

若年技術者のための基礎知識②

土留め編

坂田建設株式会社 技術部長
鈴木 正司

土留めは小さな設計・施工ミスでも重大事故につながる可能性が高いため、十分な配慮が必要です。しかし、土留め条件と発生するトラブルの関係を理解し、土留め計画時に対策工を検討していれば心配はありません。今号は、若い技術者が土留めを理解するための入門編として活用していただければと思います。

1 地盤はゆっくりと、そして一気に破壊する

【砂地盤の例】

市街地でのボーリング柱状図で、砂層のN値が20～25であった。N値が30を超えていないので、圧入工法で鋼矢板を打設しようとしたが、計画深さまで圧入することができなかった。設計変更を持ち込み、補助工法としてウォータージェットを併用することで、締切りを完成させた。掘削を開始して根切りまであと2mのところ、鋼矢板の際から砂とともに水が吹き上げてきたが、これくらいは大丈夫だと考えた。

次の日、現場を見ると直径10cm程度の穴が開いており、3mの鉄筋棒を差し入れてみるとまったく砂がない状況だったが、1.5m掘削すれば床付けなので掘削を続けた。

そして3日目、穴の直径が15cmに広がっていたが、床付けまであと1mなので掘削を急がせ、完了したら一気に生コンを鋼矢板内全面打設しようと考えた。

4日目、他の鋼矢板の際からも同じ現象が見られた。その日の夕方、鋼矢板外側の周辺地盤が2m×2mの4㎡程度50cm陥没したので、危険を感じて掘削を中止した。とりあえず薬液注入をしたが、いくらやっても効かない。瞬結性薬液に切り替えて注入したが、多少水量は減ったものの効果はなかった。

【粘性土地盤の例】

N値が2～4の軟弱な粘性土地盤であった。低盛土の軟弱地盤対策として載荷重工法で圧密沈下対策完了後に、高速道路を横断する大断面のボックスカルバートの施工を開始した。

掘削深さが8m程度の土留めで、順調に掘削も進んで床付け手前となったころ、梅雨入りして雨が続いた。次第に掘削作業に遅れが生じるなか、梅雨の晴れ間に一気に床付けまで掘削することができ、明日は基礎碎石投入、明後日は均しコンクリートの打設と工程を確認した。

しかし、作業員たちは、土留めがわずかだが軋むような音がしたと話していた。その夜、まとまった降雨となった。翌朝まだ暗いころ、大音響とともに土留めが崩壊し、H鋼と鋼矢板はアメの棒のように曲がっていた。

2 土留めのトラブル対応は、焦らずゆっくりでちょうど良い

前述のような土留めのトラブルを未然に防止するためには、砂地盤であればボーリング・パイピング・盤ぶくれ、また、粘性土地盤であれば鋼材の軋む音や鋼矢板の変形など、土留め崩壊の予兆を察知したらすぐに写真を撮り、水を張ることで。そして、落ち着いてゆっくりと対策を検討することです。

土留め内に水を張れば崩壊はしません。水を張った後、会社に応援を頼み、解決していくことが大切です。一人で考えずに経験者の話を聞き、対応すればいいのです。焦りとパニックは禁物です。

ワンポイントアドバイス

【砂地盤】 土留め内に水を張らないで薬液注入をしても、水の流れて薬液が固結してくれません。そこで、水を張ってからゆっくりと外側と内側に薬液を注入すると水の動きがなくなるので、止水することができます。再度掘削を開始して完了したら、基礎碎石の分まで鋼矢板全面に均しコンクリートを打設します。水の流れがある場合は、薬液注入は効きが悪いと覚えておきましょう。

【粘性土地盤】 崩壊してしまったら、土留め内に水ではなく土砂を投入し、すべて埋戻します。崩壊した鋼矢板の外側1m程度のところに、再設計した鋼矢板を打設して締切ります。その後、掘削とともに崩壊した鋼矢板と土留め材を撤去しながら、土留めを再構築します。鋼材はほとんどスクラップとなるので、少しずつ切断しながら撤去しましょう。

3 土留め条件と発生するトラブルの関係

土留めは、地下水位「す」、周辺環境「し」、地盤(砂か粘性土)「じ」、互層(砂層と難透水層)「ご」、掘削深さ「く」、施工法(打設工法)「ダ」、柱状図(N値と色(褐色は酸化色、地下水位の変動があると

