

低熱高炉セメント B 種を使用したコンクリートに塩害と炭酸化が複合作用した場合の耐久性に関する実験的検討

鹿児島大学大学院 学生会員 ○江口 康平

鹿児島大学大学院 正会員 武若 耕司

鹿児島大学大学院 学生会員 梅木 真理

鹿児島大学大学院 正会員 山口 明伸

大成建設 正会員 松元 淳一

1.はじめに

近年，耐久性向上を目的として高炉スラグ微粉末を使用した際，温度ひび割れが発生するという事例が多数報告があり，この対策として低熱高炉セメント B 種が開発され，実用化が進められている．ただし，通常の高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートの耐久性については多くの検討がなされているのに対して，この低熱高炉セメントを使用したコンクリートの耐久性については，未だ十分な検討がなされていない現状にある．そこで本研究は，塩害と炭酸化の複合劣化が低熱高炉セメント B 種使用コンクリートに与える影響について実験的検討を行った．

2. 実験概要

表 - 1 使用材料

実験には、W/C70%のコンクリートを用いた。使用材料は表 - 1に示すようにセメントは低熱高炉セメントB種（以下、LBB）を基本とし、比較用として、普通ポルトランドセメント（以下、OPC）および高炉セメントB種（以下、BB）を用いた場合についても検討を行った。コンクリートの配合は、表 - 2に示すように、単位水量および細骨材率を一定とし、目標スランプを $8 \pm 2\text{cm}$ として定めた。

セメント	普通ポルトランドセメント(密度 $3.15\text{g}/\text{cm}^3$)
	高炉セメントB種 (密度 $3.02\text{g}/\text{cm}^3$ ，ブレン値 $4000\text{cm}^2/\text{g}$)
	低熱高炉セメントB種 (密度 $2.98\text{g}/\text{cm}^3$ ，ブレン値 $3200\text{cm}^2/\text{g}$)
細骨材	富士川産川砂($2.64\text{g}/\text{cm}^3$ ，吸水率 1.76%)
粗骨材	始良産砕石(密度 $2.63\text{g}/\text{cm}^3$ ，吸水率 0.61%)

表 - 2 供試体配合

セメント 種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)			
			W	C	S	G
OPC	70	49	190	271	906	936
BB					910	940
LBB					904	934

使用した供試体を図 - 1に示す .その作製にあたっては ,まず ,φ 10cm × 20cmの型枠にかぶり3cmとなるように鉄筋を配してコンクリートを打設し ,初期水中養生後 ,打設方向の影響をなくすために中央で2つに切断し試験面とした .その後 ,いずれの供試体も ,試験面を除く側面お

よび底面をエポキシ樹脂にて被覆した。また、初期養生期間の違いが耐久性に及ぼす影響についても検討するため、初期養生期間が7日と28日の2種類について検討を行った。

劣化試験は、塩水浸せきと炭酸化促進を複合させた促進試験（以下、「塩害 - 炭酸化試験」とし、塩水浸せき装置を高CO₂濃度環境に設置して浸せきと乾燥を繰り返すことにより、複合劣化状況を再現させた。乾湿繰り返し方法は、浸せき3.5日と乾燥7日の繰り返し

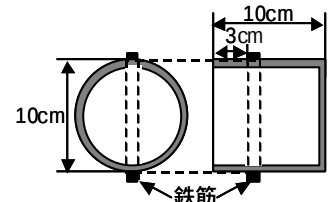


図 - 1 供試体形状

しを1サイクルとし、40サイクルまで行うことにした。また、LBB供試体については、浸せき3.5日、乾燥3.5日とした場合についても試験を行った。なお、塩水浸せきに用いた溶液はNaCl5%水溶液とし、炭酸化促進では、環境室内のCO₂濃度を5%に設定した。今回はW/C70%供試体の20サイクル終了時までの結果について報告する。

表 - 3 促進試驗環境条件

1サイクル	浸せき時間	3.5日
	乾燥時間	3.5日or7日
CO ₂ 濃度		0, 5%
温度		30
湿度		70 ~ 100%
浸せき溶液		・ NaCl 5%水溶液

