

[48] コンクリートの中性化と透気性

正会員 ○ 笠 井 芳 夫 (日本大学生産工学部)

正会員 松 井 勇 (日本大学生産工学部)

長 野 基 司 (日本大学生産工学部)

1. まえがき

鉄筋コンクリート構造物の耐久性は、コンクリートの中性化とこれに伴う鉄筋の腐食によって支配される。中性化は空気中の炭酸ガスのコンクリートへの拡散が起因となり、鉄筋の腐食速度は酸素の到達量に比例すると考えられる。これらは、いずれもコンクリートへ侵入する気体の量によるもので、コンクリートの透気性と密接な関係を有している。

コンクリートの透気性の試験はいくつか報告されているが、コンクリートの透気性と中性化との関係は明らかにされていない。

筆者らは、先報において、比較的マッシュなコンクリート供試体について、試作簡易透気性試験装置により測定した簡易透気速度と中性化深さとの関係を示した。本報では、調合を変えたコンクリートについて、促進中性化深さと簡易透気速度との関係について述べる。

2. 実験方法

(1) 使用材料 セメントは普通ポルトランドセメント、粗骨材は川砂利 2.5 mm 以下、細骨材は川砂 2.5 mm 以下である。

(2) コンクリートの調合

コンクリートはレデーミクストコンクリートによった。調合を表 - 1 に示す。

(3) 供試体 コンクリート

供試体は、 $100 \times 100 \times 400$ mm の木製型わくに打設した。供試体の個数は同一調合のコンクリートについて 3 個とし、このうち 1 個は中性化試験、2 個は簡易透気性試験に供した。これらの供試体はいずれも所定の材令で、図 - 1 に示すように供試体側面を 2 液型エボキシ樹脂塗料を用いてシールした。

(4) 養生方法 供試体の養生方法は、図 - 2 に示すように、材令 7 日まで型わく中で散水養生を行い、脱型後、供試体側面をシールし、その後材令 3 ヶ月まで室内空気中養生を行った。

(5) 試験方法

a) 中性化促進試験 所定の養生を終了した供試体（中性化試験用供試体および簡易透気性試験用供試体）は、材令 3 ヶ月で中性化促進試験室（炭酸ガス濃度 5 %, 温度 30 °C, 湿度 60 %）内に静置した。コンクリートの

表 - 1 コンクリートの調合

供 試 体 の 種 類	W/C (%)	S/A (%)	計 画 スランプ (cm)	実 测 スランプ (cm)	実 测 空気量 (%)	W (kg/m³)	C (kg/m³)	S (kg/m³)	G (kg/m³)	AE減水剤 %
45-8-AE	4.50	38.6	8	12.0	4.3	134	298	730	1167	0.745
45-20-AE	4.50	43.5	20	20.0	5.0	163	362	766	1001	0.905
55-8-AE	5.50	41.1	8	10.5	4.4	133	242	795	1149	0.605
55-20-AE	5.50	46.0	20	19.5	4.8	162	295	836	991	0.738
65-8-AE	6.50	42.3	8	10.0	3.8	133	205	831	1144	0.512
65-20-AE	6.50	47.2	20	17.5	5.0	162	250	875	988	0.625
55-8-PLAIN	6.28	43.1	8	13.0	1.8	152	242	841	1118	-
55-20-PLAIN	6.10	48.0	20	13.0	1.6	180	295	882	962	-

* ポジリス No. 5 L 使用



図 - 1 供試体断面図

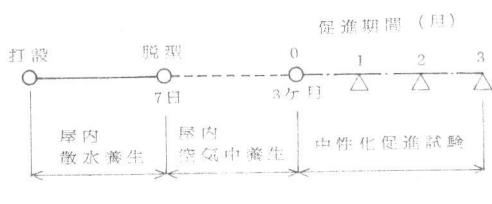


図 - 2 供試体の養生

中性化深さは、中性化促進期間1, 2および3ヶ月目に供試体の一方の端部から約8cmの箇所を割れつし、その破断面にフェノールフタレイン1%アルコール溶液を霧吹きにより散布し、図-3に示す位置を測定した。中性化深さを測定した供試体は、割れつした破断面に前述の塗料を塗布し、促進試験室に再度静置した。

b) 簡易透気性試験方法 供試体は、中性化試験用供試体と同様に、中性化促進試験室に静置し、中性化深さ試験と同時に、簡易透気性試験を行った。簡易透気速度の測定位置は図-4に示す4箇所とし、2個の供試体について試験し、平均値を用いた。

