

## 反射輝度法によるコンクリート表層部の養生効果評価

長岡工業高等専門学校 ○渡辺媛  
株式会社加賀田組 佐藤花南  
長岡工業高等専門学校 正会員 陽田修 村上祐貴

### 1. はじめに

コンクリート構造物の劣化には塩害や中性化に代表される外部からの劣化因子の浸透によって鉄筋が腐食する事象と、凍害やアルカリ骨材反応に代表される外部からの作用を受けてコンクリート自体が変状を来す事象に分類される。これらはいずれもコンクリート表層部の密実性と関係が深く、コンクリート構造物の密実な品質が求められている。そして密実性の良否は、施工段階におけるコンクリートの養生方法が一つの要因となる。施工現場では、耐久性向上を目的に養生方法に様々な工夫をした施工が行われている。しかし養生効果の評価は、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<sup>1)</sup>。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<sup>2)</sup>。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る。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考察を行った。

### 2. 実験概要

#### 2.1 測定対象

養生方法と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 64 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。（写真を 図-1 に示す）コンクリートパネル試験体は 2 層に分けて打ち込み、1 層ごとにバイブレータを挿入して 1 層、2 層目で連続して締固めを行っている。

表-1 試験体概要

	W/C	単位水量	セメント区分	養生区分
D	45%	150kg/m <sup>3</sup>	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%			

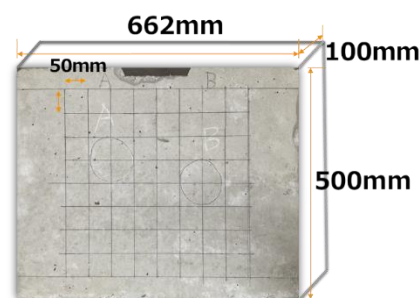


図-1 試験体写真

表-2 検量線パネル詳細

no.	供試体番号	W/C	養生区分	no.	供試体番号	W/C	養生区分
1	①	65%	気中30°C	7	③	65%	気中15°C
2	②	45%	気中30°C	8	③	45%	気中30°C
3	①	55%	気中5°C	9	②	65%	水中
4	④	55%	気中30°C	10	①	45%	気中15°C
5	⑧	65%	気中30°C	11	③	55%	気中15°C
6	①	45%	水中	12	③	45%	気中5°C

## 2.2 検量線パネル概要

反射輝度法は、試験体の近傍に表面吸水速度が既知のコンクリートパネル（以下、検量線パネル）を12個設置して測定を行う。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。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、試験体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。詳細は表-2に示す。

## 2.3 補正用パネル概要

屋外環境では、日射が測定面にあたると乾燥だけでの輝度変化が得られない。このような日射による照度の変化を補正するためセラミック板（以下補正用パネル）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。

## 2.4 反射輝度測定法

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、補正パネルを設置し、試験体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。

## 2.5 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。

## 3. 実験結果

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。

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

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、検量線パネルから得られた 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。

### 3.1 反射輝度法と SWAT 試験の比較

算定 SWAT 値を実際の試験体を模したマス目上に入力し、事前に行った SWAT 試験より測定した SWAT 値と比較した。試験体 F と試験体 J の測定結果を図-3、図-4 および図-5 に示し、その凡例を表-3 に示す。同じ試験体ごとの結果を比べると誤差が同じ試験体同士で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、検量線パネルと試験体が離れすぎていて試験体ごとに測定誤差が大きいこと、また反射輝度法の測定と SWAT 試験の測定を行った日が異なったことでコンクリート表層部の密実性が変化し、同じ試験体でも誤差が生じたと考えられる。

### 3.2 反射輝度法と養生効果の比較

反射輝度法により得られた算定 SWAT 値を用いて、W/C が 55% の試験体 K、E、H を対象に養生方法の違いに着目して表層品質を比較した。3 つの試験体の算定 SWAT 値を図-6 に示し、その凡例を表-4 に示す。

3つの試験体を相対的に比較すると、蒸気養生、湿潤養生7日、湿潤養生2日で品質が良いという結果が得られ、養生初期に強度が発現する順と同様の結果となった。この結果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。

