

コンクリートの中性化に及ぼす温度条件の影響

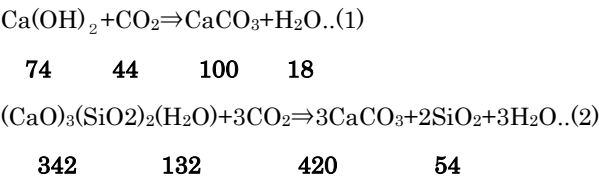
DA-12163 佐々木 雅治

1. はじめに

鉄筋コンクリートの耐久性を支配する要因の一つに中性化がある。コンクリートの中性化には、コンクリートの含水状態が大きく影響するが、これについて継続的に検討した例は少ない。本実験では中性化に及ぼす水中養生後の温度条件の影響を把握する。表 1 に事件の要因と水準を表す。コンクリートの供試体作製後乾燥期間および促進中性化期間の毎週質量をはかりどのように変化したか調べた。ビーカーに水を入れて 4 つの条件の異なる乾燥機に入れ、蒸発速度を測定し、コンクリートの水分蒸発の予測に結びつける。水分の蒸発量が置く場所によって変わらないことを確認する。26 週測定後乾燥機の炭酸ガスを止め、試験体を割裂し、その割裂した面にフェノールフタレイン溶液をかけ、中性化深さを測定する。

2. 質量測定による中性化の推定

コンクリートが中性化すると、一般に質量が増加するといわれている。これはセメントの組成化合物の水和によって生じた水酸化カルシウムおよび珪酸カルシウム水和物の炭酸化によるものとされている。このため、質量測定によりコンクリートの中性化の促進が可能になると考えられている。式 (1) に水酸化カルシウムの中性化を、式 (2) に珪酸カルシウム水和物の中性化を示す。



3. 実験概要

20×10×10 の供試体作製後表 1 の水準で乾燥させる。比較する対象として矢印でしめした組み合わせになる。以下の 6 組を比較する。

- ・ 30℃4 週、30℃二酸化炭素と 20℃13 週、30℃二酸化炭素
- ・ 20℃1 週、20℃継続と 20℃1 週、20℃二酸化炭素

- ・ 20℃1 週、30℃継続と 20℃1 週、30℃二酸化炭素
 - ・ 30℃1 週、30℃継続と 30℃1 週、30℃二酸化炭素
 - ・ 20℃4 週、20℃二酸化炭素と 20℃13 週、20℃二酸化炭素
 - ・ 20℃4 週、30℃二酸化炭素と 20℃4 週、30℃継続
- 水の蒸発量を測る事で温度条件による質量変化にむすびつけられないかと検討した。400cc のビーカー10 個に水を満タンに入れ、各乾燥機に 24 時間後入れた後取り出し、どのくらい水分量が変化したか測る。
- 26 週乾燥させた後強度圧縮試験機を使い割裂させ、その後フェノールフタレイン溶液をかけ、紫に反応しなかった箇所にな中性化が進んでいる。中性化深さと質量変化が温度条件によりどのくらい関係してくるかを比較し検討する。

