

非破壊試験によるコンクリートの細孔構造推定について

材料研究室

1. はじめに

コンクリートの品質を非破壊で評価しようとする試みは古くから行われており、代表的な非破壊試験方法としては、シュミットハンマーによる反発硬度法、超音波法、電磁波法、赤外線法等が挙げられます。コンクリートの品質を評価する場合、新設構造物に対しては、所定の性能を満足しているのか、既設構造物に対しては、供用中の凍結融解、塩害、中性化、乾湿繰り返し等により、どれだけ耐久性を含めた性能が劣化しているのかを評価する必要があります。今までは、ひびわれ等の欠陥部分を探查する等、既設構造物の劣化診断を中心に非破壊試験方法が利用されてきました。しかし、コンクリートの設計体系が「仕様規定」から「性能規定」に移行し、新設構造物の性能照査を適切な手法で行うことが必要となった現在、ひびわれ等の初期欠陥部分が表面化していないコンクリートの品質を評価する高精度の非破壊試験方法の開発が急務となっています。ここでは、材料研究室が実施している非破壊試験方法に関する研究を中心に、説明を行っていきます。

2. コンクリートの品質と細孔構造

コンクリートの品質を評価する指標として一般的なものは、水セメント比と圧縮強度が挙げられます。ただし、その際の水セメント比は、配合上の値で評価することが多く、圧縮強度も供試体から求められた値のため、実際の構造物の特性を直接表すものではありません。さらに、実構造物では、ブリーディングや材料分離等により、構造物の部分部分で品質が一樣でない場合や、養生条件、環境条件によりコンクリートの品質が異なる場合があり、原位置でコンクリートの品質を正しく評価することが必要となります。また、圧縮強度だけでなく、十分な耐久性を確保することも重要です。

そこで、材料研究室では細孔構造に着目して研究を進めております。細孔とは、コンクリート中の小さな空隙を示し、緻密なコンクリートほど細孔量は小さくなります。一般に、細孔量が小さいほどコンクリートの圧縮強度は高く、耐久性に優れていると言われてお

り、非破壊試験により細孔構造を推定できればコンクリートの品質を評価できると考えられます。

3. 超音波法によるコンクリートの品質評価

3.1 超音波法による実構造物のコンクリートの品質評価

ここでは、覆道の柱を調査対象とした例を紹介いたします。A、B覆道は時期、箇所、配合ともにほぼ同じ条件で施工されたにも拘わらず、A覆道のみ乾燥収縮と思われるひび割れが多数確認されました。そこで、表面の反発硬度を測定しましたが、乾燥収縮ひび割れの多いA覆道がB覆道に比べて大きくなっており、表面の性状と必ずしも一致していません。また、コア試験体の圧縮強度は、A覆道が $48.0\text{N}/\text{mm}^2$ 、B覆道が $48.6\text{N}/\text{mm}^2$ であり、顕著な差は得られませんでした。

写真-1に超音波伝播速度の測定状況を示します。

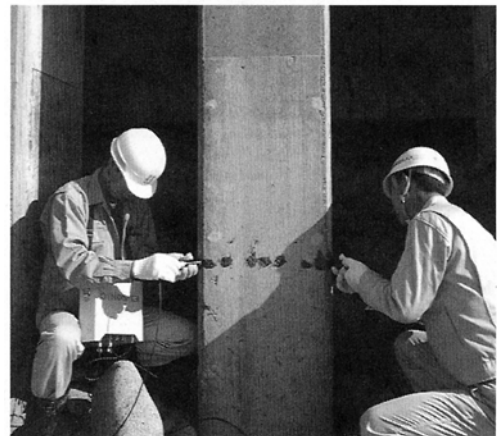


写真-1 超音波伝播速度の測定状況

発信用センサーと受信センサーの距離と伝播時間から伝播速度が求まるわけですが、ここではトモグラフィを作成するため、センサーの設置位置を順次ずらしながら測定を行いました。トモグラフィは、医学の分野で考案されたCT（コンピュータ・トモグラフィ）として知られておりますが、コンクリートの品質評価に適用した例はほとんどありません。

図-1は超音波伝播速度から作成した柱断面トモ

ラフィーを示したのですが、B覆道よりA覆道の方が、内部より表面部の方が伝播速度が遅くなっているのがよくわかります。このように、超音波法を用いることにより、ひび割れ等のコンクリートの品質を評価できるものと考えられます。

3.2 超音波法によるコンクリートの細孔構造推定
 上記のような、コンクリートの品質の相対的な評価だけでなく、伝播速度からコンクリートの品質を推定するためには、コンクリートの品質と関連している細孔構造との相関関係を求める必要があります。既往の研究より、超音波伝播速度に及ぼす骨材量の影響は大

