

【様式1】

概要書

<p>研究名</p>	<p>超音波 CT 技術を用いた鉄筋コンクリート構造物の劣化範囲特定</p>
<p>民間機関等 (相手方)の 名称</p>	<p>西日本高速道路エンジニアリング四国株式会社</p>
<p>研究の概要</p>	<p>1. 目的</p> <p>鉄筋コンクリート構造物である橋梁及び橋脚は、内部鉄筋の腐食をいかに防ぐかが維持管理上、最重要である。鉄筋腐食の要因として、コンクリート材料の品質に起因する場合、施工不良に起因する場合、使用時の経年による劣化の場合があり、特に道路上に散布する凍結防止剤に含まれる塩化物がコンクリート内部に含浸することで鉄筋腐食の問題を起こす。これら既存のコンクリートの橋梁及び橋脚の維持管理には、コンクリート表面から鉄筋までの、コンクリート内部構造を明らかにすることで補修範囲が明らかとなり、より効率的な維持管理が実現可能となる。</p> <p>西日本高速道路エンジニアリング四国株式会社は防衛大学校総合教育学群数学教育室の滝口孝志准教授と共同研究を実施しており、コンクリート構造物に適用できる超音波を用いた非破壊検査法（超音波 CT）の開発を目指している。本研究では、報告者が、共同研究を進めている両者から、試験体作製と管理を中心とする専門家の立場からの貢献を依頼され、三者で、コンクリート構造物に対する非破壊検査技術の開発を進める。</p> <p>鉄筋コンクリート構造にはさまざまな非破壊検査技術が存在するが、正確な内部情報を提供するものはほとんどない。修復が必要で正確な場所を示すため、鉄筋コンクリート構造の非破壊検査方法を確立する必要がある。本年度は計測結果を数学的に処理し、正確な鉄筋探査の手法を提案することを目的とする。</p>

2. 鉄筋探査の重要性

鉄筋探査の重要性を以下に列挙する。

(a) 構造が設計どおりの構築であるかの確認

鉄筋コンクリート構造は、鉄筋をコンクリートで保護することにより成り立つ構造である。そのため構造設計の通りに鉄筋が配筋されているかがその構造の寿命に大きく影響する。そのため鉄筋を探索し許容範囲内に収まっているかを確認する。

(b) コンクリートコア採取時に鉄筋損傷防止

コンクリートの圧縮強度や中性化の測定、リフォームに伴う配管経路の確保のために、コンクリートのコア採取又はコア抜きを行う場合があり、その際に鉄筋を損傷させないために探査が重要である。

(c) 修繕の場合のチップングエリアの決定

鉄筋が劣化によりコンクリートのかぶりを除去し鉄筋を補修する場合がある。その際に正確な鉄筋位置を出すことがコンクリートの除去領域を少なくでき構造体の損傷を最小限とすることができる。

(d) 非破壊検査により鉄筋の健全度を確認

鉄筋の探査により正確な鉄筋位置を把握することで、鉄筋自体の劣化、さらにかぶりコンクリート中の劣化個所の特定が、他の非破壊検査を用いることで確認できる。

(e) 超音波 CT による非破壊検査の開発が可能

図 1(a)に健全な鉄筋とコンクリート中における、鉄筋からコンクリート表面までの超音波の伝達経路を示す。点 P と点 Q 間の時間差は PQ 間の距離 l と鉄筋中の超音波音速 V であらわされる。図 1(b)はコンクリートに欠陥がある場合の超音波の伝達経路である。省音波の伝達距離が長くなるため(a)の場合に比べ到達時間が長くなることが理解できる。このように欠陥部を超音波で割り出すことが出来るが、これには鉄筋の正確な位置、端点などを把握することにより、精度良く特定できる。本研究の鉄筋端点を求める手法を用いることで超音波による非破壊検査の開発が可能となる。