表 1 実験の要因と水準

要因	水準
乾燥期間	1週、4週、13週
温度	20℃、30℃
二酸化炭素	0%、5%
湿度	60%

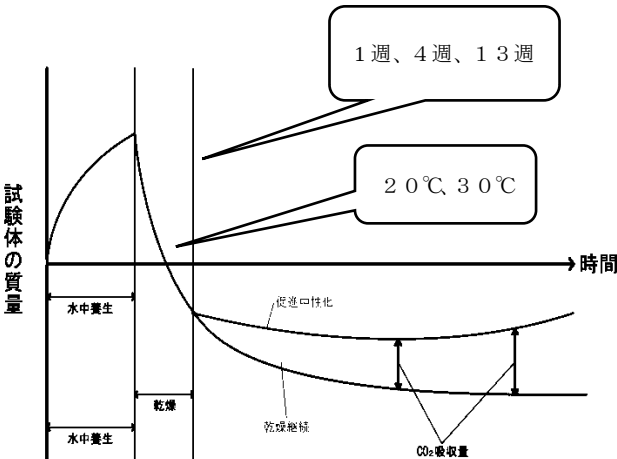


図 1 試験体の脱型・養生から中性化促進までの流れ

4.試験結果

表2 2015/06/03 コンクリート練り 中性化 30℃ 20℃ 比較 現場調査表(35L)														
調 合 No.	水セメン ト比(%)	目標ス ランブ (cm)	目 標 空 気 量 (%)	質 量 (kg)					AE減水 剤4倍 希釈液 (g)	AE助剤 100倍 希釈液 (g)	フレッシュ性状			
				水	セメン ト	細骨材	粗骨材 (大)	粗骨材 (小)			スランブ (cm)	空 気 量 (%)	単位容積質 量(kg/L)	練上がり温 度(℃)
1	50	18	4.5	5.95	11.90	28.09	17.05	17.05	119.0	41.7	18.50	4.00	18.526	21
2	60	18	4.5	5.95	9.92	29.71	17.05	17.05	99.2	29.8	18.50	3.90	18.616	20.9
3	70	18	4.5	5.95	8.50	30.87	17.05	17.05	85.0	21.3	18.80	3.30	18.622	20.9

表3 蒸発量の測定結果

	11月測定結果			平均値			9月測定結果			平均値			11月測定結果			平均値			9月測定結果			平均値		
20℃60%5%																								
1	374	348	26	441.3	428.3	13	11.79	1	381.8	363.4	18.4	16.36	456.5	434.3	22.2	16.78								
2	393.3	372.5	20.8	450.9	450.9	10.7		2	380.3	366.1	14.2		445.3	442.8	2.5									
3	397	382.6	14.4	448.6	448.6	9.4		3	383.7	367.3	16.4		441.4	425.6	15.8									
4	387	370.9	16.1	456.4	456.4	9.9		4	389.2	376.9	12.3		446.9	434.1	12.8									
5	388.2	360.6	27.6	448.8	448.8	13.4		5	382.3	363.5	18.8		446.6	424.2	22.4									
6	397.6	380.7	16.9	446.8	446.8	10.5		6	384.9	367.8	17.1		447.6	425.8	21.8									
7	384.3	382.2	2.1	452.3	452.3	11.9		7	386.6	364.9	21.7		450.4	430.8	19.6									
8	383.5	364.6	18.9	451.6	451.6	8.2		8	381.5	364.4	17.1		452	446.9	5.1									
9	382.8	359	23.8	449.7	449.7	17.1		9	386.7	379.1	7.6		446.3	420.9	25.4									
10	391.1	366	25.1	451.1	451.1	13.8		10	393.1	373.1	20		452.2	432	20.2									
20℃60%0%																								
1	382.4	355.3	27.1	444.2	430.9	13.3	17.56	1	383.9	374	9.9	15.5	441.1	423	18.1	15.02								
2	399.7	362.3	37.4	450.7	436.5	14.2		2	389.6	364.6	25		452.7	432.3	20.4									
3	396.2	361	35.2	439.4	419.3	20.1		3	388.7	377.7	11		449.7	437.8	10.9									
4	397.5	362.7	34.8	456.2	440.7	15.5		4	383.5	372	11.5		448.8	437.8	11									
5	386.3	377.6	8.7	441.4	420.9	20.5		5	381.8	366.8	15		449.1	436.4	12.7									
6	387.6	382.9	4.7	453	436.1	16.9		6	378.5	366	12.5		447.8	438.2	9.6									