きいことが明らかとなっているため、骨材の影響を除いた修正伝播速度と有効細孔量をパラメータとしました。図-2は、修正伝播速度と有効細孔量の関係を示したものです。図から、骨材の影響を除くことにより、コンクリート、モルタル、ペーストのいずれのセメント硬化体も一つの直線で近似できることがわかります。さらに、実構造物での調査結果も同一の関係にあると認められ、超音波伝播速度を測定することによりコンクリートの品質を評価することが可能になりました。また、有効細孔量と水セメント比の相関を明らかにすることにより、超音波伝播速度からおおよその水セメント比を推定する手法を確立しました。

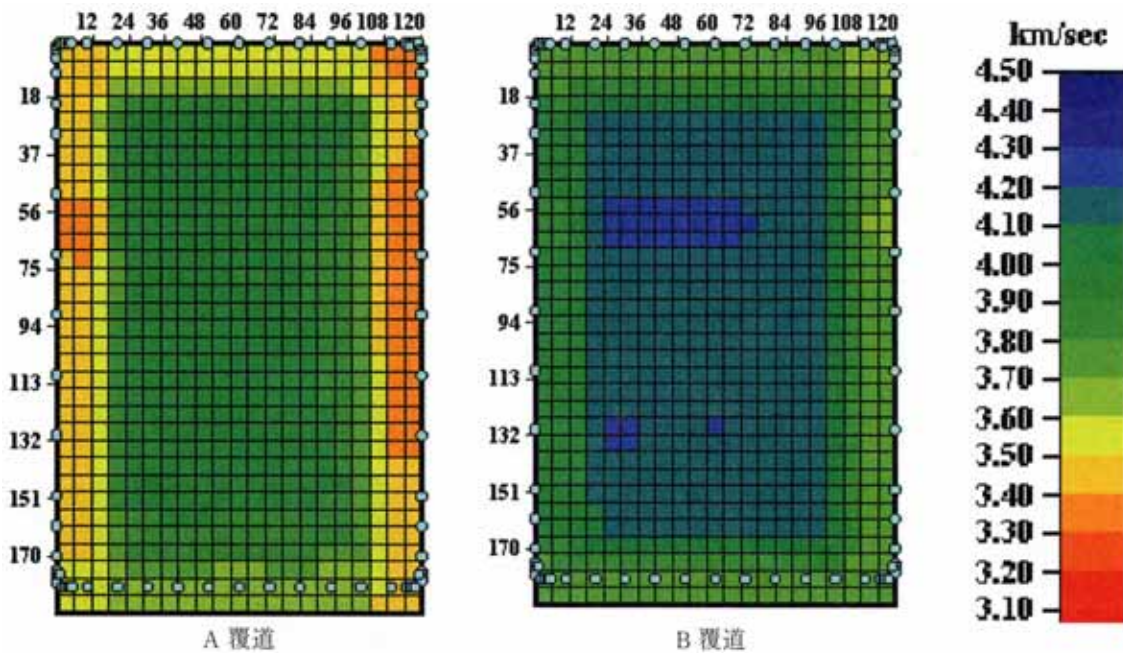


図-1 トモグラフィーによるコンクリートの品質評価

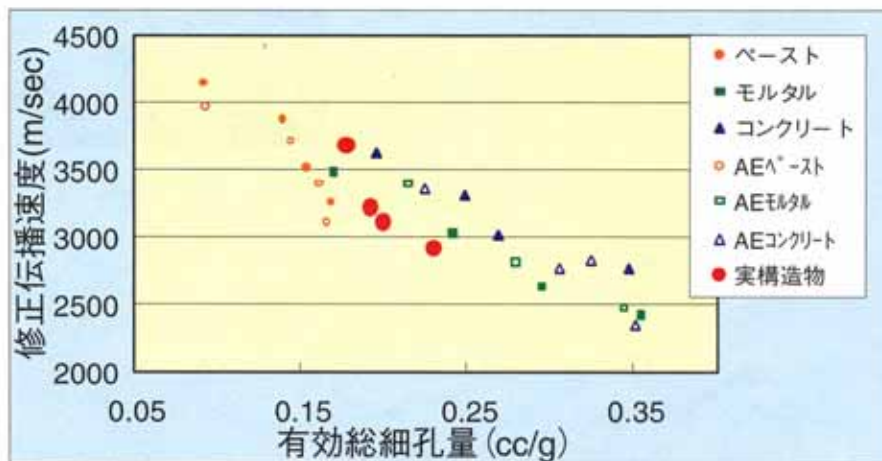


図-2 有効総細孔量と修正伝播速度の関係

4. 水溶性高分子圧入法によるコンクリートの細孔構造評価

4.1 高分子圧入法の測定方法

水溶性高分子圧入法は、種々の分子量分布を持つ高分子溶液を、様々な空隙径を有するコンクリートに圧入浸透（図-3参照）させ、圧入前後の分子量分布を測定することにより、コンクリート構造物の表層の空隙構造を評価する方法であります。

