

[2003] 曲げを受けるコンクリートはりの複数ひびわれ

栗原哲彦*1・安藤貴宏*2・内田裕市*3・六郷恵哲*4

1. はじめに

引張を受けるコンクリートは強度点以降も応力伝達がなされる特性（引張軟化特性）を有していることが一般的に認識されるようになり、コンクリート部材の破壊現象に対してこの特性が大きな影響を与えている場合のあることが明らかにされてきている。たとえば、曲げを受ける無筋コンクリートはりの場合、最大曲げモーメントを断面係数で除すことで得られる曲げ強度は引張強度より高く、さらに曲げ強度ははり高さに依存することが引張軟化を考慮することで解析的に説明できるようになっている。

ところで、昨年、日本コンクリート工学協会において「コンクリート構造の破壊に関する共通解析および実験」が実施され、その中の一つの問題として「無筋コンクリートはりの曲げ破壊の実験および解析」が採り上げられた。そこでは、主に耐力ならびに荷重-変位曲線に関して解析方法の違いによる比較、あるいは実験値と解析値の比較が行われた。しかし、ひびわれの進展の状況に関しては、特にそれに着目した詳細な実験データがなかったため、解析結果の妥当性は検討されなかった。

本研究では、曲げを受ける無筋コンクリートはりのひびわれ進展過程に関する実験データを得ることを目的として、電気抵抗線ひずみゲージによりひびわれを検出する方法を用いて、ひびわれの発生・進展の過程を計測するとともに、同方法の問題点についても検討した。

2. 実験概要

供試体の種類および寸法を表-1に示す。供試体ははり高さを30cm、20cm、10cmとした正方形断面はりである。はり高さ10cmの供試体については、スパンを30cmとしたものと80cmとしたものを用いた。供試体数は、はり高さ30cmと20cmのものについては2体であり、はり高さ10cmのものについては1体である。コンクリートにはレディーミクストコンクリート（粗骨材最大寸法：15mm）を使用し、打設後約3ヶ月間湿布養生し、その後載荷試験時（材齢682～700日）まで実験室内で気中養生した。したがって、試験時には供試体は十分に乾燥し、乾燥収縮による内部応力はほとんど無視できる状態になっているものと考えられる。試験時材齢におけるコンクリートの圧縮強度（ $\Phi 10 \times 20\text{cm}$ ）、割裂引張強度（ $\Phi 15 \times 15\text{cm}$ ）、曲げ強度（ $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ ）および弾性係数は、それぞれ 394kgf/cm^2 、 29.8kgf/cm^2 、 64.2kgf/cm^2 、お

表-1 供試体

供試体	供試体寸法 (cm) 幅×高さ×スパン	曲げ強度 (kgf/cm^2)
S3090-1	30×30×90	55.1
-2		43.1
S2060-1	20×20×60	56.3
-2		52.9
S1030	10×10×30	66.0
S1080	10×10×80	48.7

*1 岐阜大学助手 工学部土木工学科、工修（正会員）

*2 岐阜大学大学院 工学研究科土木工学専攻

*3 岐阜大学助教授 工学部土木工学科、工博（正会員）

*4 岐阜大学教授 工学部土木工学科、工博（正会員）

よび $2.45 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ であった。曲げ試験は、S1090 供試体については荷重スパンを 80cm（モーメントスパン 30cm、せん断スパン 25cm）とし、その他の供試体についてはすべて 3 等分点荷重とした。曲げ荷重により発生するひびわれを検出するために、モーメントスパンの引張縁にはり軸に沿ってゲージ長 30mm、10mm および 3mm の電気抵抗線ひずみゲージ（以下、単にゲージと呼ぶ）を貼り付けた。図-1 にゲージ貼り付け位置の一例を示す。S3090 と S2060 供試体については、2 体の内 1 体には 30mm と 10mm のゲージを、他の 1 体には 30mm、10mm および 3mm のゲージを貼り付けた。S1030 供試体には 30mm、10mm および 3mm のゲージを、S1080 供試体には 30mm と 10mm のゲージを貼り付けた。さらに、すべての供試体において荷重と荷重点変位を計測した。

