

第4章 観 察 ・ 計 測

第1節 観 察 ・ 計 測 一 般

1 観 察 ・ 計 測 計 画

観察・計測計画は、トンネルの規模、地山条件、立地条件、設計・施工法等を考慮して、観察・計測すべき項目、計測機器および配置、測定頻度等を定めなければならない。

掘削に伴うトンネル周辺地山の挙動は、地山条件によって異なる。

地下水等の周辺環境に影響が懸念される場合は、状況を工事前から把握する必要があり、観察・計測の目的や内容によって、工事中に限らず、工事の着手前あるいは工事完了後まで計測を行うこともある。

観察・計測は、その結果が活用されてこそ真の価値が発揮されるものである。いたずらに計測内容を多くすることのないように、実施に先立ち、対象とするトンネルの問題点に対し、観察・計測結果をどの様に評価し、活用するかについて十分検討しておくことが重要である。

- ・トンネル施工上、もっとも問題となる現象を的確に予測し、計測の目的を明確にすること。
- ・計測目的に対し、どのような方法で計測し、設計・施工法に反映させるかを予め検討して、観察・計測結果の利用法を明確にしておく。
- ・予め定める管理基準に関し、計測値が基準値を超えると予想される場合、および超えてしまった場合の対策方法も、可能な限り具体的に検討し、併せて迅速な連絡体制も確立しておくこと。

2 観 察 ・ 計 測 項 目 の 選 定

設定した目的に応じ、地山条件により予測される現象、支保部材の機能、立地条件を配慮して必要な計測項目を選定する。さらに、個々の計測の役割と結果の利用法を十分考慮しなければならない。

施工中の観察・計測の項目を表5-4-1に示す。観察・計測の項目は、日常の施工管理のための項目（計測A）と地山条件や設計の内容に応じて実施し、設計・施工に反映されることを主な目的とする項目（計測B）、さらに、施工時に坑内から切羽前方の地山状況を事前に把握し、不良地山区間の事前把握や事前調査の精度向上・補完を行い、設計・施工に反映するために行われる項目（前方探査）がある。

日常の施工管理のための観察・計測（計測A）は、地山および支保構造が異常な挙動をしていないか、安定しつつあるか等の判断資料を得るために、トンネル延長方向に一定の間隔で実施することとしている。坑内観察調査は計測のみでは把握できない地山の情報を得るものであり、切羽と既施工区間の観察を併せて行い、他の計測項目と総合して判断し、適切な処置を行うためのものである。天端沈下測定は断面の変形状態を把握し、トンネルの安定性を把握する。内空変位計測は周辺地山の安定性の判断、支保構造の妥当性および覆工時期の判断等に使用する目的で行う。また、地表沈下測定は、特に注意を要する土被りの浅いトンネル坑口や地表面への影響が懸念される箇所で行われ、沈下の影響や沈下防止対策の効果判定に使用する。

地山条件に応じて実施する観察・計測（計測B）は、使用している支保部材や施工法が妥当かどうか

かを判断し、主にそれ以奥のトンネルの設計・施工を合理的・経済的なものとするために実施する。坑内地中変位測定はトンネル周辺の地山の変形挙動を把握し、設計・施工の妥当性を判断するために実施する。ロックボルト軸力測定ではボルトに生じる軸力や分布形態から、ボルト長や耐力の妥当性あるいは増ボルト等の必要性について検討を行う。鋼アーチ支保工応力測定は、支保工の大きさ、ピッチや必要性を検討するために行う。吹付けコンクリート応力測定では、吹付けコンクリート内に生ずる応力とその分布状態を把握し、トンネルの安定性を評価する。地山試料試験や原位置調査試験は地山分類の再評価や解析に用いる地山特性を把握するものである。

前方探査は、施工時に坑内から切羽前方の地山状況を積極的かつ事前に把握する調査であり、断層・破碎帯等の不良地山区間の事前把握や事前調査の精度向上・補完を行い、設計・施工に反映するために行われる。前方探査には、爆破孔等を削孔するためのドリルジャンボを利用し、切羽前方の地質状況や地下水状況を把握する探りノミ、トンネルの切羽から掘削進行方向に向けて削孔し、得られる各種削孔機械データを解析して前方地山状況を評価する削孔検層、切羽面またはその近傍での弾性波の伝播速度等を計測し、切羽前方の地質急変部や断層・破碎帯の位置や幅を予測する弾性波を利用した方法等がある。

以上のような各種計測はすべて一度に実施する必要はなく、注目している支保部材や計測費用・信頼性等を考慮して、トンネルの立地条件や地山条件により適切な計測項目を選定すべきである。

地山条件ごとに施工時に問題となる現象と、それに対して必要な観察・計測項目の選定の目安を表5-4-2に示す。

表5-4-1 調査の項目と内容

	計測項目	計測によって求められるおもな事項	計測種別 注1)
	坑内観察調査	①切羽の自立性、素掘面の安定性 ②岩質、断層・破碎帯、褶曲構造、変質帯などの性状把握 ③支保工の変状把握 ④当初の地山の区分の再評価	A
1 原位 位置 調査 ・ 試験	坑内弾性波速度測定	①当初の地山区分の再評価 ②緩み領域 ③地層の亀裂、変質の程度 ④岩盤としての強度の把握	B
	ボーリング調査	①岩質、断層・破碎帯、褶曲構造、変質帯、ガスなどの性状把握②地山試料の採取	
	ボーリング孔を利用した諸調査、検層	地耐力（標準貫入試験）、水圧、透水試験（湧水圧試験）、変形係数（孔内水平載荷試験）	
	岩盤直接せん断試験	粘着力（ c ）、内部摩擦角（ ϕ ）、残留強度（ c' 、 ϕ' ）、変形係数	
	ジャッキ試験	変形係数、地盤反力係数	
	ポイントロード試験 （点載荷試験）	点載荷強度	注2)
	シュミットハンマー試験	シュミットハンマー反発値	注2)
	針貫入試験	針貫入勾配	
2 地山 試料 試験	一軸圧縮試験	一軸圧縮強度（ σ_c ）、静ヤング率（ E_s ）、静ポアソン比（ ν_s ）	B 注3)
	超音波伝播速度測定	P波速度（ v_p ）、S波速度（ v_s ）、動ヤング率（ E_s ）、動ポアソン比（ ν_d ）	
	単位体積重量試験	単位体積重量（ γ ）、含水比（ ω ）	
	吸水率試験	吸水率	
	圧裂引張試験	圧裂引張強度（ σ_t ）	
	クリープ試験	クリープ定数	
	粒度分析試験	土砂地山の場合、切羽の安定性の判断資料とする 泥岩、温泉余土などの場合、膨張性の判断資料とする	
	浸水崩壊度試験 （スレーキング試験）	軟岩の場合、水に対する安定性の判断資料とする	
	三軸圧縮試験	粘着力（ c ）、内部摩擦角（ ϕ ）、残留強度（ c' 、 ϕ' ）	
	X線分析試験	粘土鉱物の種類（膨張性粘土の有無）	
陽イオン交換容量試験	粘土鉱物の含有量の推定		

