各種結合材を用いた蒸気養生コンクリートの物質移動性状に関する基礎的検討

長崎大学　正会員　○佐々木　謙二
長崎大学　学生会員　岡野　耕大
長崎大学　楠本　慎太郎
長崎大学　正会員　原田　哲夫

１．はじめに

コンクリートの各種性能は，材料や配合のみならず，施工の良し悪し，養生条件，暴露条件の影響を大きく受ける．その点を考慮すると現場打ちのコンクリートよりも工場で製造されるプレキャストコンクリート（PCa）製品の方が品質が安定しており，施工の面においても工期短縮や省力化が可能である．また，環境負荷抑制，副産資源の有効活用の観点から，高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどを積極的に使用していくことも望まれている．本研究では，PCa 製品を製造する際に一般的に行われる蒸気養生コンクリートを対象として，水分逸散性状と塩分浸透性状の観点から物質移動性状の評価を行った．

２．実験概要

結合材として，普通ポルトランドセメント[N]，早強ポルトランドセメント[H]，N と高炉スラグ微粉末 6000 の混合系(65%：35%)[NB]，N とフライアッシュの混合系(80%：20%)[NF]を用いた．細骨材は海砂，粗骨材は砕石を用い，混和剤としては高性能減水剤を使用し，Non-AE コンクリートとした．コンクリートの配合を**表−１**に示す．

養生条件を**表−２**に示す．前置時間，降温速度を変化させた組合せで蒸気養生を行った．後養生は，打設 24 時間で脱型した後に，気中養生(20℃，R.H.60%)または水中養生(20℃)を行った．

水分逸散量の測定は以下のように行った．材齢 28 日にφ100×200mm 円柱供試体の中心部において厚さ 50mm の円盤試験体を切断・採取した．打込み側の円形の 1 面のみを残し，それ以外の部分をエポキシ樹脂によりコーティングした．その後真空飽和処理を行い，恒温恒湿槽(20℃，R.H.60%)に暴露し，経時的に水分逸散量を測定した．

塩化物イオン浸透深さは，水分逸散量測定試験体と同様の前処理を行った試験体を 3% NaCl 溶液に浸漬し，1 年経過後に割裂面に $AgNO_3$ 溶液を噴霧して測定した．

３．結果および考察

図−１に暴露期間 91 日までの水分逸散量の経時変化を結合材別に示す．蒸気養生後に気中養生を行った場合には，いずれの結合材においても水分逸散量は多く，特に前置時間を 0.5 時間とし徐冷した【B-D】の場合や前置時間を 3 時間とし急冷した【C-D】の場合に水分逸散量が多い．蒸気養生条件を同一とし，後養生を気中養生とした【A-D】の場合と水中養生にした【A-W】の場合を比較すると，いずれの結合材においても水分供給のある【A-W】の場合に水分逸散量は少なく，水分供給により水分逸散性状を改善できることが分かる．また，蒸気養生後に気中養生を行った試験体と，ほぼ同程度の圧縮強度となる水結合材比 55%で標準養生を行った試験体の水分逸散量を比較する

表−１　コンクリート配合

記号	結合材種類	水結合材比 W/(C+SCM)	細骨材率 s/a	単位量（kg/m³）					
				水 W	セメント C	混和材 SCM	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 AD
N40	N	40%	37%	165	413	—	648	1189	0.83
H40	H				413	—	647	1188	1.03
NB40	NB				268	145	644	1182	0.83
NF40	NF				330	83	638	1172	0.62

表−２　養生条件

記号	養生方法	前置時間 (h)	昇温速度 (℃/h)	最高温度 保持時間(h)	降温速度 (℃/h)	後養生方法
A-D	蒸気養生	3	20	4	4.5	気中養生（20℃，R.H.60%）
B-D		0.5				
C-D		3			急冷	
D-D		0.5				
A-W		3			4.5	水中養生（20℃）
S	標準養生(20℃水中養生)					

キーワード　蒸気養生，水分逸散，塩分浸透，混和材
連絡先　〒852-8521　長崎県長崎市文教町 1-14　長崎大学大学院工学研究科　ＴＥＬ095-819-2592

