

令和元年6月17日現在

機関番号：24402

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K18182

研究課題名(和文) 遮蔽コンクリートのリスク評価に関する統一データベースの構築

研究課題名(英文) Development of a unified database for risk assessment of shielded concrete

研究代表者

鈴木 裕介 (SUZUKI, YUSUKE)

大阪市立大学・大学院工学研究科・講師

研究者番号：90635400

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、コンクリートなどの線遮蔽体の損傷と遮蔽性能劣化の関係について実験と解析から検討した。その結果、遮蔽体の種類(密度、厚さ、含水率や最大骨材寸法の違いなど)や損傷の形状に関わらず、損傷が過大(例えばひび割れ幅1.0mm以上)となることで、性能劣化が顕在化することを明らかにした。次に、上記した遮蔽性能劣化に影響する過大な損傷を制御する目的として超弾性合金主筋を用いたRC部材の静的載荷実験を行い、経験変形角に対する残留ひび割れ幅を定量的に示すとともに、当部材の構造性能について通常のRC部材と比較検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

汚染物の中間貯蔵施設や最終処分場では、コンクリートが遮蔽体として使用されるが、遮蔽コンクリートが損傷した時の線漏えいなどのシナリオを想定したリスクを学術的に検討した例は国内外を見渡してもほとんどない。本研究ではまず、様々な密度及び厚さを持つ遮蔽体それぞれに対し、様々な損傷程度に応じた遮蔽性能劣化を客観的に評価可能なデータベース構築に資する多くの実験データを蓄積した。その結果、損傷の形状に関わらず損傷の大きさが比較的過大になった時のみに性能劣化が顕在化することを示すに至っている。加えて、過大な損傷を制御する一手段を検討するに至っている。

研究成果の概要(英文)：In this study, the relationship between damage of shielding materials such as concrete and gamma ray shielding performance deterioration was examined from experiments and analysis. As a result, it was clarified that excessive damage (for example, crack width 1.0mm or more) to the shielding materials most affected the shielding performance deterioration regardless of the type of the shielding materials and the damage shape of the shields. Next, static loading tests of RC members using superelastic alloy main re-bars are performed to control the excessive damage affecting the shielding performance mentioned above, and residual crack width against the experienced deformation angle was quantitatively shown. In addition, the structural performance of this member was compared and examined with that of a normal RC members.

研究分野：建築構造・材料

キーワード：遮蔽コンクリート 線 損傷制御 超弾性合金 残留変形 残留ひび割れ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

東京電力福島第一原子力発電所事故(以下、原発事故)で飛散した放射性物質(主に放射性セシウム)によって汚染された土砂等の処理・処分は、現在も深刻な課題として残されている。膨大な放射能汚染物(以下、汚染物)を安全かつ集中的に管理・保管するため、福島県内に建設された中間貯蔵施設への輸送が開始された。施設の具体的な概要についても環境省から公表されている。詳細として、高レベルに汚染された汚染物を格納する際は、放射線遮蔽にとって費用対効果が最も優れるコンクリートが用いられ、空間線量や地下水の放射性物質についてモニタリングが実施される。30年後までに最終処分場への汚染物の完全移設も計画されているが、最終処分場においても放射線遮蔽体としてのコンクリートの利用は確実である。しかしながら、コンクリートは何らかの内的外的影響による損傷(ひび割れ)の発生が避けられないものである。そのため、損傷部からの $\gamma$ 線漏えいや漏水といったリスク、つまりは各施設で計画されるモニタリングによる出力データを統一かつ定量的に評価可能なデータベースを構築することが社会的ニーズとして求められる。

応募者は原発事故以降これまで、放射線遮蔽コンクリートに関する研究に従事し、ガンマ(以下、 $\gamma$ )線遮蔽性能及び可搬生向上を意図した超高密度コンクリート容器を試作し、実際の原発事故汚染物(体積線源)からの $\gamma$ 線を90%以上遮蔽し、かつ、2倍の壁厚(1.5倍の重量)を持つ普通コンクリート容器より優れた遮蔽性能を有することを実証した。更には、実験体系を忠実にモデル化した遮蔽解析を通し、格納すべき汚染物の放射能濃度や量に応じ遮蔽容器の最適な壁厚や密度が選択可能なシミュレーションシステムの基礎を構築した。並びに、高密度コンクリートが損傷を受けた際の損傷度として1本のひび割れ幅に対する $\gamma$ 線漏えいに関し基礎的な評価を実施した。その結果、損傷レベルと $\gamma$ 線漏えい量(性能劣化)を関係付けるには、(無数のパターンが想定される)ひび割れの表面粗さが影響するため、シミュレーションによる定量評価を実施するには、膨大な実験データを収集した上での解析モデル及び解析手法の構築が必要、といった課題が残された。

