

日本セメント(株) 研究所 工博 山崎寛司 ○工修 塚山隆一

## 1. まえがき

コンクリートの早期強度を高めることは、コンクリート工事の急速化の前提条件であって、とくに、重要構造物の補修工事や、P.Cその他の2次製品製造の分野などで望まれている。早期強度を高める方法としては、(1) 早強性のセメントを使用する。(2) 硬化促進作用を有する促進剤を使用する。(3) 高配合でスランプの小さい配合として水セメント比を小さくする。(4) 打込み後のコンクリートから余分の水分を除去して水セメント比を小さくする。(5) 何らかの手段で高温養生または高温高圧養生を実施する。などが可能であり、これらの方法あるいはこれらを組合せた方法のいくつかがすでに実用化されている。著者らは上記諸方法のうち、(1)、(2)、および(5)について、現在実用化されている方法をさらに改善する目的で、いくつかの実験を行ったので、その結果を報告する。

## 2 早強性セメントを用いたコンクリートの強度に関する実験

## 2.1 圧縮強度

早強ポルトランドセメントおよびアルミナセメントを用い、骨材最大寸法を25 mm、スランプを10 cmとしたコンクリートの圧縮強度(φ10×20 cm)を試験した。単位セメント量は300 kg/m<sup>3</sup>、および400 kg/m<sup>3</sup>の2種類とし、養生温度(水中)は5℃および20℃とした。試験結果を図1および図2に示す。アルミナセメントを用いたコンクリートは、養生温度に関係なく、概令4時間ですでに200 kg/cm<sup>2</sup>以上の強度を示しているが、早強セメントを用いたコンクリートが同じ強度に到達するには、20℃の場合で2日間、5℃の場合で4日間を要し、両者のあいだにはかなりの差が認められた。このように、現在市販されているセメントのなかでは、アルミナセメントの早強性が飛びぬけてすぐれている。しかし、アルミナセメントには長期強度が低下する性質<sup>1)</sup>があるため、永久的な構造物に使用することは危険と考えられている。この問題に関して長期間の強度試験を行った結果の一例を図3に示す。コンクリートの配合は、水セメント比40%、最大寸法25 mm、スランプ10 cmとし、概令1日まで20℃水中、概令1日より概令8週まで50℃水中、概令8週より概令2年まで

図1. 早強性セメントを用いたコンクリートの圧縮強度(骨材最大寸法25 mm, スランプ10 cm)

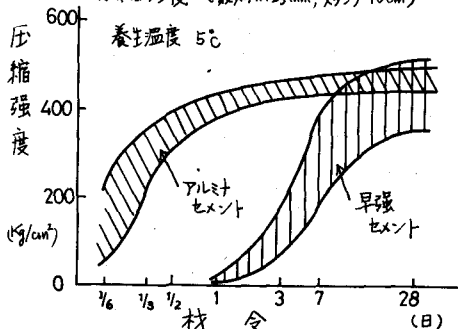
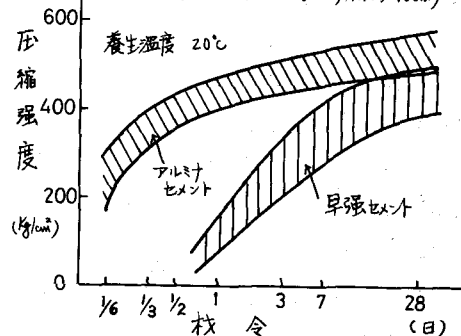


図2. 早強性セメントを用いたコンクリートの圧縮強度(骨材最大寸法25 mm, スランプ10 cm)



20℃水中で養生した。枚令1日より枚令1週までのあいだに、圧縮強度は約250 kg/cm<sup>2</sup>低下することを示した。しかし、その後、枚令2年まではほとんど変化が認められなかった。したがって、アルミナセメントを使用する場合、適当な方法で長期強度を推定すれば、<sup>(2)</sup> 永久的な構造物に用いるコンクリートの配合設計も可能であるが、このような性質が使用上の制約となることは否定できない。前述のように、早強セメント

とアルミナセメントの早期強度には相当な差があるから、この差を埋めることのできるセメントの開発が望まれる。最近の水和理論の進歩およびセメント製造技術の進歩よりみれば、早強ポルトランドセメントを改良して、長期強度も安定な新しいセメントを開発することも不可能ではないと思われる。

