

発刊にあたって

仮設計画は、現場の技術者にとって自らの創意工夫を遺憾なく発揮できる醍醐味のひとつです。その中でも、山留め掘削工事の計画は、高い技術が求められる大事なテーマです。我々の諸先輩は、多くの研鑽や創意工夫、そしてまた、数多くの失敗の中に伝承すべき技術を作り上げてきました。しかしながら、2008年に生じたリーマンショックの影響は、建設業にも大きな影を落とし、大阪市内でも、タワークレーンが見える風景が無くなりました。同時に、地下階を伴う施工物件が大幅に減少し、その結果として、現場技術者への技術伝承の機会が途絶えることとなりました。このような背景のもと、景気が回復し、再び地下工事が増えだした昨今、山留め掘削工事におけるトラブルも相応に増加しているものと思われまます。

山留め計画に対する文献や教材は、文字と数式の羅列が多く、若手技術者には、抵抗感を覚える方も多いと思われまます。一方、設計的な数式の記載が無い教材は、単に山留の架構型式の説明に留まるものが多く、現場の方に学んでほしいものを上手に伝えている文献や教材は少ないものと思われまます。これらの背景において、(一社)日本建設業連合会 関西支部では、施工現場のOJTに活用できる山留め掘削工事のテキストを編纂することといたしました。

本テキストは、実際の施工現場で生じるリスクが高いトラブル事例を掲げ、トラブルが発生する理由を理解し、事故を生じさせないための着眼点と対策についてテーマごとに纏めています。テーマとして、①土圧、②水圧、③乗入構台、④計測管理に分類し、具体的な事例を「Q&A」、並びに「トラブル事例」という形式で、イラストを数多く取り入れ、若手技術者にも分かり易く説明しています。ベテランの現場責任者においても、若手教育用のOJTに活用できる内容となるよう配慮しました。各章の冒頭には大きなイラスト入りの解説ページを設けています。そのイラストを活用しながら、山留め掘削工事のトラブル危険予知の勉強にも活用いただければと存じます。本テキストでは、山留め設計用の計算式は、最低限知ってほしいものに抑えましたが、深く勉強されたい方のために、参照文献等を記載していますので参考にして下さい。

本テキストを通じて、山留め掘削工事を計画する前に理解しておくこと、土圧により山留を崩壊させないこと、地下水の怖さや水を汲み上げる時の注意点、正しく山留めの計測管理を行うためのポイントなどを理解すると共に、良い地下躯体を作るための注意点や施工計画を身に付けていただければと存じます。

2023年5月

(一社)日本建設業連合会 関西支部
建築技術部会・山留め計画専門部会

目次

I 土圧と山留めの基本	山留め壁打設マップ	01
	山留め支保工架設マップ	03
	土圧について	05
	側圧について	05
	柱状図のここを見よう！	06
	山留めの設計(慣用法の概念)	07
	山留めの設計に使用する土質定数	08
	山留め検討書のここを見よう！	08
	山留め工事のキーワード	09
	山留めの工法	09
	Q&Aとトラブル事例	
	01 山留め壁に配慮すべき周辺荷重	11
	02 ソイルセメント柱列壁の計画と施工のポイント	13
	03 山留め頭部 納まりの留意点	15
04 山留め杭・支保工と躯体の干渉防止	17	
05 矢板と裏込めの留意点	19	
06 大火打ち架構の変形・移動防止対策	21	
07 切梁解体時の留意点	23	
II 山留めと地下水	地下水・軟弱地盤トラブルマップ	25
	地下水処理検討の着目点	27
	地下水処理計画の基本フロー	27
	地下水調査の目的と方法	28
	揚水計画	28
	ヒービングの検討	29
	ボーリングの検討	30
	盤ぶくれの検討	30
	知っておきたい出水対策	31

Q&Aとトラブル事例	
01 軟弱地盤の留意点	33
02 被圧を受けない砂質地盤での留意点	35
03 遮水壁の根入れの留意点	37
04 被圧を受ける地盤 盤ぶくれ防止対策	39
05 被圧を受ける地盤 出水防止の計画と出水時の対処法	41
06 ディープウェル閉塞時の留意点	43
07 傾斜地におけるトラブル防止対策	45

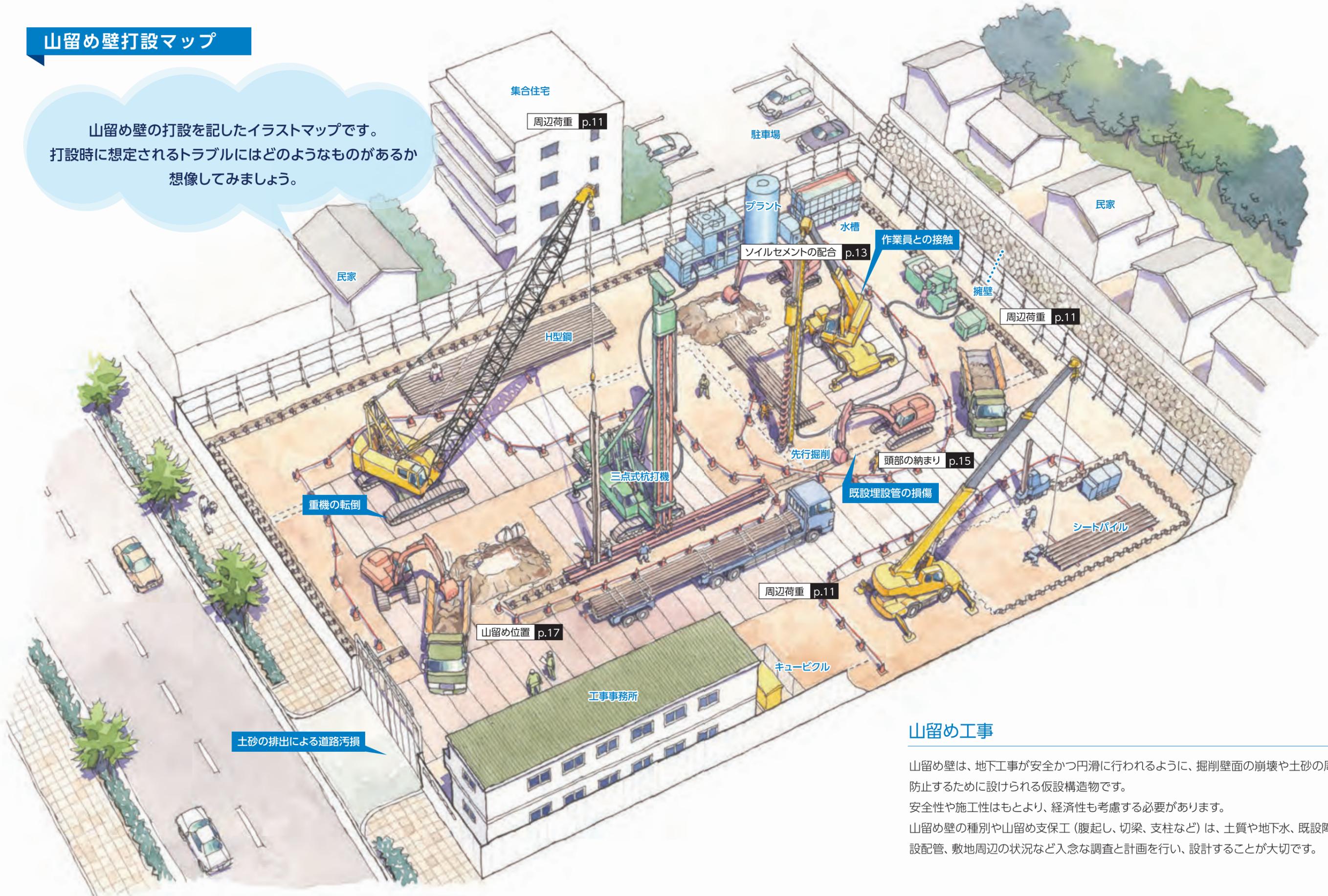
III 乗入れ構台	乗入れ構台トラブルマップ	47
	乗入れ構台の計画について	49
	計画の留意点	49
	乗入れ構台計画の着目点	50
Q&Aとトラブル事例		
01 乗入れ構台 施工上の留意点	51	

IV 周辺への配慮	周辺環境のトラブルマップ	53
	計測計画の立案	55
	Q&Aとトラブル事例	
	01 事前調査	57
02 計測管理の留意点と現場対応	59	

I 土圧と山留めの基本

山留め壁打設マップ

山留め壁の打設を記したイラストマップです。
打設時に想定されるトラブルにはどのようなものがあるか
想像してみましょう。



山留め工事

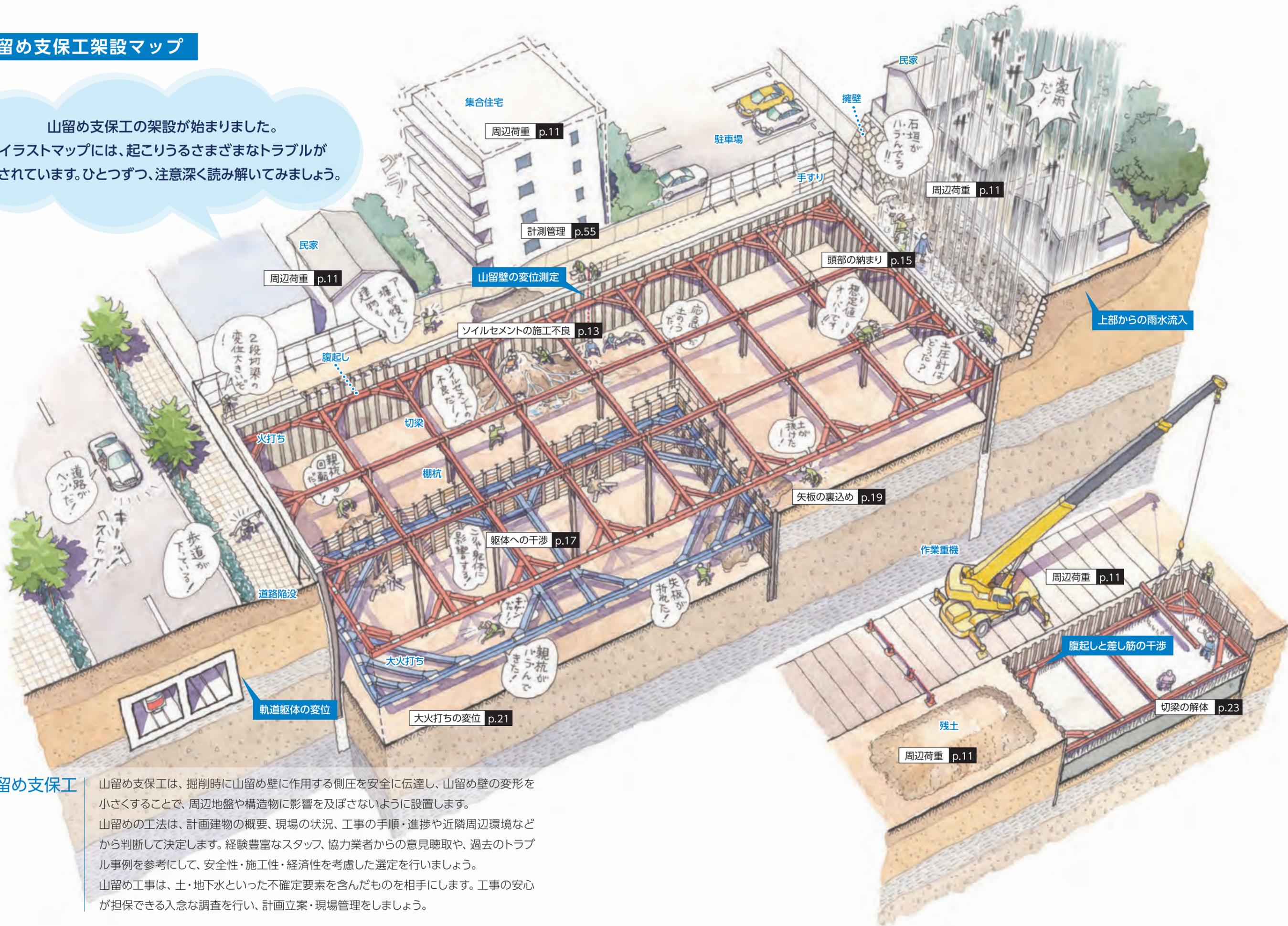
山留め壁は、地下工事が安全かつ円滑に行われるように、掘削壁面の崩壊や土砂の周り込みを防止するために設けられる仮設構造物です。

安全性や施工性はもとより、経済性も考慮する必要があります。

山留め壁の種別や山留め支保工（腹起し、切梁、支柱など）は、土質や地下水、既設障害物や埋設配管、敷地周辺の状況など入念な調査と計画を行い、設計することが大切です。

山留め支保工架設マップ

山留め支保工の架設が始まりました。
イラストマップには、起こりうるさまざまなトラブルが
記されています。ひとつずつ、注意深く読み解いてみましょう。



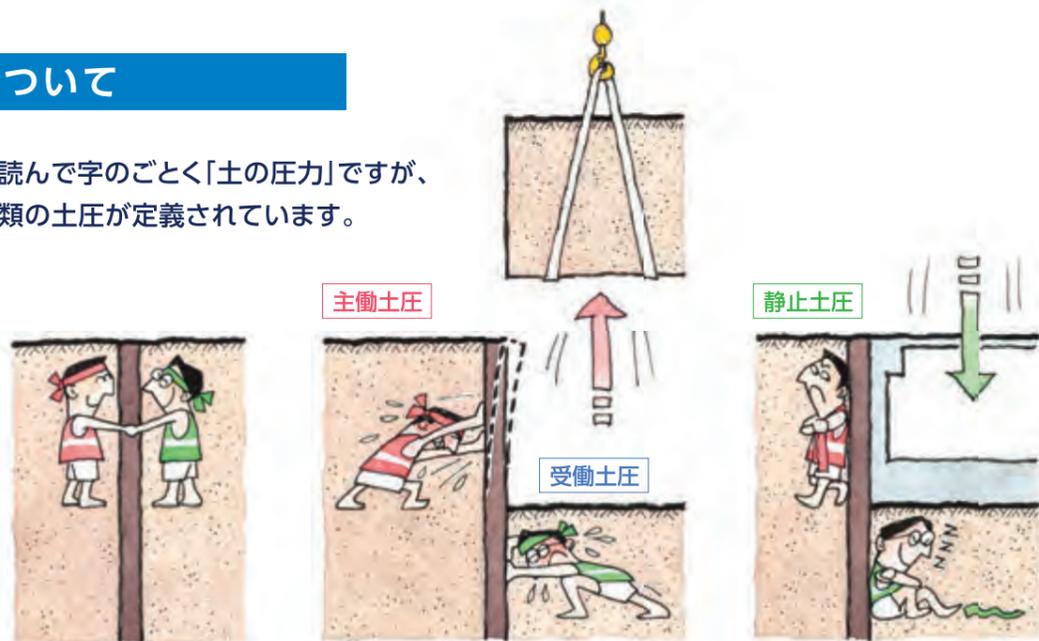
山留め支保工

山留め支保工は、掘削時に山留め壁に作用する側圧を安全に伝達し、山留め壁の変形を小さくすることで、周辺地盤や構造物に影響を及ぼさないように設置します。
山留めの工法は、計画建物の概要、現場の状況、工事の手順・進捗や近隣周辺環境などから判断して決定します。経験豊富なスタッフ、協力業者からの意見聴取や、過去のトラブル事例を参考にして、安全性・施工性・経済性を考慮した選定を行いましょ。

山留め工事は、土・地下水といった不確定要素を含んだものを相手にします。工事の安心が担保できる入念な調査を行い、計画立案・現場管理をしましょう。

土圧について

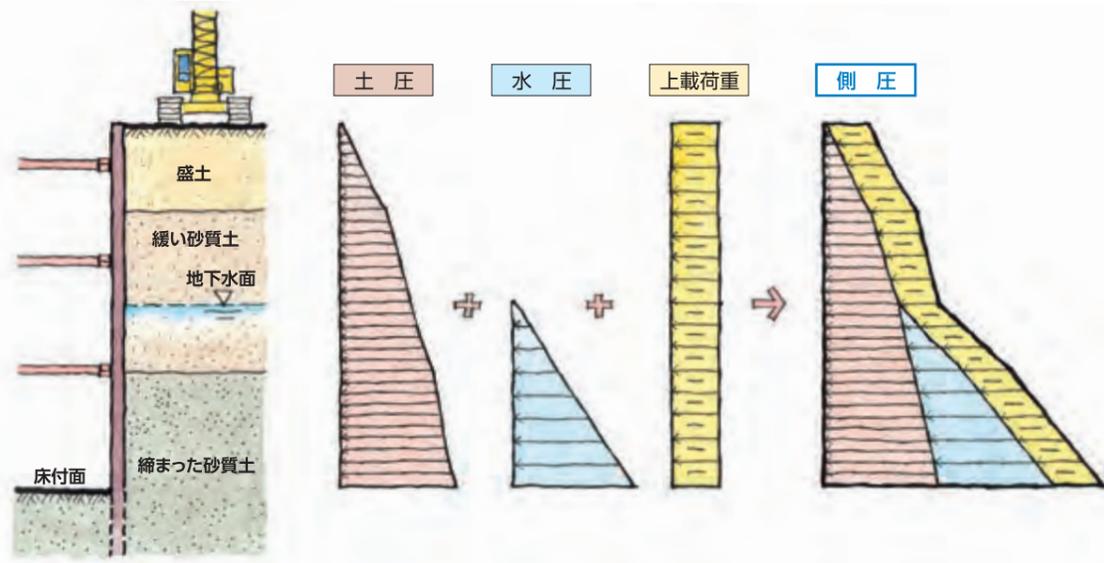
『土圧』とは、読んで字のごとく「土の圧力」ですが、実際には3種類の土圧が定義されています。



- 主動土圧：擁壁や山留め壁が土から離れる側に移動した場合の圧力
山留め設計では、山留めの背面側に作用する土圧として検討
- 受働土圧：擁壁や山留め壁が土に向かって移動した場合の圧力
山留め設計では、山留めの掘削側(床付け面下部)に作用する土圧として検討
- 静止土圧：擁壁や山留め壁と接する土が静止状態にあるときの圧力
地下外壁に常時作用している土圧

側圧について

山留め設計では、上記の[土圧]に加え、地下水による[水圧]、地表面の建物や背面の山などの[上載荷重による水平荷重]を合わせて『側圧』として検討します。

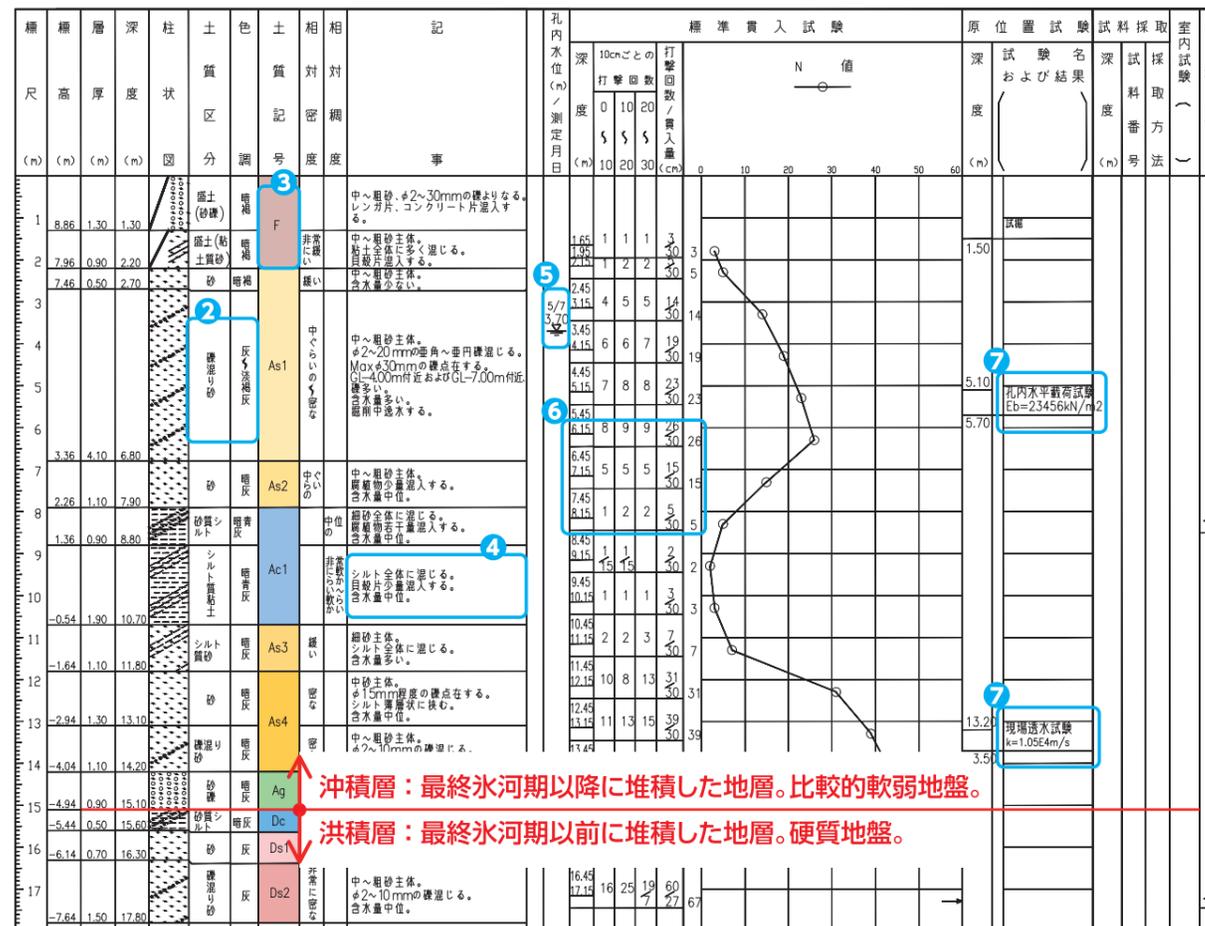


- 土圧** 土の単位体積重量、深さ、土質、土の締まり具合に左右されます。一般的に緩い土より締まった土の方が土圧は小さい。深ければ深いほど土圧は大きい。
- 水圧** 深さ方向に比例して大きくなります。
- 上載荷重** 重機や建物など現地の状況に合わせて設定します。

柱状図のここを見よう！

設計図書や土質調査報告書に記載されている柱状図から、山留め工事の検討に必要な土質定数を決定します。

ボーリング名	No. 1	調査業者名	1 孔口標高	H=10.160	角	180°	方	北 0°	地盤勾配	水平
調査位置	〇〇県△△市□□町	主任技師	総掘進長	17.80m	度	0°	向	北 0°	地盤勾配	水平
北緯		現場代理人	使用試験機	YBM-05	ハンマ	落下用具	半自動	落下装置		
東経		コア鑑定者	エンジン	NFAD-8	ポンプ		V5-P			
発注機関		ボーリング責任者	調査期間	20xx年1月23日～20xx年1月24日						



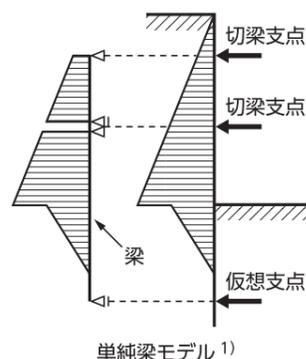
- 1** 孔口標高：設計 GL との高さを確認。
- 2** 土質区分・色調：土質の確認。一般的に粘性土は遮水層。砂質土は透水層。
▽△混じり〇〇、◇◇質〇〇⇒最後に記載されている〇〇が主成分となる土質。
- 3** 土質記号：土質の分類により定義される記号。
先頭の大文字 A は沖積層、D は洪積層、F は埋土を示します。
大文字に続く小文字 c は粘性土層、s は砂質土層、g は礫質土層、p は有機質土層を示します。
同じ土質の地層を区分するために、1,2...や a,b...などの添え字が付けられます。
- 4** 記事：土質の詳細が記載されています。
砂質土でも粘性土が互層となっている点や、礫の大きさや含水量の多さなどの情報もあります。
- 5** 孔内水位：地下水のレベルを確認。溜り水を示している場合も多いです。
- 6** 標準貫入試験：N値の確認。検討時は平均N値に換算。異常値は異物混入の可能性がありますが、粘性土なら粘着力、砂質土なら内部摩擦角の推定などに使用。
- 7** 原位置試験：孔内水平載荷試験……水平地盤反力係数の検討値に使用。
現場透水試験……揚水計画の検討値に使用。
粒状分布試験……得られた 20%粒径 D_{20} 値から透水係数を算定。 $<k=0.00359D_{20}^{2.327}>$

山留めの設計（慣用法の概念）

山留め壁の応力や変形の一般的な算定手法として、工事の規模などの施工条件に応じて下記の方法が用いられます。

- ①慣用法（単純梁モデル、自立山留めの梁・ばねモデル〈チャンの方法〉）
- ②弾塑性法（梁・ばねモデル）
- ③有限要素法

ここでは、一般的な①慣用法（単純梁モデル）の概念を説明します。適用範囲は、軟弱地盤で8m、硬質地盤で15m程度です。各手法の詳細を知りたい場合は、「日本建築学会 山留め設計指針」などの文献を確認してください。



