

戦-6 3. 道路橋における目視困難な重要構造部位を対象とした点検技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 20～平 23

担当チーム：橋梁構造研究グループ

研究担当者：木村嘉富、村越潤、高橋実

【要旨】

近年、道路橋において目視点検が困難な部位に経年劣化による重大損傷が報告されており、このような部位の合理的かつ効率的な調査手法の確立が求められている。本研究では、道路橋における目視困難な重要構造部位の損傷として、1)鋼床版デッキプレート進展き裂、2)コンクリート等埋込部の鋼材に生じる腐食欠損を対象とし、これらの部位の損傷に対する非破壊調査技術の検討を行うとともに、損傷発見後における状態監視技術に関する検討を行うものである。平成 22 年度は、主として、2)について、鋼部材内に伝搬する超音波として SH 板波を対象とした伝搬数値シミュレーションを行い、SH 板波の適用性を整理した。

キーワード：非破壊調査技術、目視困難な部位、鋼床版、コンクリートへの埋込み部の腐食、超音波探傷法

1. はじめに

近年、道路橋の点検において目視点検が困難な部位に経年劣化による損傷が報告されており、重大事故を未然に防ぐための合理的・効率的な点検・調査手法の確立が求められている。一方、他分野を含め数多くの非破壊技術の研究開発が行われているが、維持管理の目的に見合った性能を有する技術は少なく、技術開発のシーズとニーズが必ずしも一致していないのが現状である。点検・調査技術に求められる性能・仕様を明確にした上で、対策検討の意志決定ツールとしての適用条件、適用方法を個別に明らかにしていく必要がある。

本研究では、道路橋における目視困難な重要構造部位の損傷として、維持管理の課題・ニーズを踏まえたうえで、1)鋼床版デッキプレート進展き裂^{1)～3)}、2)コンクリート等埋込部の鋼材に生じる腐食欠損の 2 種類を対象とし、これらの部位の損傷に対する非破壊点検・調査技術の検討を行うとともに、損傷発見後における状態監視技術に関する検討⁴⁾を行うものである。

平成 22 年度は、2)を対象として、実用化検討を行う技術の抽出結果（昨年度に実施した結果）を踏まえ、鋼部材内に伝搬する超音波の種類のうち SH 板波に着目し、腐食欠損部からの SH 板波の反射波の伝搬挙動の観点から、SH 板波の次数をパラメータとした伝搬数値シミュレーションを行い、遮断周波数を利用した SH 板波の適用性の検討を行った。

2. 検討内容

コンクリート等埋込部の鋼材に生じる腐食欠損を対象として、実用化検討を行う技術の抽出結果（昨年度に実施した結果）を踏まえ、鋼部材内に伝搬する超音波の種類のうち SH 板波に着目し、腐食欠損部からの SH 板波の反射波の伝搬挙動の観点から、1)SH 板波の次数（1～4 次の 4 ケース）、2)腐食欠損部の埋込深さ（50, 100, 150, 200mm の 4 ケース）をパラメータとした伝搬数値シミュレーションを行い、それぞれのパラメータの適用範囲を明らかにする等、遮断周波数を利用した SH 板波の適用性の検討を行った。以下では、SH 板波の次数に着目して実施した検討結果を示す。

(1) 対象モデル

図-2.1 に数値シミュレーションにおける対象モデルを示す。対象モデルは、コンクリート埋込部に腐食を模擬した三角溝を有する鋼部材とした。健全部の鋼板の板厚を 4.5mm とし、コンクリート中の鋼板には腐食欠損を模擬した三角溝（鋼板の軸方向の長さ 40mm、最深部の欠損量 2mm とした三角溝）を片面側に設けた。三角溝として模擬した欠損部の中身は、空気を想定した。図中に SH 板波を送受信させるための SH 波探触子の配置位置を示す。SH 波探触子は、腐食欠損を模擬した側の非埋込部の鋼板表面に配置させた。

