

[24] スラグセッコウ石灰系セメントモルタルの強度劣化に関する研究

正会員 笠井 芳夫 (日本大学生産工学部)
 田中 弘文 (住友セメント中央研究所)
 戸谷 陽一 (住友セメント中央研究所)
 正会員 ○近藤 勝哉 (日本大学大学院生)

1. はじめに

三成分系セメントに関する研究は数多くあるが、¹⁾⁴⁾ 高炉水砕スラグ-β型半水セッコウ-消石灰系セメントを用いたモルタルは、水中養生を行なう場合、強度は普通ポルトランドセメントモルタルに劣らぬ値を有しているが、空气中養生を行なうと強度発現が小さく、かつ長期強度が低下することが明らかにされている^{1),2)}。そこで本研究は、この種の三成分系セメントを用いたモルタルの早期乾燥が強度や中性化におよぼす影響について実験を行なった。また、空気の接触を少なくするため塗装した水性エポキシ塗料の効果についても実験した。

2. 使用材料

(1) 三成分系セメント (BC)

- a) スラグ (S) 高炉水砕スラグ粉末市販品 S を用いた。物理的性質および化学成分を表-1 に示す。
- b) セッコウ (G) β型半水セッコウ ($\beta\text{-CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) を用いた。
- c) 石灰 (L) 市販の消石灰一級試薬 ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) を用いた。

(2) セメント (PC) 普通ポルトランドセメント (S社製) を用いた。

(3) 細骨材 豊浦産標準砂を用いた。

(4) 塗料 市販のモルタル面塗布用 2 液型水性エポキシ塗料を用いた。

3. 実験方法

(1) 調合 実施調合を表-2 に示す。

(2) 供試体製作方法 各種の水・三成分系セメント比 (W/BC) に対して、砂の量を変化させてフローを一定とした。供試体製作方法は、J I S R 5 2 0 1 (セメントの物理試験方法) に準じて行なった。

(3) 塗装方法 供試体製作後、20℃、湿空中に静置し、1日後に脱型した。塗装は脱型直後に刷毛塗りにより行なった。

(4) 養生方法 無塗装のものは、20℃水中養生および、20℃:R・H・60% 空气中養生の2種類とし、塗装ありのものは、20℃:R・H・60% 空气中養生とした。

(5) 試験項目 質量変化、圧縮強度、中性化深さ、X線回折および電子顕微鏡観察を行なった。

(6) 試験材令 質量変化、圧縮強度、中性化深さは、材令 14、28、84、168 日について行なった。X線回折および電子顕微鏡観

表-1 物理的性質および化学成分

| 項目 品名 | 物理的性質 | | 化学成分 (%) | | | | | | | | | |
|----------|----------------------------|------|----------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------------------|------------------|---|-------|
| | 比表面積 cm ² /g | 比重 | ガラス比率 | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | Na ₂ O | K ₂ O | S | Total |
| SS | 4000 | 2.95 | 92 | 34.22 | 15.49 | 0.64 | 42.46 | 6.37 | 0.34 | 0.16 | — | 99.1 |

表-2 モルタルの実験調合表

| No | S : G : L | 種類 | 養生方法 | W/BC | フロー値 | |
|----|------------------------|--------------|------|------|----------|------|
| 1 | 87.8 : 12 : 0.2 (%) | 無塗装 | 水中 | 0.45 | 210 ± 10 | |
| 2 | | | 空气中 | | | |
| 3 | | エポキシ塗料 | 空气中 | | | |
| 5 | | 無塗装 | 水中 | 0.55 | | |
| 6 | | | 空气中 | | | |
| 7 | | エポキシ塗料 | 空气中 | | | |
| 9 | | 無塗装 | 水中 | 0.65 | | |
| 10 | | | 空气中 | | | |
| 11 | | エポキシ塗料 | 空气中 | | | |
| 13 | | 普通ポルトランドセメント | 無塗装 | 空气中 | | 0.55 |

