

## 各種ポルトランドセメントを用いたコンクリートの養生中の吸水量に関する一考察

ハザマ 正会員 ○古川幸則

ハザマ 正会員 福留和人, 庄野 昭, 齋藤淳

## 1. はじめに

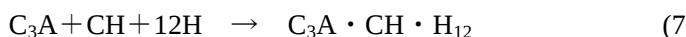
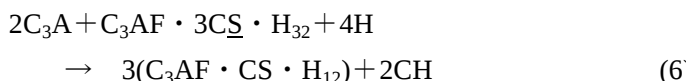
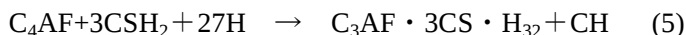
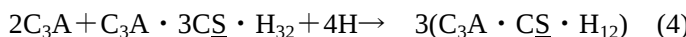
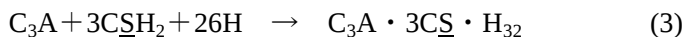
コンクリートの湿潤養生において、水分を逸散させないだけでなく、外部から積極的に水を供給し水和に必要な水がコンクリート中に保たれた状態を維持することが重要である。これは、ポルトランドセメントの水和反応において、水和反応生成物の体積が反応前の水およびセメントの体積の和より小さくなる水和収縮が生じることによる。すなわち、水分供給が不十分な場合、水和収縮により水の存在しない空隙量が増加し、水との接触の無い、あるいは、接触が少ないセメント粒子が存在することになり、水和反応が遅延することになる。本研究では、湿潤養生中に給水すべき水量を把握するために水中養生中の吸水量と水和収縮量の比較を行った。

## 2. 水中養生中の吸水量測定結果

各種ポルトランドセメント（表-1）を用いたW/C55%のコンクリート（ $\phi 100 \times 200\text{mm}$ 円柱）を  $20^\circ\text{C}$  で水中養生し、材齢 7, 28, 91, 182 および 365 日に質量を測定した<sup>1)</sup>。図-1 に材齢と吸水量の関係を示す。水中養生中に長期にわたって吸水が継続し、その水量は単位セメント量（ $284 \sim 289\text{kg/m}^3$ ）の 10%程度と多量であることが理解できる。低熱セメントの吸水量は、やや小さいが、その他は、セメントの種類の差は小さい。

## 3. 水和収縮量と水中養生中の吸水量の比較

ポルトランドセメントの水和反応において、水和生成物の体積は水和反応前のセメントおよび水の体積の合計より小さくなる、いわゆる水和収縮が生じる。外部から水の供給が無い状態では、水和収縮分だけ内部に空隙が生じることになり、水中養生中には生じた空隙が満たされることで吸水することになる。以下、セメント鉱物の水和反応に基づいて水和収縮量の算定を行った。考慮するセメント鉱物の化学反応式は、以下のとおりである<sup>2)</sup>。



ここで、C:CaO, S:SiO<sub>2</sub>, A:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, F:Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CH:Ca(OH)<sub>2</sub>, H:H<sub>2</sub>O,  $\underline{\text{S}}$ :SO<sub>3</sub>である。

表-1 セメントの品質、鉱物組成

| セメント種類 | 比表面積<br>cm <sup>2</sup> /g | 鉱物組成mi (%)       |                  |                  |                   |
|--------|----------------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
|        |                            | C <sub>3</sub> S | C <sub>2</sub> S | C <sub>3</sub> A | C <sub>4</sub> AF |
| 普通     | 3,300                      | 54               | 21               | 9                | 9                 |
| 早強     | 4,470                      | 64               | 12               | 8                | 8                 |
| 中庸熱    | 3,150                      | 42               | 36               | 4                | 13                |
| 低熱     | 3,530                      | 29               | 53               | 3                | 9                 |

