

中流動覆工コンクリートの導入結果について

—北海道横断自動車道 久留喜トンネルにおける施工結果—

東日本高速道路(株) 北海道支社 技術部 技術企画課 ○谷藤 義弘
東日本高速道路(株) 北海道支社 千歳工事事務所 森 俊介
(株)ネクスコ・エンジニアリング北海道 中村 泰誠

ネクスコ東日本では、トンネルの二次覆工コンクリートの品質向上を目的として中流動覆工コンクリートが要領化されている。北海道横断自動車道久留喜トンネルにおいて、この中流動覆工コンクリートの現地適用性の更なる向上を目的として試験施工を行った。

本報告では、中流動覆工コンクリートの試験施工結果から得られた知見について報告する。

キーワード：中流動コンクリート、トンネル覆工、品質向上、山岳トンネル

1. はじめに

現在、東日本高速道路株式会社（以下ネクスコ東日本という）では、覆工コンクリートの品質向上を目的として、従来の覆工コンクリート（スランプ15cm）よりも施工性が良く、高流動コンクリートよりも安価な中流動覆工コンクリートの適用が検討され、その性能基準や照査方法・施工方法がトンネル施工管理要領により制定されている。

中流動覆工コンクリートは、従来覆工コンクリートとは異なる性能や施工方法が設定されており、コンクリート配合には、スランプフローやU型充填高さだけでなく、所要の振動エネルギーで締固まるコンクリートであること、施工時は型枠振動機により一定の振動エネルギーを与えることを基本としている。

この中流動覆工コンクリートを採用することで作業員を苦渋作業から解放できるとともに、技量や熟練度によらず安定的に高品質な覆工を構築できる可能性が高い。

しかし、現在の中流動覆工コンクリートは、これまでいくつかの試験工事を除き本格的な採用事例がほとんどなく、配合設計方法や施工方法が確立されるに至っていないなど未だ現地適用性が高い状況にはなっていない。

今後の山岳トンネルにおいて中流動覆工コンクリートを適用するためには、配合設計方法や施工方法を確立し、現地適用性を向上させる必要があると考えられる。

北海道横断自動車道久留喜トンネルでは、更なる現地適用性向上を目的として中流動覆工コンクリートをトンネル全長に採用し、試験施工を行った。

本報告では、久留喜トンネルでの試験施工結果から得られた知見ならびに検討結果について報告する。

2. 中流動覆工コンクリート

トンネル施工管理要領（中流動覆工コンクリート編）における中流動覆工コンクリートの配合基準を表-1に、施工方法の標準を表-2に示す。また、振動エネルギーの統一概念を図-1に示す。

中流動覆工コンクリートは、従来の普通コンクリート（スランプ18cm：スランプフロー35cm程度）と自己充填性能を持つ高流動コンクリート（スランプフロー50cm以上）の中間に位置するコンクリートとしている。また、型枠振動機のような軽微な振動で確実に充填・締固められることを目的に振動エネルギーに基づく締固め方法を採用しており、使用コンクリートの振動エネルギーの最適値と施工時に作用させる振動エネルギーを約3.7J/Lで統一する考えをしている。

表-1 中流動覆工コンクリートの配合基準

材齢28日における圧縮強度 (N/mm ²)	18
粗骨材最大寸法 (mm)	20・25
スランプおよびスランプフロー (cm)	21±2.5 35~50
加振変形量 (10秒加振後のスランプフローの広がり) (cm)	10±3
U型充填高さ (障害なし) (mm)	280以上
空気量 (%)	4.5±1.5

表-2 型枠振動機による施工方法

項目	施工標準
開始～完了時間	30分以内
打込み高さ	1.5m以下
打設速度	15m ³ /h以下 (1.4m/h以下)
型枠振動機の配置	周方向および縦断方向に間隔を保つ 周方向は左右対称に配置 振動エネルギーが約3.7J/Lとなるよう適宜増減
振動時間	流動停止後、水平になる程度の振動を与える 全体に約3.7J/Lとなるよう振動時間を決定
振動方法	①延長方向 左右交互に行うことを原則 ②周方向 コンクリートが各段の型枠振動機の 中間になった時点で上方に変更
側圧管理	事前にセントルの許容値を確認 側圧計を第一検査窓部に設置し側圧を監視しながら施工

