

被災した栈橋上部工の 電磁波レーダを用いた状態把握に関する研究

佐々木 信和¹・篠原 潤²・山本 真史³・喜多村 敦史⁴・中野 晋⁵

¹パシフィックコンサルタンツ (株) 国土保全事業本部 港湾部
(〒101-8462 東京都千代田区神田錦町 3-22)

E-mail: nobukazu.sasaki@ss.pacific.co.jp

²カナン地質株式会社 (〒791-1106 愛媛県松山市今在家 2-1-4)

E-mail: jun@canaan-geo.jp

³横浜港埠頭株式会社 技術部施設第二課 (〒231-0023 横浜市中区山下町 2 番地)

E-mail: masashi.yamamoto@yokohamaport.co.jp

⁴横浜港埠頭株式会社 技術部施設第二課 (〒231-0023 横浜市中区山下町 2 番地)

E-mail: a.kitamura@yokohamaport.co.jp

⁵徳島大学教授 大学院ソシオテクノサイエンス研究部エコシステムデザイン部門
(〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1)

E-mail: nakano.susumu@tokushima-u.ac.jp

大規模な地震等に見舞われた港湾において速やかに施設の状態を把握することは、迅速な緊急物資輸送及び港湾機能の回復を図るうえで重要である。本研究では、栈橋上部工コンクリートに着目し、従来より行われてきた下面から船舶または潜水士等による直接目視に代替する手法として、電磁波レーダを用いた調査・解析による手法の適用可能性について検討を行った。

3D 電磁波レーダを用いて既存の栈橋上部工の試験調査を行い、レーダデータの反応と実際の構造物の状態を比較した。試験調査及び解析の結果、床版（スラブ）の下部鉄筋付近の状態についてもおおよその状態を推定することが可能であると考えられる結果が得られた。また、本手法を施設管理の現場において活用することの利点を考察した。

Key Words: earthquake damage, concrete superstructure of a pier, 3D electromagnetic radar, inspection of the structure

1. はじめに

大規模な地震等に見舞われた港湾において、緊急物資の輸送や港湾機能の早期回復の観点から、早急に係留施設の状態を把握して使用の可否を判断することが求められる。通常、係留施設の被災後の状態把握は陸上からの目視調査が必要であるが、係留施設の場合、水中部の鋼材及びケーソンや栈橋上部工の下面部など構造上重要であるにもかかわらず確認が困難な部材がある。

このうち、被災した栈橋上部工には、床版・梁及び杭頭部にひび割れや損傷が生じる可能性が考えられ、それらは小型船舶に乗船した調査員による水上部からの目視

により確認する方法が一般的¹⁾である。

しかし、大規模地震等に見舞われた港湾の場合、余震による津波発生の危険性や漂流物の存在、被災地にて小型船舶が確保できる可能性などの問題があり実施することが困難であることが予想される。また、水面と栈橋上部工の離隔が小さい場合や前面が連続鋼管矢板構造となっている場合は、栈橋下面への進入が困難であることや、部材の内部欠陥の状況については目視調査では確認できないなどの問題がある。

これらの問題に対応するため、本研究では電磁波レーダ装置を用いて RC コンクリート構造である栈橋上部工の状態を確認することを試み、適用可能性を考察した。

2. 研究の方法

(1) 電磁波レーダを用いた方法を適用する場合の課題

土木構造物の状態評価を目的として電磁波レーダ装置を用いた事例として、道路等の空洞化調査や橋梁の床版の状態確認³⁾などがある。これらは、構造物の上面付近に生じている変状を対象としており、構造物の状態を評価するための十分な精度で変状の検出が可能である。一方、本研究で対象とする栈橋上部工については変状が下面付近に生じる可能性が高いことから、より深部の状態を把握する必要がある。

このような、コンクリート部材の深部の状態を電磁波レーダを用いて調査する場合、舗装から床版の構造変化や鉄筋の存在がデータ取得精度にどの程度影響し、変状の有無を把握することが可能であるかを現地試験調査にて確認した。