### 2. 研究の目的

本研究では、原発事故による放射能汚染物(特に、減容化されて高線量の $\gamma$ 線を放出する汚染物)を格納するための放射線遮蔽コンクリートに関し考慮されるべきリスクとして、コンクリート損傷部からの $\gamma$ 線漏えい(及び、水が遮蔽コンクリート内に浸入し放射性物質を溶出して汚染水となって外部に流出するなどの漏水)といった課題を取上げ、これらについて定量的に評価可能なデータベースの構築を目的とする。更には、放射能汚染物の中間処理場や最終処分場におけるリスク評価手法の適用可能性について、当データベースを基とした実証実験を通し検証する。

並びに、上記の損傷制御を目的として、主筋の一部に超弾性合金を用いたRC造部材の静的載荷実験を通し、超弾性合金の特性がもたらす被災後部材の損傷抑制効果について、通常のRC部材と比較検討する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 遮蔽条件の違いによる線遮蔽性能の比較

コンクリート及びジオポリマーといった、2種類の硬化体に対し、主要パラメータを遮蔽体の密度6水準、及び、遮蔽厚(壁厚又は板厚)2水準として、原発事故で生じた実際の汚染物を線源(体積線源)とした遮蔽性能評価実験を実施した(図1)。並びに、概ね同密度及び同遮蔽厚の遮蔽体の性能を複数比較することで、遮蔽性能に及ぼすその他の因子(副パラメータ)として、遮蔽体の構成材料、遮蔽体の含水率、並びに、遮蔽体を使用している骨材の最大寸法なども対象にそれぞれが遮蔽性能に及ぼす影響を比較検討した。

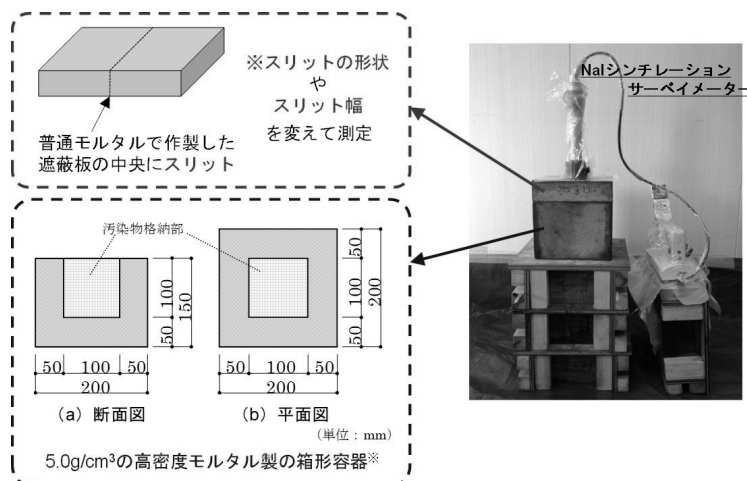


図1 遮蔽性能評価実験の概要

(2) 遮蔽体の損傷に対する遮蔽性能劣化の比較

上記(1)における主要パラメータと同水準の遮蔽体に、1本のひび割れを単純化して模擬したスリットを設け、スリットの形状、幅、角度が線遮蔽性能劣化に及ぼす影響について実験データを収集し、比較検討した。各パラメータの詳細として、スリットの形状は、深さ方向に対し直線形、V形、W形などとした(図2参照)。スリットの幅は、0~10mmとした。スリットの角度は、直線形(図2中のIスリット)に対して45~60度程度とした。

