

一般財団法人新潟県建設技術センター

令和4年度 研究助成事業報告書

コンクリート施工の品質確保に資する施工品質評価手法
の開発に関する事業

令和5年3月

長岡工業高等専門学校 環境都市工学科 陽田 修 (代表者)
長岡工業高等専門学校 環境都市工学科 村上 祐貴 (構成員)
長岡工業高等専門学校 環境都市工学科 井林 康 (構成員)
長岡工業高等専門学校 電子制御工学科 上村 健二 (構成員)
一般社団法人新潟県コンクリートメンテナンス研究会 幹事 吉原 敬 (構成員)

目 次

第1章 はじめに

1.1 本事業の背景と目的	1
1.2 本報告書の構成	2

第2章 吸水させたコンクリート表面の輝度の時間変化に基づく表層品質評価手法の実 実構造物への実装

2.1 はじめに	3
2.2 反射輝度法の原理	3
2.3 実験概要	3
2.4 実験結果および考察	6
2.5 まとめ	8

第3章 反射輝度法によるコンクリート表層部の養生効果評価

3.1 はじめに	9
3.2 実験概要	9
3.3 結果および考察	10
3.4 まとめ	10

第4章 吸水性から評価した表層品質と塩分浸透性との関係について

4.1 はじめに	11
4.2 実験概要	11
4.3 結果と考察	12
4.4 まとめ	12

第5章 コンクリート品質管理実務講習会

5.1 はじめに	13
5.2 講習会概要	13
5.3 実務講習	14
5.4 まとめ	14

第1章 はじめに

1.1 本事業の背景と目的

新潟県土木部では、コンクリート構造物の品質を向上し耐久性向上と将来的な維持管理コスト低減を目的とした、「新潟県コンクリート品質確保ガイドライン（案）」を制定した。

ガイドラインの柱となる、「基本事項を遵守した丁寧な施工」は、コンクリート表面に生じる微細なひび割れや細かい空隙などを抑制し内部鉄筋を保護するというコンクリートのポテンシャルを100%発揮するための取組みである。

ガイドラインに基づいた試行工事が実施され、この取組みの効果を検証する必要があるが、目的とする品質向上の評価手法は限られている。定量的な品質評価手法として、「表面吸水試験（SWAT）」、「表層透気試験（トレント法）」の2つは多くの知見が得られている試験方法であるが、評価する範囲が直径10cm程度の範囲と大きなコンクリート構造物の極一部に限られる。

ガイドラインに基づく「丁寧な施工」を評価するには、大きなコンクリート構造物の広い範囲を適切に評価する必要であり、この評価方法を定めることが課題である。

本事業では、コンクリート構造物の表層品質を面的に広い範囲で評価する手法の開発を行う。

事業代表者らは、面的な表層品質評価手法として、カメラで撮影したコンクリート表面の経時的輝度（明るさ）変化から品質を評価する「反射輝度法」開発してきた。

反射輝度法は、コンクリート表面に散水して吸水し、吸水で暗い色になったコンクリート表面が、時間の経過とともに乾燥し灰色に戻る反射輝度の時間変化から表層品質を定量的に評価するものである。測定領域はカメラで撮影した範囲であり、撮影範囲を拡げることで理論上の測定範囲は無限となる。これまでの研究で、室内の実験室で試験手法の妥当性を確認した。また、屋外実験と実構造物（道路ボックスカルバート）に適用した実験で、評価手法を実構造物に適用することが可能であることを確認するとともに実構造物へ実装するための課題を抽出した。

本事業では、新潟県コンクリート品質確保ガイドライン（案）」に基づく「基本事項を遵守した丁寧な施工」を検証する評価手法の開発を目的に、反射輝度法を実構造物に適用した品質評価手法の実装を目指す。

1.2 本報告書の構成

本報告書の第2章以降の構成は以下のとおりである。

第2章では、反射輝度法を実構造物（道路ボックスカルバート）に適用し、評価手法を実構造物へ実装するための課題を解決した。具体的には、実構造物がおかれる環境は日射の影響が時々刻々と変化する。日射の照度変化を外乱とし、測定への影響を克服する解決策の検証を行った。この他に、吸水させるための散水後、コンクリート表面に滞留する余剰水の影響について、解決策の検証を行った。これら、実構造物の品質評価手法として実装するための課題について検証結果を報告する。

第3章では、コンクリート構造物の表層品質を左右する要因としてあげられる、施工時の養生方法に着目する。実施工では、密実性の向上を目的として様々な養生方法の工夫が行われているは、施工者が工夫して行った養生の評価手法は限られている。

本事業では、反射輝度法により養生方法が異なる構造物の表層品質を面的に評価することを目的とした。その結果、反射輝度法の妥当性を得ることができ、反射輝度法を用いて養生効果の違いを見分けることができた実験結果を報告する。

第4章では、コンクリート構造物の劣化原因として塩化物イオンなどの劣化因子がコンクリート内に浸透し鉄筋が腐食する化学的現象があり、劣化因子の浸透と表層品質には深い関係がある点に着目する。表面吸水試験（SWAT）や表層透気試験（トレント法）は、これらの試験結果と物質移動抵抗性とは関係性があるとの知見が得られている。しかし、前述したように、測定範囲が狭小であるため物質移動抵抗性の評価範囲も狭小になってしまう。

本事業では、反射輝度法による品質評価と塩分浸透試験の結果を比較し、反射輝度法による物質移動抵抗性を評価可能か検証した。その結果、物質移動抵抗性の傾向を反射輝度法で評価可能なことが示唆されたことを報告する。

第5章では、新潟県コンクリート品質確保ガイドライン（案）」に基づく「基本事項を遵守した丁寧な施工」を推進するために、実務者を対象に行った「コンクリート品質管理実務講習会」を報告する。この講習会は、品質確保には丁寧な施工が重要であることを座学で学んだ後、実際に鉄筋工事、型枠工事、コンクリート打込み工事の実習を行うものである。なお、実習で構築した構造物は、「基本事項を遵守した丁寧な施工」の検証対象となるが、本事業期間中は施工材齢が短く、反射輝度法による評価評価を実施できていない。事業終了後に材齢半年、材齢1年における品質評価を行う計画である。

第 2 章

吸水させたコンクリート表面の輝度の時間変化に基づく 表層品質評価手法の実構造物への実装

1. はじめに

コンクリート構造物の表層部の密実性は、構造物の劣化を防ぐための重要な品質要素である。表層品質を調査する手法としてはコア試験体の採取があるが、実構造物に損傷を与えてしまうため、近年では非破壊試験での表層品質評価の重要性が高まっている。現在、コンクリート表層部の品質（以下、表層品質）を定量的に評価する代表的な手法として、表面吸水試験と表層透気試験が実用化されているが、これらの手法は一回の測定で評価可能な領域が狭小であり、広域な表層品質の評価を行うには測定を多数行う必要がある。このような背景から、中川らは吸水したコンクリートの反射輝度の時間変化を XYZ カメラで測定し、従来方法と比べ一度の測定で広範囲の表層品質を定量的に評価する新たな評価手法（以下、反射輝度法）を提案した¹⁾。また、小宮らは、測定中の照度の時間変化や外気温の変化等の外乱の影響を補正することで、屋外環境下においても反射輝度に基づく表層品質評価が可能であることを示した²⁾。一方で、先行研究で提案された反射輝度法を供用中の実構造物を対象とした測定は行われておらず、外乱の他にコンクリート表面に滞留する余剰水の影響についての検討が不十分であった。そこで、本研究では、供用中の実構造物を対象に反射輝度法を用いて表層品質評価が可能かどうか検討を行った。