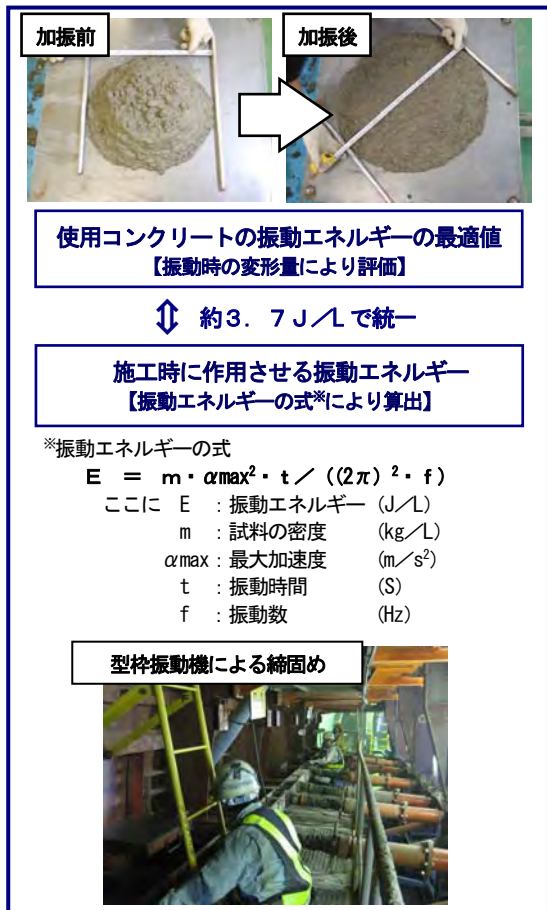


図-1 振動エネルギーの統一概念

3. 施工時の検討内容と結果

(1) 検討内容

試験施工では、中流動覆工コンクリートの適用性向上を目的として、次の項目について検討および評価を行った。

- 配合設計方法の検討
- 型枠振動機の配置および振動方法に関する検討
- 打設速度に関する検討
- 充填性向上効果
- 表面の緻密性
- 収縮特性

(2) 検討結果

a) 配合設計方法の検討

今後の中流動覆工コンクリートの採用のためには、使用材料ごとに性能基準を満足するような配合設計方法の確立が必要である。

異なる材料を用い検証試験を行った結果、中流動覆工コンクリートの振動エネルギーの最適値（加振変形量）は、スランプフローやU型充填高さが範囲内であっても、使用材料や配合によって異なることが確認された（図-2）。

この結果から、中流動覆工コンクリートの要求性

能の全てを満足する配合とするためには、スランプフローだけでなく加振変形量も考慮したセメントペースト量の選定、U型充填高さだけでなく加振変形量も考慮した細骨材率を選定するとともに、水結合材比についても考慮し配合設計を行う必要があることが確認された。