×	0.64	0.6	0.56	0.56	0.58	0.52	×
0.6	0.6	0.57	0.56	0.56	0.58	0.48	0.54
0.61	0.59	0.57	0.56	0.55	0.54	0.47	0.5
0.57	0.59	0.55	0.54	0.52	0.5	0.46	0.49
0.57	0.54	0.5	0.49	0.49	0.43	0.47	0.46
0.56	0.53	0.48	0.47	0.47	0.41	0.44	0.45
0.51	0.49	0.46	0.44	0.44	0.42	0.42	0.41
×	0.49	0.46	0.43	0.43	0.38	0.43	×

a) 試験体 F

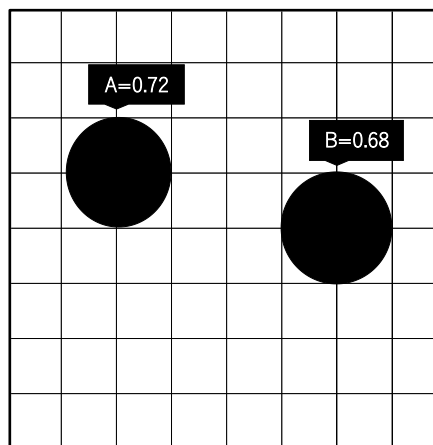
×	0.45	0.46	0.55	0.73	0.75	0.74	×
0.47	0.46	0.52	0.65	0.71	0.75	0.74	0.71
0.54	0.63	0.62	0.52	0.73	0.73	0.74	0.74
0.58	0.63	0.45	0.48	0.73	0.73	0.73	0.73
0.61	0.57	0.51	0.5	0.73	0.74	0.75	0.75
0.44	0.45	0.49	0.51	0.73	0.72	0.76	0.74
0.44	0.45	0.48	0.58	0.73	0.73	0.74	0.68
×	0.57	0.62	0.65	0.73	0.72	0.72	×

b) 試験体 J

図-2 反射輝度法の測定結果

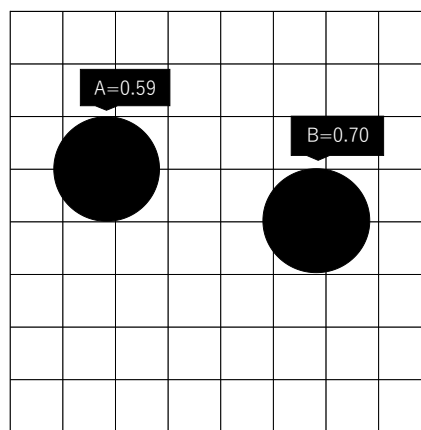
表-3 測定結果の凡例

		算定SWAT値
	...	0.6-0.8
	...	0.5-0.6
	...	0.3-0.5



a) 試験体 F

図-3 SWAT 試験の測定結果



b) 試験体 J

図-4 SWAT 試験の測定結果

×	0.26	0.25	0.25	0.26	0.26	0.27	×
0.26	0.26	0.25	0.24	0.26	0.26	0.26	0.28
0.24	0.24	0.24	0.23	0.25	0.25	0.25	0.25
0.23	0.24	0.23	0.23	0.24	0.24	0.25	0.25
0.23	0.23	0.24	0.23	0.24	0.24	0.25	0.24
0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.24	0.24	0.24
0.22	0.22	0.22	0.22	0.23	0.24	0.24	0.24
×	0.21	0.21	0.21	0.21	0.23	0.23	×

a) 試験体 K

×	0.84	0.82	0.78	0.81	0.89	0.87	×
0.76	0.77	0.77	0.79	0.79	0.89	0.85	0.8
0.83	0.76	0.78	0.78	0.78	0.8	0.82	0.83
0.81	0.73	0.83	0.77	0.77	0.84	0.81	0.78
0.81	0.78	0.76	0.75	0.78	0.88	0.79	0.75
0.76	0.76	0.73	0.73	0.78	0.82	0.84	0.73
0.78	0.75	0.72	0.72	0.71	0.72	0.8	0.68
×	0.81	0.79	0.8	0.76	0.75	0.69	×

b) 試験体 E

×	1.38	1.38	1.37	1.56	1.6	1.59	×
1.17	1.35	1.8	1.4	1.53	1.6	1.64	1.83
1.2	1.18	1.19	1.25	1.45	1.47	1.68	1.82
1.16	1.18	1.21	1.24	1.53	1.49	1.63	1.77
1.19	1.16	1.19	1.28	1.56	1.53	1.78	1.79
1.14	1.2	1.2	1.24	1.5	1.53	1.71	1.76
1.12	1.16	1.2	1.25	1.64	1.58	1.61	1.59
×	1.13	1.21	1.18	1.52	1.52	1.54	×

c) 試験体 H

図-5 反射輝度法の測定結果

表-4 測定結果の凡例

		算定SWAT値
	...	1.5-2.0
	...	1.0-1.5
	...	0.5-1.0
	...	0-0.5

#### 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。

#### 謝辞

本研究において藤村クレスト株式会社の協力を得た。ここに記して謝意を表す。

#### 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,ol.40,No.1,pp.1695-pp.1700,2018年7月