

材齢 3 時間で 18kN/mm² の剛性を発揮する吹付けコンクリート

清水建設(株) 正会員 ○石井卓, 熊坂博夫, 栗田守朗
電気化学工業(株) 石田積, 岩崎昌浩

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物は地下 300m よりも深い位置に埋設処分することが法律で決められている。処分施設を軟質岩の深部に設置する場合には、坑道の安定性を確保できる支保構造を採用することが必要である。

畑元、他(2004)は、既存文献から収集したわが国の軟質堆積岩の物性を使って坑道の安定性を検討した事例を報告している。直径 5m の円形断面の坑道に、厚さ 10cm の吹付けコンクリート（設計圧縮強度 40MPa）あるいは厚さ 15cm の高剛性コンクリートセグメント（設計圧縮強度 54MPa）の支保を施す場合を前提にした地下施設の設置可能深度を試算し、深部への坑道の設置が難しい例を示している。

本報では、軟質岩において処分施設をより深い位置に設置できることを目指して開発した「短時間高剛性吹付けコンクリート」の力学特性について報告する。

2. 短時間高剛性吹付けコンクリートの目標性能

軟質岩における設置可能深度を向上するためには、①剛性の高い支保部材（例えば鋼製セグメント支保、高強度コンクリートセグメント）をできるだけ切羽に近い位置で設置する方法、②吹付けコンクリートが十分発揮するまで切羽の進行を待つ方法、③短時間で高剛性（高強度）を発現する吹付けコンクリートを採用する方法、等が考えられる。同施設が総延長 200km から 250km の長大なトンネルとなることを考えると、①のような支保部材の重厚化は経済性の面から避けることが望ましく、トンネル建設（掘進速度）の高速化の妨げになる②の方法も望ましくはない。このため、短時間で高剛性を発現できる吹付けコンクリートが有効であると考えた。

支保効果を発揮するには、地山のせり出し変形挙動が支保工に作用し、支保反力を増大させる必要があるが、支保部材が相応の剛性を有していなければ十分な支保反力は生じない。この概念を図 1 に示す。同図より、一般的に、切羽がトンネル径に相当する距離分まで掘削が進んだ時点で、地圧解放率は 100% 近くまで解放される。このため、坑道径（幅）が 5m の場合には、吹付けコンクリート施工後に、切羽が 5m 掘進した後において、支保反力はもはやそれ以上増加しない。したがって、支保効果を発揮するためには、掘削が坑道径の 1/2 程度進んだ時点で、支保の剛性が大きくなっていることが必要である。単純な計算では、掘進速度が 10m / 日程度の高速掘進をめざす場合には 1/4 日（約 6 時間）以内に剛性を発揮する必要がある。このような考えから、普通の吹付けコンクリートに求められる 28 日強度相当の強度を 3 時間で発揮する「短時間高剛性吹付けコンクリート」を開発することをめざすことにした。

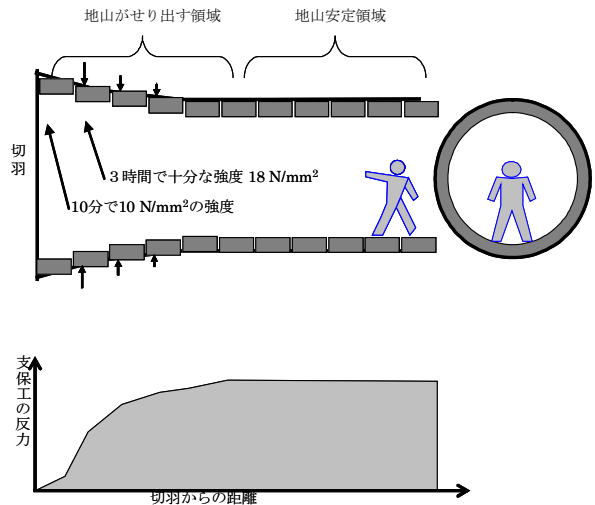


図 1 吹付けコンクリートの支保反力発生概念

表 1 短時間高剛性吹付けコンクリート配合例

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)						急結剤
		水	セメント	短時間強度促進用混和材	細骨材	粗骨材	高性能減水剤	
28.5	60	185	550	100	945	639	16.5	66

キーワード 吹付けコンクリート, 設置可能深度, 地層処分施設, 支保工

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 Tel.03-3820-5557 Fax.03-3820-5959