2. 反射輝度法の測定原理

Figure1 に示すように、コンクリート表層部の色合いは、乾燥時と吸水時で明らかに異なる。この違いは反射輝度に起因しており、コンクリート表層部の凹凸が水で充填され乱反射が発生しにくくなるためである。コンクリート表面から水を吸水させた場合、ひび割れ等の欠陥がなく、表層品質が良いほど吸水量が少なく、その分乾燥が早くなる。この性質に着目し、吸水させたコンクリート表面の反射輝度の時間変化から表層品質評価を行う手法が反射輝度法である。吸水させたコンクリート表面の撮影には、

RGB カメラを用いた。RGB カメラは XYZ カメラのように知覚した色を全て正值で表現できないものの、比較的安価である。

反射輝度法での表層品質評価には、表層品質の異なる小型試験体（以下、検量線パネルと称する）を複数用いる。測定対象の近傍に検量線パネルを設置し、測定対象と同様に散水し、吸水させる。検量線パネルを対象面と同じ画角内に収まるように配置し、反射輝度を測定する。検量線パネルはあらかじめ吸水量、或いは表面吸水速度を測定し、検量線パネルの反射輝度と吸水量、或いは表面吸水速度との関連付けを行う（検量線の作成）。測定対象の任意の領域における吸水量、或いは表面吸水速度は、作成した検量線から算出する。

3. 実験概要

3.1 検量線パネルの表層品質評価試験

3.1.1 検量線パネルの概要

検量線パネルの形状寸法は、150mm (W) ×150mm (D) ×100mm (H) の角柱試験体である。セメントは早強ポルトランドセメントを使用した。水セメント比は 3 水準 (45%, 55%, 65%) とした。測定面は打込み時の側面とし、測定面以外の面からの吸水を防ぐ目的で、Figure3 に示すように試験体

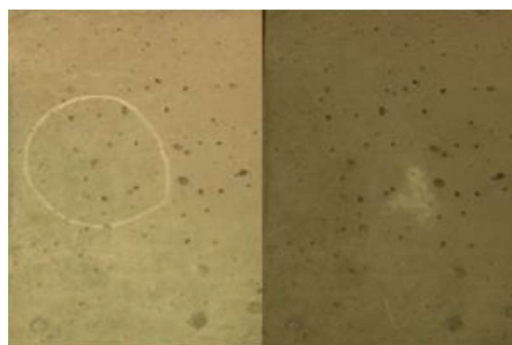


Figure1 Concrete surface

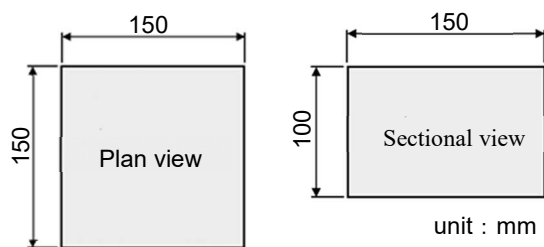


Figure2 Size of specimen

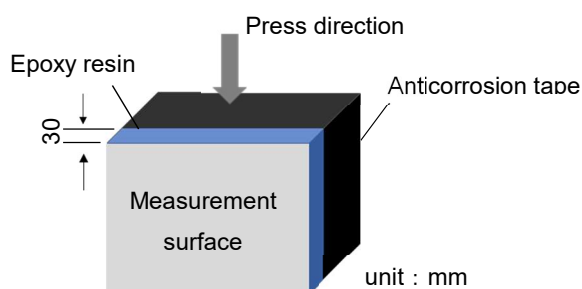


Figure3 Specimen overview

Table1 Specimen overview

Water absorption resistance	SWAT value
Good	0.25 or less
General	0.25~0.5
Inferior	0.5 or more



(a) Location 1



(b) Location 2

Figure4 Outline of structure to



Figure5 Outline of structure to be measured

Table2 Specimen overview

Location	test day	temperature	Humidity
1	R.4.10/26	16.1°C	43%
1	R.4.11/14	12.8°C	70%
2	R.4.11/4	10.8°C	79%
2	R.4.11/30	13.2°C	85%

側面には測定面から奥行き方向 30mm 程度までエポキシ樹脂を塗布し、その他の部分は防食テープでシールした。試験体は材齢 1 日で脱型し、その後の養生方法は 4 水準（気中 30°C、15°C、5°C、水中 20°C）とした。試験体は各パラメータにつき 3 体作製した。気中養生の試験体は、材齢 7 日の時点まで所定の温度に設定された恒温恒湿室内で養生した。その後は室温 20°C 設定の実験室内で気中養生を行った。水中養生の試験体は、材齢 7 日の時点まで水温 20°C で水中養生を行い、その後は気中養生の試験体と同様、実験室内で測定まで気中養生を行った。なお、水セメント比 65% の気中養生（5°C）、水セメント比

55% の水中養生で作製した試験体は測定面に損傷があり、表面吸水試験を正確に行うことができなかったため、検討対象外とした。

3.1.2 表面吸水試験

検量線パネルの反射輝度の時間変化と表面吸水速度を関連付ける検量線を作成するため、検量線パネルを対象に表面吸水試験を行った。表面吸水試験はコンクリート表面に固定した吸水カップに水を注水して行う試験であり、10 分間の注水で表面吸水速度が得られ、この値を Table1 に示す吸水抵抗性の値と比較することで表層品質の良否を判断することができる。検量線パネルについて、それぞれ表面吸水試験を行い、表面吸水速度を測定した。その際、検量線パネルの寸法上、吸水カップを固定することが困難であったため、寸法に合った固定フレームを製作し、吸水カップを固定した。

3.2 反射輝度測定試験

測定対象構造物は新潟県長岡市内にある国道下のボックスカルバート壁面とした。複数のボックスカルバートから、2箇所の壁面を測定範囲として選定し、それぞれ地点 1、2 とした。測定対象概要を Figure4 に示す。各地点の測定範囲は 3200mm (W) × 1600mm (H) とし、地点 1 では 21 箇所、地点 2 では 20 箇所の領域を選定し番号を付け、その領域について反射輝度の時間変化を抽出した。また、測定日の概要を table2 に示す。測定は 2 回ずつ、地点 1 では 10/26、11/14、地点 2 では 11/4、11/30 に行った。

