

[51] 養生（暴露）方法をかえた各種セメントモルタルの基本的性質

正会員 ○依田彰彦（足利工業大学工学部）

正会員 横室 隆（足利工業大学工学部）

1. まえがき

本研究は今後建築分野のマスコン用及びケミカルレジスタンス用として大いに使用されるであろう、中庸熱セメント・高炉セメントB種及び耐硫酸塩・V型セメントの特性をより明確にすることを目的として表—1・図—1に示す養生（暴露）が同一調合の各種セメントモルタルの諸性質に及ぼす影響を究明した。

2. 使用材料

2.1 セメント：A社製の普通，B社製の中庸熱，耐硫酸塩，B社提供のV型ポルトランドセメント，C社製の高炉セメントB種を用いた。品質については表—2に示す。

2.2 細骨材：豊浦標準砂（山口県）

2.3 水：足利工大自家用，水質は表—3に示す。

2.4 鉄筋：D社製の磨き鉄筋6φ，1本（長さ5cm）を供試体の水平方向のほぼ中央に埋込んだ。

3. 実験計画

3.1 供試体の製作・形状寸法と調合：JIS R 5201（セメントの物理試験方法）によった。すなわち，4×4×16cmの角柱を用い，調合はセメント：標準砂：水=1：2：0.65とした。

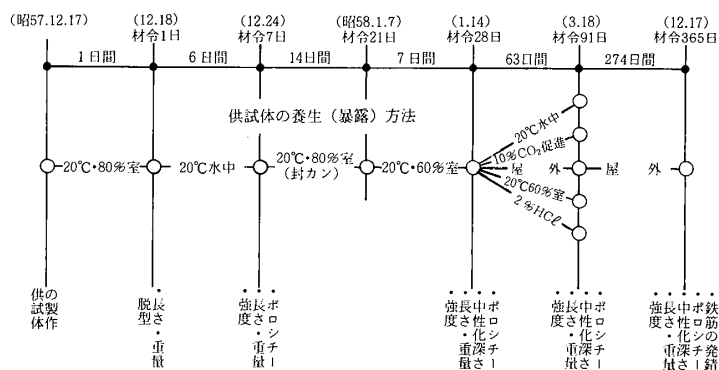
3.2 測定の項目と方法：図—1に示す測定項目に対する方法を下記のa～eに示す。なお，鉄筋の発錆状況を除く項目は同一の供試体について測定した。すなわち，重量の測定をかわきりに，以降長さ，曲げ，中性化深さ，圧縮，ポロシチーの順に速やかに測定した。

a. 曲げ・圧縮強度：JIS R 5201によった。

b. 長さ・重量変化率：長さはJIS A 1129（モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法）のコンパレータ方法により測定した。また，重量は0.1gまで測かれる秤を用いて測定した。

表—1 養生（暴露）方法

養生(暴露)方法	摘 要
20℃ 水 中	20±1℃の水槽中に入れた。
10%CO ₂ 促 進	温度20℃・湿度60%，CO ₂ 濃度10%の促進槽中に入れた。
屋 外	ごく普通の屋外（足利工大内）に放置した。温度26.2～2.2℃，湿度80～58%，風速2.5m/s～1.2m/s，CO ₂ 濃度0.03%。
20℃・60%室	20℃・60%の恒温恒湿室中（CO ₂ 濃度0.15%）に放置した。
2% HCl	2%濃度のHCl溶液槽中（室温20℃）に浸漬した。



図—1 実験工程及び養生（暴露）方法ならびに測定項目

表—2 使用セメントの品質（各社の報告による）

種 類	MgO (%)	SO ₃ (%)	ig.loss (%)	C ₃ A (%)	比 重	比 表 面 積 (cm ² /g)	凝 結 水 量 (%)	結 晶 (時一分)		安 定 性
								始 発	終 結	
普 通	1.3	2.1	0.5	—	3.16	3180	27.0	2-40	3-45	良
中 庸 熱	1.3	1.8	0.6	—	3.20	3240	26.6	4-01	5-10	良
耐硫酸塩	1.6	1.8	0.6	2	3.20	3360	27.0	3-10	4-18	良
V 型	1.5	1.9	0.7	2	3.19	3360	26.5	3-35	4-40	良
高炉B種	3.4	2.1	0.9	—	3.03	3690	29.6	2-55	4-20	良

