

V-240 吹付けコンクリートの施工シミュレーションに関する基礎的研究

東京大学大学院 学生会員 牧 剛史
 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

吹付けコンクリート工法は、型枠を用いる必要がなく、急結剤を添加したコンクリートを壁面に直接吹付け、壁面と密着した被覆を形成して付着力や軸力を発揮する支保としての役割を期待する工法であり、おもにトンネルの一次覆工や掘削のり面の補強等に用いられている。現在まで吹付けコンクリートに関する研究として、作業環境の改善や品質変動の抑制、および経済性の向上を目的とした粉じんとはね返りの低減、および大断面トンネルの急速施工を可能とするための吹付け機械や各種混和剤の技術開発が主に行われている。これらの研究においては、吹付け機械から射出され、壁面に付着する物理的現象の解明を行っておらず、非常に多くの実験的事実に伴った定性的見解しか得られていない。そこで、本研究では吹付けコンクリートの施工シミュレーションのための基礎的研究として、セメントペーストと粒状体（細骨材・粗骨材）との付着現象を理論的に解析し、ペースト部の付着力や粒子の粒径が現象に及ぼす影響を把握することを目的としたものである。

2. 理論解析の概要

付着特性に影響を及ぼすと考えられるパラメータは図1に示す通りであるが、この中で(2)～(3)は(1)の速度に影響を及ぼし、(5)～(6)は(4)の骨材粒径によって決定されると考えられる。そこで本研究では図1に示すように、吹付け面と接触する直前の骨材の鉛直速度成分・骨材粒径・ペーストの付着係数の3つをパラメータとして、理論解析を行った。なお、(8)以下の条件については、今回の研究では検討していない。また、解析では細骨材・粗骨材を完全な球形として扱い、比重は 2.7g/cm^3 としている。さらに、吹付け面の角度については地面に対して垂直な面を仮定している。

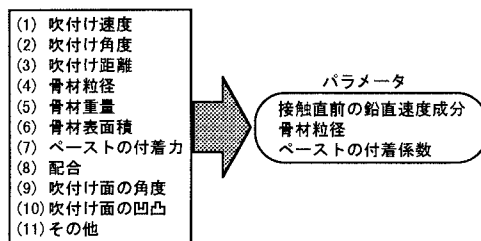


図1 本研究で用いたパラメータ

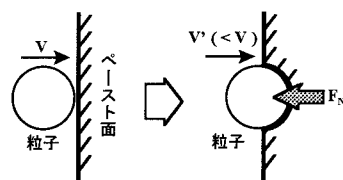


図2 ペースト面への衝突時のモデル

3. 理論解析方法と結果

3. 1 骨材の速度成分とリバウンドとの関係

まず、粒子が鉛直なペースト面に衝突して付着する現象を解析し

た。付着面に対する粒子の垂直速度成分 V と粒子がペーストから受ける抵抗力 F_N との関係は式(1)のように表されると仮定する。

$$m \cdot V = F_N \cdot \Delta t \quad (1)$$

ここで、

m : 粒子の質量、 Δt : 衝突時間

さらに、抵抗力 F_N は粒子の表面積に比例すると仮定し、その比例定数を付着係数 f とする。粒子の質量や表面積は粒径から求められるので、これらの仮定より衝突直前の速度成分 V と粒子の粒径および付着係数の関係を得ることができる(図3)。

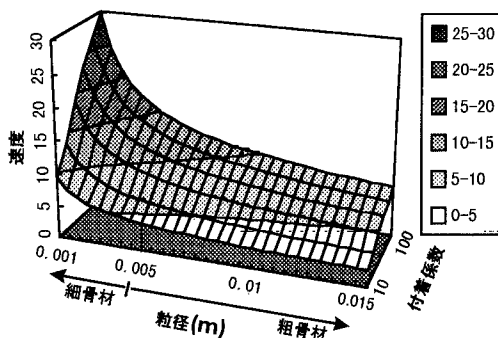


図3 リバウンドしない最低衝突速度

この図より、粒径に関わらず、付着力が大きいほど概して最低衝突速度は大きくなり、また、粒径が小さいほど速度は大きくなる。特に、粒径の小さい細骨材は、付着力が大きければかなりの高速で衝突してもリバウンドせずにペーストに付着するが、粒径の大きい粗骨材は、たとえ付着力が大きくても、やはり低速でなければ付着しないことが判明し、実際の施工において経験的に知られている現象を見出すことができた。

