

吹付けコンクリート

材料研究室

1. はじめに

吹付けコンクリート（モルタル）は、圧縮空気（コンクリート（モルタル）を施工面に吹付ける特殊コンクリートで、ショットクリート（shotcrete）またはガニット（gunit）とも呼ばれています。この吹付けコンクリート工法は、吹付け機械を施工箇所から離れた場所に置いたままで、吹付け材料をホースによって運搬し、型枠なしで広い面積にコンクリートを施工することができます。

このような特徴を有していることから、NATM工法によるトンネルの一次覆工や、岩盤斜面・法面の保護・補強などに広く用いられており、最近では、コンクリート構造物の補修・補強にも使われるようになってきました。

しかしながら、吹付けコンクリートという用語は知っていても、トンネル用と法面保護用の違いを正しく認識している人は比較的少ないのではないかと思います。

そこで本件では、主としてトンネル用と法面保護用の吹付けコンクリートの相違について簡単に説明します。

2. 施工方法について

吹付けコンクリートに用いられる機械は乾式と湿式に大きく分けられ、湿式は更に空気圧送方式とポンプ圧送方式に分けられます。

乾式は、水と急結剤以外の材料をドライミックスし

た後、圧縮空気によってノズル（吐出口）まで圧送し、ノズルの直前で別のポンプで送られた水および急結剤と混合して吹付ける方法です（図-1）。

この方式は、水量を作業員が吹付け面のコンクリートの状態を見ながら調節するので、品質が作業員の技術に左右されやすいため、現在ではほとんど行われなくなっています。また、乾式による吹付けは多量の粉塵が発生するため、作業員の健康を損なう恐れがあるということも、使用されなくなった原因です。

湿式は、急結剤以外の材料を練混ぜた後（ウェットミックス）、圧縮空気またはポンプで圧送して、ノズルで吹付ける方法です（図-2）。

この方式は乾式と比較して、一般に、粉塵やはね返りが少なく、吹付けられたコンクリートの品質が安定しているという長所を有しています。しかし、品質管理が十分でないとホース内で閉塞が生じやすいこと、機械設備の規模が大きくなること、などの短所を有しています。

空気圧送方式では、吹付け機械に供給されたコンクリートは、圧縮空気によってホース内に分散された状態で圧送され、ノズルによって吹付けられます。現在のところ、最も多く用いられているのがこの方式です。法面保護工で用いられている吹付け機は、作業性の関係からホース径が小さく（35～50mm）、圧送可能な配合は比較的貧配合のモルタルやコンクリート（セメント量：360～380kg/m³）で、コンシステンシーもゼロスランプに近いものであり、施工能力も小さく（1.5～3.0m³/h）なっています。それに対し、トンネルの一

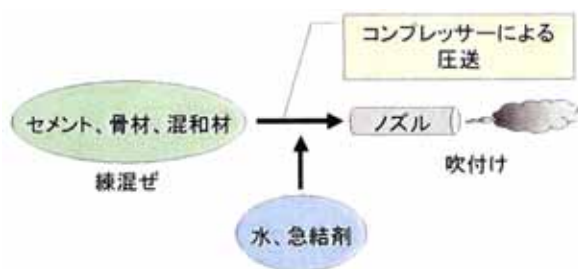


図-1 乾式による吹付け

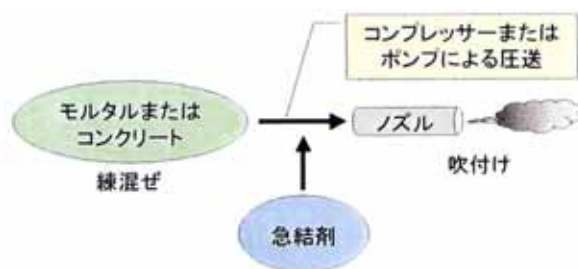


図-2 湿式による吹付け

次覆工で用いられている吹付け機は、ホース径が大きく（50～75mm）、施工能力が5～10m³/h程度のものがあります。

ポンプ圧送方式では、ポンプで圧送されたコンクリートはノズル近傍で別のホースから送られてきた圧縮空気によって吹付けられます。

この方式はホース内に満杯のコンクリートが次々と送られてくるため、作業員が保持しての吹付け作業が困難であり、ノズルの遠隔操作や自動化が進むことによってトンネルの一次覆工用として普及しました。この方式は配合に厳しい制約が無く、セメント量が多い富配合のコンクリートを圧送できるため、法面保護工での利用も増えてきています。

3. 性能・特性

3.1. 流動性

コンクリートの流動性は、吹付け時の管内抵抗に影響を及ぼします。単純に単位水量を多くすると流動的なコンクリートにはなりますが、強度や耐久性が低下したり、材料の分離傾向が見られたりします。そこで、特殊な混和剤（減水剤）を添加し、コンクリートに粘りを持たせて材料分離を防ぎ、単位水量を増やすことなく、流動的なコンクリートを製造します。そのため、流動性のあるコンクリートほど抵抗（粘り）が増加することになるので、大きな吐出圧力が要求されます。

