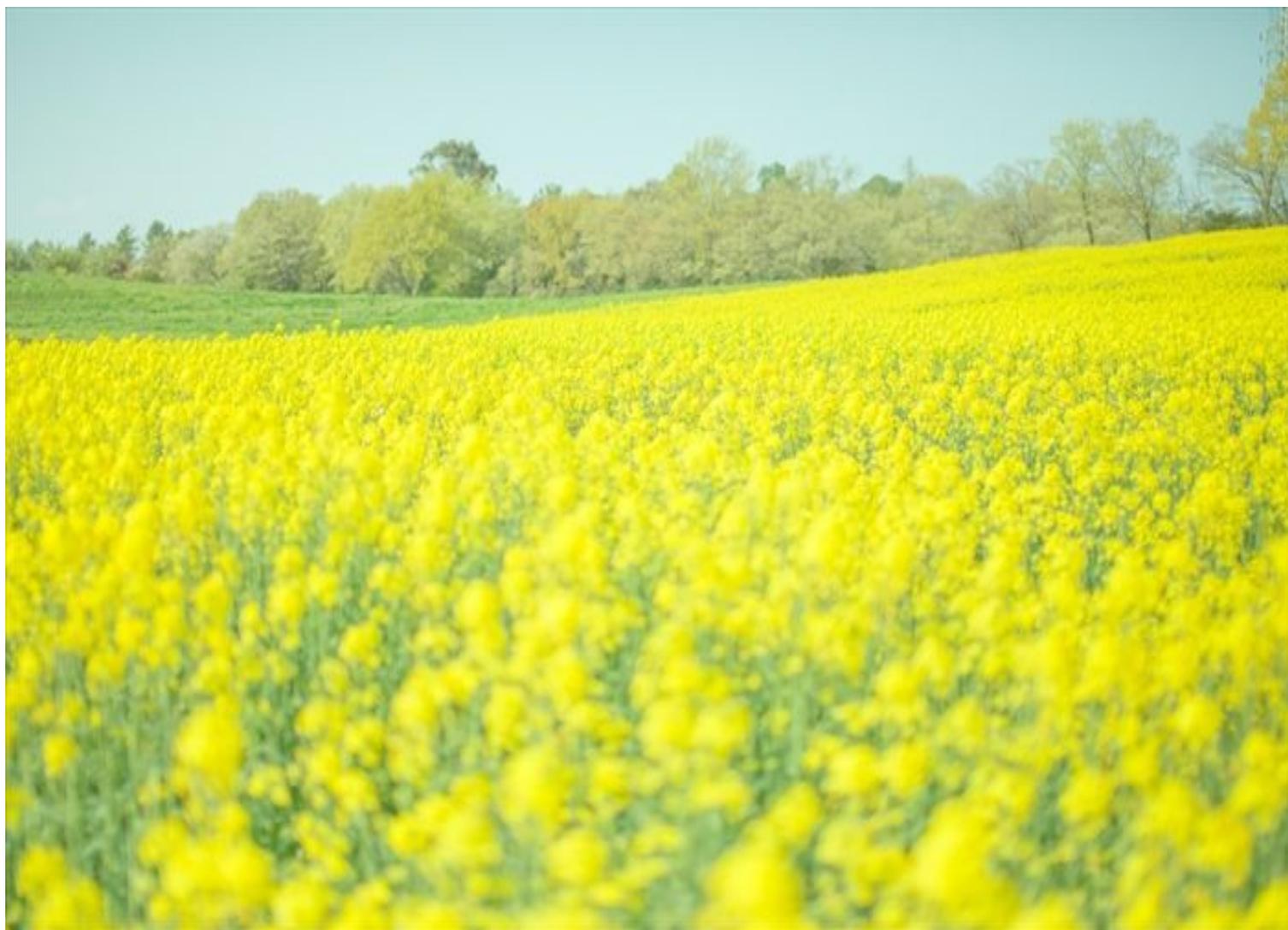


三協Mirai News



2017年春号 No. 17

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(1)
- ・特集 コンクリートの配(調)合推定
- ・技術ニュース 施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針[2016年版]
- ・日本のコンクリート構造物