S : スラグ G : β型半水セッコウ L : 消石灰

察は、材令3カ月のモルタルを使用した。

4. 結果および考察

材令と質量変化率との関係を図-1に、材令と圧縮強度との関係を図-2に示す。

(1) 質量変化率について

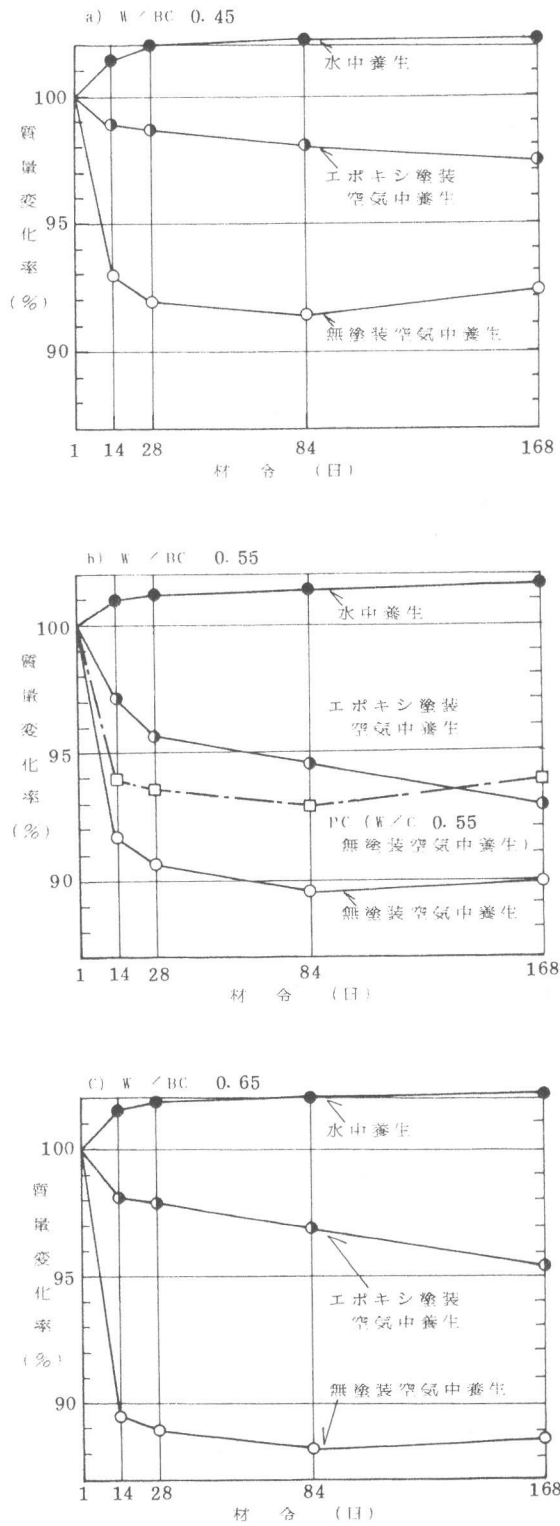


図-1 材令と質量変化率との関係

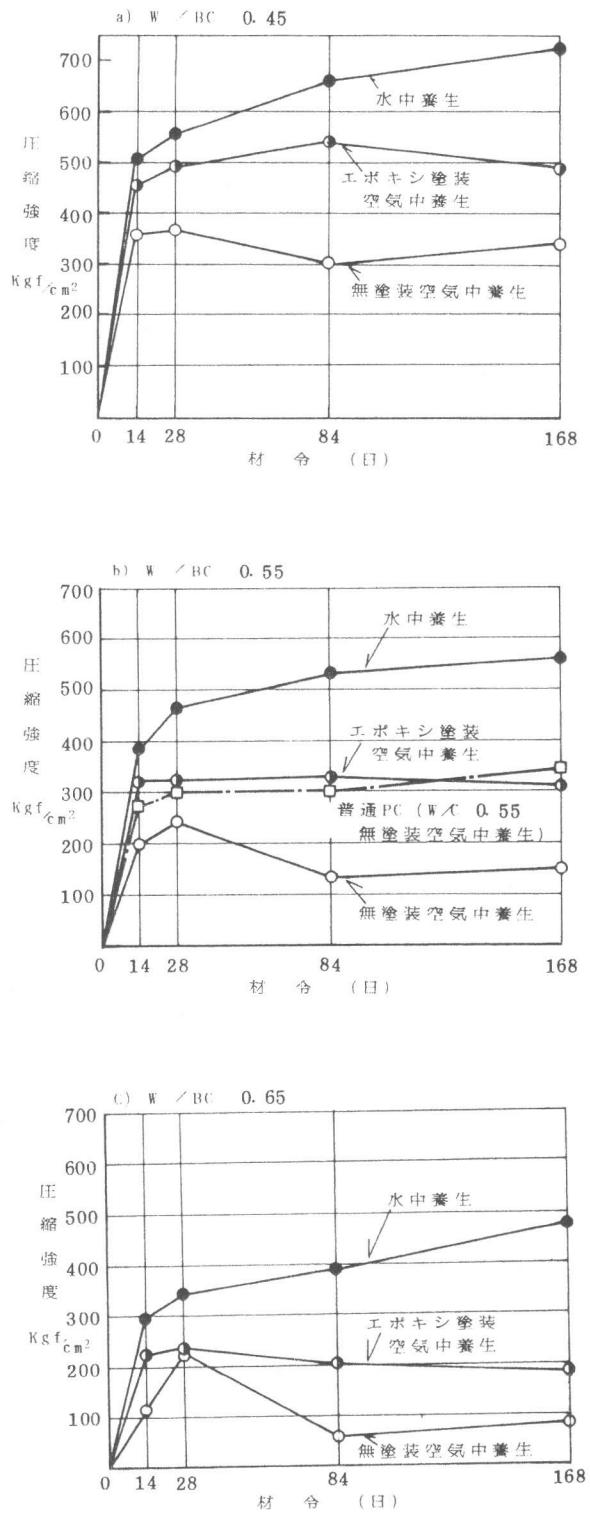


図-2 材令と圧縮強度との関係

水中養生の場合、どのW/B Cにおいても質量は材令28日まで増加し、その後はほぼ一定となった。無塗装空气中養生の場合は、材令14日までの質量減少率が非常に大きく、普通P Cモルタルに比して、早期に乾燥することを示している。また、この質量減少率は、W/B Cが大きいほど多く、W/B C : 0.65では、材令14日で10%以上減少した。しかし、材令84日を過ぎると、どのW/B Cにおいても若干質量の増加がみられたが、ほぼ一定になった。エポキシ塗装空气中養生の場合、無塗装のものに比し、材令経過に伴う質量減少の速度が低下したが、材令84日を過ぎても減少する傾向がみられた。また、質量減少率は、W/B C : 0.55の場合が最も大きかった。これは、塗料を刷毛塗りしたため、膜の透気性に差が出たためであろう。

(2) 圧縮強度について

水中養生の場合、どのW/B Cにおいても、材令経過と共に強度が増加した。W/B C : 0.45、材令168日強度は、723 kgf/cm²となった。したがって、三成分系セメントモルタルは、水中養生を行なうと、長期にわたり安定した圧縮強度が得られると言える。無塗装空气中養生の場合、どのW/B Cにおいても、材令28日から84日にかけて強度が低下したが、材令84日以降は再び強度が増加した。これは、質量の若干の増加に対応した現象であろう。三成分系セメントモルタルは、空气中養生を行なうと、長期において圧縮強度が大きく低下するが、より長期の場合には一定になるとと思われる。エポキシ塗装空气中養生の場合、材令28日を過ぎてもあまり強度低下はみられなかった。