本試験では、水溶性高分子として、高アルカリ環境下においても安定で、電氣的に中性であり、かつ安定した分子量分布が得られるポリエチレングリコール（以下「PEG」と略す。）を用いました。また、PEG溶液は濃度が高くなると粘性が大きくなり、圧入に影響を生じるため、水に対する重量比で0.01%の濃度としました。

試験方法は金属製セルに、円盤状に整形したコンクリート供試体（10×2cm）に3.0N/mm²の圧力でPEG水溶液を加圧し、透過した溶液の分子量分布をゲル浸透クロマトグラフィーにて測定しました。

4.2 水セメント比の異なるコンクリートのPEG溶液透過状況

水セメント比40、55および70%のコンクリートに対して、測定を行った結果、水セメント比が40%においては組織が緻密で細孔量が小さかったため、溶液が透過しませんでした。図-4に、水セメント比55および70%のコンクリートにおけるPEG溶液透過後の分子量分布を示します。また、PEG溶液で測定できる因子は分子量のため、動的光拡散法を用いて各分子量での原子間距離を測定することにより、分子量を粒径へと変換しています。図より、水セメント比が低下する

と粒径-含有率曲線が、粒径の小さい側へと移動していることがわかります。

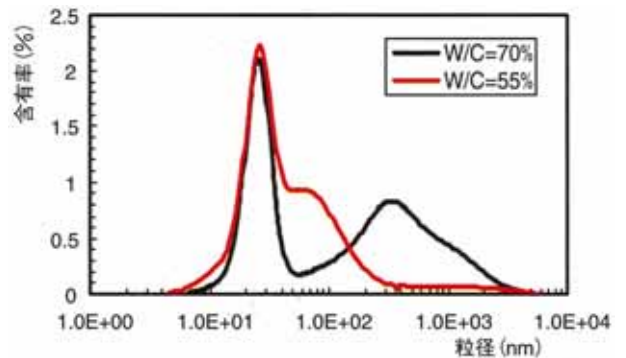


図-4 透過後のPEG溶液の粒径-含有率曲線

水セメント比が低下すると、コンクリート中の細孔構造が緻密になり、大きな細孔が減少することが一般的に知られており、このことと試験結果が一致していることから、高分子圧入法によりコンクリートの細孔構造の差を評価することが可能であると考えられます。

5. まとめ

以上、非破壊試験方法として、超音波法および高分子圧入法の紹介を行いました。非破壊試験の必要性は今後ますます増加し、非破壊試験に求められる精度も高まってくるものと考えられます。今後は他の手法についての検討も行っていきたいと考えています。最後になりましたが、超音波法については間組技術研究所、高分子圧入法については鹿島建設技術研究所との共同研究の成果であることを付記します。

（文責：嶋田 久俊、井上 勝伸）

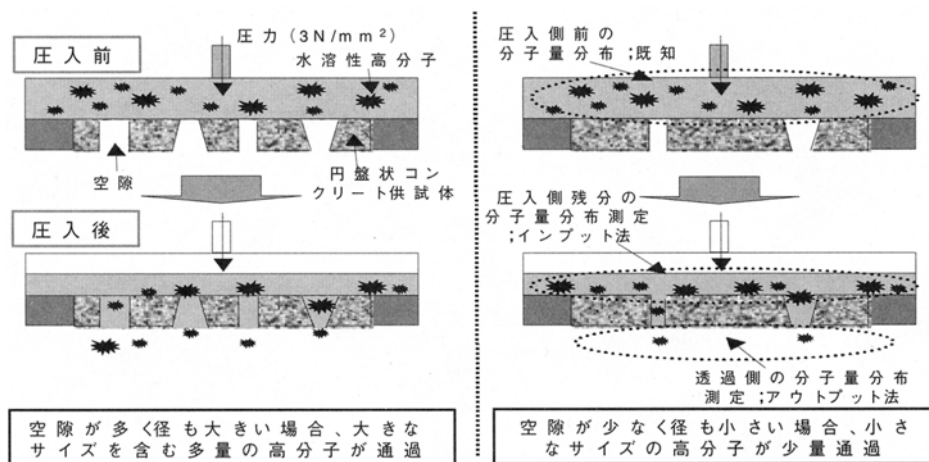


図-3 高分子圧入法の測定原理