

若材齢コンクリートにおける 温度応力拘束下での応力-ひずみ関係

1120339 吉川 由晃

高知工科大学 工学部 社会システム工学科

コンクリート構造物の設計や施工において、コンクリートの初期ひび割れの発生の有無および発生時期を予測することが重要である。この予測のためには、若材齢コンクリートにおける温度応力拘束下での応力-ひずみ関係を明らかにする必要がある。そこで、本研究では、若材齢コンクリートにおける温度応力拘束下の応力-ひずみ関係を長期強度の増進が大きい高炉セメントB種を用い、普通ポルトランドセメントと比較し、圧縮および引張試験で測定することを試みた。また実験結果より、クリープひずみの粘弾性をモデル化することにより、クリープ曲線の検討を行った。

Key Words : 若材齢、クリープ、リラクセーション、温度応力-ひずみ関係

1. はじめに

コンクリート構造物の設計や施工において、コンクリートの初期ひび割れの発生の有無および発生時期を予測することが重要である。この予測のためには、若材齢コンクリートにおける温度応力拘束下での応力-ひずみ関係を明らかにする必要がある。そこで、本研究では、若材齢コンクリートにおける温度応力拘束下の応力-ひずみ関係を長期強度の増進が大きい高炉セメントB種を用い、普通ポルトランドセメントと比較し、圧縮および引張試験で測定することを試みた。

$$Q(t) = Q_{\infty}(1 - e^{-\gamma t}) \quad (1)$$

$$Q_{\infty} = a \cdot C + b$$

$$\gamma = g \cdot C + h$$

ここに、 $Q(t)$: 材齢における温度上昇量 (°C)

Q_{∞} : 終局断熱温度上昇量

γ : 温度上昇速度係数

e : 自然定数の底

t : 材齢 (日) である。

2. 実験

2.1 断熱温度上昇試験

本実験に入る前、極めて初期の基礎コンクリートデータを得るために断熱状態における若材齢コンクリートの温度発現および断熱温度上昇下の強度発現を測定した。供試体の寸法は、幅300mm×高さ300mm×長さ300mmの立方体とし、供試体の周りを発砲スチロールで囲い完全断熱状態とした。練上がり温度を20°C設定にし、空気循環式の恒温恒湿器を用いてコンクリート内部の温度追従を行った。温度追従には熱電対を使用した。断熱温度上昇測定結果から断熱温度上昇特性の式(1)における実験定数、すなわち、終局断熱温度上昇量 Q_{∞} 、温度上昇速度係数 γ を求めた。

2.2 断熱温度上昇下における強度試験

配合条件は上記の断熱温度上昇試験と同じである。供試体の作製は、直径100mm、高さ200mmの軽量型枠を使用した。養生条件は封かん状態とし、断熱温度上昇試験と同じ条件下で行った。

2.3 温度応力拘束下での圧縮および引張試験

2.3.1 試験体の形状と寸法

試験体は、普通ポルトランドセメントと高炉セメントB種の両方を同じ条件下で実験を行うため寸法は、幅150mm×高さ150mm×長さ900mmの直方体のコンクリートブロックとした。

また、コンクリートの示方配合およびスランプ値、空気量を表-1に示す。普通ポルトランドセメント(密度3.15g/cm³)、高炉セメントB種(密度3.04g/cm³)ともに断熱温度上昇試験の配合条件と同じとした。

表-1 コンクリートの配合条件および示方配合

セメントの種類※	設計強度 (MPa)	スランプ (cm)	水セメント比 (%)	最骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)				
					セメント C	水 W	細骨材 S	粗骨材 G	減水剤 SP
OPC	30	12	67	43.5	244	163	824	1082	19.43
BB	30	12	67	43.5	244	163	821	1078	19.43

※ OPC : 普通ポルトランドセメント、BB : 高炉セメントB種

2.3.2 ひずみ測定

使用鉄筋はD19(公称直径 $\phi=19.1\text{mm}$)を用い、ひずみゲージを貼付するにあたり断面を削らなくて良いものとするために、JIS G 3112に適合する側面にふしのないネジふし鉄筋を用いた。

また、鉄筋軸に沿ったひずみ分布を測るために、鉄筋にひずみゲージを貼り付けた。ひずみゲージの貼付は、圧縮、引張が分かるように横リブのない部分に貼付した。ひずみゲージの間隔は、約150mm間隔で5本を表裏対に貼り付けた。

