

# 近赤外光およびテラヘルツ波によるモルタル中の塩分と水分の検出に関する検討

徳島大学大学院 学生会員 ○高名柚衣 徳島大学 正会員 上田隆雄  
(株)フジタ建設コンサルタント 正会員 山本晃臣 徳島大学 時実悠

## 1. はじめに

コンクリート構造物の劣化現象の一つである塩害において、塩化物イオン（以下  $\text{Cl}^-$  とする）と水分は代表的な劣化因子として挙げられるが、これらの含有状況を現場で短時間に把握する手法は現時点で確率されていない。一方で、近赤外光を用いた非破壊分析法である近赤外分光法は、コンクリート中の  $\text{Cl}^-$  濃度や水分量の推定が可能であることが報告されている。ただし、現状では、コンクリートやモルタルの含水状態の違いが  $\text{Cl}^-$  濃度推定結果に与える影響は明らかになっていない。また、近赤外光は、波長 800~2500nm と波長が短いため、内部の測定には穿孔する必要がある。そこで、より波長の長い電磁波であり、非破壊検査にも用いられている、テラヘルツ波に着目し、モルタル内部の含水率や  $\text{Cl}^-$  濃度が測定可能であるかを実験的に検討することとした。

## 2. 実験概要

### 2.1 供試体の作製および養生

本実験で用いたモルタル供試体は、W/C が 45% の NaCl 無添加配合を基準として、配合設計を行った。モルタルに初期添加した  $\text{Cl}^-$  濃度は、0、5、10、20  $\text{kg/m}^3$  とし、所定の濃度となるように、細骨材代替で計算された量の NaCl を練混ぜ水に溶解して添加した。本研究で作製したモルタルプレート供試体は、モルタルプレート供試体（1辺 100 mm の正方形断面）とし、材齢 1 日で脱型を行い、封緘養生を 20°C の恒温室中で 28 日間行った。なお、モルタルプレート供試体は、100×100×400 mm 角柱供試体作製の鋼製型枠を木製端板で仕切ることにより、厚さ 5 mm、10 mm、15 mm のモルタルプレートをそれぞれ 2 枚ずつ作製した。養生終了後、飽和塩法によって調湿したデシケーター内で約 35% に調整し、各種測定を行った。含水率は、60°C 乾燥炉で 24 時間での質量変化が生じなくなった時の質量を絶乾状態、封緘養生終了直後を飽水状態とし、計算した。

### 2.2 近赤外分光法とテラヘルツ波時間領域分光法の測定

近赤外分光法による測定には、ASD 社製の Lab spec 4 を用い、計測には  $\Phi 20\text{mm}$  の範囲の平均値を読み取る光源受光一体型のコンタクトプローブを使用した。測定基準となる白板はセラミック製スペクトロン標準反射板を使用した。測定は、養生終了直後と、60°C 乾燥炉で平衡状態となるまで乾燥させた状態、また、75%R.H. で平衡状態にある供試体について、20°C、60%R.H. の測定環境に移動・暴露してから 0 秒、30 秒、60 秒、120 秒、180 秒、300 秒後に行った。テラヘルツ波時間領域分光法には、徳島大学ポスト LED フォトニクス研究所で作製された THz-TDS を測定に用いた。測定は透過配置で、乾燥後、75%R.H. で平衡状態にある供試体について、20°C、60%R.H. の測定環境に移動・暴露してから 5 分以内に行った。

