

論文 準マイクロ波によるフレッシュコンクリートの単位水量の測定

河辺 伸二^{*1}・達木 亮平^{*2}・西尾 隆太郎^{*3}

要旨: コンクリート製造工場や打設現場において、フレッシュコンクリートの水分量の定量的な検査は重要である。本研究では、準マイクロ波帯の電波の特性を利用し、シールドボックスを用いてフレッシュコンクリートの単位水量を推定する方法を考案した。ホーンアンテナを用いてフレッシュコンクリートに準マイクロ波帯の電波を当て、透過した電波を測定するシールドボックス測定装置を製作しこの妥当性を確認した。そして、以下のことが分かった。1)シールドボックス測定装置を用いて、透過した電波を測定することにより、単位水量の推定が可能である。2) 透過した電波が小さい方が単位水量は大きい。

キーワード: 単位水量, 準マイクロ波, シールドボックス, フレッシュコンクリート

1. はじめに

フレッシュコンクリートの水分量は、コンクリートの強度や耐久性などに大きく影響する。コンクリート製造工場や打設現場において、フレッシュコンクリートの水分量の定量的な検査は重要である。

コンクリート中の単位水量の測定方法は、水抽出法、試薬濃度差法、中性子測定法など従来からいくつかの方法が提案されており、実際に打設現場で単位水量管理に適用されているものもある。しかし、測定誤差、測定に要する時間、測定方法の煩雑さなどの点で問題が残されているのが現状である。

準マイクロ波帯の電波は水分に吸収される特性がある。この特性を利用すると、フレッシュコンクリート中の水分量の測定が容易に行える可能性がある。

筆者らは従来から VHF 帯, UHF 帯, 準マイクロ波帯の電波による建築材料の反射減衰量や透過・吸収の測定を行い、建築材料の電波特性の研究^{1, 2)}を行ってきた。

本研究では、準マイクロ波帯の電波の特性を利用し、フレッシュコンクリートの単位水量を推定する方法を考案し、その適用性を検討した。

本研究の流れを以下に示す。1)ホーンアンテナを用いてフレッシュコンクリートに準マイクロ波帯の電波を当て、透過した電波を測定するシールドボックス測定装置を製作した。2) シールドボックス測定装置を用いて、各単位水量のフレッシュコンクリートの透過した電波を測定し、単位水量と透過した電波の関係を求めた。

2. 測定装置³⁾

2.1 シールドボックス

シールドボックスは、建築材料の透過した電波を測定

するために設計し、作製した装置である。図-1 にシールドボックスの概要を示す。シールドボックスは鋼板のボックス内部を電波吸収体で覆い、ボックス上部に開口部がある。電波はボックス上部の開口部からのみ受信する。金属板で外部からの電波を遮蔽し、内部の電波吸収体で開口部から入射する電波の反射を防いでいる。

表-1 にシールドボックスの仕様を示す。本研究では、2.45GHz を含む 2.40~2.50GHz における透過した電波を測定する仕様とした。

供試体は開口部の上部に設置し写真-1 のように金属枠で固定した。供試体とシールドボックスの隙間から電波が漏れる、または入り込む可能性の無いよう金属枠はビス留めし、シールドボックスと金属枠を圧着し微細な隙間も防いだ。金属型枠の開口部は 2.45GHz の電波の波長を考慮し、有効開口寸法を 244×244mm とした。

2.2 基本原理

シールドボックスを用いる測定は MIL-STD-285 に準拠した方法である。MIL-STD-285 は材料の電磁シールド性能試験法として用いられる米軍規格である。シールドボックス外に設置する送信アンテナから発信される電波を、シールドボックス内の受信アンテナで受ける。上面の開口部に供試体を設置する場合と、供試体を設置しない(フリースペース)場合に受信される電波の差から供試体を透過した電波を測定した。

今回測定する透過した電波は、フレッシュコンクリートで減衰した電波の透過量の割合を表す TL (dB) を式(1)に示す。L₁ は供試体を設置しない場合の電界強度レベル (dBμV), L₂ は供試体を設置する場合の電界強度レベル (dBμV)である。

$$TL(dB) = L_2(dB\mu V) - L_1(dB\mu V) \quad (1)$$

*1 名古屋工業大学大学院 教授 工博 (正会員)

