

分岐配管を用いた圧入による覆工コンクリートの実大打設実験

齋藤 隆弘¹・浜田 元²・小野 緑³・張 志瑄⁴

¹正会員 株式会社奥村組 技術研究所（〒300-2612 茨城県つくば市大砂387）
E-mail: takahiro.saitoh@okumuragumi.jp

²正会員 株式会社奥村組 技術研究所（〒300-2612 茨城県つくば市大砂387）
E-mail: hajime.hamada@okumuragumi.jp

³正会員 株式会社奥村組 技術研究所（〒300-2612 茨城県つくば市大砂387）
E-mail: midori.ono@okumuragumi.jp

⁴正会員 株式会社奥村組 技術研究所（〒300-2612 茨城県つくば市大砂387）
E-mail: chihhsuan.chang@okumuragumi.jp

山岳トンネルの覆工コンクリートの急速施工の方法として，セントルの長さを2倍程度にして，日施工延長を増大することを目指している．セントルの大型化に伴う日打設量の増大に対応するには，コンクリートポンプを2台同時に使用し時間あたりの打設量を増加させること，さらに側壁から肩部にかけて，分岐配管を用いて左右同時に圧入してコンクリートを打ち込むことにより，配管の切り替え回数を低減することが有効と考えられる．本研究では，要素実験において，分岐配管により左右同時に圧入により打ち込む工法の実現可能性と品質への影響を把握し，さらに実大構造物を使った打設実験により，実構造物に適用できることを確認した．

Key Words : concrete lining, casting by press fitting, branch pipe, full-scale construction experiment

1. はじめに

山岳トンネルの急速施工を実現するには，掘削の急速化のみならず後続の覆工コンクリートも急速施工に対応できる打設方法が求められている．一方，テレスコピックセントルを応用し，覆工の施工を急速化する事例は見られる¹⁾．しかしながら作業員の高度な熟練技術が必要になり，汎用性に課題がある．

そこで，高度な熟練技術を必要とすることなく，覆工コンクリートにおいて 200m 程度の月進を確保し，さらに品質向上に寄与できる工法として，1 施工スパン長を通常の 10.5m から 18m 以上に延長させ，打設完了後から脱型までの時間を通常の 2 倍以上確保できる技術開発に取り組んだ．ここで，施工スパンが通常の倍近くになるため，従来と同程度の時間で打設するには通常よりも打設量を増大させる必要がある．この方法として，① 2 台のコンクリートポンプ使用による 2 系統からの同時打ち込み，② 左右同時圧入方式による配管切り替え回数の低減，を取り入れた工法を開発し，実大構造物に適用できることを確認したので報告する．

2. 打設工法および実験概要

提案した施工サイクルを図-1 に，打設工法の概要を図-2 に示す．18m のセントルを用い，週 3 回打設することで，月進 200m 程度を目指したものであり，左右同時に圧入することで，配管の切り替え回数を低減している．コンクリートの側壁部からの圧入については，一般構造物では研究例²⁾があるが，トンネル構造物に適用した事例は見られず，型枠および品質に及ぼす影響を把握しておく必要がある．そのため次の 2 種類の実験を行った．

まず，セントルの左右の側壁部を想定し，前章の①，②点の打設方法による要素実験を行い，型枠の安定性や



図-1 施工サイクルのイメージ

コンクリートの品質への影響を把握した。コンクリートの流動性はスランプ 15cm 程度の普通コンクリートからスランプフロー35cm～50cm の中流動コンクリートの範囲とし、生コンの打ち上がり速さについては、連続的に圧送するケースだけでなく、通常の打設を想定して 1.5m/h 程度に調整して打ち込んだケースについても行った。

さらに、山岳トンネルの覆工コンクリートの施工において打設方法のうち左右同時圧入方式による施工実験を行った。ここでの配合は非鋼繊維を混入した中流動コンクリートであり、この配合の範囲での実施工における本工法の妥当性を確認した。

3. 側壁部を想定した要素実験

(1) 実験の目的

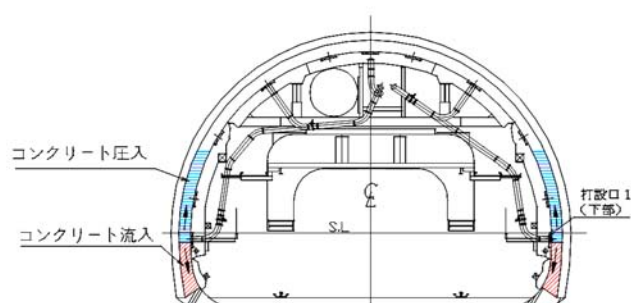
セントル側壁部における分岐配管を用いて左右同時にコンクリートを圧入する方法について、下記の項目をコンクリートの流動性ごとに確認することを目的とした。

①打ち上がり高さの左右の均一性、②吹き上りから打上げ可能な高さ、③型枠に作用する側圧、④生コンクリートの流動状況、⑤圧入時のコンクリートの強度などの品質・美観である。

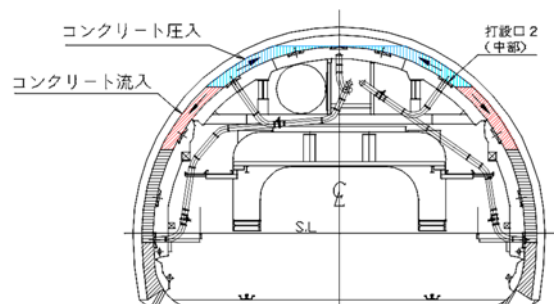
(2) 実験方法

a) 試験体概要

試験体における計測器等の配置を図-3に、実験状況を写真-1、写真-2に示す。余掘り分を含めた通常の覆工コンクリートの巻厚を想定し、壁厚を40cmとした。また、圧入口近傍のコンクリートの一体性を確保できる圧入時間と打ち上がり速さを考慮し、圧入口からの打上げ高さを2.5mとした。また型枠の幅については、打ち上がり速さを調整可能にするための最小限の延長として1.8mとし、セントルの左右の側壁部の打設空間を想定してこの型枠を2基配置した。これにコンクリートポンプにより圧入