2.3.3 試験方法

荷重は、試験体から出しておいた鉄筋に中空型ジャッキを通し、ロードセルを設置し、鉄板とロックナットを使い固定した。一方向の荷重とし、事前に行った断熱温度上昇試験により得たデータを基に荷重荷重を設定した。また、定期的に除荷および再荷重を行うものとする。試験体図を図-1に示す。

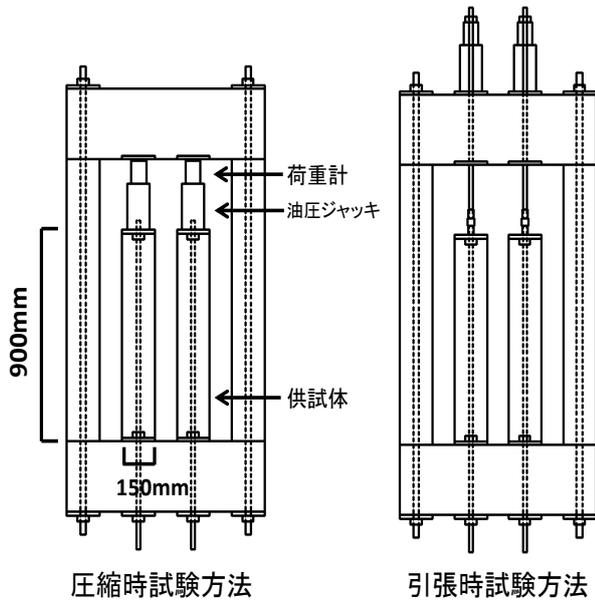


図-1 試験方法

3. 実験結果および考察

3.1 断熱温度上昇試験結果

普通ポルトランドセメントを用いた、断熱温度上昇試験結果を図-2に示す。この実験により、終局断熱温度上昇量 Q_{∞} は37.44°C、温度上昇速度係数 γ を2.056であることが分かった。