これらの配合に関する知見から、試験施工後には中流動覆工コンクリートの配合設計方法を作成している（図-3）。

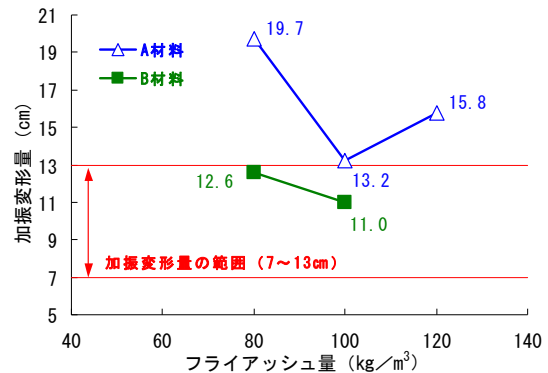
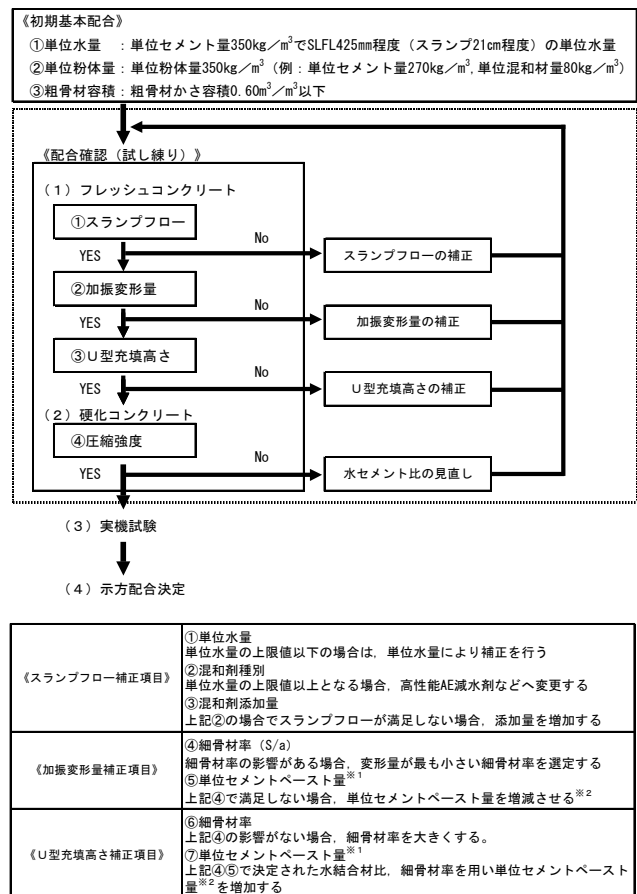


図-2 検証試験結果の一例



※1：単位セメントペースト量とは、単位水量 (W) 単位セメント量 (C) および単位混和材量 (E) の合計量である。
 ※2：加振変形量が大きい場合セメントペースト量を増加し、小さい場合セメントペースト量を減少する。単位セメントペースト量の増減は、まず混和材量のみでの増減で行い、その後単位水量を増減させる。なお、混和材量の増減により変形量に変化する場合は、変形量が最小となる混和材量を用いることとする。
 ※3：水セメント比を見直す場合、単位ペースト量および単位水量を同一とし、セメント・混和材の混合比を容積置換により変化させ行う。

図-3 中流動覆工コンクリートの配合設計方法

b) 型枠振動機の配置および振動方法に関する検討

中流動覆工コンクリート施工時には、3.7J/Lの振動エネルギーが型枠（セントル）全体に作用していることが極めて重要となる。今後の中流動覆工コンクリートの施工のためには、所要の振動エネルギーが作用する型枠振動機の配置や振動方法を確立させる必要がある。

振動測定を行った結果、コンクリートに与えられる振動エネルギーは、減衰が起こる部位ほど小さくなり、セントル端部やヒンジ部および鉛直荷重が大きくなる肩部では振動エネルギーが小さくなることを確認された（図-4）。

また、振動方法はコンクリートを充填する前に比べ充填された後では、振動エネルギーが小さくなることを確認され（図-5）、振動方法はコンクリートが充填されていない上方の型枠振動機を作動させるほうが効果的であることがわかった。

