

V-154

内外に温度差を受ける円筒のひび割れ性状

東北工業大学 正会員 ○ 秋田 宏

" " 小嶋三男

東北大学 " 尾坂芳夫

1. まえがき

コンクリート製円筒が内外に温度差を受ける場合の温度応力は、境界条件が明りょうであるため弾性理論により容易に求められる。しかし、弾性理論で求めた曲げ応力がコンクリートの曲げ強度に達すると、ひび割れが発生するのかどうかは必ずしも明らかではない。

本稿は、コンクリート製円筒の温度応力によるひび割れ性状を、実験的に調べたものの報告である。実験では、円筒内外の温度差を徐々に増やしながらひび割れを発生させ、AE（アコースティック・エミッション）の発生数とひずみの計測および目視による観察を行った。

2. 供試体および実験装置

供試体は、内径 24cm、外径 36cm、高さ 20cm の円筒で無筋とした。材料は、普通コンクリート、メサライトを用いた軽量コンクリート、モルタルおよびセメントペーストの4種類とした。

実験装置は図-1であり、ひび割れを観察するために透明な容器を用い、円筒の上下を発泡スチロールにより断熱して上下方向の温度変化を小さくした。円筒の内側はラボスターラーで攪はんしながら、デジタルプログラム調節計で温度制御したパイプヒーターにより加熱した。内側の温度上昇速度を3種類とし、ケース1を $1^{\circ}\text{C}/5$ 分、ケース2を $1^{\circ}\text{C}/10$ 分、ケース3を $1^{\circ}\text{C}/20$ 分とした。外側は、4台の水中ポンプにより攪はんし、冷却機とセンシティブリレーで制御したパイプヒーターにより一定温度に保った。

3. 累積AE発生数とひずみ測定結果

図-2は、ケース1における軽量コンクリートに関し、ひずみ変化と累積AE発生数とを対比させたものである。目視によるひび割れ検出時期が、ひずみの急変、AE発生数の急増期と良く一致していることがわかる。この例では、ひび割れが測点3と4

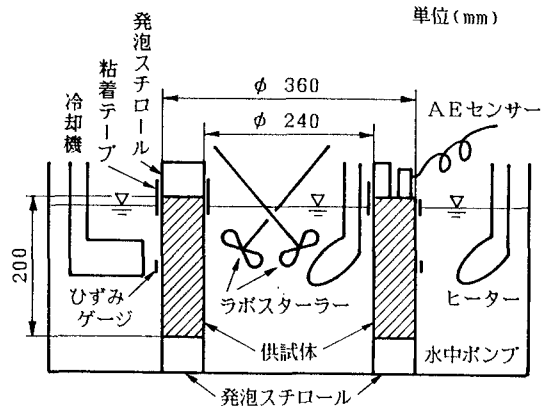


図-1

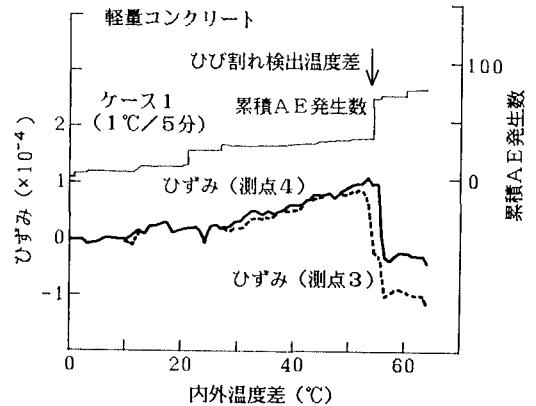


図-2

の中間を通っており、図には示していないが、他の測点も同様な変動を示している。ここで、ひび割れ検出後にひずみが圧縮側に転じていることの意味はさだかではない。実験に先立ち、円筒内外の温度を1時間同一に保ったが、それで打ち消される程度以上にひずみゲージ接着時の乾燥の影響が大きかったのかどうか、さらに検討を要するところである。

