

開削工法の調査

◆ 立地条件調査

- ・ 土地利用状況
 - 市街地、農地、山林、河海など
 - 市街地の場合、都市計画法上の規制や市街地の程度
 - 将来計画など
 - 文化財の有無、地権の有無など
- ・ 道路、交通状況
 - 復員、車線数、交通量、掘削規制の有無など
 - 作業帯、搬出入、工程等に大きな影響を及ぼす
- ・ 地形状況
 - 大局の地盤状況を知る
 - 概略ルート選定
- ・ 工事用地の状況
 - 用地確保の難易度
 - 給電施設や給排水施設の状況
- ・ 河川、湖沼、海の状況
 - 河川下、近接の場合

◆ 支障物件調査

- ・ 地上、地下構造物
 - 構造形式、基礎の状況など
- ・ 埋設物
 - ガス、上下水道、電力、通信など
 - 大型埋設物は、トンネル計画を左右する。
 - 小型埋設物も、杭打ちや掘削時に支障となることが多い
 - 管理者の台帳確認
 - 試掘等の実施。施工前には詳細な試掘調査が必要。
- ・ 構造物跡、仮設工事跡
 - 建物跡等：現在使用されていない基礎や、仮設用の杭など
 - 河川：かつての護岸や橋脚の一部など
 - 状況を調査することが必要
- ・ 埋蔵文化財
 - 出土が予想される場所では、関係部署と綿密な打合せを。
- ・ その他