7	391.6	379.3	12.3	452.5	431.1	21.4		7	380.2	368.2	12		443.9	427.7	16.2									
8	385.1	375.9	9.2	453	429.5	23.5		8	375.8	361.2	14.6		445.9	429	16.9									
9	378.3	359	19.3	433.7	415	18.7		9	386	371.3	14.7		442.9	427.6	15.3									
10	388.5	378	10.5	438.9	427.4	11.5		10	386.7	377.9	8.8		449.2	430.1	19.1									
30℃60%5%																								
1	382.4	355.3	27.1	444.2	430.9	13.3	17.56	1	383.9	374	9.9	15.5	441.1	423	18.1	15.02								
2	399.7	362.3	37.4	450.7	436.5	14.2		2	389.6	364.6	25		452.7	432.3	20.4									
3	396.2	361	35.2	439.4	419.3	20.1		3	388.7	377.7	11		449.7	437.8	10.9									
4	397.5	362.7	34.8	456.2	440.7	15.5		4	383.5	372	11.5		448.8	437.8	11									
5	386.3	377.6	8.7	441.4	420.9	20.5		5	381.8	366.8	15		449.1	436.4	12.7									
6	387.6	382.9	4.7	453	436.1	16.9		6	378.5	366	12.5		447.8	438.2	9.6									
7	391.6	379.3	12.3	452.5	431.1	21.4		7	380.2	368.2	12		443.9	427.7	16.2									
8	385.1	375.9	9.2	453	429.5	23.5		8	375.8	361.2	14.6		445.9	429	16.9									
9	378.3	359	19.3	433.7	415	18.7		9	386	371.3	14.7		442.9	427.6	15.3									
10	388.5	378	10.5	438.9	427.4	11.5		10	386.7	377.9	8.8		449.2	430.1	19.1									
30℃60%0%																								
1	382.4	355.3	27.1	444.2	430.9	13.3	17.56	1	383.9	374	9.9	15.5	441.1	423	18.1	15.02								
2	399.7	362.3	37.4	450.7	436.5	14.2		2	389.6	364.6	25		452.7	432.3	20.4									
3	396.2	361	35.2	439.4	419.3	20.1		3	388.7	377.7	11		449.7	437.8	10.9									
4	397.5	362.7	34.8	456.2	440.7	15.5		4	383.5	372	11.5		448.8	437.8	11									
5	386.3	377.6	8.7	441.4	420.9	20.5		5	381.8	366.8	15		449.1	436.4	12.7									
6	387.6	382.9	4.7	453	436.1	16.9		6	378.5	366	12.5		447.8	438.2	9.6									
7	391.6	379.3	12.3	452.5	431.1	21.4		7	380.2	368.2	12		443.9	427.7	16.2									
8	385.1	375.9	9.2	453	429.5	23.5		8	375.8	361.2	14.6		445.9	429	16.9									
9	378.3	359	19.3	433.7	415	18.7		9	386	371.3	14.7		442.9	427.6	15.3									
10	388.5	378	10.5	438.9	427.4	11.5		10	386.7	377.9	8.8		449.2	430.1	19.1									