測定対象構造物の近傍に Figure5 のように小型試験体を測定面が鉛直になるように設置した。余剰水の流下を防ぐ目的で、測定面と同じ大きさの保水シートをテープを用いて貼りつけ、密着させた。小型試験体の測定面及び対象構造物を散水した後、10 分間静置した。その後、保水シートを取り除き、小型試験体と対象構造物の四隅にセラミック材質の補正用パネルを設置した。このパネルは測定中の照度の変化を補正することを目的としているため、補正用パネルには散水しない。対象構造物及び小型試験体を後述する偏光フィルタを装着した RGB カメラと偏光フィルタを装着しない RGB カメラの 2 台を使用し、反射輝度を 10 秒間隔で 1 時間撮影した。RGB カメラは測定範囲が画角に収まるよう設置し、定点で撮影した。

その後、本手法の妥当性を検証するため、各地点で表面吸水試験を行った。本研究では、各測定範囲であらかじめ測定した数箇所の表面吸水速度の実測値と同領域の輝度の時間変化から算定した表面吸水速度との比較により評価手法の妥当性を検証した。

3.3 測定結果に影響を与える要因への対策

3.3.1 照度の変化

屋外環境下で試験を行う際は、太陽高度の変化等による測定中の照度の変化を無視できない。そこで、照度変化を補正するためセラミックパネル（以下、補正用パネル）を測定対象の検量線パネルおよび測定対象範囲の四隅に設置し照度変化の補正を試みた。

測定中の吸水させた試験体の反射輝度の変化量には乾燥による反射輝度の変化と太陽高度の変化等による照度の変化が含まれる。一方、補正用パネルは散水していないため、測定中の反射輝度の時間変化は照度の変化のみである。このことから、四隅の補正用パネルの反射輝度から対象箇所の補正值を求めた。双線形補間の式を式 (1) に示す。

$$Bt = (1 - t)f(x1, y1) + (1 - s)tf(x2, y1)a2 + s(1 - t)f(x1, y2) + stf(x2, y2) \quad (1)$$

ここで、 Bt ：双線形補間から算出された対象領域用パネルの時刻 t における反射輝度、 s ： x 座標の補間パラメータ、 t ： y 座標の補間パラメータ、 $f(x1, y1)$ ：左上の補正パネルの反射輝度値、 $f(x2, y1)$ ：左下の補正パネルの反射輝度値、 $f(x1, y2)$ ：右上の補正パネルの反射輝度値、 $f(x2, y2)$ ：右下の補正パネルの反射輝度値である。また、補間パラメータ t, s については式 (2)、(3) の通りである。

$$t = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \quad (2)$$

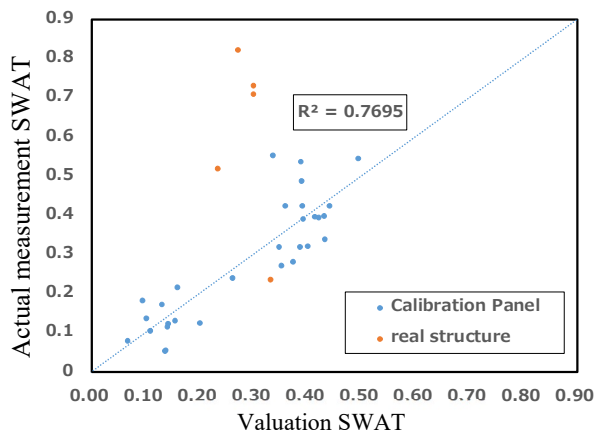
$$s = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} \quad (3)$$

ここで、 x ：左端部を原点とした対象領域の x 座標、 x_1 ：左端部の補正用パネルの中心の x 座標、 x_2 ：右端部の補正用パネルの中心の x 座標、 y ：上端部を原点とした対象領域の y 座標、 y_1 ：左端部の補正用パネルの中心の y 座標、 y_2 ：右端部の補正用パネルの中心の y 座標である。

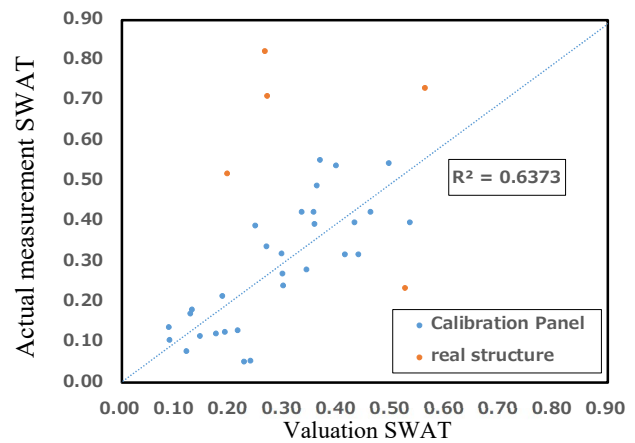
試験体と式 (1) で求めた双線形補間から算出された対象領域の補正用パネルの時刻 t における反射輝度の変化量を算出し、その差を吸水の影響による反射輝度とした。変化量を算出する式については (4) の通りである。

$$Y_{at} = \left(\frac{Y_t}{Y_{t1}} \right) \left(\frac{B_t}{B_{t1}} \right) - 1 \quad (4)$$

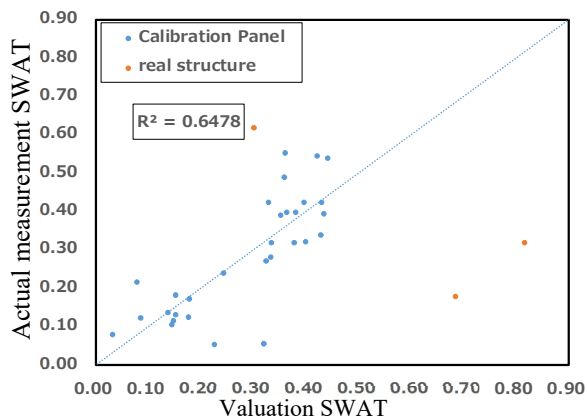
ここで、 Y_{at} ：試験体の時刻 t における反射輝度（補正後）、 Y_t ：試験体の時刻 t における反射輝度（補正前）、 Y_{t1} ：試験体の測定開始直後の反射輝度、 B_t ：双線形補間から算出された対象領域の補正用パネルの時刻 t における反射輝度、 B_{t1} ：双線形補間から算出された対象領域の補正用パネルの測定開始直後の反射輝度である。



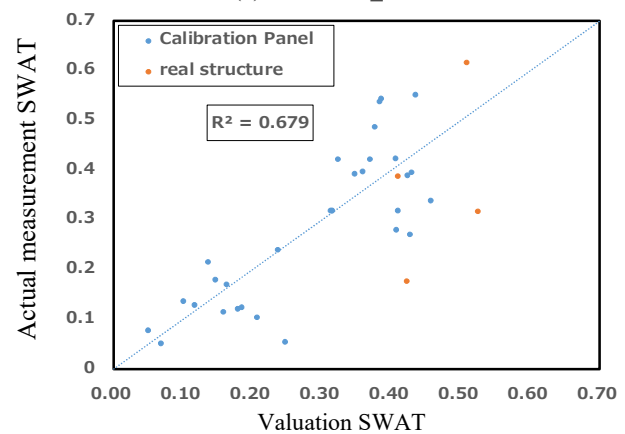
(a) Location 1_10/26



(b) Location 1_11/14



(c) Location 2_11/4



(d) Location 2_11/30

Figure6 Correlation between measured and calculated values

3.3.2 余剰水への対策

反射輝度法の測定を行なう際、散水したコンクリート表面に余剰水が存在し、コンクリート表面に微細な鏡面反射が発生することが確認されている。照度の変化等の外乱が発生しない屋内環境では測定結果に大きな影響を与えることはないが、屋外環境では太陽高度の変化により、鏡面反射が顕著に生じ、表面吸水速度の推定精度が悪化する可能性がある。