簡易透気性試験装置を図-5に示す。これを用いて、以下の手順で試験した。

① 供試体に直径5mm、深さ40mmの穴を電気ドリルであけ、穴の内部に残ったコンクリート粉を除去する。

② この穴に直径5mm、長さ10mmのゴム栓で栓をし、空気が漏れないようにコーティング材を用いて、穴の周囲をシールする。

③ ゴム栓の中央部に静脈用注射針をゴム栓を貫通するまで差し込む。このとき、注射針の穴にゴムが詰まることがあるので、予め細い針金を注射針の穴に貫通させておきゴムが詰まらないようにする。

④ この注射針に塩化ビニル製ホースを取り付け、3方コックを開いた状態で、ハンドバキュームポンプを用いて、コンクリートにあけた穴の内部の空気を抜き取り、真空計の水銀柱の高さが100mmHgになったとき、コックを閉じる。

⑤ するとコンクリート内外の空気がこの穴に集まり、穴の真密度が低下し、真空計の水銀柱が上昇してくる。このとき、水銀柱の高さが120mmHgから160mmHgまで40mmHg上昇する時間をストップウォッチで計る。

⑥ コンクリートの簡易透気速度は(1)式に

$$k = \frac{40 \text{ mmHg}}{T} \quad \dots \dots (1)$$

ここで、k: コンクリートの簡易透気速度(mmHg/sec), T: 真空計の水銀柱の高さが40mmHg上昇する時間(sec)

⑦ 一つの穴について①～⑥の操作を4回行い、1回目を除いた3回の平

表-2 試験結果

単位: 中性化深さ(mm), 簡易透気速度(mmHg/sec)

供試体名	圧縮強度 (kg/cm ²)	中性化促進 期間 測定項目	0		1ヶ月		2ヶ月		3ヶ月	
			平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲
45-8-AE	328	中性化深さ	165	160 ~ 170	149	142 ~ 157	226	218 ~ 236	30.0	274 ~ 324
		透気速度	0.59	0.37 ~ 1.05	1.93	0.75 ~ 3.60	3.52	1.75 ~ 8.64	4.41	2.01 ~ 8.53
45-20-AE	320	中性化深さ	125	0.80 ~ 1.70	13.6	12.9 ~ 14.2	18.3	15.2 ~ 21.4	25.5	23.7 ~ 27.2
		透気速度	1.12	0.51 ~ 2.48	2.04	0.93 ~ 3.91	2.37	1.21 ~ 4.54	3.06	1.62 ~ 5.60
55-8-AE	274	中性化深さ	1.75	0.50 ~ 3.00	17.8	16.2 ~ 19.4	28.6	27.2 ~ 30.0	36.5	36.0 ~ 37.0
		透気速度	0.77	0.63 ~ 0.99	2.85	1.40 ~ 6.02	2.86	1.97 ~ 3.47	3.37	2.48 ~ 3.87
55-8-PLAIN	275	中性化深さ	1.45	0.50 ~ 2.40	17.1	14.8 ~ 19.5	26.5	24.0 ~ 29.0	33.6	30.0 ~ 37.1
		透気速度	1.44	0.75 ~ 2.82	18.2	11.5 ~ 25.0	2.54	1.61 ~ 5.43	3.84	1.65 ~ 9.37
55-20-AE	279	中性化深さ	0.87	0.45 ~ 1.30	15.8	15.0 ~ 16.7	26.5	23.0 ~ 30.0	29.5	28.0 ~ 31.0
		透気速度	0.94	0.45 ~ 1.54	3.46	1.31 ~ 8.97	3.86	2.26 ~ 6.67	5.27	2.72 ~ 14.4
55-20-PLAIN	286	中性化深さ	0.50	0.50 ~ 0.50	16.7	14.7 ~ 18.8	24.2	22.4 ~ 26.0	29.0	25.4 ~ 32.6
		透気速度	0.83	0.49 ~ 1.23	1.82	0.96 ~ 2.97	2.52	1.87 ~ 3.94	3.18	2.21 ~ 5.21
65-8-AE	176	中性化深さ	2.53	1.80 ~ 3.25	28.8	27.7 ~ 30.0	44.4	41.5 ~ 47.4	5.00	全断面
		透気速度	2.93	1.95 ~ 4.14	7.66	6.68 ~ 8.57	10.5	8.75 ~ 12.3	1.26	1.01 ~ 14.3
65-20-AE	227	中性化深さ	1.45	0.50 ~ 2.40	21.4	17.9 ~ 25.0	37.0	32.9 ~ 41.0	4.31	4.00 ~ 4.62
		透気速度	1.93	1.53 ~ 2.82	6.18	4.27 ~ 10.0	7.98	6.03 ~ 9.43	8.99	6.53 ~ 11.0

