

# 論文 NTL 工法用急硬性コンクリートの施工

木村政敏\*<sup>1</sup>、酒向龍美\*<sup>2</sup>、尾嵯師成\*<sup>3</sup>、川上正史\*<sup>4</sup>

要旨：NTL工法に用いる急硬性コンクリートの可使時間と脱型時期についてコンクリート温度の経時変化を用いてリアルタイムで推定する方法を提案し、これらの方法を実際のトンネル工事において適用した結果を用いて、その妥当性を検討した。NTLコンクリートの可使時間は、コンクリート温度の経時変化が示す変曲点により精度よく判定できること、脱型時期は、コンクリート温度の経時変化が示す温度上昇量と圧縮強度の関係から判定すること可能であり、提案した方法の妥当性が確認された。

キーワード：急硬性コンクリート、可使時間、脱型時期、NTL工法

## 1. はじめに

NATMにおける吹付けコンクリート工法の粉塵、跳ね返りをなくす目的を持って考案されたK-NTL工法は、図-1に示すような3分割折り畳み可能な型枠を装備したK-NTL機を用いて、図-2に示すように掘削後の切羽直前に型枠をセットし、型枠と地山との間に急硬性コンクリートを流し込み、側壁部分、天端部分の2回に分けて覆工を行う工法である。NTL工法用急硬性コンクリートの性能としては、型枠と地山の狭限な空間を確実に充填した後、施工サイクル短縮のため、急速に硬化することが必要である。そのため、NTL工法用コンクリートは、ベースコン

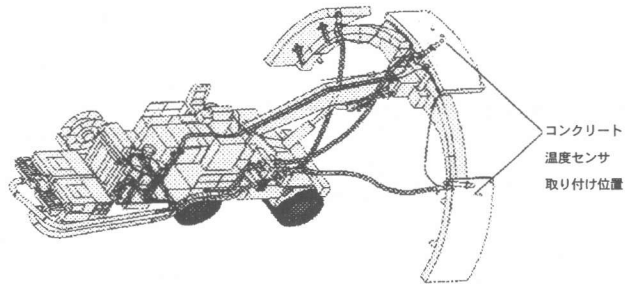
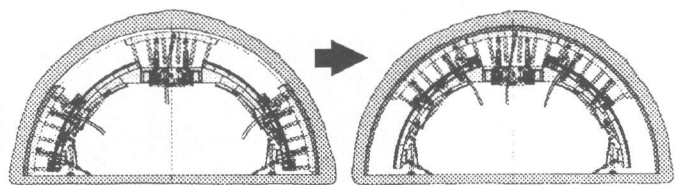


図-1 K-NTL機



側壁部分の施工

天端部分の施工

図-2 NTL工法の覆工順序

クリートに凝結調整剤を含む急硬材を添加した急硬性コンクリートを使用している。NTL工法の施工管理を確実にを行うためには、施工中にベースコンクリートに急硬材を添加した時点から流動性を失うまでの時間（以下、可使時間と呼ぶ）の判定、脱型しても覆工コンクリートにだれや崩落を生じない

\*1 (株) 鴻池組 技術研究所、研究員（正会員）

\*2 (株) 鴻池組 名古屋支店

\*3 (株) 鴻池組 名古屋支店

\*4 (株) 鴻池組 技術研究所、工博（正会員）

時間（以下、脱型時期と呼ぶ）の判定が必要であるが、地山と型枠の間に打設されるため、視認不可能な状態となりコンクリートの性状を直接把握することは、非常に困難である。

本論文は、上記の性状を確実に把握する方法として、NTLコンクリートの性状をコンクリート温度の変化から間接的に推定し、可使時間および脱型時期をリアルタイムで判定する方法を提案した。さらに、実際の工事において、これらの判定方法が妥当であったか否かを考察したものである。

