

2016年制定 トンネル標準示方書[山岳工法編]・同解説

第5編「施工管理」

山岳工法小委員会

第6分科会 砂金 伸治

第5編「施工管理」

平成23年度アンケート調査における主な要望事項と 新示方書改訂の要点

- ・維持管理WGからの提言を該当する項に反映
- ・施工管理＝インバートに関する記述
- ・計測＝各計測に関する詳述と結果の活用の記述

第5編「施工管理」の改訂のポイント

- 品質管理, 出来形管理に関して覆工に加え, インバートの記述内容の充実を図った.
- 維持管理に向けた各種管理記録の作成や保存の重要性の明示等を行った.
- 観察・計測の項目毎にその位置, 頻度, 要領について, 内容を充実させた.
- 観察・計測の評価と活用について, 具体的な手法や留意点等について内容を充実し, 設計, 施工, 維持管理への反映について記述した.

旧示方書と新示方書の比較

旧示方書 第7編「施工管理」	新示方書 第5編「施工管理」
第1章 通 則	第1章 総 則
第166条 施工管理一 般	1.1 施工管理一般
第2章 工程管理	第2章 工程管理
第167条 工程管理	2.1 工程管理
第3章 品質管理と 出来形	第3章 品質管理と 出来形

第1節 管理一般	3.1 管理一般
第168条 管理一般	
第2節 吹付けコンクリート	3.2 吹付けコンクリート
第169条 吹付けコンクリートの材料, 計量および練混ぜ	3.2.1 吹付けコンクリートの材料, 計量および練混ぜ
第170条 吹付けコンクリートの吹付け厚および強度	3.2.2 吹付けコンクリートの吹付け厚および強度

第3節 ロックボルト	3.3 ロックボルト
第171条 ロックボルト の材料	3.3.1 ロックボルト の材料
第172条 ロックボルト の配置および 定着	3.3.2 ロックボルト の配置および 定着
第4節 鋼製支保工	3.4 鋼製支保工
第173条 鋼製支保工 の材料	3.4.1 鋼製支保工 の材料
第174条 鋼製支保工 の建込み	3.4.2 鋼製支保工 の建込み

第5節 覆 工	3.5 覆工およびインバート
第175条 覆工の材料, 配合および強 度	3.5.1 覆工およびイン バートの材料, 配合および強度
第176条 型枠の据付 けおよび覆工 の出来形	3.5.2 覆工およびイン バートの型枠の 据付けと出来形

第6節 防水工・ひび割れ抑制工	3.6 防水工, ひび割れ抑制工
第177条 防水工・ひび割れ抑制工の品質管理	3.6.1 防水工, ひびわれ抑制工の材料
	3.6.2 防水工, ひびわれ抑制工の設置
第7節 排水工	3.7 排水工
第178条 排水工の品質管理	3.7.1 排水工の材料
	3.7.2 排水工の設置

第4章 観察・計測

第1節 観察・計測一般

第179条 観察・計測の 意義

第4章 観察・計測

4.1 観察・計測一般

第2節 観察・計測の計画	4.2 観察・計測の計画
第180条 計画一般	4.2.1 計画一般
第181条 観察・計測項目	4.2.2 観察・計測項目
第182条 観察・計測頻度	4.2.3 観察調査の位置, 頻度
第183条 観察・計測位置	4.2.4 変位計測の位置, 頻度
	4.2.5 計測Bの位置, 頻度
第184条 使用機器の選 定	(4.2.1 計画一般に統合)

第3節 観察・計測の実施	4.3 観察・計測の要領
第185条 観察要領	4.3.1 観察調査の要領
第186条 計測要領	4.3.2 変位計測の要領
	4.3.3 計測Bの要領
第187条 観察・計測結果の整理	(上記の4.3.1～4.3.3に統合)

第4節 観察・計測結果の
活用

4.4 観察・計測の評価と
活用

第188条 基本的な考え方 (下記の4.4.4 に統合)

第189条 観察・計測結果
の評価

4.4.1 観察調査結果の
評価と活用

4.4.2 変位計測結果の
評価と活用

4.4.3 計測B結果の
評価と活用

第190条 設計,施工,維持
管理への反映

4.4.4 設計, 施工, 維持
管理への反映

第1章 総則

1.1 施工管理一般 (P227)

- (1) 周辺地山が有する支保機能を有効に活用出来るように、支保工等の適切な施工管理をする。
- (2) 施工管理記録のうち、維持管理に必要な記録は、適切に整理し保管する。

