

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㈱）

池永太一（ソイルアンドロックエンジニアリング㈱）

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。研究分担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独自性があり、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可能性がある。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ものである。本研究では、測定装置の空隙検知性能の向上を目的として、測定装置に搭載可能な減速材により、中性子線を遮蔽およびコリメートした場合の RI カウン트의増減に対する影響を実験により評価した。シリーズ1の実験では簡易実験装置を用い、数種類の減速材の種類や厚さが中性子線の透過や反射に及ぼす影響を検討した。シリーズ2の実験では、シリーズ1の実験結果を反映した減速材を測定装置の部品に組み込み、測定される RI カウン트의増減傾向に及ぼす減速材の効果について検証を行った。PP と PE は熱中性子を増加させるが反射と透過の割合が異なり、PP は、PE より反射が多く熱中性子の透過を抑制する。Cd は、熱中性子を多く吸収できるが、厚さを変えても吸収量が大きくならない。B-R は、Cd と同様の熱中性子の吸収性能を有するが、厚さを大きくすると吸収性能が低下する傾向があることなどが分かった。

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、少数主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である。また、共用を開始したのちにおいても、鋼とコンクリートの界面ではく離し、滞水を伴い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、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、それらの管理が難しい。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知も行われているが、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。

2. 研究の目的

本研究では、散乱型 RI 中性子線測定装置を用いて鋼コンクリート合成床版のコンクリート施工時での充填不良等を鋼板を通して非破壊で検出する手法の確立と、共用開始後の経年劣化段階において鋼とコンクリートの界面での剥離や滞水を鋼板を通して非破壊で検出する手法の確立を目指す。検出対象の大きさの程度として 50mm×50mm 程度の大きさを目標とした。今年度の研究では、シリーズ 1 の実験において減速材の性能比較のために、減速材の厚さを 1mm から 30mm とした場合の中性子線への影響を RI カウントから評価することとした。シリーズ 2 の実験では、シリーズ 1 で得られた結果を踏まえた減速材を測定装置の線源ケース、検出管、外壁に取り付けて実験を行い、鋼とコンクリートとの複合構造試験体の空隙検知性能を評価することとした。

3. 研究の方法

(1) シリーズ 1 (減速材の性能評価) の実験

シリーズ 1 の実験装置を図-1 に示す。シリーズ 1 の実験では、減速材に対する中性子線の作用を調べるための簡易的な実験装置を用いた。実験装置は、実験装置の下方に配置した中性子線源 (カリホルニウム ^{252}Cf : 線源強度 0.6MBq, 半減期 2.65 年) の上下に直径 25.4mm, 長さ 157.4mm の ^3He 比例計数管を中性子検出管として設置した。幅 25mm, 厚さ 3mm の等辺山形鋼で構成したフレームから吊り下げた上側の検出管の下面には、各種減速材を設置できる減速材ホルダーを設けた。また、上下の検出管の間には、RI カウントを増加させる目的で、幅 400mm×長さ 400mm×厚さ 40mm のコンクリート板 (以下、中間板) を設置した。なお、断面寸法が 100mm×100mm の木材は、中間板を支える台である。

減速材の種類を表-1 に示す。エネルギー減衰の高いポリプロピレン (($\text{C}_3\text{H}_6\text{n}$) (以下, PP) およびポリエチレン (($\text{C}_2\text{H}_4\text{n}$) (以下, PE), 熱中性子の吸収作用が期待できるホウ素原子を含む酸化ホウ素 (B_2O_3) を 10%含有したポリエチレン樹脂 (以下, B-PE), 炭化ホウ素 (B_4C) を 40%含有したシリコンゴム (以下, B-R), 純度 100%のカド

ミウム (以下, Cd) の計 5 種類とし、減速材なしの場合も測定した。なお、減速材の厚さは、樹脂系の減速材を 10mm, 20mm を基本とし、中性子線の遮蔽効果が高いと予測される Cd とホウ素を多く含有する B-R は、5mm と 10mm を基本とした。なお、ホウ素の含有量は、減速材 100g あたり、B-PE が 3.1g で、B-R が 31g である。

