

根切り・山留めの設計

6. 根切り・山留めの設計—地下鉄関係 (その 1)

いわのくに お かね やす すすむ
岩 野 邦 雄* 金 安 進**

6.1 はじめに

現在、地下鉄建設工事は、北は札幌から南は福岡に至る全国各地の大都市で行われている。地下鉄の建設を行う各企業では、その地域の特性に応じて各々独自の仮設構造物の設計基準、指針等を作成し、運用しているのが実状である。

ここでは、地下鉄関係の代表例として、地下鉄技術協議会の「仮設構造物設計指針(案)」^{*}、帝都高速度交通営団の「仮設構造物設計指針」^{*}、東京都交通局の「仮設構造物設計基準」を取りあげ、このうちの掘削、土留めについてその概要を述べる。また、東京都交通局の基準は今回新たに全面的に改訂されたものである。

なお、今回は地下鉄技術協議会の指針(案)と帝都高速度交通営団の指針について述べ、次回は東京都交通局の基準について述べる。

6.2 地下鉄技術協議会「仮設構造物設計指針(案)」

6.2.1 作成の背景

各都市における地下鉄道の建設工事にかかわる仮設構造物の設計に当たっては、各都市各々独自の基準を備えているのが現状である。しかし、不明解な点を含んだものもあり、これらの問題を今後研究・改良し、各都市間で統一的基準を作成できれば、それにより生ずる利点は計り知れないものがある。そこで地下鉄技術協議会のテーマとして「仮設構造物設計指針(案)」の作成を取りあげた。昭和45年度から土木部会で基本的事項を検討し、小委員会で細部事項について、10回近くに及ぶ討議を重ね、昭和49年8月にまとめあげた。

その後、土木学会は都市内におけるトンネル工事の統一的な基準となる「開削トンネル指針」(昭和52年)を制定した(本講座第2回, 55年9月号参照)。これにより土木部会は土木学会指針に対応させて当協議会(土木部会)作成の指針(案)に対する内容の検討および調整を行い、若干の内容増補と用語を統一し昭和53年3月に改訂した。作成に当たった都市は次のとおりである。神戸市交通局、大阪市交通局、名古屋市交通局、横浜市交通局、札幌市交通局、東京都交通局、帝都高速度交通営団、神戸高速鉄道(株)。

*帝都高速度交通営団 設計第二課 第三係長

**東京都交通局 設計課 設計第二係長

なお、改訂は、大阪市交通局、名古屋市交通局、横浜市交通局、東京都交通局、帝都高速度交通営団により行われた。

6.2.2 適用範囲

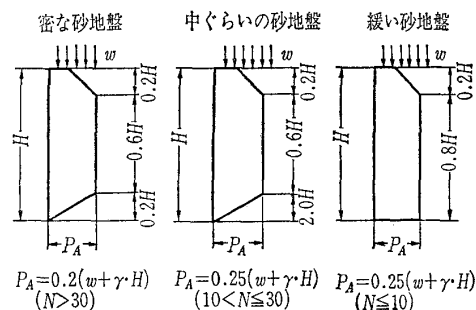
この指針は地下鉄土木構造物築造に伴う仮設構造物の設計に適用する。設計する過程において設計者が考慮しなければならない一つの基準を示したものであるが、現場で起こりうるすべてを満足しているものではない。したがって設計者は現場の状況、特に土質の条件を十分把握し工事全体からみた安全度を保つよう心がけねばならない。

6.2.3 設計土圧

6.2.3.1 山留め(土留め)にかかる土圧および水圧

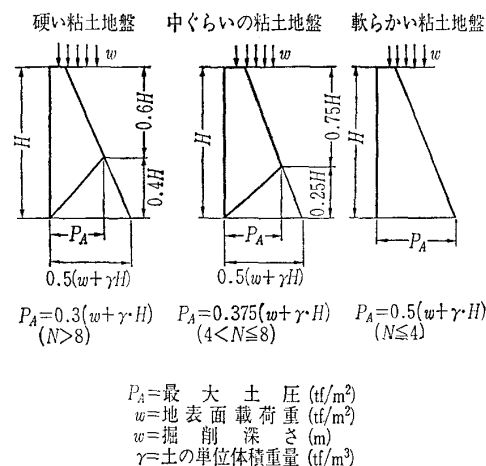
土留めにかかる背面土圧は、図—6.1のような荷重分布を仮定する。

(1) 砂質土の場合



図—6.1 (a) 土留めにかかる背面土圧—砂質土

(2) 粘性土の場合



図—6.1 (b) 土留めにかかる背面土圧—粘性土

講 座

土の単位体積重量は、 $1.6 \sim 2.0 \text{ tf/m}^3$ の範囲で現地に合うよう地質調査の結果から決定するものとする。

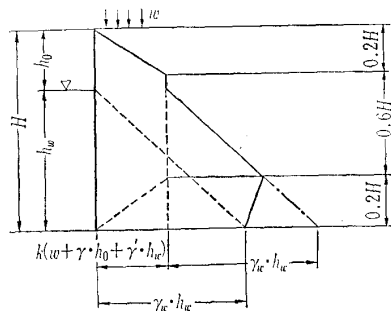
(3) 遮水性土留めの場合

地下水のある砂質土で遮水性土留めの場合は、土圧のほか水圧が作用するものとする (図-6.2)。

w : 地表載荷重 (tf/m^2)

