若材齢時の炭酸化が高炉スラグ微粉末を用いたセメント硬化体の酸素拡散係数に及ぼす影響

群馬大学工学部　学生会員　○横塚　清規
群馬大学大学院　正会員　半井　健一郎　李　春鶴
群馬大学大学院　学生会員　石井　祐輔

１．はじめに

養生条件は，耐久性に関わる物質移動抵抗性に大きく影響する．十分な養生を行わず，早期に気中にさらされる場合には，水分の逸散とともに，炭酸化の影響を検討しなければならない．

著者らの普通ポルトランドセメントペーストに関する研究[1)]では，若材齢からの乾燥を受けると酸素拡散係数は水中養生を行なった場合よりも増加するが，その間の炭酸化の影響により，水セメント比30%，45%の供試体では酸素拡散係数の増加が緩和，水セメント比60%の供試体では酸素拡散係数がさらに増加することを確認した．混和材料の影響については，既往の研究[2)]では，高炉スラグ微粉末を用いた供試体について，材齢56日までの標準水中養生後に促進炭酸化を行なった結果，炭酸化によって，酸素拡散係数が増加することが報告されている．高炉スラグ微粉末の潜在水硬性と水和生成物の特性などを考慮すると，高炉スラグ微粉末を置換した供試体における，若材齢からの炭酸化が酸素拡散係数に及ぼす影響の検討が必要である．

そこで本研究では，高炉スラグ微粉末を置換した供試体を作製し，若材齢からの養生環境が高炉スラグ微粉末を用いたセメント硬化体の酸素拡散係数に及ぼす影響を検討することを目的とした．

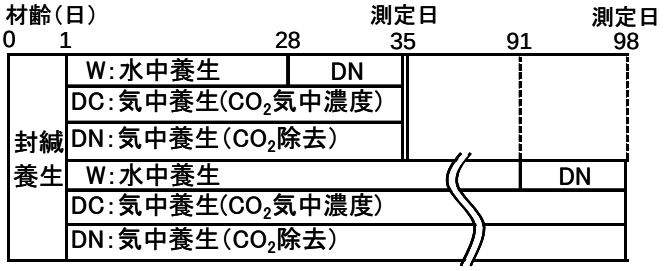
２．実験概要

２．１供試体の作製

配合は，OPC のみを用いた供試体(以下 OPC のみと称する)と，OPC の代わりに比表面積が 4820cm^2/g の高炉スラグ微粉末を 50%置換した供試体(以下スラグ置換と称する)の計2種類とした．いずれも水結合材比は45%とした．練混ぜは JSCE-F505 に準じて行い，φ100×5mm の円盤形型枠に打ち込んだ．24 時間の封緘養生後に脱型をし，所定の養生を行った．

２．２養生条件

養生条件，測定材齢を**図－1**に示す．養生条件は水中養生(以下 W と称する)，CO_2が室内濃度の空気を供給した



図－１　養生条件および測定材齢

気中養生(以下 DC と称する)，CO_2を除去した気中養生(以下 DN と称する)の 3 種類とした．測定材齢は 35，98 日とした．養生温度は20±3℃，気中養生は相対湿度 60±3%の密閉養生装置内において行なった．W については測定日の 7 日前からDN 環境下で乾燥させ，飽和度が一定になるように調整した．DC は定期的に換気を行ない，装置内の空気を交換した．DN はあらかじめソーダライムを用いて養生装置内の CO_2を除去した[1)]．

２．３実験内容

(1)飽和度の算出

所定の測定材齢において，各条件で 24 時間減圧吸水を行った後の質量を表乾質量，105℃で 24 時間炉乾燥を行なった後の質量を絶乾質量とし，それらを用いて飽和度を算出した．分析には 2 サンプルの平均値を用いた．

(2)酸素拡散試験

酸素拡散試験は，(社)日本コンクリート工学協会より提案されている「酸素の拡散係数試験方法(案)」を白川らが改良した試験方法[3)]に準じて行った．酸素拡散係数の算出には白川らにより提案されている拡散係数算出式[3)]を用いた．この式は供試体の厚さ，断面積および，気体の流量に依存せずに酸素拡散係数を算出できるとされている．

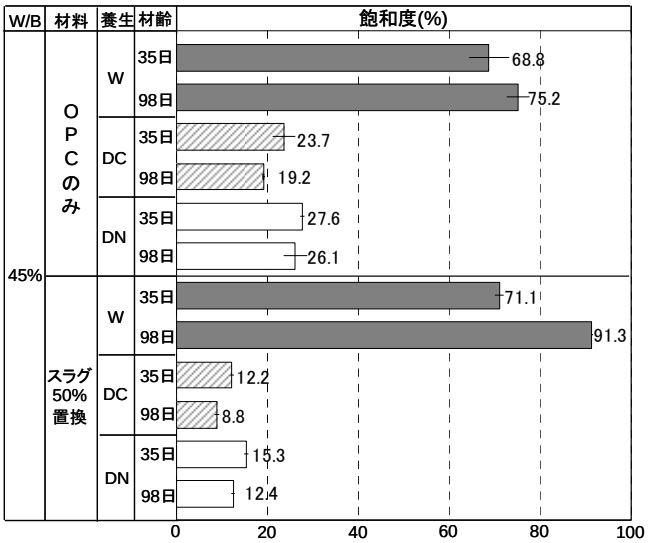
所定の測定材齢において，各条件で5～6サンプルの酸素拡散係数を算出した。分析にはその平均値を用いた．