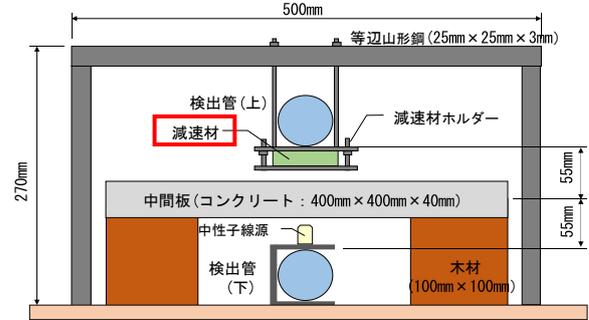


図-1 シリーズ 1 の実験装置の概要

表-1 シリーズ 1 での減速材の実験水準

番号	減速材種類	記号	厚さ (mm)	備考
1	なし	N	-	-
2	ポリプロピレン	PP	10, 20, 30	密度: 9.1 g/cm ³
3	ポリエチレン	PE	10, 20	密度: 9.6 g/cm ³
4	カドミウム	Cd	1, 5, 10	純度 100%
5	ホウ素樹脂	B-PE	10, 20	B ₂ O ₃ : 10%含有
6	ホウ素ゴム	B-R	5, 10	B ₄ C: 40%含有

(2) シリーズ 2 (減速材を装着した測定装置) の実験

従来の測定装置に減速材を追加した本研究の測定装置の概要を図-2 に示す。測定装置の外縁には、厚さ 30mm までの減速材を取り付ける構造とし、検出管および線源ケースは、厚さ 5mm の B-R で覆うことができる構造とした。このため、中性子線源中心から検出管中心までの距離は、従来測定装置の 25mm から 40mm に広げている。また、測定装置の中央には、中性子線源として、カリホルニウム ^{252}Cf (線源強度 0.52MBq) をステンレス製の線源ケース、または PP 製の線源ケースに入れて設置している。中性子線源は、検査対象面に近くなるように配置し、線源ケース下面から 7.5mm の位置より中性子線が射出される。従来の測定装置と同様に、底板は厚さ 2mm のステンレス製の 2 重構造であり、その底板上に配置した検出管直下に、幅 35mm×長さ 200mm×厚さ 10mm の PP を減速材として設置している。

実験で使用した試験体は、図-3 に示すように、既往の

研究で使用した鋼コンクリート複合試験体とした。試験体の中央には、空隙に見立てた幅 100mm×長さ 100mm×厚さ 10mm の発泡スチロールが設置してあり、-175mm から+175mm の範囲を 5mm 刻みで、1 分間ずつ RI カウントを測定した。

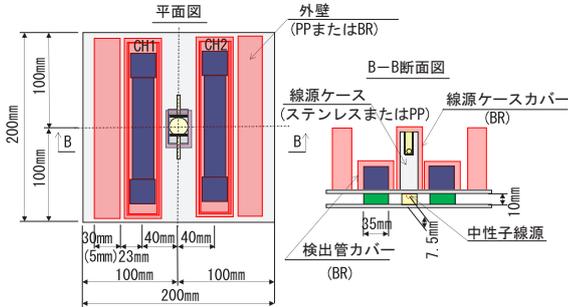


図-2 減速材を装着した測定装置の概要

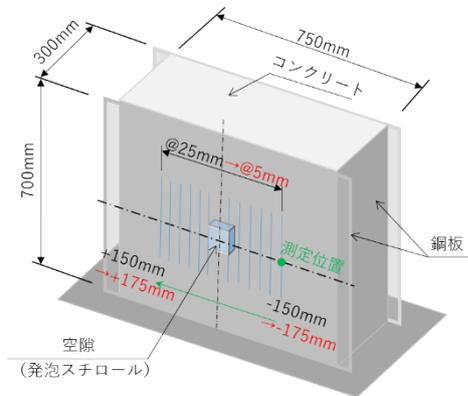


図-3 シリーズ 2 の試験体と試験方法

4. 研究成果

(1) シリーズ 1 (減速材の性能評価) の実験

RI カウントの測定値をもとに中間板での反射作用等を補正し、減速材なしの場合の RI カウントの合計値を基準としたときの減速材の RI カウントから、各減速材の反射、透過、吸収作用の減速材なしに対する割合をまとめたものを表-2 に示す。

