

覆工コンクリートのセントル押し当てに起因するひび割れの防止システムの開発

郡山 卓也^{*1}・原 秀利^{*2}・北澤 剛^{*1}・亀田 剛志^{*1}

Development of Crack Prevention System Caused by Led Center Pushing of Lining Concrete

Takuya KOORIYAMA, Hidetoshi HARA, Tsuyoshi KITAZAWA, Tsuyoshi KAMEDA

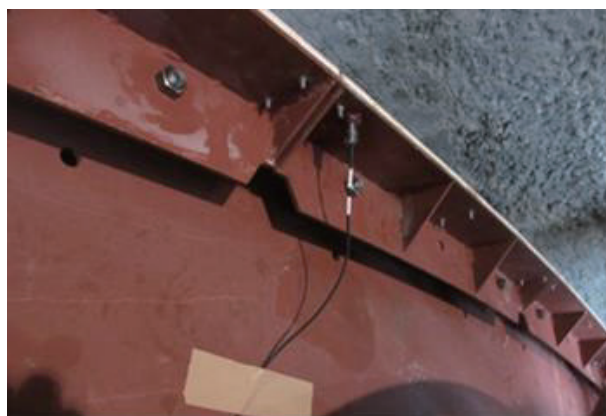


図-1 小型圧力計の取付け状況

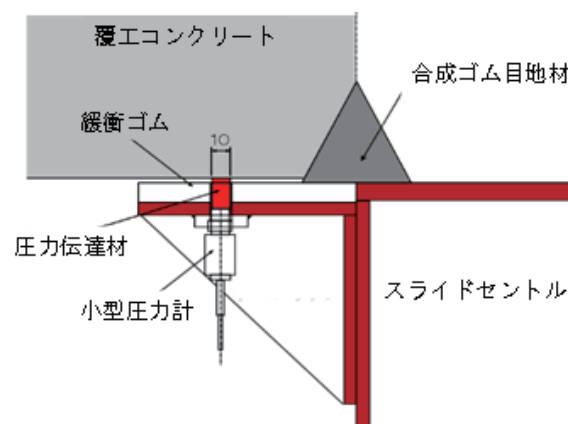


図-2 ひび割れ防止システムの概要

研究の目的

覆工コンクリートの打込み・締固め・養生等に関する新しい技術が提案されており、品質の向上が図られてきた。特にひび割れの抑制に対しては一応の成果が現れている。しかし、竣工後数年に実施される定期点検では、施工継ぎ目周辺部に浮き・剥離・剥落の発生が報告されている。施工継ぎ目周辺に発生するこれらの不具合の防止は、供用後の利用者の安全確保の観点から残された課題として重要である。

技術の説明

覆工コンクリートの施工継ぎ目に発生する不具合の原因調査の結果、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要因のひとつであることが判明した。作業員の目視確認により電動油圧ジャッキを停止させるため、ヒューマンエラーによる押し当てが発生しやすい。

そこで、オーバーラップ型枠に小型圧力計を設置し、先打ちコンクリートへの押し当てを監視するひび割れ防止システムを開発した。セントルセットを電動油圧ジャッキで機械的に制御するとともに、コンクリート打込み時には偏圧による挙動を監視する。

主な結論

セントルセット時の施工継ぎ目の過度な押し当て、並びに打設時のセントル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ができた。

また、アラームユニットによる警告により、未熟練者でも管理ができることで、昨今の作業員不足の解消にも寄与することが期待できる。

*1 九州支店 平底トンネル作業所

*2 九州支店 土木部

覆工コンクリートのセントル押し当てに起因するひび割れの防止システムの開発

郡 山 卓 也^{*1} 原 秀 利^{*2}
北 澤 剛^{*1} 亀 田 剛 志^{*1}

要 旨

覆工コンクリートの打込み・締固め・養生等に関する新しい技術が提案されており、品質の向上が図られてきた。特にひび割れの抑制に対しては一応の成果が現れている。しかし、竣工後数年に実施される定期点検では、施工継ぎ目周辺部に浮き・剥離・剥落の発生が報告されている。施工継ぎ目周辺に発生するこれらの不具合の防止は、供用後の利用者の安全確保の観点から残された課題として重要である。

このような背景から、覆工コンクリートの施工継ぎ目におけるセントル押し当てに起因するひび割れに着目し、小型圧力計を用いたひび割れ防止システムの開発を行った。このシステムを実施工にも適用し、その有効性について確認することができた。