(2) 現地試験調査の方法

a) 使用した装置

現地試験調査で使用した装置を図-1 に示す。今回使用した電磁波レーダは 7.5cm 間隔で多チャンネルのアンテナを 21 個配しており、測定範囲を 3D データとして取得・解析を行うことで変状の深さ・範囲を把握することが可能である。なお、2 走行で約 3.5m 幅の探査が可能である。



図-1 使用した装置の外観

b) 対象施設

現地試験調査の対象施設は、昭和 54 (1979) 年に供用が開始された栈橋である。当該施設は、一時期塩害によるひび割れ等が顕在化していたが、平成 21 (2009) 年に補修工事を行い断面修復及び表面被覆により機能を回復させ、現時点では健全な状態が保たれている。今回は、断面補修が施された範囲を電磁波レーダ装置を用いて特定することができれば、地震時にコンクリート部材の下面に生じたひび割れや剥離・損傷などの変状についても同様に確認することが可能であると考えた。

c) 現地試験調査の方法

電磁波レーダ装置は車両にて牽引し、車両内部に搭載した PC 上で測定状況をモニタリングしながら走行するものである。通常、道路の空洞調査においては、同装置は路面から 30cm 程度の離隔を確保した状態で概ね 30km/h 以上の速度で走行させるのに対し、本研究では対象施設が係留施設であり道路空洞調査と同等の速度が必要でないこと、また、路面の障害物や段差が少ないことから、図-2 のように装置にカバーを取り付けたうえで直接路面に設置させ、5~10km/h 程度の速度で走行させることで極力精緻なデータを取得することとした。

調査範囲は対象施設のうち幅 5~10m、延長 150m の範囲を対象とし、栈橋法線の平行方向に走査し、データを取得した。



図-2 装置の状態

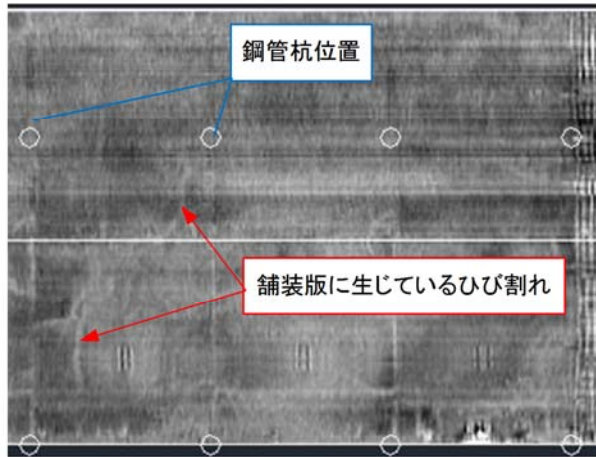
3. 現地試験調査の結果

現地試験調査で取得したデータの解析結果を図-3 に示す。今回取得したデータによると、舗装を含めた厚さが 0.5m 程度の床版であれば、未補修部分（健全な部分）と補修や何らかの変状が生じた部分との判別を行うことはある程度可能である。しかし、詳細な範囲や変状の深さの判別については現時点では困難である。また、上面からの厚さが大きい梁部や杭頭部の状況については、状態を評価するうえで十分な鮮明さを持つデータを取得することができなかった。

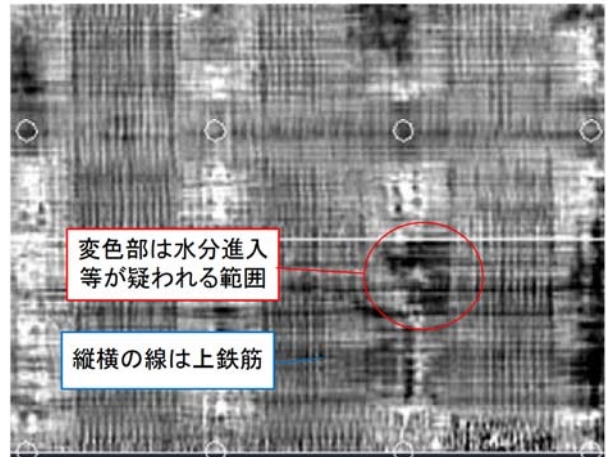
このように、被災後に実施する 1 回の調査結果を使用して栈橋上部工の状態を把握し、供用の可否を判断することは現時点では困難と考えられる。しかし、比較的部材厚の薄い床版に限っていえば、事前に対象範囲のレーダデータを取得しておき、被災後に取得したデータと比較することで、危険性の高い変状の発生可能性の評価などは可能であると考えられる。

