

セメントの硬化収縮とブリージングの関係

広島大学 正会員 田澤 栄一
学生員 ○笠井 哲郎

1. はじめに

セメントペーストのブリージング水量の測定において、最大ブリージング量を示した後も測定を継続して行くとブリージング水はしだいに減少していくのが観測される。これはセメントの水和の進行に伴ってセメントペースト全体の容積が減少していくことを示しているものである。この容積の減少は、セメントの水和に伴う収縮として知られている。本報告はブリージング水面及びペースト面の経時変化から水和の進行に伴う全体の収縮量を観測し、又水和反応式より求めた理論収縮量との比較を行なうものである。

2. 実験概要

(1) 使用セメント及び水セメント比

セメントは普通ポルトランドセメント（比重3.16）を用い、その
鉱物組成を表-1に示す。水セメント比は40% 及び60% について行なった。

表-1 セメントの鉱物組成 (%)

C ₃ S	C ₂ S	C ₁ A	C ₄ AF	CaSO ₄
58.0	18.3	8.3	8.5	3.7

(2) ペースト面及びブリージング水面の測定

直径30mmの亚克力パイプにセメントペーストを打込み、水分の蒸発を防ぐために上下面を密閉した。測定はペースト上面及びブリージング水面の高さ変化をノギスで計測した。測定順序を図-1に示す。ここでペースト面とブリージング水面の高さの差がブリージング量となる。したがってこの測定を続けることによりペースト面以下のブリージング（負のブリージング）を観測できる。ペーストの打込み高さは10、20及び30cmについてそれぞれ行なった。

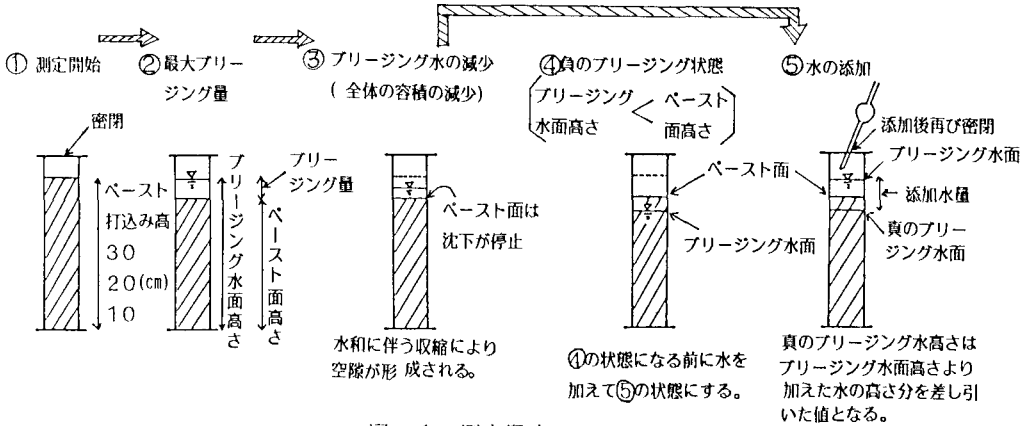
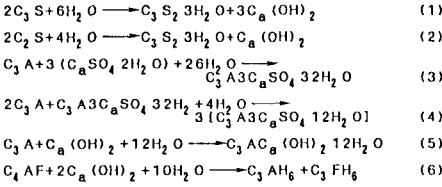


図 1 測定順序

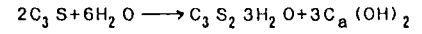
3. 理論収縮量

ポルトランドセメントの水和反応はきわめて複雑であり単純な反応式により正確に表わすことはできないが、本研究ではセッコウ共存下における常温時の各鉱物の水和反応式を式(1)～(6)に示すものとした。なおC₃Aの反応は水和の極初期において(3)式の反応によりエトリンガイトが生成されるのに(4)式によりモノサルフェートが生成される。そしてセッコウの不足で残ったC₃Aは(5)式の反応を行うものとした。これらの式より反応前と反応後の全容積を比較すると、いずれも全体の容積が減少していることがわかる。式(1)に関するこの計算例を図-2に示す。他の反応式についても同様な計算を行い収縮

各鉱物の水和反応式



率を求めた。(表-2) なおこの計算に使用した各鉱物の比重は文献1), 2)による。各水和時間における水和率は水和量の初期においては山口悟郎ら、1日以後においてはCopelandらにより示された値をそれぞれ用いた。各水和時間における全収縮量は先に示した各鉱物の組成、収縮率及び水和率から求めた各鉱物の収縮量の和として求められる。各水セメント比における理論収縮量を図-3に示す。



