

コンクリートの曲げ破壊機構に関する研究

吉本 彰*・長谷川 博**

An Experimental Study on the Fracture of Concrete in Flexure

Akira YOSHIMOTO and Hiroshi HASEGAWA

Abstract

At the first step, the stress-strain relation of concrete in direct tension and in flexural tension were examined. The strain at the beginning of fracture in the former was about 10.6 to 12.2×10^{-5} and that in the latter was about 18.2 to 21.5×10^{-5} . These results show that the fracture of concrete beam does not start even if the extreme tensile fiber strain represents the strain at which the fracture in direct tension starts. It is assumed that the resistance of concrete beam to external force does not decrease since tensile stresses in inner fibers increase when the extreme fiber fails. Experimental results which prove this hypothesis are presented.

The notable change of stress distribution occurred when the extreme tensile fiber strain of concrete beam was over the strain at which the fracture of concrete in direct tension began, but the neutral axis did not move at this time. The rise of the neutral axis began when the extreme tensile fiber strain came to about 18.2 to 21.5×10^{-5} , i.e. the strain at the beginning of fracture of concrete beam.

1. まえがき

コンクリートの引張強度を推定する目的で曲げ試験が古くから行なわれているが、曲げ引張によるコンクリートの破壊機構はまだ十分に解明されていない。

著者らはこの機構を明らかにしたいと考え、種々の実験を試みてきた。えられた結果の中には従来の知識で説明できない現象が多く、初めのうちは五里霧中であつたが、いろんな角度から検討を加えてゆくうちにその輪廓がおぼろげに把握できるようになってきた。本論文の実験はこれまでにえられた知見にもとづいて新たに計画を練り実施したもので、曲げ破壊機構を明確にするという目的は、一応、達成することができた。以下にその詳細をのべる。

2. 実験方法

2.1 使用したコンクリートおよびモルタル

セメントには市販の普通ポルトランドセメントを用

いた。粗骨材と細骨材は、それぞれ山口県山陽町産の安山岩の碎石と砕砂で、碎石は最大寸法 25 mm, 比重 2.71, 吸水量 0.8%, 砕砂は FM 3.46, 比重 2.65, 吸水量 1.4% である。

コンクリートの配合はセメント：細骨材：粗骨材 = 1 : 2.57 : 2.43, W/C = 0.59 である。単位セメント量は 356 kg であり、練り上ったコンクリートのスランプは 2.5 cm である。コンクリートの他に、必要に応じてモルタル供試体を作製した。このモルタルの配合はコンクリート中のモルタルマトリックスの配合と同じでセメント：細骨材 = 1 : 2.57, W/C = 0.59 である。

2.2 供試体

曲げ試験用のはり供試体、引張試験用の角柱供試体および圧縮試験用の円柱供試体の 3 種類を用意した。

はり供試体は寸法 $10 \times 10 \times 50$ cm で、曲げ引張における応力とひずみの関係およびはり高さ方向のひずみ分布などを調べるのに用いた。この供試体ではコンクリートを 2 層につめ、各層ごとにスペーシングを施したのち底面 8×8 cm, 重量 8 kg のランマーを用いて突き固めた。

角柱供試体は純引張試験用として著者らが開発した

* 土木工学科

** 工業短期大学部 土木工学科

もの¹⁾で、コンクリートの純引張における応力とひずみの関係を調べるのに用いた。その概略は Fig. 1 (c) の通りで、コンクリート部分の寸法は $10 \times 10 \times 30$ cm である。これまでの経験によると、この供試体の破壊は、確実に、埋込みボルトの存在しない中央 1/3 の部分で生ずる。コンクリートの打込みは、長手方向を水平にし、はりと同じ要領で 2 層につめ、スペーシングを施したのち $16 \text{ mm}\phi$ の突き棒で各層 80 回ずつ突き固めた。