(1)について

- 施工管理のうち工程管理、品質管理、出来形管理、観察・計測について記述した。
- トンネルの掘削は、地山がもつ固有の強度、変形特性等を積極的に利用し、支保工、覆工と地山が一体となってトンネルの安定が得られるよう施工し、一連の作業を適正かつ経済的になるように施工管理を実施する。

(2)について

- 施工管理記録の保管すべき資料の一例
 - 施工中
 - 地質調査データ, 品質管理記録, 出来形管理記録, 支保パターン, 補助工法等の施工実績, 観察・計測の記録, **切羽崩落, 異常出水** 等
 - しゅん功時
 - 覆工の点検結果(ひびわれ発生状況, 打音検査, **非破壊検査**)等
- **しゅん功時の覆工の点検結果等の記録は, 補修履歴を追記し更新していくため, 様式は追記できるように整理する.**

第2章 工程管理

2.1 工程管理(P228)

工程管理は、常に作業の実態、実績を把握し、計画工程と対照し、全体工程を満足させるように実施しなければならない。

- トンネル周辺に**近接構造物が存在する場合**の留意点
 - **近接構造物**への影響抑制
 - ⇒先受け工等の対策工の採用(**工程の見直し**)
- 検討すべき事項・・・重要度に応じ序列
 - 1)立地条件・・・都市部での作業時間規制等
 - 2)地山条件・・・都市部での地下水位の変動、地表面沈下による周辺構造物への影響の把握
 - 3)施工機械
 - 4)材 料
 - 5)実稼働日数

第3章 品質管理と出来形

3.1 管理一般(P229)

各部材の品質および出来形は、所定の試験、検査を行い、適切に管理しなければならない。

- 施工後に目視による出来形管理が困難となるもの
- 事前に立会検査や写真による寸法、数量確認等の適切な管理手法を用いて出来形管理を行うことが必要である。

3.2 吹付けコンクリート

3.2.1 吹付けコンクリートの材料,計量 および練混ぜ(P229)

(1)セメント,骨材,急結剤等の吹付けコンクリートに用いる材料については,所定の試験,検査を行い,その品質を確認しなければならない.

- 材料の検査

- 諸材料の品質確認は,製造工場の検査成績書でも良い.

3.2 吹付けコンクリート

3.2.1 吹付けコンクリートの材料,計量 および練混ぜ(P229)

(2) 材料の貯蔵量は施工に見合ったものとし、貯蔵中の劣化、異物の混入に注意し、適切に管理しなければならない。

■ 材料の貯蔵管理

- 練混ぜ水・・・練上り温度を含む温度管理.
- 液体急結剤・・・温度管理, 容器の腐食, 製品の蒸発, 水の混入, 材料分離等に対する留意.

3.2 吹付けコンクリート

3.2.1 吹付けコンクリートの材料,計量 および練混ぜ(P229)

(3) 吹付けコンクリートの製造にあたっては、
材料の計量器、練混ぜ機等の性能について
検査しなければならない。

- 吹付けコンクリートの製造
 - 吹付けコンクリートの製造では、材料の配合管理が重要であり、定期的に計量器の精度、練混ぜ機(ミキサー)の性能等の検査を行わなければならない。

3.2.2 吹付けコンクリートの吹付け厚(P230)

(1) 吹付けコンクリートは、所要の吹付け厚が得られていることを確認するとともに、目視により付着性状、はね返り等の観察を行い、良好な施工が行われていることを確認しなければならない。

■ 吹付け厚の確認

- 掘削面の凹凸、位置によるばらつきに注意
 - 金網のたるみや鋼製支保工の建込み誤差、余堀りに伴う密着不足に注意が必要
- ※仕上げ面の平坦さにも留意する必要がある。

3.2.2 吹付けコンクリートの吹付け厚(P230)

■ 施工時の管理

- 吹付け表示用ピンや鋼製支保工等を目安
- 3Dスキャナーによる出来形管理の実施例あり.

■ 吹付け厚の管理方法

- 検測間隔: 延長50m以内に1断面
- 検測箇所: 1断面当たり7箇所以上
- 検測方法: 検測孔等

※仕上げ面の平坦さにも留意する必要がある.