## 2. NTLコンクリートの使用材料、配合および製造・打設

### 2.1 使用材料および配合

NTLコンクリートに用いた材料は表-1に示す通りである。また、NTLコンクリートのベースコンクリート（急硬材、凝結調整剤を添加する前のコンクリート）の配合を表-2に、急硬材の

表-1 NTLコンクリートの材料

セメント	普通ポルトランドセメント、比重3.15
細骨材	混砂、岐阜市・美濃市産、FM=2.91、比重=2.55および吸水率=2.37%
粗骨材	川砂利、Gmax=15mm、比重=2.58、FM=6.11、吸水率=2.57%
AE減水剤	ポリグリコールエステル誘導体系、比重1.04
空気調整剤	空気連行剤
急硬材	セメント系、比重2.92
凝結調整剤	オキシカルボン酸塩系、比重2.23

表-2 NTLコンクリートのベースコンクリート配合

骨材最大寸法 Gmax (mm)	スランブ の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				AE減水剤 (kg)
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	
15	15±2.5	4.5±1.5	47.2	52.0	170	360	900	834	3.6

表-3 急硬材の配合

配合を表-3にそれぞれ示す。

### 2.2 NTLコンクリートの製造・打設

水平パン型強制練りミキサ(容量: 0.5m<sup>3</sup>)を使用し、60秒間混練りすることによりベースコンクリートを製造した。その際、コンクリート温度を年間を通じて15℃~25℃に保つため、ヒートパイプ式製氷・温水製造装置[1](写真-1)より、夏期にはアイスシャーベットを、冬期には最高温度40℃の温水を練り混

水急硬剤比 W/QH (%)	急硬材添加量 QH (C×%)	凝結調整剤 添加量 ((C+QH)×%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )		
			急硬材 QH	凝結調整剤	水
70.0	15.0	0.2	54.0	0.83	37.8

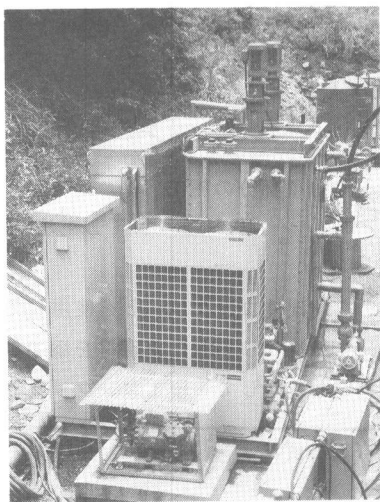


写真-1 ヒートパイプ式製氷温水製造装置

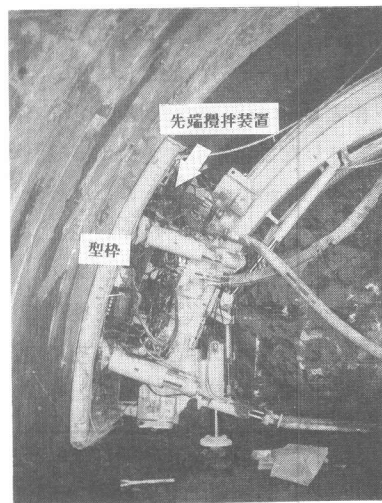


写真-2 先端攪拌装置

ぜ水として供給した。NTLコンクリートは、ベースコンクリートをコンクリートポンプ（最大吐出量15m<sup>3</sup>/h）で圧送、その後、型枠に設置した先端攪拌装置（写真-2）によって急硬材と添加・混合することにより製造し、型枠表面に設置した吐出口より打設した。図-3にNTLコンクリートの製造、運搬および打設フロー図を示す。

