

ポスター発表 | 第V部門

2025年9月12日(金) 10:40 ~ 12:00 Le (熊本城ホール)

混和材料・物性2

座長：東 洋輔（オリエンタル白石）

[12AM2-Le-16] 斜めせん断接着強度評価法による炭酸化した界面における化学的・物理的作用に関する実験的検討

*益永 カレンみどり¹、伊代田 岳史² (1. 芝浦工業大学大学院、2. 芝浦工業大学)

キーワード：促進炭酸化、炭酸化生成物、せん断接着強度、空隙率、物理的・化学的作用

セメント・コンクリート業界でネット・ゼロ・エミッションを達成するためにセメント系材料の促進炭酸化が検討されている。本研究では、普通ポルトランドセメントとスラグ混合セメント硬化体を促進炭酸化させ、炭酸化による表面の物性変化と新たに打設したモルタルとの界面で起こりうる炭酸化生成物と新セメントの物理的・化学的作用を評価した。斜めせん断接着強度試験と空隙率試験結果から、炭酸化した硬化体表面が変化し、炭酸化生成物と新セメントが相互に影響を与え、界面で物理的・化学的作用が生じることが示唆された。それによって、セメント種と炭酸化有無により接着強度と空隙率が異なる結果を示したと考えられる。

斜めせん断接着強度評価法による炭酸化した界面における化学的・物理的作用に関する実験的検討

芝浦工業大学大学院 学生会員 ○Masunaga Karen Midori
芝浦工業大学 正会員 伊代田 岳史

1. はじめに

セメント・コンクリート業界でネット・ゼロ・エミッションを達成するためにセメント系材料の促進炭酸化技術が検討されている。硬化体に適用する場合、炭酸化反応は相組成と空隙構造を変化させるため、打継いだ場合などに炭酸化生成物が新モルタルのセメント水和反応に影響を与えることが考えられる。そこで本研究では、普通ポルトランドセメント（OPC）と高炉スラグ微粉末（GGBS）混合セメント硬化体を促進炭酸化させ、炭酸化による表面の物性変化と新たに打設したモルタルとの界面で起こりうる炭酸化生成物と新セメントの物理的・化学的作用を評価することを目的とし、斜めせん断接着強度試験と空隙率試験により実験的検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料・試験体概要

モルタルの配合は水セメント比を 0.50、砂セメント比を 2.0 と設定し、OPC100%（N 配合）と GGBS を 50%（B 配合）と 70%（C 配合）置換させた混合セメントを用いた。試験体の作製は 2 段階の工程に分け、1 回目の打込み（1st cast）はブリーディングがおさまったことを確認してから行った。円柱試験体（φ50x100 mm）は体積の半分に相当する質量を計量し、打設面が斜めになるよう充填を行い、傾斜 30 度の支持体にて硬化させた。角柱試験体（40x40x80 mm）は型枠内にダミーを設置し打込んだ（図-1）。28 日間封緘養生後、半円柱は打設面を、半角柱は全面を開放し、20℃、湿度 60%、CO₂ 濃度 20%環境で 14 日間炭酸化させた。未炭酸化半試験体は 20℃、湿度 60%、CO₂ 濃度 0.1%以下の恒温恒湿室にて乾燥させた。二回目の打込み（2nd cast）の前に試験体を水に浸漬させ、表面乾燥飽水状態にした。1st cast と同配合に、界面を見分けやすくするためコンクリート用着色颜料をセメントの 1%添加し練り混ぜを行い、28 日間水中養生を施した。試験体の配合の組み合わせを表-1 に示す。

表-1 試験体の配合の組み合わせ

試験体		2 回目打設		
		N	B	C
第1回目打設	N (未炭酸化)	N-N	B-N	C-N
	N_CO ₂ (炭酸化)	N-N_CO ₂	B-N_CO ₂	C-N_CO ₂
	B (未炭酸化)	N-B	B-B	-
	B_CO ₂ (炭酸化)	N-B_CO ₂	B-B_CO ₂	-
	C (未炭酸化)	N-C	-	C-C
	C_CO ₂ (炭酸化)	N-C_CO ₂	-	C-C_CO ₂