試験結果についてコンクリート練りの現場調査は表2のようになった。水の蒸発量の測定は表3で示したとおり9月と11月と2回計測を行った。今回使用した乾燥期は外の気温の影響を受けやすいので、一体どれくらいの影響を受けるかを2回計測することで比較した。9月と11月なのであまり温度の影響による変化は見られなかった。水の蒸発量を計測することによってコンクリート供試体の質量変化を推測することができる可能性がある事が分かった。次に質量の水セメント比ごとの変化として、図2から4は水セメント比による質量変化である。どの水セメント比も最初から4周までは変化は激しかったが、その後の変化のしかたはあまり大きくかった。水セメント比による質量変化のしかたの違いとして50%の質量変化は温度によって差があったが、60%、705は質量変化のしかたの違いはあまり見られなかった。質量変化のグラフからは以上のことが分かった。水の蒸発量の変化を質量変化と結びつけることができれば、コンクリートをねらずに質量変化の予測を立てられる。

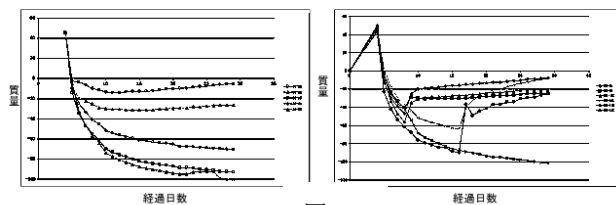


図2

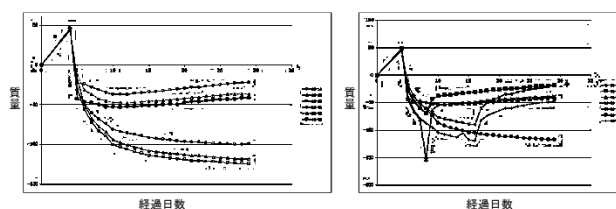


図3

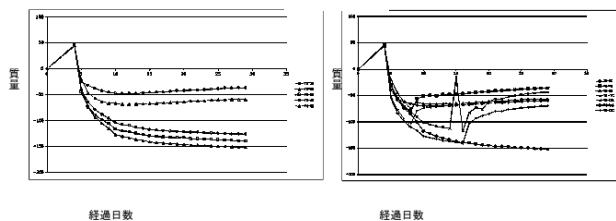


図4

水セメント比ごとの質量差変化について、表 4 のように 6 個の繰り合わせになっており水セメント比ごとに比較されている。質量差を疑核したグラフについて水セメント比 50%は温度によってのばらつきが見られたが、60%、70%になるとその質量差変化の違いもあまり見られなくなり、温度による影響もあまり見られなくなったこの結果は質量変化と類似していて質量と質量差の水セメント比ごとの変化は比例していると分かる。また、どの水セメント比でも言えることは 4 週までは大きく変化することはあったが、それ以降の変化のしかたは一定であった。質量変化のグラフと比例して質量差変化も水セメント比 50%が一番温度の影響を受けやすいということが分かった。今回温度条件を前例の少ないものにすることで、水セメント比ごとに変化の仕方の違いを見ることが出来た。実験水準でしめたように、乾燥後 1 週、4 周、13 週での移動先を表 5 に示した。乾燥機を入れ替えることで新たな温度条件を加える事で新たな変化のしかたを予測できる。

表 4 供試体の移動先

番号	打設(6/3)		吸水後(6/30)		1週後(7/7)		4週後(7/28)		13週後(9/29)		26週後(12/29)	
	温度(℃)	CO ₂ (%)	温度(℃)	CO ₂ (%)	温度(℃)	CO ₂ (%)	温度(℃)	CO ₂ (%)	温度(℃)	CO ₂ (%)	温度(℃)	CO ₂ (%)
1			20		20	0	20	0	20	0		
2			20		30	0	30	0	30	0		
3			30		30	0	30	0	30	0		
4			20		20	5	20	5	20	5		
5			20		30	5	30	5	30	5		
6			30		30	5	30	5	30	5		
7			20		20	0	20	5	20	5		
8			20		20	0	30	5	30	5		
9			30		30	0	30	5	30	5		
10			20		20	0	20	0	20	5		
11			20		20	0	30	0	30	0		
12			30		30	0	30	0	30	5		

表 5 供試体の質量の比較

養生	乾燥	乾燥継続または中性化の促進比較の例
20℃水中	20℃1週	20℃継続
	30℃1週	30℃継続
	20℃1週	30℃継続
	30℃1週	20℃二酸化炭素
	20℃4週	30℃二酸化炭素
	30℃4週	20℃二酸化炭素
	20℃13週	30℃二酸化炭素
	20℃4週	30℃二酸化炭素
	20℃13週	30℃二酸化炭素
	20℃4週	30℃継続
	20℃13週	30℃二酸化炭素
	20℃13週	30℃二酸化炭素

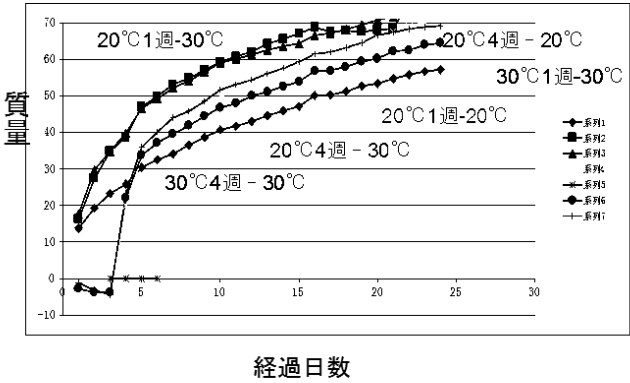


図 5 供試体の質量差の変化 (w/c 50%)

