

# 合成床版のコンクリートの充填、空隙および滞水検知装置に関する研究

〔研究代表者〕 瀬古繁喜（工学部建築学科）

〔共同研究者〕 神頭峰磯（日本車輛製造株式会社）

池永太一（ソイルアンドロックエンジニアリング株式会社）

## 研究成果の概要

社会基盤の構築は国の財政支出の中で大きな割合を占め、信頼性の高い施工品質は維持管理費を抑制する上でも非常に重要である。本研究で主な対象とする合成床版構造は、高架や道路橋等を合理的に構築できることから、適用の割合が増加している。共同研究者は合成床版を製造・施工する企業であり、かねてからコンクリート打込み時に、鋼材が接合するような狭隘部でのコンクリート充填不良が発生する危険を認識してきた。これに対して、研究代表者がこれまで取り組んできた中性子線を利用した非破壊検査技術はコンクリート打込み中に鋼板の外側からコンクリートの空隙を検出できる装置を実現できる独自性がある。本研究では、放射線の中でも特に物質透過性に優れた中性子線に着目し、鋼材に覆われた複合構造の界面の空隙や滞水などの異常を非破壊で検出することを目指す。

本研究では散乱型 RI 中性子線測定装置（以下、測定装置）によって、鋼材とコンクリートとの界面に発生する空隙や滞水を検知する技術を確立することを目指している。ここでは、合成床版でのコンクリートの非破壊検査を目的とし、実大に近い模擬試験体とした合成床版内の鋼材類がフレッシュコンクリート時と硬化後とで測定された測定装置の RI カウントに及ぼす影響について実験的に検討を行った結果を報告する。実験によって得られた知見は次のような内容があった。コンクリートのフレッシュ時と比べると硬化後の測定では RI カウントが全体的に現象する。鋼板に配置されるリブ鋼材は RI カウントに大きな変化を与え、RI カウントの変化の傾向が空隙と同様であるため、空隙とリブとの区別には留意が必要である。複合構造物内に配置される鉄筋および間隔が 100mm 程度以上のスタッドは、RI カウントに及ぼす影響は小さい。測定装置が空隙から離れるほど RI カウントは減少し、その減少割合は測定装置と空隙の間の距離の二次関数で近似できる。

**研究分野：** 建築材料・施工

**キーワード：** ラジオアイソトープ、中性子線、非破壊、空隙検知、測定精度、減速材

### 1. 研究開始当初の背景

鋼道路橋で用いられる鋼コンクリート合成床版では、鋼とコンクリートを一体構造とすることにより、従来の RC 床版より高耐久な床版として少数桁橋で多く用いられている。しかし、鋼とコンクリートの複合構造では、鋼板に補剛のためのリブプレートや型鋼などが取りつき、配筋を行うと狭隘な構造となりやすく、コンクリート打込み時の充填不良などに配慮が必要となる。また、供用の開始後にも鋼とコンクリートの界面ではく離したり、滞水を伴って床版コンクリートの耐久性を低下させる要因となる懸念がある。そのため、複合構造物の長期耐久性を性能通り

発揮するには適切な施工管理と維持管理が重要となる。しかし、鋼とコンクリートの複合構造の場合にはコンクリートが鋼材で覆われ、コンクリート部分を含む界面の状態が不可視となるため、施工時や維持管理段階での試験・検査が難しい問題がある。鋼材に覆われた複合構造の界面での空隙や滞水などの異常を検出することを目指して、衝撃弾性波法などを適用する検討も行われているが実用には至っていない現状がある。

そこで、放射線の中でも特に物質透過性に優れた中性子線に着目し、鋼材に覆われた複合構造の界面の空隙や滞水などの異常を非破壊で検出することを目指した研究に取

り組んでいる。本研究では散乱型 RI 中性子線測定装置(以下、測定装置)によって、鋼材とコンクリートとの界面に発生する空隙や滞水を検知する技術を確立していく。

2. 研究の目的

実際の複合構造物では、鋼板に補剛や補強のためのリブプレート(以下、リブ)やコンクリートとの一体性を確保するための頭付きスタッド(以下、スタッド)などの鋼材類が多く配置されている。また、鋼材類の他に鉄筋も配置されている状態である。本研究では、コンクリート打込み時における合成床版での測定装置による非破壊検査とともに、硬化した経年後にも非破壊検査を実施できることを目的とし、実大に近い模擬試験体を作成して、合成床版内の鋼材類が RI カウントに及ぼす影響等について実験的に検討を行うこととした。