	計測項目	計測によって求められるおもな事項	計測種別
計測	天端・脚部沈下測定	トンネル天端・脚部の絶対沈下量を監視し断面の変形状態を知り、トンネル天端・脚部の安定性を判断する。	A
	内空変位測定	変位量、変位速度、変位収束状況、断面の変形状態により、 ①周辺地山の安定性 ②支保工の設計・施工の妥当性 ③覆工の打設時期を判断する	A
	地表面沈下測定	坑口部や土かぶりの小さい区間でトンネル縦断方向に地表面の沈下量を測定し、トンネル掘削の地表面への影響とトンネルの安定性を評価する	A 注4)
	坑内地中変位測定	トンネル周辺の緩み領域、変位量を知り、ロックボルトの長さ、設計、施工の妥当性を判断する	B
	ロックボルト軸力測定	ロックボルトに生じたひずみから、ロックボルト軸力を算出し、効果の確認、ロックボルト長、ロックボルト径の適否を判断する	B
	吹付けコンクリート応力測定	吹付けコンクリート応力から、支保効果の確認、増吹きの必要性等を判断する	B 注5)
	地表面・地中の変位測定	トンネル掘削による地表への影響、沈下防止対策の効果判定、トンネル周辺の緩み範囲を推定する	
	鋼アーチ支保工応力測定	鋼アーチ支保工応力により支保工の大きさ、ピッチの適否を判断する。鋼アーチ支保工に作用する土圧の大きさ、方向、側圧係数を推定する	B
	覆工応力測定	覆工コンクリートの安定性、双設トンネルの相互干渉の有無を確認する	
	盤ぶくれ測定	インバートの必要性、効果の判定をする	
	A E 測定	山はね現象の発生の危険度を評価する	
4 前 方 探 査	ロックボルト引抜き試験	ロックボルトの定着効果を確認し、引抜き耐力から適正な定着方式や、ロックボルトの種類を選定を目的として実施する	B 注6)
	坑内弾性波探査	切羽前方にある断層・破碎帯等の位置や幅等を把握する	
	削孔検層法	削孔速度や削孔のエネルギーを算定し、地山状況との比較により断層・破碎帯等の位置や幅等を把握する	
	探りノミ	切羽前方の地質状況や地下水状況を簡易に把握する	

注1) 計測種別のAは日常の施工管理のために必ず実施すべき計測（計測A）をいう。計測種別のBは地山条件に応じ、計測Aに追加して選定される計測（計測B）をいう。なお、計測種別が空欄のもの、あるいは本表に示されていない試験、計測項目についても、必要を認められるものについては実施する。

注2) 場合によっては計測Aに含まれることがある。

注3) 地山資料試験の試験項目は地山条件に応じて選定する。

- 注4) 地表面沈下測定にはトンネル中心線上に測点を設置する計測Aのほか、トンネル横断方向にも測点を設置する計測Bがある。
- 注5) 吹付けコンクリート応力測定のうち、トンネル半径方向の測定を背面土圧測定、接線方向の測定を吹付けコンクリート応力測定とよぶ。
- 注6) ここでいうロックボルト引抜き試験は、施工前あるいは掘削の初期段階で実施するものであり、日常の施工管理としてのロックボルト引抜き試験は計測Bとしては取り扱わない。

表5-4-2 地山条件に応じた観察・計測項目の選定

地山条件	施工時に問題となる現象 〔観察・計測の対象〕 となる現象	必要な観察・計測項目	場合により追加すべき 観察・計測項目
硬岩・中硬 岩地山	岩塊、岩片の肌落ちや緩み、崩落、切羽の自立性、山はね（土被りが大きく割れ目が少ない場合等）	坑内観察調査、内空変位測定、天端・脚部沈下測定	AE測定（山はねが問題となる場合）
軟岩地山 （膨張性地山は除く）	岩塊、岩片の肌落ちや緩み、崩落、切羽の自立性	坑内観察調査、内空変位測定、天端・脚部沈下測定	坑内地中変位測定、ロックボルト軸力測定、地山試料試験、地表面沈下測定（土かぶりが小さい場合）、吹付けコンクリート応力測定、鋼アーチ支保工応力測定
膨張性地山	側壁の押出し、盤ぶくれ、切羽の押出し	坑内観察調査、内空変位測定、天端・脚部沈下測定、坑内地中変位測定、ロックボルト軸力測定、吹付けコンクリート応力測定、鋼アーチ支保工応力測定	地山試料試験、覆工応力測定、盤ぶくれ測定
土砂地山	地山の緩みとそれに伴う地表面の沈下、切羽の流出、近接構造物への影響	坑内観察調査、内空変位測定、天端・脚部沈下測定、地表面沈下測定、坑内地中変位測定、地表面・地中の変位測定	ロックボルト軸力測定、吹付けコンクリート応力測定、鋼アーチ支保工応力測定、盤ぶくれ測定、地下水圧や間げき水圧の測定、地山試料試験

注1) この表は、問題となる現象を対象とした観察・計測項目の選定の考え方を示したもので、個々のケースに応じた的確な項目の選定が重要である。

注2) すべての地山条件について、地下水が施工に与える影響は大きく、必要な場合には坑外からのボーリング、坑内からの先進ボーリングや前方探査、さらにそれらを利用した湧水量や湧水圧、透水係数等の測定を行う。

第2節 観察・計測要領

1 計測 A

1-1 観察調査

(1) 切羽の観察

切羽の観察は、新しい切羽が出現して、まず最初に行う観察であり、スケッチ図の作成や、写真撮影を行う。特に切羽に近づいて細部のスケッチ図を作成する場合は天端の崩落や切羽からの落石に十分注意を払う必要がある。

切羽の観察は、支保規模の決定を行う際、計測のみでは把握できない地山情報を得ることを目的として実施するもので、主として切羽の地質の状態と地質の変化状況とを目視調査するものである。

具体的な記述事項を下記に示す。

- ① 地質（岩石名）とその分布、性状および切羽の自立性
- ② 地山の硬軟、割れ目の間隔とその卓越方向の地山の状態
- ③ 断層の分布、走向、傾斜、粘土化の程度
- ④ 湧水箇所、湧水量とその状態
- ⑤ 軟弱層の分布

(2) 既施工区間の観察

既施工区間の観察は、計測を補完し、設計・施工が適正であるかを確認するとともに問題があればそれを把握することを目的として実施するものである。

既施工区間では、トンネル坑内を対象とし、以下の項目について点検しながら観察しなければならない。

- ① 吹付コンクリート……地山との密着、ひび割れ（発生位置、種類、幅、長さ及び進行状況）、涌水など。但し、乾燥収縮クラックは除く。
- ② ロックボルト……打設位置・方向、ロックボルト・ベアリングプレートの変形、または地山の食い込み、頭部の破断など。
- ③ 鋼アーチ支保工……変形・座屈の位置、状況、吹付コンクリートとの一体化状況、地山への食い込み、脚部の沈下。
- ④ 覆工……ひび割れ（位置、種類、幅、長さ）、漏水状況など。