今後の計画の調査（相互の影響を小さく）

◆ 地盤調査

予備調査 ~ 本調査 ~ 補足調査

予備調査：資料調査および現地調査 大局を知る

本調査：ボーリングを主体とした土質調査

補足調査：問題部分の精密調査、その他特殊条件の調査
得られた資料から正確な土質縦断面図を作成する。

・ 地層構成

現地踏査により地形状況を把握。

（地形は地下の地盤条件を反映していることが多い）

資料調査、ボーリング調査で路線全体の地層状況を把握する。

地震の影響を大きく受ける地盤では、調査範囲をより深層まで行う。

・ 土質

地盤の地質、地質時代、堆積環境、構成材の把握

大礫層、被圧水をもつ砂礫層：土留め杭打ち、掘削等に困難を伴う。 工法の選定、補助工法を十分検討。

地下水以下の緩い砂層：液状化によりトンネルの浮き上がりが懸念。 標準貫入試験、粒度試験などにより、トンネル周辺の安定性について検討する。

ボーリング、パイピングの恐れ 透水係数の測定、土留めの選定や補助工法の検討を行う。

ごく軟弱なシルトや粘土：ヒービングの恐れがある N値が1~2以下の場合、一軸圧縮試験や変形特性の把握。

地下水位低下工法等により、圧密沈下のおそれがある場合、圧密試験が必要。

その他、含水比、単位体積重量、コンシステンシーの調査など：土留、掘削方法等の検討資料として有用である。

・ 地下水

各帯水層における間隙水圧、水位、変動状況、透水係数など
被圧水層は、設計水圧や盤ぶくれ、ボーリングについて検討が必要。

必要に応じ補助工法を検討する。

透水係数は粒度分布からも概略はつかめるが、現場で揚水試験により測定することが望ましい。

時間的、季節的変動や人工的な変動に注意。

掘削が深い場合、掘削底面以下の被圧地下水は設計・施工上重要な要因となるので、調査に万全を期す。

- ・ 酸欠空気、有害ガス

地下水が低下した砂層など：間隙中に酸欠空気や有害ガスが含まれていることがあるので注意。

- ◆ 環境保全調査

- ・ 騒音、振動

事前調査（公共施設、規制内容等）、施工時計測、供用後の配慮

- ・ 地盤沈下

予想される地盤沈下の範囲と程度、影響の調査
施工中の、地表面や周辺構造物の変状の調査

- ・ 地下水

地下水位の低下、薬液注入時の地下水質

- ・ 建設副産物

関連法規の熟知、処分地の位置、運搬方法等

- ・ その他

交通量調査など

開削工法の計画

◆ 計画の基本

開削工法の長所：

平坦な地形に比較的浅いトンネルを設ける場合、安全・経済性から最も適している。

複雑な形状の構造物建造が容易である。

土質変化、地下水変化等の変動に対応した工法変更が可能。

開削工法の短所：

土被りが大きくなると工費・工期ともに増大

工事中の地表面使用による影響が大きい

計画にあたっての一般的な検討事項

シールド、山岳工法との比較による開削工法適用範囲の決定

トンネルの線形・勾配・深さ・形状の検討

施工法の検討：土留め工法、掘削工法、躯体築造工法など

環境保全対策：地表面使用、作業時間、騒音・振動など

安全対策

工程・工事費の検討

◆ 線形、勾配

- ・ 線形は直線がよい。曲線は努めて大きな半径とする

- ・ 勾配は、できるだけ緩い勾配とするのが良い。

排水を必要とする場合、0.2%程度を確保

水路トンネルは、目的に応じた勾配を設定

道路トンネルは、努めてゆるくする必要がある。

開削工法の設計

◆ 荷 重

地表面上の荷重

路面交通荷重、建物荷重、盛土荷重など

路面交通荷重は、土被り 3 m 未満の場合衝撃を考慮。

路面交通荷重は概算値を使用してよい。

(土被 1 m : 35.5kN/m² ~ 4.5 以上 : 10.0kN/m²)

建物荷重は用途地域、建ぺい率、容積率等によって設定される。

盛土や基礎については実重量により設計。

土被り荷重

「トンネルの深さ」×「土の単位体積重量」とする。

土の単位体積重量：地下水位以上で 16 ~ 18kN/m³、地下水位以下で 20kN/m³ としてよい。

軟弱地盤の場合、トンネル幅を超える範囲の土荷重を考慮。

(一般に $\tan \phi = 0.25$ とすることが多い)

土圧、水圧

・ 土圧

側壁に働く土圧は、静止土圧とする。(静止土圧係数を使用)

最初は小さい土圧であっても、年月が経過するにつれ土圧が増加し、静止土圧相当になると考えられる。

土圧は最大値 ~ 最小値についても検討する。

部材によっては、土圧が最大値でクリティカルになるとは限らないため。

土圧の最小値の目安は最大値の 70% 程度。

・ 水圧

砂質土の場合、水圧の影響は重要である(土水分離)

特に土被り 30m を超えるような場合は顕著。

的確な間隙水圧を把握することは難しいため、地下水位より仮定することになるが、下記の変動等を考慮して総合的な判断を行う。

> 不透水層がある場合、各層の帯水圧が高くなったり低くなったりしていることがある。

> 季節的や施工時の変動。

粘性土の場合、水圧の考慮は不要(土水一体)

揚圧力

トンネル下面の間隙水圧により、揚圧力が作用する場合は、考慮する。

自重

トンネル材料の実重量とする。

トンネル内部の荷重

死加重・活荷重

トンネルが地盤で直接支持され、等分布荷重として働く場合は、一般にトンネル部材に及ぼす影響は少ない。

温度変化、乾燥収縮の影響

土被り 1 m 以上程度あれば、温度変化の影響は無視できる。

明らかに影響を受ける場合は、 ± 15 を限度として考慮する。

地震の影響

基本的に影響は小さいと考えてよい。

下記のような場合に考慮する。

- ・ トンネルの一部が露出する場合
- ・ トンネル上に地上構造物の基礎が載荷されている。
- ・ 特断部など、構造が急変する箇所。
- ・ 地盤条件が急変する箇所。
- ・ 軟弱地盤
- ・ 液状化地盤

また、直下型の巨大地震が想定される地域では、慎重に検討する必要がある。

施工時荷重

通常は土留め支保工によって支持されるため、影響はない。

下記のような場合に考慮する。

- ・ トンネルが大きく、途中で切梁の一部を撤去し本体に載荷させるような場合
- ・ 本体の一部を仮設に使用する場合
(逆巻き工法、トレンチ工法、アイランド工法、地中連続壁など)
- ・ 床板上にシールド発進基地などの設備を載荷するような場合。