3. 研究の方法

(1) 測定装置の概要

測定装置の概要を図-1に示す。測定装置の仕様は、基本的に昨年度(2023年度)の報告と同じである。測定装置の外形は、厚さ2mmのステンレス板を底板とし、幅156mm×長さ280mmH形となっている。底板に設置した検出管直下には、幅35mm×長さ200mm×厚さ10mmのポリプロピレンを中性子線減速材として配置した。測定装置の幅方向の中央には中性子線源としてカリホルニウム(<sup>252</sup>Cf:半減期2.65年:本実験での線源強度0.36MBqから0.39MBq)を配置した。検出管には厚さ5mmのホウ素ゴムを被覆して側方から飛来する中性子線の影響を低減した。測定装置全体は厚さ2mmのステンレス製のカバーで覆い、その内側の側面にも厚さ5mmのホウ素ゴムを取り付けた。

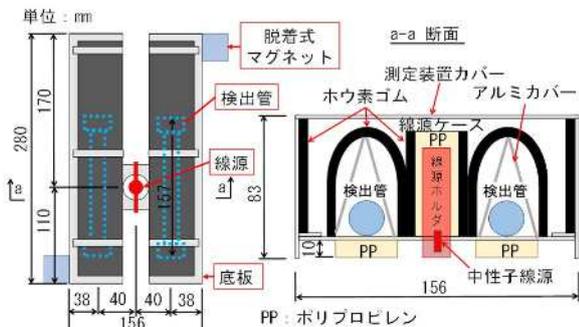


図-1 測定装置の概要

(2) 試験体の概要

実験で使用した試験体の概要を図-2に示す。試験体に

ついては仕様は基本的に昨年度(2023年度)の報告と同じであり、ずれ止めとしてスタッドを用いて鋼板とコンクリートを一体化する合成床版を参考に、幅1.5m×長さ1.5m×厚さ8mmの鋼板上に空隙、リブ、スタッドを配置した。鉄筋は、上面のかぶり厚さ40mmとし、D19の主鉄筋を最大間隔110mmで、D16の配力鉄筋を最大間隔200mmで格子状に配置した。なお、鋼板の両面は無機ジンクリッチペイントを目標膜厚30μmで塗装した。試験体の全厚さは210mmで、リブやスタッドの間隔と空隙を模擬した発泡スチロールの配置を変化させて配置した。

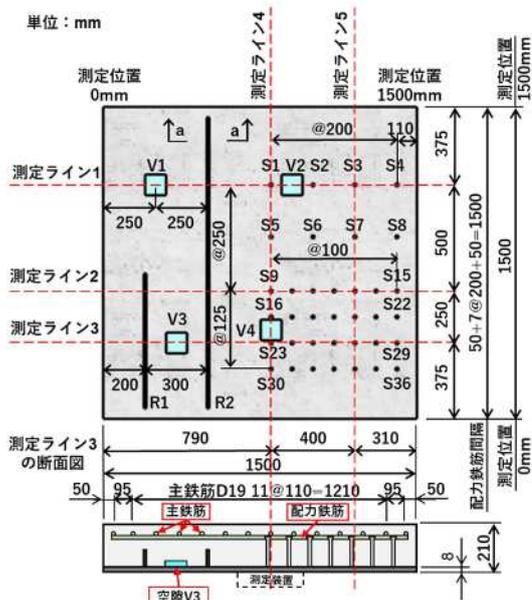


図-2 試験体の概要

4. 研究成果

コンクリート打込み時のフレッシュ時と、約1ヵ月を経た硬化後における、試験体の測定ライン1および測定ライン3でのRIカウントの測定結果を図-3(a)および(b)に示す。RIカウントは、測定値のばらつきを抑制するため、既往の研究と同様に、対象とする測定点の測定値は、その測定点の前後各4点の測定値を含む9点の移動平均値とした。また、図-3(a)および(b)から、RIカウントが空隙等の影響を受けていないと考えられる範囲を基準とした増減割合で評価した場合を図-4(a)および(b)に示す。

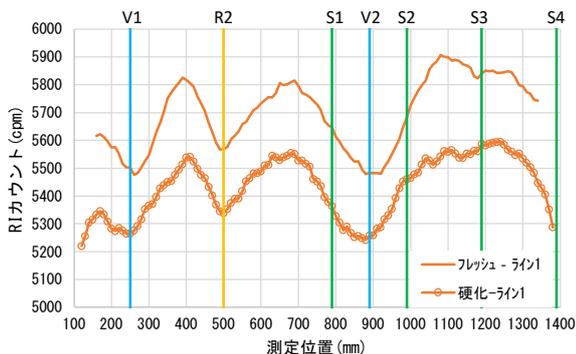
(1) 測定ライン1のRIカウント

測定ライン1では、フレッシュ時と硬化後とでRIカウントの変動の傾向は同じであった。空隙V1とリブR2でRIカウントが低下しており、V1とR2の間ではRIカウントが回復している。リブR2でもRIカウントが低下する

