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

ドーピー建設工業株式会社 正会員 ○市川 聖芳
名古屋大学 川瀬 晃道，澁谷 孝幸，鈴木 智貴
三井造船株式会社 正会員 井上 浩男

1.はじめに

高度経済成長期に建造された社会インフラはその多くが更新時期に入り，財政的な制約からより効率的な維持管理手法の確立が求められている。その中で鉄筋コンクリート構造物の劣化原因の一つとしてあげられる塩害は，コンクリート内部の鉄筋が内在塩分あるいは外来塩分によって腐食することで顕在化するが，鉄筋腐食によるひび割れが確認される頃にはすでに劣化が進行していることから，塩害に対して早期発見あるいは予防保全的な対処が必要と判断される。現在の調査方法としては目視確認の後，実構造物からのサンプリング(コア抜き)により試料を採取し科学的な分析を行う方法が一般的であるが，これらの破壊検査は実構造物にダメージを与えるだけでなく調査箇所及び調査点数に制限があり，対象となる構造物を調査するに当たり必ずしも効率の良い方法とはいえない。もし仮に非破壊にて調査点の科学的情報をある程度把握できたならばその後の詳細調査に関わる時間や労力を省略できるであろう。さらに非破壊にて詳細調査レベルの情報を得ることが出来ればより効率的な維持管理体制がとれると期待される。 近年このような観点から多くの非破壊検査手法が研究・提案がされており，非破壊でコンクリート中の塩化物イオン濃度を測定する方法[(1)]も検討されているがその数はまだ少なく，実用化に向けて今後多くの研究が行われることが望まれる。 そこで本稿では，未開拓電波領域とも呼ばれ様々な産業への応用が期待されているテラヘルツ波を用いたコンクリート構造物の塩化物イオン濃度非破壊検出手法について，その可能性を検討した試験結果を紹介する。

表-1 テラヘルツ 周波数位置

周波数	1 MHz	1 GHz	1 THz	1 PHz
	10^6	10^9	10^12	10^15
	短波		ﾃﾗﾍﾙﾂ光	可視光
波長	300m	300mm	300μm	300nm
	電波			光

2.テラヘルツ波について

テラヘルツ波とは，周波数帯としては0.1～10THz(波長3mm～30μm)程度の電磁波であり(**表-1 テラヘルツ 周波数位置**)，電波と光波の中間の特性を持ち，現在，通信・医療・バイオ分野などで特性を生かした有効利用が期待されている。

図-1 楔形サンプル

3.実験概要

本研究ではテラヘルツ波の特性の一つである物質透過性に着目し，塩化物イオンを含んだ試験体を透過したテラヘルツ波の透過率を測定し，第1ステップとして透過率の違いによる塩化物イオン濃度検出を試みた。

表-2 試験体種類

No	塩害試験体	結合材	CL⁻濃度(kg/m3)	厚さ(mm)	数量(枚)	記号
1	モルタル W/C=50%	普通ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄ	0	3	2	MOP 0.0 3mm 5°
2			1.2	3	2	MOP 1.2 3mm 5°
3			4.8	3	2	MOP 4.8 3mm 5°
4			9.6	3	2	MOP 9.6 3mm 5°
5			19.2	3	2	MOP19.2 3mm 5°
6		普通ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄ+高炉ｽﾗｸﾞ50%置換	0	3	2	MOS 0.0 3mm 5°
7			1.2	3	2	MOS 1.2 3mm 5°
8			4.8	3	2	MOS 4.8 3mm 5°
9			9.6	3	2	MOS 9.6 3mm 5°
10			19.2	3	2	MOS19.2 3mm 5°
				合計	20	

試験体は40x40x160mmの角柱を断面中央部で厚さ3mmとなるように，かつ境界面での多重反射を避けるため5°の角度をつけて楔形に切断したものを用いた(**図-1 楔形サンプル**)。配合はW/C=50%のモルタルとし，普通ポルトランドセメント(記号MOP)および普通ポルトランドセメントの重量比50%を高炉スラグ微粉末で置換したもの(記号MOS)を用いた。塩化物イオン濃度は0.0，1.2，4.8，9.6,19.2 kg/m3の5水準とした(**表-2 試験体種類**)。28日間の水中養生後，上記形状で切断し28日間の気中乾燥を経て測定を行った。

キーワード テラヘルツ波 非破壊検査 塩化物イオン濃度 鉄筋の発錆限界
連絡先 〒170-0004 東京都豊島区北大塚1-16-6 TEL 03-3918-6176

本稿では，一例としてテラヘルツ時間領域分光システム(THz-TDS)を用いて実施した(図-2 THz-TDS 概念図)結果を示す。THz-TDS は，THz パルス波を試験体に入射し，試験体を透過した後の THz パルス波の波形を時間分解計測し，その波形をフーリエ変換することにより周波数ごとの振幅と位相を得るものである。

