

三協Mirai News



2018年春号 No. 21

三協Miraiからお届けする、技術情報ニュースです



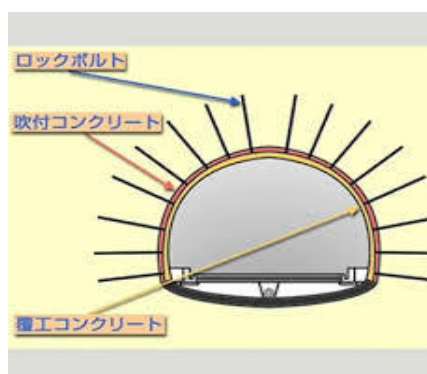
- シリーズ「歴史」トンネル(4)
- 特集 化学組成分析
- 技術ニュース「マスコンクリートのひび割れ
制御指針 2016」
- 日本のコンクリート構造物

トンネル（４）

■山岳トンネル

中山トンネルは、上越新幹線の高崎駅と上毛高原駅間にある、全長 14,857mの複線鉄道トンネルです。

中山トンネルの施工では、岩盤の膨張が大きく、掘削した断面が膨張圧によって縮小する現象が発生しました。この対策として新オーストリアトンネル工法（NATM：New Austrian Tunneling Method）が日本で初めて導入されました。NATMは下図に示すように、トンネルの掘削部分にコンクリートを吹付けて迅速に硬化させ、岩盤とコンクリートを固定するロックボルトを岩盤奥深くまで打込み、地山自体の保持力を利用してトンネルを保持する工法です。NATMは長大山岳トンネルが多数建設されているオーストリアで1960年代に提唱された工法で、日本では1972年に建設が開始された中山トンネルで初めて施工されました。



NATM

NATMの採用により、平均月進 65mを達成することができました。

中山トンネル建設中には、2回の大出水事故を起こして難工事を極めました。1982年に完成しました。

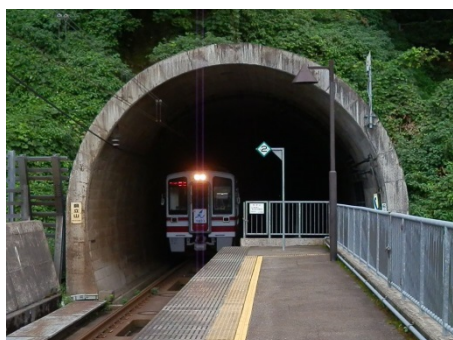


中山トンネル

鍋立山トンネルは、新潟県十日町市と上越市の境界にある鍋立山（なべたちやま）を貫く全長 9,116.5mの鉄道トンネルです。1973年（昭和 48 年）に工事が始まりましたが、完成までに 22 年を要するという、我が国トンネル史上屈指の難工事となりました。工事を困難にしたのは、膨張性地山と可燃性ガスの湧出でした。トンネル中央部付近では、極度の地山の膨張のため切羽（トンネル工事の先端部）が何度も押し戻されるという事態も生じました。また、ダイナマイトで発破を行ったところ、溜まっていたメタンガスに引火しトンネル全体に火が走る爆燃という現象も発生しました。

このような地質の悪化に対応するため、新オーストリアトンネル工法（NATM）や、トンネルボーリングマシン（TBM：前断面トンネル掘進機）が投入されました。しかし、地山の押し出し速度が速く、TBMで掘削した区間をすべて押し戻されるという状態でした。その後、掘削を順調に進めるためには薬液注入が効果を上げるとみて、様々な薬液の試行を行いながら、手掘りのシールド工法を実施して前進しました。平均月進 10m程度と