山留め壁を単純梁モデルにモデル化

仮想支点を設定し、山留め壁を単純梁にモデル化（右図参照）

上載荷重の設定

山留めの設計で考慮すべき上載荷重には、次にあげる3種類のものがあります。

- 構造物の荷重：近隣構造物の位置・規模・杭の有無により検討します。
- 車両などの荷重：山留め壁際で揚重機が作業する場合のように、部分的に大きな荷重が作用する場合に検討します。
- 傾斜地の荷重：背面地盤が山留め壁の天端より高くなっている場合に検討します。

なお、一般車両などの軽微な荷重を想定する時は、10kN/m²の上載荷重を考慮します。

設計用側圧の設定

山留め壁に作用する側圧は、柱状図をもとに地層の構成、土質の性状、地下水の状況を考慮して評価します。背面側の側圧は側圧係数法かランキン・レザール法で、掘削側の側圧は、一般的にはランキン・レザール法で算定します。

- 側圧係数法：山留め壁背面に取り付けた土圧計の実測値にもとづいた土水圧一体型の側圧

$$Pa = K(\gamma_i Z + q)$$
- ランキン・レザール法：ランキン・レザール式により求まる主動・受働土圧にもとづいた土水圧分離型の側圧
 〈背面側〉: $Pa = (\gamma_i Z - P_{WA} + q) \tan^2(45^\circ - \phi/2) - 2c \tan(45^\circ - \phi/2) + P_{WA}$
 〈掘削側〉: $Pp = (\gamma_i Z_p - P_{WP} + q) \tan^2(45^\circ + \phi/2) + 2c \tan(45^\circ + \phi/2) + P_{WP}$

上述式を用いて、床付け面以浅の背面側の側圧を設定します。床付け面以深の背面側の側圧は背面側から掘削側の側圧を差し引いた値を外力として作用させます。

応力、変形の算定

単純梁に作用する応力を算出し、許容応力度以内に納まる部材を算定します。
 なお、掘削深度が深く多段切梁となると慣用法では変形量を精度よく再現することができません。

山留めの設計に使用する土質定数

山留めの設計に使用する一般的な土質定数を紹介します。

N値	標準貫入試験による打撃回数	土の単位体積重量の目安						
		沖積層			洪積層			
γ_t	土の湿潤単位体積重量 (kN/m ³)	砂質土	シルト	粘性土	腐植土	砂質土	シルト	粘性土
γ'	土の水中単位体積重量 (kN/m ³) $\gamma_t - \gamma_w$	18	16	15	10	19	17	16
γ_w	水の単位体積重量 10(kN/m ³)	(17-19)	(15-17)	(14-16)	(8-13)	(18-20)	(16-18)	(15-17)
q_u	土の一軸圧縮強さ (kN/m ²) $\Rightarrow N$ 値から算定 12.5N <Terzaghi & Peck>							
c	土の粘着力 (kN/m ²) \Rightarrow 土の一軸圧縮強さ q_u から算定 $q_u/2$ $\Rightarrow N$ 値から推定 6.25N <Terzaghi & Peck>							
ϕ	土の内部摩擦角 (度) $\Rightarrow N$ 値から推定 $\sqrt{20N} + 15$ <大崎>							
P_{wa}, P_{wp}	深さ Z における背面側、掘削側の水圧 (kN/m ²)							
q	山留め壁背面の上載荷重 (kN/m ²)							
kh	水平地盤反力係数 (kN/m ³) $\Rightarrow \alpha \cdot \xi \cdot E_0 \cdot \bar{B}^{-3/4}$ <建築学会推定式> α : 評価法によって決まる定数 (m ⁻¹) ξ : 群杭の影響を考慮した係数; 単杭は $\xi=1$ E_0 : 変形係数 (kN/m ²) B : 無次元化杭径 (杭径をcmで表した無次元数値; 杭径 50cm は 50) \Rightarrow 単杭 (親杭) に対する推定式: N 値から推定 $1800ND^{-3/4}$ 上記推定式の $\alpha=80, \xi=1, E_0=700N, B=100D$ とした時 D : 親杭の見付幅 (m)							
K	側圧係数 ²⁾	地盤		側圧係数				
		砂地盤	地下水位が浅い場合	0.3~0.7				
			地下水位が深い場合	0.2~0.4				
		粘土地盤	沖積粘土	0.5~0.8				
			洪積粘土	0.2~0.5				

山留め検討書のここを見よう！

専門工事業者などから提出された検討書は以下の点に注意して確認しましょう。

- 検討に用いた柱状図の位置確認** \rightarrow 山留め計画位置に対して、適切な位置の柱状図を選定しているか。複数の柱状図がある場合、一番条件の悪い柱状図で検討する場合もある。
- 積載荷重の設定確認** \rightarrow 山留め際を通行・作業する車両に対して設定積載荷重が妥当か。山留め際にある建物や仮置き材に対して設定積載荷重が妥当か。
- 山留め必要部材メンバー・長さの確認** \rightarrow 複数の山留め CASE がある場合、注意が必要。ソイルセメント柱列壁工法のソイル長と芯材長の確認。
- 最終山留め頭部の変形量の確認** \rightarrow 変形量に対して、計画建物躯体とのクリアランスは確保されているか。地下鉄などの鉄道や埋設管がある場合、許容変位量を満足しているか。

山留め工事のキーワード

山留め工事に登場する用語を紹介します。

芯材 親杭横矢板工法やソイルセメント柱列壁工法で使用される山留め壁体を構成する主部材。主にH型鋼を使用する。

腹起し 山留め壁に作用する応力を切梁に伝える山留め支保工を構成する水平部材。

切梁 山留め壁体が崩壊しないように土圧に対抗する、山留め支保工を構成する水平部材。切梁の剛性アップと安全性のチェックのため、油圧ジャッキを設置しプレロード荷重を与える場合もある。

プレロード 事前に側圧に対抗する力を切梁に導入すること。地盤条件、荷重条件、山留め設計図書および山留め壁の応力、変形、切梁軸力の計測結果などを総合的に検討し適切なプレロード量を設定する。

地盤アンカー PC鋼材を支持地盤に固定し、PC鋼材の引張力で山留め壁体を支える工法。切梁による支保工が不要となる為、土工の施工性が向上する。定着体が越境する場合は、関係各所との協議が必要となる。

棚杭 切梁の座屈を防止する中間杭。主にH型鋼を使用する。

火打ち 入隅を補強するために、水平に直交する部材間に架橋する水平部材。

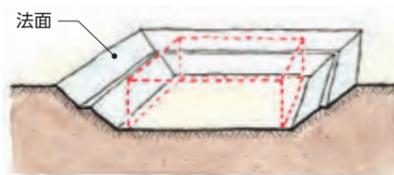
山留めの工法

山留めを進めるにあたっては、様々な角度から検討を行い適切な工法を選択する必要があります。主要な選択肢を、下図で確認してみましょう。

事前確認

- | | | | | | |
|------|------|----------|------|------|-----|
| 敷地条件 | 高低差 | 境界位置近隣状況 | 隣接建物 | 埋設管 | 交通量 |
| 全体工期 | 掘削範囲 | 掘削深さ土質 | 地下水位 | 排水方法 | コスト |

掘削工法の特徴

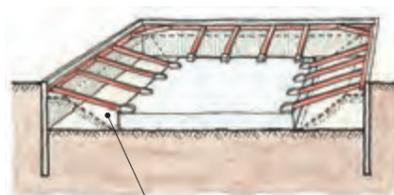
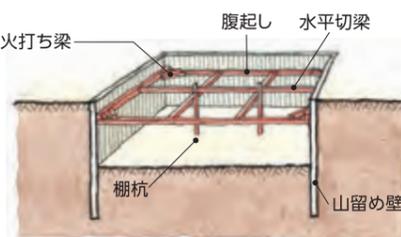


法付けオープンカット工法

敷地の余裕が必要だが、設備が不要で経済的。掘削深さが比較的浅い場合や、良好な地盤に適用できる。

山留め壁オープンカット工法

山留め壁と支保工で構成する。地下水がある場合は、遮水性のある山留め壁とする。

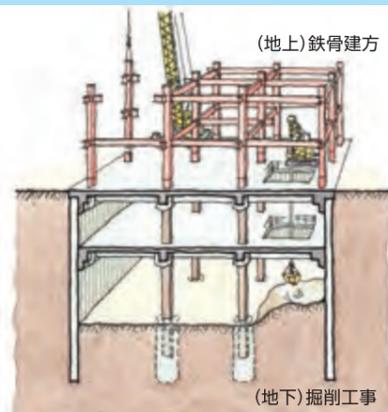
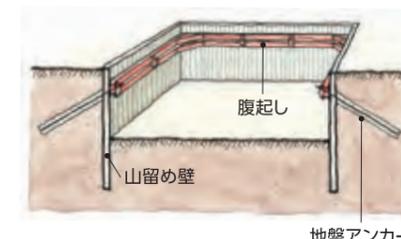


アイランド工法

建物の中央部をオープンカットにて先行施工し、その躯体から切梁を架け、周囲の掘削、躯体工事を行う。地下階の工期に余裕が必要。

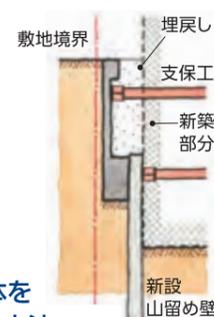
地盤アンカー工法

山留め背面の安定した地盤にアンカー体を造成し、PC鋼線に緊張力を与えて山留め壁を支える。偏土圧条件に対応可能。



逆打ち工法

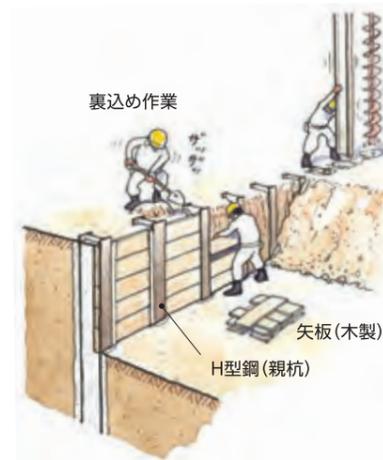
地上階と地下階の同時施工が可能。掘削が深い場合には全体工期の短縮が可能となる。逆打ち支柱や打継ぎ止水処理のコストアップや検討準備が必要となる。



既設躯体を利用する方法

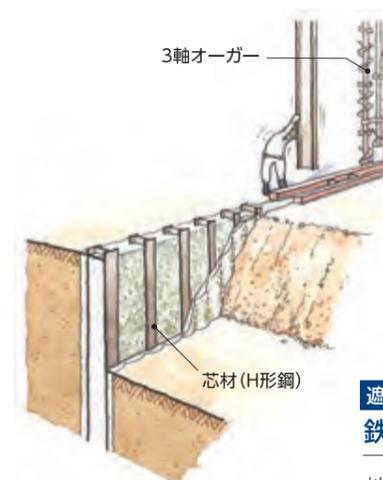
既設の建築物がある場合、その地下外壁を部分的に解体せずに山留め壁として利用する工法。既設地下外壁の解体と新設の山留め壁の構築を省くことができ、コスト、工期面でメリットがある。

山留め種類の選定



透水壁 親杭横矢板工法

山留め壁としての剛性が低く、土圧を負担するH型鋼の受動幅が小さいので変形が大きくなる傾向があるが、安価で短工期である。軟弱地盤での深い掘削には向かない。



遮水壁 シートパイル(鋼矢板)工法

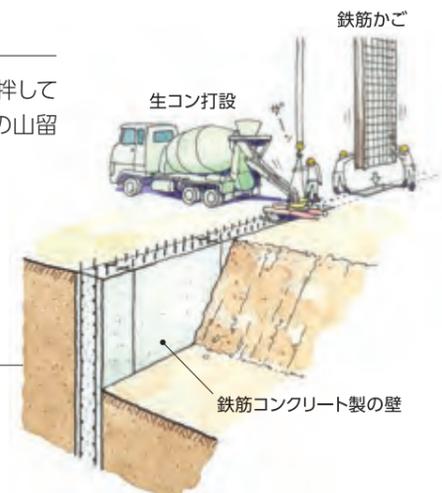
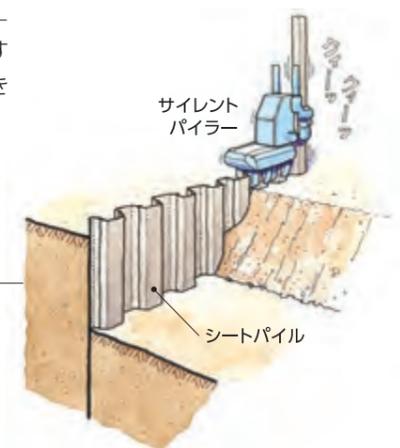
鋼製矢板のジョイントをかみ合わせて連続壁を築造する。材料強度の信頼性が高く遮水性がよい。N値30~40以上の礫層などの硬質地盤では施工が困難で、先行掘削が必要となる。

遮水壁 ソイルセメント柱列壁工法

土中でセメントミルクと原位置土を攪拌して応力材としてH型鋼を挿入して柱列状の山留め壁を構築する。低騒音、低振動で遮水性がよく、比較的低コスト。

遮水壁 鉄筋コンクリート(RC) 地中連続壁工法

地盤を長方形断面で掘削し、土中に鉄筋コンクリートの壁を構築する。遮水性がよく低騒音、低振動であるが、山留め工事期間が長くコストも高い。

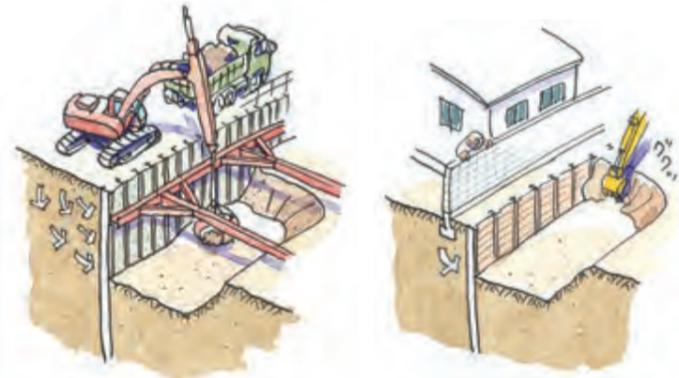


01 山留め壁に配慮すべき周辺荷重

Q1 山留め計画に配慮すべき周辺荷重にはどのようなものがありますか？

A1 掘削背面側に鉛直方向の外力が働く場合には、側圧が増加するため、その上載荷重を考慮した山留め計画が必要です。背面側に作用する外力の要因としては、以下のようなものが挙げられます。

- ①重機作業
(掘削重機、移動式クレーンなど)
- ②工事車両の通行
- ③隣接建物
- ④高架橋などの構造物
- ⑤資機材の仮置き
- ⑥盛土、傾斜地盤 など

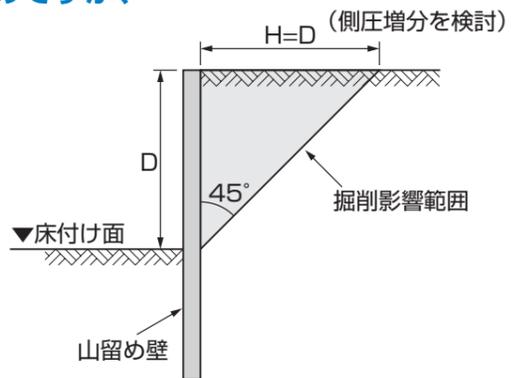


背面重機作業・車両通行

隣接建物・構造物

Q2 山留め背面に工事車両を通行させたいのですが、どの程度の離隔をとれば安全ですか？

A2 一般的に、床付け面から背面側45°のライン内に入る場合には、周辺荷重として考慮した検討が必要です。したがって、山留めから掘削深さ程度の離隔を、平面的に確保できれば一般的に安全であるといえます。また、山留め頭部に頭つなぎを設けると、有効に働く場合があります。



掘削影響範囲の考え方の例

Q3 周辺荷重はどのように考慮すればよいですか？

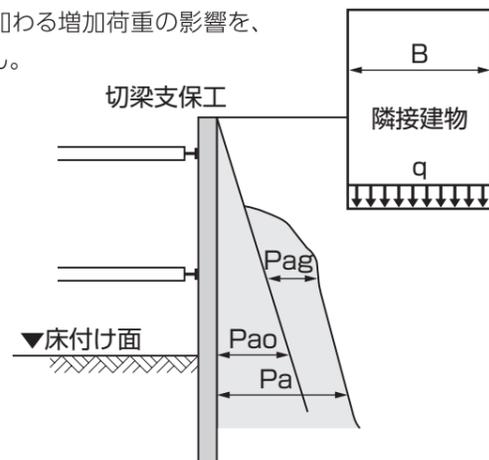
A3 上載荷重の載荷方法と載荷位置を設定し、山留め壁に加わる増加荷重の影響を、土水圧による側圧に加算して考慮しなければなりません。

1.上載荷重の設定

重機の作業荷重や走行する工事車両の重量は接地圧から評価します。隣接建物や近接する高架橋などの構造物は、荷重指針(日本建築学会)から想定した荷重を載荷面に等分布荷重qとして作用させます。

2.上載荷重を加味した側圧の設定

土水圧による通常の主動土圧(Pao)に、上載荷重による影響(Pag)をブーシネス式で求めて加算する方法が一般的です。



上載荷重の考え方の例

! トラブル事例

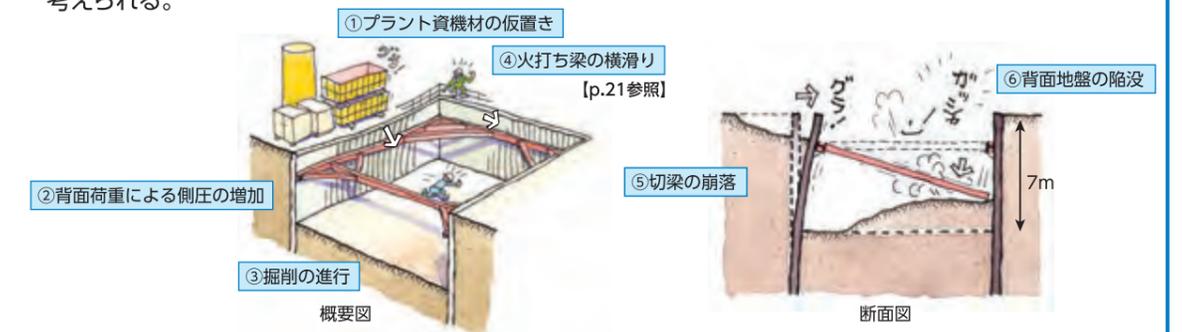
背面地盤に想定外の資機材を仮置きしたことによる周辺地盤の陥没

トラブル内容

掘削深さが7mに達したとき、突如支保工が崩壊し背面側地表面が大きく陥没した。

原因

- 掘削背面に、サイロやプラントといった当初計画時に想定していなかった重量物が設置されていた。
 - 掘削側の火打ち梁(切梁)に、スベリ止め [p.21 参照] が適切に配置されていなかった。
- 背面側での過積載による主動土圧の増加と山留め支保工の不備が、掘削側の切梁の崩落に起因したと考えられる。



応急処置

- 警察署との連携を図り、交通規制などを即座に行うことで、第三者を伴う二次災害への波及を防止した。
- すぐに掘削部を埋戻した。そののち、背面側を復旧し状況をよく確認した上で対策を練った。

教訓

- 掘削背面地盤に計画値以上の重量物を載せていないか。
- 山留め支保工の架構は計画図どおりか。
- 緊急時の連絡体制の確立、資機材の常備はされているか。

トラブルの事前シミュレーションは重要ですね。

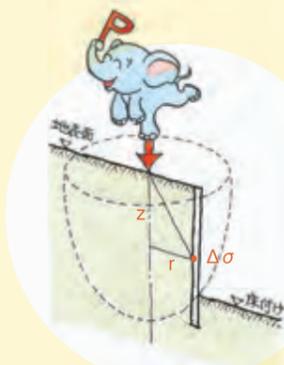


豆知識

ブーシネス式

19世紀を代表するフランスの数学者として数々の実績を残したブーシネスは、山留め壁の背面にかかる上載荷重を主動土圧として評価する際の理論式を提案しました。

右図に示すように、地表面に鉛直荷重Pが作用した場合の深さz、載荷点からr離れた点における地中内の増加応力 $\Delta\sigma$ を示したものです。



ブーシネス式概念

計画時には、アウトリガーなどの重機による上載荷重も、適切に評価しよう。



02 ソイルセメント柱列壁の計画と施工のポイント

Q1 ソイルセメント柱列壁の計画時の留意点は何ですか？

A1 ソイルセメント柱列壁とは、土とセメントスラリーを原位置で攪拌混合し、ソイルセメント杭を柱列状に造成し、応力材(H型鋼)を挿入した山留め壁です。遮水性能が高く、砂質土層で湧水がある、地下水位が高い、大深度施工が必要な場合などに適用されます。計画に当たっては、以下の追加検討を行っておきましょう。

- ①地中障害物の把握、撤去
- ②硬化不良要素の把握(腐植土層(ピート層)の腐植酸含有量の把握)
- ③土質調査にもとづいたソイルセメントの配合検討
- ④泥土排出計画(産廃、残土の区別は自治体条例などを参考にしてください)

Q2 施工管理のポイントは何か？

A2 ソイルセメント柱列壁は施工管理により品質のばらつきが出やすいので、以下の点に十分注意する必要があります。

1.セメントミルクの配合および強度試験

粘性土、砂質土、砂礫土などの土質区分により数値が異なりますので、右表を参考に配合を決定しましょう。

また、ソイルセメントは一軸圧縮試験で設計基準強度を満足していることを確認しておきましょう。

2.削孔・引上げ混練速度

配合と同様に、土質により削孔混練速度、引上げ混練速度を決定します。

3.始末端・打継ぎ・出入隅

柱列の端部孔は完全にラップさせましょう。また打ち始め位置は地下水の水上側や出隅部以外とすることで、トラブルを少なくすることができます。

4.削孔や応力材の建入れ精度

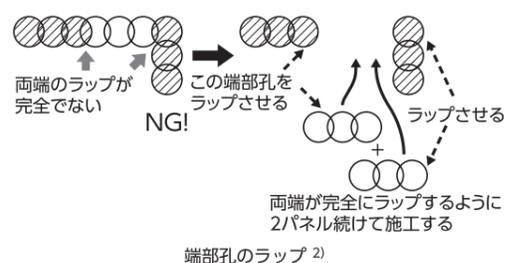
削孔の鉛直精度が悪い場合や芯材が削孔中心からはずれた場合は遮水壁としての弱点となり、掘削後に出水などのトラブルが発生しやすくなります。

セメントミルク配合の目安¹⁾

SMW用土質区分	配合(対象土1m ³ 当たり)			圧縮強度(N/mm ²)
	セメント(kg)	ペントナイト(kg)	水(ℓ)	
粘性土	300~450	5~15	450~900	0.5~1.0
砂質土	200~400	5~20	300~800	0.5~3.0
砂礫土	200~400	5~30	300~800	0.5~3.0
粘土および特殊土	室内試験などで配合を検討			—

削孔混練速度・引上げ混練速度

土質	削孔混練速度(m/分)	引上げ混練速度(m/分)
粘性土	0.5~1.0	1~2 孔壁内に負圧を生じさせないこと
砂質土	1.0~1.5	
砂礫土		
粘土および特殊土	現場状況による	



! トラブル事例

高止まり、建入れ不良が発生しました。解決方法を教えてください。

トラブル内容

- ①ソイルセメント柱列壁の施工中に地中障害物に当たり、施工不能に陥った。
- ②ソイルセメント柱列壁の施工中にスクリーウの回転数が落ちて掘削が進まなくなった。
- ③ソイルセメント柱列壁の施工中にスクリーウが逃げてしまった。

原因

以下のような原因が考えられます。

- 岩盤にスクリーウが突き当たった。
- 地中の異物(礫、木片、ごみ)を巻き込んだ。
- 地盤の粘性が高く、機器性能を上回った。
- 地盤が緩い方にスクリーウが持っていかれた。

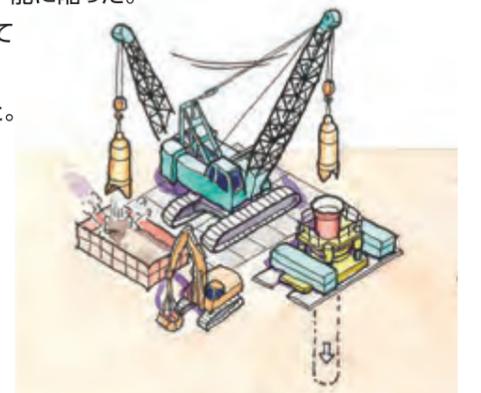
処置

●スクリーウを引き抜いて砂で埋戻し、全周回転オールケーシング工法(全旋回オールケーシング工法)で地中障害物を取り除きます。再度砂で埋戻したあと工事を再開すると、均質な縦孔を掘り進むことになり精度を維持できるようになります。

教訓

以下の地盤では先行削孔を検討しましょう。

- 砂礫層主体の地盤
 - ①礫径 35 ~ 300mm の範囲
 - ②全削孔長に対する砂層、砂礫層が 30%以上
- 砂質土層主体の地盤
 - ①N値50以上の砂礫層が6.5m以上または削孔長の30%以上
 - ②全削孔長に対するN値50以上の砂層、砂礫層が30%以上
- 土丹層(シルト)主体の地盤
 - ①削孔長が15m以上で土丹層の削孔長が5m以上
 - ②土丹層の一軸圧縮強度が3.0~3.5N/mm²以上



全周回転オールケーシング工法



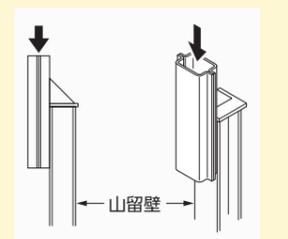
柱状図(例)

