

# 中流動覆工コンクリートの試行導入について

## —北海道横断自動車道 久留喜トンネル—

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 松村 遼右  
(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普通コンクリートより流動性や充填性が高い中流動覆工コンクリートが要領化され、北海道横断自動車道久留喜トンネルにおいて試験施工を行っている。本報告は久留喜トンネルにおいて実施した中流動覆工コンクリートの施工結果について報告するものである。

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

近年、トンネル覆工コンクリートに関わる問題として、コールドジョイント部の剥落や覆工コンクリート天端部の充填不足など、覆工コンクリート施工に起因する問題が顕在化している。

トンネル覆工コンクリートは型枠の構造上、狭小空間での困難な作業を余儀なくされているほか、天端部は吹上げ方式によりコンクリートを充填するため、締固めが困難となっている。

このような施工に関する諸問題から(株)高速道路総合技術研究所では、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、従来コンクリートよりも流動性や充填性能が高く、型枠振動機で確実に締固めが行える考えを用いており、このコンクリートを採用することで、トンネル覆工の品質向上が可能となる。

しかしながら、現在の中流動覆工コンクリートに関する基準は、ごく限られた条件で検討された結果をもとに制定されており、配合では未だその設計手法が確立されていないこと、施工では既設コンクリート・型枠構造が振動エネルギーに及ぼす影響や側圧に関する影響が明確にされていないことなど、施工にあたって検討すべき課題があった。

本報告では、中流動覆工コンクリートの現地適用性の検証ならびに更なる適用性向上を目的として山岳トンネルで初めて全面採用した久留喜トンネルでの試験施工結果について報告する。

### 2. 中流動覆工コンクリート

中流動覆工コンクリートは、図-1に示すように、従来の普通コンクリートと高流動コンクリートの中間に位置するコンクリートで以下の特徴を有する。

- ・運搬、ポンプ圧送が通常の施工機械で行え、型枠の大規模な補強を必要としない。
- ・締固めを型枠振動機のみで行える。
- ・一般の生コン工場の設備で製造が可能である。
- ・特殊な材料を用いない。(石粉や石炭灰を使用)
- ・普通コンクリートと同等以上のひび割れ抵抗性を有する。

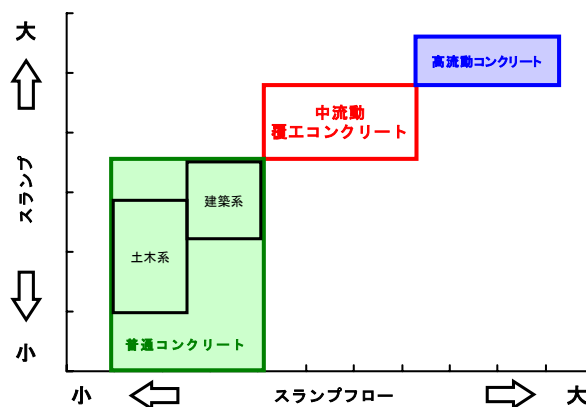


図-1 中流動覆工コンクリートの概念

中流動覆工コンクリートは、流動性能としてスランプフロー、充填性能としてU型充填高さが規定されているほか、軽微な振動で確実に充填・締固められることが要求されるため、使用コンクリートの振動エネルギーの最適値と施工時の作用振動エネルギーを3.7J/Lで統一し、使用コンクリートの選定のため加振変形量が規定されて

