

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-12] 石灰石微粉末を添加した高炉セメントを用いたモルタルの強度および耐久性

*竹入 陽太¹、川谷 千晶²、伊代田 岳史²、細川 佳史³、安田 瑛紀³ (1. 芝浦工業大学大学院、2. 芝浦工業大学、3. 太平洋セメント（株）)

キーワード：混合セメント、石灰石微粉末、高炉スラグ微粉末、強度、耐久性

CO₂排出量削減のため低クリンカ比率の混合セメントが検討される一方、クリンカ製造は産業廃棄物を多用するため、廃棄物使用量維持にはクリンカ比率の確保が必要である。本研究では、CO₂排出量削減と廃棄物使用量を維持するため、石灰石微粉末（LSP）および高炉スラグ微粉末（GGBS）を混合したセメントの強度と耐久性を検証した。その結果、高炉セメントB種相当で、クリンカ比率一定としてLSPを添加した配合、またはGGBS比率一定でLSP含有率7%の配合で圧縮強さの維持、LSP含有率が10%程度で中性化抵抗性の維持、GGBS含有率が30%以上で塩分遮蔽が可能であることが示唆された。

石灰石微粉末を添加した高炉セメントを用いたモルタルの強度および耐久性

芝浦工業大学大学院 学生会員 ○竹入 陽太
芝浦工業大学 学生会員 川谷 千晶
芝浦工業大学 正会員 伊代田 岳史
太平洋セメント（株） 正会員 細川 佳史, 安田 瑛紀

1. はじめに

セメント産業において、クリンカ製造時に発生する二酸化炭素排出量が著しく大きいことが知られている。そのため、クリンカ比率削減を目的に混合セメントの利用促進や少量混合成分の上限の引き上げ¹⁾が進められている。日本では特に高炉スラグ微粉末(以下 GGBS)を 40-45%程度混合した高炉セメント B 種 (以下, BB)の使用実績が多く、近年では GGBS を 70%程度まで混合した高炉セメント C 種 (以下, BC) の利用拡大が検討されている。また、少量混合成分として使用されている石灰石微粉末 (以下, LSP) は、国内の埋蔵量が多く自給可能な鉱物資源であり有効利用が期待される。一方、クリンカ製造時には大量の産業廃棄物が原料や燃料として活用され、循環型社会に貢献している²⁾。そのため廃棄物使用量維持には、クリンカ比率維持が必要である。本研究では、CO₂ 排出量削減および廃棄物使用量維持を両立したセメントの開発に向けて、普通ポルトランドセメント (以下, OPC) に LSP および GGBS を混合した「石灰石-高炉セメント」の強度および耐久性の検証を行った。

2. 試験概要

2. 1. 使用材料

セメントは、OPC (密度 3.12 g/cm³, LSP 含有率 7%) を用い、混和材として GGBS (密度 2.90 g/cm³), LSP (密度 2.72 g/cm³) を用いた。細骨材は鬼怒川系陸砂 (絶乾密度 2.52 g/cm³, 吸水率 2.45 %) を用いた。

2. 2. セメントの配合

表-1 にセメントの配合を示す。GGBS 含有率 45% の BB および GGBS 含有率 70% の BC をベースとし、(a)OPC 比率を一定として LSP を添加した配合、(b)GGBS 比率を一定として LSP を添加した配合を検討した。なお、比較用に OPC 単体の配合も検討した。こ

表-1 セメントの配合

分類		配合名 (含有率)	添加率 (%)			配合構成図
			OPC	GGBS	LSP	■ クリンカ ■ GGBS ■ LSP
OPC		B0 L7	100.0	-	-	
BB 水準	ベース BB	B45 L4	55.0	45.0	-	
		B42 L7		41.9	3.2	
		B39 L10	55.0	38.9	6.2	
		B29 L20		28.9	16.2	
	GGBS 一定	B45 L7	51.6		3.4	
		B45 L10	48.4	45.0	6.6	
		B45 L20	37.6		17.4	
	BC 水準	ベース BC	B70 L2	30.0	70.0	-
OPC 一定		B62 L10	30.0	62.1	7.9	
BC 比率維持		B64 L10	27.6	64.4	8.1	
GGBS 一定		B70 L10	21.5	70.0	8.5	

のとき、OPC 中に少量混合成分として含有されている LSP : 7%分を考慮して、セメント全体での LSP 含有率を 7, 10, 20%に調整した。配合名は「B (GGBS 含有率) _L (LSP 含有率)」とする。

2. 1. 試験項目

水セメント比を 50%, 細骨材とセメントの比率を 2.6 とし、40×40×160mm の角柱モルタル供試体を作製した。打込み翌日に脱型した後、温度 20℃の環境にて封緘養生を行った。

(1) 圧縮強さ試験 (JIS R 5201)

材齢 7, 28, 56 日において試験を実施した。

(2) 促進中性化試験 (JIS A 1153)

材齢 7 日から CO₂ 濃度 5%の促進中性化装置に静置させ、所定の材齢で割裂し、中性化深さを計測し、中性化速度係数を算出した。

(3) 塩水浸漬試験 (JSCE-G574)

材齢 7 日から、NaCl 濃度 5%の塩水に浸漬させ、材齢 7, 28, 56 日に割裂し、塩分浸透深さを計測した。

3. 試験結果

3. 1. 圧縮強さ

図-1 に圧縮強さを示す。OPC 単体である B0_L7 と比較して、その他配合の圧縮強さは小さかった。これは養生方法が水中養生ではなく封緘養生で、GGBS の反応

