

論文 簡易な超音波測定装置を用いた表層品質推定方法の検討

Study of a method for estimating quality of surface concrete using a simple ultrasonic measurement device

○中島 隆^{*1}・伊代田 岳史^{*2}

Ryu NAKAJIMA, Takeshi IYODA

要旨：バッテリー内蔵型でハンディタイプの簡易超音波試験装置を使用し表層品質の推定を検討した．実構造物の条件に近づけるために養生シートを用いた封緘養生を実施し，養生後の超音波速度，含水率，表面吸水速度を計測した．その結果，簡易な超音波速度計測は表面吸水試験から得られる吸水速度と相関がみられ，コンクリート表面の測定に影響を及ぼす水分の逸散が進んだ湿潤養生終了後 28 日で測定をすることで，表層の品質を推定することができると示唆された．

キーワード：簡易超音波速度計測，表面吸水試験，表層品質，養生

1. はじめに

コンクリート構造物の耐久性を確保するために，コンクリートの表層品質を向上させることが求められている．コンクリートの表層品質が低下すると，コンクリート表面から劣化因子の CO_2 や Cl^- がコンクリート内部に侵入し，鉄筋腐食などを引き起こす．近年，施工されたコンクリートの表層品質を施工後早い段階で調査することがあるが，現場での簡易透気試験，簡易吸水試験が主に用いられている．しかし，これらの試験では計測時間が長時間であること，計測時にコンクリートの含水率の影響を受けるという問題点がある¹⁾．そのため，別の手法で精度よく容易に表層品質を捉えることが求められている．非破壊試験には上記で挙げた二つの試験方法以外にも複数存在するが，その中に超音波試験がある．超音波試験はコンクリート内部を伝播する超音波の速度を計測する試験である．超音波試験装置は受信子と送信子を併せ持つ試験機であり，それらをコンクリート表面へ接触させ速度を計測する．超音波試験装置の中には装置が大型のものが多く，図-1のような小型でハンディタイプのものも開発されている．このハンディタイプの超音波試験装置は利点として容易にコンクリートを計測できることにある．計測方法は試験機を表面に押し付け，計測される超音波速度を計測者が記録する．内部電源であるため持ち運びも容易であり，計測時間も約 15 秒でより多くの計測点で試験を実施できる．

コンクリートの表層とは養生や環境条件等の影響を受けて変化する可能性がある領域と考えられており，配合や施工方法によって表層領域は変化すると考えら



図-1 簡易超音波試験装置

れている．また，コンクリートの品質を示す指標は複数あるが表層品質は表層領域におけるコンクリートの物質移動抵抗性と考えられる．

そこで，本研究ではコンクリートの物質移動抵抗性を簡易超音波試験装置による超音波速度計測で把握するために実験を行った．コンクリート構造物の実施工で多く使用されている型枠存置の封緘養生に近づけるため実験では，養生シートを用いた封緘養生を行った．表層品質を変化させるために複数の養生日数で試験体を作製した．なお，評価指標の 1 つとして，コンクリート表面から水を浸透させ物質移動抵抗性を評価する非破壊試験法である表面吸水試験も実施し，両者の計測結果を比較した．

2. 実験概要

(1) 簡易超音波試験

使用した簡易超音波試験装置を図-1 に示す．本装置はコンクリート面に受信子および送信子を押し付け計測する．受信子と送信子間の 150mm を伝播する超音波速度が計測される．

*1 芝浦工業大学大学院 理工学研究科 社会基盤学専攻 Graduate School of Science and Engineering, Shibaura Institute of Technology

*2 芝浦工業大学 工学部先進国際課程（兼任土木工学科）Dept. of Civil Engineering, Shibaura Institute of Technology

(2) 表面吸水試験

使用した表面吸水試験装置を図-2に示す。表面吸水試験法はコンクリート内への水の浸透のしやすさを非破壊で測定するもので、コンクリート構造物の劣化抵抗性の評価手法として開発されている³⁾。本装置は開発された手法と同様のシステムを小型化したもので、コンクリート表面部分にシリンダーを装着し試験を行い、シリンダー内に注水後、10 分間の吸水量の経時変化から吸水速度を算出する。計測された吸水速度が小さいほどコンクリートは緻密であると評価できる。