いう困難な施工でしたが、1995年に完成しました。



鍋立山トンネル

岐阜県に位置する東海北陸自動車道の飛騨トンネルは、全長 10,710mで、高速道路のトンネルとしては国内3番目の長さです。

飛騨トンネルは、最大で 1,000mを超える土被りがあり、高い土圧と大量の湧水が予想されました。本坑に先立ってTBM（前断面トンネル掘進機）を用いて避難坑の施工を行いましたが、最大毎分 70 t という青函トンネルを上回る高压湧水や強大な土圧により、貫通まで残り 310mの地点でマシンが大量の土砂にのみこまれて破壊され、身動きができません状態になってしまいました。



TBM



高压湧水

そのため、TBMによる掘削を断念し、反対側からNATMによる掘削を行い、2006年（平成18年）3月に避難坑は貫通しました。

なお、土砂に埋もれた、TBMの側壁部分はトンネルの一部としてそのまま残されています。

避難坑に続いて本坑の掘削も進み、2007年

（平成19年）1月に貫通しました。貫通にかかった年月は9年半に及びました。



飛騨トンネル河合坑口

スイスのアルプス山脈に建設された鉄道トンネル、ゴッタルドベーストンネルは、2本の単線トンネルで構成されています。

全長は 57 km、立坑や関連する連絡路を含めた総延長は 153.5 kmに上ります。2016年（平成28年）6月に開通して、青函トンネルを抜いて世界最長の鉄道トンネルとなりました。

建設開始は1996年（平成8年）で、トンネル中央部は発破、その外側はTBMを用いて掘削されました。長大トンネル施工の工期を短縮するためにアクセストンネルを掘削し、5箇所から掘削が行われました。



北側坑口



トンネル内部

特集

化学組成分析

化学組成分析

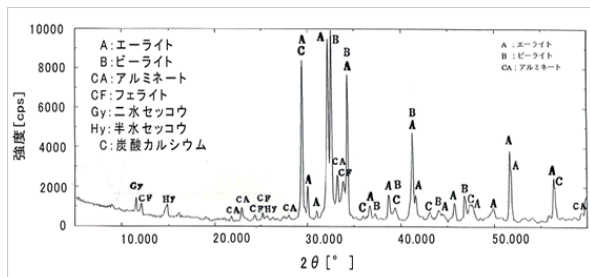
コンクリートの化学組成分析には、粉末X線回折（XRD）、蛍光X線分析（XRF）、示差熱質量分析（TG-DTA）、電子線マイクロアナライザー（EPMA）、エネルギー分散型X線分光器（EDS）などの方法があります。これら5つの測定方法についてご紹介します。

粉末X線回折（XRD）

粉末X線回折（XRD）は、固体に含まれる物質の種類を特定することができます。分析は試験に使うコンクリートや骨材の試料を乳鉢などでよくすりつぶし、指で触って粒を感じない程度まで微粉化します。この試料にX線を照射し、X線が透過した後の回折線の角度や強度から、含有する結晶性の成分（定性）や量（定量）を測定します。



粉末X線
回折装置



セメントの分析結果

粉末X線回折は、コンクリートの水和生成物の同定や定量、火害の受熱温度の推定、中

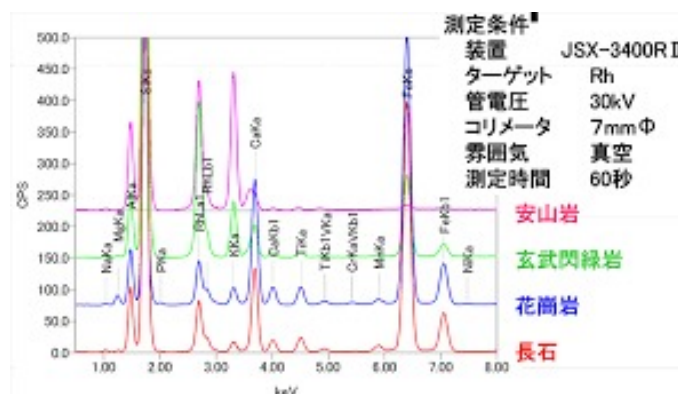
性化領域の測定、骨材の岩種や反応性珪物の種類とその量などを測定することができます。

