

[26] セメントモルタルの強度, 変形におよぼす含浸液体の表面張力の影響

正会員 大 岸 佐 吉 (名古屋工業大学)

正会員 ○小 野 博 宣 (中部工業大学)

正会員 棚 橋 勇 (名古屋工業大学)

1. まえがき

硬化したセメントモルタルおよびコンクリートの力学的挙動に及ぼす、内部含有水分の影響は大きく、内外で多くの研究報告がみられる。例えば岡田¹⁾らは含水量の異なるコンクリートの圧縮強度に及ぼす歪エネルギー特性を、永松²⁾らはモルタルのクリープ破壊に及ぼす含有水分の影響を、田³⁾らは圧縮強度、疲労強度特性、クリープ挙動とコンクリート内部の水分との関係を示し、金子⁴⁾や松下⁵⁾もコンクリートの疲労特性が、飽水と気乾状態ではその差異が大であることを報告している。筆者らも⁶⁾⁷⁾、コンクリートの強度、変形、クリープ特性が、内部含有水分の影響を受けることを示したが、その様相は含有水分の変化に対し複雑であり、かつ、微妙に変化する特徴を有していることが知られた。この様な傾向は他の多孔質材料にも認められる。

一方、堀^{8),9)}らは、表面張力の異なる各種液体に浸漬したセメントモルタルの強度が液体の表面エネルギーによって影響を受けることを示し、加藤¹⁰⁾らは同様の研究を石膏について行い界面エネルギーの効果として述べている。岡島^{11),12),13)}らも、セメントモルタルにおける内部含有水分の影響について表面エネルギーの観点から考察し、表-1 モルタルの調合表

関係する内外の研究の動向、理論について言及している。

このようにセメント水和物の力学的特性が内部含有水分の影響を受けることが示されたが、その要因は十分解明されたとはいえない。

Cement *1)	Sand *2)	Water	Flow(mm)
1	2.5	0.35	107
1	2.5	0.50	199
1	2.5	0.65	241

*1) Ordinary portland cement;
($\rho = 3.17$, $28^\circ\text{C} = 413 \text{ kg/cm}^2$)

*2) Ohi river sand;
($\rho = 2.63$, F.M. = 2.71, water absorp. = 1.22% / wt)

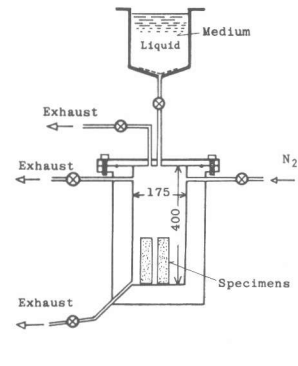


図-1 薬液含浸装置

表-2 シリーズ(I) 実験の概要

Medium	Surface tension (dyne/cm)	W/C (%)	4 × 4 × 16 cm				5φ × 10 cm			
			Drying ratio *1	Impreg. ratio *2	Flexural σ_b *3	Compr. σ_c *3	Compr. σ_c *3	Young E_s *4	Splitting σ_t *3	
28day(plain)		35	-	-	108.3	452.0	542.0	3.3	51.3	
		50	-	-	99.8	271.5	370.7	2.3	47.2	
		65	-	-	76.5	211.3	309.8	2.1	32.0	
Air	0	35	-	-	144.5	900.5	690.0	3.2	-	
		50	18.4(8.1)	-	132.0	625.0	554.7	2.5	48.3	
		65	-	-	-	-	405.0	1.7	-	
n-Hexan	18.4	35	11.7(4.9)	94.4	131.6	910.1	636.2	3.1		
		50	18.6(8.2)	86.7	110.5	630.7	566.0	2.4	43.7	
		65	21.5(9.4)	90.9	93.2	404.7	388.1	1.6		
Ethanol	22.6	35	-	-	-	-	-	-	-	
		50	18.5(8.0)	89.9	114.2	607.4	498.1	-	36.7	
		65	-	-	-	-	-	-	-	
Aniline	42.9	35	11.5(4.8)	76.6	94.2	796.6	570.6	3.1		
		50	18.6(8.2)	78.2	107.8	537.1	542.5	2.3	27.9	
		65	22.5(10.7)	89.2	88.6	344.0	399.5	1.8		
Water	72.8	35	11.7(4.9)	116.6	93.0	568.6	543.1	2.7	45.2	
		50	18.6(8.2)	106.6	87.7	350.6	375.0	1.8	32.6	
		65	22.1(9.9)	108.6	60.4	187.1	250.7	1.8	26.0	