(1) 側壁圧入口から流し込み後に圧入



(2) 肩部圧入口から天端付近まで圧入

図-2 打設工法の概要

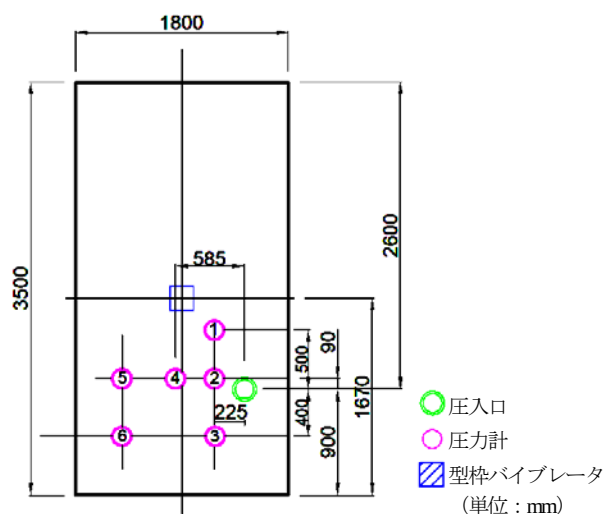


図-3 圧入口、圧力計、型枠パイプレータの配置

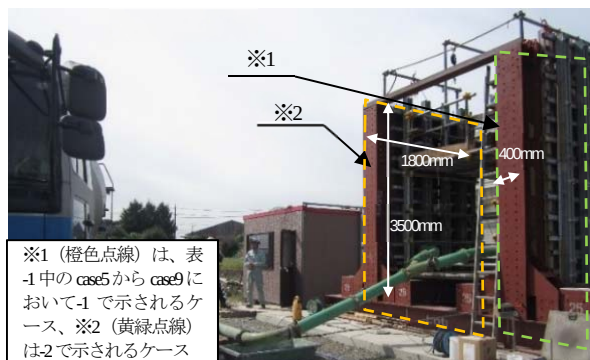


写真-1 実験状況全景



写真-2 配管状況 (分岐部)

口から分岐管を用い左右同時に生コンクリートを打ち込める設備とした。

圧入口を設置した面の型枠はセントルの型枠面を想定し、反対側の型枠面は地山側を想定したものとなる。圧入口を設置した面の型枠には、圧力計を取り付け、打ち込み時の側圧をモニタリングした。圧入口から高さ方向および水平方向の距離の影響を把握できるように圧力計を配置した。コンクリートの流動状況を目視可能にするため、地山側の型枠にはアクリル製パネルを使用した。コンクリートの打ち上がり高さの測定は、型枠上方よりレーザー変位計を用い行った。コンクリート配管は実施工の覆工コンクリートと同様に6インチとし、コンクリートポンプとして最大理論吐出能力35m³/hの定置式ポンプを使用した。

b) コンクリートの配合

配合表を表-1に示す。コンクリートの配合は、スランブ15±2.5cmの普通コンクリート、スランブ18cm～20cm程度の流動化コンクリート、中流動コンクリートの3種類とした。呼び強度27N/mm²、スランブ15±2.5cmのベースコンクリートに、増粘剤1液型の流動化剤をアジテータ車に後添加して流動化コンクリート、中流動コンクリートを製造した。

c) 実験ケース

実験ケースを表-2に示す。打ち込み方法として、コンクリートポンプを使って型枠に圧入した「単独圧入」、分岐配管を用い左右の型枠に同時に圧入した「分岐圧入」、流し込みによる打ち込みを模擬してコンクリートポンプ車のブームを用いた「流し込み」を行った。ここで、Case5～Case9の-1、-2は分岐により左右の型枠内に同時に打ち込んだケースである。

時間あたりのコンクリートの圧入量の影響を把握するため、圧入による打ち込み時のコンクリートポンプの圧送量は2段階に設定した。また、時間あたりの打ち込み量を実施工に合わせたケースと、通常施工に準じて打ち上がり速さを1.5m/h程度に調整したケースを設定した。後者については50cm打ち上げるごとに20分打設を中断し、時間あたりの打ち上がり高さを約1.5m/hとした。

普通コンクリートおよび流動化コンクリートでは、打ち上がり高さ50cm毎に、棒状バイブレータ（φ40）を用い締め固め、中流動コンクリートを用いたケースでは型枠バイブレータ（高周波振動モータ出力、550W）を用い締め固めた。この時の型枠バイブレータの作動条件として、打設終了時のみ型枠バイブレータを20秒作動させたケースと、打ち上がり高さ1.5m、2.5mの時点でも型枠バイブレータを10秒作動させたケースを設定した。

d) 測定項目

打設時には、コンクリートのスランブ、空気量、温度を測定するとともに、打ち上がり高さ、型枠に作用する

表-1 配合表

配合	W/C	W	C	S	G	CA	スランブ・スランブフロー
	%			kg/m ³			cm
普通コンクリート	61.0	170	279	877	975	2.79	15±2.5
流動化コンクリート	51.5	171	332	820	986	3.32	18～21
中流動コンクリート	51.5	171	332	820	986	3.32	35～50（スランブフロー）

※W：水 C：普通ポルトランドセメント S：細骨材 G：粗骨材 CA：AE減水剤
流動化コンクリートと中流動コンクリートにおける流動化剤の添加量は現着のコンクリートのスランブ試験により適切な量を混和

表-2 実験ケース

実験ケース	供試体番号	打ち込み方法	打ち上がり速さ	コンクリート種類	吐出量 (m ³ /h)	締固め
case1	同左	単独圧入	調整なし	中流動	16	終了時型枠バイブ20秒
case2	同左	単独圧入	調整なし	中流動	32	終了時型枠バイブ20秒
case3	同左	単独圧入	調整なし	普通	16	50cm毎 棒バイブ
case4	同左	単独圧入	調整なし	流動化	16	50cm毎 棒バイブ
case5	case5-1	分岐圧入	調整なし	中流動	16	型枠バイブ※
	case5-2	分岐圧入	調整なし	中流動	16	型枠バイブ終了時20秒
case6	case6-1	分岐圧入	調整なし	中流動	32	型枠バイブ※
	case6-2	分岐圧入	調整なし	中流動	32	型枠バイブ終了時20秒
case7	case7-1	分岐圧入	1.5m/h	普通	32	50cm毎 棒バイブ
	case7-2	分岐圧入	1.5m/h	普通	32	50cm毎 棒バイブ
case8	case8-1	分岐圧入	1.5m/h	流動化	32	50cm毎 棒バイブ
	case8-2	分岐圧入	1.5m/h	流動化	32	50cm毎 棒バイブ
case9	case9-1	分岐圧入	1.5m/h	中流動	32	型枠バイブ※
	case9-2	分岐圧入	1.5m/h	中流動	32	型枠バイブ終了時20秒
case10	同左	流し込み	1.5m/h	普通	—	50cm毎 棒バイブ
case11	同左	流し込み	1.5m/h	中流動	—	型枠バイブ※

※ バイブ…バイブレータの略 ポンプ設定：最大圧送量で約32m³/h
型枠バイブを打ち上がり高さ1.5m、2.5mで10秒作動 終了時に20秒作動

側圧を計測した。打設後には、目視観察とともに、コア供試体、テストピースによる圧縮強度試験を実施した。

(3) 実験結果

a) 圧入打設時の左右均等性

分岐管を経由し、左右の圧入口からコンクリートを打ち込む場合、既に打ち込まれたコンクリートの状態の違いにより、左右均等な打ち込みができない可能性がある。このため分岐打設で時間ごとの打ち上がり高さを左右で比較した。図-4に連続打設の打ち上がり高さを、図-5～図-7に打ち上がり速さを1.5m/hに調整した、各配合の打ち上がり高さを示す。図-5～図-7において打ち上がり高さに変化のない時間が、打ち上がり速さの調整のために打設を休止した時間である。普通コンクリート、中流動コンクリートにおいては、打ち上がり速さにかかわらず左右の打ち上がり高さの差は100mm以内に収まっている。このことから圧入して打ち込む際に、既に打ち込まれたコンクリートの流動性が低下しない時間内であれば、コンクリートの種類によらず分岐した配管により左右均等に打ち込むことができることを確認した。

