アンプを用いたサブテラヘルツ非破壊検査装置に関するコンクリートへの透過性能検討

ライフサイクル工学分野
國生梨花

サブテラヘルツ波　非破壊検査　内部探査
かぶり厚さ　鋼材　発振強度

1. はじめに

近年、社会資本が急速に老朽化する中、ストック型社会への移行が進み、鉄筋コンクリート構造物の適切な検査・診断による維持管理の重要性が指摘されている。劣化の要因となりやすい内部鉄筋を対象とした非破壊・微破壊検査手法は多く存在しているが、いずれも接触による検査が必要であるため、原子力発電所の管理区域など、近づいての作業が難しい場所での利用は困難である。

近年、非破壊検査手法の一つとして、サブテラヘルツ波の利用が注目されている。サブテラヘルツ波とは、周波数が約0.03~0.3 THz、波長が1~10 mm（真空中）の電磁波を指す。コンクリートを含む非極性物質に対する透過性が高いため、内部鉄筋の可視化や腐食の検出の研究に用いられている[1),2)]。しかし、これらはかぶり厚さが20 mmまでを対象とした検出に限られ、実構造物と同等の条件での検出は困難であるという課題がある。

そこで本研究では、パワーアンプ（以下、アンプ）を用いてサブテラヘルツ波の発振強度を増幅し、コンクリート内部の探査深度の向上の検討を行った。ここでは、内部に鋼材を含む試験体を対象とした検討の結果について報告する。

2. 実験概要

2.1 測定概要

測定系の概要を図1,2に示す。本研究では、アンプによる透過性能の向上の検討を行う基礎試験と、内部に鋼材を含む試験体（以下、内部鋼材試験体）を対象とした内部探査試験を行った。基礎試験では、厚さの異なるコンクリート試験体の測定を行った。測定系には、検出誤差の小さい、発振器と検出器が向かい合わせになる透過型測定系を用いた。内部探査試験では、かぶり厚さの異なる内部鋼材試験体の測定を行った。測定系には、実構造物への適用を見据え、発振・検出器を構造物の片側に集約可能な反射型測定系を用いた。試験体に30~50 GHzのサブテラヘルツ波を0.2 GHzずつ連続的に照射し、透過・反射強度をスペクトルとして取得した。また、その結果をもとに透過・反射によるスペクトルの変化を確認した。実験水準を**表1**に示す。

2.2 試験体作製

試験体の概要を図3に示す。内部鋼材として大きさ100×50 mm、厚さ1 mmのSPCC相当の鋼板を使用した。基礎試験に用いる試験体は、梁型試験体から厚さの異なるコンクリート試験体を切り出して作製した。内部鋼材試験体は、鋼材を梁試験体内部に配置してコンクリートを打込み、1週養生後に切断し作製した。養生後、90℃・24時間の条件で乾燥させて測定を行った。水セメント比は53%とし、スランプは20.5 cm、空気量は2.9%であった。

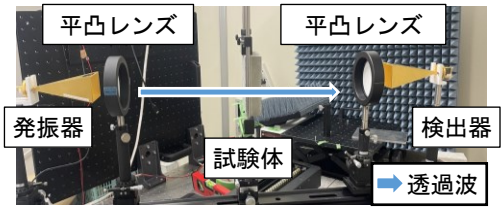


図１　透過型測定系

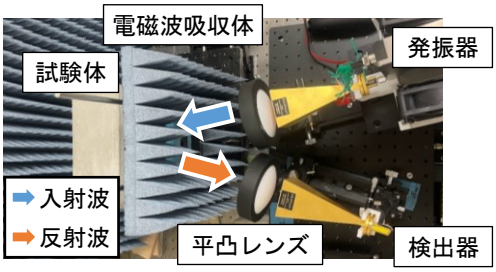
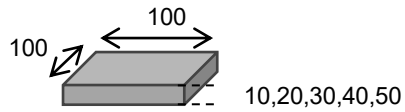


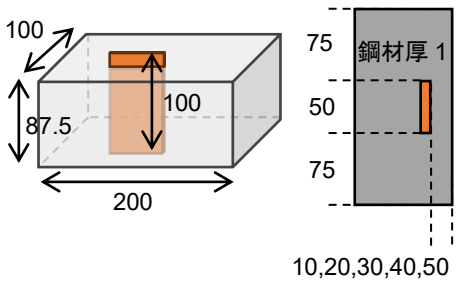
図２　反射型測定系

表１　実験水準

試験項目	要素	変数
共通	アンプ	有、無
基礎試験	試験体厚さ［mm］	10,20,30,40,50
	測定距離［cm］	50
内部探査試験	かぶり厚さ［mm］	10,20,30,40,50
	測定距離［cm］	鋼板面から 25



（a）基礎試験用試験体　（mm）



（b）内部鋼材試験体（mm）

図３　試験体概要

Investigation of Sub-Terahertz Non-destructive Testing Equipment Using an Amplifier for Penetration Performance into Concrete　KOKUSHO Rika