先行研究では、散水の際に湿潤養生マットを測定対象表面に設置することで、表面の余剰水を吸収し、余剰水の流下を低減できることが確認された。一方、測定対象範囲が広くなることで、マット内部に気泡ができ、十分に表面の余剰水を吸収できず、鏡面反射の影響を上手く低減できていない場合があることが確認された。この課題を解決するため、撮影に使用する RGB カメラに偏光フィルタを取り付け、実験を行うこととした。偏光フィルタは、反射光を鏡面反射成分と拡散反射成分に分離することが可能であり、偏光フィルタを通すことで鏡面反射を低減できることが確認されている。本研究では、偏光フィルタを有する RGB カメラと偏光フィルタを有しない RGB カメラで同時に測定を行ない、偏光フィル

Table3 Cross-validation results for

test day	frequency	training	test
R4. 10/26	1	0.7979	0.6687
	2	0.8852	0.6752
	3	0.8241	0.7175
R4. 11/4	1	0.7832	0.5854
	2	0.7793	0.4127
	3	0.5787	0.4833
R4. 11/14	1	0.6388	0.6820
	2	0.6136	0.6858
	3	0.7992	0.2166
R4. 11/30	1	0.7192	0.2932
	2	0.8500	0.5336
	3	0.7186	0.5237

タによる鏡面反射成分の低減効果及び推定精度への影響を評価した。

4. 実験結果および考察

4.1 モデル式の作成

吸水したコンクリートの反射輝度は測定初期に急激に増加し、その後緩やかに増加する。しかしなが

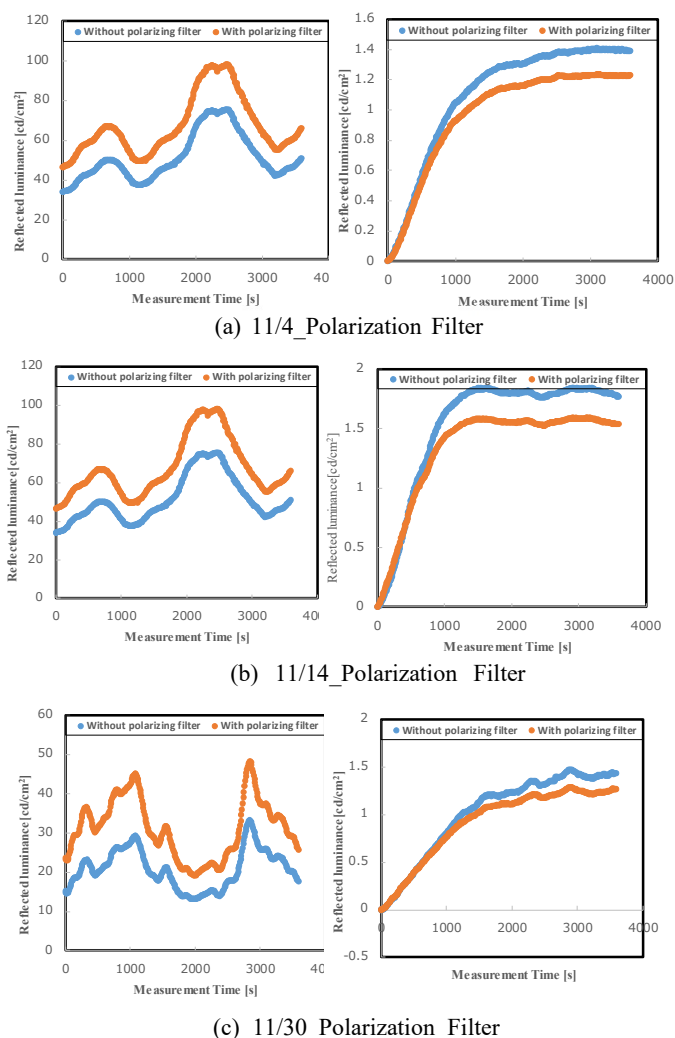


Figure7 Correlation between measured and calculated values

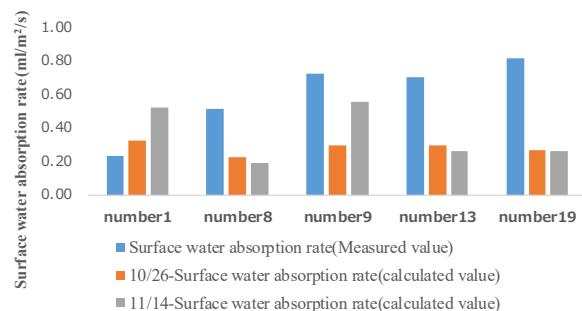
Table4 Comparison of estimation accuracy with and without polarization filter

test day	Without polarizing filter		With polarizing filter	
	Training	Test	Training	Test
R4.11/4	0.8752	0.682	0.7982	0.4689
R4.11/14	0.8664	0.6375	0.8831	0.5957
R4.11/30	0.8166	0.4999	0.8276	0.2747

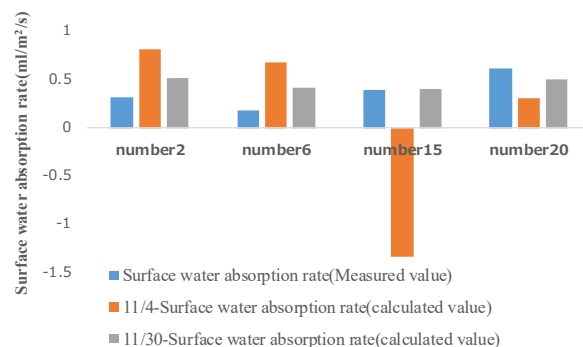
ら、屋外環境下では外的要因によっても反射輝度が変化するため、表面吸水速度を直接推定することは難しい。そこで、表面吸水速度が既知の 30 体の検量線パネルの反射輝度変化から表面吸水速度の評価モデル（式 5）を重回帰分析で作成し、算定した。

$$Y = a_1\Delta Y_a + a_2\Delta Y_b + a_3\Delta Y_c + a_4\Delta Y_d + a_5\Delta Y_e + a_6\Delta Y_f + b \quad (5)$$

ここで、Y：表面吸水速度（ml/m²/S）， $\Delta Y_a \sim \Delta Y_f$:測定開始から 10 分ごとの反射輝度の重回帰直線の傾き、 $a_1 \sim a_6$:説明変数の係数、b:定数項である。なお、測定日によって照度の強さ、気温、風速等の測定環境は異なることから、重回帰分析を行う際に