キーワード 覆工コンクリート／ひび割れ防止対策／施工継ぎ目／不具合／施工管理

目 次

- | | |
|-----------------------|-----------------|
| 1. はじめに | 4. セントルの制御方法の検討 |
| 2. 覆工施工継ぎ目に発生する不具合の現状 | 5. 実施工による効果検証 |
| 3. ひび割れ防止システムの概要 | 6. おわりに |

DEVELOPMENT OF CRACK PREVENTION SYSTEM CAUSED BY LED CENTER PUSHING OF LINING CONCRETE

Takuya KOORIYAMA Hidetoshi HARA
Tsuyoshi KITAZAWA Tsuyoshi KAMEDA

Synopsis:

New techniques related to placing, compaction, curing and the like of lining concrete have been proposed, and improvements in quality have been attempted. Especially for the suppression of cracks, the results have been realized. However, it is reported that peeling occurred in the periphery of the construction joint in the periodic inspection carried out several years after completion. As a problem remaining from the viewpoint of securing the safety of users after service, it is important to prevent these problems occurring around the construction joints.

Against this backdrop, a crack prevention system using a compact pressure gauge has been developed focusing on cracks caused by Center pushing at the construction joints of lining concrete. This system was applied to actual construction and its effectiveness was confirmed.

* 1 九州支店 平底トンネル作業所

* 2 九州支店 土木部

1. はじめに

建設業界は少子高齢化が進んだ影響を受け、労働者不足に伴い、熟練工が年々減少している。これを解決するため、近年は ICT 施工の技術開発が盛んに行われており、生産性向上への寄与が期待されている。

一方、既存ストックの増加と将来的な財政事情から土木構造物の長寿命化が求められているが、山岳トンネルにおいては覆工コンクリートの経年による劣化が顕在化している。これらの劣化には施工段階に起因する不具合も多くあり、総合評価型技術提案では施工における品質向上が求められてきた。技術提案によって使用材料の見直しや、打込み、締固め方法の改善、および養生システムの開発などが進み、ひび割れ低減や表層品質の向上に対して効果が現れている。しかし、竣工後数年に実施される定期点検では、覆工コンクリートの施工継ぎ目周辺部に浮き、剥離および剥落が発見される場合が多く、これらの不具合は、第3者への影響が大きく、施工段階における防止対策の開発が望まれている。

そこで本検討では、まず、覆工コンクリートの施工継ぎ目近傍に発生する不具合の現象とその原因について整

理した。そして、不具合防止対策として、セントル押し当てに起因するひび割れ防止システムの開発を行い、実施工において効果の検証を行った。

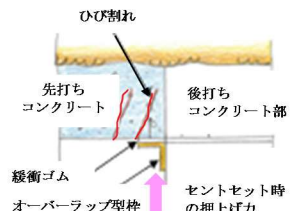
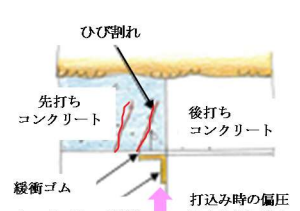
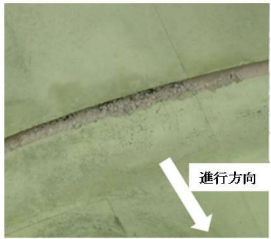
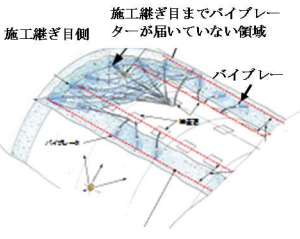
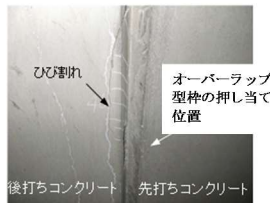
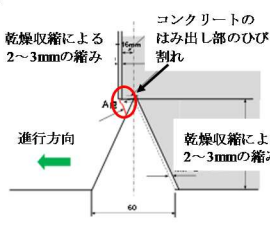
本稿では、これらの概要ならびに結果について紹介する。

2. 覆工施工継ぎ目に発生する不具合の現状

覆工コンクリートの施工継ぎ目周辺に発生する不具合について、参考図書¹⁾や実現場での事例をもとに調査を実施した。その結果、表-1 に示す 6 項目に大別されることが判明した。