既施工区間の観察の頻度は1回/日とし、変状が認められた場合は観察の頻度を増す必要がある。

(3) 坑外の観察

坑外の観察は、土かぶりの浅いトンネルやトンネル坑口付近において特に重要な計測であり、地表沈下は、トンネルおよび周辺地山の安定性や地上構造物への影響を確認するためにも、積極的に利用することが必要である。

地表面では、以下の項目について観察しなければならない。

- ① 地表面の変状……亀裂の分布など。
- ② 植生の状況……立木の破損および傾動など
- ③ 水系の状況……湧水等の変化（量、濁り）など。

(4) 観察記録の整理

既施工区間の観察記録は、現在施工中のトンネルの設計・施工に反映されるほか、工事完成後、供用中のトンネルの維持管理にも参考となる。このため、地質や湧水などの地山状況、施工結果などを一貫性のある記録として整理、保管しておくことが大切である。

1-2 天端沈下測定

天端沈下の測定は、内空変位測定とあわせて支保の変位・変形を測ることにより周辺地山の挙動を推定し、支保の妥当性及び安全性の確認を目的として行なうものであり、掘削に伴うトンネルの天端ならびに脚部の絶対高さの変化を水準測量によって求める。沈下の測定例を図5-4-1に示す。

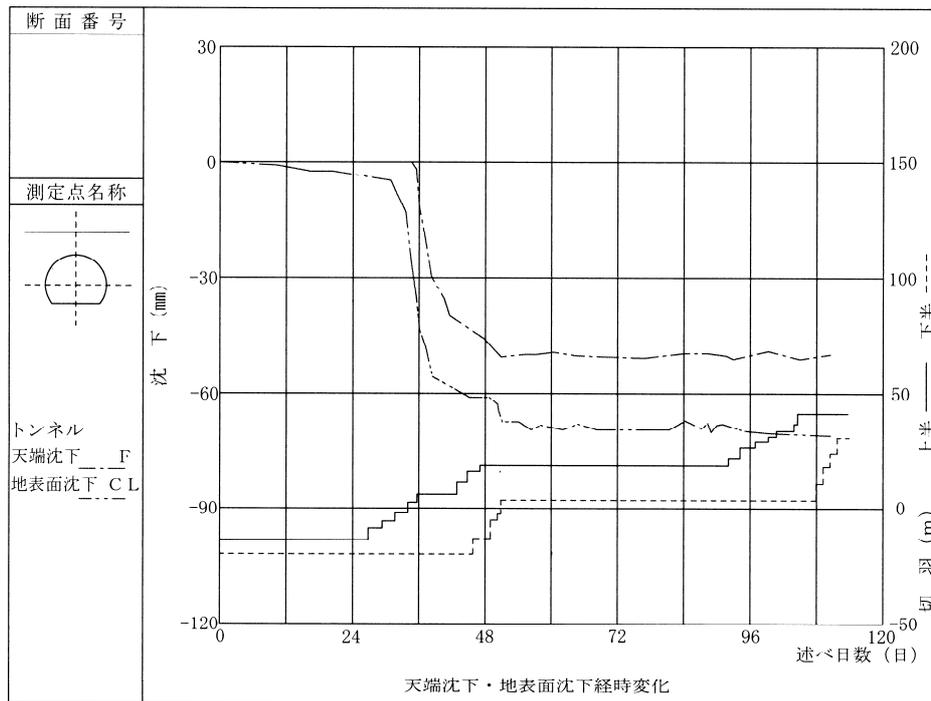


図5-4-1 掘削進行と地表沈下～トンネル天端の沈下の例

(1) 測定方法と測定位置

- ① 測定は水準測量によるものとし、坑外または坑内に設けた水準点を基準として、絶対高さ（標高）を求めて行う。
- ② 天端沈下測定用標尺として、軽量で伸縮が容易なもの、吊り下げ式金具装着のものなどが市販されている。

沈下測定の測定点は1断面当り通常天端付近の1点であるが、地質状況により、図5-4-2に示すように1断面に数点設置する。

- ① 一般区間の天端沈下測定はトンネル中心線上とする。
- ② 膨張性地山および支持力不足が予想される場合は脚部に測点を設ける。
- ③ 変位の大きい地山の場合や偏圧が著しい場合などは、必要に応じてアーチ肩部の左右に測点を設けて沈下を測定する。
- ④ 盤ぶくれする地山に対しては、上半盤および下半盤部に必要に応じて測点を設けて測定する。

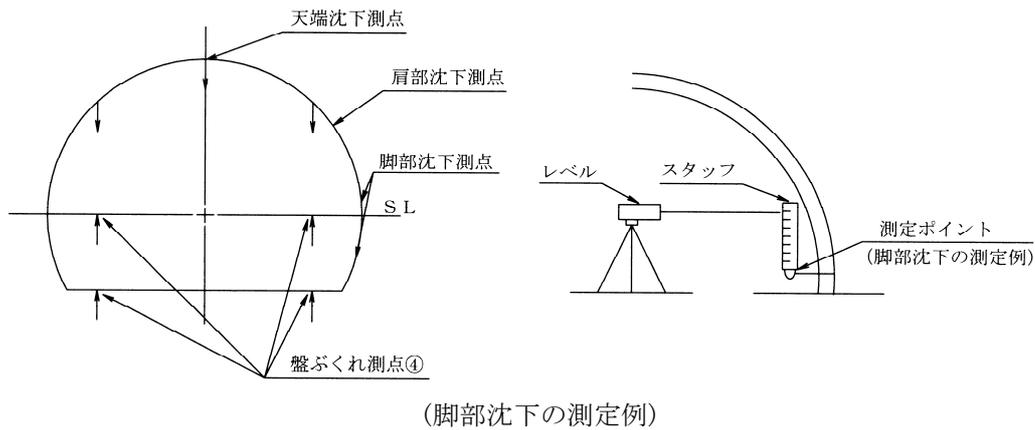


図 5-4-2 沈下測点と配置例

(2) 測定の間隔と頻度

1) 測定間隔

天端地下の測定間隔を表 5-4-3 に示す。

表 5-4-3 天端沈下、内空変位の測定間隔の標準

条件 地山等級	坑口付近 (坑口より 50m 間)	土かぶり 2D 以下 (D: トンネル掘削幅)	施工初期の段階	ある程度施工の 進んだ段階
A, B, C	10m	10m	20m	30m
D	10m	10m	20m	20m
E	10m	10m	10m	10m

注 1) 施工の初期の段階とは、200m 程度の施工が進むまでの段階。

注 2) 良好で、かつ、同様な地質から連続する場合は、表中の間隔をさらに広げられる。

注 3) 地質の変化が激しい場合は、表中の間隔を狭める。

注 4) 計測 B を実施する位置では、計測 A を行い、計測 B と計測 A の資料の整合ができるようにする。

2) 測定の頻度

天端沈下の測定頻度は、変位が収束するまでの日数、変位量、掘削工法などによって異なるが、基本的には表 5-4-4 に示すように変位速度および、切羽との離れによって定める。

