

産業副産物を使用した高密度コンクリートについて

りんかい日産建設(株) 技術研究所

五味 信 治

概 要 高密度コンクリートは、普通コンクリートの主材料である砂や砂利等の骨材の代わりに、銅の精錬過程から得られる銅水砕スラグと電気炉製鋼過程で得られる電気炉酸化スラグを使用した環境負荷抑制型のコンクリートである。当社は、これまで産業副産物として処理されてきた銅水砕スラグと電気炉酸化スラグの有効利用を可能にする新硬化体の開発に取り組んできた。そして、配合調整と混和材および混和剤の改良によりスラグ骨材の持つ特異な材料的性質を改善し、環境負荷抑制型の高密度コンクリートを実用化した。

キーワード：高密度コンクリート、産業副産物、銅水砕スラグ、電気炉酸化スラグ

1. はじめに

高密度コンクリートは、産業副産物の銅水砕スラグと電気炉酸化スラグを使用した環境負荷抑制型のコンクリートである。これらのスラグは、銅の精錬過程や電気炉製鋼過程で得られ、絶乾比重が 3.2~4.2 と高密度で重い。高密度コンクリートの用途には、浮力の影響を受ける港湾構造物のブロック類、橋座などの基礎コンクリート、転倒などの安定性を検討する必要がある砂防ダム、放射線等の遮蔽コンクリート、カウンターウエイトの必要な建築物の基礎などがある。高密度骨材は、従来鉄鉱石やカンラン石等天然骨材が使用されてきたが、天然資源の枯渇、資源の有効利用が叫ばれている今、代替骨材の検討が必要である。この開発の目的は、高密度コンクリートを実用化することであるが、スラグ骨材をコンクリート骨材として使用するには、スラグ骨材の持つ特異な材料的性質を改善しなくてはならない。そのため、スラグ骨材の有効利用を可能にする新硬化体の開発に取り組み、配合調整と混和材および混和剤の改良により、高密度コンクリートの実用化を可能にした。

2. スラグ骨材コンクリートの有為性

高密度コンクリートの用途の中で、その有為性を示す例として消波ブロックについて述べる。波力を受ける消波用コンクリートブロックは、その質量の大きさがブロックの機能を支配する。我が国では、このブロックの質量を計算する式として、式(1)に示すハドソン式が一般に使用されている。この式では、比重がわずかでも大きいと浮力の影響によって、所要容積の低減効果が顕著に表れる。単位容積質量と容積比との関係を図-1 に、消波ブロックへの適用

事例を写真-1 に示す。一般のコンクリートの単位容積質量を 2.3t/m^3 とし、スラグ骨材を使用した場合、所要の容積は約 60%まで低減でき、スラグ骨材を使用したコンクリートの有為性が示されている。

$$W = \frac{\gamma H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \alpha} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、

W : ブロックの最小質量(t)

γ : ブロックの単位容積質量(t/m^3)

H : 設計波高(m)

S_r : ブロックの海水に対する比重(= γ / γ_w , γ_w は海水の比重 1.03)

α : 斜面が水平面となす角度(度) (一般に $\cot \alpha = 1.3 \sim 1.5$)

K_D : 被覆材および被害率による定数(一般に 8.3)

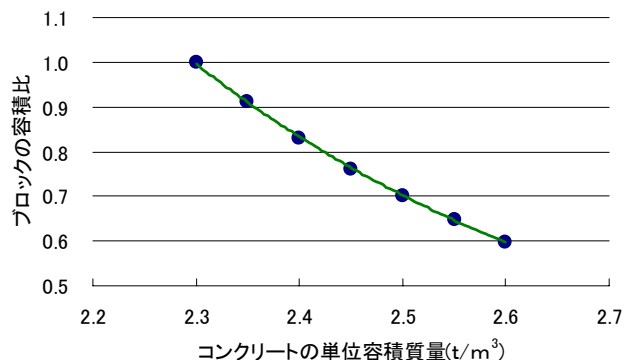


図-1 単位容積質量と容積比との関係



写真-1 消波ブロックへの適用事例

3. スラグ骨材の配合調整実験

(1) 実験概要

細骨材あるいは粗骨材へのスラグ骨材の置換率を 100%とした場合、このような高密度コンクリートの品質確認と使用の実用化に関する可能性について実験を行った。ここでは主として、ブリーディングと圧縮強度への影響および実用配合例等について述べる。

