

コンクリートの中性化および透気性に及ぼす含水率の影響

D1-08055 尾作 勇介

1. はじめに

コンクリートは湿潤状態のほうが中性化は遅く進行するため、促進中性化試験においては4週間の水中養生後に4週間の乾燥期間を設けているが、一般的にはまだコンクリートは乾燥途上であり、一定の質量になる以前に促進中性化を開始していることになる。この乾燥期間が中性化に及ぼす影響を把握するため、乾燥期間を変えて促進中性化試験を行う。また現在、中性化を現場で非破壊で推測するために、透気試験が検討されているが、その結果にはコンクリートの含水率が影響するとされている。このため、各材齢および促進中性化試験終了後に含水率の測定および透気試験を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

使用材料を表1に示す。

表1 使用材料

種類	材料名	物性等
セメント	普通ポルトランドセメント	密度3.16 (g/cm ³)
粗骨材	青梅産硬質砂岩砕石	表乾密度2.65 (g/cm ³)
細骨材	大井川水系陸砂	表乾密度2.59 (g/cm ³)
混和剤	AE減水剤 ポゾリスNo. 70	
	AE助剤 No. 303A	
練混ぜ水	上水道水	

2.2 調合

コンクリートの調合表に示す通り水セメント比を3水準設定した。

表2 コンクリートの計画調合表(1m³)

水セメント比 (%)	目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m ³)	絶対容積 (L/m ³)			単位粗骨材かさ容積 (m ³ /m ³)	質量 (kg/m ³)			AE減水剤 (g/m ³)	AE助剤 (g/m ³)
					セメント	細骨材	粗骨材		セメント	細骨材	粗骨材		
50	18	4.5	44.1	175	111	295	374	0.60	350	765	991	875	10.5
60	18	4.5	46.2	170	90	321	374	0.60	283	831	991	708	9.0
70	18	4.5	47.7	175	75	341	374	0.60	236	883	991	590	5.9

2.3 供試体の作製

強度試験用に10φ×20cmの軽量型枠を用いて円柱供試体を水セメント比50%、60%、70%各3本、計9本作製

した。促進中性化および乾燥用に10cm×10cm×40cmの鋼製型枠の中心に仕切りを設け、10cm×10cm×20cmの角柱供試体が2本出来るようにして、水セメント比50%、60%、70%各9本、計18本作製した。

2.4 試験項目と試験方法

角柱供試体の水セメント比50、60、70%1-1、2-1、3-1、3-2は1週乾燥後、4-1、5-1、6-1、6-2は4週乾燥後、また、7-1、8-1、9-1、9-2は13週乾燥後促進中性化を開始した。表面含水率および、透気係数の測定は打ち込み面の左右2ヶ所で測定。透気係数の測定は表面含水率5.0%以下のときに行った。促進中性化した角柱供試体は、割裂したのち断面にフェノールフタレイン溶液を噴霧し中性化深さの測定を行った。

表3 試験項目と方法

供試体	試験項目	試験方法
円柱供試体	密度	寸法・質量測定による
	超音波伝播速度	CTM-15
	圧縮強度	JIS A 1108
	動弾性係数	JIS A 1127
	ヤング係数	JIS A 1149
角柱供試体	表面含水率	低周波水分計による
	促進中性化	JIS A 1153
	透気係数	ダブルチャンバー
	中性化深さ	JIS A 1152

3. 実験結果

3.1 円柱供試体による圧縮強度等の試験結果

表4に円柱供試体の試験結果を示す。水セメント比による密度の違いはほとんど認められなかった。超音波伝播速度、圧縮強度、動弾性係数、ヤング係数には水セメント比による差が認められた。

表4 円柱供試体試験結果

W/C (%)	養生方法	材齢	密度 (g/cm ³)	超音波伝播速度	圧縮強度 (N/mm ²)	動弾性係数 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
50	標準養生	4週	2.32	42.0	43.8	38.3	30.6
60			2.32	42.9	33.2	36.3	29.4
70			2.31	43.7	24.9	34.4	27.5