- 礫径は、一般的な自然地盤では柱状図記事の2~4倍(平均3倍)程度を、人工地盤ではそれ以上の礫があると見込んでおきます。
- 粘性の高い層では繰返し攪拌を行い、未攪拌部の発生を防ぐ必要があります。
- 当該地域で施工経験のある専門工事業者から、聞き取りを行っておきましょう。

豆知識

壁体の天端の落とし込み

通常壁体のH鋼は地表面あたりで固定しますが、外構工事の取り合いを考慮して、雇い杭(やっこ、矢蛸)という部材を用いて地表面より落とし込む場合があります。落とし込みは施工精度が著しく劣るので、そのあとの漏水トラブルなどを想定しておく必要があります。



雇い杭の例

出典 1) SMW協会HP SMW工法カタログ
2) 株式会社 井上書院 マンガで学ぶ根切り・山留め計画と施工管理

03 山留め頭部 納まりの留意点

Q1 山留め頭部の納まりではどのようなことに気を付けますか？

A1 掘削開始以降の状況、躯体工事や設備工事、外構工事を想定して計画する必要があります。山留めの天端は、高すぎても低すぎても、無駄な切断や追加の仮設工事が生じます。

ポイント

- ①掘削に先行して手摺が付けられること(手摺クランプや鞘管の納まりと手順の検討)
- ②安全通路が確保されること(幅・作業性)
- ③山留めの背面に雨水が入りにくいようにすること
- ④地下外壁側に土砂が落ちない納まりとすること
- ⑤頭つなぎ(RC・鋼材など)の設置の必要性の検討
- ⑥毎日の計測管理が行いやすいこと(計測管理の方法と項目、測定作業姿勢)
- ⑦インフラ配管のルートを検討すること(躯体貫通位置・深さ、山留め上部のルート)
- ⑧外構の納まりを考慮すること(雨水会所の深さ・付帯構造物の基礎・外構土間など)

頭つなぎコンクリートとするか
モルタル程度とするか



掘削前状況の好事例

- 掘削に先行して手摺を設置している状況
- 掘削前に、初期値の測定が実施されている



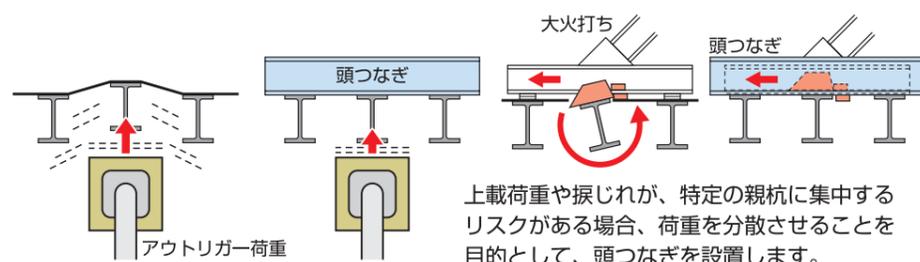
掘削中状況の好事例

- 外構工事に支障がない高さで親杭の天端を決めている
- インフラ配管位置はソイルセメントではなく横矢板にて計画
- 手摺はアングルにクランプ止めとした事例

Q2 頭つなぎはどのような場合に設置しますか？

A2 次のような場合、1本の親杭に応力が集中するのを防ぐため頭つなぎを設けます。

- ①山留めの出隅
- ②山留め近傍で重機荷重が掛かる場合
- ③大火打ちの設置に伴い、親杭が回転する場合【p.21参照】



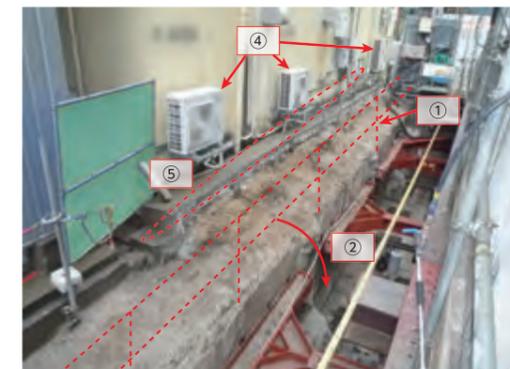
！トラブル事例

山留め頭部の納まりを十分に検討していないために生じる問題の事例

トラブル内容



○ 整然と計画された事例



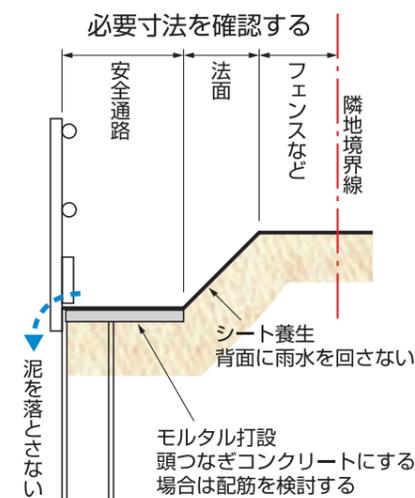
× 検討が不十分な事例

右の写真は、既設躯体を山留め壁として施工した事例であるが、頭部の納まりの検討が不十分であるため、改善すべき点が以下のように散見される。

- ①山留め外周に手摺がない
- ②山留め壁上部の土が落下すると、地下外壁型枠内に土砂が溜まることになり、そのままコンクリート打設を行うとコンクリート充填不良となって地下水漏水の原因になる
- ③山留めの計測管理ができない
- ④隣家の方が、エアコン室外機の点検に行けない
- ⑤隣家犬走りが崩れそうになっている

教訓

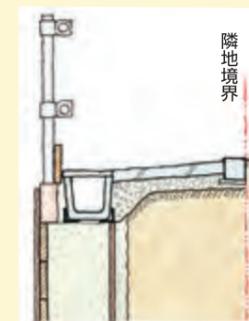
コストダウンのために、親杭の頭を下げる手法はよく用いられるが、机上検討だけで済まず、現地をよく確認して計画する。法尻と山留め端部まで、安全通路が確保できる必要寸法を確保する。法面はシートなどで養生を行い、山留め背面への雨水の回り込みを防ぐ。通路部分もモルタルを打設し、幅木を設け、雨水や泥が地下躯体の型枠内に入らないようにするなどの配慮が必要。また、外構工事や設備工事で山留め杭が障害にならないよう、山留め工事前に外構納まりの検討を済ませておくことも重要。



豆知識

ひと工夫 外構先行施工

親杭にアングルを設置し、U字溝を敷設できるようにすると、犬走りコンクリートまで施工可能となり、掘削中に山留め頭部の外構を完了させることも可能となります。



外構先行施工した好事例

04 山留め杭・支保工と躯体の干渉防止

Q1 山留め杭の位置は新築躯体とどの程度離したらよいですか？

A1 山留め杭と躯体のクリアランスの一般値は以下になります。

1.片面型枠

- 掘削深さが2.0m未満となる自立掘削工法の山留め
50mm~100mm
 - 掘削深さが2.0m以上の自立掘削工法および切梁・地盤アンカー工法
100mm程度
- 大きな変形が想定される場合は「両面型枠」を推奨

2.両面型枠

- 足場の設置が不要(ブラケット足場程度)な場合
600mm以上 人が作業できるスペースを確保
- 掘削深さが深く、足場の設置が必要な場合
1000mm以上

山留め杭の建込み精度は30mm~50mm程度の倒れが想定されるので注意が必要です。



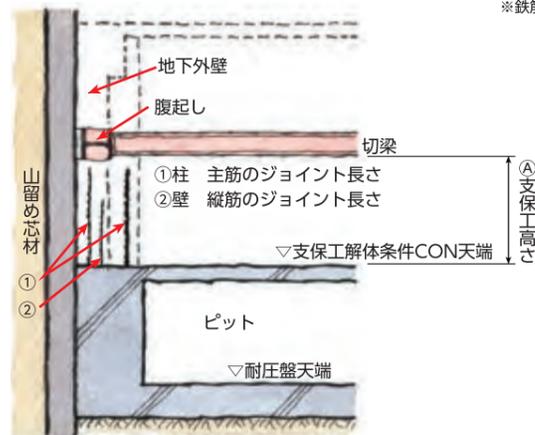
Q2 山留め支保工と新築躯体の干渉を防ぐための留意点は何ですか？

A2 山留め支保工は新築躯体を施工する前に架設されるものであります。そのため、事前の図面によるチェックが最も重要です。干渉の可能性が懸念される箇所を以下に示します。

山留め支保工と新築躯体の干渉が懸念される箇所

仮設部材	干渉が想定される躯体部位	留意事項
棚杭	基礎・地中梁、地下の大梁・小梁、鉄骨柱及び仕口ピース	貫通するフローアが多い場合は各フロアの方向・位置を確認し、全てをかわした位置かつ切梁を受けれる場所に棚杭を配置する。スラブは開口補強を行い貫通させ、切断後に処理する。
腹起し	外周柱(鉄骨柱含む)、地下外壁	片面型枠の位置で山留めを施工したときに干渉懸念が発生する。平面では干渉を処理できないため、断面図により腹起し高さとして外周柱・地下外壁のコンクリート水平打継ぎ面からの鉄筋ジョイント長さ(位置)*の関係を確認する。腹起し高さで調整しきれない場合は両面型枠の山留め位置変更の対応なども考える。
切梁・火打ち・入隅ピース	RCの柱筋・壁筋	腹起し同様に柱・壁筋のジョイント長さ(位置)*を考慮し、支保工高さを設定する。とくに柱筋はジョイント位置が高くなりやすく、支保工高さのみで対応できない場合がある。平面的に支保工を柱と干渉しない位置に配置する必要がある。
	地下からの鉄骨柱	鉄骨柱は高さ方向でかわすのは難しいため、基本的には支保工を平面的に柱と干渉しないよう配置する。また、コーナー柱は火打ち・入隅ピースとの干渉が考えられるため、鉄骨柱の設置方法も含めて事前に詳細検討を行う必要がある。

*鉄筋ジョイント長さ(位置)が不明瞭な場合は監理者との協議が必要である。



山留め支保工と新築RC躯体の関係断面図

左図の断面図の

① ≧ ②

を満足することで、RC躯体との干渉を防ぐことができる。(最も簡単な例)

①, ②の寸法については設計図書を確認すること。

! トラブル事例

山留め芯材(親杭)が大きすぎて躯体と干渉した場合の対処例

トラブル内容

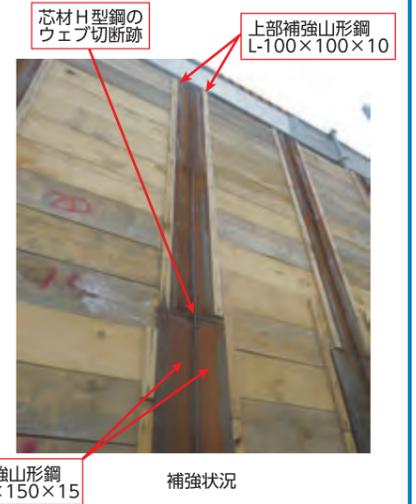
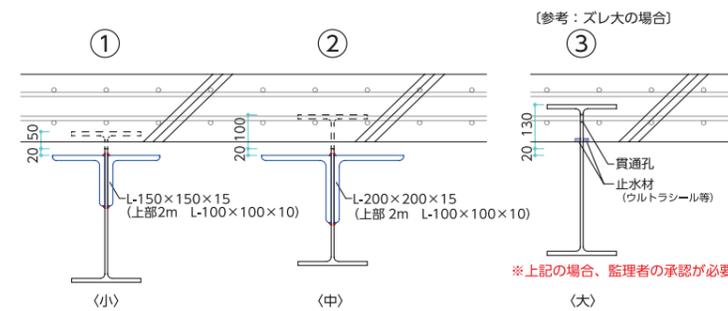
親杭横矢板壁の自立掘削工法で計画。通常通り、山留め芯材位置の墨出しを行ったうえで山留め壁の施工を行った。掘削後、地下外壁位置を墨出しすると、芯材のフランジ部分が地下外壁の中に入り、躯体欠損を起こしてしまう状況だった。

原因

スクリューが逃げてずれてしまった。

応急処置

- 干渉した山留め壁のウェブ部分に山形鋼を2本溶接し干渉したフランジを切断した。
[補強後の断面性能で、発生応力度が許容応力度以内であることおよび変位量が許容可能かを計算で確認。]



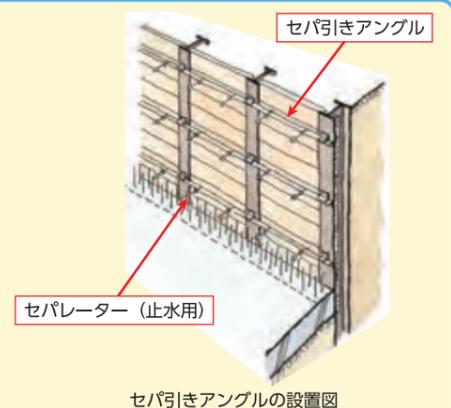
教訓

- 山留め壁の芯材位置は施工前に墨出しを行うだけでなく、施工中の芯材建込み時にも再度山留めの通り及び位置を確認する。
- 自立山留め壁で変形が大きくなる恐れがある場合は、その変形量を考慮して地下躯体とのクリアランスを確保する。

豆知識

セパ引きアングルの設置について

セパレーター(止水用)の設置間隔が山留め杭ピッチより小さくなる場合があります。そのため、セパレーターを設置するためにセパ引きアングルを山留め杭に取付ける必要があります。山留め杭と躯体のクリアランスを設定するときに、このセパ引きアングルが躯体に干渉しないように計画することが必要です。また、セパレーターは鉄筋に接しないよう配置し、止水リングを2個体設けると止水に効果的です。



05 矢板と裏込めの留意点

Q1 矢板の設置、裏込めの土砂を入れる際に留意する点は何ですか？

- A1
- 掘削深さは、矢板取付け可能な深さとどめる。
 - 矢板裏の地山を削り取る深さは、矢板の挿入が可能な最小限とし、矢板の厚みに埋戻しができる余掘り(20~30mm)を加えた程度とする。
 - 横矢板の設置は、掘削完了後できる限り早く行う。
 - 親杭への掛り代は30~50mm程度とし、裏込め材には基本的にできる限り良好な土を利用する。
 - 裏込め材の充填不良は、山留め壁の変形や周辺地盤の沈下を引き起こす原因になるのでハンマーでたたき、棒などを差し込んで充填状況を確認する。
 - 横矢板は、親杭フランジからの脱落を防止するために栈木、貫板などを矢板側に釘などで固定する。



矢板入れ施工状況



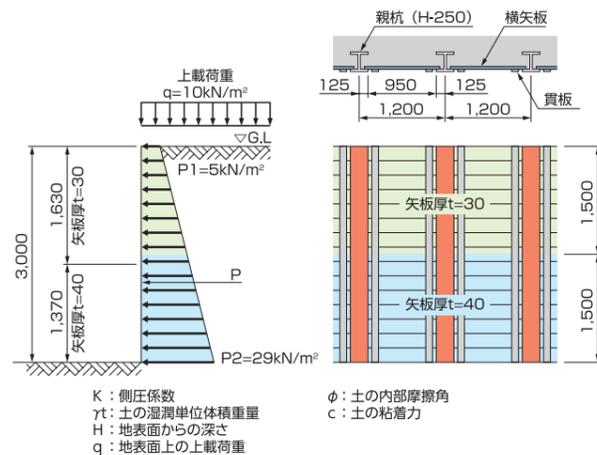
矢板断面図

Q2 矢板の厚みを決定する方法を教えてください。

A2 矢板の厚みは、掘削が深くなるほど厚くなります。使用する矢板の種類・厚さは、山留め計算書により決定します。

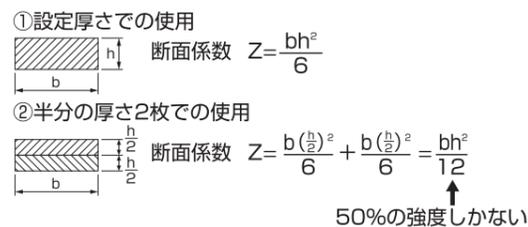
材料は松や杉を使用しますが、松は杉より強度が有り板厚を薄くできます。杉は安価ですが板厚が必要となります。

●矢板厚さの計算事例



土質 やわらかい粘土地盤 $K=0.5$
 $H = 3.0\text{m}$ $\gamma t = 16\text{kN/m}^3$
 $\phi = 0^\circ$ $c = 25\text{kN/m}^2$
 松材曲げ応力度 $f_b = 1.35\text{kN/cm}^2$
 $M_{\text{max}} = \frac{1}{8} \omega \cdot l^2 = f_b \cdot Z$ 断面係数 $Z = \frac{bh^2}{6}$
 $\omega = P \times \text{単位幅} (b=1\text{cm})$
 $= 29 \times 10^{-4} \text{kN/cm}^2 \times 1\text{cm} = 2.9 \times 10^{-3} \text{kN/cm}$
 $h = \sqrt{\frac{6 \cdot \omega \cdot l^2}{8 \cdot b \cdot f_b}} = \sqrt{\frac{6 \times 2.9 \times 10^{-3} \text{kN/cm}^2 \times (95\text{cm})^2}{8 \times 1\text{cm} \times 1.35\text{kN/cm}^2}}$
 $= 3.81\text{cm} \rightarrow 40\text{mm}$
 矢板厚30mmにおける荷重 $\omega = 1.8 \times 10^{-3} \text{kN/cm} = P$
 $P = K(\gamma t \cdot H + q)$ より
 $18\text{kN/m}^2 = 0.5 \times (16\text{kN/m}^3 \times H + 10\text{kN/m}^2)$
 $H = 1.630\text{m}$ まで使用可能
 上記計算結果より矢板使用範囲は次の通りとする
 0.0m~-1.5m: 矢板厚 $t = 30\text{mm}$
 -1.5m~-3.0m: 矢板厚 $t = 40\text{mm}$

現場で矢板が不足した際に設計厚さより薄い材料を重ねて使用している事例を見かけます。半分の厚さのものを2枚重ねても強度は半分しかありません。右図を参考にして理解してください。



! トラブル事例

雨水により裏込め土が掘削床に流出。時間経過とともに歩道が陥没した。

トラブル内容

- 台風の大雨によりH型鋼親杭の頭部から雨水が浸入し裏込め土が掘削床に流出した。
- その影響で時間経過に伴い歩道の陥没が始まった。

原因

- 現場の地盤を歩道より下げていたため雨水が溜まり易くなっていた。
- 日常の点検では親杭の周りの陥没は確認されていたが沈下量が少なかったため経過観察とした。そののちの調査でH型鋼親杭と矢板の間に引っ掛かった大きな石があることが判明した。
- 矢板を開放してみると石の下部が大きくえぐれていた。

応急処置

- 警察署、道路管理者へ連絡、交通規制を実施。
- 矢板裏への土砂の充填、歩道の復旧工事を早急に行った。

教訓

- 親杭の埋戻しには砂、砂利などを利用し大きな石は入れない。
- 矢板の裏には取り扱いのしやすい発生土を使用する。
- 山留め壁の上部には、雨水が溜まらないように勾配をとって対策をする。
- 山留め壁の背面に水が入らないように山留め上部に捨てコンクリートを打設する。
- 矢板の隙間から砂や泥が流出してきたら要注意。放置しないで原因の追究、是正を行う。
- 山留めの点検結果の異常に関しては、放置せず早急に対応する。
- 敷地周辺に亀裂や沈下など変状がないか点検をする。



豆知識



木矢板の代わりに5×10尺の敷鉄板を挿入する工法もあります。木矢板より施工が早いです。



1m程度掘削後、バックホーで敷鉄板を建込み、圧入しながら掘削をします。鉄板は埋戻し工事完了後撤去です。メリットは、同じ厚さの木矢板より曲げ強度が非常に大きいため親杭間を広くできます。人力による施工が削減されるので施工スピードは上がります。デメリットは、木矢板に比べて運搬、荷卸し、積み込み費用がアップします。施工条件、予算によりどの工法を選定するか検討してください。

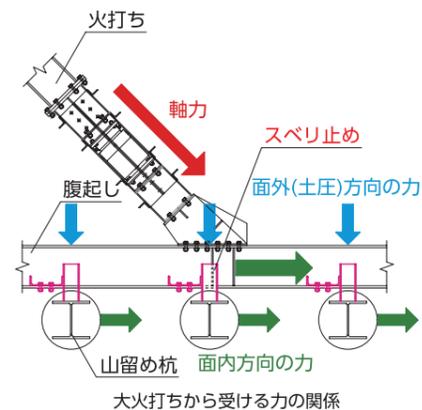
06 大火打ち架構の変形・移動防止対策

Q1 大火打ち架構の山留め壁・支保工を計画するときに留意するポイントは何ですか？

A1 1.山留め壁

大火打ちは一般的に平面図で45°の角度で設置します。したがって大火打ちを設置する場合は、山留め壁の面外（土圧）方向とそれに直行する面内方向の2方向に力が作用します。よって、スベリ止めを取り付けた山留め壁は下記のような方法により面内方向の力に対する剛性を高める必要があります。

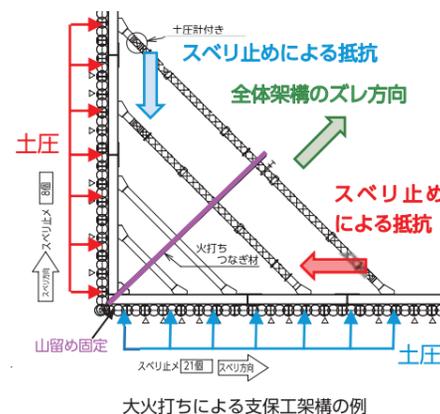
- ①山留め芯材は弱軸の断面性能が高い広幅材を用いる。
- ②親杭のセメントミルクを地表面まで充填する。
- ③山留め壁をソイルセメント柱列壁とする。
- ④支保工設置高さの付近に水平つなぎ材を設ける。



2.支保工

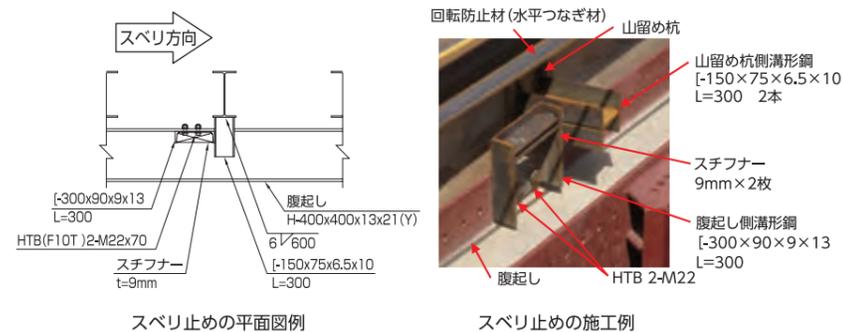
大火打ちでの支保工は水平切梁とは異なり、支保工が交差することがなく腹起しも同一高さに設置できる利点がある一方で、以下の点に留意する必要があります。

- ①腹起しのみで軸力処理が厳しい場合や腹起しが拘束されていない支保工形状のときは、スベリ止めを設置して山留め壁に力を負担させる必要がある。
- ②設置角度の影響で軸力が大きくなるため支保工の部材サイズが大きくなりやすく、座屈を抑えるための棚杭の設置間隔に注意します。火打ちつなぎ材の端部は山留め固定などを行って全体架構のズレを抑制する。
- ③大火打ちの軸力は抜けやすいことやコーナー部分の短い火打ちの破損を考慮して、プレロード荷重は馴染みをとる程度が一般的である。



Q2 スベリ止めとはどのようなものですか？

A2 スベリ止めとは腹起しを山留めに固定し、腹起しの軸力方向の力を山留め杭へ伝達する部材になります。接合部は必要な断耐力を確保できる溶接仕様及びボルトを用いて固定します。



！トラブル事例

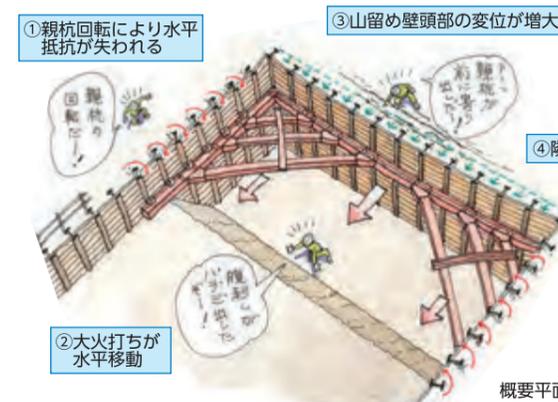
山留め壁〔親杭横矢板工法〕の大火打ち架構崩壊による過大な変形

トラブル内容

1段支保工の山留め壁の2次掘削中に大火打ち架構が滑る形で崩壊したことで、山留め壁の頭部変位が50cm程度(最大70cm)発生した。また、それにより隣地が幅4.0m、深さ20cm程度陥没した。

原因

- スベリ止めを取り付けた親杭(H鋼杭)の回転に対する抵抗不足
⇒粘性土が主体の水はけが非常に悪い土質であり、2次掘削用の重機を降ろして掘削を進めたことで受働土圧側の土を緩め、回転抵抗の低下が起こったと考えられる。
- スベリ止めの局部座屈による変形及び設置箇所数の不足



応急処置

- 腹起しを増設し、スベリ止めの箇所数(反力支持点)を増やした。
- 床付け盤を改良し、親杭の回転抵抗および受働抵抗を大きくした。
- 頭部変位が大きかった山留め壁の頭部、中間部に繋ぎ材を設けて剛性の向上を図った。