(3) 試験体概要および養生方法

作製した試験体の形状は図-3に示すとおりで、150mm×150mm×260mm の柱状とし、型枠には鋼製型枠を用いた。材齢 1 日で脱型を行い、脱型後試験体側面に養生シートを貼り封緘養生を行った。また、養生期間は 1, 7, 28 日とし、養生日数ごとに試験体を一体作製し、養生期間終了後養生シートを剥がし、静置した。

(4) 使用材料およびコンクリートの配合

本研究では表層の品質を変化させるために異なる水セメント比で養生日数を変えて検討を行った。表-1にコンクリートの配合を示す。セメントは普通ポルトランドセメント(OPC)を使用した。

(5) 試験方法

図-4に簡易超音波試験、表面吸水試験の測定位置を示す。測定は試験体側面かつ端部の影響を受けない中央部で行い、側面 2 面で実施した。図-5に計測サイクルを示す。気温 20℃相対湿度 60%の環境で養生を行い、養生終了後はコンクリート内部が高い保水状態であることが考えられるため、試験面開放後 1 日、7 日、14 日、28 日で計測を行った。計測では水分状態の参考のため、kett 社製コンクリート水分計 HI-520 による表面含水率の測定も行った。

3. 試験結果と考察

3.1 測定材齢による影響

図-6に各種配合養生条件のコンクリートによる測定材齢と超音波速度の関係を、図-7にその材齢と吸水速度の結果を示す。図-6 からいづれの水セメント比、養生日数においても超音波速度は材齢の経過とともに低下する傾向を示している。また、図-7より吸水速度は材齢の経過とともに増加する傾向を示した。計測された数値は水セメント比、養生の影響を受け大きく異なっている。また、材齢の経過とともに超音波速度は低下し、吸水速度は増加したことから、養生を行っている時は水分逸散が起きないため、水分が十分に保たれ水和が進行するが、養生が終了するとコンクリート表面からの逸散が始まる。逸散によって水隙を埋めていた

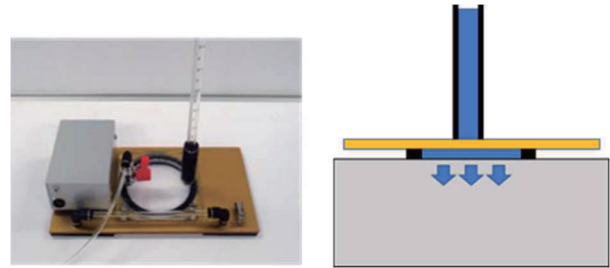


図-2 表面吸水試験装置

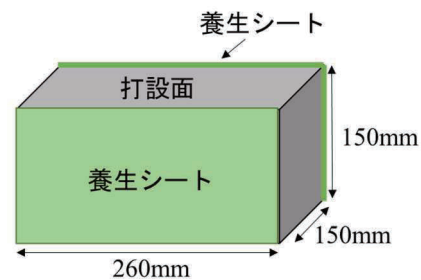


図-3 試験体寸法および養生方法

表-1 コンクリート計画配合

W/C (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
				W	C	S	G
35	12cm	4.5%	44	170	486	723	953
45			46		378	796	969
55			48		309	858	964
65			50		262	928	956

