

卷末資料

1. 現地調査方法	卷末-1
2. 各試験方法（案）	卷末-24
3. 施工管理項目等参考例	卷末-39

1. 現 地 調 査 方 法

1. 気象の調査

(1) トンネル内外の気温調査

トンネル内外の気温調査は、凍害や凍上圧による変状の可能性がある場合に、その原因究明や対策工の設計のための基礎資料とすること、及び寒冷地の施工における養生対策の検討を目的に行う。

トンネルの気温差を調査する場合、トンネル延長が長い場合には、坑口付近と坑奥では一般に温度差が生じる。したがって、測定位置の選定に当たっては、坑口付近と中間部の数カ所について測定し、トンネル延長方向の気温分布を求めておくことが、凍害対策の計画や補修・補強工事の養生対策検討に当たって有効となる。

夜間等で気温が 5℃以下になるおそれがある場合は、シート養生や特殊養生（給熱養生）の適用を検討する。

なお、ひび割れ幅や後述する内空変位測定器のテープは温度変化の影響を受けるため、ひび割れ変化調査や内空変位測定を行う場合は、気温測定を併用する場合がある。

2. 地表面・地山の調査

(1) 地表踏査

坑口など土かぶりの小さい場合や偏圧が作用する地形においては、崩壊や地すべり等の地表面に至る変状が、トンネルの変状に直接かかわっている場合が多い。そのため、坑口周辺の地表を踏査することで、変状原因を把握することを目的に地表踏査を行う。

調査に際しては、トンネル周辺の地形図、地質図、航空写真や既往のボーリング調査等を参考に地表を踏査し、地割れ・陥没・立木の曲り等を調査・記録する。路線上に建築物や土木構造物等の近接構造物がある場合は、近接構造物の変状（ひび割れ等）に着目して地表踏査を行う。

(2) 地形・地質調査

変状原因の究明や対策工設計のために、地形、地質、地下水条件等に対する詳細な情報を把握する必要がある場合には、地山の地質調査を実施する場合がある。

地山条件に関する主な調査項目としては、地形、地質構造、岩質及び土質、地下水、物理的性質、力学的性質、鉱物化学的性質、その他がある。調査方法については、「トンネル標準示方書〔山岳工法〕・同解説」土木学会（2016 年制定）等を参考にして行う。なお、これらの調査については既存の地質調査報告書等に必要な情報が記録されている場合があるので、事前にそれらの資料調査を行うことが重要である。

鋼板内張工法や既製管挿入工法の設計においては、設計地下水位の設定に長期間の水位観測が必要である。

(3) 地山試料試験

地山試料試験は、地山の物理的性質を把握するために行うものであり、この結果から変状原因の推定や対策工の設計条件を得ることが目的である。

変状箇所が特定できているトンネルにおいては、ボーリングによりトンネル変状部の周辺地山の性質を直接確認する方法が有効である場合が多い。このボーリングから直接コアを採取して室内試

験（地山試料試験）を行うことによって、地山の物性値や力学特性を把握することができる。地山の主な試料試験項目については、「道路トンネル維持管理便覧【本体工編】」日本道路協会（令和2年8月）p.241を参考にされたい。

また、掘削後のボーリング孔を利用して、ボアホールカメラなどによる諸観察を行い、コア観察だけではわからない事項（亀裂状況、地下水、岩石の硬さなど）を判断するためのデータを得ることができるほか、地中変位計や傾斜計を挿入して地山の変位を観察することもできる。

（4）地山剛性調査

地山剛性調査は、弾性波探査等によりトンネル覆工背面の地山の剛性を把握するために行うものであり、この結果から地山の弾性係数等、対策工の設計条件を得ることが目的である。

弾性波探査には、地表から測定する方法と坑内から測定する方法があるが、既設トンネルの補強・改修対策の検討に際しては、覆工背面の緩み領域の弾性波速度や緩み層厚を正確に測定できる坑内弾性波探査を適用するのが望ましい。なお、坑内弾性波探査については、11. 緩み領域調査の項で詳述する。

地山の弾性波探査については、トンネル建設当時の地質調査報告書等に記録されている場合があるので、事前にそれらの資料調査を行い、地山の剛性を確認することが望ましい。ただし、対策を必要とする変状トンネルの場合は、既設覆工背面に緩み領域が存在するため、対策工の構造設計に際しては、緩み領域の剛性を把握することが重要である。

また、コアボーリングにより地山のコアを採取し、地質や岩級区分から弾性係数を推定する方法もある。ただし、変状トンネルの既設覆工背面には緩み領域が存在するため、弾性係数の推定に留意する必要がある。コアボーリングで不攪乱試料が採取可能な場合は、強度試験から弾性係数を測定することも可能である。

その他の方法として、ボーリング孔を利用した孔内検層（速度検層）や孔内載荷試験を行い、弾性係数等を測定する方法がある。ただし、ボーリング調査には費用がかかること、及び小断面トンネルが主流の水路トンネル坑内からボーリング調査を実施することが難しいことに留意して計画しなければならない。

（5）地山挙動調査

地山挙動調査は、地すべり等による地山の移動の計測、覆工の押出しが進行している場合の緩み領域の範囲の推定、対策工施工中の覆工及び地山の挙動を把握することを目的に行う。調査方法には、トンネル内からの地中変位測定と地表面から行う地すべり変位測定等がある。具体的な調査方法については、「道路トンネル維持管理便覧【本体工編】」日本道路協会（令和2年8月）pp.237～240を参考にされたい。

3. 覆工の変状調査と打音調査

（1）現地踏査

現地踏査については、技術的見地を持つ技術者が遠隔目視により対象施設の坑内を調査することにより、変状箇所の位置、変状の内容や程度などを大まかに把握し、覆工の変状調査（近接目視）

の実施方法や調査範囲を具体的に検討することや水路の仮回し方法、位置等を検討することを目的に行う。

現地踏査の前に、調査計画段階の資料における変状の発生状況や調査・分析結果を十分に把握したうえで、現地で確認すべきポイントを掌握しておくことが重要である。また、現地踏査結果を基に、変状原因の概略検討を行い、追加調査の必要性を判断しなければならない。

現地踏査における留意点については、「農業水利施設の機能保全の手引き「水路トンネル」」（平成28年8月）を参考にされたい。

(2) 覆工の変状調査（近接目視）

覆工の変状調査（近接目視）は、トンネル変状調査の基本となるものであり、覆工コンクリートの表面に現れた、変形、ひび割れ、はく離、はく落、漏水、目地劣化等を現地で近接目視により観察し、変状展開図を作成する。

変状展開図は、変状の状況をできるだけ正確に観察し、簡潔でかつ適切な記号等を使用して作成する。変状展開図に記入する項目及び記号の例を表-1.1 に、変状展開図の例を図-1.1 に示す。

表-1.1 変状展開図記入項目（例）

項目	記号例	説明			
トンネル名					
調査年月日					
縮尺					
測点 No.又はスパン No.					
建設年次					
建設時のトンネルタイプ					
建設時の設計巻厚					
施工継目	— — — — —				
ひび割れ		最大幅	1mm 未満	数字は延長 (m)	数字のないものは幅 0.2mm 未満
			1～3mm 未満	〃	
			3～5mm 未満	〃	
			5mm 以上	〃	
		食い違いあり 矢印側突出			
		圧ざ			
剥離・剥落		数字は剥落深さ (cm)、全厚の場合は特記する。			
目地切れ		石積、コンクリートブロック積の目地切れ箇所			
変形		はらみ出し、盤ぶくれの範囲			
摩耗、洗掘、ジャンカ		骨材が露出している状況 数字は面積 (m ²)			
湧水		面的に濡れている状態			
		にじみ			
		滴水			
		流水			
		噴水			
		地山の吸出しを伴うもの			
溶脱物		遊離石灰			
打音調査	H ₁ : 2	当該ブロックで清音を発する個所数			
	H ₂ : 3	当該ブロックで鈍い音を発する個所数			
写真撮影		撮影箇所 数字は番号			
水深 (cm)					
その他		その他の特記事項を記す欄を設ける			

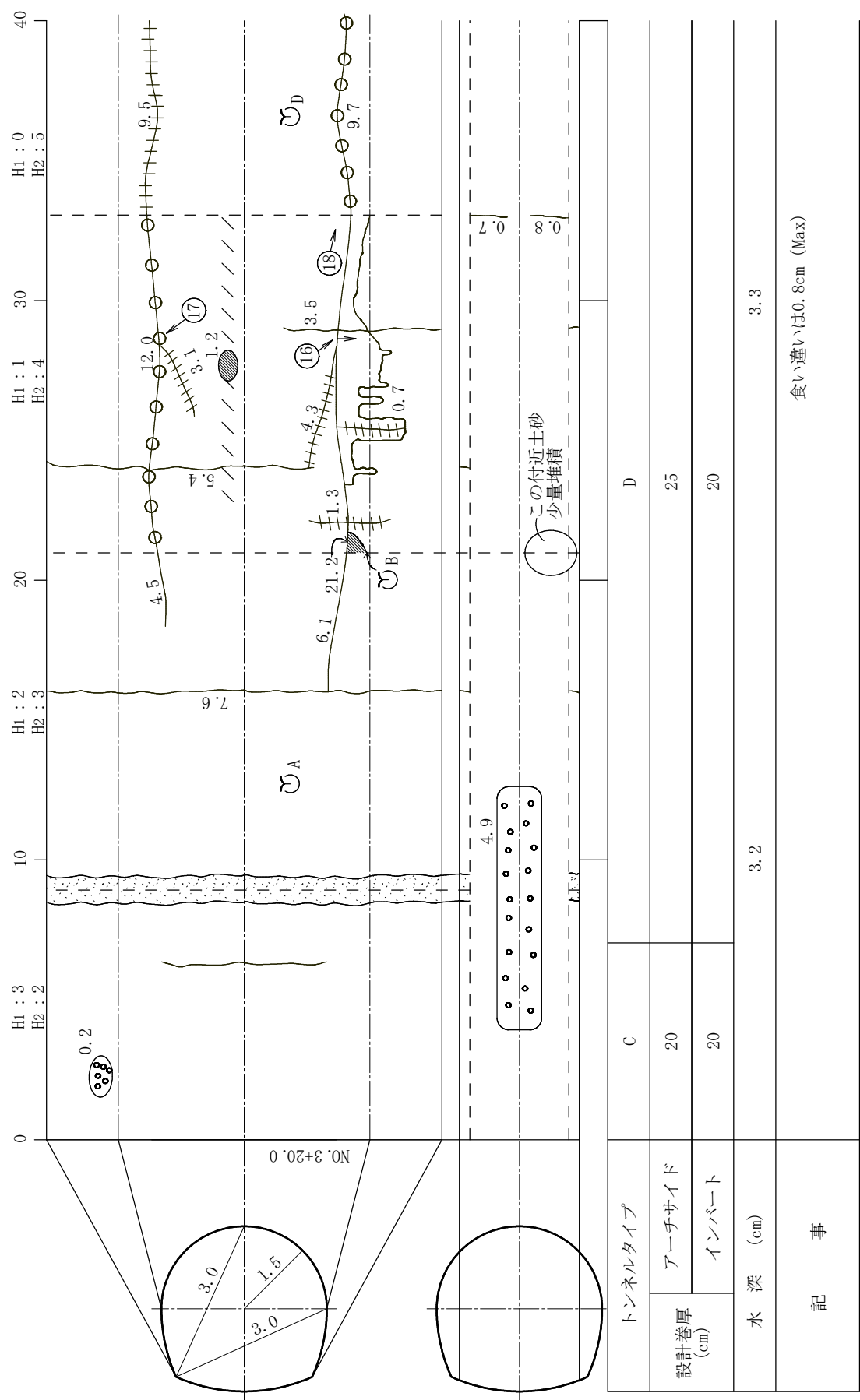


図-1.1 変状展開図 (例)

ひび割れは水路トンネルで最も一般的にみられる変状現象であり、ひび割れ形態、規模、パターン等を観察することにより荷重のかかり方、変状の状況、変状原因等がある程度推定することができる。水路トンネルの補修・補強対策を検討する上で、ひび割れ等の変状を精度良く調査することが最も重要である。

覆工の変状調査（近接目視）方法は、人力作業による方法と水路トンネル壁面の連続画像を取得して計測する方法がある。後者は人力作業に比べ調査時間を大幅に短縮することができるため、断水時間の制約を受ける場合や長距離トンネルでの適用実績が多い。これらの適用性を把握し、所定の時間内に精度の高い調査を実施することが重要である。適用性については本書の参考資料①「覆工表面画像取得技術の適用性」を参照されたい。

1) 人力作業及び計測器による覆工の変状測定

人力作業による覆工変状測定は、クラックスケールや巻尺によってひび割れの幅や位置を調査し、ひび割れ等の変状展開図を作成するものである。人力による覆工変状調査は、暗所での長時間労働となり、作業条件が極めて悪いことや観察者の主観が入りやすいという欠点があるため機械を使った方法に移行しつつある。しかし、緊急性を要する場合や調査対象が狭い場合には依然として有効な方法である。

2) 覆工表面画像取得による覆工の変状測定

近年、覆工表面画像取得による水路トンネルの覆工の変状調査方法が開発され、ビデオカメラ（CCD エリアカメラ等）による方法やレーザーによる方法が実用化されている。

① ビデオカメラによる覆工変状測定方法

ビデオカメラ（CCD エリアカメラ等）による方法は、測定用台車上の架台に設置した複数台のビデオカメラと照明機器を用いてトンネル坑口から連続で撮影し、画像処理によりひび割れを検出するものである。撮影時の走行速度によりひび割れの検出限界があり、時速 30km の走行で 0.5mm 程度、時速 3km の走行で 0.3mm 程度のひび割れを検出することが可能である。ひび割れ以外にも漏水、エフロッセンス等の検出も可能である。

画像処理は、複数台のビデオカメラにより撮影した画像とトンネル縦断方向の画像を静止画の状態で貼り合わせ処理を行い、展開画像を作成するものである。

調査方法は、画像から全ての変状を確認・計測する方法と、人力作業の補助として変状の確認（ひび割れ幅の測定を含む）とチョーキングを人力で行った後、撮影した画像を元に変状展開図を作成する 2 種類の方法に大別される。前者は画像からひび割れ幅等を測定するために、高画質画像データが必要であり、高スペックの機器が必要となることや、データ容量が非常に大きく扱いにくいという欠点がある。一方、後者（補助）はあらかじめ人力により変状をチョーキングした後で撮影を行い、画像に写ったチョーキングを元に変状展開図を作成する方法である。この方法は、高画質画像を必要としないため、汎用機器の使用が可能であることや、データ容量が小さく扱いやすいといったメリットがある。

写真-1.1 にビデオカメラによる覆工変状測定状況を、図-1.2 にビデオカメラ（CCD エリアカ

メラ) による覆工変状測定結果の例を示す。

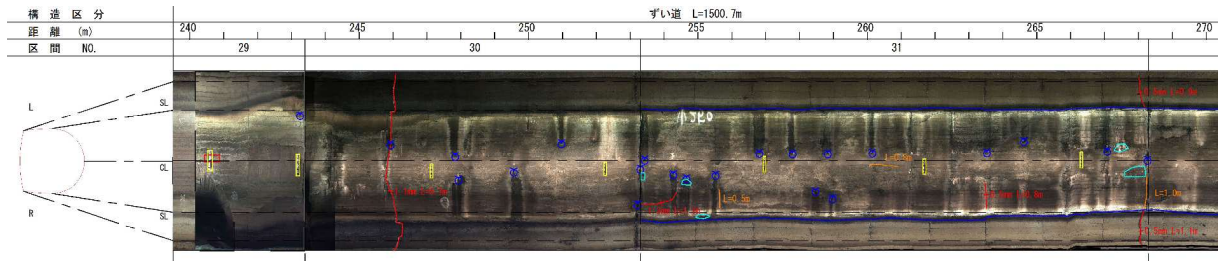


(1) 坑口より進入 (背面)