3.2.2 吹付けコンクリートの吹付け厚(P230)

(2) 吹付けコンクリートは、所要の強度が得られていることを確認しなければならない。

■ 強度管理

- 初期強度(材齢24時間まで)、早期強度(材齢7日程度まで)、長期強度(材齢28日程度以降)

■ 繊維補強吹付けコンクリート

※ 地山に吹付けられたコンクリートの強度把握のため、原位置での試験が望ましい。

3.2.2 吹付けコンクリートの強度試験(P231)

■ 初期強度

- 引抜き方法による試験(型枠)…JSCE-G 561
- 引抜き方法による試験(原位置)…JSCE-G 561
- はりによる試験…JSCE-G 562
- 空気圧式ピン貫入試験…**NEXCO 726**

■ 早期強度, 長期強度

- 型枠に吹き付けた試料のコア…JSCE-F 561
- トネル壁面に吹き付けた試料のコア
…JIS A 1107

■ 繊維補強吹付けコンクリート

- 曲げじん性…JSCE-F 553, JSCE-G 552

3.3 ロックボルト(P232)

3.3.1 ロックボルトの材料

- (1) ロックボルト等の材質，形状等が設計で定められたものであることを確認し，有害な錆，異物の付着および変形を生じないように保管されなければならない。
- (2) 定着材は，所定の試験，検査により品質を確認し，品質の劣化が生じないように保管されなければならない。

3.3.2 ロックボルトの配置および定着

- (1) ロックボルト孔は，所定の孔数，位置，方向，孔径，長さであることを確認しなければならない。
- (2) ロックボルト，ベアリングプレートは，十分な性能が得られるよう確認しなければならない。

3.3 ロックボルト(P232)

- ロックボルト引抜き耐力の設定について

引抜き耐力はロックボルトの降伏点耐力(通常, ねじ部の降伏点耐力)と同程度となるように定める.

施工前, 施工初期段階, 施工中に必要な応じて引抜き試験を行い, 所定の耐力が得られていることを確認.

- 定着方式(モルタル使用)について

- ・先充填型 … 定着材をロックボルト挿入前に充填
- ・カプセル型 … 定着材を封入したカプセルを先挿入
- ・後注入型 … ロックボルト挿入後に注入

3.3 ロックボルト(P232)

■ 施工時の確認事項

- ・ 定着材がロックボルト全長に入っていることを確認.
- ・ ベ어링プレートが吹付け面に密着していることを確認
- ・ 防水シートを破損しないようロックボルト頭部を確認

3.4 鋼製支保工(P234)

3.4.1 鋼製支保工の材料

鋼製支保工の材質，形状等が設計で定められたものであることを確認し，有害な錆，異物の付着および変形を生じないように保管されなければならない。

3.4.2 鋼製支保工の建込み

鋼製支保工は，所定の間隔，位置に建て込まれていることを確認しなければならない。

3.4 鋼製支保工(P234)

- 鋼製支保工の建込みについて
 - 鋼製支保工は所定の位置に建込むことを原則.
 - 余掘りが大きく背面地山や一次吹付けとのあいだに空間が発生する場合は, できる限り密着して建て込み, 空隙には吹付けコンクリート等を充填, 支保工脚部地山で確実に支持.
 - 一組の鋼製支保工は同一平面にあり, ねじれたり, 傾いたりしていないこと.
 - 隣接する鋼製支保工間に著しい凹凸がないこと.
 - 検測は, 変位収束後に行うのが一般的.

3.5 覆工およびインバート(P.236)

3.5.1 覆工およびインバートの材料, 配合および強度
覆工およびインバートの材料, 配合ならびに強度は,
設計に適合していることを確認

- **流動性の高い覆工コンクリートの適用事例**
 - スランプおよびスランプフローによる管理
 - 材料および締固めについて規定した配合, 性状となるよう管理することが重要
- **インバートの強度**
 - 埋戻し土や転圧作業の荷重, 輪荷重等に支障のないコンクリート強度を設定し管理
- **繊維の配合**
 - 使用目的に応じた種類, 添加量の選定, 繊維が一樣に分散できる配合等の設定が必要

3.5.2 覆工およびインバートの型枠の据付けと出来形

- (1) 型枠は形状、寸法が適切で、打込み時の圧力に耐える強度および支持地盤が十分な強度であるか確認
- (2) 型枠は形状、寸法が所要のものになるよう据え付けられていること、所要の設計巻厚が確保できることを確認
- (3) 出来形は、所要の形状、寸法が得られていることを確認、表面状態について点検が必要

■ (1) 流動性の高い覆工コンクリートの打込み速度

- 打込み時の圧力が大きくなるため、型枠制作時に設定した圧力範囲内で打込み速度調整

■ (3) インバートの高さ管理等

- 掘削断面の高さ管理は、左右の下半脚部に高さ基準を設定し、基準からの高低差により高さを管理
- 施工中に大きな変位を受けた区間は、計測データを密に確認、異常時はインバートやその周辺の観察が重要

⇒ ひびわれ幅で補修基準を定めた補修が一般的

3.6 防水工, ひびわれ抑制工

3.6.1 防水工, ひびわれ抑制工の材料 (P239)

使用する材料は,

- 設計に適合した品質であることを確認.
- 必要に応じて所定の検査を実施.
- 材料の品質を損なわないように保管.