(a) Location 1_Actual structure surface water absorption



(b) Location 2_Actual structure surface water absorption

Figure8 Comparison of surface water absorption rates at various locations

増減法を用いて使用する説明変数を求めた。そのため、測定日ごとに使用した説明変数が異なる。また、説明変数として用いた反射輝度の内、外的要因等で輝度が急激に変化した測定データはモデル式の推定精度を悪化させる要因となるため除外した。

4.2 各測定日の評価

Figure6 に、地点 1-10/26、11/14、地点 2-11/4、11/30 の測定における重回帰分析の結果を示す。図中の自由度調整済み決定係数（R² 値）については検量線パネルのものである。図に示すように、いずれの測定日においても、検量線パネルの実測表面吸水速度と算定表面吸水速度では比較的高い相関が確認できた。また、評価モデルの妥当性を検証するため、検量線パネル 30 体それぞれトレーニングデータを 6 割（18 体）、テストデータを 4 割（12 体）として無作為に抽出し、交差検証を行った。交差検証は 3 回行った。

Table3 に交差検証を行った際の R² を示す。表より、いずれの測定日においても比較的高い相関が確認でき、本評価モデル式の妥当性が確認される。一方、テストデータの相関については各測定日ではばらつきが生じている解析結果がある。Figure6 に示した表面吸水速度の実測値と算定値のグラフを確認すると、近似曲線から離れている試験体があるため、

これらの試験体の測定結果の影響を受けている可能性がある。表面吸水速度の測定値や測定日の反射輝度が上手く行えなかった検量線パネルが存在する可能性があるため、今後検討を行っていく。

4.3 偏光フィルタの評価

検量線パネルの中から代表した一枚の各測定日における補正前と補正後、偏光フィルタ有、無しの測定中の反射輝度変化を Figure7 に示す。グラフの左側は照度の補正を行っていないデータ、右側は式(4)による補正後のデータを表す。いずれの測定日においても、照度の補正前の反射輝度の時間変化の傾向は偏光フィルタの有無でほぼ変化しなかった。今回の測定では、測定対象への散水時、保水シートを対象に密着させ、10 分間の静置を行ったことでコンクリート表層部に十分に水が浸透し、鏡面反射の影響が明確に現れるほどの水の膜ができなかったことが理由として考えられる。

補正後では、測定開始から 10～20 分以降において、偏光フィルタ有の反射輝度が偏光フィルタ無しの場合よりも小さくなった。これは、乾燥に伴って現れる微小な凹凸で発生した鏡面反射を偏光フィルタが除去したことで反射輝度の上昇が抑えられたためだと考えられる。そのため、現状の測定方法では偏光フィルタを導入することで本来測定すべき反射輝度の時間変化を測定しにくくなる可能性があり、測定の精度を低下させる恐れがある。

table4 に、各測定日の偏光フィルタを有する場合、有しない場合における実測表面吸水速度と算定表面吸水速度の R^2 値を示す。どの測定日においても、偏光フィルタを有しない場合と比較して偏光フィルタを有する場合の方がテストデータの R^2 値が低くなっている。これは、前述したように本来測定すべき反射輝度の時間変化を偏光フィルタが除去してしまい、それが原因で推定精度が悪化していると考えられる。これらの結果から、表面水を十分に除去できれば、偏光フィルタによる推定精度の向上効果は無いと考えられる。

4.4 実構造物の表層品質評価

Figure8 に、各地点の表面吸水速度の実測値と算定値の比較を示す。まず、各測定日における表面吸水速度の平均値は、地点 1 では 10 月 26 日が 0.286、11 月 14 日が 0.361、地点 2 では 11 月 4 日が 0.600、11 月 30 日が 0.466 であった（15 番を除く）。測定日によって大きな差異がないことから、反射輝度による表層品質評価の再現性が確認できる。11 月 4 日の 15 番の表面吸水速度の算定値が負の値を示した要因は、補正用パネルと照度の変化が同程度でなく、

補正が十分に行えなかったことが原因として考えられる。

一方、実構造物については、いずれの測定日においても、表面吸水速度の実測値と算定値の差が大きかった。これは、実験場所がボックスカルバート内壁面であり、左右の入り口から光が差し込む構造であることから、検量線パネルと測定対象の照度の変化が同程度でなくなってしまうことが原因として考えられる。今回の測定では、検量線パネルを Figure5 のように奥側に設置したため、ボックスカルバート上部により日射の一部が遮られ、測定範囲の中で照度に差が生じたと考えられる。そのため、このような箇所で測定を行なう際は、測定範囲を狭め、対象構造物と検量線パネルの距離を近くする等対策を講じる必要がある。

5. まとめ

本研究で得られた知見は以下に示す通りである。

- 1) 照度の影響を補正した反射輝度に基づき算定した検量線パネルの表面吸水速度の算定値と実測値は比較的良好な一致を示した。
- 2) 本実験の範囲内では、検量線パネルから算出した実構造物の表面吸水速度は実測の表面吸水速度と差異が生じた。これは検量線パネルと実構造物の設置位置が離れており、照度の変化が検量線パネルと構造物で異なったことが主たる原因として考えられる。
- 3) コンクリート表面が水で覆われることによる鏡面反射を偏光フィルタで軽減し、測定精度の向上を試みた。現状の測定方法では大きな鏡面反射は現れず、偏光フィルタによる測定精度の向上効果は得られなかった。

参考文献

- 1) 中川直人, 村上祐貴, 上村健二, 井林康: 吸水させたコンクリート表面の輝度の時間変化に基づく表層品質評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp.1695-1700, 2018
- 2) 小宮陸, 他: 屋外環境下における吸水させたコンクリート表面の輝度の時間変化に基づく表層品質評価, 令和 4 年度土木学会全国大会第 77 回年次学術講演会, V-45, 2022.
- 3) 井川倫宏, 他: 表面吸水試験によるコンクリート構造物の表層品質の評価基準に関する基礎的研究, コンクリート工学論文集, 第 29 巻, pp.101-pp.109, 2018 年 7 月

第 3 章

反射輝度法によるコンクリート表層部の養生効果評価

1. はじめに

コンクリート構造物の表層品質は構造物の劣化を防ぐために重要である。表層部が密実な品質であれば劣化因子の侵入を防ぐことができ、密実性の良否はコンクリートの養生方法が一つの要因となる。養生効果の評価は、室内試験による物性的な評価は多くの研究が行われているが、実構造物を対象とした評価データは限られている¹⁾。また、実構造物の評価データは、表面吸水試験や表層透気試験など狭小領域の評価である。狭小領域だけの評価ではコンクリート構造物全体の表層品質を面的に評価することは難しい。中川らは、この問題に着目し、コンクリート表面の反射輝度の時間変化に基づく表層品質評価手法である反射輝度法を提案した²⁾。この反射輝度法を用いることで、広い領域を対象とした養生効果の評価を行うことができると考えた。