## 2.2 曲げ強度

砒石を用いた舗装コンクリートによって、アルミナセメントと早強セメントの曲げ強度を比較した結果を図4に示した。アルミナセメントを用いたコンクリートでは、枚令4時間後40 kg/cm<sup>2</sup>以上の曲げ強度が得られたが、早強セメントで同等の曲げ強度を得るには3日以上を要した。圧縮強度の場合と同様に、アルミナセメントと早強セメントのあいだには相当な差が認められた。なお、アルミナセメントを用いたコンクリートを50℃水中で養生して長期曲げ強度の低下を促進試験した結果は27 kg/cm<sup>2</sup>であり、20℃水中で養生した同枚令の供試体に対して、約40%の値まで低下した。

## 3. 混和剤に関する実験

早期高強度を得るための混和剤としては塩化カルシウムが広く使用されている。著者らは、塩化カルシウムによる促進効果をさらに高めるための混和剤を研究し、複合アミン系促進剤、Tを少量添加するのが効果あることも見出した。図5は、最大寸法25 mm、スランプ8 cmのコンクリートで圧縮強度を試験した結果を示したもので、添加剤Tは水セメント比の小さいコンクリートにおいて、大きい効果を示した。早強セメントに塩化カルシウム2%を加えたものは早強セメント単味のものより約50 kg/cm<sup>2</sup>の強度増加を示したが、これに添加剤Tを少量加えることにより強度はさらに50 kg/cm<sup>2</sup>増加した。すなわち、早強セメント単味のものと比べて、100 kg/cm<sup>2</sup>の強度増加が得られたこととな

図3. アルミナセメントを用いたコンクリートの長期強度(枚令2年まで)

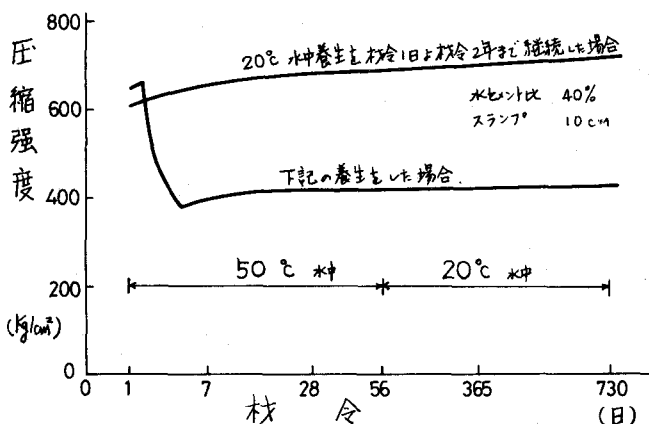


図4. 早強性セメントを用いた舗装用コンクリートの曲げ強度(20℃水中養生)

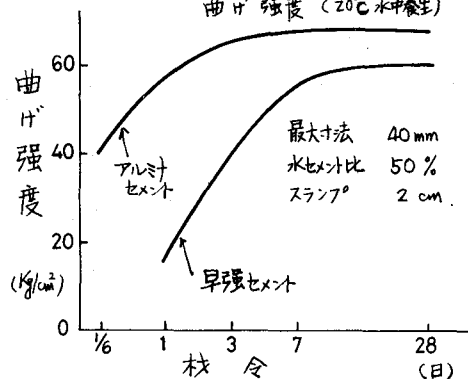


図5 早強セメントを用いたコンクリートの圧縮強度におよぼす  
硬化促進剤の影響

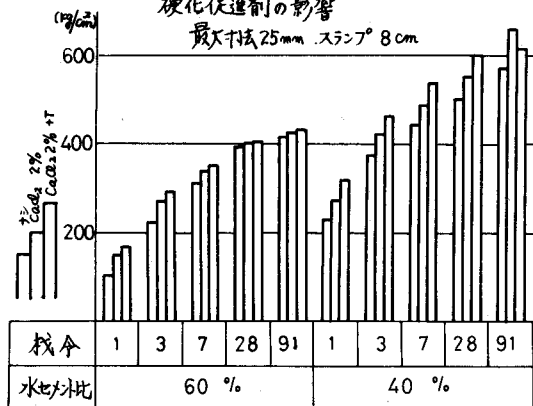
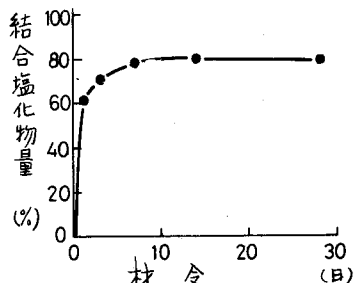