3.2 付着後の粒子の層内落下

次に、ペーストに付着した後の粒子の挙動をとらえるために、ペースト層内での重力による影響を検討した。ペースト中の粒子には、図4に示すように鉛直下向きの重力と鉛直上向きの付着力が働くと考えられる。ここで、粒子に作用する付着力は、3.1と同様に粒子の表面積に比例すると仮定している。

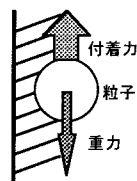


図4 ペースト層内における粒子のモデル

ペーストの付着係数を変化させたときの、粒子の粒径と粒子に作用する重力および付着力の関係を図5に示す。この図において、重力の曲線が付着力の曲線を越える粒径を境に、それ以上の粒径を持つ粒子は、ペースト内において下方へ落下することを意味している。また、図6は各付着係数について（重力 > 付着力）となる粒径を求め、それらの関係を示したものであるが、付着係数が大きいほど、ペースト層内で落下する粒子の粒径が大きくなることを示している。なお、ここでは粒子が完全に層内に埋まっている状態を検討したために、グラフが直線となったが、部分的に層から突出した状態では、異なった形のグラフとなると考えられる。

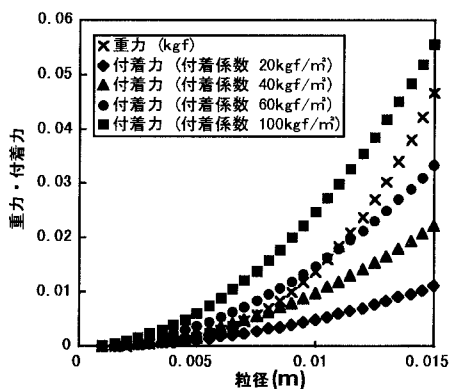


図5 各粒子に作用する重力および付着力

3.3 施工シミュレーションへの拡張可能性

今回は施工シミュレーションのための基礎的研究として、限られたケースについてのみの解析を行ったが、これらの結果から、理論解析を行うことで、ペーストと粒子との付着性状の把握が可能であると考えられる。このような解析を様々なケースについて行い、さらに全体的な吹付けコンクリートの施工シミュレーションへの拡張が可能であると思われる。

4. まとめ

本研究の結果をまとめると、以下のようになる。

①骨材を球形の粒子と仮定して理論解析を行うことにより、付着力が大きいほど、また、粒径が小さいほど高速吹付けが可能であることが数値的に明らかとなった。また、ペースト層内での落下を生じない付着係数と粒径の関係が明らかとなった。

②本研究を基礎的研究として、多くのケーススタディを行うことで、吹付けコンクリートの全体的な施工シミュレーションへ拡張できる可能性がある。

今後は、本研究で操作した以外のパラメータも変化させて、様々なケースのシミュレーションを行う予定である。

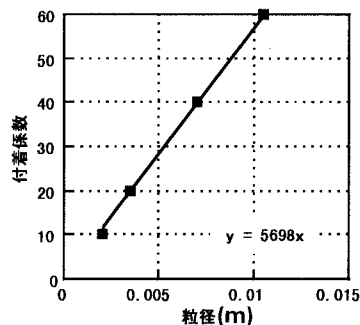


図6 層内落下を生じない付着係数と粒径の関係

参考文献

- 1) トンネルの吹付けコンクリート、(社)日本トンネル技術協会、1996.2
- 2) 中村敏夫他、トンネルの吹付けコンクリート、コンクリート工学、Vol.31, No.3, 1993.3