

C S A 混入コンクリートの基礎的性質

徳島大学工学部 正 員 志木謙一  
同 同 戸川一夫  
徳島大学大学院 学生員 田原克尚

/ きえがき

近年コンクリート構造物の乾燥収縮の影響を軽減するものとして、数種の乾燥収縮防止材が試作  
がれし、市販の段階にいたっている。これら膨張材を混入した膨張セメントの特性に適合した用途が  
種々考えられ、防木性の屋根スラブ、木造、鉄筋コンクリートの壁、床、あるいは道路床版などの  
構造物にも実用化されるようとしている。とくに舗装用コンクリートに膨張セメントを使用すること  
によって連続コンクリート舗装あるいは連続鉄筋コンクリート舗装への可能性が考えられ、すでに日地  
間隔を 60m 程度まで大きくすることに成功した報告もなされている。<sup>1)</sup>

本研究は膨張セメントの利用に関して、無筋の舗装用コンクリートを対象にして、C S A 膨張材(カ  
ルシウムサルミアルミネート系)を添加した膨張セメントコンクリートの 2・3 の基礎的性質につい  
て実験的に検討を行なったものである。

表一/ コンクリートの配合

2. 実験概要

セメントは普通ポルトラ  
ンドセメントを使用した。  
粗骨材は徳島県産大塚砂石  
(以下 O と記す)および吉  
野川産川砂利(以下 F と記す)  
細骨材は吉野川産川砂、膨  
張材は C S A(電化社製)、A  
E 減水剤としてホゾリス No  
51A を使用した。表一に  
各種コンクリートの配合を

|                               | コンクリート種類       | 膨張材配合率<br>(%) | 粗骨材配合率<br>(%) | 空充量<br>(%) | W/C<br>(%) | 膨<br>率<br>(%) | 単位体積重量<br>(kg) | 単位体積重量<br>(kg) | 単位体積重量<br>(kg) | 単位体積重量<br>(kg) | C S A<br>(%) | AE減水剤<br>(%) |
|-------------------------------|----------------|---------------|---------------|------------|------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|--------------|
| 強度あ<br>る乾燥<br>収縮試<br>験に<br>使用 | O - P          | 40            | 24.05         | 4          | 41         | 37            | 128            | 310            | 722            | 1200           | —            | 775          |
|                               | O - CP         | —             | —             | —          | —          | —             | —              | —              | —              | —              | 54.1         | —            |
|                               | O - C          | —             | —             | 1          | 45         | 38            | 140            | —              | 748            | —              | —            | —            |
|                               | F - P          | —             | —             | 4          | 39         | 31            | 120            | —              | 603            | 1325           | —            | 775          |
|                               | F - CP         | —             | —             | —          | —          | —             | —              | —              | —              | —              | —            | —            |
|                               | F - C          | —             | —             | 1          | 42         | 33            | 127            | —              | 563            | —              | —            | 775          |
| 付着試<br>験に<br>使用               | ForR - 11      | 40            | 31.05         | 4          | 43         | 37            | 132            | 310            | 690            | 1200           | 54.1         | 775          |
|                               | ForR - 15      | —             | —             | —          | —          | —             | —              | —              | —              | —              | 16.5         | —            |
|                               | F - O          | —             | —             | —          | —          | —             | —              | —              | —              | —              | —            | —            |
| フリー<br>ジング<br>試験に<br>使用       | 300 - 100 - 11 | 40            | 24.05         | 1          | 30         | 35            | 150            | 300            | 727            | 1200           | 38.0         | —            |
|                               | 300 - 100 - 15 | —             | —             | —          | —          | —             | —              | —              | —              | —              | 15.0         | —            |
|                               | 300 - 100 - 0  | —             | —             | —          | —          | —             | —              | —              | —              | —              | —            | —            |
|                               | 300 - 100 - 11 | —             | —             | —          | 43         | 38            | —              | 350            | —              | 1162           | 38.5         | —            |
|                               | 300 - 100 - 11 | —             | —             | —          | 37         | 39            | —              | 400            | —              | 1121           | 44.0         | —            |
|                               | 300 - 140 - 11 | —             | —             | —          | 47         | 37            | 140            | 300            | —              | 1237           | 33.0         | —            |
|                               | 300 - 160 - 11 | —             | —             | —          | 53         | 38            | 160            | —              | —              | 1178           | —            | —            |