3. 試験結果および考察

図-2には、初期養生期間を7日および28日とし、「塩害-炭酸化試験」を20サイクルまで行った場合の中性化深さの経時変化を示す。なお、LBB供試体については乾燥期間を3.5日とした場合の結果も併せて示す。いずれのセメントを使用した場合でも、初期養生期間が長くなるに従って炭酸化の進行を抑制しているが、BBおよびLBBを使用した場合、炭酸化に対する抵抗性はOPCに比べ幾分劣る結果となった。また、BB供試体とLBB供試体では、少なくとも20サイクルまでは中性化速度にそれほど大きな差はないようであった。LBB供試体における乾燥期間の相違が炭酸化に及ぼす影響について見ると、乾燥期間が短くなると、炭酸化は明らかに遅くなる結果となった。

キーワード：低熱高炉セメント，複合劣化，乾湿繰り返し，耐久性

連絡先 : 〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40 鹿児島大学大学院理工学研究化海洋土木工学専攻 TEL099-285-8480

次に、初期養生期間 7 日および 28 日供試体に、「塩害 - 炭酸化試験」を 20 サイクルまで行ったコンクリート内部の全塩化物イオン量の分布を図 - 3 に示す。いずれの初期養生期間においても BB, LBB を使用した場合、OPC に比べ塩化物イオンの浸透を抑制しているが、初期養生期間を 7 日とした LBB 供試体では、BB 供試体に比べて鉄筋位置付近(3cm)まで塩化物イオンの浸透は明らかに多く、その値は 2.5kg/m^3 と腐食発生限界量(1.2kg/m^3)を上回っていた。このことから、初期養生が不十分な場合、LBB 使用コンクリートでは BB 使用の場合よりも塩分浸透に対する抵抗性は幾分劣ることが予想された。なお、乾燥期間を 3.5 日とした場合には、7 日の場合に比べて、コンクリート表層部の塩化物イオン濃度は低くなる傾向にあるが、内部では両者に大きな差は認められない。

図 - 4 には「塩害 - 炭酸化試験」を 20 サイクルまで行った初期養生期間 28 日供試体について、浸せき終了直後ならび乾燥終了直後にそれぞれ測定した鉄筋自然電位の経時変化を示す。いずれのセメントを使用した場合でも、浸せき終了直後の自然電位は、試験開始 1 サイクル目から腐食有無判定の目安とされている -230mV (vs 飽和 Ag/AgCl 電極基準)よりも卑な値を示し、その後もほぼ同様の値で推移したが、乾燥終了直後の電位では、試験開始後比較的早い時期には電位の卑変傾向が認められるものの、その後電位は貴変し、サイクルの経過に伴って、徐々に再度卑変して -230mV を下回る傾向を示した。

図 - 5 には、初期養生期間を 7 日あるいは 28 日とし、その後、「塩害 - 炭酸化試験」を行った供試体中の鉄筋腐食面積率の経時変化を示した。BB および LBB を用いた場合、いずれの初期養生期間においても OPC 供試体より鉄筋腐食を抑制している状況が確認された。また、LBB 供試体において、乾燥期間の相違が鉄筋腐食に与える影響について見ると、乾燥期間を 7 日とした場合、20 サイクル終了時では 1% 未満の腐食が確認されたのに対し、乾燥期間を 3.5 日とした場合では、点錆程度の僅かな腐食が発生するに止まった。なお、自然電位により腐食の有無を判定した場合、20 サイクル終了時では乾燥直後の電位においても全ての供試体において -230mV を下回る状況にあり、腐食が予想されたが、実際に解体調査でも、上記のように僅かではあるが腐食が確認された。

以上の検討結果から、LBB を使用した場合には、養生期間が十分に確保される場合には塩分浸透や鉄筋防食効果については、BB と同程度の耐久性を有していると考えられた。ただし、養生期間が短いと塩分抑制効果が十分に得られない可能性があることや、BB と同様に炭酸化に対する耐久性については課題があることも確認された。