図6 水和物と結合した塩化物の割合



る。強度試験の結果をもととして、一定の所要強度にたいする示方配合を試算し、材料費の経費比較を行、てみたと、材令1日強度200 kg/cm<sup>2</sup>にたいして、早強単味を100とすれば、塩カル2%添加が96%、ニホに添加剤Tを加えたものが94%で、経済的にも有利であることが分、た。レが、塩化物系の促進剤には鉄筋の発錆を助長する欠点がある。ニホを検討するため、セメント中の結合塩化物量も、塩化カルシウムと添加剤Tを加えたペーストで定量した。その結果は図6に示すとおりであり、塩化物の80%はセメント水和物と結合して、~~溶解性~~可溶性の化合物、 $C_3A \cdot CaCl_2 \cdot nH_2O$ となり、残りの20%が鉄筋に有害な可溶性塩化物として残存することも認めた。

#### 4. 高温養生に関する実験

##### 4.1 蒸気養生

2次製品工場で蒸気養生を行う場合、1日1工程なレ2工程の速度で行われることが多いようである。著者らはニホを1日3工程まで増加することが可能かどうかを実験によりたしめた。1日3工程の蒸気養生を行うためには蒸気養生時間も8時間以内とする必要があり、このような短時間の蒸気養生では前養生時間ほどの影響も大きいと考えられた。そこで下記の条件を組合せて実験を行った。

(1) 前養生時間 0, 2, 4 時間

(2) 温度上昇速度 15 °C/hr

(3) 最高温度 65 °C

(4) 冷却時間 1 時間

(5) 蒸気養生時間 8, 12, 24 時間

コンクリートは早強セメントを用い、単位セメント量も300および400 kg/m<sup>3</sup>、スランプを5 cmとした。

表1 蒸気養生したコンクリートの強度

\* 蒸気養生後7日たて20°C水中養生

| 単位<br>セメント量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | 蒸気<br>養生時間<br>(時間) | 前養生<br>時間<br>(時間) | 蒸気養生強度<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |     | 20°C水中養生<br>強度<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |     |
|-------------------------------------|--------------------|-------------------|---------------------------------|-----|-----------------------------------------|-----|
|                                     |                    |                   | 直後                              | 7日* | 1日                                      | 7日  |
| 300                                 | 8                  | 0                 | 166                             | 308 | 93                                      | 322 |
|                                     |                    | 2                 | 113                             | 337 |                                         |     |
|                                     |                    | 4                 | 58                              | 363 |                                         |     |
|                                     | 12                 | 4                 | 236                             | 366 |                                         |     |
|                                     |                    | 0                 | 271                             | 294 |                                         |     |
|                                     |                    | 2                 | 311                             | 312 |                                         |     |
|                                     | 24                 | 4                 | 341                             | 380 |                                         |     |
|                                     |                    | 0                 | 234                             | 360 |                                         |     |
| 400                                 | 8                  | 2                 | 190                             | 361 | 168                                     | 398 |
|                                     |                    | 4                 | 93                              | 410 |                                         |     |
|                                     | 12                 | 4                 | 319                             | 413 |                                         |     |
|                                     |                    | 0                 | 352                             | 325 |                                         |     |
|                                     | 24                 | 2                 | 346                             | 342 |                                         |     |
|                                     |                    | 4                 | 368                             | 422 |                                         |     |

試験結果は表1に示すとおりである。蒸気養生直後の強度は当然のことながら蒸気養生時間が長いほど大きい。蒸気養生時間8時間、すなわち、1日3工程の場合にも93～234 kg/cm<sup>2</sup>の強度が得られた。この場合、前養生時間の影響が大きく、前養生時間の短いほど強度は大であった。前養生時間が0の場合の強度は234 kg/cm<sup>2</sup>で20℃水中で養生した枚令1日強度を上廻した。ただこの場合には、20℃水中でその後枚令7日まで養生した強度が枚令7日まで20℃水中で養生したものより若干小さくなった。蒸気養生直後の強度は脱型および運搬に十分に耐える大きさであり、1日3工程の作業は可能である。しかし、脱型時にプレストレスを導入するような2次製品には不足であり、このような場合には、蒸気養生直後に300 kg/cm<sup>2</sup>以上の強度が必要である。最近、蒸気養生時の水和反応に関する研究も行われ始めているので、これが蒸気養生に適したセメントの開発に発展し、2次製品工業の生産性向上に役立つことを期待される。

