

炭酸カルシウム微粉末を大量に混入した高流動コンクリートの適用による CO₂ 削減

鹿島建設(株) フェロー会員 ○坂田 昇
 鹿島建設(株) 正会員 坂井吾郎
 鹿島建設(株) 正会員 渡邊賢三

1. はじめに

締固めを行わない自己充填型の高流動コンクリートは、1986年に当時、東京大学の岡村甫先生が提唱され、ハイパフォーマンスコンクリートと命名された。この技術は、岡村先生が、コンクリートの品質が作業員に寄らずに、打ち込んだコンクリートが常に所定の品質が得られるように考案されたものであるが、当時は時代が追いついておらず、あまり普及しなかった。現在では、土木学会においてコンクリート標準示方書や高流動コンクリート指針に掲載されるほど、一般的な技術となっているが、未だに高密度配筋部など、特殊な部位に使われるに留まっているのが実状である。一方で、最近では、省人化、省力化の観点から高流動コンクリートの活用が見直されている。ここでは、この高流動コンクリートについて、炭酸カルシウム微粉末を大量に混入した高流動コンクリートが開発された経緯を示すとともに、この技術が CO₂ 削減技術として活用できることを示す。

2. 炭酸カルシウム微粉末を大量に混入した高流動コンクリートの適用経緯

岡村先生が提唱され、そのプロトタイプとして、小澤先生らが示された高流動コンクリートの配合は、表-1に示すとおりである²⁾。セメントをベースとして、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、膨張材を混入して、単位粉体量を 505kg と多くして、高性能減水剤を比較的多量に添加することで、流動性と材料分離抵抗性を付与したものである。この粉体には、セメントと同程度の粉末度のものであれば、様々なものを使うことが可能である。そこで、著者らは、このことを参考にして、セメント以外の粉体すべてに、セメントとほぼ粉末度が同じである炭酸カルシウムの微粉末を用いて、充填性試験を行った。実験に用いた使用材料およびコンクリート配合は表-2 および表-3 に示すとおりである³⁾。炭酸カルシウムとして、石灰石微粉末を用いた。実験の結果、表-3 の No.3 と No.4 の 2 つの配合で高い充填性が得られることが分かった。No.3 の配合は、単位結合量を 309kg (セメント量 161kg, 高炉スラグ微粉末 148kg), 単位炭酸カルシウム量 209kg, トータルの単位粉体量を 518kg であり、No.4 の配合は、単位結合量を 309kg (セメント量 161kg, 高炉スラグ微粉末 148kg), 単位炭酸カルシウム量 313kg, トータルの単位粉体量を 622kg である。CO₂ から製造した炭酸カルシウムの微粉末をより多くコンクリートに配合した方が CO₂ 削減に寄与することから、今後、炭酸カルシウムの微粉末を多量に用いた高流動コンクリートを、i-Construction が目指すコンクリート施工の省人化を含めて適用することで、一石二鳥の効果が得られるものと考えられる。

その後、明石海峡大橋のアンカレッジにおいて、コンクリート施工の省人化を目的として高流動コンクリートが採用されたが、温度ひび割れ抑制の観点から粉体に炭酸カルシウム微粉末を大量に混入した高流

表-1 ハイパフォーマンスコンクリート配合²⁾

| | W | C | A1 | A2 | A3 | S | G | Ad | Flow (cm) | Air (%) |
|-----------|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|----|-----------|---------|
| HPC Model | 154 | 144 | 10 | 154 | 197 | 753 | 963 | ※) | 57 | 2.1 |

A1=Expansive admix., A2=slag, A3=Fly Ash

※) 4800cc for superplasticizer + 6g for cellulose viscous agent

表-2 実験の使用材料³⁾

| 使用材料 | |
|--------|-----------------------------------------------------------------------|
| セメント | 普通ポルトランドセメント (比重 3.16, フレーン値 3200cm ² /g) |
| スラグ | 高炉スラグ微粉末 (比重 2.91, フレーン値 3800cm ² /g) |
| 石粉 | 石灰石粉 (炭酸カルシウム) (比重 2.70, 200メッシュ(フレーン値 3000cm ² /g 相当)) |
| 水 | 水道水 |
| 細骨材 | 川砂(大井川産) (比重 2.59, F.M.2.75, 実積率 67.4%) |
| 粗骨材 | 川砂利(富士川産) (比重 2.65, Gmax25mm, F.M.7.38, 実積率 64.1%) |
| 高性能減水剤 | β-ナフタリンスルホン酸カルシウム+反応性高分子 |

キーワード 環境配慮型コンクリート, 炭酸カルシウム, カーボンニュートラル, CCU 材料, 石灰石微粉末

連絡先 〒107-8477 東京都港区元赤坂 1-3-8 鹿島建設(株)土木管理本部 TEL03-5544-1111

表-3 実験のコンクリートの配合³⁾

| 配合 No. | W/C (%) | W/P ^{*1)} (%) | s/a ^{*2)} (%) | 単位量 (kg/m ³) | | | | | | スランブフロー (cm) (SP 添加率 ^{*3)} (%) | | |
|-----------|-------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------------------------------------|----------------|---------------|
| | | | | 水 | C | スラグ | 石粉 | 細骨材 | 粗骨材 | | | |
| 1 | 55.0 | 55.0 | 46.5 | 170 | 161 | 148 | 0 | 857 | 1000 | 45±5 (0.4) | 60±5 (0.75) | 75±5 (1.1) |
| 2 | 55.0 | 41.1 | 46.5 | 170 | 161 | 148 | 105 | 805 | 950 | 45±5 (0.3) | 60±5 (0.8) | 75±5 (1.0) |
| 3 | 55.0 | 32.8 | 46.5 | 170 | 161 | 148 | 209 | 753 | 901 | 45±5 (0.5) | 60±5 (0.85) | 75±5 (1.0) |
| 4 | 55.0 | 27.3 | 46.5 | 170 | 161 | 148 | 313 | 705 | 848 | 45±5 (0.85) | 60±5 (1.1) | 75±5 (1.4) |