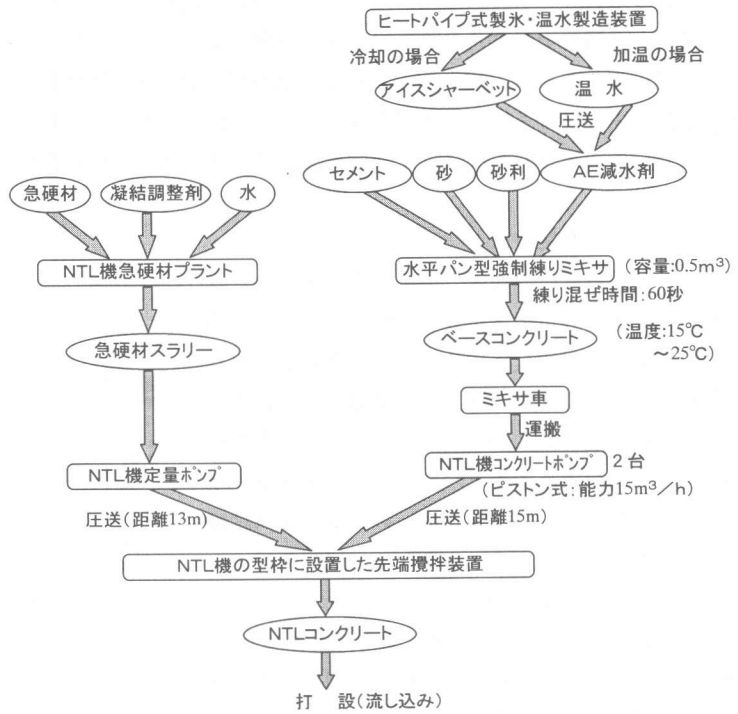


図-3 NTLコンクリートの製造・運搬および打設のフロー図

### 3. 可使時間の判定方法

可使時間の判定方法を求めるための実験は、セメント重量に対し急硬材を12%、14%、16%、18%および20%の5種類、凝結調整剤量をセメント重量と急硬材重量を合計したものに對し0.3%、0.4%、0.5%および0.6%の4種類変化させたが、ここでは繁雑を防ぐため、代表的な例として急硬材量16%、凝結調整剤量0.5%および急硬材量14%、凝結調整剤量0.4%について説明する。なお、スランブの測定は、複数個のスランブコーンに対し、練り上った試料を同時に詰め、所定時間でコーンを引き抜く方法で行った[2]。図-4は、急硬材量16%および凝結調整剤量0.5%の急硬材の添加後のスランブおよびコンクリート温度の経時変化を示したものである。図-4によればスランブ低下の生じる時間は8分である。一方、この図からコンクリート温度の上昇割合の急変する点(以下、変曲点と呼ぶ)を、図

4%、0.5%および0.6%の4種類変化させたが、ここでは繁雑を防ぐため、代表的な例として急硬材量16%、凝結調整剤量0.5%および急硬材量14%、凝結調整剤量0.4%について説明する。なお、スランブの測定は、複数個のスランブコーンに対し、練り上った試料を同時に詰め、所定時間でコーンを引き抜く方法で行った[2]。図-4は、急硬材量16%および凝結調整剤量0.5%の急硬材の添加後のスランブおよびコンクリート温度の経時変化を示したものである。図-4によればスランブ低下の生じる時間は8分である。一方、この図からコンクリート温度の上昇割合の急変する点(以下、変曲点と呼ぶ)を、図

