

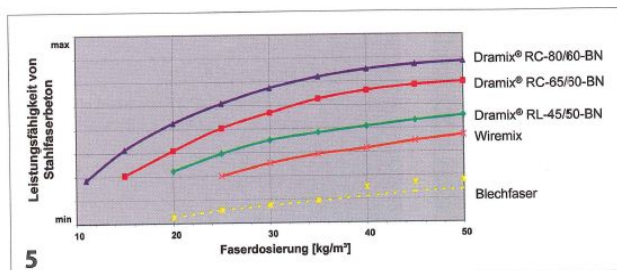
TUNNEL 1/2011(Feb)

表題： Steel-fibre-reinforced segmental linings: State-of-the-art and completed projects

(スチールファイバー補強のセグメントライニング：最新技術と完成プロジェクト)

1970年代の登場時、欧州市場にはスチールファイバー補強コンクリートの設計、形状に関する基準、指針がなかった。最初はコンクリート構造物の名目上の補強材として、あるいは鋼材と一緒に用いられた。使用実績が出来ると、設計、試験、生産、使用の助けとなるよう規約、規準が国内外で作成された。現在ではトンネル施工への適用にも試みられている。大きな圧縮強度が必要であるが、曲げモーメントが比較的小さい場合は、スチールファイバー補強コンクリートのみを用いる支保が要件を満たすことが多い。集中荷重への耐力が大きいため、維持コストも少なくすむ。この材料を用いることで施工手順が簡略化でき、工程が短くなる。鉄筋コンクリートを用いる場合と比較して施工が簡略でコスト面でも優位性を示すためトンネルで用いられることが増えている。また、スチールファイバー補強コンクリートでは、亀裂が生じても荷重の伝達が可能。そのため不静定構造物など内部応力の再配分（複数の亀裂進展）を許す要素で用いられる。トンネルもその設計限界状態が曲げモーメントと圧縮直応力の組み合わせ荷重で与えられる不静定構造物である。剛になればなるほど曲げモーメントを生じる。モーメントが大きいほど補強が必要となる。これとは逆に柔軟なシステムは荷重を主に直応力で受ける。これが新しいトンネル建設で求められる理由である。剛なシステムとは対照的に、シェルの変形により地山の支持機能が活性化する。よって、セグメントライニングのリングが受ける荷重は柔なシステムでは小さくなる。スチールファイバー補強コンクリートの材料特性は、これら両方の支持要件を満たしていると言える。

スチールファイバー補強コンクリートは、一般のコンクリート同様圧縮強度で分類される。用いる鋼材の引張強度は 1,000-2,500N/mm²、長さは 30-60mm、径は 0.4-1.1mm である。1kg あたりの長さ (m) と繊維の数で 3 種類に分け、長さを径で除した比 (l/d) の値で分類するが、長ければ長いほど、数が多いほど行き渡り、クラックをまたぐ可能性が大きくなる。ヨーロッパでの標準化の動きを受けて、DBV スチールファイバー補強コンクリートの寸法に関する提言を作成。「標準」という性格はない。標準としては、建設材料規約である DIN1045-1 を補う形で「スチールファイバー補強コンクリートガイドライン」が 2010 年 3 月に発行された。スチールファイバーをヨーロッパで用いるときは、統一基準として DIN EN 14889, Part 1 によって CE の刻印が必要とされる。



本数と長さのパフォーマンスへの影響



CE ラベル
(Dramix RC-80/60-BN)

表題： Custom formwork technology for the Jagdberg Tunnel

(Jagdberg トンネルのための特注型枠技術)

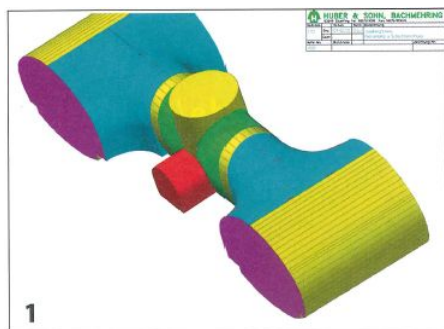
ドイツ統一長距離道路計画・建設有限会社 (DEGES) から 2 社のコンソーシアムに委託された双設 (Jagdberg) トンネルの拡幅工事がアウトバーンで行われている。供用時、毎日 8 万台の自動車が長さ 3,100m のトンネルを通過する予想である。有害物質の運搬にもトンネルが使用できるため、中間部に深さ 140m の換気立坑を建設した。火災時、煙や有害ガスはこの立坑を通過して上部に逃げる。また、550m 毎に待機場、275m 毎に連絡坑が設置されている。さらに、流体力学的見地から、排気ギャラリーは本坑や立坑との交差部において R をつけた構造となっている。