*2 名古屋工業大学大学院 修士

*3 名古屋工業大学大学院 学部長

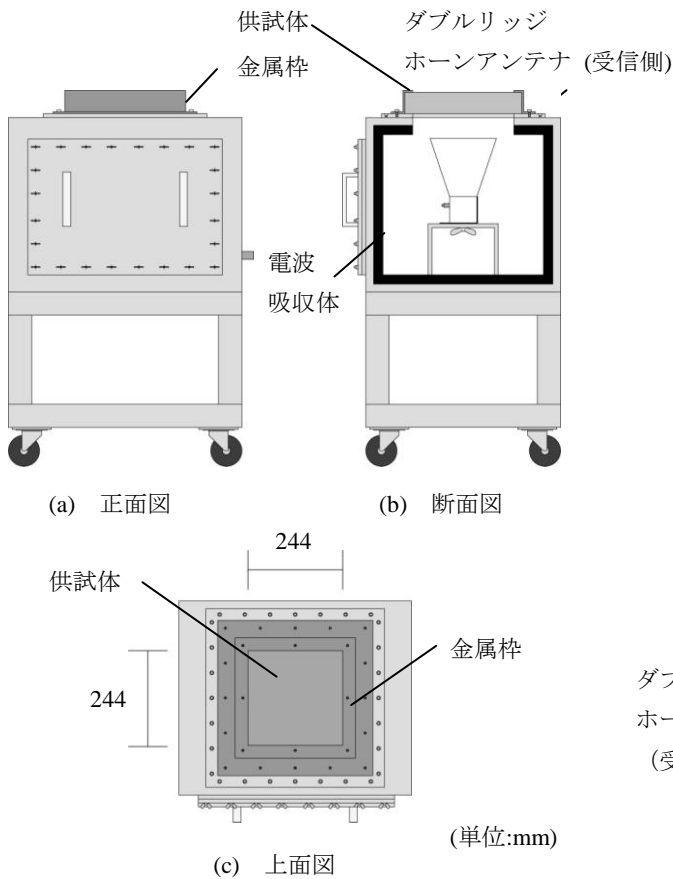


図-1 シールドボックスの概要

表-1 シールドボックスの仕様

全体外寸	W600×D500×H900mm	
本体外寸	W600×D500×H450mm	
総重量	約50kg(本体30kg,架台20kg)	
材質 仕上げ	本体 鋼板1.6mm厚 メッキ+塗装仕上げ	
	架台 角型鋼管 50×50×2.3 mm メッキ+塗装仕上げ	
開口部	上面	供試体設置用 寸法 244×244mm
	側面	アンテナ設置用及びメンテナンス用 寸法 420×270mm
対応周波数	1~18GHz	
対応アンテナ	ホーンアンテナ EMCO3115	

2.3 測定装置の概要

測定装置の概要を図-2に、測定機器の一覧を表-2に示す。電波暗室内の測定装置を写真-2に示す。2台のダブルリッジホーンアンテナを、同軸ケーブルを用いてネットワークアナライザに接続した。送信用のホーンアンテナは、受信用のホーンアンテナの真上にアンテナマストを用いて設置し、アンテナ間距離は準マイクロ波帯の波長に合わせ、300mmに固定した。外来波の影響を

