

電磁波を用いた全反射測定によるコンクリート中の塩化物含有量の検出技術

ドービー建設工業株式会社 正会員 ○立神 久雄 , 長谷川 剛
三井造船株式会社 正会員 井上 浩男

名古屋大学 川瀬 晃道, 小倉 英弘, 川越 寛之, Saroj R. Tripathi

1. 研究背景と目的

社会インフラのコンクリート構造物では高度成長期に建設されたものが多く、老朽化が進んでいることから早急な保全・検査技術の開発が求められている。コンクリート構造物の劣化要因の一つに塩害があるが、現在採用されている検査手法ではコアボーリングなどを用いた破壊検査、ドリル削孔などによりサンプルを採取する微破壊検査が主流となっている。しかし、できる限り構造物に損傷を与えず、かつ検査結果をできる限りその場で確認できることが求められる。そこで、本研究はテラヘルツ波（以下、THz 波という）およびミリ波を利用してこれまでの成果¹⁾²⁾を発展させ全反射法による非破壊検査でコンクリート中の塩化物含有量を検出する技術の開発を目的とした。

2. 試験体

計測に用いた試験体は普通ポルトランドセメントを用いた①セメントペースト試験体、普通ポルトランドセメントにセメント強さ試験用標準砂を混合した②モルタル試験体、前述の試験体に高炉スラグ微粉末をセメント量の50%置換した③高炉スラグセメントペースト試験体、④高炉スラグモルタル試験体の4水準とした。また、それぞれの試験体に対して塩化物ナトリウムを混合しないもの(0.0kg/m³)と混合した後の塩化物含有量が1.2kg/m³、2.4kg/m³、4.8kg/m³、9.6kg/m³になるように調整したものを合計で5水準用意した。試験体の寸法は透過法¹⁾²⁾との兼用で40mm×100mm×1~5mmとし、電磁波による多重反射を避けるためにテーパ形状とした。

さらに、一般構造物への適用性を検証するためにコンクリート試験体を製作した。コンクリート試験体においても普通ポルトランドセメントのみの試験体と高炉スラグ微粉末をセメント量の50%置換した試験体を製作し、試験体寸法は150mm×150mm×25mmとした。塩化物含有量に関する水準は前述の試験体と同様である。試験体の水準と記号を示したものを表-1に、試験体概要図を図-1に示す。

セメントペースト試験体			モルタル試験体			コンクリート試験体		
塩化物含有量 (kg/m ³)	記号/種類		塩化物含有量 (kg/m ³)	記号/種類		塩化物含有量 (kg/m ³)	記号/種類	
	OPC	OPC+BB		OPC	OPC+BB		OPC	OPC+BB
0.0	C00-1～C00-4	BC00-1～BC00-4	0.0	M00-1～M00-4	BM00-1～BM00-4	0.0	R00-1～R00-3	B00-1～B00-3
1.2	C12-1～C12-4	BC12-1～BC12-4	1.2	M12-1～M12-4	BM12-1～BM12-4	1.2	R12-1～R12-3	B12-1～B12-3
2.4	C24-1～C24-4	BC24-1～BC24-4	2.4	M24-1～M24-4	BM24-1～BM24-4	2.4	R24-1～R24-3	B24-1～B24-3
4.8	C48-1～C48-4	BC48-1～BC48-4	4.8	M48-1～M48-4	BM48-1～BM48-4	4.8	R48-1～R48-3	B48-1～B48-3
9.6	C96-1～C96-4	BC96-1～BC96-4	9.6	M96-1～M96-4	BM96-1～BM96-4	9.6	R96-1～R96-3	B96-1～B96-3
	計 20 枚	計 20 枚		計 20 枚	計 20 枚		計 15 枚	計 15 枚

表-1 試験体水準表

3. 計測方法

計測方法はテラヘルツ時間領域分光法(以下, THz-TDS という)を用いた実験系と 65GHz ミリ波光源を用いたミリ波 ATR 法による実験系の2種類を用いて全反射計測を行った. 計測方法は, シリコンプリズムの上に試験体を設置し, THz-TDS の計測ではプリズムへの入射角度を $\theta_i=51.6^\circ$ として試験体と平行入射することにより測定を行った. また, ミリ波光源を用いた計測(以下, ミリ波 ATR とする)においては, 入射角度を $\theta_i=10^\circ$

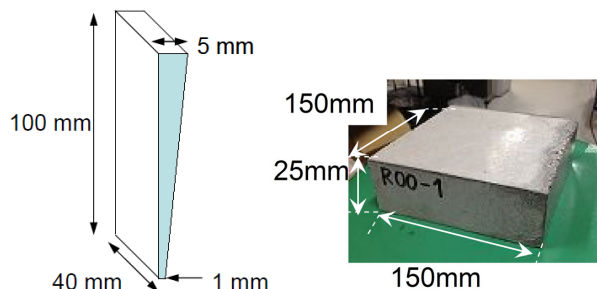


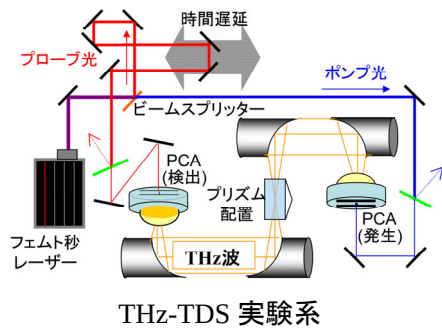
図-1 試験体概要図

キーワード： テラヘルツ波 ミリ波 非破壊検査 塩化物

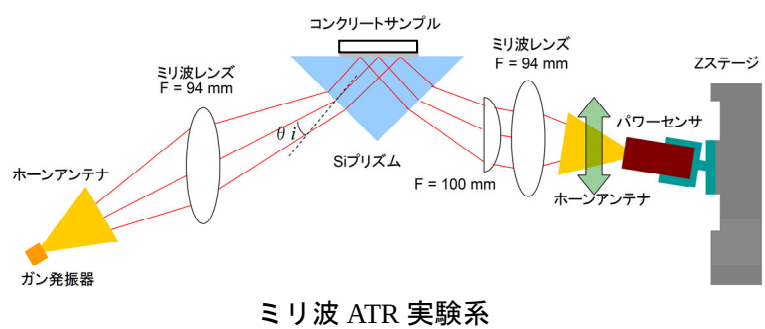
連絡先 〒170-0004 東京都豊島区北大塚 1-16-6 TEL 03-3918-6176

