

銅スラグ細骨材を用いた重量コンクリート遮へい容器の開発その2

技術本部 技術部 加藤卓也
 技術本部 技術研究所 中瀬博一

1. はじめに

福島第一原発の事故により、環境中に放出された放射性物質を一時的に安全に保管するために役立つ技術として、昨年より銅スラグ細骨材を用いた重量コンクリート遮へい容器の開発を進めている。前報では、銅スラグが一般のコンクリート用細骨材と比較して微粒分が少なくなるために生じたモルタルと粗骨材との材料分離を増粘剤や石灰石微粉末により改善した基本配合を報告した。またプレキャスト製品における実大模擬部材の製造実験を行い、施工性および材料分離抵抗性の確認を実施し、銅スラグ細骨材を使用したコンクリートの実用化の可能性を検討した結果を報告した。今回第二ステージとして、耐久性の向上と確保、遮へい性能の確認、耐衝撃抵抗性の確認等を実施した。本稿ではこの第二ステージで実施した研究成果について報告する。

2. 耐久性の向上と確保

前報で報告した増粘剤混入型の高性能減水剤を使用した配合(SP4-LS2-AE 空気量 4.5%)にて実施した水中凍結融解試験では、300 サイクル終了時での相対動弾性係数が 87%となった。一般に 60%以上で耐凍害性に優れているとされているが、製作時の空気量のバラツキにより、耐凍害性を満足できない場合が発生する可能性が懸念される。よって、気泡間隔係数試験を実施し、耐凍害性に対する改善の余地について考察した。前報の配合で試験した気泡間隔係数を図-1 に示す。相対動弾性係数が 87%という結果を得られたが、気泡間隔係数は凍結融解抵抗性に優れたコンクリートと言われる値である 200~250 μm を大きく上回る 622 μm となった。本試験で耐凍害性を満足した理由は、コンクリート強度が大きく、水分の凍結による膨張圧に抵抗するポテンシャルを有していたことが主な原因と考えられる。今回はさらに安定した耐凍害性性能を確保するために、AE 剤の添加量を 6.0%に増加させ改善を試みた。改善した配合(SP4-LS2-6.0)の気泡間隔係数を図-2 に示す。気泡間隔係数が 375 μm 、300 サイクル終了時での相対動弾性係数が 98%となり、耐凍害性の向上が認められた。決定した銅スラグコンクリートの示方配合を表-1 に示す。

3. 遮へい性能の確認

3.1 計算による遮へい性能の評価

銅スラグコンクリートを用いた、高濃度の放射能廃棄物を保管する遮へい容器の内側寸法は、現在多くの放射能廃棄物がトンバック（フレキシブルコンテナバック）に収納されていること、ハンドリング等を鑑みた場合の合理性より、トンバックが一つ収まる幅 1.2m \times 1.2m、高さ 1.1m と仮定した。

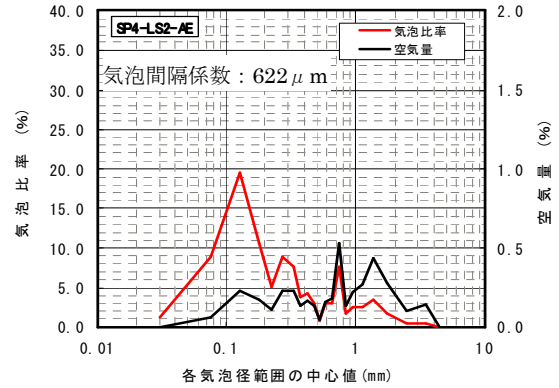


図-1 気泡径と気泡比率(SP4-LS2-AE)

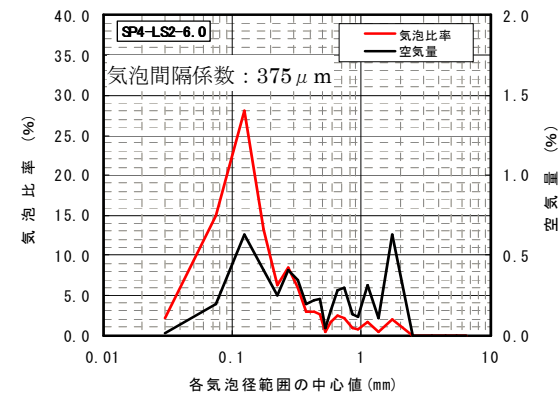


図-2 気泡径と気泡比率(SP4-LS2-6.0)

