

銅スラグ混入コンクリートの諸性質に及ぼす細骨材種類の影響

香川高等専門学校専攻科 学生会員 ○藤原敬也
 香川高等専門学校 正会員 水越睦視
 香川高等専門学校 非会員 松原三郎
 香川高等専門学校 非会員 川上元大

1. はじめに

わが国はコンクリート用細骨材を海砂に依存してきたことから、海砂の採取規制・禁止区域の拡大は生コンクリート業界にとって深刻な問題である。香川県内においても 2005 年の海砂採取禁止を受け、細骨材としての砕砂の使用が増加している。その一方で、海砂の使用割合も依然として高く、砕砂や山砂の単体使用では、コンクリートの品質が安定せず、砕砂および山砂に 30% 程度の海砂を混合し使用しているのが現状である。また、産業副産物である銅スラグは、四国地区では年間 80 万トンも発生しており、コンクリート用細骨材として JIS A 5011-3「コンクリート用スラブ骨材-第 3 部：銅スラグ骨材(CUS)」に規格化されたものの有効利用は画期的に進んではいない。そこで、本研究では海砂代替として、銅スラグの使用を検討した。ベースの細骨材として山砂と海砂を 7:3 で混合した砂(混合砂)を使用した場合の CUS 置換率とコンクリートの諸性質については既に報告している。今回は、ベース細骨材に砕砂を選定し、砕砂に対する CUS 置換率を 30%、50%、70%と変化させ、既往の混合砂の報告と比較し、CUS 混入コンクリートの基礎的性状に及ぼすベース細骨材の種類と CUS 置換率の影響を明らかにした。

2. 実験概要

2.1 使用材料

実験に使用した材料を表-1 に示す。銅スラグ細骨材は、JIS A 5001-3 に規定されている粒の大きさが 2.5mm 以下の CUS2.5 を使用した。図-1 に示す今回実施したふるい分け試験の結果では、CUS2.5 は 0.6mm 以下の粒径分が少なく JIS の規定を満たさなかった。砕砂は単体使用でも標準粒度内にあり、混合砂(山砂:海砂=7:3)の粒度分布に近い値である。混合砂の粗粒率(FM.)は 2.73 である。FM.は砕砂の方が山砂よりも小さく、全体的に骨材は砕砂の方が細かいといえる。今回使用した砕砂を CUS2.5 と混合して用いることで、山砂との混合使用よりもブリーディングを抑制できる可能性があるものと思われる。

表-1 使用材料

| 使用材料 | 物性等 | |
|---------------|---|---------------|
| セメント (C) | 普通ポルトランドセメント 密度 3.15g/cm ³ | |
| 粗砂 (S1) | 山砂 表乾密度 2.54g/cm ³ F.M. 3.08 吸水率 2.40% | |
| 細砂 (S2) | 海砂 表乾密度 2.56g/cm ³ F.M. 1.90 吸水率 2.00% | |
| 砕砂 (S3) | 砕砂 表乾密度 2.60g/cm ³ F.M. 2.63 吸水率 1.74% | |
| 銅スラグ (CUS2.5) | 表乾密度 3.57g/cm ³ F.M. 2.73 吸水率 0.37% | |
| 粗骨材 (G1) | 表乾密度 2.60g/cm ³ FM 6.66 最大寸法 20mm 吸水率 1.45% | |
| 粗骨材 (G2) | 表乾密度 2.62g/cm ³ FM 6.75 最大寸法 20mm 吸水率 1.74% | |
| 混和剤 | (AE減水剤1) | リグニンスルホン酸系 |
| | (AE減水剤2) | ポリカルボン酸系 |
| | (AE剤) | 変性アルキルカルボン系 |
| | (消泡剤) | ポリアルキレングリコール系 |