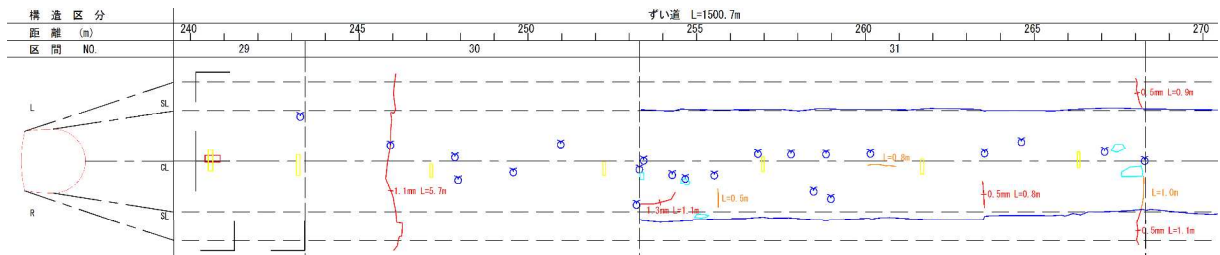


(2) 坑内調査状況 (前面)

写真-1.1 ビデオカメラによる変状測定状況



(1) 展開画像 (ひび割れ等変状抽出画)



(2) ひび割れ等変状展開図

図-1.2 ビデオカメラ (CCD エリアカメラ) による変状測定結果の例

② レーザーによる覆工変状測定方法

レーザーによるトンネル覆工コンクリートの変状調査法は、レーザー光線を覆工コンクリート表面に走査し、それらの反射光の強弱によってひび割れを検出するものである。反射光量は、センサーで受光した後にデジタルデータに変換されるので、精密な壁面展開画像が得られる。幅が 0.2～0.3mm 以上のひび割れを検出することが可能であり、漏水、エフロレッセンスの検出も可能である。

表-1.2 に壁面連続画像撮影技術の比較表を示す。

表-1.2 壁面連続画像撮影技術の比較

区分	ビデオカメラによる方法	レーザーによる方法
画像種別	カラー画像	白黒画像
分解能 (ひび割れ幅)	0.5mm 程度 (低速撮影時 0.3mm)	0.2～0.3mm 程度
照明の要否	照明が必要であり、消費電力が大きい。	照明が不要であり、消費電力が小さい。
不陸の適用性	エリアカメラを使用することで不陸によるゆがみの補正が容易	インバートの不陸により画像にゆがみが発生する。

その他に通水状態で壁面画像を撮影する技術も開発されている。

3) 打音調査

打音調査は、ハンマーで覆工表面を打撃し、打撃音や、跳ね返り方、手応え等の違いから、覆工表面の剥離状況や表面近傍の内部変状の有無等を調べる方法である。通常、近接目視を行う際に併用して行われる。打音調査の実施方法の一例を以下に示す。

- a. 内部の状態が確実に判定できる点検用ハンマーを用いて一箇所当 3 回以上叩く。
- b. 0.5m 間隔程度以内を目安に行う。
- c. 対象となる変状（ひび割れ）から概ね 0.2m 程度以内の範囲を対象に行う。
- d. 濁音が生じたときは、更に密に行うとともに、清音が発する位置との境界を特定する。
- e. 変状展開図等に記録する。

打音調査の実施例を図-1.3 に示す。

打音調査は、同時にはく離箇所の叩き落としができることや、手軽に行うことができるなどの利点がある反面、i) 覆工内部の詳細な状態の把握が困難であること、ii) 調査結果の記録に時間を要すること、iii) 個人差が生じるおそれがあることなどの欠点もあるので、これらの特徴を踏まえて実施する必要がある。

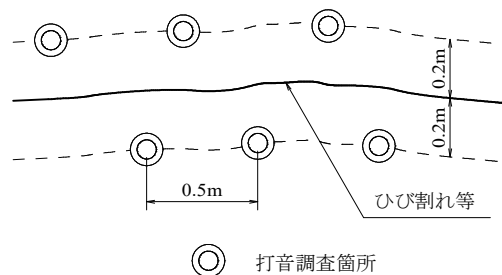


図-1.3 打音調査の実施例

4) 写真撮影

変状の顕著な箇所については目視観察と同時に写真撮影を行い、記録写真を整理する。記録写真には、撮影箇所の測点（バレル No.等）、撮影部位（右岸アーチ上部、左岸側壁中央部等）を記入する。なお、対象物が判断できる比較物（スケール、点検用ハンマー等）を画面にいれておくとよい。また、ビデオカメラによる記録も全体の状況を把握するうえで有効である。

4. ひび割れ調査

(1) ひび割れ幅の測定

ひび割れ調査は変状の進行の有無とその進行状況を確認する目的で行われる。ひび割れの測定方法としては、①ひび割れにクラックスケールを当てて、ひび割れの幅に該当するクラックスケール上の線の太さを読み取る方法や、②ひび割れの末端に印をつけ、観測した日付を壁面に記入する方法、③ひび割れをまたいで標点を設置し、その間隔をノギス等で計測する方法等が適用される。なお、ひび割れ測定方法の概要については、「道路トンネル維持管理便覧【本体工編】」日本道路協会（令和2年8月）p.243を参考にされたい。

透明なプラスチック板に目盛りを表示したひび割れ測定ゲージを覆工コンクリートの表面に2枚接着し、それらの位置のずれを読み取るだけの簡便な方法もあるが、曲面への接着性が劣るため、水流抵抗で剥がれてしまうことがあるので留意する必要がある。

ひび割れ又は施工目地に段差が生じている場合には、開口幅と同時に段差もメジャー等で測定することが望ましい。なお、これらの調査結果を時系列的に記録、整理することにより、進行性の有無又は進行速度を把握する。

(2) ひび割れ深さ・方向性等の測定

ひび割れの深さや方向性等の測定法の例としては、コアボーリングによりひび割れを観察記録する方法や超音波を用いてひび割れ位置や深さを測定する方法がある。前者は圧縮ひび割れ（圧ざ）の状況を確認するのに適した方法である。また、後者は開口ひび割れの深さを測定するのに適した方法である。

なお、ひび割れ深さ測定方法の概要については、「道路トンネル維持管理便覧【本体工編】」日本道路協会（令和2年8月）pp.244～246を参考にされたい。

(3) ひび割れ変化調査

ひび割れの形状に変化が認められる場合には、変状が進行している可能性が高く、何らかの対策が必要な場合が多い。本調査はこうした場合、ひび割れの進行性を詳細に調べることを目的に行う調査である。ひび割れ変化調査の調査要領については（1）ひび割れ幅の測定を参照する。

5. 湧水及び漏水調査

(1) 湧水調査

湧水の調査は、位置、量、濁りの有無、などについて調査する。

1) 位置

不規則に覆工表面を濡らして滴下する水は、覆工材質の不良あるいはひび割れの存在を示すものであり、更にそれらの欠陥を促進するように作用するものである。湧水位置及び範囲は、変状展開図（図-1.1）上に示すものとする。

2) 湧水量

水路トンネル内の湧水量や湧水状態を調べる。湧水状態は、図-1.4 の分類を参考にして次のように A～D に区分し、変状展開図に記載する。

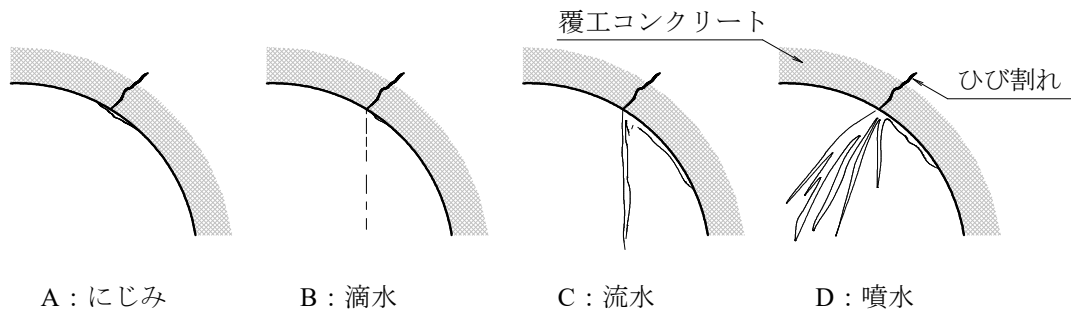


図-1.4 湧水状態の分類

- A —— 表面が濡れている状態で、滴水等はない [にじみ]
- B —— ポタポタと落ちるような状態で断続的に水が流れ出している [滴水]
- C —— 自然流下のような状態で連続的に水が流れ出している [流水]
- D —— 水圧の作用により水が噴き出している [噴水]

なお、湧水が著しい場合には、ストップウォッチやメスシリンダー等を用いるなどしてその量を測定する。

3) 濁り

湧水が透明であるか、濁っているかによって、土砂が湧水とともに流出しているか否かを調べる。降雨後濁りが現れるトンネルは重点的に点検する必要がある。

4) 凍結

漏水が冬期間凍結する場合には、覆工コンクリートの凍害が発生するおそれがある。凍結については次の項目について調査する。

- ① 位置…トンネル延長方向・断面方向の分布
- ② 程度…つらら・側氷の大きさ等
- ③ 気温…積算寒度、最低気温、トンネルが長い場合には坑内気温分布

（積算寒度：日平均気温の 0°C 以下の温度を日ごとに加算した値の絶対値である。積算寒度の変化により凍結期間が把握できる。）

(2) 漏水調査

流量測定により漏水が確認されたトンネルでは、亀裂や継目等を調査して漏水個所を発見する。

(3) 湧水水質試験

水質試験は湧水やトンネルに流入する地表水などの水温、pH、電導度を測定することにより、コンクリートの劣化原因の究明や湧水の流入経路の推定を目的に行う。

水質試験方法は、水温、pH、電導度について以下の測定器を用いて測定する。

水温…温度計、pH…pH メーター、電導度…電導度計

水温については、箇所ごとの季節的変動をみることによって、湧水が地下水に関係するものか、

地表水に関係するものの判別に利用できる。同一地点において顕著な変動が認められる場合には、湧水が地表水に直接関係することを示している。

このほか、トンネルの変状や湧水の原因を究明するために、湧水に含まれている成分を詳しく調べる必要がある場合には、湧水を採取して詳細な水質分析を行う。

コンクリートに接触している水の pH について概略的な判断基準については、「道路トンネル維持管理便覧【本体工編】」日本道路協会（令和 2 年 8 月）p.249 を参照する。湧水が強い酸性を示す場合で湧水中にコンクリートの劣化に対し有害な酸が含まれている場合には、セメント水和物が溶解され崩壊する等の現象が現れる場合があるので注意が必要である。

6. 覆工厚と背面空洞調査

覆工厚・背面空洞（地山）調査は、覆工コンクリートの巻厚や背面の空洞及び背面の地山状況を調査し、変状原因の推定及び対策工設計等に必要の資料を得ることを目的とした調査である。調査の方法には、局所破壊検査法（覆工ボーリング調査等）により直接測定・観察する方法と非破壊検査法（電磁波レーダー法等）がある。これらの調査方法により、覆工巻厚と覆工背面の空洞及び覆工背面の地質状況あるいは裏込の有無などについて調べるものである。

(1) 局所破壊検査による調査

局所破壊検査による調査は、覆工巻厚及び空洞の深さ、背面の地質状況等を覆工ボーリング調査により直接測定及び観察するものである。覆工のボーリング調査には簡易なボーリング機（コアボーリング又は削孔）が用いられる。また、削孔したボーリング孔内にボアスコープ又はファイバースコープを挿入して観察することにより、背面の状況を精度よく観察できる。

覆工ボーリング調査の位置は調査の目的により異なるが、図-1.5 に標準的な位置を示す。簡易ボーリング機による削孔状況を写真-1.2 に示す。

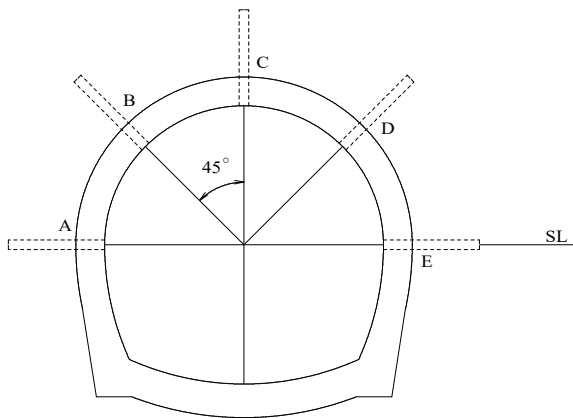


図-1.5 覆工ボーリング調査位置（例）



写真-1.2 簡易ボーリング機による削孔作業

標準的な電動式簡易ボーリング機の穿孔深度は 0.5m 程度であり、それより深い穿孔には油圧式簡易ボーリング機等が必要となる。ボーリング深さについて、対策工の計画のためにトンネル周辺地山の地質状況の把握や地山の物理試験が必要な場合には、深さ 3～10m 程度のボーリングが必要であり、大型のボーリング機械が必要となる。小断面トンネルの坑内から大型ボーリング機械によ

る調査作業は困難なため、地山の物理試験は後述する坑内弾性波探査等によらざるを得ないことが多い。

(2) 非破壊検査による調査

非破壊検査に使用されている手法の中で適用実績が多いのは電磁波レーダー法（地中レーダー法）による覆工厚及び背面空洞の有無や大きさの調査である。

電磁波レーダー法は、覆工表面に置いた電磁波の送信アンテナから断続的に数百 MHz～数 GHz 程度の非常に周波数の高い電磁波を放射し、覆工表面及び覆工背面、地山表面からの反射波を受信アンテナで捉え、電磁波伝播速度、伝達時間、反射波の振幅、位相等から、巻厚及び覆工背面の空洞の位置・規模を求めるものである。電磁波レーダー法は、覆工の巻厚・背面空洞の一般的な調査法として実用化されている。図-1.6 に電磁波レーダー法の計測システムを、写真-1.3、写真-1.4 に調査状況を示す。

電磁波レーダー法は、鉄筋コンクリート覆工や金網等が埋め込まれている場合には、金属に対する反射が鋭敏なため、それらより背面の情報が得られない場合がある。ただし、粗な有筋区間については、アンテナの周波数の選定等により測定できる場合もある。図-1.7 に電磁波レーダー法を用いた測定例を示す。