， 20° として計測した．実験系の概要図を図-2，シリコンプリズムと試験体との関係を図-3に示す．

4. 計測結果



THz-TDS 実験系



ミリ波 ATR 実験系

図-2 実験系概要図

計測値の比較方法については、試験体の表面に入射した電磁波の全反射率によって行った。THz-TDS による全反射計測の結果を図-4に示す。セメントペーストでは塩化物含有量の増加に伴い全反射率が低下する傾向が見られたが、モルタル試験体では全反射率が乱れ、相関性を示しているとは言い難い。これは、プリズムへの入射角が 51.6° と大きく、THz 波によるしみ出し長が小さかったことが原因として考えられた。ここで、しみ出し長とは、シリコンプリズムを介して入射

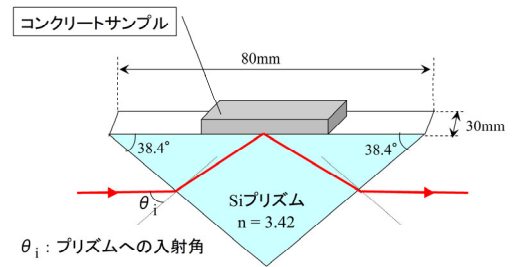


図-3 シリコンプリズムと試験体

された電磁波が試験体表面から内部へ入り込み、反射して帰ってくる時の表面から反射面までの深さ方向のことをいう。ミリ波 ATR を用いてセメントペーストおよびモルタル試験体を計測した結果を図-5に示す。THz-TDS と異なり、入射角を小さくできたミリ波 ATR では、モルタル試験体においても有意な相関性が確認された。入射角を 20° ， 10° の順に計測した結果、しみ出し長が大きくなる 10° 入射の方が相関性は高くなった。また、コンクリート試験体においても塩化物含有量と全反射率の相関性が確認された。計測結果を図-6に示す。

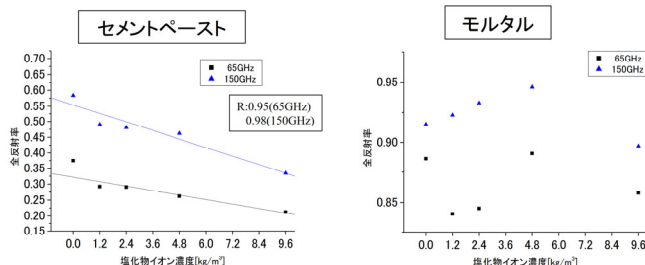


図-4 THz-TDS 計測結果

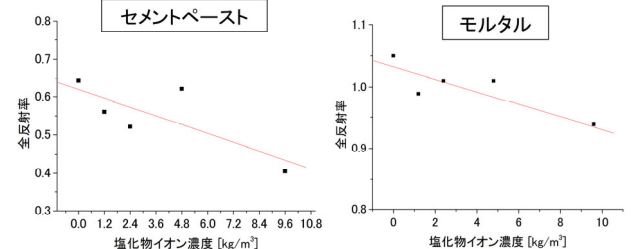


図-5 ミリ波 ATR 計測結果

5. 結論および考察

前述の計測結果より以下の結論を得た。

- 1) THz-TDS 系とミリ波 ATR 系による全反射率にコンクリートの塩化物含有量との相関があることを確認した。THz-TDS 系では、しみ出し長が不足するとモルタル試験体で相関が確認できなかった。
- 2) ミリ波 ATR 系の全反射率計測では、すべての試験体に対して塩化物含有量との相関が確認された。

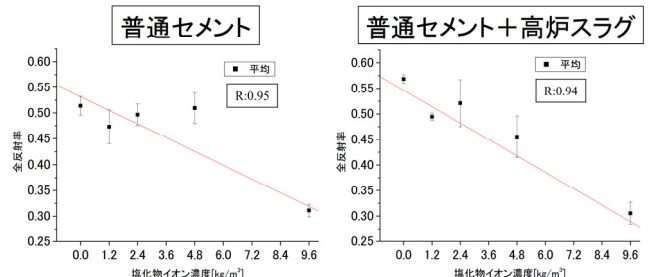


図-6 ミリ波 ATR 計測結果 (コンクリート試験体)

- 3) THz-TDS 系においても入射角を変えることによってミリ波 ATR 系と同様な計測結果を得ることが可能と考える。今後の課題として、他の影響因子の有無の把握、塩化物含有量との相関に関する理論的な考察が必要である。

参考文献

- 1) 市川聖芳ら：テラヘルツ波によるモルタル内部の塩化物イオン濃度検出について，土木学会全国大会 第64回年次学術講演会，V-182
- 2) 小倉英弘ら：テラヘルツ波を用いたコンクリート中塩化物イオン濃度の非破壊検査技術の開発，平成24年電気学会全国大会，1-149