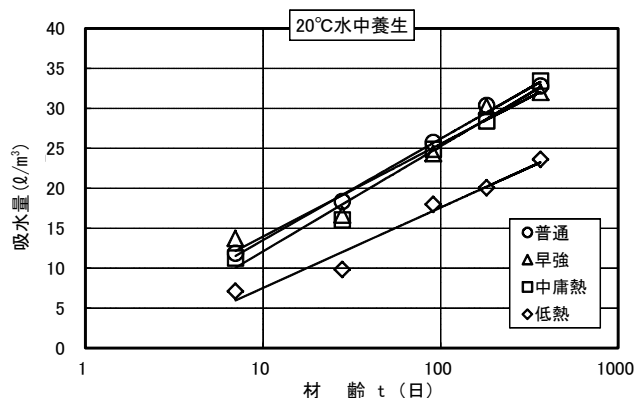
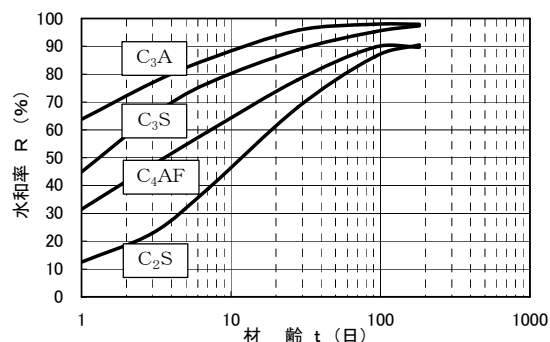


図-1 材齢と吸水量の関係

図-2 セメント鉱物の水和速度<sup>2)</sup>

キーワード：湿潤養生，吸水，水和反応，水和収縮，湿潤膨張

連絡先：ハザマ技術研究所，〒305-0822 茨城県つくば市荻間 515-1 tel: 029-858-8813, fax: 029-858-8819

各セメント鉱物の水和反応は、セメントの種類によらず図-2に示す水和速度によるとした<sup>2)</sup>。  
セメント鉱物および反応生成物の質量(分子量)および密度から体積が算定され、水和反応前のセメントおよび水に対する水和生成物の体積比を算定できる。表-2に各セメント鉱物の水和反応前後の体積比および結合水比の算定結果を示す。

表-2 各鉱物の水和反応前後の体積化および結合水比

| 鉱物                       | C <sub>3</sub> S | C <sub>2</sub> S | C <sub>3</sub> Am | C <sub>4</sub> AFm | C <sub>3</sub> A | C <sub>4</sub> AF |
|--------------------------|------------------|------------------|-------------------|--------------------|------------------|-------------------|
| $P_{ri}$<br>体積比          | 0.891            | 0.897            | 0.901             | 0.955              | 0.673            | 0.554             |
| $w_{ri}$<br>結合水比<br>*体積比 | 0.75             | 0.68             | 2.03              | 1.74               | 1.22             | 1.58              |

以上の水和反応前後の体積比 $P_{ri}$ および結合水比 $w_{ri}$ から、材齢 $t$ における鉱物 $i$ の水和率を $R_i(t)$ とおけば、材齢 $t$ におけるコンクリート単位体積(1m<sup>3</sup>)あたりの水和収縮量 $V_s(t)$ は、下式により算定できる。

$$V_s(t) = \sum \{ m_i \cdot C / \rho_i \cdot R_i(t) \cdot (1 + w_{ri}) \cdot (1 - P_{ri}) \} \quad (9)$$

ここに、 $m_i$ は、鉱物組成(%)、 $C$ は、単位セメント量(kg/m<sup>3</sup>)、 $\rho_i$ は、鉱物 $i$ の密度(g/cm<sup>3</sup>)である。  
図-3に材齢と水和収縮量および吸水量の関係を示す。材齢7~28日において、いずれのセメントも水和収縮量と吸水量は、ほぼ同等である。このことから、φ100mm程度の大きさの供試体であれば、初期の水中養生条件下では水和によって生じた空隙に瞬時に水が充満されることが推測される。すなわち、コンクリートが湿潤養生中に吸収可能な水量は、水和収縮量にほぼ一致すると言える。材齢28日以降、水和収縮量はさほど増大しないが、水和収縮量を超える量の水の吸収が継続して進行している。これは、セメントゲルが水を吸収して膨張する、いわゆる湿潤膨張が生じているためと考えられる。