表 5 角柱供試体による各種試験結果

	期間(週)																	
	9/10(18)			10/1(21)			12/3(30)			1/8(35)								
	密度 (g/cm3)	表面 含水率	透気係数 ($\times 10^{-16}m^2$)	密度 (g/cm3)	表面 含水率	透気係数 ($\times 10^{-16}m^2$)	密度 (g/cm3)	表面 含水率	透気係数 ($\times 10^{-16}m^2$)	密度 (g/cm3)	表面 含水率	透気係数 ($\times 10^{-16}m^2$)	中性化深さ(mm)					
平均打込面													平均下	平均側面1	平均側面2	全平均	側面平均	
50-1W中	2.31	4.7	0.04	2.32	4.8	0.04	2.32	4.4	0.08	2.32	4.4	0.06	12.3	10.3	12.0	11.6	11.6	11.8
50-1W乾	2.29	5.2	0.11	2.29	4.8	0.11	2.28	4.5	0.18	2.28	4.6	0.19						
50-4W中	2.34	4.8	0.05	2.34	4.9	0.05	2.34	4.4	0.06	2.34	4.5	0.07	16.1	8.7	11.9	11.8	12.1	11.9
50-4W乾	2.19	5.2	0.10	2.19	4.9	0.12	2.19	4.6	0.17	2.18	4.6	0.21						
50-13W中	2.29	5.2		2.29	5.2		2.30	4.6	0.12	2.30	4.7	0.08	12.0	9.6	10.7	10.7	10.8	10.7
50-13W乾	2.28	4.9		2.28	4.9		2.28	4.7	0.16	2.27	4.7	0.18						
60-1W中	2.30	4.8	0.16	2.30	4.8	0.20	2.30	4.3	0.35	2.30	4.3	0.32	24.8	20.5	22.9	22.8	22.8	22.9
60-1W乾	2.22	5.0	0.21	2.22	4.7	0.29	2.21	4.4	0.47	2.21	4.3	0.47						
60-4W中	2.29	4.9	0.22	2.30	4.9	0.25	2.29	4.2	0.32	2.30	4.4	0.43	27.7	22.3	24.7	24.2	24.7	24.4
60-4W乾	2.25	5.0	0.23	2.25	4.8	0.29	2.25	4.2	0.44	2.24	4.2	0.49						
60-13W中	2.26	5.0		2.27	5.2		2.28	4.2	0.38	2.28	4.7	0.41	24.9	20.1	22.1	22.7	22.4	22.4
60-13W乾	2.25	5.1		2.27	4.8		2.26	4.3	0.38	2.26	4.3	0.44						
70-1W中	2.29	4.9	0.71	2.30	5.0	0.85	2.30	4.3	1.09	2.30	4.3	1.13	42.6	39.2	40.2	40.0	40.5	40.1
70-1W乾	2.26	4.9	0.49	2.26	4.6	0.59	2.25	4.2	0.85	2.25	4.2	1.02						
70-4W中	2.28	5.0	0.78	2.28	5.0	0.77	2.28	4.1	1.29	2.28	4.4	1.31	40.9	44.0	38.8	38.4	40.5	38.6
70-4W乾	2.21	4.9	0.48	2.21	4.7	0.59	2.21	4.2	0.86	2.20	4.2	1.03						
70-13W中	2.24	4.9		2.25	5.3		2.26	4.2	1.49	2.26	4.6	1.69	40.8	35.5	39.2	39.0	38.6	39.1
70-13W乾	2.26	5.0		2.26	4.6		2.25	4.1	1.02	2.25	4.1	1.21						