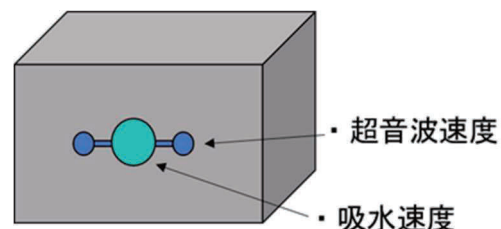


図-4 測定位置

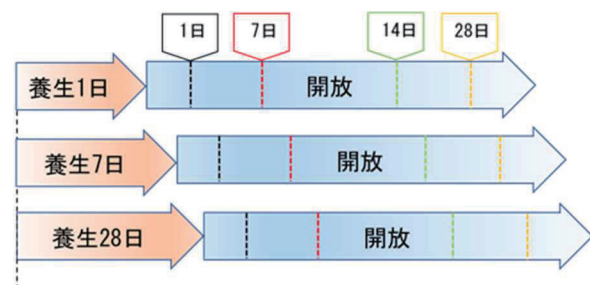


図-5 計測サイクル

水が表面へ移動し、空隙になることによって生成された表層の空隙部分の増加が、超音波速度の低下および、吸水速度の増加に関係するものと考えられる。

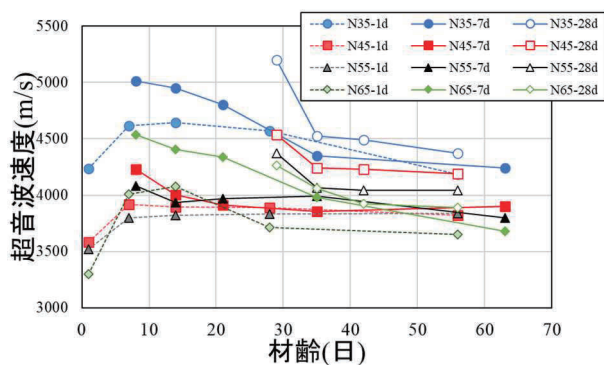


図-6 材齢と超音波速度

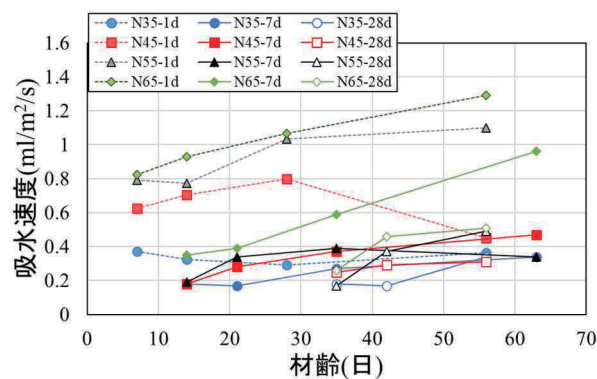


図-7 材齢と吸水速度

よって、養生終了後のコンクリート表面からの水分逸散の影響を確かめる必要がある。

3.2 水分逸散の影響

図-8 に表面含水率と開放日数の関係を示す。開放後 7 日に比べて 1 日では表面含水率はいずれも高く計測され、開放 7 日以降含水率は安定する。これは、試験面開放後 7 日間はコンクリート表面では水の逸散が著しく水分の移動が活発であると考えられる。

図-9, 10 に養生 7 日と 28 日での開放日数と超音波速度の関係を示す。養生 7 日および養生 28 日では超音波速度は開放日数の増加とともに低下した。図-9 の養生 7 日の結果をみると、開放日数の増加とともに超音波速度は低下する傾向がみられた。これは試験面を開放した後はコンクリート表面から水の逸散が超音波速度を低下させていると考えられる。図-10 の養生 28 日の結果を見ると、開放 1 日から 7 日では超音波速度が低下し、7 日からほぼ一定の挙動を示す。これは、水和によって水が十分に使用されたため、超音波速度の低下は開放日数 7 日以降緩やかになったと考えられる。

以上の結果から、超音波速度の計測を試験面開放後の経時変化で見た場合、開放後初期の段階ではコンクリート表面から水が逸散するため、適切な超音波速度の計測がされているとは考えられない。表面含水率をみた場合、開放後 7 日で含水率は平衡状態になっているが、実際は計器で計測できない微量の水分の移動があると考えられる。よって、養生 7 日の場合開放後 28 日での計測、養生 28 日の場合は開放後 7 日で正確な計測ができると考えられる。

3.3 水セメント比と養生日数

養生日数による品質の変化を比較する。図-11 に養生日数と超音波速度の関係を、図-12 に養生日数と吸水速度の結果を示す。養生日数との比較では、開放日数 28 日での計測結果を用いた。

