

1. Channel tunnel: 11<sup>th</sup> of September 2008 fire

英仏海峡トンネル火災 2008.9.11

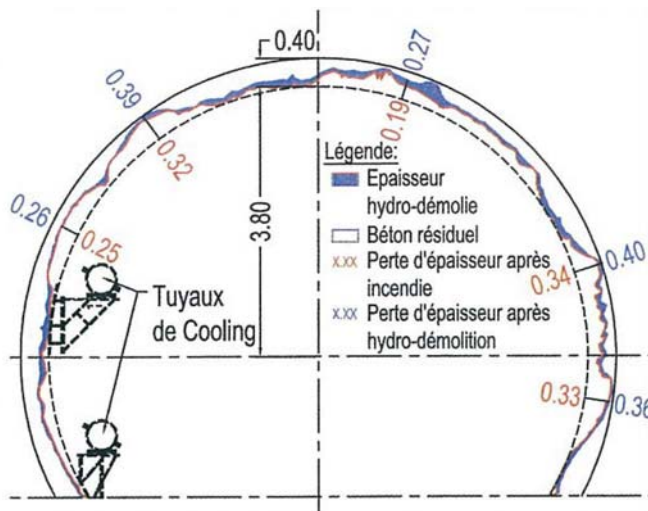
2008年9月11日の英仏海峡トンネル火災の後、覆工の損傷に関する調査研究が行われた。厚さ40cmの覆工コンクリートは、特に鉄筋量の少ない区間で、はく離による損傷を受けた。研究所で行われたX線回折、マイクロ電子顕微鏡(SEM)、化学的試験は、コンクリート温度が400~600℃に達すると直ぐに爆裂が起こることを示した。

火災の概要

2008年9月11日、英国からフランスへ向かっていたトラック輸送用の貨物シャトルから出火した。貨物シャトルは、フランス側から11km離れた地点で停止された。鎮火までに約20時間を要した。現場の調査は坑内温度と一酸化炭素濃度が十分に低下する9月14日までできなかった。

火災で焼けた箇所は、レールレベルで海拔下100m、トンネル土被り60mで地質は石灰岩主体である。

1996年の火災と同様、RCセグメントからコンクリートがはがれ落ち、コンクリート厚が薄くなっている損傷状況であった。はがれ落ちた厚さは1996年の火災を超える。特に損傷の著しい区間(1.6mのセグメント10リング分)は、元の厚さ40cmに対し、平均残り厚さが5~10cmである。所々にはコンクリートが無くなっている箇所が点在する。1m<sup>2</sup>未満の小さな空洞が見られる箇所では、40cmのRCセグメント(鉄筋コンクリート)が消失し20cmの充填モルタルや石灰岩(地山)が見える。セグメントのジョイント部は、ゴム製の止水板が溶け出し地下水の流入が見られる。幸い、最も損傷の激しい区間でも覆工の崩壊は発生していない。



損傷状況(断面図)



損傷状況写真

剥落コンクリートを使用した研究所での試験

覆工からはがれ落ちたコンクリート片を収集し火災の間高温にさらされたコンクリートを調査した。はがれ落ちたコンクリート片の平均的な大きさは、数センチ角で数ミリ厚である。中

央研究所 (LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussees) で温度を 100℃から 1,000℃まで 100℃毎に上げて以下のテストを実施した。

- ・コンクリート中の含水量測定
- ・DRX (X線回折法) による分解温度測定
- ・SEM (走査型電子顕微鏡) によるクラック発生状況測定
- ・化学分析による測定

採取した 6 個の燃焼コンクリート片の分析により、3 個は 600℃を上回っておらず、1 個は 500℃まで、2 個は 400℃までであることが明らかとなった。この結果は、コンクリートのはく離が予想以上に火災の早い時期に生じているとことを裏付けている。

### 覆工コンクリートの残存部分の調査

正しい修繕設計のためには、残された覆工コンクリートの力学特性の測定(評価)が重要ある。残ったコンクリートの損傷を受けた層の厚さを以下の測定方法で計測した。

- ・覆工コンクリートからコアを抜き、1cm 毎に音波測定
- ・1cm 厚さ毎に動的ヤング率の計測
- ・SEM(走査型電子顕微鏡)によるコア軸に沿ってコンクリートを輪切りに観測

これらの試験の結果、損傷を受けている層厚は 2~6cm であることが判明した。

火災を受けた範囲から抜き取ったコアの圧縮強度試験の結果は 90MPa であった。計算上は、81MPa である。

#### 【コンクリートの設計(配合)】

- ・セメント 400kg
- ・ケイ砂 250kg フランス オアーズ産
- ・砕砂の石灰岩 450kg フランス マルキーズ産
- ・砕骨材の石灰岩 12.5mm 1,250kg マルキーズ産
- ・添加剤 7kg
- ・総水量 128L W/C=0.32