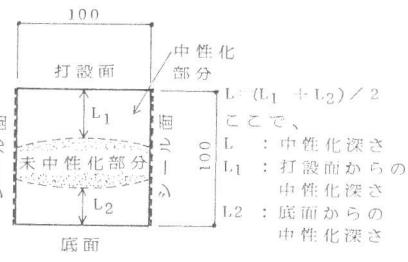


図-3 中性化深さの測定

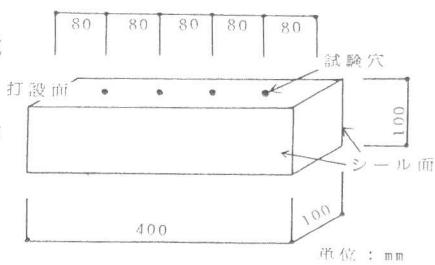


図-4 簡易透気性供試体

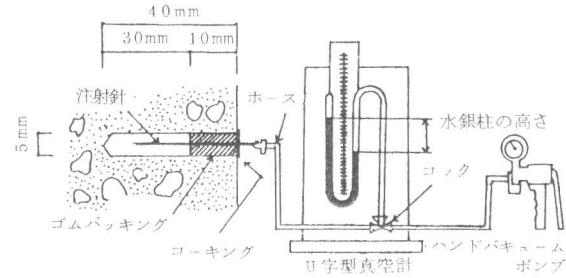


図-5 簡易透気性試験装置

均値で示す。

⑧ 試験を終了した供試体は、試験穴にゴム栓および注射針を取り付けたままで、再び中性化促進試験室に静置する。

3. 結果および考察

試験結果を表-2に示す。

(1) 中性化促進期間と中性化深さとの関係

中性化促進期間と中性化深さとの関係を図-6に示す。中性化深さは、中性化促進期間が長くなるほど大きくなり、また水セメント比が小さくなるに従い小さくなっている。水セメント比65%の中性化深さに比べ、水セメント比55%は約0.6倍、水セメント比45%は約0.5倍となっている。また、中性化促進期間3ヶ月で、水セメント65%，スランプ8cmのコンクリートは $100 \times 100 \text{mm}$ の全断面が中性化した。^{註1)}

(2) スランプを変えた場合の中性化深さ

スランプ8cmと20cmの場合の中性化深さを図-7に示す。両者の関係はほぼ直線となり、スランプ20cmの中性化深さはスランプ8cmに比べ約0.84倍ほど小さくなっている。このため、スランプ8cmの供試体の密度を求めたところ、特に締め固めが不充分ということもなかった。

(3) AE剤の影響

水セメント比55%のコンクリートについて、AEコンクリートとプレーンコンクリートの中性化深さの関係を図-8に示す。一般に、AEコンクリートはプレーンコンクリートに比べ中性化速度が小さいと言われているが、今回の結果では両者ほぼ同じか前者がやや大きめであった。

