

徳島大学工学部

正員 荒木謙一

和歌山工業高等専門学校

同 戸川一夫

徳島県庁土木部

同 藤江義郎

徳島大学大学院

学生 ○佐藤 哲

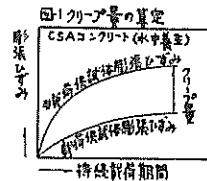
1. まえがき

近年我国でも、カルシウムサルフォアルミネート系の膨張材(CSA)が市販されその使用目的の一つに、膨張材を混入したコンクリート(以下CSAコンクリートという)の膨張を拘束して、コンクリートにプレストレスと与えるいわゆるケミカルプレストレスの導入がある。ケミカルプレストレスの利用が期待されるコンクリート構造物にはたとえば、膨張量および導入されるプレストレスの管理が比較的容易である各種プレキャスト製品あるいは微少のプレストレスでも十分な効果が期待される道路舗装版、水密性を要する屋根スラブなどの現場打ちコンクリートなどが考えられる。この場合、導入されたプレストレス量と正確に算定することができるといふのが問題となる。

本研究は昨年、提案したケミカルプレストレストコンクリートの理論式の妥当性とCSAの添加量および鉄筋による拘束量と変化させて再検討し、CSAコンクリートとケミカルプレストレストコンクリートとして利用する場合の最適CSA添加量ならびに導入可能なプレストレス量を考察したものである。

2. 実験概要

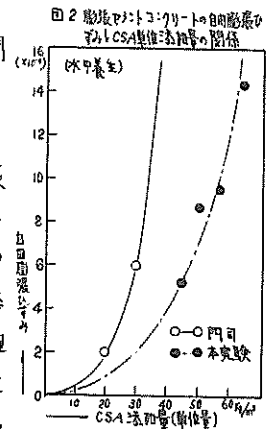
セメントは普通ポルトランドセメントを用いた。粗骨材は最大寸法20mmの碎石(徳島県太麻産硬質砂岩、比重2.60)を、細骨材は川砂(徳島川砂比重2.60)を使用した。膨張材はCSA(電気化学工業製)を使用した。AE減水剤としてはボツリスNo.5LAを用いた。コンクリートの配合はスランプ2.5cm、W/Cは40%、セメント量(セメント+CSA)は380kg/m³、%は38%とし、CSA量はセメント重量の内割りとし、11%、13%、15%および17%の4種類とした。クリープ供試体、自由膨張供試体ならびに拘束膨張供試体は10×10×40cmの角柱供試体とした。クリープ供試体は拘束膨張供試体は型枠端板(そのまゝ拘束端板になる)の中心部にありあけ20mmあるいは4mmの硬質ゴム筋を配置しその中にφ18mmあるいはφ12mm(鉄筋比はそれぞれP=2.43%、1.00%)のPC鋼筋を挿入してコンクリートと打ち込んだ。また圧縮強度、弾性係数測定用供試体はφ10×20cmの内柱供試体と3個とり、供試体を成形するとき断面中心部にφ12mmの中実真ちゅう筋をセットしてコンクリートと打設し、脱型後φ11mmのPC鋼筋(P=1.0%)を挿入した。各供試体は材令1日で脱型し、拘束する供試体場合はPC鋼筋をプレストレスがわからない程度にナットで締めつけ膨張を拘束(水中養生(20°C±2°C)と開始した。クリープ供試体は材令1日でそのときのコンクリートの圧縮強度のやく30%の応力をオイルジャッキを用いて載荷した。自由膨張および拘束膨張供試体の膨張量とクリープ供試体の変形量は、材令1日と基長として材令1、3、5、7、9、11、14、24および28日にコンパレータを用いて測定した。クリープ量は自由膨張量と一定持続荷重載荷供試体の変形量との差から求めた。(図1参照)



