

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

コンクリートの品質を診断する

コンクリートの品質と聞いて思い浮かべるものには、材料としての強さ、見栄えの良さ、表面の固さなどがあるかと思いますが、鉄道高架橋などの鉄筋コンクリート構造物を長く使い続けるためには、内部の鉄筋を劣化させないことが重要になります。ここでは、内部の鉄筋を劣化などから保護するためのコンクリートの品質に関する診断技術について、そしてコンクリートの品質を手軽に診断するために開発した「散水試験」という技術について紹介します。



西尾 壮平
Sohei Nishio
材料技術研究部
コンクリート材料研究室
主任研究員
[専門分野] コンクリート工学

鉄筋コンクリートにおける「コンクリート」の役割

鉄筋という鋼材とコンクリートを組み合わせてできるのが鉄筋コンクリートで、世の中には鉄筋コンクリートでできた土木構造物やビルなどの建築物が数多くあります。

鉄筋コンクリートを造るおおまかな手順は、①型枠と鉄筋を設置する、②コンクリートを流し込む、という流れになります。造るモノの形や造る場所などによって型枠の設置と鉄筋の設置の順番は変わることがありますが、型枠と鉄筋が組み立てられたあとにコンクリートを流し込むという手順は変わりません。コンクリートを流し込む、と表現しましたが、コンクリートはドロドロした状態から徐々に固まってでき上がります(☞参照)。そのため、型枠の中に流し込まれたコンクリートは鉄筋をその中に包み込む形で固まり、固まったコンクリートが鉄筋を保護す

る役割を担うのです。これが鉄筋コンクリートです。

鉄筋コンクリートの耐久性には中の鉄筋の状態が大きく影響します。たとえば、錆びた鉄筋は体積が元の2.5倍ほどに膨張し、表面のコンクリートの中から押し出してはく離・はく落させることがあります(図1)。そのため、鉄筋コンクリートの耐久性を考えると、鉄筋を錆びさせないために、鉄筋がコンクリート表面からどの程度の深さに埋め込まれているか、そして鉄筋を包み込むコンクリートの品質はどうか重要です。

図2は、コンクリートの表面を顕微鏡で拡大して観察した画像です。コンクリートには目に見えるミリ単位の大きさの気泡のような丸い孔だけでなく、目に見えないマイクロやナノサイズ(マイクロ: 10^{-6} m, ナノ: 10^{-9} m)の細かい空隙が無数に存在します。そのため、これらの空隙を通して水や空気が

☞ コンクリート

コンクリートは水とセメントと骨材(砂や石)を混ぜ合わせてできています。水とセメントの化学反応(水和反応)によって徐々に固まっていき、固まる前のドロドロした状態のコンクリートをフレッシュコンクリートと呼びます。

コンクリートの内部まで入っていきます。水や空気は鉄を錆びさせます。また、水や空気の中にコンクリートを劣化させてしまうような物質が含まれていることがあります。中に包まれている鉄筋とコンクリート自体を劣化させないためには、コンクリートには水や空気がほとんど内部に入らないような表面のち密さ（以下、表層品質とします。）が求められます。

鉄筋を包み込むコンクリートの品質の診断

鉄筋が埋め込まれた深さは、かぶりまたはかぶり厚さと呼ばれ、コンクリートが流し込まれる前に入念にチェックされるだけでなく、コンクリートが固まったあとに電磁波を使った探査装置などによる非破壊検査で診断されます（☞参照）。鉄筋が埋め込まれた深さは、型枠内で所定の場所に鉄筋が設置されてコンクリートが流し込まれて固まってしまえば、基本的に変わることはないと考えられます。

