

養生期間の相違によるモルタルの水和程度の変化 と乾燥収縮の性状，機構との関連性について

庄谷 征美・米谷 裕・保坂 悟*

Some Considerations on the Relationship between the Degree
of Hydration and Drying Shrinkage of Mortars Cured for Different
Periods in Wet Conditions

Masami SHOYA, Hiroshi YONEYA, Satoru HOSAKA
(昭和56年10月31日受理)

There exists many factors influencing the magnitude of the drying shrinkage of concrete, among them, the duration of wet curing hasn't been recognized as one of main factors perhaps because of its little fixed trend in experimental results obtained in the different conditions by researchers.

Then, the experiments to clarify the relation between the degree of hydration dependent on the curing-term and shrinkage were carried out under both conditions of vacuum drying and the standard drying in air-conditioned room using the specimens fully cleaned of their surfaces.

It was confirmed that the degree of hydration related closely to the shrinkage ability of cement pastes and mortars and when the degree of hydration became greater to a certain degree, the shrinkage came to increase according to the increase of former in the vacume condition almost extruding CO₂ gas.

Shrinkage in normal drying condition decreased in accordance with the increase of the curing period when the water cement ratio was 40 percent, and when it was the case of 60 percent, shrinkage increased on the contrary. These contradictions can't be explained, however, it was possible that carbonation on shrinkage on the green aged specimen and the micro-cracking due to drying on specimens with long-term curing contributed to them.

Shrinkage mechanism was also investigated and the establishment of the theory of capillary tention for the various specimens of different periods of wet curing was recognized from the exnerimental results in such a medium humidity condition.

1. 序 論

コンクリートの乾燥収縮に影響する諸要因のうちで，湿潤養生期間の長短がその後の乾燥収縮量に及ぼす影響については定説はなく，一般に養生期間は

最終収縮量にほぼ無関係としている報告が多いようである。しかしながら，もしこの関係を明確にできるならば，特に収縮を考慮する必要がある部材の施工において，養生期間や脱枠時期の選定によりその後の乾燥収縮を低減させ，収縮ひび割れ発生を相当に抑制できる可能性が生じてくるのである。

*秋田大学学生

養生期間の相違によるモルタルの水和程度の変化と乾燥収縮の性状、機構との関連性について

表1 用いた配合

配合種別	セメント種類	水セメント比 W/C (%)	単位量 (kg/m ³)		
			W	C	S
モルタル	普通	40 (37.8)	330	825	980
		60 (53.5)	330	550	1208
	中庸熱	40 (36.4)	330	825	990
		60 (52.0)	330	550	1215
	早強	40 (39.3)	330	825	973
		60 (55.7)	330	550	1203
ペースト	普通	40	533	1333	—
	中庸熱	40	537	1342	—
	早強	40	531	1327	—

*フリージング終了後実測した水セメント比

2. 実験概要

(1) 使用材料および配合

セメントは、普通、中庸熱および早強ポルトランドセメントを使用し、細骨材は豊浦標準砂を用いた。試料としては、モルタルおよびセメントペーストを用いた。配合は、モルタルの場合単位水量を330kg/m³とし、水セメント比を40および60%の2種とした。セメントペーストでは、水セメント比40%の1種とした。用いた配合は表1に示すとおりである。

(2) 練りませおよび供試体作製

供試体の寸法、形状は、セメントペーストの場合1×1×16cmの角柱、モルタルでは4×4×16cmの角柱供試体で三連型枠を用いてこれらを製造した。練りませには5ℓ容量のモルタルミキサを使用した。フリージング終了後表面を仕上げ、水分の蒸発防止のためビニールをかぶせて、20℃の恒温室内で養生し一部（材令8hr, 15hr）を除いて材令1日で脱型、供試体表面に付着しているグリースを入念に洗い落とし、以後供試体材令まで標準水中養生を行った。

(3) 試験項目および方法

試験の測定項目およびフローチャートを図1に示した。

収縮量の測定には、1/1000mm最小読みのコンタクト型ストレインゲージを用い、検長100mmとした。標点用として、張り付け型（室内乾燥用）および埋め込み型（真空乾燥法用）の2種の真鍮製チップを使用した。測定に用いた供試体数は、同一配合、同一試験条件に対し3本を原則とした。

逸散水量は、供試体の重量変化より算出した。重量測定には、モルタルの場合0.5g感量、5kg秤量の台ばかり、ペーストの場合0.1mg感度の化学天秤を使用した。

動弾性係数は縦振動法により求めた。

強度試験はセメントの強さ試験に準じて行い、曲げおよび圧縮強度を算定した。

室内乾燥収縮試験は、20℃、50%R.Hの恒温恒湿内で実施し、乾燥期間は150日を目標とした。なお、乾燥の各段階において所定材令ごとに逸散水量および動弾性係数の測定も併行して実施した。

