

核廃棄物運搬船用の遮蔽コンクリート

渡部 嗣道 (わたなべ つぐみち)

所属：生活科学研究科 居住環境学専攻

専門分野：建築シナリオデザイン、建築耐久性工学

趣味：家族



東日本大震災によって、福島第一原子力発電所の事故が発生し、多量の放射性物質が発生したことは記憶に新しい。水素爆発の衝撃的な映像は、国内外に放映され、原子炉の容器となるコンクリートが、あたかもポップコーンのように簡単に弾け飛んだ映像は、正直ショックを隠せなかった。小職は、前職としてゼネコン（総合建設業）の研究所で働いており、主にコンクリートの技術開発を行っていた。コンクリートは、放射能の遮蔽性能が高いため、古くから原子炉の容器として適用されている。この場合、通常の建物の壁と比べて、その厚さは圧倒的に大きいことも知られている。小職もそれまでは原子力施設の安全性には何ら疑いを持たなかったが、この事件はこれまでの原子力神話が大きく崩れた事実の一つとなった。



写真1 福島第一原発事故

この場合、通常の建物の壁と比べて、その厚さは圧倒的に大きいことも知られている。小職もそれまでは原子力施設の安全性には何ら疑いを持たなかったが、この事件はこれまでの原子力神話が大きく崩れた事実の一つとなった。

小職も、旧職場にて原子力関係の仕事をほんの僅かであるが行った経験（平成9年ごろ）があるので、その話を以下に記す。

我が国の本格的な原子力船として、「むつ」が唯一有名である。同船は、1969年に進水し、1972年に核燃料が装荷され、1974年に出力上昇試験が太平洋上で開始された。しかし、試験開始早々に放射線漏れが発生し、国内で初めての原子力災害が生じた。ちなみに、同船には、初めて船用遮蔽コンクリートが打設されたと聞いている。

その後、原子力政策は、原子力発電へと進み、それに伴って別用途の船の開発が行われるようになった。原子力発電所では使用済燃料棒の核廃棄物が生じるため、回収されると同時に、保管施設へと運搬される。そこで、海洋運搬を原則とした高レベル核廃棄物の運搬船が必要となる。小職は、その運搬船用のコンクリート遮蔽体の作製に携わることとなった。核廃棄物運搬船としては2隻目であったが、本格的な高レベル核廃棄物用としては、初めての製造であった。

運搬船の概要を図1に示す。運搬船の船倉を囲むように遮蔽コンクリートの遮蔽体が設け

られている。遮蔽体は、船倉隔壁と上甲板（クロスデッキ）とに分けられ、上甲板の開閉によって、核廃棄物が収納される。

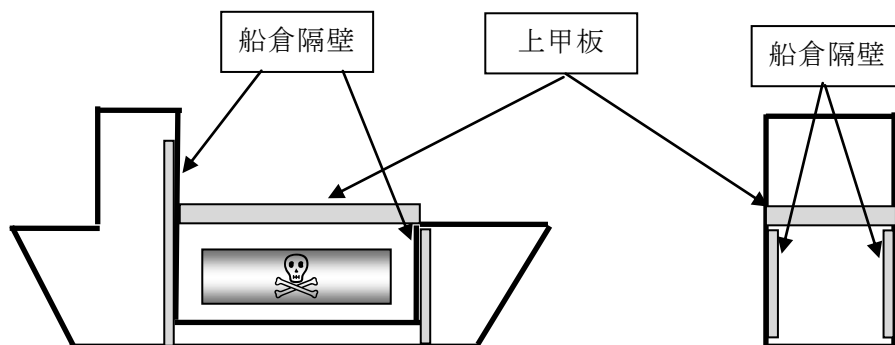


図1 運搬船の遮蔽体構造

表1 要求性能

番号	項目
①	使用済核燃料からの中性子線および γ 線、鉄などからの2次 γ 線、水からの2次 γ 線を遮蔽する。
②	中性子を効果的に遮蔽するという観点から結晶水を含む岩石として、「蛇紋岩」※をコンクリート用骨材として使用する。
③	中性子は僅かな隙間でも漏れ出る（ストリーミング）可能性がある。したがって、有害なひび割れが生じないような対策が必要である。
④	コンクリートの比重は気乾状態でも、放射能の遮蔽性能から、2.15以上とする。ただし、船の許容積載量の観点から、上限を設ける。
⑤	船倉隔壁は、型枠が鉄板構造で水平・垂直桁材・リブ等で構成されているので、コンクリートの充填性・材料分離抵抗性が要求される。
⑥	上甲板（クロスデッキ）部分は、環境条件が特に厳しいため、耐久性（凍結融解抵抗性・耐海水性・低収縮・塩分浸透抵抗性等）が要求される。

※蛇紋岩：水との変成作用によって生成されるために安定した結晶水を有する。そのため、コンクリートの中性子遮蔽性能が良好となる。

その時の遮蔽コンクリートの要求性能は、表1のとおりである。この要求条件を満足するために、いずれのコンクリートとも「蛇紋岩」の骨材を使用し、鉛直部分には充填性の高い「高流動コンクリート」を適用し、外気に接する水平部分には、ひび割れが生じにくく、海上や寒冷地での耐久性を有する「高耐久性コンクリート」を適用した。