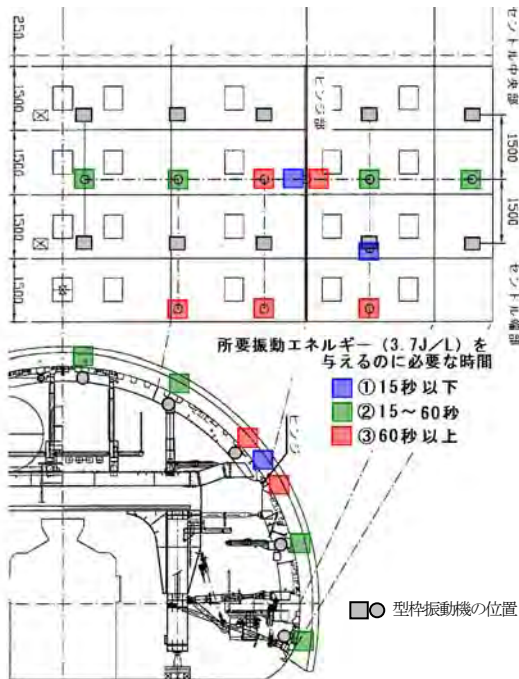


図-4 型枠振動機の配置およびセントル構造が振動エネルギーに及ぼす影響

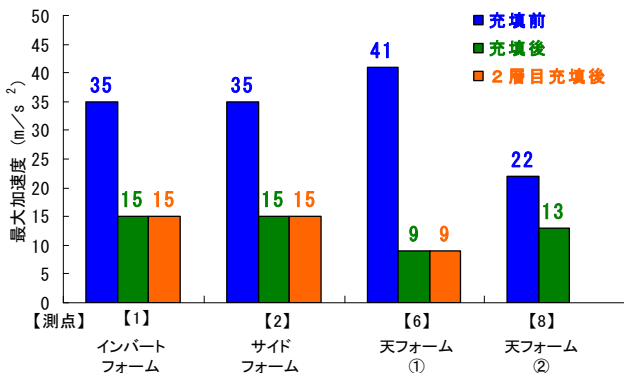


図-5 コンクリート充てん前後の最大加速度の変化

c) 打設速度に関する検討

中流動覆工コンクリートの側圧は普通コンクリートに比べ大きくなるのがわかっている。今後の中流動覆工コンクリートの施工のためには、打設速度と型枠に作用する圧力に関する基礎知見が必要と考えられる。

打設速度を同一とし、従来の覆工コンクリートとの作用圧力を比較した結果、中流動覆工コンクリートの側圧は90～120分程度液圧として作用すること、従来の覆工コンクリートよりも側圧が0.01～0.02N/mm²程度大きくなることがわかった（図-6）。

本試験施工後は、これらの知見を含めた中流動覆工コンクリートの施工方法について作成している（表-2）。

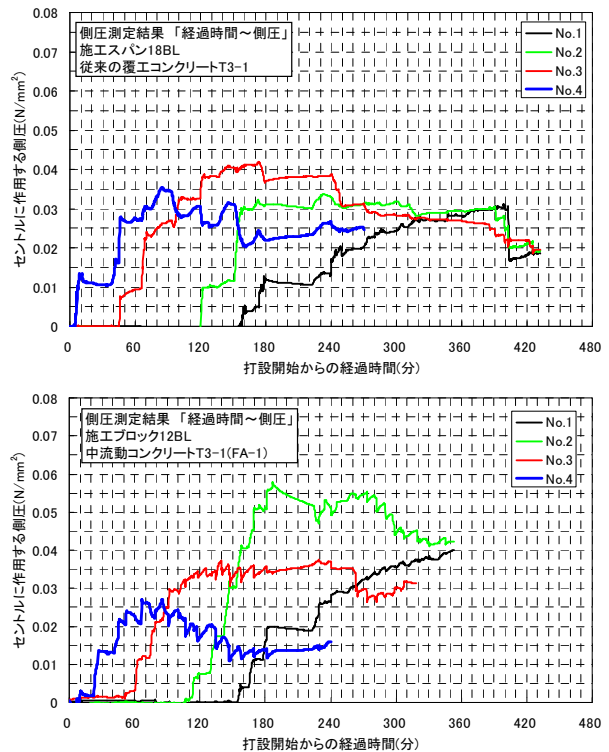


図-6 経過時間と側圧の関係

表-2 中流動覆工コンクリートの施工方法

項目	施工方法
開始～完了時間	30分以内
打込み高さ	1.5m以下
打設速度	1.0m/hr以下 (従来セントルの場合：耐圧0.048N/mm²の場合)
型枠振動機の配置	<ul style="list-style-type: none"> ・周方向および縦断方向に間隔を保つ ・周方向は左右対称に配置 ・振動エネルギーが約3.7J/Lとなるよう適宜増減 ・型枠振動機の配置は3m以下で配置する ・周方向はヒンジ部にも配置するのが望ましい ・縦断方向は端部にも配置するのが望ましい
振動時間	<ul style="list-style-type: none"> ・流動停止後、水平になる程度の振動を与える ・全体に約3.7J/Lとなるよう振動時間を決定
振動方法	<ul style="list-style-type: none"> ①延長方向 左右交互に行うことを原則 ②周方向 コンクリートが各段の型枠振動機の高さになった時点で上方に変更
側圧管理	<ul style="list-style-type: none"> 事前にセントルの許容値を確認 側圧計を第一検査窓部に設置 施工時は側圧を監視しながら施工

c) 充填性向上効果

本試験施工では、中流動覆工コンクリート使用による充填性向上効果を確認することを目的として、天端部に圧力計と電気抵抗による充填感知センサーを設置し、充填状況の確認を行った。