測定頻度は、変位速度より定まる測定頻度と切羽からの離れより定まる測定頻度のうち頻度の高い方を採ることを原則とする。

表 5-4-4 天端沈下、内空変位の測定頻度の標準

頻 度	測定位置と切羽の離れ	変 位 速 度	摘 要
2回／1日	0～0.5D	10mm／日以上	測定頻度は、変位速度より定まる測定頻度と切羽からの離れより定まる測定頻度のうち頻度の高い方を採ることを原則とする。
1回／1日	0.5～2D	5～10mm／日	
1回／2日	2～5D	1～5mm／日	
1回／1週	5D以上	1mm／日以下	

注) Dはトンネル掘削幅

3) 初期値の測定

天端沈下の初期値は、吹付けコンクリートの硬化を待って安全を確認した後、掘削後 12 時間以内かつ一間以内に行うことができるだけ早く測定することを原則とする。やむをえない場合でも 24 時間以内にかつ一間以内に測定することが重要である。

4) 測定の時期と収束の確認

天端沈下の測定時期や断面ごとの測定時期がくずれると、計測結果の評価に支障をきたすので、測定時期は同一にするようにしなければならない。

一般的な目安として 1mm／週以下となったことを 2 回程確認でき、収束が確認したと思われるら測定を終了する。

1-3 内空変位測定

内空変位測定は、切羽観察および既施工区間の観察、天端、脚部沈下測定などの資料と併せて周辺地山の挙動、支保の変形モードなどを把握し、施工の安全性ならびに支保の妥当性を確認するとともに、二次覆工の打設時期を検討するために行う。内空変位の具体的な測定目的は、表 5-4-5 に示す。

表 5-4-5 内空変位測定目的

周辺地山の安定性	<p>掘削に伴い周辺地山は、応力の再配分の開始とともに変位が発生して平衡に達することをもって収束する。</p> <p>この収束するまでの過程と天端沈下と内空変位との総合的なバランスおよび変位の大きさがトンネルの安定性が判断される。</p> <p>測定によって得られる変位は、周辺地山との関連でいえば、切羽の進行と地山特性によって大きな影響を受ける。</p> <p>得られた変位および変位速度を分析することにより、事前の地質調査の結果などと併せて周辺地山の特性、挙動をつかむことができる。これにより周辺地山の安定性の確認ができ、また必要であれば適切な対応も可能となる。</p>
支保部材の妥当性	<p>そのトンネルにおける支保パターンごとの変形状態や計測 B で得られる支保部材の測定値などと併せて、支保の妥当性を判断する資料とする。</p>

(1) 測定方法と測定位置

1) 測定方法

現在使用されている内空変位測定器は、ほとんどがスチールテープ、あるいはスチールワイヤーなどをトンネル空間に張って測定するタイプである。最近では、距離と角度を光波によって測定する方法が利用されている。

内空変位測定は主に、一次覆工の壁面に測点を設けた2点間で、方向をもった変位として計測される。

2) 測定位置

一般に内空変位測定とは図5-4-3に示すように上半盤および下半盤の水平方向の変位と、側壁から天端にかけての、斜方向変位の3測線を指し、いずれも相対変位で表される。

これに比べて天端沈下測定は絶対変位量が計測されるため、内空変位でトンネル断面における絶対変位を求めるには、トンネル中心点と標高とを基準とした水平絶対変位の計測も併せて適当な割合で実施する。

斜方向変位測定は主に、偏圧の有無を確認する目的で行われることが多く、斜方向変位から天端沈下量は求めない。

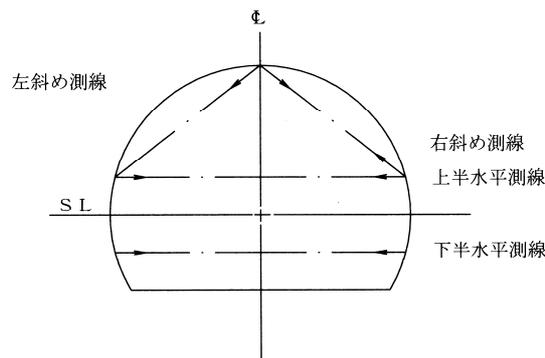


図5-4-3 内空変位測線

内空変位測定の測線は掘削工法および支保パターン別に測線を配置する。

- ① 一般には全段面工法の場合、水平1測線（S L付近）、ベンチ工法の場合、上・下半それぞれについて水平側線1測線とする。なお、測定位置は全線同じ高さとする。
- ② D IIパターン区間、坑口付近（坑口より50m間）、土かぶりの浅い区間（2D以下）、計測Bを実施する位置では4測線とする。ただし、偏圧が予想される場合には、図5-4-4のように下半にも斜方向測線（破線）を設けて、6測線とする場合がある。
- ③ 核残し、多段ベンチ、サイロットなどの場合においては、別途測線を定めるものとする。

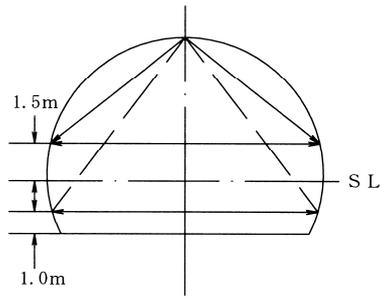


図 5-4-4 偏圧が予想される場合の測線配置

(2) 内空変位測定の留意事項

内空変位の計測値は天端沈下と同様にグラフ化する。切羽進行と経日変化と関係を示す例を図 5-4-5 に示す。

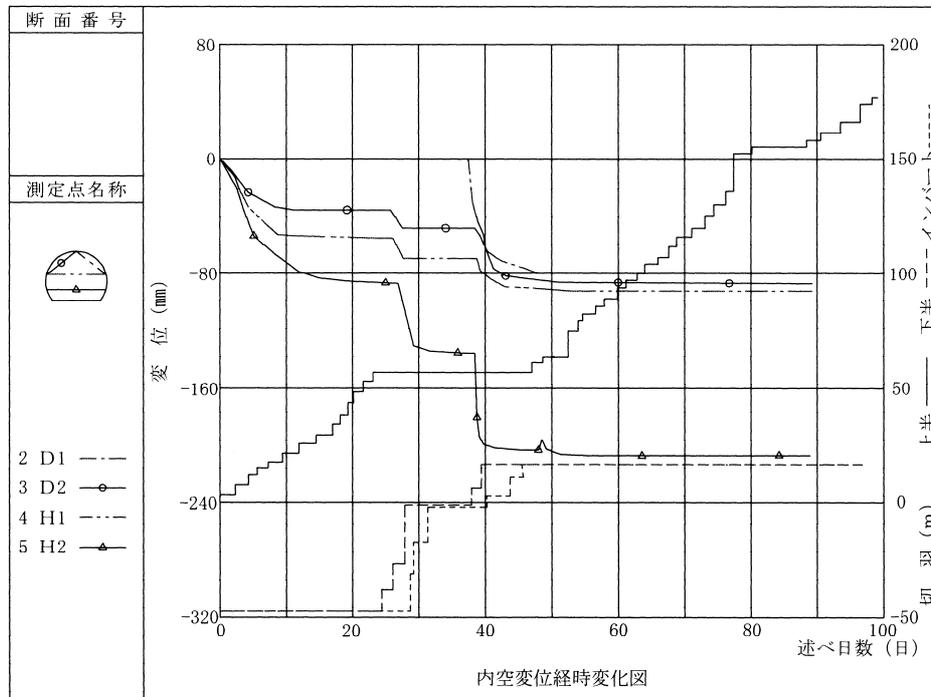


図 5-4-5 内空変位経時変化図

内空変位の測定に関する一般的な留意事項は次に示す通りである。

① 初期値

掘削後、できるだけ速やかに計測の初期値を得るように、計測点を設置する。初期値は、12 時間以内で、遅くとも 24 時間以内に、かつ次の掘削開始まで測定しなければならない。

