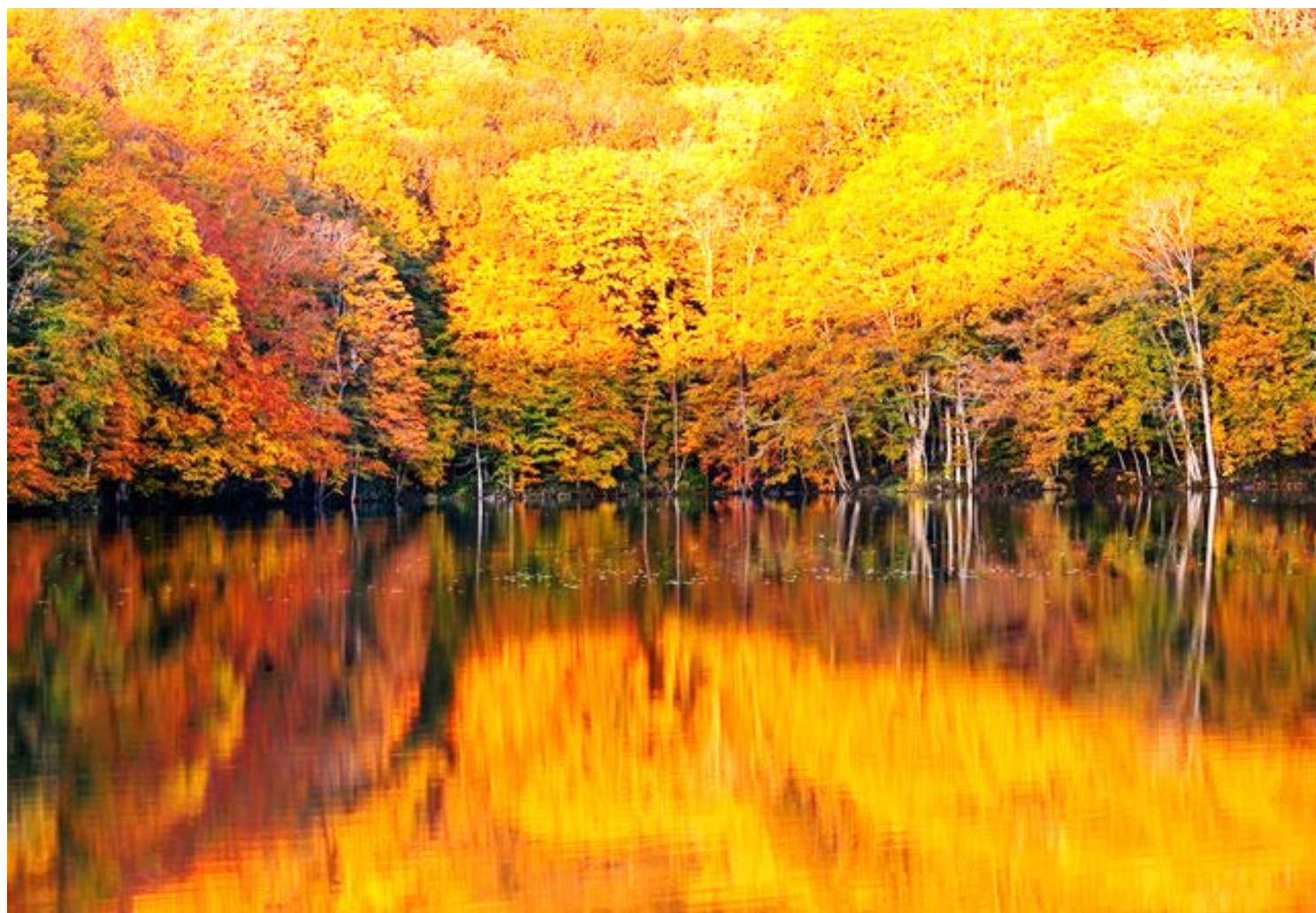


三協Mirai News



2017年秋号 No. 19

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(3)
- ・特集 ひび割れ・剥離・空洞の測定
- ・技術ニュース「膨張材・収縮低減剤を使用するコンクリートの調合設計・製造・施工指針(案)・同解説」の概要
- ・日本のコンクリート構造物

トンネル（3）

■山岳トンネル

山口県下関市と福岡県北九州市を結ぶ関門鉄道トンネルは、太平洋戦争下の1942年（昭和17年）に下り線が開通し、1944年（昭和19年）に上り線が開通した、世界で最初の海底トンネルです。関門鉄道トンネルの下り線と上り線は別々の単線トンネルとして並列で造られており、トンネル延長は上り線3,604m、下り線3,614mで、海底部の延長は上下線ともに、1,140mです。



