

標準委員会セッション 基盤応用・廃炉技術専門部会 放射線遮蔽分科会

日本原子力学会標準「放射線遮蔽設計に用いる遮蔽材料組成（コンクリート編）」の策定について

Standardization of concrete composition for radiation shielding design

(3) コンクリート材料変動に対する線量率影響検討

(3) Dose fluctuation by concrete compositions

*中田 幹裕¹, 月山 俊尚², 吉岡 健太郎³, 尾方 智洋⁴,
天野 俊雄⁵, 小迫 和明⁶, 河野秀紀⁷¹MHI ニュークリアシステムズ・ソリューションエンジニアリング(株), ²日立 GE ニュークリア・エナジー(株), ³(株)東芝,
⁴三菱重工業(株), ⁵伊藤忠テクノソリューションズ(株), ⁶清水建設(株), ⁷(株)アトックス

1. 目的と概要

本標準では、遮蔽設計段階での標準遮蔽コンクリート組成の規定を目指している。遮蔽壁施工段階では、遮蔽設計条件としたコンクリート組成と同一組成のコンクリートを施工とすることは困難である。そこで、国内のコンクリートで想定される、製造時の配合変動、水分量変動、元素組成変動が、遮蔽透過時の線量率に与える潜在的影響を評価し、標準組成を遮蔽設計で使用する際の参照データとして整備することを目的とし、線量率影響検討を実施中である。本報告では、これまでに実施した評価の概要と、策定中の原子力学会標準に参考情報として掲載する内容を紹介する。

2. 線量率影響検討の進捗と概要

2-1. 実施事項

今回の標準での検討対象範囲は、現存及び今後設置される施設で主要となる原子炉施設と 20MeV 以下の中性子を発生する加速器設備とした。

遮蔽透過後の線量率への影響因子として、コンクリート製造時の配合変動、コンクリート材料に起因する元素組成変動、及び水分量変動を考慮した。これらの因子に基づく、標準コンクリート組成に対する潜在的線量率変動について、対象施設別に中性子及びγ線源のケーススタディを実施した。この評価結果は、遮蔽コンクリート標準組成の適用に対する留意事項として、標準に掲載する予定である(図-1 参照)。

過去 2 年間の検討では、各因子の影響度合いを把握するため、国内でサンプルしたコンクリート材料の分析結果に基づき設定したコンクリート組成 (F02HT) を基準とし、分析結果のバラつきに基づく製造時成分変動、JASS5N などの既存データに基づいた水分変動、元素組成変動の初期評価として原子炉施設設計で参照してきたコンクリート元素組成事例である、ANL-5800 と 6443 の元素組成変動をパラメータとして計算を実施した。

想定する線源スペクトルとして、原子炉施設では中性子とγ線の線源を想定した。

具体的には、²³⁵U, ²³⁹Pu, ²⁵²Cf の自発核分裂中性子スペクトルと、BWR の生体遮蔽透過後の中性子スペクトル、⁶⁰Co, ¹³⁷Cs, ¹⁶N のγ線スペクトルと、²³⁵U 核分裂γ線スペクトルを対象とした。

20MeV 以下の中性子を発生する加速器設備としては、18MeV の PET 照射医療用加速器を事例とした。

解析計算では、コンクリート材料変動の影響が、他の不確定因子の影響なく線量率計算結果に現われるように、幾何学形状は可能な限り単純化するとともに、計算手法も可能な限り簡素な手法を選択した。具体的には、原子炉施設の線源に対しては 1 次元球体系幾何学配列で、ANISN コードで計算を実施し、MCNP

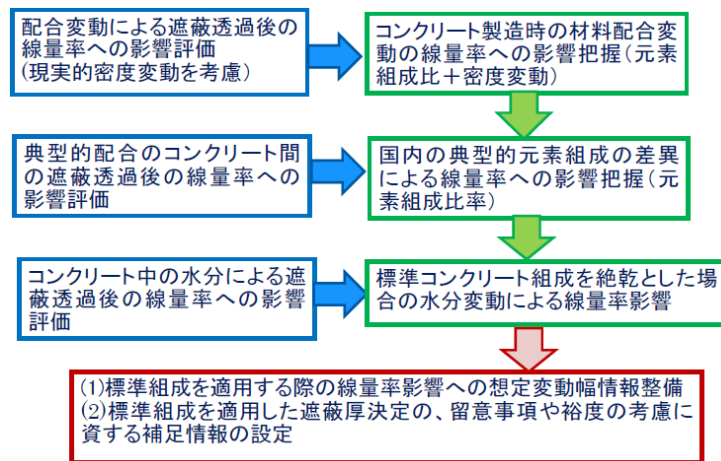


図-1 線量率影響検討流れ

コードで補足計算を行った。加速器施設に対しては加速した陽子による中性子発生を評価する必要性から、PHITS コードを用いた平板体系で計算を実施した。それぞれの幾何学形状を、図-2,3 に示す。