真空乾燥収縮試験では、105℃、0.5mmHgの真空乾燥器内で24~72hr連続乾燥させて、収縮量、逸散水量の測定を行った。この試験はきわめて厳しく実際的でない乾燥方法であるが、乾燥の平衡状態を短時間に得ること、セメントペーストの炭酸化による収

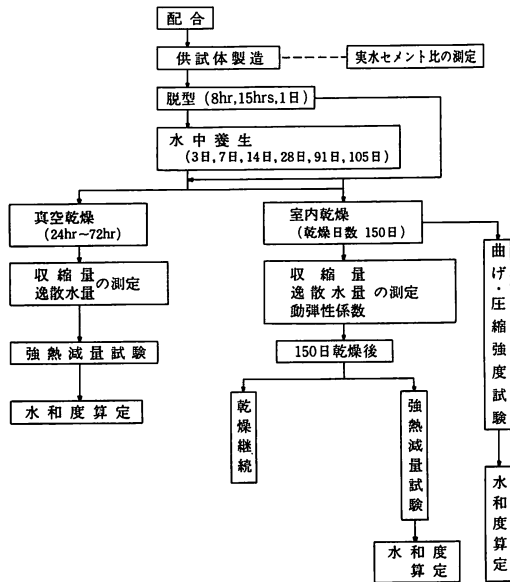


図1 試験項目および実験の手順

一般に乾燥収縮は炭酸化収縮を含んで進行するものであって、コンクリート表面部の処理状態によっても影響を受けるとされる。そこで表面の汚れを十分に落した供試体を用い、炭酸ガスの影響をほとんど受けない真空乾燥条件下の収縮試験も室内乾燥収縮試験に併行して実施した。これらの結果を供試体の水和度と関連させて検討し、上記条件下の収縮機構を従来の理論等と対比させて考察した。この結果を基に、養生と収縮の関係について、2、3の言及を試みた。

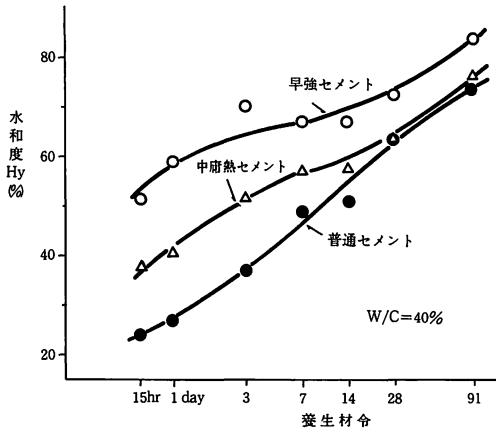


図2 各種セメントペーストの水和進行の状況

縮への影響を防止すること、乾燥中にセメントペーストの水和が進行する影響を最小限にすることなどを優先させ収縮を捉えようとしたためである。

セメントの水和度試験は、真空乾燥収縮試験を終えた直後の供試体について、950℃の強熱減量試験からセメント1g当りの結合水量を次の仮定により求めた。

- i) モルタル供試体中のセメント、細骨材の相対的な割合は練りませ時と同じである。
- ii) (自由水) + (ゲル水) は105℃真空乾燥で完全に分離可能とする。

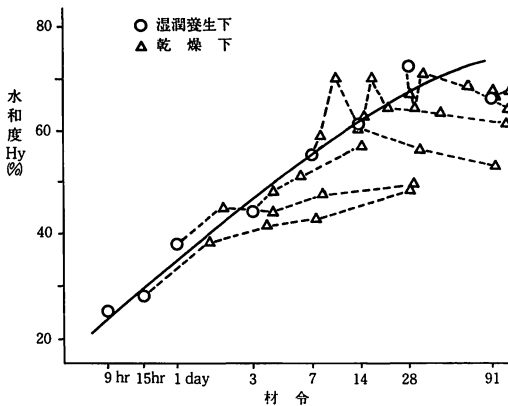


図3 水和度の乾湿条件下での経時変化

iii) 結合水は950℃炉で1時間の強熱で完全に除去できる。

そして、W/C=1000%3ヶ月攪拌後のペースト自体の結合水量Cpiとの比から水和度Hyを次式より算定した。

$$Hy(\%) = \frac{A \times (W_i - W_{ci}) + B \times W_{ci}}{W_{ci} \times C_{pi}} \times 100 \quad (1)$$

ここでA, Bはそれぞれ標準砂, セメントの強熱減量値を示す定数であり, A=0.003177である。Bは, 普通ポルトランドセメントではB=0.003144, 中庸熱ではB=0.002654, 早強ではB=0.002703である。Liはモルタル試料の強熱前重量から強熱後の重量Wiを差し引いた減量, Wciは強熱後のモルタル試料中のセメント重量で, 普通ポルトランドセメントW/C40%ではWi/2.1804, W/C60%ではWi/3.1825, 中庸熱W/C40%ではWi/2.1929, W/C60%ではWi/3.1950, 早強W/C40%ではWi/2.1172, W/C60%ではWi/3.1742となった。