H : 掘削深さ (m)

h_w : 地下水位より掘削底面までの深さ (m)



(一点鎖線は緩い地盤に相当)

	密 な 砂	中 位 な 砂	緩 い 砂
N 値	30以上	10~30	0~10
γ	1.8	1.6	1.4
γ'	1.2	1.0	0.8
k	0.2	0.25	0.25

図-6.2 遮水性土留めにかかる土圧および水圧

h_0 : $H - h_w$ (m)

γ : 砂質土の単位体積重量 (tf/m^3)

γ' : 水中における砂質土の単位体積重量 (1 tf/m^3)

γ_w : 水の単位体積重量 (1 tf/m^3)

また、砂質土と粘性土が互層になっているときは、地表面に近い地下水位は不透水層により滞水層が区分され、第1滞水層と第2滞水層の水位は一致しないことが多い。この場合は水圧分布をせずに図-6.3に示すような分布となるが、この場合も砂質土の水圧を考慮することにする。

6.2.3.2 土留めの設計

(1) 計算方法

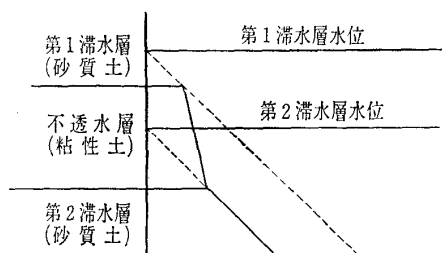


図-6.3 砂質土と粘性土が互層の場合の水圧分布

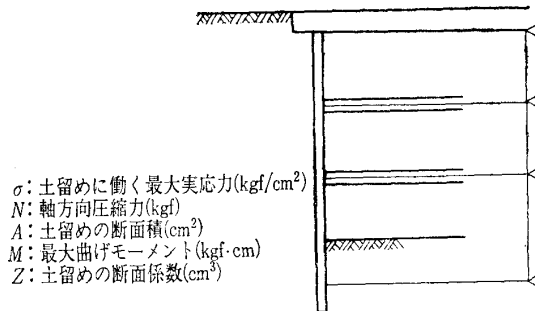


図-6.4 上端の支点の位置

水平荷重および鉛直荷重を軸力として腹起し位置を支点とする単純ばり、または連続ばりとして計算する。図-6.4は上端の支点の位置を示す。上端の支点は第1段ばりの位置とし、路面覆工けた下面は自由端とする。ただし、条件によっては覆工けた下面を上端の支点としてよい。下端の支点は図-6.5に示すような考え方が代表的なものである。

以上の支点を単純支承とする単純ばり、あるいは連続ばりとして曲げモーメント・反力を求め、その最大なものにつき杭の断面をチェックする。この場合水平荷重は、各点間等分布と考えて計算し、水圧は考えない。水圧を考慮しないのは地下水位を低下し得る仮設構造物であるからであって、鋼矢板、柱列式地下連続壁等を透水係数の大きい土質に使用した場合は、もちろん適当な面以下は考慮する必要がある。なお根入れ部の仮想支点の決定方法について代表的なものを例記する。これらの方法を検討し、地質の特性に応じた仮想支点をとるのが望ましい。

i) Y. L. Chang (チャン) の方法

最下段切ばりと、掘削底面間の土留め杭に作用する曲げモーメントによる弾性計算により、曲げモーメントの反曲点を求め、この位置を仮想支点とするものである。

$$\Delta l = \frac{1}{B} \quad B = \sqrt[4]{\frac{B \cdot R}{4 \cdot E \cdot I}}$$

Δl : 掘削底面から仮想支点までの距離 (cm)

E : 土留め杭の弾性係数 (kgf/cm^2)

I : 土留め杭の断面二次モーメント (cm^4)

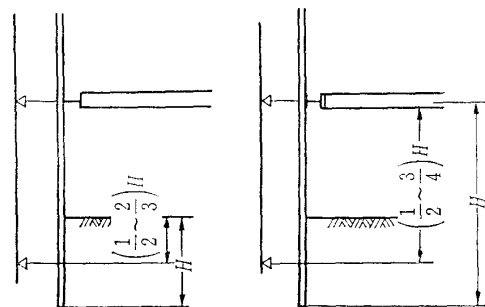


図-6.5 下端の支点の位置

B : 土留め杭の径 (cm)

R : 地盤の横方向地盤係数 (kgf/cm³)

ii) Lohmoyer (ローモイヤー) の方法

根入れ部における主働土圧は働かなくて受働土圧のみが働くと仮定し、矢板の断面を決定しようとするもので、そのときの根入れ部の支点を表-6.1のように推定している。 H は最下段切ばりと掘削面との距離におきかえている。