- No.1 オーバーラップ型枠の過度な押し当てによるひび割れ
- No.2 セントル偏圧によるひび割れ
- No.3 打継ぎ目溝型枠のケレン不足による剥離、モルタル付着
- No.4 施工継ぎ目の豆板
- No.5 隣接ブロック打継ぎ面の付着力により発生するひび割れ
- No.6 妻板の押し出しによるひび割れ

表-1 覆工コンクリートの施工継ぎ目に発生する不具合の一覧

No	ひび割れ種類	原因	No	ひび割れ種類	原因
1	オーバーラップ型枠の過度な押し当てによるひび割れ 	セントルセット時に押し上げすぎによるひび割れ 	2	セントル偏圧によるひび割れ 	コンクリート打設による偏圧でオーバーラップ型枠の先打ちコンクリート押し付けによるひび割れ 
3	打継ぎ目溝型枠のケレン不足 	打継ぎ目溝型枠付近はケレン装置でケレンできないため回数を重ねるとモルタルが付着 	4	施工継ぎ目の豆板 	パイプレーターが施工継ぎ目まで届いていない 
5	施工継ぎ目の付着力により発生するひび割れ 	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、主に若齢側の後打ちコンクリート側に見られる 	6	妻板の押し出しによるひび割れ 	妻板のはみ出しにより、打継ぎ目に段差ができ、段差部経年劣化（乾燥収縮）によってできるひび割れ 

No.1 および No.2 は、セントル設置時、またはコンクリート打込み中におけるセントルの外力に起因する。No.3 および No.4 は、施工前の確認不足または施工中の締固め不足によるもので、不適切な施工に起因する。また、No.5 および No.6 は施工やコンクリートの収縮に起因するもので、不具合として顕在化するまでに数か月から 1～2 年程度を要する。

前述のとおり、技術提案による効果によって使用材料の見直しや、打込み、締固め方法の改善が図られており、上記の No.3～No.6 の不具合は減少する傾向にある。したがって、本検討では No.1～No.2 のセントルの外力によって発生する不具合に着目し、ひび割れ防止対策の検討を実施した。

3. ひび割れ防止システムの概要

覆工コンクリートの施工継ぎ目に発生する不具合の原因調査の結果、セントル設置時、またはコンクリート打込み中におけるセントルの外力が、表-1 中の No.1 および No.2 のひび割れ発生の要因のひとつであることが判明した。これらの不具合は、セントルのオーバーラップ型枠が先打ちコンクリートを押し当てることが直接要因である。セントル設置時は、作業員の目視によりオーバーラップ型枠と先打ちコンクリートの隙間を確認するが、作業員の判断で電動ジャッキを停止させるため、ヒューマンエラーによって過度な押し当てが発生しやすい。また、コンクリート打込み中は、セントルの移動を常時監視することは難しく、気付かないまま施工を続けてしまう場合が多い。

そこで本検討では、オーバーラップ型枠に小型圧力計を設置し、先打ちコンクリートへの押し当てを監視するひび割れ防止システムを開発した。このシステムは、オーバーラップ型枠と先打ちコンクリートの接触を感知すると、アラームによる警報音が鳴り、セントル設置時には油圧ジャッキを自動で停止させる機能を持つ。

図-1 に、オーバーラップ型枠部のひび割れ防止システムの概要を示す。コンクリートへのオーバーラップ型枠の接触は、写真-1 に示す小型圧力計により感知させることとしたが、小型圧力計の先端は硬質であり、直に覆工コンクリートに接触させることは構造的に難しい。そこで、小型圧力計と覆工コンクリートの間に、圧力伝達材として硬質ゴムを設置し、圧力伝達材を介して圧力を検出する構造とした。

また、オーバーラップ型枠と先打ちコンクリートの隙間は、セントル形状誤差や変形があるため、密着させようとすると過度な押し当てが発生してしまう可能性が高い。そこでセントルの形状を確認し、セントルセット時に必要な覆工コンクリートとオーバーラップ型枠の離隔を検討した結果、3mm の離隔でセットすることが理想的と判断された。そのため、圧力伝達材は、写真-2 のように