養生日数を延長することで、水和が進行しコンクリート表層の組織は緻密になり、表面からの水の逸散が

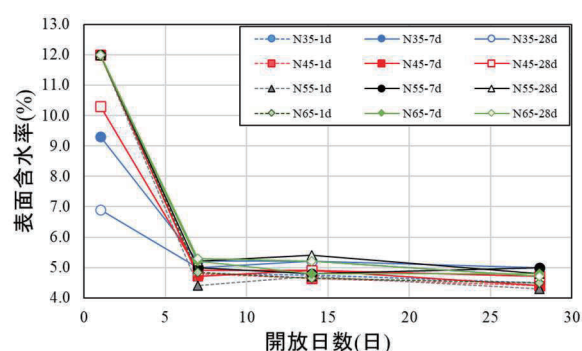


図-8 表面含水率と開放日数

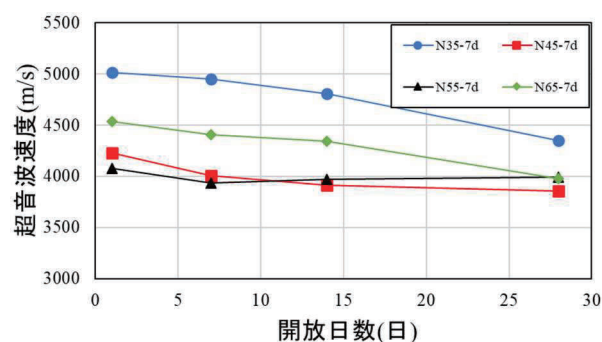


図-9 開放日数と超音波速度の関係—養生 7 日

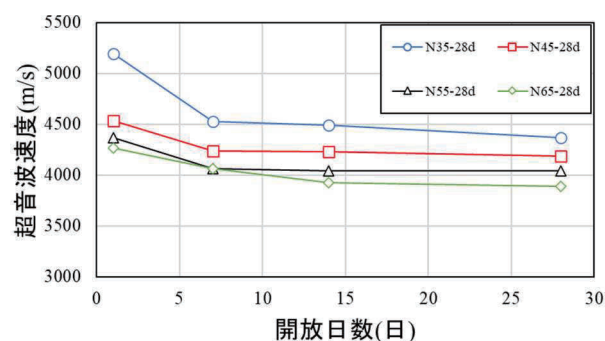


図-10 開放日数と超音波速度の関係—養生 28 日

抑えられることによって超音波速度は増加し、吸水速度は低下すると予想される。水セメント比 35%は他の配合と異なる傾向を示した理由としては、セメントに対する水の量が少ないため、水がセメントとの水和に多く使用され、養生の効果の結果に反映されなかったと考えられる。ただし、他の 3 配合の結果から養生によって変化する表層品質を超音波速度、吸水速度ともに計測できると考えられる。

3.4 超音波速度と吸水速度の関係

図-13 に開放後 7 日での超音波速度と吸水速度の関係を、図-14 に開放後 28 日での超音波速度と吸水速度の関係を示す。これらの図から試験面開放後水分逸散が進行することによって両計測結果は比例関係に近づくと考えられる。試験面開放後 7 日で計測値が不安定な理由として、超音波速度計測の対象となる表層領域が表面吸水試験の計測できる表層領域とは異なり、逸散していない水の影響を受けていると考えられ、放後 28 日では水の逸散が進行したため計測値が安定したと考えられる。

4. まとめ

- (1) 簡易超音波試験装置による超音波速度計測では、湿润養生後にコンクリート表面から水の逸散の影響を受けると考えられ、試験面の乾燥が進み、水分の移動と合わせて計測値は影響を受ける。
- (2) 初期材齢では水和の影響で計測値が増加するため、影響を受けない試験面開放後 7 日もしくは 28 日で表層品質の違いを計測することができる。
- (3) 簡易超音波試験装置によって計測された超音波速度と、表面吸水試験によって計測される吸水速度から、試験面開放後 28 日で超音波速度計測によって表層の品質を捉えることができる可能性が示された。