おり、施工時には3.7J/Lの振動エネルギーが作用するよう型枠振動機を配置し、振動時間を設定することとしている。

振動エネルギーの統一概念を図-2に示す。また、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。

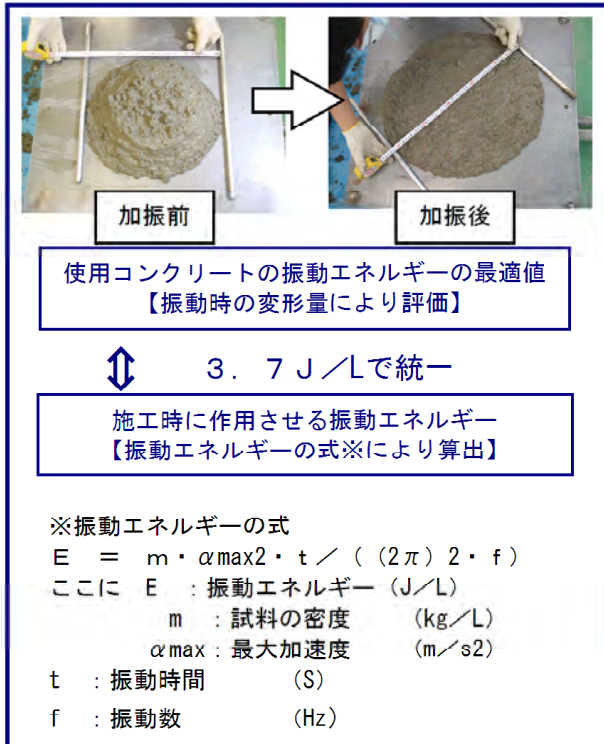


図-2 振動エネルギーの統一概念

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 <sup>2</sup> )	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	施工基準
施工開始～打設完了時間	・30分以内を基本とする
打込み高さ	・1.5m以下
打設速度	・15m <sup>3</sup> /h程度
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3.7J/Lとなるよう適宜増減
振動時間	・流動停止後上面が水平となる程度の振動を与える ・全体に3.7J/Lとなるよう振動時間を決定
振動方法	・周方向は左右交互に行うことを原則とする ・作用させる型枠振動機は周方向のコンクリートが型枠振動機の間中に達した時点で上段に移動
側圧管理	・セントルの側圧許容値を確認し、第1検査窓部で計測

### 3. 試験施工概要

#### (1) 検討内容

本試験施工では、中流動覆工コンクリートの現地適用性の検証ならびに適用性向上を目的として、次の項目について検討を行った。

- 1) 配合設計手法の検討
- 2) 振動締固めに関する検討
- 3) 打設速度（側圧）に関する検討
- 4) 中流動覆工コンクリートの評価

#### (2) 検討結果

##### a) 配合設計手法に関する検討

現行の配合基準は、限られた条件で検討された結果をもとにしており、使用材料が異なる場合の影響は確認されていない。既往の研究結果によれば、コンクリートの施工性能は、使用材料や配合の影響を受けることが報告されており、中流動覆工コンクリートの採用にあたっては使用材料ごとに性能基準を満足するよう配合を修正することとなる。このことから、中流動覆工コンクリートの配合設計手法を確立することを目的として、各性能に与えるコンクリート使用材料・配合の影響を、室内において検証試験を実施するとともに、その結果から配合設計手法について検討を行った。

検証試験を行った結果、中流動覆工コンクリートの性能は使用材料や配合の影響を受けることが確認され（図-3および図-4）、従来どおりスランプフロー・U型充填高さを満足するような配合設計だけでは、全ての性能を満足するとは限らないことが分かった。

