

トンネル覆工施工継ぎ目の不具合防止対策

前田建設工業(株)	正会員	原 秀利
前田建設工業(株)	正会員	亀田 剛志
前田建設工業(株)	正会員	郡山 卓也
前田建設工業(株)	正会員	○森田 篤

1. はじめに

これまで、山岳トンネルの覆工コンクリートの品質向上に関して様々な技術が提案され、コンクリートの打設・締め固め・養生等の技術向上により、品質が向上し、特にひび割れに対しては一応の成果がみられてる。山岳トンネルの覆工コンクリートの品質に関して残された課題の一つとして、施工継ぎ目部に発生する不具合があり、竣工後に数年経過してから発生する浮き・剥離・剥落は、供用開始後の安全確保の観点からも重要な課題となっている。そこで、施工中のトンネルだけでなく竣工した工事も対象に施工継ぎ目に特化した不具合の調査を行い、発生要因の分析と防止対策の検討・実験を進めた。本発表では、覆工の施工継ぎ目に発生する不具合要因の分析結果と防止対策の技術について報告する。

2. 覆工コンクリートの品質向上技術開発経緯

一般に、山岳トンネルの覆工コンクリートには力学的機能ではなく、その供用性が要求されてきたこともあり「化粧巻き」と称される時期もあった。そのような中で、当社は以前から覆工コンクリートの品質及び耐久性の向上を実現すべく技術開発に取り組んできた。特に、十分な締め固めが難しいことから、やむを得ずコンクリートを流動させて打ち込む事が容認されていたクラウン部コンクリート打設の従来の方法に対して、十分に締め固められ、かつ密実で高品質のコンクリートを打設する技術を開発し、その結果、ひび割れ発生が大幅に低減し、トンネル覆工コンクリート特有の竹割り縞模様のない出来映えも向上することを確認している。

以上のように、コンクリートの打設・締め固め・養生等の技術向上により、覆工コンクリートの品質が向上し、特にひび割れに対しては一応の成果がみられている。



写真-1 在来工法の覆工



写真-2 標準的な工法の覆工



写真-3 開発技術向上

3. 施工継ぎ目の不具合

山岳トンネルの覆工コンクリートの品質に関して残された課題の一つとして、施工継ぎ目部に発生する不具合があり、竣工後に数年経過してから発生する浮き・剥離・剥落は、供用開始後の安全確保の観点からも重要な課題となっている。そこで、施工中のトンネルだけでなく竣工した工事も対象に施工継ぎ目に特化した不具合の調査を行った。調査の結果として、図-1に覆工の施工継ぎ目の不具合一覧を示す。

キーワード 覆工コンクリート、施工継ぎ目、不具合、

連絡先 〒102-8151 東京都千代田区富士見二丁目 10-2 TEL 03-5276-5166

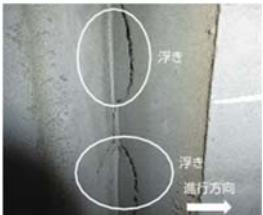
①過度な押当てによるひび割れ セントルセット時に押し上げ過ぎると、ひび割れが発生する場合があります。 	②付着力によるひび割れ 乾燥収縮時に継ぎ目間の付着力によって発生するひび割れで、主に後打ちコンクリート側に見られる。 	③妻板の押出しによるひび割れ 妻板のはみ出しによる、経年変化（乾燥収縮）によってできるひび割れ。 
④偏圧によるひび割れ 打設中コンクリートの偏圧による過大な押し付けによってひび割れが発生することがある。 	⑤ダミージョイントのケレン不足 ケレン装置ではダミージョイント周辺のケレンができず、回数を重ねるうちにモルタルが付着する。 	⑥施工継ぎ目のジャンカ 天端部の施工継ぎ目周辺の締固め作業が最も難しく、ジャンカが発生しやすい 

