

改良型の高炉セメント C 種を用いたコンクリートの土木構造物への適用に向けた研究

Study on Application of Concrete Using Improved Blast Furnace Slag Cement Type C to Civil Engineering Structures

橋本 学 Manabu Hashimoto

1. はじめに

2015年に合意した「パリ協定」を受け、地球温暖化防止策として各分野における二酸化炭素（CO₂）排出量の削減に向けた取組みが先進各国に求められている。日本においても、環境省が中心となり地球温暖化対策推進本部を設置し、2020年以降の温室効果ガス削減目標を含む「日本の約束草案」を提出している。建設産業では、特にセメント関連のCO₂排出量が大きく、日本全体のCO₂排出量の4%を占める。これは、高温焼成により製造されるセメントのCO₂排出量原単位が768kg/tと極めて大きいことに起因しており、セメント関連でのCO₂排出量を削減することが喫緊の課題である。このような状況の中、草案の中でも混合セメントの利用拡大が掲げられるなどセメントを低炭素材料に代替する技術への期待は大きい。

低炭素材料として、鉄鋼製造の副産物でありCO₂発生量の少ない高炉スラグ微粉末が挙げられる。高炉スラグ微粉末のCO₂排出量原単位は約26kg/tとセメントの1/30程度であり、セメントの一部に置換することでCO₂排出量の大幅な削減が可能となる混和材料である。現在、高炉スラグ微粉末を普通ポルトランドセメントに所定量を混合して製造された「高炉セメント」が建設工事で使用されている。高炉セメントは混合される高炉スラグ微粉末の分量により、A種、B種、C種の3種類に分類されるが、その中でもB種（高炉スラグ微粉末の分量が40%程度）が最も多く製造され、土木分野において汎用のセメントとして用いられている。今後、高炉スラグ微粉末の分量がB種以上となる高炉スラグ微粉末を高含有したコンクリートを積極的に利用することで、これまで以上のCO₂排出量の削減が期待できる。例えば、高炉セメントC種の場合、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートと比較してCO₂排出量で65%を削減することができる（Fig.1）。一方で、高炉スラグ微粉末が高含有となるに従い、経時に伴う性状の変化が大きくなることで表層の品質低下や未充填といった施工不良の原因となること、材齢初期の強度が低いことで脱枠までの期間が長くなるといった施工および品質上の課題があり、これまでに本格的な実用化と普及には至っていない。本研究では、セメントや混和剤を改良することで改良型の高炉セメントC種を用いたコンクリートとして実用化し、土木構造物へ適用するための検討を行った。

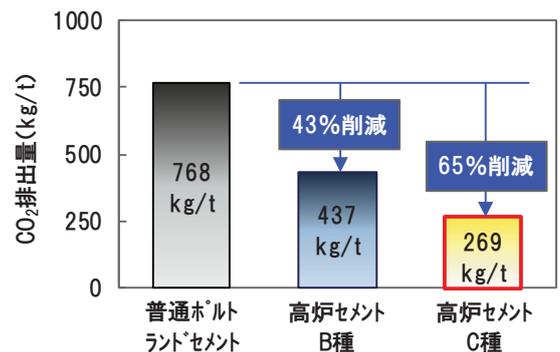


Fig. 1 セメント1t 製造時のCO₂ 排出量 (CO₂ Emissions from Manufacturing 1t of Cement)

2. 改良型の高炉セメント C 種を用いたコンクリートの実用化に向けた技術的課題の克服

セメント中の高炉スラグ微粉末が高含有となることで、経時に伴う性状の変化が大きいといった課題に対し、高炉スラグ微粉末のみには吸着する分子構造を持つ混和剤を開発した。汎用混和剤と専用混和剤を用いたフレッシュコンクリートのスランプの経時変化の比較を Fig. 2 に示す。汎用混和剤を用いた場合 30 分経過した時点のスランプが 6.5cm であるのに対し、専用混和剤では 10cm 程度を確保している。これは実施工において良好なフレッシュコンクリートの状態で型枠内に打ち込まれることを示しており、未充填等の施工不良を防止し、高品質なコンクリート構造物を構築することができる。

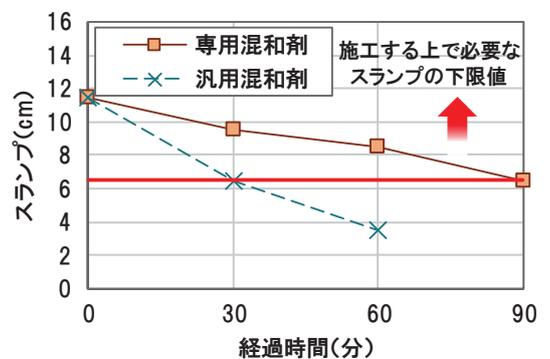


Fig. 2 スランプの経時変化の比較 (Comparison for Elapsed Change of Slump)

