

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2: 減速材を複合にした場合の RI カウントの変化)

正会員 ○神頭峰磯*1 正会員 瀬古繁喜*2
同 池永太一*3 準会員 菱川水裕*2
同 山田和夫*2

放射性同位体 中性子線 複合材
RI カウント 熱中性子 遮蔽

1. はじめに

その 1)では、散乱型 RI 測定装置に使用可能な中性子線減速材の RI カウントから、各種減速材が熱中性子の増減に及ぼす影響について述べた。本報では、その 1)において熱中性子の吸収性能を示した減速材うち、炭化ホウ素入りのシリコーンゴム減速材について、炭化ホウ素の含有率を変えた場合の性能確認および、減速材の種類を組合せて複合材にした場合の RI カウントの変化について検討した結果を述べる。

2. 実験方法および実験水準

実験に使用した装置は、その 1)で示した通りであり、減速材ホルダーに減速材を設置して RI カウントを測定した。実験は、その 1)において優れた熱中性子の吸収性能を示した炭化ホウ素入りシリコーンゴム (BR 減速材) に対して、炭化ホウ素の含有率を 50%に増して測定したシリーズ 1 と、その 1)で使用した減速材を組合せて複合材として測定したシリーズ 2 の 2 種類行った。

シリーズ 1 の実験水準は、炭化ホウ素を 50%含有した減速材で、厚さを実測値で 1.5mm, 2.7mm, 4.2mm とした。また、シリーズ 2 の実験水準は、表-1 に示すように、その 1)で使用した減速材を組合せて複合材とした。なお、減速材の厚さは、合計で 20mm となるように 2 段または、3 段の複合構成とした。なお、各減速材の記号は、その 1)の表-1 に示す通りである。また、両シリーズともに、減速材なしの場合も実験を行った。

表-1 シリーズ 2 の実験水準

番号	上側		中央		下側		記号
	減速材の種類	減速材の厚さ(mm)	減速材の種類	減速材の厚さ(mm)	減速材の種類	減速材の厚さ(mm)	
1	PP	10	-	-	BR	10	PP-BR
2	BR	10	-	-	PP	10	BR-PP
3	BPE	10	-	-	BR	10	BPE-BR
4	BR	10	-	-	BPE	10	BR-BPE
5	BR	5	PP	10	BR	5	BR-PP-BR
6	BR	5	BPE	10	BR	5	BR-BPE-BR

3. 実験結果

(1) シリーズ 1 の結果

実験で得られた散乱反射、透過減衰、合計値の RI カウントにおいて、減速材なし場合の RI カウントに対する減

速材の厚さごとの RI カウントの比率を図-1 から図-3 に示す。なお、RI カウントは、その 1)で示した補正を行っている。

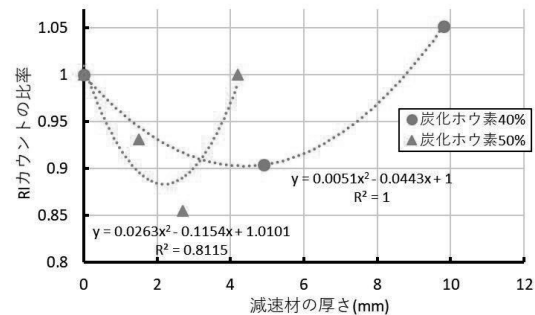


図-1 散乱反射(検出管(下))の RI カウントの比率

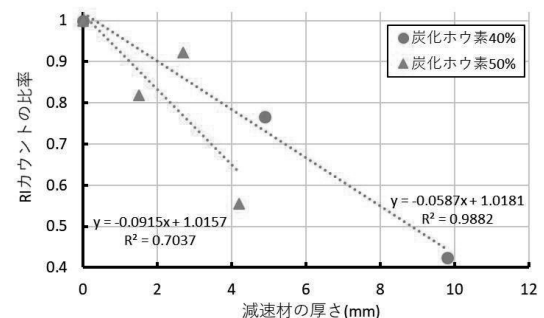


図-2 透過減衰(検出管(上))の RI カウントの比率

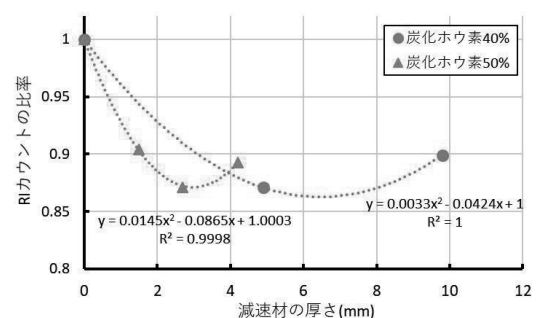


図-3 RI カウント合計の比率

図-1 において、その 1)で得られた炭化ホウ素 40%の結果も加えて、2 次式で近似した。炭化ホウ素 50%の場合も減速材の厚さが増すと RI カウントの比率は、減少から増加に転じる傾向を示した。また、2 次式の極小値となる減

速材の厚さは 4.3mm から 2.2mm と 50%程度減少しており、炭化ホウ素の含有率の 10%の変化に対して大きい。

一方、透過減衰を示す図-2 では、実験結果を 1 次式で近似したが、RI カウントは減速材の厚さが大きくなるごとに比例的に小さくなる。また、炭化ホウ素の含有率を 10%高くすることで 1 次式の傾きが 56%程度大きくなり、効率よく熱中性子を低減することが判った。図-2 に示す透過減衰は、熱中性子の遮蔽を示すことから、BR 減速材は厚さを大きくするほど熱中性子を遮蔽できる。

