

銅スラグを用いた超硬練り重量セメント硬化体の試験施工

ハザマ 土木事業本部 ダム統括部 正会員 ○秋田真良
 国土交通省九州地方整備局 北九州港湾空港工事事務所 非会員 東 俊夫
 ハザマ 九州支店 新若戸作業所 正会員 江口正勝
 ハザマ 技術環境本部 技術研究所 正会員 村上祐治

1.はじめに

港湾構造物などでは、揚圧力に対抗するためにコンクリートなどの浮き上がり防止材料を大量に使用し、コスト、施工、工期に影響を与えている場合がある。ここで、質量の重い材料を使用できれば、構造物の形状を簡素化できるが、施工に先だってミキサやポンプの改造、機械の開発などが必要となる。そこで、セメントと骨材をバックホウで練り混ぜる方法¹⁾や、超硬練りにしてブルドーザや振動ローラで締固める方法を用いることが考えられる。ここでは、銅スラグと鉄精鉱を用いた重量セメント硬化体の室内試験および試験施工の結果を報告する。

2.室内試験

使用材料の物理試験結果を表-1に示す。銅スラグは、銅精鉱を炉で熔融、分離した熔融スラグを高圧水で水砕したものである。最大粒径は5mm、粒径0.5mm以下は全体の10%程度であり、微粒分の不足が予想されたため、最大

粒径が0.1mmである微粉の鉄精鉱を混合することとした。鉄精鉱は、通常セメント中の鉄分として使用され、銅の精錬過程で生じる鉄分を固化シミルによって微粉碎した材料である。試験には銅スラグおよび鉄精鉱を骨材として用い、セメントには高炉セメントB種を使用することとした。以上の材料に水を加えた混合物は、水和反応に起因した硬化体であること、および使用する骨材の密度が比較的大きいことから、ここでは重量セメント硬化体と呼称する。

単位容積質量が大きくなる銅スラグと鉄精鉱の混合率を確認する目的で、質量比を70:30から55:45まで変化させて突固めによる締固め試験（JIS A 1210:1999）を行った。含水比と湿潤密度の関係を図-1に示す。混合率が60:40と65:35の場合で密度が大きくなり、最大湿潤密度は3,100kg/m³であった。さらに、含水比が変動しても密度の変動が小さいことから、混合率60:40を以後の試験に採用した。

試験ケースと配合を表-2に示す。単位水量は最適含水比を含み、単位骨材量の6~9%まで変化させ、単位セメント量はCSG工法の施工事例を参考に単位骨材量の約3%とし、鉄精鉱の一部と置換した。配合上の骨材の含水状態は銅スラグが表乾状態、鉄精鉱が絶乾状態とする。ケース2は長期材齢での強度を確認するために材齢91日を採用した。供試体はφ50×100mmとし、各材齢で2本採取した。養生は20℃恒温室で封緘養生を行った。

単位水量と湿潤密度、締固め率および圧縮強度の関係を図-2に示す。湿潤密度は単位水量239 kg/m³（ケース4）で最大となり3,080~3,100 kg/m³、材齢28日の圧

表-1 使用材料の物理試験結果

| 項目 | 密度 (g/cm ³) | | 吸水率 (%) | 単位容積質量 (g/cm ³) | 実績率 (%) |
|------|-------------------------|------------|---------|-----------------------------|---------|
| | 絶乾状態 | 表乾状態 | | | |
| | JIS A 1202 | JIS A 1109 | | | |
| セメント | 3.04 | — | — | — | — |
| 銅スラグ | 3.562 | 3.573 | 0.3 | 2.06 | 57.7 |
| 鉄精鉱 | 4.207 | — | — | 2.14 | 50.9 |

—△— 銅スラグ:鉄精鉱=70:30
 —×— 銅スラグ:鉄精鉱=65:35
 —○— 銅スラグ:鉄精鉱=60:40
 —□— 銅スラグ:鉄精鉱=55:45

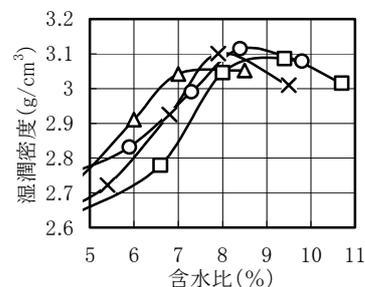


図-1 含水比と湿潤密度の関係

表-2 重量セメント硬化体に関する試験ケースおよび配合

| 試験ケース | 含水比 W/(SCU+SF) (%) | 水セメント比 W/C (%) | 単位量 (kg/m ³) | | | | 理論密度 (kg/m ³) |
|--------|--------------------|----------------|--------------------------|--------|----------|--------|---------------------------|
| | | | 水 W | セメント C | 銅スラグ SCU | 鉄精鉱 SF | |
| Case 1 | 6.0 | 195 | 177 | 91 | 1826 | 1126 | 3220 |
| Case 2 | 7.0 | 226 | 201 | 89 | 1775 | 1095 | 3159 |
| Case 3 | 8.0 | 259 | 223 | 86 | 1724 | 1063 | 3096 |
| Case 4 | 8.77 | 285 | 239 | 84 | 1685 | 1039 | 3047 |
| Case 5 | 9.0 | 289 | 243 | 84 | 1675 | 1033 | 3035 |

キーワード：超硬練り、重量セメント硬化体、銅スラグ、鉄精鉱、振動ローラ、ブルドーザ

連絡先：〒107-8658 東京都港区北青山2-5-8 ハザマ土木事業本部ダム統括部 TEL 03-3405-1153

縮強度は単位水量 223 kg/m³（ケース 3）で最大となり 2.6N/mm²であった。湿潤密度と圧縮強度のピークにずれが生じているのは、水セメント比がケース 4 よりケース 3 の方が小さいためである。

