

論文

[1098] 炭酸ガス濃度がコンクリートの中性化速度に及ぼす影響

正会員○和泉意登志（竹中工務店技術研究所）

正会員 押田文雄（竹中工務店技術研究所）

1. はじめに

コンクリートの中性化は鉄筋コンクリート構造物の耐久性を評価する上での最も重要な項目の1つである。中性化に関する研究は古くから今日まで進められており文献も多い。しかし、環境条件が途中で変化するような場合に関する中性化の進み方についての研究は見当たらない。

本研究は炭酸ガス濃度が変化する環境におけるコンクリートの中性化速度式を確立することを目的として行ったものである。

2. 使用材料とコンクリートの調合

使用骨材の試験結果を表-1に示す。セメントには普通ポルトランドセメントを、混和剤にはAE減水剤標準形を、混練水には水道水を用いた。使用したコンクリートは、建築工事で一般的に用いられる調合として、練り上がり温度20℃の場合にスランプ18cm、空気量4%を目標とした。試し練りを行って決定した調合を表-2に示し、フレッシュコンクリートの試験結果および圧縮強度試験結果を併記する。

3. 試験体の製作

容量100ℓの強制練りミキサを用いて1バッチ100ℓを2回練り混ぜ、1つの容器に移した後十分切り返しを行って均一に混練した。試験体はコンクリートの乾燥収縮用の鋼製型枠を用いて製作した10×10×40cmの角柱とした。試験体は温度20℃、相対湿度95%の養生室に打ち込み後2日間静置した後脱型し、以後材令4週まで20℃水中養生を行った。その後、温度20℃、相対湿度60%の乾燥室で材令6週まで乾燥させた。

なお、乾燥期間の材令5～6週間に試験体の打ち込み面、底面および両端面をエポキシ樹脂を用いてシール(3回塗、厚さ1～1.5mm)した。

4. 実験方法

材令6週から温度30℃、相対湿度60%、炭酸ガス濃度5%または温度30℃、相対湿度60%、炭酸ガス濃度15%のいずれか2種類の中性化促進試験室に試験体を入れ、中性化促進試験を開始した。炭酸ガス濃度5%および15%は中性化を進めるために決定した値である。図-1に示す12種類の組合せ

表-1 骨材の試験結果

	産地	種類	絶対容積 (ℓ/m³)	重量 (Kg/m³)	乾燥比重	吸水率 (%)	単容重 (Kg/ℓ)	実績率 (%)	粗粒率
細骨材	大井川	川砂	2.59	1.12	2.59	1.12	1.683	63.7	2.67
粗骨材	大井川	川砂利	2.63	0.79	2.63	0.79	1.736	65.0	6.73

表-2 コンクリートの調合

最粗大骨材寸法の (mm)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位水量 (Kg/m³)	絶対容積 (ℓ/m³)			重量 (Kg/m³)			化学使用混和剤 (g/m³)	フレッシュコンクリート			圧縮強度 (Kg/cm²)		ヤング率 (×10⁵ Kg/cm²)	
				セメント	細骨材	粗骨材	セメント	細骨材	粗骨材		スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	4週	6週	4週	6週
25	60	46.6	168	87	329	376	280	850	996	700	17.5	4.5	19.0	338	378	3.12	3.03