実水セメント比は, 打設後ブリージングが終了した時点の試料を採取し, 105℃乾燥および950℃の強熱により実質の水量を測定して算定した。これには, ブリージング後もセメントと砂の容積比は変化しないと仮定して行った。

3. 結果および考察

(1) 材令の変化に伴う乾湿条件下の水和性状およびそれと圧縮強度との関連について

図2には, 普通, 中庸熱および早強ポルトランド

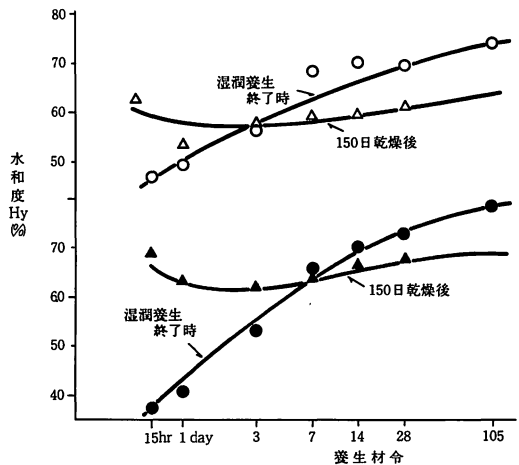


図4 中庸熱セメントモルタルの水和進行と乾燥150日後の変化について

養生期間の相違によるモルタルの水和程度の変化と乾燥収縮の性状，機構との関連性について

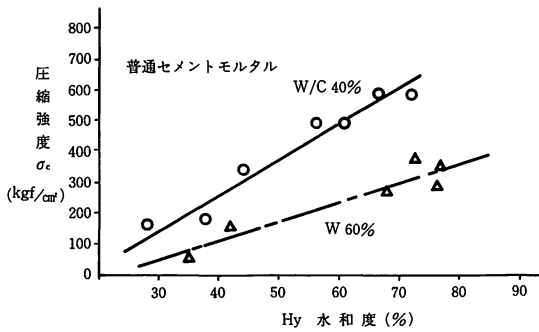


図5 湿潤養生下の水和度と圧縮強度の関係

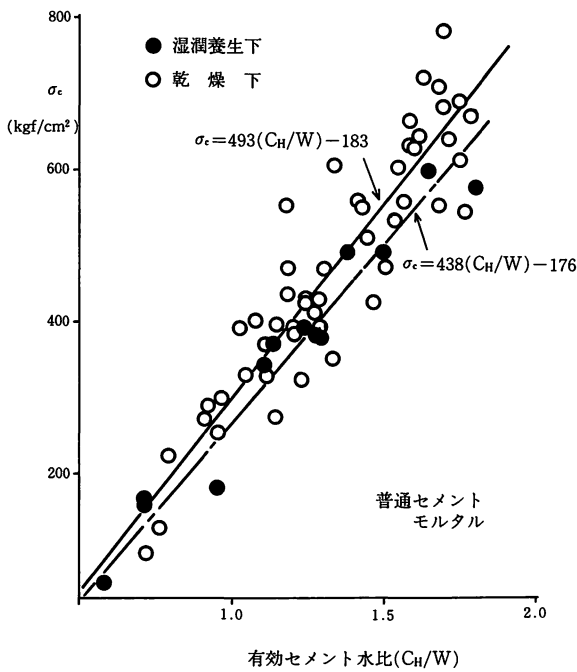


図6 圧縮強度と有効セメント水比の関係

セメントを用いた水セメント比40%ペーストにおける湿潤養生終了後の水和度と材令の関係を示した。これより，材令の増加に伴う水和の進行が明瞭に認められる。普通ポルトランドセメントペーストでは，全体に水和の進行が他の二者に比べ遅くなっているが，これは実験が2年にわたって行われ，特に普通セメントでのモルタル打設期が秋季から冬季にわたった為，モルタル練り上りの温度が低くなった等の影響や，中庸熱，早強セメント使用では春から夏に

かけての打設であり，養生温度の管理が標準養生温度より高い気温のため困難であったことなどが原因として指摘できる。しかし，同一条件に近い早強および中庸熱セメントを比較すると前者の水和の進行が非常に速やかであり，材令の対数値と直線的に関係する傾向にあることなどより，本実験で採用した水和度算定手法はほぼ妥当であったと判断される。

図3は水セメント比40%普通セメントモルタルの材令に伴う水和の進行状況と，湿潤養生終了時の任意材令から50%RH条件下で乾燥した場合の任意時間の水和度を求めた結果を破線で併記した。これより，乾燥時の水和度は，乾燥を始めた材令が1～3日程度以前では水中養生を続けた場合より相当にその進行が遅く，材令28日では20%近くも減少している結果を示している。これに対し乾燥開始材令が7日程度以上となると，乾燥後3～7日以内にいったん大きく水和度が上昇し，この後一転して急激に減少をみせ，以後ならぬ減少傾向といった特異