表-6.1 Lohmoyer の方法による根入れ部の支点

土の内部摩擦角 ϕ	20°	25°	30°	35°
仮想支点の深さ X	0.25H	0.16H	0.08H	0.035H

iii) その他の方法

エンゲルスの方法、フリーアースサポート法、チェボタリオフの方法、フィックスドアースサポート法等がある。

6.2.3.3 土留めの根入れ

土留めの根入れは、下記の条件を考慮して適切な根入れ長を決定するものとする。

- (1) 上載荷重に対する土留めの支持力
- (2) 根入れ部に作用する主働土圧と受働土圧に対する安定。
- (3) 軟らかい粘性土地盤におけるヒービング現象に対する安定。
- (4) 遮水性土留めを使用する場合のボーリング現象に対する安定。

6.2.4 掘削底面の安定

6.2.4.1 ヒービング

軟らかい粘性土地盤を掘削する場合には、図-6.6, 6.7に示すヒービングに対する安定計算を行うものとする。

- (1) 「建築基礎構造設計規準(1960日本建築学会)」(本講座第3回, 55年11月号参照)

$$M_r \geq F_s \cdot M_a$$

$$M_a = x \int_0^\pi S(x d\theta) (\text{tf} \cdot \text{m/m})$$

$$M_a = W \frac{x}{2} (\text{tf} \cdot \text{m/m})$$

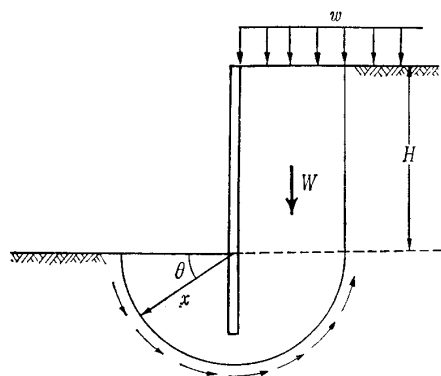


図-6.6 ヒービングの説明図 (建築基礎構造設計規準)

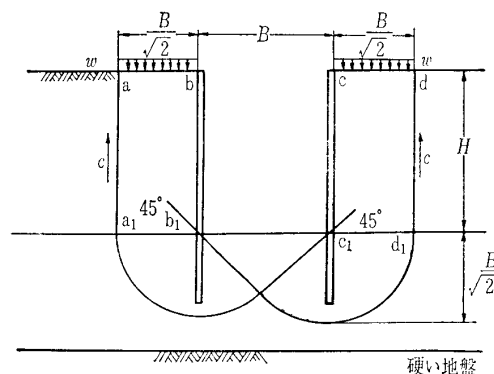


図-6.7 ヒービングの説明図 (Terzaghi & Peck)

M_r : 抵抗モーメント (tf・m/m)

M_a : 回転モーメント (tf・m/m)

F_s : 安全率 (地盤ならびに現場の状況に応じて 1.2 以上の適当な値をとる)

x : 鋼矢板より測った任意の半径 (m)

S : 掘削底面より下部の地盤のせん断強度 (tf/m²)

H : 掘削深さ (m)

W : $W = (\gamma \cdot H + w)x$

w : 地表面載荷重 (tf/m²)

γ : 単位体積重量 (tf/m³)

(2) Terzaghi & Peck による方法

硬い地盤が深い場合

$$F_s = \frac{q_a}{p_v} = \frac{5.7 c}{\gamma \cdot H + w - \sqrt{2 \cdot c \cdot H}} \cdot \frac{c}{B}$$

$F_s \geq 1.5$ とする

F_s : 安全率

q_a : 極限支持力

p_v : 载荷重強度

c : 土の粘着力 (tf/m²)

γ : 土の単位体積重量 (tf/m³)

H : 掘削深さ (m)

B : 掘削幅 (m)

(1)について

建築基礎構造設計規準 (1960日本建築学会) による方法であるが、これは Tschebotarioff の方法を更に簡略化したものである。

$M_r \geq F_s \cdot M_a$ より F_s が 1.2 以上になる部分まで根入れをすればよいが、土留めは剛体あるいは完全に土圧に抵抗できることが前提である。しかし、土留めは通常弾性体を用いているので、土留めが土圧に抵抗できればヒービングが生じると考えるべきである。

したがって、土留めの断面が不足するときは土留めの断面を変更するか、地盤改良を行い所要の安全率が得られるようにしなければならない。

講 座

なお、建築基礎構造設計規準（1974日本建築学会）では、このすべり中心を最下段切ばりと土留めとの交点とする修正式を提案している。

(2)について

粘土の内部摩擦角は $\phi = 0$ と考え、すべり面の形状は図—6.7 のとおり円筒面と平面とからなり、その大きさは同図に示すとおりである。

同図において、 d , d_1 面には粘着力が働くので、 c_1 , d_1 面にかかる全載荷重 P は、

$$P = \frac{B}{\sqrt{2}} \gamma \cdot H - c \cdot H$$

ここに、 γ ：土の単位体積重量 (tf/m³)

c ：土の粘着力 (tf/m²)