で促進試験途中で炭酸ガス濃度が異なるチャンパーに入れて環境条件を変化させた。中性化促進試験開始後の材令(以後中性化

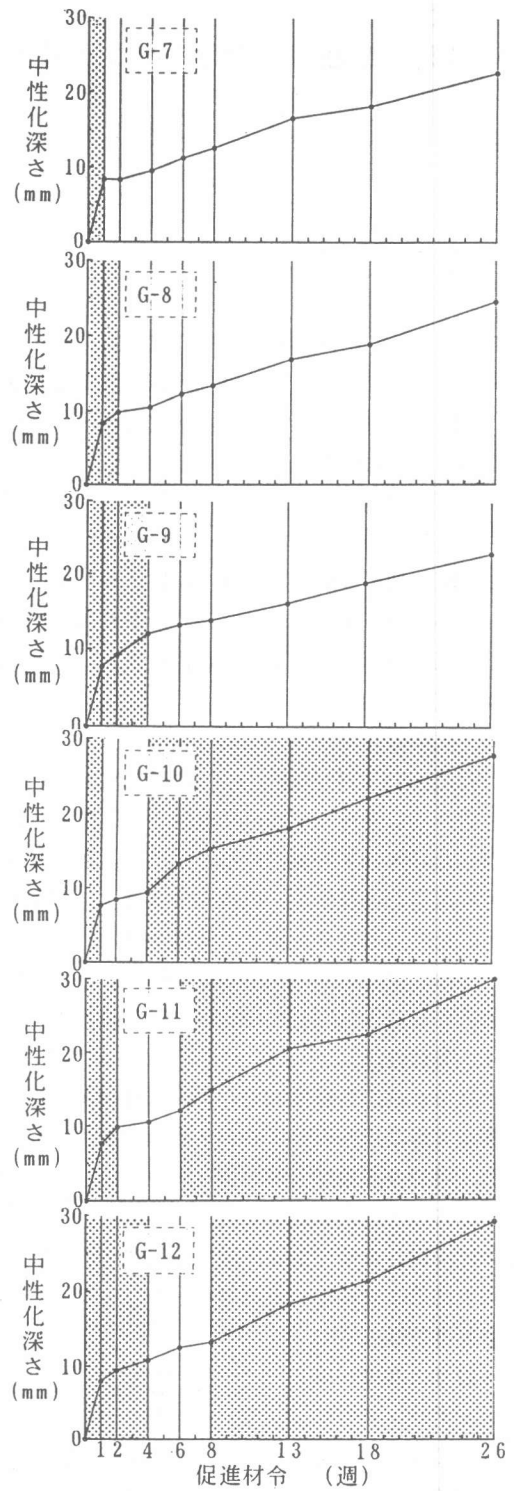
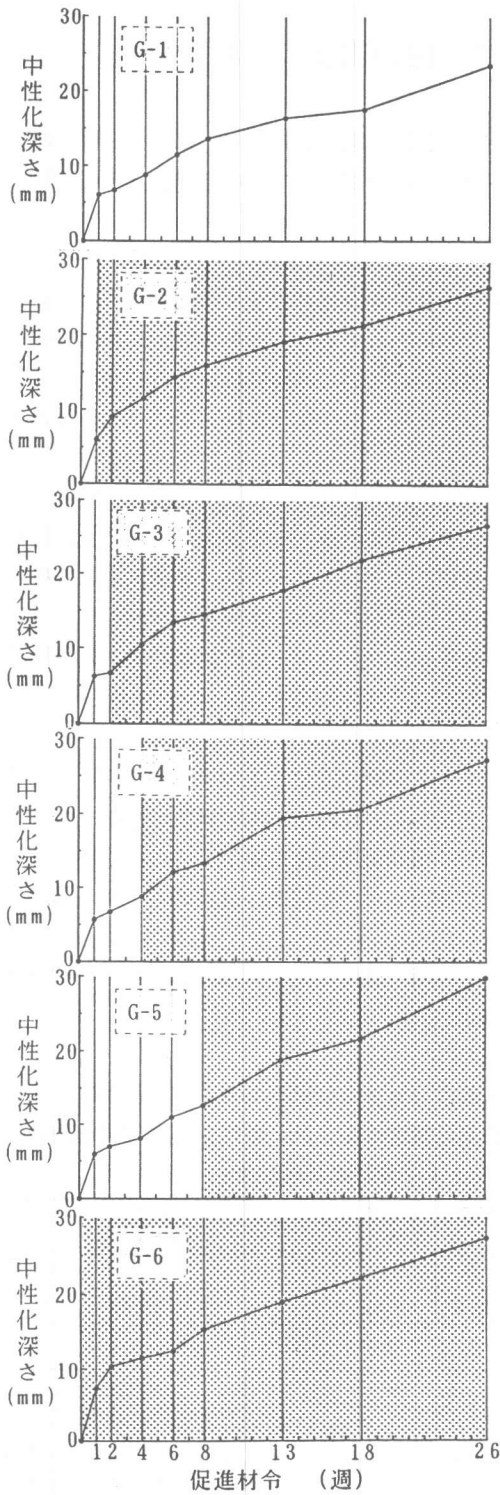


図 - 1 実験結果 (CO₂ 5%: , CO₂ 15%:)