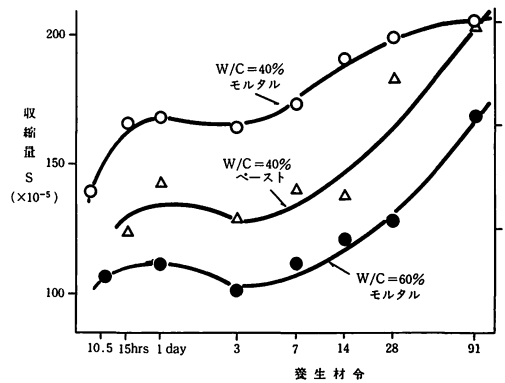


図7 普通セメントペーストおよびモルタルの真空乾燥収縮量と養生期間の関係

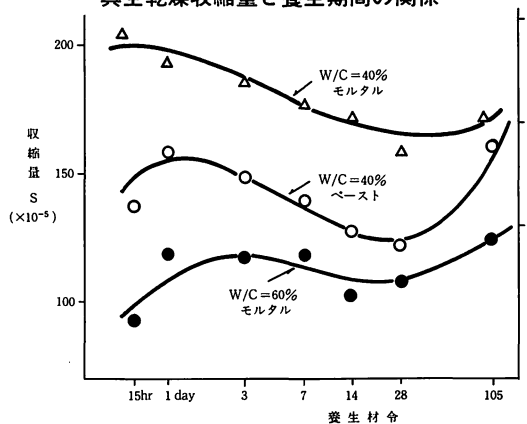


図8 中庸熱セメントペーストおよびモルタルの真空乾燥収縮量と養生期間の関係

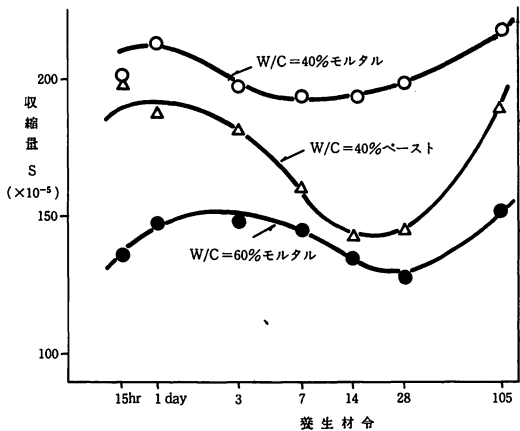


図9 早強セメントペーストおよびモルタルの真空乾燥収縮量と養生期間の関係

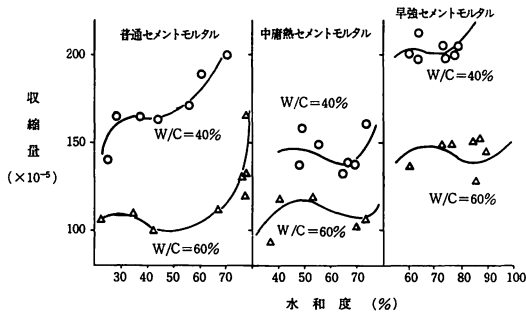


図10 真空乾燥条件下の収縮量と水和度の関係

な様相を示している。これに関してその原因を考察すると、比較的長い期間の湿潤養生下では、内部組織が緻密となって110℃乾燥で仮定したゲル吸着水の完全離脱が困難であるためか、あるいは、乾燥により表面へ移動してゆく内部水分により付加的な水和、これはもしあるとすればよりルーズな形での結合と考えられるが、を生じたためなのか、判然としない。これに関しては筆者らの報告が初めてであって、今後さらに解明が必要となろう。

図4には、中庸熱セメントモルタルにおける水和の進行状況を示したが、各湿潤養生期間終了後150日間乾燥した場合の水和度を求めた結果も併記した。これによると、水和の進行は水セメント比が60%と大きな場合の方が初期を除いて速やかであって、これも常識と一致する結果となっている。乾燥150日目の水和度は、養生期間の長短にかかわらず60~70%程度の間で顕著な差がみられない結果を示している。これについて、比較的若材令から乾燥しても乾燥のため移動した水分により水和がわずかながらも進行

すること、表面より内部に進む炭酸化の影響が若材令の場合に特に大きいことなどが考えられる。また、先の図2の結果からも認められる様に、長期乾燥では水和度が養生終了時に比べ低下していることから、セメントゲルからの脱湿が生じている可能性が有って、複雑である。この点は炭酸化の生じない条件で追試する必要がある。