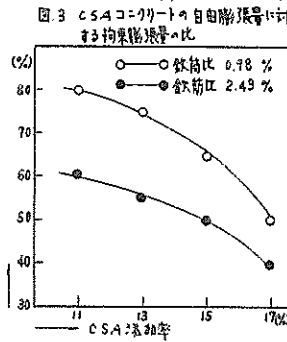
3. 実験結果の検討と考察

i) 膨張特性

一般にCSAコンクリートの自由膨張および拘束膨張は、水中養生期間7日程度まで急激に増加するが、それ以後の膨張はきわめて少なくなる。(図8~11参照) 図2に水中養生したCSAコンクリートの自由膨張量(水中養生期間7日)を示す。本実験の場合し門司の報告にみられるように、膨張材の単位量(コンクリート1m³に対するCSA添加量)と自由膨張量との間には相関性がありみられ、膨張材量の増大とともに自由膨張量も増加している。したがって今後はCSAコンクリートの膨張量はセメントに対する添加率よりもコンクリートに対するCSA単位量によって推定する方が合理的であるといえよう。なお本実験と門司の報告とを比較すると、同一単位量に対して膨張量が異なっているが、これに使用した膨張材の種類、膨張

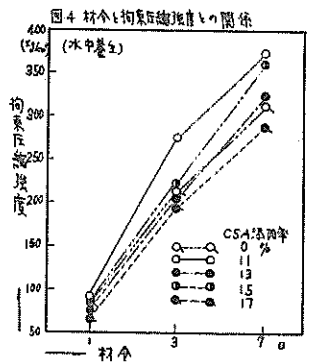


びずみの測定方法などが異なっているためと思われる。つぎにCSAコンクリートの自由膨張量と拘束膨張量との比を図-3に示す。自由膨張量に対する拘束膨張量の発現比率は、CSA添加率ならびに拘束鉄筋比が大きくなるにしたがって小さくなると思われる。



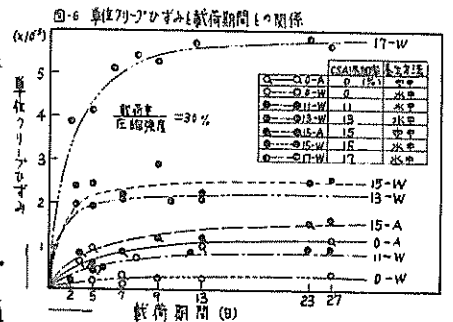
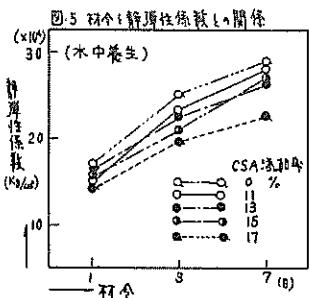
ii) 強度および弾性特性

水中養生した若材令のCSAコンクリートの軸拘束圧縮強度と材令との関係を図-4に示す。各種コンクリートの拘束圧縮強度は材令とともに増加する。CSAコンクリートの拘束圧縮強度はCSA添加率15%までは普通コンクリートとくらべて、あまり低下しないと考えてよいようである。静弾性係数と材令との関係を図-5に示すが、CSAコンクリートは普通コンクリートよりも若干弾性係数は小さいようである。そしてCSA添加率の増大とともに弾性係数は低下し、CSA添加率15%で拘束CSAコンクリートの弾性係数は普通コンクリートの弾性係数とくらべて15%程度低下している。これは膨張成分のエトリンジェイトの強度剛性がよいためであると思われる。

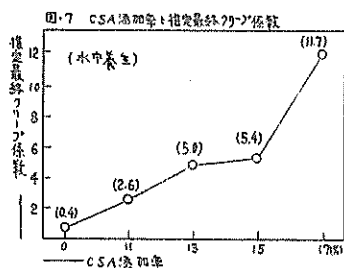


iii) 載荷時材令1日のクリープ特性

水中養生あるいは空中養生したCSAコンクリートと普通コンクリートとを比較するためそれらの単位クリープひずみと載荷期間との関係を図-6に示す。クリープひずみはCSA添加率が大きくなるにしたがって大きい値