その他の荷重

近接工事や、地下水位の大きな変化、地形の変化が予測されるような場合は考慮する。

仮設構造物

◆ 荷 重

- ・ 死荷重
実重量を使用する。
- ・ 活荷重
自動車荷重：T 荷重を用いる（道路橋示方書による）
群集荷重：歩道部分（ 5kN/m^2 の等分布荷重）
上載荷重：仮設構造物の範囲外に 10kN/m^2 の載荷重を考慮。
- ・ 衝 撃
活荷重 \times 衝撃係数 $i = 0.3$ とする。
（ただし覆工版の場合 $i = 0.4$ とする）
- ・ 土圧、水圧
 1. 根入長の算定：理論的な土圧を使用
掘削面側の受動土圧と、背面側の最下段～下から 2 段目程度までの主動土圧のつり合いによって検討する。（極限平衡状態）
ランキン・レザール式、クーロン式を使用
 2. 慣用計算法による土留め壁・支保工の計算
：見掛けの土圧を使用
（各掘削段階の、最大土圧をつないだ包絡線）
適用範囲は掘削深さ 15m 程度より浅い場合
 3. 弾塑性法による土留め壁・支保工の計算
：各掘削段階で計測された土圧を表現できる算定式を用いる
ランキン・レザールの土圧式とクーロンの土圧式等による
- ・ その他の荷重
 1. 温度変化：
切梁の温度変化による圧縮応力の増加
 2. 地震の影響
一般的に考慮しない。（期間が短い、地中にあり自重が軽いため地盤と同一の振動をする）
設置期間が長い、重要構造物に近接する、などの場合は、部材の接合部を補強するなど対策が必要。
 3. 雪荷重
 4. 薬液注入、地盤改良による荷重
薬液注入の圧力、凍結工法による地盤膨張など