表—3 使用 水 質（足利保健所の報告による）

色 度	濁 度	水素イオン 濃 度 (pH)	蒸 発 残 留 物 (ppm)	塩 イ オン (ppm)	過マンガン酸 カリウム消費量 (ppm)
5度以下	2度以下	6.6	180.1	11.4	0.9

なお、長さ・重量変化率は材令28日の長さ及び重量を、それぞれ基長として、JIS A 1129に示す方法に従って算出した。

c. 中性化深さ：曲げ強度試験して折った面に対して1%のフェノールフタレインアルコール溶液を噴霧し、赤紫色にならなかった部分を中性化したものと判定し、その部分をノギスを用いて測定した。

d. ポロシチー：水銀圧入式ポロシメーターを用い、供試体表面のポーア半径を測定し、トータルした(T.P.V.)。

e. 鉄筋の発錆状況：供試体を破壊して中の鉄筋を取り出し、発錆の有無を肉眼で観察した。

表-4 曲げ・圧縮強度 (kgf/cm²)

セメントの種類	水セメント比 (%)	フロー (mm)	材 令															
			7 日				2 8 日				9 1 日							
			曲 げ		圧 縮		曲 げ		圧 縮		20℃水中		10%CO ₂ 促進 (封かん)		屋 外		20℃・60%室	
			曲 げ	圧 縮	曲 げ	圧 縮	曲 げ	圧 縮	曲 げ	圧 縮	曲 げ	圧 縮	曲 げ	圧 縮	曲 げ	圧 縮	曲 げ	圧 縮
普 通	65	233	48	226	69	427	70	489	94	595	73	453	92	529	65	314	74	490
中 庸 熱		252	38	162	61	330	62	335	98	655	70	360	61	298	55	260	74	489
耐 硫 酸 塩		246	44	183	63	348	69	511	101	684	66	402	81	537	63	316	70	438
V 型		242	46	192	65	366	66	400	93	699	67	430	79	480	58	276	81	508
高 炉 B 種		233	39	168	66	385	67	494	90	642	73	534	74	514	64	400	74	601

4. 実験結果

4.1 曲げ及び圧縮強度：表-4 及び図-2 に示す。

4.2 長さ及び重量変化：図-3 に示す。

4.3 中性化深さ及びポロシチーならびに鉄筋の発錆状況：中性化深さ・ポロシチーを表-5 に示す。なお、材令365日で観察したモルタル中の磨き鉄筋には発錆は認められなかった。

5. 結果の検討

本実験から得られた結果を多面的に検討すると、おおむね次のようなことがいえよう。

5.1 曲げ及び圧縮強度：先ず圧縮強度を図-2 で見ると、材令7日では普通ポルトが最大、以下V型、耐硫酸塩、高炉B種、中庸熱の順である。材令28日になると普通ポルトは相変わらず最大で、他のセメントは若干順序が変わる。すなわち、普通ポルトの次が高炉B種、以下V型、耐硫酸塩、中庸熱である。材令91日になると高炉B種が最大で、以下普通ポルト、V型、耐硫酸塩、中庸熱である。材令365日でも高炉B種が最大、以下V型、普通ポルト、中庸熱、耐硫酸塩となる。とくに高炉B種、V型、中庸熱の強度増進の勾配は材令365日でも急なのに対し、普通ポルトと耐硫酸塩は緩になる。材令91日の各種養生（暴露）方法のちがいを表-6 の強度比で見ると10%CO₂ 促進ではすべて比較の20℃水中強度を上回る。とくに中庸熱が著しく、以下V型、耐硫酸塩、高炉B種、普通ポルトの順である。屋外暴露では高炉B種とV型が最大、以下中庸熱、普通、耐硫酸塩である。しかしこのうち後2者は比較の20℃水中強度を下回る。20℃・60%室放置ではV型が最大、以下普通ポルト、耐硫酸塩、高炉B種、中庸熱である。しかし、このうち最後者は比較の20℃水中強度を下回る。2%HCℓ溶液浸漬ではすべて比較の20℃水中強度を下回る。このうち低下の程度が最も小さいのは高炉B種で以下中庸熱、V型、普通ポルト、耐硫酸塩の順であるが大差ではない。