オーバーラップ型枠の緩衝ゴム表面より 3mm 突出させることとした。

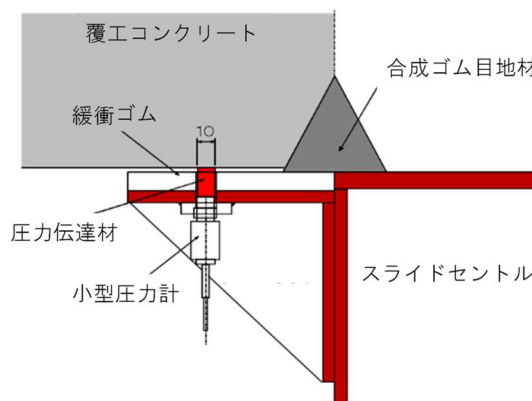


図-1 ひび割れ防止システムの概要



写真-1 小型圧力計

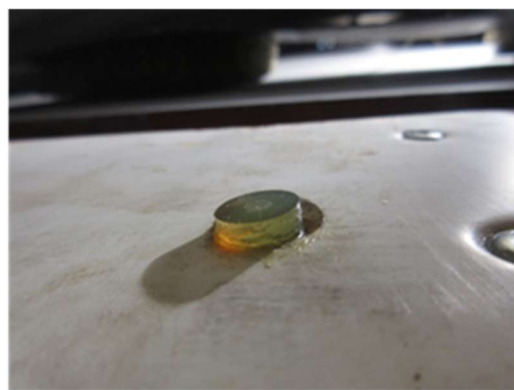


写真-2 圧力伝達材の設置状況

4. セントルの制御方法の検討

4.1 センサー取付け位置

覆工コンクリートとオーバーラップ型枠の接触を感知するセンサー（小型圧力計）の取付け位置は、作業員の代替えとしての役割を期待することから、従来のセントルセット時に作業員が目視確認していた位置に設置することとした。図-2 に小型圧力計の設置位置を示す。セントル左右の S.L 付近（①および⑥）、天端フォームの端部（②および⑤）、天端（③および④）の計 6 箇所小型圧力計を取り付けた。写真-3 に天端の③の取付け状況を

示す。

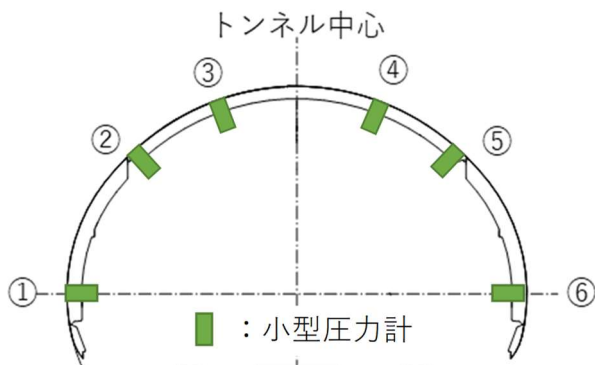


図-2 小型圧力計の取付け位置

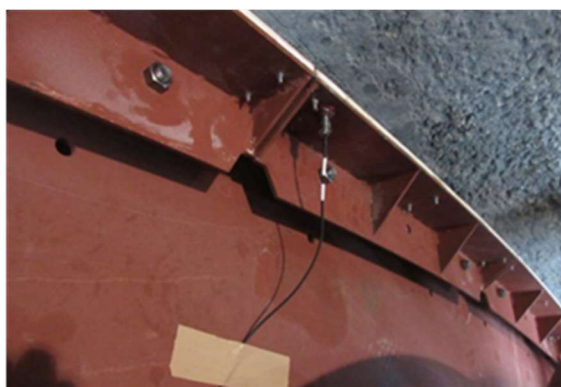


写真-3 小型圧力計の取付け状況

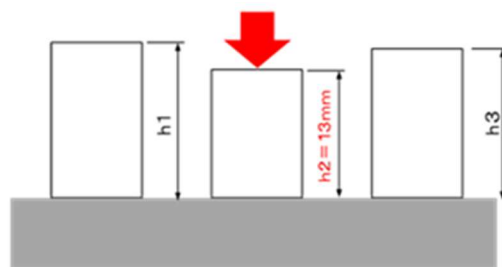
4.2 圧力の伝達材料の選定

圧力伝達材の長さは、図-1 からわかるようにオーバーラップ型枠の厚さ、緩衝ゴムの厚さおよび圧力伝達材の吐出量の合計から、小型圧力計の差込み量を引いた値となる。そのため、圧力伝達材の長さは 16mm に設定した。

