研究テーマ 埋設された鋼材腐食を磁気で探る非破壊研究法の開発

所属 都市デザイン学系

准教授 竜田 尚希
https://researchmap.jp/tatta

研究分野	地盤工学：地盤の強化技術，土構造物の維持管理，診断技術
キーワード	磁気探査，埋設鋼材，腐食診断，補強土壁，非破壊検査

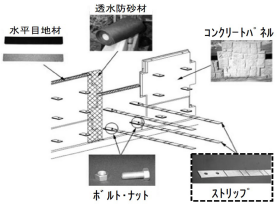
研究室URL： https://u-toyama.elsevierpure.com/ja/persons/naoki-tatta/

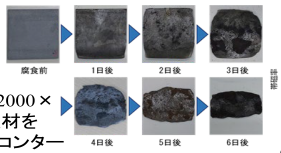
1．研究の要約（Abstract）

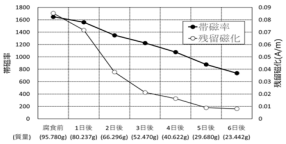
帯鋼補強土壁は導入から約50年が経過し，老朽化した補強土壁の維持管理が課題となっている．従来の維持管理は目視点検が中心で，土中にある補強材の劣化の把握には大掛かりな調査が必要となる．そこで本研究では金属補強材の状態を非破壊で調査する方法の開発を目的とし，磁気探査による手法を検討した．
Steel strip–reinforced soil walls have been in use for approximately 50 years, and the maintenance of aging structures has become an increasingly important challenge. Conventional inspection practices rely primarily on visual observations, while assessing the condition of reinforcements embedded within the soil typically requires large-scale and intrusive investigations. This study aims to develop a non-destructive technique for evaluating the condition of metallic reinforcements by applying magnetic survey methods.

2．研究内容（Method）

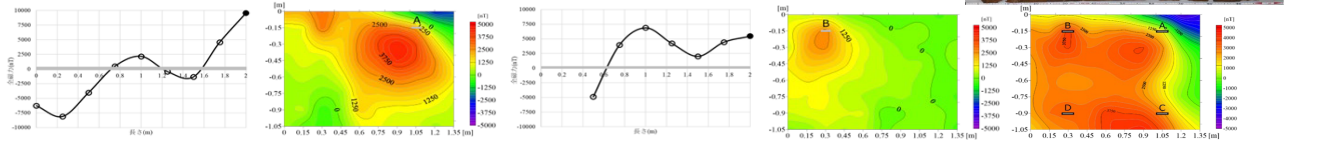
物質の磁化は誘導磁化と残留磁化の2つからなる．最初に腐食と磁化の関係を探った．
誘導磁化：物質の帯磁率に依存する．ここでは帯磁率をBartington社MS2帯磁率計で求めた．
残留磁化：外部磁場がなくても物質が持つ磁化である.外部磁場を遮蔽して磁力計により計測した.電気腐食を用いて鋼材サンプル(50×60×4 mm)を腐食させ，帯磁率と残留磁化を測定した．➡腐食前と6日後では明らかに鋼材サンプルが小さくなり，帯磁率および残留磁化ともに減少傾向がみられた(右図).



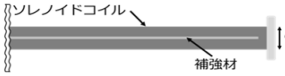




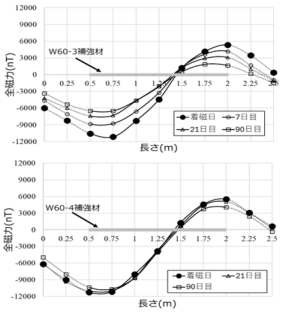
実際の現場では非破壊でコンクリートパネル越しに補強材端部の測定を行うことを想定している．そこで帯鋼補強材の3次元的な磁場の分布を調査するために補強材(1160×60×4 mm)を地表面に対して水平および鉛直に置いた状態で磁場計測を行った．測定には光ポンピングセシウム磁力計を用いた．
➡補強材が永久磁石のように磁場を形成していることが分かった．
➡水平方向，鉛直方向どちらからでも磁場を計測することが可能であることが分かった．
実際の補強土壁を想定し，現場で用いられている厚さ150mmのコンクリートパネルに補強材(2000×60×4 mm)を取り付け，コンクリートパネル表面の全磁力を測定した．下図にコネクティブに補強材を1枚取り付けた際のパネル表面の全磁力コンターの一例，4枚取り付けた際の全磁力の変化量コンターを示す．補強材の枚数を増やしても各コネクティブの周辺で極値を観測できた．
➡現場で用いられているコンクリートパネル表面から補強材端部の全磁力を測定可能であることが分かった．



