

[66] 初期材令時における膨張コンクリートの引張性状に関する研究

正会員 ○笹谷輝勝 (長岡技術科学大学大学院)  
 正会員 丸山久一 (長岡技術科学大学工学部)  
 先村律雄 (長岡技術科学大学工学部)  
 正会員 辻 幸和 (群馬大学 工学部)

1 はじめに

コンクリート構造物の乾燥収縮ひびわれ、マスコンクリートの温度ひびわれ、等を制御する目的で膨張コンクリートを使用する試みが為されているが<sup>1)</sup>、必らずしも充分には目的を達していない。

その理由として、膨張コンクリートの膨張反応は材令7日程度までが最も大きく、膨張特性は初期材令時で決定される<sup>2)</sup>にもかかわらず、試験方法の難しさもあって、初期材令時の膨張特性、および力学的性質に関して十分なデータが得られていない、ということが挙げられる。

本研究では、特に、ひびわれ制御に関係がある初期材令時の膨張コンクリートの引張強度特性を実験的に求めることを目的としている。配合(膨張量)、拘束鋼材比、養生状態(湿潤、水中)、養生温度、等をパラメータとして、それらの影響を定量的に把握することにより、コンクリートのひびわれ性状改善を目指すものである。

2 実験概要

一軸引張試験装置を図1に示す。荷重の偏心をなくす為<sup>3), 4), 5)</sup>、図1③、④の位置にフックを設けた。供試体のセッティングは、供試体の上下端板(図中⑤)に予め溶接してあるナットにそれぞれフックを取り付ける方法とした。引張荷重は、手動ポンプに直結したセンタホールジャッキ(図中①)で行ない、引張荷重を検出するためロードセル(図中②)を設置した。供試体の形状寸法を図2に示す。引張治具とコンクリート部を一体化する為、異形鉄筋をさし筋として用い、それを予め端板に溶接した。供試体は、試験材令まで所定の養生条件で養生した後、拘束を解除しスース管として使用したビニールホースを抜き取り、引張治具を取付け荷重した。荷重速度は、JISの割裂試験速度(毎分4~5kgf/cm<sup>2</sup> JIS A1113)と同程度とし、5kg/sec程度とした。引張荷重は、ロードセルにより、また、一軸膨張コンクリートの供試体中央部のひずみは、供試体に貼布されたコンクリート用ストレインゲージ(60mm)の値をデジタルストレインメーターで検出した。尚、ゲージは、コンクリート打設後24時間で脱枠した直後の供試体に接着した。ゲージ接着後、所定の養生を行なった。

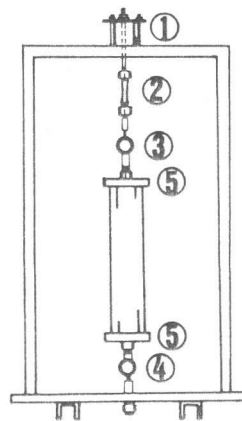
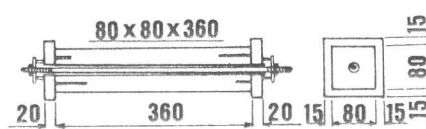


図1 一軸引張試験装置



単位: mm

図2 供試体形状寸法

また、養生中ゲージが剥離せず、かつ漏水等でゲージが損なわれないよう接着剤およびコーティング方法を工夫した。実験概要を表1に示す。実験要因としては、配合(単位膨張材量(E)、水結合材比(W/(C+E)))、材令(2, 3, 4, 7日)、拘束鋼材比(0, 1.04, 4.01%)、養生状態(水中、湿潤)、養生温度(0, 20, 50℃)を取り上げた。配合は、供試体打設時のワーカビリティを考慮し、スランプを20±2cm、単位水量W=200kg/m<sup>3</sup>、水結合材比W/(C+E)=50%、単位膨張材量E=50kg/m<sup>3</sup>、単位結合材量C+E=400kg/m<sup>3</sup>、細骨材率s/a=41%を標準とした。実験シリーズ11, 12, 13は、膨張コンクリートとの比較のため膨張コンクリートの配合から単位膨張材量E=50kg/m<sup>3</sup>を除き単位セメント量C=350kg/m<sup>3</sup>、細骨材率s/a=41%と一定とし、水セメント比