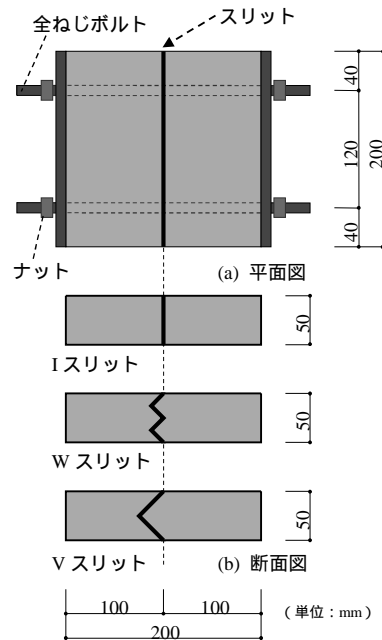


図2 損傷を持つ遮蔽板の一例

(3) 超弾性合金を用いたRC造部材による損傷制御に関する検討

上記(2)の検討で得た成果(成果は「4.研究成果」に後述する)より、遮蔽体が外力を受けてひび割れが発生した後も、過大なひび割れをリカバーすることなど損傷制御をすることで、当初想定したような遮蔽体の過度な線遮蔽性能劣化を防止できることを示唆した。よって、当課題では、主筋の一部に形状記憶合金の一種である超弾性合金(通常の鋼材が塑性化するようひずみを与えても、除荷後はひずみが回復し元に戻る特性を持つ)を配筋した、RC部材の静的載荷実験を通し、当部材の除荷後の変形回復効果及びそれに伴う損傷制御について検討した。

並びに、当部材の耐力、剛性、エネルギー吸収能といった各構造性能について、通常のRC部材と比較検討する。

4. 研究成果

(1) 遮蔽条件の違いによる線遮蔽性能の比較

コンクリート及びジオポリマー硬化体の主要パラメータ(密度及び遮蔽厚)に対する、原発事故による実際の汚染物が放出される線遮蔽性能について広範な実験データ取得をし、結果について定量的に示した。副パラメータの影響については、線の測定値におけるばらつきの範囲内に収まるものであり、主要パラメータの影響に比べごく小さいものであることを示した。

(2) 遮蔽体の損傷に対する遮蔽性能劣化の比較

図3に本課題の結果の一例として、スリット幅(損傷度)と幅0mm時に対する各幅時の線透過率を示す。実験値(図中の黒塗り)比較すると、スリット幅3mm程度からスリットの形状による差が見られ、Iスリット、Wスリット、Vスリットと粗さが小さい順に線透過率が高くなることを示した。また、モンテカルロ法による遮蔽解析結果(図中の白塗り)との比較からも、当実験結果の傾向は概ねシミュレーション可能であることを示した。

また、本課題の検討により、ひび割れがそれほど大きくない範囲(<1.0mm)では、遮蔽性能劣化がほとんど見られず線の測定におけるばらつきの範囲内に収まることを実証した(図に示すパラメータ以外についても同様の結果である)。よって、以下(3)では、遮蔽体が地震力などの外力作用によって生じた比較的大きなひび割れ(損傷)を対象として、それを低減する手法について検討を進めた。

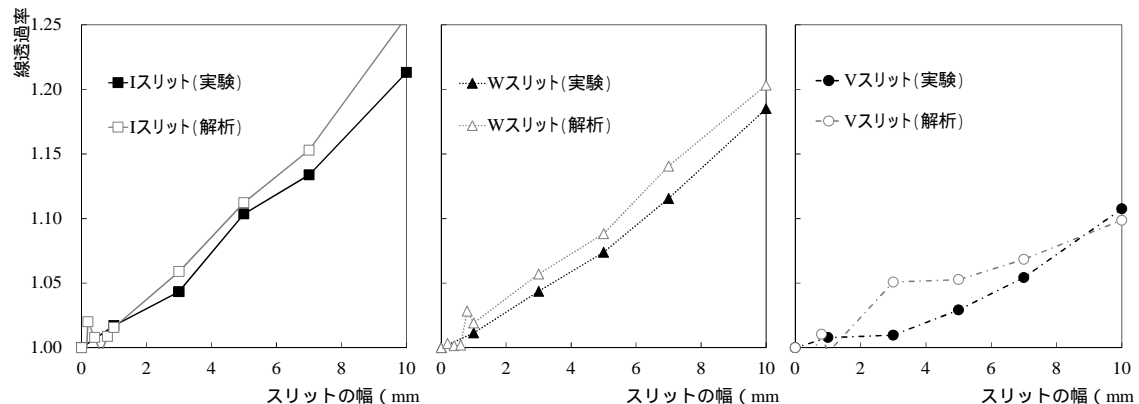


図3 遮蔽体の損傷に対する遮蔽性能劣化に関する結果の一例

(3) 超弾性合金を用いた RC 造部材による損傷制御に関する検討

図 4 に各部材の経験部材角に対するピーク時ひび割れと残留ひび割れの関係を示す。なお、図中の SD-RC が通常の RC 部材、SEA-RC が超弾性合金を配筋した部材である。並びに、SD-FRC 及び SEA-FRC は、更なる損傷制御を目的として、前者 2 種のコンクリートを PVA 繊維 1vol.% 混入の繊維補強コンクリートに代替した試験体である。