3. 吹付け施工試験結果

模擬トンネルにおいて吹付け施工試験を実施した。表 1 に配合を示す。短時間で高強度を発現させるため最終強度も大きくなる配合が必要である。そのため、単位セメント量で通常の 1.5 倍に当たる 550kg/m³、水セメント比で通常の半分以下に当たる 30%以下と、吹付け前のプレーンコンクリートとしては高強度配合を採用した。吹付け作業においては流動性が必要であるため、高性能減水剤を大量に添加している。吹付け直後から強度を促進させる「短時間強度促進用混和材」は、数種類の材料を混合した特殊混和材で、今回新たに開発した。吹付けノズル直前で添加する粉体急結材には既存の初期高強度吹付け用急結剤を使用した。

表 2 一軸圧縮試験結果（箱吹きした試験体）²⁾

	3時間	1日	7日	28日	100日	180日
圧縮強度(単位 N/mm ²)	19.5	44.0	55.8	63.8	68.4	68.3
弾性係数(単位 kN/mm ²)	19.3	24.6	26.4	28.6	28.9	—

表 3 プルアウト試験結果²⁾

	プルアウト試験		
	10分	1時間	3時間
圧縮強度(単位 N/mm ²)	15.6	17.3	21.1

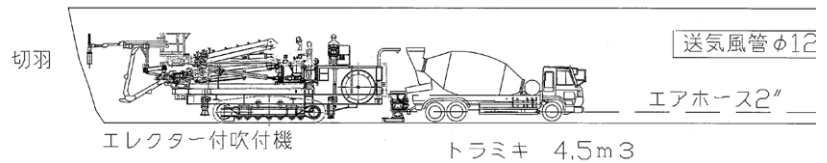


図 2 吹付け機械配置図

吹付け機械は、図 2 に示すような空気圧送方式吹付け機械で使われる通常の設備である。サンプリング用の箱に吹付けた試験体をコア抜きして強度試験を実施した結果の一例を表 2 に示す。圧縮強度は 3 時間後には 18N/mm²以上となり、24 時間で普通の吹付けコンクリートの 8 倍の 40 N/mm²程度、1 ヶ月で 2 倍を超える 50 N/mm²以上となった。

4. 坑道安定性に効果的な短時間高剛性吹付けコンクリートの特徴

この吹付けコンクリートには当初期待していなかった下記の 2 つの特徴が認められた。

- ① 表 3 に示すように、プルアウト試験結果から推定した圧縮強度は吹付け直後の 10 分間で 10 N/mm²以上を示す。
- ② 図 3 に示すように、28 日材齢において脆性的な変形挙動を呈するのに対して、短時間材齢においては延性的な変形挙動を示す。

上記の 2 つの特徴は、この支保部材が強大な地圧が作用する坑道に適した支保工であることを示唆している。

5. おわりに

模擬トンネルにおける施工試験の後に、工事中のトンネルの側壁部に施工試験を実施しており、同等の性能を確認できた。この吹付けコンクリートは瞬結性が高いためにノズル閉塞しやすいという課題を有している。今後は、この課題を改善することで施工性の向上を図りつつ、さらに実際のトンネル工事への適用を重ねて、様々な施工環境での性能の安定性を確認する予定である。

参考文献

1) 畑元浩樹、他(2004), 第 59 回土木学会年次講演会, CS1-069. 2) 栗田守朗, 他(2006), コンクリート工学年次論文集, 第 28 巻 3) 中谷篤史, 他(2005), トンネル工学報告集, 第 15 巻, pp.23-27

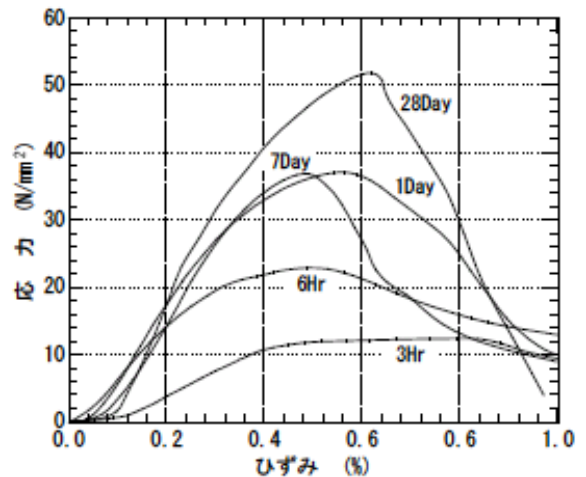


図 3 一軸圧縮試験における応力-ひずみ曲線³⁾
(トンネル壁面から採取した試験体による結果)