(2) 検討方法

SH 板波の次数として、鋼板の腐食減肉の調査に適した次数を明らかにするために、コンクリート埋込部の腐食欠損をモデル化し、鋼板内に伝搬する SH 板波の伝搬数値

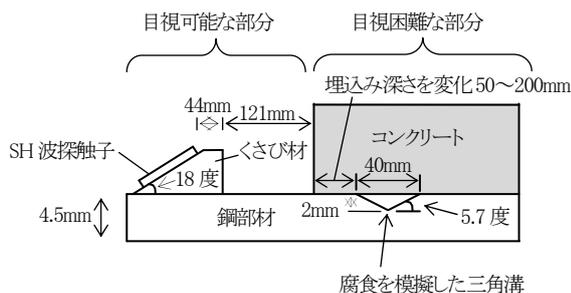
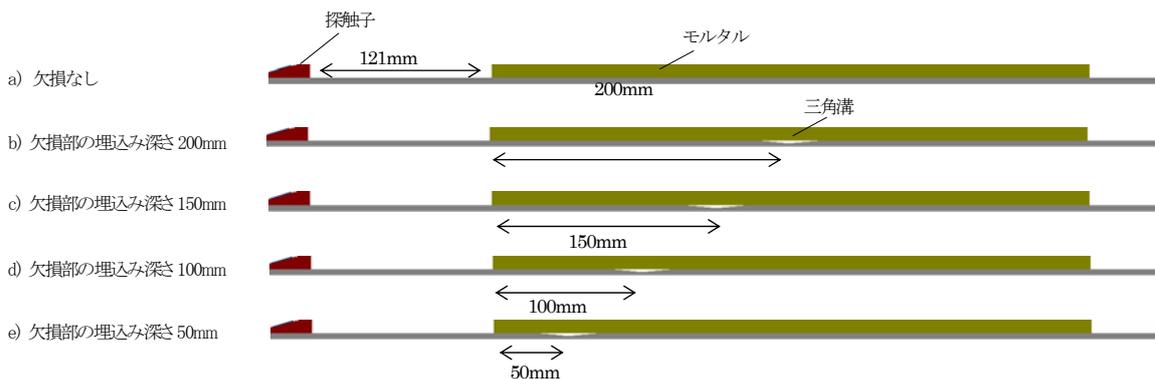


図-2.1 数値シミュレーションにおける対象モデル

表-2.1 数値シミュレーションにおいて対象とした SH 板波の次数の種類(4 種類)

SH波の周波数	SH板波の次数	健全部のSH板波の遮断周波数	欠損部のSH板波の遮断周波数
0.5	1	0.35	0.50
1.0	2	0.70	1.0
1.5	3	1.1	1.5
2.0	4	1.4	2.0

注)それぞれのSH板波の次数に対して、腐食を模擬した三角溝の埋込み深さとして、50,100,150,200mmの4種類(欠損なしを含めると5種類)を対象とした(図-2.2 参照)。



注)表-2.1に示すSH板波の次数に対して、腐食を模擬した三角溝の埋込み深さとして、50,100,150,200mmの4種類(欠損なしを含めると5種類)を対象とした。

図-2.2 数値シミュレーションにおいて対象とした腐食を模擬した三角溝の埋込み深さの種類(50,100,150,200mmの4種類(欠損なしを含めると5種類))

シミュレーションを行った。数値シミュレーションとしては、二次元弾性波時間領域差分法⁵⁾を用いた。SH波探触子の入射角は、鋼板のSH板波を効率よく生成させるため、スネルの法則により横波臨界屈折角となるように18度とした。その入射角を決める際に、1~4次の次数のSH板波を利用すること(後述)を視野に入れて、SH板波の位相速度を4,669m/secと仮定し、探触子のくさび材として横波音速1,430m/sec、密度1,180kg/m³の亚克力材を想定した。また、鋼部材とコンクリートとの境界部は音響的に一体化しているものと仮定した。コンクリート(モルタル)の横波音速は1,900m/sec、密度は1,872kg/m³とし、コンクリートの大きさは反無限を想定し、鋼材と反対側の境界は吸収境界を仮定した。