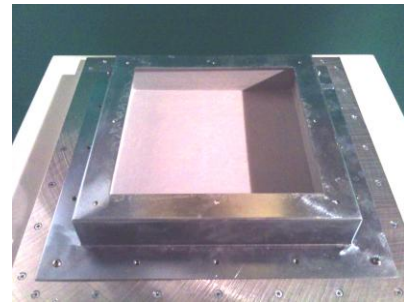


写真-1 金属枠による供試体の固定

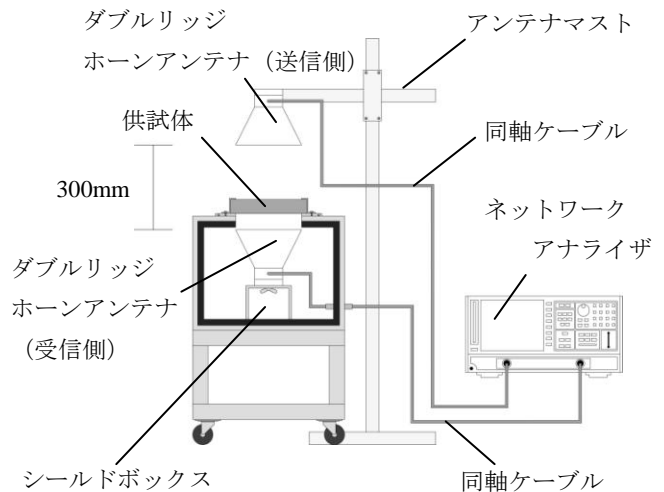


図-2 測定装置の概要

表-2 測定機器の一覧

品名	形式	仕様	用途
ダブルリッジ ホーンアンテナ	EMCO3115	0~ 18GHz	広帯域アンテナ
同軸ケーブル	SUCOFLEX 106	0~ 18GHz	アンテナ-ネット アナ間信号伝送
ネットワーク アナライザ	HP/8719D	50MHz~ 13.5GHz	電磁波測定及び 記録装置

無くし測定精度を上げるため、電波暗室で測定を行った。今回使用する周波数帯の2.40~2.50GHzは無線LANなどに使用されており、この不要な外来波を防ぐためである。

2.4 測定装置の妥当性

今回作製したシールドボックスによる測定装置におけるTLの妥当性を確認するため、同軸管による測定方法と比較した。同軸管による測定方法は、金属メッシュの様な固体の測定に適している。そこで供試体は写真-3に示すアルミ製の金属メッシュを用いた。

図-3に各測定方法によるTLの比較を示す。2.45GHzを含む2.40~2.50GHzにおいて両者のTLはほぼ等しい。今回製作したシールドボックスを用いた測定装置におけるTLの妥当性が確認できた。なお、同軸管による測定方法は、液体や半固体を同軸管の管内に充てんするこ



写真-2 電波暗室内の測定装置

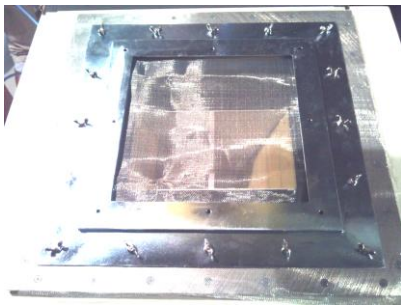


写真-3 金属メッシュの TL の測定

とは困難であるため、フレッシュコンクリートの TL の測定には向かない。

2.5 アンテナ間距離による TL への影響

アンテナ間距離が 200~400 mm かつ周波数が 1.00 GHz~3.00 GHz において、TL を測定した。アンテナ間距離 300 mm の TL を 0dB とした。

図-4 にそれぞれの周波数におけるアンテナ間距離と TL の関係を示す。アンテナ間距離が 200 mm から 400 mm へ変わるにつれ TL は減少した。また周波数によりアンテナ間距離と TL の波打つ関係は異なった。測定装置の治具でアンテナ間距離を 300 mm に固定しているが、さらに今回の使用周波数 2.45 GHz において、万が一アンテナ間距離が 300 mm から±2 mm 程度ずれても TL の値に大きな影響を与えないことがわかった。

3. 実験方法

3.1 コンクリートの調合

コンクリートの調合を表-3 に示す。No.1 から No.3 は単位セメント量を一定にし、水セメント比を変えた。No.4 から No.12 は単位水量を 175, 185, 195kg/m³ で一定とし、セメント量を変えた。細骨材率は 44%とし、水セメント比は 40, 50, 60%の 3 条件とした。粗骨材の最大寸法は 25mm であった。粗骨材(碎石)の絶乾密度は