以上のように、本実験で求められた水和度の傾向はほぼ妥当であり、また乾燥過程における水和度の変化について一知見が得られ、炭酸化過程のこれに対する関与の様子が把握できたと思われる。

図5に普通セメントモルタルの湿潤養生終了後の水和度と圧縮強度の関係を示した。これによると水和度 H_y を圧縮強度 σ_c の間には水セメント比 W/C により傾きは異なるが明瞭な直線関係が存在している。これを関博士らの提唱した「有効セメント水比」で整理したのが図6である。有効セメント水比は、単位セメント量と水和度の積、即ちセメント中の水和結合したセメント量 C_H に対する単位水量 W の比 C_H/W であって、セメントペーストの硬化を支配するペースト実質濃度もいえる。図6から、湿潤養生終了後の $\sigma_c \sim C_H/W$ 関係と乾燥養生した供試体についての同関係が示されている。これより、湿潤状態では水セメント比、材令に関係なく直線関係が得られていること、また乾燥過程にある供試体においてもバラツキはあるがほぼ直線関係が成立していることが認められる。最小二乗法で上記関係を処理すると次式が得られた。

$$\text{湿潤状態：} \sigma_c = 438 (C_H/W) - 176 \quad (2)$$

$$\text{乾燥状態：} \sigma_c = 493 (C_H/W) - 183 \quad (3)$$

(2)、(3)式で乾燥状態の係数が増大していることは、長期湿潤養生した場合あるいは高強度の場合ほど、乾燥による一時的な強度増進が大きいこと、短期湿潤養生の場合は炭酸化による強度増進があるためと考えられる。

以上のように、強度特性は有効セメント水比の概念で推定可能ではあるが、特に乾燥状態においては表面エネルギーの変化、表面部の引張応力さらには炭酸化などの強度に影響すると思われる要因について定性的な解明およびそれをさらに定量化する努力が重要と思われる。

(2) 真空乾燥下の収縮特性

105℃ 5 mmHgの条件下において実施した収縮試験の結果を図7に普通セメント使用の場合、図8に中庸熱セメント、図9には早強セメント使用のモルタル、ペーストの収縮と材令の関係を示し、図10には、

養生期間の相違によるモルタルの水和程度の変化と乾燥収縮の性状、機構との関連性について

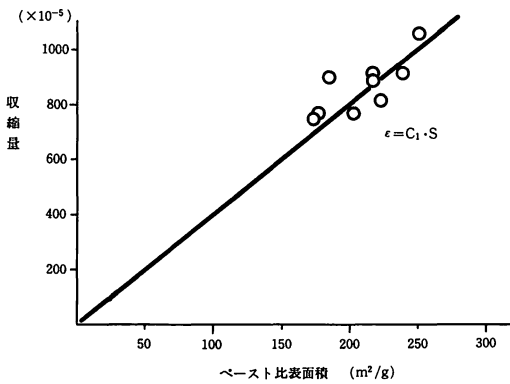


図11 真空乾燥条件下のペーストの収縮量とペースト比表面積の関係(山本³⁾)

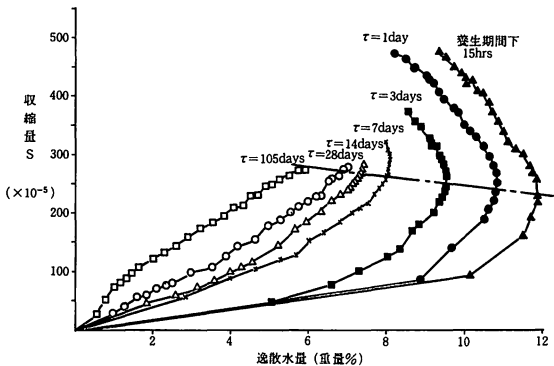


図12 中庸熱セメントペーストの収縮量と逸散水量との関係に及ぼす養生期間の影響

前者と水和度との関係をそれぞれのモルタルの場合について示した。これより、いずれの種類のセメントを用いた場合も材令15時間(水セメント比W/C=40%)および1~3日(W/C=60%)程度で収縮に第一のピークが現われており、その後材令の増加とともになだらかに減少、材令14日~28日以降で急激に上昇する傾向にある。また、収縮量の絶対値は水セメント比が小さい場合の方が相当に大きくなっている。次に水和度との収縮の関係を調べると、上記の第一ピークは、普通セメントには水和度が30~40%、中庸熱セメントで40%程度、早強セメントでは明瞭でないがセメントペーストのそれから考えて50%程度付近と予想される。また、急に収縮が立ち上がる水和度はほぼ70%近くに一致している。

これらは山本が同様の乾燥条件下で得た結果と定性的には同様であるが、彼は各水和段階におけるセメントペーストのゲル比表面積を窒素吸着法により測定し、比表面積にも若材令での第一ピークを見出している。彼の得た結果から、収縮とペースト比表面

