

プロクター貫入抵抗による吹付けコンクリートの急結性評価

太平洋セメント(株) 中央研究所 正会員 小川 洋二
 同 上 正会員 山本 盛男
 同 上 正会員 杉山 彰徳
 同 上 正会員 大森 啓至

1. まえがき

トンネルの吹付けコンクリートにおいて最も重要な性能は、壁面や天井に吹き付けられたコンクリートが付着して剥落しないことである。湿式吹付け方式では、ポンプで圧送されたベースコンクリートが吹付けノズルから吐出される直前に急結剤が添加される。急結剤と一体となったコンクリートは、岩盤に吹き付けられるまでに付着し自立する急結性を発現しなければならない。

急結性を評価する方法にはプロクター貫入抵抗試験があり、土木学会基準にも急結剤の品質管理試験法（JSCE-D102-2001）として採用されている。しかし、現行の基準では急結剤の満足すべき品質の目安が示されているのみであり、吹付けコンクリートが剥落することなく自立するかは評価できない。

そこで本研究では、吹付けコンクリートが剥落しないために必要な自立強度は、付着したコンクリートの自重から求まる引張強度と等しいと仮定して、コンクリートの引張強度をプロクター貫入抵抗値から推定できるように、貫入抵抗値を他の物性値と関連づけることを試みた。

2. 実験概要

2.1 使用材料と配合条件

セメント：普通ポルトランドセメント（C，密度 3.16 g/cm³）
 細骨材：JIS R 5201 に規定する標準砂（S）
 混和剤：高性能減水剤（SP，ポリグリコールエステル誘導体）
 急結剤：高強度用急結剤（Q，セメント鉱物系粉末）

表-1 配合条件

W/C	45%
SP	C×0.8%
S/C	0, 0.5, 1, 2, 3
Q	C×3, 5%

2.2 実験方法

（1）プロクター貫入抵抗と圧縮強度

実験はセメントペースト（S/C：0）で実施した。練り混ぜは2リットルのホバートミキサを用い、低速で合計4分混練した。急結剤はペーストの混練が終了したのち10秒以内に投入し、中速で15秒間練り混ぜ各試験に供した。ペーストはφ5×10cmの塩化ビニル製型枠に2層で詰め、始発から終結の間での適当な材齢でプロクター貫入試験と圧縮強度試験とを同時におこなった。プロクター貫入試験はJSCE-D102に準拠した。圧縮強度は荷重速度1mm/分で実施し、荷重増加が停止したところを最大荷重として算出した。

（2）圧縮強度と引張強度

実験はセメントペーストおよびモルタルで実施した。練り混ぜ方法および供試体の作製は（1）と同様とした。圧縮強度と引張強度とは同材齢（3日）で荷重試験を行い、引張強度は割裂試験により求めた。

3. 実験結果および考察

天井部分に厚吹きされる吹付けコンクリートが剥落しない条件を仮定した。岩盤と吹付けコンクリートとの界面付着強度は十分大きいとし、剥落はコンクリートが厚吹きされる過程で途中の層からはがれ落ちる現象と仮定すると、吹付けコンクリートに生じる引張応力増加速度と引張強度発現速度とが問題となる。図-1に吹付け断面積と吐出速度の想定を変えた時にコンクリートに生じる引張応力変化を示す。コンクリート

キーワード：プロクター貫入抵抗，圧縮強度，引張強度，吹付けコンクリート，付着

連絡先：〒285-8655 千葉県佐倉市大作2-4-2

Tel.043-498-3876 Fax.043-498-3849

が剥落しないためには、各条件下で生じる引張応力を上回る引張強度を発現していなければならない。

図-2 にセメントペーストでの圧縮強度とプロクター貫入抵抗値との関係を示す。凝結の始発前の状態から終結付近までの段階を中心に検討した。この段階では、圧縮強度と貫入抵抗値との間に強い相関が認められ、次式(1)で示す指数関数で精度よく近似できた。

$$\text{プロクター貫入抵抗値} = 38.8 \times \sigma_{cp}^{1.32} \cdots (1)$$

σ_{cp} : ペーストの圧縮強度 (単位, N/mm^2)

また、急結剤を混合しないペーストと、粉体急結剤を混合して凝結を促進させたペーストとでは圧縮強度－貫入抵抗の関係にほとんど差異はなく、同じ近似曲線上にプロットできることが分かった。すなわち圧縮強度－貫入抵抗の関係は、急結剤の種類や量とは関係なく、系の凝集の程度により一義的に決まる特性値である。