また、圧縮強度と断熱温度上昇量の関係を図-3に引張強度と断熱温度上昇量の関係を図-4に示す。

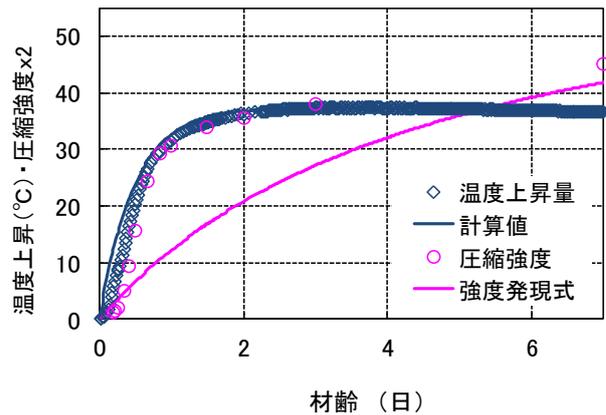


図-2 断熱温度上昇試験結果

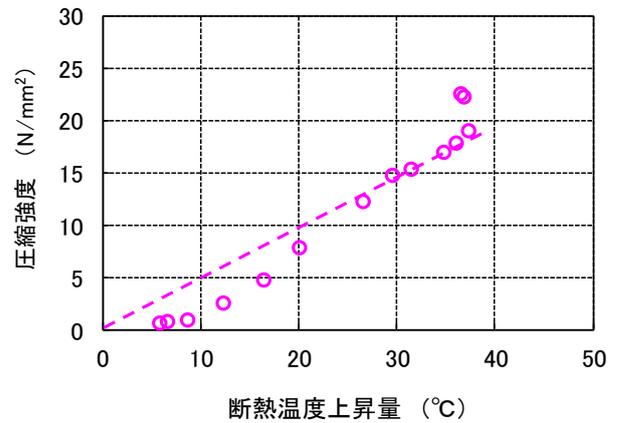


図-3 圧縮強度—断熱温度上昇量の関係

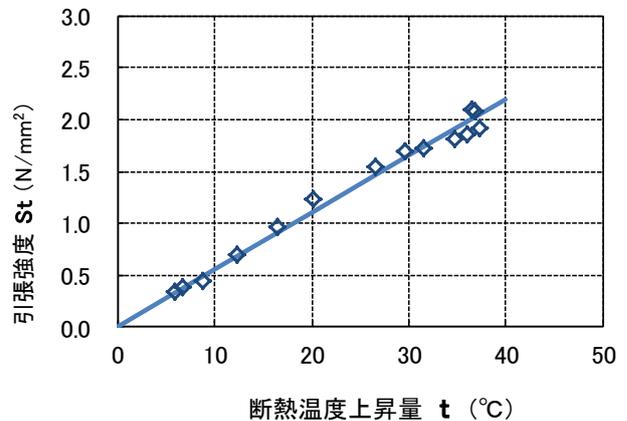


図-4 引張強度—断熱温度上昇量の関係

引張強度と断熱温度上昇量の関係を式(2)の直線で表すことができる。

$$St=0.055t \quad (2)$$

ここに、 St : 引張強度(N/mm^2)

t : 断熱温度上昇量($^{\circ}\text{C}$) である。

3.2 温度応力拘束下での引張および圧縮試験

実験で得られた普通ポルトランドセメントのひずみ履歴を図-5、高炉セメントB種のひずみ履歴を図-6に示す。

また、実験で得られた普通ポルトランドセメントの応力と材齢の関係を図-7、高炉セメントB種の応力と材齢の関係を図-8に示す。考察として、高炉セメントB種の引張応力が引張強度モデルを超えており、破断していることが分かる。