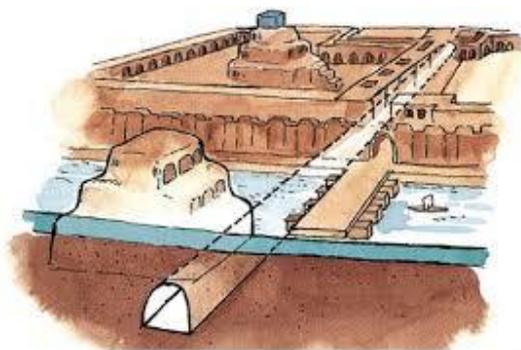
トンネル（1）

■ トンネルとは

トンネルは地下や山や海底などの土の中を通る地下空間で、日本語では隧道と呼ばれています。1970年（昭和45年）のOECD（経済協力開発機構）の国際トンネル会議では「計画された位置に所定の断面寸法をもって設けられた地下構造物で、その施工法は問わないが、仕上がり断面積が 2m^2 以上のもの」と定義されています。トンネルは、鉄道や道路などの交通路や水道、下水、電線などライフラインのための共同溝、また鉱物の採掘や天然ガスや石油など蓄えておく基地など、生活を支える施設として幅広い用途で利用されています。

■ トンネルの歴史

トンネルは灌漑用水路として古代から造られていましたが、記録に残る最も古いトンネルは、今から4000年前に造られたバビロンのユーフラテス川をくぐる水底トンネルです。



ユーフラテス川の水底トンネルの想像図

このトンネルはユーフラテス川の両岸にある宮殿と神殿をつなぐためのもので、高さ3.7m、幅4.6m、長さは約950mと伝えられています。建設方法は川の水を仮水路で他へ流し、川底を露出させ溝を掘り、その中にレ

ンガとアスファルトでトンネルを構築し埋め戻す方法です。このトンネルは実際に建設されたことはほぼ間違いないとされていますが、その跡は現在まで発見されておらず、伝説のトンネルと言われています。

古代ギリシャや古代ローマでは、都市へ水を供給するために水道施設の建設が盛んに行われ、大規模な水路トンネルが建設されました。またローマ帝国は8万kmに及ぶ道路網を作りましたが、随所でトンネルが活用されました。

日本では近代までトンネルは発達しませんでした。その代り街道の整備にともなって、峠が発達しました。日本で最初のトンネルではないかといわれているのが、金沢市の兼六園に流れ込む辰巳用水です。辰巳用水は1632年（寛永9年）に3代目加賀藩主前田利常が造らせたもので、全長約10kmの用水です。水路トンネルは約2kmで、「伏せ越し」と呼ばれる逆サイホン装置が造られています。「伏せ越し」は取水地が金沢城より高い位置にあることを利用したもので、金沢城内に水を噴出させる仕掛けになっています。トンネルの掘削はツルハシやタガネを使って岩をくりぬいています。



辰巳用水

トンネルの施工技術は様々な建設機械や工法が開発され現在も進化を続けています。トンネル施工技術の歴史を、大きく山岳トンネルとシールドトンネルにわけて見ていきたいと思ひます。

■山岳トンネル

山岳トンネルの掘進は、削岩、ずり（削岩した岩層）の搬出、掘削面の崩壊を防ぐための支保工の建込、覆工という一連の作業の繰り返しによって行われます。通常、掘削されたトンネルの内面は、地圧に耐えるようにコンクリートなどで被覆します。これを覆工（ライニング）といいます。岩盤が堅固な場合は覆工を省略して素掘りとすることもあります。また、地質が悪い場合は地圧が底部からかかるため、底部にもインバートと呼ばれる覆工を設ける場合があります。

トンネルの掘削は初めはツルハシやノミを使った手掘りによって行われていました。掘削に初めて火薬が使われたのは1665年で、フランスのランゲドック運河のマルパストンネルです。

日本では1666年（寛文6年）に着工し1670年（寛文10年）に完成した箱根用水が造られています。このトンネルは箱根の芦ノ湖の湖水を静岡県の裾野市に引くために造られた灌漑用水路で、長さは1,342mあります。このトンネルの造成は芦ノ湖側と裾野市側の両方から、火薬を用いず、ひたすら手作業のみで掘り進めました。工事に動員された作業員は延べ83万人といわれています。

1764年（明和元年）には、菊池寛の「恩讐の彼方に」のモデルとなった青の洞門が完成しています。このトンネルは大分県の耶馬溪にあり、諸国巡礼の旅の途中に立ち寄った禅海和尚が、危険な道で人馬が命を落とすのを見て心を痛め、1735年（享保20年）から自

力で岩壁を掘り始めました。その後、禅海和尚は托鉢勧進で資金を集め、雇った石工たちとともにノミと槌だけで30年かけて掘り抜いたといわれています。1750年（寛延3年）の第1期工事の完成後には、「人は四文、牛馬は八文」の通行料を徴収して工事の費用に充てたという話が伝わっており、この洞門は日本最古の有料道路ともいわれています。



