

### 3. トンネル覆工コンクリートの課題

#### 3.1 トンネルの不具合発生状況

京都府が所管するNATMトンネルの覆工コンクリートにおいては、空洞に起因する不具合は発生していないものの、維持管理の段階で問題になる変状の中には施工の不具合に起因するものもあるので、それらを極力無くすような施工上の配慮が必要である。

##### 3.1.1 不具合の発生状況

(1) 道路トンネルの覆工コンクリートにおいては、主として以下のような不具合や変状が発生している。特に、覆工コンクリートの充填不良・背面空洞は、覆工コンクリートの構造安定性が損なわれる他、覆工コンクリートのはく落のおそれがあるため重要な課題である。

- 1) 覆工コンクリートの充填不良・背面空洞
- 2) 施工目地部の周辺に発生するうき、はく離、剥落及びひび割れ
- 3) 側壁、アーチ部の縦断方向及び横断方向のひび割れ
- 4) 天端部の縦断方向のひび割れ
- 5) 表面の水はしり、砂すじ及び気泡
- 6) コンクリート打継目の打重ね線、色むら及びコールドジョイント

(2) 図3.1.1 に、トンネル覆工コンクリートに発生しやすい不具合や変状を模式的に示す。

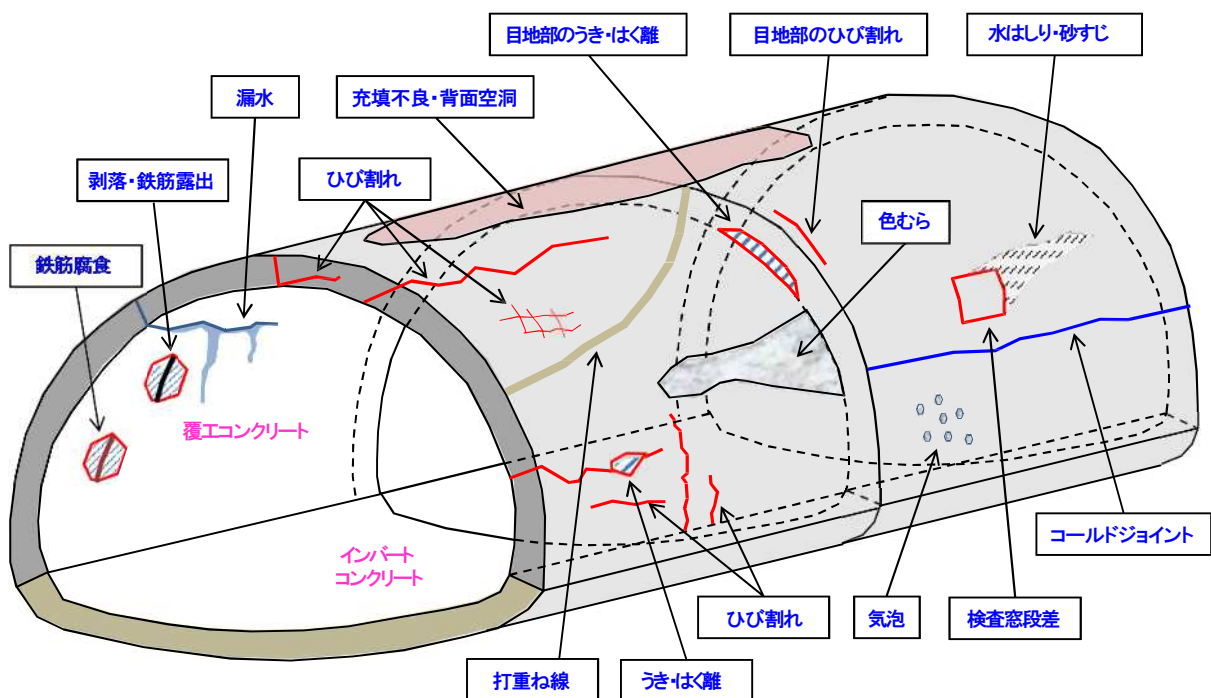


図3.1.1 トンネル覆工コンクリートに発生しやすい不具合や変状

出典：コンクリート構造物の品質確保の手引き（案）（トンネル覆工コンクリート編）  
国土交通省東北地方整備局 令和5年3月に加筆

(3) 本手引き（案）では、覆工コンクリート各部の名称を以下のとおり表記している。

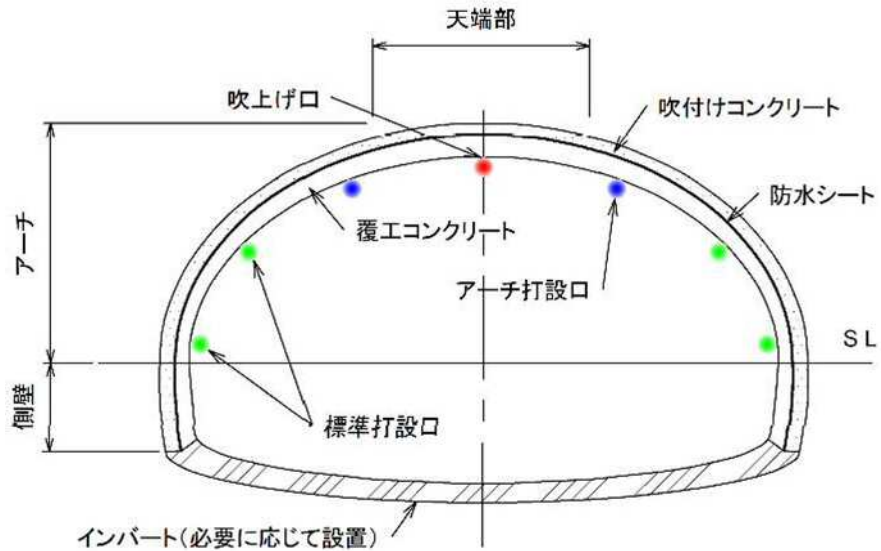


図3.1.2 覆工コンクリート各部の名称（横断方向）