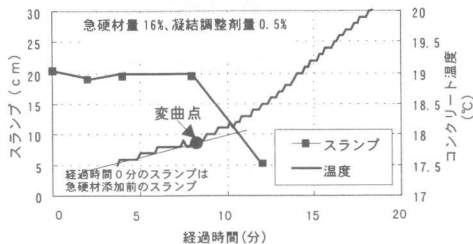


図-4 急硬材量16%および凝結調整剤量0.5%を添加した場合のスランブおよびコンクリート温度の経時変化

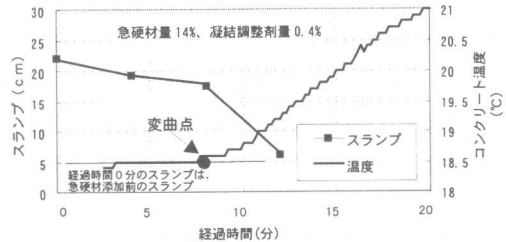


図-5 急硬材量14%および凝結調整剤量0.4%を添加した場合のスランブおよびコンクリート温度の経時変化

に示すような接線を引く方法で求め、この点の経過時間を読みとると8分である。スランプの低下し始める時間と温度の上昇割合の急変する点の時間とは一致している。このような現象は、図-4に示した条件でのみ生ずるのではなく、例えば、急硬材量14%、凝結調整剤量0.4%の条件で図-4と同じ関係を示した図-5からも同じ現象が読みとれる。したがって、トンネル現場において打設されるN T Lコンクリートの可使時間をコンクリート温度の変曲点から求めることができると考えられる。

#### 4. 脱型時期の判定方法

図-6は、急硬材添加後のN T Lコンクリートの温度の経時変化の1例を示したものである。図中のほぼ一定温度を保持している部分をN T Lコンクリートの初期温度とすると温度上昇量は、図に示すように任意の経過時間におけるコンクリート温度と初期温度との差で求めることができる。このコンクリート温度上昇量と一軸圧縮強度との関係を室内試験により調べると図-7のようになる。図-7はベースコンクリートの温度15℃、20℃および、25℃の3種類、急硬材量をセメント重量に対して12%、14%、16%、18%および20%の5種類、凝結調整剤量をセメント重量と急硬材重量の合計したものに対し0.3%、0.4%、0.5%および0.6%の4種類変化させ、合計60配合のN T Lコンクリートに対する圧縮強度とコンクリート温度上昇量との関係を示したものである。この図から明らかなように両者の関係は急硬材量および凝結調整剤量に関係なく一本の曲線で示されている。すなわち、N T Lコンクリートの圧縮強度はベースコンクリートの練り上がり温度が15℃～25℃の範囲であれば急硬材、凝結調整剤の添加量に影響されることなく、コンクリート温度上昇量によって推測が可能であることが分かる。

N T L工法の脱型時に必要な圧縮強度は、経験上0.3MPaであることが分かっているから[3]、図-7の曲線から脱型時に必要な温度上昇量は5.5℃以上あればよいことが分かる。すなわち、温度上昇量を算定することにより、脱型時期を精度よく求めることが出来ると考えられる。

#### 5. 判定方法の妥当性に関する検討

上述のように可使時間および脱型時期の判定方法を提案したが、これらが本当に有効か否かについては、実際のトンネル工事に使用し検討する必要がある。そこで、上述の方法を実際のトンネル工事に適用してみた。

##### 5. 1 トンネル工事の概要

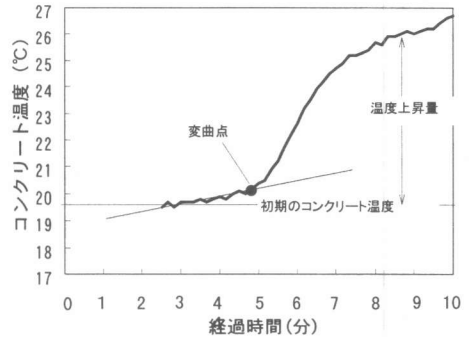


図-6 N T Lコンクリートの温度の経時変化の一例

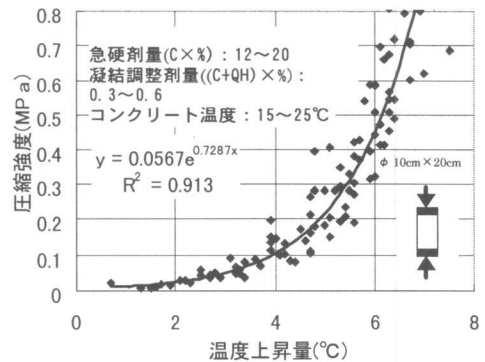


図-7 圧縮強度と温度上昇量の関係

N T L工法を採用したトンネル（日本道路公団 東海北陸自動車道 小瀬子トンネル）は、総延長671m、断面約80m<sup>2</sup>、2車線の高速道路用トンネルである。その内、N T L工法の施工区間は、634mである。また、打設期間は、平成6年6月から平成7年6月までの約12ヶ月間であった。