PP と PE は熱中性子を増加させるが反射と透過の割合が異なり、PP は、PE より反射が多く熱中性子の透過を抑制する。Cd は、熱中性子を多く吸収できるが、厚さを変えても吸収量が大きくならない。B-R は、Cd と同様の熱中性子の吸収性能を有するが、厚さを大きくすると吸収性能が低下する傾向があることなどが分かった。

(2) シリーズ 2 (減速材を装着した測定装置) の実験

図-4 には、線源ケースに PP を、線源と検出管には B-R を、また水準 7 では最外部に B-R、水準 8 では最外部に PP

とした場合の RI カウントの増減割合および、その変化の

表-2 補正した RI カウントによる減速材の評価結果

種類	減速材 厚さ (mm)	減速材の RI カウント (cpm)			反射率 (%)	透過率 (%)	吸収率 (%)
		反射 (RI _{ref})	透過 (RI _{tr})	合計			
PP	10	206	26	232	13.0	1.64	0.00
	20	523	271	794	32.9	17.1	0.00
	30	996	283	1279	62.7	17.8	0.00
PE	10	86	153	239	5.42	9.63	0.00
	20	461	336	797	29.0	21.2	0.00
Cd	1	-78	-82	-160	0.00	0.00	10.1
	5	-160	-47	-207	0.00	0.00	13.0
	10	-78	-118	-196	0.00	0.00	12.3
B-PE	10	-140	82	-58	0.00	5.16	3.65
	20	284	-154	130	17.9	0.00	0.00
B-R	5	-115	-90	-205	0.00	0.00	12.9
	10	62	-222	-160	3.90	0.00	10.1

区分を示した。RI カウントの増減割合のグラフの形状は、測定位置 0mm に対して概ね左右対称な形となった。また、空隙範囲で RI カウントの増減割合は平坦に近くなり、空隙位置と範囲をより明確に示した。RI カウントの増減割合は、測定点-150mm の位置から、減少→増減均衡→増加の経路をたどり、従来の測定装置に比べて空隙が検知しやすくなっているといえる。

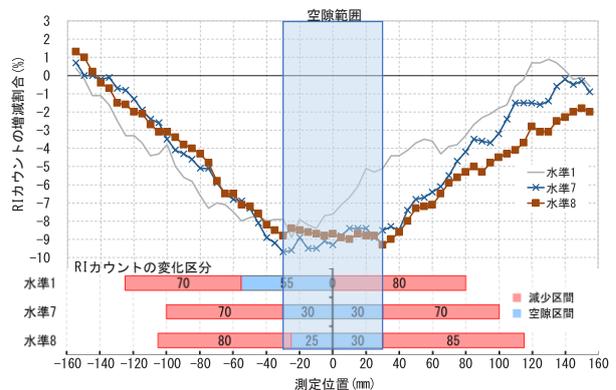


図-4 各測定位置における RI カウントの増減割合

5. 本研究に関する発表

- (1) 神頭峰磯, 瀬古繁喜, 池永太一, 中性子線の遮蔽材料が散乱型 RI 測定装置の検出特性に及ぼす影響に関する実験的検討、構造工学論文集 Vol. 68A、pp.825-835、2022 年 3 月
- (2) 菱川水裕, 神頭峰磯, 瀬古繁喜, 池永太一, 山田和夫、散乱型 RI 測定装置におけるエネルギー減速材が熱中性子の増減に及ぼす影響(その 1: 減速材単体における RI カウントの変化)、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、pp.495-496、2021 年 9 月