一方、鉄筋を包み込むコンクリートの品質は、材料の配合、材料の使い方や流し込みのやり方（施工方法）、しっかりと固まるまでの保存方法（養生方法と環境条件）などによって変わってしまいます。ここで、**図3**の**A**と**B**のコンクリートを見比べてみましょう。一見すると、ほとんど違いはないように見えます。固まったあとのコンクリートの品質が良いか悪いかは、目に見えるような表面のひび割れや気泡などが、あるかどうか、多いか少ないか、といったことしか比べようがありません。**図3**の**A**と**B**のコンクリートではどちらも目立った気泡などは見当たりませんが、表層品質には大きな差があるのです。**図4**は、トレント法（☞参照）と呼ばれる手法を用いた測定装置で調べた**A**と**B**のコンクリートの表層品質の評価結果です。トレン

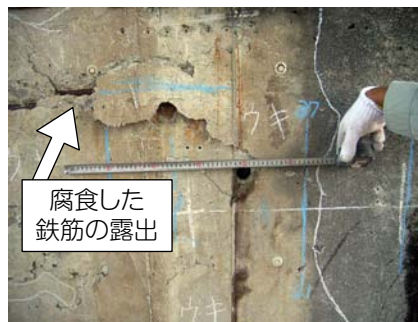


図1 鉄筋の腐食によるコンクリートのはく離（ウキと記載）

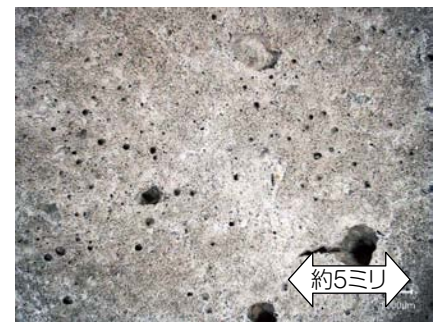


図2 コンクリート表面の空隙

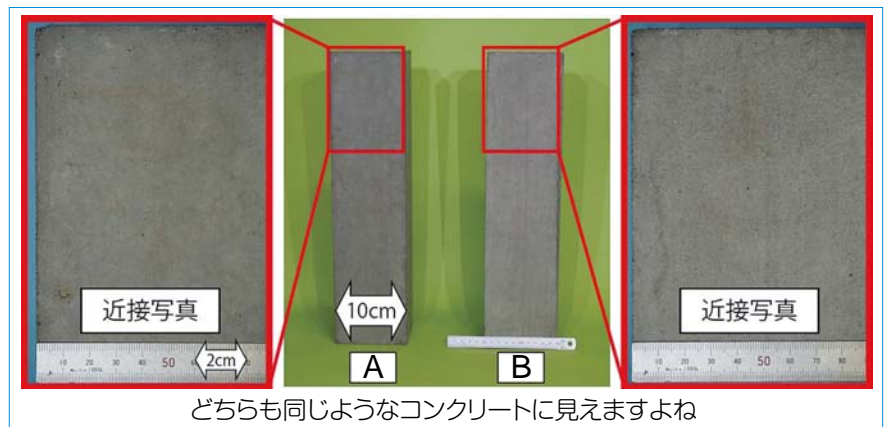


図3 コンクリート試験体AとB

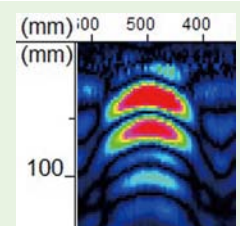
ト法の評価によれば**図3**の**B**のコンクリートは5段階評価で最低の「とてもわるい」という評価になりました。

固まったあとのコンクリートの品質について、実際の構造物では見栄えの良さ（ひび割れなどの不具合がないか）と表面の固さ（≒所定の強度）の検査が行われます。また、コンクリートの強度に関する試験が実構造物ではなく同じコンクリートで造っておいた専用のテストピースを使って試験室内で行われます。しかし、もうひとつ重要な、鉄筋を劣化から保護するのに十分

なち密さを持っているかどうか（＝表層品質）については、材料に問題がないかなどの書類上でのチェックしか行われません。これは、実際の構造物で表層品質を手軽にチェックすることができない、ということが大きな理由のひとつと言えます。そのため、使用した材料には問題がないのに施工方法や養生方法などが不適切で、固まったあとのコンクリートの品質に問題が生じて**図3**の**B**のようなものができていたとしても、それは確認されていないのです。つまり、実際の構造物で