を示す。CSA添加率17%のコンクリートは15%以下のコンクリートと比べて極端に大きなクリープひずみを示す。これは17%のコンクリートの自由膨張量が非常に大きく、コンクリートがポラスになり、膨張に遊びができたことおよび非回復性シベーン作用が大きなることに帰因していると考えられる。また普通コンクリートのクリープは水中養生したものが空中養生したものより小さいが、逆にCSAコンクリート(添加率15%)では水中養生の場合が空中養生したものより大きくなっている。この現象は、CSAコンクリートは水中養生中にエトリンシャイトの生成が活発なためであると思われる。図-7に水中養生14材令1日経荷のCSAコンクリートの推定最終クリープ係数を示す。これによればCSA添加率の増加に伴って推定最終クリープ係数は増加し、図-2に示されている結果と裏づけているようである。



iv) ケミカルプレストレスの理論値と実測値の比較

CSAコンクリートの拘束膨張量はCSAコンクリートの自由膨張量からクリープ変形と弾性変形とを差し引いて求めることができると考えている。以下にこの研究室で提案したケミカルプレストレス算定に関する理論式を示す。

$$P_{tn} = \left\{ \delta_{tn} - (K_1 + \dots + K_n) + \frac{P_{tn-1}}{E_{cn} A_c} \right\} \div \left\{ \frac{1}{A_s E_s} + \frac{1}{A_c E_{cn}} \right\} \quad (1)$$

ここに P_{tn} : t_n 時間に導入されたケミカルプレストレス量 (K_g)

P_{tn-1} : t_{n-1} 時間に導入されたケミカルプレストレス量 (K_g)

δ_{tn} : t_n 時の自由膨張ひずみ

K_i : t_i 時に生じる拘束変形量 ($i=1, 2, \dots, n$)

E_{cn} : t_n 時のコンクリートの弾性係数 (K_g/cm^2)

E_s : PC鋼棒の弾性係数 (K_g/cm^2)

A_c : コンクリートの断面積 (cm^2)

A_s : PC鋼棒の断面積 (cm^2)

つぎに大車 の提案式を示す。

$$\delta_{pt}/\delta_t = 1 / \{ 1 + (1 + g/2) n P \} \quad (2)$$

ここに δ_{pt} : CSAコンクリートの拘束膨張量

δ_t : CSAコンクリートの自由膨張量

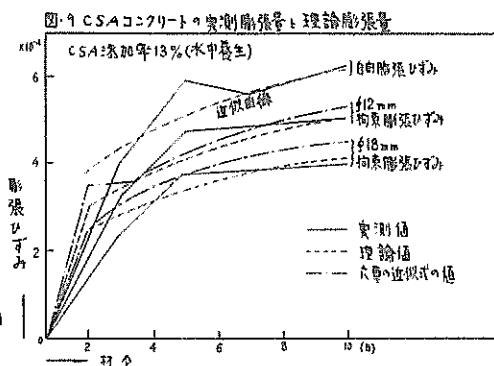
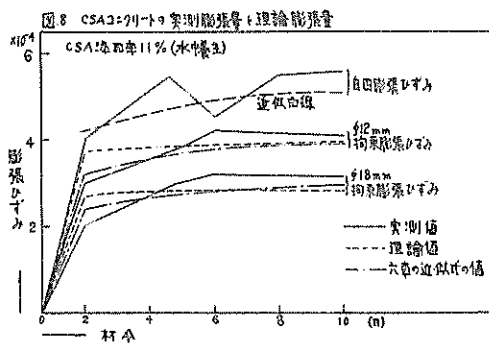
n : E_s/E_c

E_s : PC鋼棒の弾性係数 (K_g/cm^2)

E_c : コンクリートの弾性係数 (K_g/cm^2)

P : 鉄筋比

図-8~11にCSAコンクリートの拘束膨張量の理論的推定値と実測値とを示す。CSA添加率11~17%の場合、本理論値ならびに大車の値はほぼ実測値と一致している。なお水中養生材令7日(打込時から



は表令8日)でのケミカルプレストレス量とCSA添加率との関係と図-12に示す。また表-1に各種コンクリートと材令14日で空中養生を開始した場合、コンクリートのクリープ、乾燥収縮ならびにPC鋼棒のリラクゼーション(こゝでは3%と仮定している)により減少するプレストレス量を差引いたCSAコンクリートの最終推定プレストレス量を示す。なおPC鋼棒の引張応力度の減少は次式により算定した。

$$\sigma_{ps} = (\sigma_{ps0} + E_s \epsilon_s) / \{1 + \eta \rho (1 + \eta/2)\} \quad (3)$$