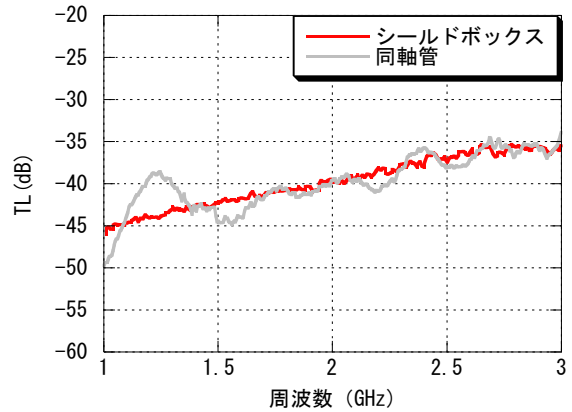


図-3 各測定方法による TL の比較

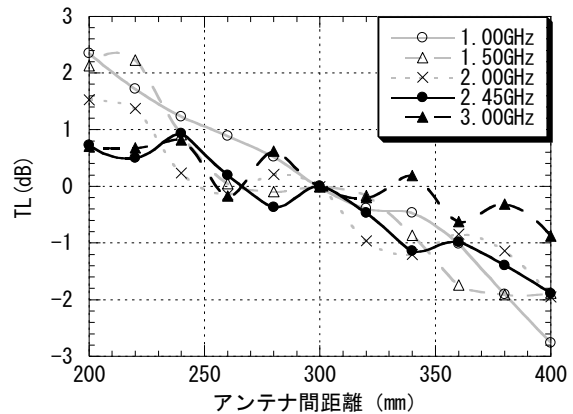


図-4 アンテナ間距離と TL の関係

表-3 コンクリートの調合

No.	W/C (%)	単位量(kg/m ³)				s/a (%)	混和剤対セメント(%)
		W	C	S	G		
1	40	131	327	798	1048	44	1.0
2	50	164		762	1000		0.6
3	60	196		726	954		0.2
4	40	175	438	711	934		0.6
5	50		350	742	974		0.2
6	60		292	762	1001		0.6
7	40	185	463	691	908		0.6
8	50		370	724	950		0.2
9	60		309	745	979		0.6
10	40	195	488	671	881		0.6
11	50		390	705	926		0.2
12	60		325	728	956		0.2

2.57g/cm³、吸水率は 1.24%であり、細骨材(陸砂)の絶乾密度は 2.52g/cm³、吸水率は 2.01%である。普通ポルトランドセメントとポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤を使用した。目標スランプは 18cm、目標空気量は 4.0%とした。

3.2 TL の測定

ネットワークアナライザの出力は 5dBm、周波数範囲 2.40~2.50GHz、sweep time 200ms、ポイント数 201 とし、

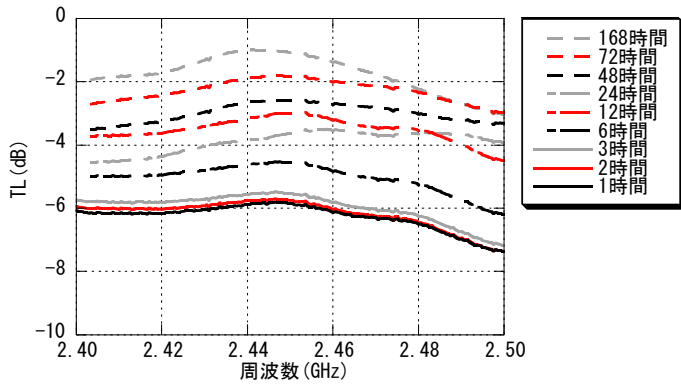


図-5 周波数と TL の関係
(水セメント比 40%)

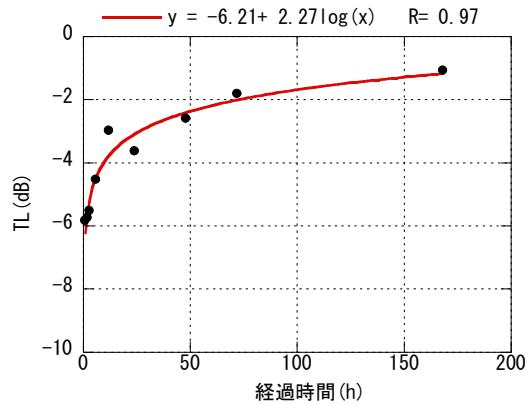


図-6 経過時間と TL の関係
(水セメント比 40%)