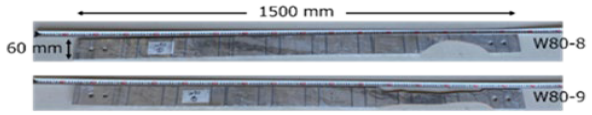
補強材ごとの磁場を比較するためにW60補強材(1500×60×4 mm)を10本，W80補強材(1500×80×4 mm)を10本用意した．
➡補強材は永久磁石のように磁場を形成するが，補強材ごとにあらかじめ持っている磁場が異なり，質量の減少に伴う磁場の変化にも個体差があることが分かった．
補強材ごとの磁場の初期値にばらつきがあるという課題を解決するためにソレノイドコイルを作成し，補強材の着磁を試みた．

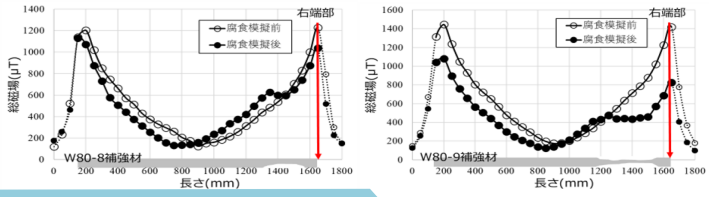


右図(上)は補強材長軸上の全磁力の経時変化を示す．極値の位置はほとんど変化がない一方で，時間経過によって全磁力が減少していることが分かる．着磁によって初期値を統一してもすぐに全磁力が減ってしまっては現場での適応は困難である．そこで補強材の保管方法に問題があると考え，着磁後重ねて保管していた補強材の間隔を10cm以上開けて保管し，同様に計測を行った．その際の結果を右図(下)に示す．着磁から90日が経過しても全磁力の減少は約2割に満たず，重ねずに保管することで一定の全磁力を保つことが可能だと分かった．



着磁によって補強材の磁場が1000倍以上大きくなり，磁力計の計測範囲が±50000 nTであることからこの範囲に収まるようにセンサの位置を補強材から遠ざけて計測することとなった．しかし，対象物とセンサとの距離が遠ければ遠いほど計測精度は落ちる．そこでスマートフォン(iPhone11)に搭載されている磁力計を活用し，Physics Toolboxというアプリケーションで計測を行った．下図のように腐食を模擬した補強材の測定結果を示す．右端部において腐食前後の全磁力を比較すると，全体質量を6%削ったW80-8補強材は約200 μT小さくなったのに対し，全体質量を18%削ったW80-9補強材は約600 μT小さくなった。このことから着磁によって磁場の初期値をあらかじめ揃えることができればその変化から損傷の位置とその程度を把握できると考えられる。





3．成果と今後の展望（ Results and Future Prospects ）

①金属補強材の質量と磁場には相関があり，腐食によって質量が小さくなるとそれに伴い磁場も減少する
②コンクリートパネルに補強材を取り付ける前後の磁場の変化をパネル表面から計測できた
➡磁気探査を用いることで，補強土壁内部の金属補強材の状態観測が非破壊で十分に可能である。
しかしながら，補強材の磁場の初期値を把握する必要がある
③ソレノイドコイルを用いた着磁によって補強材が持つ磁場の初期値を統一し，端部と磁場の極値のずれを無くすことが可能である。しかし，着磁後の保管方法や運搬方法が重要となる。
④着磁によって総磁場が大きくなったためスマートフォンの磁力計でも測定が可能となった．さらに腐食場所に伴う総磁場の変化を確認できたことから，腐食による損耗箇所の特定に有効な手法となり得ることが確認できた．

富山大学研究者プロファイルPure URL：https://u-toyama.elsevierpure.com/ja/persons/