図-1 円柱試験体と角柱試験体の作成

2.2 試験方法

せん断による接着強度（S）は ASTM C882 を参考に、式（1）に従って算出した。角柱は 4 つ、円柱は 3 つの結果の平均値を用いた。

$$S = P/A \text{ [MPa]}$$
$$P = \text{荷重 [N]}; A = \text{接着表面積 [mm}^2\text{]}$$

式(1)

炭酸化の影響と新モルタルのセメントとの相互作用による空隙率の変化をアルキメデス法により評価した。接着強度試験後の半試験体（1st cast と 2nd cast）を 0.1MPa の真空チャンバーで 6 時間飽水させ、飽水と水中質量を計測し、40℃、湿度 40%で乾燥し、乾燥質量を計測した。

3. 試験結果

図-2 にせん断接着強度を示す。全ての試験体はせん断面で破壊した。試験体の形状に関しては角柱の方が円柱より低い強度となったが、炭酸化有無での傾向は一致した。C-C を除き、炭酸化により接着強度が向上した。炭酸化と未炭酸化で接着強度の結果が異なることから、炭酸化は硬化体の空隙構造だけでなく、炭酸カルシウムや（アルミナ）シリカゲルの生成により表面の物性も変化し、新モルタルのセメントとの物理的・化学的作用が起こり、接着強度に影響を与えたと考えられる。セメント種の違いに関しては、フェノールフタレイン噴霧による中性化深さが最小であった N の炭酸化の方が B や C