３．実験結果

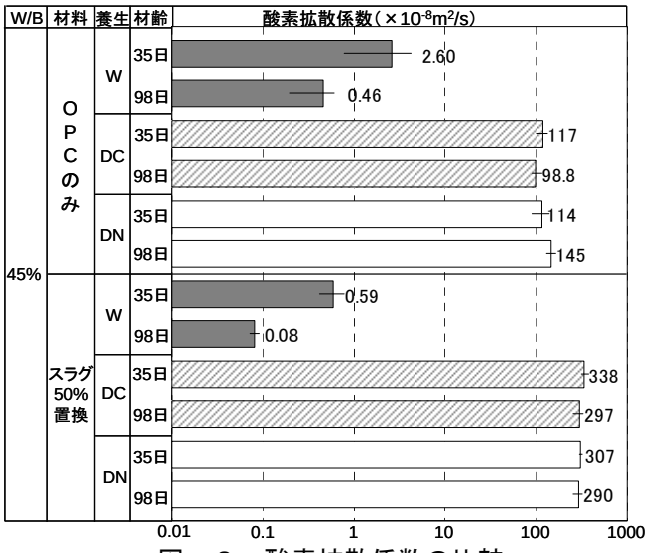
３．１飽和度

飽和度の算出結果を**図－2**に示す．高炉スラグ微粉末の有無に関わらず，WとDC，DNの比較では，Wの方が飽

キーワード　若材齢，乾燥，炭酸化，高炉スラグ微粉末，酸素拡散係数
連絡先　〒376-8515　群馬県桐生市天神町 1-5-1　群馬大学工学部　TEL0277-30-1613　FAX0277-30-1611



図－２　飽和度の比較



図－３　酸素拡散係数の比較

和度は非常に高く，材齢の経過に伴い飽和度は増加している． DC，DN は W に比べ飽和度が低く，材齢の経過でさらに低くなっている．若材齢からの乾燥により水和の進行は阻害され，粗な細孔が形成されたと考えられる．スラグ置換は，W では材齢の経過による飽和度の増加が OPC のみに比べ大きく，DC，DN では飽和度が OPC のみの半分程度である．これは若材齢から十分な水分供給を受けた場合，OPC のみよりも緻密な細孔構造が形成されるが，その反面，若材齢時の水分供給が不十分であった場合，OPC のみよりも粗な細孔構造が形成されると考えられる．このことから，スラグ置換はOPCのみに比べ養生環境の水分供給の影響を大きく受けるといえる．

DCとDNの比較では，高炉スラグ微粉末の有無に関わらず，DCの方が飽和度は低く，炭酸化の影響によりセメント硬化体の飽和度は低下した．これは，炭酸化による飽和度の低下は，炭酸化で比表面積が低下し，水和物に吸着する水分が減少したためではないかと考えられる．

３．２酸素拡散係数

酸素拡散係数の算出結果を**図－３**に示す．高炉スラグ微粉末の有無に関わらず，W は DC，DN に比べ酸素拡散係数が非常に小さく，材齢の経過に伴いさらに小さくなる．スラグ置換は，OPC のみに比べ酸素拡散係数が，W では小さく，DC，DN では大きい．これは，飽和度でも述べたように，スラグを置換することにより，OPC のみに比べ養生環境の水分供給の影響を大きく受けたものといえる．

DN，DC ともに高炉スラグ微粉末の有無により異なる傾向を示している．DN において，OPC のみでは材齢の経過により酸素拡散係数は増加するが，スラグ置換においては材齢の経過により拡散係数が低下する．これは，高炉スラグ微粉末の潜在水硬性による水和の進行の可能性が考えられる．DC において，OPC のみでは DN に比べて，酸素拡散係数は材齢 35 日ではほぼ同程度の値であり，材齢の経過により小さくなる．しかし，スラグ置換は，DN に比べ材齢 35 日では酸素拡散係数が大きく，材齢の経過に伴い低下しているものの，材齢が経過して 98 日の時点においても，DN より酸素拡散係数が大きい．これは，高炉スラグ微粉末を置換した供試体の若材齢時の炭酸化による細孔構造の変化と高炉スラグ微粉末の継続的な水和による細孔構造の変化などの複合的な変化によると推察される．この部分は，結合水量の測定と細孔構造の測定などの分析を含めて，今後の課題とする．

４．まとめ

1）スラグ置換は OPC のみに比べ，若材齢時の水分供給の差が酸素拡散係数の違いに顕著に現れる．

2）スラグ置換は若材齢時の炭酸化の影響により，酸素拡散係数は大きくなるが，材齢の経過により酸素拡散係数は低下している．これは，高炉スラグ微粉末の炭酸化と潜在水硬性などの複合的な要因によるものと推察される．

参考文献

1)石井祐輔ほか：材齢初期からの乾燥および炭酸化がセメント硬化体の水和生成物と酸素拡散係数に及ぼす影響，第 31 回コンクリート工学年次論文集【投稿中】

2）白川敏夫ほか：モルタル・コンクリートの気体有効拡散係数への炭酸化の影響，コンクリート工学年次論文集，vol.28，No.1，2006

3）白川敏夫ほか：セメント硬化体中への気体の拡散係数測定方法の提案，日本建築学会構造系論文集，No.515，pp.15-21，1999．