高流動コンクリート

通常の建物に使用される一般的なコンクリートは、振動機などを使用して型枠に充填しなければならないが、高流動コンクリートは、そのようなコンクリート工事機器を使用しなくても充填できるように高い流動性を有するコンクリートである。しかし、流動性が増すと、材料分離が生じやすくなるため、その対策が必要となる。その方法は、



写真2 高流動コンクリート

概ね2方法あり、セメントなどの粉体を増量させて粘性を増大する方法と、メチルセルローズなどの増粘剤を添加して同様に粘性を増大させる方法とがある。本コンクリートは前者を選択した。実は、当時の高流動コンクリート技術は、建築材料およびコンクリート材料に関する学協会でも、発展途上であったこともあって、本遮蔽コンクリートの開発には多くの苦労があったことを記憶している。結局、高流動コンクリートの品質を表2のように設定し、コンクリートの調合計画を表3のように立てることとした。

表2 船倉隔壁に使用する高流動コンクリートの品質

	項目	品質
フレックシブル コンクリート	充填性および流動性	・スランプフロー：62.5±7.5cm ・スランプフロー50cm 時間：8±5 秒以下
	材料分離抵抗性	・ブリージング量：0.2cm ³ /cm ² 以下
	塩化物量	・0.2kg/m ³ 以下
硬化 コンクリート	気乾単位容積質量	・2.15t/m ³ 以上、2.30 t/m ³ 以下
	圧縮強度	・24N/mm ²
	気乾全水分量	・9.0w% 以上
	化学成分	・O：45±9w%，Mg：21±4w%，Si：19±4w%，Ca：8±4w%
	凍結融解抵抗性 DF	・DF≥85 (ASTEM 相当)
	乾燥収縮ひずみ ε	・ε ≤6×10 ⁻⁴

表3 高流動コンクリートの調合表

粗骨材最大寸法 (mm)	設計基準強度 (N/mm ²)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	単位容積質量 (kg/m ³)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単水量 (kg/m ³)	セメント量 (kg/m ³)	細骨材量 (kg/m ³)	粗骨材量 (kg/m ³)
20	24	62.5	4.5	2.259	40	48.2	185	463	766	845

高耐久性コンクリート

上甲板クロスデッキ部には、直達日射などの影響によって乾燥条件が厳しくひび割れの恐れとともに、海水の浸透による劣化や凍害などの恐れも考えられるために、日本建築学会「高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針(案)」の品質に準拠したコンクリートとした。そこで、高耐久性コンクリートの品質を表4のように設定し、コンクリートの調合計画を表5のように立てることとした。

以上の2種類のコンクリートを、それぞれ別の場所で打設した。

上甲板における高耐久性コンクリートについては、難なく打設を完了した。しかし、難を

極めたのは、船倉隔壁における高流動コンクリートの打設であった。まず、当初の設計上のミスにより、運搬船の許容積載量が途中で変更となったことであった。そこで、打設コンクリートの単位容積質量を、調合設計の範囲内で低減するために、空気量を割り増し、遮蔽性

表4 上甲板クロスデッキに使用する高耐久性コンクリートの品質

	項目	品質
フレキシブル コンクリート	施工性	・スランプ：18±2.5cm
	材料分離抵抗性	・ブリージング量：0.2cm ³ /cm ² 以下
	塩化物量	・0.2kg/m ³ 以下
硬化 コンクリート	気乾単位容積質量	・2.15t/m ³ 以上、2.30 t/m ³ 以下
	圧縮強度	・24N/mm ²
	気乾全水分量	・9.0w%以上
	化学成分	・O：45±9w%，Mg：21±4w%，Si：19±4w%，Ca：8±4w%
	凍結融解抵抗性 DF	・DF≥85（ASTEM 相当）
	乾燥収縮ひずみ ε	・ε ≤6×10 ⁻⁴
	中性化抵抗性	・20mm 以下（促進中性化試験）
塩分浸透性	・鉄筋のかぶり厚さ以下	

表5 高耐久性コンクリートの調合表

粗骨材最大寸法 (mm)	設計基準強度 (N/mm ²)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位容積質量 (kg/m ³)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m ³)	セメント量 (kg/m ³)	細骨材量 (kg/m ³)	粗骨材量 (kg/m ³)
20	24	20	5.5	2.251	40	44.6	170	395	727	960

※この他、膨張材（酸化カルシウム(膨張性 CaO)を主成分）を混入した。

能上の最低限のコンクリート重量に仕上げた。高流動コンクリートは、流動性が高いために、高い空気量の保持が困難であった。生コン工場での出荷時の調整に苦労したのを記憶している。

また、すでに上甲板は締められていたままであったため、船倉隔壁のコンクリート打設では、フレキシブルホースのみの配管で対応し、地上のポンプ車から、最上階の船長室を通り、階段室から船倉まで、迷路のように配管した。船倉



写真3 高レベル核廃棄物運搬船の例

隔壁は縦に細いセル状になっており、一つ一つ手探りの状態で、設けられた打設用開口部の中にコンクリートを流し込んだのを記憶している。以上のように、やっとのこと苦勞して施工したコンクリート遮蔽体であったが、船の遮蔽性能の検定結果は極めて良好であったと、原子力施設関係者から報告を受けた時には、ほっとした。以上、報告まで。