ただし 強度および乾燥収縮の試験については O→砂石、F→川砂利、C→C S A 11%、P→AE 減水剤を示す。  
付着試験については F→自由、R→拘束、数値は C S A の添加割合(%), またフリージング試験につ  
いては左から単位体積重量、単位体積重量、C S A の添加割合を示す。

の実験に使用したコンクリートについては C S A を使用セメント重量の内割 11% 添加した。またフリー  
ジング試験に使用したコンクリートについては細骨材の微細砂の影響をなくするため細骨材量も一定と  
した。コンクリートの養生は湿度 60.8±0.1 の恒温恒湿室内での空中養生と、木温 20±2 の水中養生との  
2 種とした。強度および乾燥収縮用供試体(10×10×10cm)は 24 時間で脱型し、コンクリートの膨張、収縮量  
の測定は脱型時(初日)を基長とし、コンパレータにて測定した。付着試験用供試体(22.9×22.9×22.9cm)  
は成型後 3 日で脱型した。なお、付着試験用供試体の型枠は ASTM C234-54 に準じ、φ22mm の普通丸鋼を  
使用して引抜試験方法にあった。表二に使用鉄筋の引張試験結果と 表一2 使用鉄筋の引張試験結果  
を示す。表一3 には C S A を添加したセメントの比重、比表面積および  
凝結時間も示す。

| 面長<br>(mm) | 断面積<br>(mm <sup>2</sup> ) | 引張強さ<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 引張強さ<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 引張強さ<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 引張強さ<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 引張強さ<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 24.95      | 3.75                      | 14.44                         | 4490                          | 3100                          | 2174.65                       | 25                            |

### 3 実験結果とその考察

#### 3.1 膨張および乾燥収縮について

図-1に碎石コンクリートの膨張および乾燥収縮率を示す。CAS添加率11%では材令3~7日程度で最大の膨張量(403~405%)に達している。水中養生期間を変化させて以後の乾燥収縮を測定すると、空中養生を行なうことによりすべての供試体はたがうに収縮をはじめ、ついに基長に対して収縮側となった。また水中養生を連続して行なったものは初期の膨張量を保ち材令28日でもほとんど変化ない。水中養生期間の長さによって最終的な収縮量にも差が見られ、水中養生を長くすればその収縮量は小さくになっている。これらの結果は川砂利コンクリートについても同様の結果がえられている。しかし同一のコンシステンシーでは川砂利コンクリートの方が単位水量が少ないため碎石コンクリートよりも最終収縮量は小さく平均68%であった。つぎに図-2は14日間水中で以後空中養生した各種コンクリートの膨張および収縮率を示している。この実験結果より明らかにCSAによって膨張収縮に効果があることが示されている。碎石コンクリートにおいてO-CとO-C<sub>1</sub>と

表-3 CSA添加したコンクリートの凝結時間、比表面積および比量

| CSA添加率(%) | 凝結時間(分) | 比表面積(1/g) | 比強度(N/mm <sup>2</sup> ) | 比量(g/cm <sup>3</sup> ) |
|-----------|---------|-----------|-------------------------|------------------------|
| 0         | 111.0   | 3.19      | 4.22                    | 33.30                  |
| 11        | 109.0   | 2.58      | 4.02                    | 31.30                  |
| 15        | 108.0   | 2.56      | 4.09                    | 31.30                  |
| CSA(%)    | —       | —         | —                       | 22.50                  |

図-1 膨張および乾燥収縮の一例

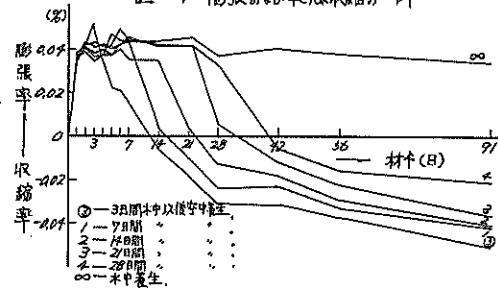
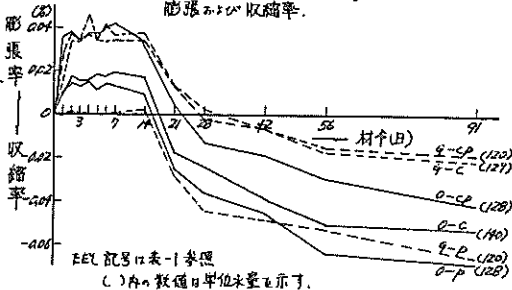


