

繊維補強した吹付けコンクリートの高強度化に関する基礎的実験

飛鳥建設（株）技術研究所	正会員	○ 平間 昭信
飛鳥建設（株）技術研究所	正会員	近久 博志
飛鳥建設（株）技術研究所	正会員	小林 薫
飛鳥建設（株）土木技術開発部		堀崎 敏嗣

1. はじめに

トンネル施工に用いられている吹付けコンクリートの要求性能に関して、ヨーロッパなどでは地山区分や用途に応じて強度や耐久性などが細分化されているが、わが国では圧縮強度のみ注目し、その設計基準強度としては 180 kgf/cm^2 を採用していることが多い。しかし、近年、地下構造物のニーズの変化に伴って、吹付けコンクリートの高強度化、高品質化のニーズが高まっている。

本報告は、このような背景から、水結合材比や混和材（シリカフェューム）の使用などが強度特性に及ぼす影響について実機試験を行い、今後の高強度化の可能性について検討したものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料とコンクリート配合

実験の対象としたコンクリートは、水結合材比35～60%の繊維補強吹付けコンクリート（繊維混入率1%）であり、比較のために通常配合の吹付けコンクリートについても実験を行った。配合表と使用材料を表-1と表-2に示す。

2.2 実験方法

本実験は湿式吹付け方法を採用し、コンクリートの製造には一般のレーダミクストコンクリート工場の2軸強制練りミキサ（ 3 m^3 ）を使用した。空気圧送方式の吹付け機を用い、供試体切り取り用のパネル型枠に時間当たりのコンクリート吐出量 5 m^3 で手吹きを行った。なお、パネル型枠に吹付けたコンクリートは、供試体の切り出しまでの2日間は 20°C の恒温室内にてシート養生を行った。

試験項目と試験方法の概要を表-3に示す。長期強度と静弾性係数については、吹付けコンクリートと比較するために急結剤を添加していないコンクリートも併せて試験を行った。

3. 実験結果

3.1 初期強度

吹付けコンクリートの初期強度の発現状況を図-1に示す。図に示すように、水結合材比を小さくすることによって、初期の強度発現性は改善される傾向にあり、材令12時間以降において、その傾向は顕著となる。一般的な吹付けコンクリートである60NN(A)の24時間強度は 100 kgf/cm^2

表-1 配合表

配合名	スラング cm	空気量 %	水結合 材比 %	繊維混 入率 %	骨材材 率 %	70μm ふるい 通過率 %	単位体 積重量 kg/m^3	単位体 積水 量 kg/m^3	AE減水 剤割合 B×%	高性能 減水剤 B×%	急結剤 種類
60NN(A)	10	3.0	61.2	0.0	60.0	0.0	360	222	—	—	Type-A
60NF(A)	10	4.0	60.5	0.0	70.0	1.0	372	225	0.25	—	
45NF(A)	18		45.0				455		—	1.1	
40NF(A)	18			0.0			512		—	1.0	Type-B
40NF(B)	18	4.0	40.0		85.0	1.0	512	235	—	1.0	
40SF(A)	18						512		—	1.4	
35SF(A)	21		35.0	10.0			588		—	1.5	Type-A

表-2 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント 比重:3.15
細骨材	富川産川砂 比重:2.58, 粗粒率:2.87, 実積率:64.6%
粗骨材	富川産川砂利 比重:2.65, G_{max} :10mm, 粗粒率:5.97
シリカフェューム	比重:2.2 比表面積:200,000 cm^2/g
AE減水剤	リグニンスルホン酸化合物
高性能減水剤	ポリグリコールエステル誘導体
急結剤(A)	急結セメント系 真比重:2.6
急結剤(B)	急硬セメント系 真比重:2.8
ファイバー	ステンレスファイバー 比重:7.7

表-3 試験項目および方法

試験項目	試験方法
初期強度試験	土木学会規程「はりによる吹付けコンクリートの初期強度試験方法(案)」に準拠した。 試験材までは、温度 20°C 、湿度80%の恒温恒湿室にて保存した。
長期強度試験	供試体の作り方は土木学会規程「吹付けコンクリートの強度試験用供試体の作り方(案)」に準拠した。 試験方法は、JIS A1107に準拠した。 試験材令までの養生方法は、 20°C で封緘養生および標準水中養生とした。
静弾性係数試験	土木学会規程「コンクリートの静弾性係数試験方法(案)」に準拠した。 試験材令までの養生方法は、 20°C で封緘養生および標準水中養生とした。