出典：コンクリート構造物の品質確保の手引き（案）（トンネル覆工コンクリート編）  
国土交通省東北地方整備局 令和5年3月に加筆

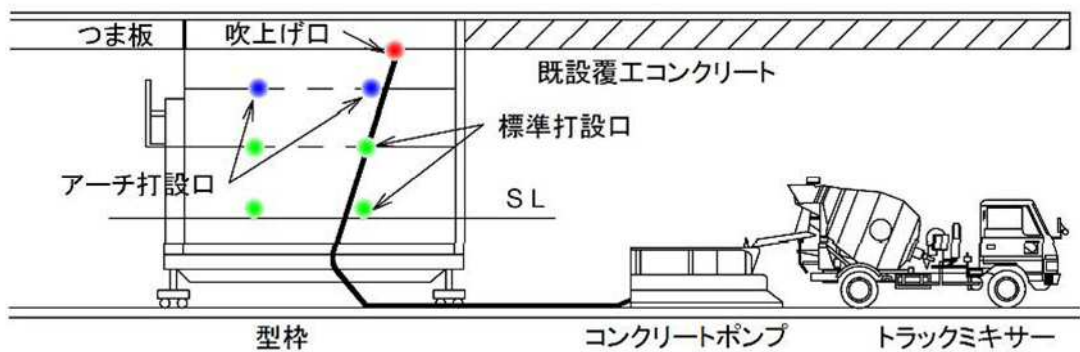


図3.1.3 覆工コンクリート各部の名称（縦断方向）

出典：コンクリート構造物の品質確保の手引き（案）（トンネル覆工コンクリート編）

国土交通省東北地方整備局 令和5年3月

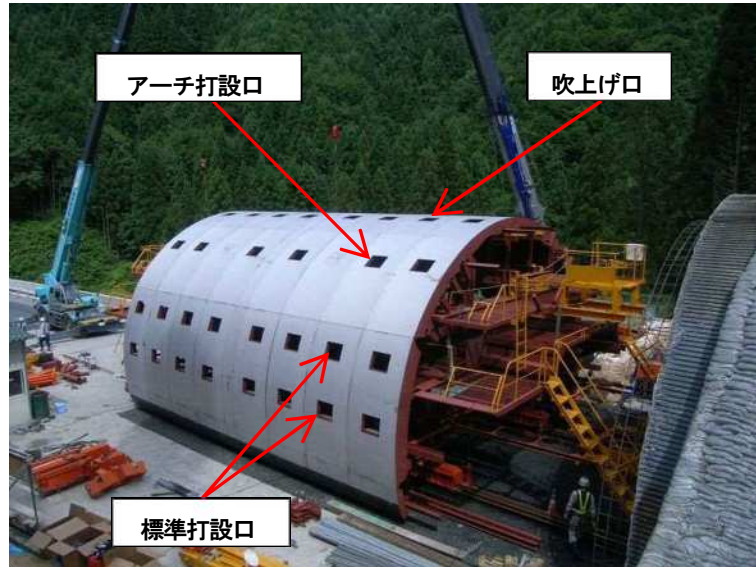


写真3.1.1 型枠（セントル）

出典：大茂内第二トンネル工事状況  
国土交通省東北地方整備局 平成20年9月に加筆

### 3.2 トンネル覆工コンクリートの不具合の発生原因

覆工コンクリートの不具合発生原因は、覆工を化粧巻きとして捉える認識の違い、作業員の熟練度、施工時の条件等、さまざまな要因が複合的に影響して生じている。

#### 3.2.1 覆工コンクリートは化粧巻きであるという認識

(1) NATM のトンネルは、地山の掘削完了後に吹付コンクリートおよびロックボルトを施工することで地山自体を支持しており、これによりトンネル周囲の地盤がトンネルを保持しようとする「グランドアーチ効果」を有効に活用し、構造的な安定性を確保している。

これらの施工後に、地山の变形が収束したことを確認したうえで、吹付コンクリート面の長期安定性の確保（劣化防止）、トンネル湧水の排水処理、利用者被害の防止等を目的とした二次コンクリートとして、覆工コンクリートが施工されている。このため、覆工コンクリートは構造的な安定性に寄与していないことから、あくまで仕上げのための化粧巻きコンクリートであるといった認識が強く、「設計基準強度が確保できていればよい」「縞模様などが生じていても気にしない」といった見解に至るおそれがある。