本研究では、反射輝度法により、養生方法の異なるコンクリート構造物の表層品質を評価し、課題について考察を行った。

2. 実験概要

2.1 反射輝度測定試験

養生方法と W/C(水セメント比)が異なる 9 つのコンクリートパネル試験体 (詳細は表-1 に示す) を 60 個のマス目で区切り 1 マスずつを測定対象とした。マス目の寸法は、50mm(横)×50mm(縦)である。試験体は落ちふた式 U 型側溝用蓋(3 種)の型枠を利用して作成し、寸法は 662(612)mm(横)×500mm(縦)×100mm(高さ)である。また、反射輝度測定は、試験体の脇に 12 個のコンクリートパネル (以下、検量線パネル) を設置して試験を行う。検量線パネルは、測定した反射輝度と、既知の実測表面吸水速度から検量線を引き、試験体の表面吸水速度を算定するために使用する。検量線パネルの水セメント比は 3 区分(45%, 55%, 65%)とし、養生方法は 4 区分

表-1 試験体詳細

	W/C	単位水量	セメント区分	養生区分
D	45%	150kg/m ³	H	湿潤養生 7 日
E	55%			
F	65%			
G	45%			湿潤養生 2 日
H	55%			
I	65%			
J	45%			蒸気養生
K	55%			
L	65%			

(気中 30℃, 15℃, 5℃, 水中)とした。

測定は、試験体および検量線パネルの測定面に保水シートを密着させ、その上からホースで散水し、10 分間静置した後、保水シートを取り除く。

その後、試験体および検量線パネルの四隅にセラミックパネル (以下、補正用パネルとし詳細は 2.3 に示す) を設置し、実構造物および検量線パネルを RGB カメラで 10 秒間隔で 1 時間撮影を行った。

2.2 表面吸水試験 (SWAT 試験)

反射輝度測定試験の妥当性を確認するために反射輝度測定試験と同じ 9 つのコンクリートパネル試験体と検量線パネルを対象に表面吸水試験 (以下、SWAT 試験とする) を行った。SWAT 試験とは、円筒のシリンダーが付いた吸水カップをコンクリート表面に密着させ、吸水カップに水を満たした直後からシリンダー内の水位の変化を時々刻々読み取ることで、表層コンクリートの表面吸水速度 (以下、SWAT 値とする) を算出し評価する手法である。

2.3 補正用パネル概要

日光による照度の変化を補正するためセラミック

板を使用した。補正用パネルは測定領域の四隅に領域内を正方形で囲むように配置した。測定対象との材質の違いによる反射輝度の変化を考慮するため、補正用パネルの反射輝度を、補正用パネルを貼るコンクリート面の散水前反射輝度で除して補正した。補正用パネルは測定領域の四隅に領域内を正方形で囲むように設置した。なお、補正用パネルの寸法は50mm(横)×50mm(縦)である。

3. 結果および考察

測定中の日光による照度変化を除去するため、式(1)を用いて反射輝度の補正を行った。

$$Y_{at} = \left(\frac{Y_t}{Y_{t1}} \right) \left(\frac{B_t}{B_{t1}} \right) - 1 \quad (1)$$

ここで、 Y_{at} ：散水後の実構造物の時刻 t における反射輝度（補正後）， Y_t ：散水後の実構造物の時刻 t における反射輝度（補正前）， Y_{t1} ：試験体の測定開始直後の反射輝度散， B_t ：双線形補間から算出された対象領域の補正用パネルの時刻 t における反射輝度， B_{t1} ：双線形補間から算出された対象領域の補正用パネルの測定開始直後の反射輝度である。

その後すべてのデータについて、測定領域内の指定した範囲の SWAT 値を目的変数、測定開始から 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 分の輝度の変化量を説明変数として重回帰分析を行い、P 値が 0.2 を下回った説明変数、偏回帰係数を用いて評価、SWAT 値を算出した。(以下、算定 SWAT 値とする)なお、輝度の乾燥後のデータは除去した。

算定 SWAT 値を実際の試験体を模したマス目上に入力し、事前に SWAT 試験より測定した SWAT 値と比較した。(試験体 F の測定結果を図-2 に示す)

図-2 の結果より比較的高い相関が得られたため反射輝度法の妥当性が得られたと考えられる。

しかし、他の試験体では試験体 F と同じように比較したときに誤差が大きい試験体もあった。理由として、試験体ごとに測定誤差が大きいこと、反射輝度法の測定と表面吸水試験の測定を行った日が異なることが考えられる。

次に、W/C が 55% の試験体を対象に養生方法の違いに着目し算定 SWAT 値を比較したところ、蒸気養生、湿潤養生 7 日、湿潤養生 2 日の順となり、一般

的に品質が良いとされている順番と同様の結果(3つの試験体を図-3 に示す)となった。これより、反射輝度法は養生方法の違いによる表層品質の違いを見分けることができると示唆された。

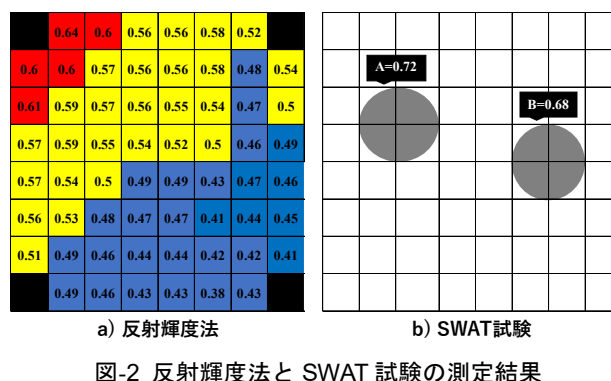


図-2 反射輝度法と SWAT 試験の測定結果

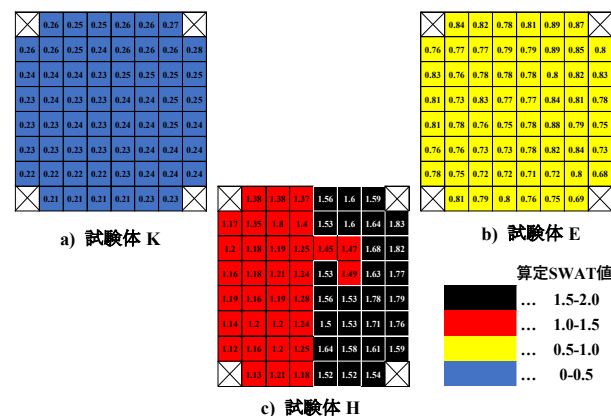


図-3 W/C が 55% の試験体の養生効果の比較

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 表面吸水試験と比較したとき、反射輝度法の妥当性を得ることができた。
- (2) 本実験の範囲内では、反射輝度法により養生効果の違いを面的に見分けることができた。

5. 参考文献

- 1) コンクリート構造物の養生効果の定量的評価と各種養生技術に関する研究小委員会(365 委員会)成果報告書およびシンポジウム論文集, pp.191-pp.193, 2019 年 9 月
- 2) 中川直人, 他: 吸水させたコンクリート表面の輝度の時間変化に基づく表層品質評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp.1695-pp.1700, 2018 年 7 月