図-3 に骨材／セメント比 (S/C) が異なるモルタルの、圧縮／引張強度比および引張強度発現率を示す。圧縮と引張強度との比率は、S/C が0から3.0の範囲では11.0～12.3 (全平均11.6) でほぼ一定となった。一般にコンクリート硬化体では10～14程度を示すが、本実験結果もこの傾向と符合した。引張強度は、ペースト配合 (S/C が0) を基準とすると、骨材が混入するモルタル配合では一様に低下傾向が見られ、ペーストに対する引張強度発現率でみると、S/C が3.0までの範囲では12～21%低下した。高強度吹付けのベースコンクリート配合ではS/C が3.0程度である。S/C が同程度のモルタルの結果から、コンクリートの引張強度は、同配合のペーストの引張強度に対して、20%程度低下すると推察できる。したがって、吹付けコンクリートの引張強度とセメントペーストの圧縮強度との関係は、次式(2)のように推定できる。

$$\sigma_{cp} = \sigma_{tc} \times 1.20 \times 1.16 \cdots (2)$$

($\because \sigma_{cp} / \sigma_{tp} = 11.6, \sigma_{tp} / \sigma_{tc} = 1.20$)

σ_{cp} : セメントペーストの圧縮強度

σ_{tp} : セメントペーストの引張強度

σ_{tc} : コンクリートの引張強度 (単位, N/mm^2)

4. まとめ

式(1)と(2)とから、施工速度と付着面積を設定すると、施工条件ごとにコンクリートが剥落しないために必要な急結力を、セメントペーストのプロクター貫入抵抗値から評価が可能になる。

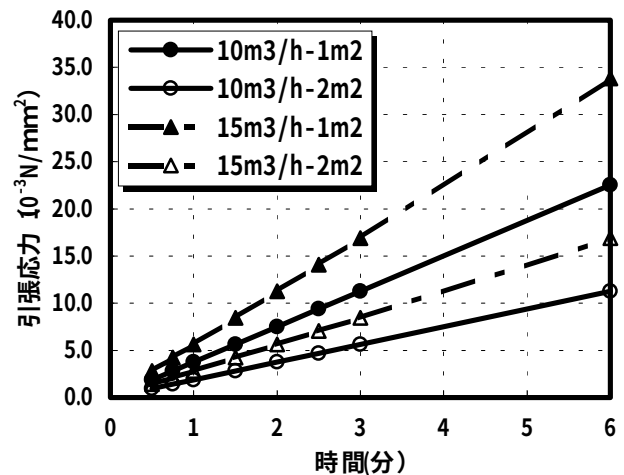


図-1 吹付け条件と引張応力

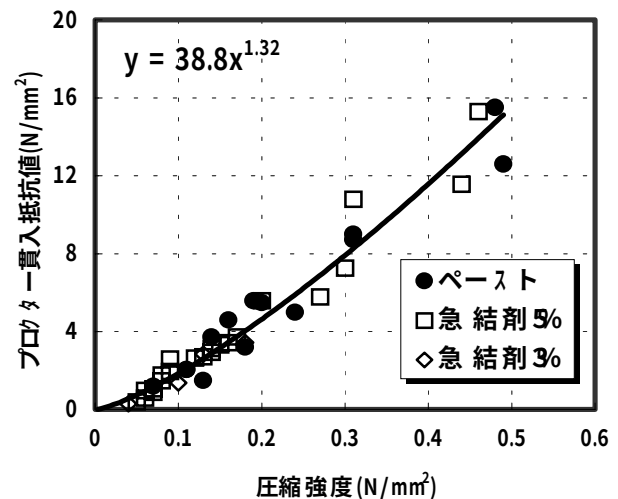


図-2 セメントペーストでの両者の関係

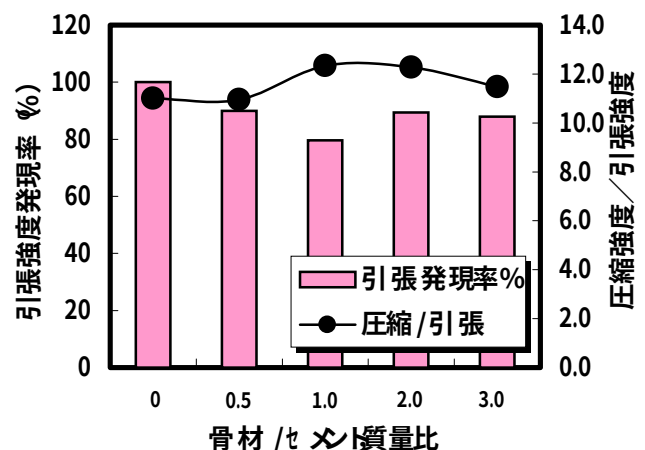


図-3 S/Cと圧縮/引張，引張強度発現率