(4) 中性化促進期間と簡易透気速度との関係

中性化促進期間と簡易透気速度との関係を図-9に示す。

簡易透気速度は中性化促進期間が長くなるほど大きくなっている。

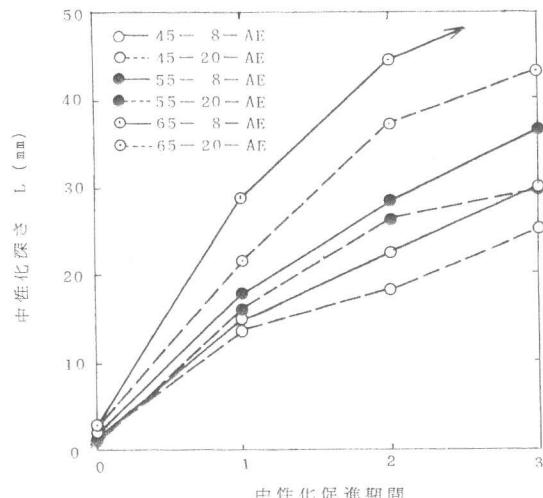


図-6 中性化促進期間と中性化深さとの関係

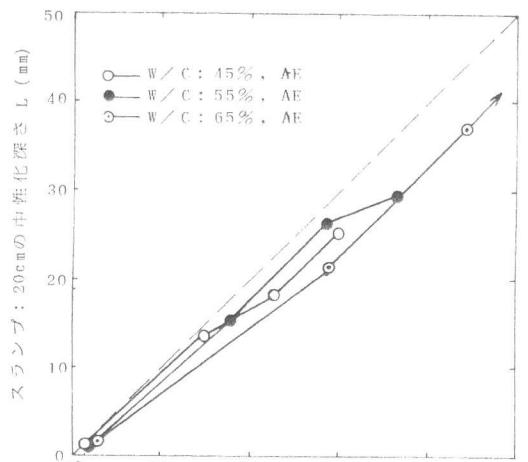


図-7 スランプを変えた場合の中性化深さ
註1): 6.5-8-AEは表-2に示すように強度が 176kgf/cm^2 で他に比べ小さかった。

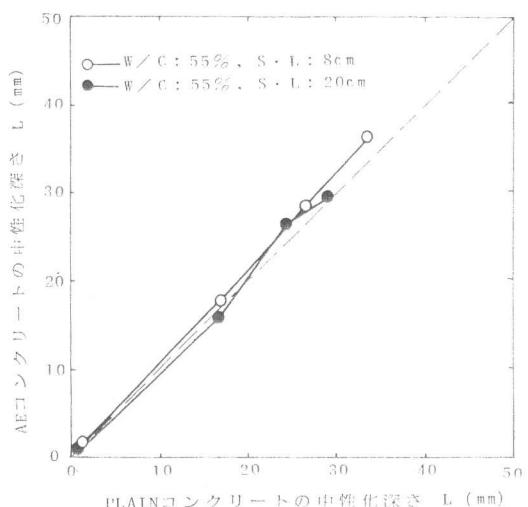


図-8 AE剤を用いた場合の中性化深さ

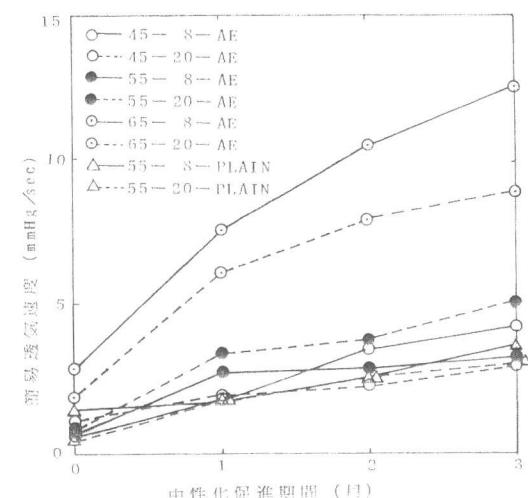


図-9 中性化促進期間と簡易透気速度との関係

いる。筆者らの研究によると、簡易透気速度はコンクリートの含水率によって影響を受け、含水率が小さい程、簡易透気速度が大きくなる傾向を示している。そこで、これらの供試体の促進中性化前の質量と促進期間 2 カ月の質量とを比較すると、わずか 0.2 % 程度の減であり、両者の含水率の差は極めて小さく、中性化すると差は極簡易透気速度が大きくなる。