促進材令) 1, 2, 4, 6, 8, 13, 18, 26週において試験体を取り出し、端部から約5cmの距離を長手方向と直角に割裂した。この割裂面に1%フェノールフタレインエタノール溶液を噴霧し、ノギスを用いてコンクリートの表面から赤着色部までの距離を1側面につき4点(約2cmピッチ)測定し、2体4側面における合計16点の平均値を中性化深さとした。

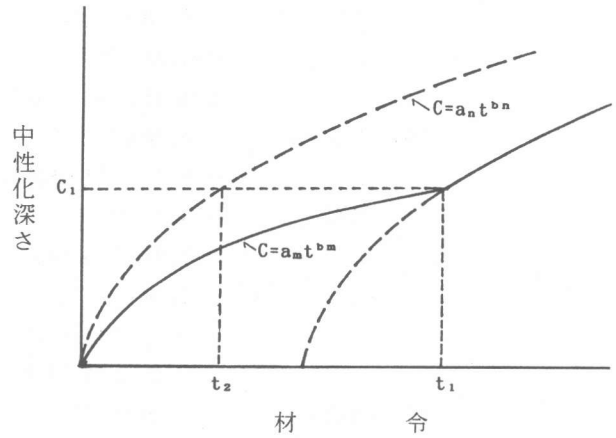


図-2 炭酸ガス濃度変化時の中性化進行概念図

5. 実験結果および考察

実験結果を図-1に示す。

5.1 理論的考察

コンクリートの中性化速度式は一般に \sqrt{t} 則で表されているが、コンクリートの深さ方向の均一性や含水状態の変化により、 \sqrt{t} 則よりややはずれ $c = a t^b$ で近似した場合に相関性が高い¹⁾。環境条件mの場合、中性化の材令が t_1 のときに中性化深さが c_1 とすると、 $0 \leq t \leq t_1$ における中性化速度式は $c = a_m t^{b_m}$ ($c_1 = a_m t_1^{b_m}$)で表される。次に環境条件mが環境条件nに変化した場合、以後の中性化深さの進行は点(c_1, t_1)を通り、環境条件nにおける中性化速度式 $c = a_n t^{b_n}$ に平行であることが予測される(図-2参照)。つまり、過去においてどのような条件によって中性化したかにかかわらず以後の中性化速度はその環境で最初から進行してきた中性化速度式を材令軸に平行移動したものと一致することが推察される。従って、中性化速度式は以下の式で表される。

$$0 \leq c \leq c_1 \quad c = a_m t^{b_m} \quad \text{----- (1)}$$

$$c \geq c_1 \quad c = a_n \{t - (t_1 - t_2)\}^{b_n} = a_n [t \{t_1 - (c_1/a_n)^{1/b_n}\}]^{b_n} \quad \text{----- (2)}$$

5.2 実験結果との対応

温度30℃、相対湿度60%、炭酸ガス濃度 5%および15%におけるコンクリートの中性化速度式はそれぞれ以下のように近似できる。

$$\text{CO}_2 \text{ 5\% : } c = 5.41 t^{0.43} \quad (r = 0.9869) \quad \text{----- (3)}$$

$$\text{CO}_2 \text{ 15\% : } c = 7.81 t^{0.38} \quad (r = 0.9834) \quad \text{----- (4)}$$

ここに、 c : 中性化深さ(mm)、 t : 促進中性化材令(週)

12種類のケースに上述の仮定をあてはめると以下ようになる。

ケースG-1	$c = 5.41 t^{0.43}$	$(0 \leq t)$
ケースG-2	$c = 5.41 t^{0.43}$	$(0 \leq t < 1)$
	$c = 7.18 (t - 0.525)^{0.38}$	$(1 \leq t)$
ケースG-3	$c = 5.41 t^{0.43}$	$(0 \leq t < 2)$
	$c = 7.18 (t - 1.072)^{0.38}$	$(2 \leq t)$
ケースG-4	$c = 5.41 t^{0.43}$	$(0 \leq t < 4)$
	$c = 7.18 (t - 1.968)^{0.38}$	$(4 \leq t)$
ケースG-5	$c = 5.41 t^{0.43}$	$(0 \leq t < 8)$
	$c = 7.18 (t - 3.550)^{0.38}$	$(8 \leq t)$