また、圧力伝達材に求められる性能は、セントルの使用回数に耐える繰返し性であり、圧力伝達材は作用する荷重に対して弾性挙動をしなければならない。3. に記述したとおり、圧力伝達材の突出量は覆工コンクリートとオーバーラップ型枠の離隔のばらつきより 3mm に設定したため、この範囲内で弾性挙動しなければならない。

そこで、圧力伝達材に使用する材質を選定するために、硬度の異なるゴム材質について圧縮時の復元率を測定し（以下、圧縮復元率試験と呼ぶ）、これらの挙動を調査した。対象とするゴムの材質は、シリコーンスポンジ（硬度 35 度）、合成ゴム CR（硬度 45 度）およびポリウレタン製ゴム（硬度 60 度）とした。試験は、覆工コンクリートの施工サイクルに合わせて 48 時間毎に繰返し、セントルセット時間の 46 時間は変形量が 3mm となるように圧縮载荷し、セントル脱枠時間の 2 時間は荷重を開放し、これを 15 回（1 ヶ月間）実施した。図-3 に圧縮復元率試験の方法を、写真-4 に試験状況を示す。

表-2 に圧縮復元率試験の結果を示す。復元率は、圧縮载荷前のゴムの高さ、と、载荷と除荷を 15 回繰返しした後



h1：試験前の初期値 16mm
h2：初期圧縮時の寸法 13mm（変位量 3mm）
h3：解放後の寸法

図-3 圧縮復元率試験の方法

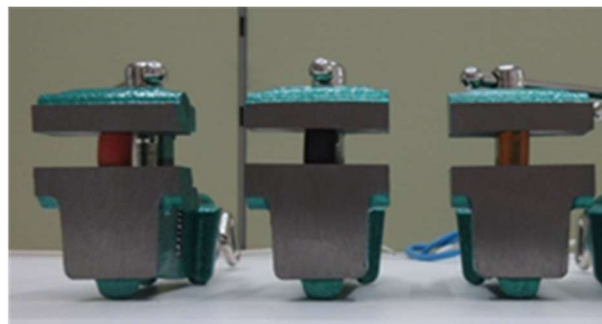


写真-4 圧縮復元率試験の状況

表-2 圧縮復元率試験の結果

種類	硬度	材質	高さ(mm)		復元率 (%)
			初期値	最終値	
A	35度	シリコーンスポンジ	15.97	15.72	98.4
B	45度	合成ゴムCR	16.14	15.82	98.0
C	60度	ポリウレタン製ゴム	16.13	15.88	98.5

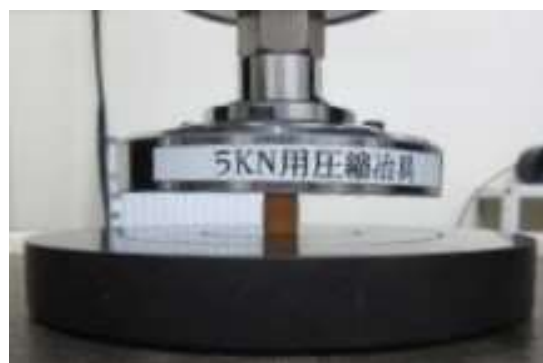


写真-5 ポリウレタン製ゴムの圧縮試験状況

のゴムの高さの比率から求めた。その結果、いずれのゴムの復元率もほぼ 100%であることを確認した。

しかし、確実に覆工コンクリートと小型圧力計に荷重を伝達し、繰返し作用に耐える必要があるため、3 種類のゴムのうち、より硬度が大きい 60 度のポリウレタン製ゴムが有効であると考え、これを圧力伝達材に採用することにした。

ポリウレタンゴムを圧力伝達材として使用するにあたり、変形量と小型圧力計の応答値の関係を把握しておく

表-3 ポリウレタン製ゴムの圧縮試験結果

変位 (mm)	荷重 (N)			小型圧力計 応答値 (MPa)
	No.1	No.2	平均	
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