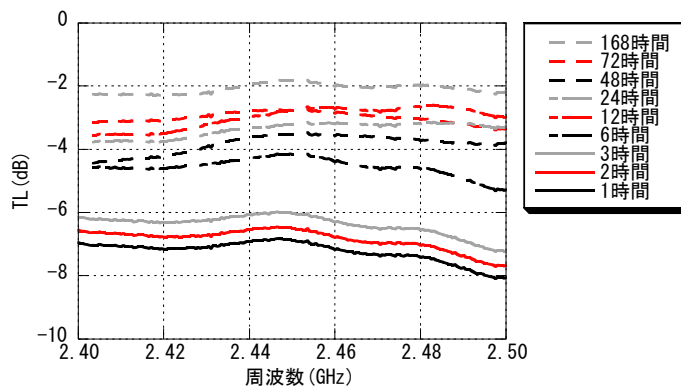


図-7 周波数と TL の関係
(水セメント比 50%)

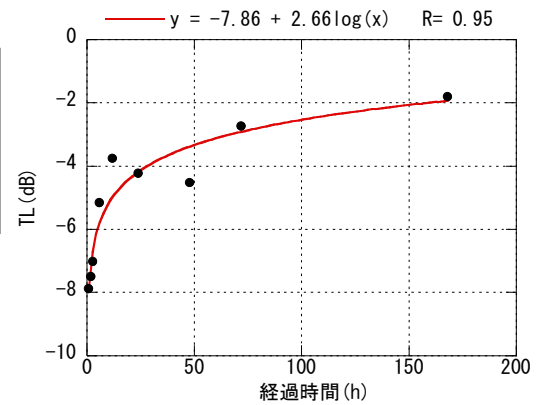


図-8 経過時間と TL の関係
(水セメント比 50%)

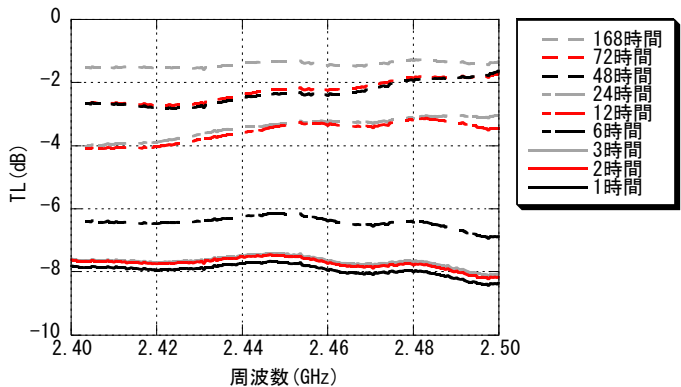


図-9 周波数と TL の関係
(水セメント比 60%)

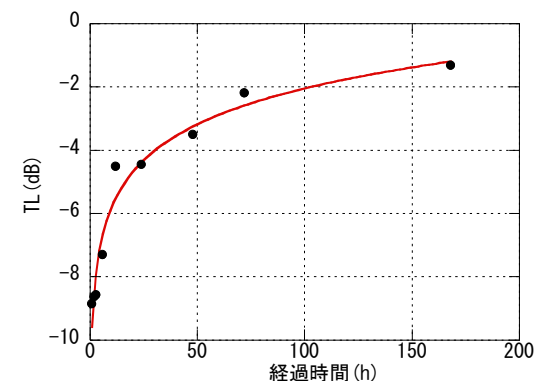


図-10 経過時間と TL の関係
(水セメント比 60%)

キャリブレーションキットを用いて校正を行った。校正終了後、塩化ビニル製型枠のみを設置して電界強度レベル L_1 (dB μ V) を測定した。その後、フレッシュコンクリートを流し込み電界強度レベル L_2 (dB μ V) を求めた。式(1)より TL(dB) を算出した。