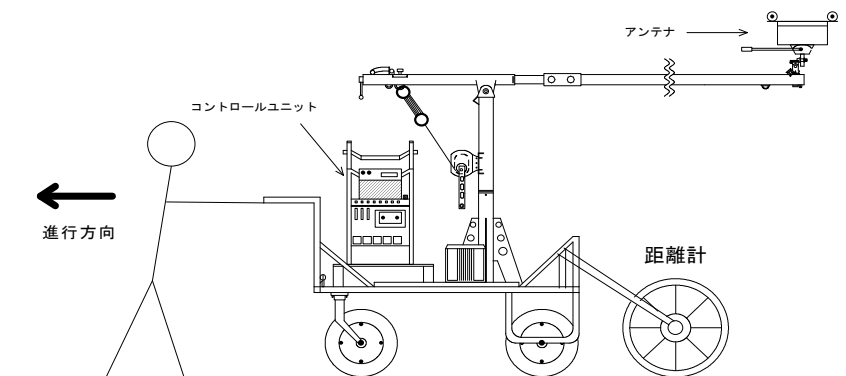


図-1.6 電磁波レーダー法計測システム



写真-1.3 調査状況（全景）



写真-1.4 調査状況（アンテナ部）

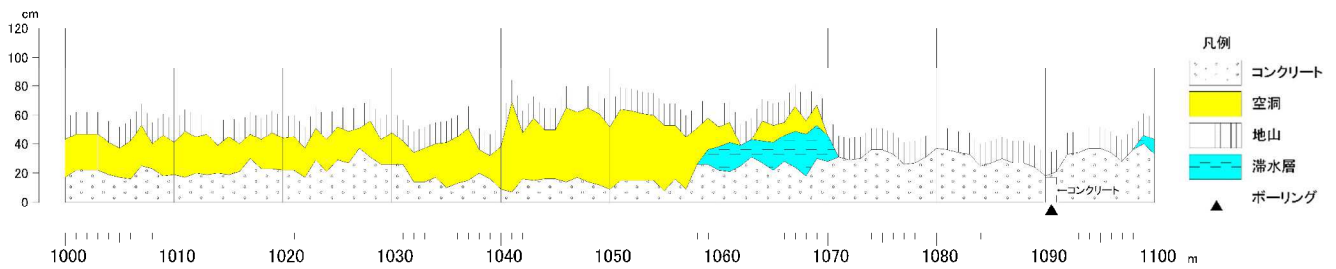


図-1.7 電磁波レーダー法を用いた測定例

1回の計測において1測線ずつデータを取得し、同じ作業を測線数回行うことにより、縦断方向の連続的なデータを取得する。電磁波レーダーによる探査後は、現地にて概略解析を行い、検証用の削孔によりデータを校正しなければならない。写真-1.5に検証用の削孔状況を示す。検証用の削孔はハンマードリル等により行い、覆工厚・空洞厚・崩積土の有無を針金、コンベックス等で測定する。



写真-1.5 検証用削孔状況

(3) 調査手順

覆工厚・背面空洞調査においては、横断方向の空洞分布を事前調査で把握した上で、詳細調査（電磁波レーダー法）の測線数と測定範囲を決定する。事前調査においては、覆工ボーリング調査（電動式簡易ボーリング機又はハンマードリル）等で横断方向の背面空洞分布を確認する。

事前調査箇所としては、水路トンネルの構成要素が異なる箇所、劣化程度が代表的な箇所、変状が顕著な箇所、地層構成が異なる箇所等を選定する。事前に行う覆工ボーリング調査位置は図-1.5が標準であるが、ひび割れ等の劣化状況やトンネルの大きさ等現場条件を踏まえ決定する。

電磁波レーダー法の測線数は、事前調査の結果を基に決定する。また、代表断面を対象に電磁波レーダーによって横断方向の計測を行い、横断方向の背面空洞分布を確認した上で縦断方向の測線を決定する。横断方向の計測により縦断計測結果の補完と検証が可能となる。

電磁波レーダー法の測線数について、国営事業では空洞が発生しやすい天端及び左右45°の3測線で測定された事例が多い。国営造成水利施設ストックマネジメント推進事業（技術高度化事業）の事例によれば、精度的には実績注入量との比較から1測線より3測線が優れること、3測線と5測線については精度に大差がないとの報告もある。

7. 強度試験と材質試験

(1) 簡易コンクリート強度調査

簡易コンクリート強度調査は、打音調査やリバウンドハンマー等を用いて、覆工表面のはく離や内部変状の有無、コンクリート強度の劣化状況を把握しようとするものである。

リバウンドハンマーは、コンクリートの表面をバネのついた鋼棒で打撃したときの反発度から、覆工コンクリートの概略強度を推定するものである。測定方法は JIS A 1155 の規格による。

また、打音調査とリバウンドハンマーの欠点を改善する新技術として、非破壊によるコンクリートの圧縮強度推定装置も実用化されている。

これらの簡易コンクリート強度調査を適用する場合は、後述するコンクリート強度試験を併用して、推定値を検定するのが望ましい。

(2) コンクリート強度・材質試験

覆工コンクリートの強度・材質試験は、覆工コンクリートの強度及び材質劣化の有無を調べることを目的に行う。

覆工コンクリートの材質劣化の状態は、目視調査や打音調査等により、劣化の状態をある程度把握できる。しかし、劣化の原因を詳細に調べる必要がある場合や、覆工強度を正確に知る必要がある場合には以下に述べる強度試験やアルカリ骨材反応試験、コンクリートの中性化試験、塩化物含有量試験、鉄筋の劣化度調査等が行われる。

1) コンクリート強度試験

覆工コンクリート強度試験は、ボーリング等により試料を採取して行う。強度試験用の試料（コア）は、 $\phi=100\text{mm}$ 、 $L=200\text{mm}$ を標準とする。

覆工コンクリートの物理的・力学的性質を把握するための試験項目は、表-1.3 に示すとおりである。

表-1.3 覆工コンクリートの試料を用いた試験項目

試 験 項 目	試験で得られる物性値
一 軸 圧 縮 試 験	一軸圧縮強度、静弾性係数、静ポアソン比
超音波伝播速度測定	P 波速度、S 波速度、動弾性係数、動ポアソン比
単位体積重量試験	単位体積重量、含水比
圧 裂 引 張 試 験	圧裂引張強度

2) コンクリート材質試験

覆工コンクリートの材質劣化に係るその他の試験（アルカリ骨材反応試験、コンクリートの中性化試験、塩化物含有量試験、鉄筋の劣化度調査等）方法については、「農業水利施設の長寿命化のための手引き（平成 27 年 11 月）」等を参考にされたい。

8. トンネル断面の形状調査

(1) 簡易トンネル断面測定

変状の状況から、トンネル断面の傾斜、天端沈下等の断面変形が予想される場合には、簡易に断面寸法を測定し、上下流の健全な箇所と比較することにより、断面変形の有無を把握することができる。また、調査の実施に際し、トンネルの施工断面図がない場合には、展開図作成のため断面測定を行う必要がある。

簡易に断面測定を行う方法としては、メジャーポールやレーザー距離計等を用いて、**図-1.8** に示す程度の寸法を測定することにより、概略のトンネル断面を把握することができる。なお、トンネル断面寸法を正確に把握したい場合には、後述するトンネル断面測定器を用いる。

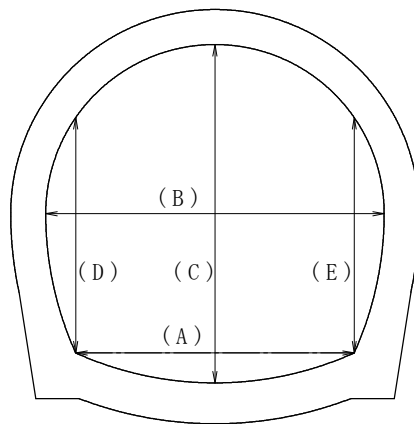


図-1.8 断面寸法測定位置

(2) 覆工断面の形状変化調査

覆工断面の形状変化の測定は、水理断面に対する余裕や作用土圧の方向を推定したり、内空幅の変化量から変状の進行速度を測定したりすることを目的に行う。また、補強対策後の水路トンネルに対しては、補強効果の照査（モニタリング）に欠かせない調査項目である。

覆工断面の形状変化の測定方法には、断面の形状寸法を測定して設計断面と比較するためのトンネル内空断面測定と、内空断面の変化量を経時的に測定する内空変位測定がある。

1) トンネル内空断面測定

トンネルの内空断面の形状を、断面測定器を用いて測定し、覆工が変形したり、移動したりしているときには、水理断面に対する余裕をチェックする。また、断面変形の傾向からトンネルの作用土圧の方向を推定することができる場合がある。

トンネル断面の測定には、反射板が必要ないノンプリズム光波計による方法やレーザーを用いたスキャナによる方法（3D スキャナ測量）等が適用されている。スキャナは、覆工面にレーザー光を照射して対象物の凹凸を関知し、3次元の断面形状が得られる。計測距離は50～300m程度である。測定に際しては、時系列的な追跡が可能なように、測定断面を一定にできるような目印（標点）を設けておくことが望ましい。**図-1.9** にトンネル断面測定例（3D スキャナ測量による）を示す。こ

の図から、当該トンネルは塑性圧の進行により側壁部が内側に向けて変形し、更に天端が外側に向けて変形していることがわかる。

いずれの方法も計測精度は3mm程度である。

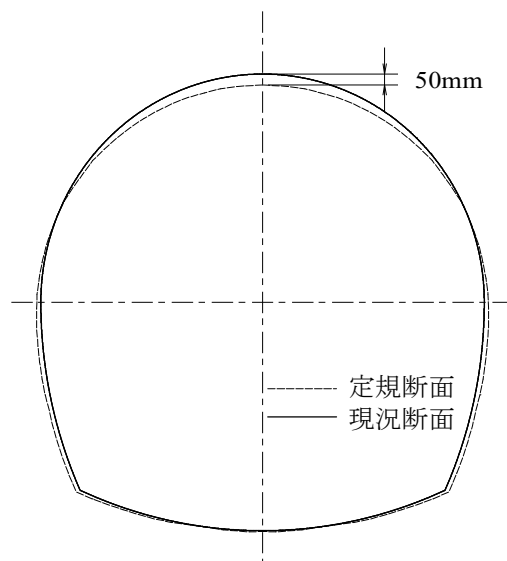


図-1.9 トンネル断面測定例（3D スキャナ測量による）

2) 内空変位測定

断面変形の進行が予測される場合には、内空変位計を用いて、左右の側壁間隔又はアーチ部の水平及び斜め測線の長さを測定することにより、変状の進行の有無、及び進行速度を把握することができる。調査の結果、進行速度が大きい場合には早急な対策工の検討を行う必要がある。

図-1.10 に内空変位測定の測線配置の例を示す。測線の設定方法は変状の傾向などにより異なるが、特にトンネルに偏圧が作用しているような場合には、斜め測線の設定が重要となる。

内空変位測定は、従来、テープ式により行われていたが、近年では光波測距儀（トータルステーション等）を用いる方法が利用されている。テープ式内空変位計の一例を図-1.11 に示す。

内空変位測定においては、一般に水平方向の測線が用いられるが、偏圧が作用していると考えられる場合には、斜め測線の測定が重要となる。

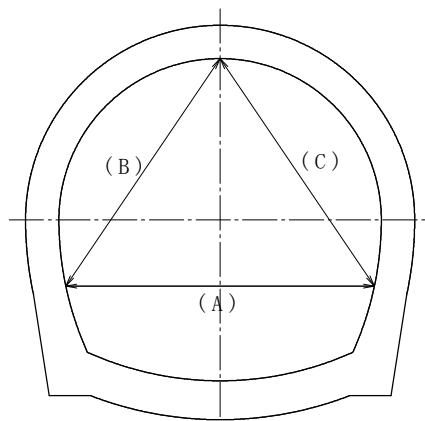


図-1.10 内空変位測定位置（例）

内空変位測定によって得られた測点間の長さの変化には、外力によるもの、覆工・地山の温度変化によるもの、テープ式ではテープ自体の温度変化の影響によるもの、測定誤差によるものなどが含まれている。これらの中から外力によるもののみを取り出すためには、健全な箇所でも同様の測定を行ったり、温度補正を行うなどして変動値を差し引いたりして相対差を求めるのがよい。

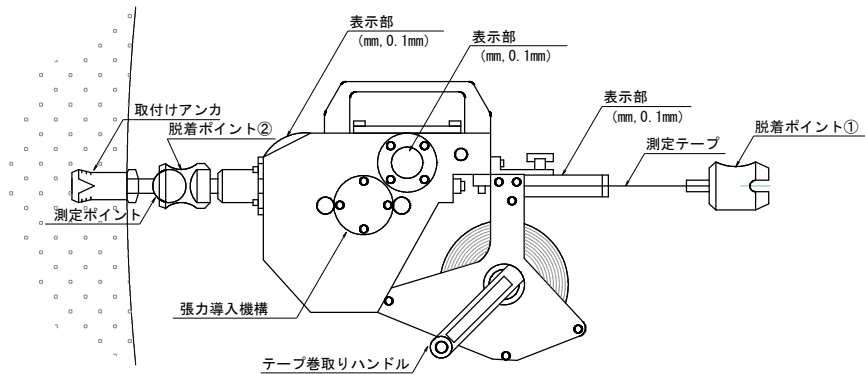


図-1.11 テープ式内空変位測定器

9. トンネルの測量

(1) 坑内路線測量

補強・改修計画をたてる上で、既設トンネルの平面線形、縦断線形、断面形状及び延長を調査する必要がある。平面線形に屈折や小さな半径の曲線がある場合は、線形の改良が必要になるので、既設トンネルの平面形状を実測して図化しておくといよい。小断面トンネルでは、わずかな曲線や屈折が施工機械等の通行の妨げになる場合があるので、このような区間の平面形状を正確に調査しておく必要がある。

また、インバートの高さ、アーチクラウンの高さ等の水準測量並びに側壁位置等の横断測量等の路線測量を行うことにより、トンネル全体の移動の有無やインバートの沈下、浮き上がりの傾向を把握でき、変状原因推定の有効な資料となる。

坑内路線測量を行う際の測量機器には、トランシット、レベル、光波測距儀、トータルステーションなどが適用される。鋼板内張工法や既製管挿入工法を適用する場合には、詳細な更生管の割り付けが必要となるため、近年、3D スキャナ測量により坑内路線測量が行われる事例が増えている。

鋼板内張工法や既製管挿入工法、製管工法等を適用する場合は、資材の通過検討や離隔確認を行うため、WSP080-2015「パイプ・イン・パイプ工法設計・施工指針」日本水道鋼管協会、pp.53-55に準拠した3次元測量が必要であり、3D スキャナ測量を実施することが望ましい。

(2) 地表の路線測量

土かぶりの薄いトンネルの改修では、どの程度の土かぶりがあるかを調査し、補強・改修におけるトンネル構造の検討資料とする。

地表に構造物や民家等がある場合にも土かぶりを調べておく必要がある。

10. 覆工応力と作用荷重

(1) 覆工応力・ひずみ測定

覆工応力は、覆工コンクリートに直接ひずみ計を取り付けて測定する方法とコンクリート中にひずみ計を埋め込んで測定する方法がある。ひずみ計をあらかじめ取り付けおき、施工当初からの累積値を測定することで覆工コンクリートの応力を測定することができる。参考事例として、応力解放法による覆工応力の計測事例を以下に示す。

(参考：深沢成年他、内空変位の長期計測と覆工応力計測に基づく長大海底トンネルの健全性評価、土木学会論文集 F1 (トンネル工学)、Vol.72、No.1、pp.1-10 (2016))

ただし、ひずみ計があらかじめ取り付けられていない場合の測定方法については、「道路トンネル維持管理便覧【本体工編】」日本道路協会(令和2年8月) pp.266～267 を参考にされたい。

(2) 水圧測定

水圧の測定は、トンネル内からボーリングを行って、覆工と地山の境界付近に間隙水圧計を設置することにより行われる。

11. 緩み領域調査

(1) 補強工法検討のための調査

ロックボルト補強工法を検討する場合には、背面の緩み領域の調査(深度・強度)を行わなければならない。緩み領域の推定方法としては、以下の方法がある。

1) 地山ボーリング調査

地山ボーリング調査には、坑内から行う場合と地表から行う場合の2種類の方法がある。土かぶりが大きい大断面トンネルにおいては通常坑内から行うが、小断面トンネルでは坑内から機械ボーリングを行うことが困難な場合が多い。坑口付近など土かぶりが小さい場合は地表から行う場合もある。

