

# リサイクル骨材を使用したエコ高密度コンクリートに関する研究

添田 政司<sup>1</sup> 近田 孝夫<sup>2</sup>

1 福岡大学大学院

2 (株)麻生 建設コンサルティング事業部

従来から高密度コンクリートは、放射線の遮蔽効果が高いことが知られており、遮蔽目的の部材に使用されるケースが多かった。しかし、これまでの高密度コンクリートは、骨材として極めて高価な鉄鉱石や砂鉄を用いるなど、高コストになることが適用障壁の一つであった。本研究では、リサイクル骨材を利用したエコでかつ低コストの高密度コンクリートの開発を目的に、その基本物性と放射線遮蔽性能を明らかにした。

## 1. はじめに

一般にコンクリートは、放射線に対する遮蔽能に優れた材料と評価されており、現実にも種々の施設において放射線遮蔽体に利用されている。特にガンマ ( $\gamma$ ) 線の遮蔽性能は、遮蔽体コンクリートの密度と厚さの積にほぼ比例することが知られている<sup>1)</sup>。すなわち厚さが一定であれば、密度が大きくなるほど、その遮蔽効果は増大すると言える。本試験は、骨材として産業副産物であり、かつ通常の骨材よりも密度の大きいスラグ骨材を

用いたコンクリートの放射線遮蔽効果を検証し、“エコ材料を用いた放射線遮蔽用高密度コンクリート”の技術を確立することを目的に対象スラグ骨材コンクリートの基本物性及び放射線遮蔽性能を実験研究したものである。

## 2. 使用材料

コンクリートの製造に使用した各種材料を、表-1 にまとめて示す。

表-1 使用材料一覧

セメント	中庸熟ポルトランドセメント (密度 3.22) : 麻生ファージャ社製
混和剤	高性能AE減水剤グレニウム 6520 : BASF ポリリス社製
普通細骨材	海砂 (玄海沖産 表乾密度 2.57, 吸水率 1.62%)
スラグ細骨材	電気炉酸化スラグ砂 : (株)星野産商製 (JIS 適合品) (表乾密度 3.48, 吸水率 0.82%) 亜鉛製錬スラグ砂 : 三池製錬(株)製 (表乾密度 3.61, 吸水率 0.71%)
普通粗骨材	石灰石碎石 2005 (表乾密度 2.70, 吸水率 0.30%)
スラグ粗骨材	電気炉酸化スラグ 2005 : (株)星野産商製 (JIS 適合品) (表乾密度 3.79, 吸水率 0.62%)