関門鉄道トンネル

単線2本のトンネルが採用されたのは、以下の理由からです。大きな水圧が作用する海底トンネルでは、水圧に耐えるために円形断面にする必要があるのですが、大きな断面となる複線用のトンネルは設置位置を深くして土被りを確保する必要があり、トンネル延長も長くなることから施工の難易度も高くなります。またトンネル内で事故が発生した場合、に、2本あれば残ったトンネルで単線運転が可能になるためです。

トンネル本体の工事は、当時の技術の最先端工法である山岳工法、開削工法、ケーソン工法、圧気工法、シールド工法が使用されています。特に、シールド工法では、内径7,000mmの本格的な大断面シールドが採用されています。



関門鉄道トンネルで使用されたシールドマシン

飯田線大原トンネルは、佐久間ダムの湛水により水没する、飯田線中部天竜一大嵐間の付替路線として建設された鉄道トンネルです。工事期間短縮の必要から、従来の木製支保工に替わって鋼アーチ支保工を全面採用することにより坑内に広い空間を確保し、アメリカから輸入した大型機械を用いた全断面掘削を行いました。工期は22ヶ月で、1955年（昭和30年）に完成しました。



飯田線大原トンネル

北陸トンネルは福井県の敦賀市と南条郡南越前町を結ぶ複線鉄道トンネルです。北陸本線の敦賀―南今庄駅間、木ノ芽峠の真下に位置します。総延長は13,870mで1962年（昭和37年）に開通しました。

北陸トンネルの施工に当たっては、工期短縮が最優先事項とされ、敦賀・今庄の両坑口のほか、トンネルの中間部2箇所からも立坑

や斜坑を掘って掘削するという突貫工事でした。



北陸トンネル

北陸トンネルでは試行錯誤の上、底設導坑先進工法が開発されました。この工法は、まずトンネル下部に底設導坑を先行して掘削し、その後に上部半断面を掘削する方法です。この工法は、底設導坑で地質の確認と地下水の水抜きができるため、比較的悪い地山に対応することができます。そのため、その後の新幹線トンネル工事などに汎用され、山岳工法では標準的な工法となりました。

一方、さらなる高速機械化工法として、1964年（昭和39年）にTBM（Tunnel Boring Machine 全断面トンネル掘進機）が導入されました。TBMはシールドマシンと形状は似ていますが、掘進するための反力をセグメントではなく坑壁からとります。



TBM（模型）

TBMは青函トンネルの導坑掘削や北陸線木ノ浦トンネルの導坑掘削に使われ、以降数トンネルで採用されました。1973年（昭和48年）には東北新幹線第二有壁トンネルで掘削

日進62m、掘削月進670mの日本記録を樹立するなどの成果を収めました。

しかし、我が国の複雑な地質にはなかなか適用することが難しく、その後の本格採用には至りませんでした。

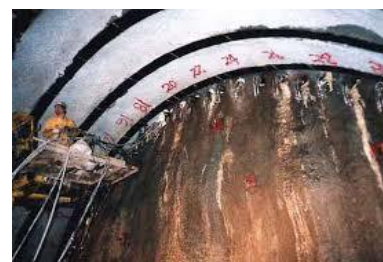
1971年（昭和46年）に本州の青森県と北海道を結ぶ青函トンネルの本工事が着工となりました。青函トンネルは1988年（昭和63年）に開業しましたが、海底部の長さ23.30km、全長53.85kmで、2016年（平成28年）にスイスのゴッタルドベーストンネル（57.09km）が開通するまでは世界最長のトンネルでした。

青函トンネルでは世界に誇る多くの技術が開発され実用化されました。中でも、トンネルを掘進しているときに、前方の状態を知るため行う先進ボーリング、地盤の透水性を減少させたり、地盤の強化を図る地盤注入、吹付けコンクリートの技術は「青函トンネル三種の神器」と呼ばれ、以後の日本における山岳トンネル技術の飛躍的な発展を促しました。



