

[56] 収縮低減剤を用いたコンクリートの引張諸特性に関する基礎研究

正会員 ○下山善秀 (日本セメント中央研究所)
正会員 富田六郎 (日本セメント中央研究所)

1. まえがき

低級アルコールアルキレンオキシド付加物を主成分とする収縮低減剤を使用したコンクリートは、乾燥収縮が小さくなることがこれまでの研究で明らかになった。しかし収縮低減剤を使用したコンクリートに求められる基本的な性能は、乾燥収縮によるひびわれの低減であり、この点に関する研究は、一部の供試体レベルでの観察的実験で良好な結果を得ている程度で、そのメカニズムを検討するまでには至っていない。¹⁾

本研究は、収縮低減剤を使用したコンクリートの乾燥収縮によるひびわれ低減性能のメカニズムを検討する上で基礎となる引張諸特性(引張強度、弾性係数、引張クリープ)について試験するとともに、並行して行った外部拘束ひびわれ試験をモデルケースとしてその試験結果とこれら引張諸特性から推定される結果とを比較検討したものである。

2. 試験概要

2. 1 使用材料及びコンクリートの配合

使用材料は、同一ロットのそれぞれ一般的な性状を示すものを使用した。

表-1 コンクリートの示方配合

配合番号	配 合 条 件					単 位 量 (kg/m³)				
	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/A (%)	A (kg/m³)	C	W (%)	S	G	A E (%)
①	18±1.5	5±0.5	50	42	0	348	174	736	1024	0.25
②					12					
③					16					
④			60	45	0	288	173	811	998	
⑤					12					
⑥					16					

(※) WはAを含んだ値

(※※) セメントに対する重量パーセント

セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は川砂(比重2.64、F.M. 2.83)、粗骨材は碎石(最大寸法 20 mm、比重 2.65)を使用した。また、使用した収縮低減剤は低級アルコールアルキレンオキシド付加物を主成分とするもので記号Aと略す。その他一般に市販されているA E減水剤及び助剤を使用した。

コンクリートの配合は表-1に示す6配合で、スランブ18±1.5 cm、空気量 5±0.5 %、水セメント比 50 %、60%のA Eコンクリートで、それぞれ単位水量の内割でAを 0, 12, 16 kg/m³混合した。

2. 2 試験方法

(1) 乾燥収縮試験：供試体は10×10×40 cmの角柱で成形時にホイットモアひずみ計用のプラグを上下面に埋設し、成形の翌日に脱型し材令7日まで 20℃水中養生を行なった。そしてこの時点を経準長として以後、供試体を 20℃、60%RHの恒温恒湿室に保管し、所定材令で精度 1/1000 mmのホイットモアひずみ計を用いて長さ変化を測定した。

(2) 引張強度及び弾性係数試験：供試体は10×10×40 cmの角柱型棒の両端面に引張装置に接続できる鋼製端板(写真-1参照)をセットし、打設時にその端板に配したP C鋼棒の付着によって一体化したものを使用した²⁾。またその際にひずみ測定用の埋込みゲージを埋設した。打設翌日に脱型し、湿潤供試体は

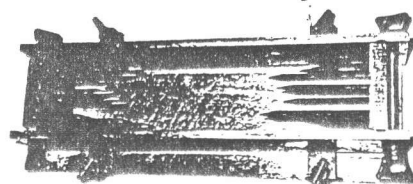


写真-1 引張試験用供試体鋼製端板

強度試験所定材令3,7,14,28,91日まで20℃水中養生を行ない、乾燥供試体は材令7日まで20℃水中養生をした後、20℃、60%RHの恒温恒湿室で水中7日を含めて強度試験所定材令14,28,91日まで保管した。供試体は1条件3本である。試験は上記供試体をアムスラー間で引張る際にねじれや偏心が生じない様に図-1に示すようなユニバーサルジョイントを介した引張装置を使用して行なった。載荷速度は割裂試験同様毎分4~5 kg/cm²となるように行なった。また、破壊荷重までの10点以上の一定間隔荷重段階で応力とひずみを測定した。引張弾性係数は、この応力ひずみ曲線より原点と破壊荷重の1/3点とを結ぶ割線の傾きとして求めた。