第 4 章

吸水性から評価した表層品質と塩分浸透性との関係について

1.はじめに

コンクリート構造物の表層品質は構造物の耐久性を向上するために重要である。表層部が密実であれば劣化因子の侵入を防ぐことができる。表層品質を評価する方法として、表面吸水試験（SWAT 試験）と表層透気試験があり、これらの試験結果は物質移動抵抗性との関係があるとされている。¹⁾²⁾しかし、従来の手法では、局所的な品質評価になる。

本研究では、広範囲での表層品質を評価するために中川らによって提案された反射輝度法³⁾による表層品質評価結果と塩分浸透性との関係性を明らかにし、広範囲でコンクリート構造物の物質移動抵抗性を評価することを目的とした。

2.実験概要

2.1 試験体概要

本研究では、表-1 に示す型枠、養生方法の異なる 4 体のコンクリートを試験体とした。本試験体は、2019 年 7 月 25 日にコンクリート打込みを行い、材齢は 1115 日経過している。試験体の寸法は、横 600mm×縦 600mm×厚さ 300mm で、天端から 250mm の位置に打ち重ね線がある。また、次節以降の試験は、図-1 に示す領域で行った。

2.2 表層品質評価試験

反射輝度法は宮らの実験を基に行った。⁴⁾反射輝度法の表層品質評価結果の妥当性を確認するために表面吸水試験（SWAT 試験）、表層透気試験（トレント法）を行った。

表-1 試験体の型枠、養生方法

No	型枠	材齢(日)		
		1～5	6	7
T1	透水	湛水養生	型枠存置	脱型
T2	普通			
T3	透水	湿潤養生		
T4	普通			

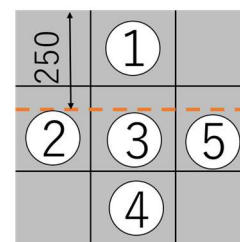


図-1 試験体領域

2.3 塩分浸透試験

本試験は、JSCE-G572-2018 を参考に行った。試験体表面を不織布で覆い、濃度 10%の塩水を散水。90 日間、表面が塩水で潤う状態を維持した。90 日経過後、集塵装置付きドリルで粉末を採取し、全塩化物イオン濃度を測定した。測定は、硬化コンクリート全塩分迅速測定（SALMATE-100,株式会社中研コンサルタント）を行った。粉末試料 0～5, 5～10, 10～20, 20～30, 30～40mm の各深さで採取し測定を行った。なお、0～5mm は、散水した塩水が付着しているため分析データから除外した。

3.結果と考察

3.1 表層品質評価

(1) 反射輝度法

8月12日にT3, T4の2体, 8月23日にT1, T2の2体の測定を行った. 図-2にT3, T4の算定吸水量を示す. 吸水量が少ないほど密実で表層品質の良いコンクリートと評価する. 打ち重ね線上の①領域が打ち重ね線より下の②, ③, ⑤領域より表層品質が悪いことが分かる. T3, T4の試験体で吸水量に大きな差はなかった. 打込みから長期間を経過し, その間, 雨に曝されない環境にあったため, 表層部が乾燥し反射輝度法が評価できる表層部で吸水性に差がでなかったことが原因と考えられる. 8月23日に測定したT1, T2は, 測定時に散水した水が試験体周辺のアスファルト舗装面に滞り, 日光の反射により輝度の補正が出来ず評価できなかった.

(2) 表層透気試験, 表面吸水試験

表-2に示すようにT1, T3は表層透気係数kT値がT2, T4より小さく表層品質が良いことが分かる. 表面吸水試験結果は, 試験体, 領域ごとに大きな差はなかった. これは, 反射輝度の測定結果と同様に, 長期間の乾燥により表面吸水試験の測定範囲(深さ)で吸水性に差がなかったことが原因と考える. T1の①領域は, 試験機を取り付けできず測定不能であった.

3.2 塩分浸透試験結果

T3, T4の①, ③領域の塩分浸透試験結果を図-3に示す. T3がより塩分が浸透しておらず, 表層品質が良いことが分かる. また, 同一の試験体で①, ③領域を比較する. 打ち重ね線より下の③領域で表層品質が良いことが分かる. T1, T2にも同様の結果が得られた. 反射輝度測定結果(図-2)との比較から, 反射輝度法により品質評価が悪いと判定された領域は塩化物イオンの浸透が多く, 表層品質が良いと判定された領域は塩化物イオンの浸透が少量だった. この結果から, 反射輝度法の表層品質評価と塩分の浸透には関係があり, 反射輝度法による表層品質評価により物質移動抵抗性を評価できることが示唆された.

4.まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す.

(1) 本実験の範囲内では, 反射輝度法によりコンクリートの物質移動抵抗性を評価できることが示唆された.

(2) 本実験の範囲内では, 反射輝度法による表層品質評価結果は, 表層透気試験と表面吸水試験の結果から妥当性が確認された.

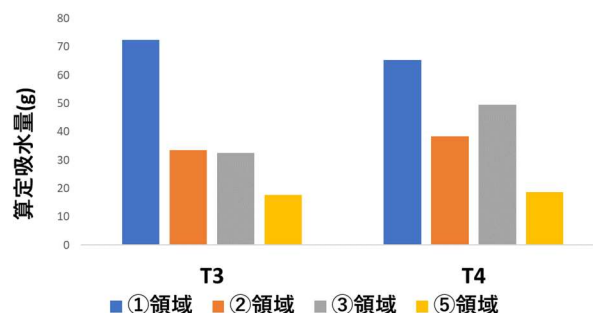


図-2 反射輝度法による算定吸水量

表-2 表層透気係数 kT 値, 表面吸水速度

	表層透気係数(10^{-16}m^2)		表面吸水速度($\text{ml}/\text{m}^2/\text{s}$)	
	①領域	③領域	①領域	③領域
T1	0.0985	0.0009		1.738
T2	0.4004	0.2615		1.426
T3	0.0119	0.0086	1.381	1.330
T4	1.5875	0.2368	1.332	0.843

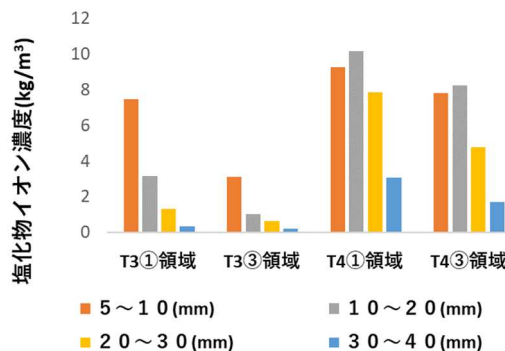


図-3 塩化物イオンと浸透深さの関係

文献

- 1) 林和彦, 他: コンクリート実構造物に適用できる表面吸水試験方法の開発
- 2) 林亮太, 他: 透気係数による各種コンクリートの物質移動抵抗性評価方法に関する基礎的研究
- 3) 中川直人, 他: 吸水させたコンクリート表面の輝度の時間変化に基づく表層品質評価
- 4) 宮翼: 吸水させたコンクリート表面の輝度の時間変化に基づく広域な表層品質評価法の実装