一方、流動化コンクリートを用い、打ち上がり速さを1.5m/h程度に調整したCase8は、打設再開時に片方の圧入口からのみ生コンが圧入される状態となった。これは実験時の気温などの影響により、打ち込みを20分間休止している間に既に打ち込まれたコンクリートの流動性が低下したためと考えられる。このことから分岐管を用い左右に圧入する場合、生コンの長時間の休止を避け、打ち込まれたコンクリートの流動性の低下程度を、目視もし

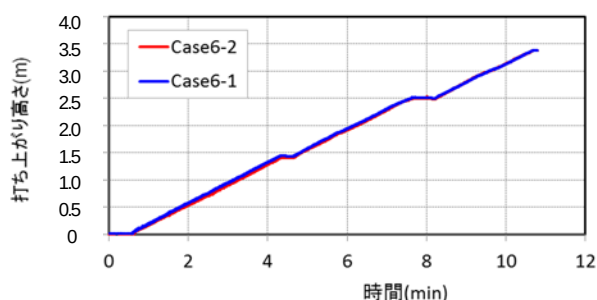


図-4 連続して打設したケースの打ち上がり高さ
(中流動コンクリート使用)

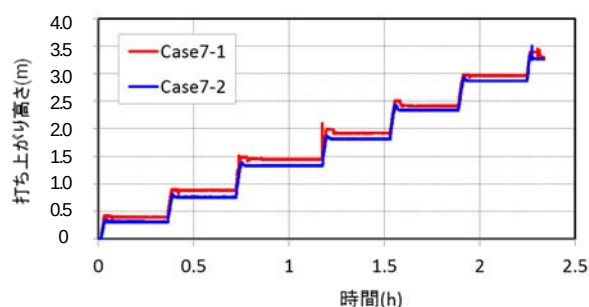


図-5 打ち上がり速さを 1.5m/h に調整したケースの
打ち上がり高さ (普通コンクリート使用)

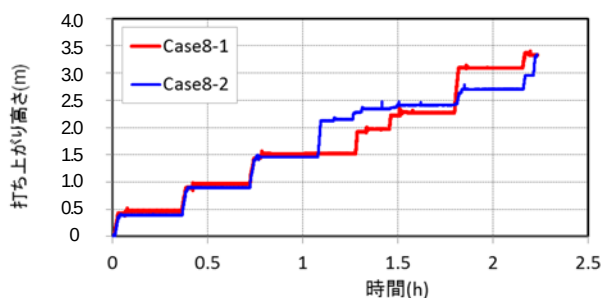


図-6 打ち上がり速さを 1.5m/h にケースの
打ち上がり高さ (流動化コンクリート使用)

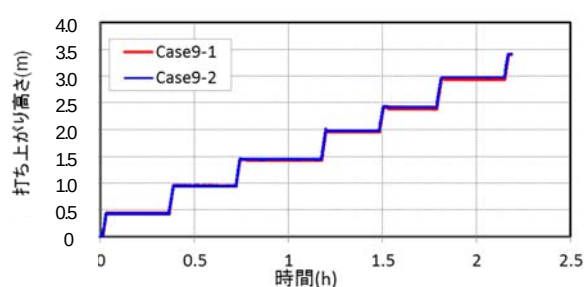


図-7 打ち上がり速さを 1.5m/h に調整したケースの打
ち上がり高さ (中流動コンクリート使用)

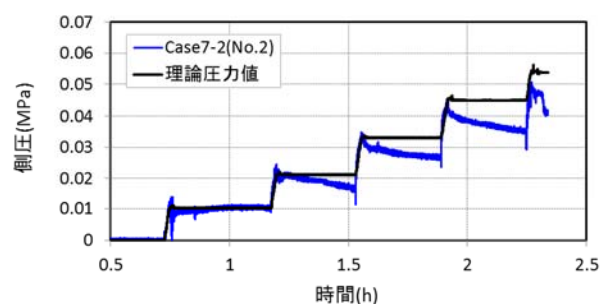


図-8 分岐・圧入時の側圧
(打ち上がり速さ: 1.5m/h, 普通コンクリート使用)

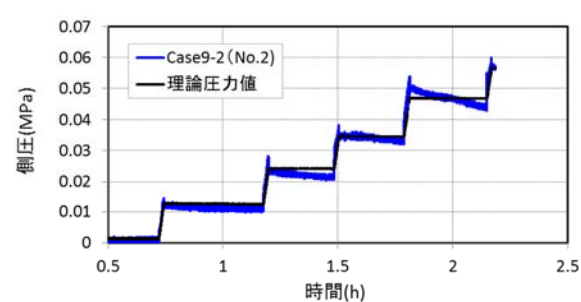


図-9 分岐・圧入時の側圧
(打ち上がり速さ: 1.5m/h, 中流動コンクリート使用)

くはスランプ試験などにより把握しておく必要があるといえる。また圧入口から型枠天端の高低差は2.6mであるが、いずれの配合でも圧入により大きな抵抗を生じることなく打ち込むことができることを確認した。これは上記の高低差により圧入口付近で0.06MPa程度の側圧が圧入口付近に作用しているが、コンクリートポンプによる圧送圧は最大で約4MPaであり、ポンプの能力に対し過大な負荷を必要としないことも一因と考えられる。

b) 型枠に作用する側圧

流し込みによる打ち込みでは、型枠に作用する側圧に関する既往の知見を参考にし、打ち上がり高さが1.5m以下では液圧が作用し、それ以降は打ち上がり高さの増加に伴う圧力上昇が低下する³⁾という前提で型枠の設計をおこなう。しかしながら圧入によりコンクリートを打ち込む場合、コンクリートポンプの最大圧力が非常に大きく、この影響により型枠面に作用する側圧は流し込み時の既往の知見と傾向が異なる可能性があり、実施工の前

にその傾向を把握する必要がある。ここでは、打ち上がり速さ、コンクリートの流動性、打ち込み方法、時間あたり圧入量の側圧に対する影響の把握を目的とした。ここでの側圧の目安としてコンクリートを液体と仮定した時の側圧を理論圧力値とし、コンクリートの単位体積質量に、圧力計から打ち上がり面までの高さを乗じた値とした。

