

# [49] 高性能減水剤を使用した低水セメント比コンクリートの中性化

正会員 飛坂基夫 ( 建材試験センター中央試験所 )

## 1. まえがき

高性能減水剤の開発により、低水セメント比でワーカブルなコンクリートを容易に製造することが可能となっている。この種のコンクリートは、圧縮強度が大きいことからプレストレストコンクリートとして鉄道橋やコンクリート枕木に使用されたり、高強度コンクリート杭に用いられている。

低水セメント比のコンクリートを建築物に有効に使用する方法の一つとして、強度以外の性能を利用することが考えられる。本報告は、このような考え方のもとに実施した促進中性化試験の結果について述べたものである。

## 2. 実験の概要

表-1 実験の概要

実験の概要を表-1に示す。今回の実験は、依田らの実施した研究報告<sup>1)</sup>を参考とするため、促進中性化条件を温度40℃、湿度40%、CO<sub>2</sub>濃度10%に定めて行った。

コンクリートのW/Cは、理論水量に近い25%から常用されている55%まで5%ごとに7水準を選びW/Cと中性化速度の関係を調べた。又、これと併行して、供試体の養生条件(水中養生期間)が中性化速度に及ぼす影響に

W/C %	供試体の水中養生期間	促進中性化条件	中性化深さの測定時期
25	0 日	温度 40 %	1 カ月
30			
35			
40	7 日	湿度 40 %	3 カ月
45			
50			
55	28 日	CO <sub>2</sub> 濃度 10 %	7 カ月

ついて調べるとともに、試験終了後のコンクリートのポロシチーを測定し、ポロシチーと中性化速度との関係についても考察を行った。

## 3. 使用材料

実験に使用した材料は、早強ポルトランドセメント(比重3.14、28日強さ490 kg/cm<sup>2</sup>)、硬質砂岩碎石2005(表乾比重265、吸水率0.54%、実積率59.9%、粗粒率6.71)、富士川砂(表乾比重265、吸水率15.8%、粗粒率29.5)及びナフタレン系高性能減水剤MTである。

## 4. コンクリートの調合及び圧縮強度結果

実際に得られたコンクリートの調合及び強度の試験結果を表-2に示す。本調査は、W/Cの影響のみを明らかにするため、すべてのコンクリートのセメントペースト量、細骨材量及び粗骨材量を一定とした。

## 5. 促進中性化試験方法

関連JIS規格に従って練り混ぜ・成形したφ10×20 cmの供試体を材令2日で脱型した。その後、水中養生期間0日の供試体は、ただちに20℃、60%の恒温恒湿室中へ移動して空気中に保存した。水中養生7日及び28日

表-2 コンクリートの調合及び圧縮強度試験結果

W/C (%)	sφ (cm)	S/A (%)	絶対容積調合 (ℓ/m <sup>3</sup> )				重量調合 (kg/m <sup>3</sup> )				空気量 (%)		高性能減水剤 (%)	91日圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	
			W	C	S	G	W	C	S	G	重量法	圧力法		20℃水中	20℃60%
25	6.5	43.0	128	164	300	398	128	515	796	1056	1.0	2.5	2.8	1133	978
30	18.5	43.0	141	149	299	397	141	469	792	1051	1.4	2.0	2.1	1065	831
35	14.5	43.0	150	137	295	392	150	429	782	1038	2.6	3.0	1.7	922	714
40	11.5	43.0	161	129	299	396	161	406	792	1050	1.5	2.0	1.3	772	573
45	11.5	43.0	171	121	299	397	171	379	793	1052	1.2	1.7	0.9	674	501
50	11.0	43.0	178	114	300	398	178	358	795	1054	1.0	1.5	0.6	601	449
55	12.0	43.0	186	107	301	399	186	337	798	1058	0.7	1.3	0	542	397

の供試体は、20℃の水中で所定期間養生した後20℃、60%の恒温恒湿室中へ保存した。

促進中性化試験は、材令50日から開始し、1ヶ月、3ヶ月及び7ヶ月間促進中性化試験室（40℃、40%、CO<sub>2</sub>濃度10%）に保存した後条件別にそれぞれ1本ずつとりだし、図-1に示す3ヶ所で切断した。この切断面に1%濃度のフェノールフタレン液を散布し、この時の呈色反応によって中性化の判別を行った。