の比較を示す。改良型の高炉セメントC種では、凝結特性と硬化体の耐久性の観点から普通ポルトランドセメントの混合率を30～35%と定め、強度と水和熱の観点から高炉スラグ微粉末の粉末度を4000～4500cm²/gとし、高炉スラグ微粉末の混合率で65%程度を最適なセメントの組成として選定した。また、結合材中のセッコウ量を高炉セメントB種で添加される2%程度から5%程度まで増加させた。セッコウの添加量については、8%を超えると強度や耐久性、耐火性などの低下を引き起こすことを新たな知見として得られており、5%程度が最適であることを見出している。改良後のセメントを用いた場合と改良前のものを用いたコンクリートの圧縮強度の比較をFig. 4に示す。図より、改良前後の比較において材齢3、7日で1.3～1.5倍程度の強度発現性を有していることが確認された。実施工において、脱型までの養生期間を一般のコンクリートと同一とした場合でも、せき板にコンクリートが付着する肌離れ等が生じることなく、表層の出来栄が良好となることを確認している。また、マスコンクリートの温度ひび割れ対策、遮塩性や耐酸性の向上、ASRの抑制対策などにも用いることができ、コンクリート構造物の長寿命化による環境負荷低減効果も期待される。

3. 改良型の高炉セメントC種を用いたコンクリートの実構造物への適用

Photo 1 に示す沿岸部に位置するバースクレーン基礎を補強するための増打部に、改良型の高炉セメントC種を用いたコンクリートを土木用構造物として初適用し、実施工による施工性ならびに温度ひび割れ抑制効果の検証を行った。そのうち、標準期、夏期の施工において、改良型の高炉セメントC種専用のAE減水剤を用いたことで、スランプロスを抑制することができ、打込み、仕上げといった施工性についても良好であることが確認された。さらに、夏期の施工において、躯体内部の温度およびひずみの計測によって、マスコンの温度ひび割れ対策としても有効となることが確認された。

4. おわりに

改良型の高炉セメントC種は前述したとおり、普通コンクリートと比較して65%のCO₂の削減効果が期待でき、将来的に汎用のセメントとして全国のレディーミクストコンクリート工場で利用されると想定した場合、年間35万tのCO₂を削減できるものとして試算される。今後、改良型の高炉セメントC種を普及するために、仕様・施策などの制度上の課題を克服する必要がある。例えば、国の直轄工事や地方自治体発注の工事では過去の実績が重要となり、現状では、新規に開発した材料を使用しづらい状況に置かれている。その理由の一つとして、従来から仕様規定型で構造物が建設されていることが考えられる。一方で、国外では性能規定型で構造物が建設されている例も数多く存在しており、日本国内においても性能規定型を導入するために、材料およびそれを用いた構造物や部材性能を定量的に評価する技術、品質管理体制や検査手法の構築などが必要になってくるものと考えられる。また、CO₂削減に寄与する技術に対して、工事評点の加算や工事原価の削減等のインセンティブを、工事を請負う会社に与えるなどの施策が導入されるべきと考える。地球温暖化によるものと考えられる豪雨災害、台風の高発など異常気象が顕在化する昨今、本技術がCO₂削減技術の一つとなることを期待する。

キーワード: 改良型の高炉セメントC種, 環境負荷低減, セッコウ, 専用混和剤

Keywords : Improved Blast Furnace Slag Cement Type C, Reduction of Environmental burden, Gypsum,

Exclusive admixture

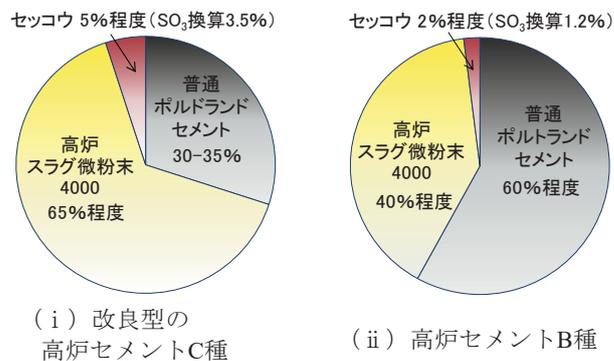


Fig. 3 セメントの組成の比較
(Comparison of Cement Compositions)

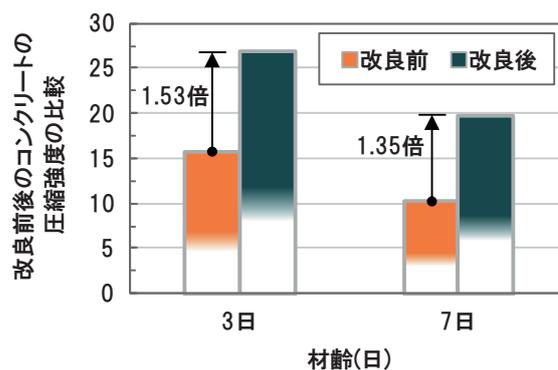


Fig. 4 圧縮強度の比較
(Comparison of Compressive Strength)

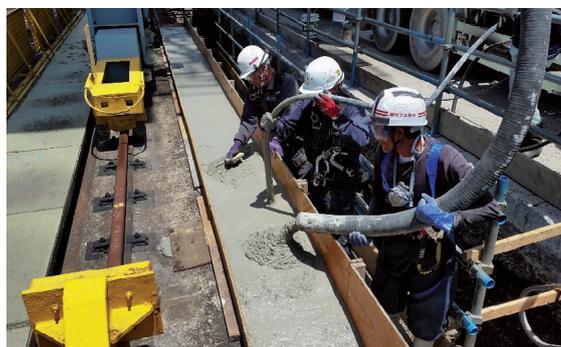


Photo 1 コンクリートの打込み状況
(Situation of Concrete Casting)