もし、地表面載荷重 w が負載するならば、 $w \cdot B / \sqrt{2}$ を上式に加えればよい。

したがって、載荷重強度 p_v は、 $B / \sqrt{2}$ で除して

$$p_v = \gamma \cdot H - \frac{\sqrt{2} \cdot c \cdot H}{B}$$

Terzaghi によれば、粘着力 c なる粘土地盤の極限支持力 q_a は

$$q_a = 5.7 c$$

ゆえに、ヒービングに対する安全率 F_s は

$$F_s = \frac{q_a}{p_v}$$

もし、掘削底面よりごく浅いところに硬い地盤がある場合すなわち、掘削底面と硬い地盤までの深さ D が $B / \sqrt{2}$ より小さい場合は、

$$p_v = \gamma \cdot H - \frac{c \cdot H}{D}$$

したがって、安全率 F_s は

$$F_s = \frac{5.7 c}{\gamma \cdot H - \frac{c \cdot H}{D}}$$

(3) Tschebotarioff の方法

この方法は、円筒すべり面を仮定したもので、矢板背面の土塊による載荷重と地盤の支持力とを比較することは Terzaghi & Peck の方法と同じであるが、Tschebotarioff は有限長の根切り面を考慮してそのせん断抵抗を加味し、かつ、粘土地盤の支持力公式も有限長の載荷としている点が異なっている。

(4) Bjerrum・Eide の方法

Bjerrum・Eide は、ヒービングによって破壊した現場の調査結果を Terzaghi の公式と、Skempton の公式とにより、根切りに際してのヒービングに対する安全を考えたもので、この式は非常に簡単であり、特に深礎工法のような円筒掘削の場合にもすぐ適用できるので便利である。

6.2.4.2 ボイリング

土留め背面の水位が高い砂質土地盤を遮水性土留めを使って掘削する場合には、図—6.8 に示す土留め背面の水圧に

対して掘削面のボイリング現象を防止するため、次の安定計算を行うものとする。

$$F_s \cdot i \leq \gamma'$$

$$i = \frac{H_1}{H_1 + 2H_2}$$

H_1 ：地下水位より掘削底面までの深さ (m)

H_2 ：土留め杭根入れ部の深さ (m)

γ' ：水中における土の単位体積重量 (tf/m³)

i ：水頭勾配

F_s ：安全率 ($F_s = 2$)

この式は土留め背面の水頭損失を考慮したものである。したがって、土留め背面が礫層や埋戻し土の場合、または極端に乱れた場合は、水頭損失がないから適用できない。この場合には、次式を適用すべきである (図—6.9)。

a d 面上の全過剰水圧

$$U = \frac{1}{2} D \cdot \gamma_w \cdot h_a$$

抵抗重量

$$W' = \frac{1}{2} D^2 \cdot \gamma'$$

$$F_s = \frac{W'}{U}$$

$$h_a = \frac{1}{2} \cdot h_1 \text{ とすると}$$

$$F_s = \frac{2 D \cdot \gamma'}{h_1 \cdot \gamma_w}$$

γ' ：土の水中単位体積重量 (tf/m³)

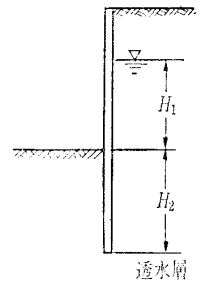
γ_w ：水の単位体積重量 (tf/m³)

F_s ：安全率 ($1.2 \leq F_s$)

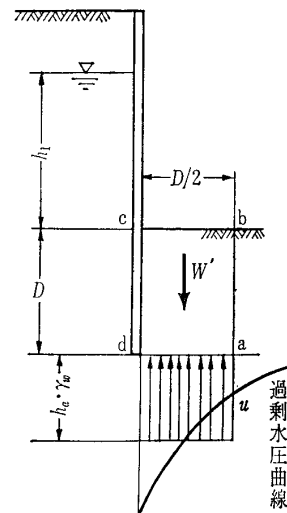
D ：土留め根入れ部の深さ (m)

h_1 ：地下水位より掘削面までの深さ (m)

h_a ：平均過剰間隙水圧



図—6.8 土留め背面および掘削底面以下の土が一樣な透水層の場合



図—6.9 土留め背面が礫層や埋戻し土または極端に乱された土の場合

6.3 帝都高速度交通営団「仮設構造物設計指針」

6.3.1 作成の背景

今回紹介する指針は、営団で従来使用していた「仮設構造物設計指針」が、現状にそぐわない箇所があり、また、その後制定された土木学会の「開削トンネル指針」その他と内容に違いのある箇所が生じたため、主として次の示方書に準拠して昭和53年8月に改訂したものである。土木構造物設計示方書（営団建設本部）、開削トンネル指針（土木学会）、道路橋示方書（日本道路協会）、仮設構造物設計指針（案）（地下鉄技術協議会）。主な改訂項目は次のとおりである。