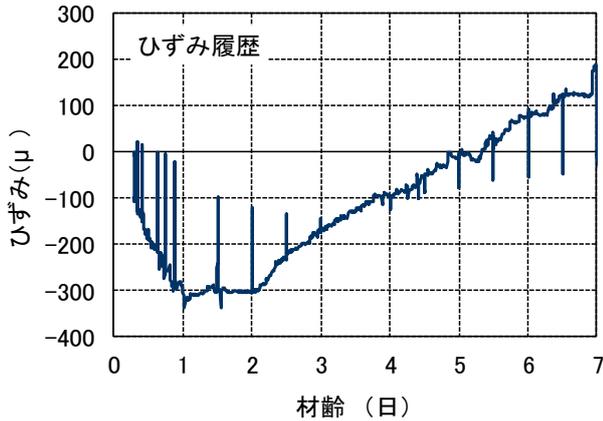


図-5 普通ポルトランドセメントのひずみ履歴

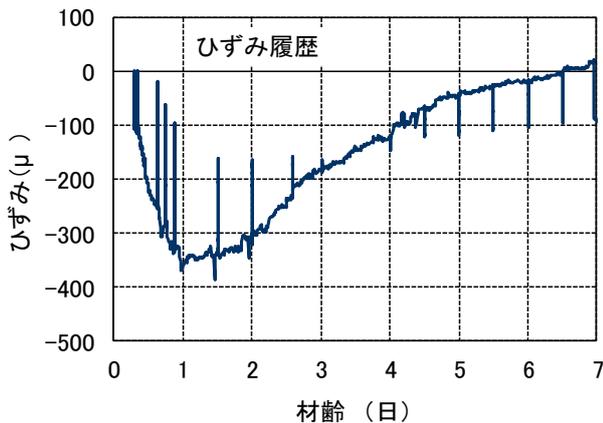


図-6 高炉セメントB種のひずみ履歴

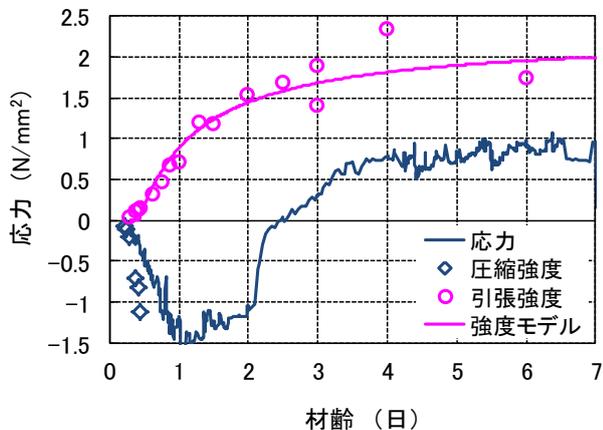


図-7 普通ポルトランドセメントの
応力-材齢の関係

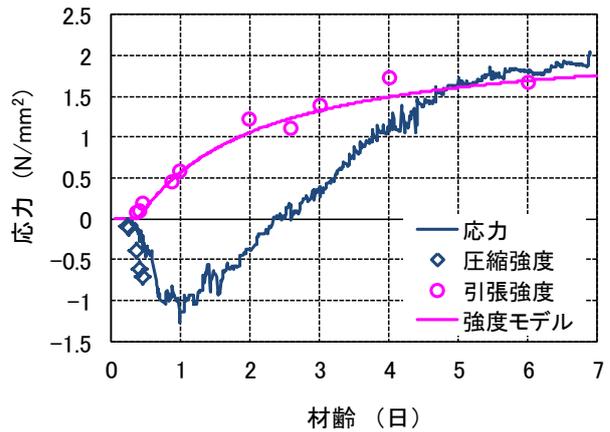


図-8 高炉セメントB種の応力-材齢の関係

3.2.1 応力-ひずみ関係

普通ポルトランドセメントの温度応力拘束下におけるコンクリートの応力-ひずみ関係を図-9、高炉セメントB種を図-10に示す。この実験結果により、普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントB種のどちらも現状の土木学会有効ヤング係数法¹⁾よりも圧縮クリープおよび引張クリープによって応力が小さくなる。

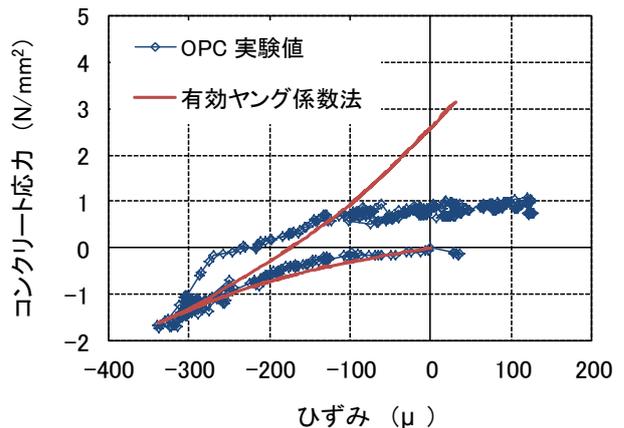


図-9 普通ポルトランドセメントの
応力-ひずみ関係

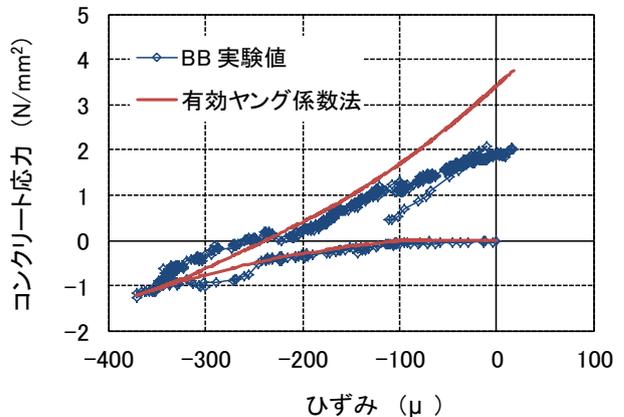


図-10 高炉セメントB種の応力-ひずみ関係

3.2.2 粘弾性モデル

図-9、図-10における結果からモデルを考えるため、全ひずみがクリープひずみと弾性ひずみからなるモデルを作成し、実験的に求めた。除荷および再載荷におけるクリープひずみと弾性ひずみのモデルを図-11に示す。粘弾性は弾性体であるバネと粘性体であるダッシュポットで示す。

普通ポルトランドセメントのクリープひずみおよび弾性ひずみと材齢の関係を図-12、高炉セメントB種のクリープひずみおよび弾性ひずみと材齢の関係を図-13に示す。普通ポルトランドセメントのヤング係数と引張強度の関係を図-14、高炉セメントB種のヤング係数と引張強度の関係を図-15に示す。