W/Cを35%、50%（シリーズ 11 のみW/C = 35%）に変化させたものである。セメントは、普通ポルトランドセメント、骨材は、信濃産の川砂利（比重 2.64、吸水率 1.00%、最大寸法 15mm）および川砂（比重 2.61、FM 3.13、吸水率 2.61%）をそれぞれ使用した。膨張材はカルシウムサルホアルミネート系である。

### 3 実験結果および考察

#### 3-1 供試体各部のひずみ性状

図3は、引張載荷時における供試体各部の応力-ひずみ曲線である。破断位置では、他の位置に比べて破断直前の引張ひずみ（以後、最大引張ひずみと記す。）がわずかに大きく現われている。また、破断位置から遠ざかるに従わずかに最大引張ひずみが小さくなるのが確認されるが、破断位置と他の位置でそれほど引張特性が異なっていないことから破断位置にひずみゲージが存在しなくても供試体全体の挙動を把握できると考えられる。

#### 3-2 材令に伴う各種要因の引張特性への影響

図4に引張試験時の応力-ひずみ曲線の一例を示す。コンクリートのひびわれ性状に最も影響を示すと考えられるのが、引張強度および破断直前の引張ひずみであることから、各要因の影響を引張強度および最大引張ひずみで検討することとした。

##### 1) 単位膨張混和材量の影響

図5に材令に伴う単位膨張混和材量（E）の引張強度および最大引張ひずみに及ぼす影響を示す。E = 0 kg/m<sup>3</sup>（プレーンコンクリート）では、材令2日で引張強度が25 kg/cm<sup>2</sup>あり、材令に伴い増加し材令7日で35 kg/cm<sup>2</sup>前後になっている。E = 30 kg/m<sup>3</sup>は、材令2日から4日ではプレーンコンクリートとほぼ同程度もしくはそれ以上の引張強度を持っているが、材令7日ではプレーンコンクリートより小さくなっている。E = 50 kg/m<sup>3</sup>は、材令2日から3日では同じ引張強度であるが、材令4日に急に引張強度が大きくなっている。材令4日以降も、少しではあるが引張強度が増加している。E = 80 kg/m<sup>3</sup>は、材令2日から7日まで殆んど引張強度が増加していない。

プレーンコンクリートは、材令2日では70 μ前後しか伸び能力がなく、材令4日以降でも100 μ前後の伸び能力しか示さない。E = 30 kg/m<sup>3</sup>は、材令2日から7日まで通して100 μ ~ 150 μ程度の伸び能力しか保持していない。一方、E = 50 kg/m<sup>3</sup>では、材令2日、および3日では200 μ程度の伸び能力を示すものの、材令4日から7日までは100 μ程度になっている。それに対して、E = 80 kg/m<sup>3</sup>とすると、破断時の引張ひずみは材令2日から材令7日まであまり変化せず、300 μ前後の伸び能力を示した。

##### 2) 拘束鋼材比の影響

図6に材令に伴う拘束鋼材比（p）の引張強度および最大引張ひずみに及ぼす影響を示す。自由膨張を除いては、各拘

表1 実験概要

series number	W/(C+E) (%)	curing condition	t (°C)	p (%)	E (kg/m <sup>3</sup> )	age (day)
1	50	wet	20	1.04	50	2,3,4,7
2	"	"	"	0	"	"
3	"	water	"	0	"	"
4	"	"	"	1.04	"	"
5	"	"	"	4.01	"	"
6	"	"	"	1.04	80	"
7	"	"	"	"	30	"
8	"	"	0	"	50	"
9	"	"	50	"	"	"
10	35	"	20	"	"	"
11	35	"	"	0	0	2,4
12	50	"	"	0	0	2,4
13	50	"	0	0	0	2,5