(1) 自動車荷重

自動車荷重は従来、20 tf、14 tf、7 tf の遞減荷重で行ってきたが、道路橋示方書に規定する一等橋 T-20 荷重を満載するものとし、T-14、T-7を除いた。

(2) 路面受けた許容最大支間

T-20 満載の設計荷重にしたため路面受けたの最大支間を整備した。

(3) 鉄筋、コンクリートの許容応力度

従来の指針では仮設物としてのコンクリートおよび鉄筋の許容応力度が取りあげられていなかったが、仮設の設計において壁式連続地中壁による土留め壁等で仮設物としていたので一般の場合、および特殊な場合（壁式地下連続壁）の許容応力度を加えた。

(4) 鋼材の許容応力度

鋼材の許容応力度、仮構造物用ボルトの許容強さを修正した。

(5) 土留め用アンカーの設計

周面摩擦型アンカーについて設計手順を作成した。

6.3.2 適用範囲

この指針は、営団地下鉄建設（開削工法）のため行う仮設構造物の設計に適用する。営団が行う仮設構造物の設計には道路管理者に提出する仮設構造物設計計算および土木工事請負契約に添付する施工法図作成のための計算等がある。この指針の適用範囲はおおむね次のように考えている。

(1) 規模：掘削幅、掘削深に適用の制限は設けていないが、営団の長年にわたってきた経験から標準的に掘削深さ（山手および高台で30m、下町で20m）程度までに適用している。

(2) 地盤：主に東京およびその周辺部の砂質土地盤と粘性土地盤

(3) 設置期間：2～4年程度

(4) 対象構造物：駅、駅出入口、箱形トンネル、シールド立坑等地下鉄本体を築造するのに必要な仮設構造物全般。

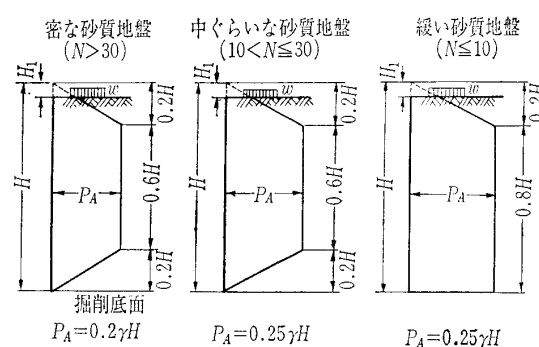
6.3.3 設計土圧

6.3.3.1 土圧計算一般式

開削式工法の背面土圧は、図—6.10、6.11のような荷重

分布を仮定する。

(1) 砂質地盤



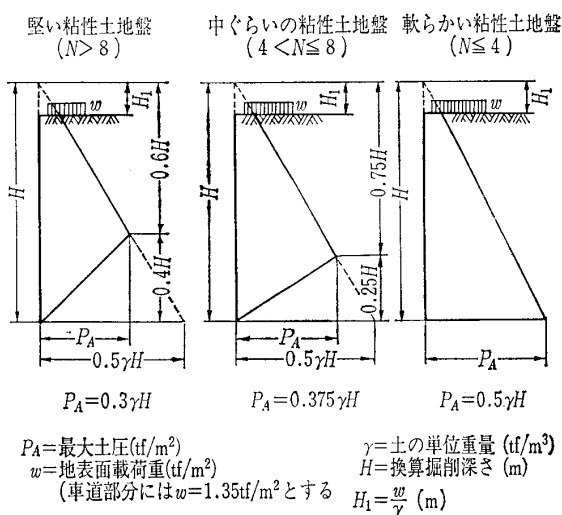
(注1) H_1 は地表面載荷重を土の単位重量により掘削深に換算した高さを示す。

$$H_1 = \frac{w}{\gamma} \text{ (m)}$$

(注2) 地下水が豊富な砂質地盤で遮水性土留めを用いる場合は水圧を別途に考慮してもよい。

図—6.10 土留めにかかる背面土圧（砂質土）

(2) 粘性土地盤



図—6.11 土留めにかかる背面土圧

(3) 地下水位、土の単位体積重量および内部摩擦角

現地地質資料のない場合の地下水位、土の単位体積重量および内部摩擦角は、表—6.2、6.3、6.4、6.5によることのできる。表—6.2、6.4の山手、下町の区分は図—6.12に