4565	108.1	3425	2223
315	1.0	271	224
145.0	108.1	126.4	99.2

253.1 225.6

$$\text{容積収縮率} = (253.1 - 225.6) / 253.1 = 10.87(\%)$$

図-2 C₃Sの容積収縮率の計算

4. 実験結果及び考察

図-4, 図-5にフリージング水面、ペースト面及び水和反応式より求めた理論収縮率の経時変化を示す。フリージング水面の変化は両図とも初期において小さく、5~8時間過ぎぐらいから加速的に大きくなる時期があり以後はじょじょに変化は小さくなっている。初期の変化の小さい時期はセメントの水和機構における誘導期に相当していると思われる。又フリージング水面の変化と理論収縮率は両図ともよく一致している。これより蒸発をなくしたセメントペーストのフリージング水の減少はセメントの水和に伴う収縮を表していることがわかる。

図-4における打込み高30cmでは2日過ぎから打込み高10, 20cm及び理論値に比べフリージング水の変化が小さくなっている。これはセメントペーストの水和の進行に伴い硬化体の組織がより緻密になりペースト上面からのフリージング水の浸透を遅らせていると思われる。これより打込み高の高い30cmは他と比べこの影響を強く受けたものと思われる。又図-5のW/C=60%ではW/C=40%に比べて組織が緻密でないため打込み高の影響を受けていないことがわかる。ペースト面の変化は水セメント比及び打込み高さの相違により相当の差はあるが、いずれも4~5時間過ぎから変化はなくなりペースト面高さは一定となっている。打込み高さの相違による沈下量の差はアクリルパイプとセメントペーストの摩擦によるものと考えられる。

以上のことよりペースト面高さが一定になった以後のフリージング水の減少は水和に伴う収縮により硬化体内部に形成された空隙中にフリージング水が浸透していったために生じたものであり、フリージング水の減少量はその空隙量を表しているものと考えられる。例えば外部からの水分の浸透がない場合、水セメント比40%(打込み高20cm)においては水和時間10日で硬化体中に約5.9%の空隙が形成されることになる。

(参考文献) 1) Lem, F.M.: The Chemistry of Cement and Concretes. 2) Bogue, R.H.: The Chemistry of Portlandcement. 3) 荒井康夫: セメントの材料化学。

表-2 各水和反応式による容積収縮率

反応式	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
収縮率(%)	10.87	10.28	7.07	1.90	22.87	15.35

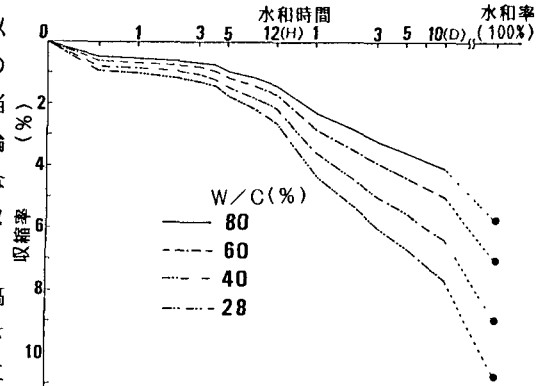


図-3 各水和時間における理論収縮率

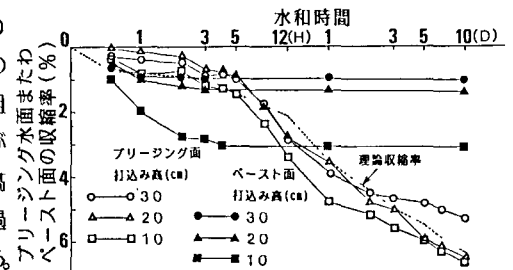


図-4 各水和時間におけるフリージング水面およびペースト面の変化 (W/C=40%)

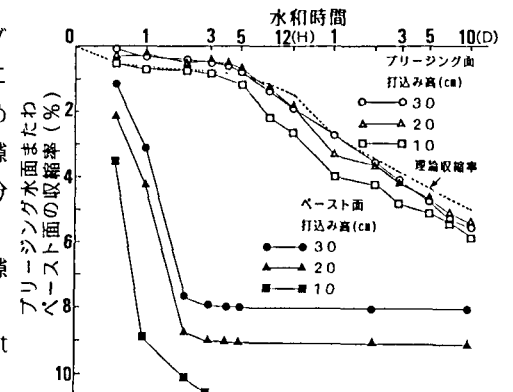


図-5 各水和時間におけるフリージング水面およびペースト面の変化 (W/C=60%)