

吹付けコンクリートの高速施工に向けた初期強度発現に与える各種影響に関する検討

鹿島建設(株) 正会員 ○手塚康成 松本修治 犬塚隆明 岩野圭太

1. はじめに

近年では山岳トンネルにおける掘削の高速化¹⁾に関する検討が進められており、それに伴い吹付けコンクリートの高速施工が望まれている。高速施工を図るためには、吹付けコンクリートの時間当たりの吐出量を増やすことが有効ではあるが、コンクリートポンプの脈動が大きくなり圧送性を向上させなければ配管閉塞の危険性が高まる。圧送性を向上させるためには、吹付けコンクリートの流動性の指標であるスランプ(以降、SLと称す)を一般的な8~12cm²⁾より大きく設定しておくことが好ましいが、SLを大きくすることで初期材齢における強度発現が遅延し、リバウンドの増加などが懸念される。そこで、本稿では、実規模の吹付け実験により、吹付けコンクリートのSL、環境温度および吐出量が初期強度に及ぼす影響について検討した結果を報告する。

2. 実験概要

表-1に使用材料、表-2に吹付けコンクリートの配合を示す。配合は、単位水量を200 kg/m³、単位セメント量を400kg/m³とした。なお、高性能AE減水剤(以降、SPと称す)の量はSLごとに調整した。表-3に実験ケース、表-4に試験項目および試験方法を示す。SL、環境温度および吐出量を要因として実験を行った。SLを要因とした実験は、標準に一般的な吐出量の範囲²⁾となる14 m³/hの条件で、SLを一般的な値より大きい24、20および16 cmの3水準で行った。環境温度を要因とした実験は、吐出量14m³/h、SL24cmの条件で、夏期、標準および冬期の3水準で行った。夏期、標準および冬期の環境温度はそれぞれ34、20および8°C程度とした。吐出量を要因とした実験は、冬期にSL24cmの条件

で、一般的な吐出量から増やした20、18および14 m³/hの3水準で行った。また、プリアウト試験の材齢は、SLを要因とした実験では、15、60および180分とし、初期強度への影響が大きいと考えた環境温度および吐出量を要因とした実験は、5分、15分、30分、60分および180分とした。なお、湿式吹付け方式で液体の急結剤と粉体の助剤を用いる工法とし、既報³⁾の自動吹付け検討の一環でノズルの位置、振り角などを自動制御で一定として行った。

3. 実験結果

表-5に各水準における吹付けコンクリートのフレ

表-1 使用材料

種類	記号	摘要
水	W	水道水
セメント	C	普通ポルトランドセメント、密度：3.16g/cm ³ 、比表面積3,340cm ² /g
細骨材	S	富士川中流域産川砂、表乾密度：2.63g/cm ³
粗骨材	G	6号砕石 山梨県南部町、表乾密度：2.66g/cm ³
混和剤	SP	高性能減水剤 ポリエレンゴリコール系高分子化合物
急結剤	LSA	液体急結剤：水溶性アルミニウム塩系水溶液
	USS	粉体助剤：カルシウムサルファアルミネート系

表-2 吹付けコンクリートの配合

Gmax (mm)	SL (cm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					C×%	
					W	C	S	G	SP	LSA	USS
13	16~24	3.0	50.0	65	200	400	1100	599	2.6~4.0	8	4

表-3 実験ケース

Case	要因	水準	その他条件
1	SL(cm)	24, 20, 16	吐出量14m ³ /h, 標準
2	環境温度	夏期, 標準, 冬期	吐出量14m ³ /h, SL24cm
3	吐出量 (m ³ /h)	20, 18, 14	冬期, SL24cm

表-4 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
スランプ	JIS A 1101 コンクリートのスランプ試験方法
空気量	JIS A 1128 フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法
コンクリートの温度	JIS A 1156 フレッシュコンクリートの温度測定方法
プリアウト試験	JSCE-G 561 引抜き方法による吹付けコンクリートの初期強度試験方法(同解説より、推定圧縮強度は、引抜き強度の4倍とした)

キーワード 山岳トンネル, 吹付けコンクリート, 初期材齢, 圧縮強度

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-485-1111

ッシュ試験結果一覧を示す。SLは設定した中心値 $\pm 2.5\text{cm}$ 、空気量は $3.0\pm 1.5\%$ に調整した。それぞれの実験でのコンクリート温度および外気温の測定結果は表中に示したとおりである。

図-1にSLと材齢ごとの推定圧縮強度を示す。SLを要因とした実験での吹付け状況は、いずれのSLも有意な差はなく、良好に付着する状況が確認できた。3つの供試体でのプルアウト試験結果を平均した推定圧縮強度は、材齢15分、60分ではSLの違いに差はないものの、材齢180分ではSL24cmのものは、SL20cm、16cmに比べ、 0.5N/mm^2 程度低くなった。これは、吹付けコンクリートが付着した直後は、急結剤の効果が卓越してSLの差は生じていないものの材齢180分になると、SP量の多いSLの大きいケースに凝結遅延の影響が顕在化したものと考えられる。