中性化深さは、未中性部分の面積をプランシメータで測定し、断面の面積（78.5cm<sup>2</sup>）から未中性化部分の面積を差引いて中性化した部分の面積を求め、この面積を供試体の周長（31.4cm）で除して求めた。

ポロシチーの測定は、カルロ・エルバ社製の水銀圧入式ポロシチーメータ-220型を用いて、細孔半径75~75000Å（圧力1~1000 $\frac{kgf}{cm^2}$ ）の範囲の空隙量を求めた。ポロシチーの測定には、供試体中央部の未中性化部分から採取したモルタル約4gを試料として用いた。

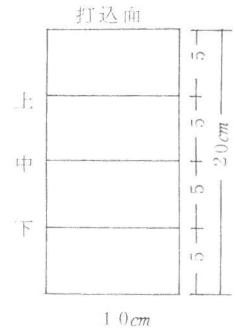


図-1 測定位置

## 6. 測定結果

中性化深さの測定結果を表-3に、ポロシチーの測定結果を図-2に示す。

## 7. 考察

今回実施した温度40℃、湿度40%、CO<sub>2</sub>濃度10%の促進中性化試験条件は、依田の報告<sup>1)</sup>によると、屋外自然暴露条件下（CO<sub>2</sub>濃度0.03%）における中性化速度の1.45倍に相当する。従って、この割合で実際の構造物が中性化すると仮定すると促進期間1ヶ月は約12年、促進期間3ヶ月は約3.5年、促進期間7ヶ月は約85年の屋外暴露期間に相当することになる。なお、岸谷提案の実験式<sup>2)</sup>にコンクリート記号55-28のデータを入れて屋外暴露期間を推定すると促進期間1ヶ月で約25年、促進期間3ヶ月で約5.5年、促進期間7ヶ月で約90年になる。従って、促進期間7ヶ月の結果は、コンクリート構造物の寿命以上の条件と考えることができる。