### 5. 2. 実施工におけるN T Lコンクリートの温度変化

図-1の図中に示すように熱電対式温度センサをN T L機の型枠に設置し、温度ロガーとパソコンから構成された測定装置により、打設したN T Lコンクリート温度の経時変化をリアルタイムで測定した。その1例を図-8に示す。本工法では、先に述べたように側壁部分および天端部分の2回に分けてN T Lコンクリートを打設するのでコンクリート温度と時刻の関係は図のようになる。側壁打設の場合の可使時間と脱

型時間を図より読みとると、それぞれ4分および10分となる。実際には、13分で脱型しているがN T Lコンクリートには何らの損傷も剥落も無かった。また、天端打設の場合について、可使時間と脱型時間を読みとると、それぞれ5分および8分となる。

この場合、30分で脱型したが側壁部分と同じくN T Lコンクリートには、何らの損傷も剥落も無かった。

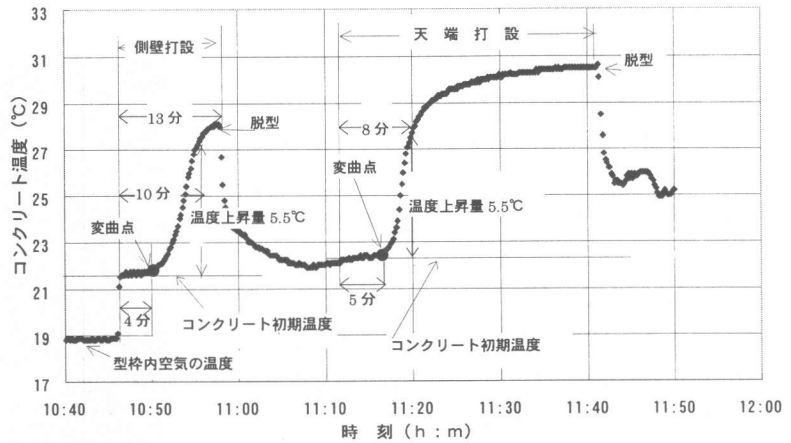


図-8 実施工におけるN T Lコンクリートの温度の経時変化測定例

### 5. 3 施工結果と考察

N T L工法の施工サイクルは、①N T L機を切羽の所定位置に移動、②型枠のセット、③側壁打設、④養生、⑤脱型、⑥再び型枠のセット、⑦天端打設、⑧養生、⑨脱型、⑩型枠の折り畳み、⑪N T L機の移動の順に繰り返されるが、工事を円滑かつ合理的に進めるためには、N T Lコンクリートの可使時間を5±2分以内の範囲に、また、脱型時間を10分から20分以内に管理する必要がある。図-9に5.2に述べた方法を用いて現場で測定した可使時間の管理結果を示す。この図によると、ほとん