② 側 点

トンネル掘削作業で移動しないように堅固にし、計測中に移動しないもの。

(3) 測定の間隔と頻度

内空変位間隔と頻度は表 5-4-3 と表 5-4-4 を参照にすること。

1-4 地表沈下測定

地表の沈下測定は、トンネルおよび地山の安定性の確認のため欠くことのできない計測であるため、地表沈下測定は計測Aとした。地表沈下の測定間隔を表5-4-6に示す。

表5-4-6 地表沈下の測定間隔

土 か ぶり	測 定 間 隔
1 D未満	5 m程度
1 D以上 2 D未満	10m程度

注) D: トンネル掘削幅

計測は、測定点に切羽掘削による沈下の影響が表れる以前から沈下量が収束するまで継続する。この期間は、一般に計測断面と切羽との距離が2~5 Dになるといわれている。

地表沈下測定例を図5-4-6に示す。

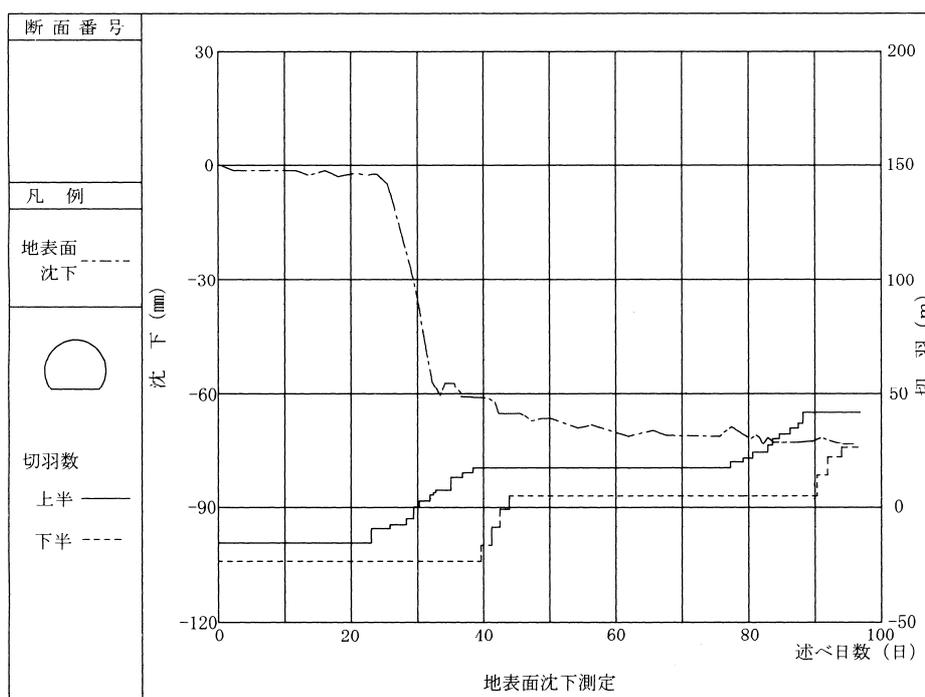


図5-4-6 地表面沈下測定

2 計測B

2-1 原位置調査・試験

(1) 目的

原位置調査・試験は地山地質条件の詳細確認、地山区分の再評価、あるいは挙動解析のための岩盤物性を得ることなどを目的として実施する。

(2) 調査・試験の項目

原位置調査・試験は地山区分の再評価、解析などに用いる岩盤物性値の評価、あるいは断層破碎帯などの地質調査による検討などを目的として実施するが、これらの目的にあった調査・試験項目を選定する必要がある。

原位置調査・試験の項目としては表5-4-7に示すとおりである。

表5-4-7 原位置調査・試験の項目

項 目	調査・試験によって得られる事項	備 考
1 坑内弾性波速度測定	① 地山等級の評価 ② ゆるみ領域の評価 ③ 岩盤物性の間接的推定	主に屈折法による弾性波探査
2 ボーリング調査	① 地質の確認（岩区分，断層破碎帯，褶曲構造，変質帯，地質境界） ② 地下水の状態 ③ 室内試験用試料の採取	土質工学会 「岩の調査と試験」
3 ボーリング孔を利用した諸調査・試験	① 地耐力（標準貫入試験） ② 水圧・透水係数（ルジオンテスト，湧水圧試験） ③ 変形係数（孔内載荷試験） ④ きれつ状態（ボアホールテレビ観察） ⑤ 弾性波速度（速度検層）など	土質工学会 「土質試験法」 土質工学会 「岩の調査と試験」
4 原位置せん断試験	岩盤のせん断強度（ C ， ϕ ）	土木学会 「原位置岩盤の変形およびせん断試験の指針」
5 ジャッキ試験	弾性係数 変形係数 クリープ係数（ α ， β ）	土木学会 「原位置岩盤の変形およびせん断試験の指針」
6 その他の試験	① 地山等級（切羽の地質）の評価（点載荷試験，シュミットハンマー試験） ② 地山応力の評価（初期地圧測定）	土質工学会 「岩の調査と試験」

(3) 坑内弾性波速度測定

1) 目 的

坑内弾性波速度測定は、当初設計時の地表における弾性波速度測定値との対比によって地山区分の再評価を行うこと、あるいはトンネル掘削によって生じるゆるみ範囲などを判定することなどのための基礎資料を得ることを目的として行う。

2) 測定要領

地山の弾性波速度を測定する方法としては、壁面に発信源と受振点を配置する弾性波探査（屈折法）とボーリング孔を利用する速度検層などがある。

(4) ボーリング調査および孔内試験

ボーリング調査は特殊な地山条件（湧水、断層破碎帯、変質帯など）が予想される場合、あるいは遭遇した場合、対策工を検討する際に利用される。

ボーリング孔を利用した調査・試験には、地耐力の検討のための基礎資料を得るための標準貫入試験、地下水や透水性の把握のための湧水圧試験、ルジオンテスト、地山内の亀裂や地質性状の把握のためのボアホールテレビ観察、さらに地山内の弾性波速度の分布を調べるための速度検層などがある。

(5) 原位置せん断試験・ジャッキ試験

原位置試験としては地山のせん断強度を得るためのせん断試験、地山の变形係数やクリープ係数を得るためのジャッキ試験、さらに、初期地圧を得るための初期地圧測定などがある。

