

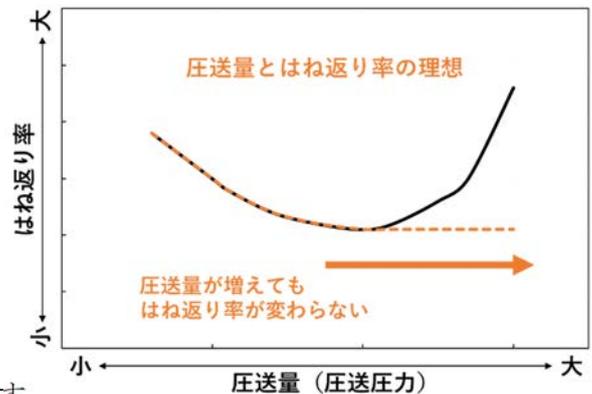
管内圧力損失に着目した吹付けコンクリートの生産性向上の事例

大成建設株式会社 九州支店 正会員 ○福島 淳平
 大成建設株式会社 九州支店 正会員 文村 賢一
 大成建設株式会社 技術センター 社会基盤技術研究部 正会員 白井 達哉

1. はじめに

本報は、大分 212 号跡田トンネル(東工区)新設工事において実施した山岳トンネル工法における吹付けコンクリート工の生産性向上事例を紹介するものである。跡田トンネル(東工区)新設工事は全長 1093m の山岳トンネル工事であり、本報のデータは No.413+5.0m～No.428+8.9m 間の延長 303.9m、掘削断面積 108 m²(支保パターン:CII)における施工実績に基づくものである。一般的に、山岳トンネル工事における吹付けコンクリート工は「吹付けコンクリート指針(案)【トンネル編】」¹⁾によると設計強度が 18N/mm² の場合、スランプが 8～12cm のベースコンクリートを用い、コンクリートポンプ(最大吐出量 25～30m³/h)で配管圧送しつつ、配管途中で圧縮空気と急結剤を管内に混入させて地山面に吹き付けるものである。但し、1 時間当たり施工量(コンクリート吐出量)は、12m³/h 程度に設定することが多い。これは、吐出量を 12m³/h よりも増加させると、吐出されるベースコンクリートの脈動が大きくなることやはね返りが大きくなってしまったためである(図-1)。つまり、従来の吹付けコンクリート工は、コンクリートポンプ吐出量能力の 50%程度で施工しており、生産性向上に取り組むべき課題が残されていた。

なお、本工事における穿孔～ロックボルト工(支保パターン:CII)1 サイクル当たりの平均的な施工時間(以後、サイクルタイム)は、7 時間 12 分であり、その内、吹付けコンクリート工は 2 時間 6 分である。つまり、吹付けコンクリート工は、サイクルタイムの約 30%(図-2)を占めており、吹付けコンクリート工の生産性を向上させて施工時間を短縮することは、サイクルタイムの短縮に大きく寄与することが見込まれた。

図-1 圧送量とはね返り率との関係の概念¹⁾

2. 吹付けコンクリート生産性向上手法

生産性向上の方法として、はね返り率をキープしつつ吹付けコンクリート吐出量を従来の 12m³/h から 20m³/h に増加させることで、生産性の向上を目指した(図-1)。従来、吹付けコンクリート吐出量が 12m³/h に抑制されている原因は、生コンクリートをポンプ圧送する過程において、管内圧力損失が生じ、コンクリートポンプ圧送圧がポンプ最大圧送負荷に達することによるものであること、吐出量を増加させた場合、ベースコンクリートの流動性が不足し、吹付け時の跳ね返りがおおきくなるためであると想定した。ここで、コンクリートポンプ最大圧送負荷(P_{max})は、式(1)で与えられる²⁾。

$$P_{max} = (\text{水平管 1m 当りの管内圧力損失}) \times (\text{水平換算距離}) \quad (1)$$

式(1)によれば、コンクリートポンプ最大圧送負荷を低減させるためには、水平管 1m 当りの管内圧力損失を低減すること、あるいは水平換算距離を低減させる事の 2 つの方法が考えられる。しかし、単純に圧送性を改善したスランプの大きな配合では、吹付けコンクリートと地山が一体化するのに必要な付着性能が損なわれる。そのため、高性能減水剤を使用し、スランプ(スランプフロー)の大きさが異なる配合を用いて、吹付け性状を確認した。