円柱供試体はコンクリートの圧縮弾性係数を調べるのに用いた。寸法は $10\phi \times 20$ cm で、コンクリートは 2 層につめ、 $16 \text{ mm}\phi$ の突き棒で各層 25 回ずつ突き固め、キャッピングは 6 h 後に行なった。

型わくに打込んだコンクリートおよびモルタルの供試体は、いずれも材令 1 日で脱型、28 日まで水中養生、その後試験直前まで室内に放置した。試験時の材令は 90~120 日である。

2.3 ひずみの測定

曲げ引張における応力とひずみの関係は Fig. 1 (a) の要領で荷重を加え、引張面にゲージ長 67 mm の抵抗線ひずみゲージ 3 枚を平行に貼りつけておき、ひずみを読みとった。

はり高さ方向のひずみ分布は Fig. 1 (b) のように、はりの側面にゲージ長 20 mm の抵抗線ひずみゲージ 10 枚を貼りつけて測定した。20 mm という短いゲージ長を用いた場合、はりがゲージ部分で破壊する確率は小さいが、本実験で用いた供試体のうちの 1 個はたまたまゲージ部分で、しかもそのほぼ中央で破壊した。この予期しないでき事のお陰で、破断面における荷重のかけ始めから破壊直前までのひずみ分布の変化を詳しく調べることができた。

純引張における応力とひずみの関係は Fig. 1 (c) のように相対する 2 つの側面に 67 mm ゲージを 1 枚ずつ貼りつけて測定した。

また、圧縮ひずみは円筒面上の向い合った位置に 67 mm ゲージを 1 枚ずつ合計 2 枚を貼りつけて測定した。

圧縮ひずみ測定の際の荷重には油圧式の試験機を用いたが、Fig. 1 (a), (b) の曲げの場合および Fig. 1 (c) の純引張の場合には、それぞれ特別に製作したスクリュー式の荷重装置を用い、荷重はプルービングリングで読みとった。

ひずみの測定は、いずれの場合も、荷重が一定量増すごとに荷重の増加を停止して行なった。Fig. 1 (b) の場合、1 つの荷重段階におけるひずみの読みとり

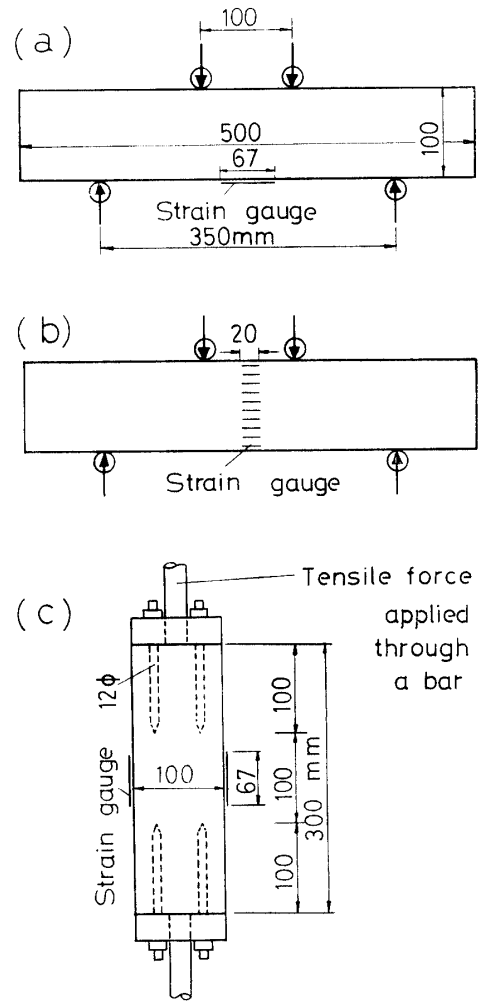


Fig. 1 Methods of applying load and locations of strain gauges.