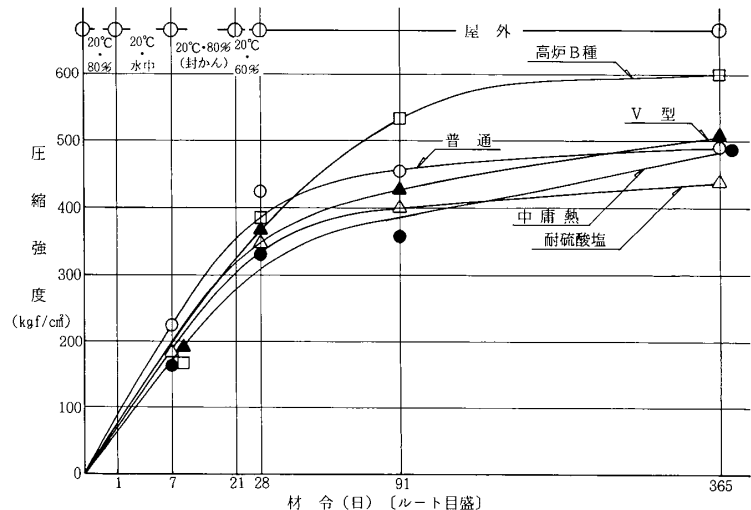
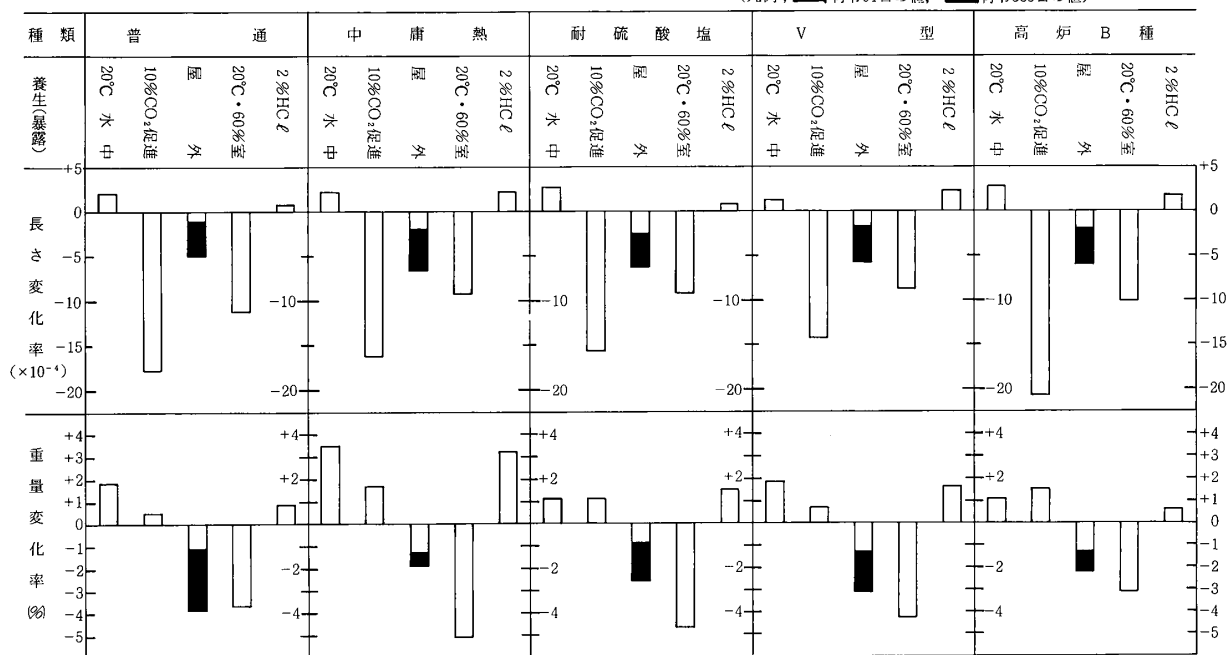


図-2 圧縮強度の発現状況 (屋外)

図-3 長さ・重量変化率

(凡例: □ 材令91日の値, ■ 材令365日の値)



次に曲げ強度を表-4及び表-6で見ると、
大方は圧縮強度の傾向に似ている。

最後に値を示していないが、曲げ強度に対する圧縮強度比は材令7日で0.21～0.24、28日で0.16～0.19、91日で0.14～0.16、365日で0.12～0.16でセメントの種類、養生（暴露）のちがいによる大差は認められない。