*1) 水/微粉末 (セメント, スラグ, 石粉)

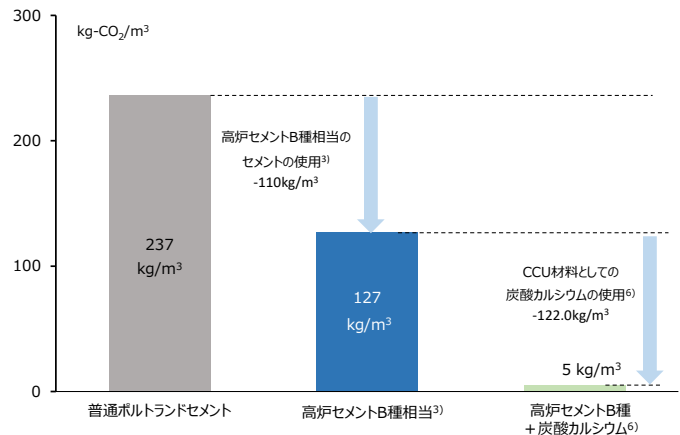
*2) 細骨材 / (細骨材+粗骨材)

*3) 高性能減水剤の微粉末 (セメント, スラグ, 石粉) に対する添加率

動コンクリートが約 38 万 m³ 適用された⁴⁾。このような経過を経て、炭酸カルシウム微粉末を大量に混入した高流動コンクリートは高密度配筋部などの部位は限られているものの、今ではコンクリート技術の要点⁵⁾などにも基本的な技術として掲載され、一般的に使用されている。

3. 高流動コンクリート適用による CO₂ 削減

石灰石はそのほとんどが炭酸カルシウムであることから、石灰石微粉末は炭酸カルシウムの微粉末であり、化学記号は CaCO₃ である。一方、CCU 材料として、戻りコンクリートや廃コンクリート等に含まれるカルシウムを抽出し、CO₂ を反応させて CaCO₃ を生成して固定化する技術が開発されており、その微粉末が既に商品化されている⁹⁾。この CO₂ を固定化した炭酸カルシウム微粉末も石灰石微粉末と同じようにそのほとんどが CaCO₃ であり、粉末度を調整することによって、容易に高流動コンクリートの粉体として使用できる。例えば、著者らが示した表-3 の No.4 のコンクリート配合³⁾に、CCU 材料の炭酸カルシウム微粉末を用いた場合の CO₂ 固定量の試算結果を図-1 に示す。高炉スラグ微粉末を 148kg 用いているため、単位セメント量は 161kg と少なくなっていることから、セメント由来の CO₂ 排出量は 127kg となる。また、八木ら⁶⁾が試算に用いている炭酸カルシウム 1kg 当たりの CO₂ 固定量 0.39kg を用いれば、炭酸カルシウム微粉末 313kg で CO₂ の固定量は 122kg となる。よって、コンクリート製造時において、炭酸カルシウム微粉末を大量に混入した粉体系高流動コンクリートの 1 m³ 当たりの CO₂ 排出量は 5kg (排出量 127kg - 固定量 122kg) となり、通常のコンクリートの CO₂ 排出量の 30 分の 1 以下と極めて少なくできる。

図-1 CO₂ 固定量の試算結果

一般的に用いられる高流動コンクリートに、CCU 材料としての炭酸カルシウムの微粉末を用いるだけで CO₂ 排出量の削減に大きく貢献できるものと考えられる。さらに、セメントにも、残コン・戻りコンから製造する再生セメント^{7)~9)}を用いれば、大幅なカーボンネガティブを実現できると考えられる。

4. おわりに

一般的に用いられる高流動コンクリートに、CCU 材料としての炭酸カルシウムの微粉末を用いるだけで CO₂ 排出量の削減に大きく貢献できるものと考えられる。さらに、セメントにも、残コン・戻りコンから製造する再生セメント^{7)~9)}を用いれば、大幅なカーボンネガティブを実現できると考えられる。

参考文献

- 岡村甫：新しいコンクリート材料への期待，セメント・コンクリート，No.475，1986.9.
- 小澤一雅ら：ハイパフォーマンスコンクリート—コンクリート構造物の信頼性向上に最も有効な材料—，土木学会誌，1989.4.
- 坂田昇ら：高流動コンクリートの充填性に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.12，No.1，1990.
- 糸日谷淑光ら：明石海峡大橋 1 A アンカレッジにおける高流動コンクリートの施工と品質管理，コンクリート工学，Vol.33，No.2，1995.2.
- 日本コンクリート工学会：コンクリート技術の要点 '21，p.42，2021.9.
- 八木利之ら：エコタンカル CO₂ を原料とした環境にやさしい軽質炭酸カルシウム，土木施工，Vol.62，No.11，pp.87-90，2021.11.
- 百瀬晴基ら：乾燥スラッジ微粉末を混和材として用いたレディーミクストコンクリートの開発，鹿島技術研究所年報，Vol.66，2018.12.
- 巴史郎：戻りコンクリートを再利用したコンクリート [エコクリート R³] の開発，セメント・コンクリート，Vol.786，2012.11.
- 閑田徹志ら：残コン・戻りコンから作り出す再生セメント「CemR³」製造システムとその CO₂ 削減効果，コンクリートテクノ，Vol.41，No.5，2022.5.