☞ 電磁波レーダーによるコンクリート内部の鉄筋探査

電磁波が物質の境界面で反射する特性を利用してコンクリート内部の鉄筋位置を特定する方法があります。レーダー探査画像（右図、上部の赤い山が鉄筋位置）の解読には知識と経験が必要ですが、RC構造物の調査ではよく使われる一般的な手法のひとつです。



☞ トレント法（トレント試験）

スイスのTorrent博士が1992年に発表したダブルチャンバー法表層透気試験の通称。日本国内では2010年頃より試験装置が普及し始めました。現行の機種は操作性などが改良された3世代目です。

4世代目の新機種が近日公表される予定です（Torrent博士談）。

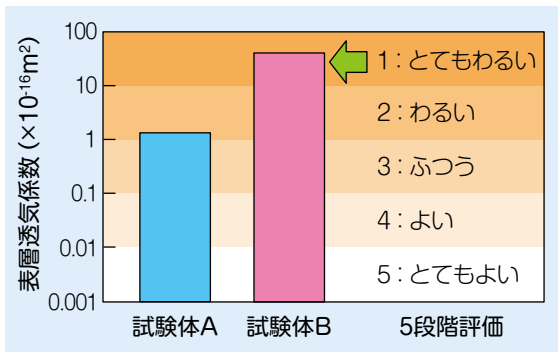


図4 トレント法によるコンクリート試験体A, Bの表層品質の測定結果

コンクリートの表層品質の診断は行われていないということです。

たとえば自宅を鉄筋コンクリート造で、見た目のデザインが格好の良いコンクリート打ち放しで新築するとしたら、誰もがそのコンクリートには耐久性に優れた、高い表層品質を持つコンクリートであってほしいと思うはずですが、しかし、でき上がった実物のコンクリートの表層品質を検査するというルールはないので一般には品質を確認できません。また、表層品質を診断したいと考えても、そのためにはトレント法などの特殊な試験方法を専門家に依頼する必要があるというのが現状でした。

コンクリートの表層品質の診断技術

実際のコンクリート構造物で表層品質の非破壊検査を実施するというルールが定められている国があります。図4で測定データを示したトレント法が生み出されたスイスです。スイスでは、鉄筋コンクリートにとって厳しい環境条件で造られる構造物などに対して、コンクリートの工事が適切に行われたことを確認するためにトレント法などによる診断を行うというルールがあります。問題があった場合には、構造物からコンクリートの塊をくり抜いた試験体(コンクリートコア試験体)による追加の調査や分析が行われます。そして、実構造物で鉄筋の劣化などが

生じる前に、適切な対策が検討されていきます。図5は、トレント法のような表層透気試験と呼ばれる手法の測定原理を簡単に示したイラストです。表層透気試験ではコンクリート内部に空気がどの程度入ることができるか(透気性)を測定します。具体的には、吸引カップ内の圧力変化を計測して「透気係数」という数値が計算され、透気係数が小さいほど表層品質が優れているという形で評価が行われます。

トレント法は日本でも活用され始めています。東日本大震災からの復興を契機として土木構造物の建設が急ピッチで進められてきた東北地方では、国土交通省東北地方整備局が、コンクリート構造物の検査において従来求めてきた強度とでき栄えに加えて、表層品質を追求する方針を定めており、実際の構造物で表層品質を診断するためにトレント法が活用されています。また、トレント法だけに限らず、日本国内では表層品質を診断するさまざまな技術に関する研究開発が活発に進められています。各種の診断技術に関する