乾燥期間と質量差変化の関係について 20℃と 30℃の乾燥期間と質量差変化を比較した。図 8 の 20℃の温度変化は水セメント比 50%がもっとも変化が小さく次に 60%、もっとも大きいのが 70%となっている。4 週まではあまり変化の差が見られなかったがそれ以降は変化の差にばらつきがあった。図 9 に示した 30℃のグラフは 20℃に比べて水セメント比による質量変化の差はあまり見られなかった。図 10 は示した中性化深さと水セメント比の関係を比較した表とグラフある。上の表は水セメント比と中性化深さの関係を示した図であり、したのグラフはその測定箇所と中性化深さの関係を表している。

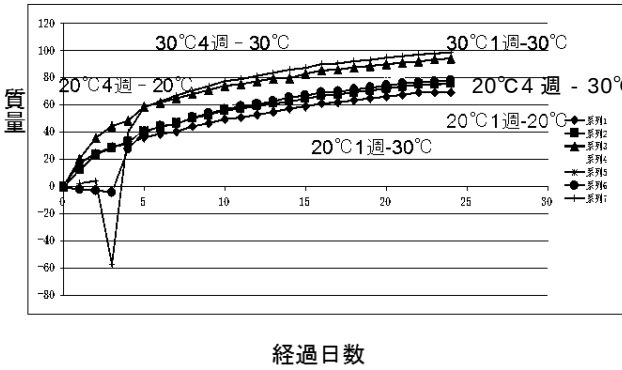


図 6 供試体の質量差の変化 (w/c 60%)

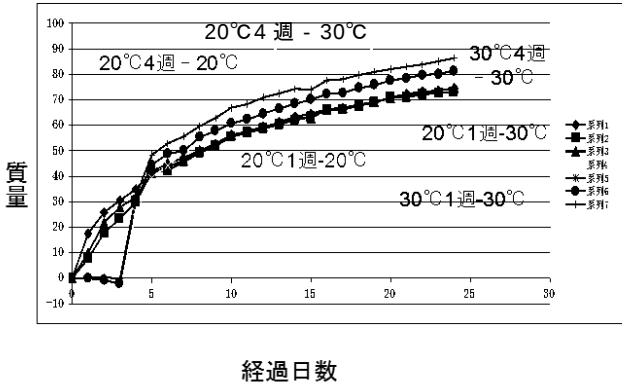


図 7 供試体の質量差の変化 (w/c 70%)

この表とグラフから 20℃と 30℃では 30℃の方が中性化は進んでいることが分かる。質量や質量差は 20℃の時の方が影響を受けていたが、中性化深さは 30℃の方が影響を受けていることが分かる。図 11 に中性化深さと質量差変化のグラフを記した。これは中性化深さと質量差を比較し、このグラフを作ることにより中性化深さから質量差を予測できるようになる。

5. 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いが、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るが、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開始しても同じだと推測できる。

