

CaO 形態の違いによるセメント硬化体への CO₂ 吸収量定量化に向けた検討

芝浦工業大学 大学院理工学研究科社会基盤学専攻

芝浦工業大学 工学部土木工学課程

株式会社竹中工務店 技術研究所 建設基盤技術研究部

○八尋 瑠奈

伊代田 岳史

江口 康平

1. はじめに

コンクリートは、炭酸化反応により二酸化炭素（以下 CO₂）を硬化体中に吸収・固定することが可能である。カーボンニュートラル社会実現に向け、コンクリートの CO₂ 吸収量を定量化する必要があると考えられる。構造体の CO₂ 吸収量は、炭酸化領域と CO₂ の単位吸収能で表現することができると考えられ、炭酸化領域は、中性化深さより推定できると仮定すると、設計段階においては中性化深さの推定式、供用後においてはコア抜き等により得られる中性化深さにより推定可能であると考えられる。単位吸収能に与える影響因子として挙げられるセメント種類や養生条件、W/B 等が異なると、セメントや混和材料の反応率や水和生成物やその量が増減すると考えられる。また、カーボンニュートラル社会実現に向け、高炉スラグ微粉末（GGBS）を使用することによるセメント製造由来の CO₂ 排出量削減が期待されている。そこで、本研究では高炉スラグ微粉末を使用した配合を用い、水和反応が CO₂ 吸収量に与える影響について検討を行った。

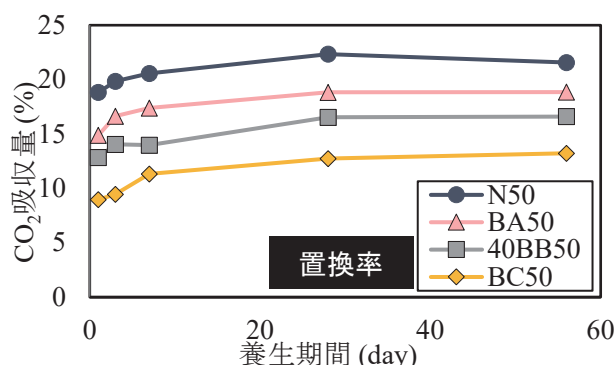
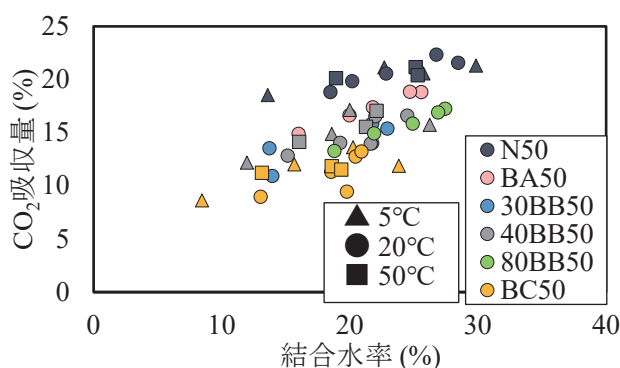
2. CO₂ 単位吸収能の把握

2. 1 使用材料と配合

本研究では骨材の影響を排除する目的で、セメントペーストで試料を作製した。普通ポルトランドセメント（OPC）に対して GGBS を 0～70% 置換して使用した。また、GGBS のブレン値による影響を確認するため、3000～8000 ブレンの GGBS を使用した。また、水和反応の進行度を変化させる目的で、養生条件として養生期間を 0.5～56 日、養生温度を 5、20、50℃とした。

2. 2 炭酸化および CO₂ 吸収量の定量手法

作製したセメントペーストをチャック付きポリ袋に打込み、所定の期間、温度で封かん養生を施した。その後、単位吸収能を把握する目的で、比表面積を増加させるため試料を粉砕し粉体状の試料とした。さらに、既往の研究¹⁾により乾燥による影響が報告されていることから、試料質量に対して 70%の水を加え炭酸化を行った。炭酸化は 20℃、60%RH、CO₂ 濃度 20%で 7 日間行った。炭酸化後は水和停止を行い、TG-DTA を用いて CO₂ 吸収量の定量分析を行った。測定条件としては室温から

図1 CO₂ 吸収量 (GGBS 置換率)図2 結合水率と CO₂ 吸収量の関係

1000℃まで、20℃/min.で行った。550～850℃の質量減量を炭酸カルシウムの脱炭酸量として、炭酸化前後の差分を CO₂ 吸収量として算出した。

3. 試験結果および配合

3. 1 CO₂ 吸収量

図1に CO₂ 吸収量の結果の一例として、養生期間の違いによる CO₂ 吸収量を GGBS 置換率ごとに示す。同一養生条件下において GGBS 置換率が高いほど CO₂ 吸収量は小さくなった。また、全体の傾向として、養生期間の増加に伴い CO₂ 吸収量が増加していることが分かる。つまり、養生の延長つまり、水和反応の進行により CO₂ 吸収量は増加することが示唆された。