### 3. コンクリート配合条件及び使用骨材の組合せ

#### 3.1 コンクリート配合条件：

水セメント比 (W/C)：3.5%  
目標スランプ：12±2.5cm,  
目標空気量：4±1%

#### 3.2 骨材種別による組合せ

##### ①普通コンクリート記号 SS-LSA

細骨材：海砂，粗骨材：石灰石碎石

##### ②スラグ骨材コンクリート 記号 ESS-ESG

細骨材：電気炉酸化スラグ，粗骨材：電気炉酸化スラグ

##### ③スラグ骨材コンクリート 記号 ZSS-ESA

細骨材：亜鉛製錬スラグ，粗骨材：電気炉酸化スラグ

##### ④混合骨材コンクリート 記号 SS-ESA

細骨材：海砂，粗骨材：電気炉酸化スラグ

##### ⑤混合骨材コンクリート 記号 ESS-LSA

細骨材：電気炉酸化スラグ，粗骨材：石灰石碎石

### 4. 試験項目及び方法

本試験では、各種スラグ骨材コンクリートの基本物性及び放射線遮蔽効果を把握するために、以下の試験を実施した。

① コンクリートの圧縮強度（試験材齢 7 日，28 日，91 日）：試験方法は JISA1108 によった。

#### ② コンクリートの単位容積質量

○フレッシュコンクリートの単位容積質量  
：試験方法は JISA1116 空気量試験の質量方法によった。

○硬化コンクリートの単位容積質量

：試験方法は JASS5N T-602<sup>2)</sup> によった。

#### ③コンクリートの放射線遮蔽性能試験

：試験は放射線作業の専門者（株）アトックスに委託した。

試験条件

・ 供試体：30×30cm 正方形版，版厚 10，30，50cm の 3 種類。

・ 試験前養生：28 日間標準養生後、試験まで約 7 日間気中乾燥保存。

・ 放射線照射条件：

線源は <sup>60</sup>Co 密封線源で放射能は 0.6 PBq。

線源から 210 cm の位置に電離箱を設置し、

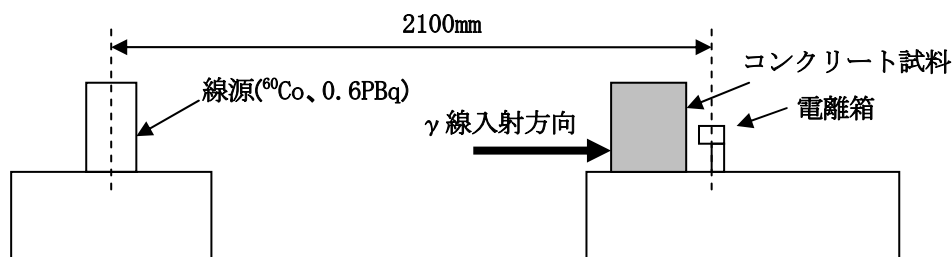
電離箱前方にコンクリート版を設置して、

コンクリート版のある場合と無い場合の

空間線量率を測定、比較することにより、

遮蔽率（または透過率）を算定する。

放射線遮蔽試験の設備概略を図一 1 に示す。



図一 1 放射線遮蔽試験 設備概略図

## 5. 試験結果

各種コンクリートの試験結果をまとめて表一2に示す。なお、混合骨材コンクリートと称した記号SS-ESAおよびESS-LSAについては、版厚 30cm の場合のみ放射線遮蔽能試験を実施した。

コンクリートの版厚と放射線透過率の関係、単位容積質量と放射線透過率の関係を、それぞれ図一2、図一3、に示す。

表 2: 試験結果総括表

配合番号	W/C (%)	s/a (%)	硬化コンクリートの性状						γ線透過率		
			単位容積質量(kg/m <sup>3</sup> )			圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )			γ線透過率(%)		
			フレッシュ時 エアメーター法	配合設計	JASS 5N <sup>※</sup>	材齢 (日)			版厚(cm)		
						7	28	91	10	30	50
SS-LSA S:海砂 G:石灰石	35	43.5	2345	2376	2291	44.2	59.7	76.5	26	5	3
SS-ESA S:海砂 G:電気炉スラグ	35	43.5	2728	2781	2661	51.2	67.9	85.2	-	4	-
ESS-LSA S:電気炉スラグ G:石灰石	35	50.0	-	2764	2613	38.2	50.9	61.9	-	4	-
ESS-ESA S:電気炉スラグ G:電気炉スラグ	35	50.0	3065	3160	2955	49.6	64.1	80.8	19	4	3
ZSS-ESA S:亜鉛スラグ G:電気炉スラグ	35	50.0	3119	3172	3048	50.5	69.0	90.6	19	4	3