ころ))「チ」によって、対策工が変わります。「すし(は)じごくだ(っ)ち=寿司は地獄ダッチ」と覚えておきましょう。

図表1は、土留め条件と発生するトラブルの関係を表にしたものですが、土留め計画時のチェックリストとして使用すれば、トラブルを未然に防ぐことができますので参考にしてください。

図表1 土留め条件と発生するトラブル

土留め条件	発生するトラブル	条件の種類
砂層である	ボイリング、パイピング	地盤
N値 ≥ 30 の硬い砂層がある(補助工法としてジェット、オーガ併用した場合)	ボイリング、パイピング	施工方法
地下水位が高い	ボイリング、パイピング	地下水位
軟らかい粘性土である	ヒービング	地盤
粘性土層(または難透水性砂層)が砂層の上にある	盤ぶくれ	互層
民家や重要施設が近接している	民家が傾き、重要構造物が損傷する(地下水位低下工法はダメ) 崩壊対策は、土留め内の地盤の強度を上げる 変形量抑制対策は、土留め壁の剛性を上げる	周辺環境
土留めの際に仮置き盛土がある	土留めの崩壊(根切り面から崩壊角($\theta=45^\circ-\phi/2$)内なら、上載荷重に仮置き土の重量を考慮しないと崩壊事故)	周辺環境
10mを超える掘削深さがある	慣用法で設計すると、土留めが危険または崩壊の可能性(10m以上は弾塑性法による解析)	掘削深さ
ジャストポイントでのボーリングデータがない	土留めの崩壊(自費でも必ずボーリングをする。発注の地盤と違えば条件の違いにより設計変更には必ずなるが、離れた地盤のデータのままで設計すると崩壊事故)	柱状図
ボーリング地盤高と現地盤高が違う	土留めの崩壊(最初に確認すれば事故にならない)	柱状図
土質調査報告に柱状図はあるが、土質試験結果がない	N値・土質で単位体積重量 γ ・内部摩擦角 ϕ ・粘着力 c を判定する	柱状図