打ち上がり速さを1.5m/hに調整し、分岐させて普通コンクリートおよび中流動コンクリートを打ち込んだケースの側圧を図-8および図-9に示す。圧入による影響が最も大きく表れる図-3における圧入口直近のNo.2の圧力を示している。普通コンクリートでは、打ち込み時に側圧が理論圧力値を上回るが、生コンの圧送を中断するとその間に徐々に側圧が低下する傾向が繰り返されている。また、打ち上がり高さが大きくなるのにしたが、側圧の測定値は理論圧力値よりも小さくなる傾向となった。これは時間の経過に伴い、既に打ち込まれたコンクリー

トの硬化が始まり、型枠への負荷が減少しているためと考えられる。中流動コンクリートでも、打ち込み時における側圧は理論圧力値より1割程度上回るが、中断時間で側圧が低下し理論圧力値を下回るようになった。

このことから圧入において、打ち上がり速さを1.5m/h程度に調整した場合でも、コンクリートの流動性にかかわらず圧入口近傍の型枠に作用する側圧は、打ち上がり高さが圧入口から型枠天端にわたる2.6m程度までの範囲では理論圧力値とあまり差が見られないことを確認した。

図-10に普通コンクリートを「流し込み」した場合の側圧を示す。いずれのケースも打ち上がり速さは1.5m/hとしており、ここでの計測位置は「圧入」したケースにおける圧力計と同じ位置である。普通コンクリートを使用した場合、「流し込み」のケースでは打ち込み時に側圧が上昇するが、「圧入」した時に見られるような瞬間的な側圧の上昇は見られない。また、打ち上がり高さの増加とともに理論圧力値に対して側圧が小さくなる傾向が表れた。図-11に普通コンクリートを用いたケースの「分岐+圧入」および「流し込み」の打ちあがり高さ0.5m毎の側圧を示す。打ち上がり高さ2.5mまでは、「圧入」による打ち込みの方が「流し込み」による打ち込みよりも2割程度高い傾向を示す。この高さ以降は、打ち上がり高さの増大に伴う側圧の上昇が「分岐+圧入」「流し込み」のケースにおいて、緩やかになっている。これは、打ち込まれたコンクリートの時間経過に伴う流動性の低下が、打ち込み方法によらず型枠への負荷を低減することを示している。図-12に中流動コンクリートの打ち上がり高さとの関係を示す。ここでは打ち上がり高さが大きくなるのに従い、「圧入」のケースが「流し込み」のケースよりも側圧が大きくなっている。

以上からいずれの配合でも、吹上り近傍では圧入したケースの方が流し込みのケースよりも最大で2割程度側圧が増大している。圧入したケースではフレッシュな状態のコンクリートが圧入口近傍から上部に存在することで、側圧が液圧状態に近くなっているためと考えられる。

図-13に中流動コンクリートを用い、時間あたりの圧送量を変えた場合の打ち上がり高さ0.5m毎の側圧を示す。

圧送量は、コンクリートポンプ自体によるものに加え、分岐により片方の型枠への圧送量を半減させることによって調整し、1つの圧入口あたり7.8m³/h～31.2m³/hまで変化させている。圧力計の位置は図-8、図-9と同様である。時間あたり31.2m³の圧送はコンクリートポンプの最大能力であり、実施工で想定される打設速度をはるかに超える条件である。この圧送速度でも理論圧力からの側圧の増加量はいずれの打ち上がり高さでも0.007MPa程度となっており、圧送速度をこれより低下させたケースでは、理論圧力値とほぼ一致した側圧となっている。このことから、通常の圧送速度では、型枠への過度な負荷は、

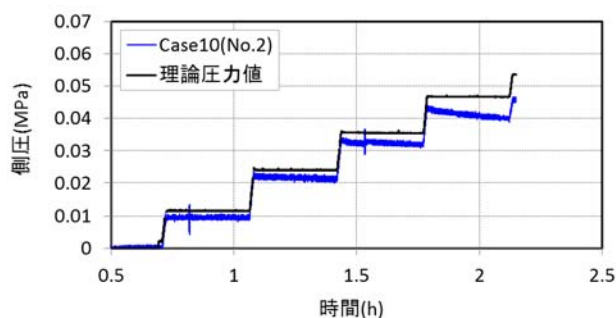


図-10 流し込み時の側圧
(打ち上がり速さ：1.5m/h、普通コンクリート使用)

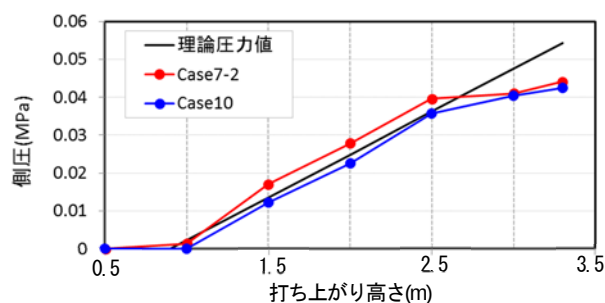


図-11 分岐・圧入時の打ち上がり高さ毎の側圧
(打ち上がり速さ：1.5m/h、普通コンクリート使用)

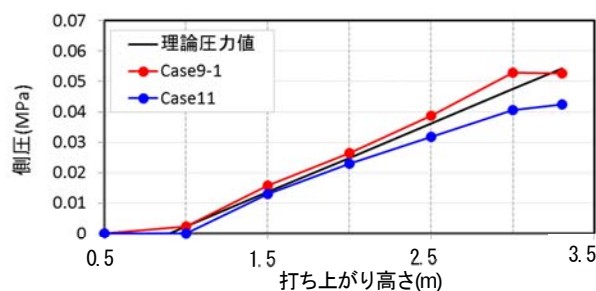


図-12 分岐・圧入時の打ち上がり高さ毎の側圧
(打ち上がり速さ：1.5m/h、中流動コンクリート使用)

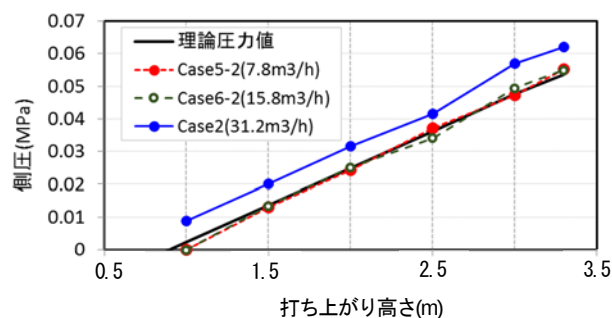


図-13 時間あたりの圧入量を変えた時の側圧



写真-3 フレッシュコンクリートの流動状況

圧入口近傍では発生しないことがわかる。

c) 生コンの流動状況

上方からの流動状況を写真-3に、上方およびアクリル製の型枠を介した目視観察によるフレッシュコンクリートの動きを図-14に示す。圧入口から1m程度の高さでは圧入開始時に圧入口直上が盛り上がり、コンクリート表面の勾配の発生とともに、横方向に流れる。また、圧入口から打上げ高さが2m程度では、圧入口から上部のコンクリートを押し上げる状態となっており、型枠の延長が1.8mと比較的短い状況では横方向に流れる状況は確認できない。また、この時点では圧入口から上部方向に放射状となる位置（図-14中の赤点線内）ではフレッシュコンクリートの流動は確認できるが、その側部では脱型後の目視観察における縞模様の発生状況の違いから、コンクリートの動きが停止していると推測される。