ただし、レーダデータに現れた変色等より実際の変状の種類・範囲及び深さを判読するためには、今後多くのデータを取得し、実際の変状の規模等と照合した画像判別のためのデータベースを作成することが課題である。

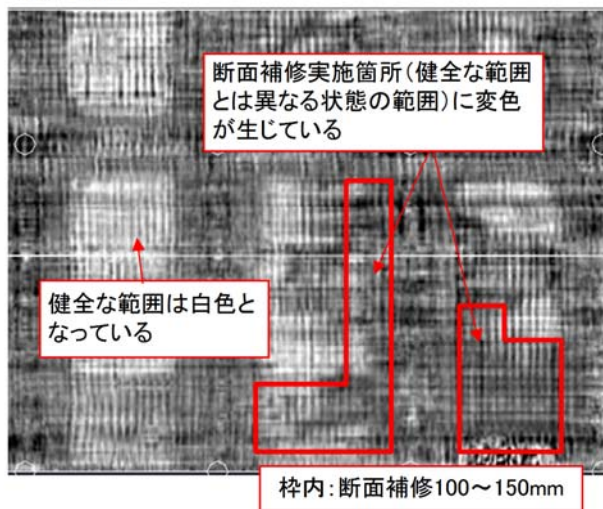
深度-0.135m



深度-0.25m



深度-0.40m



深度-0.55m

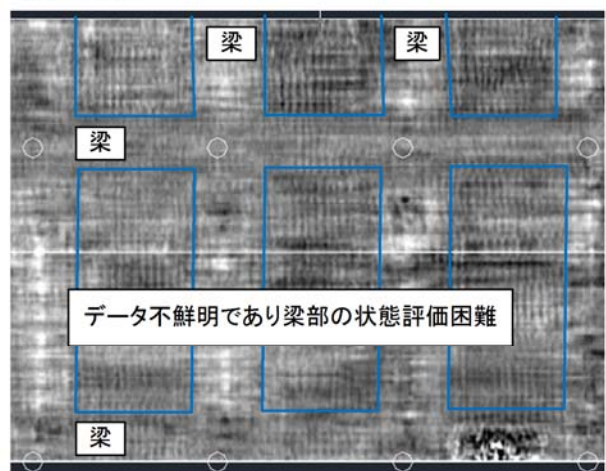


図-3 深度ごとの取得データ (調査範囲の一部, 10m×15m)

4. 本技術活用の有効性の考察

電磁波レーダ装置を用いた調査方法には今後解決すべき課題があるものの、被災後の栈橋上部工の状態を評価するために有効な技術となる。ここでは、当該技術を用いた栈橋の状態評価の有効性について考察する。

一般的に定期点検診断で用いられる方法³⁾に対し、本研究で着目した電磁波レーダによる調査方法など新規技術を適用した場合、図-4 に示すような要領で実施するものと考えられ、実現した場合は以下の点で有効と考えられる。

- ① 水上及び水中における作業が困難な場合でも調査が実施できる可能性がある。直接調査員等が海上に出る必要が無く、陸上からの調査であれば余震等が生じた場合でも速やかに退避することが可能である。
- ② 海上作業許可申請等、海上作業に関する諸手続きに要する時間を省略することができ、速やかに調査を

実施することが可能である。

- ③ 陸上部の走行経路が確保されていれば、施設間の移動が容易であり、一度に多くの施設に対応することが可能である。
- ④ 被災直後に実施する概略調査として今回提案する手法を適用し、変状の発生可能性を把握しておくことで、以降実施する直接目視など詳細調査を優先的に行うべき施設及び範囲を選定することが可能である。
- ⑤ 液状化等により発生した路面空洞の調査と同一の装置で調査を実施することが可能であり、栈橋以外の係留施設のエプロン部、背後ヤード及び臨港道路等の安全性確認とあわせて効率的に調査を実施することが可能である。