先進ボーリング

地盤注入



吹付けコンクリート

特集

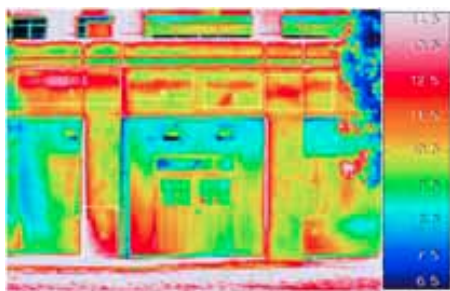
ひび割れ・剥離・空洞の測定

測定方法

ひび割れ・剥離・空洞の測定方法としては、サーモグラフィ（赤外線）法、弾性波法、AE（アコースティック・エミッション）法、電磁波レーダ法などの方法があります。これから4つの測定方法についてご紹介します。

サーモグラフィ（赤外線）法

サーモグラフィ法は、物体表面から放射される赤外線量を赤外線カメラで撮影し、構造物の表面温度分布を測定する方法です。



赤外線画像

画像上に現れる表面温度の異常部から、内部欠陥の存在や、壁仕上材やコンクリートの浮き・剥離、漏水状況などを推定することが出来ます。サーモグラフィ法は非接触で迅速に大面積の測定ができるという長所がありますが、適用に当たっては以下の点に注意が必要です。

- ①測定時の気象条件に左右されやすく、表面に光沢や汚れがあると測定誤差を生じる。
- ②検出深度は50mm程度が限界であるので、欠陥の深さや空隙の厚さの推定は難しい。
- ③窓枠や手すりなど異種材料間の接触部、ベランダなど凹凸部の測定は難しい。

④測定対象物の形状あるいは立地条件によっては、適切な距離あるいは角度からの測定が困難ことがある。

⑤測定精度を高めるためには、晴天日に、調査対象部分の日射受熱量が最大となる時間帯（8時～16時など）、あるいは最高気温、最低気温となる時間帯に測定を行う必要がある。

弾性波法

弾性波法は、コンクリート表面に設置した発振子や衝撃入力装置によって内部に弾性波を発生させ、これをコンクリート表面の受信子で測定してコンクリートの内部欠陥の位置や寸法を測定する方法です。



衝撃弾性波試験

弾性波は異なる物質の境界面でそのエネルギーの一部が反射する性質を有していることから、コンクリート中にひび割れ、剥離箇所、空洞などがあると、その空気層との境界で弾性波のほとんどが反射してしまうことを利用したものです。弾性波法は利用周波数や弾性波の与え方によって、超音波法、衝撃弾性波法、打音法があります。いずれの方法も、ひび割れ、剥離、内部空洞、背面空洞を有する、どのようなコンクリートにも適用が可能です。

利用周波数は、周波数が高いほど、より小さい寸法の欠陥まで検出でき、周波数が低いほど、検出可能な欠陥の寸法は大きくなります。

AE（アコースティック・エミッション）法

AE（Acoustic Emission）法は弾性波法の一つで、コンクリートのひび割れの発生や進展に伴って発生し伝播する弾性波を検出する検査方法です。コンクリート内部にひび割れが発生すると、コンクリートに蓄えられていたひずみエネルギーが弾性波として放出される現象を利用したもので、複数のAEセンサーを設置することによって、AE発生源の位置（ひび割れの発生位置）を推定することもできます。ただし、既存のひび割れの検出は出来ません。



AEセンサー

AE法を用いて、連続的な監視や、定期的な期間限定の監視を行うことによって、ひび割れの進展状況の危険性が評価できます。測定精度は市販されている機器を用いた場合には、数mmの位置誤差とされています。AE法の特徴は、連続監視への適用性が高いことで、各種コンクリート構造物のひび割れ診断への展開が期待されています。

電磁波レーダ法

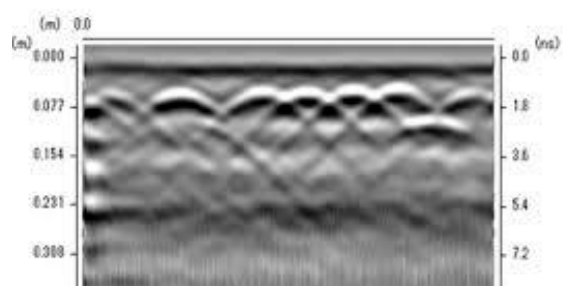
電磁波レーダー法は、コンクリート構造物内の鋼材、埋設物、コンクリートの部材厚、空洞などを調査する方法です。電磁波レーダ

法は取扱いが簡単で、かつ短時間で広範囲の調査が可能で、すぐに結果が得られる調査法です。また特別な資格や免許などを必要としません。



電磁波レーダ

電磁波レーダの原理は、コンクリート内へ放射された電磁波が、コンクリートと電気的性質の異なる物体（たとえば、鉄筋、埋設管、空洞など）との境界面で反射する時の往復の伝播時間から、反射物体までの距離を算出するというものです。