表-1 銅スラグコンクリートの示方配合

| 配合名 | W/C (%) | s/a (%) | Air (%) | 単位置 (kg/m ³) | | | | SP (C \times %) | AE (C \times %) | 単位容積質量(kg/m ³) | |
|-------------|---------|---------|---------|--------------------------|-----|-----|------|-------------------|-------------------|----------------------------|------|
| | | | | W | C | LS2 | CUS | | | | G |
| SP4-LS2-AE | 36 | 55 | 4.5 | 155 | 431 | 98 | 1155 | 871 | 1.1 | 0.025 | 2710 |
| SP4-LS2-6.0 | 36 | 55 | 6 | 155 | 431 | 96 | 1129 | 851 | 1.1 | 0.04 | 2662 |

| 材料 | 記号 | 仕様・備考 |
|--------------|-----|--|
| 早強ポルトランドセメント | C | 密度3.14g/cm ³ 、比表面積4410cm ² /g |
| 石灰石微粉末 | L2 | 宮城県産、密度2.70g/cm ³ 、比表面積3600cm ² /g |
| 銅スラグ細骨材 | CUS | 福島県産、表乾密度3.52g/cm ³ 、F.M.3.16、JIS粒度区分5~0.3mm |
| 砕石 | G | 岩手県産、表乾密度2.92g/cm ³ |
| 高性能減水剤 | SP3 | ポリカルボン酸系(増粘剤混入型、消泡効果型) |
| AE剤 | AE | アニオン系界面活性剤 |

部材厚さをパラメーターとした放射能廃棄物濃度の限界値は、実効線量率（人体が放射線を受けたときの影響の尺度）を計算することにより確認した。その際、普通のコンクリートにおける実効線量率も計算し、銅スラグコンクリートとの遮へい性能の比較を行った。実効線量率の計算結果を表-2 に示す。また、図-3 はこの計算結果をもう少し判り易く表現するために、容器内に線源強度が 300 億 Bq/容器のセシウムで汚染された放射能廃棄物を収納したと仮定し、容器表面から 1m 離れた距離での線量を示した図である。放射性同位元素等車両

表-2 コンクリート遮へい容器周辺の線量評価

| 容器の遮へい材 材質 厚み(cm) | 評価点 | 実効線量率 (μ Sv/h) | |
|----------------------|-----------|------------------------|---------|
| 無し | 側面表面 | 6.4E-08 | |
| | 側面表面から1m | 8.8E-09 | |
| | 側面表面から10m | 1.3E-10 | |
| 普通 コンクリート | 10 | 側面表面 | 9.9E-09 |
| | | 側面表面から1m | 2.9E-09 |
| | | 側面表面から10m | 5.0E-11 |
| | 20 | 側面表面 | 1.9E-09 |
| | | 側面表面から1m | 7.5E-10 |
| | | 側面表面から10m | 1.5E-11 |
| 銅スラグ コンクリート | 10 | 側面表面 | 7.7E-09 |
| | | 側面表面から1m | 2.5E-09 |
| | | 側面表面から10m | 4.2E-11 |
| | 20 | 側面表面 | 1.2E-09 |
| | | 側面表面から1m | 5.0E-10 |
| | | 側面表面から10m | 1.0E-11 |

注) 線源強度は全て Cs-137 : 1Bq/容器 (662keV γ 線 : 0.851photons/sec/容器)
線源物質は焼却灰 (SiO₂, 1.6g/cm³) 使用した計算コードは QAD-CGGP2R