### 補強鉄筋

コンクリートがはがれ落ちて可視状態にある補強鉄筋に、変形は見られない。復旧工事では、コンクリートが剥がれ落ちたあとの補強鉄筋は、そのまま再利用されるため補強鉄筋の力学特性を以下の方法で確認した。

- ・金属組成試験
- ・マイクロドリル解析
- ・化学分析
- ・力学的試験：引張試験、曲げ衝撃試験

調査の結果、火災後の補強鉄筋の力学的特性は概ね変化していないことが判明した。構造物の復旧において鉄筋は防食が施され再利用される。

## 2. Loire outfall collector using microtunneling

### ロワール川河口での小口径推進

本記事は、フランスの Loire(ロワール)川河口の Indre(アンドレ)にある Grange David 廃水処理場からの処理水を放流するためのトンネル建設に採用された非開削技術の紹介である。この地域は、「Natura 2000 (自然保護 2000)」に登録されている自然環境豊かな地域であり、環境保護に対して関心が高い地域である。

ロワール川の真下に、長さ 310m、内径 1,400mm、勾配 20mm/m の排水トンネル建設に小口径推進工法が採用された。

施主は Tours Urban District(地区)、施工を請け負ったのは SADE's Special Works Department(特殊業務部)である。

### 構造物の特徴

小口径推進は、陸部の作業用立坑から発進してロワール川内の到達立坑まで推進し、トンネル掘削後、到達立坑には処理水を放流するための構造物を建設した。放流設備は、周辺環境への影響を最小限に抑えるよう十分に希釈して流出するための小さな開口部が付けられている。



施工場所航空写真



放流設備

### 水文地質環境

当該地域はロワール川流域の沖積平野に位置し、地質は大部分が砂質土である。地下水位は川の最低水位と同等で水頭 7.5m である。

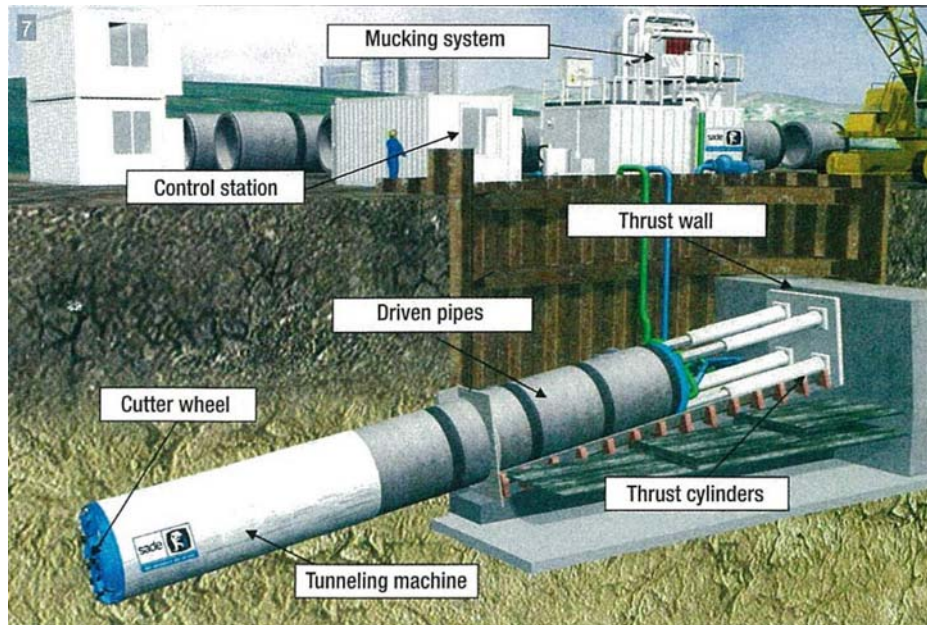
### 小口径推進機の掘進能力

小口径推進機は、掘削径 1,505mm、最大カタートルク 258kNm、カッターホイールの最大回転速度 6.7 回転/分、カッターホイールには 6 個のカッター、10 個のビット、4 個のスクレーパを装備している。発進立坑下に備え付けられた推進ジャッキ(油圧シリンダージャッキ)の総推力は 508ton である。

方向制御システムはレーザー光と水圧式レベル計を統合したもので、小口径推進機は自分の位置を認識し、軌道をチェックしながら正確に掘進する。

掘進中は、周辺地山からの摩擦抵抗を低減するために推進管とオーバーカット約 30mm の隙間に自動潤滑剤注入装置で潤滑剤(ベントナイトとポリマーの混合剤)を注入する。注入量と注入圧は、地上の操作室から制御される。

推進機さまざまな装置は地上の操作室からコントロールされ、周辺地山状況に応じて最適に制御される。操作室の制御盤ディスプレイには、各種計測データが表示され記録される。(回転速度、掘進速度、貫入量、排泥データ(ポンプ圧、流体圧)、カッターチャンバー内圧、地下水圧 等)



小口径推工法の概要図