に必要な水分が供給されなかったと考えられる。BB 水準のみに着目すると、ベース BB である B45_L4 と比較して、OPC 一定の 3 配合と GGBS 一定の B45_L7 において、圧縮強さの維持または増進が確認された。一方で GGBS 一定の B45_L10 と B45_L20 では圧縮強さの低下が確認された。OPC 含有率を維持すれば、LSP 含有率の増加によらず圧縮強さは担保されることが考えられる。BC 水準ではいずれもベース BC と同程度であった。

3. 2. 中性化速度係数

図-2 に中性化速度係数を示す。BB 水準に着目すると、LSP の添加方法によらず、LSP 含有率が 7、10% の時はベース BB と比較して中性化速度係数の維持または減少が確認された。一方、LSP 含有率が 20% の時は中性化速度係数が増加し、GGBS 一定の B45_L20 においては顕著に増加した。BC 水準に着目すると、ベース BC である B70_L2 と比べ、いずれの配合においても LSP 添加により中性化速度係数が増加した。以上のことから、BB 水準で LSP 含有率が 10% 程度であれば中性化抵抗性については問題ないと考えられる。また、図-3 に示す圧縮強さと中性化速度係数の関係に着目すると、LSP を添加した場合においても高い相関が確認された。OPC 単体である B0_L7 と比較すると、BB 水準および BC 水準の中性化抵抗性は劣るものの、強度を担保することで中性化抵抗性も担保できると考えられる。

3. 3. 塩水浸漬深さ

図-4 に塩分浸透深さを示す。OPC 単体である B0_L7 は顕著に塩分浸透深さが大きかった。また、GGBS 含有率が大きいほど塩分浸漬深さが小さくなり、OPC 一定で LSP 添加率 20% の B29_L20 のみ塩水浸漬深さが 10mm に達したが、そのほかの配合において 7 日以降は停滞するような傾向が確認された。GGBS 含有率を 30% 以上確保できれば塩分遮蔽できると考えられる。

4. まとめ

本研究において得られた成果を以下に示す。

- 1) BB 水準において、OPC 一定で LSP を添加した場合、または GGBS 一定で LSP 含有率が 7% の場合は、圧縮強さの維持または増進が確認された。
- 2) BB 水準において、LSP 含有率が 10% 程度であれば中性化速度係数を維持でき、強度の担保により中性化抵抗性も担保できると考えられる。
- 3) 塩水浸漬試験の結果から、GGBS 含有率を 30% 以上確保できれば、塩分を遮蔽できると考えられる。

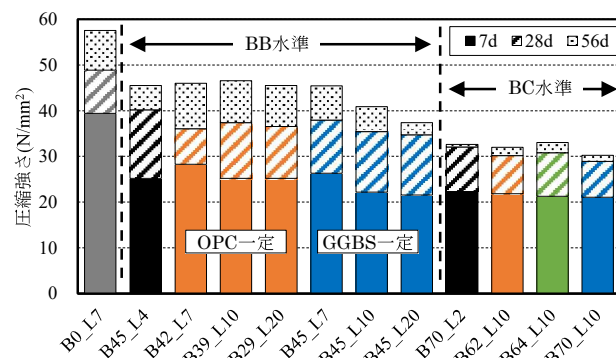


図-1 圧縮強さ

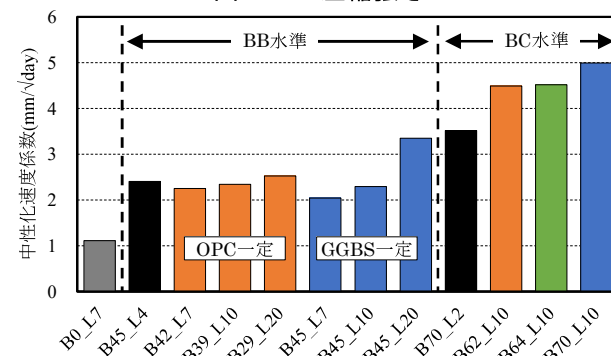


図-2 中性化速度係数

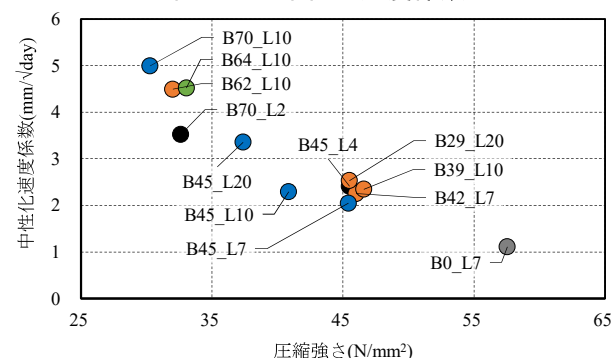


図-3 圧縮強さ（材齢 56 日）と中性化速度係数

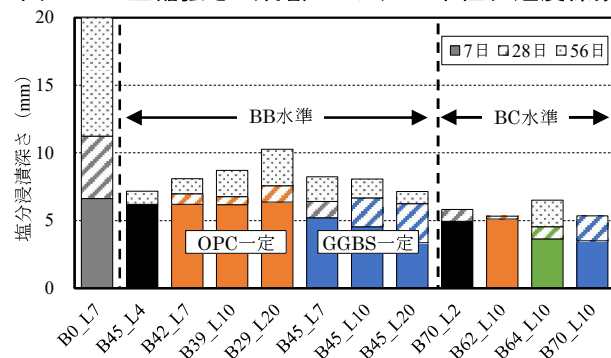


図-4 塩水浸漬深さ

参考文献

- 1) セメント協会：カーボンニュートラル実現に向けた技術対応と JIS 化への取組み，2023
- 2) 田中敏嗣：廃棄物・副産物のセメント製造における使用とコンクリート用混和材の有効利用における課題，コンクリート工学，Vol.52，No.5，pp.476-479，2014