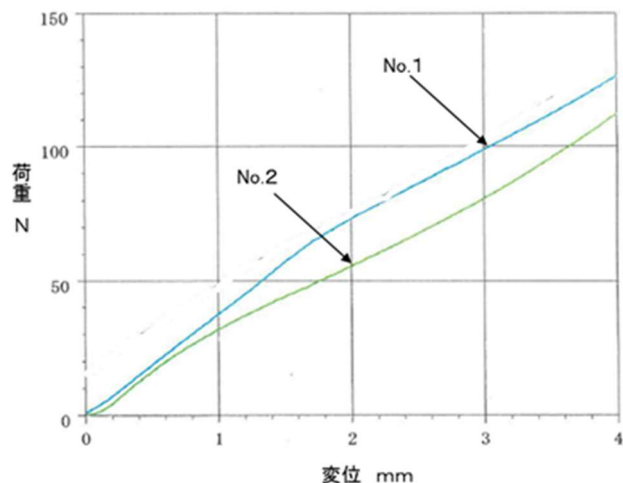


図-4 ポリウレタン製ゴムの荷重－変位関係

必要がある。そのため、ポリウレタン製ゴムの圧縮試験を実施した。写真-5に試験状況を、表-3および図-4に試験結果を示す。ポリウレタン製ゴムは、変位4mmまで弾性域内で挙動することが確認できる。

4.3 コンクリート破壊荷重と緩衝ゴム収縮量

オーバーラップ型枠には先打ちコンクリートとの緩衝を目的に、厚さ10mmの緩衝材を取り付けた。オーバーラップ型枠の押し当て時における緩衝ゴムの収縮量と作用荷重の関係を求めるため、実際の覆工コンクリートの施工を想定し、コンクリート試験体による載荷試験を実施した。コンクリートの試験材齢は、打設完了から打設翌日のセントルセットまでの施工時間と同じ16時間とした。図-5および写真-6に試験状況を示す。

表-4に試験結果を示す。作用圧力1.1MPa時点では緩衝ゴムの変形量は1mmでひび割れの発生が認められなかったが、作用圧力3.3MPa時点では緩衝材の変形量は2mmとなりひび割れが認められた。

4.4 管理値の設定

4.4.1 セントルセット時の停止圧力

3.に記述したとおり、圧力伝達材の突出量は覆工コンクリートとオーバーラップ型枠の離隔のばらつきより3mmに設定した。3mmの隙間はモルタルの漏出の観点から許容されるものであり、施工管理上は、図-6に示すように、圧力伝達材に作用する微小な荷重を小型圧力計が

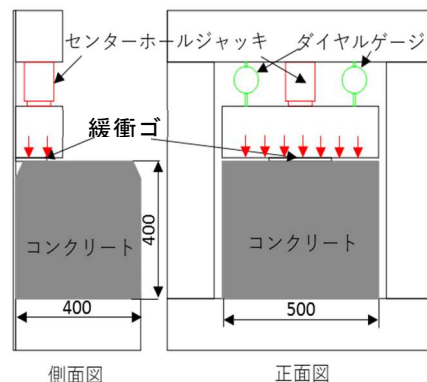


図-5 緩衝ゴムの載荷試験の概要



写真-6 緩衝ゴムの載荷試験の状況

表-4 緩衝ゴムの載荷試験の結果

養生時間 (hr)	コンクリート 圧縮強度 (N/mm ²)	設置 面積 (cm ²)	荷重 (kN)	作用 圧力 (MPa)	緩衝ゴム 収縮量 (mm)	ひび割れ 発生状況
16	1.5	150	16.5	1.1	1.00	無
			50.0	3.3	1.97	有

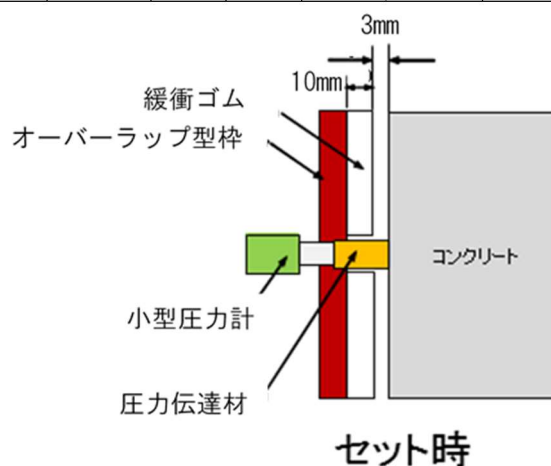


図-6 セントルセット時のセンサー作動イメージ

感知できればよい。したがって、セントルセット時の小型圧力計の管理値は、図-4より、圧力伝達材の変形量が0.5mm時の0.3MPaとし、この時点に達した際、セントルの電動ジャッキを自動で停止させることにした。