ケースG-6	$c=7.18 t^{0.38}$	$(0 \leq t)$
ケースG-7	$c=7.18 t^{0.38}$	$(0 \leq t < 1)$
	$c=5.41 (t+1.144)^{0.43}$	$(1 \leq t)$
ケースG-8	$c=7.18 t^{0.38}$	$(0 \leq t < 2)$
	$c=5.41 (t+1.968)^{0.43}$	$(2 \leq t)$
ケースG-9	$c=7.18 t^{0.38}$	$(0 \leq t < 4)$
	$c=5.41 (t+3.340)^{0.43}$	$(4 \leq t)$
ケースG-10	$c=7.18 t^{0.38}$	$(0 \leq t < 1)$
	$c=5.41 (t+1.144)^{0.43}$	$(1 \leq t < 4)$
	$c=7.18 (t-0.97)^{0.38}$	$(4 \leq t)$
ケースG-11	$c=7.18 t^{0.38}$	$(0 \leq t < 2)$
	$c=5.41 (t+1.968)^{0.43}$	$(2 \leq t < 6)$
	$c=7.18 (t-1.034)^{0.38}$	$(6 \leq t)$
ケースG-12	$c=7.18 t^{0.38}$	$(0 \leq t < 4)$
	$c=5.41 (t+3.340)^{0.43}$	$(4 \leq t < 8)$
	$c=7.18 (t-0.598)^{0.38}$	$(8 \leq t)$

これらの式から得られた理論値で実測値を除いた値を表-3に示す。比率は0.82~1.27の範囲にあり、平均値は1.003でその標準偏差は0.088であった。また、理論値と実測値を対比した図が図-3である。中性化深さの理論値が25mm程度の場合において数点実測値とやや離れているが、この原因については不明である。

以上のことより、理論値は実測値とほぼ一致し、仮定した理論が裏付けられた。

6. まとめ

炭酸ガス濃度が変化する場合における中性化速度を求める実験研究を実施した結果、過去にどのような条件によって中性化したかに関係なく、以後の中性化速度はその環境で最初から進行してきた中性化速度を材令軸に平行移動したものと一致することが明らかになった。

[参考文献]

- 1) 和泉意登志：コンクリートの中性化速度に関する研究(その1)，日本建築学会構造系論文報告集，第394号1998.12

表-3 理論中性化深さに対する実測中性化深さの値

	1週	2週	4週	6週	8週	13週	18週	26週
G-1	1.12	0.92	0.89	0.99	1.03	1.00	0.93	1.07
G-2	1.11	1.09	1.01	1.05	1.04	1.03	1.01	1.08
G-3	1.15	0.96	0.97	1.02	0.97	0.96	1.04	1.09
G-4	1.05	0.92	0.94	0.99	0.94	1.09	1.00	1.13
G-5	1.10	0.96	0.83	0.94	1.00	1.12	1.09	1.27
G-6	1.03	1.11	0.94	0.88	0.97	1.00	1.03	1.10
G-7	1.12	0.94	0.87	0.89	0.90	0.98	0.94	1.01
G-8	1.16	1.01	0.90	0.93	0.92	0.98	0.96	1.08
G-9	1.08	0.99	0.94	0.93	0.82	0.89	0.93	0.99
G-10	1.02	0.96	0.86	1.00	1.02	0.98	1.05	1.14
G-11	1.06	1.01	0.90	0.92	0.99	1.10	1.06	1.22
G-12	1.12	1.01	0.85	0.88	0.86	0.98	1.01	1.19

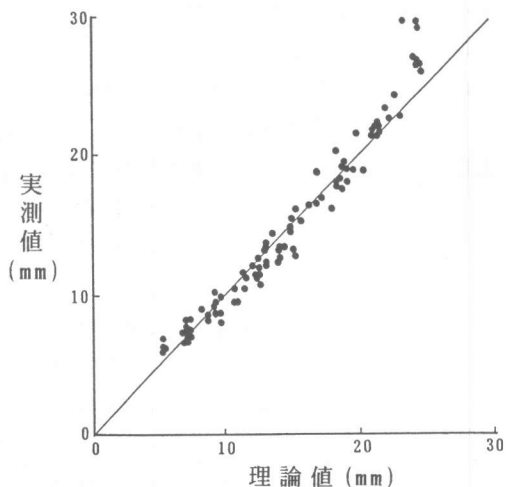


図-3 理論中性化深さと実測中性化深さの比較