表—6.2 地下水位

山手	地表面下	3.0 m
下町	地表面下	1.5 m

表—6.3 土の単位重量

	地下水位以上	地下水位以下
遮水性土留めの場合	1.6 tf/m³	2.0 tf/m³
横矢板土留めの場合	1.6 tf/m³	

講 座

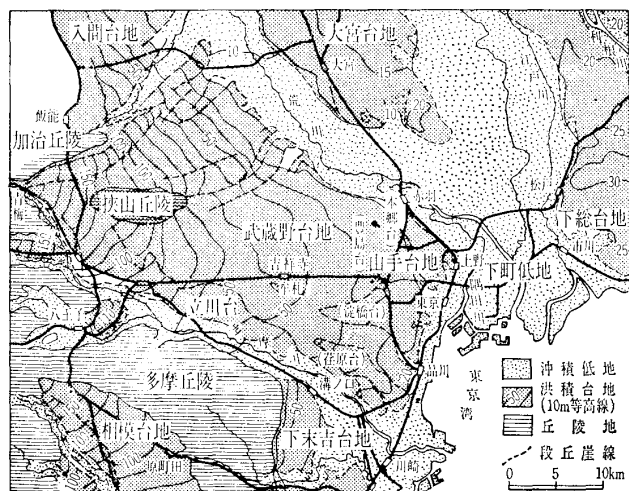
表—6.4 内部摩擦角 (ϕ)

		地下水位以上	地下水位以下
山	手	45°	25°
下	町	30°	20°

表—6.5 内部摩擦角 (ϕ) と K_a の関係

ϕ	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°
K_a	0.71	0.59	0.49	0.41	0.34	0.27	0.22	0.17	0.13

ただし、 $K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$

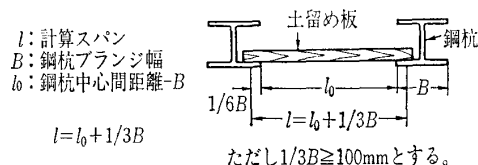


図—6.12 東京付近の地形の概要¹⁾

示す。図—6.12は、東京都ならびにその周辺地域の地形の概要を示したものである。この図から理解されたとおり東京の地形は、下町の低地と山手の台地に大きく分けられる。赤羽、上野、皇居前、品川、川崎を結ぶ線を境として東側は、下町低地、西側は、山手台地として明りように区別される。低地は北部では荒川、南部では多摩川に沿って西北面にのび、その間に長方形の広大な武蔵野台地を抱えている。

6.3.3.2 土留め板

(1) 土留め板は、深さに応じた土圧を荷重とする単純ばりとして断面を決定する。そのスパンは、図—6.13によるものとする。



図—6.13 土留め板のスパン

(2) 土留め板厚の計算

q : 土留め板にかかる土圧

l : 土留め板のスパン

σ_a : 木材の許容曲げ応力度

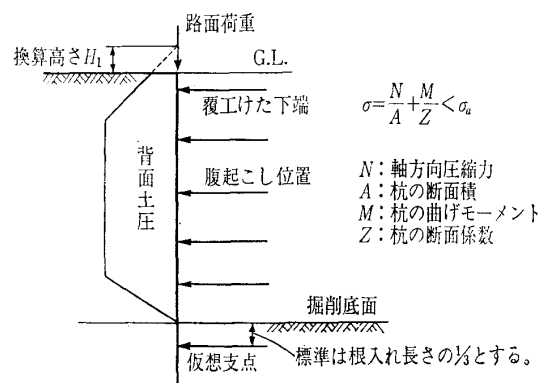
h : 土留め板厚

$$h = \sqrt{\frac{6q \cdot l^2}{8\sigma_a}}$$

ただし、路面下 2.5m までの土留め板厚は、砂地盤では、40 mm 粘土質地盤では 45 mm とする。

6.3.3.3 土留め杭

6.3.3.1 で規定した土圧を横荷重および路面荷重を軸力として腹起こし位置を支点とする単純ばりまたは、連続ばりとして計算する（最上段は、覆工げた下端とし最下端は、地質により考慮する。）（図—6.14）。



図—6.14 土留め杭に作用する荷重状態

構築施工に伴い切ばり撤去時の応力も上記方法にて計算する。中間杭は、座屈を考慮した計算を行う。

6.3.3.4 腹起こし

(1) 土留めに鋼杭を使用した場合

6.3.3.3 にて算出した腹起こし位置の杭反力を移動荷重として切ばり位置を支点とする 3 径間連続ばり（曲げ）および 2 径間連続ばり（せん断）として計算する。ここにその一例を示す。

(1-1) 杭間隔 1.50 m の場合（切ばり間隔 2.0 m）

i) 曲げモーメントおよびせん断力が最大となる移動荷重位置（図—6.15）。

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{Z} < \sigma_a \quad Z: \text{腹起こし材の断面係数}$$