*1 : $(V_w) \times 100 / V_s$, ($W_a - W_b$) $\times 100 / W_a$, (W_a = weight of specimens pre-drying)

*2 : Impregnation ratio = $((W_c - W_b) / (W_a - W_b)) \times 100 / \rho$ (%)

*3 : kgf/cm^2

*4 : $\times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$; at the $1/3\sigma_c$ stress. (W_c = weight of specimens after impregnated)
(V_s = volume of specimens) (V_w = volume of dried water)

2. 実験 方法

実験は、次の2つのシリーズより成る(I)水セメント比の異なる基材モルタルにおける、各種液体の表面張力の影響、(II)乾燥率の異なる

る基材モルタルと含浸溶液の表面張力との関係。

＜調査＞ シリーズ(I)；表1の3種類とし、シリーズ(II)；表1中水セメント比 50%の1種類とした。

＜養生および含浸処理＞ シリーズ(I)は所定の養生後 105℃ 電気乾燥炉にて乾燥し、徐冷保存した。含浸は図-1に示す槽にて1時間真空脱気(0.6~0.8 Torr)、後、溶液浸注入し、N₂ガスにて4kg/cm²にて加圧含浸した。シリーズ(II)は20℃~105℃の温度下で乾燥率20%~100%の5段階の試料を得よう配慮した(表-3参照)。

含浸条件はシリーズ(I)と同様である。

＜乾燥率、含浸率の表示法＞乾燥率と含浸率は次の3式に示すとおりであり、表-2、表-3に示すとおりである。

$$\text{容積乾燥率} \quad (V_w/V_s) \times 100(\%) \quad (1)$$

$$\text{重量乾燥率} \quad (W_a - W_b) \times 100 / (W_a) \quad (2)$$

$$\text{含浸率(容積)} \quad (W_c - W_b) / \rho \times 100 / (W_a - W_b) / 1 \quad (3)$$

尚、シリーズ(II)では乾燥率として次式も併用した。

$$(W_a - W_d) \times 100 / (W_a - W_{ad}) \quad (4)$$

ここに W_a：乾燥前重量、W_b：乾燥後重量、W_c：含浸後重量

W_{ad}：絶乾重量、W_w：乾燥による蒸発水量、V_s：供試体容積

3. 試験結果と考察

シリーズ(I)、供試体の容積乾燥率はW/C比によって異なり、W/C：35%、50%、65%に対しそれぞれ約12%、19%、22%となる。また含浸率も、液体の種類別、モルタルの種類によって異なり、W/Cが小なるほど、液体の粘度が高くなるほど、含浸率は低くなる。

アニリンの場合にも中心部1cm断面には含浸の形跡が認められなかった。グリセリンでは表層数mm程度しか含浸が認められず、試験結果は省略した。

強度試験結果は、図-2~4に4×4×16cm供試体について示し、図5~6に5φ×10cm供試体について示した。固体と液体間の界面エネルギーγ_{SL}は仮定にもとづき次式より求めた。

$$\gamma_{SL} = \gamma_S - \gamma_L \quad (5)$$

ここに γ_S：モルタルの界面エネルギー(本論では文献値⁸⁾により366erg/cm²とした) γ_L：液体の表面エネルギー(張力と同値)とする。

図-2は含浸液体の表面張力との関係を示したものであり、曲げ強度は、表面張力が大になるにつれ、ほぼ直線的に低下する傾向を示した。これらの結果を 固液間の界面エネルギーとの関係で示したものが、図-3であり、水セメント比別に液体の界面エネルギーの効果が、明確に認められる。以後、界面エネルギーとの関係で表示するものとする。