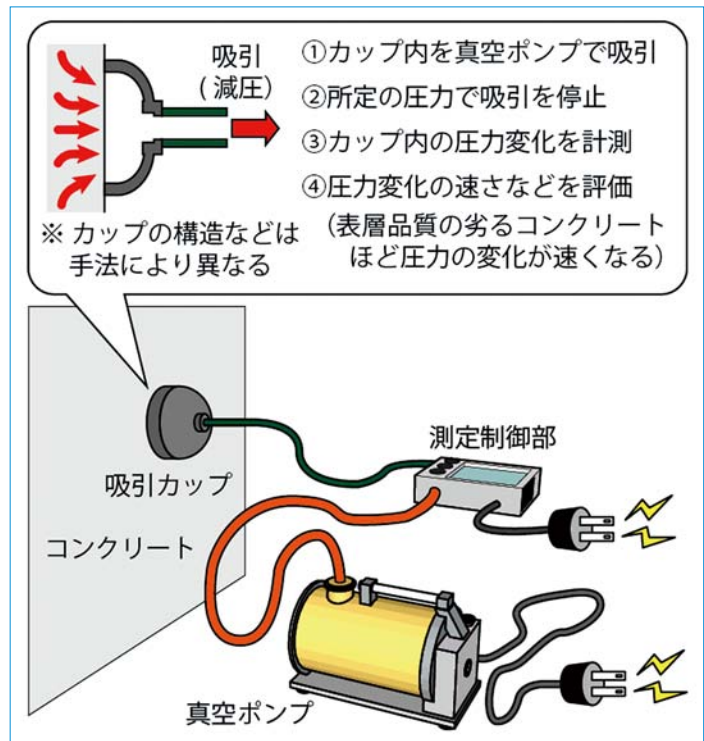


図5 表層透気試験の測定原理

研究のほか、コンクリートの施工方法、養生方法と環境条件などによって表層品質がどの程度変化するのかということを検証した研究事例が学会などで数多く報告されています。

それでは、鉄道高架橋のような構造物はこれからトレント法などの手法で表層品質が診断されるようになっていくのでしょうか(図6)。表1は、鉄道総研での実績に基づいて、トレント法による表層品質の診断に必要な条件を簡単に整理したものです。測定の作業は1~2名で実施できますが、1箇所(1平方メートルほど)の測定に1~2時間ほどを要します。表層品質に関する有益なデータが取得できるとしても、高架橋のような大規模かつ多数の構造物に対していきなりトレント法を適用するのは合理的とは考えられません。トレント法などで表層品質を詳細に調査するための箇所を、まずは“何らかの方法”で絞り込むべきです。その“何らかの方法”は、可能な限り手軽であれば好ましいと言えます。