地山ボーリングの結果から、割れ目、強度、コアの状態を推定する。また、ボーリング孔を利用して孔内載荷試験や物理検層を行い、速度値の変化等から緩み領域を推定するとともに、緩み領域の変形係数等の設計定数を取得する。

2) 坑内弾性波探査(P波)

トンネル坑内において、トンネル縦断方向の弾性波探査を行い、覆工背面の緩み領域の範囲と弾性波速度を求めるものである。

一般に、物質は硬質になるほど弾性波速度が大きくなる性質を有している。坑内弾性波探査は、坑内でカケヤ等により人工的に弾性波を発生させ、覆工背面地山の速度の異なる地層境界を屈折して戻ってきた屈折波を坑内に設置した測定装置で観測して、覆工背面地山の速度構造を求める探査法であり、屈折法と呼ばれる。地中を伝播する弾性波には、実体波としてP波とS波があり、屈折法ではP波の初動を利用した測定方法が一般的である。弾性波探査の測定概念については、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路トンネル」(平成26年7月) p.98 に詳述されている。また、写真-1.6～1.9 に坑内弾性波探査作業状況を示す。また、図-1.12 に弾性波探査結果断面

図を、図-1.13 に弾性波探査の解析例を示す。

坑内弾性波探査は軽微な装置で測定が可能な調査法であり、補強工法の検討に資する地山の物性値を得るための有効な調査方法である。



写真-1.6 覆工削孔状況



写真-1.7 測線展開状況

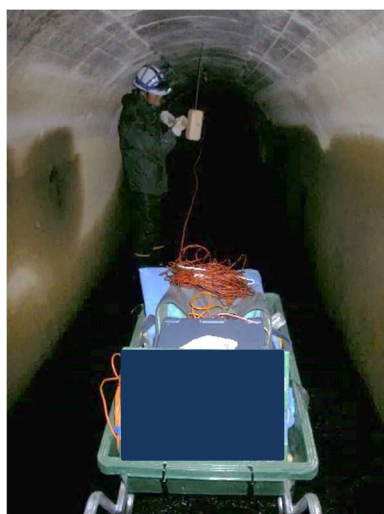


写真-1.8 起振状況（カケヤ打撃）



写真-1.9 測定状況

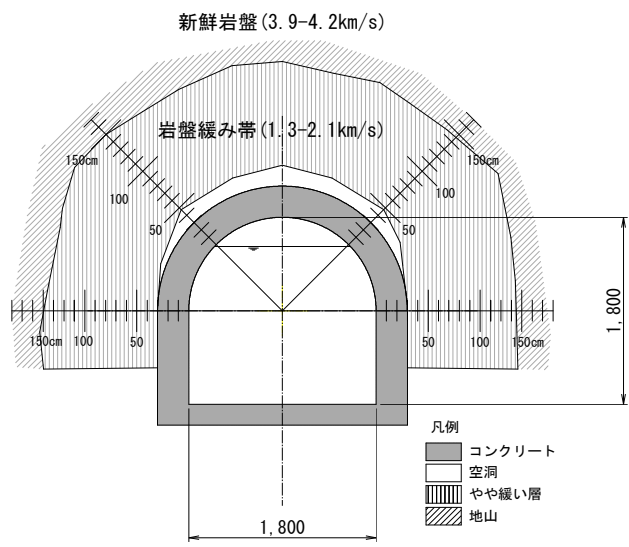
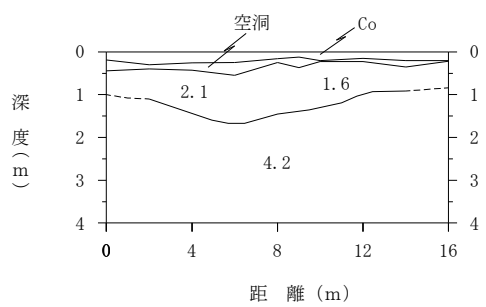
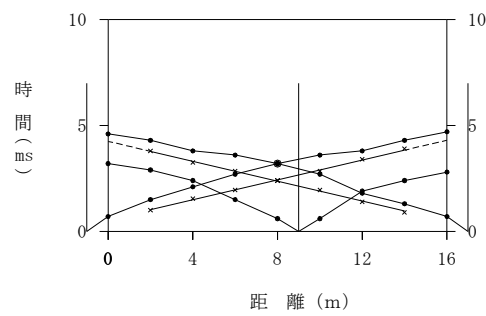


図-1.12 弾性波探査結果断面図



(a) 弾性波速度構造図



(b) 走時曲線

図-1.13 弾性波探査の解析例

発生した弾性波の波動には実体波として縦波（P 波）と横波（S 波）があり、それぞれの伝播速度 V_p 、 V_s と弾性係数等の関係は、式 1.1、式 1.2、式 1.3 によって表される。また、 V_p と V_s との関係は、式 1.4 によって表される。

$$V_p = \sqrt{\frac{E \cdot g \cdot (1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \dots\dots\dots \text{式 1.1}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{E \cdot g}{\rho \cdot 2(1+\nu)}} \dots\dots\dots \text{式 1.2}$$

$$E = \frac{V_p^2 \cdot \rho(1+\nu)(1-2\nu)}{g \cdot (1-\nu)} \dots\dots\dots \text{式 1.3}$$

$$V_s = V_p \times \sqrt{\frac{1-2\nu}{2(1-\nu)}} \dots\dots\dots \text{式 1.4}$$

ここに、 ρ ：密度、 E ：弾性係数、 ν ：ポアソン比、 g ：重力加速度

12 塗装及び鋼板の劣化調査

塗装及び鋼板の劣化に関する主な調査項目は、近接目視、塗装膜厚、鋼板板厚、腐食深さである。調査対象は、対象工法の全長を基本とし、劣化の位置別の傾向、劣化の種類ごとの傾向を把握する。

近接目視においては、工場塗装部、現場塗装部、インバート材、アーチ材別に観察し、劣化形態や位置を記録する。

錆こぶを除去するときは、過大な衝撃を与えて鋼板を損傷させないように注意する。錆の発生が多数ある場合は、代表的な箇所を選択して腐食深さを測定する。

測定的事例

(1) 膜厚測定

塗装の膜厚は、電磁膜厚計（図-1.14）を用いて測定する。

(2) 腐食部の深さ測定

腐食部の深さは、錆こぶを除去後にデプスゲージ（図-1.15）により測定する。



図-1.14 電磁膜厚計（例）

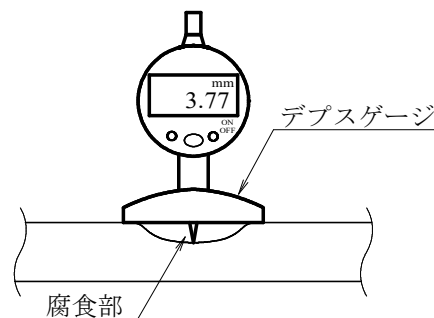


図-1.15 デプスゲージ測定概念

(3) 鋼板板厚測定

鋼板板厚は、超音波厚さ計（図-1.16）を用いて測定する。残存板厚は、腐食部付近の板厚を測定した後、腐食部の深さを引くことで求められる。測定は塗膜が劣化していない平滑な位置で行う。

超音波厚さ計には、①塗装膜厚を自動キャンセルする機能が付いた機種と、②自動キャンセル機能を持たない機種がある。自動キャンセル機能がない機種で塗装の上から測定する場合は、次のように計算で管厚を求める。

超音波厚さ計で、鋼板板厚と塗装膜厚を合わせた厚さ測定する（測定値 A ）。同じ場所の塗装の塗膜を電磁膜厚計で測定する（測定値 B ）。鋼板板厚は、超音波厚さ計の測定値から塗装厚さの 3 倍（音速が鋼と塗料で異なるため）を引いて計算で求める（計算値 C 、 $C = A - 3 \times B$ ）



図-1.16 超音波厚さ計（例）

2. 各試験方法（案）

裏込注入工法（可塑性注入材）の適用性確認試験方法（案）

試験方法規定者：東日本高速道路株式会社、中日本高速道路株式会社、西日本高速道路株式会社

1. 適用範囲

この規格は、水路トンネルの覆工背面空洞への注入に用いる裏込注入材（可塑性注入材）に対し、試験器具を用いて、注入材の充填性、非漏出性（隙間への進入深さ）、水中分離抵抗性、非収縮性の各種性能評価を行う試験方法について規定するものである。

2. 試験種別

この試験の種別は次のとおり区分する。

- ① 充填性試験
- ② 非漏出性試験
- ③ 水中分離抵抗性試験
- ④ 非収縮性試験

3. 試験の一般条件

15℃～25℃の室内により、規定した各種試験装置を使用して試験を実施する。

3.1 充填性試験

3.1.1 試験装置

試験装置は図-3.1.1-1 のとおりとする。

- a. 高さ 300mm、幅 300mm、長さ 4000mm の排水こう底部に、所定の傾斜を付けて、モルタルを打設し硬化させる。
- b. 硬化した排水こう（容器）の下端には、高さ 100mm 程度のコンクリートブロックを 4 箇所、上端には 100mm 程度の角材（木材）を 4 箇所及び H 型鋼を 2 箇所固定する。
- c. 表面には、充填状況等が確認できるように、透明の亚克力版を固定する。なお、注入圧力による亚克力板の浮き上がり防止として、適当な間隔で鋼材にて固定を行う。
- d. 上記で製作された容器内には、注入口と注入口から 2m の位置の計 2 箇所、圧力計を設置する。

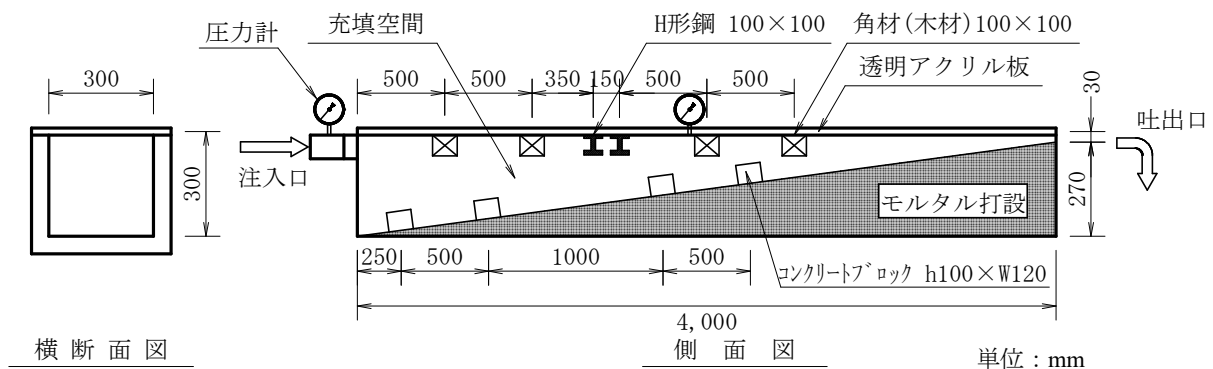


図-3.1.1-1 試験装置（充填性試験）

3.1.2 試験方法

試験方法は次のとおりとする。

- a. 試験装置内に注入材を注入する。
- b. 注入材の注入流量（注入ホースからの吐出量）は $30 \frac{\text{ml}}{\text{min}}$ とする。
- c. アクリル板から充填状況を観察する。
- d. 圧力計にて、注入時の圧力を計測する。
- e. 注入は、先端部の吐出口から、試料が流出した時点で終了とする。
- f. 注入開始時点から約 2 時間経過後に、容器を解体して充填状況の確認を行う。このとき、容器内の上端・下端に設置した、角材や H 型鋼等の周辺にかけて、注入材が隙間なく密実に充填がなされているか詳細に観察して記録する。



写真-3.1.2-1 試験装置



写真-3.1.2-2 充填確認状況

3.2 非漏出性試験

3.2.1 試験装置

試験装置は図-3.2.1-1 のとおりとする。

- a. 木枠、木板、透明アクリル板を加工し、所定の容器を作製する。
- b. 隙間への漏出状況（注入材の進入深さ）を確認できるように、容器の表側には透明アクリル板を設置する。
- c. 容器の片側には、長さ 400mm 程度のシュート状の投入口を作製する。
- d. 容器の下部には、1・3・5・7・10mm の隙間を発泡スチロールにて作製する。

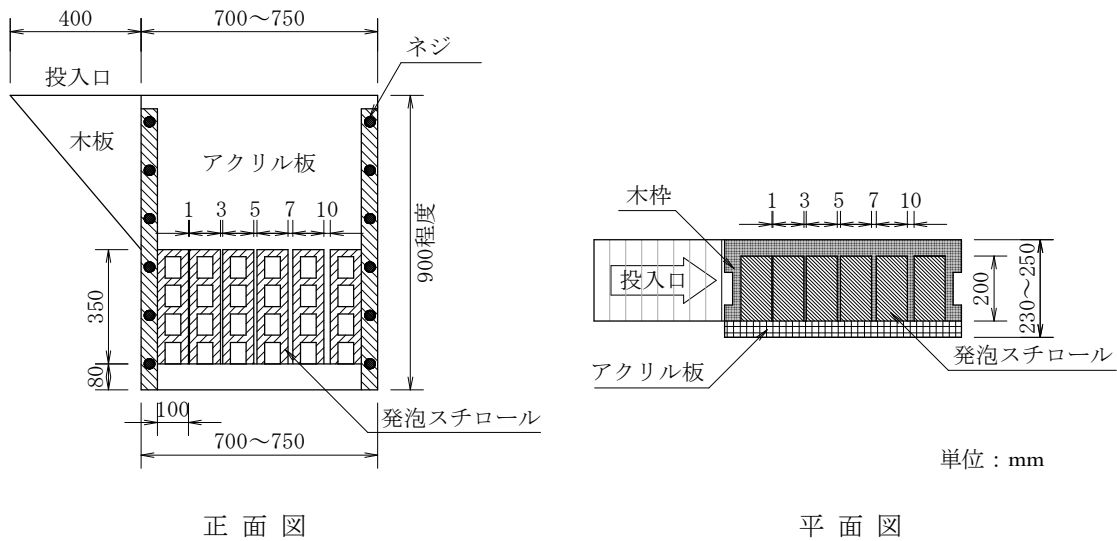


図-3.2.1-1 試験装置（非漏出性試験）

3.2.2 試験方法

試験方法は次のとおりとする。

- a. 試験装置内に注入材を流し込む。ただし注入材は直接入れず、シュート状の投入口から流し込むものとする。
- b. 注入材の注入流量（注入ホースからの吐出量）は 30 ㍈/min の速度とする。
- c. 注入は、発泡スチロール天端から、高さ 300mm に達した時点で終了とする。
- d. 各隙間に入り込んだ（進入した）注入材の深さを投入開始後 10min、30min、60min で計測する。
- e. 注入材が発泡スチロールの隙間（350mm）に留まらず、垂れたり流出したりした場合を完全流出と判定する。

3.3 水中分離抵抗性試験

3.3.1 試験装置

試験装置は図-3.3.1-1 のとおりとする。

- a. 長さ約 450mm 程度、幅 300mm 程度、高さ 300mm 程度の水槽に 26 ㍈の水を張る。使用水は、

pH が 7～8 程度の水道水とする。

- b.** 水槽の中に、pH 計を取り付ける。この時、pH 計の設置位置は、水面から 10cm とする。
- c.** 濁度は、水面から 10cm の位置よりスポイドで水をサンプリングし、分光光度計により波長 800nm での光透過率を測定する。