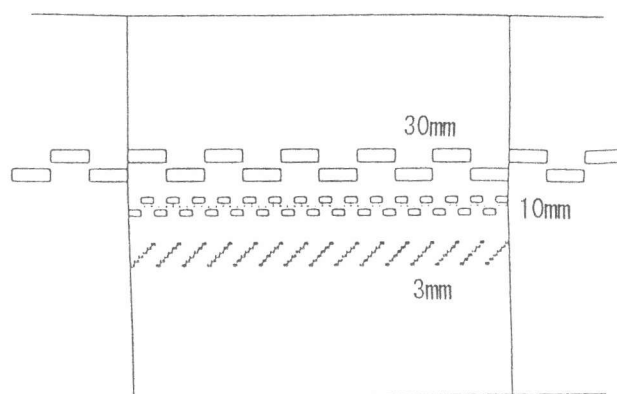


図-1 ゲージ貼り付け位置

3. 実験結果および考察

(1) 複数の微細ひびわれの発生

図-2 (a) に S3090-2 の荷重-変位曲線を、図-2 (b) に試験終了後に目視で観察したモーメントスパン内供試体底面（引張縁）のひびわれ図を、図-2 (c)～(f) にひずみゲージにより計測された引張縁のひずみ分布を示す。図-2 (c)～(f) のひずみ分布は荷重-変位曲線中の○、●、◆、◇、■、□、▲印で示した荷重時のものであり、図中最下段に最終破断位置が○で示されている。同様に、図-3 に S2060-2 の実験データを示す。

特にゲージ長を 10mm あるいは 3mm とした場合、いずれの供試体においても最大荷重点に達する以前に、最終破断位置以外においてひずみが局所的に大きくなる箇所が複数計測された。しかし、目視観察では破断位置以外にはひびわれは確認できなかった（ただし、破断位置から分岐したひびわれが発生しているものはあった）。このことは、曲げモーメントにより破断面以外にも複数の微細なひびわれが離散的に発生していることを示しているものと考えられる。

ひずみが局所的に大きくなる箇所の数はゲージ長が短くなるほど多くなり、またそこで計測されるひずみの値もゲージ長が短いほど大きくなった。たとえば、はり高さ 30cm の供試体では $1000 \sim 2000 \times 10^{-6}$ のひずみが計測された（図-2 (f)）。さらに、ひずみが局所的に大きくなる箇所の幅（微細ひびわれの影響域の幅）は、3mm のゲージで連続した 3 枚程度以下、すなわち 10mm 程度以下であった。したがって、このようなひびわれを 30mm ないしはそれ以上の長さのゲージで計測することは、ゲージ長内でひずみが平均化されてしまうため検出が困難であると考えられる。

(2) 微細ひびわれの成長と閉口

ひずみが局所的に大きくなる箇所は、荷重が低い段階（最大荷重の $1/3$ ないしは $1/2$ 程度）から、すでにひずみが他の領域より大きくなる傾向があり、何らかの初期欠陥の存在をうかがわせる結果になっている。

いずれの供試体においても、またいずれのゲージ長の場合でも、最大荷重のごく直前に達するまで微細ひびわれ部を含め計測されたひずみはすべて単調増加しており、ひずみが減少する現象は認めら

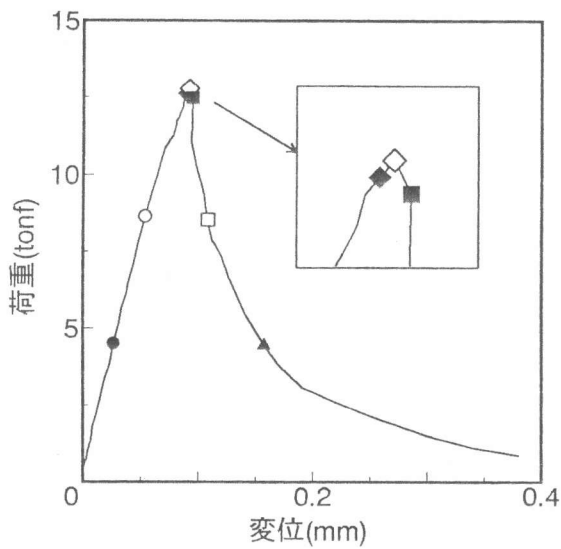


図-2(a) 荷重-変位曲線(S3090-2)