積との関係を描いたのが図11である。狭い範囲ではあるが、両者の間には原点を通る直線関係が明瞭に認められる。

さて、物質がその表面で水分などの吸脱着を受けると、表面エネルギーに変化を生じ、それにより応力が発生する。これをFとし、Gibbsによれば次式

$$F = S \cdot \Delta \gamma = -nRT \int_0^p (1/p) dP \quad (4)$$

が成立する。ここで、Sは比表面積、 $\Delta \gamma$ は吸脱着に伴う表面エネルギー変化量、nはモル数、Rは気体定数であり、Tは絶対温度である。この応力Fによる長さ変化はBanghamらの方程式を上式に組み合わせると次式のようになる。

$$\epsilon = \left(\rho \cdot \frac{\Delta \gamma}{E} \right) \cdot S = C_1 \cdot S \quad (5)$$

上式で ϵ はひずみ、 ρ は物質の真比重、Eは実質部のヤング率である。今、 ρ 、Eには異なる試料で大差ないと考え、 $\Delta \gamma$ は吸着媒が水分であることを考えると上式のように $\rho \cdot \Delta \gamma / E$ を一定の定数 C_1 に置き換えて差し支えないと思われる。

以上のように、式(5)は、ゲル比表面積と収縮ひずみの間に比例関係が成立することを示唆しており、図11の結果に対応している。これは、105℃、真空乾燥の様に厳しい乾燥条件下では、収縮の主役が固相の表面エネルギーの変化であることを暗示している。固相に吸着した水分が脱着をおこすと安定していたエネルギー状態が不安定になり、表面自由エネルギーの増大により収縮が引き起こされるものと考えられる。従って、一般的にはある水和段階以降では、水和の増進によりゲル比表面積が増大するため、潜在的な収縮能力は増加すると考えてよいこととなる。

(3) 室内乾燥下の収縮性状

モルタルおよびペーストについての室内収縮試験の結果の概要を述べると次のようになる。一般に収縮の乾燥初期のたちあがり、養生期間の短い場合ほど速やかであるが、乾燥の進行とともになだらかに指数曲線的な増加傾向になる。水セメント比が大きく、養生期間の短い場合では、炭酸化が進行するが、収縮の増加はある段階以降ではほとんどこの現象に依存したものであることが推察された。逸散水量は養生期間の短いものほど、乾燥初期での増加が著しいのは収縮と同様な傾向であるが、長期乾燥が続くと、炭酸化の影響が卓越して重量は逆に増加する傾向になる。養生期間が長い場合では、逸散水量の増加速度は比較的ゆるやかである。しかし、最終

的な逸散水量は養生の長短にかかわらずある一定の範囲に収斂しそうな傾向もあり、これは水セメント比が60%の場合に強く認められ、炭酸化の影響が大きく関与している。水セメント比40%の場合では、養生期間の順に逸散水量が増大しており、養生期間の長短によるポロシティー分布や水和程度の違いに大きく依存するものと考えられる。

次に収縮量と逸散水量の関係を検討した。一例として図12に中庸熱セメントペーストの結果を示す。このケースは供試体寸法が1×1×16cmと小型のため炭酸化の影響が強く表われ、①の弓形の曲線関係がみられ、養生期間の短いものほどその形状は明瞭となっている。また、養生期間の長いものでは図中にみられるように、乾燥がある程度進むと収縮は横ばいにもかわらず、逸散水分が急に増加する現象が認められる。おそらく、内部ゲルが乾燥によるinternal forceにより引きさかれ、破断面より水分が急速に逸散したため発現した現象と考えられる。図で、炭酸化が卓越する段階以前の収縮量を追いこれを結んだ曲線が示されているが、これを炭酸化の影響を除去した収縮量と仮定すれば、養生期間の長い場合の方がやや大きくなる傾向にあるといえる。

(4) 室内乾燥収縮と養生期間の関係および収縮機構に関する一考察

図13には、早強および中庸熱セメントペーストの20日および100日収縮量と養生期間の関係を示し、図14、15および16には普通、中庸熱および早強セメントモルタルの20日および150日収縮量を同様の関係で示してある。これらより、水セメント比が40%の場合では、短期間養生の場合に収縮のピーク値が存在し、以後材令の増加とともに減少してゆく傾向が強く現われている。これに対し、水セメント比が60%と増加すると全般的には養生期間の増大に応じて収縮が増大する傾向にあり、特に普通セメントモルタルでは顕著である。水セメント比40%では先にも述べたように、炭酸化と微細ひび割れによる影響が重なって作用しているものと考えられる。

水セメント比60%の場合は、炭酸化の影響を除けば、長期養生による収縮増加の傾向が大きくなるものと考えられる。早強セメント使用の場合には、炭酸化の影響が最も少ないと考えられるのに予期した傾向と逆の様相がみられる。これは、急速な強度発現のために先のひび割れによる解放などの影響が他セメントを用いた場合より大きいことが考えられる。