■ 材料の品質

- 変形追従性, 柔軟性に対する留意.
- 覆工コンクリートの施工等に際し, 破損しないもの.
- 品質, 仕様, 強度等を検査成績書等で確認.
- 防水工・・・耐久性, 接合の确实性に留意.

- 吹付けコンクリートと防水シートの上に充填材を注入し防水シート表面を平滑にする工法に用いる充填モルタルは、適度な流動性、充填性および強度の確認が必要。

- 材料の保管

- 直接地上に置くことを避け、角材等の上に保管。
- 紫外線劣化防止のため、長期間保管時は倉庫内に保管。

坑内搬入後は

- 破断等の損傷防止、接合に支障となるほこりや粉じん、油脂、水分の付着防止のため、必要に応じて防護や覆いを設置。
- 漏水や結露等による裏面緩衝材の吸水に留意。

3.6.2 防水工, ひびわれ抑制工の設置 (P239)

設置にあたっては下記を確認.

- 下地処理が十分行われているか.
 - コンクリート打設時にシートの破損, 脱落がないよう適切に補強, 固定されているか.
 - シートの余裕不足や余裕過多が生じていないか.
 - さらに, 防水工の設置にあたっては, 材料相互の止水性や連続性が保たれているか.
-
- 下地処理: ロックボルトや吹付けコンクリート等の処理状況を目視により確認
 - 防水工接合部は、必要に応じて加圧検査, 負圧検査等を実施し確認

3.7 排水工

3.7.1 排水工の材料 (P240)

使用する材料は、設計に適合した品質であることを確認し、必要に応じて所定の検査を実施する。

- 排水工使用材料は、製造工場の検査成績書等で性能を確認。
- 覆工背面に設ける排水管等は、
 - ・コンクリートの打込みで潰れないもの
 - ・遊離石灰や土砂等で目詰まりしにくいもの
 - ・コンクリート打込みにより閉塞しないよう適切な処理がされているか確認

3.7.2 排水工の設置 (P240)

排水工の設置にあたっては、施工状態が設計に適合し、排水機能が十分に発揮されていることを確認。

覆工背面や路盤下に施工される排水工は、将来の清掃、点検等が困難であることから、設計に適合し、接続等が確実に行われていることを綿密に確認する。

第4章 観察・計測

4.1 観察・計測一般

観察・計測は、掘削に伴い変化する切羽や周辺地山や周辺構造物の挙動および地下水等の周辺環境への影響を把握して、設計や施工の妥当性を検討するとともに、工事の安全性や経済性を確保するために実施しなければならない。

- ・地中に構築される線状構造物のため、事前に得られる情報の量と質には限界がある。このため、施工中に観察・計測を行い、当初設計を修正しながら安全で経済的なトンネル構築する必要がある。
- ・トンネル掘削に伴って、地下水等の周辺環境に影響が懸念される場合には、地下水状況を工事前から把握する必要があり、工事完了後も計測を行う必要がある。

・観察・計測結果の評価と活用

管理基準の設定が不可欠，施工前に設定するが，一律ではなく，**観察調査，変位計測結果**に基づき修正が必要

・維持管理への反映

観察・計測の結果は，施工中のトンネルの設計施工に反映させるほかに，**工事完成後に当該トンネルを供用した際の維持管理**，あるいは類似の条件で施工するトンネルの設計施工にも参考となる．**このため，観察・計測の結果に加えて，施工結果等を一貫性のある記録として整理，保管しなければならない。**

4.2 観察・計測の計画

4.2.1 計画一般(P242)

観察・計測計画は、その目的、トンネルの各種条件、結果の反映方法等を十分に考慮して策定しなければならない。

■ 観察・計測計画の基本方針

① 掘削に伴う地山挙動等問題点の抽出

(観察・計測目的の明確化)

② 観測すべき事象の決定

(観察・計測対象の明確化)

③ 管理基準および対応策の決定

(観察・計測結果の評価、活用方法の明確化)

4.2.2 観察・計測項目(P243)

観察・計測項目の選定においては、予想される地山挙動、支保工の性能、立地条件を十分考慮しなければならない。

- 観察調査，変位計測，計測Bに分類
→(表5.4.1の修正)
- 計測に使用する機器は、機器の特性を理解した上で、必要な機能と精度を有するものを選定
- 計測機器の費用に関しては、設置から撤去までの全期間における総合的な検討が必要

4.2.3 観察調査の位置, 頻度 (P246)

観察調査の位置および頻度は, 観察結果と変位計測の関連性が把握できるように設定しなければならない.