※JASS 5N T-602「コンクリートの乾燥単位容積質量促進試験方法」に準拠、いずれの配合も乾燥材齢23日で恒量。

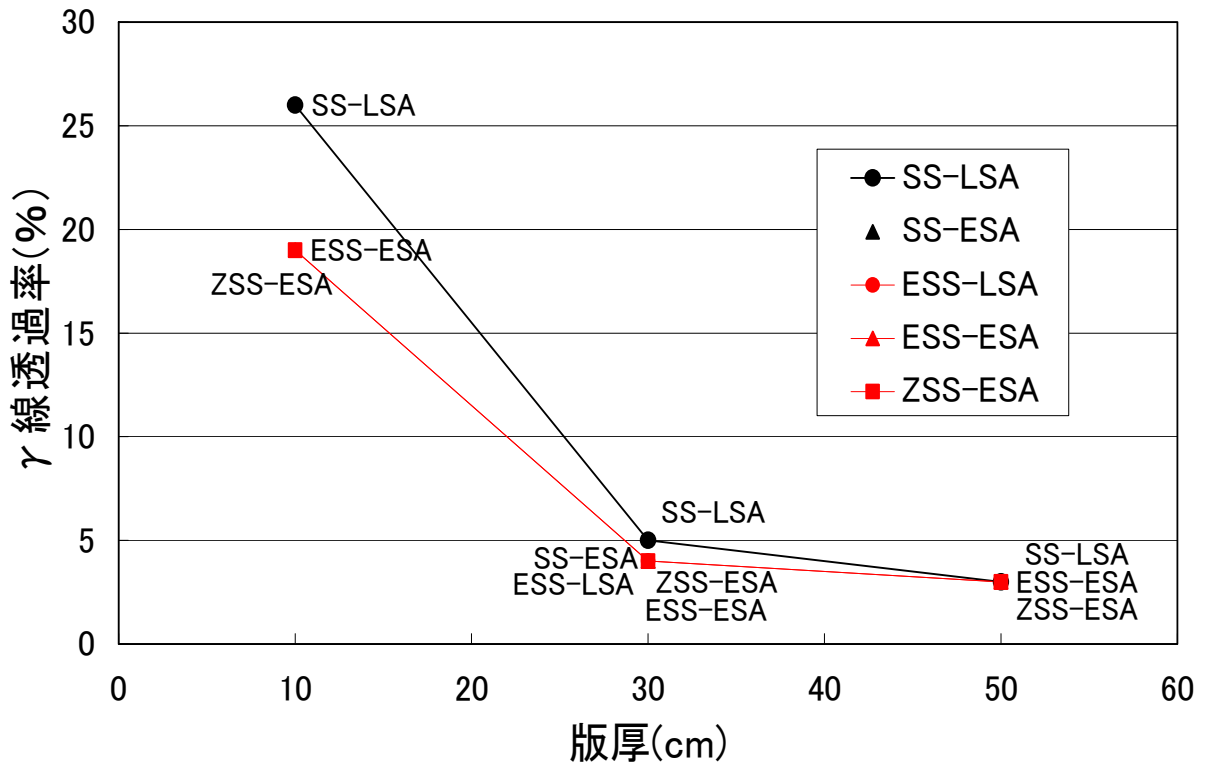


圖-2: 版厚vs.  $\gamma$  線透過率

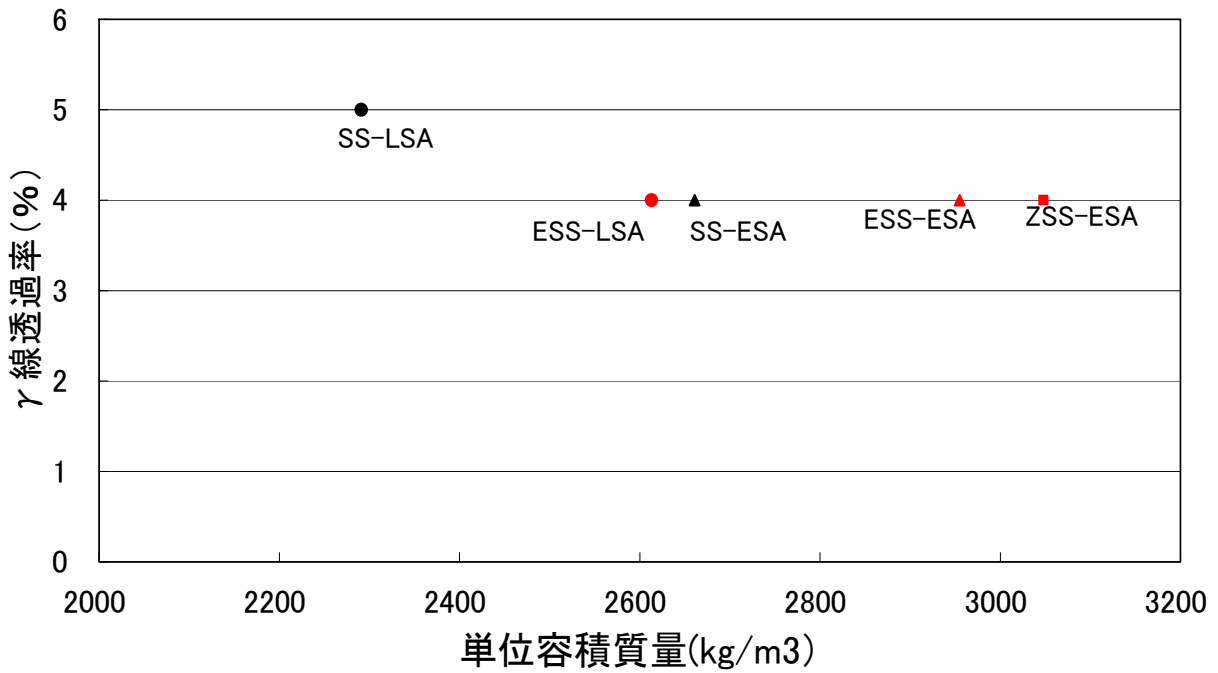


圖-3: 單位容積重量vs.  $\gamma$  線透過率

## 6 考察

以上の試験結果を総合的に考察すると、以下のことが明らかになった。

- ① 本試験に供したコンクリートはいずれも放射線(ガンマ線)遮蔽能が大きいことが実証された。  
特に版厚 30 c m 以上のコンクリートでは、骨材の違いにかかわらずコンクリートは本質的に大きな放射線遮蔽性能を有することが確認された。
- ② 密度の大きいスラグ骨材を用いれば、版厚が 10 c m 程度の薄い場合にも大きな遮蔽効果が得られ、密度の大きいスラグ骨材を使用したコンクリートの優位性が明らかとなった。
- ③ 版厚 30 c m 以上の場合には、いずれの種類のコクリートともに大きな遮蔽効果が得られ、骨材の違いによる遮蔽効果の相違は明確にならなかった。
- ④ 本試験では、密度の大きいスラグ骨材を用いたため、フレッシュ時の分離を抑制したワーカブルなコンクリートとするために、水セメント比が小さく適度な粘性を持たせたペースト部をもつコンクリートの配合を選定した。結果的にはいずれのコンクリートとも低水セメント比となり、密実で高強度のコンクリートとなった。特にスラグ骨材を用いたコンクリートでは、材齢 28 日強度が  $60\text{N/mm}^2$  以上、91 日で  $80\text{N/mm}^2$  以上の高強度が発揮された。
- ⑤ 密度の大きいスラグ骨材を用いたコンクリートでは、上述のように分離を抑制したコンクリートとすることが望ましく、その手段の一つとして低水セメント比のコンクリートにすることが挙げられるが、単位セメント量が過大となり、初期発熱及び収縮性状によるひび割れ発生に不安が生じるため、本試験で用いた中庸熱セメントなどの低発熱タイプで初期水和反応の緩やかなセメントを用いることは有効と思われる。