中流動覆工コンクリートの性能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。

この結果から配合設計手法を検討し、試験施工に用いるコンクリート検討した結果、全ての要求値を満足する配合を選定することができている。

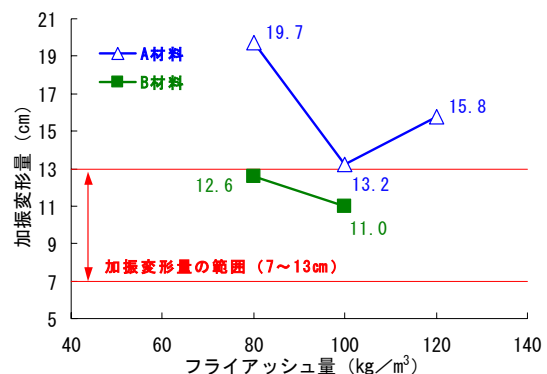


図-3 配合検討結果の一例

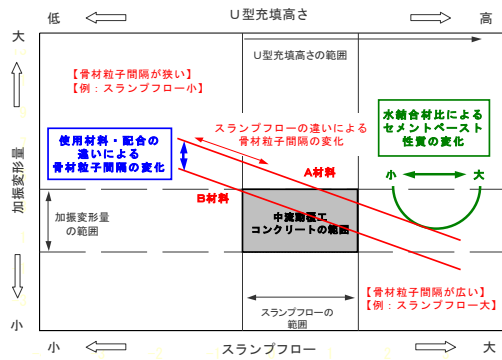


図4 中流動覆工コンクリートの性能に及ぼす  
使用材料・配合の影響

### b) 振動締固めに関する検討

現行の施工管理要領では、施工時に作用させる振動エネルギーを $3.7\text{J/L}$ とする考えを用いている。このため、施工時には、 $3.7\text{J/L}$ 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。しかしながら、型枠の構造や型枠振動機の配置などが振動エネルギーに及ぼす影響などは不明な部分も多く、所要の振動エネルギーが作用していない部位があることが考えられた。このことから、本検討は、所要の振動エネルギーを与えるための型枠振動機の配置方法を確立することを目的に型枠振動機の取り付け位置や型枠の構造が振動エネルギーに及ぼす影響を振動測定により検証した。

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、既設コンクリートの影響を受けるセントル端部、不連続となる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が確認された（図-5）。

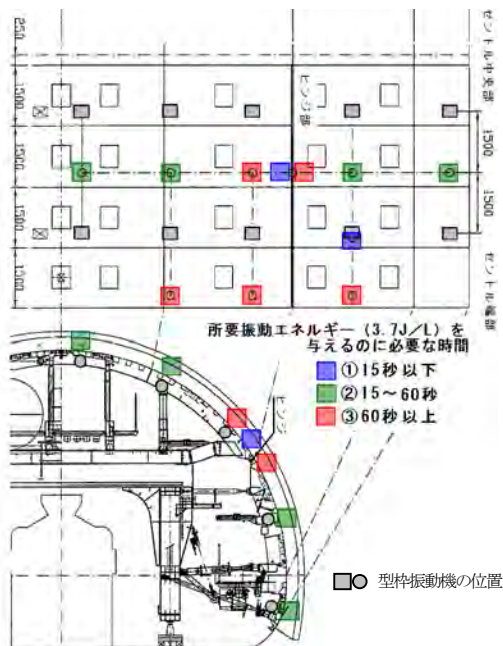


図5 型枠振動機の配置およびセントル構造が  
振動エネルギーに及ぼす影響

この結果から、型枠全体に $3.7\text{J/L}$ の振動エネルギーを作用させるには、振動減衰を考慮しヒンジ部周辺およびセントル端部にも型枠振動機を配置することが望ましいと考えられたため、振動減衰を考慮し型枠振動機の配置を変更（図-6）し施工を行った結果、均一な締固めが行え、良好な状態で施工することができた。