表 6 脱型時との質量差

	脱型時からの期間(週)													中-乾(g)
	5/8(0)	6/4(4)	6/12(5)	7/2(8)	9/3(17)	9/10(18)	10/1(21)	10/15(23)	11/6(26)	11/19(28)	12/3(30)	1/8(35)		
	脱型時との質量差(g)													
50-1W中	0	39.1	-10.5	-11.8	-14.0	-14.3	-4.7	-14.7	-11.3	-10.6	-9.3	-5.8	62.9	
50-1W乾	0	39.5	-12.8	-43.6	-70.9	-54.7	-51.1	-60.8	-62.1	-63.9	-64.6	-68.7		
50-4W中	0	39.8	-9.5	-42.8	-9.8	-10.1	0.9	-9.8	-6.7	-5.7	-4.5	-0.8	67.5	
50-4W乾	0	37.9	-10.3	-42.8	-69.3	-53.9	-51.1	-60.9	-61.7	-63.4	-64.3	-68.3		
50-13W中	0	38.8	-8.6	-42.0	-68.3	-41.1	-26.1	-26.0	-22.9	-15.0	-12.8	-5.3	60.5	
50-13W乾	0	37.7	-8.0	-40.8	-65.8	-53.3	-47.0	-57.4	-59.0	-60.7	-61.5	-65.8		
60-1W中	0	35.9	-36.1	-34.6	-29.0	-27.7	-15.7	-23.3	-20.5	-19.4	-18.5	-16.9	75.2	
60-1W乾	0	35.2	-32.2	-67.8	-95.8	-77.1	-75.0	-85.2	-86.3	-87.9	-87.9	-92.1		
60-4W中	0	37.1	-31.1	-68.6	-26.5	-26.5	-13.2	-21.1	-18.3	-17.0	-16.4	-14.8	79.2	
60-4W乾	0	37.4	-24.2	-66.4	-97.0	-76.2	-75.3	-86.0	-87.3	-89.3	-89.2	-94.0		
60-13W中	0	36.2	-25.3	-67.3	-96.9	-65.1	-45.3	-30.0	-31.9	-28.6	-27.2	-21.5	70.4	
60-13W乾	0	35.1	-23.1	-64.6	-93.5	-76.2	-72.8	-82.6	-84.2	-86.2	-86.8	-91.9		
70-1W中	0	39.5	-33.4	-56.6	-46.4	-46.6	-34.9	-43.2	-41.0	-40.2	-40.3	-39.9	78.2	
70-1W乾	0	37.9	-34.7	-87.7	-123.6	-101.1	-100.8	-111.7	-112.1	-114.0	-114.5	-118.2		
70-4W中	0	39.2	-26.8	-86.9	-45.0	-45.6	-34.0	-42.3	-40.1	-39.6	-39.9	-40.6	77.6	
70-4W乾	0	39.9	-19.1	-83.4	-120.2	-100.9	-100.9	-111.5	-112.1	-113.7	-114.5	-118.2		
70-13W中	0	39.9	-24.3	-86.8	-117.7	-86.4	-65.3	-59.0	-52.0	-49.2	-49.1	-45.9	77.5	
70-13W乾	0	38.8	-29.3	-91.3	-127.7	-112.0	-106.7	-116.5	-117.4	-119.2	-119.4	-123.4		

3. 2 角柱供試体による各種試験結果

表 5 に角柱供試体の試験結果を示す。水セメント比に関わらず中性化、乾燥による密度の変化はほとんど認められなかった。表面含水率について、ばらつきはあるが中性化用供試体、乾燥用供試体ともに小さくなる傾向を示した。水セメント比が増加すると透気係数の値は大きくなった。中性化深さは水セメント比が大きくなると大きくなった。表 6 に脱型時との質量差を示す。時間の経過とともに、中性化させた試験体と乾燥させた試験体の質量差に明瞭な差が認められた。

図 1 に脱型時との質量差と時間の対応を示す。コンクリートの水中養生時の吸水性状は、水セメント比による差はほとんど認められないが、その後の乾燥による質量減少には明瞭な差が認められた。中性化させると、いずれの水セメント比でも質量の増加が認められ、1 週乾燥より 4 週乾燥、13 週乾燥の方がより中性化による質量増加が大きかった。13 週乾燥および一時乾燥させていた供試体が、試験槽の不調により質量が増加してしまった。