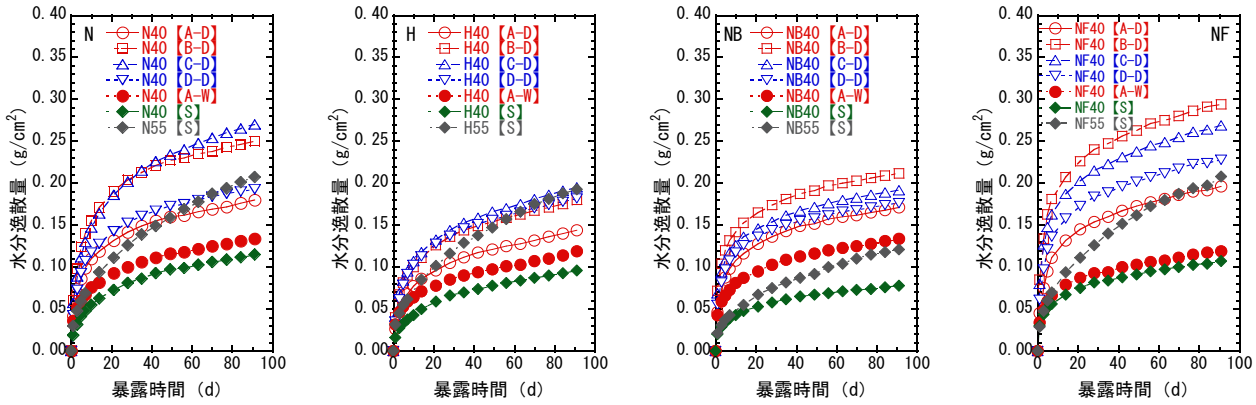

図-１　水分逸散量の経時変化

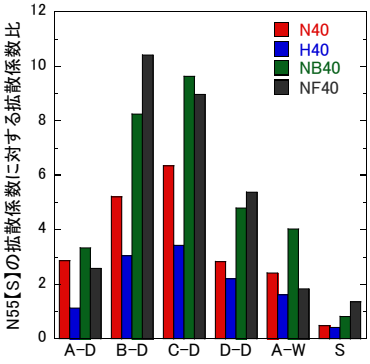

図-２ N55【S】の水分拡散係数に対する水分拡散係数比

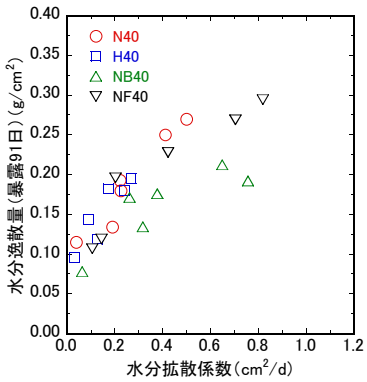

図-３ 水分拡散係数と水分逸散量の関係

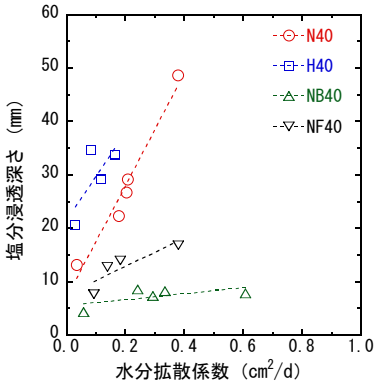

図-４ 水分拡散係数と塩分浸透深さの関係

と，一部の結合材，養生条件を除いて蒸気養生を行った場合の水分逸散量が暴露初期において大きくなった．蒸気養生後に水分供給をした場合には，NB40 を除いて水結合材比 55%で標準養生を行った試験体よりも水分逸散量が少なくなっており，蒸気養生条件とともに後養生における水分の保持・供給が非常に重要であると言える．

コンクリートからの水分逸散量は，一次元の半無限の水分移動を考えた場合，以下の式(1)で表せる．

$$M_t = (C_e - C_0)hDt\left(1 - 0.752\sqrt{t}\xi + 0.500t\xi^2 - 0.301t\sqrt{t}\xi^3\right), \quad h = f/D, \quad \xi = f/\sqrt{D} \qquad (1)$$

ここで，M_t：水分逸散量，C_e：周囲の湿度，C_0：供試体内部の初期湿度，D：拡散係数，f：表面係数，t：時間である．異なる時間 t_1，t_2についてそれぞれ式(1)を求め，連立方程式として解くと，水分拡散係数 D と表面係数 f を算出することができる．本研究では，t_1=0.5 日，t_2=1 日として連立方程式を解き，高含水率領域における水分拡散係数 D と表面係数 f を算出した．**図-２**に N を用い水結合材比 55%で標準養生を行った試験体（N55【S】）の拡散係数に対する水分拡散係数比を示す．蒸気養生を行った場合にはいずれの結合材においても拡散係数比は 1 を超える結果となり，同程度の圧縮強度を有する N55【S】よりも緻密性が低いコンクリートであると推定される．**図-３**に水分拡散係数と水分逸散量（暴露期間 91 日）の関係を示す．NB40 を除いて結合材によらず拡散係数と水分逸散量には高い相関がある．このことより，極初期の飽和状態に近い高含水率領域における水分拡散係数のみで長期的な水分逸散性状もある程度推定できるものと考えられる．

図-４に水分拡散係数と塩分浸透深さの関係を示す．N40，H40 では蒸気養生条件により塩分浸透深さが大きく異なることが分かる．また同一結合材の場合，水分拡散係数と塩分浸透深さには高い相関があることが確認される．

４．まとめ

本研究では，蒸気養生コンクリートを対象として，水分逸散性状と塩分浸透性状の観点から物質移動性状の評価を行った．その結果，結合材種類と養生条件の組合せにより水分逸散性状が大きく異なり，蒸気養生後の水分供給が非常に重要であることが確認された．さらに，水分逸散性状から算出した水分拡散係数により，蒸気養生コンクリートの緻密性は同程度の圧縮強度を有する標準養生コンクリートよりも低いことが明らかとなった．また同一結合材の場合，水分拡散係数と塩分浸透深さには高い相関があることが確認された．