$$\tau = \frac{S_{\max}}{(B - 2t_2) \cdot t_1} < \tau_a$$

t_1 : 腹起こし形鋼のウェブ厚

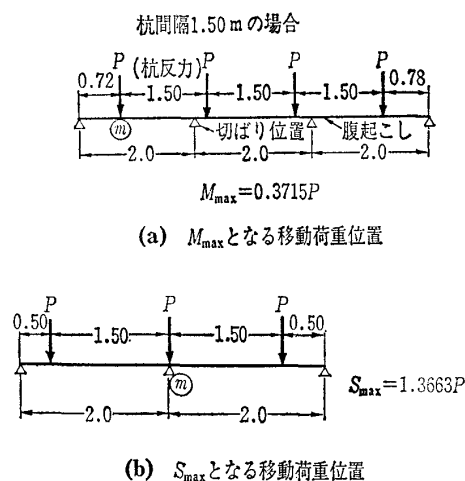
t_2 : 腹起こし形鋼のフランジ厚

B : 腹起こし形鋼の高さ

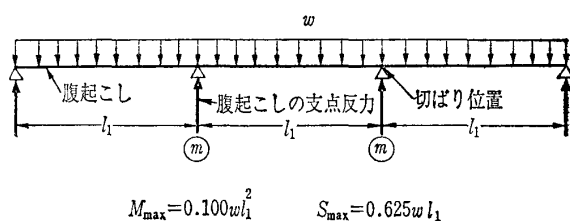
(2) 土留めに鋼矢板、柱列式地下連続壁、壁式地下連続壁を使用した場合

鋼矢板、柱列式および壁式地下連続壁の腹起こし位置反力を等分布荷重 (w) とし、3 径間連続ばり（曲げ）および 2 径間連続ばり（せん断）として計算する（図—6.16）。

応力度計算は、前項と同様に行う。 $\otimes$ は最大曲げモーメント



図—6.15 腹起こしにかかる杭反力状態（杭間隔1.50mの場合）

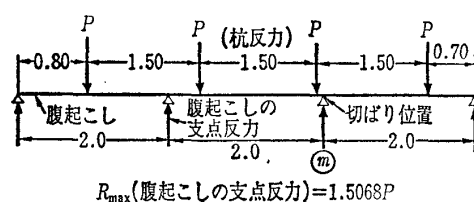


図—6.16 鋼矢板、柱列式地下連続壁、壁式地下連続壁の腹起こし位置反力

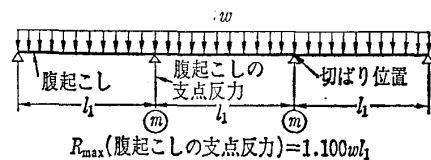
ントまたは、最大せん断力の生ずる位置を示す。

6.3.3.5 切 ば り

(1) 鋼杭の場合は、図—6.17(a)に示す腹起こしの支点反力を荷重とし切ばりのけい材による支持点間を支間とする長柱として計算する。ただし杭間隔1.50m（切ばり間隔



(a) 鋼杭の場合



(b) 鋼矢板、柱列式地下連続壁、壁式地下連続壁の場合

図—6.17 腹起こしの支点反力が最大となる移動荷重位置

2.0m)。

(2) 鋼矢板、柱列式地下連続壁、壁式地下連続壁を使用した場合は、図—6.17(b)に示す腹起こしの支点反力(w)を荷重とし、切ばりのけい材による支持点間を支間とする長柱として計算する。Ⓜは最大反力を生ずる位置を示す。

$$\sigma = \frac{R_{\max}}{A} < \sigma_a$$

σ_a : 軸方向許容圧縮応力度 (kgf/cm²)

A : 切ばりの断面積 (cm²)

6.3.3.6 杭の根入れ

営団では、一般の場合土留め杭（側杭）の根入れは、掘削底面下1.50m、中間杭は2.0mを標準としている。なお、特殊な軟弱地盤については、杭の支持力の検討、根入れ部の安定計算等適宜行い根入れ長を決定しているのが現

表—6.6 ヒーピングの検討式^{a)}

式 の 種 類	深さに対して土の非排水せん断強さ s_u を一定とした場合	ヒーピングに対する限界安定数		備 考
		$F=1.0$ $H/B, B/L \rightarrow 0$ $D > B$	F : 各式の提案値 $H/B: 0.5 \sim 2.0$ $D > B$: (通常の根切り)	
Terzaghi・Peck の式	$\frac{\gamma_t H}{s_u} = \frac{5.7}{F} + \frac{\sqrt{2}H}{B}$	5.7	4.5~6.63 ($F=1.5$)	(i)
Tschebotarioff の式	$\frac{\gamma_t H}{s_u} = \frac{5.14}{F} + \frac{H}{B} (L/B > 2)$	5.14	3.07~4.57 ($F=2.0$)	(i)
Bjerrum・Eide の式	$\frac{\gamma_t H}{s_u} = \frac{N_c}{F}$	5.1	6.0~7.5 ($F=1.2$)	(i), (iii)
旧 規 準 式	$\frac{\gamma_t H}{s_u} = \frac{6.28}{F}$	6.28	5.23 ($F=1.2$)	(ii)
修 正 式	$\frac{\gamma_t H}{s_u} = \frac{1}{F} (\pi + 2\alpha)$	4.28 ($\alpha = \frac{\pi}{5}$)	4.4~5.1 ($F=1.2$)	(ii)
Finn の 式	$\frac{\gamma_t H}{s_u} \div 10$	10	10 ($F=1.0$)	(i)
Peck の 式	$\frac{\gamma_t H}{s_u} N_{cb}$	5.14	9.5~7.5	