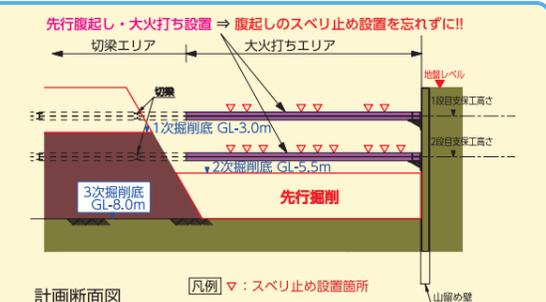
教訓

- 親杭の回転剛性の向上
「A1-1」の①～④に示す対策を計画段階から検討する。
- スベリ止めの強度・剛性の向上
スベリ止めは「A2」に示すように腹起し側の溝形にスチフナーを設け、親杭側はプレートではなく溝形鋼を推奨する。

豆知識

スベリ止め設置箇所について

大火打ちのみを取り付け、先行して掘削する場合はスベリ止めの設置が必要です。スベリ止めの設置を忘れ、先行掘削をしてしまうと支保工が水平移動し、山留めの崩壊に繋がります。



07 切梁解体時の留意点

Q1 切梁解体前・解体中に注意、確認すべき点は何ですか？

A1 切梁解体前・解体中に注意、確認すべき点を以下に示します。

1. 切梁解体前

- ① 計算書に記載された支保工解体条件（コンクリート打設完了高さ、必要コンクリート強度など）を満足しているか確認する。
- ② 立上げ壁の補強（盛替え梁など）が必要かどうか検討する。
- ③ 解体条件となるコンクリートが強度発現する養生期間を考慮する。

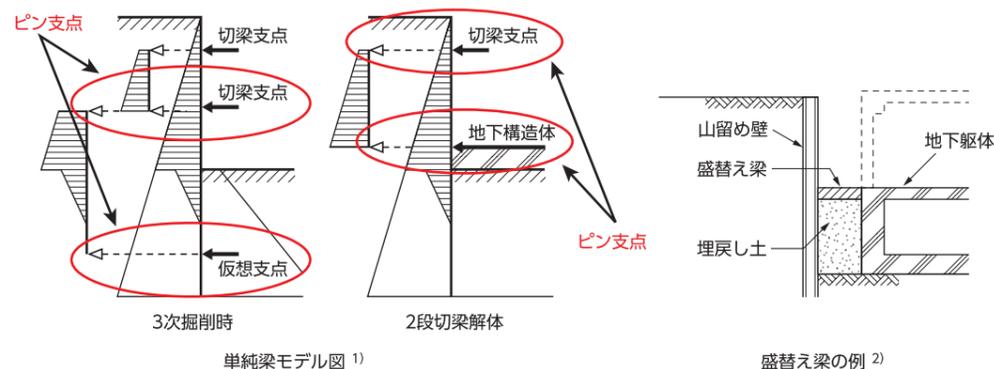
2. 切梁解体中

- ① 単体で切梁のジャッキダウンを行うときは、隣の切梁の軸力増加に注意する。
- ② ジャッキの減圧、取り外しがスムーズにできているかジャッキのストローク残量を確認する。
- ③ 山留め壁の急激な変位、異変（漏水量の増加など）がないか確認する。

Q2 切梁解体前後で山留め壁の支点はどう変わりますか？

A2 慣用法の山留め検討では床付けや埋戻し部分は地盤面より下がった仮想支点がピン支点となります。一方、切梁解体条件となるコンクリート打設を行うとコンクリート部分がピン支点となります。

※ 躯体背面の埋戻しを伴う切梁解体は、盛替え梁などの検討が必要



Q3 コンクリート打設の翌日に切梁を解体します。ダメですか？

A3 コンクリート打設の翌日に切梁を解体するのは避けましょう。

コンクリートは弱材齢で強度が低ければ低いほど、変形性能を示すヤング係数が小さくなり、変形しやすくなります。

変形することにより「ひび割れの発生」、「ひび割れ部からの漏水」が懸念されます。

↓ 切梁解体時に確認するコンクリート強度

- ① 設計基準強度
- ② 構造計算で耐力およびひび割れ（変形量）の安全性を確認した強度

出典 1)2) 一般社団法人 日本建築学会 山留め設計指針(2017)

! トラブル事例

切梁支保工の解体時に山留め変位が増加

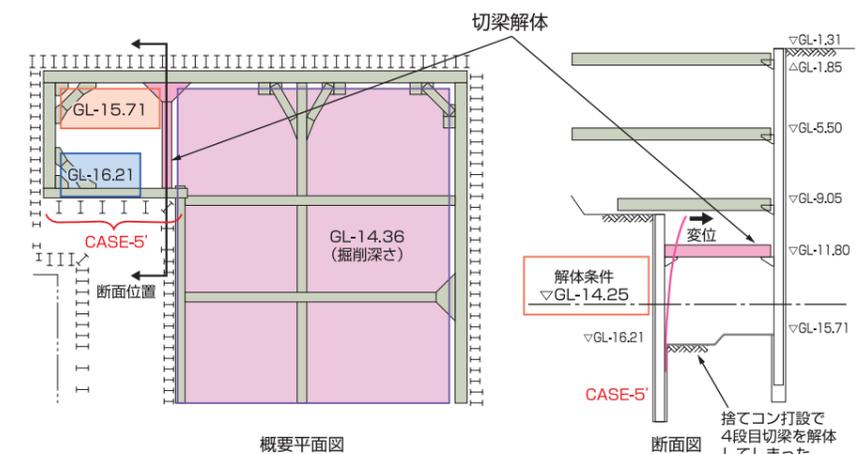
トラブル内容

4段目切梁を解体することにより周辺の山留め壁、とくに段掘り部分で切梁を解体すると自立となる山留めが大きく変位した。

原因

一部分のみ掘削深さが深かったため、その部分の解体条件を勘違いした。

⇒基礎・地中梁を施工して埋戻し後の切梁解体であったが、捨てコンクリート打設のみで切梁を解体してしまった。



応急処置

● 変位が大きい山留め壁頭部に頭つなぎを設け、その頭つなぎを背面にある山留め壁から鋼材を用いて繋ぐことで、変位の進行を抑えた。

教訓

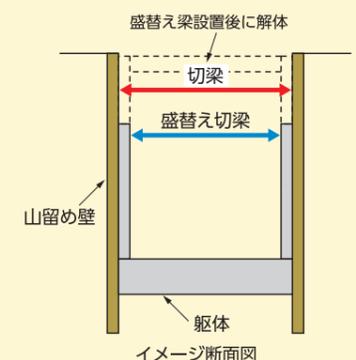
- 支保工解体前には必ず解体条件を確認する
掘削深さが異なり、山留めCASEが多い場合はとくに注意する。
- 切梁解体時の異変に注意する
切梁ジャッキの解体がスムーズでないときは山留め壁の変位が想定されるので注意する。

豆知識

地下階で床版がない部分は盛替え梁を検討

掘削深さが深いピットで1階床版などがあると、その床版の施工が完了して初めて本体建物として成立します。よって、床版の施工前に地下外壁に土圧を負担させると、地下外壁が耐えられない場合があります。この場合に盛替え切梁が必要となります。

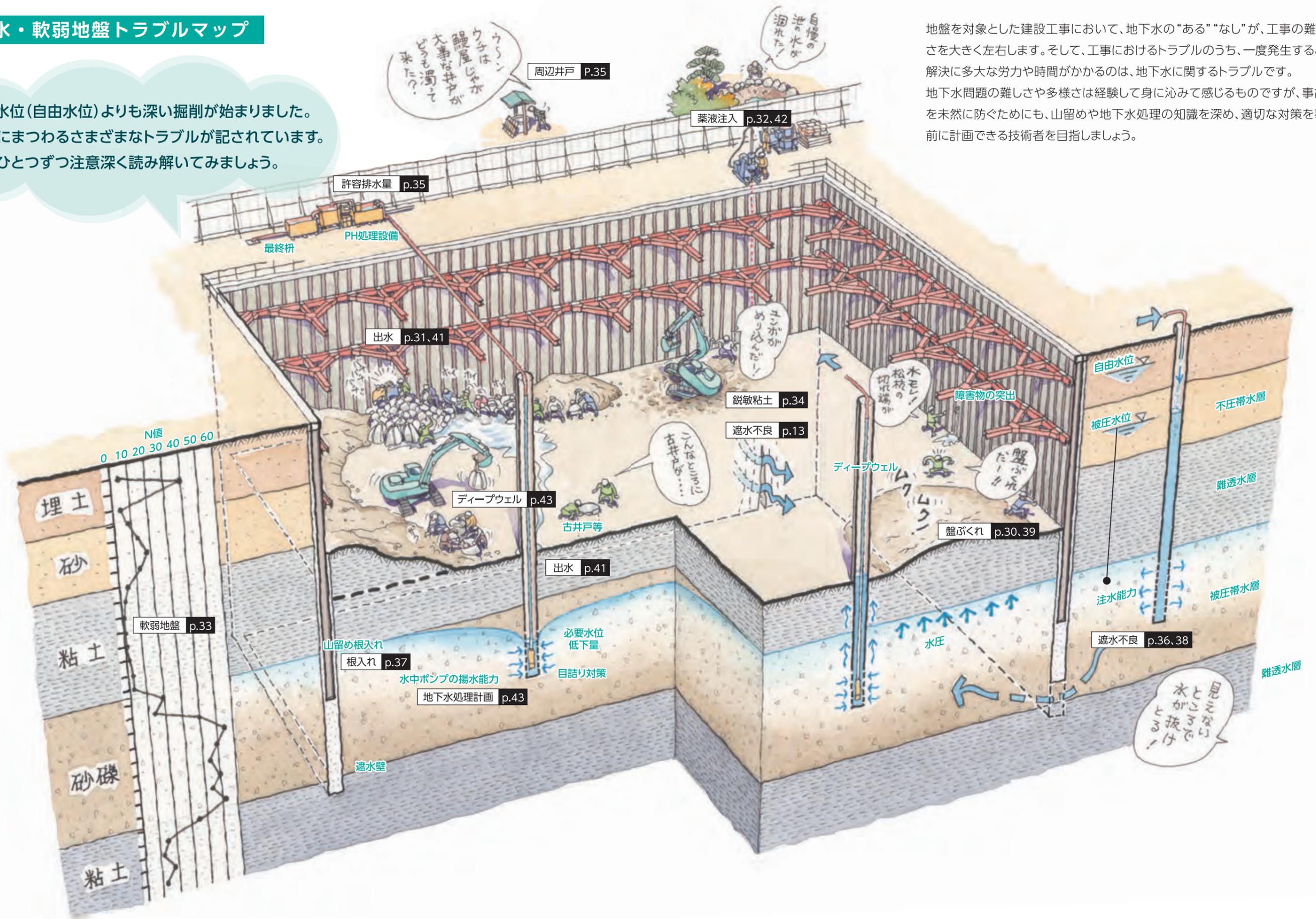
外周際のEVシャフトや階段室の床版がない場合は、切梁を解体するのに大梁コンクリート強度100%の発現が必要です。



II 山留めと地下水

地下水・軟弱地盤トラブルマップ

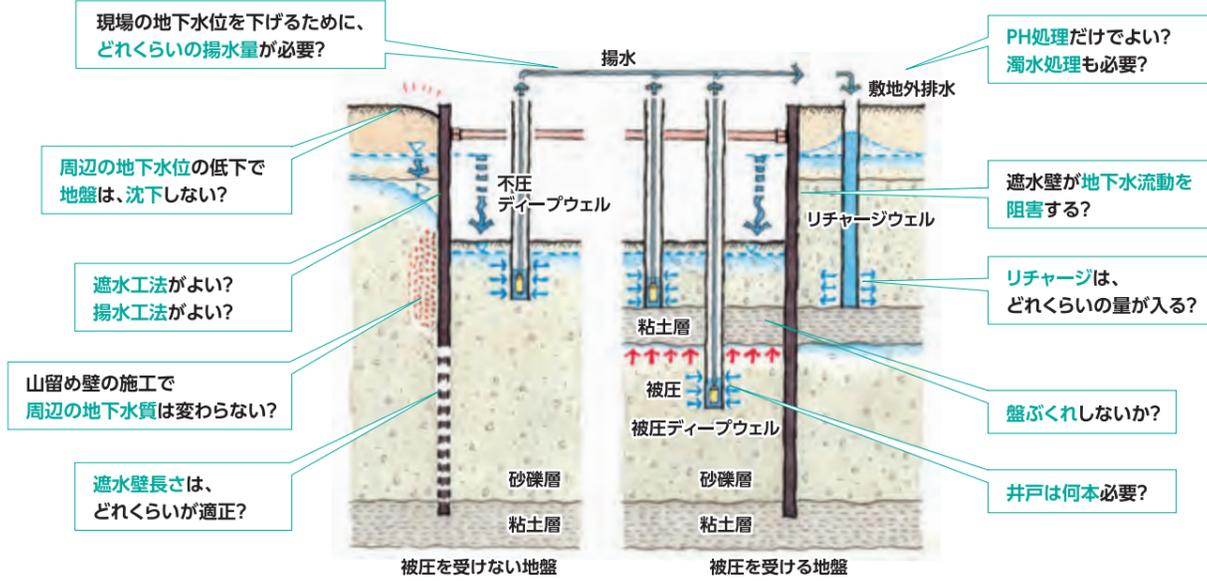
地下水位(自由水位)よりも深い掘削が始まりました。
地下水にまつわるさまざまなトラブルが記されています。
ひとつずつ注意深く読み解いてみましょう。



地盤を対象とした建設工事において、地下水の“ある”“なし”が、工事の難しさを大きく左右します。そして、工事におけるトラブルのうち、一度発生すると、解決に多大な労力や時間がかかるのは、地下水に関するトラブルです。地下水問題の難しさや多様さは経験して身に沁みて感じるものですが、事故を未然に防ぐためにも、山留めや地下水処理の知識を深め、適切な対策を事前に計画できる技術者を目指しましょう。

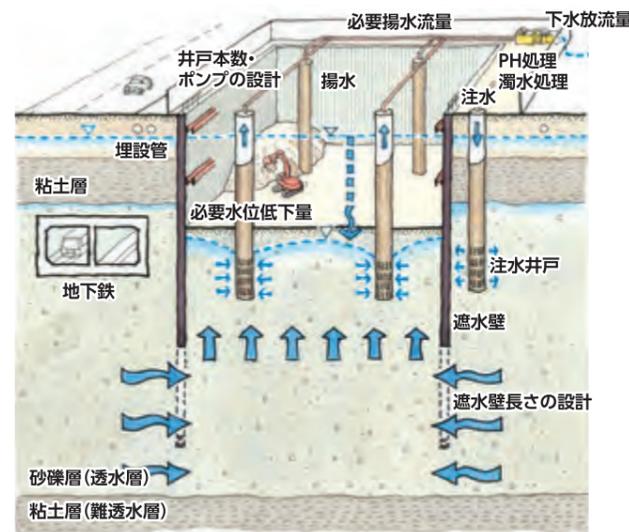
地下水処理検討の着目点

地下水位よりも深い掘削を伴う工事では、ドライワークの確保や床付け面の安定、周辺環境への配慮のために地下水処理検討が必要となります。地下水処理検討は、土層構成や地下水の種類などの地盤条件だけでなく掘削深さや工事計画に応じて検討する着目点が多様にあります。

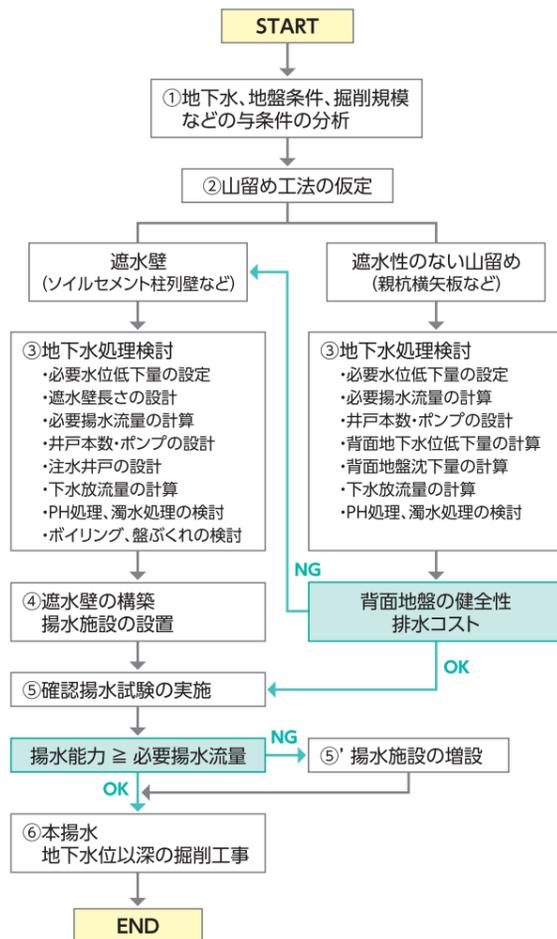


地下水処理計画の基本フロー

地下水処理計画の基本フローは、まず地下水・地盤条件・掘削の規模を把握し、山留め工法を仮定します。遮水性のない山留めの場合は、背面地盤の健全性や排水コストなどから可否を判断します。遮水壁の場合は、必要揚水量や遮水壁長さ、井戸の設計をしたのち、確認揚水試験を掘削の事前に実施して、計画の妥当性を確認します。また、遮水壁の場合、盤ぶくれ、ボイリングなどの床付け面の安定の検討も必要となります。



地下水処理検討の概念図



地下水処理計画の基本フロー

地下水調査の目的と方法

地下水処理の計画において、地下水位と地盤の透水係数の把握が必須となります。地下水位は、地下水の種類によって調査方法が異なります。透水係数は、試験方法が多くありますが、試験方法によって透水係数にばらつきがあり、地下水処理の検討結果に大きく影響します。

地下水位の調査

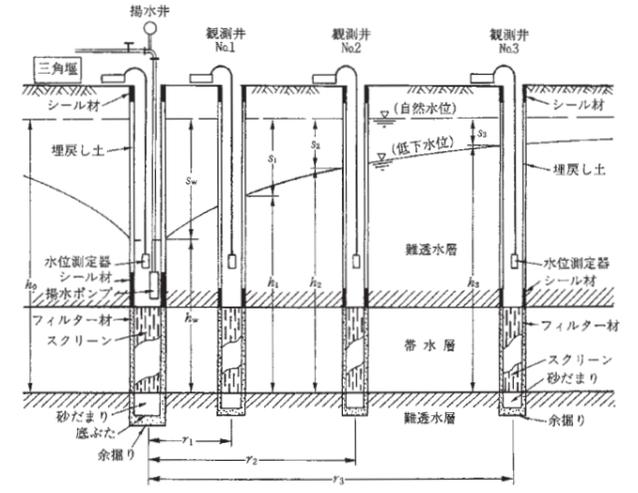
- 不圧地下水位…標準貫入試験の無水掘り水位 観測井による水位
- 被圧地下水位…透水試験・揚水試験時の平衡水位

透水係数の調査

透水係数を求める試験方法は、一般的に次の4つが挙げられます。

- 1 単孔式透水試験
- 2 室内透水試験
- 3 多孔式揚水試験
- 4 土の粒度試験(クレーガー法)による推定

①と②はボーリング孔の局所的な試験に対して、③は広範囲の水位変化を評価することから、大規模な地下掘削工事の地下水処理の計画には、③「多孔式揚水試験」を実施することを推奨します。また、④「土の粒度試験」による透水係数の推定は、ばらつきが大きく精度が低いいため、①～③の試験結果の妥当性を評価する程度の利用が望ましいです。また、地盤の透水性には、土の堆積状況から水平方向と垂直方向で異なることがあり、透水係数の異方性調査を行う場合もあります。



多孔式揚水試験の試験概念図¹⁾

D_{20} (mm)	k (m/s)	D_{20} (mm)	k (m/s)
0.005	3.0×10^{-8}	0.18	6.85×10^{-5}
0.01	1.05×10^{-7}	0.20	8.90×10^{-5}
0.02	4.00×10^{-7}	0.25	1.40×10^{-4}
0.03	8.50×10^{-7}	0.30	2.20×10^{-4}
0.04	1.75×10^{-6}	0.35	3.20×10^{-4}
0.05	2.80×10^{-6}	0.40	4.50×10^{-4}
0.06	4.60×10^{-6}	0.45	5.80×10^{-4}
0.07	6.50×10^{-6}	0.50	7.50×10^{-4}
0.08	9.00×10^{-6}	0.60	1.10×10^{-3}
0.09	1.40×10^{-5}	0.70	1.60×10^{-3}
0.10	1.75×10^{-5}	0.80	2.15×10^{-3}
0.12	2.60×10^{-5}	0.90	2.80×10^{-3}
0.14	3.80×10^{-5}	1.00	3.60×10^{-3}
0.16	5.10×10^{-5}	2.00	1.80×10^{-2}

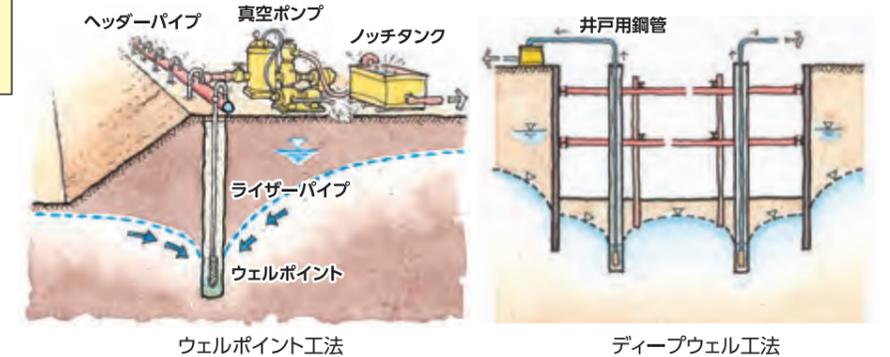
クレーガーによる D_{20} と透水係数²⁾

揚水計画

水位低下量	土質		
	砂質シルト	砂	礫
0m	ウェルポイント工法		
5m			ディープウェル工法

揚水工法選定の目安

揚水工法では、ウェルポイント工法とディープウェル工法が一般的に用いられます。ウェルポイント工法は、比較的浅い掘削に適用します。ディープウェル工法は、地中深く設置して、深い掘削時の地下水位低下に用いられるだけでなく、掘削深さに関係なく大量の水を効率よく排水したい場合にも用いられます。



出典 1) 公益社団法人 地盤工学会 地盤調査の方法と解説
出典 2) 公益社団法人 地盤工学会 地盤材料試験の方法と解説

ヒービングの検討

ヒービング現象

軟弱な粘土を掘削したとき、山留め壁の背面の土塊や上載荷重などにより、すべり面に沿って背面地盤が回り込み、床付け面が大きく膨れ上がる現象をヒービングといいます。山留め背面の土塊重量による滑動力と、すべり面のせん断抵抗力を比較します。

ヒービングの検討式

(a) 切梁がある場合

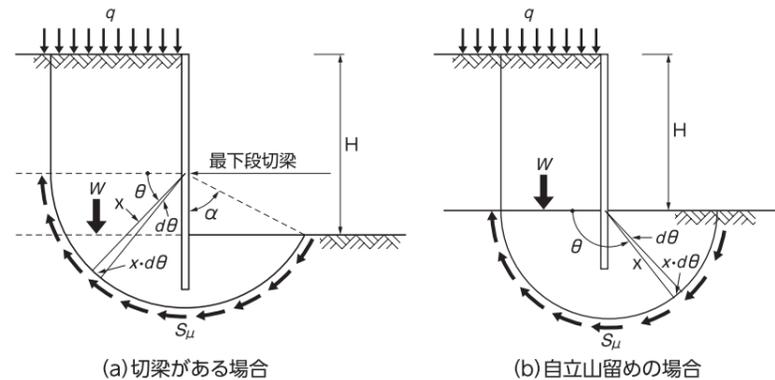
$$F = \frac{M_r}{M_d} = \frac{x \int_0^{\frac{\pi}{2} + \alpha} S_u x d\theta}{W \frac{x}{2}} \geq 1.2$$

(b) 自立山留めの場合

$$F = \frac{M_r}{M_d} = \frac{x \int_0^{\pi} S_u x d\theta}{W \frac{x}{2}} \geq 1.5$$

F	ヒービングの安全率
M_r	単位奥行きあたりのすべり面に沿う地盤のせん断抵抗モーメント(kN・m)
M_d	単位奥行きあたりの背面土塊などによる滑動モーメント(kN・m)
S_u	地盤の非排水せん断強さ(kN/m ²)
x	検討すべり円弧の半径(m)
α	最下段切梁中心から床付け面までの間隔と検討すべり円弧の半径で決まる角度(rad) ただし、 $\alpha < \pi/2$
W	単位奥行きあたりの滑動力(kN) $W = x(\gamma_t H + q)$
H	掘削深さ(m)
γ_t	土の湿潤単位体積重量(kN/m ³)
q	地表面で考慮する上載荷重(kN/m ²)