(4) 透気係数と中性化深さには高い相関性が認められたので、透気係数から中性化深さを導くことが可能だと推測できる。

(5) 26 週まで質量を測ったが最後の方はあまり変化が少なく変化の仕方もほとんど変わらなかった。

(6) 供試体の含水量の差はあまりなく割裂後の質量もほとんどばらつきはなかった。

(7) 20%と 30%ではやはり質量変化に差がみられ、炭酸ガスを入れた槽と入れていない槽ではその分だけ変化に差が出た。

(8) 中性化深さは温度に関係なく質量変化によって予測が付けられる事が分かった。

謝辞

実験に際し、阿部研究室各位の協力を得ました。また、質量測定に協力していただいた鈴木賀久氏並びに阿部研一同謝意を表します。

参考文献

尾作勇介、阿部道彦 コンクリートの中性化および透気性に及ぼす含水状態の影響 日本建築学会報告集 2015 3

島崎学、阿部道彦 Pca コンクリートの促進中性化に関する実験、日本建築学会報告集、pp-4-5 , 2009 3

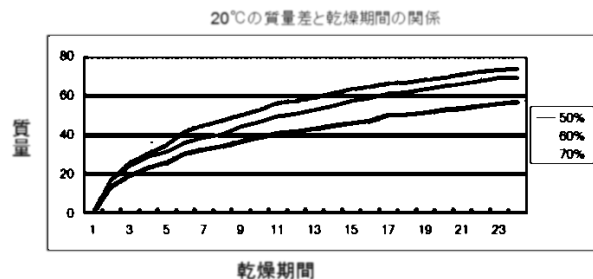


図 8 質量差の経時変化 (20℃)

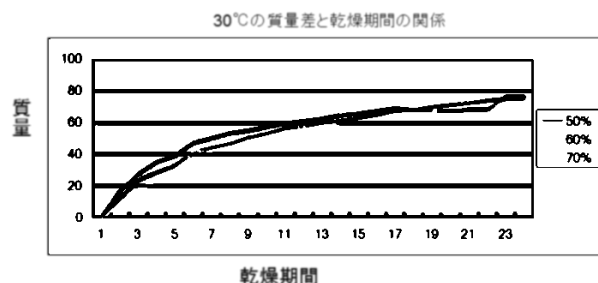


図 9 質量差の経時変化 (30℃)

表 6 中性化深さの測定結果 (図を含む)

20℃ 中性化と経過日数の関係						30℃ 中性化と経過日数の関係					
番号	中性化深さ (mm)	中性化率 (%)	中性化深さ (mm)	中性化率 (%)	経過日数 (日)	番号	中性化深さ (mm)	中性化率 (%)	中性化深さ (mm)	中性化率 (%)	経過日数 (日)
50-1w	12	11.82	11.82	11.82	12.0	50-1w	19.32	14.84	12.02	19.15	14.825
50-4w	14.48	11.84	13.1	11.75	19	50-4w	17.42	13.45	14.72	13.82	14.185
50-13w	16.22	9.8	12.42	11.59	12.4	50-13w	14.54	12.24	14	13.33	13.675
60-1w	16.82	16.35	24.62	24.77	24.0	60-1w	26.12	20.7	21.22	19.92	20.265
60-4w	19.05	26.35	27.62	23.65	24.1	60-4w	21.65	20.38	19.47	26.17	24
60-13w	23.71	18.59	16.72	21.28	13.5	60-13w	26.54	20.71	21.52	26.82	21.445
70-1w	18.77	26.7	28.62	26.59	25.5	70-1w	34.12	23.28	22.52	34.74	23.535
70-4w	23.18	27.48	27	21.32	24.9	70-4w	23.12	25.44	26.65	22.25	29.585
70-13w	34.65	24.74	30.72	32.44	21.52	70-13w	39.22	27.77	22.65	31.62	31.925

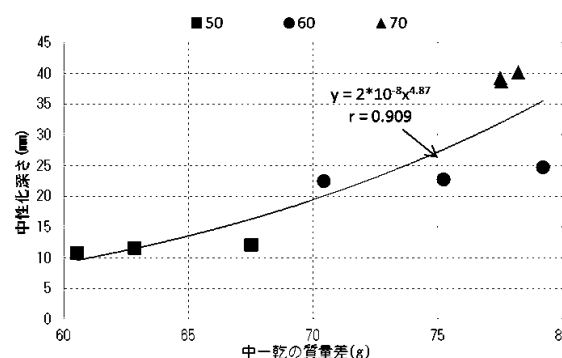
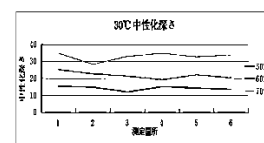
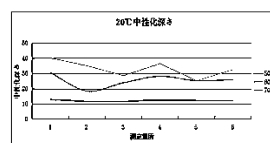


図 10 質量差と中性化深さの関係