図-2 14日間水中で以後空中養生した各種コンクリートの膨張および収縮率



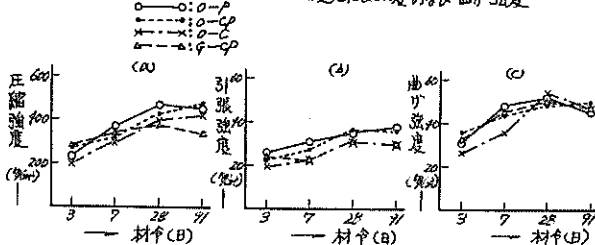
を比較してみると、O-C<sub>1</sub>はO-Cより膨張率は大きく収縮率は小さい。このことはCSAコンクリートの膨張効果をより有効にするためには単位水量をできるだけ小さくすることが得策と考えられる。なお単位水量のほぼ等しいO-CとO-C<sub>1</sub>は膨張量がほぼ等しいにもかかわらず収縮量についてO-Cが小さくなっているのは空気量の影響が生じているためと考えられる。

#### 3.2 各種強度について

図-3に水中養生した各材令での圧縮強度、引張強度および曲げ強度を示す。

各種強度とも材令とともに増加し材令28日以降では強度の増加割合は小さい。水セメント比が同一の場合、各種強度においてO-PとO-C<sub>1</sub>を比較すると、各材令とも明瞭な差はない。したがってCSA11%添加したコンクリートの各種強度は無添加のコンクリートに

図-3 各材令での圧縮強度、引張強度および曲げ強度



くさべて同じかまたはわずかに低い程度であると考えられるが今後多方面からさらに研究すべきであると考えている。なお、水セメント比が大きくなるとその強度は小さくなり普通コンクリートと同様の傾向を示している。図-4は各材令でのポアソン比および弾性係数を示している。ポアソン比は材令とともにわずかに増加しており、おおよそ0.13~0.23の範囲にあり普通コンクリートと同程度に取

抜がってよいように考えられる。静弾性係数についても材  
令と共にしだいに増加する傾向を示しており、また動弾性  
係数についてもほぼ同様の結果をえている。

図-5は養生条件の相違による各種強度への影響を調べ  
る目的で材令3日、7日、14日、21日および28日まで水中  
養生し、以後水中から取り出して空中養生を行ない材令28  
日における各種強度を比較し

た。圧縮強度および引張強度  
ともに養生条件の違ひにかかわ  
らずほぼ同程度の強度を示し  
ている。また水中養生期間の  
長短にわづら各種強度に

あまり変化がみられぬのは供試体の試験時の含水  
量の影響があるためと考えられる。な  
お曲げ強度については水中養生期間の長短の差がみ  
られ、途中で空中養生したものの試験時では水中養生  
したものの強度の約20%程度の低下が示されて  
いる。これらのことについては今後さらに検討すべ  
きであると考えている。

図-6は養生条件と変  
化させたときのポアソ  
ン比および静弾性係数  
を示している。ポアソ  
ン比および静弾性係数

ともにCSA無添加のコンクリートとほぼ同様のやや大きい値を示している。なおポアソン比および  
静弾性係数について養生条件の相違の影響はみられなかった。

2.3. フリージングについて

図-7(a)はスランプ一定(20cm)の場合、CSA添加率によるフリージングへの影響を求めたものであ  
る。CSAの添加率が増すとフリージング量も増加する傾向にあると思われる。このことはCSAを添加  
することによってセメント単位よりもいっ分比表面積値が小さくなることによるものと考えられ、表-3に示す  
ようにCSAコンクリートの凝結時間の短くびく影響よりも、CSA添加による比表面積の変化の影響  
の方がCSAコンクリートのフリージングに大きく影響するものも示しているように考えられる。図  
-7(b)はCSAを11%凍結したコンクリート(スランプ一定20cm)について単位木量が増すとフリージング量も増加  
することを示し、さらに図-7(c)はCSAを11%添加し、セメント量の影響を求めたものであって、セメ  
ント量が増すとフリージング量は減少していくことを表わしている。なお、本実験に用いたコンクリ  
ートについてフリージング終了時間は約3時間程度であると指定される。