ヒービングの検討¹⁾

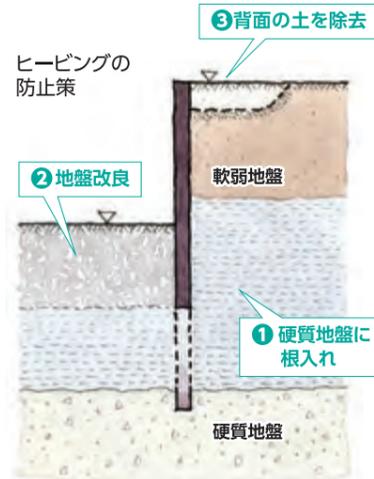


ヒービングの防止策

- 山留めを硬質地盤に根入れする…①
- 掘削側地盤を改良する…②
- 背面側の土を除去して軽くする…③

ヒービングが発生した時の緊急対策

- 掘削側地盤を埋戻して、土被りを高くする
- 背面側の土を除去して軽くする
- 山留め支保工を追加して山留め変位の増大をとめる
- 掘削側地盤を改良する



ボーリングの検討

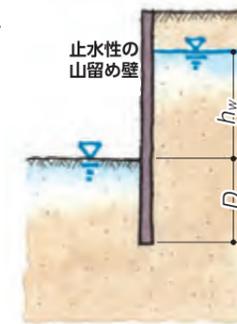
ボーリング現象

地下水位が高い砂地盤を掘削したとき、掘削の内外の水位差によって床付け面に上向きの浸透流が生じ、この浸透力が砂の水中重量よりも大きくなった場合、ボーリングが発生します。床付けの土塊重量と、山留め背面と掘削側の水位差による水圧を比較します。

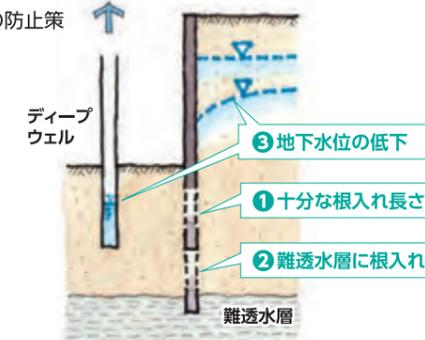
$$\text{ボーリングの検討式} \quad F = \frac{2\gamma' D}{\gamma_w h_w} \geq 1.2$$

F	ボーリングの安全率
γ'	土の水中単位体積重量(kN/m ³)
D	遮水壁の根入れ長さ(m)
h_w	水位差(m)
γ_w	水の単位体積重量(kN/m ³)

ボーリングの検討



ボーリングの防止策



ボーリングの防止策

- 十分な根入れ長さの遮水壁を設計する…①
- 山留めの先端を難透水層に根入れする…②
- ディープウェルなどにより地下水位を低下させる…③

ボーリングが発生した時の緊急対策

- 掘削側地盤を埋戻して、土被りの重量を大きくする
- 薬液注入工法などにより、遮水壁の長さを長くする
- 掘削側地盤を薬液注入工法などにより、難透水層を造成する

盤ぶくれの検討

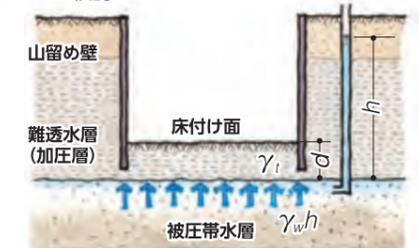
盤ぶくれ現象

床付け面の下に、粘性土や細粒分が多い砂質土などの難透水層と、その下部に被圧を有する帯水層があり、被圧地下水の揚圧力が土被り重量より大きい場合、盤ぶくれが発生します。床付け面から被圧帯水層の間の土塊重量と、被圧帯水層の揚圧力を比較します。

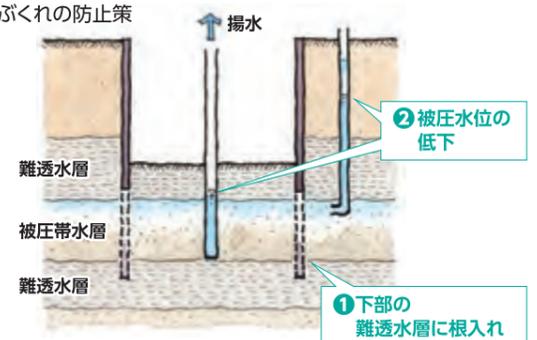
$$\text{盤ぶくれの検討式} \quad F = \frac{\gamma_t d}{\gamma_w h} > 1.0$$

F	盤ぶくれの安全率
γ_t	土の湿潤単位体積重量(kN/m ³)
d	床付け面から難透水層下端までの距離(m)
γ_w	水の単位体積重量(kN/m ³)
h	被圧帯水層の水頭(m)
$\gamma_w h$	難透水層下端に作用する被圧水による揚圧力(kN/m ²)

盤ぶくれの検討



盤ぶくれの防止策



盤ぶくれの防止策

- 遮水壁を被圧帯水層以深の難透水層まで根入れする…①
- ディープウェルなどにより被圧水位を低下させる…②

盤ぶくれが発生した時の緊急対策

- 掘削側地盤を埋戻して、土被りの重量を大きくする
- ディープウェルなどを増設し、被圧水位を低下させる

出典 1) 一般社団法人 日本建築学会 山留め設計指針 (2017)

知っておきたい出水対策

地下工事の出水に対する心得

出水事故は、現場内が水没するだけでなく、周辺建物やインフラへ甚大な影響を及ぼしたり、場合によっては大惨事につながり人命にかかわる重大な事象です。また、復旧にも大変な労力と時間が必要となります。出水事故を起こさないよう、日常管理の勘所を養うことや、事象が発生した時の対処方法を理解しておくことがとても大切です。



日常管理

①山留め壁の表面の確認

山留め壁面に染み出し、ひび割れ、漏水、異物がないか、毎日チェックします。気になる箇所はスプレーなどでマーキングして日々の変化を管理します。



②計測データの確認

山留め壁の変位や地下水位の計測を毎日確認し、管理値の確認と急激な変化の有無を管理します。



③山留め杭の施工記録の確認

山留め杭施工において、障害物や高止まり、鉛直精度不良や機械故障などの事象を確実に記録しておき、注意箇所として重点的に点検できるようにしておきます。



出水初期対応の基本動作

①止水処置、連絡

急結材を出水部に埋め込んだり、ホースで水を逃がしながら鉄板を貼り、止水します。並行して、消防・インフラ・近接物施設管理者など、関係機関へ連絡し、時系列の整理を始めます。

②出水量の計測と砂の流出の確認

出水している水をバケツなどに流し、時間当たりの出水量と砂量を計測します。経時変化が重要なため、計測は定期的に繰り返し、記録します。

③出水増加への備え

止水処置の効果がでないことを想定して、緊急体制や資材の準備、薬液注入工事業者へ連絡するなど、次の処置の準備をします。



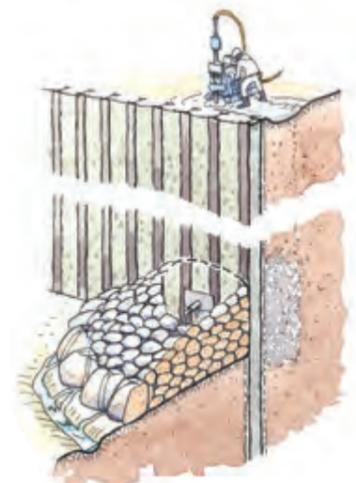
初期対応では止水できない出水量の基本動作

①背面地盤への薬液注入

背面地盤に薬液注入を施し、出水量の減少が見られたら、すぐ鉄板で塞ぎます。出水量が多くなるほど、薬液注入での止水は難しくなります。ゲル化を早くしたり、出水箇所から少し離れた位置から注入するなど、工夫しましょう。

②流速の低減

薬液注入の効果を発揮するために、流速を遅くすることを考えます。一般的に土嚢を積み上げたり、角木材を押し込む方策がありますが、角木材は出水口を傷つける可能性もあるため、慎重に方策を考えましょう。



大量出水時の対応例

出水事故を経験した先輩の声

出水事故対応の恐ろしさ、大変さは経験がないとイメージし辛いものです。経験者の声を参考に、万全の対策を取りながら工事を進めることが大切です。



山留め壁の品質不良を見つけていたが、水が出ていなかったため、見逃していました。鉄板を貼っておけばよかった。

地盤が沈下したかどうかを把握するために、事前に周辺地盤のレベル計測をしておいてよかった。



水浸しになると沼地になって歩けなくなりました。出水した水を水中ポンプに流す水路を早く作りましょう。



チョロチョロだった出水が数時間後には大量になりました。早く初期対応をしておけばよかった。

緊急体制の組織づくりと適材適所の人員配置が大切です。

緊急対応に備えて備品や道具を常備するようにしています。



緊急対応用資機材参考例

出水事故対応に必要な資機材の例を示します。下記の他にも、現場の状況に応じて必要な資機材は異なります。工事関係者で事前にシミュレーションを行い、万一の出水に備えるようにしましょう。

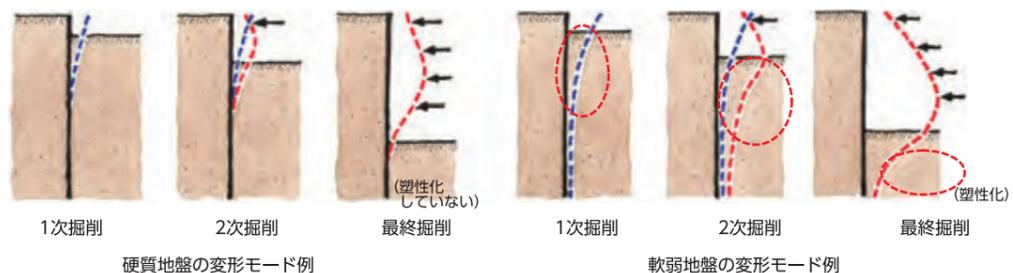
出水対応用資機材の例

資材関係	工具関係	電気関係
急結セメント	スコップ	無線機
ビニルホース	モッコ	投光器
鉄板	ペール缶	水中ポンプ
土嚢	ペットボトル	延長コード
ブルーシート	ゴム手袋	電動チップパー
サニーホース		
番線		

01 軟弱地盤の留意点

Q1 軟弱地盤と硬質地盤の違いを教えてください。

A1 軟弱地盤とは、一般的に粘性土層においてN値4以下、砂質土層にてN値10以下の地盤を示します。一方、硬質地盤とは主に、粘性土でN値10以上、砂質土でN値30以上の堅固な地盤を指します。軟弱地盤での掘削時には、山留め壁は下図に示すように地中深くから大きく変形する特徴があります。したがって計画時には、山留め応力材が塑性化していない地盤に根入れされているかも重要な確認項目のひとつとなります。



Q2 軟弱地盤での山留め計画や掘削計画の留意点を教えてください。

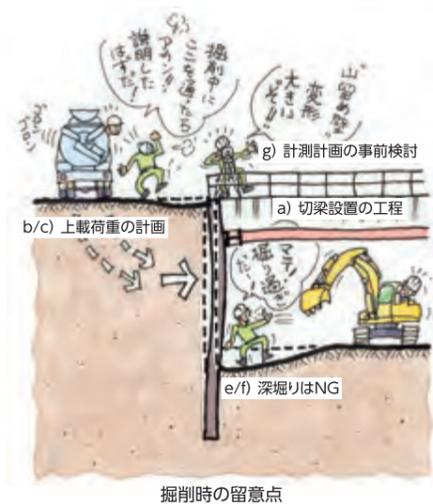
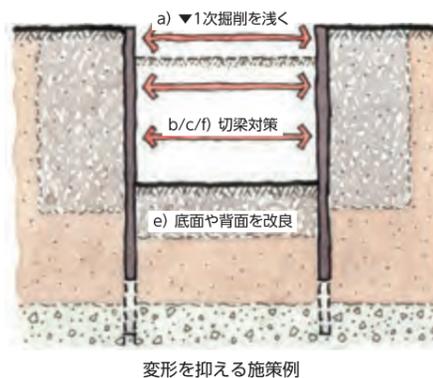
A2 軟弱地盤は山留め壁に大きな側圧がかかることから変形が大きくなります。いかに変形を抑えるかを考えることが大切です。

■山留め計画

- a) 1次掘削を極力浅くする。
- b) 切梁の段数を増やす、間隔を狭くする。
- c) 切梁のプレロード量を大きくする。
- d) 硬質地盤に根入れする。
- e) 床付け面や山留め背面を地盤改良する。
- f) 山留め応力材や切梁の仕様をあげる。

■掘削計画

- a) 掘削後、速やかに切梁を設置する。
- b) 背面に計画以上の上載荷重を載せない。
- c) 山留め壁付近は、車両や重機の通行、作業を極力避ける。
- d) 工事車両の出入りは極力山留めの中央部分 を避ける。
- e) 計画以上に深く掘らないようにする。
- f) 鋭敏比の高い粘土は乱さないようにとくに注意する。【豆知識 参照】
- g) 山留め変位および周辺地盤の計測を必ず行う。

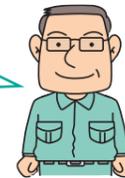


山留めの根入れ長さはしっかり管理しよう！ 大事故につながるよ。



変形が止まらない!山留め壁の大変形

山留め芯材先端の変形量がゼロになっているけど、確認が必要だね。[p.59参照]

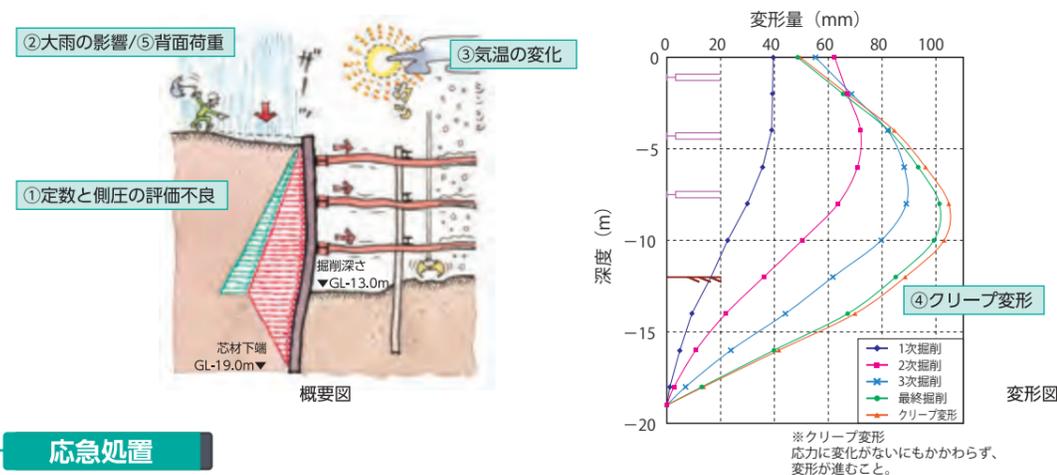


●トラブル内容

- 最終掘削まで掘り進む中で、山留め壁が大きく変形し、掘削背面側のフェンス基礎が傾いた。

●原因

- ①計画時の土質定数(粘着力C)の過大評価、床付け以深の側圧の過小評価
- ②突発的な大雨による一時的な側圧の増加
- ③急激な温度低下による切梁支保工の縮み
- ④掘削後も経時的に増大するクリープ変形
- ⑤計算に算入していない背面荷重



●応急処置

- 管理値を超過した際に支保工を増設する計画に変更した。
- 計測頻度を増やし、監視を強化した。
- 地下水位の局所的な上昇に伴う影響を低減するために、山留め背面に捨てコンクリートを打設した。

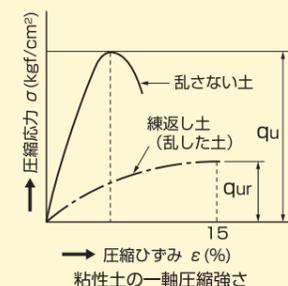
●教訓

- 土質定数を決定するための情報が乏しい場合には、追加の土質試験を行う。
- 背面の埋設インフラ、直接基礎の構造物、施工時荷重をよく確認する。
- 山留め変形量を正確に計測し、躯体(構造体)との離隔を十分にとる。
- 計画時には気候、天候変動にも目を向ける。

豆知識

鋭敏粘土とは

乱した際、極端にその強度が落ちる粘性土をいいます。右図で示す鋭敏比 $St(q_u/q_{ur})$ が4以上の土を指します。



トラフィカビリティの低下

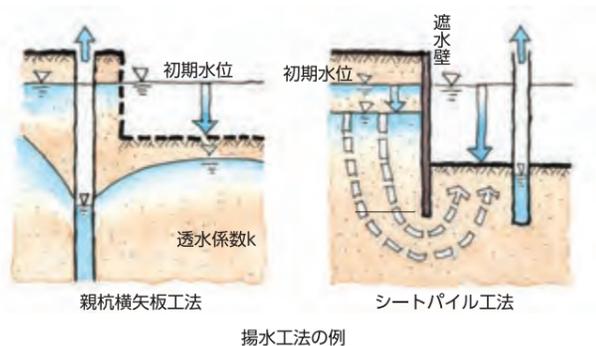
トラフィカビリティの低下とは

鋭敏粘土層での施工時には、重機の走行すら不可能となる場合があります。適切な改良を計画時から想定しておく必要があります。

02 被圧を受けない砂質地盤での留意点

Q1 明確な粘性土層が確認できない場合、山留め壁の工法をどのように決めればよいですか？

A1 遮水壁と揚水工法を併用する検討が必要です。地下水の揚水量(下水放流金額)と、遮水壁長さ(山留め壁の施工費)のコストおよび工程比較を行うとともに、工事に伴う背面地盤の沈下量なども考慮して、最適な組み合わせを選定します。
地盤の透水性によって、親杭横矢板工法が可能な場合もあれば、遮水壁を長く挿入する場合もあり、工事費に大きく影響する重要な検討事項となります。
[p.27参照]



Q2 揚水工法を採用する際の注意点は？

A2 揚水工法を用いて、多量の揚水を行う際に注意すべき点は以下の通りです。

① 周辺井戸などへの影響はないか。

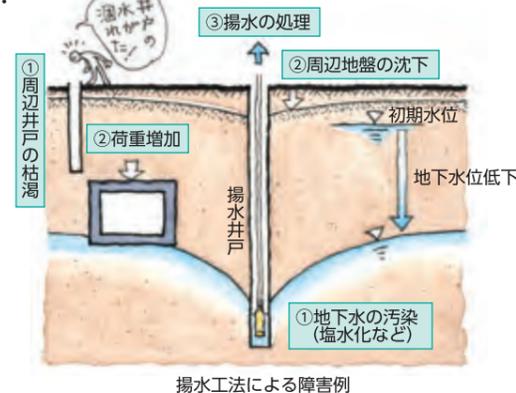
⇒ 周辺に地下水を汲み上げている設備がないかを事前によく確認する必要があります。酒蔵のある地域や、お寺・豆腐屋・湯葉屋など古くからある施設は要注意です。

② 周辺の地盤や構造物の沈下に問題はないか。

⇒ 地下水位を下げることで、地盤の間隙水圧が下がり、とくに粘性土地盤では構造物の沈下などが懸念されます。

③ 下水道などの排水処理能力に問題はないか。

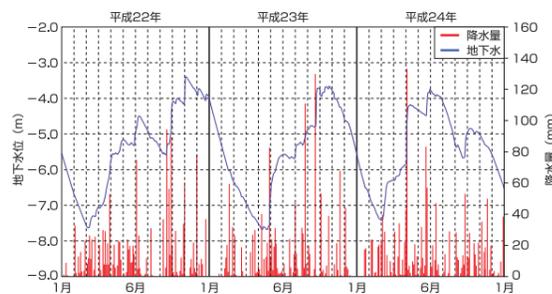
⇒ 計画排水量に対して排水設備の能力(容量)が満足しているか、放流域の許容値内かを事前に確認しなければなりません。



Q3 揚水工法を検討するにあたり必要な調査項目を教えてください。

A3 主に以下の調査を事前に行い、実施計画を立案する必要があります。

- 地盤の浸透特性の調査(透水係数など)
- 地層構成および難透水層の把握
- 水位変動(日変動、季節変動など)
- 周辺地下水の利用状況
- 周辺工事現場における揚水状況・停止時期
- 周辺の土地利用状況や河川水位の状況(水田の使用時期や河川の開門時期など)



(参考) 地下水位の季節変動

! トラブル事例

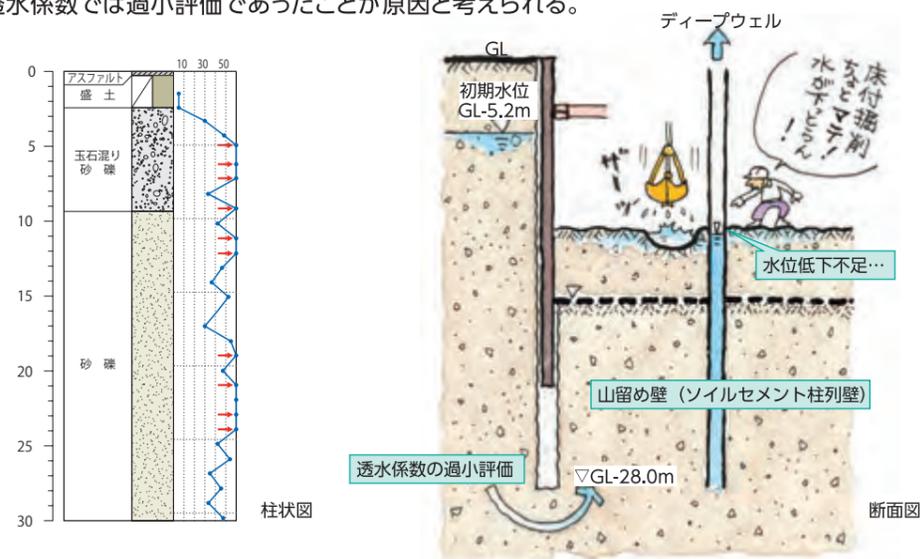
水位が床付け面より下がりきらない。

トラブル内容

● 礫層が続く地盤構成の現場で、最終掘削段階に床付け面より水位が低下しないことが判明した。

原因

● 土質調査報告書に記載の現場透水試験の結果を、地盤の透水係数として計画時に採用した。結果的に、その透水係数では過小評価であったことが原因と考えられる。



応急処置

● ディープウェル(DW)を増設した上で、砂礫層の深い位置に注水するリチャージウェルを施工した。

教訓

- 土質調査報告書に記載のある透水係数をそのまま用いて問題ないかよく検証する。
- 現場揚水試験などで床付けよりも水位が実際を下がることを掘削前に確認する。

想定揚水量の計算では、地盤の透水係数、水位低下量、帯水層厚の設定が重要です。



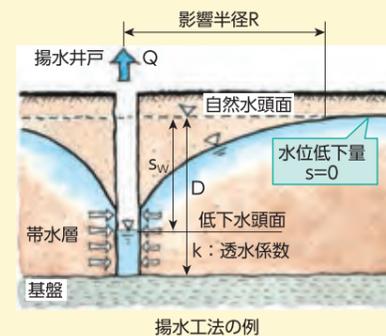
豆知識

地下水揚水の影響範囲

影響半径Rはシーハルトにて下式で示されています。

$$R = 3000 \Delta s_w \sqrt{k}$$

水位低下量 s_w (m) と地盤の透水係数 k (m/sec) により変化します。参考に土質による目安を右表に示します。



(参考) 土質と影響半径の関係¹⁾

区分	土質 粒径 (mm)	影響半径 R (m)
粗礫	>10	>1,500
	2~10	500~1,500
粗砂	1~2	400~500
	0.5~1	200~400
細砂	0.25~0.5	100~200
	0.10~0.25	50~100
シルト	0.05~0.10	10~50
	0.025~0.05	5~10

出典 1) 公益社団法人 地盤工学会 新編 土と基礎の設計計算演習

03 遮水壁の根入れの留意点

Q1 山留め壁の根入れ長さの設定に必要な検討を教えてください。

A1 山留め壁の根入れ長さは、地盤条件や工事条件に応じて、さまざまな検討が必要です。

①側圧の力のつり合い(右図)

背面側の側圧によるモーメントと掘削側の側圧によるモーメントが等しくなる根入れ深さの検討

$$F = \frac{M_p}{M_a} = \frac{P_p l_p}{P_a l_a}$$

$F \geq 1.2$

記号 F: 安全率

M_p : 抵抗モーメント (kN・m)

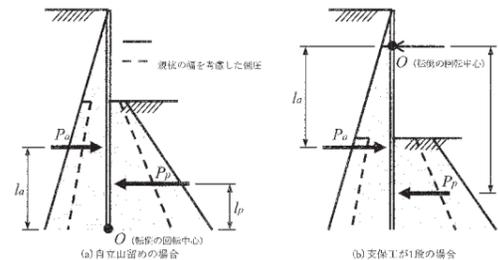
M_a : 転倒モーメント (kN・m)

P_p : 山留め壁掘削側側圧の合力 (kN)

P_a : 山留め壁背面側側圧の合力 (kN)

l_p : 転倒の回転中心から掘削側側圧の合力 P_p までの距離 (m)

l_a : 転倒の回転中心から背面側側圧の合力 P_a までの距離 (m)



モーメントの釣り合いによる根入れ長さの検討¹⁾

②掘削底の安定 [p.29・30・39参照]

ヒービング・ボイリング・盤ぶくれにおける根入れ深さの検討

③地下水の遮水 [p.27参照]