3. 2 水和反応と CO₂ 吸収量

図2に 105～1000℃までの質量減量から算出した結合水率と CO₂ 吸収量の関係を示す。両者には正の相関が確

認められたものの、同一結合水率での CO_2 吸収量に差が生じており、GGBS 置換率が高いほど結合水率に対する CO_2 吸収量が小さくなった。つまり、水和反応とて結合水だけでは CO_2 吸収量を整理することができないことが示唆された。ここで、水和反応がカルシウムと水を主とする反応であることから、図3に CO_2 吸収量から CO_2 と反応した CaO 量を CO_2 吸収に寄与した CaO として算出し、配合に含まれる CaO との関係を整理した。配合や養生の別によらず、配合中の CaO 量に対して CO_2 吸収に寄与した CaO 量は小さいことから、配合中の CaO は CO_2 吸収に寄与する形態と寄与しない形態で存在することが考えられ、水和の違いによりその割合が異なることが分かる。また、OPC、GGBS の反応率をそれぞれ測定し、単位量と CaO 量を乗ずることにより水和物中の CaO 量を算出した。水和物中の CaO と CO_2 吸収に寄与した CaO 量との関係を図4に示す。両者には一定の関係が認められ、水和物中の CaO は CO_2 吸収に寄与する形態であることが示唆された。一方で、特に GGBS 置換率の小さい場合において、水和物中の CaO に対して CO_2 吸収に寄与した CaO は小さくなっており、水和物中の CaO であっても寄与する形態、寄与しない形態で存在していることが示唆された。これは、OPC に由来する Ca/Si 比の高い C-S-H が炭酸化に寄与しにくいことが要因であると考えられる。このことから GGBS 由来の水和物は、量は少なくなるものの、 CO_2 吸収に寄与しやすい形態であることが示唆された。

4. 構造体への適用可能性

構造体への適用可能性として、硬化体を炭酸化させ、中性化部から試料を採取し、同様に CO_2 吸収量を算出した。硬化体条件としては、空隙組成を変化させる目的で W/B を 50、100% とし、N、BB、BC について検討した。炭酸化前の養生期間は 3 日とした。図5に水和物中の CaO 量と CO_2 吸収に寄与した CaO 量の関係を示す。W/B=100% の場合には灰色で示した粉体での結果と概ね同程度となった。一方で、W/B=50% の場合では粉体に比較して、水和物中の CaO に対する CO_2 吸収に寄与した CaO 量が小さくなっていることが分かり、 CO_2 吸収に対する寄与度が小さいことが推察される。これは、W/B による空隙組成の違いが影響していると考えられる。W/B=100% では 50% に比較して空隙総量が大きく、大径空隙が多いといえる。空隙を介して CO_2 が硬化体内に侵入し細孔溶液に炭酸イオンが溶け込むことで炭酸化が起こることを考慮すると、空隙組成の違いによる炭酸イオンとの接触面積や接触面からの距離により、炭酸化度に違いが生じたと考えられる。このことから、W/B=100% では、炭酸化度が高くなったと考察される。構造体における CO_2 の単位吸収能を評価するためには、空隙組成に

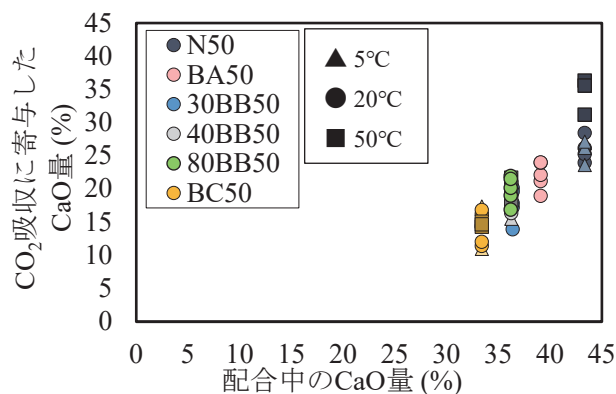


図3 配合中の CaO 量と CO_2 吸収に寄与した CaO 量

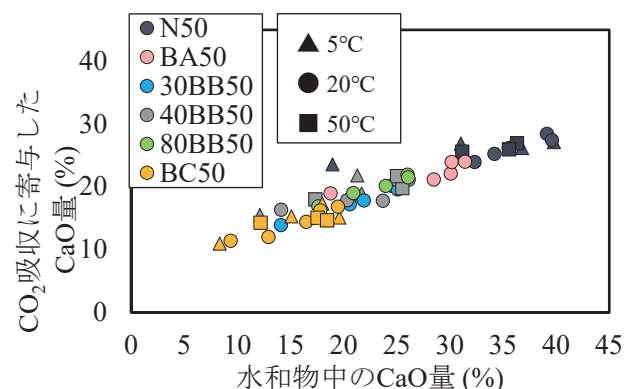


図4 水和物中の CaO 量と CO_2 吸収に寄与した CaO 量 (粉体)

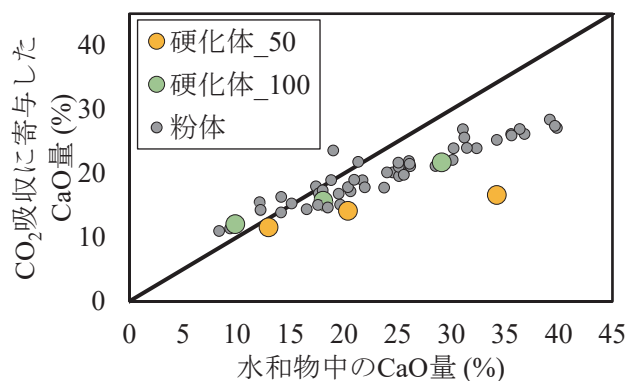


図5 水和物中の CaO 量と CO_2 吸収に寄与した CaO 量 (硬化体)

よる影響を検討していく必要があることが示唆された。

【謝辞】

本成果は NEDO の委託業務 (JPN21014) にて得られたものであり、関係者各位に感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 坂井一貴, 池尾陽作, 伊代田岳史: セメント硬化体の水分保持状態による CO_2 吸着メカニズムの一考察, 第 76 回セメント技術大会講演要旨, pp.36-37, 2022