箱根用水



青の洞門

鉄道や道路のトンネルには「入口」と「出口」が決められています。起点に近い方が「入口」、終点に近い方が「出口」となります。

鉄道では東京駅が起点になるので、東京寄りの坑口が「入口」、反対側が「出口」になります。

道路では、大正時代までは日本橋が起点になっていたため、日本橋側が「入口」となっていました。現在は、路線名や重要な経過地などを勘案して起点、終点が決まっています。

特集

コンクリートの配(調)合推定

配(調)合推定とは

コンクリートの配(調)合推定は、打ち込まれたコンクリートの材料構成を把握するために、硬化コンクリートのセメント量、骨材量、結合水量などを化学的な手法によって求める試験です。推定の方法としてはセメント協会法、グルコン酸ナトリウム法、ICP法、フッ化水素酸法などがあります。それぞれの試験方法をご紹介します。

セメント協会法

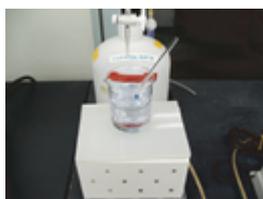
セメント協会法は(社)セメント協会 コンクリート専門委員会報告において提案されたもので、最も多用されている試験方法です。

試験の手順は、まず硬化コンクリートを微粉砕して粒度調整を行います。この試料の一部を $600\pm 50^{\circ}\text{C}$ の電気炉で強熱乾燥し、質量の減少量から結合水量を算出します。

つぎに希塩酸に、粒度調整した試料を加えて攪拌溶解します。溶解した試料をろ過し、ろ液をEDTA標準液を用いた滴定により酸化カルシウム量を定量してセメント量を算出します。残留物は $1000\pm 50^{\circ}\text{C}$ の電気炉で強熱し強熱後の質量から骨材量を算出します。



強熱減量



酸化カルシウムの定量

セメント協会法を適用する場合には次のような点に注意が必要です。

①セメントが普通ポルトランドセメントで、骨材があまり特殊なものでない限り適用が可能です。また中性化したコンクリートにも適用することが出来ます。

②石灰石骨材を使用したコンクリートには適用できません。これは、石灰石が希塩酸に溶解し、セメント中のカルシウムと骨材中のカルシウムが区別できないためです。

③貝殻を含んだ海砂を使用したコンクリートの場合、海砂中の貝殻から溶出するカルシウム量の補正が必要になります。カルシウム量の分析値が入手できる場合にのみ適用できます。

④配合をより正確に推定するためには、配(調)合推定するコンクリートに使用されたセメントと骨材の分析値が必要です。文献値でも代替できますが、誤差を生む可能性があります。

グルコン酸ナトリウム法

グルコン酸ナトリウム法はセメント協会法の欠点である、石灰石骨材や貝殻を含んだ海砂には適用できないことの解消を図った方法です。この方法ではグルコン酸ナトリウム溶液を溶解剤として採用しています。グルコン酸ナトリウム溶液を採用しているのは、この溶液が貝殻や石灰石骨材に起因する炭酸カルシウムをほとんど溶解せずに、セメント分を溶解することを活用したものです。

試験の手順は、硬化コンクリートを微粉砕し、 $500\pm 25^{\circ}\text{C}$ で2時間強熱したのち、グルコ

ン酸ナトリウム溶液でセメント分を溶解します。この溶液をろ紙を用いてろ過し、残留物を強熱して不溶残分量を求めて単位セメント量を算出します。この試験法では以下のような点に注意が必要です。

- ①高炉セメントやフライアッシュセメントなどの混合セメントには適用できません。
- ②グルコン酸ナトリウム溶液は炭酸カルシウムを溶解しないため、中性化したコンクリートには適用できません。

ICP法

ICP法はグルコン酸ナトリウム法と同様に、石灰石骨材や貝殻を含んだ海砂を使用したコンクリートにも適用できる試験法です。この方法では、セメント成分のうち酸化カルシウムに次いで量が多く、変動の少ない酸可溶性シリカに着目して、これを指標として配合推定を行います。

試験は微粉碎した試料をギ酸溶液で溶解し、ろ過液中の酸可溶性シリカを、ICP（誘導結合プラズマ発光分光分析装置）を用いて分析します。



ICPの例

ギ酸溶液を用いて溶解した場合、セメント中の酸可溶性シリカ分は99%以上溶解しますが、骨材中の可溶性シリカはほとんど溶解しません。そのため使用骨材の種類にかかわらず、セメント量に対して $\pm 15 \text{ kg/m}^3$ 以内の比較的高い精度で、しかも短時間で試験をす