図-2に環境温度と材齢ごとの推定圧縮強度を示す。環境温度を要因とした実験での吹付け状況は、ばらつきはあるものの、夏期、標準に比べコンクリートの温度が低い冬期の方が付着しにくい状況が確認できた。コンクリート温度、外気温が高い時期ほど、各材齢における推定圧縮強度が高くなることを確認できる。これは、急結剤の性能は温度依存性が高いため、コンクリート温度の変動が影響しているものと考えられる⁴⁾。

図-3に吐出量と材齢ごとの推定圧縮強度を示す。吐出量を要因とした実験での吹付け状況は、吐出量が高くなるにつれて、吹付け面に強く衝突する状況が確認できた。吐出量 $20\text{m}^3/\text{h}$ における各材齢の推定圧縮強度は、吐出量18、 $14\text{m}^3/\text{h}$ の結果と比べ、高くなる傾向が確認できる。これは、吐出量が高くなることで、吹付け時の圧力が高まり、コンクリートが圧密されているものと考えられる。

4. まとめ

吹付けコンクリートの高速施工を実現させるためにSLを一般的な値より大きく設定したうえで吐出量を増やして実規模実験を行った結果、温度の依存性はあるものの、スランプや吐出量の初期強度への影響はほとんどないことが分かった。しかし、一検討結果であり、長期強度も含め、今後も検討が必要である。

参考文献

- 1)金澤博, 西恭彦, 野々村政一, 西崎晶士:初期高強度吹付け支保を用いたNAIMの高速掘進施工に関する研究, 土木学会論文集F, Vol.66, No.3, PP.447-458, 2010.9.
- 2)土木学会:吹付けコンクリート指針(案)[トンネル編], PP.44-62, 2005.
- 3)犬塚隆明, 岩野圭太, 松本修治, 松村匡樹:山岳トンネルにおける吹付けコンクリートの自動化, 土木学会第74回年次学術講演会, VI-1080, 2019.
- 4)門田克司, 丸川真一, 西江寛次, 松田敦夫, 小西正郎, 岩本容昭, 寺本丈夫, 高橋正:凝結遅延材を用いた吹付けコンクリートの季節毎の特性, 土木学会第55回年次学術講演会, V-222, 2000.

表-5 各水準におけるフレッシュ試験結果一覧

要因	水準	SP量 (C*%)	SL (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	外気温 (°C)
SL (cm)	24	1.00	26.5	3.5	21	16
	20	0.83	19.0	3.4	20	17
	16	0.65	15.0	4.0	21	18
環境温度	夏期	1.10	24.0	3.2	34	34
	標準	1.00	22.0	4.0	26	22
	冬期	0.90	24.0	4.4	14	10
吐出量 (m ³ /h)	20	0.90	23.0	3.9	12	8
	18	0.90	22.0	4.4	12	8
	14	0.90	22.0	3.5	12	8

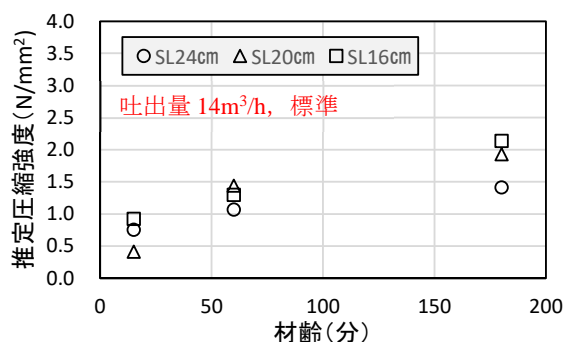


図-1 SLと材齢ごとの推定圧縮強度

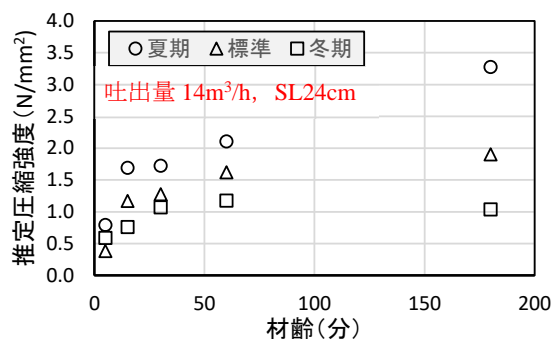


図-2 環境温度と材齢ごとの推定圧縮強度

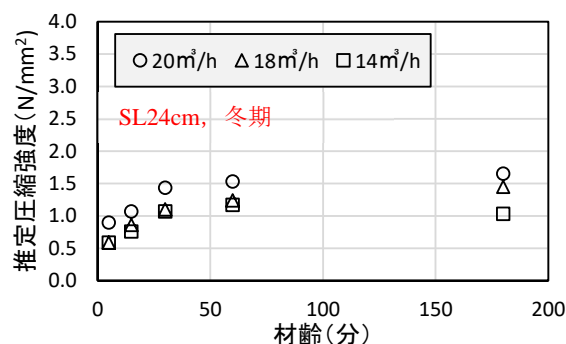


図-3 吐出量と材齢ごとの推定圧縮強度