(2) 覆工コンクリートはトンネル設備（非常用設備、照明や内装板など）の基礎コンクリートとなる部分でもあり、覆工コンクリートの不具合はトンネル設備の損傷や落下などを引き起こす可能性があり、利用者被害のみならず、トンネルとしての機能を喪失することとなる。このため、利用者被害やトンネルとしての機能喪失を防止するとともに、維持管理費用の負担を軽減するためにも、覆工コンクリートは「化粧巻き」ではなく「**本体構造物で重要な部分**」であるという認識のもとに品質確保に努める必要がある。

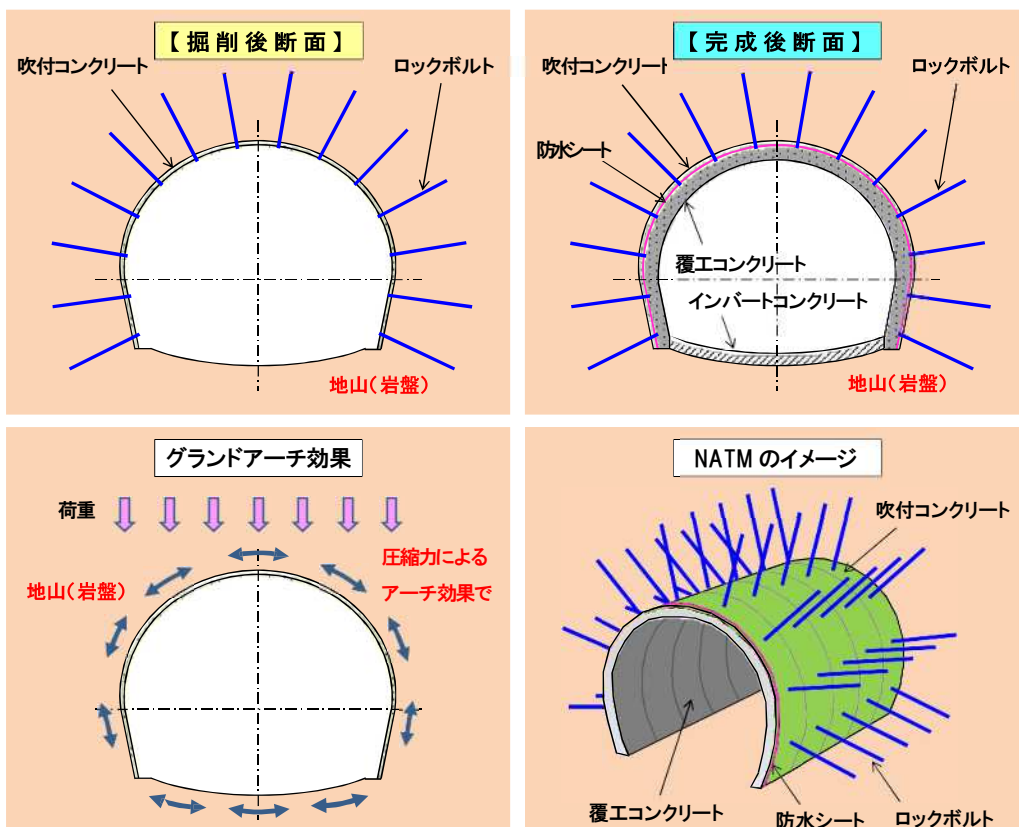


図3.2.1 NATMの概要

### 3.2.2 不具合が発生する可能性のあるトンネル特有の打設方法

- (1) 一般的な明かり構造物のコンクリート打設方法と比較すると、トンネル覆工コンクリートは不具合の発生する可能性のある特有の打設方法となる。狭小な空間内で打込みや締固めを行う必要があり、特に天端部は吹上げによる打設になる<sup>10)</sup> ことから、締固めが困難となる場合がある。また、目視確認が困難であることから、締固め不足や充填不足が発生しやすく、均質かつ密実で一体性のあるコンクリートとなっていない場合がある。適切な締固めが不足した場合には不均質なコンクリートとなり、アーチから天端部にかけて色むらや打ち重ね線が発生する可能性がある。これらの変状は、将来的に打ち重ね線に沿ったひび割れが発生する恐れがあるため、丁寧な施工を行う必要がある。
- (2) 天端部一か所からの打込みの場合は、吹上げ口から妻部までのコンクリートが流動する距離が長くなり、材料分離やブリーディングが発生しやすいため、打設方法について作業計画で十分に検討することが重要である。特殊な環境下での施工となるため、統一的な施工方法が確立しにくいとともに、仕上がりの良否が作業員の技量や熟練度に左右されやすい側面もある。
- (3) 図 3.2.2～図 3.2.3 に、トンネル覆工コンクリートの標準的な施工手順および天端部の打設手順を示す。