- 観察調査の位置
 - 切羽・既施工区間: 原則トンネル全長
 - 坑外: 坑口付近, 土被り2D以下 等
- 観察調査の頻度
 - 切羽・既施工区間: 原則1回/日
 - 坑外: 1回/日~1回/週程度(適宜変更)
⇒掘削の影響が現れる前から観察を開始

4.2.4 変位計測の位置, 頻度 (P246)

変位計測の位置, 頻度は, 日常の施工管理を円滑に行い, 周辺地山の挙動, 支保の変形モード等を把握できるように設定しなければならない.

- ・位置は, 諸条件や施工方法を考慮して設定
- ・頻度は, 掘削前後は密に, 切羽が離れるに従って疎になるように設定
- ・初期値の測定は, 掘削直後の切羽に近い位置でできるだけ早期に行うことが必要
- ・観察調査や計測Bの断面位置, 頻度を揃えることが重要. 周辺地山の挙動や支保の変形モードを把握し, 設計, 施工への反映が可能

1) 変位計測の位置

- ・内空変位測定, 天端沈下測定, 脚部沈下測定
測定位置は, 同一断面において測定することを原則
地山条件や施工段階に応じ, 所定の間隔で計測断面
を設ける. なお, 計測B等そのほかの計測項目を実
施する断面では, 本測定を基本的に実施する.

測線配置は, 掘削工法と地山挙動を考慮して設定

(測定間隔例: 鉄道トンネルを表5.4.3, 道路トンネルを表5.4.4)

(測線配置例: 鉄道トンネルを図5.4.3, 道路トンネルを図5.4.4)

- ・地表面沈下測定(トンネル中心線上)

測定間隔は, 一般には土被りによる目安に基づく

(測定間隔例: 鉄道トンネルを表5.4.5, 道路トンネルを表5.4.6)

2) 変位計測の頻度

- ・内空変位測定, 天端沈下測定, 脚部沈下測定
切羽との離れと変位速度の関係により定め, どちらか
頻度が高くなるほうを採用することが望ましい.
変位の傾向が把握できるよう設定しなければならない.
(測定頻度例: 鉄道トンネルを表5.4.7, 道路トンネルを表5.4.8)
- ・地表面沈下測定(トンネル中心線上)
トンネル掘削の影響が現れる前からの測定開始が重要
一般に, 変位が収束するまでの期間に, 1回/日~
1回/週程度の頻度で測定

4.2.5 計測Bの位置, 頻度 (P250)

計測Bの位置および頻度は, 計測A等の各種計測結果によって得られるトンネル挙動と支保部材の相互の関連性が把握できるように設定しなければならない。

1) 計測Bの位置

- 計測Aとの断面位置と合わせ, 各計測B断面同士では計器配置を揃える。

2) 計測Bの頻度

- 計測Aに合わせ, 各項目は同時期に測定。
- 変化の程度が最大の計測項目に合わせる。

解説 表および図

- 坑内からの計測B
- 坑外からの計測B
- **その他の計測B**: 周辺構造物変状測定, 地下水位測定および補助工法に関する測定等

解説 図5.4.8 長尺先受け工の事例

解説 図5.4.9 垂直縫土工の事例

4.3 観察・計測の要領

4.3.1 観察調査の要領(P253)

- (1) 施工中は、切羽の地山状況、既施工区間の状況・変化等を注意深く観察しなければならない。
- (2) 坑口付近や小土被り区間では坑外においても観察を行う。
- (3) 観察調査結果は、設計、施工等に反映するためすみやかに整理しなければならない。

■ 切羽観察

- 観察項目：地質状況、硬軟の程度、割れ目、断層、湧水および切羽の安定性
- 切羽崩壊現象と観察時の着眼点(旧189条)