遮水層まで根入れする。遮水層が明確でない場合は、地下水処理計画との合理化による根入れ深さの検討【Q2参照】

④山留め壁の鉛直支持力

地盤アンカーなど、土圧以外の外力で山留め壁に鉛直方向に外力が作用する場合、地盤の支持力による根入れ深さの検討

Q2 遮水層が薄い場合や不連続な場合の対処方法を教えてください。

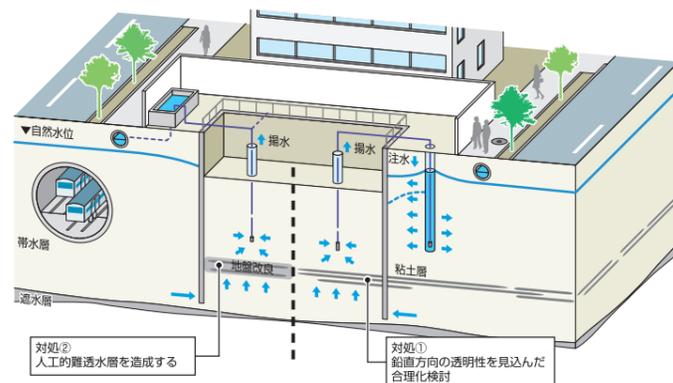
A2 遮水層(難透水層)が薄い場合(厚さ2m以下)や不連続な場合、遮水壁を根入れする層として期待してはいけません。遮水壁をどこまで長くするか、仮設井戸や排水の計画、周辺地盤の地盤沈下の計算など、安全性・工期・経済性を考慮した検討が必要になります。ここでは、特殊な対処例を紹介します。

対処例① 不連続な粘土層の鉛直方向の透水性を考慮した合理化検討

透水性は水平方向と鉛直方向とで異なる可能性があります。地盤調査にて水平・鉛直透水試験を行い、精度の高い透水係数を求めることで、経済的な根入れの検討ができる可能性があります。

対処例② 人工的に遮水層を造成

粘土層が無く、透水性が非常に高い砂礫地盤だけの地域もあります。掘削側の根入れ部分の地盤を改良し、人工的に遮水層を造成します。造成した遮水層が盤ぶくれを起こさないかなどを確認の上、地盤改良高さや深度を決定します。



明確な遮水層が無い場合の対処例

! トラブル事例

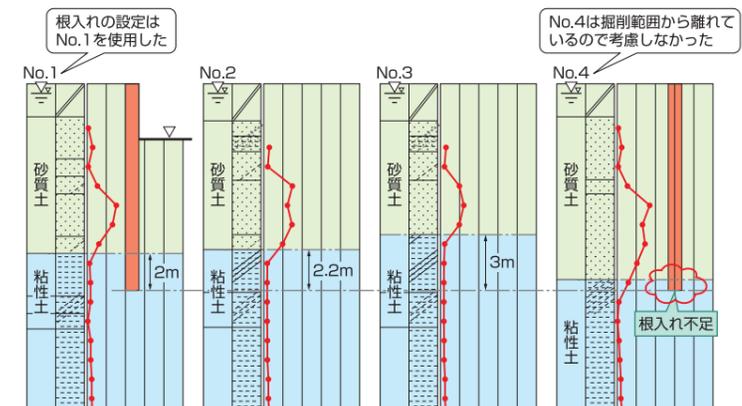
山留め壁(ソイルセメント柱列壁)の根入れ不足による出水

トラブル内容

● 地下工事のドライワーク確保のために、ソイルセメント柱列壁による遮水工法を選定し、不透水層に根入れする計画としたが、根入れ不足している箇所があり出水した。

原因

- 柱状図を見て、ソイルセメント柱列壁の根入れを遮水粘土層に2m 計画したが、遮水粘土層が傾斜しており、根入れの設定の判断を誤り、遮水粘土層に届いていない範囲があった。
- そのため、山留め壁下部の砂層を通じ山留め壁面に沿って、地下水が回り込み、ボイリング現象による出水が発生した。



応急処置

- 出水対策
応急処置として、山留め壁内外の水圧の安定を図るために、注水を実施する。
- 復旧対策(止水)
追加のボーリング調査により、粘性土の分布を把握し、出水箇所を特定する。
出水箇所の山留め壁の背部に薬液注入による止水処置を行った。

教訓

- 根入れする遮水粘土層の深度分布を把握し、適切に根入れを設定する。
とくに地層が傾斜している場合の根入れの設定は、安全側に配慮する。
- 与えられた地盤調査結果では判断が困難な場合は、追加の地盤調査を計画する。

粘性土まで到達しているかどうかは、山留め杭の施工時の重機オペレーターの感覚が参考になるよ。

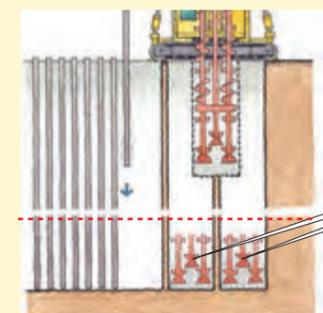
ボーリング資料は真剣に読み込もう!



豆知識

三軸機のロッド長さ

ソイルセメント柱列壁工法において、根入れ長さを設定する場合、多軸混練オーガー機のロッド長さは三軸機では、両端部のロッドが長く、中央のロッドが短くなっているため、根入れ長さの設定時は注意しましょう。



出典 1) 一般社団法人日本建築学会 山留め設計指針(2017)

04 被圧を受ける地盤 盤ぶくれ防止対策

Q1 盤ぶくれ検討はどのような場合に必要ですか？

A1 床付け面が難透水層であり、その下部に被圧帯水層がある場合に、盤ぶくれ検討が必要です。その検討結果から、必要に応じて止水・揚水などの対策をとり、床付け面の破壊を防止し、掘削作業が安全に進められるようにしなければなりません。

床付け面以深に複数の被圧帯水層が存在する場合は、それぞれの被圧帯水層ごとに盤ぶくれの検討を行い、山留め壁の必要根入れ長と揚水量を検討します。

(参考) 互層地盤での盤ぶくれ検討式

$$F = \gamma_t d (= \sum \gamma_{ti} d_i) / \gamma_w h$$

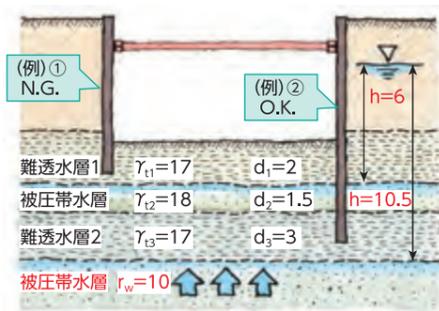
(例) ① <難透水層1への根入れの場合>

$$F = (17 \times 2) / (10 \times 6) = 0.57 < 1.0 \text{ N.G.}$$

② <難透水層2への根入れの場合>

$$F = (17 \times 2 + 18 \times 1.5 + 17 \times 3) / (10 \times 10.5) = 1.07 > 1.0 \text{ O.K.}$$

[p.30参照]



被圧地下水による盤ぶくれ検討

Q2 盤ぶくれ対策の揚水はいつまで稼働させればよいですか？

A2 掘削完了後の地下躯体構築により、被圧帯水層より上部の重量(土と新築構造物)が水圧よりも上回り、盤ぶくれが起きなくなる時点まで揚水します。

下図は、新築構造物を構築することにより、下部被圧帯水層からの水圧に抵抗する上部の重量が上回る時のイメージです。

(参考) 新築構造物構築後の盤ぶくれ検討式

$$F = \gamma_t d (= \sum \gamma_{ti} d_i) / \gamma_w h$$

(例) ① 被圧地下水の揚圧力

$$\gamma_w h = 10 \times 6 = 60 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

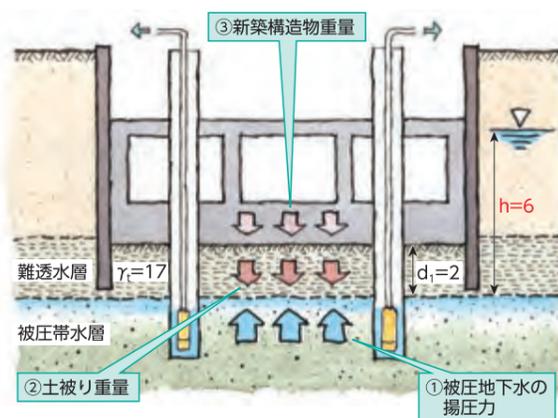
② 土被り重量

$$\gamma_t d = 17 \times 2 = 34 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

③ 新築構造物重量

26 (kN/m²) を超える重量

上記②+③>①となった場合、盤ぶくれの恐れがなくなり、ディープウェル揚水を停止できます。



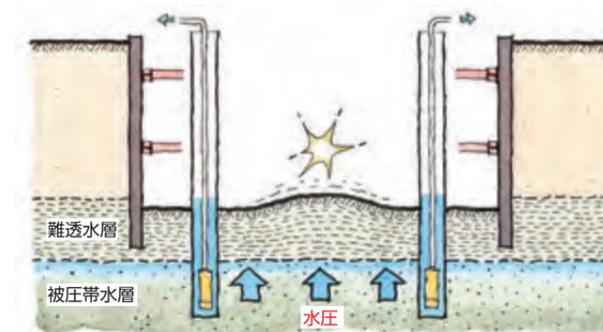
盤ぶくれの重量検討イメージ

! トラブル事例

揚水が不足して盤ぶくれ

トラブル内容

● 山留め壁を遮水工法で施工し、盤ぶくれ対策で床付け面難透水層下の被圧帯水層をディープウェル揚水で減圧していたが、掘削完了直前に、床付け面より盤ぶくれの前兆となるひび割れが生じた。



トラブル発生概略

原因

- ディープウェルのスリットに目詰まりが生じ、十分な揚水ができず、結果、下部被圧帯水層から押し上げる水圧を低減できなかった。
- 透水係数の読み間違いにより、想定以上の揚水量が必要であった。

応急処置

- 盤ぶくれが進展しないようにある程度埋戻し、揚水量を増やすためにディープウェルを増設した。水位低下を確認後、再度掘削し、盤ぶくれ現象が起きないことを確認できた。

教訓

- ディープウェルの揚水量を定期的を確認する
 - ① 流量計にて揚水量を管理する
 - ② 揚水量が減った場合の対策を協議する (原因により、目詰まり解消、ディープウェル増設計画など)

ディープウェルの日常点検はとても大切です。有事の対処方法を打ち合わせしておきましょう。



豆知識

盤ぶくれの前兆

盤ぶくれの前兆は、掘削面にて、地下水の揚圧力によって難透水層が持ち上げられ、無数のひび割れが発生したり、水がにじみ出ることがあります。このような危険な現象にならないように、地下水位低下工法、薬液注入による遮水層の構築、地盤改良などを事前に対策する必要があります。



盤ぶくれの前兆(ひび割れ)

05 被圧を受ける地盤 出水防止の計画と出水時の対処法

Q1 山留め壁から出水した場合の対処方法は?

A1 一般的な対処方法として、まずは出水部に土嚢を積み上げたり、山留め壁の背面から薬液注入することが挙げられます。出水の原因はさまざまですが、ソイルセメント柱列壁が部分的に不連続となる不良箇所が発生したり、揚水工法では地下水位を目標水位まで下げきれていないことなどが一般的です。

1. 緊急対策

土嚢を積み上げて出水を抑え、薬液注入を施します。

2. 出水が収まった後の対策

掘削を進めるに連れて、出水部を鉄板で補強します。出水部から導水管を繋げて最終的に下水排水します。



Q2 掘削中に底盤から出水した場合の対処方法は?

A2 掘削地盤より出水する主な原因と対処方法を、以下に挙げます。

1. 減圧不足

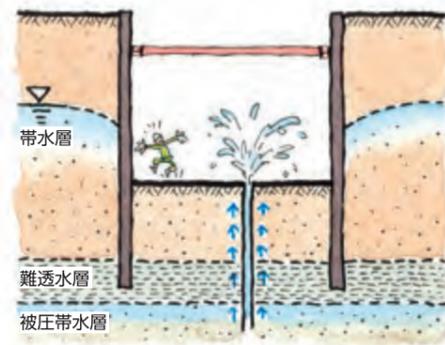
床付け面下の被圧帯水層の水圧を下げるためのディープウェル揚水量が不足した場合、盤ぶくれがNGとなる被圧帯水層を遮水することが重要です。

2. ボーリング孔、古井戸などからの出水

過去の地盤調査からボーリング孔や古井戸位置を調べ、確実に止水処置します。

3. 透水係数の読み違い

地盤調査結果報告書で示された透水係数以上の透水性の高い層があった場合、実情を正確に把握するために揚水試験が有効です。



ボーリング孔からの出水

Q3 古井戸の調査方法を教えてください。

A3 古井戸の調査は、一般的に以下のような項目があります。

1. 既設図面の確認(井戸台帳など)

2. 既設建物で井戸を閉塞した跡の有無を確認

事前調査では分からず、掘削中に古井戸を発見した場合は、湧水の有無を確認し、湧水を減らす対策が必要です。最終的には、掘削とともに切断して閉塞します。



古井戸

! トラブル事例

ソイルセメント柱列壁の出隅部からの出水

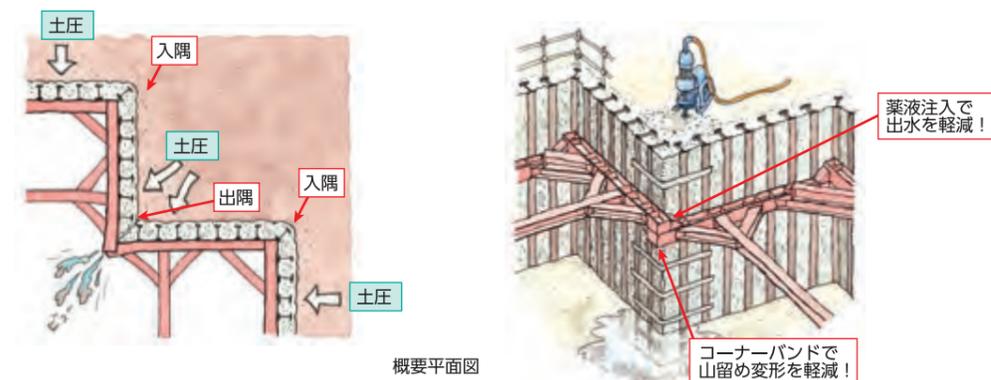
トラブル内容

●山留め壁にソイルセメント柱列壁を施工していたが、掘削中に山留め壁の出隅部より出水した。

原因

●掘削が進むにつれて、出隅部の山留め壁が変形し、連続するソイルセメントにひび割れが入ることで水に繋がった。

⇒出隅部の場合は土圧が突出部を開く方向に働くので構造上弱点になりやすい。



応急処置

●補強のコーナーバンドを貼り付け、導水管を取り付けることで掘削を完了させた。そのあと、ソイルセメント柱列壁の背面から薬液注入を試みるも、新たにソイルセメント柱列壁にひび割れが入り、出水量が増加したため、最終的には出隅部を全面的に鉄板で覆って対応した。

教訓

- 掘削の進捗により山留め変形が進むことで、出隅部のソイルセメントにひび割れが入りやすい
- 出隅部の背面に対策を講じているか (薬液注入やソイルの裏打ちなど)
- コーナーバンドなどで山留め変形を抑える対策を講じているか

出隅部は出水しやすいことを覚えておきましょう。



豆知識

井戸のお祓い・息抜き

古井戸が見つかった場合、井戸には水の神様が宿っているという言い伝えがあり、何のお祓いもしないで埋めてしまうと、生き埋めになった神様が怒ると考えられていました。土地柄における風習や習わしを大切に、お祓いや息抜きをする場合があります。神社の神主やお寺の僧侶に依頼するのが一般的です。



今までお世話になった井戸です。感謝の気持ちでお祓いしましょう。



06 ディープウェル閉塞時の留意点

Q1 ディープウェル(DW)閉塞時に確認すべき内容は？

A1 ディープウェルを閉塞するときには、以下の内容を確認します。

1.閉塞時期

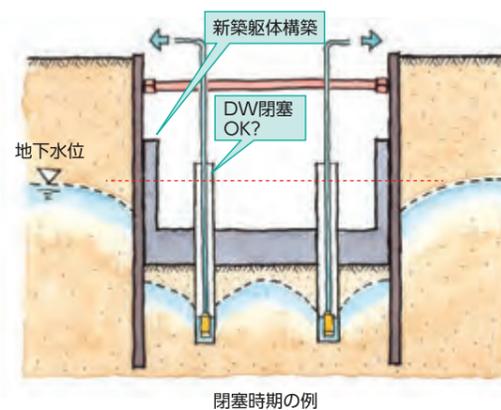
不圧ディープウェルは、地下工事のドライワークを目的としています。山留め壁からの出水がないレベルまで新築躯体を構築していることが閉塞条件となります。

被圧ディープウェルの閉塞は、床付け以深からの水圧に対して、上部の難透水層土塊と新築躯体の合計重量による上載圧が上回ることが条件です。

つまり不圧ディープウェルと被圧ディープウェルの閉塞条件が違いますので、兼用させないことが望ましいです。

2.排水を仮に止める

計画したディープウェル閉塞時期に、排水を一旦止めて、工事に影響が出ないかを確認します。出水などがある場合は、関係者と協議して対策を講じます。



閉塞時期の例

Q2 ディープウェル閉塞の手順を教えてください。

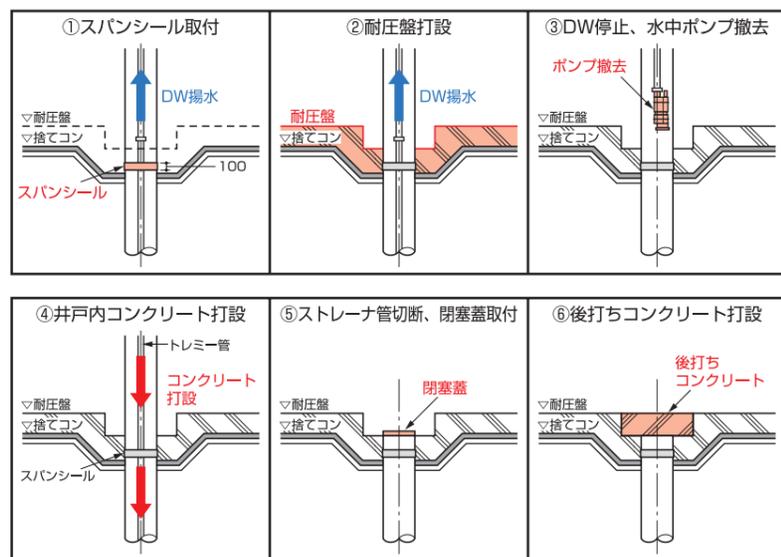
A2 ディープウェルを閉塞する手順は以下を参考にしてください。

1.不圧ディープウェルの場合

ストレーナー管切断後の閉塞蓋溶接中は、水中ポンプでディープウェル管内の水位を低下させておくことがポイントです。

2.被圧ディープウェルの場合

閉塞前にディープウェルの運転を停止し、被圧水位を回復させて水の動きを安定させたあとに、コンクリートを打設することがポイントです。



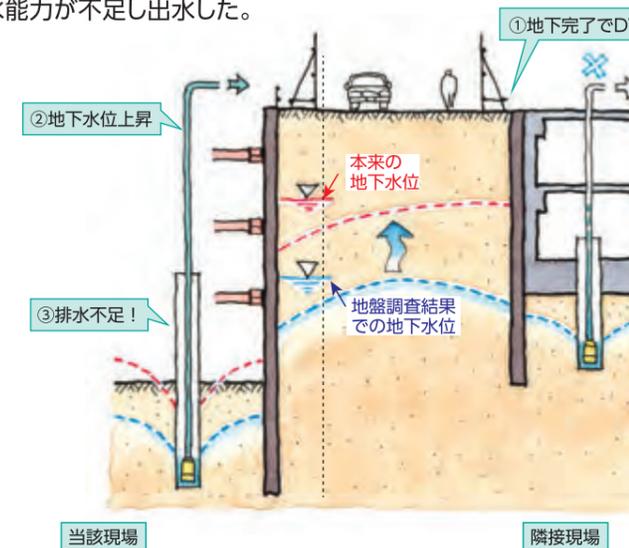
被圧DWの閉塞手順

！トラブル事例

隣接現場のディープウェル停止による水位上昇

トラブル内容

●隣接現場で稼働していたディープウェルが停止されたことで周囲の地下水位が上昇し、当該現場のディープウェル排水能力が不足し出水した。



原因

●隣接現場のディープウェルが稼働している時期に当該現場の地盤調査をしており、この調査で想定していた地下水位をもとに排水計画していたため、元地盤の地下水位を把握できていなかった。

応急処置

●水位を低下させるため、ディープウェルを増設した。

教訓

- 地下水位調査では、周囲の状況を正確に把握する。
- 隣接現場で排水稼働中の場合は、その排水量などの情報を考慮して排水計画を立てる。

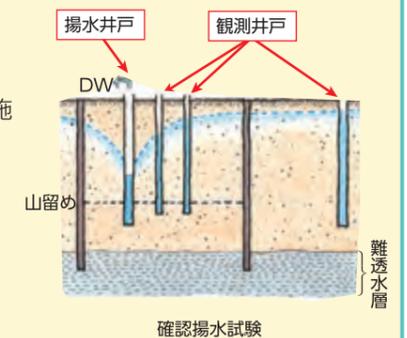
事前に工事周辺の状況をよく確認して計画しましょう。



豆知識

確認揚水試験

掘削工事着手前に揚水井戸を動かし、観測井戸の水位低下量を見て、施工した山留めが計画した通りの遮水性があるか確認します。地下水のトラブルを事前に防止するために重要な試験となります。



07 傾斜地におけるトラブル防止対策

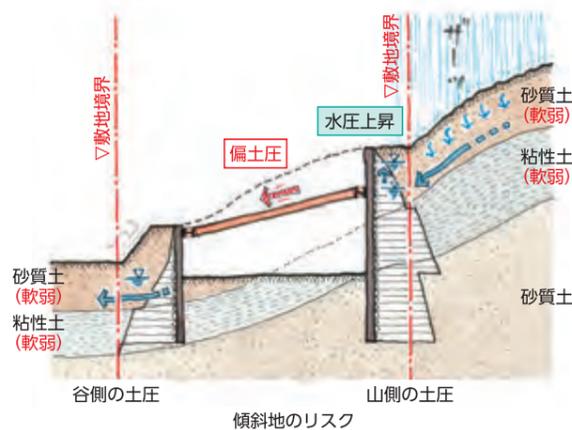
Q1 傾斜地での山留め計画のポイントを教えてください。

A1 傾斜地での山留め計画は、土質調査と現地の状況から以下に注意してください。

1. 土質調査から読み取れること

土質調査で地層の傾斜や地下水の勾配を確認する。

- ① 豪雨時に急激な地下水上昇で山留めに大きな水圧がかかるかもしれません。降雨時を考慮した安全側の水位設定が大切です。
- ② 水平切梁が必要な場合は、山側と谷側の土圧のバランスが成立する検討が必要になります。地層の傾斜に応じた適切な土圧の計算が大切です。



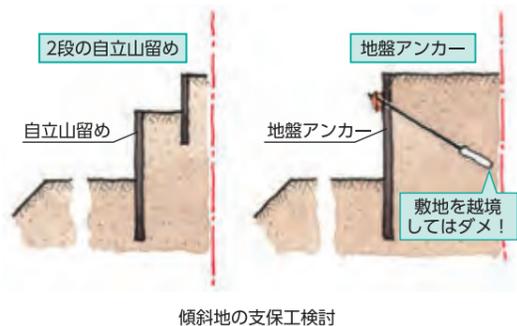
2. 現地調査から読み取れること

現地調査で山留め杭の施工方法や掘削方法、支保工計画をイメージする。

- ① 山留め杭の施工は、地盤の高低差により施工重機の制約が発生するかもしれません。現地の状況を踏まえた山留め工法の選定や施工地盤の造成計画が大切です。



- ② 傾斜地の山留め支保工は、偏土圧の対策が必要になります。敷地の制約を現地調査でしっかり把握して、2段の自立山留めや地盤アンカー、アイランド工法などの選択肢から、敷地条件に適した工法選定が大切です。



Q2 傾斜地での掘削工事の現場管理において、注意すべきことを教えてください。

A2 傾斜地の掘削工事では平坦地に比べてとくに以下のことに注意が必要です。

1. 計測管理

偏土圧や降雨時の水圧上昇など、傾斜地の山留めは特殊な外力を受けやすいので、山留めの変位や支保工の軸力、周辺地盤のレベルを計測して、挙動をしっかり把握してください。

2. 豪雨時の対策

傾斜地での豪雨は、雨水の流入や土砂の流出など、平坦地よりも大きな災害が発生するリスクがあります。豪雨を想定した仮設排水計画や豪雨時の緊急体制、備品の整備などのリスクへの備えが大切です。

！ トラブル事例

ゲリラ豪雨により、山留めが過大に変形した。

トラブル内容

- ゲリラ豪雨による急な背面水位の上昇により、山留め壁に過大な応力と変形が発生した。

原因

- 山留めの背面一帯に舗装面がなく、降雨が地中に浸透する状況にあった。ゲリラ豪雨によって一気に水位が上昇し、検討時に考慮した水位を超えたことにより、山側の山留め壁に想定以上の偏圧が作用し、変形が大きくなった。