蛍光X線分析（XRF）

蛍光X線分析（XRF）は、試料を構成する元素の分析や元素の濃度を求めることができます。分析は試料を微粉砕して成型し、X線を照射して得られる固有X線（蛍光X線）を測定して行います。



蛍光X線
分析装置



岩石試料の分析結果

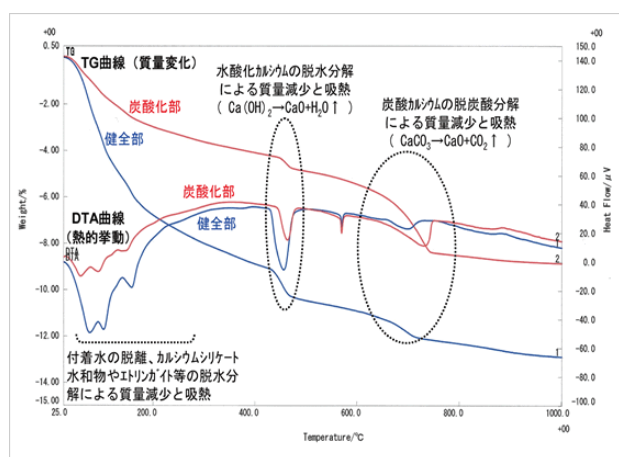
蛍光X線分析は、元素の種類や含有量の測定（定量分析）や、コンクリートの中性化領域の測定、塩化物イオンの分布、下水道劣化の進行領域の測定などができます。

示差熱質量分析（TG-DTA）

示差熱質量分析（TG-DTA）は、試料の温度を変化させることによって、その試料の物理的性質を測定することができます。分析は試料を、室温～1,000℃程度まで昇温・加熱し、その際に起こる質量変化（TG）と熱的挙動（DTA：発熱や吸熱）を連続的に測定し、試料に含まれる物質の種類と量を求めます。



示差熱質量
分析装置



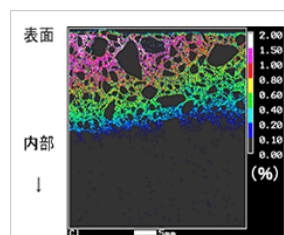
コンクリートの中性化分析結果

示差熱質量分析は、水和生成物や炭酸化合物同定（定量分析）、中性化領域や化学的侵食領域の測定、火害の受熱温度の推定などができます。

電子線マイクロアナライザー（EPMA）

電子線マイクロアナライザー（EPMA）は、鏡面状に研磨した試料に電子線を照射して、その刺激により試料から放出される特性X線を検出して、そこに含まれる元素の種類と濃度を求めることができます。

1 mm 角に満たない微小領域の化学組成を求められることが特徴です。



コンクリート内
部の塩素の分布



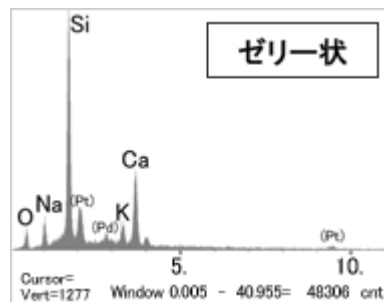
電子線マイクロアナライザー分析装置

電子線マイクロアナライザーは、広域マッピング機能により微量物質のコンクリートへの浸入状況の分析が行えます。具体的には、炭酸化の進行、塩化物イオンの浸入、下水道劣化の進行などの分析や、補修材料の効果確認、防食材料の耐久性評価などが行えます。

エネルギー分散型X線分光器（EDS）

エネルギー分散型X線分光器（EDS）は、走査型電子顕微鏡に検出器を取り付け、電子線を照射された観察領域から発生する各元素の特性X線を検出します。検出結果から試料にどのような元素がどれだけ含まれるか、また元素がどのように分布しているかを調べることができます。

エネルギー分散型X線分光器は反応性骨材の種類やその量、アルカリシリカゲルの識別を行えます。



ASRゲルの組織分析結果

マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016

2016年11月、日本コンクリート工学会「マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016」が改訂されました。主要な改訂内容の概要をお知らせします。