### (1)水セメント比と中性化深さの関係について

$W/C$ と中性化深さとの関係を水中養生期間別に図-3に示す。中性化深さは、養生方法、促進期間に関係なく

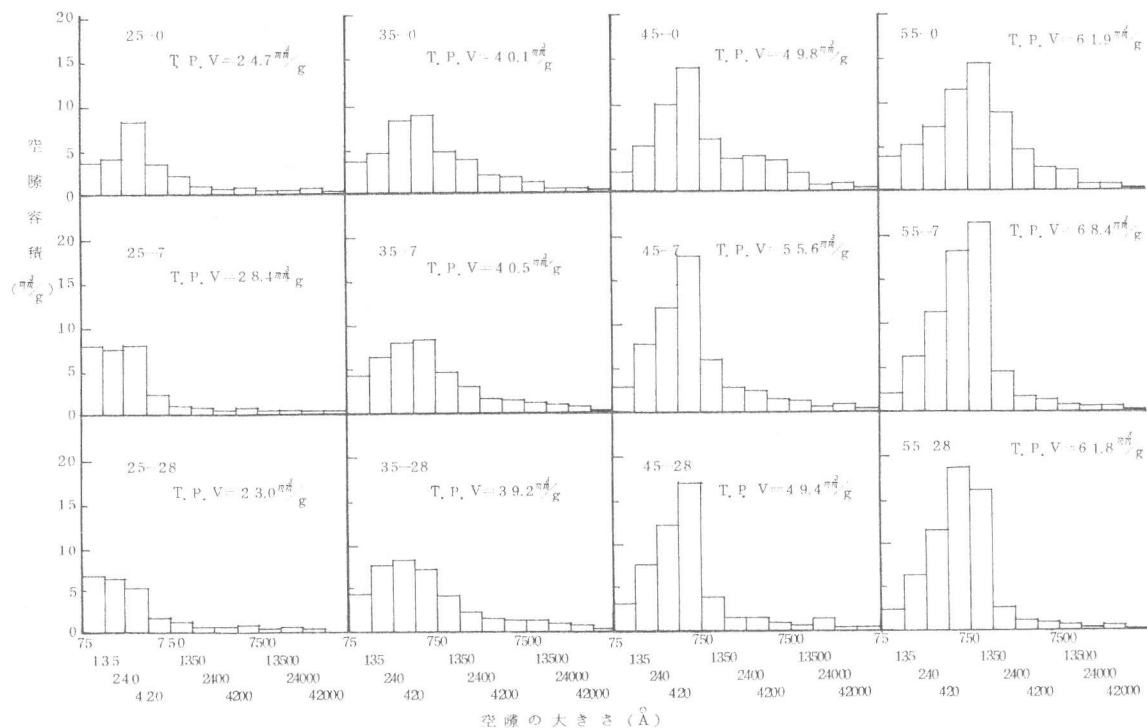


図-2 ポロシチーの測定結果

$W/C$  が大きくなるに従ってほぼ直線的に増加する傾向を示しており、 $W/C$  が小さい程中性化速度が遅くなる。

$W/C$  25% の場合には、水中養生期間に関係なく、すべての供試体が促進期間 7 ヶ月まで中性化しておらず中性化に対する抵抗性に非常に優れていることを示している。

$W/C$  30% の場合で水中養生期間 7 日及び 28 日の供試

体も  $W/C$  25% と同様促進期間 7 ヶ月まで中性化していない。 $W/C$  35% の水中養生期間 7 日及び 28 日と  $W/C$  40% の水中養生 28 日の供試体は、促進期間 1 ヶ月では中性化していなかったが、促進期間 7 ヶ月では 10 mm 前後中性化が進んでおり、 $W/C$  25% のコンクリートと比べると中性化しやすいことを示している。

(2) 供試体の養生方法と中性化深さの関係について

供試体の養生方法と中性化深さの関係を図-4 に示す。この図によると供試体の水中養生期間が長くなる程中性化の進行速度が遅くなる傾向を示しており、この傾向は、促進期間 1 ヶ月の場合特に顕著である。

水中養生期間 7 日と 28 日の供試体の中性化深さは、促進期間が長くなるとその差が非常に小さくなっており、このことは初期の養生が大切であることを示しているものと考えられる。又水中養生 0 日の供試体は  $W/C$  に関係なく中性化深さが大きくなっている。

表-3 中性化深さの測定結果

コンクリート記号	中 性 化 深 さ (mm)												
	促進期間 1 ヶ月				促進期間 3 ヶ月				促進期間 7 ヶ月				
	上	中	下	平均	上	中	下	平均	上	中	下	平均	
$W/C$ -水中養生期間													
25-0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
25-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
25-28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
30-0	6.1	6.7	5.5	6.1	8.7	8.2	8.2	8.4	9.0	9.3	11.9	10.1	
30-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
30-28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
35-0	7.6	8.4	7.7	7.9	9.6	8.8	8.9	9.1	11.5	10.7	10.8	11.0	
35-7	0	0	0	0	5.0	5.1	4.7	4.9	10.4	9.2	8.5	9.4	
35-28	0	0	0	0	4.3	3.9	4.3	4.2	7.5	9.9	9.2	8.9	
40-0	10.2	9.0	9.7	9.6	10.6	10.2	10.4	10.4	14.9	13.5	14.2	14.2	
40-7	6.6	5.7	5.4	5.9	6.8	6.8	6.5	6.7	12.9	11.3	11.2	11.8	
40-28	0	0	0	0	5.9	5.8	5.4	5.7	11.7	11.0	10.5	11.1	
45-0	12.1	11.0	11.3	11.5	12.4	13.2	12.0	12.5	17.5	14.7	14.4	15.5	
45-7	7.7	7.2	7.2	7.4	8.9	8.9	9.8	9.2	14.0	13.6	14.4	14.0	
45-28	5.0	5.4	5.7	5.4	9.3	8.4	6.7	8.1	12.8	12.1	11.3	12.1	
50-0	12.6	12.5	11.4	12.2	16.1	14.2	14.6	15.0	20.3	19.0	19.9	19.7	
50-7	9.0	9.5	8.1	8.9	11.7	10.7	10.5	11.0	15.6	13.8	14.9	14.8	
50-28	7.4	6.8	6.9	7.0	11.0	9.6	10.2	10.3	14.9	15.3	14.3	14.8	
55-0	12.0	13.3	12.8	12.7	17.7	16.6	15.0	16.1	21.9	20.6	21.6	21.4	
55-7	10.4	9.3	9.7	9.8	14.1	12.5	13.1	13.2	18.2	18.1	16.5	17.6	
55-28	8.7	7.8	8.4	8.3	12.5	12.8	12.1	12.5	17.5	16.1	15.3	16.3	