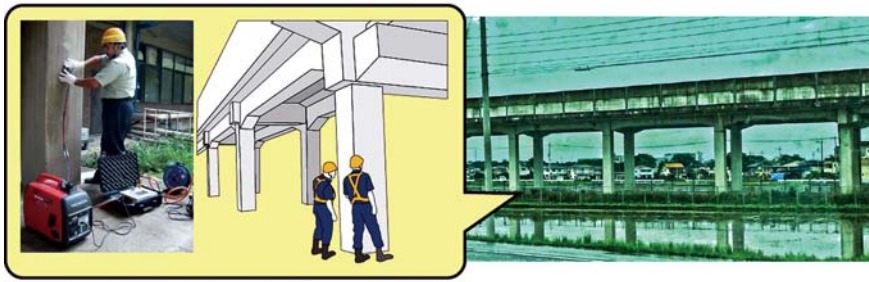


図6 鉄道高架橋における調査のイメージ

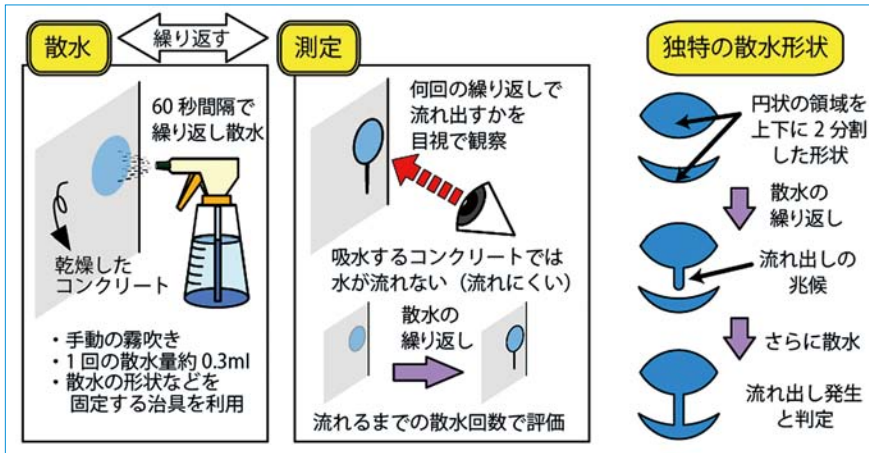


図7 散水試験の概要

コンクリートの表層品質の“手軽な”診断技術

図7は、散水試験¹⁾という、水がどの程度入ることができるか(吸水性)を手軽に調べるための方法です。高架橋のような大規模な構造物で表層品質を効率的に調べるために開発しました。乾燥したコンクリートに散水すると、瞬時に吸水されない水は表面に溜まり、壁面では水が流下します。空隙が多く吸水しやすいコンクリート、つまり表層品質が劣るコンクリートの場合は水が溜まりにくいいため流下しません。このような現象を表層品質の相違と考えると、意図的に少量の水をスプレーで噴霧して吸水性の評価を行う手法が散水試験です。独特の形に水をかけるのですが、これは水が流れ出したことを誰でも簡単に目で見て判別できるように工夫したものです。図3に示したAとBのコンクリートの表面に散水試験で水をかけた時の様子を示したのが図8です。吸水しやすいコンクリートなの

か吸水しにくいコンクリートなのかが一目瞭然であることがわかります。このように、“コンクリート表面へ意図的に少量の水をかけるだけ”という単純な方法で、表層品質の違いをある程度見分けることが可能なのです。

おわりに

コンクリートの品質を診断する、と題して、鉄筋コンクリートにおけるコンクリートの役割、鉄筋を包み込むコンクリートの品質とその診断技術について紹介しました。コンクリートで造られる構造物は私たちの社会生活を支える基盤となるものです。今あるもの、今から造られるものを長きにわたって使い続けていくためには、コンクリートの品質に目を向ける必要があります。しかしながら、コンクリートにひび割れが入ってしまったり、はく離してしまったりするまで、コンクリートの品質に目を向けられることはほとんどありませんでした。今回紹介したよ

表1 トレント法による診断の実情

必要機材と重量	本体：約 9kg ポンプ：約 10kg 発電機：約 20kg
測定前の準備時間	合計約 1 時間 調整運転 (20 分～) 数値確認 (12 分× 2)
測定時間	1 点あたり約 6 分
ばらつきを考慮した測定点数	1 箇所 (約 1m ²) につき 6 点
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・ 本体の操作パネルは英語表記 ・ 段差、ひび割れ、気泡などの箇所は測定できない ・ 5～30℃の環境下で使用する (冬季など動作不安定)

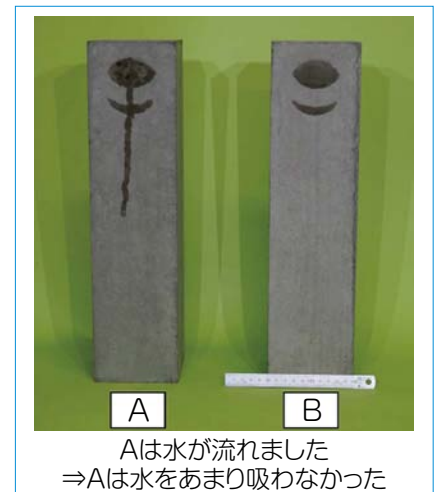


図8 散水試験によるコンクリート試験体A、Bの表層品質の比較

うな技術によって、でき上がったコンクリートの品質を診断するという、そして手軽に診断できるという考え方が広まりつつあります。今から造られるコンクリートの品質向上、また今あるコンクリートのメンテナンスの効率化につなげられるよう、今後も研究開発を進めてまいります。RRR

文献

- 1) 西尾壮平：散水によるコンクリート表層品質の簡易評価，鉄道総研報告，Vol.30, No.6, pp.5-10, 2016