約 50 sec を要したため、測定に要した全所要時間から求めた平均荷重速度は 1 sec あたりの曲げ応力の増加が 0.022 kg/cm^2 となっている。本実験におけるひずみの測定では、この値を荷重速度の基準にした。すなわち、Fig. 1 (a) の曲げ応力の増加割合、同図 (c) の引張応力の増加割合および円筒供試体における圧縮応力の増加割合は、すべて、平均して 1 sec あたり約 0.022 kg/cm^2 になるようにした。

3. 実験結果ならびに考察

3.1 応力とひずみの関係

純引張と曲げ引張における応力-ひずみ線図を Fig. 2 に示す。純引張の測定は 3 個の供試体について行なった。この図に示したのは変形挙動が 3 個の平均に近いものである。曲げ引張の測定は 2 個の供試体について行なった。この 2 つの測定結果には優劣をつけ

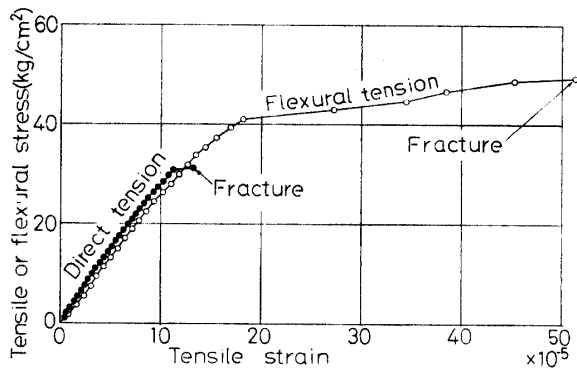


Fig. 2 Stress-strain diagram of concrete in direct tension and in flexural tension.

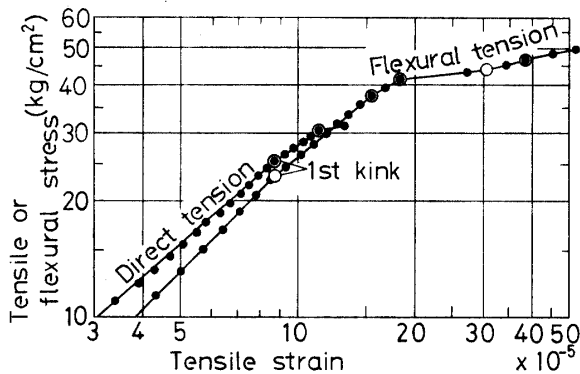


Fig. 3 Log-log plot of stress-strain data in direct tension and in flexural tension.

くく、以下の考察にはいずれを用いても差支えないので、任意に1つを選びだした。

Fig. 3 は、Fig. 2 における応力とひずみの関係に対数目盛で図示したものである。この場合、応力とひずみの関係は折線で表わされ、ひずみ速度の急変する位置に折点が現われている。このうちの最初の折点（以後、第1折点と呼ぶ）はセメントマトリックス中の微細クラックの発達が顕著になり始める点である²⁾が、この折点のひずみは純引張においても曲げ引張においてもほとんど同じである。

なお、これらの図において、引張応力とは、いうまでもなく荷重を純引張供試体の横断面で割った値であり、曲げ応力とは荷重をはりの断面係数で割った値である。

3.2 破壊点および破壊開始点

Fig. 2 の純引張供試体および曲げ供試体はいずれもゲージのほぼ中央付近で破壊を生じているが、その破壊ひずみを比較すると、純引張の値は曲げ引張に比べて著しく小さい。すなわち、曲げ引張で最終ひずみ 51.4×10^{-5} が観測されたのに対し、純引張の最終ひず