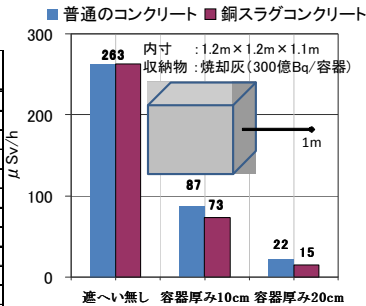


図-3 容器表面から 1m での実効線量理論値



写真-2 容器にトンバックを収納



写真-3 衝撃実験状況

5. 耐衝撃抵抗性の確認

今回想定した容器は、仮置き場からの移動等、運搬を想定し大きさを決めた。運搬時には交通事故等のリスクが存在するため、交通事故等を想定した

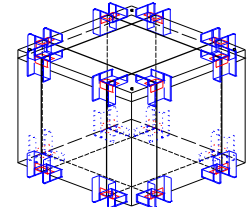


図-5 溝型鋼による蓋部の補強

衝撃実験を実施した。実験方法は、国際原子力機関 (IAEA) の輸送物の実験方法に準拠し、提案する容器の用途は、A 型輸送物または IP-2 型輸送物に該当すると考え、高さ 1.2m から容器にとって不利となる状況で自由落下させる方法とした。実験状況を写真-3 に示す。容器内に 1t の汚染物質を想定した砂を収納し、容器の角から自由落下させた。容器角部の 1 辺 15cm 程度の範囲のかぶり部分が砕けたが、砕けることにより衝撃エネルギーが吸収され、容器本体にひび割れが入ることは無かった。評価指標は、試験の前後で容器の外側の線量が変化しないことを確認することとなっているが、放射性物質をあつかって実験をすることは、安全性より一般の場所では許されないため、線量測定による判断は難しい。しかし貫通ひび割れが発生してないことにより、今回想定した容器の大きさの場合、部材厚が 10cm あれば十分な耐衝撃抵抗性能があることが認められた。また蓋については、四隅のアンカーボルトとコンクリートのせん断キーだけでは衝撃に耐えられないため、運搬時は溝型鋼を加工した治具等を用いることにより、落下時の緩衝装置とするのが良いと考えられる。図-5 に蓋部の補強方法案を示す。

6. まとめ

今回開発した銅スラグコンクリート遮へい容器は、岩手県のホットスポットの除染工事により収集された放射能廃棄物の仮保管容器として第 1 号が採用された。今後この遮へい容器を活用することで、放射性廃棄物の処理が加速され、被災地の復興の一助となれば幸いである。

Key Words: 銅スラグ, 気泡間隔, 遮へい性能, 耐衝撃性



加藤卓也



中瀬博一



写真-1 遮へい性能確認実験状況

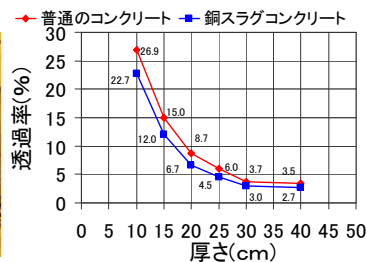


図-4 遮へい性能確認実験結果

運搬規則によると、運搬時の線量限度は車両表面から 1m 離れた位置で 100 μ Sv/h 以下という環境基準が示されている。よって、今回仮定した放射能廃棄物の場合、部材厚が 10cm で環境基準を満足できることが判る。また先に仮定した 300 億 Bq/容器の質量が 1t とすると 3000 万 Bq/kg となり、除染に関する放射能廃棄物を収納するにあたって、部材厚 10cm で十分な性能があると言える。

3.2 実験による遮へい性能の確認

銅スラグコンクリートの放射線遮へい性能実験については、同厚の普通のコンクリートの遮へい性能と比較することにより確認した。コバルト 60 線源による放射線 (γ 線) の照射施設を利用して、銅スラグコンクリート(比重 2.7/m³)と、普通のコンクリート(比重 2.3t/m³)の遮へい性能を比較する実験を行った。写真-1 に実験状況、図-4 に放射線の透過率を比較した実験結果を示す。

4. 容器を試作して得られた今後の課題

外形寸法 1.4m×1.4m 高さ 1.3m 厚さ 10cm 質量約 2.8t の容器を試作し、製作やハンドリング等における留意点の洗い出しを行った。試作した容器を写真-2 に示す。試作により得られた今後の課題とその対策を列記する。

- 1) 容器側面の表面付近に気泡が多く存在した。今後の対策は再振動を与える、消泡剤を使用する、気泡除去パイプレーターの使用等が考えられる。
- 2) 脱枠時に容器底面中心から四隅へ向けて幅 0.05mm 程度の目視で見つけることが困難な微細なひび割れが表面に発生した。その対策は脱枠時に容器底面に大きな力が作用したためと考えられたことから、脱枠方法、型枠構造、テーパ形状変更などが考えられる。