電磁波レーダによる反射映像

埋設物調査では、鉄筋、埋設管などの平面的位置や深さ方向の位置（かぶり）を検出できます。コンクリートの性状調査では躯体厚や空洞を検出できます。しかし、鉄筋径や埋設物の太さの測定は難しく、計測されたデータから、その形状や材質を判定することはできません。

実構造物への適用例としては、埋設物調査としては鉄筋の配筋探査や木材などの異物、空洞調査としては豆板などの空気層やトンネルの覆工厚調査などに用いられています。

膨張材・収縮低減剤を使用するコンクリートの調合設計・製造・施工指針（案）・同解説

2017年2月、日本建築学会「膨張材・収縮低減剤を使用するコンクリートの調合設計・製造・施工指針（案）・同解説」が制定されました。主要な制定内容の概要お知らせします。

- (1) 適用できるコンクリート：①JIS A 6202（コンクリート用膨張材）に適合する膨張材を使用するコンクリート、②JASS 5 M-403（コンクリート用低添加型膨張材の品質基準）に適合する膨張材を使用するコンクリート、③JASS 5 M-402 附属書 1（コンクリート用収縮低減剤の品質基準）に適合する収縮低減剤を使用するコンクリート、④水和熱抑制型や早強型の膨張材で、所用の品質のコンクリートが得られることが確認されたもの。
- (2) 乾燥収縮率の級と目標とする乾燥収縮率の上限値：①標準： 800×10^{-6} 、②高級： 650×10^{-6} 、③特級： 500×10^{-6} 、④超特級： 400×10^{-6} 。
- (3) 凍結融解作用を受ける部位に使用する場合：試験または信頼できる資料によって事前に確認する。アルコール系収縮低減剤を使用する際は、空気量調整剤の種類および添加量を調整し、事前に凍結融解作用に対して問題がないことを確認する。
- (4) 膨張材コンクリート
 - ・膨張材の使用量は、拘束膨張率が 150×10^{-6} 以上を得るように定めることを標準とした。
 - ・拘束膨張率の測定は、一軸拘束試験のほか、軽量の円筒型鋼製型枠を用いた三軸拘束状況下の膨張率を用いてもよい。
 - ・床スラブに用いる場合で、仕上げに塗床材がある時は、塗床材に膨らみなどが生じることがあるため、適切な膨張材を選定する。また、打放しコンクリートにおいては表面の仕上がりに影響を及ぼすことがあるため、事前に仕上がり状態を確認してから用いた方がよい。
- (5) 収縮低減剤コンクリート
 - ・収縮低減剤の使用量は事前に試験を行い定める。乾燥収縮率の試験は早期判定式を用いて確認することが出来る。
 - ・収縮低減剤コンクリートは凍結融解作用に対する抵抗性が低下する場合があるので、計画調合の空気量を増加させる。
 - ・収縮低減剤を添加するタイミングにより、製造方式を工場添加方式と工場添加方式以外の二つに区分し、製造方式に応じて受入検査方式を定めた。
- (6) 膨張材・収縮低減剤併用コンクリート
 - ・対象コンクリートの乾燥収縮率と目標とする乾燥収縮率の差が大きい場合の対策として、膨張材・収縮低減剤併用コンクリートについて規定した。
 - ・膨張材・収縮低減剤併用コンクリートの前提として、既に使用材料として乾燥収縮ひずみの対策を行っていることとした。
 - ・乾燥収縮率の低減効果は、膨張材および収縮低減剤を単独で使ったコンクリートの効果を重ね合わせて評価することを標準とした。

日本のコンクリート構造物

日本一美しいダム ー白水溜池堰堤ー

大分県竹田市の大野川上流にある白水溜池堰堤は、重力式コンクリート造及び石造の堰堤です。灌漑を目的に、1934年（昭和9年）に着工し、1938年（昭和13年）に竣工しました。通称、白水ダムと呼ばれていますが、河川法では堤高が15m以上のものをダムとしているため、堤高13.9mの白水溜池堰堤は正式にはダムではありません。地形に応じて、右岸端部には武者返しの曲面流路、左岸端部には階段状の流路が設けられています。堰堤を越えて流れる水流や、左右の流路からの水流の美しさから、日本一美しいダムと評価されています。1999年（平成11年）に国の重要文化財に指定されています。



全景



右岸端部 武者返しの曲面流路



左岸端部 階段状流路

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>