表-2.1に数値シミュレーションにおいて対象としたSH板波の次数の種類(1~4次の4種類)を示す。図-2.2に同時に欠損部の埋込み深さに対する適用性を確認するために、それぞれのSH板波の次数に対して、腐食欠損を模擬した三角溝の埋込み深さとして50~200mm、50mmピッチの4種類(欠損なしを含めると5種類)を対象とした各対象モデルを示す。表-2.1と図-2.2に示す種類を合わせて、計20ケースの数値シミュレーションを実施した。表中に示したSH板波の次数に対応させたSH波の送信周

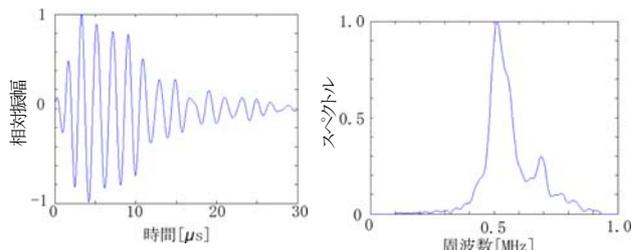
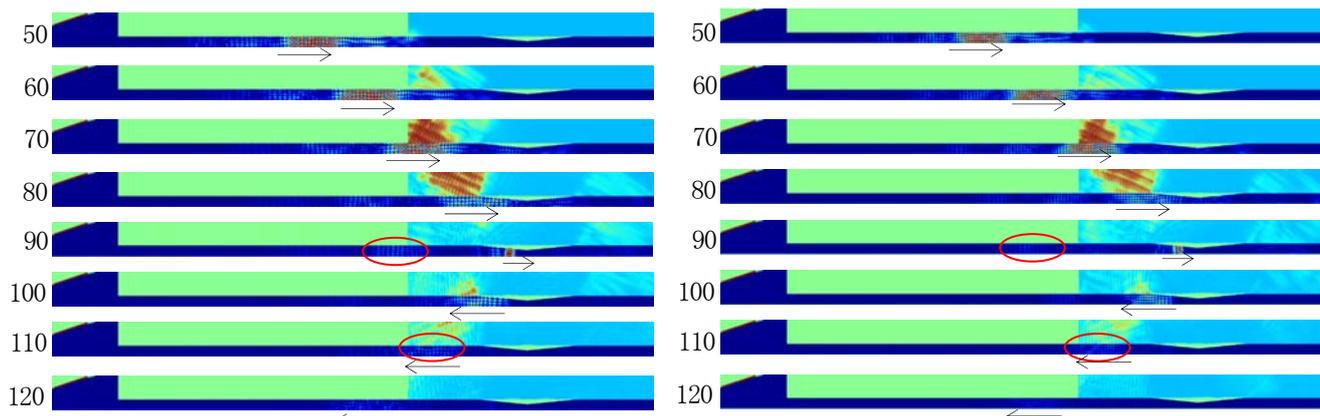


図-2.3 数値シミュレーションに用いた探触子の応答特性のうち、SH板波の次数が1次(SH波の周波数が0.5MHz)の場合の例

波数は、仮定したSH板波の位相速度4,669m/secを考慮し、理論的にSH板波が欠損部で通過できない条件となるように、それぞれのSH板波の次数に対応した欠損部の遮断周波数に一致させた送信条件として定めた。図-2.3に数値シミュレーションに用いた探触子の応答特性のうち、SH板波の次数が1次(SH波の周波数が0.5MHz)の場合の例を示す。図に示す探触子の応答特性は、別の周波数の実際のSH波探触子の特性を相似させたものを用いた。