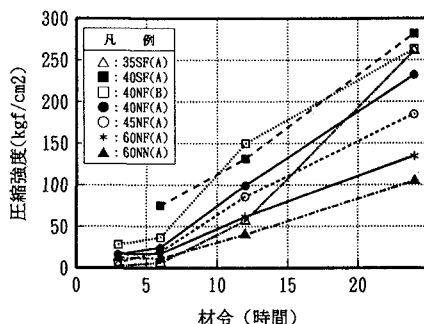


図-1 初期圧縮強度

程度であったのに対し、水結合材比が40%以下の吹付けコンクリートでは250kgf/cm²程度以上であり、60NN(A)の材令28日の圧縮強度と同程度の強度が得られている。

3.2 長期強度

20℃封緘養生した吹付けコンクリートの圧縮強度試験結果を図-2に示す。シリカフュームを用いない45NF(A)と40NF(A)は同じような強度発現を示しており、初期の強度の立ち上がりに比べて長期での強度増進が小さく、材令28日における両者の圧縮強度は60NN(A)に比べほぼ1.3倍の400kgf/cm²程度であった。これに対して、種類の異なる急結剤を用いた40NF(B)は、材令の進行に伴う強度増進が良好であり、材令28日における40NF(A)との強度差は200kgf/cm²程度にまでなっている。シリカフュームを用いた40SF(A)と35SF(A)は、シリカフュームを用いない配合に比べて良好な強度発現を示しており、35SF(A)の材令28日強度では730kgf/cm²が得られた。

一般に、吹付けコンクリートの長期強度は、ベースコンクリートに比べて10～20%低下すると言われている¹⁾。図-3に示すように、今回の実験においても同様な傾向が認められており、60NNの材令28日におけるベースコンクリートに対する圧縮強度比は0.82～0.85程度であった。これに対して、水結合材比40%における圧縮強度比は0.66～0.75程度であり、水結合材比が小さくなることによって、長期強度は大きく減少している。急結剤A（急結セメント系）の圧縮強度比は0.70程度であったのに対し、急結剤B（急硬セメント系）は0.95程度とベースコンクリートとほぼ同等の圧縮強度であった。今後、経済性を含め、吹付けコンクリートの高強度化を目的とした急結剤の研究が望まれる。

3.3 静弾性係数

圧縮強度と静弾性係数の関係を図-4に示す。本実験の結果では、「コンクリート標準示方書・設計編」（土木学会）に示されている圧縮強度と静弾性係数の関係より若干小さい傾向にある。これは、この検討した配合が細骨材率が大きく、モルタルに近い配合であったためと考えられる。

4. まとめ

今回の実験において、高性能減水剤などを用い水結合材比を低減することによって、材令28日強度で600kgf/cm²以上の高強度吹付けコンクリートが得られる可能性が見い出せた。

今後、混和材料や配合の検討を行うとともに、現場における品質の変動などについても実験を行い、高強度吹付けコンクリートの実用化に向けて検討を進めたいと考えている。

【参考文献】

- 1) トンネル技術協会編：「吹付けコンクリートに関するフォーラム」，1991.5

【謝 辞】

本研究を実施するに当たり、電気化学工業㈱、ポゾリス物産㈱および関係各位の方々の多大な協力を得ました。ここに、記して感謝致します。

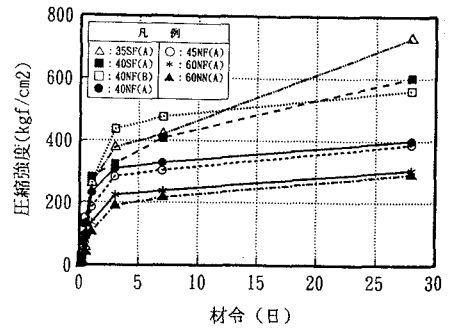


図-2 長期圧縮強度

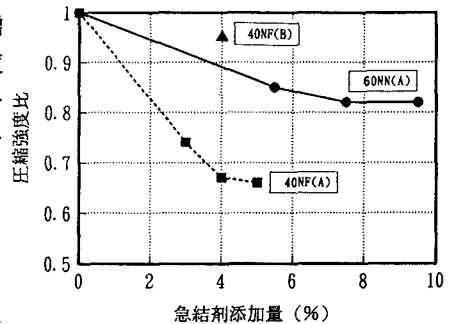


図-3 急結剤添加率と圧縮強度比

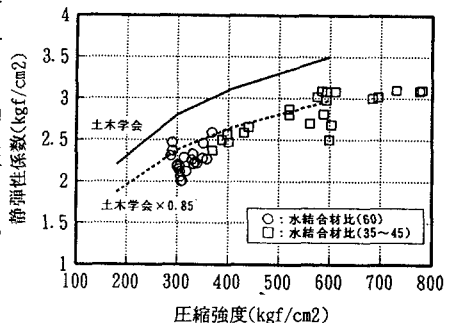


図-4 圧縮強度と静弾性係数の関係