

吹付けモルタル工法における締固め度とたれ発生の予測に関する研究

大分高専 正会員○一宮 一夫，大分高専専攻科 学生員 藤川 隆太
(株) さとうベネック 正会員 蒲生 和久， 同 左 正会員 財津 公明

1. はじめに

吹付けモルタル工法は，橋梁床版の補修・補強に広く用いられているが，締固め度やたれ発生の予測に必要となる吹付けメカニズムの解明には至っていない。そのため，作業者の経験を主体とした施工法に依存しており，施工後の品質確保が問題となっている。また，施工現場ごとの個別の要求に対応できる製品開発においても吹付けメカニズムの解明は不可欠である。

そこで本研究では，モルタルの締固め度やたれの発生をモデル化して吹付けメカニズムを説明するとともに，実験で理論の適合性を検討した。

2. 吹付けに関する基礎理論

(1) 吹付け条件とモルタルの締固め度の関係

密度 ρ の噴流が乱れることなく定常的に速度 v で噴出されており，運動エネルギーが圧力に変換されたと考えると，物体表面に及ぼす衝撃圧 (p) は，ベルヌーイの定理より式 (1) となる。

$$p = \rho \cdot v^2 / 2 \tag{1}$$

一方，吹付けモルタル工法では図 1 のようにノズルから角度 θ で吹き出されるため， θ や吹付け距離 (L) が大きいほど p は小さくなる。しかし，実際には θ や L の範囲は限定されていることから両者の影響は小さく，主に v により締固め度が決まると考えられる。

(2) モルタルの流動性とたれの関係

図 2 は垂直面に右方向から吹付け厚 h でモルタルを吹付けた場合を示したものであり，せん断応力 $\tau < \text{降伏応力 } \tau_y$ となる h の範囲ではたれは発生しない。式 (2) は垂直面からの距離 x におけるせん断応力の計算式で， τ と τ_y の比較からはたれ発生の他にも最大吹付け厚の予測も可能である。

$$\tau = \rho \cdot g(h - x) \tag{2}$$

3. 実験概要

吹付け条件とモルタルの締固め度の関係のうち，吹付け距離が強度に影響しないことを確認するための実験（以下，強度実験とする）を行った。また，モルタルの流動性を降伏応力で表して，降伏応力とたれ発生の関連性を調べた（以下，たれ実験とする）。

モルタルは，表 1 のプレミックスタイプのポリマーセメントを表 2 の配合で練混ぜ，湿式で吹付けた。モルタルの流動性は，吹付けモルタルの品質管理用として一般に使用されているフロー値に加えて降伏応力でも評価した。降伏応力は，軟弱な粘性土のせん断強さの測定に用いられているベーンせん断試験機を用い，式 (3) で算出した²⁾。

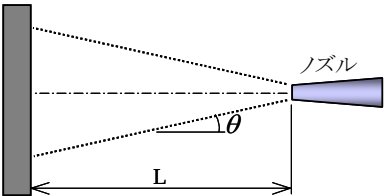


図 1 モルタルの吹付け状況

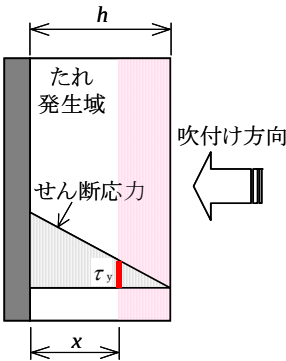


図 2 たれの発生条件

表 1 ポリマーセメントの主要構成材料

主要成分	質量比(%)
特殊セメント	48.7
骨 材	49.9
有機質混和材	1.1
有機質短繊維	0.3

表 2 実験条件

		強度実験			たれ実験		
吹付け距離 (cm)		10, 30, 60, 90			10, 30		
吹付け圧力 (MPa)		0.7			0.7		
モルタル	W/C (%)	18	20	25	16.5	18	20
	フロー値 (mm)	164	183	219	148	164	183
	τ_y (Pa)	1086	504	151	1965	1086	504

$$\tau_y = M_{\max} / \pi(D^2 H / 2 + D^3 / 6) \quad (3)$$

ここに、 τ_y ：降伏応力 (Pa)， $M_{\max}$ ：最大回転モーメント (Nm)， D 、 H ：ベーン幅と高さ (m)

強度実験用供試体は、床に置いた化粧合板製型枠 (30×30×4cm) に上方向からモルタルを垂直に吹付け、硬化後にカッターを用いて 4×4×16cm にした。強度は JIS R 5201 に準拠して曲げ・圧縮強度を測定した。なお、脱型は打込み後 24 時間で行い、材齢 7 日まで標準養生をした。