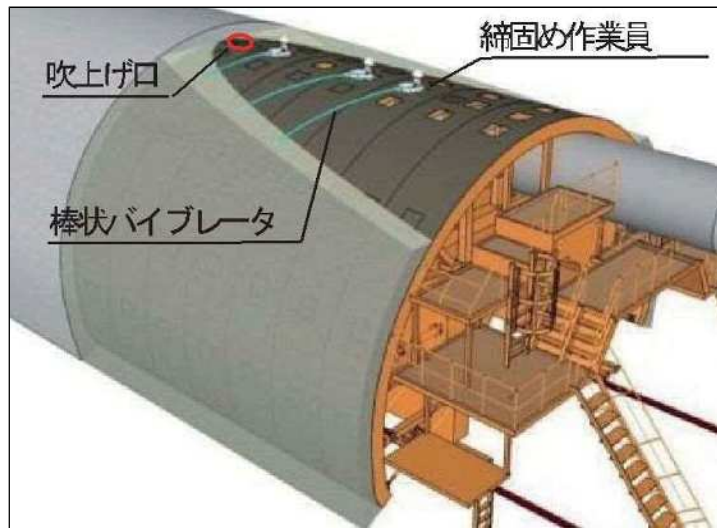
天端部の打設状況



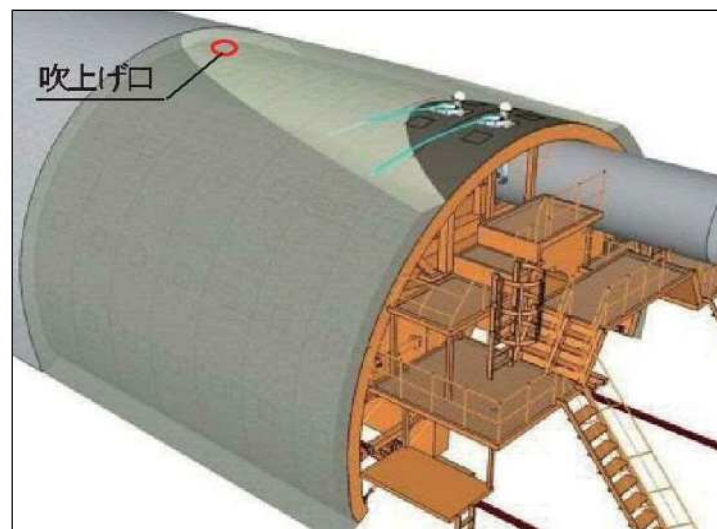
アーチ部の打設状況写真

写真 3.2.1 トンネル覆工コンクリートの打設状況

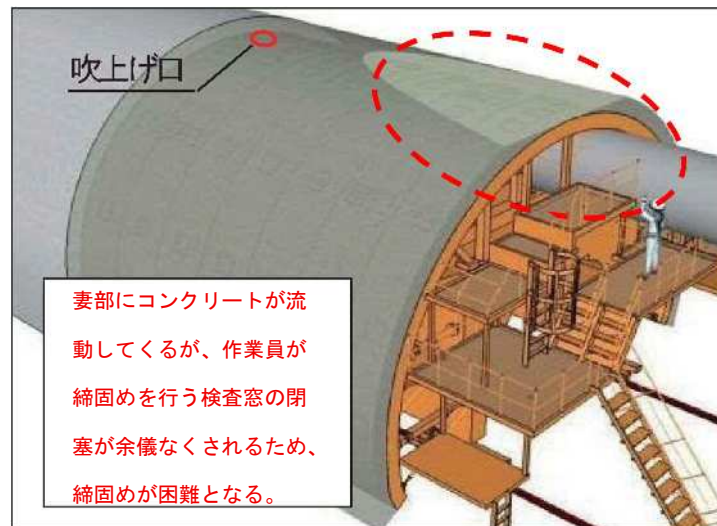




① 天端部吹上げ口からの打込み（打込み序盤）



② 天端部吹上げ口からの打込み（打込み中盤）



③ 天端部吹上げ口からの打込み（打込み終盤）

図 3.2.3 標準的な天端部の打込み手順<sup>10)</sup>に加筆

出典：覆工コンクリート天端部の品質に関する実験的検討 安藤ハザマ(株) 平成 29 年に加筆

### 3.2.3 適切な養生による緻密性の向上

- (1) 覆工コンクリートは、一般的に2日に1回の打設サイクルとなり、コンクリートの打込み後、脱型強度が確保できる12～20時間後に脱型している場合が多い。<sup>6)</sup>
- (2) コンクリートは、施工の基本事項を遵守した打込みを行った後、適切に養生を行うことにより、セメントなどの結合材が十分に反応して緻密な組織を形成することから、ひび割れ抵抗性の向上や劣化因子の侵入に対する抵抗性の向上が期待できる。