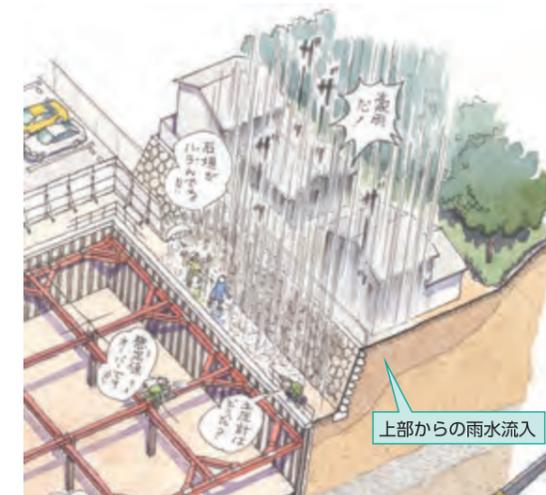
応急処置

- ディープウェルなどの排水設備の増強
- 水圧を見直した山留め計画を再検討して、支保工を増強

教訓

- 傾斜地では、豪雨時での水圧上昇を加味して山留めを設計する
- 親杭横矢板であっても、水圧を考慮した場合も検討して、応力・変形を確認し、リスクを把握する。
- 傾斜地ではとくに計測を入念に計画し、予測し得ない異常気象が起こったときにも、山留めや周辺の状態が把握できるようにしておく。

普通の降雨、大雨の日、周辺や現場の中がどう変化するか、観察する習慣が大切ですね。



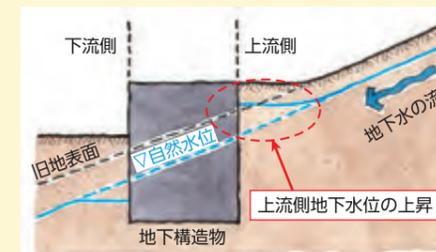
豆知識

斜面地建物の地下水への設計配慮

傾斜地で地下水に流れがある場合、建物構築後に地下水の流動阻害による近隣トラブル*があってははいけません。透水管や透水シートが設計図書に記載される場合もありますが、監理者との協議により、地下水の流動阻害防止対策を検討することが大切です。

* 流動阻害による近隣トラブルの例

- 上流側: 地盤の湿潤、湿気、植栽の根腐れ、漏水など
- 下流側: 地盤沈下、井戸枯れ、樹木の立ち枯れなど

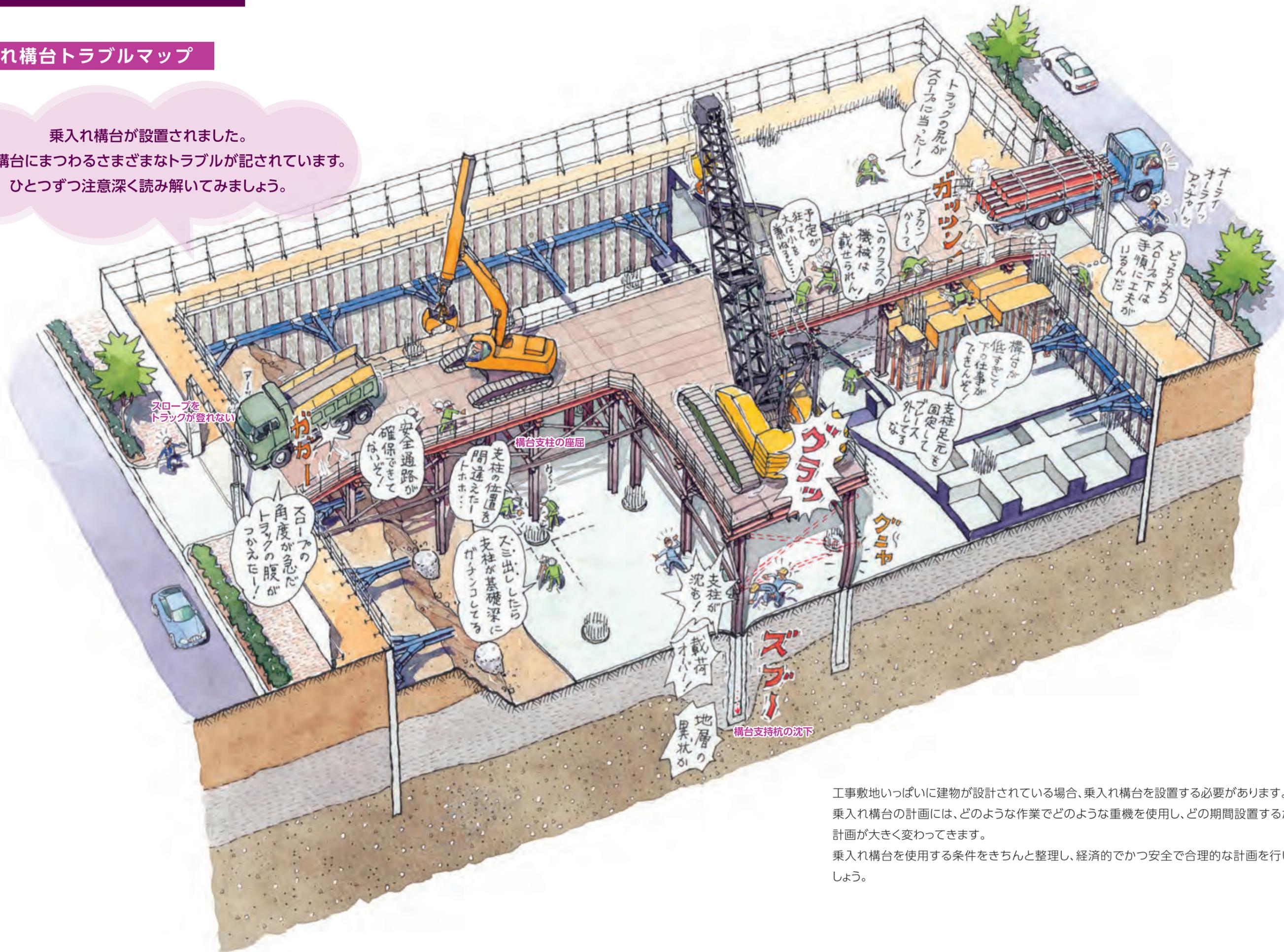


流動阻害の概念図

Ⅲ 乗入れ構台

乗入れ構台トラブルマップ

乗入れ構台が設置されました。
乗入れ構台にまつわるさまざまなトラブルが記されています。
ひとつずつ注意深く読み解いてみましょう。



工事敷地いっぱいに建物が設計されている場合、乗入れ構台を設置する必要があります。乗入れ構台の計画には、どのような作業でどのような重機を使用し、どの期間設置するかで計画が大きく変わってきます。乗入れ構台を使用する条件をきちんと整理し、経済的かつ安全で合理的な計画を行いましょう。

乗入れ構台の計画について

敷地に余裕がない市街地では、建物が敷地いっぱい設計されることが多いため、地下工事を行う際に乗入れ構台の計画が必要となります。具体的な計画のポイント、着目点を以下に示します。

- 構台の大きさ(幅・広さ)
- 工事車両動線(搬出入ルート)
- 構台の断面計画や支持形式
- 構台の高さ
- 耐荷重(使用重機の選定)
- 構台設置期間(時期)と解体時期 など

構台を使用するすべての作業を効率的に行うことができるよう、それぞれの工事の状況をイメージして計画することが大切です。また、狭隘敷地などにおいては構台を使用しながら地上躯体工事を行うこともあり、その際は地上工事の工事計画と構台の解体計画を連携させる必要があります。

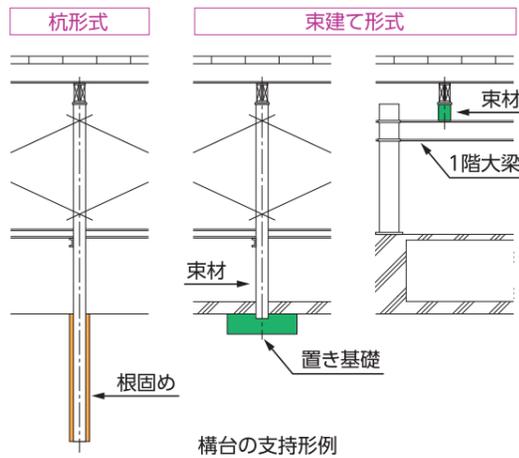
計画の留意点

構台形状 構台の面積は、掘削面積に対しておおむね20～30%程度を目安として計画されている事例が多くなっています。構台上には工事用車両が通行することになるため、入隅部分には隅切りを設けることにより車両が通行しやすくなります。

乗入スロープ 乗入スロープ勾配は通常1/8～1/10程度で設定し、大型車両が底を擦ることなく安全に通行できる計画とします。
[p.51参照]

構台設置時期・解体時期 工事全体の施工計画から、その設置時期と解体時期を入念に検討する必要があります。

支持形式 構台の支持形式には、杭形式や束建て形式などがあり、各現場に合わせた計画が必要となります。切梁支柱と構台支柱をやむなく兼用する場合は、それらの合力となる鉛直荷重に対する支持力とともに、水平力に対しても接合部を含めた架構の安定性を確認しなければなりません。



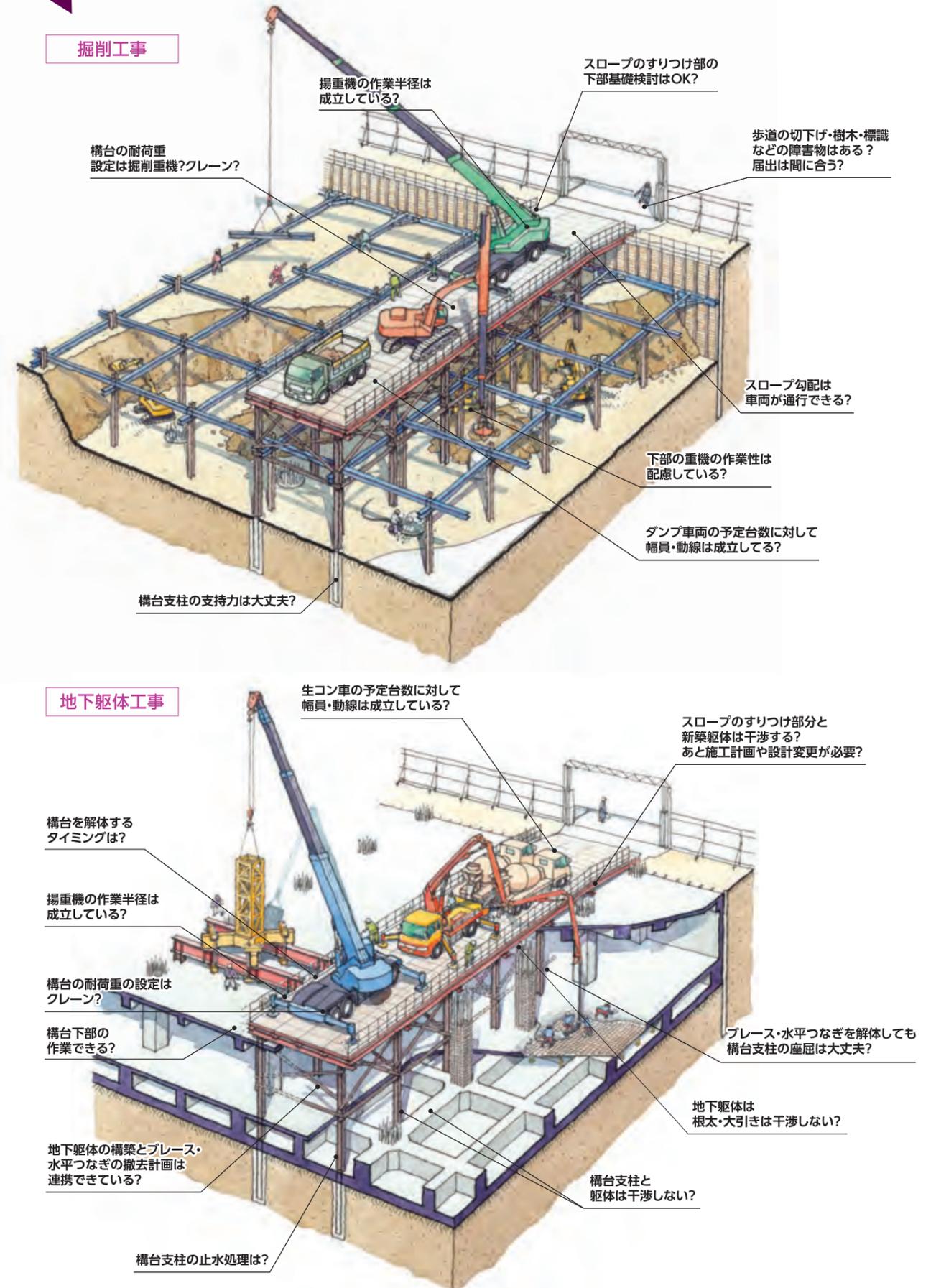
断面計画 構台支柱や下部工と呼ばれる垂直ブレース、水平つなぎは本体建物の主要構造部(柱、梁など)に干渉しないように計画しなければなりません。平面だけでなく断面方向の干渉がないことも確認する必要があります。また、地下躯体を構築したのちに下部工を解体(または盛替え)することになるため、地下躯体との高さ関係を整理し、施工手順との整合性を図ることも確認ポイントのひとつとなります。

安全設備(通路) 構台上の安全設備の計画が必要となります。重機などが作業していても安全通路が確保できているか、構台から作業エリアへの通路や昇降も計画のポイントとなります。

安全設備(手すり他) 構台上での荷下ろし作業時に、車両に作業員が上ると手すりの高さをこえる可能性があるため、荷下ろし用の安全設備の整備も必要となります。また、スロープ部で荷下ろしなどを行う際には必ず車両の逸走防止措置を行わなければなりません。

作業環境 構台の下部での作業は死角が多く、暗くなるため、仮設照明の計画が大切です。また、空気の流れる悪くなるため、換気計画も重要となります。

乗入れ構台計画の着目点



01 乗入れ構台 施工上の留意点

Q1 乗入れ構台の検討項目を教えてください。

A1 乗入れ構台を使用してどのような作業をするかを整理することが重要です。

1. 乗入れ構台に載せる重機は？

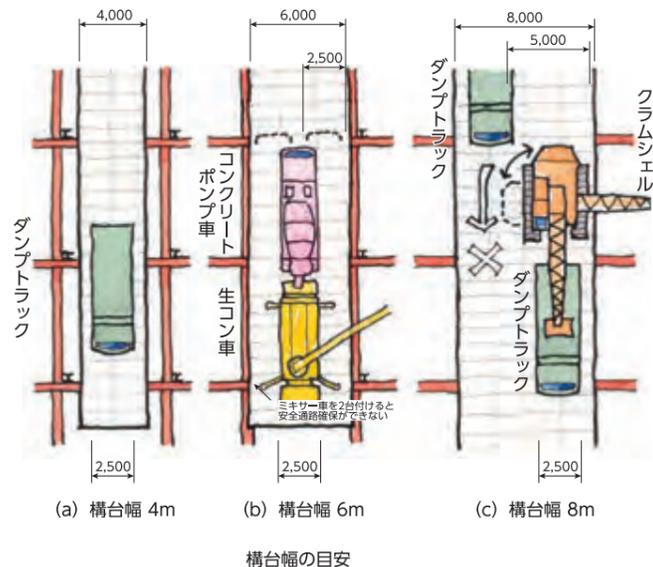
⇒重機の大きさや荷重が決まるため、乗入れ構台の幅や各部材の仕様が決まります。

2. 使用する期間は？

⇒各部材のリース期間が決まります。

3. 乗入れ構台を解体するときの状況は？

⇒地上鉄骨工事の進捗とともに解体する計画となれば、鉄骨工区割りに合わせて設計する必要があります。

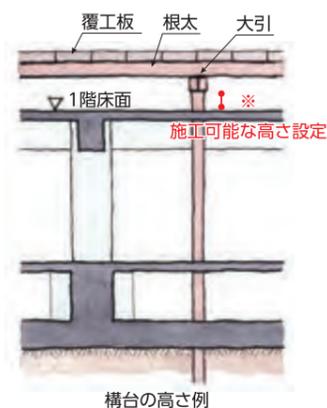


Q2 乗入れ構台の高さやスロープ勾配はどのように決めればよいですか。

A2 乗入れ構台を計画するとき以下の考慮が必要です。

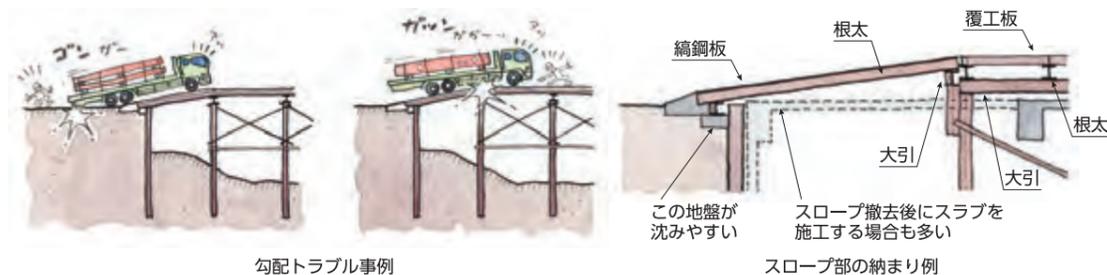
1. 乗入れ構台の高さ

⇒一般的には1階床の工事を乗入れ構台が架設されている状態で行うことになります。その場合、1階床の躯体工事(コンクリート打設やその押さえ工事)が施工可能な高さに、乗入れ構台の大引材の下端高さを決めます。そこから大引および根太のサイズ、それに覆工板の厚みを加えた寸法が乗入れ構台の天端(作業)高さになります。



2. スロープ勾配

⇒乗入れ部分の地盤高さと構台の作業高さとの間にスロープを設けます。トレーラーや大型トラックの走行可能な勾配とする必要があり、1/8~1/10以下の勾配が一般的となります。また、スロープ部分の大引および根太が地下躯体と干渉することがあるため、注意が必要となります。



Q3 構台支柱の配置で注意点は？

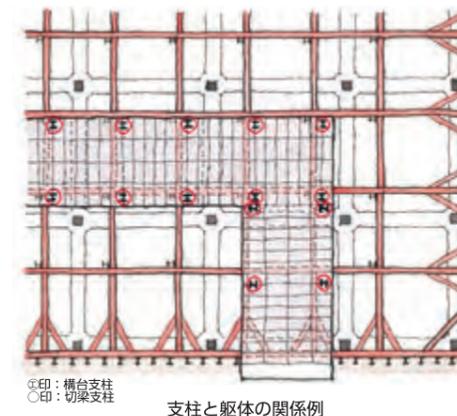
A3 おもに構台支柱の配置において注意すべき点は以下の通りです。

1. 躯体との干渉はないか。

⇒基礎地中梁や地下躯体との干渉がないかの確認が必要となります。地下に鉄骨がある場合は鉄骨の配置や建方方法まで検討が必要になります。

2. スラブ仮設開口位置に問題ないか。

⇒構台支柱がスラブを貫通し、仮設開口を設ける必要があるため、マンホールなどの打込金物の配置も確認しなければなりません。



！トラブル事例

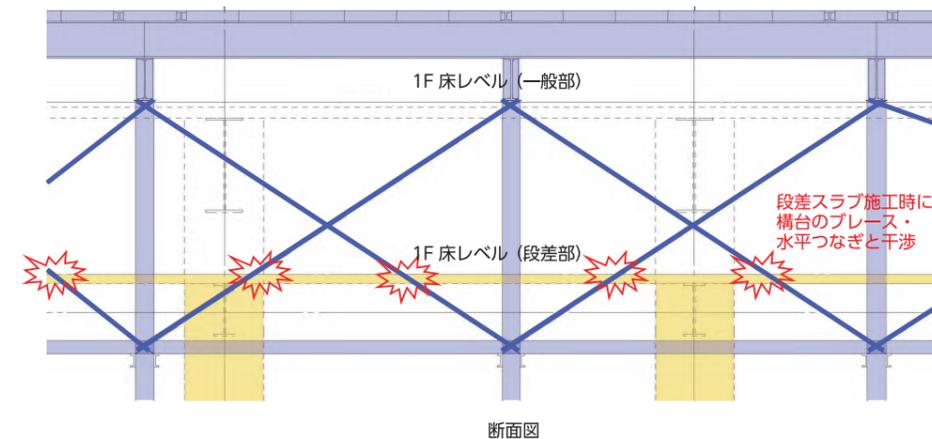
乗入れ構台の垂直ブレースが躯体に干渉

トラブル内容

掘削床付け作業が完了し、地下躯体工事を進めていくうちに、乗入れ構台の垂直ブレースが地下躯体と干渉していることが判明した。

原因

●地下躯体の図面と乗入れ構台の図面を重ね合わせて検討はしていたが、断面方向の検討が不十分であった。



応急処置

●垂直ブレースを地下躯体に干渉しない位置に盛替えを行う。

教訓

垂直ブレースや水平つなぎの高さは各施工段階で架構を安定させつつ、躯体との干渉を避ける必要があるため、躯体構築計画と垂直ブレースや水平つなぎの盛替計画の連携が重要となる。

構台の設計時には建物の設計図との整合確認が必要です。



IV 周辺への配慮

周辺環境のトラブルマップ

地下工事が引き起こす周辺トラブルは、社会問題にもなりうる大きなリスクであることがよく分りますね。工事中の計測管理・観測施工の重要性を学びましょう。

山留めの計画は、周辺地盤や地下水の状況・隣接建物や地下埋設物・仮設計画上の荷重などを勘案して計画します。しかし、計画段階で地盤の不均一性などの条件を定量的に把握して、周辺の影響を正確に評価することは非常に困難であり、計画と実際の差異を把握しながら工事を進めるための計測管理がとても大切です。

- 計測管理の目的**
- ① 工事の安全と周辺環境の保全を確保する
 - ② 工事計画の妥当性を確認する
 - ③ 今後の工事計画へ活かせる計測データを蓄積する

周辺への配慮

隣接建物計測管理

- 頭事前調査
- 沈下・傾斜
- ひび割れなど
- 目視観察

土圧

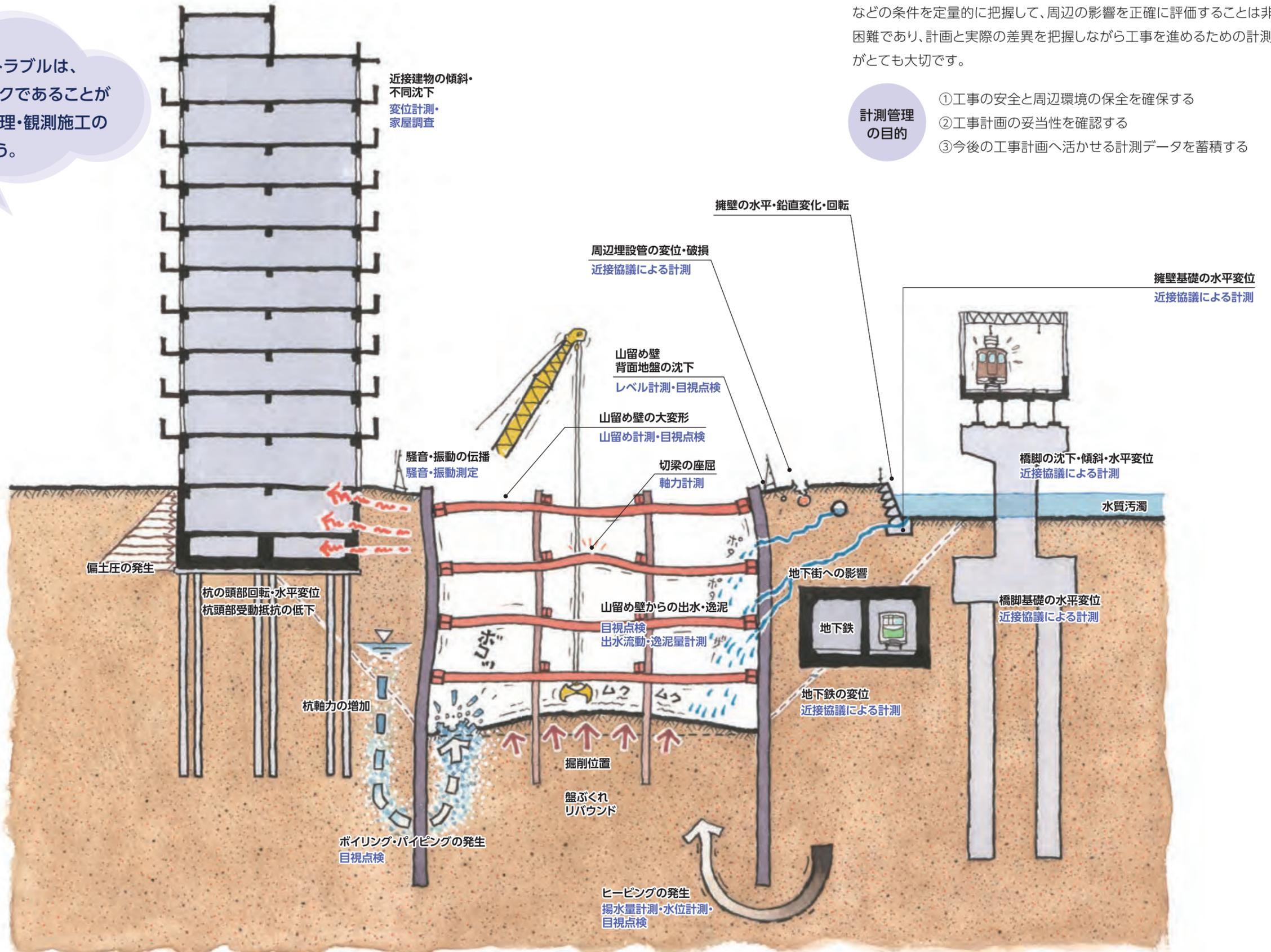
山留め支保工の計測管理

- 頭部変位
- 壁体変形
- 切梁軸力・気温
- 壁体・切梁の異常

被圧水

被圧の影響に対する計測管理

- 被圧水位・排水量
- 支持杭・棚杭のレベル
- 盤底面の異常



計測計画の立案

計測計画は、下記項目の順番に検討・立案していきます。

1 計測目的の設定

何を管理するために計測を行うのか、計測目的を検討します。

例) ①山留め架構の管理 ②周辺地盤や近接構造物の管理 ③地下水の管理 ④床付け底面の管理

2 計測項目の設定

計測目的に対して、何を計測すればよいか、計測項目を検討します。なお、工事の状況や変状を判断するための目視による点検項目も検討します。

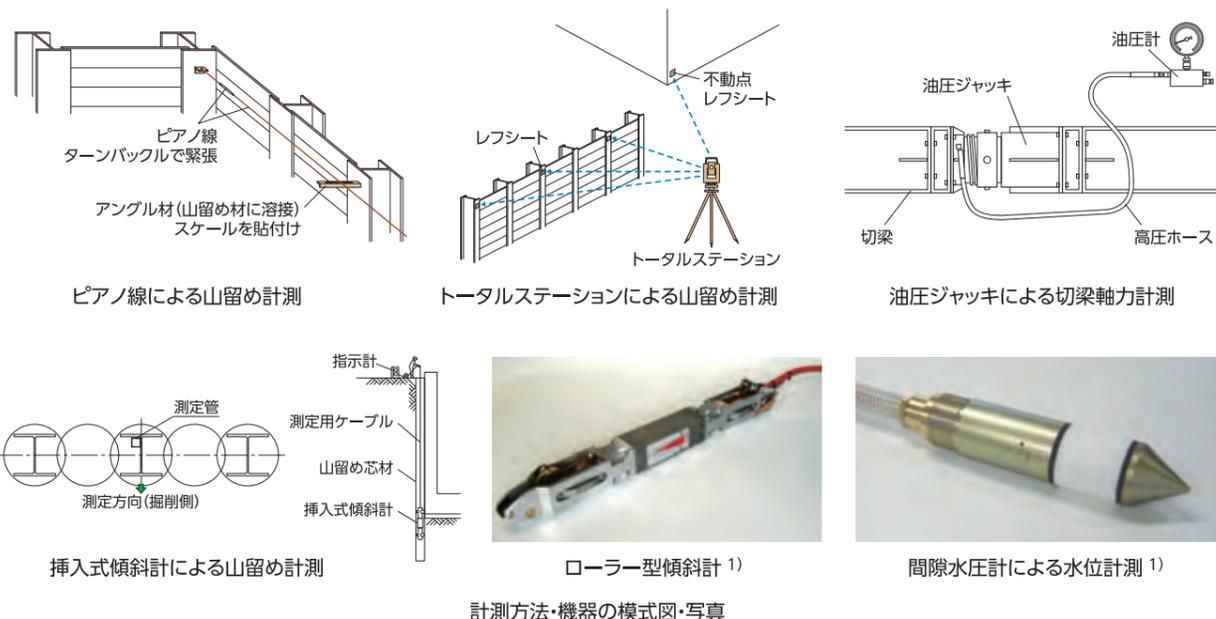
- ①山留め架構の管理 山留め壁の変形、支保工の軸力や変形、気温・温度、漏水箇所の点検
- ②周辺地盤や近接構造物の管理 周辺地盤や構造物の沈下・浮上り・水平変位、ひび割れの発生
- ③地下水の管理 地下水位、水質
- ④床付け底面の管理 地盤の鉛直変位、床付け以深の地下水位
- ⑤目視点検項目