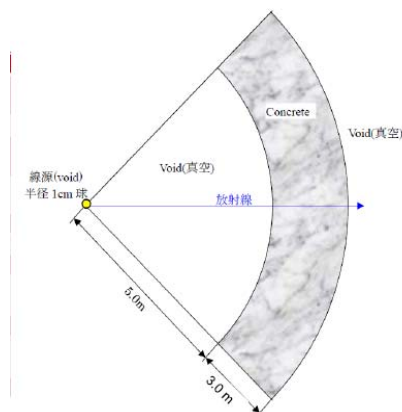


図-2 原子炉施設に対する計算幾何学形状

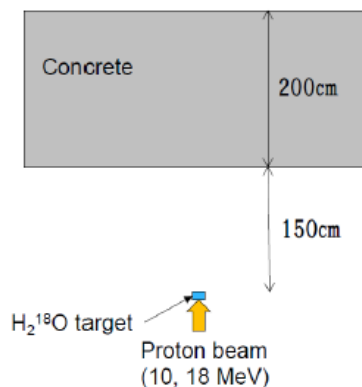


図-3 加速器施設に対する計算幾何学形状

2-2. 検討状況概要

ケーススタディの結果を、中性子線源については典型的な中性子源遮蔽厚さとして 2m、 γ 線源については原子炉施設の補機の遮蔽を想定し 50cm を例に、概要を示す。中性子線源に対する線量率変動は、原子炉施設の各線源スペクトル及び加速器施設ともに、配合変動（密度の $\pm 3\sigma$ ）で約 1.5 倍、水分変動（絶乾～自由水 0.1g/cm^3 ）で 5～10 倍、元素組成変動（初期検討）で 2 倍程度となった（図-4 参照）。 γ 線源については、配合変動と水分変動共に約 1.5 倍で、エネルギーが高い ^{16}N では変動が極めて小さかった。遮蔽厚に対しては、線量率で 2 倍に差が生ずる場合、コンクリート厚で高々 10cm 程度の影響である。

また、中性子束が一定の場合、水分が多いほど 2 次 γ 線発生量は増える傾向にあるが、コンクリート中の 2 次 γ 線発生量は水分増加による中性子の減衰に支配され、水分量が多いほど 2 次 γ 線の線量率が増える逆転現象は現れなかった。さらに、これまでの解析結果から、中性子の減衰に対しては水分と軽元素（Si, Ca）の影響が大きく、 γ 線の減衰に対しては密度依存で元素の差異は現れない傾向となった。

なお、熱中性子の上方散乱による線量率影響について、過大側の評価を実施したが、1%以下の影響であり、本検討では考慮する必要がないことを確認している。

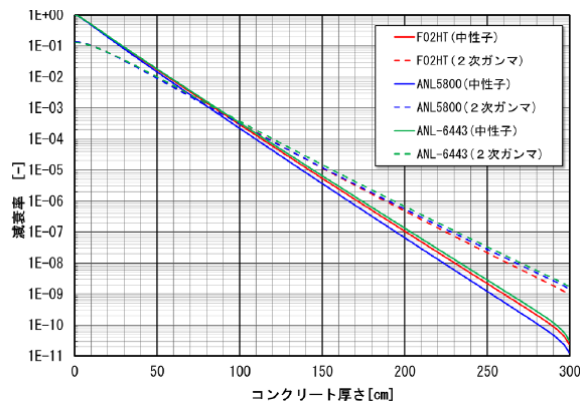


図-4 原子炉施設に対する組成変動解析事例

2-3. 今後の計画

現在、標準に規定する遮蔽コンクリート組成と、その設定データに基づく、配合変動、水分変動、元素組成変動に対する、最終的な線量率影響検討を実施中である。検討では、これまでのケーススタディ結果に基づいて、代表的な原子炉施設の中性子及び γ 線源と 18MeV 医療用加速器線源に対して計算を実施中である。ここで、元素組成変動については、ケーススタディで実施した ANL-5800, 6443 組成に加え、国内の典型的な元素組成を加えた、線量率影響検討を実施中である。また、加速器線源については、施設の遮蔽設計の観点で、医療用加速器を主な対象とするが、中性子エネルギースペクトルの特性として異なる 14MeV D-T 線源についても、線量率影響検討を実施中である。

3. 原子力学会標準への掲載計画

上記 2-3 節に示した線量率影響最終検討は、評価結果に基づく見解とともに、標準に規定する遮蔽コン

クリート組成を遮蔽設計に適用する場合の留意事項として、附属書（参考）に掲載する予定である。また、最終計算に至る前の、参照コンクリート組成 F02HT に対する種々の線源に対するケーススタディ、解析計算に使用した具体的条件とデータ、ケーススタディに基づく線量率への影響因子の考察、最終検討に用いる代表線源の選定過程及び上方散乱の評価内容詳細については、解説に参考情報として掲載予定である。

附属書（参考）の構成は下記を予定している。

- (1) 対象とする線源範囲
- (2) 遮蔽透過後の線量率影響で考慮する成分変動
- (3) 線量率影響検討
- (4) コンクリート組成変動に対する遮蔽性能留意事項

4. 謝辞

本発表に当たり、共同発表者に加え、作業に参画いただいた、本作業会感度解析 WG の下記諸氏に、深く感謝いたします。

吉田昌弘氏（原安技センター）、坂本幸夫氏（アトックス）、田中健一氏（エネ総研）、大石晃嗣氏（日環研）、坂本浩紀氏（日立 GE）、谷口雅弘氏（大成建設）、木村健一氏（フジタ）、奥野功一氏（安藤ハザマ）

*Mikihiro Nakata¹, Toshihisa Tsukiyama², Kentaro Yoshioka³, Tomohiro Ogata⁴, Toshio Amano⁵, Kazuaki Kosako⁶, Hidenori Kawano⁷

¹ MHI Nuclear Systems And Solution Engineering Co., Ltd., ² Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd., ³ TOSHIBA Corp.,

⁴ Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., ⁵ ITOCHU Techno-Solutions Corporation, ⁶ Shimizu Corporation, ⁷ ATOX Corp.