- ⑥ 今回の試験では、密度の大きいスラグ骨材を用いたコンクリートの放射線遮蔽効果が大きいことは実証されたが、スラグ骨材コンクリートと普通コンクリートとの相違を明らかにし、適切な使用方法を確立していくためには、今後、コンクリート厚さのさらに薄い領域での放射線遮蔽効果について実験検討を進めていき、併せてモルタルによる検証も実施していく必要があると考えられる。
- ⑦ 東北大震災の復旧作業の中で、放射線に汚染された土壌の除染作業は大きな位置付けを持つと考える。除染した土壌の貯蔵庫に用いる遮蔽用コンクリートは大きな容量のものが期待される。そのためにも比較的 low コストの遮蔽用コンクリートのニーズは大きいと考えられる。本件研究で対象とした“エコ高密度コンクリート”の利用価値は大きなものがあると期待される。

## 7. まとめ

本研究結果をまとめると以下のようなものである。

- ① コンクリートは本質的に優れた放射線(γ線)遮蔽性能を有する。
- ② 部材厚の薄いコンクリートで放射線遮蔽効果を得るには高密度コンクリートとすることが有効である。
- ③ 密度の大きい亜鉛スラグや電気炉酸化スラグを骨材に用いると、低コスト高密度コンクリートが得られる可能性が大きい。
- ④ 亜鉛スラグや電気炉酸化スラグは、未だコンクリート用骨材として広く利用されていないのが現状である。今後これらの骨材を有効に

利用した“エコ高密度コンクリート”は、低コストの放射線遮蔽コンクリートとして、大いなるニーズが期待される。

### 参考文献 :

- 1) 日本建築学会建築工事標準仕様書 JASS5  
鉄筋コンクリート工事第 22 節遮蔽用コンクリート
- 2) 日本建築学会建築工事標準仕様書 JASS5N  
原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事