こゝに σ_{ps} : PC鋼棒の引張応力減少量(kg/cm^2)

η : E_s/E_c

η : 最終クリープ係数

σ_{ps0} : 最初にコンクリートにかかっているプレストレス(kg/cm^2)

ϵ_s : 最終乾燥収縮ひずみ。本実験の場合には 4.1×10^{-4} 一定とみなす。

図-10 CSAコンクリートの実測膨張率と理論膨張率

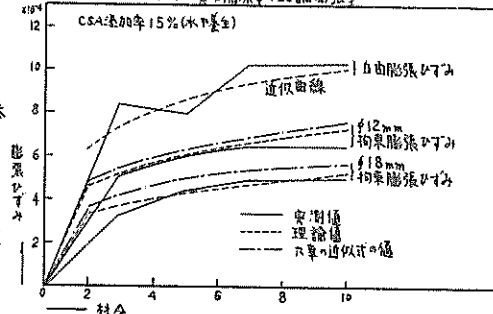
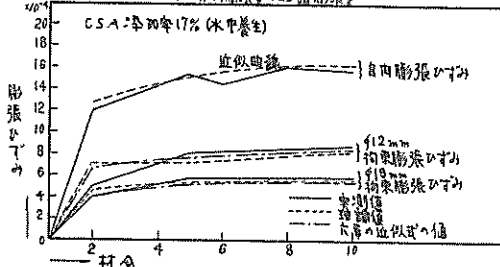


図-11 CSAコンクリートの実測膨張率と理論膨張率



上記の結果より、ケミカルプレストレス量の増大にはCSA添加量と拘束量の増大が有効であるがCSA添加によるコンクリートの強度低下を考え合わせると、強度低下のあまりみられないCSA添加率15%がケミカルプレストレストコンクリートに對して最適なCSA添加率であるといえよう。なお本実験ではCSA添加率15%、拘束鉄筋比2.43%のとき最終ケミカルプレストレス量は14 kg/cm^2 程度と期待できる。

4. まとめ

本実験結果を要約するとつぎのようになると考える

- (1) CSAコンクリートのケミカルプレストレス量はCSAコンクリートの自由膨張、クリープおよび弾性係数を正確にみれば本理論式あるいは大車 の式によって算定できる。
- (2) ケミカルプレストレストコンクリートに最適なCSA添加率は15%内外であり、拘束量が大きいほどプレストレス量は大きくなる。
- (3) CSA添加率15%のCSAコンクリートのケミカルプレストレス量は拘束鉄筋比2.43%で14 kg/cm^2 程度でありプレストレス量の比較的少なくてよいPC舗装への今後の利用が期待される。

5. 参考文献

- (1) 門司 昭 膨張材を使用したコンクリートの配合設計に関する研究 セメント技術年報 昭和46 XXV PP 200~203
- (2) 大車 照 「ケミカルプレストレストング」についての考察 電気化学報告 昭和40

図-12 ケミカルプレストレス量の実測値と理論値との比較

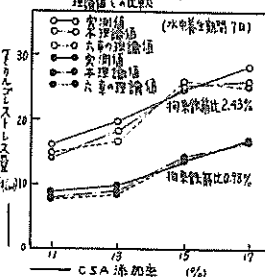


表-1 膨張材の配合とプレストレス量の算定値ならびに推定値

CSA添加率 (%)	拘束鉄筋比 (%)	プレストレス量 (kg/cm ²)	プレストレス量 (kg/cm ²)	プレストレス量 (kg/cm ²)	プレストレス量 (kg/cm ²)	プレストレス量 (kg/cm ²)	プレストレス量 (kg/cm ²)
13	2.43	9.77	15.80	9.77	13.85	7.53	14.47
15	2.43	13.03	24.51	13.84	25.54	13.73	24.21
17	2.43	16.33	27.67	16.33	28.31	16.23	25.31