- (1) DEF（エトリングaitの遅延生成）についても考慮する必要がある場合の具体的な取り扱い方法が示された。
- ・温度ひび割れが対象となるコンクリート構造物におけるDEFに起因するひび割れを適用範囲とすることが規定された。
 - ・DEFひび割れ防止の照査指標はコンクリート部材の所定の位置の最高温度による。
 - ・最高温度の限界値は、セメントの種類、混和剤の使用、コンクリート中のアルカリ量や SO_3 量に応じて設定された。
 - ・DEFひび割れを防止するには、水和熱によるコンクリートの温度上昇を適切に制御する方法、または竣工後のコンクリート構造物への水の浸入を遮断する方法を採用しなければならないことが規定された。

*DEF（エトリングaitの遅延生成）ひび割れとは

DEFひび割れは、コンクリート中のアルカリ量と SO_3 量がある閾値を超え、高温履歴を受けたコンクリートで、水の供給がある環境に置かれた場合、DEFにより発生する膨張ひび割れをいう。

- (2) 単位セメント量 $400 \text{ kg/m}^3 \sim 500 \text{ kg/m}^3$ の範囲に適用できる断熱温度上昇量の推奨値が提示された。
- (3) 設計基準強度 60 N/mm^2 程度の高強度域への圧縮強度予測式の精度向上を図るため、中庸熱および低熱ポルトランドセメントの場合の予測式の係数が見直された。
- (4) 中庸熱ポルトランドセメントを用いた場合の自己収縮ひずみについて、精度向上を図るため、予測式の係数が見直された。
- (5) 中庸熱、低熱、早強の各ポルトランドセメントを用いた膨張コンクリートについて、一軸拘束膨張試験結果に基づいて、予測式の係数が見直された。
- (6) 最大ひび割れ幅のばらつきが大きい傾向のある鉄筋比の小さい部材の場合は、部材厚さの大きな試験体（1 m）のみのデータを用いてひび割れの予測式を再構築して提示された。
- (7) 温度ひび割れの照査（検証）は、3D-FEMによる最小温度ひび割れ指数に基づくことを標準としているが、実務の利便性を考慮して、適用に制限はあるが温度ひび割れ指数の簡易評価式を用いて照査（検証）してよいこととされた。

日本のコンクリート構造物

平和のシンボルとして献堂された教会 ―世界平和記念聖堂―

広島市に建設された世界平和記念堂は、原子爆弾の犠牲となった人々の冥福を祈り、また世界平和を守るためのシンボルとして世界各国から集められた浄財により建てられました。設計は村野藤吾が行い、1950年（昭和25年）に定礎、1954年（昭和29年）に竣工しました。構造は地上3階、地下1階の鉄筋コンクリート造です。建築規模は全長57m、幅20m、軒高20.5m、鐘塔の高さ45mです。2006年（平成18年）に、戦後の建築物としては初めて国の重要文化財に指定されました。



正面



側面



碑文



聖堂内部

三協M i r a i 株式会社

本 社	〒105-0013	東京都港区浜松町 1-9-10 (DaiwaA 浜松町ビル) Tel. 03(3431)8266／Fax. 03(3434)5422
大阪支店	〒541-0059	大阪市中央区博労町 3-3-7 (ビル博丈) Tel. 06(6252)7075／Fax. 06(6252)7076
仙台営業所	〒980-0023	仙台市青葉区北目町 2-39 (東北中心ビル) Tel. 022(266)4662／Fax. 022(266)4663
福岡営業所	〒812-0013	福岡市博多区博多駅東 2-4-17 (第六岡部ビル) Tel. 092(481)3265／Fax. 092(481)3266



発行 三協M i r a i 株式会社
東京都港区浜松町 1-9-10 (DaiwaA 浜松町ビル)
U R L : <http://www.sankyomirai.co.jp>