流し込み打設の場合、常にフレッシュなコンクリートが上層に存在するために、打重ね最上部とその下部のコ

ンクリートを締め固めることで全体を締め固めることができる。一方、圧入方式の場合、フレッシュコンクリートが圧入口から上方に流れる外側（側方および下方）ではその動きがほとんど停止していると考えられ、スランプが低下したコンクリートとフレッシュなコンクリートが接する状態となっていると考えられる。

このことから施工時には、状態の異なるコンクリートの一体化を図るために、圧入を終了させ、上部から流し込みによりコンクリートを打ち込む前に、この箇所を特定し入念に締め固める必要がある。

d) コア圧縮強度

図-15にコア採取位置を、表-3に材齢28日における各ケースのコア圧縮強度、コア圧縮強度と標準養生の圧縮強度の比を示す。いずれのケースにおいてもコア圧縮強度は呼び強度を上回っているが、下部のコアの強度が高く上部のコアの強度が相対的に低い傾向がある。また、標準養生のコンクリートの圧縮強度より著しくコア強度

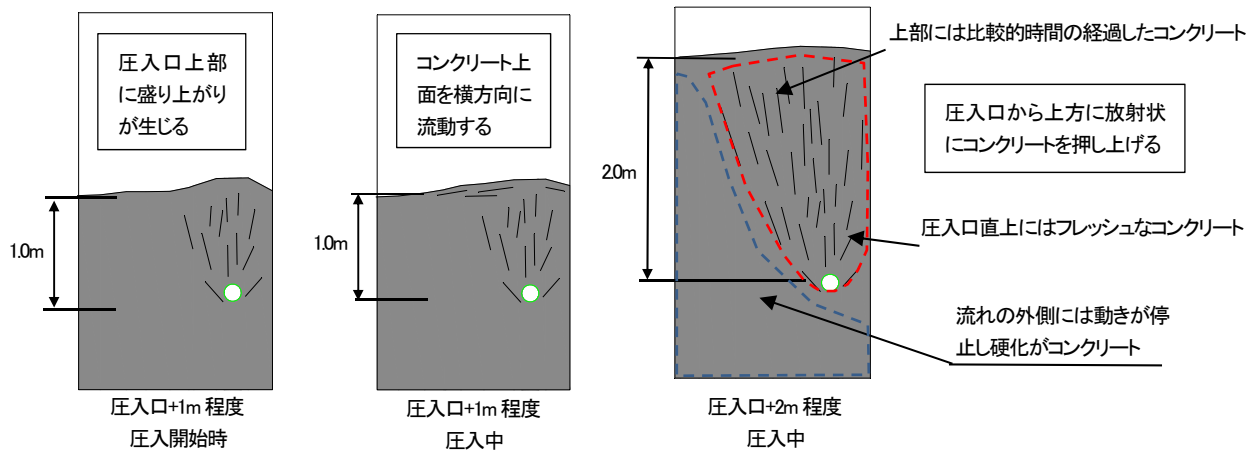


図-14 圧入時のフレッシュコンクリートの動き

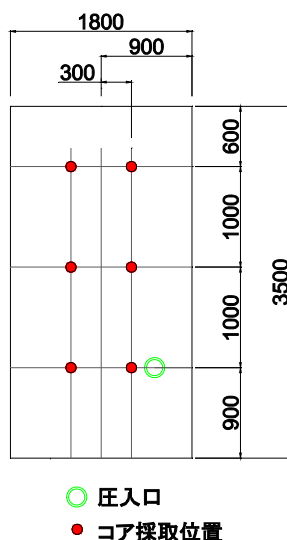


図-15 コア採取位置

表-3 材齢28日における各ケースの圧縮強度

case	単独/分岐	コンクリート種類	コア圧縮強度 (σ_{28})				コア圧縮強度と標準養生の圧縮強度の比			
			上	中	下	平均	上	中	下	平均
case1	単独	中流動	32.9	35.0	37.2	35.0				
case2	単独	中流動	38.1	37.3	40.4	38.6	0.96	0.94	1.01	0.97
case3	単独	普通	42.4	41.9	47.0	43.8	0.91	0.89	1.00	0.93
case4	単独	流動化	39.0	39.6	42.2	40.3	0.93	0.95	1.01	0.96
case5-1	分岐	中流動	33.8	35.6	36.0	35.1	1.02	1.07	1.08	1.06
case5-2	分岐	中流動	34.3	35.3	38.5	36.0	1.03	1.06	1.16	1.08
case6-1	分岐	中流動	39.2	42.5	43.0	41.5	0.95	1.03	1.04	1.01
case6-2	分岐	中流動	37.6	42.1	44.1	41.3	0.91	1.02	1.07	1.00
case7-1	分岐	普通	25.1	27.5	31.3	28.0	0.90	0.99	1.13	1.01
case7-2	分岐	普通	24.1	26.8	29.8	26.9	0.87	0.96	1.07	0.97
case8-1	分岐	流動化	30.0	34.3	27.6	30.6	1.00	1.14	0.92	1.02
case8-2	分岐	流動化	29.1	27.0	30.6	28.9	0.97	0.90	1.02	0.96
case9-1	分岐	中流動	39.6	42.1	41.3	41.0	1.12	1.19	1.17	1.16
case9-2	分岐	中流動	38.5	39.5	48.0	42.0	1.09	1.12	1.36	1.19
case10	ブーム	普通	28.4	27.5	29.3	28.4	1.01	0.98	1.04	1.01
case11	ブーム	中流動	27.6	28.9	1.0	29.4	0.97	1.01	1.11	1.03