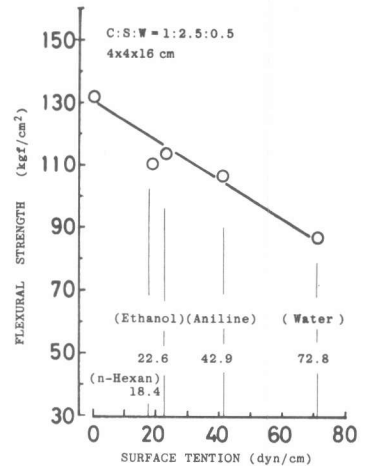


図-2 含浸液体の表面張力と曲げ強度

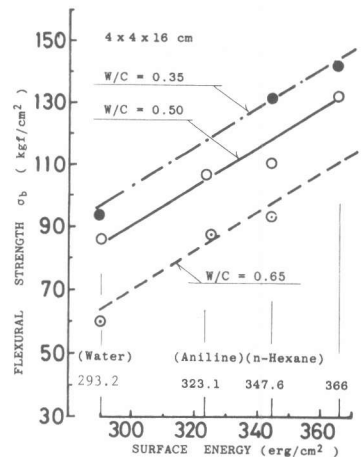


図-3 界面エネルギーと曲げ強度

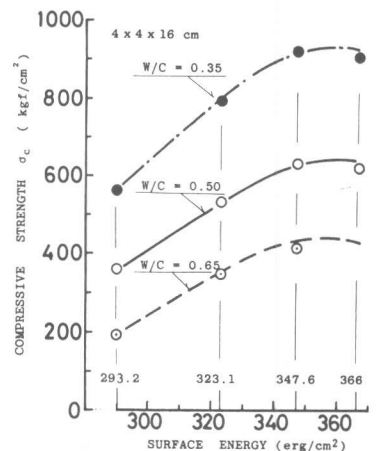


図-4 界面エネルギーと圧縮強度

図-4に圧縮強度、図-5に引張強度を示したが、これらより、強度の種別により、界面エネルギーに対応する変化の様相が異なることが認められた。即ち、曲げ強度では直線的に、圧縮では上に凸に、引張りでは下に凸な曲線となる。また弾性係数は、図6の如くなり、水セメント比が大きくなるにつれ、界面エネルギーの影響が小となることが知られた。

図-3の曲げ強度と界面エネルギーは次式で示すことも出来る。

$$\sigma_b = A + B \sqrt{\sigma_{SL}} \quad (6)$$

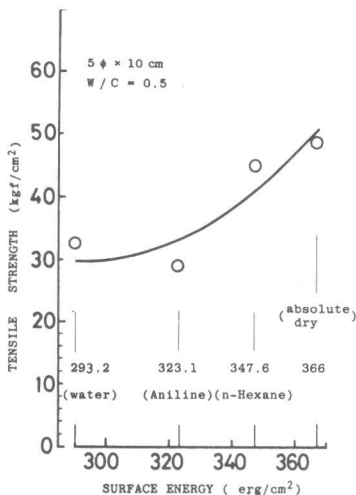


図-5 界面エネルギーと引張強度

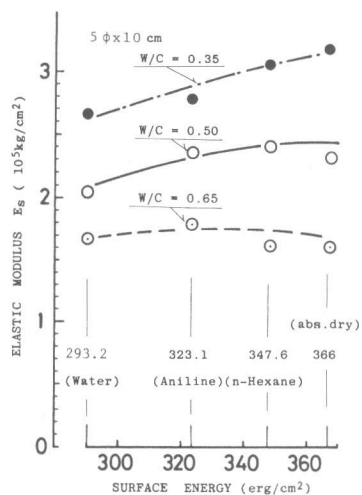


図-6 界面エネルギーとヤング係数

シリーズⅡ、調合一定の供試体（C：S：W＝1：2.5：0.5）を5段階の乾燥状態に保持させ、無含浸1種（他、エタノール（22.6）、アニリン（42.9）、水＋メタノール（61.4）（メタノールのモル百分率を2.7%とした）3種の液体に含浸させた。

結果は、図-7に曲げ強度と乾燥率の関係を、図-8に圧縮強度を示した。これらの図からみられるとおり、絶乾状態と20%乾燥率の強度が、ほぼ等しい値を示すなど、無含浸供試体では、乾燥率に対して一定の変化を示さなかった。また、含浸後の強度は、界面エネルギーの差により、最低強度の位置が移動するなど、複雑な様相を示した。この理由の1つとしては、供試体の乾燥状態が均一的でなく、表層と内部に差異を生じたためとも考えられる。しかしながら、セメント強さ試験用4×4×16 cm 供試体においても、このような差異が認められるため、これ以上の寸法においては、なお一層この点についての配慮が必要である。本研究は、これらの差異を認めた上での実験である。