4. ひび割れ観察結果

実験中のひび割れ発生状況では、セメントペースト供試体はいずれのケースにおいても音を立てて一気に貫通破断しており、以後は温度差の増加につれて破断部の開口幅が増加するだけであった。モルタル供試体はケース1だけが、セメントペースト供試体と同様に破断し、残りはコンクリート供試体と同様に、ひび割れ幅が小さいため検出が困難であった。これは、モルタルがひび割れに関してセメントペーストとコンクリートの、中間的な性質を持つことを示し、Moavenzadeh らが梁の3点曲げ実験で得た結果と一致する¹⁾。

表-1は、ひび割れ検出温度差と、弾性計算による外縁の引っ張り応力が曲げ強度に達する温度差を比較したものである。実験値ではケースに応じた傾向が見られないが、リラクセーションの影響が無いのではなく、供試体個々のばらつきが大きいためと考えられる。特にセメントペースト供試体では、実験値が計算値の半分以下となっており、これはひずみゲージ接着時の乾燥が原因と考えられるが、さらに追加実験により確認する必要がある。

表-2に実験終了後のひび割れ観察結果をまとめたが、1本またはほぼ軸対称な位置（円筒の中心を軸として180°回転した位置、ただし実際には150°から180°の範囲でバラついている）に2本見られた。ここで、ケース3の軽量コンクリートは、破断したために1本なのではなく、1本だけしか検出できなかったものである。

実験終了後のひび割れ観察では、乾いた状態では検出が困難であり、供試体を濡らし乾燥する過程でやっと検出可能であった。これから、内外温度差によりコンクリート製円筒に生じたひび割れは、温度差が取り除かれるとほぼ完全に閉じることがわかる。ただし、本実験は水中で行っているため、乾燥をとる場合はこの限りではない。ひび割れは円筒の軸にほぼ平行な面であり、普通コンクリートだけは外表面側が複雑に屈曲しているのが特徴である。

表-2に示してある、ほぼ軸対称な位置にある2本のひび割れは、いずれも貫通しているものと考えられる。なぜならば、供試体を割って調べた際ひび割れ断面全体が濡れていたため、また普通コンクリートを除いては円筒内表面にもひび割れが検出され

表-1

		ケース1	ケース2	ケース3
普通コンクリート	実験	56.5	46.5	43.4
	弾性計算	57.7	54.7	53.7
軽量コンクリート	実験	53.9	55.9	58.0
	弾性計算	67.5	64.0	62.8
モルタル	実験	42.9	50.0	45.2
	弾性計算	48.2	45.7	44.8
セメントペースト	実験	13.5	13.0	7.3
	弾性計算	32.7	31.0	30.4

表-2

	ケース1	ケース2	ケース3
普通コンクリート	2本 180°	2本 170°	2本 175°
軽量コンクリート	2本 150°	2本 160°	1本
モルタル	1本	2本 170°	2本 160°
セメントペースト	1本	1本	1本

たためである。しかしながら、貫通していると思われる2本のひび割れがあるにもかかわらず、供試体は2つに分かれることなく円筒を保っているのである。この理由が、ひび割れ断面内にまだ割れていない部分が残っているためか、ひび割れ断面の凹凸による噛み合いのためかは明らかでない。ただし、普通コンクリートではひび割れが粗骨材を回り込んでいるが、軽量コンクリートでは粗骨材自体も割れており、ひび割れ断面の噛み合わせが良いとは思われない。

ひび割れ面全体が濡れていることを、ひび割れはまだ貫通していないが、破壊過程領域（Fracture process zone²⁾）が内表面まで到達したものとも考えることもできる。特に、内表面にひび割れの見られない普通コンクリート供試体では、この考え方が当てはまる。一方、内表面にもひび割れの見られるモルタルや軽量コンクリート供試体では、当てはまらないようにも思われるが、ひび割れの検出は非常に困難であって、断面の全周にわたって確認できた訳ではないので、この考え方を否定できるほどではない。

参考文献

- 1) Moavenzadeh, F. and Kuguel, R. : Fracture of Concrete, J. Materials, Vol.4, No.3, pp.497-519, 1969.
- 2) 三橋博三：コンクリートの破壊力学の現状と展望, コンクリート工学, Vol.25, No.2, pp.14-25, 1987.