フレッシュコンクリートは練混ぜ後、すぐに打設した。No.4 から No.12 は練混ぜ後 1, 2, 3 時間後に TL を測定した。No.1 から No.3 についてはさらに練混ぜ後 6, 12, 24, 48, 72, 168 時間後も測定した。塩化ビニル製型枠

の内法寸法は 260×260×45mm であり、厚さ 40mm までフレッシュコンクリートを流し込み測定を行った。また、電波暗室内は室温 24±3℃、湿度 50±10% であった。

4. 実験結果と考察

4.1 単位セメント量一定のコンクリート

水セメント比 40% について、図-5 に周波数と TL の関係、図-6 に練混ぜ後の経過時間と TL の関係を示す。同様に、水セメント比 50% について図-7 と図-8 に、

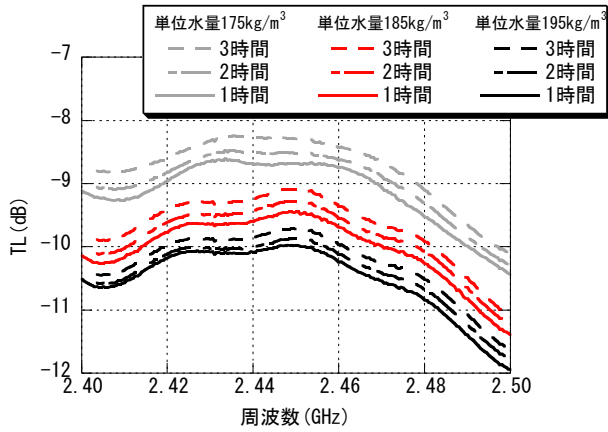


図-11 周波数と TL の関係
(水セメント比 40%)

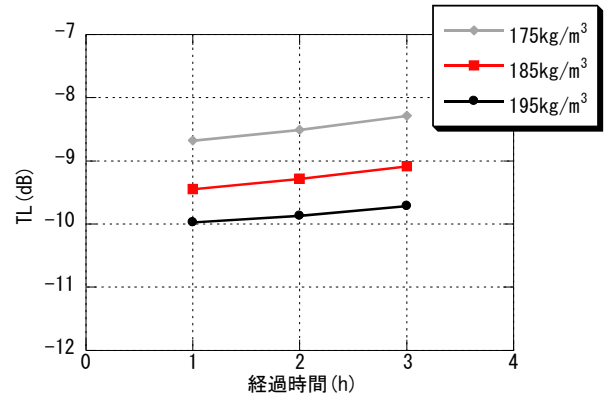


図-12 経過時間と TL の関係
(水セメント比 40%)

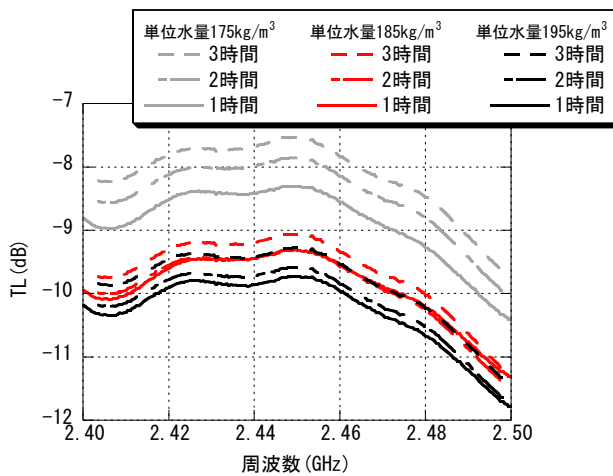


図-13 周波数と TL の関係
(水セメント比 50%)

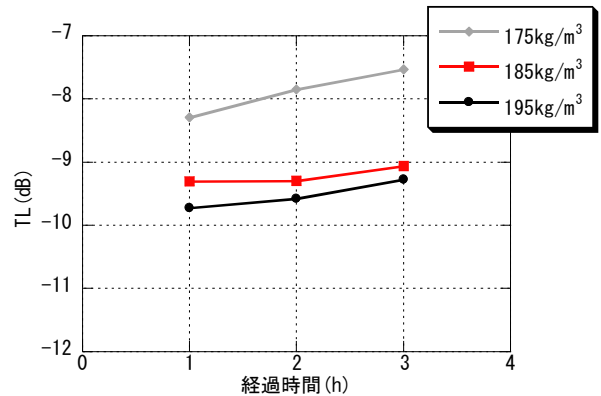


図-14 経過時間と TL の関係
(水セメント比 50%)