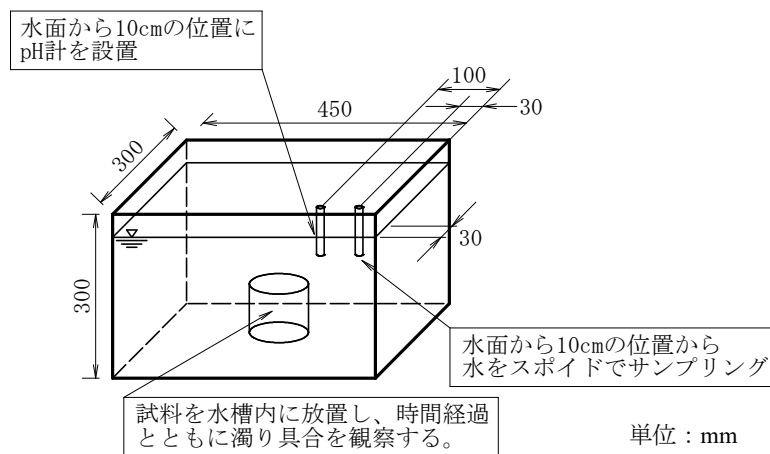


図-3.3.1-1 試験装置（水中分離抵抗性試験）

3.3.2 試験方法

試験方法は次のとおりとする。

- a.** φ80mm、高さ 80mm（NEXCO 規格）のフローコーンに注入材を注ぐ。
- b.** 水槽内にフローコーンを入れ、素早くフローコーンを除去する。この時、振動等の衝撃を与えず初期の濁り等はできるだけ発生しないようにするものとする。
- c.** 注入材を水槽に投入する前、投入直後、及び 10min、30min、60min 経過後の各々 pH と濁度を測定する。
- d.** 各時間経過別の濁り具合を観察する。

3.4 非収縮性試験

3.4.1 試験装置

試験装置は図-3.4.1-1 のとおりとする。

- a. $\phi 300\text{mm}$ 、高さ $1,000\text{mm}$ の硬質塩化ビニール管に下端に注入材の漏れが生じないように平板を取り付けた容器を作製する。

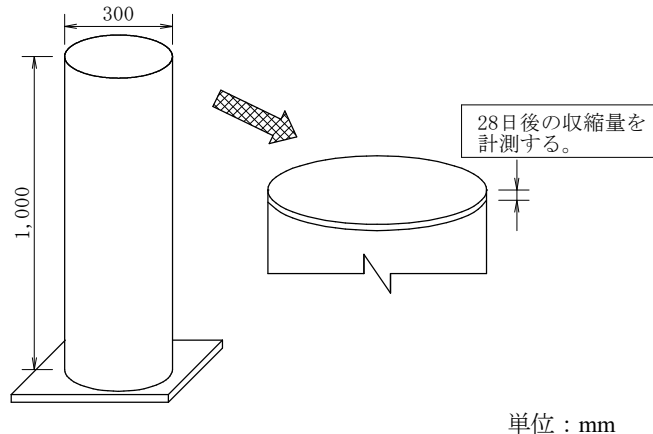


図-3.4.1-1 試験装置（非収縮性試験）

3.4.2 試験方法

試験方法は次のとおりとする。

- a. 容器に注入材を入れる。
- b. 注入材の水分発散防止のためにキャッピングを行い、 $15^{\circ}\text{C}\sim 25^{\circ}\text{C}$ の室内にて養生を行う。
- c. 28日経過後の収縮量を計測する。

4. 報告

(1) 使用材料の種類及び配合等

(2) 充填性試験

解体後の充填確認においては、角材やH型鋼等の周辺への充填状況を、写真とともに記録する。

(3) 非漏出性試験

隙間ごと、及び時間経過毎の計測値を記録する。また、全ての隙間への進入程度が一望できるような方向で、時間経過別に写真を撮影する。

(4) 水中分離抵抗性試験

時間経過別の濁りの程度を写真撮影するとともに、供試体と濁りの状況を記録する。

(5) 非収縮性試験

28日後の収縮量の写真撮影をするとともに記録する。

(6) その他特記すべき事項

（矢板工法トンネルの背面空洞注入工設計・施工要領、東日本高速道路株式会社、

中日本高速道路株式会社、西日本高速道路株式会社、平成18年10月、pp.30-33を改変して転載）

裏込注入工法（非セメント系注入材）の適用性確認試験方法（案）

試験方法規定者：農林水産省

1. 適用範囲

この規格は、水路トンネルの覆工背面空洞への注入に用いる裏込注入材（非セメント系）に対して、試験器具を用いて、注入材の充填性の性能評価を行う試験方法について規定するものである。

2. 充填性試験

2.1 試験装置

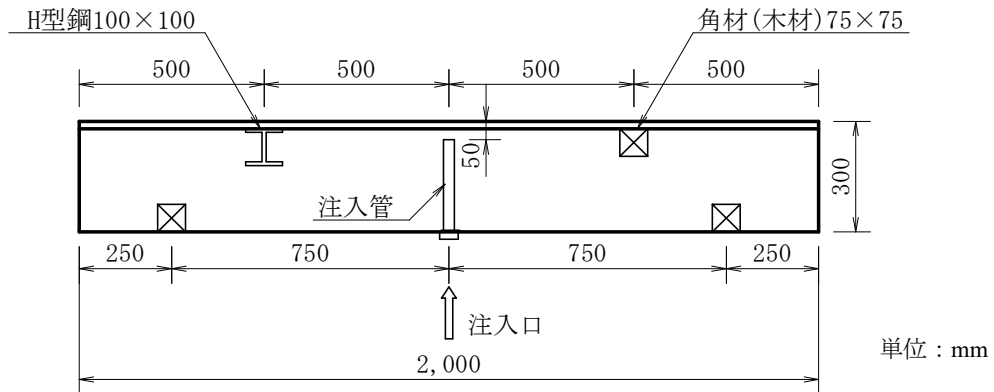


図-2.1.1 試験装置

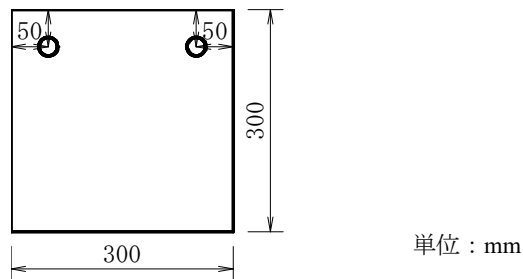


図-2.1.2 試験装置（両側板）（空気穴）

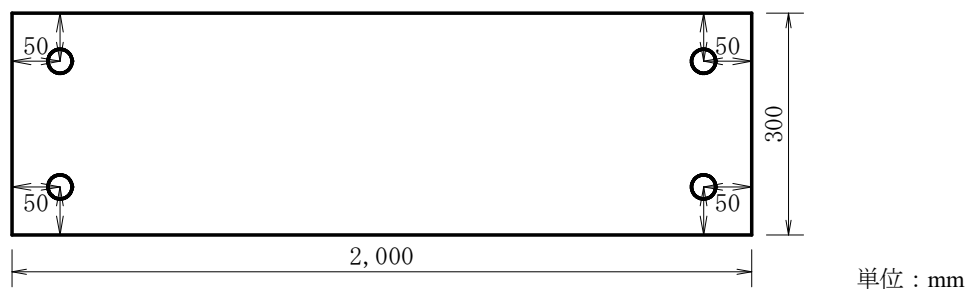


図-2.1.3 試験装置（天板）（空気穴）

- a. 高さ300mm、幅300mm、長さ2000mmの型枠を作製する。
- b. 型枠の下端に75mm程度の角材を2箇所、上端に75mm程度の角材及びH型鋼を各1箇所固定する。

- c. 型枠の中央下端から注入管を 250mm 程度挿入する。
- d. 図-2.1.2 及び図-2.1.3 のとおり、側板に 2 箇所（両側板の合計 4 箇所）、天板に 4 箇所の空気穴を設置しておく。

2.2 試験方法

- a. 試験装置内に注入材を注入する。
- b. 注入材の注入流量（注入管からの吐出量）は 7kg/min とする。
- c. 注入量は倍率毎に以下のとおり算出する。

40 倍発泡ウレタン

注入量 (kg) = 空洞容積 (m³) × 注入材の密度 (kg/m³) × 1.8 ± 0.3 (標準割増率)

30 倍発泡ウレタン

注入量 (kg) = 空洞容積 (m³) × 注入材の密度 (kg/m³) × 1.5 ± 0.3 (標準割増率)

12 倍発泡ウレタン

注入量 (kg) = 空洞容積 (m³) × 注入材の密度 (kg/m³) × 1.5 ± 0.3 (標準割増率)

「標準割増率」とは、理論計算値に対して、実施工・試験で確実に空洞を充填するための安全側の割増係数である。

参考例

- ① 注入量 (kg) = 0.18 × 30 × 1.8 = 9.7 (40 倍発泡ウレタン)
 - ② 注入量 (kg) = 0.18 × 40 × 1.5 = 10.8 (30 倍発泡ウレタン)
 - ③ 注入量 (kg) = 0.18 × 98 × 1.5 = 26.5 (12 倍発泡ウレタン)
- d. 注入終了後、発泡ウレタンが広がり空気穴から流出する直前に、順番に穴を塞ぐ。
 - e. 注入終了後から約 1 時間程度経過後に、型枠を解体して充填状況の確認を行う。このとき、型枠の上下端に設置した角材や H 型鋼の周辺にかけて、注入材が隙間なく密実に充填がなされているか詳細に観察して記録する。
 - f. 発泡倍率の違いにより発泡の挙動が異なるため、充填性試験は発泡倍率毎に行うことを基本とする。



写真-2.2.1 試験装置



写真-2.2.2 注入状況



写真-2.2.3 充填確認状況 (1)



写真-2.2.4 充填確認状況 (2)

裏込充填材の水中作製供試体の圧縮強さ試験方法（案）

試験方法規定者：農林水産省

1. 適用範囲

この規格は、矢板工法トンネルに用いる鋼板内張工法及び既製管挿入工法の裏込充填材に対して、試験器具を用いて、湧水がある現場で適用する充填材の水中不分離性の性能評価を行う試験方法について規定するものである。ただし、湧水を完全に処理できない場合に適用する可塑性モルタル等については、裏込注入工法（可塑性注入材）の水中分離抵抗性試験を適用する。

2. 測定項目

測定項目は、NEXCO 試験方法のフロー値（試験法 313）、単位容積質量（試験法 313）及び土の一軸圧縮試験（JIS A 1216）とする。圧縮試験用供試体は、ケースごとに 3 本採取し、水中養生（JSCE-F 504）を行い、材齢 28 日で試験を行う。

3. 水中供試体の作製方法

3.1 供試体寸法

供試体の寸法は、JIS A 1216 に従い $\phi 50 \times h100\text{mm}$ とする。

3.2 作製手順

- a. 水槽に深さ 10cm 程度の水を入れ、 $\phi 50 \times h100\text{mm}$ の型枠を水没させる。（写真-3.2.1）



写真-3.2.1

- b. 注入器（J14 漏斗等）の吐出口をラップフィルム等で塞ぐ。（写真-3.2.2）



写真-3.2.2

c. 注入器に試料を入れる。（写真-3.2.3）



写真-3.2.3

d. 水没させた型枠内に注入器を着底させる。（写真-3.2.4）



写真-3.2.4

e. 吐出口を開いて（写真-3.2.5）、漏斗をゆっくり上昇させ（写真-3.2.6）、型枠内を試料で満たす。（写真-3.2.7）。自然落下で型枠に注入できない場合は、ヘラなどで押し込む（写真-3.2.8）。



写真-3.2.5



写真-3.2.6



写真-3.2.7



写真-3.2.8

f. 型枠上面に余盛部分ができれば、ラップフィルムで覆い（写真-3.2.9）、養生へと移行する。



写真-3.2.9

3.3 養生

養生は、JSCE-F 504 に準拠し、材齢 28 日まで水中養生する。ただし、充填材の強度レベルが低く、材齢 2 日での脱型が不可能な場合（脱型時に供試体を破壊する可能性が高い場合）は、脱型を行わずに型枠ごと材齢 28 日まで水中養生を行う。

3.4 上面仕上げ

養生後の試料は、ストレートエッジでの削り取りにより上面仕上げを行う。

中性化抑止性：JIS A 1171「ポリマーセメントモルタルの試験方法」

試験方法規定者：日本工業規格（日本規格協会）

品質規格値規定者：農林水産省

1. 期待される耐用期間 30 年における中性化深さの基準値

鉄筋系接着工法において許容される増厚材の中性化深さは、鉄筋のかぶり厚さと中性化残りを考慮して設定する。鉄筋系接着工法の設計かぶり厚さは各社技術により異なるが、最小設計かぶり厚さ（純かぶり）は 10mm 程度である。

次に、中性化残りについては、開水路補修マニュアルではコンクリートの中性化残りを 10mm 以上保てば鉄筋腐食が起こらないことが示されている。一方、鉄筋系接着工法で使用する増厚材は、コンクリートよりも緻密で劣化因子の遮断性に優れるポリマーセメントモルタル（PCM）を使用しているため、中性化残りをコンクリートよりも少なくすることができる。例えば、PCM の中性化速度や酸素透過性は、コンクリートの 1/2 以下であるため、増厚材を PCM とした場合の中性化残りはコンクリートの 1/2（=5mm）以下になることが想定される。一般的に、鉄筋系接着工法の設計かぶり厚さを少なく設定している根拠は、この考え方に基づいている。

以上の観点から、PCM を増厚材として使用した場合は、期待される耐用期間（30 年）中の増厚材の中性化深さが 5mm 以下であれば、補強材として配置する鉄筋の腐食を抑止することができると考え、中性化抑止性の品質規格を設定する。

2. 照査方法

中性化抑止性の照査は、中性化速度係数と中性化深さを評価するものとし、JIS A 1171「ポリマーセメントモルタルの試験方法」により行うものとする。

中性化深さ試験に用いる供試体については、養生終了 3 日前に供試体の両端部、打込み面及び底面を JIS K 5664 に規定する 1 種又はこれと同等の性能をもつエポキシ樹脂塗料で密封する。供試体を、温度 $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $60 \pm 10\%$ 、二酸化炭素濃度 5.0% の二酸化炭素環境槽内に静置する。静置開始から 28 日経過した後に供試体を取り出し、更に温度 $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $60 \pm 10\%$ に 24 時間静置した後に割裂して二分割する。その断面にフェノールフタレインの 1% アルコール溶液を噴霧し、赤変しない部分を中性化域として、中性化した 1 側面 3 箇所ずつ、計 6 箇所で、供試体表面から赤変した所までの深さを、ノギスを用いて 1mm まで測定する。測定した 6 箇所の平均値を 1 個の供試体の中性化深さとし、整数値に丸める。中性化深さは、3 個の供試体の平均値で表す。

3. 品質規格値

補修の効果が期待される期間を 30 年、中性化深さを 5mm 以下とし、中性化速度係数と中性化深さの品質規格値を以下の手順で算定した。

- ① 水路トンネル環境下 30 年間で中性化深さが 5mm となる増厚材の、自然環境下における中性化速度係数 A を算定する。
- ② 上記①の中性化速度係数 A に対し、促進試験条件に対する補正を行う。