◆ 路面覆工

単純ばりとして計算

たわみが大きくなると、衝撃が大きくなったり安全性が損なわれるので注意。

・ 覆工板

たわみは $1/400$ に抑える。

転用が多いため品質についても注意。

表面仕上げによるスリップ防止や騒音に考慮。

・ 覆工桁

たわみは $1/400$ または 25mm 以下に抑える。

自動車荷重は原則として T 荷重を使用。

・ 桁受け

桁受け荷重は、覆工桁の最大荷重を使用。

◆ 土留め

開削工法においては、土の崩壊、あるいは過大な変形を防止するため、土留めを施さなければならない。

土留めは、直接土と接する土留め壁と、それを支える土留め支保工で構成される。

土留めには多くの種類と施工法がある。各々の現場において、安全性・経済性・環境保全等の各種条件を考慮し、最も適した土留めを選定しなければならない。

◆ 土留めの種類

「開水性土留め壁」と「遮水性土留め壁」に分けられる。

・ 簡易土留め

木矢板、軽量鋼矢板等を使用する工法。小規模な開削工事に使用。

「建設工事公衆災害防止対策要綱」では、掘削深さ4 mまでに適用するとされている。

・ 親杭横矢板工法

H型鋼等を地中に建て込み、掘削に伴い横矢板を間に挿入する工法
良質地盤における標準工法。

遮水性が良くない、根入れの連続性が保てない欠点がある。

地下水位の高い地盤、軟弱地盤等では補助工法を併用する。

・ 鋼矢板工法

鋼矢板工法：鋼矢板を、継ぎ手をかみ合わせながら、連続して地中に打ち込んでいく工法

遮水性が良い、根入れの連続性がある。

（親杭横矢板工法の欠点をカバーし、地下水位の高い地盤、軟弱地盤等で一般的に使用される。）

長尺になると、傾斜や継ぎ手の離脱が生じやすい。

矢板引き抜き時の地盤沈下も大きい。

鋼管矢板工法：継ぎ手を取り付けた鋼管杭を、継ぎ手をかみ合わせながら連続して地中に打ち込んでいく工法。

鋼矢板より断面性能が大きいので、大規模工事に適用。

騒音、振動が問題となる場合は工法を考慮する。

引き抜き不能により、残置する例が多い。

- ・ 柱列式地下連続壁

場所打ち杭壁：形鋼を挿入した場所打ちモルタル柱を、柱列状に施工した土留め壁。

遮水性は比較的良い。（施工性に左右される）

根入れの連続性が保たれ、断面性能も比較的大きい。

騒音、振動が少なく、市街地等で鋼矢板土留めの代用として施工されることが多い。

工期、工費の面で不利な点がある。

ソイルセメント壁：セメント溶液と原位置土とを混合、攪拌した掘削孔にH形鋼などを挿入し、柱列状に施工した土留め壁。

場所打ち杭と同様。原地盤により性能に差が生じる。

既製杭壁：セメント溶液、モルタル等で置換された掘削孔に、鋼管杭、PC杭、RC杭などの既製杭を連続して地中に埋設。

特殊な継ぎ手を用い、遮水性を上げることができる。

砂礫層や障害物に遭遇すると、杭が逃げ、曲がりやすい。

- ・ 地下連続壁

場所打ち鉄筋コンクリート壁：ベントナイト溶液、ポリマー安定液などにより地盤を安定させながら掘削し、掘削孔内にコンクリートを打ち込み鉄筋コンクリート壁を連続して作った土留め壁。

大規模な工事、重要構造物が近接する工事、軟弱地盤における工事に使用される。

本体構造物の一部として使用することが多い。

騒音、振動が少ない。

作業に長時間を要する、支障物の移設が多くなる、地業帯が大きくなる等により工費、工期の面で検討が必要。

不要となった安定液の処理が問題。

泥水固化壁：上記の安定液処理を解決した工法。安定液を固化させることにより積極的に土留め壁の一部として使用する。

場所打ち鉄筋コンクリート壁に比べ剛性が小さいため、掘削深度に限界がある。

鋼製壁：鉄筋の代わりに工場製作の継ぎ手を有する形鋼を挿入し、コンクリート打設または安定液を固化させ土留め壁とする。

高強度、薄型の施工が可能である。

騒音、振動が少ない、作業スペースが少なくてもよい等の利点を持つ。

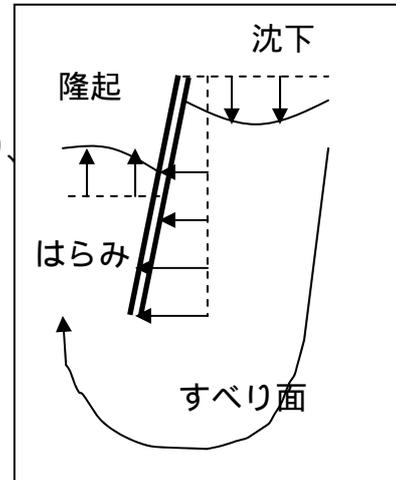
施工例が増えてきているが、施工条件・工費の面で検討が必要。

◆ 掘削底面の安定

・ ヒービング

掘削底面付近に柔らかい粘性土がある場合。
主として沖積の粘性土地盤など。

- ・ 土留め背面の土の重量
- ・ 土留め周辺の地表面荷重 などにより、すべり面が生じ、
- ・ 掘削底面の隆起、
- ・ 土留め壁のはらみ、
- ・ 周辺地盤の沈下 が生じ、最終的には土留めの崩壊に至る。



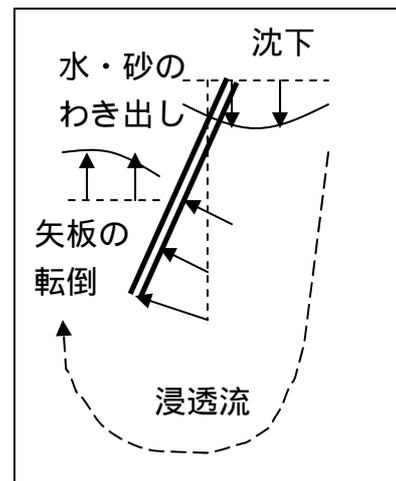
検討には、ベックの安定式が一般に用いられる。

防止策

- ・ 土留め壁の根入れと剛性を増す
- ・ 掘削底面を地盤改良して、せん断強さを増す
- ・ 背面の盤下げ、水位低下工法等により背面荷重、水圧を下げる

・ ボイリング

地下水位の高い砂質土
水位差により上向きの浸透流が生じる。
これが土の有効重量を超えると、掘削底面から土や水が沸騰したようにわき出し、掘削底面の土がせん断抵抗を失い、土留めが不安定となる。