スラグ骨材を使用したコンクリートは、スラグ表面がガラス質であるためにブリーディングの問題が発生し、凍結融解等の耐久性に影響するといわれている。ブリーディングの発生を抑制する方法として、スラグ混合率を小さくすることのほか、微粒分量を多くする、高性能 AE 減水剤等を用いて単位水量を減じるなどの方法がある。ここでは抑制策として、微粒分量として炭酸カルシウム(以下、Ca と称す)を加え、また単位水量を減じるために高性能 AE 減水剤を使用した。

(2) 使用材料および配合条件

セメントは高炉セメント B 種を用い、細骨材は銅スラグ細骨材(以下、CUS と称す、佐賀県産)と川砂(九頭竜川産)、粗骨材は電気炉酸化スラグ粗骨材(以下、EFG と称す、名古屋産)と川砂利(九頭竜川産)で最大寸法は共に 40mm である。実積率は、EFG が 57.7%、川砂利が 64.8%であった。

コンクリートの配合条件としては、目標スランブを 8cm、同空気量 5%、CUS の置換率を 30%および 100%、EFG の置換率を 100%、目標単位容積質量を 2600 kg/m³ 以上、水セメント比は 50, 55, 60 の 3 水準、目標圧縮強度は 28 日材齢で 26N/mm² 以上とした。

(3) 実験結果と考察

CUS の細骨材置換率 100%の実験ケースについて、ブリーディング量の変化を図-2 に示す。混和剤に AE 減水剤を使用した場合、天然骨材を使用したケースの約 5 倍のブリーディング量が発生している。この要因としては、スラグの表面はガラス質で滑らかであり、粒度が単一であること等が保水性を低下させている。また、Ca はブリーディング水の移動速度を抑制するため効果は認められるが、最も多く添加したケースでも天然骨材を使用したケースの約 2 倍弱のブリーディング量が発生している。混和剤に高性能 AE 減水剤を使用した場合、単位水量を小さくすることができるので天然骨材を使用したケースよりもブリーディング量が上回ったのは Ca を加えない場合のみで、その他のケースについてはブリーディングの発生を抑制している効果が認められる。これらの結果から混和剤に高性能 AE 減水剤を使用するとブリーディング量は 1/3 に、混和材として Ca を添加すれば同量を 2/3 (50kg 添加の場合) 程度に抑制することが可能である。

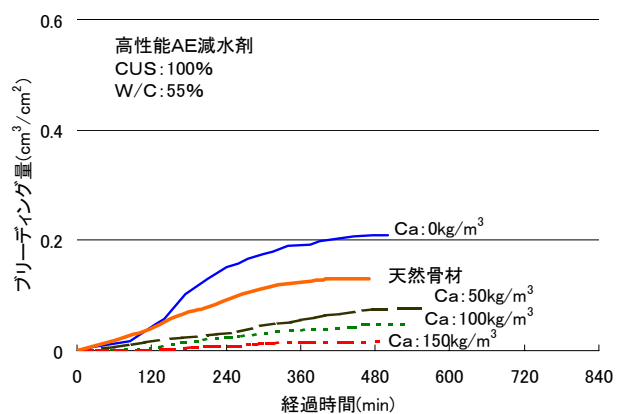
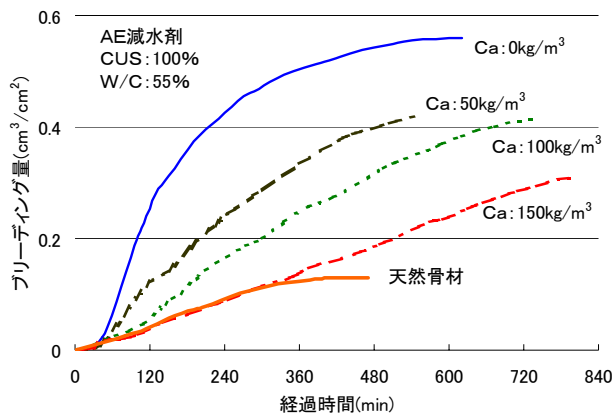


図-2 各混和剤における Ca 添加量のブリーディング量への影響(置換率 CUS 100%)

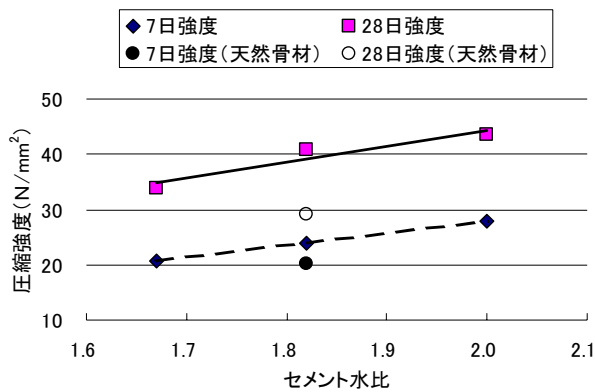


図-3 C/W と圧縮強度の関係 (CUS100%)