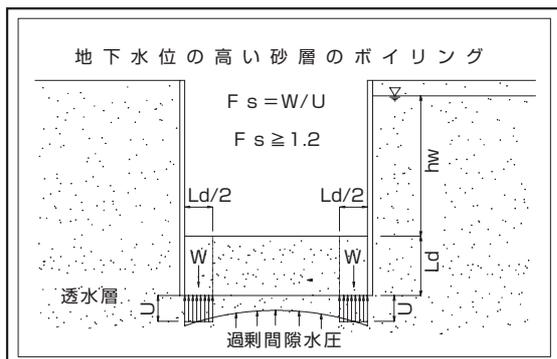
4 土留めのトラブルはこれで解決

土留めのトラブルは、地盤（砂か粘性土）で分類すると、ボイリング（砂層）、パイピング（砂層）、盤ぶくれ（互層）、ヒービング（粘土層）の4つと

なります。トラブルが発生したときの対策工法を知っていれば、起こりうるリスクをイメージし、対策工を考えることができます。

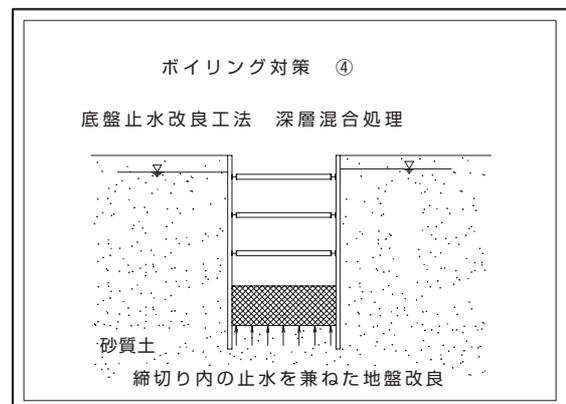
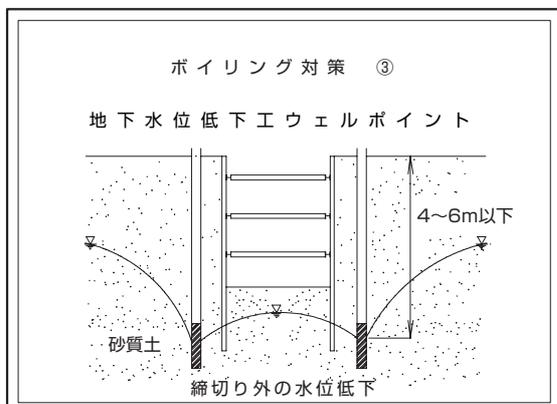
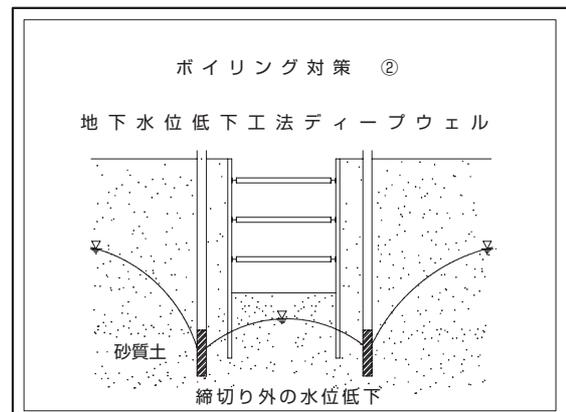
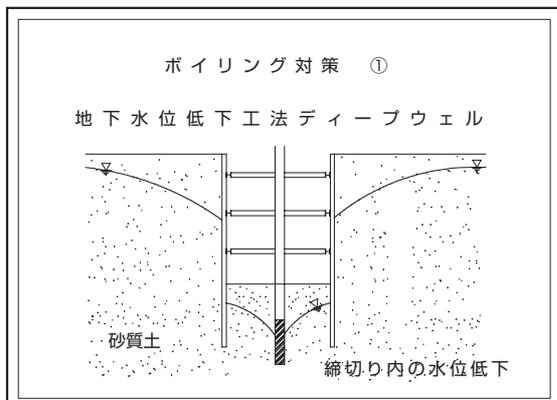
言葉で理解するよりも、下の図表を見て記憶に留めておく方法をお勧めします。

ボイリング



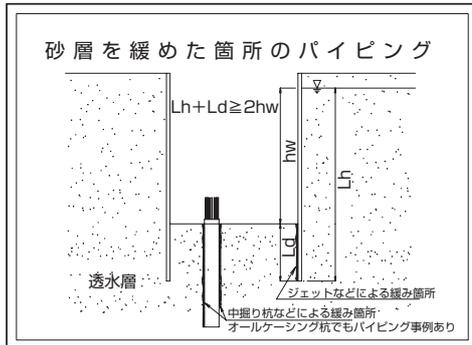
掘削の進行によって主動側地下水位と掘削側の水位差が大きくなり、受働側地盤に上向きの浸透流が生じ、浸透圧力が土の有効重量より大きくなったときに、砂の粒子が湧きたち、掘削面の安定が損われて、最悪の場合は土留めが崩壊する現象をボイリングといいます。

対策工は、周辺環境に問題がなければ、地下水位低下工法となります。重要構造物が近接している市街地では、底盤止水改良工法を採用します。



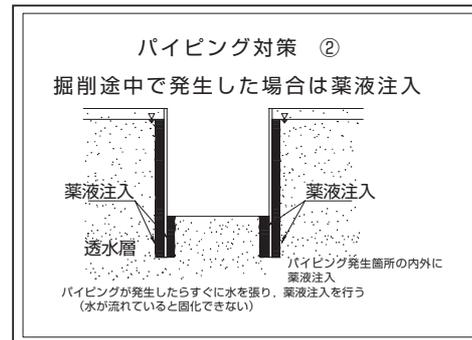
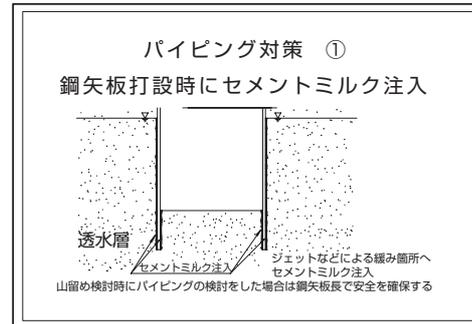
出典 (社)日本道路協会『道路土工—仮設構造物工指針』(1999年3月)