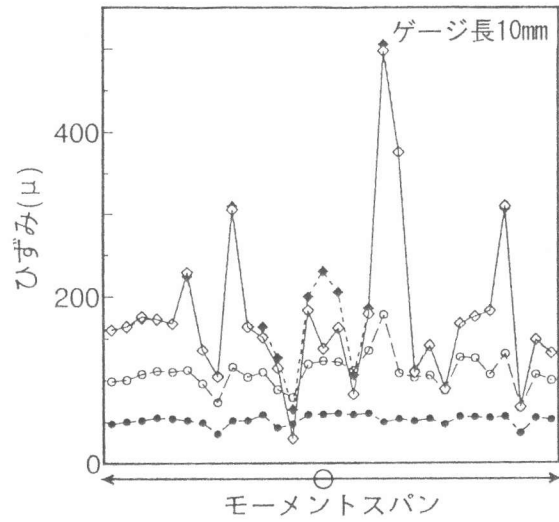


図-2(d) ひずみ分布(最大荷重前)

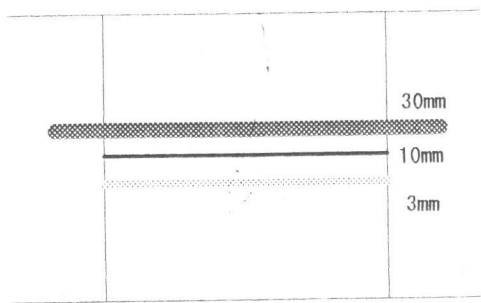


図-2(b) 引張縁のひびわれ

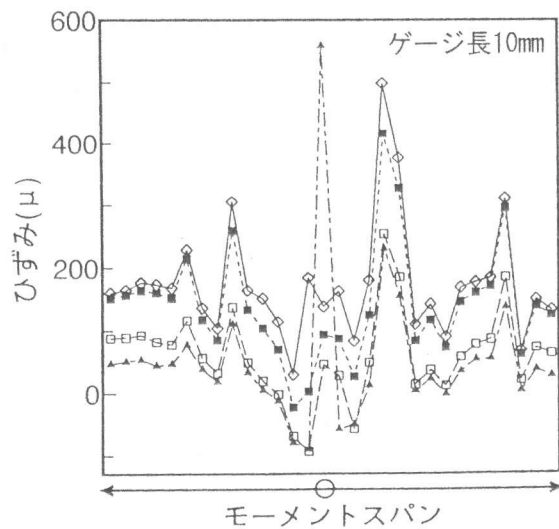


図-2(e) ひずみ分布(最大荷重後)

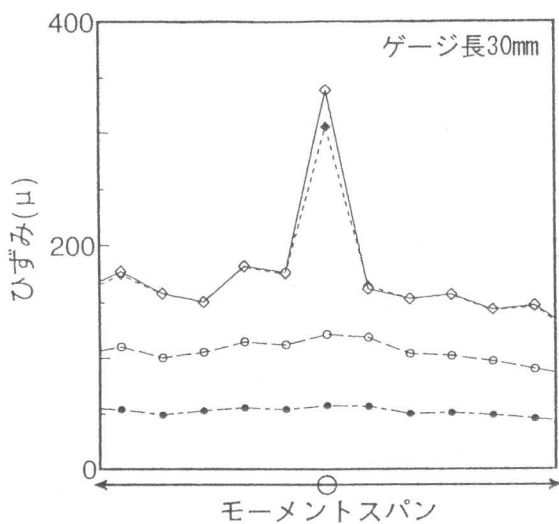


図-2(c) ひずみ分布(最大荷重前)

