

吹付けコンクリートの速度分布測定

○熊谷組 技術研究所 正会員 石関嘉一
 青木建設 研究所 正会員 駒田憲司
 佐藤工業 土木本部 正会員 小林裕二
 東京大学 生産技術研究所 正会員 西村次男
 東京大学 生産技術研究所 フェロー会員 魚本健人

1. はじめに

現在、NATM 工法の主要な支保部材である吹付けコンクリートは、様々な研究開発がなされている。しかしながら施工性に関する研究は十分に行われていない。特に、吹付け速度や圧送空気流量の管理は、施工者の経験に委ねられているのが現状である。本研究は、吹付けノズルから衝突面までのコンクリート速度に注目し、吹付け速度を計測する目的で高速度ビデオカメラを用いてノズル先端から噴出するコンクリート粒子を撮影した。それらの画像を解析することにより、吹付けコンクリートの粒子速度および乱流強度を計測できることが確認できた。

2. 実験概要

2. 1 諸条件および撮影方法

配合を表-1、吹付け設備および吹付け条件を表-2に示す。使用材料および配合は通常吹付け施工に用いる標準的なものを用いた。吹付け機はロータリー式空気圧送方式を使用し、吹付け設備および吹付け条件は通常トンネル施工に用いる一般的なものとした。空気流量は2水準（9.5 m³/min：脈動が発生し閉塞する危険性がある、12.0 m³/min：安定した吹付けができる）とし、空気流量が吹付け速度にどの様に影響を及ぼすか検討した。

高速度ビデオ撮影は、コンクリートの吐出状態が安定し空気流量が目標値に達した後5秒程度行った。シャッタースピードは1/6000秒とし、メモリの容量を考慮して1秒あたり500コマの画像をデータとして取り込んだ。

2. 2 解析方法

吹付け可視化画像および解析範囲を図-1に示す。また、連続するT0、T1時刻の可視化画像を図-2に示す。吹付けコンクリートの速度解析は、濃度相関法をベースとした粒子追跡法を用いて行った。一般に粒子追跡法は次の2つのステップ処理で構成される。まず、可視化画像から粒子を検出する走査を実施する。次に検出された粒子を図-2に示すとおり、連続する時刻T0、T1間で追跡し、移動距離および方向から粒子速度を計測する。これらの操作を可視化画像の全領域で実施し、検出されたすべての粒子およびすべての時刻間に対して行い吹付けコンクリートの速度分布を求めた。また、コンクリート粒子の流れの乱れをはかる指標として、式-1を用いて乱流強度を算出した。

表-1 配合

水セメント比(%)	細骨材率(%)	単位量 (kg/m ³)		急結剤添加率(c×%)	SL (cm)	Air (%)
		セメント	水			
56.9	60.0	360	205	7.0	12	2

表-2 吹付け設備および吹付け条件

吹付け機械	・ロータリー式空気圧送方式 (コンプレッサー容量 19m ³ /min)
急結剤添加装置	・粉体空気圧送方式 (コンプレッサー容量 5m ³ /min)
ノズル部	・クローラ搭載型マニピレータ
配管条件	・圧送ホース径：φ65mm ・コンクリート圧送ホース長：22.6m ・急結剤圧送ホース径：φ19mm ・急結剤添加位置：ノズルから 2.6m
吐出量	・8.0m ³ /hr
吹付け距離	・1.5m (吹付面とノズル先端の距離)
圧送空気流量	・2水準：12m ³ /min, 9.5m ³ /min

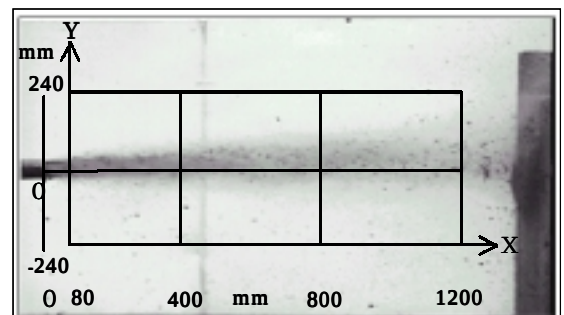


図-1 吹付け可視化画像および解析

キーワード：吹付けコンクリート、速度、乱流強度、空気流量、高速度カメラ

連絡先：茨城県つくば市鬼ヶ窪 1043(株)熊谷組技術研究所 TEL0298-47-7501 FAX0298-47-8507

$$T_{i,j} = \frac{\sqrt{\sum_{t=1}^N (u_{i,j,t} - U_{i,j})^2 + \sum_{t=1}^N (v_{i,j,t} - V_{i,j})^2}}{N} \quad \text{---式--- 1}$$