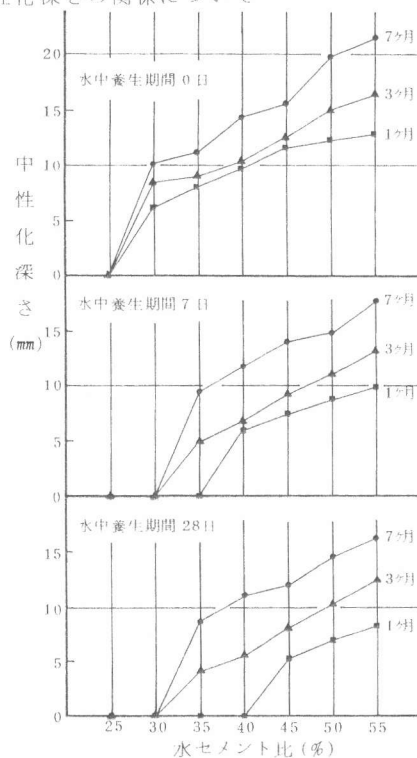


図-3 水セメント比と中性化深さ

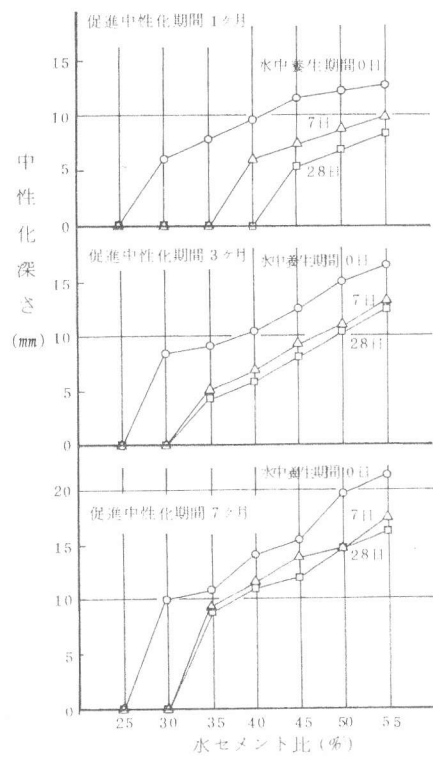


図-4 養生方法と中性化深さ

(3) 供試体の養生方法とポロシチーの関係について

一般に水中養生期間が長い程ポロシチーが小さくなるといわれている。今回測定した結果のうち  $W/C$  25%と55%のみについて、供試体の養生方法とポロシチーの関係を示したのが図-5である。これによると、水中養生期間の少ない供試体程細孔径の大きい空隙が多く、水中養生期間の長い供試体は、 $240 \text{ \AA}$ 以下の細孔径の空隙を多く含んでいる傾向が認められる。

(4) ポロシチーと中性化速度の関係について

コンクリートの中性化は、セメントペーストの空隙中に炭酸ガスが侵入することによって生じるものと考えることが出来る。このような観点に立って、ポロシチーと

中性化速度の関係を考えると、中性化に関係するのはある大きさ以上の空隙であり、それ以下の大きさの空隙は中性化に影響を及ぼさないと考えることができる。そこで、今回測定した結果を用いて、 $1350 \text{ \AA}$ より大きい空隙量、 $750 \text{ \AA}$ より大きい空隙量及び $420 \text{ \AA}$ より大きい空隙量と促進期間7ヶ月の中性化深さの関係を示したものが図-6である。