- 既施工区間の観察
 - インバート(特に必要と認められる場合)
⇒ひび割れの有無, 滞水の有無
 - 異常時: 変状位置, 種類, 規模等を記録
- 観察調査結果の整理
 - 地山状況等を的確に把握できるように図表等にわかりやすく整理
 - 切羽スケッチをトンネル延長方向に整理して地質縦断図及び地質平面図を作成することが望ましい
 - 施工方法の合理化に向けたデータベース化が望まれる

4.3.2 変位計測の要領 (P259)

- (1) 変位計測の機器は、目的に適合した仕様と精度を有し、**耐久性、信頼性等が高いもの**を選定しなければならない。
- (2) 計器の設置は、すみやかに**切羽近傍に設置**し、防護に努めなければならない。
- (3) 測定は、**観察調査等との関係を理解**し、測定値の妥当性を検討しなければならない。
- (4) 変位計測結果は、**既掘削区間の現状を把握**し、設計、施工に反映するためにすみやかに整理しなければならない。

(1) 変位計測に使用する機器

1) 内空変位測定,天端沈下測定,脚部沈下測定

- 三次元計測システム
(ほとんどのトンネルで使用可能)
- 携帯情報端末, タブレット端末
(可搬型, 測定簡単)
- コンバージェンスメジャー
(従来機器, 高い精度)

2) 地表面沈下測定

- レベル(従来機器, Z方向のみ)
- 三次元計測システム(ベクトルで把握)
- GPS(時間や天候に左右されない)

(2) 計器の設置

できるだけ**早期に初期値を測定**するため、
通常**の施工サイクルの中**ですみやかに切羽近
傍に計器を設置

1) 内空変位測定,天端沈下測定,脚部沈下測定

- ・**最も重要で利用頻度の高い測定**
- ・測点は動かないよう堅固に設置
- ・**基準点は計器から離して設置, 測点は計器に近く
短い距離を視準し, 誤差をできるだけ少なくする**

2) 地表面沈下測定

- ・測点は十分な根固めや防護をする必要
- ・**トンネル掘削にともなう地表面沈下が発生しない
地点に基準点(不動点)を設置する必要**

(3) 測定にあたり

- ・日々の切羽状況や観察結果，支保パターンとの関係を把握し，測定値の妥当性を検討
- ・一定期間ごとに計器の校正や点検を実施し，測定値の信頼性を確認
- ・切羽付近が作業中であることが多いため安全に留意

(4) 変位計測結果

- ・結果は，図表等にわかりやすく整理し，まとめる
(鉄道トンネルの例を図5.4.10，5.4.11，
道路トンネルの例を図5.4.12)
- ・切羽の進行，計測開始時期，延べ日数等を記入し，観察結果と合わせて，総合的に評価
- ・結果の整理は維持管理のために非常に重要，電子化しデータ更新，検索，活用が容易になるように保管

4.3.3 計測Bの要領(P262)

- (1) 計測Bの計器の設置にあたっては、計測目的をよく理解し、できる限りすみやかに設置するとともにその防護に努めなければならない。
- (2) 測定作業にあたっては、それぞれの計測内容をよく理解し、測定値の妥当性を検討することにより、計測の信頼性の向上に努めなければならない。
- (3) 計測Bの計測結果は、周辺地山やトンネル支保工の安定性を把握し、今後の予測や設計、施工に反映するためにすみやかに整理しなければならない。

(1) 計測Bの計器の設置

- 計測目的の理解, 計器の精度, 仕様および特性の把握
- 坑外からの計測Bでは, 掘削前の常時の状態把握が重要(周辺構造物の変状等の観察調査含む)
- 初期値のタイミングはできる限り早く

(2) 計測Bの測定作業

- 施工状況との関係の把握, 測定値の妥当性の検討が重要

(3) 計測Bの計測結果

- 施工進捗状況や計測データ相互の関連付け
- 計測管理システム(図表作図の自動, 迅速化)
- 周辺地山や支保工の安定性評価
- 未施工区間の設計, 施工の合理化, トンネルの維持管理や併設トンネルの設計, 施工
- 各種計測Bの計測データの整理例

経時変化図(図5.4.13 坑内地中変位, 図5.4.17 地表面沈下)

経距変化図(図5.4.14 ロックボルト軸力)

応力分布図(図5.4.15 吹付けコンクリート応力)

断面力分布図(図5.4.16 鋼製支保工の断面力)

4.4 観察・計測の評価と活用

4.4.1 観察調査結果の評価と活用(P266)

- 観察調査結果は、ほかの計測結果と総合して適切に評価し、支保工の妥当性の確認や選定に活用しなければならない。

1) 切羽観察結果

定性的評価手法と、観察結果を点数化して集計し評点を与え、その大小で地山を評価する定量的評価手法がある。切羽に出現した地山の分類や支保パターンの選定、切羽対策工の要否の判定に活用する。

