が厳しい砂礫質地盤において、掘削深さが最大 10m の土留めにアンカーを併用した斜め土留めについて設計した。設計の結果、土留め壁を  $5^\circ$  傾斜することで、鉛直の土留め壁に対してアンカー段数を 1 段減らすことができた。

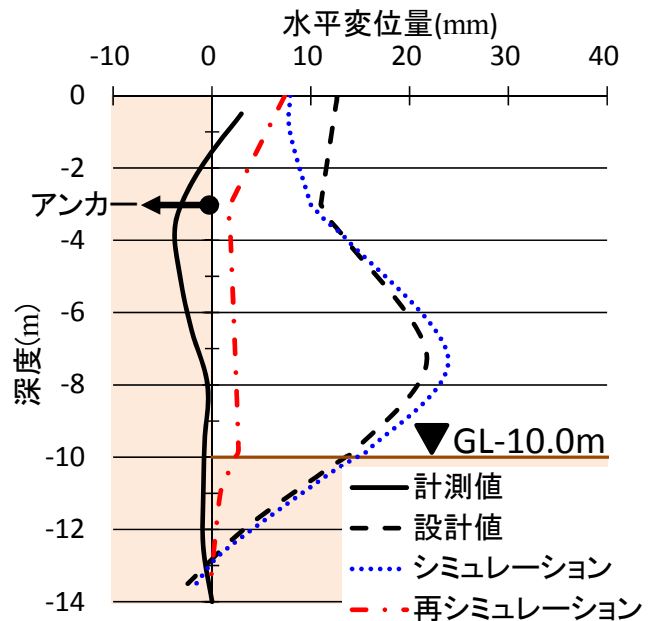


図-7 最終掘削時の壁水平変位分布

設計法の検証においては、1 次掘削時の壁水平変位において設計値と計測値が概ね一致したことで、適用した設計法の妥当性が確認された。また、アンカーを用いる場合においても、斜め土留め工法の設計法を適用できることが確認された。

### 8. 2 施工法

N 値 50 以上で玉石混じりの硬質地盤であっても、アースオーガ先行削孔工法 (ALEX 工法) を採用することにより、斜め削孔を施工できた。傾斜角度の施工精度管理は、3 つの方法を用いることにより、打設精度を親杭の杭頭部で  $\pm 1^\circ$  以内と精度良く施工することができた。また、ALEX 工法を用いることにより、鉛直の場合と同程度の歩掛りで施工を行うことができた。

今後は、得られた知見をもとに、斜め土留め工法の多様な形式での適用拡大を図りたい。

## 参考文献

- 1) 上原, 早川, 照井, 青木: 斜め自立土留め (親杭横矢板方式) の設計と施工, 土木学会第 68 回年次学術講演会, VI-185 2013.9
- 2) 青木, 照井, 米谷, 安成: 控え壁式斜め土留め工法の適用事例, 土木学会第 68 回年次学術講演会, VI-184 2013.9
- 3) 道路土工擁壁工指針 (平成 11 年 3 月): (社) 日本道路協会
- 4) 山留め設計施工指針 (2002 年 2 月): (社) 日本建築学会