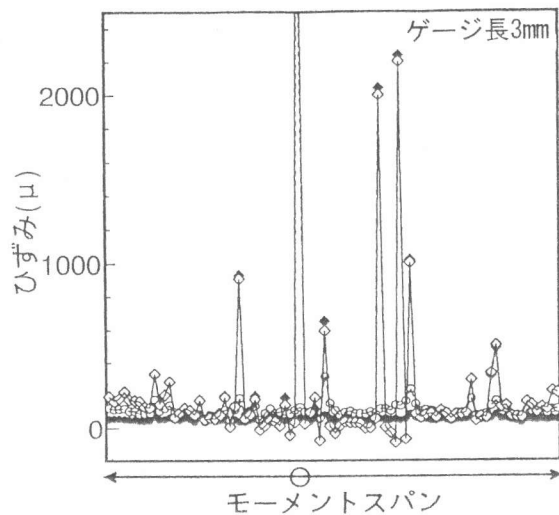


図-2(f) ひずみ分布(最大荷重前)

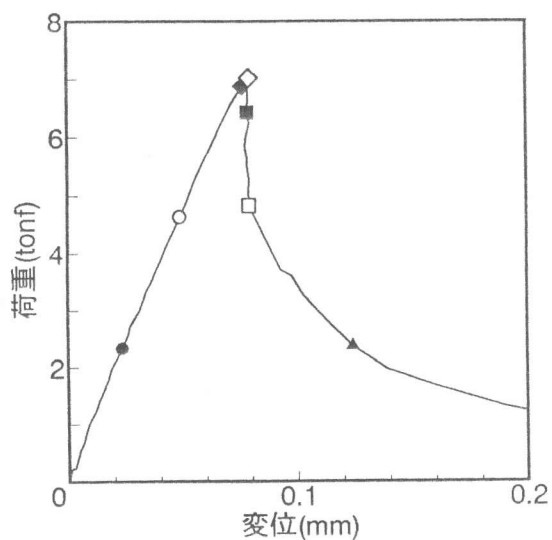


図-3(a) 荷重-変位曲線(S2060-2)

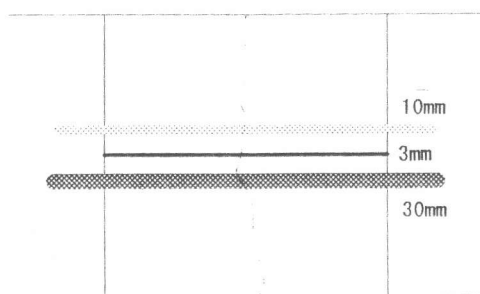


図-3(b) 引張縁のひびわれ

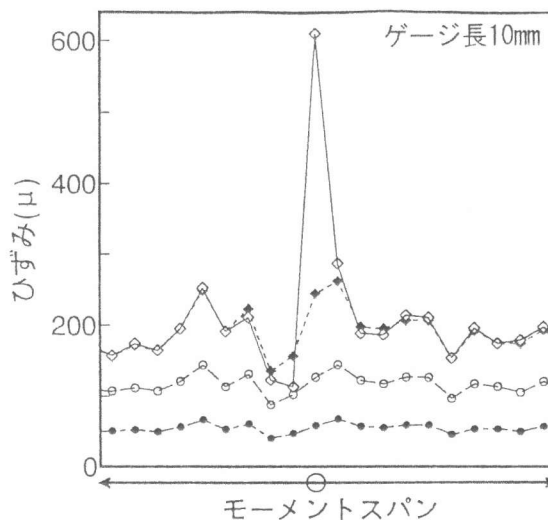


図-3(d) ひずみ分布(最大荷重前)

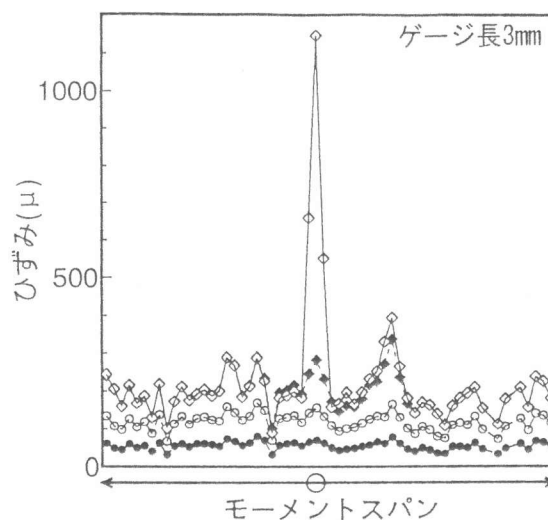


図-3(e) ひずみ分布(最大荷重前)