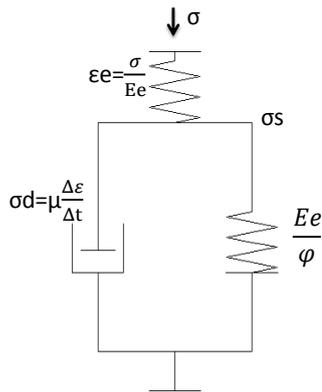


図-11 クリープひずみのモデル

ここに、 σ : コンクリート応力、 ϵe : 弾性ひずみ、 Ee : 有効ヤング係数、 σs : バネ応力、 ϕ : クリープ係数、 Δt : 経過時間、 $\Delta \epsilon$: ひずみ増分

粘弾性モデルを用いて行った解析例を示す。若材齢コンクリートにおける温度応力拘束下での今回の実験では、普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントB種の両方ともに材齢3日までは全ひずみとクリープひずみがほぼ同じ値であるが、それ以降は全ひずみとクリープひずみに差があるため、引張クリープがあることが分かる。

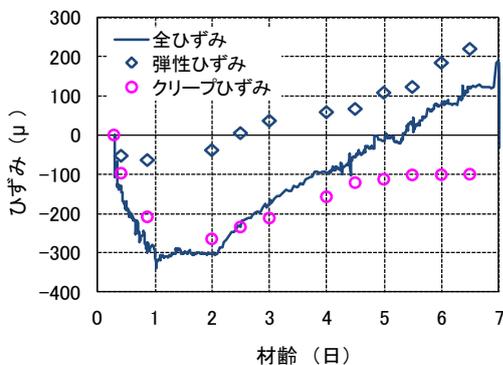


図-12 普通ポルトランドセメントのクリープひずみと弾性ひずみ

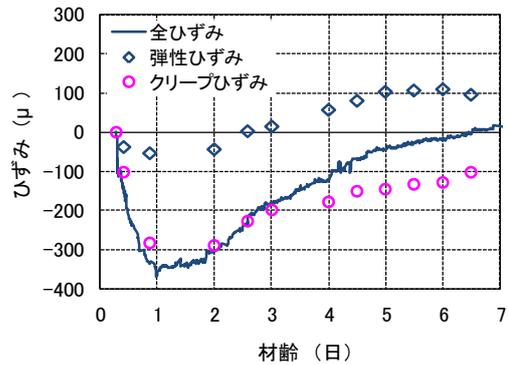


図-13 高炉セメントB種のクリープひずみと弾性ひずみ

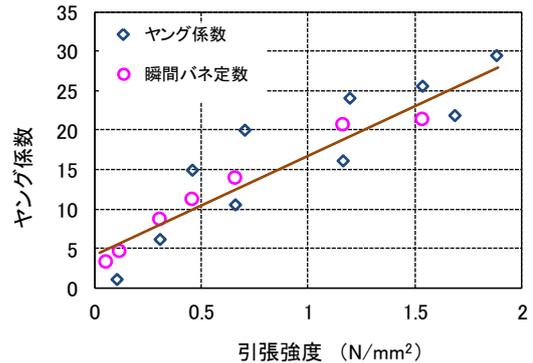


図-14 普通ポルトランドセメントのヤング係数-引張強度の関係

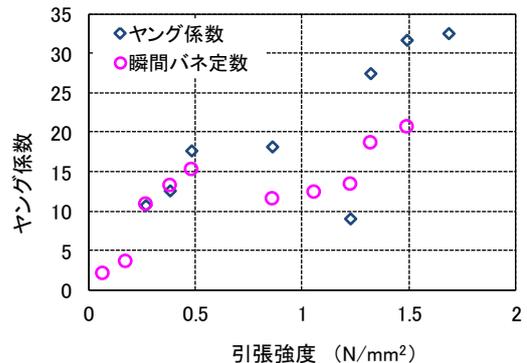


図-15 高炉セメントB種のヤング係数-引張強度の関係

4. 結論

断熱温度上昇試験および若材齢コンクリートにおける温度応力拘束下でのひずみ変化を測定する実験結果から、以下の結論が得られた。

- (1) 断熱温度上昇試験から得られた引張強度と断熱温度上昇量の関係は直線となった。
- (2) 現状の有効ヤング係数法よりも圧縮クリープおよび引張クリープによって応力が小さくなる。
- (3) モデルの瞬間バネ定数とシリンダーで測ったヤング係数はほぼ同じになり、引張強度に対して直線的に増加する。

参考文献

- 1) 2007年制定コンクリート標準示方書[設計編], 土木学会, 2007.12