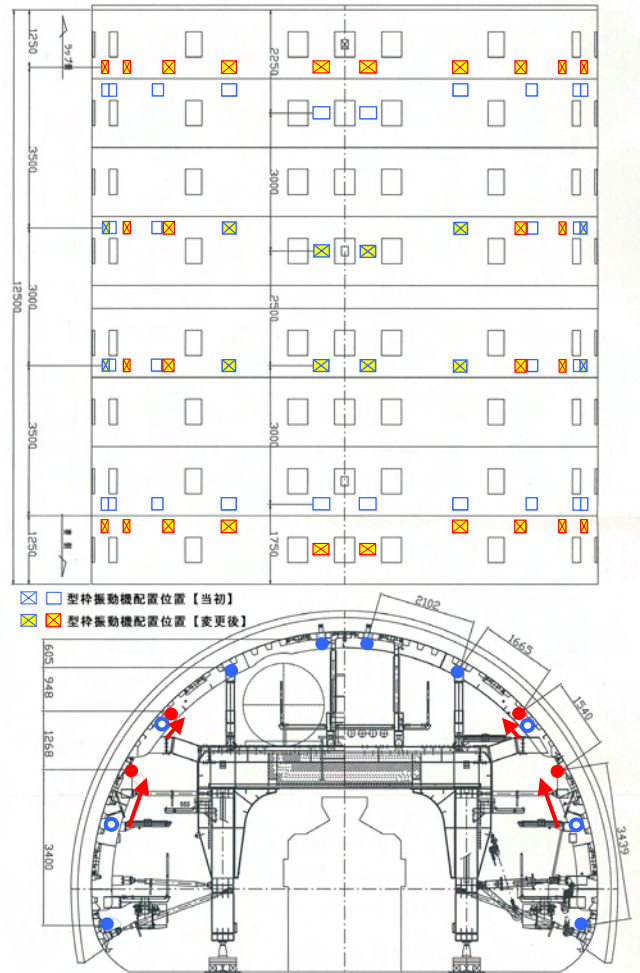


図6 振動エネルギーを考慮した型枠振動機の配置

### c) 打設速度（側圧）に関する検討

現行の施工管理要領では、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おり、側圧測定による打設速度管理を行いながら施工を行うこととしている。しかしながら、中流動覆工コンクリートの側圧の最大値は未だ明確になっていないことから、打設速度以外の対応を取ることができないのが現状である。このことから、本検討は中流動覆工コンクリートの側圧の最大値および打設速度に関する基礎知見を得ることを目的に、打設時の側圧について検証した。

打設速度を $1.2\text{m/hr}$ とし、セントル側部4箇所（図-7）にて作用圧力を測定したところ、中流動覆工コンクリートの側圧最大値は $5\sim 6\text{t/m}^2$ 程度まで上昇する（図-8）結



果となり、従来コンクリートに比べ（3.5t/m<sup>2</sup>程度：打設速度1.2m/hr）1.4~1.7倍程度の側圧が作用することが確認された。

本工事では、この結果から側圧を考慮した打設速度を決定し施工を行っている。

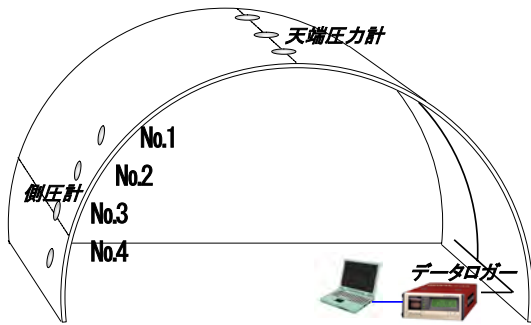


図-7 側圧の測定位置

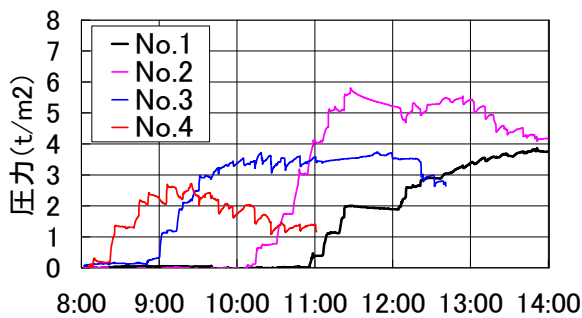


図-8 側圧測定結果の一例

#### d) 中流動覆工コンクリートの評価

本試験施工では、施工者のほかに協力会社を含めた関係者を対象として、中流動覆工コンクリートの施工性や作業性、仕上がり状態などについてアンケート調査を実施し、中流動コンクリートについての評価を行った。

アンケート調査の結果、中流動覆工コンクリートは、従来コンクリートに比べ、特に締め作業の行い難いクラウン部では、無筋・鉄筋区間ともにコンクリートの流動性や作業の負担度合について大きく向上されていると評価されたほか、品質や仕上がりについても向上されていると評価され、全体的に高い評価となった。（図-9および図-10）。

