

リング試験法による自己収縮拘束応力の評価

金沢大学大学院 学生会員 ○ 久保 ホベルト 洋
金沢大学 正会員 五十嵐 心一
金沢大学 フェロー 川村 満紀

1. 序論

低水セメント比の高強度コンクリートは若材齢において著しい自己収縮を生じる。この収縮が拘束されると、自己収縮拘束応力の発現によってひび割れを生じさせたり破断を生じたりする可能性が指摘されている。したがって、高強度コンクリートの自己収縮だけではなくその拘束応力の発現特性を明らかにすることも重要な研究課題となっている。本研究においては、若材齢から均一な拘束を与えることが可能でかつ簡便な拘束試験方法であるリング試験法を適用し、自己収縮ひずみおよび拘束応力の発現特性を若材齢コンクリートのクリープ特性と関連づけながら考察した。

2. 実験概要

2.1 使用材料およびモルタルの配合

使用したセメントは普通ポルトランドセメントであり、骨材は石川県手取川産川砂(密度：2.57kg/cm³、吸水率：2.73%(粗骨材)、2.29%(細骨材))を使用した。使用したシリカフュームの比表面積は 20.0m²/g、SiO₂含有量は 90.8%であり、そのセメントとの置換率は 10%とした。水セメント比は 0.25 とし、ポリカルボン酸系高性能減水剤を使用してスランプ値が

10±2cm になるようにした。高強度コンクリートの配合を表-1に示す。

表-1 高強度コンクリートの配合 (kg/m³)

略語	W/B	水	セメント	シリカフューム	細骨材	粗骨材	減水剤(%)
PC	0.25	145	581	0	559	1086	1.7
SF	0.25	142	510	57	559	1086	2.6

2.2 供試体の作成および養生

(1)割裂引張強度試験 JSCE-F506に準じて直径 50mm、高さ 100mm の円柱供試体を作成し、20℃の密封養生を行った。所定材齢にて JIS A 1113 に準じて割裂引張強度および圧縮強度試験を行った。

(2)リング試験 図-1に示すように、鋼製リングの外側にコンクリートを打設しリング試験体(高さ 50mm)とした。コンクリートは打設直後からポリエチレンシートで密封した。自由収縮試験では外側、内側の両リングを取りはずし、拘束を与える場合は外枠リングのみ取りはずした。コンクリートにひずみゲージを貼り付けた後に再び密封養生を継続し、拘束収縮の場合は鋼リングに貼り付けたひずみゲージによって測定されたひずみ変化からコンクリートリングの円周方向の引張応力を求めた[1]。

(3)蛍光顕微鏡観察 (2)のリング試験終了後の供試体から鋼リング近傍円周方向が観察面になるように厚さ約 10mm の薄板を切り出し、エタノールに浸漬後蛍光染料含有エポキシ樹脂を含浸させた。エポキシ樹脂硬化後、耐水研磨紙を用いて注意深く研磨して、蛍光顕微鏡観察試料とした。

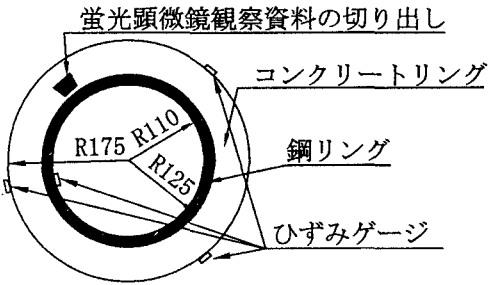


図-1 リング試験供試体図

3. 結果および考察

図-2 はシリカフューム混入および無混入のコンクリートの自由収縮ひずみと鋼製リングにより拘束を与えたときの収縮ひずみの経時変化を示したものである。自由収縮ひずみは、いずれのコンクリートも脱型直後の数時間で収縮ひずみは著しく増大するが、材齢 18 時間程度でひずみの増大割合が小さくなり、材齢 24 時間以降は単調に増加している。また拘束収縮ひずみでは、シリカフューム混入の有無によるひずみの差は、材齢 48 時間前後までは認められない。しかしそれ以降、シリカフューム無混入コンクリートの収縮が継続して増大するのに対して、シリカフュームコンクリートにはひずみの変化がほとんど認められず、結果として自由収縮の場合とは対照的に、シリカフューム混入供試体の方が小さいひずみを示している。

図-3 は鋼リングの円周方向ひずみから求めたコンクリートの引張応力の経時変化を示したものである。

材齢 24 時間まで引張応力に差は認められないが、シリカフェーム無混入ではその後も引張応力は単調に増大して、材齢 7 日で約 2.5MPa と比較的高い応力を示すのに対して、シリカフェームコンクリ