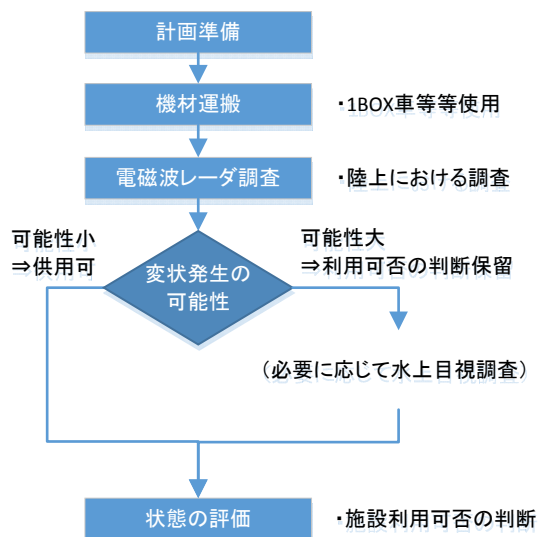


図4 提案する調査方法等新技术を用いた状態評価イメージ

5. 結論

本研究では、現地試験調査を通じて、電磁波レーダを用いた栈橋上部工下面の状態把握を試みた。現地試験調査においては、装置と路面との離隔を最小限としたほか、走行速度を低速とすることで極力精緻なデータ取得を図ることとし、その結果、床版下面付近の変状についてはレーダデータから判別することが可能であることが確認できた。しかし、詳細な範囲や変状の深さの判別、梁部や杭頭部の状況の評価に対して十分な鮮明さを持つデータを取得することは困難であり、現時点では被災前と被災後に取得したデータの比較により変状の発生可能性の評価に用いることが現実的であると考えられる。

また、被災後の栈橋に対して実際に行われるであろう実施手順を想定して、本技術の有効性について考察した。本技術の適用により、水上作業に危険性がある場合でも

比較的 safely に調査実施が可能である点や、装置の機動性及び空洞化調査とあわせて効率的に実施可能である点など、従来の水上からの調査と比較して安全かつ効率に被災状況調査を実施することが可能である。

今後は、さらに多くの施設に対して試験調査を行いデータ判読に必要な事例を収集するとともに、機材の改良・運用方法の研究を進め実用化を目指す予定である。

参考文献

- 1) 港湾の施設の維持管理技術マニュアル，財団法人沿岸技術研究センター，2007.
- 2) 香川 紳一郎，村上 弘行，山下 善弘：地中レーダを用いた橋梁床版コンクリートの健全度探査事例，土木学会年次学術講演会講演概要集，vol67，IV-003，2012
- 3) 港湾の施設の点検診断ガイドライン，国土交通省港湾局，2014.

STUDY TO UNDERSTAND THE CONDITION OF SUPERSTRUCTURE OF A DISASTER-STRIKEN PIER BY USING AN ELECTROMAGNETIC RADAR

Nobukazu SASAKI, Jun SHINOHARA, Masashi YAMAMOTO,
Atsushi KITAMURA and Susumu NAKANO

It is important to promptly understand the condition of a facility in a port stricken by a major earthquake, etc. for the purpose of attempting quick transport of emergency goods and recovery of port functions. In this study, we focused on the concrete superstructure of a pier to review applicability of a method of investigation and analysis using an electromagnetic radar, as an alternative to direct visual inspection by an inspector, a diver, etc. from the vessel as a traditional method.

The existing superstructure of a pier was tested by using a 3D electromagnetic radar to compare the condition of the actual structure with response from the radar data. As a result of test and analysis, results that indicate the possibility to estimate the approximate condition around reinforced steel on the bottom of a slab were obtained. We also reviewed advantages to utilize this method in the field site of facility management.