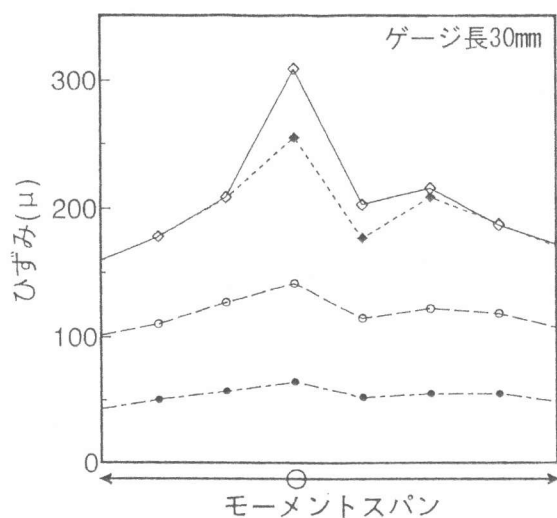


図-3(c) ひずみ分布(最大荷重前)

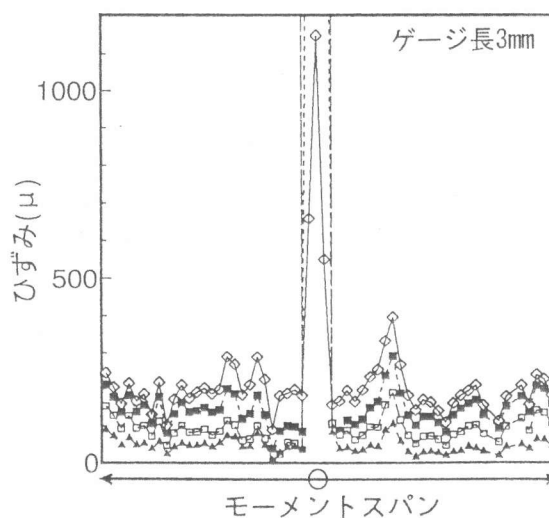


図-3(f) ひずみ分布(最大荷重後)