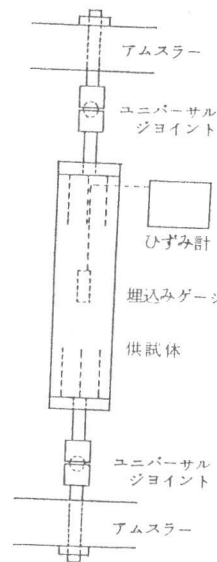


図-1 引張装置

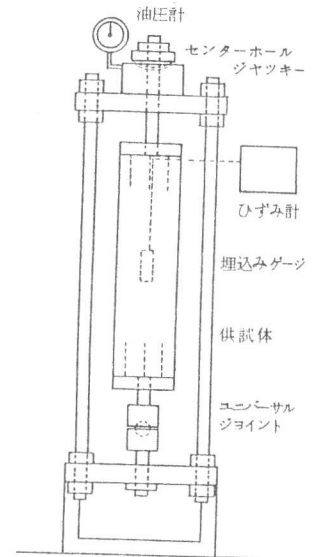


図-2 引張クリープ試験装置

(3) 引張クリープ試験；供試体は前記の引張試験で使用したものと同様のものを使用した。打設翌日から20℃水中で7日材令まで養生し、その後湿潤環境下でのクリープ試験は直ちに市販のラップ材でシールし、また乾燥環境下でのクリープ試験の場合はそのまま20℃、60%RHの恒温恒湿室に設置した引張クリープ試験装置（図-2参照）にセットして試験を開始した。なお、載荷応力は7日材令での引張強度の50%とし、油圧計付きのセンターホールジャッキにて応力の確認、修正を定期的に行なった。またクリープひずみは、成形時に埋設した埋込みゲージで測定した。

(4) 外部拘束ひびわれ試験；供試体は図-3に示すように鋼製拘束板（軽みぞ形鋼JIS呼び名1175）及び端板からなる拘束フレーム中にコンクリートを打設したものをを使用した（鋼材比P=10.8%）。打設後材令7日まで湿布養生して、以後20℃、60%RHの恒温恒湿室にて保管した。ひびわれは拘束板に貼ったゲージのひずみを定期的に測定し、その挙動から発生の判断をするとともに、目視による観察によって確認をした。なお供試体は1条件3体である。³⁾

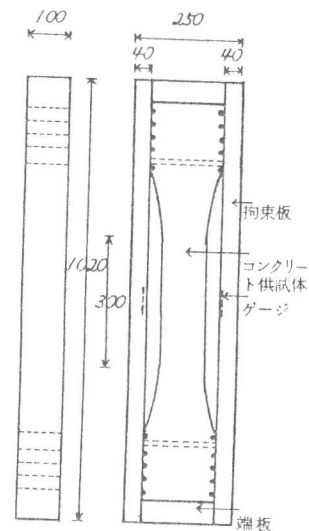


図-3 外部拘束ひびわれ試験装置

3. 試験結果及び考察

(1) 乾燥収縮試験結果；配合別の乾燥収縮試験結果を図-4に示す。スランプが一定で単位水量がほぼ同等であったため、水セメント比(W/C)による乾燥収縮の差はほとんどなく、またW/Cが50,60%のいずれについても、収縮低減剤Aを使用しないコンクリートに対してAを12Kg/m³、16Kg/m³使用したコンクリートは乾燥収縮が約40%、50%それぞれ低減できることが認められ、既往の研究結果¹⁾とほぼ同等の結果であることが認められる。

(2) 引張強度及び弾性係数試験結果；試

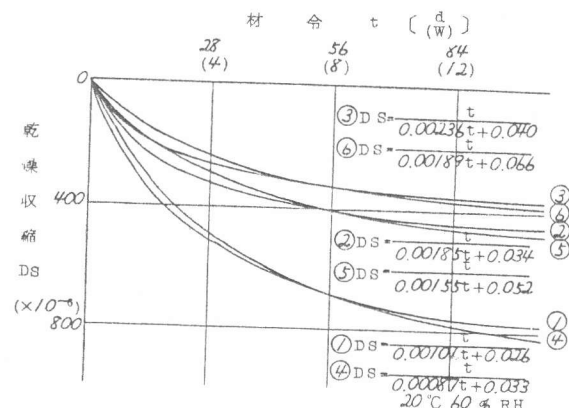


図-4 乾燥収縮試験結果

験結果を表-2に示す。湿潤環境にあれば引張強度、弾性係数ともに材令の経過に従って増加することが認められる。しかし、28日以後の増加はわずかである。乾燥環境においては引張強度、弾性係数ともに湿潤環境下のそれらに比べて若干低く引張強度