吹付け作業を機械で行っているトンネルの一次覆工では、スランプが8～18cm程度のコンクリートを使用しています。これは、ノズルを保持しているのが機械であるため、吐出圧力が大きくても施工できるからです。また、流動性のあるコンクリートを用いているため、吹付けたコンクリートが流れ落ちてこないように、急結剤を用いています。急結剤とは、コンクリートの凝結硬化を促進させ付着性を高めるために用いる混和

剤です。

法面保護工では、モルタルフロー値が120程度（ほぼゼロスランプ）のコンクリートが最適と言われており、これを用いるのが通例になっています。これは、ノズルを人力で保持しているため、吐出圧力を高く設定できないからです。今後、法面保護工において富配合なコンクリートを吹付けるためには、この管内抵抗をどう抑えるかが課題となります。

3.2. 強度特性

トンネルの一次覆工で吹付けコンクリートを用いる場合、天井部に吹付けたコンクリートが定着する前に落下する事を防ぐため、初期強度（1～3時間圧縮強度で1～5N/mm²程度）の発現が求められます。そこで、初期強度を発揮するために急結剤を用います。また、設計基準強度は18～24N/mm²程度となっています。これに対し法面保護工では、岩がオーバーハングしている等の特殊な場合を除いて、大きな初期強度が求められることは少なく、設計基準強度も18N/mm²程度となっています。

3.3. 耐久性

コンクリートに求められる耐久性は、環境および使用目的によって異なります。

トンネルでは、二次覆工でいわゆる化粧巻きを行うことから、一次覆工に用いるコンクリートに耐久性が求められることはほとんどありません。なお、一部の断面道路トンネルで吹付けコンクリートのみで永久構造物とする動きもありますが、トンネル内部は入り口付近を除いて環境がほぼ一定であることから、耐久性が問題となることはあまりありません。しかし、斜面・法面に吹付けられたコンクリートは、直射日光と風雨による乾湿繰り返し作用や、冬季に昼夜の温度差

表-1 吹付けコンクリートの要求性能

	流動性	強度特性	耐久性
トンネル	有り (スランプ8～18cm)	初期強度：1hで1～5N/mm ² 圧縮強度：18～24N/mm ²	永久構造物として用いるとしても、トンネル内部の環境はほぼ一定であるため、それほど問題視されない。
斜面・法面	無し (ほぼゼロスランプ)	圧縮強度：18N/mm ²	雨⇄晴による乾湿繰り返し作用や、冬場の昼⇄夜での凍結融解作用があるため、重要な要素である。

による凍結融解作用をうけるなど、大変過酷な条件に曝されています。また、斜面・法面に対する吹付けは、施工が困難な箇所に行うことが多いため、施工後のメンテナンスを容易に行えません。これらのことから、斜面・法面に吹付けられるコンクリートは、より耐久性が求められます。

4. 研究の現状と課題

吹付けコンクリートは、NATM工法におけるトンネルの一次覆工用として、多くのトンネル工事現場で施工されており、その分野での研究が多くなっています。しかし、法面保護を目的とした吹付けコンクリートについては、従来あまり研究が行われていませんでした。法面保護を目的とした吹付けコンクリートは、リバウンドが多いことによるコスト高や、品質のばらつきといった問題点を抱えており、より経済性・信頼性を持って使用するためには、これらの問題点を解決しなければなりません。

材料研究室では、これらの問題点を解決し、安定した品質で高耐久なコンクリートを吹付けるために、富配合、ファイバーそしてポンプ圧送といった、新しい配合・技術に注目し、研究を行っています。

さらに、土木学会の「岩盤斜面防護用吹付けコンク

リート研究小委員会」(委員長：熊谷守晃、開発土木研究所材料研究室室長)や北海道土木技術会コンクリート研究委員会の「ショットクリート小委員会」(委員長：熊谷守晃)に参加するなどして、吹付けコンクリートの発展に寄与しています。(文責：山崎)

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：コンクリート便覧 [第二版]、1996.2
- 2) 土木施設防災工法研究会：のり面及び斜面災害復旧工法、1986.9
- 3) 日本材料学会 土質安定材料委員会：斜面安定工法、1979.4
- 4) 高谷 精二：のり面保護工の基礎と応用、1992.9
- 5) 新田 伸三、小橋 澄治：土木工事ののり面保護工、1970.1
- 6) 全国特定法面保護協会：のり枠工の設計・施工指針、1995.10
- 7) 土木学会：トンネルコンクリート施工指針(案)、2000.8
- 8) 山崎 勲、吉田 行、熊谷 守晃：岩盤の風化防止を目的とした吹付けコンクリートのフレッシュ性状、土木学会北海道支部 論文報告集 第56号、2000.2
- 9) 吉田 行、山崎 勲、熊谷 守晃：岩盤の風化防止を目的とした吹付けコンクリートの硬化特性、土木学会北海道支部 論文報告集 第56号、2000.2
- 10) 吉田 行、山崎 勲、嶋田 久俊、熊谷 守晃：岩盤の風化防止を目的とした吹付けコンクリートの諸特性、開発土木研究所月報、2000.9