図-4. 各材令でのポアソン比および静弾性係数

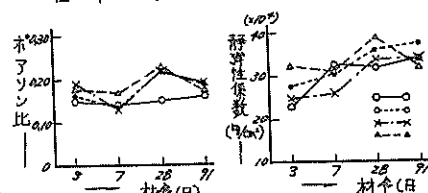


図-5. 水中養生期間と変化した材令28日での圧縮強度、引張強度および曲げ強度

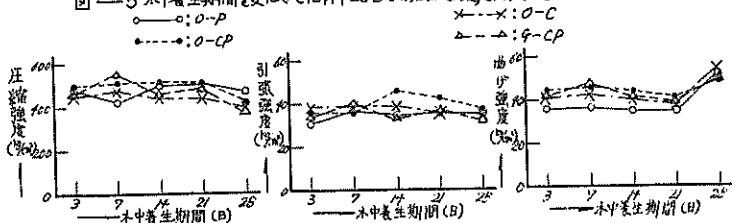


図-6. 水中養生期間と変化した材令28日でのポアソン比および静弾性係数

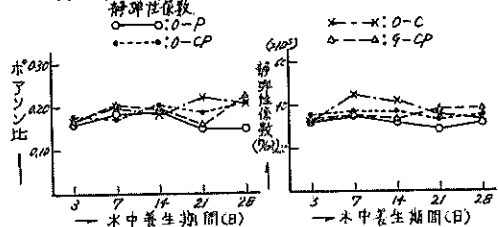
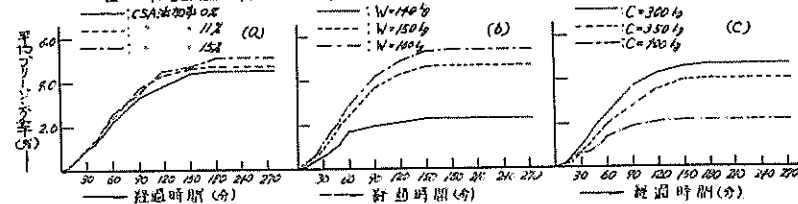


図-7. CSA添加率、単位木量および単位セメント量に対する平均フリージング率(スランプ一定20cm)



3.4. 付着強度について。

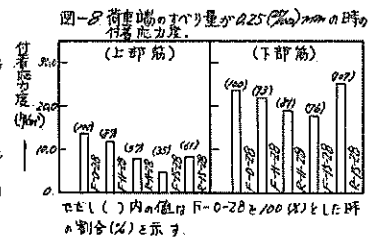
表-4 には荷重端のすべり量が  $\frac{2}{100}$ mm 以内のとき  $\frac{2}{100}$ mm における付着応力度が示してある。また図-8 には荷重端のすべり量が  $\frac{2}{100}$ mm のときの付着応力度を比較している。鉄筋とコンクリートの付着応力度を算定するための基準のすべり量については多くの研究者により報告されているが現在のところ明確にされているように考えらる。たとえば ASTM 規準 (C27+62)

表-4. 荷重端の付着応力度 (%)