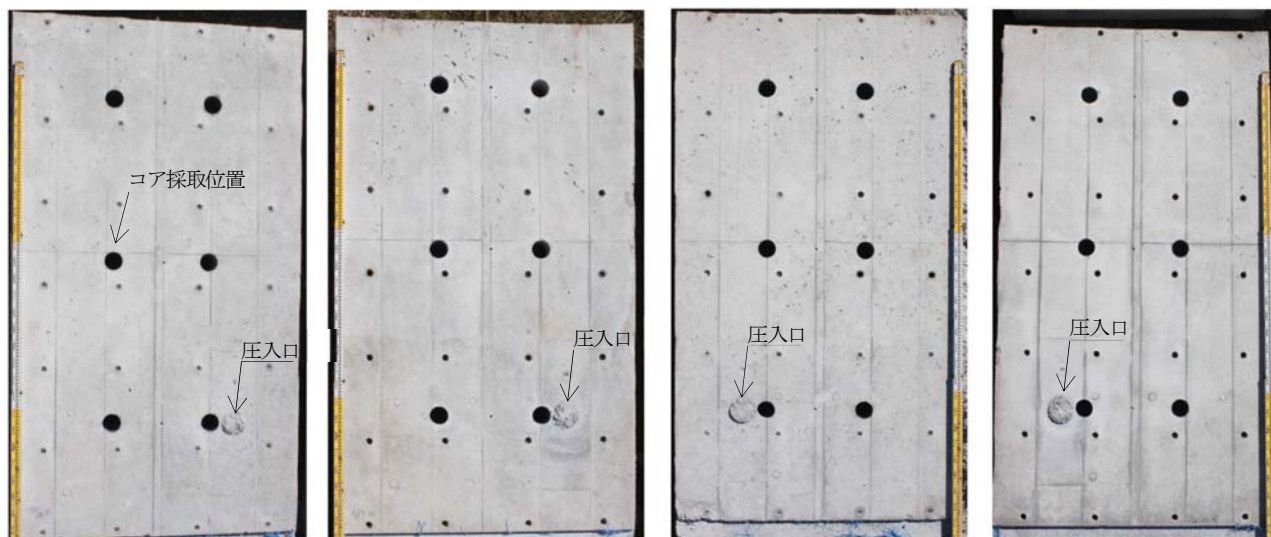
が下回っている箇所はなく、圧縮強度については圧入による悪影響は見られない結果となった。

e) コンクリート表面の仕上がり

写真-4 に普通コンクリートを用いた場合の「流し込み」「分岐+圧入」時のコンクリート表面の仕上がり状況を示す。観察の結果、「流し込み」のケースでは全体的に気泡が確認されるとともに、セパレータ跡の下部に沈みひび割れが見られる箇所が多い。これに対し、「分岐+圧入」のケースでは気泡が、供試体上部および図-14で示した点線で示す生コンの流れの外側に気泡が分布する。また、圧入口より下部から斜め上方に縞が分布している。写真-5 に中流動コンクリートを用いた場合の「流し込み」「分岐+圧入」時の仕上がり状況を示す。観察の結果、「流し込み」のケースでは全体的に気泡が

確認されるとともに、砂すじが見られる箇所もある。これに対し、「分岐+圧入」を行ったケースでは気泡などがあまり見られず良好な仕上がりとなっている。

以上の結果を既往の研究例⁴⁾に従い、上左、上右、下左、下右の4ブロックに分けて目視により4段階（1点～4点）で評価し、その平均点を算出した。この結果を図-16に示す。普通コンクリートを使用した場合は、圧入打設と流し込みで点数に大きな差は見られないが、中流動コンクリートの場合は圧入打設によって、沈みひび割れ、表面ひび割れ、表面気泡において品質の改善が確認された。このことから特に中流動コンクリートを使用した場合は、本工法はコンクリートの仕上がりにおいてもメリットが期待できる。



「流し込み」
写真-4 普通コンクリート使用時の仕上がり状況

「分岐+圧入」
写真-5 中流動コンクリート使用時の仕上がり状況

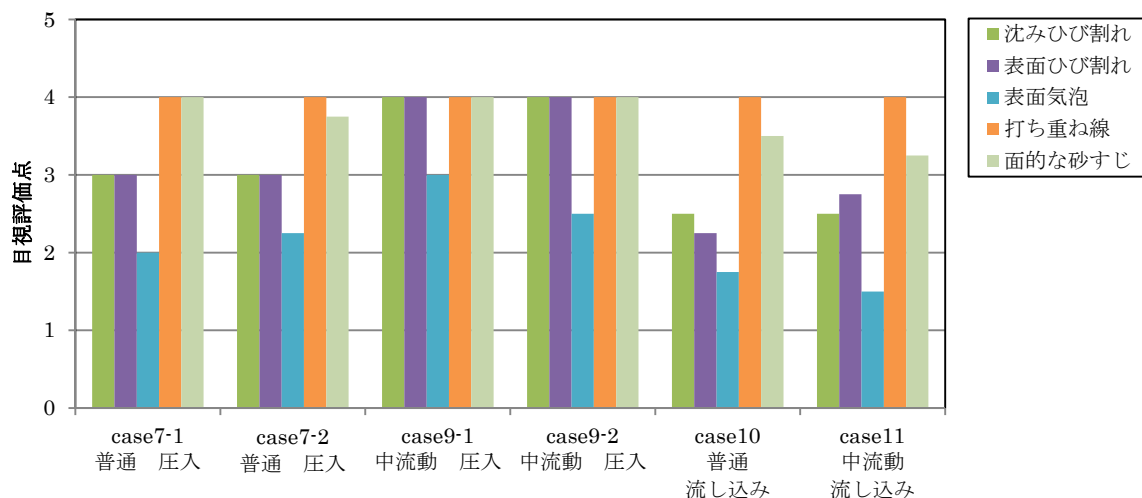


図-16 仕上がり面の目視評価結果

4. 実施工における適用

(1) 実験目的

左右同時圧入方式によるコンクリート打設を実施工に適用するには、その施工効率も含めて現場での提案工法の妥当性の検証が必要である。このため、山岳トンネルの覆工コンクリートの実施工に本工法を適用し、工法の現場への適用性、作業の効率化を実証することを実験の目的とした。

(2) 実験概要

施工実験は2車線の道路トンネル（掘削断面積80m²、覆工設計厚30cm）で行った。コンクリートの示方配合を表-4に示す。コンクリートの配合はポリウレタン系の繊維を用いた中流動コンクリートである。打設手順を図-17に示す。本トンネルにおけるセントルは延長10.5mであり、これを用いて一般的に施工される「流し込み」に

よる施工（ケース1）と、「左右同時圧入方式」による施工（ケース2）を実施した。いずれのケースでもコンクリートポンプは1台とし、配管を分岐させることにより覆工の左右の側壁部にコンクリートを打ち込んでいる。

計測項目を表-5に示す。本工法による側壁部の打ち込みの妥当性を確認するため、打ち込み時のセントルに作用する側圧、セントル側壁部の変位、打ち上がり高さを計測した。セントルの側圧とコンクリートの打ち上がり高さを生コン車1台（4m³）分を打ち込むごとに記録した。また、セントルの変位の計測にはレーザー変位計を用いた。脱型後には、本工法が覆工コンクリート表面の品質に及ぼす影響を検討するため、目視観察や写真撮影による仕上がり状況の確認、透気係数の計測、シュミットハンマーによる圧縮強度の推定を行った。