通常の RC 部材が降伏性状を示す変形（本実験では部材角 0.75%）を経験した以降で、残留変形及び残留ひび割れ幅に補強筋（普通鉄筋か超弾性合金を用いるか）の違いによる差が明確となることを示した。また、部材の終局変形を想定した部材角 2.0% まで载荷した場合でも、SEA を用いた両試験体は、除荷するのみで 0.5% 未満の残留変形まで変形回復し、それに伴いひび割れ幅を 0.5mm 未満まで閉塞した。よって、当部材は、大変形に至るような過大な外力を受けた後でも、上記(2)で記した過度な線遮蔽性能劣化に至る損傷レベル以下に抑制できる可能性を示した。

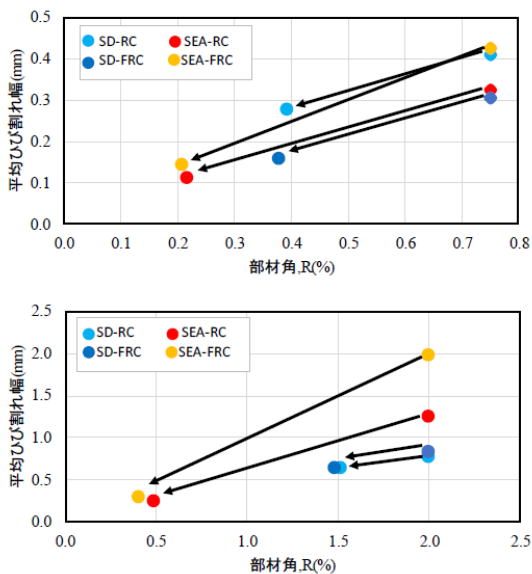


図 4 経験部材角に対するひび割れ幅

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

- 古川敦士, 鈴木裕介, 谷口与史也, PAREEK Sanjay: 超弾性合金及び PVA 繊維補強による自己復元型 RC 梁の構造性能に関する実験, コンクリート工学年次論文集, 掲載決定
- 梅本純也, 鈴木裕介, 谷口与史也, 荒木慶一: 降伏ヒンジ領域に超弾性合金主筋を用いた RC 梁の構造性能に及ぼすせん断補強筋の影響に関する解析検討, コンクリート工学年次論文集, 掲載決定
- 鈴木裕介, 木村健一, PAREEK Sanjay, 荒木慶一: 放射線遮蔽コンクリートのリスク評価体系構築を目指した基礎研究, コンクリート工学, Vol.54, No.9, pp.965-970, 2016

〔学会発表〕(計 5 件)

- 古川敦士, 鈴木裕介, 谷口与史也, 喜瀬純男, PAREEK Sanjay, 荒木慶一: 銅系超弾性合金を用いた自己復元型 RC 梁の構造特性に関する実験研究 - PVA 繊維との併用による変形及び損傷の制御 -, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 発表予定
- 梅本純也, 鈴木裕介, 谷口与史也, 荒木慶一, PAREEK Sanjay: SEA を用いた自己復元型 RC 梁の剛性低下率に及ぼすせん断補強筋の影響, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 発表予定
- 古川敦士, 鈴木裕介, 谷口与史也, 喜瀬純男, PAREEK Sanjay, 荒木慶一: 銅系 SEA 及び PVA 繊維を用いた自己復元型 RC 梁の構造特性に関する実験研究, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 発表予定
- 梅本純也, 鈴木裕介, 谷口与史也: 主筋の一部を SEA に置換した RC 梁の曲げ性状に関する FEM 解析, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造, pp.189-190, 2018
- 梅本純也, 鈴木裕介, 谷口与史也: 超弾性合金の配筋位置でヒンジリロケーションした RC 梁の曲げ性状に関する FEM 解析, 日本建築学会近畿支部研究報告集, pp.533-536, 2018

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称:  
 発明者:  
 権利者:  
 種類:  
 番号:  
 出願年:  
 国内外の別:

取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：  
ローマ字氏名：  
所属研究機関名：  
部局名：  
職名：  
研究者番号（8桁）：

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：  
ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。