| コンクリート材料 | 鉄筋径 (mm)       |                |                | 上 部 筋          |                |                | 下 部 筋          |               |               | 圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> ) | 最大付着強度 圧縮強度 (%) |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|----------------------------|-----------------|
|          | 5              | 25             | 最大値            | 5              | 25             | 最大値            | 5              | 25            | 最大値           |                            |                 |
| F-0-28   | 11.5<br>(0.02) | 12.8<br>(0.02) | 14.7<br>(0.02) | 14.0<br>(0.02) | 23.7<br>(0.02) | 27.0<br>(0.02) | 4.54<br>(0.02) | 6.4<br>(0.02) | 6.4<br>(0.02) |                            |                 |
| F-11-28  | 12.1<br>(0.02) | 12.0<br>(0.02) | 16.5<br>(0.02) | 17.7<br>(0.02) | 22.1<br>(0.02) | 27.8<br>(0.02) | 4.16<br>(0.02) | 6.7<br>(0.02) | 6.7<br>(0.02) |                            |                 |
| R-11-28  | 9.7<br>(0.02)  | 12.1<br>(0.02) | 11.4<br>(0.02) | 16.7<br>(0.02) | 17.1<br>(0.02) | 22.1<br>(0.02) | 4.22<br>(0.02) | 4.8<br>(0.02) | 4.8<br>(0.02) |                            |                 |
| F-15-28  | 3.9<br>(0.02)  | 9.8<br>(0.02)  | 5.1<br>(0.02)  | 9.8<br>(0.02)  | 12.7<br>(0.02) | 20.2<br>(0.02) | 3.09<br>(0.02) | 6.5<br>(0.02) | 6.5<br>(0.02) |                            |                 |
| R-15-28  | 8.6<br>(0.02)  | 8.4<br>(0.02)  | 9.7<br>(0.02)  | 16.7<br>(0.02) | 20.3<br>(0.02) | 26.3<br>(0.02) | 3.26<br>(0.02) | 8.0<br>(0.02) | 8.0<br>(0.02) |                            |                 |

なお、付着応力度は次式により求めた。  $\tau = \frac{P}{U \cdot l}$  E.E.L. U: 鉄筋周長 (cm)  
( ) 内は変動係数を示す。 P: 鉄筋の引張力 (kg)  
\* 印のものは供試体不良であった。

によると、基準すべりに荷重端のすべりが 0.25mm 以内で等間隔の 5 個の値を取り出し平均するとしているが、しかしその値は明確にされていない。したがって本実験では Meitzel<sup>2)</sup> の研究報告より荷重端のすべり量が  $\frac{2}{100}$ mm になるまでの鉄筋応力度によって付着応力度を算定した。図-8 によると CSA コンクリートは CSA 無添加のコンクリートにくらべて付着応力度は減少し、CSA 量が増加するにつれて減少量は大きくなり、CSA 11% で 7%、15% で 24% 減少している。しかし 4mm



ただし ( ) 内の値は F-0-28 と 100 (%) とした時の割合 (%) を示す。



筋を図-9 に示すように径 16mm、ピッチ 4cm でラベン状に入れ膨張を拘束した場合 (R-15-28) には付着応力度は CSA 無添加のものよりもいく分増加している。なお R-11-28 については付着応力度の増加がみられぬが、拘束鉄筋を入れた場合締固めを行ないにくいため低い値を生じたものと思われる。上部筋ではとくにこの現象が著しかった。なお、上部筋の付着応力度は下部筋の付着応力度の 35% ~ 55% と低下しており、CSA を添加したものの強度低下は下部筋よりもより大きくなっている。したがって CSA コンクリートは十分に拘束を行わなければ付着応力度の改善は期待できないようである。

#### 4. あとがき。

本実験をもとめるときのようである。CSA コンクリートの膨張効果を有効にすくためには初期の水養生を十分に行なうことが望ましく、また単位水量の小さいものと膨張収縮に効果的である。CSA 11% 添加のコンクリートの各種強度は無添加のコンクリートにくらべてあまり強度低下はみられないが、なお多量面から研究すべきである。ブリージングは CSA コンクリートの比表面積の減少に伴ってわずかに増加する傾向がみられる。CSA コンクリートの付着強度は無拘束の場合、CSA の増量とともに減少するが拘束を十分に行なえば付着強度はより大きくなりと推定される。

#### 5. 参考文献

- 1) 益子典之ほか、膨張混和剤を用いた単独コンクリート舗装版の設計施工—国道十号線野辺地区におきか実施例—。コンクリートジャーナル Vol. 6, No. 8, 1968 pp. 35~47
- 2) E. Hognested "Effect of Entrained Air on Bond between Concrete and Reinforcing Steel." Proc. of A.C.I. Vol. 46, Apr. 1950 pp. 649~667