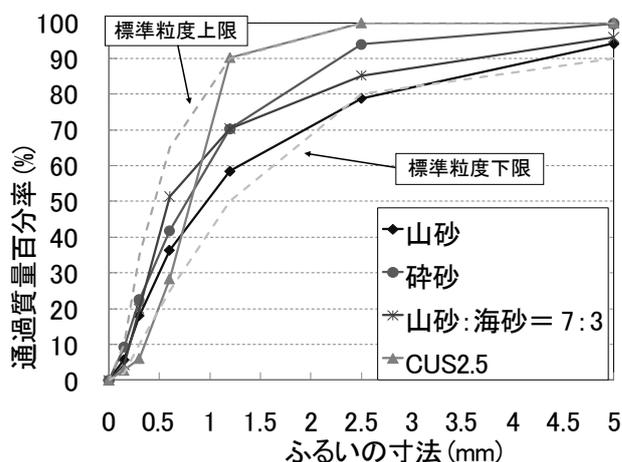


図-1 ふるい分け試験結果

2.2 配合

コンクリートの示方配合を表-3 に示す。示方配合は No.1 配合を基本配合とし、目標スランプ 8±2cm、目標空気量 4.5±1.5% を満たすように、W/C=55% 一定で単位水量、最適 s/a を配合試験により決定した。CUS 混入配合及び砕砂使用配合の最適 s/a は、No.1 配合を基準に細骨材の粗粒率による補正を行い求めた。砕砂を使用する場合、AE 減水剤は単位水量の低減とコンクリートの状態改善を期待してリグニンスルホン酸系よりも粘性を付与できるポリカルボン酸系を用いた。

2.3 試験項目

フレッシュ性状としてスランプ、空気量、ブリーディング、凝結、硬化性状として圧縮強度、静弾性係数の各種試験を環境温度 20°C で実施した。

表-3 コンクリートの示方配合

| No. | W/C (%) | s/a (%) | CUS 置換率 (%) | 単位量(kg/m ³) | | | | | | | C × (%) ^{*)} | | | |
|-----|---------|---------|-------------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|--------|------|-----------------------|---------|---------|------|
| | | | | W | C | S1 | S2 | S3 | CUS2.5 | G1 | G2 | AE 減水剤1 | AE 減水剤2 | 助剤 |
| 1 | 44.0 | 0 | 0 | 167 | 304 | 541 | 234 | - | - | 1007 | - | 0.25 | - | 1A |
| 2 | 43.3 | 30 | 30 | 167 | 304 | 532 | - | - | 321 | 1020 | - | 0.25 | - | 0 |
| 3 | 42.9 | 50 | 50 | 167 | 304 | 377 | - | - | 530 | 1027 | - | 0.25 | - | 1T |
| 4 | 42.6 | 70 | 70 | 167 | 304 | 225 | - | - | 736 | 1032 | - | 0.25 | - | 1.5T |
| 5 | 42.0 | 100 | 100 | 167 | 304 | 0 | - | - | 1037 | 1043 | - | 0.25 | - | 2T |
| 6 | 44.0 | 0 | 0 | 165 | 300 | - | - | 795 | - | - | 1018 | - | 0.7 | 0 |
| 7 | 41.7 | 30 | 30 | 165 | 300 | - | - | 527 | - | - | 1061 | - | 0.7 | 1A |
| 8 | 41.8 | 50 | 50 | 165 | 300 | - | - | 378 | - | - | 1060 | - | 0.7 | 0 |
| 9 | 41.9 | 70 | 70 | 165 | 300 | - | - | 227 | - | - | 1058 | - | 0.7 | 1A |
| 10 | 42.0 | 100 | 100 | 165 | 300 | - | - | 0 | - | - | 1055 | - | 0.7 | 2T |

*)A:AE剤、T:消泡剤を使用
1A=1T=C×0.003(%)

3. 結果および考察

3.1 フレッシュコンクリートの性質

フレッシュコンクリートの試験結果を表-4 に示す。ブリーディング、凝結時間ともに細骨材の種類に関わらず CUS 置換率の増加に伴い増大する傾向がみられた。ブリーディングは、ベース骨材を砕砂にすると、山砂の場合に比べて CUS 置換率 30%までは低減されることが確認できた。これは 0.15mm 以下の骨材細粒分量がブリーディング量の増加に影響を及ぼすため、山砂より微粒分が多い砕砂を使用したことによる効果であると考えられる。しかし、CUS 置換率が 50%以上になると砕砂では山砂の場合よりもむしろブリーディング量は増加し、ベース細骨材を砕砂にしても効果が得られなかった。凝結時間についても、CUS 置換率 30%までは始発、終結ともに CUS 無混入配合(N 配合)に対して 30 分程度の遅延しか認められないが、CUS 混入率 50%以上になると、特に砕砂を用いた場合で遅延が顕著となった。山砂を用いた場合、始発、終結ともに 1 時間以内の遅延であったが、砕砂を用いた場合は、最大で 3 時間まで遅れることがわかった。この原因として、砕砂を用いた配合と山砂を用いた配合では、AE 減水剤の種類と添加量が異なるため、混和剤の影響も考えたが、N 配合では凝結時間に差はなく、原因を特定することはできなかった。