(6) その他の調査・試験

計測管理のために地山情報の収集と強化を目的とした調査・試験として、弾性波速度測定、点載荷試験、シュミットハンマー試験などがある。

2-2 地山試料試験

(1) 目的

地山試料試験は、以下の①～③に示されるような地山等級の再評価、あるいは解析等に用いる地山物性値の検討を目的として行うものである。

- ① 地山の各物性値、地山の特性を把握することで、現状の岩盤の力学特性等を把握し設計時に想定した地山等級の再評価を行う。
- ② 地山物性値を把握することにより設計に想定した物性値のチェックを行う。また、FEM解析等の物性値の検討を行う。
- ③ 膨張性地山における膨張性の検討や、未固結地山での流砂現象の検討を行う。

(2) 試験項目

試験項目は表5-4-8に示す通り。

(3) 試験頻度

地山試料試験は、必要に応じて実施するものとする。

(4) 試験方法

地山試料試験の試料採取は切羽や坑壁で採取したり、先進ボーリングで採取する。

表 5-4-8 地山試料試験一覧表

試験項目	試験によって求められる主な事項	軟岩 中硬岩	軟岩		土砂		試験の規格						
			土圧小	膨張性 のある 場合	粘性土	砂質土	J I S	KDK	J H S	土木学会	土質工学会		
地 山 試 料 試 験	一軸圧縮強度	一軸圧縮強度 (σ_c), 静ヤング率 (E_s), 静ポアソン比 (ν)	◎	◎	◎	◎		A1216	S0502 S0503	A1202-1990			
	超音波伝播速度測定	P波速度 (v_p), S波速度 (v_s), 動ヤング率 (E_d), 動剛性率 (C_d), 動ポアソン比 (ν_d)	○	○	○			A1127	S0503				
	単位体積重量	単位体積重量 (γ_t), 含水比 (ω)	◎	◎	◎	◎	◎	A1202	S0501	A1202-1990 A1203-1990			
	吸水率試験	吸水率		○	◎	○							
	圧裂引張試験	圧裂引張強度 (σ_t)	△	△	△				引張 試験法				
	クリープ試験	クリープ定数 (η)		△	△	△							
	粒度分析試験	土砂地山の場合, 切羽の安定性の判断資料とする。 泥岩, 温泉余土の場合, 膨張性の判断資料とする。		○	◎	○	◎	A1204		A1204-1990		JSF T22-71	
	スレーキング試験 (浸水崩壊度試験)	浸水崩壊度 (A~D), 軟岩の場合, 水に対する安定性の資料		○	◎	○				110-1992	簡易スレー キング試験法		
	三軸圧縮試験	粘着力 (c), 内部摩擦角 (ϕ), 残留強度 (c' , ϕ')		△	○	△	○		S0913		軟岩の三軸圧 縮試験	土質工学会基 準案	
	X線分析	粘度鉱物の種類 (膨張性粘度の有 無)			○	△						X線粉末回折 による鉱物の 推定方法	
	陽イオン交換容量試験 (CEC)	粘度鉱物含有量の推定 (meq/100 g) (モンモリロナイト等)			△							陽イオン交換 容量(CEC) の測定	
	土粒子の比重試験	土粒子の真比重			○	○	○	A1202		A1202-1990			
	コンシステンシー試 験	液性限界(LL), 塑性限界(PL), 塑性指数 (PI)			◎	○		A1205 A1206		A1205-1990			
膨潤度試験	膨潤度 (CC)			○	○								

注1) ◎多くの場合実施する。 ○実施したほうがよい。 △特殊な場合に実施。

注2) KDK: 建設省土木試験基準(案) JHS: 日本道路公団土木工事試験方法

2-3 坑内地中変位測定

(1) 目的

坑内地中変位測定は、トンネル周辺のゆるみ等の地山挙動を明らかにすることを目的とする。

一般には、深度別の地中変位分布から地山のゆるみ状況を推定し、ボルトの長さが適当か否かを判断したり、支保の妥当性の検討を行う。

(2) 測定要領

1) 測定方法

測定はボアホール内に地中変位計等を埋設して行うもので、測点となるアンカーは地山に確実に固定できる構造でなければならない。定着方式は、モルタル固定方式と機械固定方式が代表的である。

測定機械は機械固定式と呼ばれる測定アンカーをもつ地中変位計で、通常6測点用が多く用いられる。

2) 測定器の配置

一断面当りの測定箇所は現場状況に応じて図5-4-8に示すように3～5箇所であることが多い。

測点数は、地山区分やボルト長等によって異なるが、1孔に4～6測点程度が望ましい。

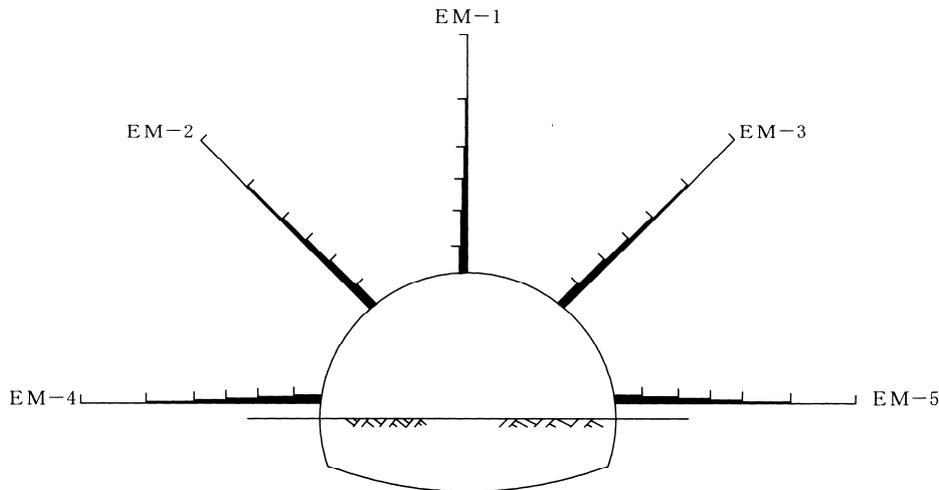


図5-4-8 地中変位計の設置例

2-4 ロックボルト軸力測定

(1) 目的

ロックボルトの軸力測定は、ロックボルトに発生している軸力の大きさとその分布状況からロックボルトの支保効果を把握し、ロックボルトの長さ、打設ピッチおよびロックボルト耐力の妥当性を判断するために実施する。

(2) 測定要領

1) 測線および測点の配置

ロックボルトの軸力測定は、一断面当り5箇所程度の測線を標準とする。測定用ロックボルト

の測点はロックボルト長によって異なるが、軸力分布を詳細に知るには、4～6点程度あることが望ましい。

2) 測定頻度

ロックボルト軸力測定は、同じ位置で行われる天端沈下測定、内空変位測定と同じ頻度で測定するものとする。

3) 測定方法

ロックボルト軸力の測定方法には、各測点間の局所ひずみをひずみゲージで電氣的に測定する方法と、各測点間の平均ひずみをロッド等によりこの区間の長さの変化として機械的あるいは電氣的に測定する方法とがある。