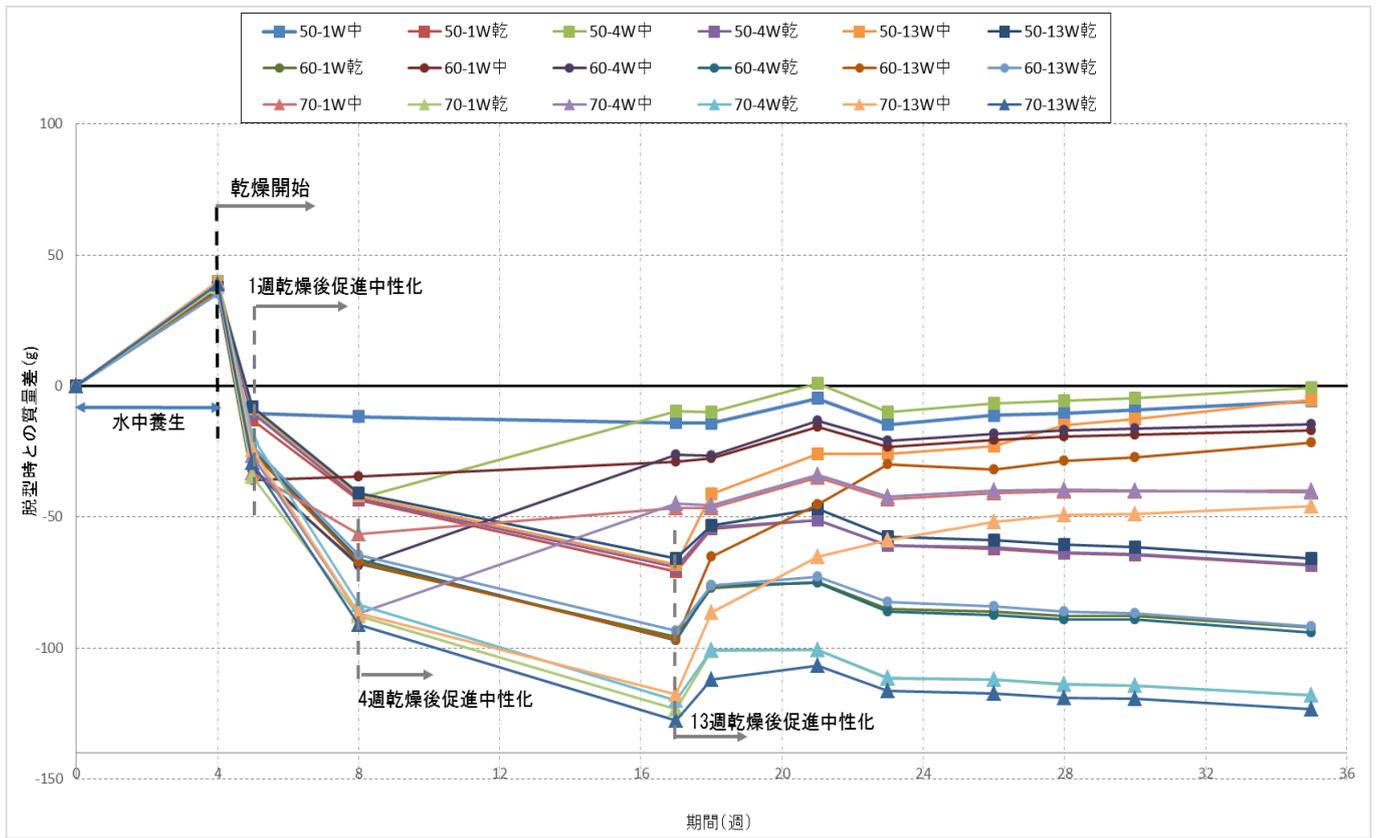


図 1 脱型時との質量差と時間の対応

3. 3 各種測定値について

図 2 に水中養生後の乾燥期間と試験終了時の中性化用供試体と乾燥用供試体との質量差の関係を示す。水セメント比による質量差には明瞭な差が認められた。水セメント比 50% 以外は乾燥期間が長くなると質量差が小さくなる傾向を示した。