従来の覆工コンクリートおよび中流動覆工コンクリートを用いた場合の天端圧力の経時変化図を図-7に示す。

従来の覆工コンクリートを用いた場合、吹上げ口付近の圧力が増加してから約2.5時間後に妻部の圧力が増加し、圧力値は吹上げ口の方が大きくなっていったのに対し、中流動覆工コンクリートを用いた場合では、各測点で圧力が増加し始める時間の差異は1時間以内で、各測定の圧力値はほぼ同じであった。また、充填感知センサーも天端圧力計の圧力値が最大値に達するタイミングとほぼ同時に感知していた。

この結果は、中流動覆工コンクリートがセントル全体に行き渡りながら均一に充てんしていることを示す結果であり、中流動覆工コンクリートを用いることで天端部を確実に充填できることが分かった。

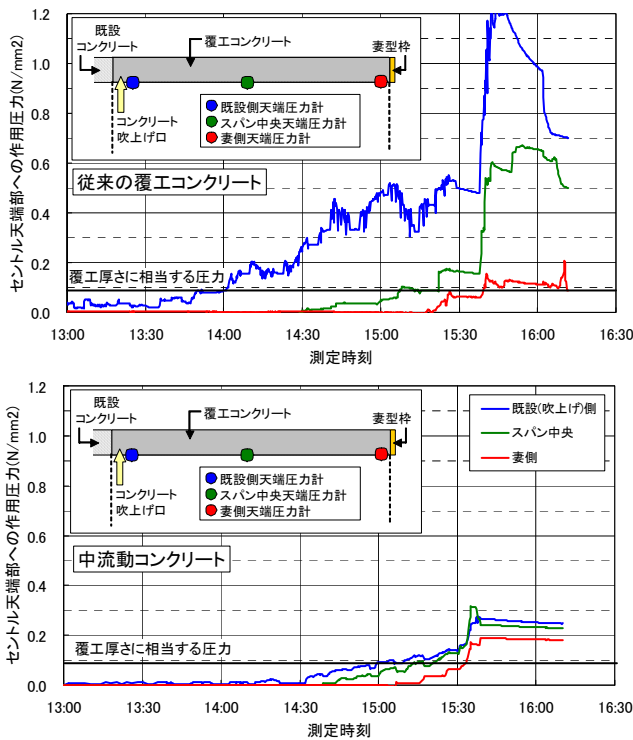


図-7 天端部の圧力測定結果

e) 表面の緻密性

本試験施工では、中流動覆工コンクリートのコンクリート表面の緻密性を評価することを目的として、トレント法を用いて透気係数を測定した。

従来の覆工コンクリートおよび中流動覆工コンクリートを用いた場合の表面緻密性の測定結果を図-8に示す。

透気係数の平均値は、従来の覆工コンクリートでは

$1.5 \sim 4 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 程度で、局所的に数 $10 \times 10^{-16} \text{m}^2$ オーダーの透気係数のポイントが存在し、標準偏差は $1 \sim 8 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 程度であった。これに対し、中流動覆工コンクリートの場合、 $1 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 程度とほぼ一定の透気係数で、標準偏差も $0.4 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 程度と小さい結果であった。