(3) 実験結果

a) 打ち込み状況

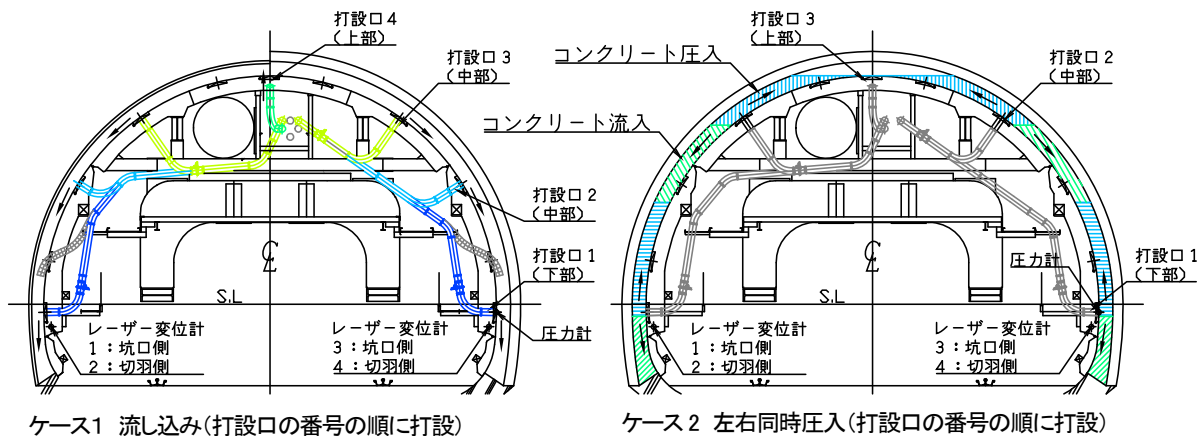


図-17 各ケースの打設手順

表-4 コンクリートの示方配合

W/C %	s/a %	単位量(kg/m ³)						
		W	C	LS	S	G	AD	繊維
50	47.2	175	340	100	789	898	4.4	3.18

最大骨材寸法：25mm スランプフロー：35~40cm

LS：石灰石微粉末 AD：高性能 AE 減水剤

表-5 計測項目

時期	項目
打設時	・セントルの側圧 ・セントルの変位 ・各時間における打設高さ
脱型後	・仕上がり状況（ずれ、模様、気泡の発生、目視観察および写真撮影による） ・透気係数の計測（トレント法） ・シュミットハンマーによる圧縮強度の推定



写真-6 配管分岐部の状況

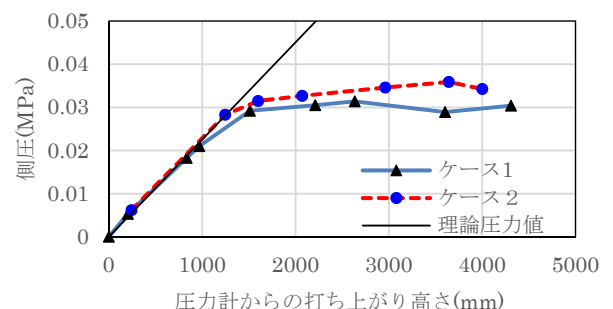


図-18 側壁下部の圧入口近傍の型枠に作用する側圧

配管分岐部の状況を写真-6に示す。側壁から肩部にかけての打ち込み状況から、ケース1（流し込み）では、配管の分岐により左右のセントル内の空間へ、ほぼ均等に打ち込み可能であった。また、ケース2（圧入）では、圧入口から2.5mの高さまで、過大な側圧が発生することなく、左右の圧入口から均等に打ち込み可能であることを打ち上がり高さの測定により確認した。また本打設方法により、1つの圧入口から流し込みと圧入を連続して行うことで、打設できるエリアが拡大され配管切替回数が低減できることを確認した。

b) セントルの側圧と打ち上がり高さ

図-18 に側壁下部の圧入口近傍の型枠に作用する側圧を示す。同図は、ケース 1（流し込み）とケース 2（圧入）の打ち上がり高さで側圧を示している。ケース 1（流し込み）の場合は、打ち上がり高さが 12m 程度の範囲で、理論圧力値とほぼ同じ勾配で側圧が増加するが、コンクリートがそれ以上に打ち上がると、側圧の増加は極めて緩やかになった。ケース 2（圧入）でも、型枠の側圧と打ち上がり高さの関係にはケース 1 と大きな差が見られなかった。このことから、覆工厚が 30cm~40cm と標準的な寸法では、圧入した場合でも、コンクリートポンプによる圧力が型枠に影響しないことが確認できた。

c) セントルの変位

側壁部のセントルの変位測定結果を図-19 と図-20 に示す。図-17 に示すように、SL 付近の高さにレーザー変位計（1~4）を設置し、この番号は図-19、図-20 に記されている。変位はトンネル中心方向を正とする。両図から、最大変位は流し込み、圧入のケースで 8mm 程度と変わらないことがわかる。このことから、圧入による打ち込み方法を採用しても、流し込み時と同様に、一定の打設時間を超えると側壁部の変位が増大しないこと、コンクリート打設時のセントルの許容変位は 10mm 程度であり、この範囲に収まることを確認した。また打設開始後 1 時間程度の時点で側壁側への変位が見られるが、打設開始時にセントル本体が数 mm 程度、一方の側壁方向に移動した結果だと考えられる。

d) 仕上がり

覆工コンクリート全体の仕上がりとしては圧入による打ち込みと流し込みで大きな差がないことを目視観察により確認した。一方、圧入口付近については、圧入による打ち込みを行うことにより、打設口周囲に縞状の模様が確認され、また打設口から上部に大きめの気泡が集中して発生した箇所も見られた。しかしながら、圧入の終了時において締固め時間を 20 秒程度に延長し、締固めエリアを圧入口から左右 1.5m 区間に拡大することにより、縞状の模様と気泡の集中が消失することを確認した。