図-3 に示す RI カウント合計の比率は、図-1 と同様に 2 次式で近似した場合に極小値を持つため、ある厚さを境に、RI カウントの比率は減少から増加に転じる。図-3 は本実験で得られる熱中性子の全体量を示しているため、炭化ホウ素による熱中性子の吸収は限界があることになる。しかし、熱中性子の吸収が一定となっても、散乱反射の割合が増加することにより、減速材を透過する熱中性子が少なくなる。そのため、炭化ホウ素の含有率を高めることで、遮蔽性能を落とさずに厚さを小さくできる。以上から、BR 減速材を遮蔽用減速材とした場合、炭化ホウ素の含有率を高くして、厚さを大きくすることで、より高い遮蔽効果が得られると考えられる。

(2) シリーズ 2 の結果

シリーズ 2 の実験で得られた RI カウントから、減速材なしの場合に対する各減速材の組合せの RI カウントの比率を表-2 に示す。

表-2 減速材なしに対する RI カウントの比率

番号	減速材の組合せ	検出管下(反射)	検出管上(透過)	合計
1	PP-BR	1.023	1.544	1.153
2	BR-PP	1.035	0.766	0.968
3	BPE-BR	1.026	0.988	1.017
4	BR-BPE	1.021	0.660	0.931
5	BR-PP-BR	1.011	0.733	0.942
6	BR-BPE-BR	1.036	0.696	0.952

エネルギー減衰性能に優れた PP 減速材と吸収性能を有する BR 減速材を組合せた場合、合計の RI カウントの比率は、PP 減速材を上側に設置した場合に増加、下側に設置した場合に減少となった。また、散乱反射の比率が同等であるのに対し、透過減衰の比率は大きく異なっている。PP 減速材が上側の場合、減速材内を透過する際にエネルギー減衰を受けて熱中性子が増加するが、PP 減速材を下側にした場合は、上側の吸収性能を持つ BR 減速材が増加した熱中性子を吸収して減少しているためである。

次に吸収性能を示す BR 減速材と BPE 減速材の組合せでは、散乱反射の比率は同程度であるのに対して、透過

減衰の比率が大きく異なるため、合計の RI カウントの比率も異なる結果となった。透過減衰の違いについては、減速材に含まれるホウ素の含有率の違いと、BPE 減速材が酸化ホウ素とポリエチレンの化合物のため、ポリエチレンの影響を受けて熱中性子の量が増加しているために BPE 減速材を上側に設置した場合の方が、BR 減速材を上側に設置した時よりも RI カウントの比率が大きくなると考えられる。

減速材を 3 段にした場合、散乱反射および、透過減衰の比率は若干異なるが、合計の RI カウントの比率は同等であった。また、透過減衰の減少比率も 2 段構成の BR-BPE 減速材を上回らず、3 段構成の効果は特に確認できなかった。ここで、その 1)で行った減速材単体(厚さ 10mm)の実験結果を表-3 に示す。

表-3 減速材なしに対する RI カウントの比率(単体)

減速材の種類	記号	検出管下(反射)	検出管上(透過)	合計
ポリプロピレン	PP	1.042	1.472	1.146
ホウ素樹脂	BPE	0.972	0.938	0.963
ホウ素ゴム	BR	1.012	0.547	0.899

PP 減速材単体の RI カウントの比率は、PP-BR 減速材と同様であり、下側に設置した BR 減速材の効果がないことが判る。また、上側に BR 減速材を設置すると、PP 減速材単体では増加していた透過減衰の RI カウントの比率が減少に転じている。このため、熱中性子の散乱反射を期待しつつ、減速材の透過を抑制したい場合に有効な組合せと考えられる。

一方、中性子線の遮蔽を考えた場合、透過減衰の RI カウントの比率が最も少なかった組合せは、BR-BPE 減速材の 0.660 であるが、BPE 減速材単体の 0.938 は下回るものの、BR 減速材の 0.547 には及ばない結果となった。今回の実験結果から、吸収性能を有する減速材を組合せても加算効果や相乗効果が得られないことが明らかになった。

4. まとめ

今回の実験で得られた結果を以下にまとめる。

- 炭化ホウ素入りのシリコンゴムは、炭化ホウ素含有率が 40%の場合も 50%の場合も RI カウントの増減傾向は同様である。
- 炭化ホウ素の含有率を増加した場合、同じ厚さで遮蔽効果が大きくなる。
- 減速性能と吸収性能を組合せた場合、組合せの効果が得られるが、吸収性能の減速材同士を組合せても減速材単体以上の効果は期待できない。

謝辞

本研究の一部は、科研費(基盤研究(C)課題番号 20K04801, 研究代表者:瀬古繁喜)の助成を受けて実施した。ここに記して謝意を表す。

*1 日本車輛製造株式会社, *2 愛知工業大学,
*3 ソイルアンドロックエンジニアリング株式会社

*1 Nippon Sharyo Co., Ltd., *2 Aichi Institute of Technology,
*3 Soil and Rock Eng., Co., Ltd.