地質の変化する場所では、1m³あたり 400kg もの補強が必要で、厚さが 1.0m を超える場合もあり、自己充填コンクリート (SCC) の使用を認めた。

立坑部：エレメントは屋根部で結合できるように全長で作成。アーチ要素は水平面でそれぞれ結合。一番の特徴は、円形の天井部を一度にではなく、水平方向に壁とクラウンを分けて施工したこと。運搬のため、最大 3m 幅の部材をつなぐ必要があった。型枠は 2 ヶ所で床のアンカーボルトにつないだ。測定したコンクリート圧は最大 90kN/m² で、補強型枠の変位は mm オーダー。

本坑との交差部：型枠が長さ 15m 幅 16m 以上で、つなぎ合わせ、敷設が困難であり、大きなコンクリート躯体が出来上がる。表面には 2 つの曲率があり、型枠を本坑の形状から連絡排気ギャラリーの形状へスムーズに変化させる必要があった。水平方向の架台施工が可能な下部構造を用いることとした。場合によっては厚さ 20mm の木製パネルを 2 重で型枠の表面材として使い、タイトな型枠を作ることが出来た。支持架台を用いる型枠の制限で、連絡排気ギャラリー付近で複数の支持架台が近接してぶつかり合うのを避けるため、実はずり継ぎなどの相欠きはぎ接合が必要であった。

本坑頂部：トンネル軸方向の長さ 15m、幅 20m の一体物を持ち上げなければならなかった。本坑と連絡排気ギャラリーとの交差部では複雑に絡み合う多数の付随エレメントの設置が含まれるため、綿密な計画が必要であった。また、決めた計画を遵守することが必須であった。さらに、型枠の設置の間も通常の現場車両を通過させる必要があった。そのため、型枠の運搬を指定の日時に行い、このインターセクションでの仕事を全て時間で管理することで締め切りに間に合わせた。



本坑と換気立坑ギャラリー



連絡坑の中央にある排気ギャラリー上部の型枠。

表題： Surface quality of concrete using steel formwork
(鋼製型枠を用いたコンクリート表面の質)

2009年10月、BOA Tunnelbau (有限会社) は Baresel から委託を受け、Ettendorf トンネルのアーチ型枠運搬車の点検・修理を行った。質の良いコンクリート表面を得ようと、当トンネルではこれまで型枠分離剤やコンクリートの配合変更などを考慮していたが、結果は芳しくなかった。また、アーチ型枠は解体され屋外に放置されていたため錆がひどく、支持エレメントの修理後、表面の砂吹き研磨や鋼製型枠全体へのコーティングが必要であった。

トンネル天端では型枠自体がシールとして作用するため、圧縮エネルギーだけでエアを全て除去することはほぼ不可能である。しかし、型枠の表面張力が小さくなる加工がしてあれば圧縮時にエア抜きもその分だけ楽になる。結果として間隙率が小さなコンクリートが出来る…長年内側支保のネガティブボトムゾーン (天端) のエア抜きを行ってきた BOA Tunnelbau は型枠表面に焦点を当て、複雑なマイクロ、ナノレベルの構造 (100 nm 以下の粒子) で表面に付着するロータス効果 (自浄作用) のあるナノシーリングを適用して、型枠表面の粘着力を落とすことが肝要だと考えた。ロータス効果は化学的、物理的な構造のみに依存し、有機的なファクターに依存しないので、洗浄能力の高い人工的な表面を難なく作れる。ほとんどの材料に適用でき、水、油、その他の粒子に対する抵抗力が増加した表面を作ることが出来る。

Ettendorf トンネルプロジェクトでは2要素タイプの塗料 (AM Surface 製のポリシロキサン-ポリエポキシサイドレジン) が選ばれた。この塗料は霜、解氷用の塩や化学物質にも強く高強度である。湿潤タイプの基底部に対しても付着力は大きく、洗浄能力は高い。また、養生を必要としない。繰り返し大きな荷重を受けた後もコーティングは付着している。天端にはエアポケットも出来ない。コンクリート表面はスムーズで一様であり、同じ光沢である。洗浄時間も短縮できる。ナノ技術を投入したことが今回一番大きな成果であり、今後更なる使用が見込まれる。



コーティング後の型枠表面