- ①定性的評価手法 観察記録表をこれまでの経験や観察計測データに基づき、定性的に評価する。

②定量的評価手法

- i) **単純平均法**：切羽観察記録等を4ないし5段階程度に配点し，集計することで評価する。各観察項目は同じ重み付けとなる。（解説表 5.4.13参照）
- ii) **加重平均法**：支保選定に際して影響度が強い観察項目（圧縮強度，風化変質，割れ目等）について，岩石グループ（硬質～軟質，層状，塊状）別に異なった重み付けを行い評価する。
（解説表 5.4.14，図 5.4.18参照）

2) 既施工区間の観察結果

設計施工の妥当性の評価等に活用する。

3) 坑外の観察結果

設計施工の妥当性の評価等に活用する。

4) 観察調査の評価の留意点（全文追加）

- ①定性的評価：主観が入り客観性に欠ける。
- ②定量的評価：重み付けの検討，評価の適合性を検証することが重要である。
- ③総合的な評価：観察のみならず，計測結果による情報を総合的に評価することが重要である。
- ④地質変化への対応：適切な支保工の選定のため地質の流れを把握することが重要である。
- ⑤地山特性の把握：硬岩は割れ目の評価，軟岩は地山の強度など，評価項目を十分検討する。
- ⑥判断基準の修正：支保部材の妥当性を検証して判断基準を修正し，未施工区間に反映させる。

4.4.2 変位計測結果の評価と活用(P270)

変位計測結果の評価と活用では、周辺地山と支保工の挙動を把握し、事前に設定した管理項目と管理基準に基づき施工の安全性や設計の妥当性等をすみやかに評価し、未施工区間の支保工選定や、後続計画等の地山条件に適合した合理的な設計、施工に反映しなければならない。

1) 管理基準

- 設定は、一律ではなく現場条件に応じて個別に設定するものである。
- 管理基準では、具体的な基準値と対策を明確にしたうえで、迅速に対応できる安全管理体制の整備が重要。
- 管理基準の運用方法として、変位計測項目では、一般に天端沈下測定や内空変位測定が活用される。実際に現場で管理を行う際には段階ごとの管理レベルⅠ～Ⅲを設定しており、支保パターンごとや地山区分ごとに管理基準を設定している場合がある。

■ 管理基準の設定方法

管理基準は、トンネル周辺地山の安定性や支保部材、または、近接構造物の保守基準の観点等で設定される場合が多い。以下に示す方法で設定した管理基準は、定量的評価を行うことを目的に設定するものであるが、観察にもとづく現位置の岩盤状態との関連性を考慮し、施工条件、地山条件等に応じた見直しを行うことが特に重要である。以下に管理基準の設定方法を示す。

- ① 過去の類似事例や試験区間の実績に基づき定める方法
- ② 有限要素法解析等の数値解析により定める方法
- ③ 限界ひずみ法により定める方法
- ④ せん断指数およびせん断ひずみにより定める方法
- ⑤ 最終変位予測により定める方法
- ⑥ 近接構造物の保守基準等から定める方法

2) 変位計測結果の評価

- 地山状況に応じて評価時に重み付けの検討が必要
- 変位計測結果から評価すべき主な事項等
 - 地山性状の評価
 - 例) 変位計測結果からみかけ弾性係数を算出
みかけ弾性係数と天端壁面ひずみの関係から、
切羽の安定性を評価
 - 地山挙動の評価
 - 危険な状態になる前に早い段階での変位計測結果から、地山の挙動、変化を予測することが重要
また、変位計測後、早期に切羽の安定性を評価
することができる、後続の支保工選定やイン
バートの必要性、施工時期の検討に反映できる。

- 最終変位予測法(追加)

- ① 過去の施工実績を用いて予測する方法
- ② 事前の数値解析結果との対比から予測する方法
- ③ 既施工区間の実績に基づき予測する方法

- 支保工の安定性の評価

変位計測結果から支保部材の過不足を評価するには、変位の大小や収束状況を見る。施工した支保が適切でないとは判断できる場合は、支保の増減等の対処を行うとともに、その後の支保選定に反映することが設計および施工の合理化につながる。ただし、変形が収束しても大きな応力が支保工に作用していることもあるため注意が必要である。

- 覆工打込み時期の評価

3) 変位計測結果の活用と留意点(追加)