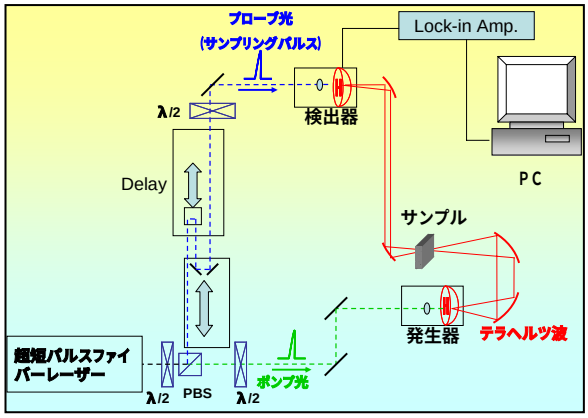

図-2 THz-TDS 概念図

まず試験体を設置しないで THz パルス波の時間波形を計測し，フーリエ変換を実施してスペクトル(振幅の二乗)のリファレンス値を求めた。次に試験体を図-4 のサンプルの位置に設置して，試験体を透過した後の THz パルス波の時間波形，スペクトルを求めた。モルタル試験体の透過率は，このスペクトルの計測値をリファレンス値で除して求めた。

4.測定結果

測定結果を図-3,4 に示す。本稿では特に透過率が高かった 0.08THz～0.2THz に着目した。

塩化物イオン濃度と透過率の関係について，塩化物イオン濃度が 0.0,1.2,4.8kg/m3 の範囲については透過率との相関性が見られた。とくにスラグ入りの試験体(図-4 (MOS))についてはこの傾向は顕著で塩化物イオン濃度の増加とともに透過率が減少することが確認された。

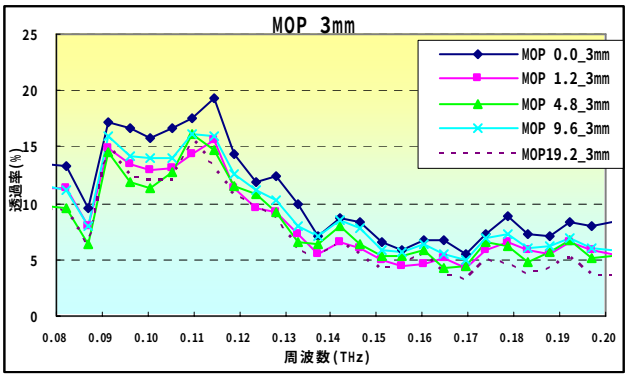

図-3 測定結果(MOP)

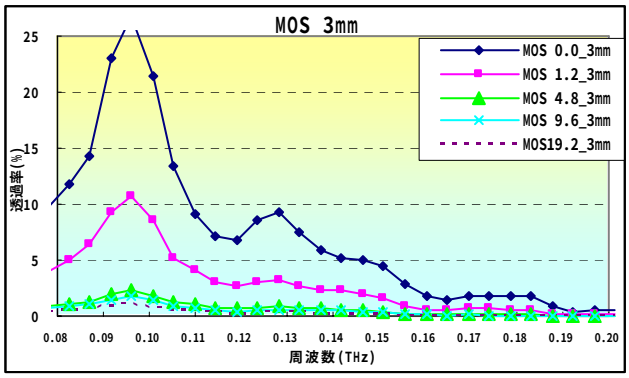

図-4 測定結果(MOS)

5.まとめ

テラヘルツ光時間領域分光システムを用いて塩化物イオン濃度を含むモルタル試験体のテラヘルツ波透過率を測定し以下の所見を得た。

1) ある一定の塩化物イオン濃度までは，テラヘルツ光透過率を測定することにより塩化物イオン濃度を検出することが可能であることを確認した。
2) 結合材の種類によって同一塩化物イオン濃度での透過率に差が出たことから透過率による配合推定の可能性を示した。

6.今後の課題

本研究では透過法により透過率と塩化物イオン濃度との相関性を検証したが，現在非破壊検査法の開発を目標に反射法による反射率測定にて塩化物イオン濃度の検出を施工中である。なお，これらの測定に際しては骨材,内部鋼材の影響も懸念されるため，データの蓄積を進めるとともに周波数依存性，位相差などにも着目した評価を行いたいと考えている。また同じく鉄筋コンクリート構造物の劣化原因である「中性化」についても本技術を用いて評価することが可能であると期待し，現在簡易的な評価試験を試行中である。

7. 謝辞

本研究における試験体製作に際し,ご協力･ご指導戴いた東北大学久田准教授，皆川助教に謝意を表します。

参考文献：(1)例えば、神谷他：電磁波を用いた鉄筋コンクリート中の塩化物評価に関する一考察，コンクリート工学年次論文集，Vol.25，No.1，2003