検討は、Terzaghiの方法と限界動水勾配の方法があり、一般に Terzaghiの方法が多く使われる。

防止策として、

土留め壁の根入れを長くする方法が多く使われる。次いで地下水位低下方法（ウェルポイントなど）が採用される。

- ・パイピング

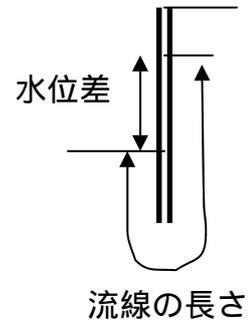
水みちがしやすい状態がある場合

水みちの土粒子が浸透液によって洗い流され、次第に拡大して、最終的にはボイリング状の破壊に至る。

自然状態の地盤では、クリープ比の考え方をを用いて検討する。

流線の長さ L と水位差 H の比をクリープ比とし、地盤の状態に応じたクリープ比を確保する。

(一般に2以上)



防止策として、水みちの発生防止。

入念な埋め戻しや工法を選択により、地盤を乱さないこと。

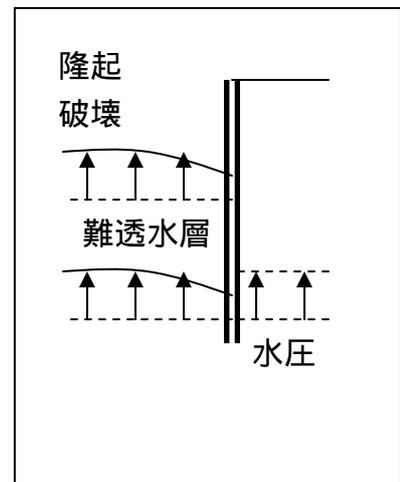
- ・盤ぶくれ

掘削底面付近が難透水層で、その下に被圧透水層がある場合。

被圧地下水によって、掘削底面に上向きの水圧が発生し、これが上方の土の重さ以上になる場合、掘削底面が浮き上がり、最終的には難透水層が突き破られボイリング状の破壊に至る。