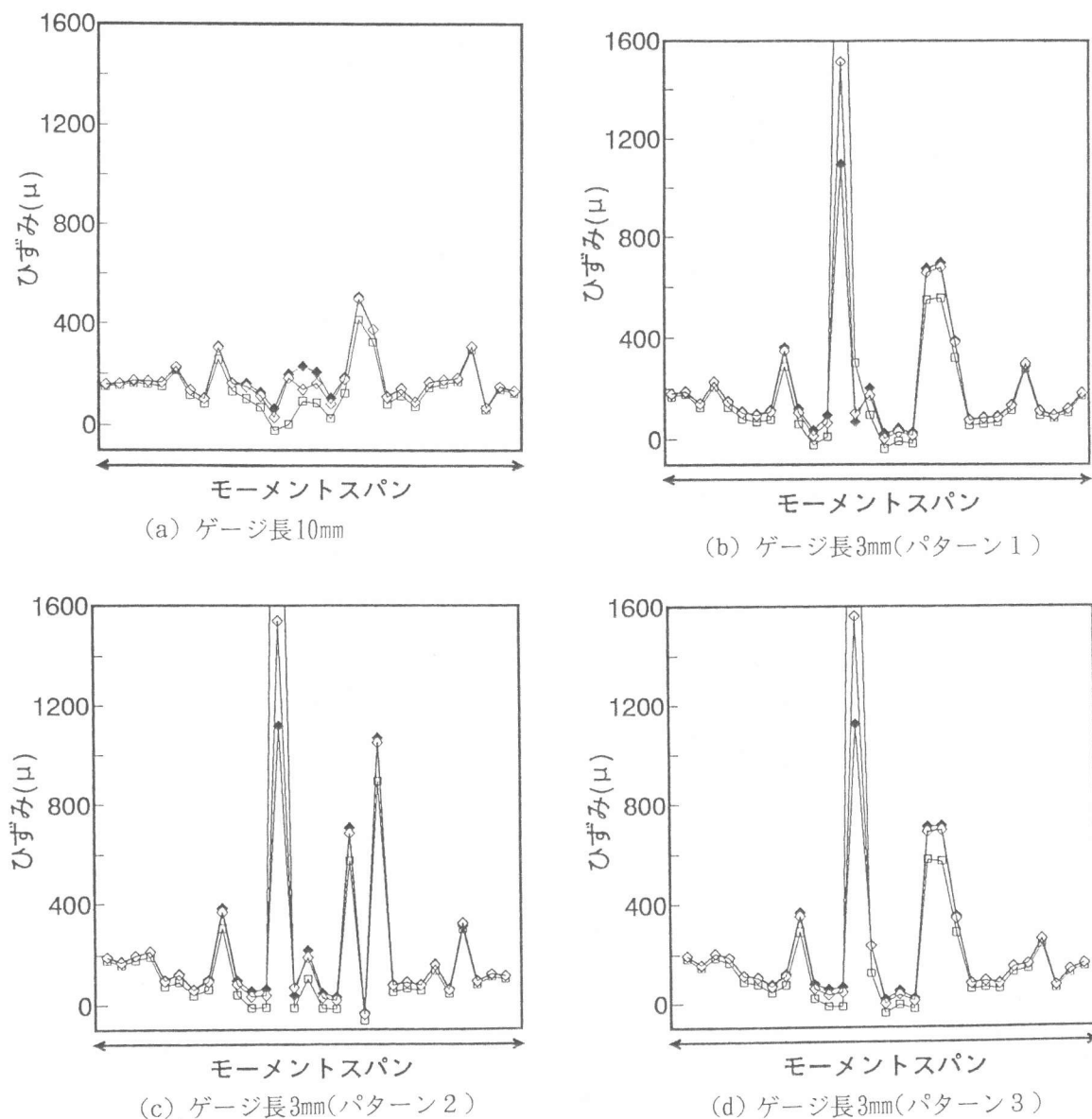


図-4 平均化したひずみの分布

れなかった。最大荷重時には、最終破断位置のひずみが急激に増加し、その近傍のひずみが減少することが確認された。最大荷重時以降においては、最終破断位置以外のひずみはすべて減少し、微細ひびわれは閉口する傾向が見られた。

(3) ゲージ長が異なる場合の平均ひずみ

S3090-2 供試体において、連続した3mmのゲージ3枚で計測されたひずみを単純平均して求めたひずみ分布と、10mmのひずみゲージで計測されたひずみ分布の比較を図-4に示す。ただし、3枚の平均を取る場合に図-5に示すようにゲージを1枚ずつずらした3パターンで行った。その結果、ひずみ分布の形状は、10mmの場合と3mmの場合であまり一致しなかった。また3枚のゲージの組み