図-1 施工継ぎ目の不具合

4. 施工継ぎ目の不具合対策

施工継ぎ目に発生するそれぞれの不具合に対してその発生原因を調査し、不具合防止対策を実施した。本稿では図-1 に示した不具合のうち、①～④の対策について報告する。

(1)過度な押し当てによるひび割れ対策

調査の結果、①と④の不具合は、セントルオーバーラップによる既設コンクリートの押し当てが原因であることがわかった。そこで、オーバーラップに圧力センサーを取り付けて、押し当て圧力が所定の管理値に達すると自動停止装置が働くシステムを開発した。覆工の押し当て力を測定するシステムは図-2 に示すとおり、オーバーラップ部の圧力は小型圧力計と覆工コンクリートの間に、高さ検出材として硬質ゴムを設置する構造とした。

オーバーラップの押し当てにより弱材令の覆工コンクリートにひび割れが発生する時の圧力を把握するため、オーバーラップの覆工接触面に設置してある白ゴムの収縮量と若材齢コンクリートのひび割れ発生強度の関係を供試体試験により求めた。試験施工した現場の施工サイクルに合わせて材齢 16 時間で試験を行った結果、ひび割れは 3.3MPa で発生し、許容圧力 1.1MPa（安全率 3.0）の場合の白ゴムの収縮量は 1.0mm となった。

実施工例では、小型圧力計をトンネル周方向に均等な間隔で 6 か所設置し(図-3)、そのうちアーチ部 4 か所はアラームユニットに接続して押し当て圧力が所定値になれば自動停止装置が作動するようにした。

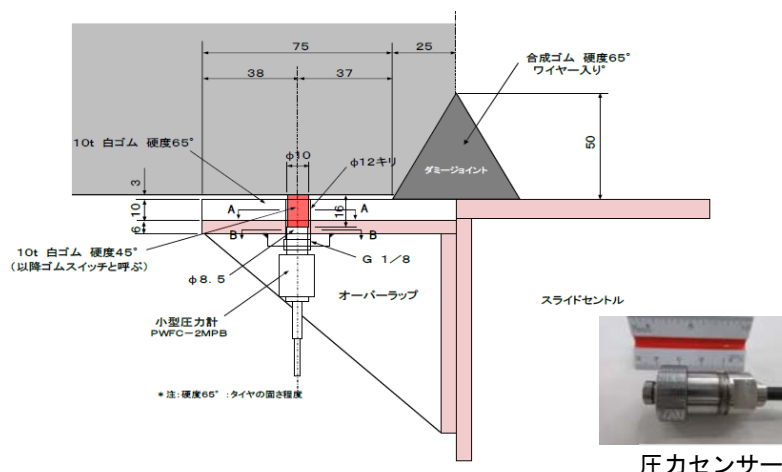


図-2 圧力センサー計画図



写真-4 白ゴム収縮量とひび割れ発生強度試験

オーバーラップと既設コンクリートとの隙間は施工誤差やひずみにより、均一な間隔ではないため、隙間をゼロとしてセットすると押し当てが発生してしまう。オーバーラップとコンクリート隙間の実測の結果 3mm 空けてセットすることが理想だと判明したため、高さ検出材をオーバーラップより 3mm 突出させて、高さ検出材が既設コンクリートに接した時を自動停止とした。なお、事前に高さ検出材（硬質ゴム）の圧縮試験を行い、変位と圧力はほぼ正比例の関係であることを確認した上で、ここでは高さ検出材変位 1mm 時圧力の 50% の 0.3MPa を自動停止装置が作動する圧力とした。アーチ部の 4 か所は設定圧力 0.3MPa 以上の圧力が働いたら自動停止し、それ以上上昇しないことを、また側壁は手動ジャッキで押し当てるが、その圧力は概ね 0.7MPa～0.8MPa であることを確認し、その時のセット時隙間は 0～1mm であった。

(2) 偏圧によるひび割れ防止対策

小型圧力計を用いたオーバーラップにより打設中の偏圧も管理した。セット時のオーバーラップと既設コンクリートの隙間は 3mm であるため、高さ検出材に 3mm 変位が生じた時、オーバーラップと覆工コンクリートが接し、偏圧が生じ始める(図-4)。ここでは、白ゴムの収縮が 1mm である時、つまり高さ検出材の変位 4mm に収まるよう管理を行った。管理圧力は高さ検出材 4mm 変位時の 2.1MPa とし、定量的に管理することで偏