e) 非破壊試験

非破壊検査位置を図-21 に示す。1 ブロックごとに側

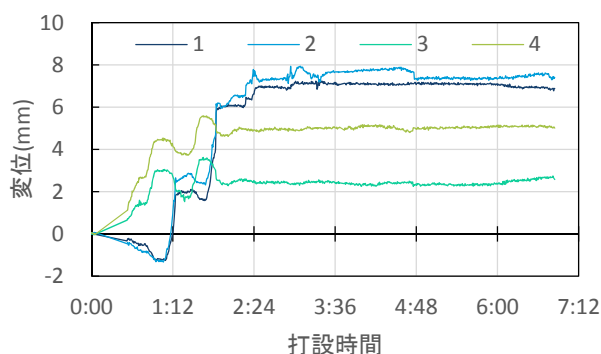


図-19 セントルの変位（ケース 1）

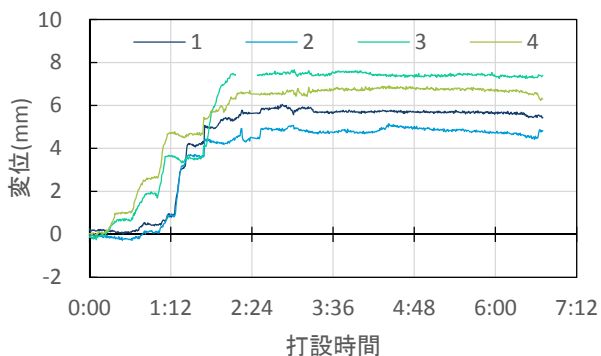


図-20 セントルの変位（ケース 2）

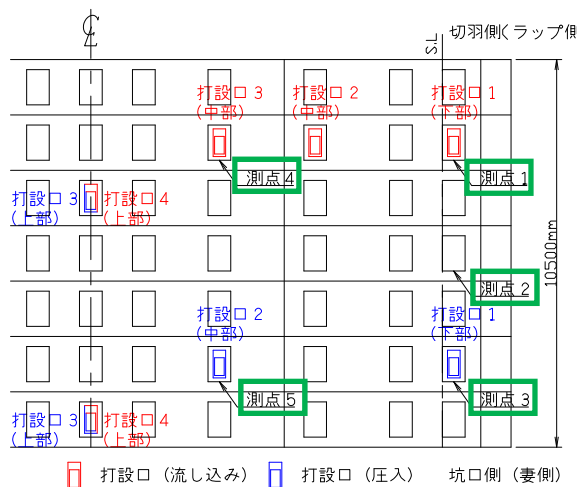


図-21 非破壊試験測定位置展開図

表-6 非破壊試験結果

測点	ケース①（流し込み）		ケース②（圧入）	
	透気係数 ($\times 10^{-16} \text{m}^2$)	圧縮強度 (N/mm^2)	透気係数 ($\times 10^{-16} \text{m}^2$)	圧縮強度 (N/mm^2)
1	0.78	26.6	0.42	28.5
2	2.21	29.1	1.11	26.6
3	0.24	29.1	0.46	26.6
4	0.26	30.4	0.26	30.4
5	1.37	30.4	1.59	28.5
平均値	0.97	29.1	0.77	28.1

※KT：透気係数， f_k ：換算圧縮強度

壁部、肩部において5箇所とした。非破壊試験結果を表-6に示す。透気係数試験において、各測点で3回の測定を行い測定の実平均値を求めた。透気係数はケース1（流し込み）で $0.24 \sim 2.21 (\times 10^{-16} \text{m}^2)$ 、ケース2（圧入）で $0.26 \sim 1.11 (\times 10^{-16} \text{m}^2)$ となり、部分的にばらつきの大きい箇所が見られたが、平均値では「標準」として評価される範囲⁹⁾であり、圧入と流し込みで変わらないことを確認した。

シュミットハンマー試験から、換算圧縮強度の平均値はケース1（流し込み）において 29.1N/mm^2 、ケース2（圧入）において 28.1N/mm^2 であり、両ケースではほぼ等しい強度であった。

これらの結果から、圧入と流し込みによるコンクリートの打ち込みにより、覆工コンクリート表面の品質に有意な違いが生じないことから本工法を施工に適用できることを確認した。

5. まとめ

本研究では、覆工コンクリートの左右同時圧入方式での打ち込みにおいて、側壁に作用する側圧や品質について、要素実験および施工実験から以下のことを確認した。

- ① 普通コンクリートと中流動コンクリートを使用した場合、コンクリートを圧入して打ち込む際、圧入口から2.6m程度の範囲の高さまでは、分岐した配管により左右均等に打ち込むことができることを確認した。
- ② 普通コンクリートと中流動コンクリートを使用した場合、圧入口から2.6m程度の範囲の高さまでは、圧入により大きな抵抗を生じることなく打ち込むことができることを確認した。この範囲では型枠に作用する側圧は、コンクリートを液体と仮定した時の理論圧力値とほぼ等しく、圧入時のコンクリートの圧送圧の影響はほとんど見られないことを確認した。
- ③ 側壁部の圧入口近傍では、圧入の方が流し込みよりも最大で2割程度側圧が大きくなるが、理論圧力値とほぼ等しく、圧力計から2.0m以上の高さでは打ち込み方法によらず側圧の上昇が緩やかになることを確認した。
- ④ 施工実験においては、圧入口近傍でも、流し込みと圧入で側圧と打ち上がり高さの間に差異は見られず、圧力計から1.2m程度の打ち上がり高さまでは理論圧力となり、それ以降は側圧の増加が極めて緩やかになることを確認した。
- ⑤ 実験および実施工の結果、圧送による型枠への過

度の負荷は圧入口近傍であっても著しく大きな圧送速度としない限り発生しないことを確認した。

- ⑥ 圧入による打ち込み時には、圧入終了時の入念な締固めにより品質が確保できることを、実験、実施工を通じて確認した。

6. 今後の課題

本研究によって、左右分岐圧入方式による覆工コンクリートの施工に適用できる見通しを得た。今後、誘発目地の設置方法などのセントルを延長した場合に生じる技術的課題を解決し、施工に適用する計画である。

謝辞：本研究は、実験に際して中日本高速道路会社の南アルプス工事事務所の皆様にご指導頂き、さらに現場における本工法の採用して頂きました。また、開発にあたり、（一社）施工技術総合研究所の皆様、実験の評価に貴重なご助言を頂き、（株）北陸鋼産とテクノプロ（株）には、技術協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 西岡 和則, 手塚 康成, 坂井 吾郎, 松本 修治, 村上 浩次: 新型テレスコピックセントル工法を用いて66時間型枠を存置する効果について, トンネル工学論文集, 第24巻, I-5, 2014.12
- 2) 大池 武, 中根 淳: コンクリートのポンプ圧入工法に関する研究, 大林組技術年報, pp33-38, 1992.
- 3) 土木学会: コンクリート標準示方書 施工編, pp142-146, 2012.
- 4) 細田 暁, 二宮 純, 田村 隆弘, 林 和彦: ひび割れ抑制システムによるコンクリート構造物のひび割れ低減と表層品質の向上, 土木学会論文集E2 (材料・コンクリート構造) Vol.70, No.4, PP336-355, 2014.
- 5) R.J.Torrent: A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air of the concrete cover on site, Material and Structures, 25, pp.358-365, 1992

(2018.8.10 受付)

FULL-SCALE CONSTRUCTION EXPERIMENT OF CASTING CONCRETE FOR LINING CONCRETE WITH PRESS FITTING METHOD USING BRANCH PIPE

Takahiro SAITO, Hajime HAMADA, Midori ONO and Chihhsuan CHANG

For rapid construction system of lining concrete, Using a centre extended the length are examined. To respond the increased amount of concrete casted per day, using two concrete pumps and decreasing the number of switching times of concrete pipe are conducted. The concept of decreasing the number of switching is casting the concrete to both left and right sides simultaneously by press fitting using branch pipe. In this study, the rapid construction system for lining concrete with press fitting method using branch pipe was examined in element experiment and experimental construction. The effect of performance on construction and quality are confirmed.