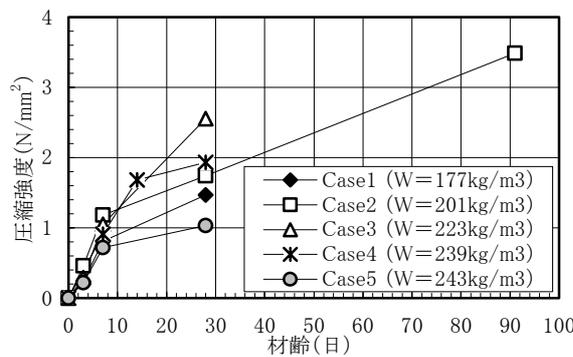


図-3 圧縮強度の履歴

圧縮強度の履歴を図-3 に示す。ケース 2 の 91 日材齢の

圧縮強度は 28 日材齢の 2 倍となっている。これは二酸化けい素 (SiO₂) が銅スラグの成分中に 32%，鉄精鉱に 20%存在しており，これが水酸化カルシウム (Ca(OH)₂) とポゾラン反応しているためと考えられる。

3.試験施工

RCD用コンクリートでは，室内試験で得られた最大密度を示す単位水量で施工した場合，含水比が高いために，締固めエネルギーの大きい振動ローラでは施工が困難となる。そこで単位水量を減少させて示方配合を設定している。例えば，竜門ダムでは 30kg/m³減少しており²⁾，本試験でも室内試験で得た単位水量 239 kg/m³よりも同程度減少させた。試験施工での配合を表-3に示す。

製造は，骨材を 10t ダンプトラックで運搬，トラックスケールで計量，混合ヤードでセメントを加え 0.7m³級バックホウにて 30 分間混合（空練り）した後，さらに所定の水を加え 30 分間混合（本練り）した。打込みは 7 t 級ブルドーザ（接地圧 13.7kPa）で敷均し，10 t 級振動ローラ（起振力 232kN，最大振動数 30Hz）にて締固めた。層厚は 40cm とし，2 回の無振動，8 回の振動転圧を行った。施工状況を写真-1，2 に示す。

RCD用コンクリートを参考にしたコア評価基準と写真の一例を表-4 に示す。

評価は 5cm 毎に行い，その平均を対象コアの評価点とした。コアは全長にわたって密実であり，評価点は 4.56 であった。

4.おわりに

室内試験では湿潤密度 3,100 kg/m³，材齢 28 日での圧縮強度 2.6N/mm²および長期強度の増進を，試験施工ではバックホウによる混合，振動ローラによる転圧が可能であることを確認できた。銅スラグを用いた重量セメント硬化体はコンクリートに代わる浮き上がり防止材料の一つとしてその可能性を示した。

【参考文献】

- 1) 国峯紀彦 他：堤体掘削材料を利用したCSG工法の施工手法の確立，土木学会第 54 回年次学術講演会，1999.9.
- 2) (財)ダム技術センター：改定コンクリートダムの細部技術，p.56，1992.3.

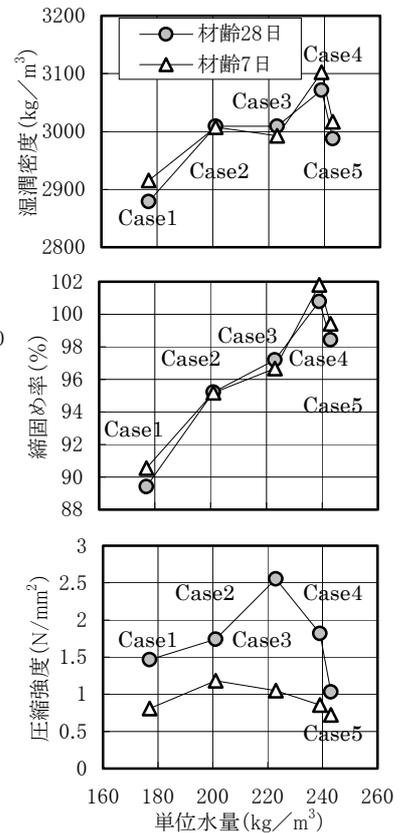


図-2 単位水量と湿潤密度，締固め率，圧縮強度の関係

表-3 試験施工に用いた重量セメント硬化体の配合

| 項目 | 水セメント比 W/C(%) | 単位量(kg/m ³) | | | | 理論密度 (kg/m ³) |
|------------------------|---------------|-------------------------|------|-------|-------|---------------------------|
| | | 水 | セメント | 銅スラグ | 鉄精鉱 | |
| 銅スラグ:鉄精鉱:セメント =60:37:3 | 233 | 205 | 88 | 1,758 | 1,084 | 3,135 |



写真-1 練混ぜ状況



写真-2 締固め状況

表-4 コア評価基準およびコア写真

| 区分 | コアの外観評価 | 評価点 |
|-------|---------------------------------|-----|
| 良好 | 通常のモルタル硬化体と比べて遜色がない部分 | 5 |
| ほぼ良好 | 表面がややポーラスな部分，銅スラグや鉄精鉱が少し現れている部分 | 4 |
| やや良好 | 表面がポーラスな部分，モルタルがやや剥け落ちている部分 | 3 |
| 不良 | モルタルが充分に行きわたらず，豆板状になっている部分 | 2 |
| 極めて不良 | モルタルが大きく欠損していて，コアの外観を全く呈していない部分 | 1 |