2-5 吹付けコンクリート応力測定

(1) 目的

吹付けコンクリート応力測定は、吹付けコンクリートに生じる応力と背面土圧の大きさ、およびその分布状況を把握することを目的として実施する。

(2) 測定要領

1) 測線および測点の配置

吹付けコンクリート応力測定は、一断面当り5箇所を測定を標準とし、設置箇所はロックボルト軸力計に準じるものとする。

2) 測定頻度

吹付けコンクリート応力測定は、同じ位置で行われる天端沈下測定、内空変位測定と同じ頻度で測定するものとする。また、測定終了の時期も、これらの測定と同じものとする。

3) 測定方法

吹付けコンクリート応力の測定方法としては、吹付けコンクリート施工時に土圧計、応力計などの計器を埋設して測定する方法が一般的である。

吹付けコンクリート中に計器を埋設すると応力集中を生じる場合があるので、計器の選定に際してはなるべく応力集中の生じない形状のものであり、かつ吹付けコンクリートの材令による剛性の変化に影響されにくいものであることが望ましい。

2-6 地表・地中の変位測定

(1) 目的

土かぶり比較的浅い場合に、計測Aで行なう地表沈下測定に追加して、トンネル掘削による周辺地山の変位に伴い地表面に生じる沈下の大きさ、範囲を把握し、周辺地山およびトンネルの安定性を評価するとともに周辺環境に対する影響を評価するための資料を得ることを主目的とする。

(2) 測定要領

地表・地中の変位測定によって地山の安定性評価に加えて、地表への影響範囲と大きさを把握することで、沈下防止対策の要否や効果の確認を行う。

地中沈下測定はトンネル切羽通過前に生じる沈下（先行変位）を測定するためには極めて有効である。坑内地中変位測定がトンネル掘削後に坑内から行われるのに対し、地中沈下測定は坑外から行われるので坑内作業に支障をきたすことなく測定できる利点がある。

地表・地中の変位測定の重要度の目安は、土かぶりにより表5-4-9に示すように区分される

が、地表に住宅や各種の施設がある場合や、地中の既設構造物がトンネルに近接する場合などは、重要度を判断し計測計画を立案しなければならない。

表 5-4-9 地表・地中の変位測定の実施の目安

土かぶり	測定の重要度	測定の要否
$h < D$	非常に重要	測定が必要である
$D < h < 2D$	重要	測定を行ったほうがよい
$h < 2D$	普通	必要に応じて測定を行う

注) D : トンネル掘削幅 h : 土かぶり厚

1) 測定装置および測定方法

地表沈下測定は、地表に標点をコンクリートで根固めを行って設置し、水準測量によって標点の沈下量を測定するのが一般的である。

地中変位測定は、地表からボーリングを行い、多段式の地中変位計を埋設し、電気式変換器によって地中変位を測定するものである。

2) 測定位置および測点の配置

地表沈下測定の測定位置、間隔、測点の配置などは、地質・地形・地下水等の地山条件、土かぶり厚さ、構造物の有無や大きさ・重要度、測定の障害となる物件の有無、トンネルの施工法などを総合的に検討し決定する。トンネル横断方向での一般的測定対象範囲は、図 5-4-9 に示すように、トンネル底盤から約 45° の領域を目安とし、測点の配置はトンネル直上部で 3 m 間隔、その両側で 5 m 間隔程度を標準とする。トンネル縦断方向の測点間隔は、土かぶりが小さいほど小さくし、その目安は表 5-4-10 に示すとおりである。

地中沈下測定のトンネル横断方向の測定位置は、トンネル中心軸に多段式変位計を設置することを標準とするが、地質・地形・地下水等の地山条件、土かぶり厚さ、構造物の有無や大きさ・重要度、測定の障害となる物件の有無、トンネルの施工法、費用対効果などを総合的に判断し、追加設置、位置の変更等を検討する必要がある。なお、絶対沈下量を把握するためにも、地表沈下の測定を同位置で行うことが望ましい。

3) 測定頻度

地表・地中の変位測定は、トンネル掘削に伴う沈下の影響が現われる以前に初期値を測定する。

計測頻度は切羽が通過する前後は頻度を増し、1～2回/日程度とするが、土かぶり、周辺構造物の有無や重要度などに応じて適宜修正しなければならない。

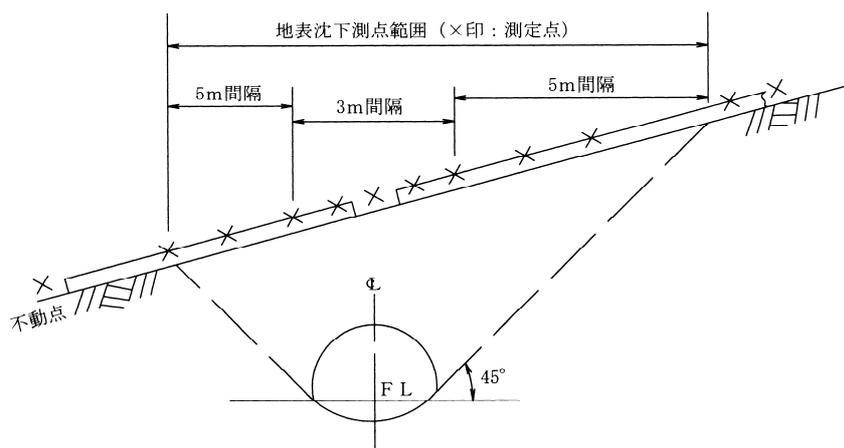


図 5-4-9 標準的な地表沈下測点配置例

表 5-4-10 地表沈下測定の測定間隔の例(縦断方向)

土かぶり (h) とトンネル掘削幅 (D) の関係	測点間隔 (m)
$2D < h$	20~50
$D < h < 2D$	10~20
$h < D$	5~10

注 1) 施工の初期の段階、地質変化の激しい場合、沈下量の大きい場合などは表中の狭い間隔をとる。

注 2) 近接構造物等がある場合は、表中の狭い間隔、あるいはさらに狭い間隔をとる。

注 3) ある程度施工が進み、地質が良好で変化が少なく、沈下量も小さい場合は表中の広い間隔をとる。

2-7 鋼アーチ支保工応力測定

(1) 目的

鋼アーチ支保工に生じる応力の大きさ、鋼アーチ支保工の適切な寸法・形状・建込み間隔を判断する資料を得ることを目的とする。

(2) 測定要領

鋼アーチ支保工の応力測定は、鋼材表面のひずみを測定して求める方法が一般的である。鋼アーチ支保工に使用される鋼材の種類として、H形鋼、鋼管、U形鋼などがある。これらのなかでH形鋼が標準設計に採用されており、最も一般的である。

1) 測定装置および測定方法

支保工にひずみゲージを貼付け、ひずみ量を測定することにより、支保工に働く断面力を求める。鋼アーチ支保工の設置終了時を初期値とし、以後継続して経時変化を測定する。特に吹付けコンクリート施工時や下半掘削時などの前後には計測頻度を増すことが望ましい。