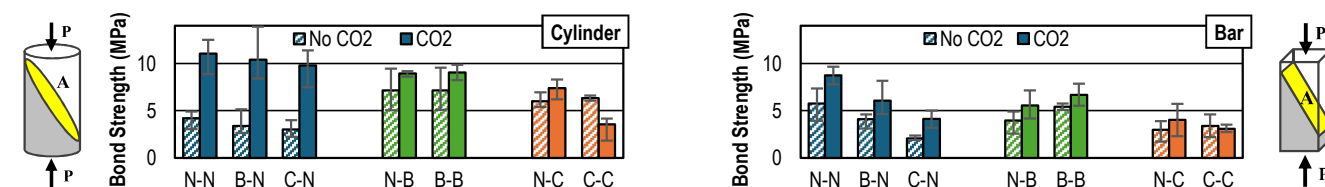


図-2 円柱試験体と角柱試験体のせん断法による接着強度

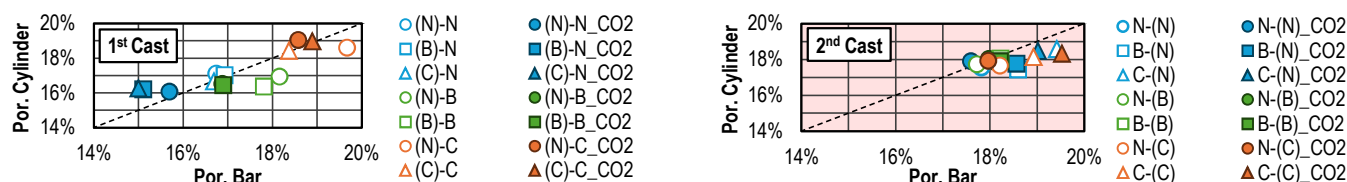


図-3 1st cast と 2nd cast の半円柱と半角柱の空隙率の関係

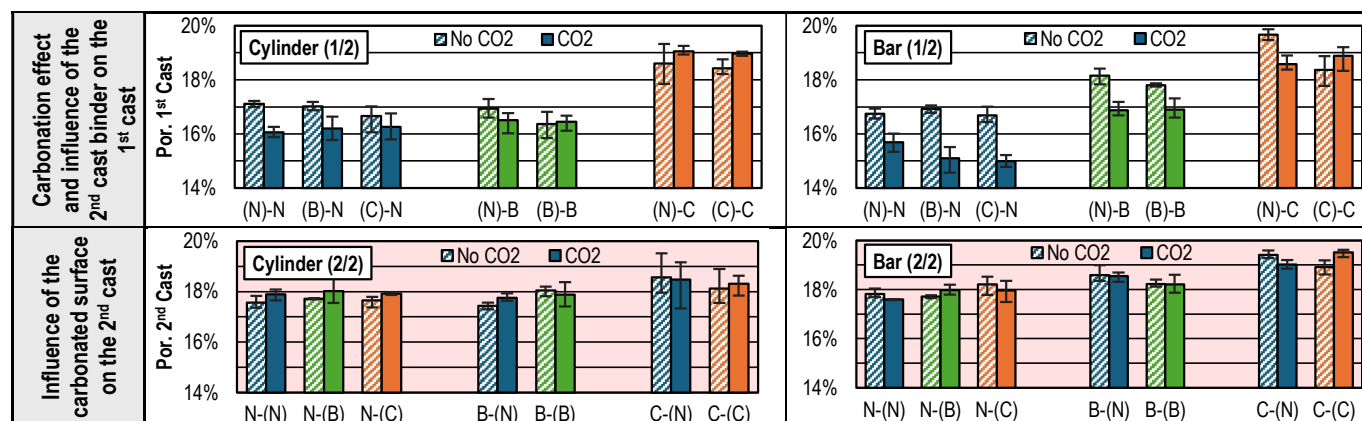


図-4 1st cast (上) と 2nd cast (下) の半円柱 (左) と半角柱 (右) の空隙率

より接着強度に影響した。それは、奥まで CO_2 拡散が進まなかったものの表面部分での変化が顕著であったからだと考えられる。C-C の強度低下にはさらなる調査が必要であるが、今回用いた斜めせん断法接着強度では炭酸化生成物と GGBS の反応を捉えるには 28 日の養生期間は不十分であったかもしれない。2nd cast のセメント種の影響に関してもこの試験方法では明確にとらえることができなかったが、GGBS 含有率が上がるほど 1st cast N との組み合わせでは強度が低下し、1st cast B・C では強度低下は見られなかった。

次に、半円柱と半角柱の空隙率の関係を図-3 に示す。炭酸化の影響を直接受けた 1st cast の空隙率は値に差が大きいのにに対し、2nd cast は差が小さかった。また、全面開放で炭酸化した N 角柱の方が N 半円柱より空隙率が小さいことが認められた。そこで、炭酸化の影響やセメント種の違いにより、1st cast と 2nd cast が相互に影響を与えることで起こりうる界面付近での微細な変化を半試験体の空隙率結果 (図-4) から考察する。

1st cast の結果に着目すると、N の促進炭酸化は空隙率を低下させ、C などの GGBS 高含有率になると空隙率が粗大化させることがあるので、今回の結果は、2nd cast の

影響より、炭酸化そのものによる影響であると思われる。ただ、2nd cast の GGBS 含有率が上がると 1st cast の空隙率も概ね変化していることから、2nd cast のセメントが 1st cast 硬化体にも影響を及ぼす可能性があることが示唆された。

2nd cast の空隙率結果から、1st cast の空隙率への影響はあまり見られない結果となった。炭酸化生成物が及ぼす影響は界面付近の数ミクロンに限られると思われる。

4. まとめ

炭酸化がセメント種によって異なる影響を与えることは知られているが、今回の実験結果からは促進炭酸化した硬化体表面が変化し、炭酸化生成物が新たに打設したモルタルのセメントの水和反応に影響を与え、界面で物理的・化学的作用が生じることが示唆された。1st cast と 2nd cast が相互に影響を与えることによって、セメント種と炭酸化有無により接着強度と空隙率が異なる結果を示したと考えられる。

参考文献

・Zhan, B.J. et al.: Characterization of interfacial transition zone in concrete prepared with carbonated modeled recycled concrete aggregates, CCR 136, 2020, 106175.