- 活用例

- ① 早期閉合の必要性和時期の検討
- ② 補助工法の効果検証
- ③ 次の施工段階へのフィードバック
- ④ 後続計画への反映

- 留意点

変位計測は、下の因子により影響を受け、結果が大きく異なることを理解しておくことが重要である。

- トンネル断面の形状, 大きさ
- 加背割り
- 地山の特性(クリープ特性など)
- 変位計測の開始時期
- 支保部材の違い(高規格支保部材など)
- 補助工法

4.4.3 計測B結果の評価と活用(P276)(追加)

計測Bで得られた結果は適切に評価し、周辺地山の安定性の確認、周辺環境への影響の確認、使用している支保部材や施工法の妥当性の確認、切羽前方の未施工区間や近傍に新設するトンネルの設計に反映しなければならない。

<計測Bの目的>

- トンネルの挙動(計測A)と、地山内部や支保部材の挙動(計測B)との関係を把握して、現状の支保が適切かどうかを判断。
- 判断結果を以後の設計、施工に反映。

1) 計測B評価と活用(追加)

<計測Bによるデータが活用される場合>

① 観察調査

- 影響が地表に及ぶ場合の地表面の状態観察等

② 地山挙動に関する計測

- 地表面沈下測定, 盤ぶくれ測定, 地中変位測定等による緩み領域の進展や変状モードの分析

③ 支保工, 覆工性能に関する計測

- ロックボルト軸力計, 吹付けコンクリート応力計, 鋼製支保工応力計等による部材仕様の妥当性確認
- 計測Aの結果とあわせて, 緩み領域の進展, 支保部材の荷重分担, 変形モード等の分析に活用

④地山物性に関する調査, 試験

- 地山物性の取得, 確認

⑤その他

- 地表の構造物への影響計測(沈下量, 傾き, 発破振動等の計測による周辺環境への影響評価)
- 地下水位の計測(水位変動の測定による周囲の地下水位への影響評価, 防水型トンネルでの覆工に作用する外水圧評価等)
- 補助工法の効果確認のための測定

2) 計測Bの評価方法(追加)

① 地表面沈下測定

- 偏土圧地形, 地すべり, 近接施工, 地下水等の影響に注意 → 他計測器の設置による総合的評価

② 盤ぶくれ測定

- 他の計測結果とあわせて断面内の変形状態を総合的に評価

③ 地中変位測定

- 緩み領域とその進展状況の推定(空間的変位分布)
- 岩盤内ひずみ分布推定による安定性の評価(逆解析結果を用いた緩み領域推定)
- ロックボルトの長さの適否判断

④ 地山試料試験および原位置調査, 試験

- (第2編 3.1.4, 第2編 3.3.2に記載)

⑤ ロックボルト軸力測定

- 軸力が降伏強度を超える場合, 他の変位測定結果とあわせて断面内の変状モードを総合的に評価し, ロックボルトの設計を見直す

⑥ 吹付けコンクリート応力測定

- 支保部材としての耐力, 剛性の適否を判断するための情報
- 材齢によって力学特性が変化するため, 地山条件とともに材齢や切羽進行の考慮が必要

⑦ 鋼製支保工応力測定

- 支保部材としての耐力，剛性の適否を判断するための情報
- 他の測定結果，目視観察の記録等も踏まえ，断面内での総合的な挙動評価が必要

⑧ 覆工応力測定

- トンネル完成後の近接施工や地下水位の回復に伴う応力変化を受ける場合の安定性評価
- 覆工が荷重を受ける場合の安定性評価

⑨ 地下水位測定

- トンネル掘削による地下水位への影響把握

4.4.4 設計, 施工, 維持管理への反映(P281)

観察・計測結果は管理基準等に基づいて総合的に評価し, すみやかに設計, 施工へ反映させるとともに将来の維持管理の参考資料として**維持管理のために適切に記録を整備し, 保管しなければならない。**

基本的考え方(追加)

観察・計測結果および地山・支保工の挙動等の情報を、速やかに設計・施工への反映させること、後続計画・類似地山条件の施工や、維持管理段階で活用するための基本的考え方を追加

1) 設計・施工への反映

設計・施工への反映の流れと考え方について記述するとともに、**観察・計測結果を適切に記録し、利活用がしやすい形で保管しておくことが望ましいことを記述**

2) 維持管理への反映

観察・計測等の記録の維持管理での重要性について記述するとともに、**維持・管理で利活用が容易となるよう、また散逸しないよう適切に記録・保管することが望まれることを記述**

(図 5.4.29を更新)