また、電動ジャッキが自動で停止した際には、作業員

に電動ジャッキ停止を知らせる必要がある。そこで、自動停止装置とアラームユニットとを連動させ、圧力を0.3MPa 感知した際に警告灯が点灯し、周辺作業員に警告する構造とした。写真-7に警告灯の作動状況を示す。

4.4.2 セントル偏圧時の管理圧力

覆工コンクリートの打込み中は、セントルに作用する偏圧や浮力を考慮してある程度の移動は許容せざるを得ない。図-7 に、コンクリート打込み時のセンサー作動イメージを示すが、緩衝ゴムの接触により管理を行うこととし、緩衝ゴムの許容変位は、4.3の緩衝ゴムの载荷試験の結果をもとに1mmとした。

圧力伝達材の変位としては突出分の3mmと緩衝ゴム変位1mmの計4mmに収まるよう管理を行い、小型圧力計の管理値としては、表-3のポリウレタン製ゴムの緩衝ゴムの変形量の試験結果より2.1MPaとした。

5. 実施工による効果検証

オーバーラップ型枠に小型圧力計を取り付けたひび割れ防止システムを適用した結果、セントルセット時には通常の目視による確認に加え、自動停止装置が作動することで過度な押し当てによるひび割れの発生を防止することができた。

また、コンクリート打込み時には、セントルに作用する偏圧を防止するために、圧力が2.1MPaを超過する前にコンクリート打込み窓を切り替え、コンクリートの打ち上げ高さを左右均等にするすることで、セントル偏圧による移動を抑制した。

コンクリート打込み中は、アラームユニットの設定圧力をセントルセット時の0.3MPaから2.1MPaに変更し、配管切替え作業員が視覚的に2.1MPa超過がわかるようにして管理した。図-8に打設時経時変化図を示す。

6. おわりに

セントルセット時の施工継ぎ目の過度な押し当て、並びにセントル偏圧によるひび割れ防止を、オーバーラップ型枠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ができた。

また、アラームユニットによる警告により、未熟練者でも管理ができることで、昨今の作業員不足の解消にも寄与することが期待できる。

施工継ぎ目の不具合とその対策に関して、本稿ではすべてにわたって詳報できなかったが、今後の効果も含めて次の機会があったら報告したい。

最後に、本技術が今後の覆工における省人化システム開発（セントルの自動セット等）などに寄与することを期待したい。



写真-7 警告灯の作動状況

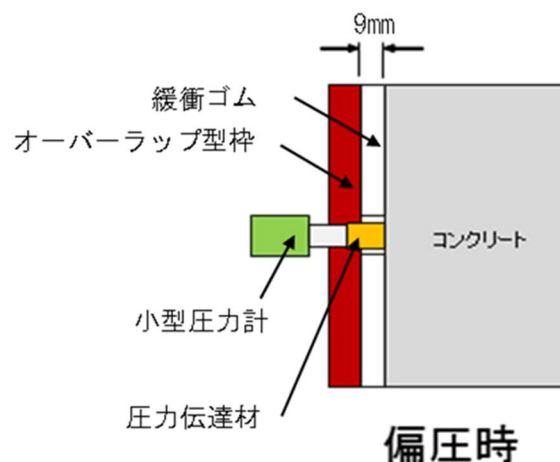


図-7 打込み中のセンサー作動イメージ

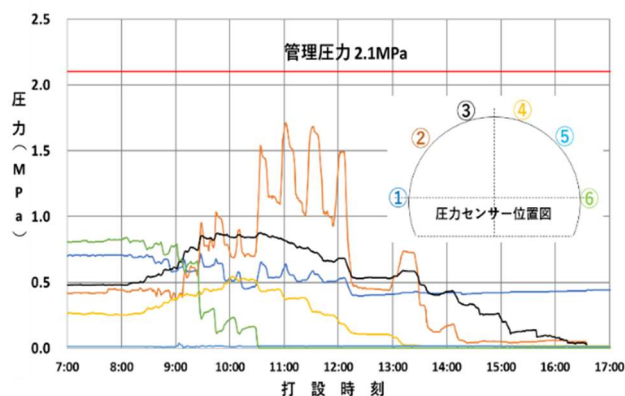


図-8 コンクリート打込み中の圧力管理状況

謝辞：本報を執筆するにあたり、各種試験の協力、多大なご指導を頂きました本支店の皆様、作業所の皆様に、この場をお借りいたしまして感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会：山岳トンネル覆工の現状と対策，2002