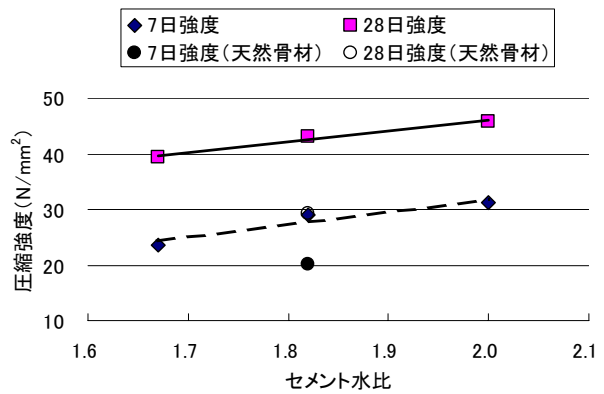


図-4 C/W と圧縮強度の関係 (CUS30%, EFG100%)

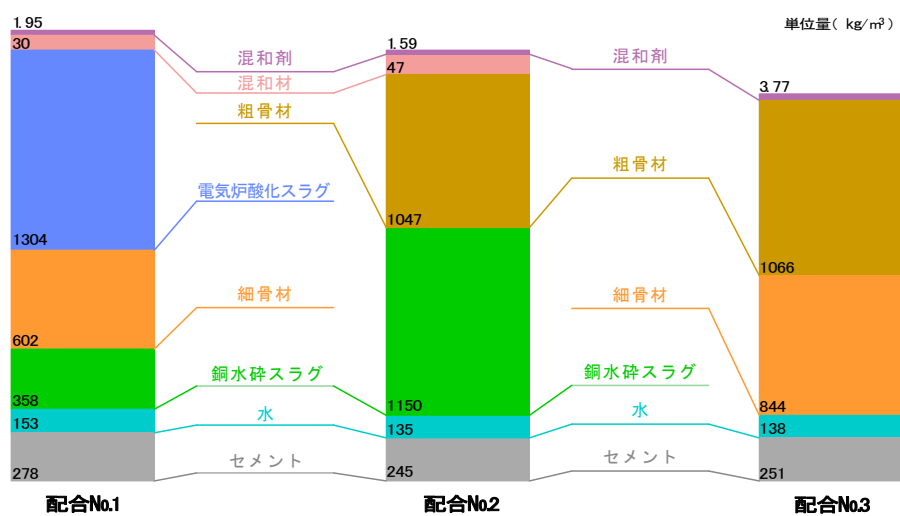


図-5 実用配合例

良好な耐凍害性を得るためには W/C や空気量によっても異なるが、おおむね $0.6 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ 以下であれば問題ないとされているので、今回調整した配合であれば天然骨材を使用した場合と同様に良好な耐凍害性が得られることを示している。

また、セメント水比を 1.67, 1.82, 2.00 と変化させた場合の圧縮強度の影響について図-3, 4 に示す。セメント水比が大きくなるほど圧縮強度は増加する傾向にあり、その関係は一般のコンクリートと同様に直線回帰式で示される。7 日強度と 28 日強度の増加勾配はほぼ同様で、CUS100%置換の配合よりも CUS30%・EFG100%置換の配合の方が少し高い強度を示した。この要因は、粗骨材に EFG を使用したため天然の砂利よりもモルタルとの付着力が増加したためと考えられる。

以上の結果より、実用的な配合例を図-5 に示した。参考に天然骨材の例と併記した。

5. おわりに

高性能 AE 減水剤と Ca を使用することで、CUS または EFG の骨材置換率 100% の高密度コンクリートを実用化し、それらを適用した施工事例も得ている。その単位容積質量は $2.6 \sim 3.0 \text{ t/m}^3$ である。圧縮強度は長期強度が通常コンクリートの 1.4 倍程度になる。本研究の結果は、消波ブロック等の高密度コンクリートを必要とする用途に使用でき、天然骨材を使用せずに産業副産物のスラグを有効利用することで資源の有効活用と環境負荷の抑制に寄与する。

参考文献

- 1) 仁木孟伯, 長滝重義他: 銅スラグ砂を使用したコンクリートの基礎的性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.1, pp.399-404, 1995.7