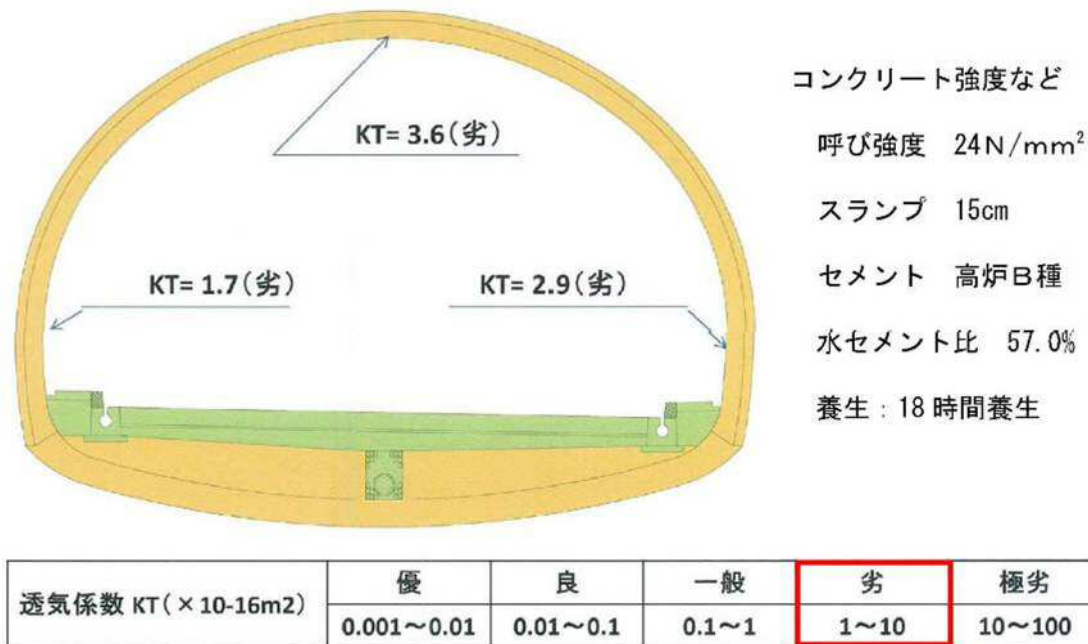


図3.2.4 従来の一般的な方法で施工された覆工コンクリートの透気係数<sup>6)</sup>

※透気試験とは、コンクリート内部から空気が吸い出されにくい度合いを指標として、その密実性を評価する手法である。  
 空気が吸い出されにくいほどコンクリートは密実であり、その指標となる透気係数は小さい値となる。

出典：トンネル覆工コンクリートの品質確保の手引き（案）  
 国土交通省四国地方整備局 令和2年3月に加筆

### 3.2.4 コンクリートの収縮による施工目地の開き（準備-7、打設-9）※

- (1) 後打ちコンクリートの打込み後、温度や乾燥収縮による体積変化により、先打ちコンクリートと後打ちコンクリートは離れる方向に変形する。このとき、先打ちコンクリートの妻部が十分平滑でない場合には、両者の間に付着力による引張応力が発生し、抵抗力が弱い側の目地部にひび割れが発生することがある。

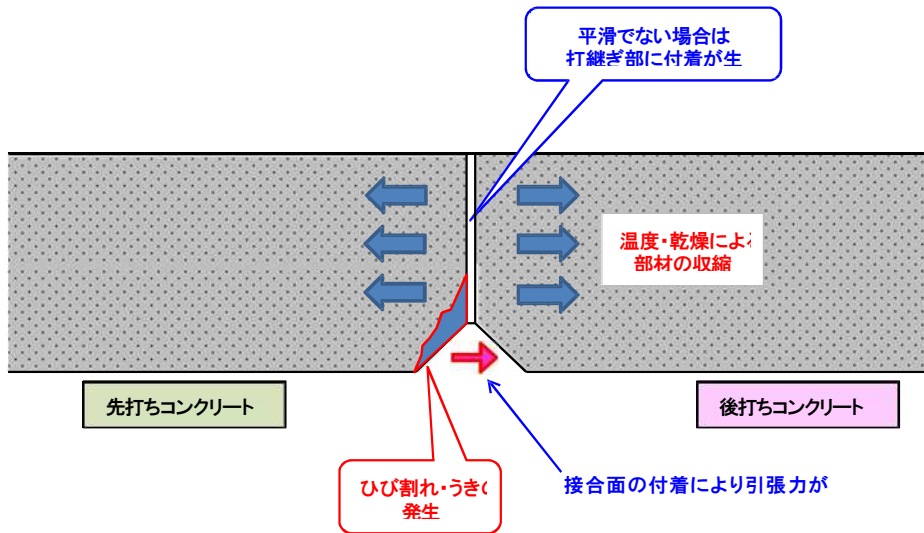


図 3.2.5 施工目地部の付着力によるひび割れ発生

出典：トンネル覆工コンクリートの品質確保の手引き（案）  
国土交通省四国地方整備局 令和2年3月に加筆

- (2) 施工目地の形状が台形の場合、先打ちコンクリートの台形斜辺部は、後打ちコンクリートの斜辺部より抵抗力が弱いことから、収縮に伴う引張応力によりひび割れが発生することがある。