- ③ 上記②の補正後の中性化速度係数 A' を促進試験条件下の中性化速度係数（品質規格値）とする。

① 中性化速度係数 A の算出

水路トンネル環境下 30 年間で中性化深さが 5mm となる表面被覆材の自然環境下における中性化速度係数 A は、「鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説」日本建築学会、2016 年 7 月、p.99 5.2 中性化に対する性能の検証方法 5.1 式を用いて算出する。

$$C = A\sqrt{t}$$

ここに、

C ：平均中性化深さ（mm）

A ：材料、調合、環境条件により

決定する中性化速度係数（mm/√年）

t ：材齢（年）

$$5\text{mm} = A\sqrt{30\text{年}}$$

$$A = 5 / \sqrt{30\text{年}}$$

$$= 0.913 \div 0.9\text{mm}/\sqrt{\text{年}}$$

以上より、自然環境下における中性化速度係数は $0.9\text{mm}/\sqrt{\text{年}}$ 以下でなければならない。

② 促進試験条件に対する補正（炭酸ガス濃度、乾燥しにくい環境）

- 1) 自然環境下における A から促進試験条件下における中性化速度係数 A' を求めるため、促進試験条件下の炭酸ガス濃度の影響を考慮する。「鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説」日本建築学会、2016 年 7 月、p.116 二酸化炭素濃度による係数（解 5.2.18）によると、補正係数 α_1 は以下のように算出できる。

$$\alpha_1 = \sqrt{\text{促進試験の炭酸ガス濃度} / \text{自然環境の炭酸ガス濃度}}$$

$$= \sqrt{\frac{5.0\%}{0.05\%}}$$

$$= 10$$

ここに、自然環境の炭酸ガス濃度は、「鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説」日本建築学会、2016 年 7 月、p.116 の屋外の値を適用した。

- 2) 既設コンクリートはかんがい期における通水や背面からの滲出水などにより、湿潤状態にあるのに対し、室内における促進試験条件は乾燥しやすい環境下にあると言える。

上記を踏まえ、「コンクリート標準示方書」におけるコンクリートの中性化の進行予測に及ぼす環境作用の程度を適用し、促進試験条件に対する補正として、環境作用の程度を表す係数 1.6 を乗ずるものとする。

$$\alpha_2 = 1.6$$

ここに、 α_2 は「2022 年制定 コンクリート標準示方書〔設計編〕」土木学会、p.162 の環境作用の程度を表す係数の値を適用した。

③ 中性化速度係数 A' の算出

$$\begin{aligned} A' &= \alpha_1 \times \alpha_2 \times A \\ &= 10 \times 1.6 \times 0.9 \quad \div 14 \text{mm}/\sqrt{\text{年}} \quad \text{となる。} \end{aligned}$$

上述の中性化速度係数 A' を用いて、JIS A 1171（促進期間 4 週間）後の中性化深さを求めると

$$C = 14 \times \sqrt{0.077 \text{年}} \quad 3.88 \div 4 \text{mm} \quad \text{となる。}$$

よって、中性化深さ試験 JIS A 1171（4 週間）に対する要求値は、以下のとおりである。

中性化深さ 4mm 以下

中性化速度係数 $14 \text{mm}/\sqrt{\text{年}}$ 以下

3. 施工管理項目等参考例

裏込注入工法

① 直接測定による出来形管理

工種	項目	管理基準値	規格値 (参考)	測定基準	管理方式			測定箇所標準図	摘要
					管理図表によるもの	測定結果一覧表によるもの	構造図に朱記、併記するもの		
裏込注入工法	削孔工	覆工コンクリート厚		削孔全箇所	測点数が20点以上のもの	測点数が20点未満のもの			
		背面空洞厚	設計値との対比	削孔全箇所					
	充填確認工	充填管理	設計値との対比	1スパン（継目間隔）につき1箇所	測点数が20点以上のもの	測点数が20点未満のもの			確認孔は注入孔間の中央部を標準とする

裏込注入工法

② 撮影記録による出来形管理

工種		撮影基準	撮影箇所	撮影方法	備考
1.一般		省略	※「土木工事施工管理基準」第2表 撮影記録による出来形管理 1.共通工事を参照。		
2.材料・品質等		適宜	施工前の使用材料の保管状況	「土木工事施工管理基準」参照。	
		適宜	使用前の使用材料の確認状況		
		現場採取ごと	試験用材料の現場採取確認状況		
		試験実施ごと	試験実施状況		
3.仮設備工		施工箇所ごと	換気設備（設置状況）		
		適宜	照明設備（設置状況）		
		施工箇所ごと	電力設備（設置状況）		
		適宜	その他		
4.坑内作業準備工		施工箇所ごと	止水・導水状況		
5.裏込注入工		10孔につき1箇所 上記未満は2箇所	注入孔削孔（検尺）		
			注入管取付		
			注入状況（圧力管理状況） 流量計の積算流量値を撮影 圧力計の圧力値を撮影		
			充填完了状況 充填箇所の確認孔より注入材が流出（リーク） したことを撮影		
6.設備工		1スパン（継目間隔）につき1箇所	充填状況確認		
		適宜	各種使用機材設置状況		

裏込注入工法

裏込注入工法
③ 品質管理

工種	区分	試験（測定）項目	試験方法	試験（測定）基準	（参考）規格値	管理方式	処置
裏込注入工法	可塑性注入材	配合試験		工法の性能、材料の配合が変わる毎に実施	工法の申告値		1.試験報告書記載の試験内容、試験結果を確認し、必要に応じて立会検査する。 2.規格値の範囲に収まらない材料は使用してはならない。
		一軸圧縮強さ試験	JIS A 1216 「土の一軸圧縮試験方法」		材齢28日の圧縮強さ 1.5N/mm ² 以上		
		単位体積重量試験	JIS A 1116 「フレッシュコンクリートの単位容積質量試験方法及び 空気量の質量による試験方法（質量方法）」 JIS A 1171「ポリマーセメントモルタルの試験方法」 JSCE-F536「PCグラウトの単位容積質量試験方法」		エア系：10～12kN/m ³ エア系以外：11～15kN/m ³		
		非漏出性試験	本書に示す試験		60分経過後において5mm以下の隙間に 完全流出があつてはならないこと		
		水中分離抵抗性試験	本書に示す試験		【濁度】分光光度計による測定した光透過率の値により、濁り具合を確認する。水槽内に注入材を投入する前の水の測定値と、投入後60分経過後の水の測定値の増減比率が±2%であること		
		非収縮性試験	本書に示す試験		【pH】注入直後からの60分経過後のpH測定比率が±10%であること		
		空気量試験（エア系）	NEXCO試験方法 試験法 313 「エアモルタルおよびエアミルクの試験方法」		28日硬化後の収縮量が2cm（2%）以下		
		充填性試験	本書に示す試験		工法の申告値		
		フロー試験	NEXCO試験方法 試験法 313 「エアモルタル及びエアミルクの試験方法のシリンドー 法」		容器内全体に注入材が充填され角材やH型鋼との間にも隙間がなく密実に充填がなされていること フロー値 〔可塑状態前〕 200mm±20mm 〔可塑状態後〕 80mm～150mm		
		長距離圧送性 （模擬配管による充填性能試験）	各社技術による		工法の申告値		

工種	区分	試験（測定）項目	試験方法	試験（測定）基準	（参考）規格値	管理方式	処置		
裏込注入工法	施工	一軸圧縮強さ試験	JIS A 1216 「土の一軸圧縮試験方法」	1回／日	材齢28日の圧縮強さ 1.5N/mm ² 以上				
		空気量試験（エア系）	NEXCO試験方法 試験法 313 「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」	2回／日 （午前・午後）	申告値 ±5%				
		フロー試験	NEXCO試験方法 試験法 313 「エアモルタル及びエアミルクの試験方法のシリンダー法」	2回／日 （午前・午後）	フロー値 〔可塑状態前〕 200mm±20mm 〔可塑状態後〕 80mm～150mm				
		注入圧・注入量	測定装置による記録	注入時随時	施工条件による 注入圧：圧力計による管理 注入量：流量計による管理 充填確認においては圧力上昇により打ち止めとなる場合もある（リークしない）で打ち止める場合もある				

区分	試験（測定）項目	試験方法	試験（測定）基準	（参考）規格値	管理方式	処置
A24・J35F3	配合試験		工法の性能、材料の配合 が変わる毎に実施	工法の申告値		1.試験報告書記載の 試験内容、試験結果 を確認し、必要に応 じて立会検査する。 2.規格値の範囲に収 まらない材料は使用 してはならない。
	圧縮強さ試験	1.供試体の作り方 JIS A 9511 2.圧縮強さ試験方法 JIS K 7220 「硬質発泡プラスチック-圧縮特性の求め方」		40倍発泡 0.14N/mm ² 以上 30倍発泡 0.20N/mm ² 以上 12倍発泡 0.90N/mm ² 以上 非セメント系注入材の圧縮強さにつ いては、対策の目的や地山の性状に応 じて適切に設定しなければならない。		
	弾性係数試験	JIS K 7220 「硬質発泡プラスチック-圧縮特性の求め方」に準拠		設計値以上 (注1)		
	単位体積重量試験	JIS K 7222 「発泡プラスチック及びびゴムー見掛け密度の求め 方」		0.3±0.03～1.0±0.2kN/m ³		
	充填性試験	本書に示す試験		容器内全体に注入材が充填され角材やH 型鋼との間にも隙間がなく密実に充填 がなされていること		
	圧縮強さ試験	1.供試体の作り方 JIS A 9511 2.圧縮強さ試験方法 JIS K 7220 「硬質発泡プラスチック-圧縮特性の求め方」		40倍発泡 0.14N/mm ² 以上 30倍発泡 0.20N/mm ² 以上 12倍発泡 0.90N/mm ² 以上 非セメント系注入材の圧縮強さにつ いては、対策の目的や地山の性状に応 じて適切に設定しなければならない。		
裏込注入工法	圧縮強さ試験	1.供試体の作り方 JIS A 9511 2.圧縮強さ試験方法 JIS K 7220 「硬質発泡プラスチック-圧縮特性の求め方」	500m ³ につき1回測定 (最低1工事に1回測定)	40倍発泡 0.14N/mm ² 以上 30倍発泡 0.20N/mm ² 以上 12倍発泡 0.90N/mm ² 以上 非セメント系注入材の圧縮強さにつ いては、対策の目的や地山の性状に応 じて適切に設定しなければならない。		
	注入圧・注入量	測定装置による記録	注入時随時	施工条件による 注入圧：圧力計による管理 注入量：流量計による管理 充填確認においては圧力上昇により打 ち止めとなる場合もある（リークしな いで打ち止める場合もある）		

(注1) 外力対策として適用する裏込注入材については弾性係数試験を追加する。外力対策として適用する裏込注入材の弾性係数は、実施設計で定める値を要求値とする。

鋼板内張工法

① 直接測定による出来形管理

鋼板内張工法の直接測定による出来形管理の鋼板設置工は「土木工事施工管理基準（水路トンネル工事）」、溶接工及び塗装工は「土木工事施工管理基準（管水路工事）」に準じることとし省略する。

鋼板内張工法

② 撮影記録による出来形管理

工種	撮影基準	撮影箇所	撮影方法	備考
1.一般	省略	※「土木工事施工管理基準」第2表 撮影記録による出来形管理 1.共通工事を参照。	「土木工事施工管理基準」参照。	
2.材料・品質等	適宜	施工前の使用材料の保管状況		
	適宜	使用前の使用材料の確認状況		
	現場採取ごと	試験用材料の現場採取確認状況		
	試験実施ごと	試験実施状況		
	施工箇所ごと	換気設備（設置状況）		
3.仮設備工	適宜	照明設備（設置状況）		
	施工箇所ごと	電力設備（設置状況）		
	適宜	その他		
	施工箇所ごと	坑内洗浄状況		
4.坑内作業準備工	施工箇所ごと	障害物除去状況		
	施工箇所ごと	止水・導水状況		
	施工延長50～100mにつき1箇所 上記未満は2箇所	鋼板運搬作業状況、据付作業状況 溶接作業状況、塗装作業状況		
5.鋼板内張設置工	適宜	各種検査状況、その他必要箇所		

鋼板内張工法

工種	撮影基準	撮影箇所	撮影方法	備考
鋼板内張工法	6.裏込充填工	裏込充填止め施工状況	「土木工事施工管理基準」参照。	
		注入状況（圧力管理状況） 流量計の積算流量値を撮影 圧力計の圧力値を撮影		
		充填完了状況 充填箇所の確認孔より注入材が流出（リーク） したことを撮影		
		充填状況確認 確認孔削孔時のコアにより裏込充填材の充填状況を 確認したことを撮影		
7.設備工	適宜	各種使用機材設置状況		

鋼板内張工法
 ③ 品質管理

工種	区分	試験（測定）項目	試験方法	試験（測定）基準	（参考）規格値	管理方式	処置
鋼板内張工法	材 料	金属部材の外観検査	目視、寸法計測等	工法の性能、材料の配合 が変わる毎に実施	製作仕様書との比較		1.試験報告書記載の試験内容、試験結果を確認し、必要に応じて立会検査する。 2.規格値の範囲に収まらない材料は使用してはならない。
		充填材の配合試験			工法の申告値		
		充填材の一軸圧縮強さ試験	JIS A 1216 「土の一軸圧縮試験方法」		材齢28日の圧縮強さ 設計圧縮強さ、かつ 1.0N/mm ² 以上		
		充填材の単位容積質量試験	NEXCO試験方法 試験法 313 「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」		工法の申告値		
		充填材の空気量試験	NEXCO試験方法 試験法 313 「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」		工法の申告値		
		充填材の水 中作製供試体の圧縮強さ試験	本書に示す試験		材齢28日の圧縮強さ 設計圧縮強さ、かつ 1.0N/mm ² 以上		
		充填材のフロー試験	NEXCO試験方法 試験法 313 「エアモルタル及びエアミルクの試験方法のシリンダー法」		工法の申告値		
		充填材の長距離圧送性 (模擬配管による充填性能試験)	各社技術による		工法の申告値		
		溶接部の検査	JIS Z 3060 「鋼溶接部の超音波探傷試験方法」	現地溶接部全箇所、周 方向は溶接リング全長 のうち任意500mmを2箇 所、軸方向はバット溶接 位置から500mm部全数	水道用鋼管現場溶接継手部の非破壊検 査基準WSP 008による		
		塗装部の検査	土木工事施工管理基準(管水路工事)	[膜厚計測] 現地塗装部全箇所、周 方向、軸方向とも 500mm間隔で塗装部両端 の膜厚計測 [ピンホール検査] 周方向、軸方向とも現 地塗装部全数 [付着性検査] 試験片を用いて任意	外観、塗膜の厚さ（0.5mm以上）、ピン ホール、付着性を確認		

工種	区分	試験（測定）項目	試験方法	試験（測定）基準	（参考）規格値	管理方式	処置
鋼板内張工法	施工	充填材の一軸圧縮強度試験	JIS A 1216 「土の一軸圧縮強度試験方法」	1回／日	材齢28日の圧縮強度 1.0N/mm ² 以上		
		充填材の単位容積質量試験	NEXCO試験方法 試験法 313 「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」	2回／日（午前・午後）	申告値 ±100 (kg/m ³)		
		充填材の空気量試験	NEXCO試験方法 試験法 313 「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」	2回／日（午前・午後）	申告値 ±5%		
		充填材のフロー試験	NEXCO試験方法 試験法 313 「エアモルタル及びエアミルクの試験方法のシリンドー法」	2回／日（午前・午後）	申告値 ±20mm		
		充填材注入量		充填スパンごと	確認孔から流出（リーク）時点を充填完了とし、設計値以上を注入したことを確認する。		
		充填材注入圧力管理		施工中の記録の提出	設定値以下		