表-3 シリーズⅡ 結果の概要

図-9 は本実験を通して得られた、曲げ強度を媒介として、液体の表面エネルギー

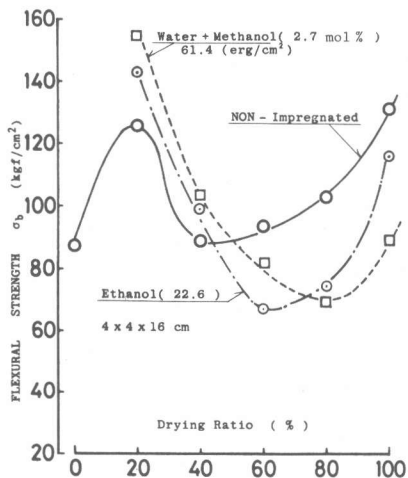


図-7 乾燥率と曲げ強度

Drying ratio	Medium	4×4×16 cm						5φ×10
		Drying ratio of specimens			Impregnate ratio (%)	Flex.Str.	Comp.Str.	Split.
		#2	#3	#4	#5	σ _b #1	σ _c #1	σ _t #1
0	non	-	-	-	-	88.5	594.6	45.5
20	non	4.3	1.9	21.9	-	126.0	747.0	58.1
	W-M	4.0	1.8	20.4	130.2	155.7	651.7	-
	Aniline	4.2	1.9	21.4	38.5	141.8	655.5	62.5
	Ethanol	3.6	1.6	18.3	27.1	143.6	677.0	54.5
40	non	7.2	3.1	36.7	-	89.5	695.5	46.6
	W-M	8.7	3.8	44.3	84.4	103.8	527.4	-
	Aniline	8.1	3.5	41.3	63.1	114.5	647.4	45.8
	Ethanol	7.8	3.4	39.8	75.7	99.3	687.5	37.5
60	non	11.6	5.1	59.1	-	94.1	669.9	44.6
	W-M	11.8	5.2	60.1	97.7	82.0	477.2	-
	Aniline	11.5	5.0	41.3	77.7	91.4	657.2	32.4
	Ethanol	12.1	5.3	39.8	89.5	67.8	657.8	40.9
80	non	15.6	6.8	79.5	-	103.1	682.9	36.6
	W-M	15.1	6.6	77.0	107.1	69.2	521.1	-
	Aniline	14.8	6.5	75.4	75.4	89.9	625.8	42.0
	Ethanol	15.1	6.6	78.0	90.3	74.3	657.8	35.7
100	non	19.8	8.6	100.9	-	131.3	753.3	47.6
	Water	19.8	8.6	100.9	106.6	82.3	402.3	-
	W-M	19.7	8.6	100.4	102.3	89.2	522.2	-
	Aniline	19.3	8.3	98.4	71.4	130.9	696.3	43.1
	Ethanol	19.5	8.4	99.4	84.1	116.7	633.6	40.0

*1 : Strength of specimens (kgf/cm²). W-M: Water + Methanol (2.7mol%)
 *2 : (V_w)x100/ V_a (%) *3 : (W_a - W_b)x100/ W_a (%)
 *4 : (W_a - W_b)x100/(W_a - W_{ad})W_{ad}= weight of absolute dried specimens.
 *5 : ((W_c - W_b)/(W_a - W_b))x100/ ρ (%).

と乾燥割合に関する対応関係を求めたものである。モルタル供試体において、含有水分が多い場合は、水の表面エネルギーの影響を受け、少ない場合はエタノール、ヘキサンなど表面エネルギー小なる液体の影響を受けるものと考えられ、水分の保有状態が、表面エネルギーで置換できることを示している。

また、図-10は、表面エネルギーの異なる、4種類の液体中に普通モルタルと珪酸カルシウムを浸漬した時の膨張長さと表面エネルギーの関係を示したものであり、表面エネルギーの増大につれ膨張量も大となる（本実験では 61.4 erg/cm^2 の場合が最大）傾向を示している。この事実は、物質の Von der Waals 力は表面エネルギーが大なるほど、（界面エネルギーが小なるほど）大となるため、強度が減少することを示している。