パイピング



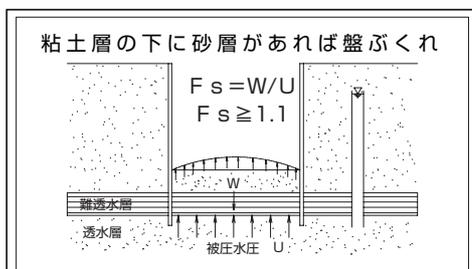
パイピングは、ボイリングが局部的に発生し、鋼矢板の際やオールケーシングによる基礎杭周面などに沿って進行し、パイプ状にボイリングが形成される現象です。

ウォータージェット、アースオーガ等で乱された部分で発生します。現象が現れたら、すぐに対応しないと危険です。



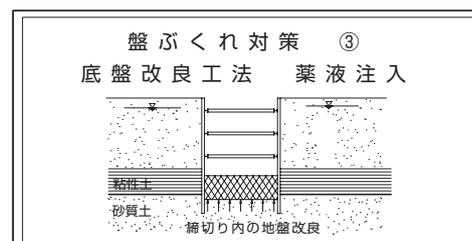
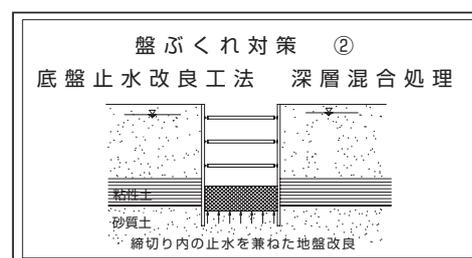
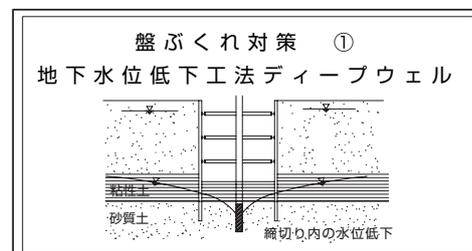
出典 (社)日本道路協会『道路土工—仮設構造物工指針』(1999年3月)

盤ぶくれ



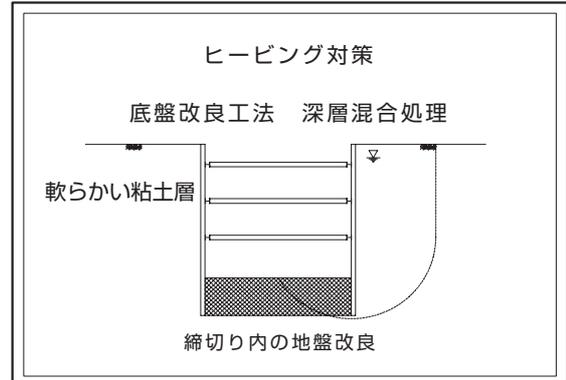
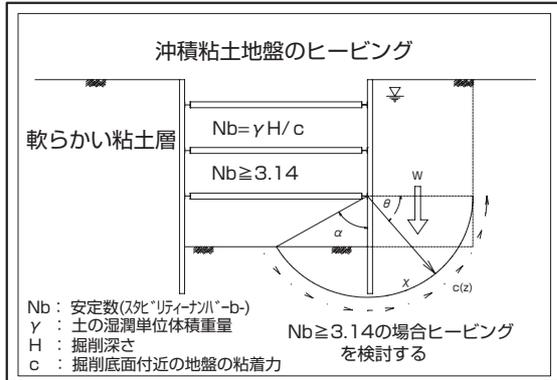
難透水層は、粘土層とは限りません。下層より透水係数の小さな砂層が存在すると過剰間隙水圧が発生します。このときは、ボイリングという現象と同じになります。

対策工は、周辺環境に問題がなければ、地下水位低下工法となります。重要構造物が近接している市街地では、底盤止水改良工法を採用します。



出典 (社)日本道路協会『道路土工—仮設構造物工指針』(1999年3月)

ヒービング



対策工は、計画時であれば土留め壁の根入れと剛性を上げることに対応できますが、施工途中では受動側の地盤改良工法で対応します。

土留め内に基礎杭を先行して施工した場合は、ヒービングは起こらないとされていますが、軟らかい粘性土地盤では注意が必要です。

出典 (社)日本道路協会『道路土工—仮設構造物工指針』(1999年3月)