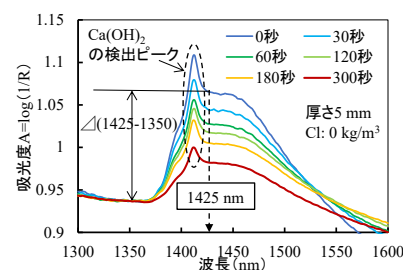


図1 養生終了の気中乾燥時間に伴う吸光度スペクトルの変化

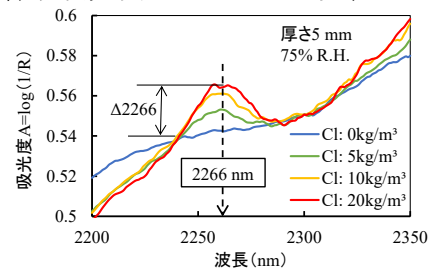


図2  $\text{Cl}^-$  濃度の変化に伴う吸光度スペクトルの変化

### 3. 近赤外分光法による測定結果と考察

近赤外分光法による材齢 28 日の  $\text{Cl}^-$  を添加していない供試体に対して養生終了直後の状態を 0 秒とし、30 秒、60 秒、120 秒、180 秒、300 秒に測定した波長 1300~1600 nm の吸光度スペクトルを図 1 に示す。飽和塩法によって 75%R.H. に調湿したデシケーター内で平衡状態となっている供試体の吸光度スペクトルの波長 2230~2300 nm を図 2 に示す。既往の研究の通り水分量の吸光度のピークは波長 1425 nm 付近に、塩分量に相当すると考えられる吸光度のピークは 2260 nm 付近に存在し、表面水分量が多いほど、また塩分量が多いほど吸光度が大きくなっていることが読み取れる。この結果を受けて、含水状態が異なる場合に厚さ 5mm の供試体の  $\text{Cl}^-$  濃度と差吸光度の関係を図 3 に示す。これによると、含水率が低下することにより、差吸光度の測定値は低下している。一方で、図 3 に示した 75%R.H. の環境条件で平衡状態となった厚さ 5mm の含水率の測定値は、 $\text{Cl}^-$  濃度によって変化しており、 $\text{Cl}^-$  濃度の増加に伴って含水率は上昇していることから、保管された雰囲気相対湿度の影響を強く受けており、表層の含水状態の含水状態を評価していると推察される。含水状態が  $\text{Cl}^-$  濃度変化に伴う差スペクトルの変化に与える影響を図 4 に示す。全体的な傾向として、 $\text{Cl}^-$  濃度の増大に伴って、差スペクトルの値は大きくなっているが、高塩分濃度の差スペクトルの上昇は小さくなっている。また、含水率が低いほど、10 $\text{kg/m}^3$  を超える  $\text{Cl}^-$  量に対する差スペクトルの値が大きくなっている。これは、近赤外分光法では、セメント水和物に固定された塩の測定しかできないことが影響していると推察される。

### 4. テラヘルツ時間領域分光法の測定結果と考察

含水率を飽和塩法によって 75%R.H. に調湿したデシケーター内で平衡状態にある供試体の 5 mm の厚さの時間波形を図 5 に示す。これによると、時間波形は、 $\text{Cl}^-$  濃度が高いほど遅れが生じ、振幅は小さくなっている。供試体の屈折率が大きくなるほど時間波形は遅れ、テラヘルツ波が供試体に吸収されるほど振幅は小さくなることを表す。このことから、 $\text{Cl}^-$  濃度が高いほど屈折率は大きく、透過率は小さくなっていることが読み取れる。さらに、定量的に評価するために、時間波形をフーリエ変換し、周波数依存の透過強度を求め、サンプルを置かない状態の透過強度と供試体の透過強度との比から求めた透過率と  $\text{Cl}^-$  濃度の関係を示したグラフを図 6 に示す。これによると、厚みが増すほど、 $\text{Cl}^-$  濃度が増加するほど、透過率は低下している。これは、一定の相対湿度環境に保管した平衡時含水率は、含有  $\text{Cl}^-$  濃度の増加に伴って大きくなることを考慮すると、モルタル中の  $\text{Cl}^-$  濃度が増大した場合には、モルタル中で増加した水分によるテラヘルツ波の吸収が促進されるために、透過率が低下したものと推察される。

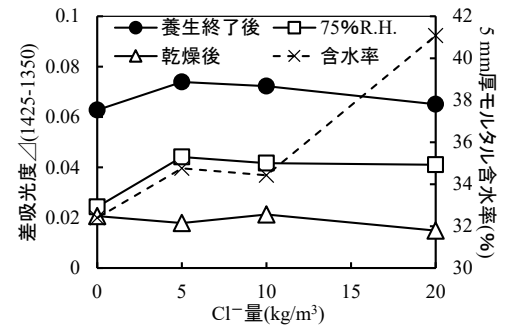


図 3 含水状態が  $\text{Cl}^-$  濃度変化に伴う差吸光度の変化に与える影響

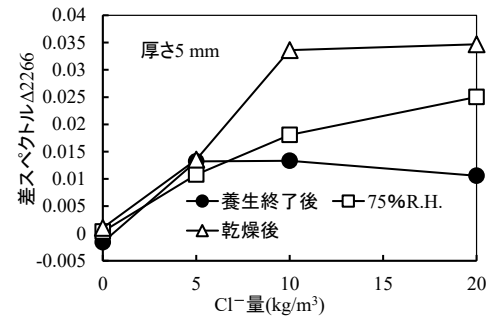


図 4 含水状態が  $\text{Cl}^-$  濃度変化に伴う差スペクトルの変化に与える影響

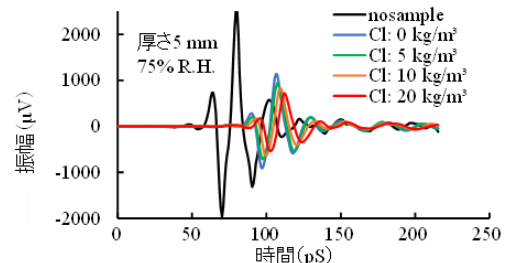


図 5 75%R.H.環境で保管した 5mm プレートの時域波形

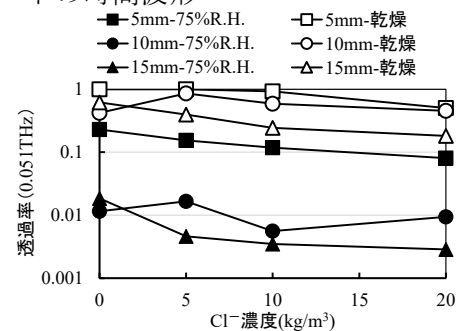


図 6 0.051THz における透過率とモルタル中の  $\text{Cl}^-$  濃度の関係