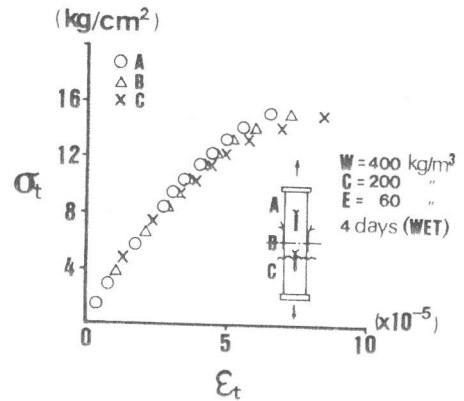


図3 供試体各部の応力-ひずみ曲線

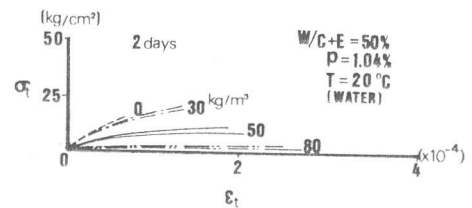


図4 引張載荷時の応力-ひずみ曲線

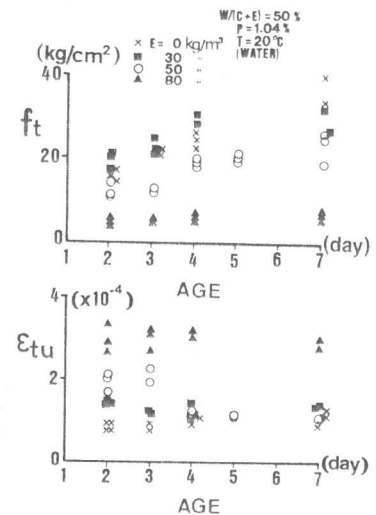


図5 単位膨張混和材量の影響

束鋼材比の下でのコンクリートは材令に伴い引張強度が増加している。また、材令7日では、拘束鋼材比に関係なく同程度 ( $20 \text{ kg/cm}^2$ ) の引張強度になっている。自由膨張では、材令3日で引張強度が小さくなっているが材令7日になると回復している。尚、膨張量は、材令7日において  $p = 0\%$  では  $800 \mu$  程度、 $p = 1.04\%$  では  $400 \mu$  程度、 $p = 4.01\%$  では  $80 \mu$  程度であった。

最大引張ひずみは、各拘束鋼材比の下で材令2、3日では  $150 \mu$  程度の伸びを示しているが材令7日では  $100 \mu$  前後になっている。

### 3) 水結合材比の影響

図7に材令に伴う水結合材比 ( $W/(C+E)$ ) の引張強度および最大引張ひずみに及ぼす影響を示す。水結合材比50%では、材令7日までは材令に伴い引張強度が増加しているが、35%では材令4日程度で最大引張強度に達しているようである。また、材令4日までは、両水結合材比の引張強度は殆んど差がない。

最大引張ひずみは、水結合材比50%では材令2、3日で  $200 \mu$  前後あるのに対して材令4日を過ぎると  $100 \mu$  まで低下する。これに対し、水結合材比35%では材令4日で伸び能力が  $200 \mu$  前後あり、材令7日においても  $150 \mu$  前後の伸び能力を保持している。

### 4) 養生状態の影響

図8に材令に伴う養生状態の引張強度および最大引張ひずみに及ぼす影響を示す。湿潤養生では、材令に伴い引張強度が増加している。水中養生では、材令3日においては引張強度が一度低下する。しかし、材令3日を除けば養生状態によらず材令7日で  $20 \text{ kg/cm}^2$  前後の引張強度である。尚、水中養生での膨張量は、材令7日において  $p = 0\%$  では  $800 \mu$  程度、 $p = 1.04\%$  では  $400 \mu$  程度であるのに対し、湿潤養生では、 $p = 0\%$  は  $600 \mu$  程度、 $p = 1.04\%$  は  $300 \mu$  程度であった。