次に、現在までの研究の結果から、中高湿度領域においては、乾燥収縮の主因が毛管張力によるもの

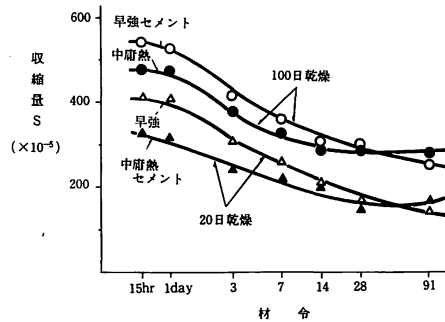


図13 各種ペーストの室内乾燥収縮と養生期間の関係

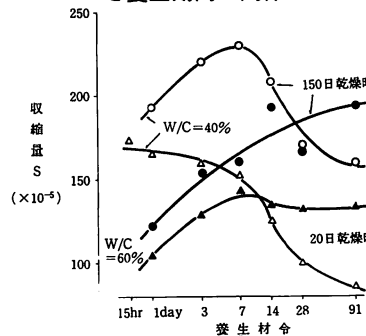


図14 普通セメントモルタルの室内乾燥収縮量と養生期間の関係

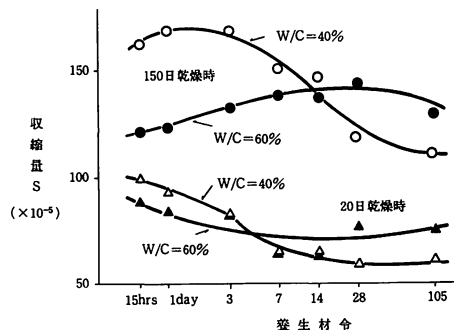


図15 中庸熱セメントモルタルの室内収縮量と養生期間の関係

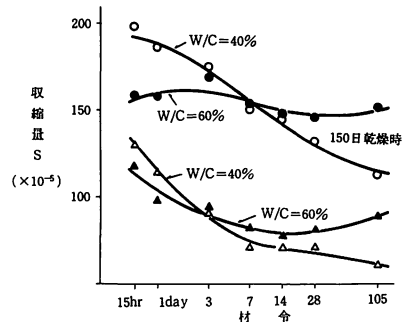


図16 早強セメントモルタルの室内収縮量と養生期間の関係

養生期間の相違によるモルタルの水和程度の変化と乾燥収縮の性状、機構との関連性について

であることが確認され、国際的にも支持されている。そこで、本実験の結果を毛管張力の観点から捉えてみたいと思う。

材料中の全ての孔に凝縮している水分に対して、熱力学的平衡が成立すると仮定すれば、ある相対湿度に対応する孔径以下の孔には水が存在し、その孔に作用する毛管張力 F は、(負圧) 次のKelvin式より算定できる。

$$F = \frac{R \cdot T}{M \cdot V_F} \ln(P/P_s) \quad (6)$$

上式で M は分子量、 V_F は水の比容積、 P/P_s は相対湿度を表わす。この力は、相対湿度50%で100kgf/cm²にも達する。一方L'Hermiteによれば、長さ変化は

$$\frac{\Delta l}{l} = \epsilon = F (e/V) \cdot x \quad (7)$$

のように表現され、 e/V は固相の全容積 V に対する液量 e の比で、一般的には、体積含水比 W_v に等しい。 x は固体の圧縮率で $3(1-2\nu)/E$ と等価である。(6)、(7)式を組みあわせると、収縮ひずみ ϵ は

$$\epsilon = \frac{R \cdot T}{M \cdot V_F} \cdot \ln(P/P_s) \cdot W_v \cdot x \quad (8)$$

一定温度、湿度条件下で物体のポアソン比 ν 一定と考えれば、結局次式のように乾燥収縮と弾性係数の積が体積含水率、即ち残留水率と比例関係にあることが、毛管張力機構の成立のため必要となるのである。

$$\epsilon \cdot E = C_2 \cdot W_v \quad (9)$$

以上の考えに基づき、150日乾燥時における水和度を算定し、フリージング分を補正した配合を基にその時点に残留している逸散可能水量から残留水率、即ち体積含水率を求め、その収縮量と動弾性係数の積との関係でグラフを描いたのが図17である。この際材令1～3日程度までは炭酸化の影響が強いが、この影響を特に除いてはいない。図より、(9)式の関係が全般には成立しており、養生期間の異なる場合でもほぼ毛管張力理論で説明できることを示している。しかし、特に水セメント比40%の場合のバラツキは大きく、炭酸化過程、ポロシチー分布、静水圧クリーブやさらには乾燥過程における微細ひび割れなどの物性変化が大きく係わっている可能性があり、特に炭酸化および物性変化はバラツキの大きな因子であろうことは想像に難くない。