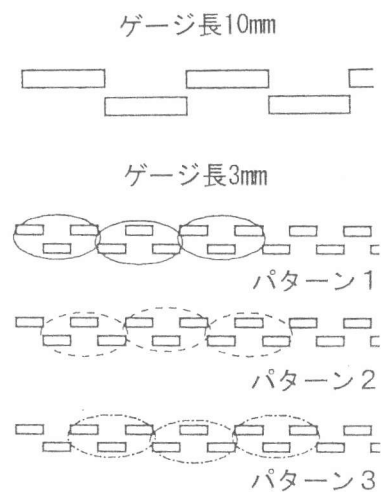


図-5 ひずみ平均化のパターン

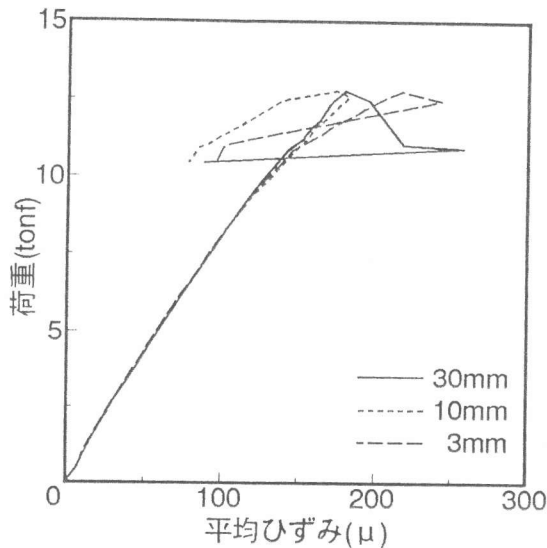


図-6(a) 荷重-平均ひずみ曲線(S3090-2)

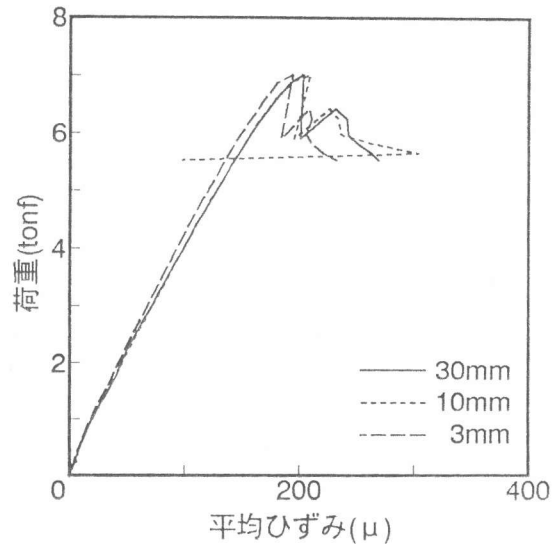


図-6(b) 荷重-平均ひずみ曲線(S2060-2)

合わせ方によっても分布形状に差が生じた。このことは、10mmのゲージで貼り付け位置を載荷スパン方向にずらした（例えば、図-5においてパターン1～3に相当する位置にずらした）場合には、分布形状が変化してしまう可能性のあることを示しているものと考えられる。

ゲージ長の異なるそれぞれのゲージで計測されたひずみをモーメントスパン内で平均して求めた平均ひずみ（ただし断線したものは除く）と荷重の関係を図-6に示す。いずれの供試体においても、荷重-平均ひずみの関係は最大荷重点まではゲージ長の違いによる差は見られなかった。しかし、最大荷重点以降はゲージ長が異なるそれぞれ違った挙動を示した。このことは、少なくとも最大荷重点までは、引張縁の平均ひずみを計測する場合にはゲージ長の影響はないことを示している。

4. まとめ

本研究で得られた主な結果は以下のとおりである。

- (1) 曲げを受ける無筋コンクリートはりの引張縁には、破断面以外にも複数の微細ひびわれが離散的に生じることが、ゲージ長が10mmや3mmの電気抵抗線ひずみゲージを用いることで確認された。
- (2) 微細ひびわれの影響域の幅は10mm程度以下であることが確認された。
- (3) 引張縁で計測されるひずみは、最大荷重の直前まで単調増加し、ひずみが減少する現象は認められなかった。最大荷重時には、最終破断箇所のひずみの増加に伴い、そのごく近傍のひずみのみ減少することが確認された。最大荷重以降は、破断位置のひずみはさらに増加するが、それ以外の領域ではひずみは減少し微細ひびわれは閉口する傾向にあることが確認された。
- (4) 3mmのひずみゲージ3枚で計測したひずみを平均して求めたひずみ分布の形状と、ゲージ長10mmのひずみゲージで計測したひずみ分布の形状はあまり一致しなかった。
- (5) 最大荷重点までは、モーメントスパン引張縁の平均ひずみはゲージ長の影響を受けないことが確認された。

なお、紙面の都合上、全供試体の実験データを示すことはできなかったが、上記の主な結果は、実験全体を通して得られたものである。

【参考文献】

- (1) 破壊力学の応用研究委員会報告書，日本コンクリート工学協会，1993