鋼板内張工法の補修

① 直接測定による出来形管理

塗装工及び溶接工は「土木工事施工管理基準（管水路工事）」に準じることとし省略する。

鋼板内張工法の補修

② 撮影記録による出来形管理

工種	撮影基準	撮影箇所	撮影方法	備考
1.一般	省略	※「土木工事施工管理基準」第2表 撮影記録による出来形管理 1.共通工事を参照。	「土木工事施工管理基準」参照。	
2.材料・品質等	適宜	施工前の使用材料の保管状況		
	適宜	使用前の使用材料の確認状況		
	現場採取ごと	試験用材料の現場採取確認状況		
	試験実施ごと	試験実施状況		
3.仮設備工	施工箇所ごと	換気設備（設置状況）		
	適宜	照明設備（設置状況）		
	施工箇所ごと	電力設備（設置状況）		
	適宜	その他		
4.坑内作業準備工	施工箇所ごと	坑内洗浄状況		
	施工箇所ごと	障害物除去状況		
	施工箇所ごと	止水・導水状況		
5.鋼板内張工法の補修	適宜	溶接作業状況、塗装作業状況		
	適宜	各種検査状況、その他必要箇所		
6.設備工	適宜	各種使用機材設置状況		

鋼板内張工法の補修

鋼板内張工法の補修

③ 品質管理

工種	区分	試験（測定）項目	試験方法	試験（測定）基準	（参考）規格値	管理方式	処置
鋼板内張工法の補修	材料	金属部材の外観検査 （当て板補修）	目視、寸法計測等	工法の性能、材料の配合 が変わる毎に実施	製品仕様書との比較		1.試験報告書記載の 試験内容、試験結果 を確認し、必要に応 じて立会検査する。 2.規格値の範囲に収 まらない材料は使用 してはならない。
	施工	溶接部の検査	土木工事施工管理基準（管水路工事）	全数	溶接完了後に外観検査を行う		
		塗装部の検査	土木工事施工管理基準（管水路工事）	[膜厚計測] 全数 [ピンホール検査] 全数 [付着性検査] 試験片を用いて任意	外観、塗膜の厚さ、ピンホール、付着 性を確認		

既製管挿入工法

① 直接測定による出来形管理

既製管挿入工法の直接測定による出来形管理は「土木工事施工管理基準（管水路工事）」に準じることとし省略する。

既製管挿入工法

② 撮影記録による出来形管理

管の品質管理に関する項目は「土木工事施工管理基準」に準ずるものとし、充填材に関わる内容を以下に示す。

工種	撮影基準	撮影箇所	撮影方法	備考
1.一般	省略	※「土木工事施工管理基準」第2表 撮影記録による出来形管理 1.共通工事を参照。		
2.材料・品質等	適宜	施工前の使用材料の保管状況	「土木工事施工管理基準」参照。	
	適宜	使用前の使用材料の確認状況		
	現場採取ごと	試験用材料の現場採取確認状況		
	試験実施ごと	試験実施状況		
3.仮設備工	施工箇所ごと	換気設備（設置状況）		
	適宜	照明設備（設置状況）		
	施工箇所ごと	電力設備（設置状況）		
	適宜	その他		
4.坑内作業準備工	施工箇所ごと	坑内洗浄状況		
	施工箇所ごと	障害物除去状況		
	施工箇所ごと	止水・導水状況		

既製管挿入工法

工種	撮影基準	撮影箇所	撮影方法	備考
既製管挿入工法	5.裏込充填工	施工箇所ごと	「土木工事施工管理基準」参照。	
6.設備工	1スパン（継目間隔）に1箇所（注1）	間仕切り壁設置状況、裏込充填止め施工状況 注入状況（圧力管理状況） 流量計の積算流量値を撮影 圧力計の圧力値を撮影 充填完了状況 充填箇所の確認孔より注入材が流出（リーク）したことを撮影 充填状況確認 確認孔削孔時のコアにより裏込充填材の充填状況を 確認したことを撮影		
	適宜	各種使用機材設置状況		

(注1) 水抜工を設置する場合に行う。

既製管挿入工法

③ 品質管理

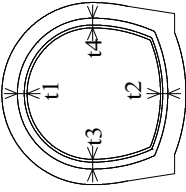
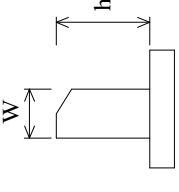
管の品質管理に関する項目は「土木工事施工管理基準・その他二次製品」に準ずるものとし、充填材に関わる内容を以下に示す。

工種	区分	試験（測定）項目	試験方法	試験（測定）基準	（参考）規格値	管理方式	処置
既製管挿入工法	材 料	充填材の配合試験		工法の性能、材料の配合が変わる毎に実施	工法の申告値		1.試験報告書記載の試験内容、試験結果を確認し、必要に応じて立会検査する。 2.規格値の範囲に収まらない材料は使用してはならない。
		充填材の一軸圧縮強さ試験	JIS A 1216 「土の一軸圧縮試験方法」		材齢28日の圧縮強さ 1.0N/mm ² 以上		
		充填材の単位容積質量試験	NEXCO試験方法 試験法 313 「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」		工法の申告値		
		充填材の'空気量試験	NEXCO試験方法 試験法 313 「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」		工法の申告値		
		充填材の 水中作製供試体の圧縮強さ試験	本書に示す試験		材齢28日の圧縮強さ 1.0N/mm ² 以上		
		充填材のフロー試験	NEXCO試験方法 試験法 313 「エアモルタル及びエアミルクの試験方法のシリンドー法」		工法の申告値		
		充填材の長距離圧送性 (模擬配管による充填性能試験)	各社技術による		工法の申告値		
	施 工	充填材の一軸圧縮強さ試験	JIS A 1216 「土の一軸圧縮試験方法」	1回／日	材齢28日の圧縮強さ 1.0N/mm ² 以上		
		充填材の単位容積質量試験	NEXCO試験方法 試験法 313 「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」	2回／日（午前・午後）	申告値 ±100 (kg/m ³)		
		充填材の空気量試験	NEXCO試験方法 試験法 313 「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」	2回／日（午前・午後）	申告値 ±5%		
		充填材のフロー試験	NEXCO試験方法 試験法 313 「エアモルタル及びエアミルクの試験方法のシリンドー法」	2回／日（午前・午後）	申告値 ±20mm		
		充填材注入手量		充填スパンごと	確認孔から流出（リーク）時点を充填完了とし、設計値以上を注入したことを確認する。		
		充填材注入圧力管理		施工中の記録の提出	設定値以下		

製管工法

① 直接測定による出来形管理

製管工法の直接測定による出来形管理は「土木工事施工管理基準（水路トンネル工事）」に準じることとし省略する。
なお、設計条件（水理計算、構造等）により、仕上がり内空寸法、巻厚等に制約が必要な場合は、個々の現場において別途定めるものとする。

工種	項目	管理基準値	規格値 (参考)	測定基準	管理方式			測定箇所標準図	摘要
					管理図表によるもの	測定結果一覧表によるもの	構造図に朱記、併記するもの		
製管工法	機械・人力製管	巻厚 (t)	設計値(構造計算の必要厚)以上	概ね1箇所/20m	測点数が20点以上のもの	測点数が20点未満のもの			裏込充填前に測定
	基礎工	幅 (W)	±20mm	概ね1箇所/20m	測点数が20点以上のもの	測点数が20点未満のもの			
		高さ (h)	±20mm						
		施工延長 (L)	-0.1% ただし延長50m未満 -100mm 200m未満 -200mm						

製管工法

② 撮影記録による出来形管理

工種	撮影基準	撮影箇所	撮影方法	備考
1.一般	省略	※「土木工事施工管理基準」第2表 撮影記録による出来形管理 1.共通工事を参照。		
2.材料・品質等	適宜	施工前の使用材料の保管状況	「土木工事施工管理基準」参照。	
	適宜	使用前の使用材料の確認状況		
	現場採取ごと	試験用材料の現場採取確認状況		
	試験実施ごと	試験実施状況		
	施工箇所ごと	換気設備（設置状況）		
3.仮設備工	適宜	照明設備（設置状況）		
	施工箇所ごと	電力設備（設置状況）		
	適宜	その他		
	施工箇所ごと	坑内洗浄状況		
4.坑内作業準備工	施工箇所ごと	障害物除去状況		
	施工箇所ごと	止水・導水状況		
	施工延長50～100mにつき1箇所 上記未満は2箇所	製管作業状況 仕上りが内径測定状況		
5.製管工	適宜	製管口仕上がり状況		

製管工法

工種	撮影基準	撮影箇所	撮影方法	備考
製管工法	施工箇所ごと	注入状況（圧力管理状況） 流量計の積算流量値を撮影 圧力計の圧力値を撮影	「土木工事施工管理基準」参照。	
		充填完了状況 充填箇所の確認孔より注入材が流出（リーク） したことを撮影		
		1スパン（継目間隔）に1箇所 （注1）		
	適宜	充填状況確認 確認孔削孔時のコアにより裏込充填材の充填状況を 確認したことを撮影		
		充填状況の打音確認		
7.設備工	適宜	各種使用機材設置状況		

（注1）水抜きを設置する場合に行う。

製管工法
③ 品質管理

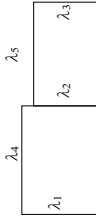
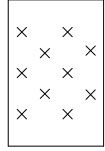
工種	区分	試験（測定）項目	試験方法	試験（測定）基準	（参考）規格値	管理方式	処置
製管工法	材 料	部材（表面・金属・パネル）の外観検査	目視、寸法計測等	工法の性能、材料の配合が変わる毎に実施	設計図書による		1.試験報告書記載の試験内容、試験結果を確認し、必要に応じて立会検査する。 2.規格値の範囲に収まらない材料は使用してはならない。
		材料の内水圧水密試験	JIS A 751「下水道用プラスチック製管きょ更生工法」に準拠 [平板]		所定の内水圧で漏水がないこと		
		材料の外水圧水密試験	JIS A 751「下水道用プラスチック製管きょ更生工法」に準拠 [平板]		所定の外水圧で漏水がないこと		
		耐荷強度試験	自立管断面の試験（各社技術による）		工法の申告値		
		鋼材の引張強度試験	JIS Z 224「金属材料引張試験方法」 使用材料の対応JISに準拠 炭素繊維材料を使用する場合はJISCE-ES31等		工法の申告値		
		充填材の配合			工法の申告値		
		充填材の圧縮強度試験 （注1）	JSCE-G521 「プレパックドコンクリートの注入モルタルの圧縮強度試験方法」 JSCE-G505 「円柱供試体を用いたモルタル又はセメントペーストの圧縮強度試験方法」		工法の申告値		
		充填材の単位容積質量試験 （注1）	JIS A 1116：2005 「フレッシュコンクリートの単位容積質量試験方法及び空気量の質量による試験方法（質量方法）」を 準用 JIS A 1171 「ポリマーセメントモルタルの試験方法」 JSCE-F536 「PCグラウトの単位容積質量試験方法」		工法の申告値		
		充填材のブリーディング試験 （注1）	JSCE-F-542「充填モルタルのブリーディング率及び膨張率試験方法」 JSCE-F 522「プレパックドコンクリートの注入モルタルのブリーディング率及び膨張率試験方法」		材料分離が生じない （ブリーディング率が0%）		
		充填材のフロー試験 （注1）	JIS R 5201 「セメントの物理試験方法」 JASSI5M-103 「セルフレベリング材の品質基準」を準用 JSCE-F541「充填モルタルの流動性試験方法」等 （Jローテスト試験）		工法の申告値		

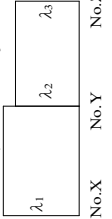
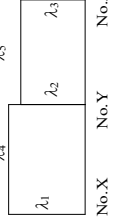
（注1）パネル組立の裏込充填材に係る試験は、鋼板内張工法や既製管挿入工法を準用する。

工種	区分	試験（測定）項目	試験方法	試験（測定）基準	（参考）規格値	管理方式	処置
製管工法	材料	充填材の長距離圧送性 (模擬配管による充填性能試験)	各社技術による	工法の性能、材料の配合 が変わる毎に実施	工法の申告値		1.試験報告書記載の 試験内容、試験結果 を確認し、必要に応 じて立会検査する。 2.規格値の範囲に収 まらない材料は使用 してはならない。
		耐摩耗性試験	【樹脂製の表面部材】 JIS K 7204「プラスチック摩耗輪による摩耗試験方 法」 JIS A 1452「建築材及び建築鋼製部分の摩耗試験方 法 落砂法」 【コンクリート製の表面部材】 表面被覆材の水砂噴流摩耗試験（案） 〔20時間経過後の平均摩耗深さと標準モルタル供 試体の平均摩耗深さとの比較（材齢28日）〕		硬質塩化ビニル管と同程度の摩耗量 (±50%程度以内) である 標準モルタル供試体に対する平均摩耗 深さの比が1.5以下		
			JWWA Z 108「水道用資機材浸出試験方法」		有害物質が検出されない		
		充填材の圧縮強度試験 (注1)	JSCE-G521「プレバグドコンクリートの注入モルタルの 圧縮強度試験方法」 JSCE-G505「円柱供試体を用いたモルタル又はセメント ペーストの圧縮強度試験方法」	1回/日	工法の申告値以上		
施工		充填材の単位容積質量試験 (注1)	JIS A 1116：2005「フレッシュコンクリートの単位 容積質量試験方法及び空気量の質量による試験方 法(質量方法)」を準用 JIS A 1171「ポリマーセメントモルタルの試験方 法」 JSCE-F536「PCグラウトの単位容積質量試験方法」	2回/日 (午前・午後)	工法の申告値以内		
		充填材のフロー試験 (注1)	JIS R 5201「セメントの物理試験方法」 JASS15M-103 「セルフレベルング材の品質基準」を準用 JSCE-F541「充填モルタルの流動性試験方法」等 (Jロート試験)	2回/日 (午前・午後)	工法の申告値以内		
		充填材注入量		充填スパンごと	確認孔から流出（リーク）時点を充填 完了とし、設計値以上を注入したこと を確認する。		
		充填材注入圧力管理		施工中の記録の提出	設定値以下		
		充填材の充填状況	打音調査	濁音が生じないこと	全延長の全面を対象とし、打音調査の 密度（間隔）は縦横20cm程度を目安に 行う。		

(注1) パネル組立の裏込充填材に係る試験は、鋼板内張工法や既製管挿入工法を準用する。

接着工法
① 直接測定による出来形管理

工種	項目	管理基準値	規格値 (参考)	測定基準	管理方式			測定箇所標準図	摘要
					管理図表によるもの	測定結果一覧表によるもの	構造図に未記、併記するもの		
接着工法	下地処理工	表面に付着物がなく、骨材表面が露出し劣化物のないコンクリート表面であること。		施工延長概ね50～100mごとに1箇所の割合で処理面を目視確認。50m未満は2箇所確認。					下地処理後の表面状態により管理する
	補強材取付工	外観	設計値以上	全施工面積について断面が変化する場合に展開図又はその他の方法により測定（求積）し、確認		断面毎の施工面積			λ.n:測線をいう
						測点数が20点以上のもの			トンネル横断方向で継手が生じた場合
						測点数が20点未満のもの			
	アンカー	本数	設計本数以上	100m ² につき1箇所	測点数が20点以上のもの	測点数が20点未満のもの			