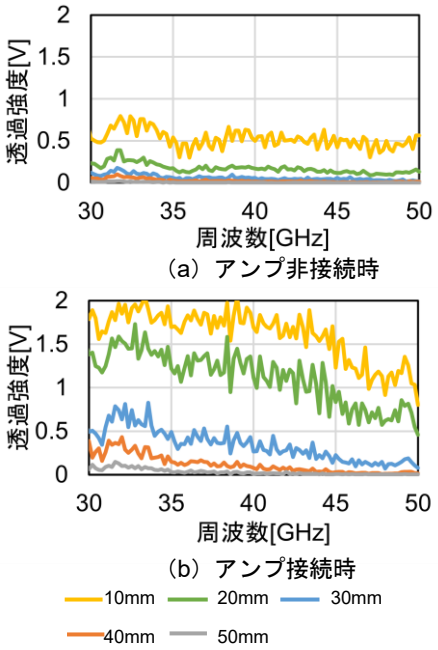


図 4　コンクリートの透過性能の検討

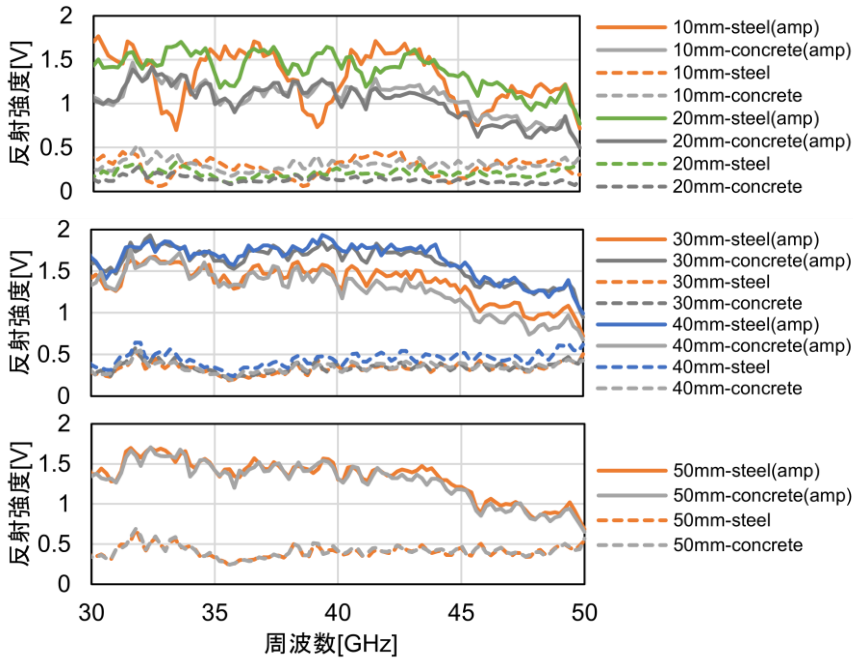


図 5　内部鋼材試験体測定結果

3. 結果と考察

3.1　コンクリートの透過性能検討

基礎試験の測定結果を図4に示す。アンプを用いない場合、厚さ10, 20, 30 mmでの透過が確認できる一方、厚さ40, 50 mmでは透過が確認できなかった。アンプを用いた場合は、厚さ40, 50 mmを含むすべての厚さでの透過を確認でき、アンプによるコンクリートへの透過性能の向上を確認できた。すなわち、既往の検討[1),2)]では測定が困難であった、かぶり厚さ30 mm以上の場合も測定可能であった。

3.2　内部探査試験

内部探査試験の結果を図5に示す。かぶり厚さ10, 20 mmでは、アンプの有無に関わらず、鋼材の有無による反射強度の差を確認したが、アンプの使用によって、その差が大きくなった。つまり、アンプの使用によって鋼材の探知が容易になったことを確認できた。

アンプを用いない場合、かぶり厚さ30, 40 mmでは、鋼材の有無による反射強度の差は確認できず、内部の鋼板まで波が到達していないと考えられる。一方、アンプを用いた場合、鋼材の有無による反射強度の差を確認した。これは内部の鋼板まで波が到達していることを意味する。したがって、アンプの使用によって、探査が困難であったかぶり厚さ30, 40 mmを対象としたコンクリート内部の鋼材の探知が可能になった。

かぶり厚さ50 mmでは、アンプの有無にかかわらず、鋼材の有無による反射強度の差を確認できなかった。そのため、アンプを用いてもかぶり厚さ50 mmでは内部の鋼板まで波が到達していない可能性がある。しかし、かぶり厚さ30, 40 mmでは、アンプを用いて発振強度を増幅することで反射強度の差を確認することができた。したがって、発振強度をさらに増幅することでかぶり厚さ50 mmについても探査が可能であると考えられる。

また、反射強度の差を確認したかぶり厚さ10~40 mmのうち、かぶり厚さ30 mmのみが鋼材部分の反射強度が減少する傾向を示した。アンプを用いない場合にもわずかだが、同様の傾向があるため、アンプによる発振量の増加は正常であることがわかる。鋼板部分での強度減少は、かぶり厚さ30 mmでコンクリート表面と鋼板表面の反射波が干渉し、鋼板表面での反射波の影響が打ち消されていると考えられる。

4. まとめ

サブテラヘルツ波を用いたコンクリート内部の探査の深度向上に向け、アンプを導入した。アンプによる透過性能の向上を確認し、実構造物を模擬した内部鋼材試験体を対象として、反射スペクトル測定を実施した。以下に，本実験の範囲で得られた知見を示す。

1) アンプを用いることで、コンクリートの透過性能の向上を確認した。アンプの非接続時に透過していなかった厚さ40, 50 mmのコンクリートの透過を確認した。
2) かぶり厚さ10~40 mmにおいて、内部鋼材の有無による反射強度の差を確認し、内部の鋼材の検出が可能であることを示した。かぶり厚さ30, 40 mmで鋼材検出が可能であったことから、アンプの使用による探査深度の向上を確認した。
3) かぶり厚さ30 mmでは，鋼板があることで反射強度が減少することを確認した。

[参考文献]

1) 小林知大ほか、コンクリート工学年次論文集、45(1)、1438-1443、2023
2) 倉品吏玖ほか、コンクリート工学年次論文集、46(1)、1663-1668、2024
3) T, Tanabe, *Tetsu-to-Hagane*, 110(12), 912-917, 2024, https://doi.org/10.2355/tetsutohagane.TETSU-2024-039