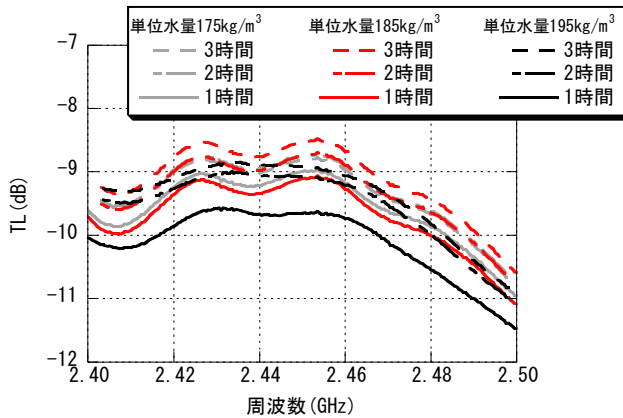


図-15 周波数と TL の関係
(水セメント比 60%)

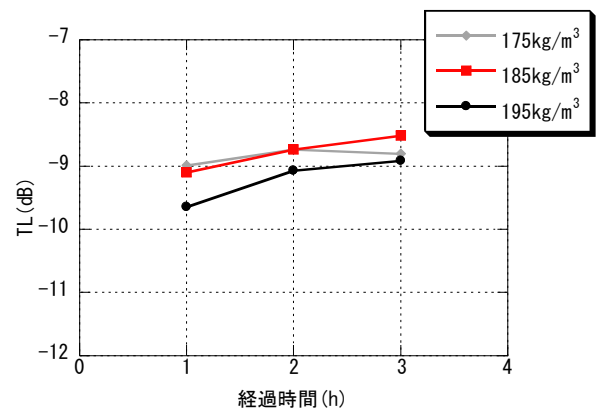


図-16 経過時間と TL の関係
(水セメント比 60%)

水セメント比 60%について図-9 と図-10 に、それぞれの関係を示す。周波数と TL の関係は、どの水セメント比のグラフも形はほぼ変わらない。TL は経過時間とともに増加していく傾向があった。これはフレッシュコンクリートの水和反応が進んだことと水分の蒸発が影響していると考えられる。また、単位セメント量は一定であるため、水セメント比が大きくなるほど単位水量が多く

なり、打設直後の TL は小さかった。

経過時間と TL の関係は、どの水セメント比のグラフも、対数曲線を描きながら TL が変化していく傾向があった。また 24 時間経過するまでが変化が大きく以後徐々に TL は上昇していった。

4.2 単位水量一定のコンクリート

水セメント比 40%について、図-11 に周波数と TL の

関係、図-12 に練混ぜ後の経過時間と TL の関係を示す。同様に水セメント比 50%について図-13 と図-14 に、水セメント比 60%について図-15 と図-16 に、それぞれの関係を示す。周波数と TL の関係は、どの水セメント比のグラフも形はほぼ変わらない。TL は時間の経過とともに増加していく傾向があった。

図-12, 14, 16 より単位水量が大きいほど、TL は小さいことが分かる。

図-17 に練混ぜ後 1 時間経過した時点での各水セメント比における単位水量と TL の関係を示す。単位水量が大きい方が TL は小さかった。

図-18 に単位水量が 175 から 195kg/m³ の間の TL を示す。供試体は No.4~12 である。練混ぜ後 1 時間において直線的な関係がよく表れている。これより TL から単位水量を推定できると考えられる。

図-19 に単位水量が 131 から 196kg/m³ までのすべての供試体の TL を示す。図-18 と同様に練混ぜ後 1 時間において特に直線的な関係が表れている。図-18 の回帰直線の傾きに近い値を示しており信頼性は高い。