たれ実験では、舗装用コンクリート平板 (30×30×6cm) をサンドペーパー (No. 150) で表面研磨し、縦置きに設置した平板に水平方向から 10 秒間吹付けた。

4. 実験結果

(1) 強度実験

図 3 に W/C=25% の吹付け距離と強度の関係を示す。図のように吹付け距離による強度変化はほとんど見受けられない。他の W/C の場合も同様な結果であり、吹付け距離がモルタルの締固め度に与える影響はほとんど無いことを確認した。

(2) たれ実験

図 4 にたれ発生状況として吹付け面の正面画像と垂直中央断面の層厚分布を示す。たれは、いずれの吹付け距離においても W/C=18% と 20% で発生しており、たれ発生を決定する τ_y の限界値が $\tau_y=1086 \sim 1965$ Pa 間にあると考えられる。

いま、W/C=16.5% の場合（最大層厚 4～5cm）に対して式 (2) を適用すると、モルタル密度 $\rho=2.2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ の場合は $h-x=4\text{cm}$ では $\tau=862\text{Pa}$ 、 $h-x=5\text{cm}$ では $\tau=1078\text{Pa}$ となり実験結果よりもわずかに小さいもののほぼ同水準となった。以上の結果から、今後モデル化や降伏応力の測定方法などを精査することたれ発生予測が可能となると考えられる。

また、W/C=16.5% の距離 10cm では吹付け完了後に、W/C=20% の距離 30cm では吹付け完了直前に壁面に沿ってモルタルが落下した。前者は層厚が大きくなるために、平板とモルタル界面の付着が切れたことが原因で、後者は τ_y が小さいために平板との付着力も小さいことが原因と推察される。このことから、最大吹付け厚推定の際には、たれ以外にもモルタルと平板との付着力も重要な要因であることが分かった。

5. まとめ

本実験の結果をまとめると以下のようである。

- (1) 吹付け距離は締固め度にほとんど影響しない。また、締固め度に影響する最大要因は吹付け速度である。
- (2) 降伏応力とせん断応力の大小関係でたれ発生や最大吹付け厚の予測ができる。
- (3) 最大吹付け厚を推定する際には、たれ以外にもモルタルと平板との付着力も考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 八尋暉夫：最新ウオータージェット工法，鹿島出版会
- 2) 一宮一夫ほか：ポリマーセメントモルタルのコンシステンシー評価に関する基礎的実験，土木学会第 59 回年次学術講演会概要集 V，pp.118-119，2004. 9

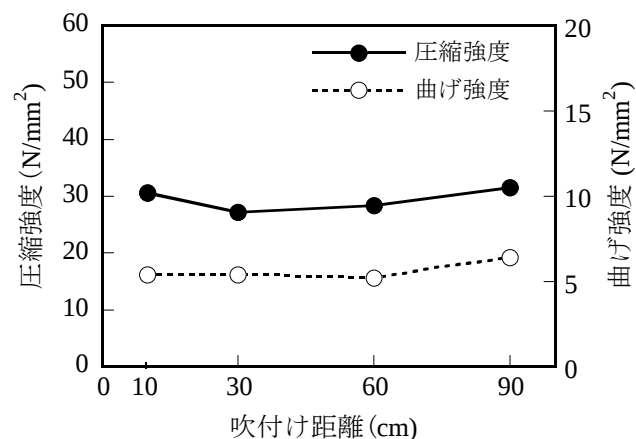


図 3 吹付け距離と強度の関係 (W/C=25%)

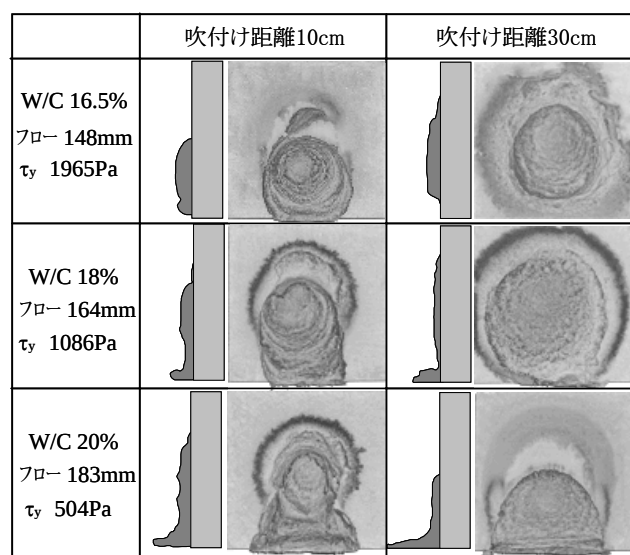


図 4 たれ発生状況