3.2 硬化コンクリートの性質

圧縮強度および弾性係数の経時変化を図-3 に示す。山砂を使用した場合、N 配合に比べ CUS 置換率 50%までは材齢に関係なく圧縮強度に差はほとんどみられなかった。CUS 置換率 70%以上になると 7 日強度は低下するものの材齢の経過に伴い強度発現は良好となり材齢 28 日以降では N 配合と同程度の強度となった。砕砂を用いた場合でも、強度増進は CUS 置換率 50%までは山砂の場合と同様の傾向がみられた。しかし、CUS 置換率 70%では強度が低かった。これは、空気量

表-4 フレッシュ試験結果

| No. | CUS 置換率 (%) | スランブ (cm) | 空気量 (%) | 練上り温度 (°C) | ブリーディング | | 凝結時間 | |
|-----|-------------|-----------|---------|------------|---------|---------------------------------------|----------|----------|
| | | | | | 率 (%) | 量 (cm ³ /cm ²) | 始発 (時-分) | 終結 (時-分) |
| 1 | 0 | 7.5 | 4.3 | 22.5 | 3.33 | 0.15 | 5-50 | 7-30 |
| 2 | 30 | 6.9 | 3.5 | 21.2 | 7.05 | 0.30 | 6-00 | 7-50 |
| 3 | 50 | 9.9 | 3.9 | 21.3 | 10.8 | 0.46 | 5-40 | 7-30 |
| 4 | 70 | 8.7 | 3.8 | 21.1 | 12.1 | 0.53 | 6-30 | 8-30 |
| 5 | 100 | 4.6 | 4.0 | 21.2 | 12.3 | 0.53 | 6-30 | 8-00 |
| 6 | 0 | 11.5 | 3.8 | 22.2 | 3.25 | 0.14 | 5-20 | 7-40 |
| 7 | 30 | 8.3 | 3.3 | 20.3 | 4.35 | 0.19 | 6-00 | 8-10 |
| 8 | 50 | 11.4 | 3.0 | 20.2 | 14.0 | 0.59 | 7-00 | 9-00 |
| 9 | 70 | 11.4 | 5.6 | 17.4 | 14.6 | 0.60 | 8-20 | 10-40 |
| 10 | 100 | 4.5 | 3.0 | 20.9 | 11.7 | 0.49 | 7-10 | 9-50 |

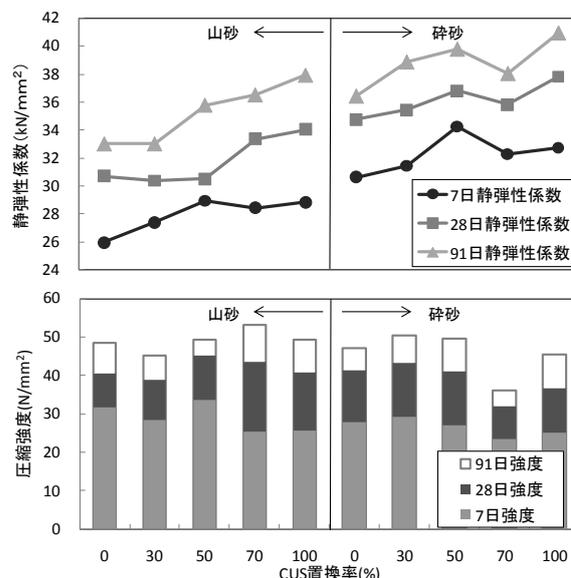


図-2 圧縮強度および静弾性係数

が 5.6%と多かったためであると考えられる。ベース細骨材の違いが圧縮強度に及ぼす影響は小さいといえる。静弾性係数は、ベース細骨材の種類に関わらず密度の大きい CUS の置換率が增大するに伴い大きくなる傾向を示し、砕砂を用いた場合の方が山砂の場合よりも大きくなることがわかった。

4.まとめ

ベース細骨材として砕砂を CUS 混入コンクリートに用いることで、CUS 置換率 30%以内ではブリーディングの低減が認められた。しかし、CUS 置換率 50%以上ではブリーディング、凝結時間に課題が確認された。