最大引張ひずみは、水中養生の場合、 $p = 0\%$  では材令4日まで  $180 \mu$  程度あるが材令4日を過ぎると  $100 \mu$  程度にさがる。 $p = 1.04\%$  でも同じく材令3日まで  $200 \mu$  程度あるが材令3日を過ぎると  $100 \mu$  程度に低下する。これに対して湿潤養生の場合、材令および拘束鋼材比に殆んど関係なく材令7日まで  $100 \mu$  から  $120 \mu$  であった。

### 5) 養生温度の影響

図9に材令に伴う養生温度の引張強度および最大引張ひずみに及ぼす影響を示す。養生温度が  $0^\circ\text{C}$  の場合、材令7日程度まででは材令の経過に伴う引張強度の増加は殆んどない。養生温度が  $20^\circ\text{C}$  の場合、材令2日と3日では同程度であり、材令4日から増加している。これに対して  $50^\circ\text{C}$  の場合、材令2、3日の早期に引張強度が出るものの材令4日においては  $20^\circ\text{C}$  と同程度の引張強度である。

最大引張ひずみは、 $0^\circ\text{C}$  では、材令7日まであまり変化が

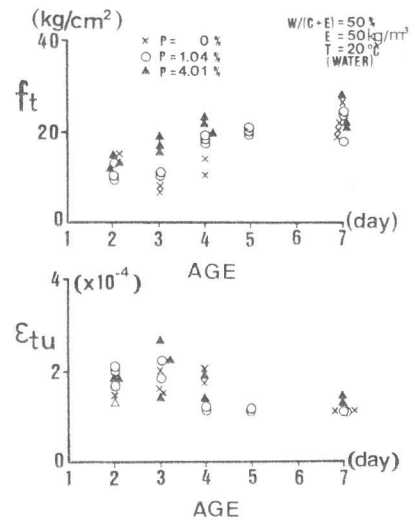


図6 拘束鋼材比の影響

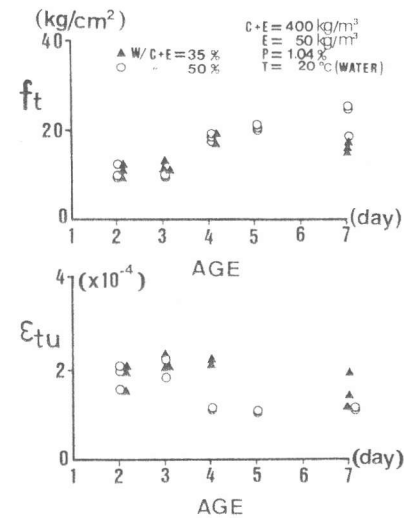


図7 水結合材比の影響

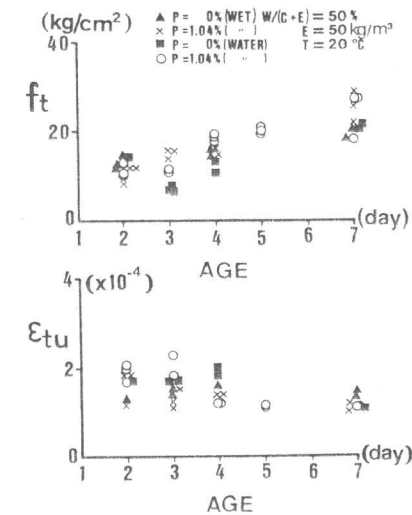


図8 養生状態の影響

なく150 $\mu$ 前後である。20 $^{\circ}$ Cでは、材令2、3日では、200 $\mu$ 前後であるが材令4日以降では100 $\mu$ 程度に低下する。養生温度が50 $^{\circ}$ Cの場合、材令2日では200 $\mu$ 前後であるが材令3日には150 $\mu$ 以下まで低下している。

#### 4 引張強度と最大引張ひずみについて

図10に水結合材比(W/C+E)が35%と50%における材令7日までのプレーンコンクリートおよび膨張コンクリートの引張強度と最大引張ひずみの関係を示す。膨張コンクリートは、拘束鋼材比(p)を1.04%、単位膨張材量(E)を50 kg/m<sup>3</sup>としたデータである。