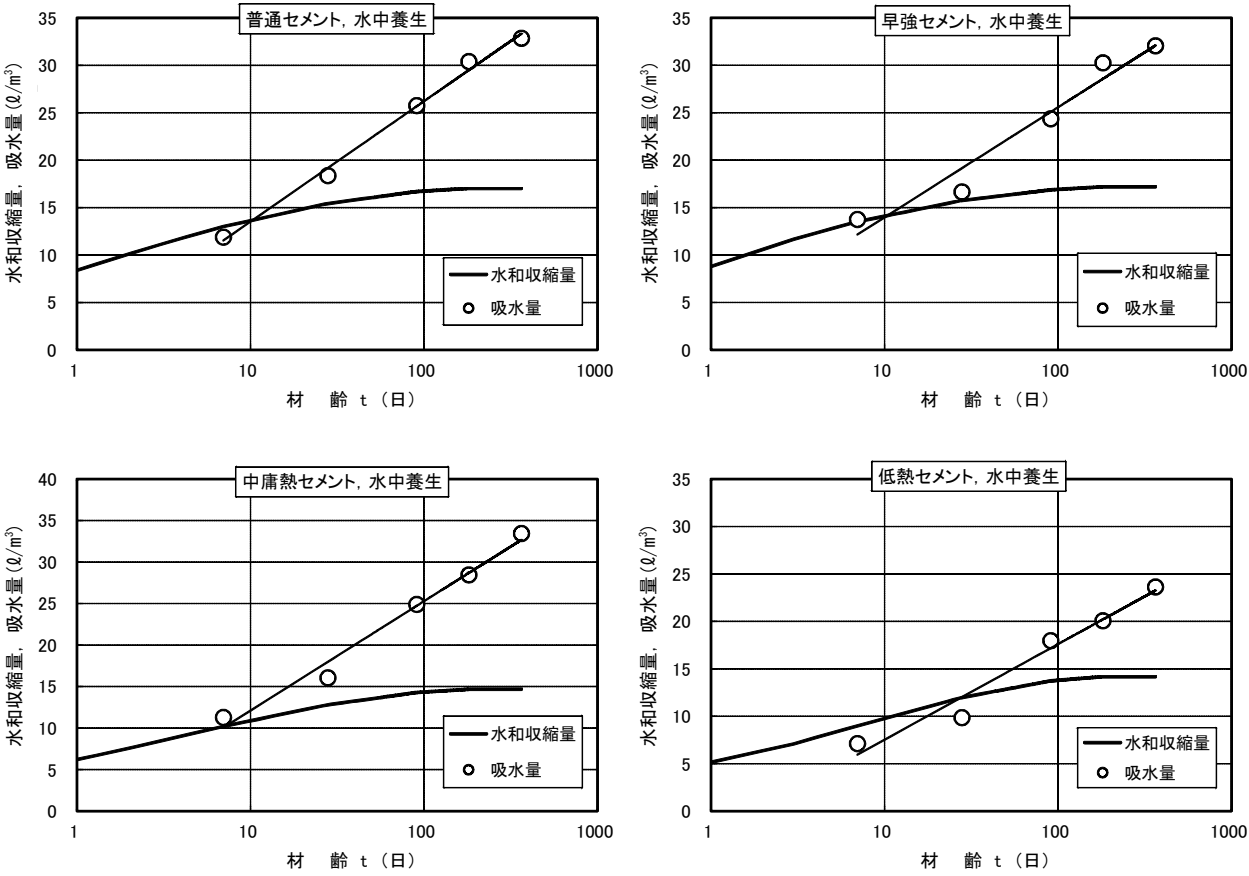


図-3 材齢と水和収縮量および吸水量の関係

参考文献 1) 福留, 古川, 庄野: ポルトランドセメントを用いたコンクリートの強度発現に及ぼす湿潤養生条件の影響評価手法, 土木学会論文集 E2, Vol.68, No.1, pp.26-37, 2012., 2)コンクリート工学協会: 反応モデル解析研究委員会報告書(1), pp.37-48, 1996.