表-1 高さ検出材の圧縮-変位試験結果

変位(mm)	No.1(N)	No.2(N)	平均(N)	圧力(MPa)
1	37.3	31.8	34.6	0.6
2	73.2	55.4	64.3	1.1
3	98.5	80.3	89.4	1.6
4	126.4	112.3	119.4	2.1

圧によるひび割れを防止した。この時、ひび割れ試験結果よりオーバーラップ白ゴムが 1mm 縮む時の圧力は、1.1MPa、ひび割れが発生時の圧力は 3.3MPa であることから、押し当てによる安全率は $3.3/1.1=3$ である。

図-5 に打設時の充填圧経時変化グラフを示す。偏圧による最大圧力は②の位置で約 1.6MPa を示している。反対側に切り替えることによって 1.1MPa に下がった。最大圧力が管理圧力内に収まっているので同様の作業を繰り返した。側壁部のセット時の圧力は概ね 0.7～0.8MPa で、隙間は 0～1mm であった。

このように充填圧を定量的に管理することによって、偏圧によるひび割

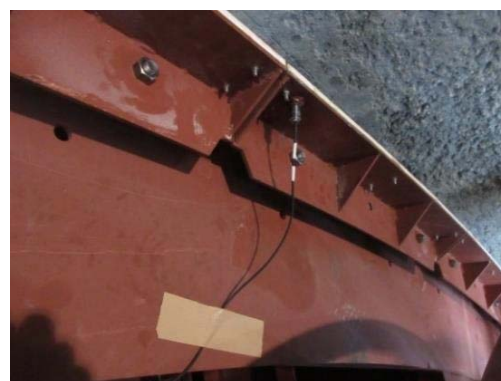


写真-5 圧力センサー設置状況

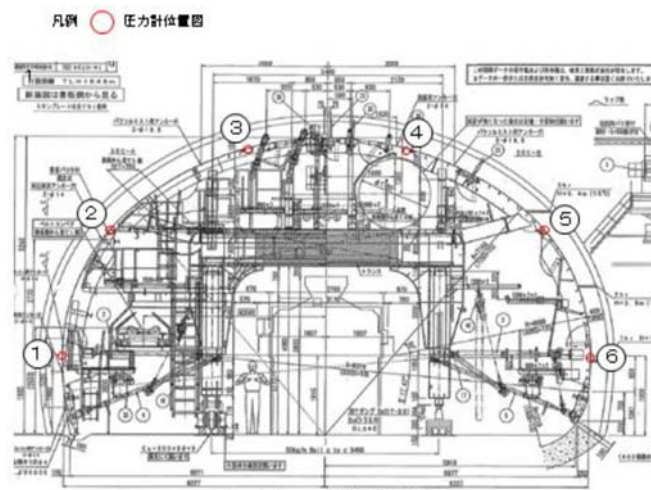


図-3 圧力センサー設置位置

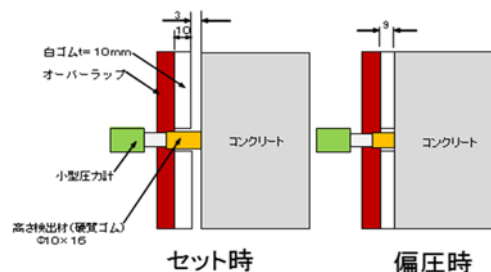


図-4 偏圧による圧力のイメージ

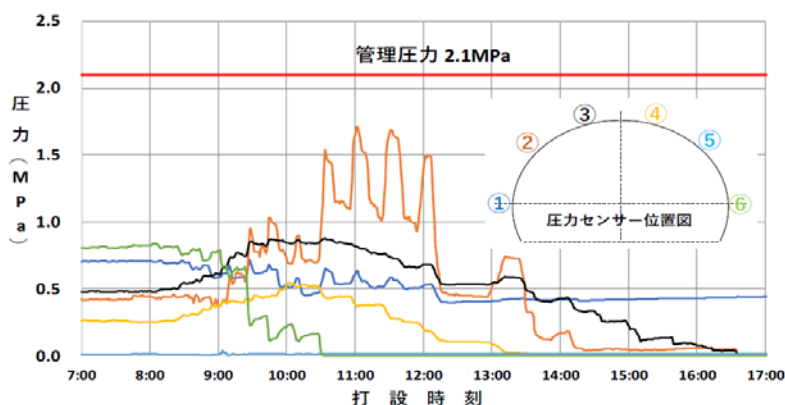


図-5 打設時圧力経時変化図

れを防止することが可能となった。

(3) 付着力によるひび割れ防止対策

図-6 示すように打設時のセントルの沈下、側壁部の押し出しによって既設ダミージョイント部（図中の赤線部分）に付着力が働くようになる。この時の拘束力を無くするためにグリスを塗布した。

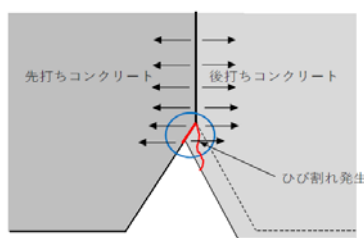