表-2 引張強度及び弾性係数試験結果

配合 材令(日)	湿潤環境 材令					乾燥環境 材令		
	3	7	14	28	91	※) 14 (7)	28 (21)	91 (84)
①	※※) 30.4 26.3	34.5 37.7	36.6 37.9	40.1 33.3	40.6 35.3	24.3 28.8	30.2 31.1	31.7 26.7
②	20.7 24.3	28.0 28.3	33.6 31.2	32.9 33.2	—	23.3 29.3	23.0 27.6	30.0 28.9
③	—	27.8 28.2	—	31.9 33.3	—	—	—	—
④	21.6 20.5	28.8 27.6	29.7 25.5	32.1 27.7	—	23.7 24.6	25.6 26.1	27.4 23.4
⑤	20.9 22.6	26.7 25.5	28.9 27.6	32.3 29.0	33.5 29.5	25.7 29.7	22.7 24.7	32.3 28.2
⑥	—	27.1 25.6	—	33.0 29.0	—	—	—	—

※) () は乾燥材令

※※) 上段は引張強度 (Kg/cm²)、下段は弾性係数 (×10⁵ Kg/cm²)

度はおおよそ80%、弾性係数は90%程度になることが認められる。また、乾燥初期(14日から28日)においては、供試体内の乾燥勾配により生ずる引張応力が原因と考えられる若干の強度低下が認められるが材令91日では回復する傾向にある。また、収縮低減剤Aを使用したコンクリートは使用しないコンクリートに比べてW/Cが50%で湿潤環境下にある場合引張強度が若干低く80%程度となる他はどの条件でもほぼ同等であることが認められる。測定値が小さい上にバラッキも含んでいるので明確ではないが、乾燥環境下の引張強度はどの条件でもほぼ一定とみなすことができ初期は25Kg/cm²程度、その後は30Kg/cm²程度であることが認められる。

(3) 引張クリープ試験結果；本試験は、極めて小さい値を測定する関係でデータにかなりのバラッキがあったが数回の繰返し試験でその妥当な値を検討した。⁴⁾ 図-5に引張クリープ試験結果を示す。配合①と②については湿潤環境の他に乾燥環境についても行なっている。湿潤環境下での単位クリープは配合条件や収縮低減剤量に無関係にほぼ一定で材令8週で4~5×10⁻⁶/Kg/cm²程度であることが認められる。また、乾燥環境下におけるクリープは、同一環境の乾燥収縮と自由収縮との差で求められるが、①配合のAを使用しないコンクリートで湿潤下の約2.5倍の単位クリープが、また、②配合のAを使用したコンクリートで湿潤下の約1.5倍の単位クリープが確認でき、いずれも増加する傾向が認められる。

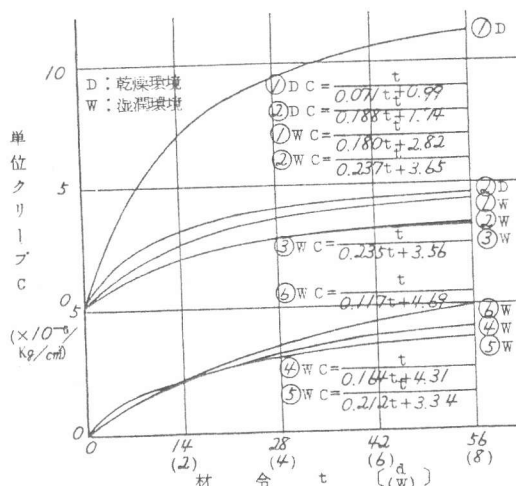


図-5 引張クリープ試験結果

(4) 外部拘束ひびわれ試験結果；乾燥収縮試験結果から拘束板の圧縮ひずみを引くことにより求められるコンクリートの拘束引張ひずみと材令の関係の試験結果を図-6に示す。収縮低減剤の使用量が少なくなるに従って初期に拘束引張ひずみが大きくなりひびわれが発生していることが認められ、収縮低減剤の使用による収縮ひびわれに対する低減効果が認められる。また表-3に各配合条件におけるひび割れ発生日を示す。

(5) ひびわれ発生日の推定；収縮低減剤を使用したコンクリートの収縮ひびわれ低減効果のメカニズムを検討するために、この外部拘束ひびわれ試験をモデルケースとしてその結果と引張諸特性試験結果から推定される値とを比較し若干の考察を加える。外部拘束試験体のコンクリートに生ずる引張応力は、各材令ごとの乾燥収縮の増分に対応する引張応力の増分の和から、Whitneyの法則及び重ね合わせの法則を利用してクリープによる引張応力緩和分を差し引くことにより求められるが、その際使用される乾燥収縮、引張弾性係