図 3 に乾燥期間と中性化深さの関係を示す。水セメント比が増加すると、中性化深さも大きくなる傾向を示した。

乾燥期間による中性化深さの差はほとんど認められなかった。図 4 に脱型時との質量差による中性化用供試体と乾燥用供試体の質量差と、中性化深さとの関係を示す。質量差が大きくなるほど中性化深さは大きくなる傾向が認められ、両者の間には高い相関性が認められた。水セメント比による質量差に明瞭な差が認められた。

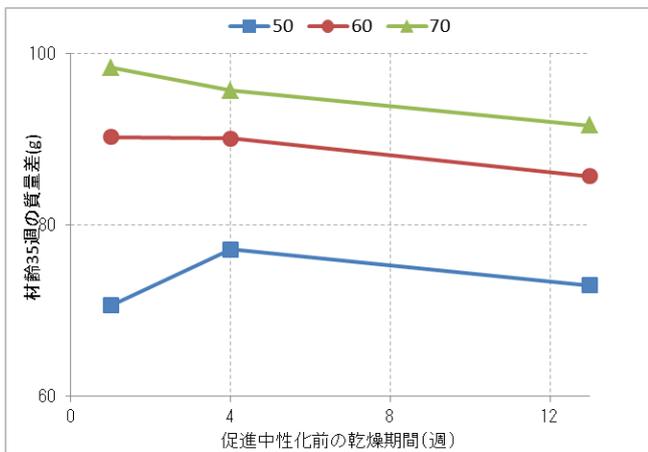


図 2 乾燥期間と質量差の関

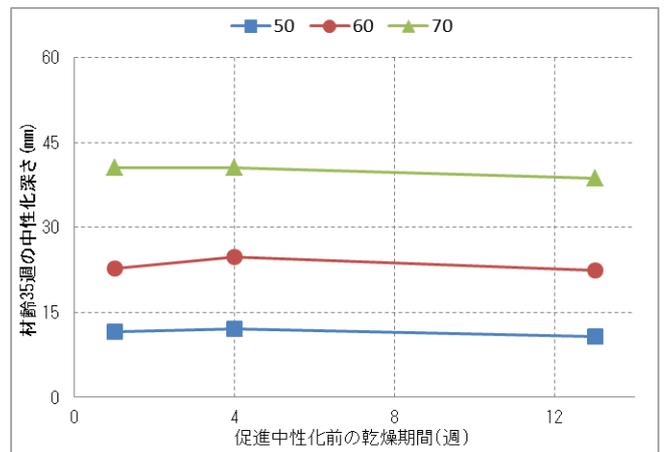


図 3 乾燥期間と中性化深さの関係

試験槽の不調のため、質量が増加してしまったので水中養生後の質量変化を次式で近似して、表7に示す各係数を求めて期間17週以降の質量を推測し、35週時点における質量差を求めている。

$$y=A+B\left(\frac{x-4}{x-4+a}\right)^b$$

図5に透気係数と中性化深さの関係を示す。透気係数が増加するほど中性化深さも増加していった。透気係数と中性化深さには高い相関性が認められた。しかしながら、文献1)のデータでは、本実験結果より透気係数が1ケタ以上大きくなっており、透気係数の測定条件について今後検討する必要がある。

図6に表面含水率と中性化深さの関係を示す。乾燥期間1週の供試体はその後の乾燥期間が34週と長い場合含水率は小さくなっている。同じ乾燥期間でも、水セメント比による表面含水率および中性化深さは、ややばらつきのある結果となった。

4. まとめ

- (1) 水中養生により、供試体の質量増加には水セメント比の影響は認められなかったが、乾燥後の質量減少には明確な差が認められた。
- (2) 乾燥期間1週、4週、13週では中性化後の質量増加は乾燥期間が長いほど急激に増加し、試験終了時の質量増加には乾燥期間の影響は認められなかった。
- (3) 試験終了時の中性化深さは乾燥期間によらず、ほぼ同じ値となったので、乾燥期間にかかわらず促進中性化を始めても問題ないと思われる。
- (4) 乾燥期間にかかわらず、透気係数と中性化深さの間に高い相関性が認められた。