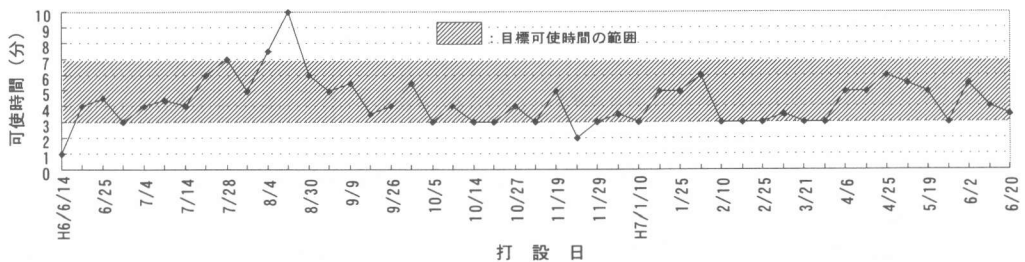


図-9 可使時間の管理結果

どの可使時間の試験値は、目標可使時間 $5 \pm 2$ 分の間にあることがわかる。また、図-10は、5.2の方法を用いて脱型可能なコンクリート温度上昇量 $5.5^{\circ}\text{C}$ 以上となるのに必要な時間を測定し、その結果と打設日との関係を示したものである。図によると、施工中においては、ほとんどの測点が10分から20分の間が存在している。施

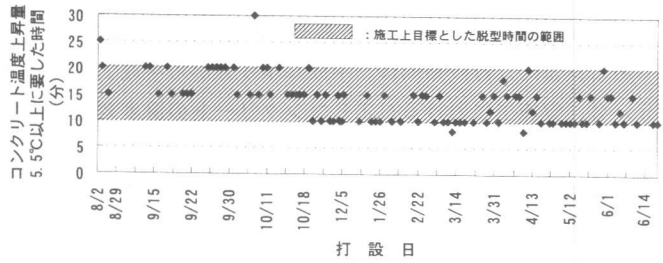


図-10 実施工においてコンクリート温度上昇量が $5.5^{\circ}\text{C}$ 以上に達するのに要した時間

工中、温度上昇量の確認については、打設終了後の経過時間10分後から約5分間隔で行い、コンクリート温度上昇量 $5.5^{\circ}\text{C}$ 以上を満足した時点で、脱型を行った。図から明らかなように、目標とした脱型時間の管理範囲である10分から20分以内に測点の大部分が入っている。

本工事期間中、NTLコンクリートは、何らの損傷も剥落も無かったことから可使時間および脱型時期の判定に対し提案した方法は妥当であったことが確認された。写真-3に実際のトンネルにおけるNTLコンクリートの出来型を示しておく。

## 6. まとめ

本研究から得られた結果を要約すると次の通りである。

- (1) NTLコンクリートの可使時間の判定は、コンクリート温度の経時変化が示す変曲点により判定できる。
- (2) NTLコンクリートの脱型時期は、コンクリート温度の経時変化が示す温度上昇量から判定出来る。
- (3) (1)(2)の方法を実際のトンネルに適用した結果、NTLコンクリートには何らの損傷も剥落もなく、施工管理上、有効な方法であることが分かった。

## 参考文献

- [1] 木村政敏・為石昌宏・川上正史, NTL工法用急硬性コンクリートの温度制御に関する2, 3の実験, 第50回土木学会講演概要集V, pp. 144~145, 1995. 9
- [2] 木村政敏・川上正史・富田六郎, NTL工法用急硬性コンクリートの可使時間推定に関する一実験, 第47回土木学会講演概要集V, pp. 646~647, 1992. 9
- [3] 木村政敏・為石昌宏・川上正史, NTL工法用急硬性コンクリートの施工管理に関する一考察, 第48回土木学会講演概要集V, pp. 143~144, 1993. 9

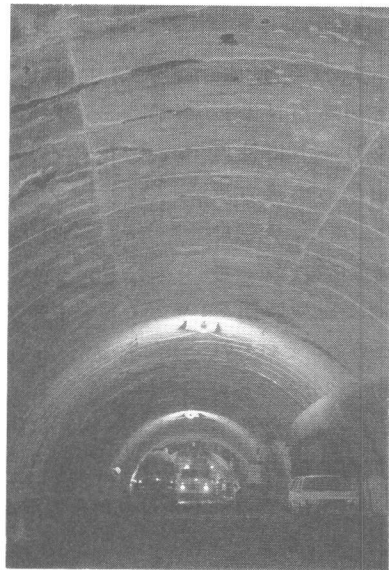


写真-3 実際のトンネルにおけるNTLコンクリートの出来型