エポキシ塗装を行うことにより、乾燥速度を低下させることができ、それに伴う圧縮強度低下もある程度防ぐことができると言える。

(3) 中性化深さについて

材令と中性化深さとの関係を図-3に示す。無塗装空气中養生の場合、中性化の進行は速く、またW/B Cの大きいものほど速い。材令168日、W/B C : 0.65のものは、供試体全面が中性化しており、測定不能であった。比較用のP Cモルタル(W/C : 0.55)は、三成分系モルタルのW/B C : 0.45のものより中性化深さは小さかった。一般に単位水量が大きい場合、乾燥による質量減少や中性化は速くなる傾向にあるが、三成分系セメントはさらに速くなると言える。

エポキシ塗装空气中養生の場合、無塗装のものに比して中性化深さは小さく、最大でも材令168日で9.5 mmであった。また、W/B C : 0.55の中性化が最も速かった。これは、質量減少も、W/B C : 0.55が最も大きいことから、塗装方法が中性化に大きく影響したものであろう。

また、中性化は一般に空气中の炭酸ガスと硬化体中のCa(OH)₂との反応により、CaCO₃が生ずる現象とされる。このため、空气中に硬化体自身が放置されることは、中性化を促進することになる。したがって、何らかの方法で表面の空気との接触を断つことが重要となる。この意味からも、エポキシ塗料を塗装することが、中性化を防止するのに役立つと言える。

(4) X線回折によるモルタルの組成について

材令3カ月のX線回折結果を表-3に示す。水中養生の非中性化部分は、エトリンジャイト(C₃A・3CaSO₄・3.2H₂O)が多量にみられ、

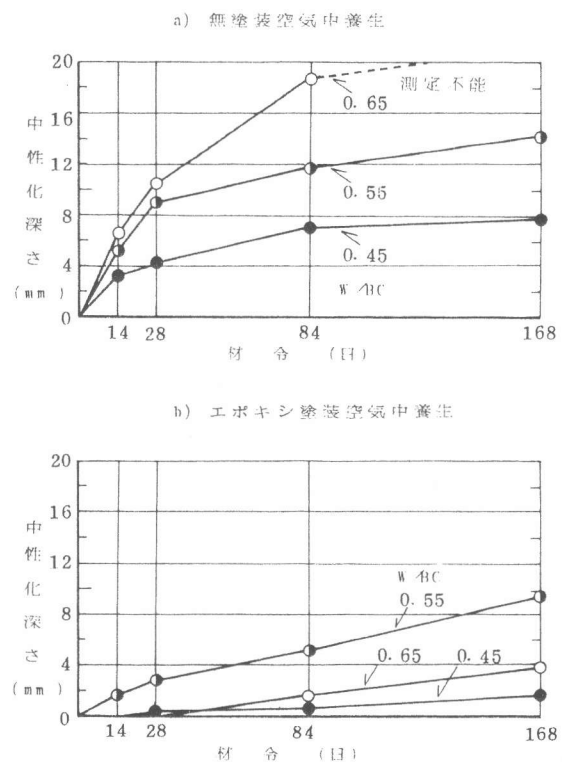


図-3 材令と中性化深さとの関係

表面からは、中性化による炭酸カルシウム (CaCO_3) が若干検出された。これは、モルタル表面の消石灰が、水中の炭酸ガスによって炭酸カルシウムになったためであろう。また、二水セッコウ ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) は、どのW/BCにおいても検出されず、モノサルフェイト ($\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 1.2\text{H}_2\text{O}$) が若干検出された。これは、エトリンジャイトから変化したものであると思われる。

空气中養生モルタルの非中性化部分において、W/BC : 0.45のものは、エトリンジャイトとセッコウが検出され、W/BC : 0.55のものは、エトリンジャイトと消石灰のみ検出され、セッコウは検出されなかった。これは、W/BC : 0.55のものの方が、W/BC : 0.45のものに比して単位水量が多いため、セッコウとスラグが初期に速かに反応したためであろう。空气中養生モルタルの中性化部分では、どのW/BCにおいてもエトリンジャイトは検出されず、セッコウと炭酸カルシウムのみ検出された。これは、エトリンジャイトを生成するために必要な初期の水量が、乾燥によって不足し、水和が抑制されるため、セッコウが未反応で残ってしまうためと思われる。