この結果は、中流動覆工コンクリートを用いることで、ばらつきの小さい均質なトンネル覆工が構築できることを示していると考えられる。



写真-2 透気係数測定状況

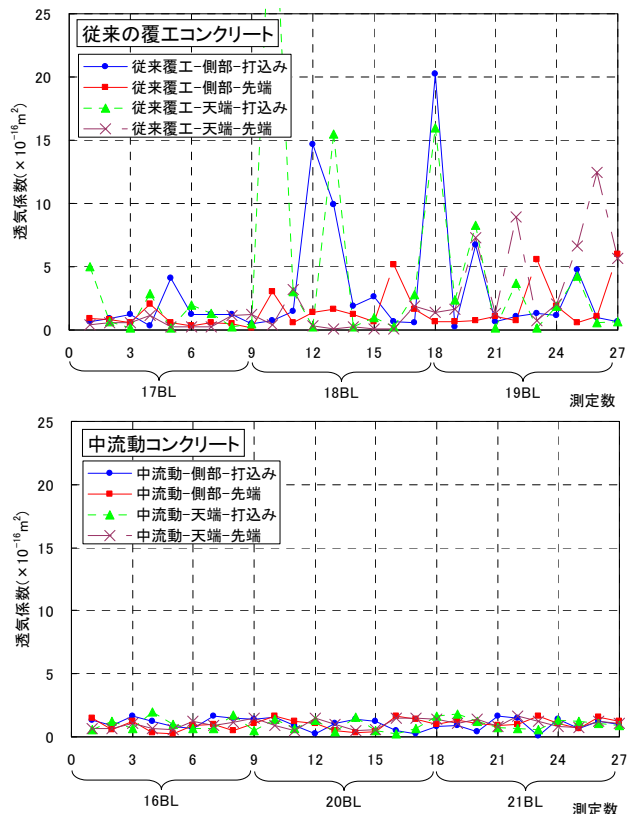


図-8 透気係数測定結果

f) 収縮特性

本試験施工では、中流動覆工コンクリートの収縮特性を評価することを目的として、JIS A1129 コンクリートの長さ変化試験により収縮量を測定した。

コンクリートの長さ変化試験結果を図-9に示す。

試験の結果、中流動覆工コンクリートは、従来の覆工コンクリート配合に比べ単位セメント量を減じた影響により、収縮ひずみを70 μ 低減している。

トンネル覆工は、比較的部材厚さが薄く、コンクリートの乾燥収縮に起因したひび割れが生じやすい構造物である。本工事で採用したようなセメント量を減じた中流動覆工コンクリートを採用することで、トンネル覆工の耐久性も向上できると考えられる。

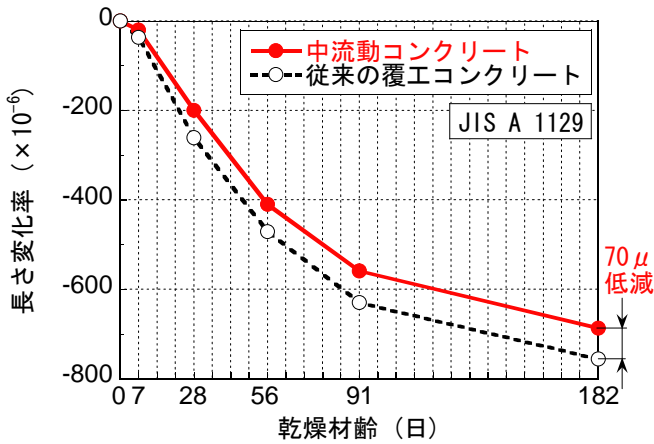


図-9 コンクリートの長さ変化試験結果

4. まとめ

北海道横断自動車道久留喜トンネルにおいて中流動

覆工コンクリートの更なる適用性向上を目的として試験施工を行った。その結果、現行の施工管理要領（中流動覆工コンクリート編）を補足する配合設計方法や型枠振動機の配置や作動方法、打設速度などの施工方法について取りまとめることができた。また、中流動覆工コンクリートは従来の覆工コンクリートに比べて天端部の充填性が高いことや緻密性が高いことも確認することができた。

本試験施工の結果が今後の中流動覆工コンクリート施工ならびに覆工コンクリートの品質向上の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 東日本高速道路株：トンネル施工管理要領（中流動覆工コンクリート編），平成20年8月
- 2) 谷藤義弘，松村遼右，中村泰誠：中流動覆工コンクリートの試行導入について，平成21年度北海道開発技術研究発表会
- 3) 谷藤義弘，佐藤政行：中流動覆工コンクリートを用いたトンネル二次覆工の施工，コンクリートテクノ，Vol. 29, No. 3
- 4) 日本トンネル技術協会：トンネルの高速施工に関する検討報告書 第4章 中流動覆工コンクリートの適用性検討，2009.1
- 5) 馬場弘二ほか：中流動覆工コンクリートの開発検討，土木学会トンネル工学報告集第17巻，pp227～232，2007.11