また、仕上がり外観の比較を行った結果、従来コンクリートに比べて良好な外観であった。（写真-2および写真-3）。

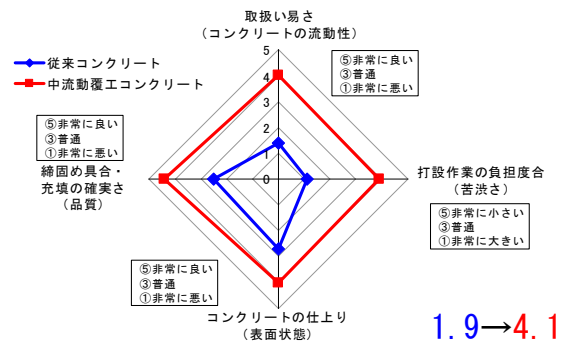


図-9 中流動覆工コンクリートの評価  
(鉄筋区間・クラウン部)

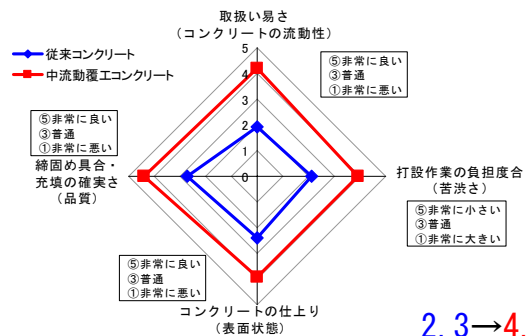


図-10 中流動覆工コンクリートの評価  
(無筋区間・クラウン部)

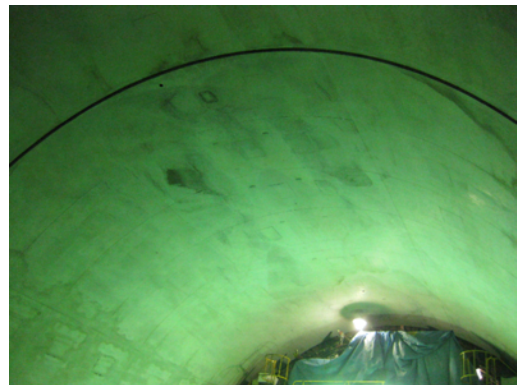


写真-2 従来コンクリートのクラウン部外観

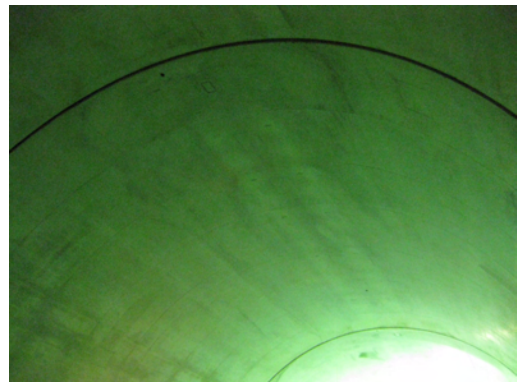


写真-3 中流動覆工コンクリートのクラウン部外観

#### 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現地適用性の検証ならびに更なる適用性向上を目的として試験施工を行った結果、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手法の検討や型枠振動機の配置方法、打設速度と側圧の関係など施工に関する検討を実施し、中流動覆工コンクリートを使用して、従来のコンクリートに比べて高品質な覆工を施工することができた。

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) 岩崎訓明：振動によるフレッシュコンクリートの液状化と内部振動機の作用領域に関する考察，土木学会論文集，第426号，V - 14，1991年2月
- 3) 梁俊ほか：粗骨材の実績率がフレッシュコンクリートの締固め性に与える影響，コンクリート工学論文集，第16巻，第3号，2005年9月
- 4) 梁俊ほか：フレッシュコンクリートの締固め性試験方法に関する研究，土木学会論文集E，Vol.62，No.2，416-427，2006.6
- 5) 国府勝郎，上野敦：締固め仕事量に基づく超固練りコンクリートの配合設計，土木学会論文集，No.532，V-30，109-118，1996.2