(4) 電子顕微鏡による内部微小構造

走査型電子顕微鏡写真を写真-1に示す。どのW/BCにおいても、空气中養生の場合は供試体表面がポーラスであり、炭酸カルシウムと思われる結晶がみられた。内部はエトリンジャイトと思われる結晶が一部にみられるが、全体的にはポーラスであり、ゲル状物質で覆われていた。水中養生の場合、表面・内部とも緻密であり、特に内部はよく発達した結晶がみられた。したがって、電子顕微鏡観察からも、三成分系セメントモルタルは十分な水中養生が必要であると言える。

5. まとめ

三成分系モルタルの劣化について実験を行ない、以下の結果を得た。

- (1) 三成分系モルタルは空气中養生を行なうと、普通PCに比し、早期に乾燥し、中性化も速く、長期強度が低下する。したがって、この種のセメントは十分な水中養生が必要である。
- (2) モルタルに水性エポキシ塗料を塗装することにより、早期乾燥、中性化、長期強度低下をある程度防止することができる。ただし、塗膜はできるだけ緻密にするべきである。塗膜の透気性の大小は、中性化の進行に影響する。
- (3) X線回折・電子顕微鏡観察から、三成分系モルタルは、空气中養生を行なうと供試体表面がポーラスな構造になり、エトリンジャイトも生成しにくく、多量の炭酸カルシウムやセッコウが存在し、強度が低下する。

参考文献

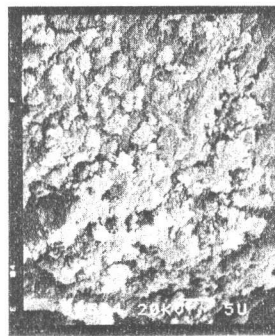
- 1) 笠井・近藤, コンクリート工学年次講演会(第3回)1981
- 2) 笠井芳夫, 石粉と石灰, 頁169(1980)
- 3) 魚本・星野・野口, コンクリート工学年次講演会(第3回)1981
- 4) 田代・大久保, 石粉と石灰, 頁166(1980)

表-3 X線回折結果 (材令3カ月)

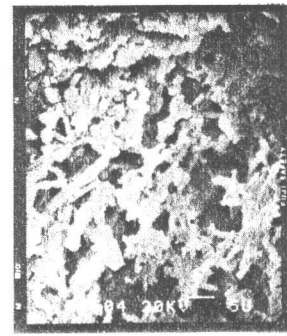
| W/BC | 養生 | エトリンジャイト | $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | CaCO_3 | $\text{Ca}(\text{OH})_2$ | モノサルフェイト |
|------|----------|----------|---|-----------------|--------------------------|----------|
| 0.45 | 水中 | ○ | X | △ | X | △ |
| | 空气中 | △ | △ | X | X | X |
| | 非中性化(中性) | X | ○ | ○ | X | X |
| 0.55 | 水中 | ○ | X | △ | X | △ |
| | 空气中 | ○ | X | X | △ | △ |
| | 非中性化(中性) | X | ○ | ○ | X | X |
| 0.65 | 水中 | ○ | X | △ | X | △ |
| | 空气中 | — | — | — | — | — |
| | 非中性化(中性) | X | △ | ○ | X | X |

普—○ 少—△ 無—X

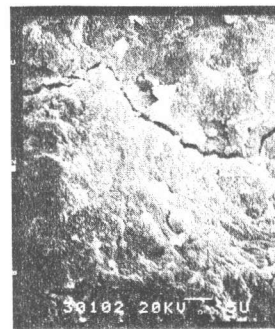
a) 水中養生表面付近



c) 空气中養生表面付近



b) 水中養生内部



d) 空气中養生内部

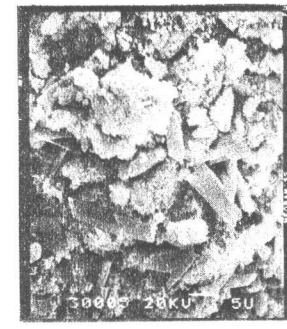


写真-1 走査型電子顕微鏡写真 (×2,000)