3. 検討結果

図-2.4に数値シミュレーションの結果のうち、SH板波



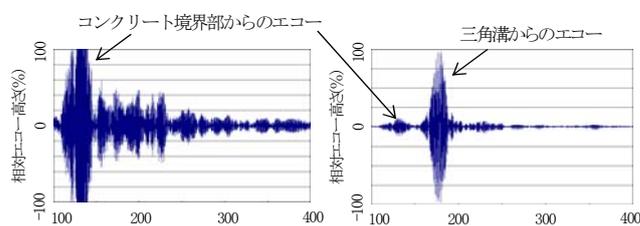
図中の数値は、送信後の経過時間(μ sec)を示している。上から下に向かって 10μ sec 毎の伝搬状況を示している。

a) SH 板波の次数が 3 次 (SH 波の周波数が 1.5MHz)

b) SH 板波の次数が 4 次 (SH 波の周波数が 2.0MHz)

図-2.5 数値シミュレーション結果の伝搬状況の例 (埋込み深さが 50mm)

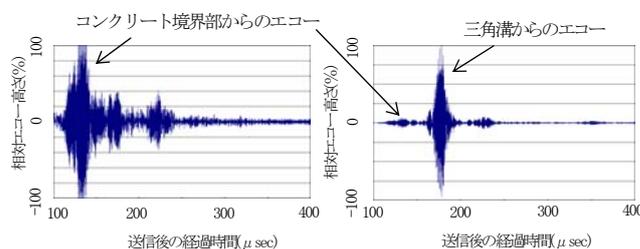
の次数が 3 次と 4 次 (SH 波の周波数が 1.5MHz と 2.0MHz) で、それぞれの周波数に対して埋込み深さが 100mm と 50mm のときの計 4 種類の A スコープ (縦軸がエコーの大きさ、横軸がエコーが得られるまでの経過時間を示した図) の例を示す。図より、SH 板波の次数が 3 次と 4 次 (SH 波の周波数が 1.5MHz と 2.0MHz) のいずれの場合でも、埋込み深さ 100mm の三角溝からのエコーは、コンクリート境界部からのエコー等にまぎれて不明瞭であることがわかる。一方、埋込み深さ 50mm の三角溝からのエコーは、埋込み深さ 100mm の三角溝からのエコーと比べ、SH 板波の次数が 3 次と 4 次 (SH 波の周波数が 1.5MHz と 2.0MHz) のいずれの場合でも、コンクリート境界部からのエコーと区別でき明瞭であることがわかる。さらに、SH 板波の次数が 4 次 (SH 波の周波数が 2.0MHz) の場合の方が、SH 板波の次数が 3 次 (SH 波の周波数が 1.5MHz) と比べると、三角溝からのエコー以外のエコーレベルが低く、明瞭であることがわかる。図に示す以外の埋込み深さが 150mm、200mm のケースでは、三角溝からのエコーが弱く、コンクリート境界部からのエコーに埋もれて判別できなかった。また、SH 板波の次数が 1 次と 2 次 (SH 波の周波数が 0.5MHz と 1.0MHz) のケースでは、A スコープ上のエコーのうち、最も大きいエコーが三角溝からのエコーであったが、2 番目に大きいエコーがコンクリート境界部からのエコーであった。SH 板波は、速度分散性を有し複数の音速の波から構成されており波の音速は一定ではなく、従ってエコーが得られるまでの経過時間に波の音速を乗じて得られたエコーの検出位置を算出し推定することはできない。従ってエコーの大きさだけから反射源を特定しなければならないが、これらのケースでは三角溝からのエコーとコンクリート境界部からのエコーをその大き



i) 埋込み部深さ 100mm

ii) 埋込み部深さ 50mm

a) SH 板波の次数が 3 次 (SH 波の周波数が 1.5MHz)



i) 埋込み部深さ 100mm

ii) 埋込み部深さ 50mm

b) SH 板波の次数が 4 次 (SH 波の周波数が 2.0MHz)