検討は、難透水層以下の水圧と、難透水層より上の土重量のつり合いで求める。

立坑のように平面規模が小さい場合、土留めの根入れ部と地盤との摩擦抵抗、難透水性層のせん断抵抗を考慮に入れることができる。



防止策として、

- ・遮水性土留め壁による被圧透水層の遮断
- ・ディープウェル等による被圧水頭の低下
- ・透水層を地盤改良し、難透水層厚さを増加

- ・ リバウンド

掘削による排土荷重分の応力開放により、掘削底面、周辺の地盤や構造物などが浮き上がる現象。

掘削底面の中央部でもっとも大きく、土留め壁に近づくにつれ小さくなる。

逆巻き工法の間杭が上方に浮き上がり、床版に予想外の力が働く。掘削底面の下に埋設物がある場合、予想外の力が働くことがある。

◆ 根入れの安定計算

掘削背面の土圧（主動土圧）と、掘削側根入れ部の土圧（受動土圧）とのモーメントのつり合いにより必要根入れ長を求める。

- ・ 掘削完了時の、最下段支保工を支点としたモーメントつり合い
- ・ 最下段支保工設置直前の、ひとつ上の支保工を支点としたモーメントつり合い

の両方について検討することが一般的。

自立土留めの場合は構造系として不安定であるので、慎重に行う必要がある。

各種検討方法が提案されているが、いずれも、水平方向の力のつり合いと、回転モーメントによる力のつり合いで安全性を確認する方法である。

最小根入れ長は、安全のため開水性土留めで 1.5m、遮水性土留めでは 3.0m以上を確保する。

◆ 土留め壁の断面計算

- ・ 慣用計算法

各掘削、埋め戻し段階における状態について安全性を確認する。

各切ばり等を支点とした、連続ばりあるいは単純ばりとして、土留め壁に作用する曲げモーメントやせん断力を求める。

荷重は「見掛けの土圧」を用いる。

- ・ 弾塑性法

地盤や土留めをより実際に近い形でモデル化できる。

掘削に伴う壁体のモーメントや変形の変化が壁の全長にわたって計算できる。

入力条件に対して比較的任意性があり、計測結果の反映が容易である。

深い掘削時の土留め壁の安定計算に用いる。

計算に用いる各種定数は、設定の違いにより計算結果に大きな影響を与えることがあるので、慎重に決定する。

根入れ部は、弾性領域と非弾性領域が表れるが、非弾性領域 = 地盤の塑性変形と考えられるため、根入れ部に弾性領域が確保されていることを確認する。

◆ 腹起こしの設計

- ・ 単純ばりとして計算するのが安全（継手が完全でない場合を考慮）
- ・ 腹起しと土留め壁との隙間がある場合、間詰めコンクリートなどで密着させる。
- ・ 腹起しと切ばりとの接点は大きな支圧力が働くため、スティフナーなどで補強する。
- ・ 腹起しは落下することが無いよう、ブラケットなどで固定する。
- ・ 腹起しの鉛直間隔は 3m 程度とし、土留め壁頂部から 1m 以内に 1 段ばりを設置する。（ただし覆工桁を設置する場合その限りでない）

◆ 切ばりの設計

- ・ 腹起しから受ける最大荷重を軸力として受ける、長柱の座屈計算により行う。
- ・ 切ばりには原則として載荷しない。載荷する場合は曲げに対する検討が必要
- ・ 切ばりに継手を設けるときは十分な補強を行う。また拘束端付近へ設ける。
- ・ 切ばりジャッキなどで密着させボルト等で接合する。

◆ グラウンドアンカー

地中の堅固な地盤にアンカーを定着し、土留め材等とを引張り材で固定し支持する工法。

切ばり設置が困難な場所に用いられる。

（掘削幅が非常に大きい場合や、特別に大型の機械を使う場合、支障物のある場合など）

また、土留めが不整形の場合、偏土圧を受ける場合などに用いられる。

- ・ 摩擦型アンカー : アンカー周面と地盤との摩擦抵抗で支持
- ・ 支圧（圧縮）型アンカー : アンカーを拡孔し、受動土圧で支持
- ・ 複合アンカー : 上記2つの併用

摩擦型アンカーが最も一般的。

引張り材（テンドン）は、鋼材のリラクゼーション防止のためP C鋼材を使用。

地盤の強度が十分であることが前提：事前ボーリングにより土質を調査する。

施工時は、伸びによる背面地盤変状が起こることがあるので、計測管理を十分に行う。

都市部では、アンカーを残置すると後の支障になるため、大部分あるいは全てを撤去できる除去アンカーを使用することが多い。

近接施工

◆ 一 般

・ 調 査

既設構造物の調査（位置、構造、材質、使用状況など）
竣工図や設計資料をもとに、現地と照合
必要に応じて試掘やボーリングにより確認

・ 近接程度の判定

無条件範囲：影響なし

要注意範囲：間接的な影響を受けて変位の生ずる可能性あり。

制限範囲：地盤変位により、有害な変位・変形等の影響が及ぶ。

・ 近接構造物の影響予測

下記の方法等がある。

地盤変形を強制変形として与える

地盤変形に起因する荷重を与える

構造物と地盤とを一体として有限要素法等により解析
地盤定数の設定、モデル化等に不確定要素の入る可能性が高く、
計算と実測が一致しない場合も多い。

過去の事例も参考にして総合的な判断が必要。

・ 許容変位量の決定

構造物の耐久性や、構造物の機能保持（鉄道等）で定まる。

既設構造物管理者と協議のうえ決定する。

・ 対策工法の検討

下記参照。

・ 計測管理

設計で地盤の挙動を正確に把握することは困難。

各施工段階で、予測値と実測値を比較・フィードバックし、最終変位予測を行う。対策が不足であることがわかれば追加の対策を行わなければならない。

◆ 近接施工の対策工法

- ・ 開削トンネル本体工事側による対策
本体工事において、周辺地盤の変形等を抑制する。
土留め壁の変形と地下水位の低下に対する対策。
土留め撤去時の地盤沈下防止。