第 5 章

コンクリート品質管理実務講習会

1.はじめに

新潟県土木部では、コンクリート構造物の品質を向上し耐久性向上と将来的な維持管理コスト低減を目的とした、「新潟県コンクリート品質確保ガイドライン（案）」を制定した。ガイドラインの柱となる、「基本事項を遵守した丁寧な施工」は、コンクリート表面に生じる微細なひび割れや細かい空隙などを抑制し内部鉄筋を保護するというコンクリートのポテンシャルを 100%発揮するための取組みである。

本章では、「基本事項を遵守した丁寧な施工」を推進するために、実務者を対象に行った「コンクリート品質管理実務講習会」を報告する。

2.講習会概要

2.1 カリキュラム

講習会は 2 日間の日程で開催した。図-1 に 2 日間のカリキュラムを示す。2 日間のカリキュラムは、1 日目にコンクリート打設工事まで行い、一カ月後の材齢 4 週目に型枠解体、品質確認を行う工程を想定している。なお、対面での講習会は前述した 2 日間であるが、受講生は 1 日目の受講にあたり e-ラーニングを事前に受講している。e-ラーニングで基本的な学習を行うことで、対面での講習会は座学の学習時間を短縮し、実習時間を長く確保している。

2.3 受講生の構成

講習会を受講した受講者の内訳を表-1 に示す。

受講者 5 名のうち 3 名は学生であるが、次年度に新潟県職員および県内建設会社への就職が内定している学生である。

限	時間	(分)	講座名	内容	日
-	9:00-9:30	(30)	講習会ガイダンス	スケジュール説明、受講者交流	1日目
1	9:30-10:10	(40)	コンクリート構造物施工の基礎	コンクリート工事の概要、鉄筋工事、型枠工事	
2	10:10-10:50	(40)	コンクリート構造物に求められる品質の確保	コンクリート打設工事、品質の確保	
3	10:50-11:30	(40)	実習の手順	鉄筋工事、型枠工事、コンクリート打設工事の実習手順説明	
4	12:30-12:45	(15)	安全管理	作業打合せ、危険予知活動	
5	12:45-13:30	(45)	鉄筋工事	鉄筋組立、配筋検査	
6	13:30-14:30	(60)	型枠工事	型枠組立、型枠検査	
7	14:30-15:00	(30)	コンクリート打設工事	準備工	
8	15:00-15:30	(30)		受入れ検査（スランプ、空気量、温度）	
9	15:30-16:30	(60)		コンクリート打込み、天端均し	
-	16:30-17:00	(30)	まとめ	1日目の総括、2日目の説明	

a) 1 日目

限	時間	(分)	講座名	内容	日
-	9:30-10:00	(30)	講習会ガイダンス	スケジュール、作業手順説明	2日目
1	10:00-10:30	(30)	安全管理	作業打合せ、危険予知活動	
2	10:30-11:30	(60)	型枠工事	型枠解体	
3	11:30-12:00	(30)	品質管理	コンクリート圧縮強度試験（ σ_{28} ）	
4	13:00-15:00	(120)	出来形管理、品質管理	出来形測定	
				目視評価	
				テストハンマー強度試験	
				表層品質評価（表面透気試験）	
				表層品質評価（表面吸水試験）	
				配筋非破壊検査（電磁波レーダー法）	
5	15:00-16:00	(60)	振り返り・発表	施工管理の視点から、品質確保の視点から	
-	16:00-16:30	(30)	まとめ・修了式	総括、修了証の交付、アンケート	

b) 2 日目

図-1 講習会カリキュラム

表-1 受講生の内訳

	所 属
A	公務員
B	建設会社
C	長岡高専 環境都市工学専攻2年
D	長岡高専 環境都市工学科5年
E	長岡高専 環境都市工学科5年

3.実務講習

3.1 対象構造物

実務講習の対象構造物は、図-3 に示す壁・頂版を有する構造物を構築する。壁および頂版を有するボックスカルバートをモデルとしている。

壁構造物のかぶり確保、2 層以上に打ち重ねる打込み時に留意する点、頂版と壁の部材変化点で打込み時に留意する点など、施工時の配慮事項を習得する狙いがある。

3.2 講習内容

(1) 1 日目

1 日目の実務講習は、鉄筋工事、型枠工事（組立）、コンクリート打設工事を行った。

作業のほか、鉄筋工事完了後に配筋検査、型枠組立完了後に型枠検査、かぶり検査など出来形および品質管理を実習した。また、コンクリート打込み時には、レディーミクストコンクリートの受入れ検査として、スランプ試験、空気量試験を実習した。

コンクリート打込みは、受講生全員が振動バイブレータによる締固め作業を行い、バイブレータの挿入間隔および挿入深さ、振動時間は各自の判断で行った。

(2) 2 日目

2 日目の実務講習は、打設後一カ月を経過した材齢 28 日に行った。

構造物の型枠解体前に、打設時に採取した圧縮強度試験体の強度試験を行い、所定の圧縮強度が発現していることを確認した。

強度発現を確認後、型枠工事（解体）を受講生全員で行った。解体後、構造図に示される所定の寸法が確保されていることを、出来形測定で確認し調書に記録した。

出来形確認後、品質管理として、テストハンマーによる実構造物の強度試験と「基本事項を遵守した丁寧な施工」の評価として「目視評価」を行った。また、表層品質の評価として、「表層透気試験（トレント法）」、「表面吸水試験（SWAT）」を実習した。

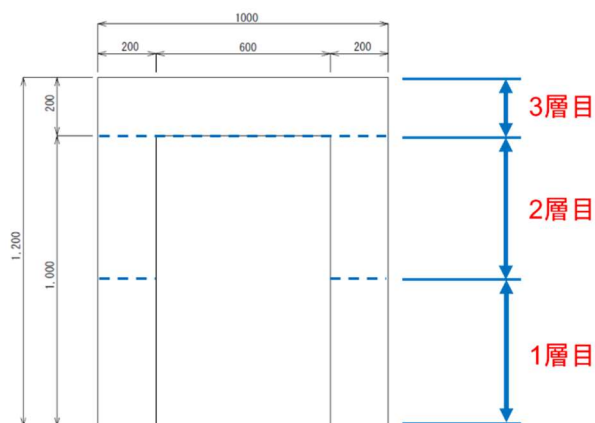


図-3 対象構造物 断面図



図-4 コンクリート打込み実習

4.まとめ

講習会が対象とする受講者は、コンクリート工事を監督あるいは管理する立場の技術者である。そのため、本講習会で実習した作業に直接従事する立場では無い。しかし、「新潟県コンクリート品質確保ガイドライン（案）」制定の背景と目的には、関係者の対話による品質確保とシステムの構築がある。

本講習会をとおして、監督あるいは管理する立場の技術者が、構造物の品質を確保するために必要な施工プロセスを体験し理解することは、コンクリート構造物を構築する関係者が一体となって対話し、構造物の品質を確保していくことにつながると期待できる。

なお、本講習会は、「KOSEN 型産学共同インフラメンテナンス人材育成システム構築事業

（KOSEN-REIM）」の一環で、「REIM 長岡高専」が主催するものである。