数、クリープ等は各配合条件の結果または実験式を使用した。図-7にその結果を示す。外部拘束試験体のコンクリートに生ずる引張応力は収縮低減剤Aを使用しない①、④配合が最も初期に高くなり、引張強度を $25 \sim 30 \text{ Kg/cm}^2$ (図中斜線部)とすればひびわれ発生は10~15日程度と推定される。またAを 12 Kg/m^3 使用した②⑤配合は引張応力発生が①④よりは遅れひびわれ発生も15~30日程度と推定される。同様にAを 16 Kg/m^3 使用した③⑥配合では、さらに引張応力の発生が遅れひびわれ発生も30~100日程度となることが推定される。これを実験において実際にひびわれが発生した日数(表-3)と比較すると若干実験値の方が遅い傾向にあることが認められるが少なくとも傾向はとらえることができる。また、この引張応力の発生状況を見るとクリープによる緩和にも拘わらず乾燥初期に大きな応力が発生していることが認められる。このことは、乾燥初期の収縮速度が速いことによるためと考えられる。従って拘束されたコンクリートの乾燥時のひびわれは拘束度にもよるが、乾燥時の収縮速度が最も影響するとことが考えられ、乾燥時の収縮量及び収縮速度を減らすことのできる収縮低減剤のひびわれ低減効果が説明できる。

4. 結論

以上収縮低減剤を使用したコンクリートの引張諸特性試験及び外部拘束ひびわれ試験を行なった結果、結論として以下のことがわかった。

引張諸特性において収縮低減剤Aを使用したコンクリートと使用しないコンクリートを比較した場合、 W/C が50%の湿潤養生時の引張強度がAを使用したコンクリートの方が20%程度低いこと、乾燥環境下の引張クリープがAを使用しないコンクリートが約2倍程度高いこと以外は差はほとんど見られなかった。

これら乾燥条件での引張諸特性及び乾燥収縮の試験結果をもとに外部拘束ひびわれ発生日を推定した結果試験値と比較的よく合うことが認められた。そして、乾燥収縮によるひびわれは主に初期の乾燥収縮速度によることが認められ、収縮量及び収縮速度を減らすことのできる収縮低減剤のひびわれ低減効果が説明できることがわかった。

参考文献

- 1) 富田六郎, 後藤孝治, 酒井公式, 茂庭孝司「収縮低減剤を用いたコンクリートの乾燥収縮及びひびわれに関する実験研究」 第5回コンクリート工学年次講演会論文集 1983年
- 2) 吉本 彰, 長谷川博, 川上正史「コンクリート及びモルタルの純引張、圧縮及び曲げ強度の比較」 セメント・コンクリート No 435 1983年
- 3) 川瀬清孝 「乾燥収縮ひび割れ」 セメント・コンクリート No 451 1984年
- 4) 清水昭之 「コンクリートの引張クリープ」 コンクリート工学 Vol 21 1983年

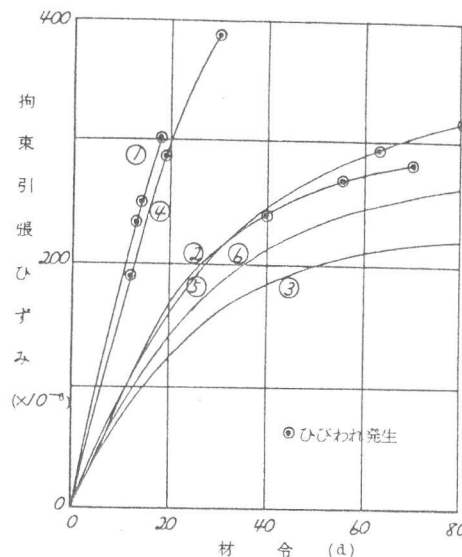


図-6 外部拘束ひびわれ試験、拘束引張ひずみと材令の関係

表-3 外部拘束ひびわれ試験結果

配合	ひびわれ発生までの日数			平均
①	13	14	18	15
②	40	55	70	55
③	※	※	※	
④	12	19	30	20
⑤	63	81	※	
⑥	※	※	※	

※) 81日の時点でひびわれが入っていない。

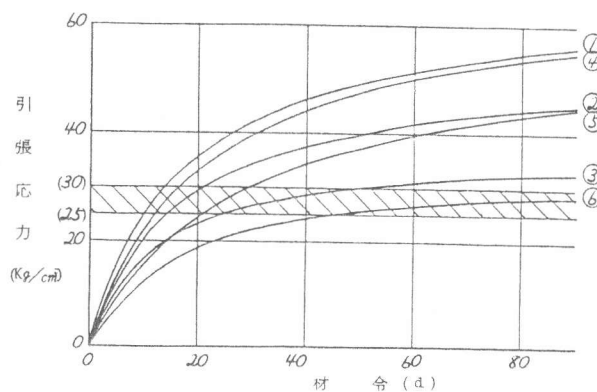


図-7 外部拘束ひびわれ試験供試体に生ずる引張応力の推定