$T_{i,j}$: 乱流強度

$U_{i,j}, V_{i,j}$: X, Y 方向の時間平均速度

$u_{i,j}, v_{i,j}$: X, Y 方向の瞬間速度

N : 速度データ数

T0

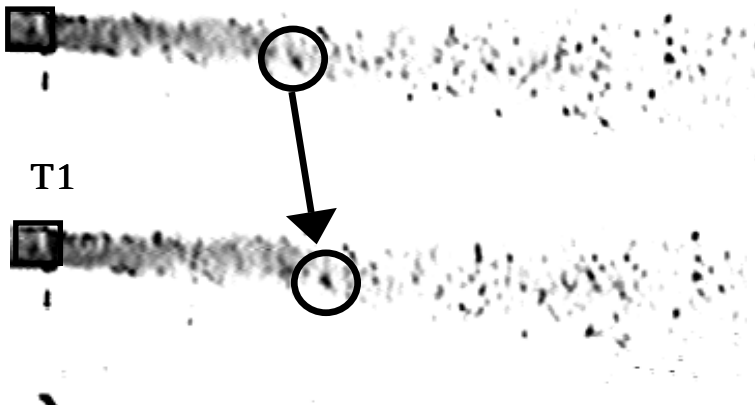


図-2 連続する T0, T1 時刻の可視化画像

3. 解析結果

図-3 (1) ~ (3) にノズル中心位置 ($Y=0$), $X=0.4\text{m}$ (ノズル付近), $X=1.2\text{m}$ (付着面付近) それぞれの粒子速度および乱流速度分布を示す。図-3 (1) において空気流量 $12.0\text{m}^3/\text{min}$ (以下 12.0m^3) はノズル付近から付着面までほぼ一定の速度を保っているのに対して、空気流量 $9.5\text{m}^3/\text{min}$ (以下 9.5m^3) はノズル付近からほぼ比例的に速度が低下していることが分かる。また、乱流強度はコンクリート速度が低下することにより上昇することが分かる。図-3 (2) から速度は 12.0m^3 , 9.5m^3 とともにほぼ様な分布を示し、乱流強度も $Y=\pm 0.2\text{m}$ 付近で高い値を示しているものの中心位置では 2.5m/s 程度と低い値を示している。しかし、図-3 (3) において、 12.0m^3 は一様な速度分布を示し、乱流強度も中心位置で低い値を示しているのに対して、 9.5m^3 は中心位置の速度分布が乱れ、乱流強度も 8.5m/s 程度と高い値を示している。つまり吹付け速度が一定速度より遅い場合、エネルギー損失は大きくなることが分かる。これらの原因として、速度低下によりコンクリートの流れ中に逆流をともしう循環領域が多数発生したためであると考えられる。

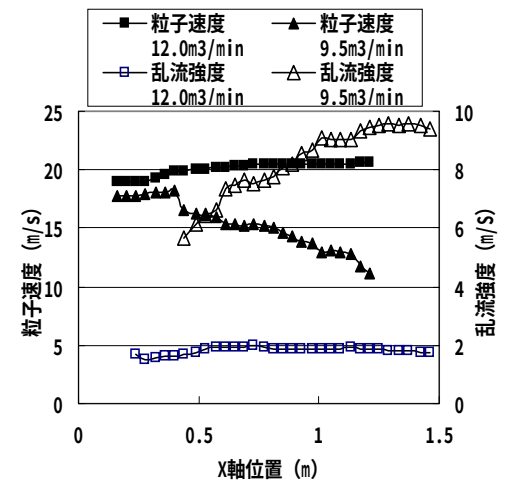
4. まとめ

- (1) 高速度ビデオカメラを使用することにより、吹付けコンクリートの速度分布が測定できる。
- (2) 吹付け速度が遅い場合、エネルギー損失は大きくなる。

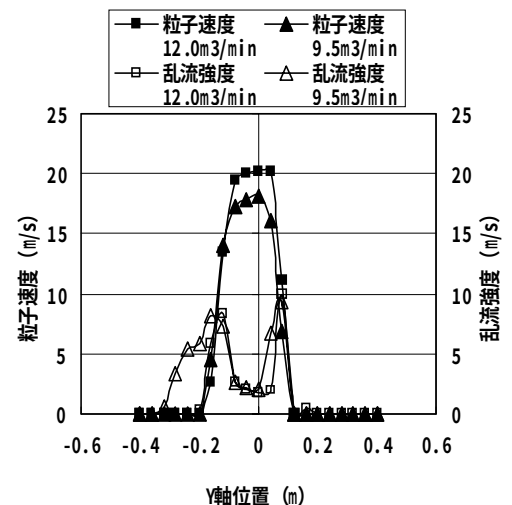
参考文献

1) 佐賀ほか: 濃度相関ベースの粒子追跡法の改良, 可視化情報 (札幌 2000) 講演論文集 vol.200, suppl. No2,

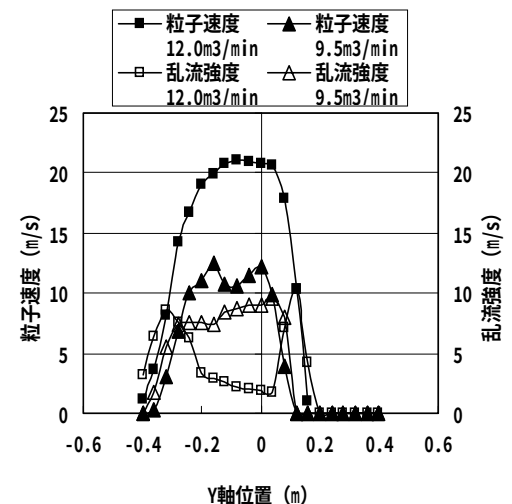
謝辞: 本研究は、東京大学国際・産学共同研究センターにおける共同研究「高品質吹付けコンクリートの開発」の成果であり、関係各位の御協力に感謝いたします。



(1) ノズル中心位置



(2) $X=0.4\text{m}$ 位置



(3) $X=1.2\text{m}$ 位置

図-3 粒子速度および乱流強度