図-2.4 数値シミュレーション結果の A スコープ (縦軸がエコーの大きさ、横軸がエコーが得られるまでの経過時間を示した図) の例

さだけから区別することは困難であった。

図-2.5 に、SH 板波の次数が 3 次と 4 次 (SH 波の周波数が 1.5MHz と 2.0MHz) で、埋込み深さが 50mm のときの計 2 種類の SH 板波の伝搬状況を示す。埋込み部中では、コンクリート中に SH 板波の波動の主要部分が伝搬し、鋼板中の SH 板波の波動は埋込み深さの影響を受けることがわかった。また、コンクリート境界部からのエコーが SH 板波の次数が 3 次 (SH 波の周波数が 1.5MHz) または 4 次 (SH 波の周波数が 2.0MHz) であれば、三角溝からのエコー以外のエコーレベルが低く、明瞭に三角溝からのエコーを区別可能であることがわかった。

4. まとめ

道路橋における目視困難な重要構造部位の損傷として、コンクリート等埋込部の鋼材に生じる腐食欠損を対象として、腐食欠損部からのSH板波の反射波の伝搬挙動の観点から、SH板波の次数をパラメータとした伝搬数値シミュレーションを行い、遮断周波数を利用したSH板波の適用性の検討を行った。以下に主な結果をまとめる。

(1) コンクリート等埋込部の鋼材に生じる腐食欠損を対象とした遮断周波数を利用したSH板波の次数(1次～4次)に着目した適用性の検討を行った。その結果、SH板波の伝搬挙動において、三角溝からのエコーが最も明瞭に得られた観点から、SH板波の次数は3次または4次が最も適していた。

(2) 同適用性の検討において、腐食欠損部の埋込深さ(50, 100, 150, 200mmの4ケース)に着目した検討を行った。その結果、埋込部におけるコンクリート等の周囲材料への散乱により、埋込み深さ100mmにおける三角溝からのエコーが区別困難であり、埋込み深さ50mmにおける三角溝からのエコーは区別可能であったことから、検出可能な埋込み深さは100mm未満であることがわかった。

参考文献

- 1) 高橋実、村越潤、木村嘉富：超音波探傷法の性能維持確認方法に関する一検討、(社)土木学会、第65回、年次学術講演会、I-136、pp.271-272、平成22年9月
- 2) 村越潤、高橋実、小池光裕、木村友則：鋼床版き裂の超音波探傷法、国土交通省、国土技術研究会、平成22年度、平成22年10月
- 3) 木村嘉富、村越潤、高橋実：既設構造物管理高度化のための非破壊検査技術開発における異分野との連携、(財)土木研究センター、土木技術資料、第53巻第1号、pp.8-11、平成23年1月
- 4) 下里哲弘、村越潤、玉城喜章、高橋実：腐食劣化により崩落に至った鋼橋の変状モニタリング、(財)土木研究センター、土木技術資料、第53巻第2号、pp.14-17、平成23年1月
- 5) 木村友則、三須幸一郎、和高修三、小池光裕：弾性波FDTD法による音場シミュレーションの超音波斜角探傷への適用、(社)電子情報通信学会、信学技報、US2005-124、pp.11-16、平成18年2月

RESEARCH ON INSPECTION TECHNOLOGY FOR INVISIBLE PARTS OF CRITICAL STRUCTURAL COMPONENTS IN HIGHWAY BRIDGES

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2009-2012

Research Team : Bridges and Structures Research Group

Author : Yoshitomi KIMURA

Jun MURAKOSHI

Minoru TAKAHASHI

Abstract : With recent increase of aged and deteriorated highway bridges, it is needed to establish rational and efficient inspection/investigation techniques for preventing highway bridges from fatal damage. In this research, inspection/investigation techniques for invisible parts of critical structural components in highway bridges are investigated in order to put them into practice. Detecting fatigue crack of weld root at deckplate-rib connection, in orthotropic steel decks and measuring section loss due to corrosion at invisible parts of critical structural components are focused.

In FY2010, applicability of ultrasonic testing method to measure section loss due to corrosion embedded to concrete deck was investigated. Based on literary survey last fiscal year, SH plate waves for ultrasonic testing were selected as expected techniques, and influences of the various frequency modes on measurement were investigated by two-dimensional numerical analyses for plate model with imitated corrosion.

Key words : nondestructive inspection, invisible part, orthotropic steel decks, corrosion embedded to concrete, ultrasonic testing