簡易透気速度と水セメント比との関係は、水セメント比が小さくなるほど、簡易透気速度は小さくなり、水セメント比 65% の簡易透気速度に比べ、水セメント比 55% および 45% は約 0.3 倍となっている。

また水セメント比 65% の AE コンクリートについては、スランプ 8 cm の方がスランプ 20 cm に比べ簡易透気速度が大きくなっている。AE コンクリートとプレーンコンクリートとでは AE コンクリートの方が簡易透気速度は若干大きくなっている。

(5) 簡易透気速度と中性化深さとの関係

簡易透気速度と中性化深さとの関係を図-10 に示す。両者の関係は、両対数座標上で直線となり、これらの直線は促進期間によってほぼ平行となっている。これにより、簡易透気速度が大きくなるに従い中性化深さは大きくなるが、この傾向は促進期間によって異なることを示している。これらの直線式を求めるとき (2) 式のようになり、これより、各直線の実験定数を求めるとき a は促進期間すなわち材令によって異なり、 b は促進期間に関係なく一定値で示すことができる。

この図中に前報の比較的マッシュなコンクリートを用いた結果を示す(図中の X 印)と、これらの関係もほぼ直線となり、しかも直線の傾きは、今回の直線と同様の勾配を示している。

4. むすび

コンクリートの調合を変えた供試体を用いて、中性化促進試験を行い、簡易透気速度と中性化との関係について試験した結果を要約すると次のようである。(1)コンクリートの中性化深さは、中性化促進期間が長くなるほど大きくなる。(2)コンクリートの中性化深さは低水セメント比ほど小さい。(3)簡易透気速度は中性化深さが大きくなるに従い大きくなる。(4)同一中性化促進期間においては、簡易透気速度と中性化深さとの関係は、両対数座標上で直線を示した。また、この直線の傾き(係数 b)は促進期間に関係なくほぼ一定となり、切片(係数 a)は促進期間が長くなる程大きくなる。

謝辞 本研究の中性化促進試験を行なうに当り、住宅都市整備公團福士敷氏のご協力を得た。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 笠井芳夫、松井 勇、蒲原博行、コンクリートの簡易透気性試験方法、第 5 回コンクリート工学年次講演会、講演論文集 pp.57-60, 1983.
- 2) 笠井芳夫、建築におけるコンクリートの耐久性の考え方—透気性を主題として—、第 54 回コンクリート講習会テキスト、pp102-117, 1983.2.
- 3) 笠井芳夫、松井 勇、モルタルの透気性に関する試験、セメント・コンクリート、No.436, June, pp.8-15, 1983.

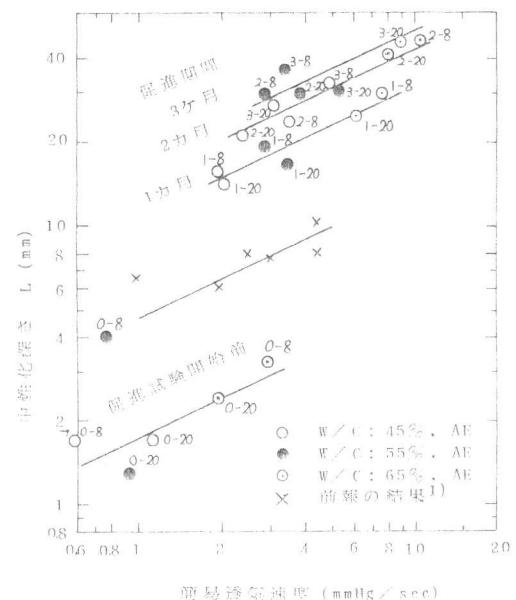


図-10 簡易透気速度と中性化深さとの関係

$$x = a \cdot k^b \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで x : 中性化深さ (mm)

k : 簡易透気速度 (mmHg/sec)

a, b : 実験定数