2) 測点および測線の配置

測点配置例を図5-4-10に示す。1断面あたりのひずみ測点数は多いほうが望ましいが、6～8点程度が一般的である。

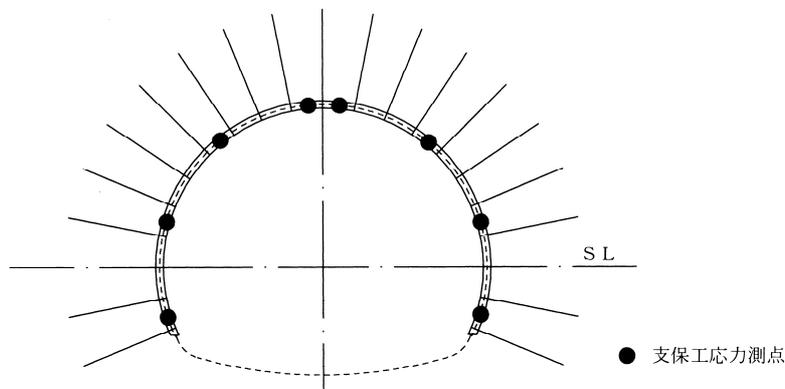


図5-4-10 鋼アーチ支保工応力測定用測点配置例

2-8 覆工応力測定

(1) 目的

覆工コンクリート応力測定は、膨張性等の地山において覆工打設の段階でトンネル全体が安定していない場合や、双設トンネルの施工などで打設済の覆工コンクリートに新たな荷重が加わると考えられる場合に、覆工コンクリートの応力を測定してその安全性や設計の妥当性を把握することを目的として行う。

(2) 測定要領

覆工コンクリートの応力測定は、コンクリートの打設時に計器を埋設する方法が一般に行なわれている。コンクリートの応力計、鉄筋に用いる場合には鉄筋応力計などが用いられるが、トンネル半径に比べて巻厚が大きい場合には、軸力と比較して曲げモーメントが無視できない場合がある。したがって、覆工コンクリートの中立軸の内側と外側にそれぞれ計器を設置したり、曲げモーメントの小さいと考えられる位置に設置することが望ましい。

2-9 盤ぶくれ測定

(1) 目的

盤ぶくれ測定は、主に膨張性地山において、上半盤、下半盤、あるいは打設後のインバートコンクリートの隆起量を測定することによって、上半での仮インバートの必要性、インバートロックボルトの必要性、インバートコンクリートの打設時期の判定およびインバートコンクリートの効果の判断資料を得ることを目的として実施する。

(2) 測定要領

盤ぶくれ測定は、一般的には、上半盤、下半盤、あるいはインバートコンクリート上に測定ポイントを設け、レベルによる水準測量によって行う。

2-10 AE測定

(1) 目的

ここでとりあげるAE（Acoustic Emission）測定は、岩盤の破壊に伴って発生する微小地震波を測定し、これを評価することにより、主として「山はね」の発生の予測を目的として実施する。

「山はね」とはトンネル掘削において、掘削周辺の岩盤の一部が破壊し大きな音響を伴って内空に飛び出す現象である。

(2) 測定要領

AE測定は、AEセンサーにより微小振動を加速度計により測定する。

AEパラメータとしては、以下に示すようなものを取り上げられている。

- ① AEイベント数
- ② リングダウンカウント数
- ③ AE最大振幅値

2-11 ロックボルト引抜き試験

(1) 目的

ロックボルト引抜き試験は、ロックボルトの定着効果を確認し、引抜き耐力から適正な定着方式や、ロックボルトの種類を選定を目的として実施する。特に、未固結、土砂地山のように地山のせん断強度が小さい場合には、引抜き耐力があまり期待できないので、重要な試験となる。

(2) 測定要領

ロックボルト引抜き試験は、センターホールジャッキ等を用いて引抜き荷重を与え、ロックボルト頭部の変位をダイヤルゲージなどで測定して実施する。

3 前方探査

3-1 探りノミ

(1) 目的

探りノミは、爆破孔やロックボルト孔削孔要のドリルジャンボを利用したノンコアボーリングで簡易に行う前方探査である。切羽前方の地質状況や地下水状況を簡易に把握することが目的であり、具体的には次のようなものがある。

- ① 切羽観察で地質変化が見られた時点での前方地質等の状況確認
- ② 事前地質調査で予想される地質変化地点や断層・破碎帯の状況確認
- ③ トンネル全延長に対する計画的な切羽前方地質等の状況確認
- ④ 弾性波を利用した前方探査結果の精度向上のための補完
- ⑤ 前方探査に加えて、水抜きボーリング効果を期待

(2) 調査要領

最も一般的な利用法は、上記目的①の場合である。この場合は切羽断面内での地質不良箇所などの前方に3～5mのボーリング（探りノミ）が実施される。また、天端の安定性を事前に把握確認して先受け工等の要否を検討するために、切羽から天端部の前方へ探りノミを実施することもある。

ただし、削孔水により天端部の地山強度を低下させることもあるので注意が必要である。上記目的②～⑤の場合は、比較的長い探りノミが実施される。1回の削孔長（調査長）は、ドリルジャンボ搭載の削岩機能力と削孔の難易度を左右する地山状況、さらに削孔精度により異なるが、20～30m程度が一般的である。

3-2 削孔検層法

(1) 目的

削孔検層法はトンネルの前方探査として比較的簡易で直接的な方法であり、トンネルの切羽から掘削進行方向に向けてドリルジャンボ等により削孔し、そのときに得られる各種削孔機械データを解析し、トンネル掘削時の地山状況との比較により、地山の硬軟、割れ目の状況、断層・破碎帯等の位置等前方地山状況を探査する手法である。一般的な探査範囲は20～30m程度である。

(2) 調査要領

ドリルジャンボを用いて地山を穿孔する際に得られる削孔機械データを、削孔機械に設けた計測システムで逐次自動収録し、そのデータを解析することで、削孔した範囲の地山状況进行评估する。測定データは、削孔速度、フィード圧（給進力）、トルク（回転圧）、打撃圧、ダンピング圧（削孔反力）等を自動採取する。なお、削孔速度は給進力に依存するため、定量的評価を行うためにデータ測定中は給進力を一定とするなど工夫が必要である。これらのデータのほか、くり粉の状態、湧水量等を測定する。

3-3 弾性波を用いた切羽前方探査

(1) 目的

切羽前方探査の目的は、切羽前方の断層・破碎帯等の地質急変部の存在の有無、位置、幅、公差角度を事前に予測し、支保パターンや補助工法に反映させることにある。

(2) 調査要領

既存資料をもとに地質構造（地層や断層の走向・傾斜、湧水の有無、岩相の変化等）の概要を把握した後に、起震点や受震点の位置や間隔、測定方式を計画する。主たる測定装置は、受震器、受震器ケーブル、中継線、データ収録装置、点火器から構成される。受震器には、一般的に速度計もしくは加速度計を用いる。また、起震源には原則として爆薬を使用し、P波による探査をおこなう。ただし、探査深度が浅い場合には、ハンマーによる起震でも良い。起震点と受震点は、トンネル軸に沿ってなるべく直線上、かつできるだけ起伏が少なくなるように側壁もしくは底盤へ配置する。配置にあたっては、①探査対象（地層や断層の走向・傾斜）、②探査対象深度、③坑内の設備状況に配慮する。このうち、②探査対象深度については、探査可能範囲が100～200mであるが、弾性波は距離が遠いほど減衰するので、受震点をできるだけ探査対象に近い位置に設定することが望ましい。