- ・ 近接構造物の防護による対策
 1. 地盤の強化・改良
地盤改良工法により、変形の伝播を抑止。
工法そのものが近接構造物に大きな圧力を及ぼすことがあるので、工法選定、施工にあたって十分注意する。
 2. 遮断防護工
開削トンネルと近接構造物の間を遮断。
土留め壁工法や、地盤改良工法を使用。
(と同じく、工法そのものにも注意。)
 3. 既設構造物の補強
ブレーシング、柱・壁の補強、増し柱、増し壁など
比較的簡単な工法だが、適用構造物は限られる。
増しフーチング、増し杭
比較的确实。幅が狭い構造物に適する。
概して施工上の制約が多い。
対策工自体が近接施工になるので注意。
アンカー、タイロッド
水平方向に対する補強効果
アンダーピニング：下記参照。

◆ アンダーピニング

既設構造物の真下にトンネルを築造する場合に用いられる。
近接施工の場合に使われることもある。

工事中も工事後も、既設構造物に変位を与えない、安全・確実な施工が
要求される。

施工前、または掘削時の仮受け トンネル完成後の本受け
の順番で施工される。

- ・ 仮受け
トンネル本体に無載荷の場合は、省略することも可能（だが少ない）
本工事に支障にならず、撤去が容易なスレンダーな構造、
かつ、十分近接構造物を支持可能な堅固さが必要である。
- ・ 本受け
直受け：下部のトンネルへ荷重を直接支持させる。
均等に荷重を支持するように施工しなければならない。
下受け：既設構造物の側部・下部に支持はりや杭を設け、これに荷
重を盛りかえる。
添えばり：在来基礎とはりで結合、荷重を受ける
- ・ 盛替え
既設基礎 仮受け基礎 本受け基礎
既設構造物の支持状態を変更することになるので、十分検討のうえ、
入念に施工しなければならない。
手順や時期を誤ると重大な事故につながる可能性があるので、特に
注意が必要である。

部分築造工法

標準的な施工が困難である場合に検討される。

各工法の特徴を考慮し、最適な工法を選択すること。

過酷な施工条件となることが多いので、土留めや地盤変状について十分留意すること。

◆ トレンチ工法

1) 開削式トレンチ工法

- ・ 適用工事

大規模構造物の工事で、特に地盤が軟弱で大きな地盤変位が懸念される場合。

切ばり式では切ばりが長すぎて安定が困難になる。

- ・ 施工手順

先行築造部分の土留めを設置、躯体を築造。

先行躯体を土留め壁として利用しながら中央部を掘削、築造。

- ・ 留意事項

トレンチの幅が土留め安定、工程、工費に及ぼす影響が多いので、十分に検討する。

2) トンネル式トレンチ工法

- ・ 適用工事

既設構造物の下にトンネルを築造する場合、既設構造物へ与える影響を最小限にするために採用される。

- ・ 施工手順

側部および中央部を掘削・築造。

先行築造部で既設構造物を支持し、残り部分を施工。

- ・ 留意事項

トレンチの復員は必要最小限となるようにする。

トレンチ内の作業は、狭隘で工種がふくそうするうえ、制約が多い。

支保工は設置が容易で互換性があり、作業性に優れたものを選定する。

◆ アイランド工法

- ・ 適用工事

掘削復員が著しく大きい場合

さらに軟弱地盤でヒービングの危険性が大きい場合

- ・ 施工手順
土留め壁が自立できる深さで掘削
端部の土をのり勾配をつけて残し、中央部を掘削・築造
中央部の躯体を切ばりの受け台として、残り部分を掘削・築造
- ・ 留意事項
周囲に残す土量が土留め壁の安定性につながるので、土量の割合については慎重に検討。
施工は長期間に及ぶので、のり面の安定に留意。
斜め切ばり施工時には、偏圧や切ばり変位に注意。
周辺部掘削時には、偏らないよう全体にバランスよく掘削する。