以上のように、種々問題点も指摘されたが、中湿度域でも残留水分によって毛管張力が働き、それにより収縮が生じると考えてよいこと、養生期間の異なる場合の収縮量もこの機構によりほぼ支配される

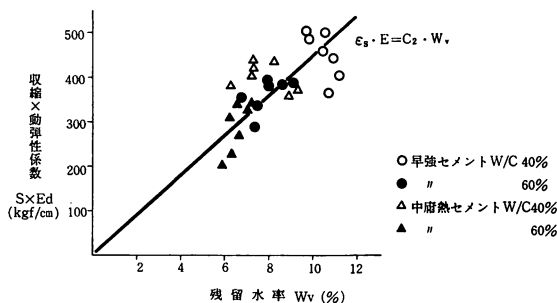


図17 毛管張力理論による室内収縮量の検討

と判断できること、などの点がいえると思われる。

4. む す び

以上の検討で明らかになった点を列挙すれば次のようである。

(1) 養生期間の異なるペースト、モルタルの水和度を算定した所、本法での水和度評価の方法がほぼ妥当であることが確かめられた。乾燥過程にある材料の水和度は特異な傾向を示し、これより、逸散水によるルーズな形での一時的な反応や、化学的結合水の逸散の可能性、さらには炭酸化によるみかけ上の水和度増加の傾向などの興味ある現象の解釈が試みられた。

(2) 湿潤条件下の圧縮強度は、関博士らの提唱する有効セメント水比説でほぼ統一して説明可能である。乾燥条件下では、収縮応力や炭酸化などの影響と思われるバラツキが多く認められ、全般的に湿潤条件下より同一水和程度でも強度が数10kgf/cm²も大きく発現する傾向にある。乾燥過程の強度を説明するにはさらに理論的および実験的な検討が必要である。

(3) 真空乾燥105℃条件下で収縮量と養生期間、水和度との関係を検討した結果、水和度で30～50%近くに収縮量の第一ピークが見い出され、70%以上に水和度が増加すると急激に収縮が増大する様相を示した。この傾向はセメント種類により多少異なるが、収縮の潜在能力はある程度以上に水和が増大すれば大きくなることを意味すると考えられた。この様な厳しい乾燥条件下の主役は、物体の表面エネルギーの変化であるとの推察がなされた。

(4) 50%R.H.20℃条件下における収縮試験の結果が検討され、特に若材令における炭酸化、および長期養生試料における特異な傾向が示された。湿潤養

生期間と収縮の関係は、水セメント比により異なる傾向にあり、水セメント比40%では、養生15時間～3日の間にピークを持って以後養生期間の増大とともに減少する傾向にあるに対し、60%モルタルの場合、全般的に養生期間の増大にみあって収縮が増加する傾向になった。セメント種別では早強セメントで特異性が認められるが、これは強度発現に関係したものと考えられた。

(5) (4)のような中湿度領域での収縮は毛管張力機構で説明可能であることが示された。水セメント比40%の場合におけるバラツキについて考察が試みられ、炭酸化過程および乾燥過程における物性の変化が主に係わっていることが推測された。

(6) 施工上の収縮低減対策としては、大気中では実験室内のような高濃度の炭酸ガス雰囲気でないこと、ヤング率はそれほど養生条件により変化しないことから判断して、早期に脱枠し乾燥開始時期を早めた方が望ましいと思われる。水セメント比は必要限度内の強度を得るように選択する方が好ましいであろう。しかし、収縮応力の観点からも検討は必要であって、今後は、ひび割れ特性や、炭酸化の果す役割の解明が重要と思われる。

参 考 文 献

- (1) 田口俊秋, 栗野秀則, 庄谷征美: 硬化モルタルの水和程度と乾燥収縮, 力学的特性との関係, 昭和54年度土木学会東北支部技術研究発表会講概, 1980年
- (2) 保坂悟, 庄谷征美, 米谷裕: 養生期間がモルタルペーストの収縮に及ぼす影響について, 昭和55年度土木学会東北支部技術研究発表会講概, 1981年
- (3) 山本泰彦: コンクリートにおける遅延剤および減水剤の使用に関する基礎研究, 土木学会論文報告集第265号, pp. 97~99, 1977年
- (4) 関慎吾他: セメントの水和進行率から求まるコンクリートの有効セメント水比と圧縮強度の関係について, 土木学会論文報告集, 第146号, 1962
- (5) 後藤幸正, 藤原忠司: コンクリートの乾燥収縮に及ぼす骨材の影響, 土木学会論文報告集, 第286号, pp. 130~132, 1979年
- (6) 近藤連一: 多孔材料, 技報堂, pp. 314~328
- (7) W. Gzernin 徳根訳: 建設技術者のためのセメントコンクリート化学, 技報堂