#### 4.2 断熱養生

コンクリートが硬化するとき、水和熱によって温度上昇がおきる。これを利用すれば、外部から熱を加えなくとも、硬化が促進される。これを実用化しようとする研究はすでにいくつかあるが、<sup>(4)</sup> 著者は断熱カロリーメーターを利用し、温度調整装置を取りつけた特殊な型枠を用いて、早期強度の促進程度を調べた。試験結果は図7のとおりであり、上図の断熱温度上昇と同じ温度リキで養生した場合、下表のごとく、早期強度は2倍以上促進されることを示した。

#### 5 おそび

早期高強度コンクリートの可能性と問題を実験的に検討した結果、(1) アルミセメントと早強セメントの中間領域を埋める新しいセメント、(2) 鉄筋に無害な増和剤、(3) 水和熱を利用した養生方法などが今後研究を要する点であり、また、これは可能性のある方法であることを認めた。

参考文献 (1) R. TSUKAYAMA, Effect of Conversion on Properties of Concrete Using High Aluminous Cement, Symp. Chem. of Cement (1968)

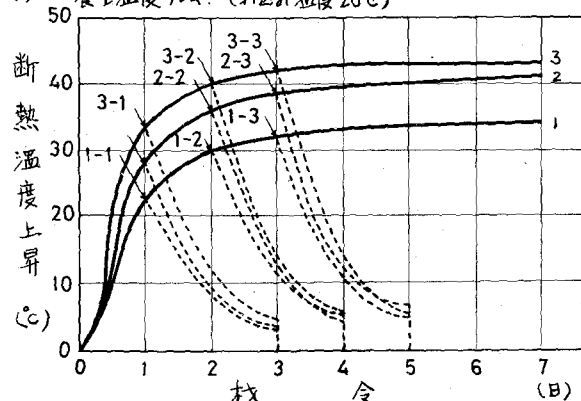
(2) 塚山隆一, アルミセメントコンクリートのコンクリート後の強度とおよび初期養生の影響, セメント技術年報昭和43年。

(3) H. TERAMOTO, N. KAWADA, Heat of Hydration of Portland Cement During Steam Curing Under Atmospheric Pressure, Symp. Chem. of Cement (1968)

(4) A. MEYER, Beton mit hoher Frühfestigkeit, Betonstein-Zeitung, H.5/1967,

図7. 断熱養生による初期強度の増進。

(1) 養生温度リキ。(打込み温度20℃)



(2) 圧縮強度試験結果

| 配合 No. | 単位<br>材量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | 水<br>量<br>比<br>(%) | 供<br>試<br>体<br>No. | 断熱養生<br>直後の強度<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 20℃水中<br>養生強度<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 断熱養生後28日保冷<br>以後20℃水中養生作<br>業の枚令28日強度<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 20℃水中<br>養生28日<br>強度<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|--------|----------------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1      | 280                              | 60.8               | 1-1 1日             | 69                                     | 35                                     | 251                                                            | 287                                           |
|        |                                  |                    | 1-2 2日             | 150                                    | 65                                     | 247                                                            |                                               |
|        |                                  |                    | 1-3 3日             | 189                                    | 84                                     | 256                                                            |                                               |
|        |                                  |                    | 2-1 1日             | 122                                    | 62                                     | 293                                                            |                                               |
| 2      | 330                              | 51.6               | 2-2 2日             | 218                                    | 94                                     | 308                                                            | 377                                           |
|        |                                  |                    | 2-3 3日             | 259                                    | 120                                    | 294                                                            |                                               |
|        |                                  |                    | 3-1 1日             | 173                                    | 75                                     | 345                                                            |                                               |
|        |                                  |                    | 3-2 2日             | 259                                    | 125                                    | 341                                                            |                                               |
| 3      | 380                              | 44.7               | 3-3 3日             | 314                                    | 177                                    | 341                                                            | 437                                           |
|        |                                  |                    |                    |                                        |                                        |                                                                |                                               |