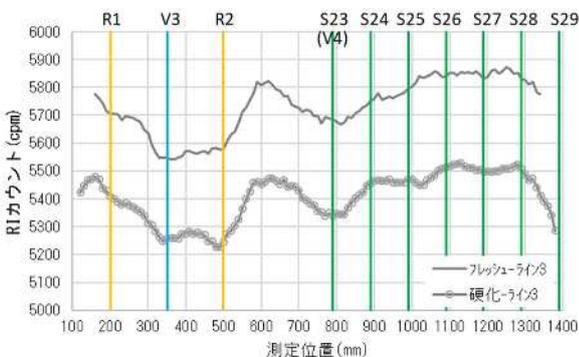
ことは、RI カウントによる空隙とリブの区別が難しいことを示唆している。RI カウントは、リブ R2 から空隙 V2 に向けて再び低下し、その後回復している。V2 の両側にはスタッドが 200mm の間隔で配置されているが、RI カウントの変化はみられない。また、スタッド S3 においても大きな RI カウントの変化はみられないことから、スタッドが RI カウントに与える影響は小さいと考えられる。

## (2) 測定ライン 3 の RI カウント

測定ライン 3 でも、フレッシュ時と硬化後とで RI カウントの変動の傾向は同じであった。両者の差は 300cpm 程度であった。リブ R1 で低下した RI カウントは空隙 V3 でさらに低下している。この間では RI カウントの回復はみられず、空隙 V3 とリブ R2 は同程度の RI カウントとなった。RI カウントが低下する要因となる空隙やリブの間隔が小さい場合は、RI カウントの回復量が小さくなる。リブ R2 を経過すると RI カウントは回復し、スタッド S23 で低下する。これは、測定ライン 2 の場合と同様に空隙 V4 が近くに存在しているためと考えられる。



(a) 測定ライン 1



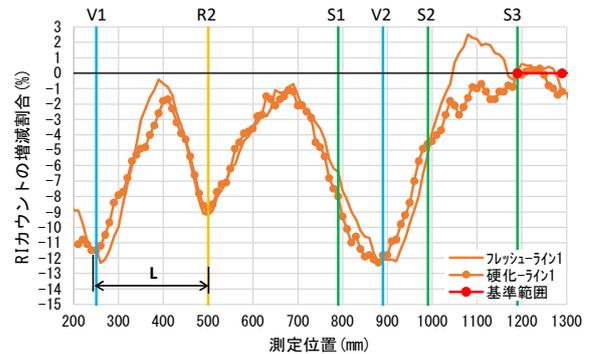
(b) 測定ライン 3

図-3 各測定ラインの RI カウント

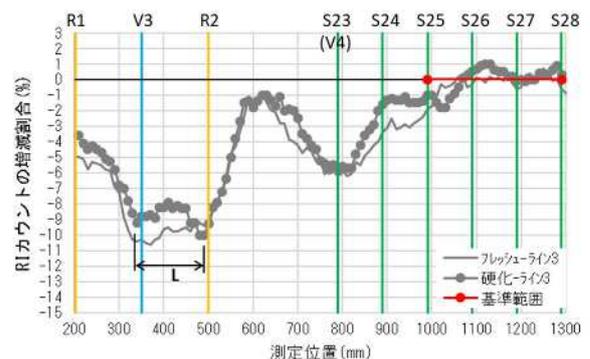
## (3) 各測定ラインの RI カウントの増減割合

図-4 より、各測定ラインのリブ R2 は、RI カウントの減少割合が-9%から-10%とほぼ同じであり、V2 と V4

の空隙も-12%から-13%とほぼ同じになった。図-4 (a) と(b)において、フレッシュ時と硬化後では RI カウント自体は異なったが、RI カウントの増減割合で評価することによって RI カウントの増減割合の変化の傾向は概ね同じとなった。そのため、増減割合で RI カウントの変動を相対的に整理することにより、コンクリート打込み後のフレッシュ時でも維持管理時の硬化後でも、同じように検査対象の異常を検知できると考えられる。



(a) 測定ライン 1



(b) 測定ライン 3

図-4 各測定ラインの RI カウントの増減割合

## (4) 空隙の中心位置と測定装置の距離の影響

図-4(b)において、空隙 V3 と V4 は同じ大きさでありながら、RI カウントの増減割合の減少量は V4 の方が小さい結果となった。測定ライン 4 の結果はここでは示していないが、測定ライン 4 の空隙 V2 では RI カウントの増減割合の低下量はさらに小さい結果となった。

## 5. 本研究に関する発表

(1) 神頭峰磯、瀬古繁喜、池永太一、鋼コンクリート複合構造を模擬した試験体における散乱型 RI 測定装置の結果の評価に関する実験的検討、構造工学論文集 Vol. 69A、pp.1017-1028、2023 年 3 月