$1350 \text{ \AA}$ より大きい空隙量及び $750 \text{ \AA}$ より大きい空隙量と中性化深さとの関係は、 $W/C$  が異なると一つの曲線上にのせることが困難である。しかし、 $420 \text{ \AA}$ より大きい空隙量と中性化深さの関係は  $W/C$  に関係なく一つの曲線で表わすことが可能であると考えられ、特に、水中養生の有無別に考えると非常によい相関関係を示しているといえる。

なお、コンクリートのポロシチーは、供試体の表面に近い部分程大きいことが数多くの文献に示されており、本実験で中性化した部分のポロシチーは実測した中央部分のポロシチーとは異なっていると考えられる。従って、今後は試験前の供試体の表面部分のポロシチーを測定して検討することが必要といえる。

8 結 論

高性能減水剤を使用した低水セメント比コンクリートを建築構造物へ利用する方法の一つとして、中性化速度が遅いことを実証するために促進中性化試験を行った結果次の知見を得た。

- (1)  $W/C$  25%及び30%のコンクリートは、適切な養生方法を行えばほとんど中性化しないものと考えられる。
- (2) 供試体の養生条件によって中性化速度が大きく異なることが明らかとなった。従って構造物の耐久性から考えても、コンクリートの養生は非常に重要な因子であり、特に初期養生が大切であると考えられる。
- (3) コンクリートの中性化とポロシチーの関係について検討した結果、今回の実験の範囲内では  $420 \text{ \AA}$ より大きい空隙量と中性化深さの間によい相関が得られた。

参考文献 1) 依田彰彦：分離粉碎方式による高炉セメントを用いた建築用コンクリートの性質に関する実験的研究、日大審査学位論文、昭和46年11月 2) 岸谷孝一：鉄筋コンクリートの耐久性、鹿島出版会、1963年  
謝辞：本実験のうち、ポロシチーの測定については三菱鉱業セメント中央研究所に多大なるご協力をいただいた。記して感謝の意を表します。

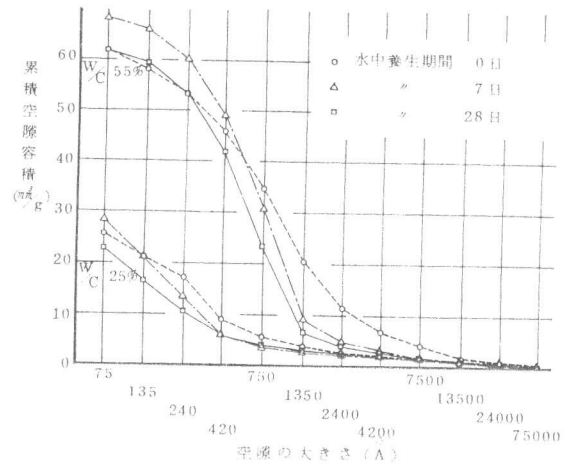


図-5 養生方法と累積空隙容積

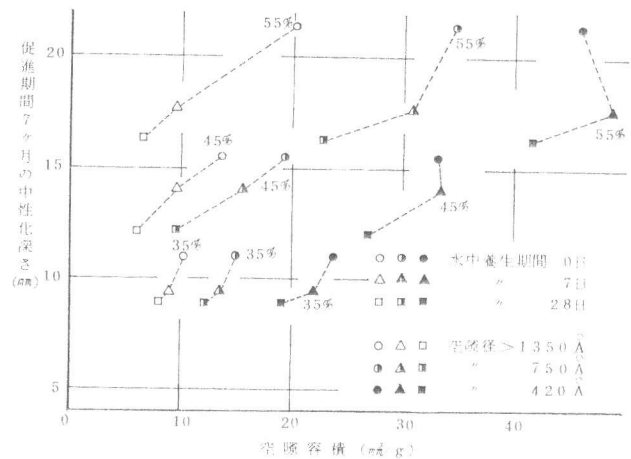


図-6 空隙容積と中性化深さの関係