◆ 逆巻き工法

- ・ 適用工事
掘削箇所に近接し重要構造物がある場合
通常の土留めで対応できない大きな側圧を受ける場合。
施工が長期間に及び、特に安全性を必要とされる場合。
早期に、上床版より上の埋め戻しや路面開放が必要になる場合。
- ・ 施工手順
上床版、中床版を先に施工。これを土留め支保工として使用。
その後、下部の掘削・築造を行う。
- ・ 留意事項
床版の下では作業性が悪くなるので施工手順や安全性に留意。
逆巻き部の掘削は短期間に、必要最小限に。掘りすぎないこと。
逆巻き部の打継ぎ目は施工が難しいので弱点とならないよう配慮。
型枠支保工は、掘削途中の地盤で支持するので、変形・移動に注意。
逆巻きスラブは十分な養生を行い、所定強度に達するまでは下部の掘削を行わない。
逆巻きスラブの乾燥収縮について十分配慮する。

地震に対する検討

一般的に、トンネル構造物は地下構造物に比べて安全であると言われている。

- ・ トンネルは内部が空間で、周辺地盤に比べ見かけの重量が小さい。
地震力が作用した場合、周辺地盤に作用する慣性力より、トンネルに作用する慣性力は小さくなる。
その結果、トンネル土被りがある程度深く、良好な均一地盤中にある場合には、地震の影響は小さいと考えられる。

特にシールドトンネルは、継手により剛性が小さい、原地山の中に構築し埋め戻しを伴わないので、地盤への追従性はより高い。

しかし、阪神・淡路大震災にて地下駅舎に大きな被害を受けた。

また新潟中越地震で地下構造物の浮き上がり（液状化）など被害を受けている。

東海、東南海地震の危険地帯など、大震災の懸念される地域では慎重な検討が必要。

次のような場合には地震の影響が大きいと考えられるので、充分検討しなければならない。

- ・ トンネル露出箇所
- ・ 地山構造物の基礎が載荷されている箇所
- ・ 覆工、構造が急変する場合
- ・ 地盤条件が急変する場合
- ・ 軟弱地盤
- ・ ゆるい砂、液状化のおそれのある場合

液状化現象について

ゆるい飽和した砂地盤に地震動が加わり、地盤中の間隙水圧が一時的に上昇する。その結果有効土圧が減少し、せん断抵抗の低下により地盤が液状を呈する現象。

液状化の判定方法として下記のような手法がある。

- ・ 限界N値法
 - ・ F L 法
- 対策方法 - 周辺地盤の改良や構造物の修正など。

◆ 耐震設計法

構造物の地震時の挙動を解析する方法は、「静的解析法」「動的解析法」の2つに分類される。

・ 静的解析法

震度法：地震力を構造物各部に作用する慣性力と考え、その荷重を構造物に静的に作用させ計算する解析法。

応答変位法：地震による地盤変位を地盤ばねを介してトンネルに作用させ、トンネルの変位と応力度を算定する方法。

・ 動的解析法 - さらに厳密な検討を要する場合に使用。

有限要素法によるモデル化

トンネルと周辺地盤を質点系に置換して動的解析を行う方法...などがある。

計算モデル、入力地震度の選定、解析結果の解釈等が複雑であるが、地震時の自然現象をとらえるには有力である。

計算結果を尊重し、他の計算法等を照合して総合的に判断する。

・ トンネル軸直角方向（横断方向）の検討

トンネルは見かけの荷重が周辺地盤より軽い、または同程度。

従って、地震の影響は周辺地盤の変位によるものが重要である

応答変位法が適当。

しかしトンネルが周辺地盤に比べ、相当程度に重くマッシブな場合、自重による慣性力が支配的。

震度法を使用。

（また、トンネル露出、基礎が載荷される...などの場合も、慣性力が大きいいため震度法を適用。）

・ トンネル軸方向（縦断方向）の検討

応答変位法、あるいは質点系動的解析が使われることが多い。

・ その他

安全率を必要により割り増す。

巨大地震などは、終局限界を考慮した設計。

立坑の接続部などは、応力集中が避けられない事が多いので、可とう

性継手の使用など対策を検討する。

また、全体・部分の模型実験や、実際の地震時の計測による計算との照合が行われている。