工種	項目	管理基準値	規格値 (参考)	測定基準	管理方式			測定箇所標準図	摘要
					管理図表によるもの	測定結果一覧表によるもの	構造図に朱記、併記するもの		
繊維グリッド系・鉄筋系	増厚材		設計値以上	全施工面積について断面が変化する毎に展開図又はその他の方法により測定（求積）し、確認		断面毎の施工面積		 λ n:測線をいう	箇所数は施工対象範囲による
					面積				
繊維シート系	増厚材		設計値以上	全施工面積について断面が変化する毎に展開図又はその他の方法により測定（求積）し、確認		断面毎の施工面積		 λ n:測線をいう	箇所数は施工対象範囲による
					厚さ				
接着工法									

接着工法

② 撮影記録による出来形管理

工種	撮影基準	撮影箇所	撮影方法	備考
1.一般	省略	※「土木工事施工管理基準」第2表 撮影記録による出来形管理 1.共通工事を参照。		
2.材料・品質等	適宜	施工前の使用材料の保管状況	「土木工事施工管理基準」参照。	
	適宜	使用前の使用材料の確認状況		
	現場採取ごと	試験用材料の現場採取確認状況		
	試験実施ごと	試験実施状況		
	施工箇所ごと	換気設備（設置状況）		
3.仮設備工	適宜	照明設備（設置状況）		
	施工箇所ごと	電力設備（設置状況）		
	適宜	その他		
	施工箇所ごと	坑内洗浄状況		
4.坑内作業準備工	施工箇所ごと	障害物除去状況		
	施工箇所ごと	止水・導水状況		
	施工箇所ごと	施工前後の表面状況		
5.下地処理工	施工延長概ね50～100mにつき1箇所 上記未満は2箇所	施工状況、使用機械、施工時の洗浄圧力等		
		不陸の状況、凹凸		

接 着 工 法

工種		撮影基準	撮影箇所	撮影方法	備考
接着工法	6.補強材取付工	施工延長概ね50～100mにつき1箇所 上記未満は2箇所	補強材取付作業状況 寸法測定状況（面積・継手長）	「土木工事施工管理基準」参照。	
	7.増厚工及びプライマー工・上塗り工	施工延長概ね50～100mにつき1箇所 上記未満は2箇所	施工状況（増厚工・プライマー工・上塗り工） 寸法測定状況（面積・厚さ）		
	8.設備工	適宜	各種使用機材設置状況		

接着工法
③ 品質管理

工種	区分	試験（測定）項目	試験方法	試験（測定）基準	（参考）規格値	管理方式	処置	
接着工法	材料	増厚材（無機系）の圧縮試験	JSCE K 561 （28日養生）	工法の性能、材料の配合 が変わる毎に実施	28日圧縮強度値が21.0N/mm ² 以上		1.試験報告書記載の試験内容、試験結果を確認し、必要に応じて立会検査する。 2.規格値の範囲に収まらない材料は使用してはならない。	
		増厚材（無機系）の長さ変化率試験	JIS A 1129		0.05%以下			
		増厚材（無機系）の中性化深さ試験	JIS A 1171 （4週間）		中性化深さ4mm以下 中性化速度係数 14mm/√年 以下			
		増厚材（無機系）の摩耗深さ試験	表面被覆材の水砂噴流摩耗試験（案） 〔15時間経過後の平均摩耗深さと標準モルタル供試体の平均摩耗深さとの比較（材齢28日）〕		標準モルタル供試体に対する平均摩耗深さの比が1.5以下			
		増厚材（無機系）の付着強度試験	JSCE K 531又はJSCE K 561 （乾湿・温冷繰返し回数 は15サイクル）		標準条件			1.5N/mm ² 以上
					多湿条件			
					低温条件			
					水中条件			
					乾湿繰返し条件			
		増厚材（無機系）の付着強度試験	温冷繰返し条件		1.0N/mm ² 以上			
	補強材（繊維部材・金属部材）の外観検査	目視、寸法計測等	設計図書による					
		補強材の引張試験 （引張強度）	JSCE E 531 【繊維グリッド系】		1,400N/mm ² 以上（高強度炭素繊維） 1,200N/mm ² 以上（高弾性炭素繊維） 3,400N/mm ² 以上（高強度炭素繊維） 2,900N/mm ² 以上（中弾性炭素繊維） 295N/mm ² 以上（SD295A降伏強度） 345N/mm ² 以上（SD345降伏強度）			
			JIS A 1191 【繊維シート系】		100kN/mm ² 以上（高強度炭素繊維） 165kN/mm ² 以上（高弾性炭素繊維） 245kN/mm ² ±10%（高強度炭素繊維） 390kN/mm ² ±10%（中弾性炭素繊維） 200N/mm ² 以上			
			JIS G 3112（SD295A、SD345）【鉄筋系】					
		補強材の引張試験 （引張弾性係数）	JSCE E 531 【繊維グリッド系】					
			JIS A 1191 【繊維シート系】 JIS G 3112（SD295A、SD345）【鉄筋系】					

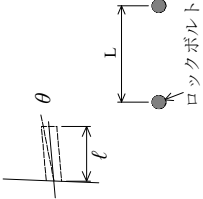
工種	区分	試験（測定）項目	試験方法	試験（測定）基準	（参考）規格値	管理方式	処置	
接着工法	材料	増厚材（有機系）の圧縮試験	JIS K 7181	工法の性能、材料の配合が変わる毎に実施	35N/mm ² 以上		1. 試験報告書記載の試験内容、試験結果を確認し、必要に応じて立会検査する。 2. 規格値の範囲に取まらない材料は使用してはならない。	
		増厚材（有機系）の引張試験	JIS K 7161		含浸・接着樹脂 30N/mm ² 以上 樹脂モルタル 30N/mm ² 以上			
		増厚材（有機系）の曲げ試験	JIS K 7171		含浸・接着樹脂 40N/mm ² 以上 樹脂モルタル 40N/mm ² 以上			
		増厚材（有機系）の引張せん断試験	JIS K 6850		含浸・接着樹脂 10N/mm ² 以上 樹脂モルタル 10N/mm ² 以上			
		増厚材（有機系）の摩耗深さ試験	表面被覆材の水砂噴流摩耗試験（案） 〔15時間経過後の平均摩耗深さと標準モルタル供試体の平均摩耗深さとの比較（材齢28日）〕		標準モルタル供試体に対する平均摩耗深さの比が0.2以下			
		増厚材（有機系）の付着強度試験	JSCE K 561 （乾湿・温冷繰返し回数 は15サイクル）		標準条件			1.5N/mm ² 以上
					多湿条件			
					低温条件			
					水中条件			
					乾湿繰返し条件			
					温冷繰返し条件			

工種	区分	試験（測定）項目	試験方法	試験（測定）基準	（参考）規格値	管理方式	処置
（下地接着処理工）	施工	付着強度試験	単軸引張試験	下地処理後 200m ² ごとに3箇所（クラウン部及び左右側壁2箇所）、1箇所当たりの試験数は3個	個々の試験値が1.5N/mm ² 以上		
	施工	増厚材の圧縮強度試験	JSCE K 561 試験体：円柱供試体（φ50mm×100mm）等を1回につき3本採取。供試体の脱型と養生は、製造業者が定める方法、あるいは実際の施工方法に併せて行う。	①試験体の作製： 増厚材使用中の材料練り混ぜ中のものから採取。 ②試験頻度： 200m ² 毎に1回	28日圧縮強度値が21.0N/mm ² 以上		
接着工法	施工	付着強度試験（注1）（注2）	単軸引張試験	増厚材使用後 工事ごとに1箇所、1箇所当たりの試験数3個	個々の試験値が1.5N/mm ² 以上		

（注1）現場での作業と同一の材料を使用して現場の覆工コンクリート躯体で行うことを原則とするが、現場の覆工コンクリート躯体での試験が困難な場合には、JIS A 5371の普通平板を用いて付着強度試験を行ってもよい。

（注2）普通平板を用いる場合は、実際の施工断面と同様の施工条件を再現した上で試験を行うこと。

ロックボルト補強工法
① 直接測定による出来形管理

工種	項目	管理基準値	規格値 (参考)	測定基準	管理方式			測定箇所標準図	摘要
					管理図表によるもの	測定結果一覧表によるもの	構造図に朱記、併記するもの		
ロック補強工法 ロックボルト補強工	位置間隔 (L)		±200mm以内	施工延長20mに1箇所、断面全数	測点数が20点以上のもの	測点数が20点未満のもの			
	角度 (θ)		±2.5°						
	深さ (l)		設計値以上						

ロックボルト補強工法

② 撮影記録による出来形管理

工種	撮影基準	撮影箇所	撮影方法	備考
1.一般	省略	※「土木工事施工管理基準」第2表 撮影記録による出来形管理 1.共通工事を参照。	「土木工事施工管理基準」参照。	
2.材料・品質等	適宜	施工前の使用材料の保管状況		
	適宜	使用前の使用材料の確認状況		
	現場採取ごと	試験用材料の現場採取確認状況		
	試験実施ごと	試験実施状況		
3.仮設備工	施工箇所ごと	換気設備（設置状況）		
	適宜	照明設備（設置状況）		
	施工箇所ごと	電力設備（設置状況）		
	適宜	その他		
4.坑内作業準備工	施工箇所ごと	坑内洗浄状況		
	施工箇所ごと	障害物除去状況		
	施工箇所ごと	止水・導水状況		
	断面全数／20m	穿孔状況・完了、頭部処理状況・完了		
5.ロックボルト工	断面全数／20m	定着材注入状況・ロックボルト挿入工		
	全箇所	引抜き試験		
	断面全数／20m（深さは残尺で確認）	位置間隔、角度、深さ		
	適宜	その他必要箇所		
6.設備工	適宜	各種使用機材設置状況		

ロックボルト補強工法

ロックボルト補強工法
 ③ 品質管理

工種	区分	試験（測定）項目	試験方法	試験（測定）基準	（参考）規格値	管理方式	処置		
ロックボルト補強工法	材料	定着材の圧縮強度試験 （モルタル系）	JIS R 5201 「セメントの物理試験方法」	工法の性能、材料の配合 が変わる毎に実施	1日圧縮強度値が10N/mm ² 以上		1.試験報告書記載の試験内容、試験結果を確認し、必要に応じて立会検査する。 2.規格値の範囲に収まらない材料は使用してはならない。		
		定着材のフロー試験 （モルタル系）	JIS R 5201 「セメントの物理試験方法」		150±20 mm				
		ロックボルトの外観検査	目視、寸法計測等		設計図書による				
		頭部処理材の圧縮強度試験	JSCE K 531 (28日間養生)		28日圧縮強度値が21.0N/mm ² 以上				
		頭部処理材の長さ変化率試験	JIS A 1129		0.05%以下				
		頭部処理材の中性化深さ試験	JIS A 1171 (4週間)		中性化深さ4mm以下 中性化速度係数 14mm/√年 以下				
		頭部処理材の摩耗深さ試験	表面被覆材の水砂噴流摩耗試験（案） 〔15時間経過後の平均摩耗深さと標準モルタル供試体の平均摩耗深さとの比較（材齢28日）〕		標準モルタル供試体に対する平均摩耗深さの比が1.5以下				
		頭部処理材の付着強度試験	JSCE K 531 又はJSCE K 561 (乾湿・温冷繰返し回数 は15サイクル)		標準条件			1.5N/mm ² 以上	
					多湿条件				
					低温条件				
					水中条件				
					乾湿繰返し条件				1.0N/mm ² 以上
					温冷繰返し条件				

工種	区分	試験（測定）項目	試験方法	試験（測定）基準	（参考）規格値	管理方式	処置		
ロックボルト補強工法	施工	定着材の圧縮強度試験 （モルタル系）	JIS R 5201 「セメントの物理試験方法」	20mに1回	1日圧縮強度値が10N/mm ² 以上				
		定着材のフロー試験 （モルタル系）	JIS R 5201 「セメントの物理試験方法」	20mに1回	150±20 mm				
		ロックボルトの引抜試験	NEXCO試験方法 JGS 3731-2005－NEXCO 試験法条件 「ロックボルトの引抜き試験方法」	10m当たり3本	引抜き耐力100kN以上				
		頭部処理材の圧縮強度試験	JSCE K 561 試験体：円柱供試体（φ50mm×100mm）等を1回につき3本採取。作成1日後に脱型し、材齢28日まで20°±2℃の水中養生。	①試験体の作製時期：頭部処理工施工中の材料練り混ぜ中のものから採取。 ②試験頻度：施工延長概ね50～100mごとに1回。	28日圧縮強度値が21.0N/mm ² 以上				

ライナープレート建込工法

① 直接測定による出来形管理

ライナープレート工法の直接測定による出来形管理は「土木工事施工管理基準（水路トンネル工事、管水路工事）」に準拠することとし省略する。

ライナープレート建込工法

② 撮影記録による出来形管理

工種	撮影基準	撮影箇所	撮影方法	備考
1.一般	省略	※「土木工事施工管理基準」第2表 撮影記録による出来形管理 1.共通工事を参照。		
2.材料・品質等	適宜	施工前の使用材料の保管状況	「土木工事施工管理基準」参照。	
	適宜	使用前の使用材料の確認状況		
	現場採取ごと	試験用材料の現場採取確認状況		
	試験実施ごと	試験実施状況		
3.仮設備工	施工箇所ごと	換気設備（設置状況）		
	適宜	照明設備（設置状況）		
	施工箇所ごと	電力設備（設置状況）		
	適宜	その他		
4.坑内作業準備工	施工箇所ごと	障害物除去状況		
	施工箇所ごと	止水・導水状況		
5.ライナープレート設置工	施工延長50～100mにつき1箇所 上記未満は2箇所	ベース材設置状況 ライナープレート運搬作業状況、組立作業状況		
	適宜	各種検査状況、その他必要箇所		

ライナープレート建込工法

工種	撮影基準	撮影箇所	撮影方法	備考
ライナープレート建込工法	6.裏込充填工	施工箇所ごと	裏込充填止め施工状況	「土木工事施工管理基準」参照。
		施工箇所ごと	注入状況（圧力管理状況） 流量計の積算流量値を撮影 圧力計の圧力値を撮影	
			充填完了状況 充填箇所の確認孔より注入材が流出（リーク） したことを撮影	
		1スパン（継目間隔）に1箇所 （注1）	充填状況確認 確認孔削孔時のコアにより裏込充填材の充填状況を 確認したことを撮影	
7.設備工	適宜	各種使用機材設置状況		

（注1）水抜きを設置する場合に行う。

ライナープレート建込工法

③ 品質管理

ライナープレート建込工法の裏込充填工の品質管理については、「裏込注入工法」の品質管理に準じることとし省略する。
ベース材取付部理戻（PCM）の施工を行う場合の品質管理については、「ロックボルト補強工法」の頭部処理材の品質管理に準じることとし省略する。

工種	区分	試験（測定）項目	試験方法	試験（測定）基準	（参考）規格値	管理方式	処置
ライナープレート建込工法	材 料	金属部材の外観検査	目視、寸法計測等	工法の性能が変わる毎に実施	製作仕様書との比較		1.試験報告書記載の試験内容、試験結果を確認し、必要に応じて立会検査する。 2.規格値の範囲に収まらない材料は使用してはならない。
		あと施工アンカーの外観検査（注1）	目視、寸法計測等		設計図書による		
	施 工	あと施工アンカーのアンカー引抜試験（注1）	JCAA 日本建設あと施工アンカー協会が定めた非破壊引張試験法	全本数の0.5% 少なくとも3本以上	設計値（検査荷重）以上		

（注1）あと施工アンカーを使用する場合に適用。