5 柱状図は語る (ボーリング柱状図から読みとる土質定数)

土留めを検討する際、必要となる土質調査結果報告書は調査内容がN値だけの柱状図で、土質試験結果がない場合があります。そのようなときは、

N値を利用して単位体積重量、内部摩擦角、粘着力を推定します。そこで、柱状図から土質定数を推定する方法を理解してください(図表2・3)。

図表2 砂と礫質土の密度と内部摩擦角

N 値	コンシステンシー	単位体積重量		内部摩擦角	
		砂	礫質土	建築系	土木系
		道路土工 仮設構造物工指針		大崎式	道路橋示方書 45 ≥ N 値 ≥ 5
		kN/m ³	kN/m ³	$\phi = 15 + \sqrt{20N}$	$\phi = 15 + \sqrt{15N}$
0~4	非常に緩い	17	18	15~23.9	—
4~10	緩い			23.9~29.1	22.7~27.2
10~30	中位の	18	19	29.1~39.5	27.2~36.3
30~50	密な	19	20	39.5~46.6	36.3~42.4
50以上	非常に密な			46.6以上	42.4~45.0

図表3 粘性土の簡易判定・密度・粘着力

N 値	コンシステンシー	素掘り	コンシステンシー	単位体積重量	粘着力
	実務から見た基礎構造設計 (小規模建築物基礎設計の手引き表4・1より)		状態	道路土工 仮設構造物工指針	
2以下	極軟	鉄筋を容易に押し込むことができる	非常に軟らかい	14	12以下
2～4	軟	シャベルで容易に掘れる	軟らかい		12～25
4～8	中位	シャベルに力を入れて掘る	中位	16	25～50
8～15	硬	シャベルを強く踏み込んでようやく掘れる	硬い	18	50～100
15～30	極硬	つるはしが必要	非常に硬い		100～200
30以上			固結した		200以上

礫質地盤

単位体積重量 $\gamma_t = 18 \sim 20$
 粘着力 $c = 0$
 内部摩擦角 $\phi = 15 + \sqrt{20N}$ 大崎式
 $\phi = 15 + \sqrt{15N}$ 道示

砂地盤

単位体積重量 $\gamma_t = 17 \sim 19$
 粘着力 $c = 0$
 内部摩擦角 $\phi = 15 + \sqrt{20N}$ 大崎式
 $\phi = 15 + \sqrt{15N}$ 道示

粘性土地盤

単位体積重量 $\gamma_t = 14 \sim 18$
 粘着力 $c = (40 + 5N) / 2$ 大崎式
 $c = 6.25N$ 地盤調査法
 内部摩擦角 $\phi = 0$

一般の粘性土質地盤

単位体積重量 $\gamma_t = 14 \sim 18$
 粘着力 $c = (40 + 5N) / 2$ 大崎式
 内部摩擦角 $\phi = 5$

一般のシルト質地盤

単位体積重量 $\gamma_t = 14 \sim 18$
 粘着力 $c = (40 + 5N) / 2$ 大崎式
 内部摩擦角 $\phi = 15 + \sqrt{20N}$ 大崎式
 $\phi = 15 + \sqrt{15N}$ 道示

意外と頼りになる地盤調査法の関係式

<p>粘性土の場合</p> $c = \frac{1}{2}qu$ <p>$qu = 12.5N$</p> $c = \frac{1}{2}qu = 6.25N$ <p>$qc = 5 \quad qu = 10cu$</p> <p>$qc = (290 \sim 320) \text{ CBR}$</p>	<p>東京地盤（粘性土、シルト）について大崎式</p> $qu = 40 + 5N$ <p>関東ローム（乱した試料）</p> $qc = (200 \sim 390) \text{ CBR}$ <p>関東ローム（盛土における現場 CBR）</p> $qu = (8.2 \sim 16.3) \text{ CBR}$ <p>セメント安定処理（砂質土）</p> $qu = 9.8 \text{ CBR}$	<p>qu : 一軸圧縮強度 (kN/m²)</p> <p>N : N 値</p> <p>c : 粘着力 (kN/m²)</p> <p>qc : ポータブルコーン貫入抵抗 (kN/m²)</p> <p>cu : 非排水せん断強さ (kN/m²)</p> <p>CBR : 室内 CBR・現場 CBR</p>
---	--	--