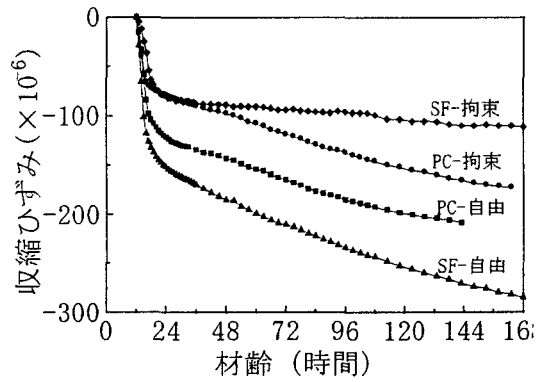


図-2 収縮ひずみ-時間曲線

ートのにおける増大は比較的小さい。また図-2 の自由収縮ひずみの変化と比較すると明らかに、シリカフェームコンクリートの自己収縮ひずみは大きいとその拘束応力はシリカフェーム無混入コンクリートより小さい。

図-4 に自由収縮ひずみから拘束収縮ひずみを差し引いたひずみの材齢にともなう変化を示す。シリカフェーム無混入の供試体では材齢 24 時間以降のひずみ差はほとんど変化しないのに対して、シリカフェームコンクリートでは材齢 24 時間以降もほぼ一定の割合で増大している。

表-2 にそれぞれのコンクリートの引張強度試験結果と弾性係数の変化を示す。引張強度はシリカフェームコンクリートの方が低く、その差は材齢の進行とともに大きくなっている。一方弾性係数については、両者に大きな差はない。割裂引張強度試験結果と図-3 の引張応力から材齢 1 日以降の応力/引張強度比を計算すると、シリカフェーム無混入コンクリートでは 0.23~0.36 の応力/強度比であり、シリカフェームでは 0.25~0.33 となりほぼ同程度の応力/強度比であったことがわかる。自由収縮ひずみと拘束収縮ひずみの差を鋼リングの拘束応力による弾性ひずみとそれにもなうクリープひずみと考えると、弾性係数や応力/強度比に大きな差がないことから、非常に若い材齢で載荷される場合シリカフェームコンクリートの方が大きな引張クリープひずみを示すことがわかる[2]。

写真-1 はリング試験終了後のシリカフェームコンクリートの蛍光顕微鏡像を示したものである。大きな骨材の周囲に沿って蛍光度の高い多孔質領域が観察される。これは、低水セメント比のシリカフェームコンクリートであり、骨材-セメントペースト間に遷移帯の形成は考えられないことから、骨材により収縮が拘束されたことによる微細ひび割れ領域と考えられ、これがコンクリートのクリープ特性に影響を及ぼすことが考えられる。

4. 結論

- (1) 自己収縮ひずみはシリカフェームの混入により増大するが、その拘束応力は必ずしも自己収縮ひずみの大きいものほど大きくなるとは限らない。
- (2) ごく若い材齢で載荷されると、シリカフェームコンクリートの方が大きなクリープ変形を示し、自己収縮の拘束によるひび割れ発生がクリープを増大させることが考えられる。

参考文献 [1]Swamy, R. N. et al., Cement, Concrete and Aggregates, Vol. 1, No. 1, pp. 13-20, 1979.
[2]Kovler, K. et al., Materials & Structures, Vol. 32, No. 219, 383-387, 1999

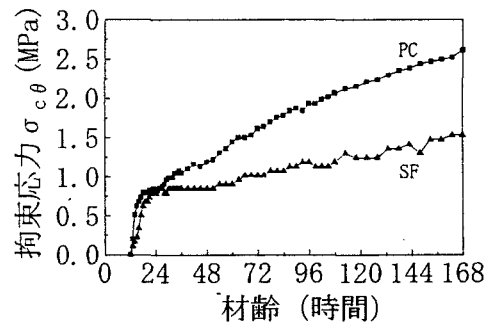


図-3 コンクリート引張応力

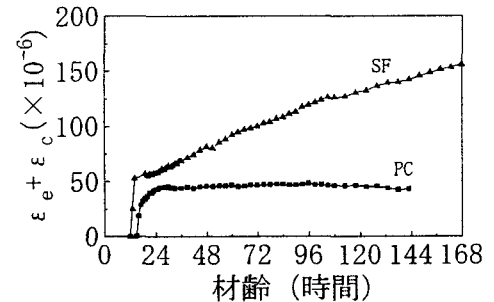


図-4 自由収縮ひずみと収縮ひずみの差

(ϵ_e :弾性ひずみ, ϵ_c :クリープひずみ)

表-2 弾性係数及び引張強度試験結果

	弾性係数 (GPa)			引張強度試験 (MPa)		
	材齢 (日)			材齢 (日)		
	1	3	7	1	3	7
PC	21.93	30.98	34.02	3.21	4.91	6.94
SF	20.24	29.64	31.24	2.94	4.01	4.52

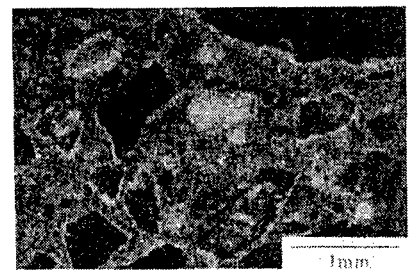


写真-1 蛍光顕微鏡観察

シリカフェーム混入-材齢 168 時間