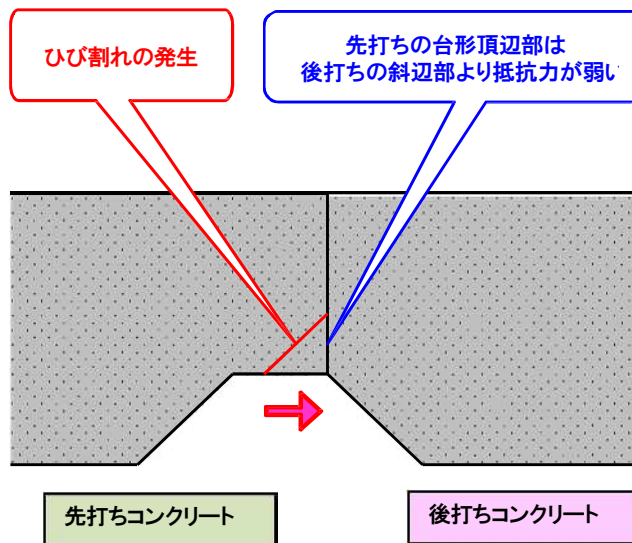


図 3.2.6 施工目地部が台形形状の場合のひび割れ発生

出典：トンネル覆工コンクリートの品質確保の手引き（案）  
国土交通省四国地方整備局 令和2年3月に加筆

※チェックシートのチェック項目の番号

### 3.2.5 型枠の過度な押し上げによる既設コンクリートのひび割れ（準備-2）

- (1) 型枠の設置時には、既に打設した若材齢の覆工コンクリートに型枠をラップさせて設置するが、以下の要因で端部の角欠けや半月状のひび割れが発生することがある。
- 1) 型枠セット時に、確認不足や電動油圧ジャッキの操作の誤りにより、既打設コンクリートに型枠を過度に押し付けてしまうおそれがある。

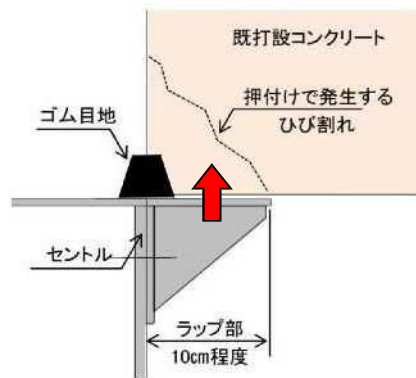


図 3.2.7 型枠押し上げによるひび割れ発生<sup>12)</sup>

出典：コンクリート端部のひび割れ発生を防止する「コンラップ監視システム」を開発  
戸田建設㈱ 平成27年6月に加筆

- 2) コンクリート打設時に、コンクリートの側圧がセントルに作用して横方向に移動しようとし、ラップ部で既打設コンクリートを過度に押し付けてしまうおそれがある。

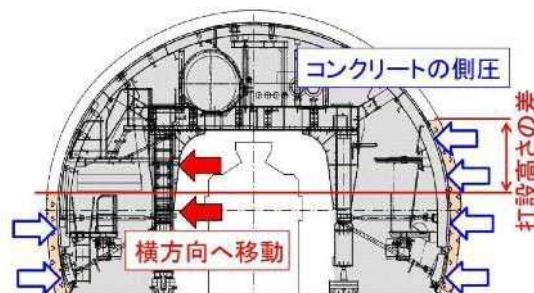


図 3.2.8 コンクリート側圧によるひび割れ発生<sup>12)</sup>

出典：コンクリート端部のひび割れ発生を防止する「コンラップ監視システム」を開発  
戸田建設㈱ 平成27年6月に加筆

- 3) セントル脱枠時に、作業手順の認識不足や機械故障により、妻側の電動油圧ジャッキだけを下降させてしまい、既打設コンクリートのラップ部を押し付けてしまうおそれがある。

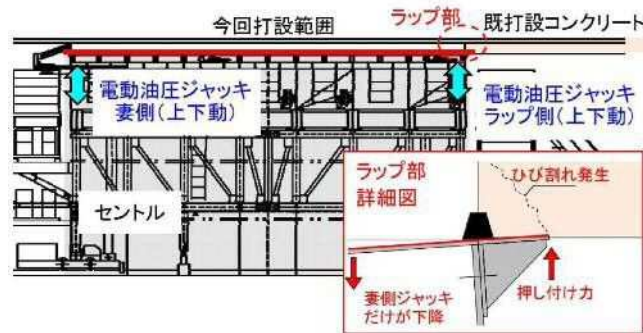


図3.2.9 型枠設置時の操作の誤りによるひび割れ発生<sup>12)</sup>

出典：コンクリート端部のひび割れ発生を防止する「コンラップ監視システム」を開発  
戸田建設株式会社 平成27年6月に加筆

### 3.2.6 施工目地部のブリーディングによる品質の低下（打設-9）

- (1) 妻部においては、覆工コンクリートの打込み中にブリーディング水が集積しやすく、打込み後数時間経過すると徐々に発生する。このブリーディング水を適切に排除しないと、コンクリートの密実性が損なわれ、局所的に品質の低い部分が発生する可能性がある。