(i): 支持力式に基づく検討式 (ii): モーメントの釣合いに関する検討式 (iii): 三次元的な検討式

記号説明 H : 根切り深さ B : 根切り幅 L : 根切り長さ

D : 根切り底面より下部硬質地盤までの深さ

F : 安全率

α : 図—6.18参照

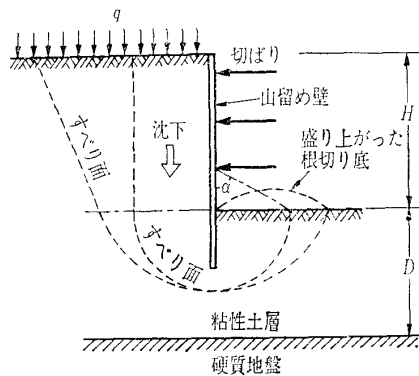


図-6.18 ヒービングの説明図

営団の「仮設構造物設計指針」では、ヒービングについては触れていない。しかし、地質調査の結果、設計者が検討を必要と判断するときは、例えば下町の軟弱な粘性土地盤を開削工法で施工する場合等においては、当然検討している。ヒービングに対する安定の検討式は、表-6.6のように各種提唱されているが適用に当たっては、実際の条件との関係をよく考慮したうえで、複数の方式で比較検討し、判断することになっている（図-6.18）。

6.3.4.2 ボイリング

ボイリングについては、ヒービングと同様に営団の指針には触れていないが、地下水位が高い砂質地盤において遮水性土留めによって掘削する場合は、ボイリングに対する安定計算を行う必要がある。この場合「地下鉄技術協議会」で述べた限界動水勾配を考える方法と Terzaghi の方法を検討式として採用している。（以下 次号に続く）

状である。

6.3.4 掘削底面の安定

6.3.4.1 ヒービング

<講演集・シンポジウムテキスト在庫一覧>

○第10回土質工学研究発表会発表講演集(昭和50年度)	B 5 判	1026頁	定価 ¥5,200	会員特価 ¥4,000	〒 ¥450
○第11回土質工学研究発表会発表講演集(昭和51年度)	B 5 判	1136頁	定価 ¥5,800	会員特価 ¥4,500	〒 ¥450
○第15回土質工学研究発表会発表講演集(昭和55年度)	B 5 判	1824頁	定価 ¥9,400	会員特価 ¥7,200	〒 ¥500
○第22回土質工学シンポジウム(昭和52年度)	B 5 判	80頁	定価 ¥1,300	会員特価 ¥1,000	〒 ¥300
テーマ：地盤と構造物の相互作用					
○第23回土質工学シンポジウム(昭和53年度)	B 5 判	82頁	定価 ¥1,500	会員特価 ¥1,200	〒 ¥300
テーマ：場所打ち杭と埋込み杭の評価					
○第24回土質工学シンポジウム(昭和54年度)	B 5 判	204頁	定価 ¥3,700	会員特価 ¥3,000	〒 ¥300
テーマA：構造物と基礎のケース・ヒストリー(Case History)					
テーマB：土質試験の新しい方法及び計測技術					
○第25回土質工学シンポジウム(昭和55年度)	B 5 判	82頁	定価 ¥1,700	会員特価 ¥1,300	〒 ¥300
テーマ：アースアンカー工法					
○土のサンプリングシンポジウム(昭和47年10月)	B 5 判	70頁	定価 ¥ 500	会員特価 ¥ 350	〒 ¥300
テーマ：硬質粘土と海底地盤のサンプリング					
○昭和53年度サンプリングシンポジウム(昭和53年11月)	B 5 判	142頁	定価 ¥2,400	会員特価 ¥1,900	〒 ¥300
○有機質土の試験方法シンポジウム(昭和54年11月)	B 5 判	104頁	定価 ¥1,950	会員特価 ¥1,550	〒 ¥300
○杭の水平載荷試験法に関するシンポジウム(昭和54年12月)	B 5 判	134頁	定価 ¥2,700	会員特価 ¥2,100	〒 ¥300
○しらす基準化シンポジウム(昭和54年12月)	B 5 判	66頁	定価 ¥1,300	会員特価 ¥1,000	〒 ¥300
○ペーン試験に関するシンポジウム(昭和55年10月)	B 5 判	112頁	定価 ¥2,500	会員特価 ¥1,900	〒 ¥300
○安定処理土の試験方法に関するシンポジウム(昭和55年10月)	B 5 判	84頁	定価 ¥2,300	会員特価 ¥1,800	〒 ¥300
○サウンディングシンポジウム(昭和55年11月)	B 5 判	228頁	定価 ¥3,900	会員特価 ¥3,000	〒 ¥300

問合せ・注文先：土質工学会販売係 電話 03-251-7661