5.2 長さ及び重量変化率

先ず長さ変化率を図-3で見ると長さが膨張しているのは20°C水中と2%HCℓ、逆に収縮しているのは10%CO₂、屋外、20°C・60%室である。その程度は材令91日で膨張側では20°C水中が大きく $2.12 \sim 2.68 \times 10^{-4}$ 、2%HCℓが小さく $0.66 \sim 2.59 \times 10^{-4}$ である。収縮側では10%CO₂促進が最も収縮し $14.13 \sim 20.77 \times 10^{-4}$ 、以下20°C・60%室で $8.76 \sim 10.21 \times 10^{-4}$ 、屋外が最も小さく $1.42 \sim 2.79 \times 10^{-4}$ 、さらに材令365日でも $5.26 \sim 6.76 \times 10^{-4}$ である。セメントの種類別では養生（暴露）方法によって多少異なる程度である。

表-5 中性化深さ・トータルポロシチー (T.P.V)

項 目	セメントの種類		材 令							
			7 日	28 日	9 1 日					365日
					20℃ 水 中	10 % CO ₂ 促 進	屋 外	20℃ 60%室	2 % HCl	
中 性 化 深 さ (mm)	普 通	最大	0	0	0	15.0	2.1	3.2	2.0	3.3
		平均	0	0	0	12.0	1.0	1.2	0.5	1.6
		最小	0	0	0	9.4	0	0	0	0.5
	中 庸 熱	最大	0	0	0	20< ⁽¹⁾	2.2	4.2	2.1	4.4
		平均	0	0	0	20< ⁽¹⁾	1.0	1.4	0.5	1.8
		最小	0	0	0	20< ⁽¹⁾	0	0	0	0.6
	耐 硫 酸 塩	最大	0	0	0	20< ⁽¹⁾	2.6	3.0	1.2	3.9
		平均	0	0	0	18.0	1.1	1.3	0.4	1.6
		最小	0	0	0	13.4	0	0	0	0.6
	V 型	最大	0	0	0	19.0	2.0	2.4	1.3	3.8
		平均	0	0	0	13.1	1.0	0.9	0.4	1.6
		最小	0	0	0	11.6	0	0	0	0.6
高 炉 B 種	最大	0	0	0	20< ⁽¹⁾	2.7	3.1	1.8	4.7	
	平均	0	0	0	18.3	1.6	0.9	0.5	2.0	
	最小	0	0	0	15.3	0	0	0	0.8	
T・P・V (mm/g)	普 通	70.9	81.4	49.6	56.5	59.1	70.6	78.8	54.0	
	中 庸 熱	94.2	119.7	66.7	71.9	101.5	105.4	109.8	71.7	
	耐 硫 酸 塩	80.3	103.7	52.6	63.5	71.7	74.8	108.2	62.7	
	V 型	63.3	98.1	51.6	61.7	80.0	82.5	110.4	64.3	
	高 炉 B 種	50.5	79.6	42.4	60.2	61.8	69.0	81.8	40.3	

(注) (1) 20mm以上を示す。

次に重量変化率を図-3で見ると重量が最も増えているのは20°C水中で1.07～3.50%、以下2%HCℓの0.61～3.33%、10%CO₂促進の0.52～1.65%の順である。重量が最も減っているのは20°C・60%室が大きく3.08～5.13%、屋外が最も小さく0.96～1.38%、さらに材令365日でも1.95～2.95%である。セメントの種類別では養生（暴露）方法によって多少異なる程度である。

5.3 中性化深さ及びポロシチーならびに鉄筋の発錆状況

先ず中性化深さを表一５で見ると材令７日及び28日ならびに材令91日の20℃水中の場合の中性化現象は全く見られず、材令91日以降の20℃水中を除く他の養生（暴露）方法に中性化現象は見られた。すなわち方法別では10％CO₂促進の中性化深さが最も大きく、以下20℃・60％室、屋外、２％HClの順である。セメントの種類では10％CO₂促進以外は大差はないが強いていえば同一の調合のためか、高炉Ｂ種が最も大きく、以下中庸熱、耐硫酸塩、V型、普通ポルトの順である。特筆することは10％CO₂促進では明らかに中庸熱が最も大きいことで、以下同程度の高炉Ｂ種と耐硫酸塩、V型、普通ポルトの順である。中庸熱、耐硫酸塩セメントが10％CO₂促進試験で中性化深さが大きいことは、すでに報告している¹⁾通りで、今回も同様の大きな結果を得た。これは後述するポロシチーが大きいことに起因するものと考えらる。