フレッシュコンクリートの水和反応の速度や水分の蒸発の影響により、練混ぜ後 2 及び 3 時間経過した時点での TL はバラつきやすい。実際の検査の観点から、練混ぜ後 2 時間以内でのフレッシュコンクリートの単位水量の測定が適していると考えられる。

以上より、シールドボックス測定装置を用いて、フレッシュコンクリートの準マイクロ波帯の透過した電波を測定することにより、単位水量の推定が可能であることが分かった。

今後はフレッシュコンクリートの表面における電波の反射特性やコンクリートの骨材の影響について検討する。さらに多くのコンクリートの調合において単位水量の推定を検討する予定である。

5. まとめ

準マイクロ波帯の電波の特性を利用し、フレッシュコンクリートの単位水量を推定する方法について以下のことが分かった。

- 1) シールドボックス測定装置を用いて、透過した電波を測定することにより、単位水量の推定が可能である。
- 2) 透過した電波が小さい方が単位水量は大きい。

謝辞 本研究は名古屋工業大学名誉教授池田哲夫工学博士と日本シールドエンクロージャー(株)のご協力で行いました。本研究の一部は、科学研究費補助金(基盤研究(C)21510083)で行いました。記して謝意を表します。

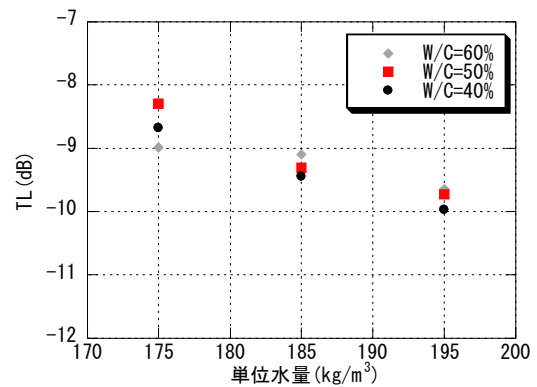


図-17 各水セメント比における単位水量と TL の関係 (練混ぜ後 1 時間)

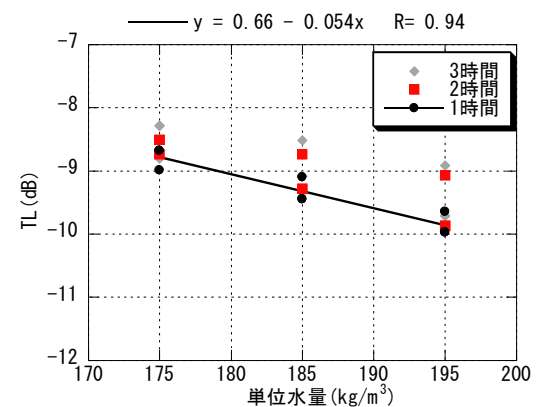


図-18 単位水量と TL の関係 (No. 4~12)

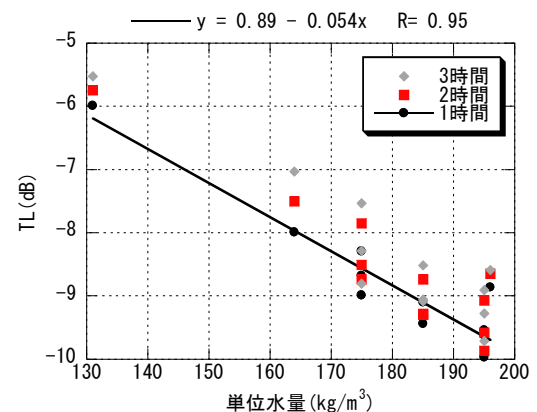


図-19 単位水量と TL の関係 (No. 1~12)

参考文献

- 1) 池田哲夫, 河辺伸二, 岡島達雄: フェライト混入モルタルの TV 電波吸収特性に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, Vol.496, pp.17-22, 1997.6
- 2) 河辺伸二, 稲吉哲弥: 建築材料の平行二線線路による電波特性の研究, 日本建築学会構造系論文集, Vol.643, pp.1551-1557, 2009.9
- 3) 清水康敬他: 電磁波の吸収と遮断, 日経技術図書(株), 1989.1