図-2 サイクルタイム

キーワード：吹付けコンクリート、生産性向上、管内圧力損失

連絡先：〒871-0311 大分県中津市本耶馬溪町跡田字北代 233-1 大成・森本特定建設工事共同企業体

表-1 吹付けコンクリートにおけるベースコンクリートの配合

記号	強度 [N/mm ²]	W/B [%]	SL [cm]	SF [mm]	s/a [%]	Unit [kg/m ³]					
						W	C	FA	S	G	Ad
改良前	18	54	10±2.0	-	60	195	288	123	970	721	-
改良1	18	54	18-23	350~430	60	195	288	123	970	721	B×(0.65~0.8)
改良2	18	54	-	500	60	195	288	123	970	721	B×1.0

※FAはセメントの20%置換, Sの5%を置換

2.1 ベースコンクリートのスランプの最適化

はね返りが大きくなることなく吐出量を増加することができる最適なスランプの大きさを把握するために、スランプの異なる3配合の吹付け性状を確認した。スランプの調整はSP(P社製吹付けコンクリート用高性能減水剤)で行い、コンクリートの粘性が低下し材料分離しないように留意した配合となっている。吹付け性状を確認した結果、スランプが小さい配合では、吐出量を大きくするとコンクリートの流動性が不足し、はね返りが大きくなった。一方でスランプが大きい23cm(スランプフロー500mm程度)の配合では、流動性が高すぎるため地山への付着がよくなりはね返り率が大きくなった。スランプが18-20cm(スランプフロー380-400mm)程度であれば、吐出量を増加させても、はね返りが大きくなることなく生産性を向上させることができることが明らかになった(図-3)。これにより、管内圧力損失を33%低減することができた。

2.2 水平換算距離の低減

ベースコンクリートのスランプの最適化に加え圧送前後のコンクリートの性状変化をできる限り小さくするために水平換算距離の低減を試みた。ベースコンクリートの圧送配管先端のフレキシブルホースの径を2.5インチから3インチに変更してホース径を大きくするとともに、吹付け時の操作性に影響がない範囲としてフレキシブルホース長を3m短くした。これにより水平換算距離を約20m低減することができた。

3. 吹付けコンクリート生産性向上結果

ベースコンクリートのスランプの最適化とコンクリート配管水平換算距離を低減し、コンクリート圧送時のポンプ負荷を低減させつつ、付着性状を確保することによって、吹付コンクリート吐出量を12m³/hから20m³/hに増加させることが可能となった。これにより単位時間当たり施工量を増加させることができ、吐出量を1.7倍に増加させてサイクルタイムを短縮し、生産性を向上させた。その結果、吹付コンクリートの施工時間は、改善前は平均2時間6分に対し、1時間40分となり26分短縮することができサイクルタイムが改善された。

4. まとめ、今後の展望

本報では、ベースコンクリートのスランプの最適化、水平換算距離の低減により、吹付けコンクリートのサイクルタイムを短縮し、生産性を向上させた事例を紹介した。また、吹付コンクリートの生産性向上に際しては、はね返り率を抑制して施工数量を低減させる方法や、余掘りを低減することで余吹き量を減らし、施工数量を低減する方法なども考えられる。前者は、ベースコンクリートの粘性・流動性とポンプ圧力によって決定されていると想定され、後者は、穿孔精度や地山に適した穿孔パターン・装薬量によって決定されるものと想定される。今後は、これらの課題についても研究を進め、山岳トンネル工法の生産性向上に努めていきたい。

参考文献

- 1) 土木学会「コンクリートライブラリー121号 吹付けコンクリート指針(案)」, 2005.7
- 2) 土木学会「コンクリートライブラリー135号 コンクリートのポンプ施工指針」, 2012.6

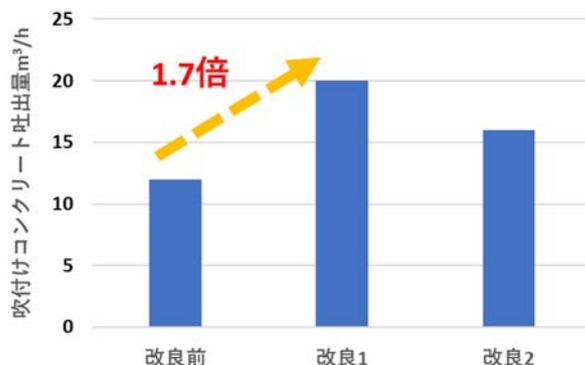


図-3 コンクリート吐出量(配合変更毎)