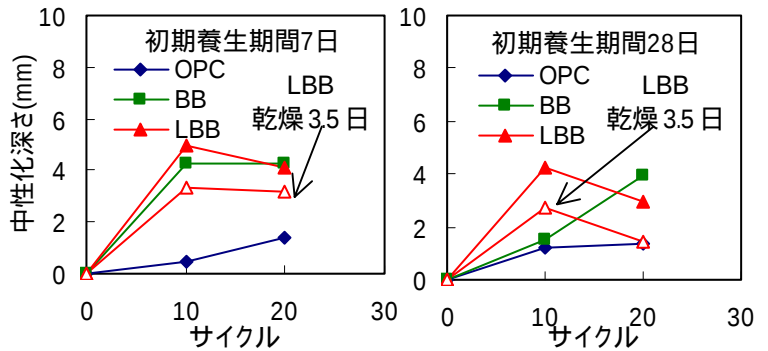


図 - 2 中性化深さの経時変化

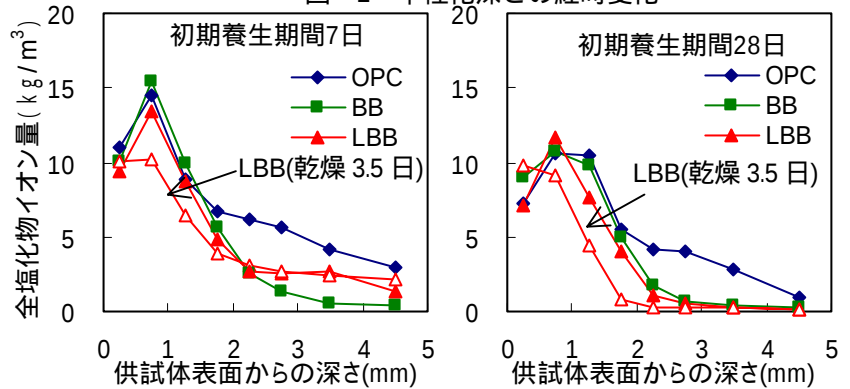


図 - 3 20 サイクル終了後の全塩化物イオン量分布

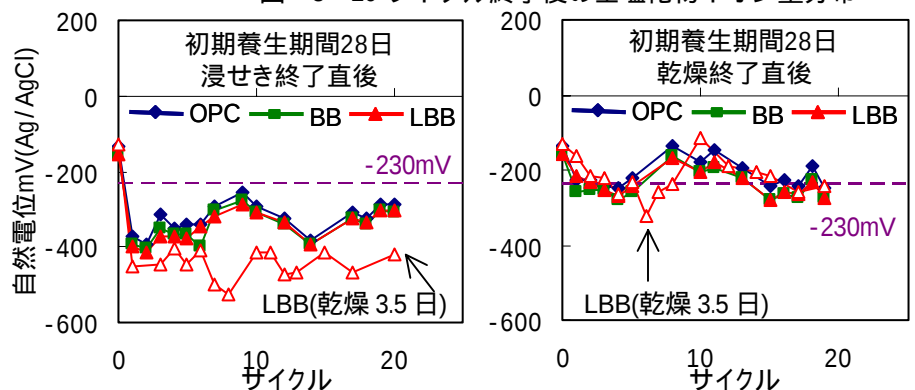


図 - 4 自然電位の経時変化

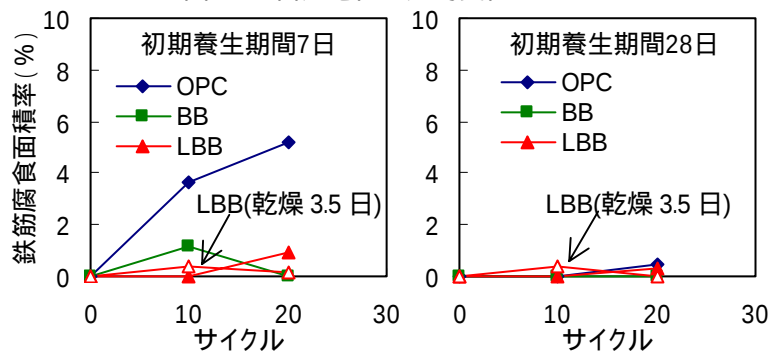


図 - 5 鉄筋腐食面積率の経時変化