写真 3.2.2 妻部からのブリーディング水排出の事例

出典：トンネル覆工コンクリートの品質確保の手引き（案）  
国土交通省四国地方整備局 令和2年3月に加筆

### 3.2.7 トンネル縦断勾配による天端部の充填不良

- (1) トンネルの縦断勾配により高低差が生じる場合、下り勾配で打設する場合には、天端部に締固め不足や未充填の箇所が発生するおそれがある。

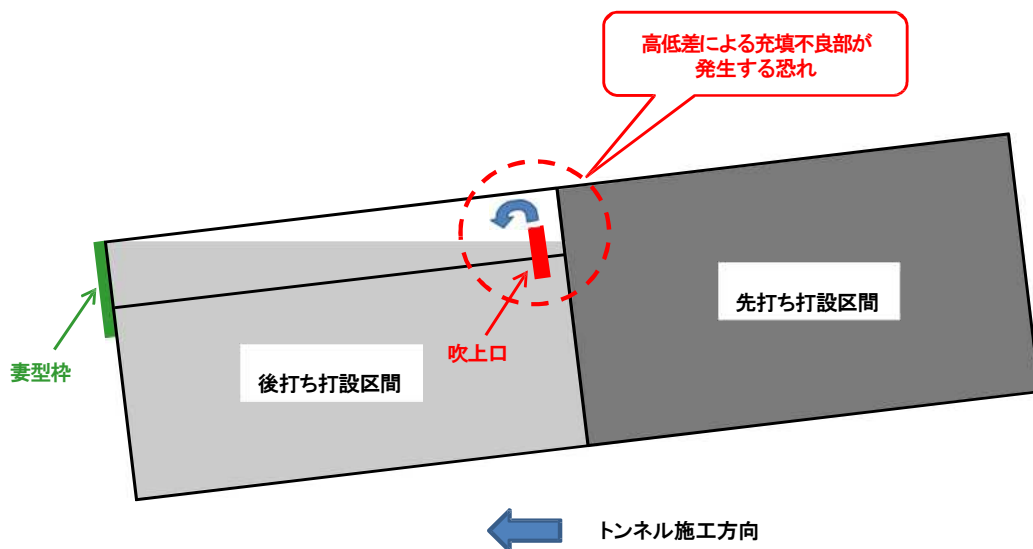


図 3.2.10 縦断方向の高低差による天端空洞発生<sup>13)</sup>に加筆

出典：覆工コンクリート品質向上に関する取組み  
西松建設(株) 平成 27 年に加筆

### 3.2.8 防水シートの破損・たるみによる品質への影響（準備-4）

- (1) NATMのトンネルでは掘削面の凹凸が生じやすく、吹付コンクリート面も凹凸が生じやすい。
- (2) 一般的に、凹凸が大きい場合には、吹付コンクリート余吹きなどにより、なるべく吹付面が平滑になるように施工を行うが、完全に平滑にすることは難しい。このとき、防水シート設置時に適切な余裕（たるみ）がなければ、覆工コンクリートの打設時に引張力が生じ、損傷する可能性が高くなる。
- (3) 余裕が大きすぎる場合には、シートのゆるみにより覆工コンクリート背面に空隙が発生する可能性が高くなる。これらは、覆工背面の地下水の滞留空間となり、覆工コンクリートの損傷箇所や打継ぎ目などからの漏水が発生して、品質の低下につながる。