プレーンコンクリートでは、両水結合材比ともに材令4日までは引張強度の増加に伴い最大引張ひずみが増加している。しかし、材令7日では引張強度は増加しているものの最大引張ひずみの増加は認められない。この様に、プレーンコンクリートでは伸び能力に限界があると推察され、本実験では、材令7日では100 $\mu$ 程度であった。

一方、膨張コンクリートでは、材令の経過に伴い引張強度は増加するものの、最大引張ひずみは逆に減少してゆくのが認められる。若材令時では、引張強度は小さいが最大引張ひずみは大きく、200 $\mu$ 程度ある。しかし、引張強度が大きくなりプレーンコンクリートに近づくにつれ、最大引張ひずみもプレーンコンクリートのそれに近づくようである。この性状は、各要因の下でも同様に認められた。

膨張コンクリートについての引張強度と最大引張ひずみとの関係には、潜在的な膨張能力および既に発現している膨張量も大きく影響すると考えられるが、この点については今後の課題である。

#### 5 結論

1) 単位結合材量(C+E)が400 kg/m<sup>3</sup>で、単位膨張材量が30 kg/m<sup>3</sup>から50 kg/m<sup>3</sup>の範囲では、引張強度は材令7日程度まではプレーンコンクリートと同程度ある。

2) プレーンコンクリートに比べて膨張コンクリートは、初期材令時における最大引張ひずみが大きい。特に、材令2、3日に著しい伸び能力を示す。

3) 湿潤養生では、引張強度は水中養生と同じあるが、材令4日までの伸び能力は劣る

4) 養生温度を高くすると初期材令時の引張強度が上がる。また、材令2日までは大きな伸び能力を示すが材令3日程度で伸び能力が低下し始める。それに比べて0 $^{\circ}$ Cでは、引張強度は小さいが材令7日程度まで同じ伸び能力を有している。

#### 謝辞

本研究に関して、材料研究室の諸氏の御協力を得ました。謹んで御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 辻・横田他；膨張材のマスコンクリートへの適用，セメントコンクリート，No. 405，1980
- 2) 戸川他；膨張コンクリートの拘束膨張特性および温度の影響，セメント技術年報35，昭和56
- 3) 吉本・長谷川・兼行・白上；純引張試験用供試体に関する研究，セメント技術年報32 1978
- 4) 小阪・山田他；一軸圧縮下のコンクリートの応力-ひずみ関係に関する研究，セメント技術年報37 昭和58
- 5) 渡辺・山田；コンクリートの一軸引張特性，第39回年次学術講演会講演概要集 第5部 pp319~320

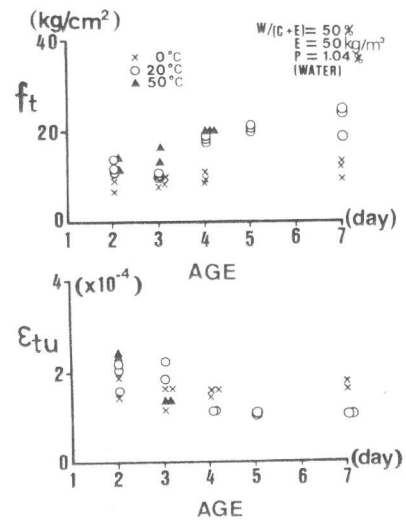


図9 養生温度の影響

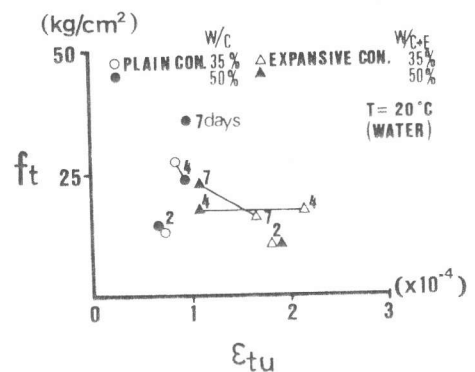


図10 引張強度と最大引張ひずみの関係