目視点検項目	山留め架構	周辺地盤および構造物
	<ul style="list-style-type: none"> ●山留め壁の変位 ●土砂漏れ、漏水 ●亀裂、その他 ●切梁の通り状態 ●切梁、腹起し、仕口、継手、交差部などの状態 	<ul style="list-style-type: none"> ●舗装亀裂 ●地表面の亀裂 ●敷石、縁石の状態 ●構造物、埋設管などの事前状態 ●構造物、埋設管の変状 ●その他

3 計測方法・計測機器の選定

計測項目に対して、適切な計測方法を検討し、機器を選定します。

- 山留めの変形…ピアノ線、トランシット、トータルステーション、傾斜計(挿入式、多段式)
- 支保工の軸力や変形…軸力計、トランシット、レベル、ひずみ計、目視
- 気温・温度…温度計、熱電対 ●漏水箇所の点検・ひび割れの発生…目視
- 周辺地盤や構造物の沈下・浮上り・水平変位…レベル、トランシット、下げ振り、傾斜計、沈下計
- 地下水位…観測井、間隙水圧計 ●水質…分析 ●地盤の鉛直変位…層別沈下計、レベル



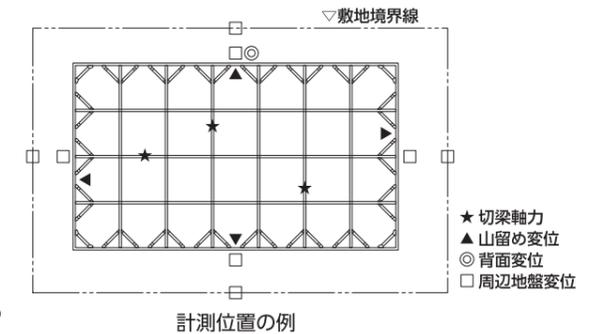
計測方法・機器の模式図・写真

4 計測位置の設定

各計測の目的を満足する位置を検討します。計測目的に応じて、下記の事項に注意して計測位置を決定します。

計測位置の設定のポイント

- ①山留め設計の計算値と対比できる位置
- ②安全管理上もっとも必要と思われる位置
- ③特異な点でもっとも危険側となる位置
- ④場内作業が計測を妨げない位置
- ⑤局所的な影響を受けない位置
- ⑥基準点(不動点)からの照合が確実に行える位置
- ⑦日照などの温度変化が激しい位置は避ける
- ⑧交通量が激しく振動などで正しく計測できない位置は避ける



5 計測頻度と計測期間の設定

計測期間や頻度の事例を下表に示します。表はあくまで目安であり、計測の重要度に応じて設定する必要があります。また、近接協議などで決定される場合もあります。どの計測も初期値を必ず計測するように計画しましょう。大雨や地震等が発生した際は、計画した頻度に関わらず、計測を実施して異常がないか確認しましょう。

目的	対象	項目	初期値	計測頻度の目安		
				根切り開始まで	根切り期間	地下躯体構築期間
山留め架構の管理	山留め壁	山留め壁の変位量	根切り開始前	1回/週	固定式傾斜計:毎日(3回/日) 挿入式傾斜計: 根切り段階ごとに1回および プレロードの直前直後	固定式傾斜計:毎日(3回/日) 挿入式傾斜計: 切梁解体の直前直後
		山留め壁の曲げ応力			毎日(3回/日)	毎日(3回/日)
		山留め壁に作用する土圧 山留め壁に作用する水圧				
	山留め支保工	切梁・地盤アンカーに作用する軸力と変形	支保工設置直後	1回/週	毎日(3回/日)	毎日(3回/日)
		切梁・地盤アンカー頭部の温度 支柱応力				
	根切り底面の管理	根切り底面	地盤の鉛直変位 根切り底面以深の地下水位	根切り開始前	初期値設定後、根切り開始までに3回	根切り段階ごとに1回
周辺地盤および構造物の管理	周辺地盤	背面地盤の沈下、浮上り、水平変位、クラックの発生	山留め壁設置前	初期値設定後、根切り開始までに3回	根切り段階ごとに1回	切梁解体ごとに1回
	周辺構造物	構造物の沈下、浮上り、傾斜、水平移動				
	法面	法面の状況・移動				
地下水の管理	地下水位	地下水位	山留め壁設置前	1回/週	1~2回/日	1~2回/日

計測頻度および計測期間の実例²⁾

6 管理基準値の設定

管理基準値は、計測項目によって異なり、設計条件や周辺環境条件から設定します。山留め・切梁軸力は、山留め設計時に算出された変位量や軸力を基に設定するのが一般的です。また、周辺に近接構造物がある場合は、近接構造物を考慮した山留めの設計により、有害な影響を与えないと想定される変位量を定め、管理基準値を設定します。

設定対象	管理基準値			備考
	1次管理値	2次管理値	3次管理値	
切梁軸力	設計値の80%	設計値の100%	—	切梁の許容応力度以下を3次管理値と設定することもある
山留め壁の変位量	設計値の80%	設計値の100%	—	山留め架構が安全であるという前提のもとに設計クリアランスを3次管理値と設定することもある

山留めの管理基準値の設定例²⁾

出典 1) 株式会社自動制御技術研究所 ホームページ
出典 2) 一般社団法人 日本建築学会 山留め設計指針(2017)

01 事前調査

Q1 近隣家屋調査などはどのような点に気を付ければよいですか？

A1 以下の確認を着工前に行うことが大切です。

①敷地境界確認

敷地境界確認は、すべての工事着手に先駆けて行います。敷地境界の確定には、関係者全員の立会いと合意が必要で、合意した記録として境界確定図(境界確定協議書)に関係者が署名・捺印しておく、万が一境界に異常が生じた場合も復旧時のトラブルを低減することができるため重要です。

②家屋調査

家屋調査は、山留めを含む工事全体の近隣家屋への影響を確認するものとして重要です。工事着手前にすでに傾きやひび割れなどが生じていることもあります。工事の影響によるものか否かを客観的に判断する材料として工事着手前の記録を残します。屋内の確認もできればよりよいですが、少なくとも外観の写真やレベル、傾斜などは確認しておきます。外装材がタイルの場合は、浮きの程度も把握しておくトラブル防止に繋がります。これらの資料を基に工事完了時に再確認を行い、円満に工事を終えることが大切です。

■調査項目例

- ①家屋全体(沈下、傾斜) ②外壁(亀裂、浮き、はらみ)
- ③基礎・たたき(亀裂、破損、沈下)
- ④屋根(破損、雨漏りの有無)
- ⑤外構・工作物(沈下、傾斜)
- ⑥内壁(亀裂、隙間、浮き、はがれ、漏水跡)
- ⑦天井(亀裂、破損、たわみ、漏水跡)
- ⑧タイル部(亀裂、破損、浮き)
- ⑨柱・床(傾斜、隙間) ⑩建具(建て付け) など



Q2 周辺道路などには、どのような注意が必要ですか？

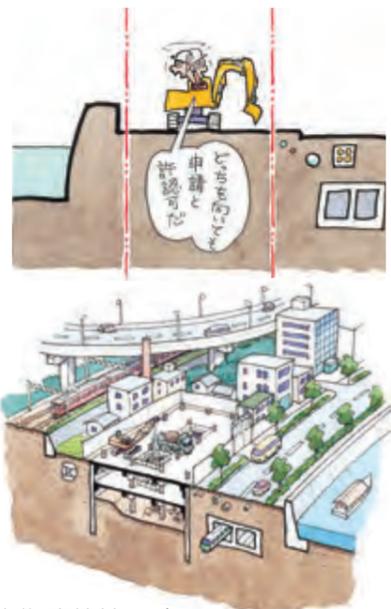
A2 道路法44条の沿道掘削施工承認の申請が必要かどうかの確認が必要です。

道路には、上下水道・電気・通信・ガスなどの埋設物があります。まず、関連の所管行政窓口・埋設企業体に照会し、管種、埋設位置、管径、管理者を調査して、その結果を平面図及び断面図にプロットして資料を作成します。その資料を基に関係者と協議を行った上で、道路管理者に施工通知・承諾届を提出し、必要に応じて、観測孔の設置や測定データを提出します。

また、公共インフラ構造物、文化財などを運営している施設管理者・所有者は、工事中の許容変位や計測管理方法を独自に定めた近接施工指針を策定していることが多く、事前に近接協議(工事が既存構造物などに影響を及ぼすかどうかの協議)を行い、協議内容を施工計画、計測管理計画に盛り込む必要があります。

■近接協議が必要な近接構造物の例

- ① 鉄道関係 ② 道路関係(高速道路も含む)
- ③ トンネル・地下街・共同溝 ④ 港湾河川関係
- ⑤ インフラ関係(上下水道、電気、通信、ガス) ⑥ 建築物(杭基礎、直接基とも)
- ⑦ 文化財 など



! トラブル事例

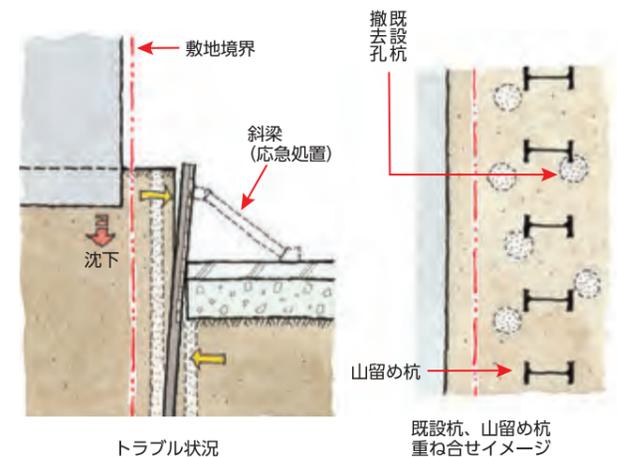
既設杭の杭孔による山留めの変形増加に伴う近接構造物の沈下

■トラブル内容

山留め(親杭横矢板工法、1段切梁)の現場で耐圧盤打設完了し、切梁解体後に山留め壁が100mm程度変形し、隣接建物が20mm沈下した。

■原因

●当該建設地は、N値6～8程度の砂質土層～粘性土層であった。掘削に伴い、山留めに計算値相当の変位が生じたが、ラップルコンクリート打設以降、変位が増大し、近接構造物の沈下に至った。山留め周辺をボーリング調査したところ、土質調査報告書にはないN値が0～3程度の状況が確認された。掘削側からは、撤去時に折れたと思われる既設杭の断片が出土した。これらの状況から既設杭が撤去しきれなかった部分の下部に空洞があったと推測され、また、既設杭の埋戻しも低強度のグラウトであった。これらのことから親杭周辺は主働側・受働側ともに強度不足となり、ラップルコンを支点として変形した。



■応急処置

●耐圧盤より斜梁を設けて反力を取り、山留め壁の変形抑止策とした。

■対応

●工事完了後、隣接建物の基礎下にグラウト材を注入し、地盤を持ち上げ復旧した。

■教訓

□土質調査報告書だけではなく、既設建物の解体状況など、現地のあらゆる情報を収集したうえで山留め計画を行うことが重要。

豆知識

地下構造物撤去後の埋戻しの考え方

●日本建築学会 JASS4「杭・地業および基礎工事」では、既設杭の埋戻しについて次のように記されています。

「既設杭の撤去に際し、適切な埋戻しを行う必要がある。埋戻し方法には、発生土に固化材を混ぜたものや、最近では流動化処理土が用いられ、できるだけ現状地盤と同じような状態となるよう埋戻す」

解体撤去の地盤は土地の価値の観点からも原地盤相当に復旧することが大原則です。また復旧の仕様については土地所有者との合意形成が必要です。

02 計測管理の留意点と現場対応

Q1 山留め計測に関する留意点を教えてください。

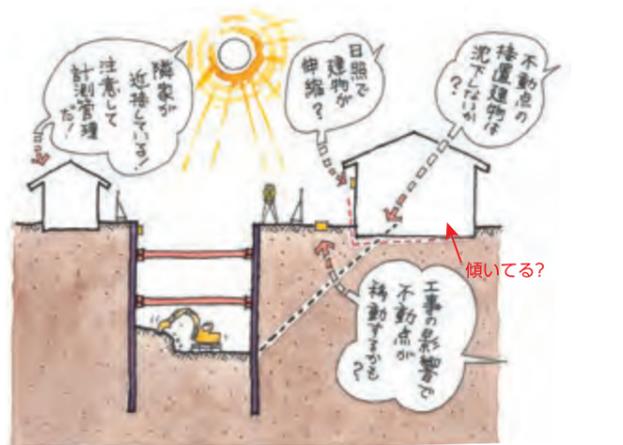
A1 計測計画は以下に留意してください。

1. 山留め計測のための計測機器の設置位置についての留意点

[p.56参照]

2. 不動点についての留意点

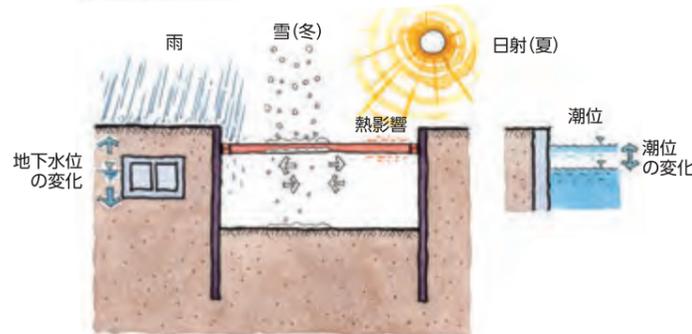
- ① 設置位置が伸び縮みしないか？
例えば、設置した場所が鉄製だと、日照などの温度変化により伸縮する可能性があります。
- ② 工事の影響を受けて移動しないか？
掘削影響範囲外、または支持層に到達している杭に支持され沈下が生じない構造物に設置されている必要があります。



3. 計測結果の解釈についての留意点

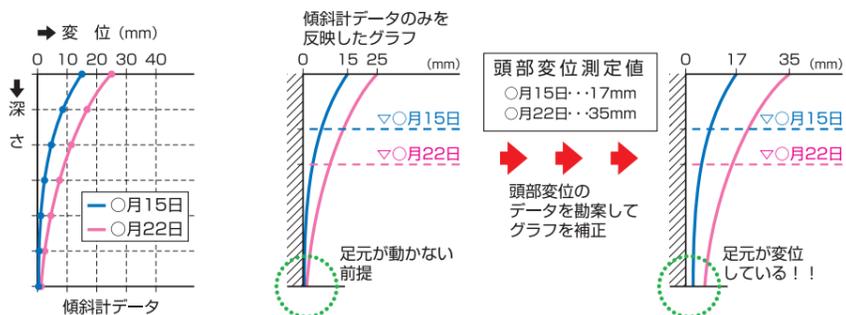
① 周辺環境の影響

山留めは、日変動(気温など)や季節変動(日照、潮位、地下水位など)により、切梁の軸力や土圧が増加するなど、周辺の環境変化に大きく影響を受けます。
計測時の数字だけを鵜呑みにせず、その時々状況を考慮しましょう。
工事開始前の初期値、日変動、季節変動を把握しておくことが大切です。



② 根入れ先端の変位

軟弱地盤などでは、山留めの先端が動くこともあります。傾斜計のデータだけを見てもそのことはわかりません。トータルステーションなどで測る山留め頭部変位と傾斜計の頭部変位の値が異なる場合は注意が必要です。山留め先端が移動している可能性もあり、傾斜計先端部の勾配変化や周辺の地下状況などと、総合的に判断することが大切です。



[p.33参照]

4. 安全管理

計測は日常的に行うものです。点検を行う際、ケガをしては本末転倒です。切梁の点検や各種測定のための昇降設備、手摺、親綱等の安全設備を完備しましょう。

Q2 計測結果を受けて、現場が対応することを教えてください。

A2 管理基準値を超過していないか日々確認して、超過した場合は以下のような対応を実行してください。

計測結果は、管理値との比較ができるように整理を行い、安全性を確かめると共に今後の推測を行います。
計測管理のフロー例を右に示します。

① 計測開始時

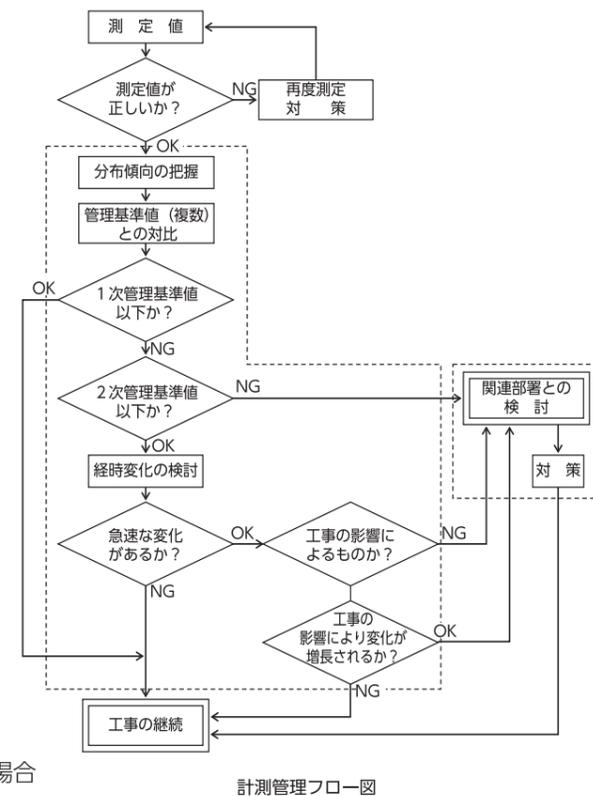
計測値が正しいか確認する。

② 1次管理値超過時

計測頻度を高める等、日々の変化に注意を払い、管理レベルを高める。2次管理値超過を視野に対策の検討を開始する。

③ 2次管理値超過時

- 工事の影響によるものか分析し、今後の変状を推測して、関連部署と協議の上、対策を実行する。また、2次管理値超過に関わらず、次のような傾向を示す場合にも注意が必要である。
- ・計測値に急な増大や変化がある場合
 - ・予測しない変化や不規則な変化が著しい場合
 - ・緩やかでも計測値が収束しない場合
 - ・計測値は管理基準値以下でも、周辺に顕著な異常が見られる場合



！トラブル事例

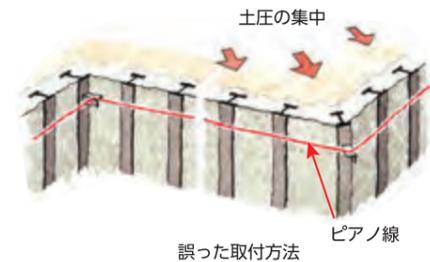
山留め計測方法の誤りにより、管理値超過を気づかず工事を進めていた

トラブル内容

親杭横矢板工法による山留めを設置、掘削を開始した。床付け近くまで掘削をした頃、隣地住民より「境界際のフェンスの基礎部に隙間ができてきた」と連絡が入った。調査したところ、掘削開始直後より、山留め頂部にピアノ線を設置し、計測管理を実施しており変位は管理値以内であると認識していたが、計測方法が誤っていることがわかった。

原因

- ピアノ線の取付位置が不動点でなく、変形するおそれがある親杭に取り付けしたため、ピアノ線ごと山留めが変形し、変位していることに気づけなかった。



対応

- ピアノ線は動かないと仮定できる点(掘削範囲が矩形な場合における入隅同士など)で設置する。
- 出隅がある場合などはトータルステーションなどで測定する。

委員名簿

建築技術部会

2020年度 部会長	西 博 康 (清水建設(株))
2021年度 部会長	緩 利 良 巳 (株) 錢 高 組
2022年度 部会長	森 良 太 (大成建設(株))
副部会長	松 田 繁 (株) 竹中工務店
委 員	森 永 照 夫 (株) 浅沼組
〃	山 口 善 史 (株) 大林組
〃	梶 田 宗 孝 (株) 奥村組
〃	林 正 宏 (鹿島建設(株))
〃	馬 場 誠 一 (株) 鴻池組
〃	鍋 島 幹 大 (清水建設(株))
〃	増 岡 照 雅 (大成建設(株))
〃	古 場 覚 司 (株) 竹中工務店
〃	高 貝 和 弘 (村本建設(株))

山留め計画専門部会

主 査	上 枝 豊 (株) 竹中工務店
副 主 査	平 野 篤 (株) 大林組
	寺 西 拓 也 (株) 大林組
	谷 本 達 哉 (株) 浅沼組
	松 下 弘 幸 (株) 奥村組
	山 本 遼 太 (鹿島建設(株))
	外 山 久 泰 (株) 鴻池組
	大 森 雅 人 (清水建設(株))
	塚 本 孝 治 (株) 錢高組
	藤 崎 晴 司 (村本建設(株))
	日 向 直 幸 (大成建設(株))

参考文献一覧

一般社団法人日本建築学会	山留め設計指針 (2017)
〃	近接山留め手引き (2015)
〃	小規模建築物基礎設計指針 (2008)
〃	建築技術者のための JASS 3 山留め工事 Q & A (2005)
〃	建築工事標準仕様書・同解説 JASS3 土工事および山留め 工事・JASS4 杭および基礎工事
公益社団法人地盤工学会	軟弱地盤の理論と実際 (1992)
〃	知っておきたい根切り山留めの基本 (2004)
〃	土質試験基本と手引き (2005)
〃	地盤調査の方法と解説 (2013)
〃	地盤材料試験の方法と解説 (2020)
〃	新編土と基礎の設計計算演習 (2000)
株式会社井上書院	マンガで学ぶ根切り・山留めの計画と施工管理
〃	イラストによる建築物の仮設計算
株式会社オーム社	絵とき土質力学 (1998)
株式会社自動制御技術研究所	ホームページ
S M W 協 会	SMW 工法カタログ
株式会社彰国社	施工がわかるイラスト建築生産入門
近畿基礎工事株式会社	被圧 DW の閉塞手順

本誌掲載内容の無断転載を禁じます。

イラストで分かる 山留め計画 Q&A

2023年5月

編集・発行



一般社団法人日本建設業連合会 関西支部
〒540-0031 大阪市中央区北浜東1-30
TEL 06-6941-3658 FAX 06-6942-4031
URL <https://www.nikkenren.com>



イラストで分かる

山留め計画 Q&A

一般社団法人 **日本建設業連合会** 関西支部