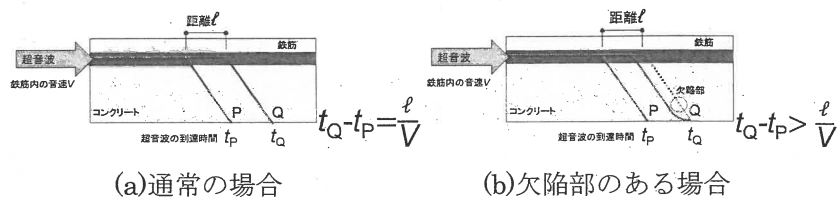


図 1 超音波の伝達経路

3. 最小 2 乗解を用いた正確な鉄筋探査

本章は最小 2 乗解を用いた鉄筋探査の方法を説明する。図 2 のようにコンクリートに埋め込まれた鉄筋を想定する。座標の原点を図の左手前の下端の頂点にとる。

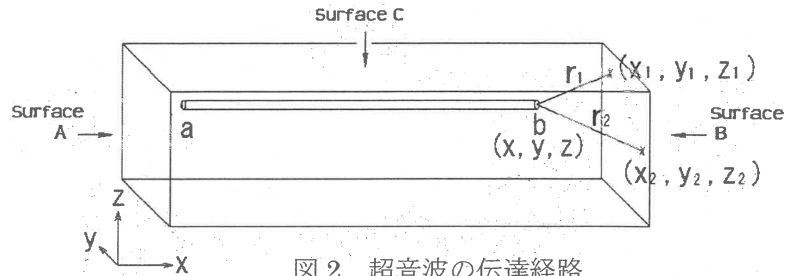


図 2 超音波の伝達経路

上記図にて未知である鉄筋端点 b の座標を (x, y, z) と既知であるコンクリート表面の観測点を $(x_1, y_1, z_1) \cdots (x_k, y_k, z_k)$ とする。

$$\begin{cases} (x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2 = r_1^2 \\ (x-x_k)^2 + (y-y_k)^2 + (z-z_k)^2 = r_k^2 \end{cases} \quad \cdots(1)$$

上記連立式は通常、解をもたないが、この連立方程式(1)に対する最小 2 乗解を求める数理的手法を開発した。

研究の概要

4. 試験体による鉄筋位置の探査と検証

試験体を鉄筋探査器にて計測する。図 3 に観測点を示す。鉄筋端点 a は①～⑧の番号位置で鉄筋探査機の示す値を計測した。鉄筋端点 b は(1)～(4)の番号位置で鉄筋探査機の示す値を計測した。計測データより 3 章の方法により鉄筋端点位置を図 4 のように復元した。図 5 は計測した試験体を切断し実際の鉄筋端点位置を示したものである。

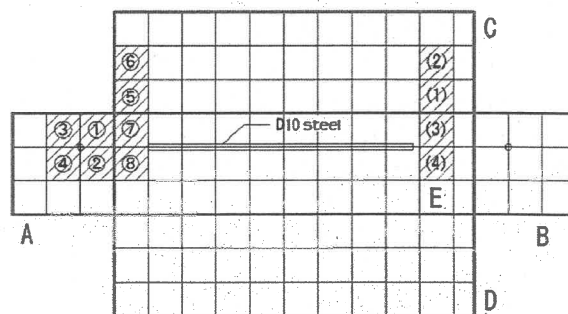


図 3 試験体の観測点

研究の概要

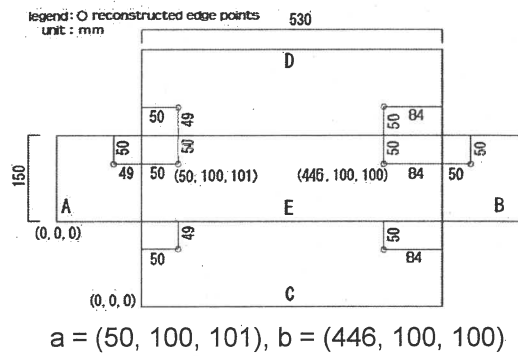


図4 探査により復元した端点

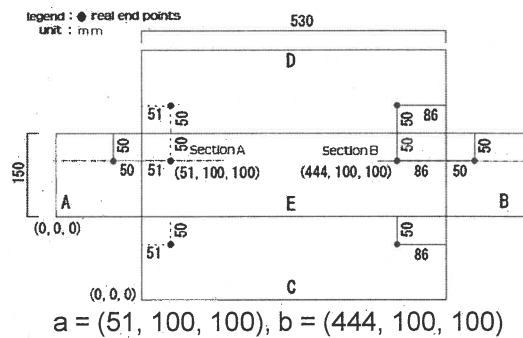


図5 実際の鉄筋端点

表1は今回作成した試験体の設計上の端点、復元した端点、実際の端点の座標を比較したものである。これらより、復元値は設計値よりも正しく鉄筋位置を求めることができています。さらに実測値に比べ誤差最大2mm程度と精度よく特定できています。

表1 端点の実測値と設計値及び復元値の比較

端点	座標	実測値	設計値	復元値	実測値-設計値	実測値-復元値
a	x	51	50	50	1	1
	y	100	95	100	5	0
	z	100	95	101	5	-1
b	x	444	440	446	4	-2
	y	100	95	100	5	0
	z	100	95	100	5	0

本研究は、超音波CTの開発を目指して、鉄筋探査及び超音波試験によるコンクリート内の鉄筋位置特定を計測し、数学的な処理をすることで鉄筋位置の特定を試みた。その結果、鉄筋端部の位置の特定が可能であることが確認できた。実際の劣化部を再現した模擬試験体や、実構造物での実証実験や等は今後の検討課題である。