写真-6 付着力によるひび割れ対策

(4) 妻板の押し出しによるひび割れ防止対策

ダミージョイント谷部に経年変化でひび割れが発生する場合がある。このひび割れの特徴として、ほとんどが後打ち側に発生していることから、原因は妻板のはみ出しによってできる段差が乾燥収縮時に拘束力として働き、骨材の少ない脆弱な箇所（ダミージョイント谷部）にひび割れが発生するものと考えた。そのメカニズムを図-7 に示す。対策として、ダミージョイントの鉄板を 3cm 嵩上げすることにし、万が一妻板が押し出してもひび割れは露出しない構造にした。

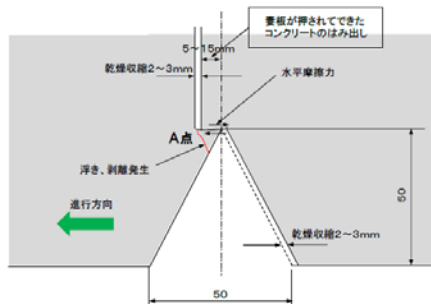


図-7 妻板押し出しによる

ひび割れのメカニズム

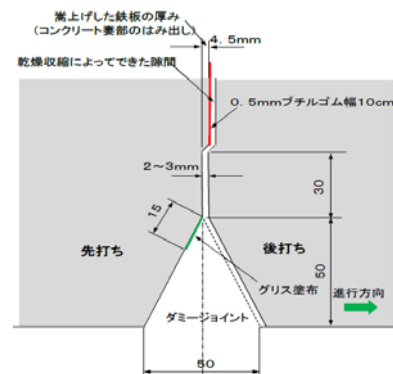


図-8 妻板押し出しによるひび割れ対策図

妻板の押し出しによるひび割れ防止対策としてダミージョイントの鉄板を 30mm 嵩上げしたところ、当初心配された嵩上げ部での剥離剥落等はなく、ダミージョイントの仕上がりも目地が直線を通り、きれいに仕上がった。



写真-7 ダミージョイントの出来映え

（対策前）

5. おわりに

トンネル覆工の施工継ぎ目に生じる様々な不具合に関して、それぞれの発生要因を調査、推定した上で対策を行ったところ、仕上がりもきれいに施工することができた。さらに過度な押し当て、並びに偏圧によるひび割れ防止をオーバーラップに小型圧力計を用いた定量管理を行うことで、従来の熟練工に頼った管理から脱することもできた。未熟練者でも管理ができることで、昨今の人手不足の解消にも寄与することが期待される。

本稿では覆工コンクリート施工継ぎ目の不具合とその対策について報告したが、機会があればその他取り組んでいる覆工コンクリートの品質・出来映え向上、省人化技術とも合わせて報告したいと考えている。