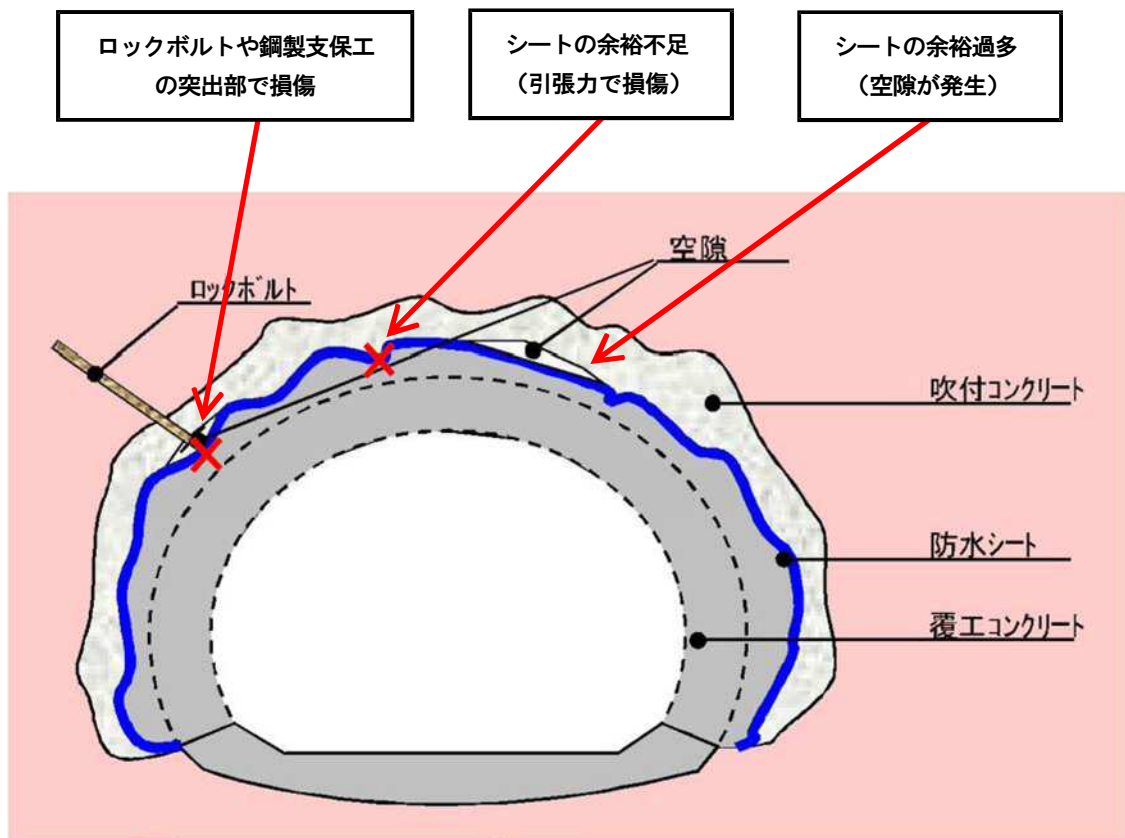


図 3.2.11 覆工背面の凹凸による防水シートの損傷 <sup>14)</sup>に加筆

出典：背面平滑型トンネルライニング工法 FFシートシリーズ  
フジモリ産業株式会社 平成 28 年 9 月に加筆

### 3.2.9 掘削時に生じる覆工背面の凹凸による品質への影響（準備-4）

- (1) NATMでは主として発破工法で掘削を行うため、覆工の背面に凹凸が生じやすく、覆工の凹凸の差が大きい場合には、乾燥収縮によるひずみ量の違いや、背面の拘束が生じることなどから、ひび割れが生じやすくなることが懸念される。
- (2) 以下は、覆工厚に差異が生じた場合における、ひび割れ発生の程度を解析的に検討した事例であるが、覆工背面が平滑でない場合には、背面の拘束を受けやすく、局所的な応力増加が生じてひび割れが発生しやすくなることが示唆されている。

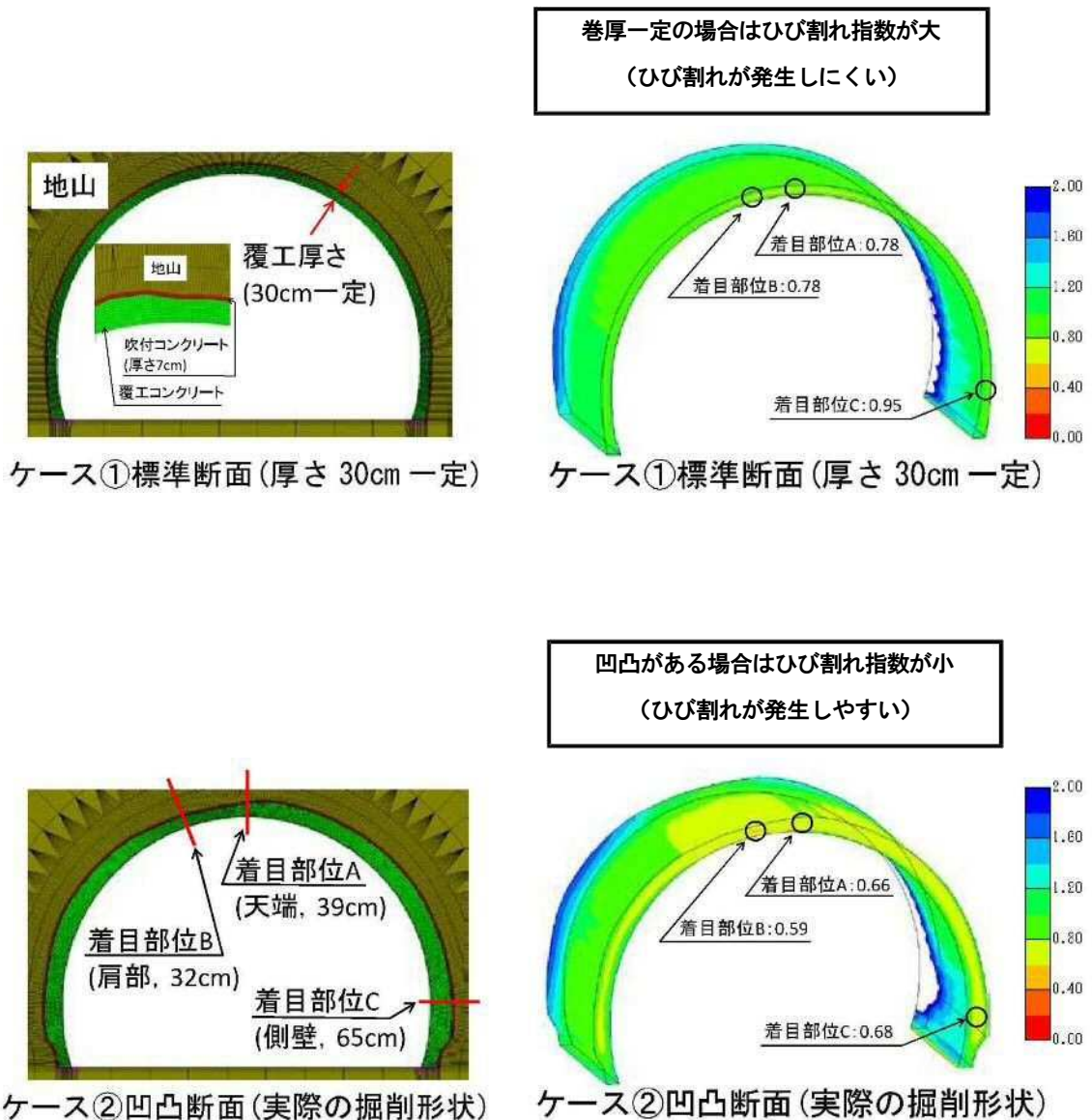


図 3.2.12 覆工巻厚の差異がひび割れ発生に与える影響の解析事例 <sup>15)</sup>に加筆

出典：覆工コンクリート背面の凹凸形状が温度ひび割れの発生に及ぼす影響に関する解析的検討  
鈴木ほか 平成 26 年 9 月に加筆に加筆