参考文献

- 1) 温品達也, 坂田昇, 渡邊賢三, 柳井修司: 表層透気試験で得られたコンクリート表層品質の判定結果に関する一考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.34 No.1, 2021
- 2) 小松怜史, 細田暁: 表面吸水試験によるコンクリート床版上面の品質評価手法の検討, 土木学会第 71 回年次学術講演会, 2016
- 3) 林和彦, 細田暁: 表面吸水試験によるコンクリート構造物の表層品質評価法に関する基礎的研究, 土木学会論文集, Vol.69, No.1, 82-89, 2013
- 4) 荒木萌, 伊代田岳史, 北川真也: 簡易な超音波速度計測によるコンクリートの強度推定に関する検

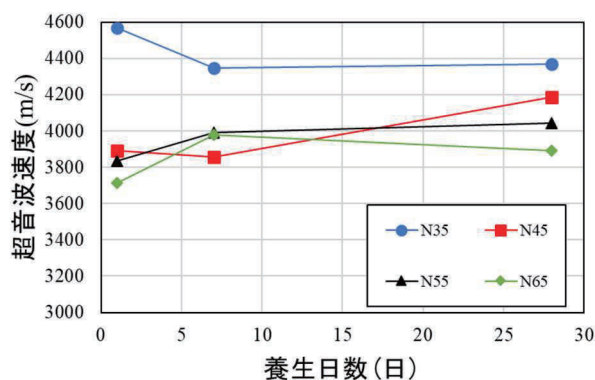


図-11 養生と超音波速度

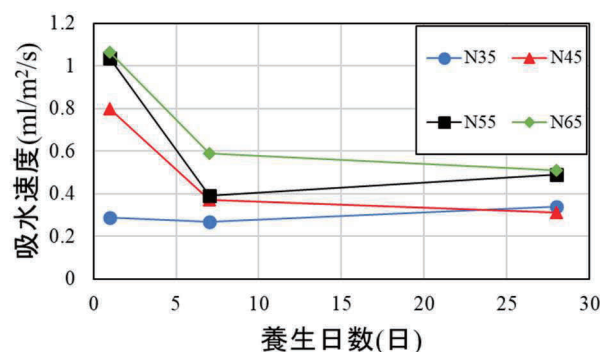


図-12 養生と吸水速度

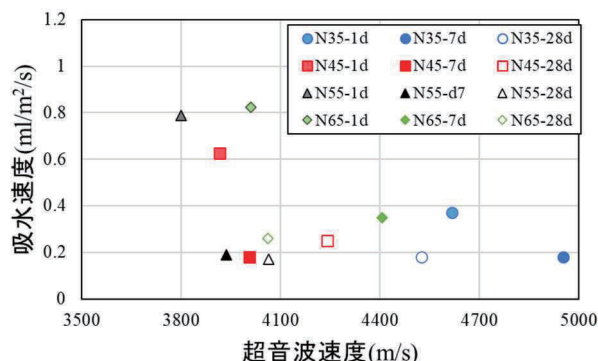


図-13 超音波速度と吸水速度の関係 開放 7 日

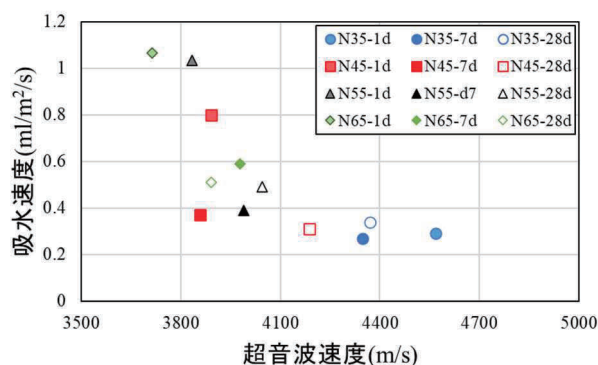


図-14 超音波速度と吸水速度の関係 開放 28 日

討, 土木学会全国大会第 74 回年次学術講演会, 2019