4. 結 論

- 1) 界面エネルギーの増加にともない、セメントモルタルの曲げ、圧縮、引張り強度および弾性係数は増える。ただし、その影響の程度は、強度の種別によって異なる。
- 2) セメントモルタルの乾燥割合と表面エネルギーとの関係は強度を媒介とする対応関係として示される。
- 3) 液体の表面エネルギーと強度の関係は、液体による膨張が寄与しているものと判断される。

参 考 文 献

- 1) 岡田, 小柳, 他; 土木学会論文集 No. 248 pp. 126~136, 1976
- 2) 永松, 佐藤; セメント技術年報 Vol. 31 pp. 381~385, 1977; Vol. 33 pp. 413~416, 1979
- 3) 田, 島田; 土木学会論文集 No. 245 pp. 65~76, 1976
" " No. 256 pp. 59~68, 1976
- 4) 金子; コンクリート工学論文集 Vol. 2 pp. 321~324, 1980
- 5) 松下; 土木学会論文集 No. 296 pp. 87~95, 1980
- 6) 大岸, 小野; セメント技術年報 Vol. 33 pp. 409~412, 1979
- 7) 大岸, 小野; 建築学会大会梗概集 pp. 129~130, 1979
- 8) 堀, 浅野; 小野田セメント研究報告 Vol. 14 No. 53 pp. 155~158
- 9) 堀; 窯業協会誌 Vol. 70 pp. 54~59, 1962
- 10) 加藤, 松井; Gypsum & Lime No. 166 pp. 3~9, 1980
- 11) 岡島, 石川; 建築学会大会梗概集 pp. 1~2, 1979
- 12) 岡島, 石川; コンクリート工学論文集 Vol. 2 pp. 101~104, 1980
- 13) 岡島, 石川; 建築学会大会梗概集 pp. 89~92, 1980

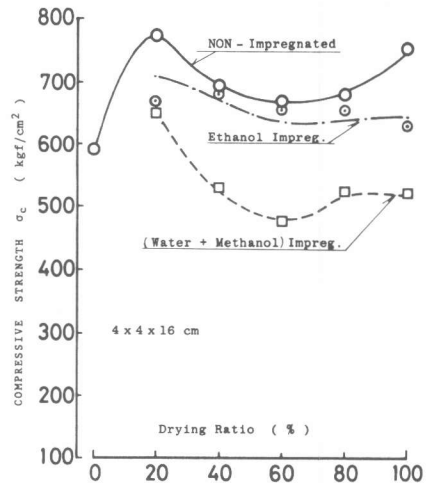


図-8 乾燥率と圧縮強度

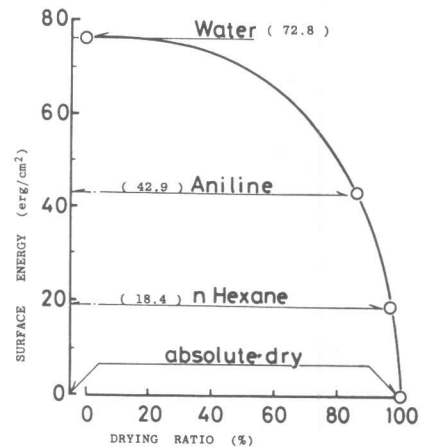


図-9 表面エネルギーと乾燥率との対応

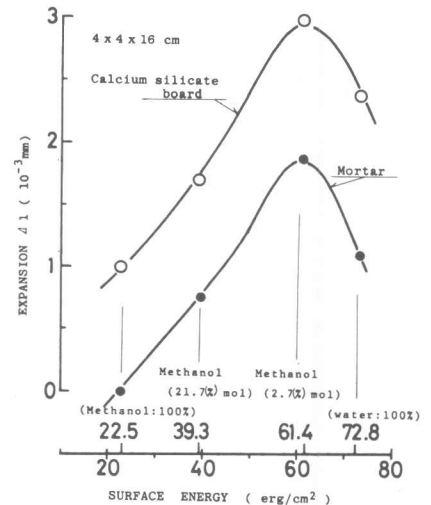


図-10 表面エネルギーと膨張変化