次にポロシチーを表一５で見ると養生（暴露）方法では２％HClが最も大きく、以下20℃・60％室、屋外、10％CO₂促進、20℃水中の順である。セメントの種類では中性化の項でもふれた通り、中庸熱が最も大きく、以下耐硫酸塩、V型で、高炉Ｂ種と普通ポルトとでは同程度で、最も小さい。屋外の材令91日と365日とではいずれのセメントも後者の方が小さい。

最後にモルタル中に埋め込んだいずれの磨き鉄筋にも、発錆は見られなかった。

6. 結 論

本研究結果から結論として次のようなことがいえよう。

6.1 曲げ・圧縮強度

a. 20℃水中養生及び屋外暴露では従来いわれているような各セメント特有の強度発現傾向を確認した。

b. 10％CO₂促進をするといずれのセメントモルタルの曲げ・圧縮強度は大きくなる。とくに中庸熱セメントは著しく大きい。これは後述している通り中性化速度が速いこと、トータルポロシチーが大きいことに起因する。次に強度比が大きいのはV型及び耐硫酸塩セメントで、中庸熱セメントより程度は小さくても同様の理由によるものと思われ、発表者が既に報告した通りである¹⁾。以下は高炉Ｂ種、普通セメントの順であった。

c. 20℃・60％室に放置した場合中庸熱セメントは敏感に悪影響を受けた。この理由は供試体の大きさにも影響するが材令28日から放置した実験のために放置に耐えるだけの十分な強度を保持していなかったためといえよう。

d. ２％HCl溶液中に浸漬すると供試体表面から劣化するために同一材令の20℃水中強度を下回った。

6.2 長さ及び重量変化率

一般にモルタル供試体は長さが膨張するものは重量が増大し、長さが収縮するものは重量が減少するパターンが多いが、今回の場合も10％CO₂促進だけは長さが著しく収縮し、重量が若干増加する傾向が認められた¹⁾。

6.3 中性化深さ及びポロシチーならびに鉄筋の発錆状況

a. 中性化深さはCO₂濃度が10％の促進方法が著しく大きく、以下、CO₂濃度が0.15％の20℃・60％室、CO₂濃度0.03％の屋外、２％HCl溶液中であった。とくに10％CO₂促進の場合、中庸熱セメントが著しく速かった。

b. T.P.Vは養生（暴露）方法、セメントの種類によって明らかに差違がある(表一５参照)。

c. 同じ20℃・60％においてCO₂濃度10％と0.15％とを比較すると前者はいずれのセメントとも曲げ・圧縮強度が大きい。収縮は大きい。重量は増える。T.P.V.は小さい。このことから発表者がいっている通り¹⁾セメントモルタルが中性化すると強度は高く、長さは収縮し、重量が増加し、ポロシチーは小さくなることを再確認した。

d. 鉄筋の発錆は材令365日現在、全く認められていない。

〔文献〕 1) 依田彰彦；コンクリートと水及び空気(2)中性化，コンクリート工学 Vol17, No11, Nov1979

表一６ 材令91日における強度比（材令91日20℃水中強度を1.00とした場合）

セメント の 種 類	材 令							
	9 1 日							
	10％CO ₂ 促進		屋 外		20℃・60％室		2％HCl	
	曲 げ	圧 縮	曲 げ	圧 縮	曲 げ	圧 縮	曲 げ	圧 縮
普 通	1.34	1.22	1.04	0.93	1.31	1.08	0.93	0.64
中 庸 熱	1.58	1.96	1.13	1.07	0.98	0.89	0.89	0.78
耐 硫 酸 塩	1.46	1.34	0.96	0.79	1.17	1.05	0.91	0.62
V 型	1.41	1.75	1.02	1.08	1.20	1.20	0.88	0.69
高 炉 B 種	1.34	1.30	1.09	1.08	1.10	1.04	0.96	0.81