ることが出来ます。この試験法では以下のような注意が必要です。

- ①中性化したコンクリートやアルカリシリカ反応を生じているコンクリートには適用できません。
- ②ICPが高価なため、特定の試験機関でしか、試験が行えません。

フッ化水素酸法

フッ化水素酸法は、コンクリート試料をフッ化水素酸を用いて完全に分解し、酸化カルシウム量を求める試験です。

試験は、まずフッ化水素酸により分解した試料をEDTA標準液を用いた滴定によりコンクリートの全酸化カルシウム量の定量を行います。次に粗骨材を取り出して同様に全酸化カルシウム量を定量します。細骨材については、偏光顕微鏡を用いて全酸化カルシウム量を推定します。

単位セメント量は、コンクリート中の全酸化カルシウム量から粗骨材、細骨材中の全酸化カルシウム量を差し引いて算出します。この方法は、単位セメント量、単位粗骨材量、単位細骨材量、単位水量まで求めることが出来、石灰石骨材を用いたコンクリートにも適用できます。この試験では以下の点に注意が必要です。

- ①試料を分解するフッ化水素酸が人体に有害である。
- ②偏光顕微鏡を使用するため、一般的な試験機関では試験が困難です。

■コンクリートの配(調)合推定に当たっては、いずれの方法においても、試験に用いたコンクリート試料が構造体全体を代表するものなのかどうかという問題があります。試料を採取する位置の選定にあたっては、この点に十分配慮する必要があります。

施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針[2016年版]

2016年6月、土木学会は「施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針」を改訂しました。上記指針の主要な改訂点をお知らせします。

- (1) 本指針では、天然骨材に比べて施工性に劣る砕石や砕砂のような骨材を使用したコンクリートを想定した内容としている。良質な天然骨材が使用できる場合にこの指針をそのまま準用すると材料分離抵抗性の低下など、ワーカビリティを損なう場合もあるので、留意する必要があることを記述した。
- (2) 「コンクリートの施工性」と「コンクリートの施工性能」の考え方を明確にした。「施工性」は構造物の建設に係る環境条件や構造条件、施工条件などを総合的に考慮して定まる施工の容易さで、定性的な判断が含まれる。「施工性能」はコンクリート自体が有する充填性や圧送性、材料分離抵抗性などのフレッシュコンクリートの性質を指す。
- (3) 単位セメント量の上限值と下限値、スランプの下限値の範囲内であれば適切な施工性を有するが、材料やコストなどの制約もあるため、施工性能をベストなものからベターなものまでの3段階に分類した。
- (4) 発注者や設計者向けにコンクリートの施工性とコンクリートの施工性能の関係をわかりやすい形で解説した。
- (5) スランプを大きく設定した場合に懸念されるブリーディングの発生に関する注意事項を追記。ブリーディングは単位水量が大きくなると増えることから、スランプを設定する際に単位水量が土木の上限值である $175\text{kg}/\text{m}^3$ 以下であることを確認し、上限値を超える場合には高機能タイプのAE減水剤や高性能減水剤などで対応することを明記した。
- (6) 初版では、選定した配合に関して「配合の照査」という用語を用いていたが、照査と検査という用語を極力排除し「確認」という用語に置き換えた。
- (7) 構造設計で配慮すべき事項を記述し、構造設計で考慮した施工性に関する事項を設計図書に記載し、施工者に伝達する必要があることを記述した。
- (8) コンクリートの施工性能を評価する試験方法として「ボックス形容器を用いた加振時のコンクリートの間隙通過性試験方法(案)」を開発して盛り込んだ。同試験方法はボックス形の充填装置とバイブレータを用いて、コンクリートが鋼材間を流動する際の間隙通過性を評価する。

日本のコンクリート構造物

大正期の巨大鉄筋コンクリート構造物 —針尾無線塔—

佐世保市針尾中町に建つ3基の針尾無線塔は、帝国海軍により1918年（大正7年）に起工され、4年後の1922年（大正11年）に完成しました。無線塔の高さは約136m、塔の直径は基底部で約12m、頂部で約3mで、3基の配置は約300m間隔の正三角形になっています。この無線塔から、中国大陸、東南アジア、南太平洋方面の海軍部隊や艦船などに送信されました。太平洋戦争開戦の暗号「ニイタカヤマノボレ1208」を中継し送信したと言われていたますが、資料が残っていないため、事実是不明です。1997年（平成9年）に後継の無線施設が完成したため、無線塔としての役目は終わりました。2013年（平成25年）に日本の技術発展を象徴する近代遺産として、国の重要文化財に指定されました。



三基の無線塔



電信室地下の電源室



無線塔外観



無線塔内部

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 (O R E 本町南ビル) 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>