参考文献

- 1) 田中章夫他：鉄筋コンクリート構造物の表層透気性を評価する上での2, 3の課題に関する検討、コンクリート工学年次論文集、pp.1775-1780、2010
- 2) 菅野暁寛他：各種PCaパネル用コンクリートの耐久性に関する実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.401-402、2013.8
- 3) 栗塚一範他：表層コンクリートの圧縮強度と透気係数の関係に関する一考察、シンポジウムコンクリート構造物の非破壊検査論文集 Vol.4、pp.71-76、2012.8

表7 近似式における係数

	W/C50	W/C60	W/C70
A	38.4	35.9	38.9
B	-123	-151	-187
a	1.9	1.9	1.9
b	1	1	1

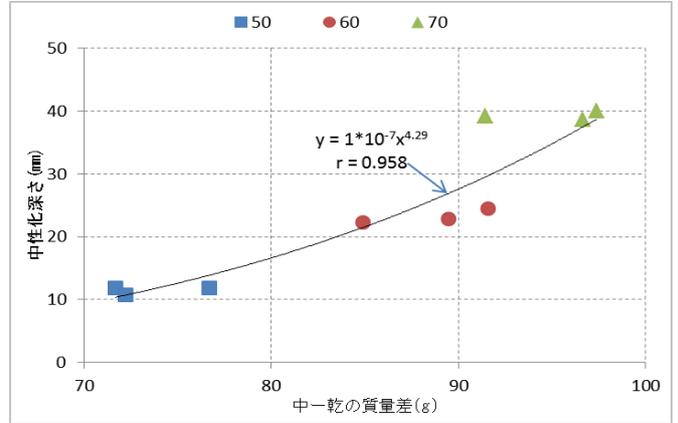


図4 近似式における質量差と中性化深さの関係

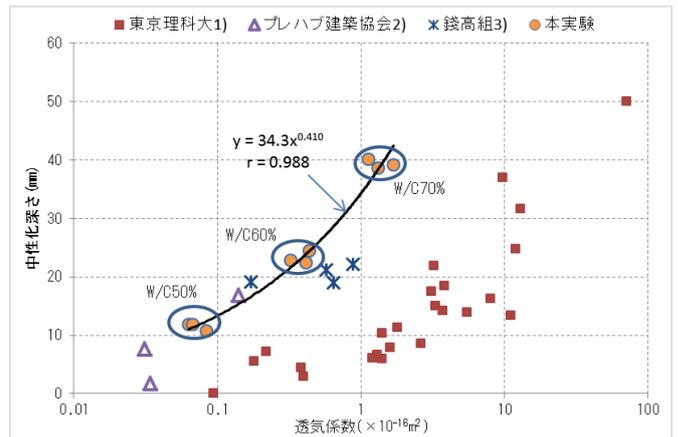


図5 透気係数と中性化深さの関係

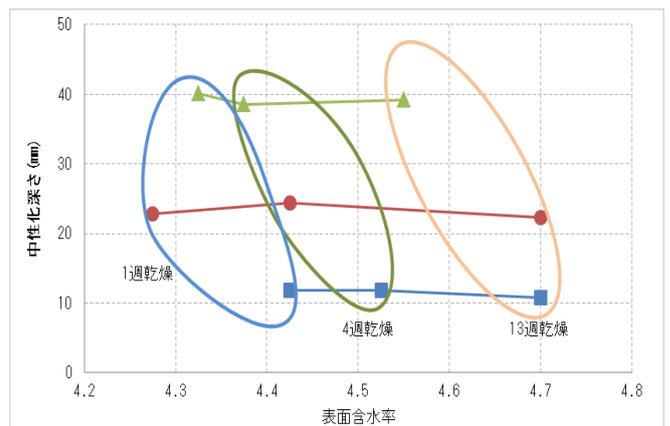


図6 中性化深さと含水率の対応