みは 13.2×10^{-5} にすぎない。

Fig. 2 および 3 から明らかなように、純引張供試体も曲げ供試体も最後の段階で伸びが急速に増大している。この伸びの増大し始める点は静的試験における事実上の破壊開始点とみることができる。Fig. 2 あるいは 3 の曲線の形からすると、純引張の場合はひずみ 11.2×10^{-5} なる点、曲げ引張の場合はひずみ 18.2×10^{-5} なる点がこれに相当する。他の2個の純引張供試体について求めた破壊開始点は 10.6 および 12.2×10^{-5} であった。¹⁾ また、他の曲げ供試体から求めた破壊開始点は 21.5×10^{-5} であった。したがって本実験に用いた供試体の破壊開始点は、純引張の場合 $10.6 \sim 12.2 \times 10^{-5}$ 、曲げ引張の場合 $18.2 \sim 21.5 \times 10^{-5}$ あたりである。この破壊開始点を比べてみても、純引張の場合は曲げ引張に比べてその値が著しく小さい。

3.3 純引張破壊の機構

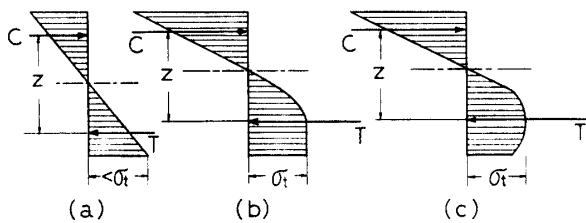
まず、純引張供試体の破壊について考えてみよう。

純引張供試体の一部に破損を生ずると、有効断面積の減少をきたしこの部分の負担がます。このとき供試体にかかりの応力あるいはひずみが発生しておれば、この負担の増加に耐えられないため、瞬時にして破壊がおこる。本実験に用いた純引張供試体では、ひずみが $10.6 \sim 12.2 \times 10^{-5}$ あたりに達したときに何らかの致命的な破損が生じたと考えることができる。

純引張の場合、コンクリート供試体の破壊ひずみはモルタル供試体のそれに比べて遙かに小さい。¹⁾ このことから、上述の致命的な破損が粗骨材の存在に由来することは明らかであり、具体的には粗骨材とモルタルマトリックスとの境界に生ずるボンドクラックを想定することができる。

3.4 曲げ破壊が純引張破壊より遅れる理由

曲げ供試体の引張面においても、そのひずみが純引張の破壊開始点のひずみに達したとき、同じような破損が生ずる筈である。にもかかわらず、Fig. 2 あるいは 3 の応力とひずみの関係には、はりが破壊するような徴候が現われていない。この理由はつぎのように考えることができる。はり供試体の引張面に破損が生じたとき、内部の応力は中立軸からの距離にほぼ比例し、中立軸に近づくにつれて小さくなっている。はり供試体では、この内部応力を増大させることによって、引張面に破損が生じたのちも外力に抵抗することができる。Fig. 4 はこれを模式的に示したもので、 σ_c は純引張供試体に破損を生ずる際の応力値を表わす。(a) は引張面の応力が σ_c に達する以前の応力分布を、(b)



(a) : Before failure of extreme fiber
(b) & (c): After failure of extreme fiber

Fig. 4 Diagrams showing stress distribution in concrete beam.

と(c)は σ_i に達したのちの応力分布を示す。引張面の応力は σ_i に達するとその値を増すことはできないが、はり内部の応力は σ_i まで増加しうるから、応力分布は(b)または(c)の状態になって外力の増加に対応することができる。

つぎに、この考え方の妥当性を確かめてみよう。

3.5 zの値の変化

はり高さ方向の応力分布を直接確かめることは、いまのところ不可能であるが、圧縮力Cと引張力Tの距離zの変化を算定すると引張側における応力分布の変化を間接的に実証することができる。すなわち、Fig. 4 (a)のように圧縮側および引張側の応力分布が

ともに三角形であれば、zの値ははり高さの2/3となるから6.7cmである。しかし、引張側応力分布が同図の(b)または(c)の形になると、zの値は6.7cmより小さくなる。

Fig. 5はコンクリート供試体についてはり高さ方向のひずみ分布を調べた結果で、(a)はひずみゲージのほぼ中央で破壊が生じた場合、(b)はゲージ端より外側1.5cmの位置で破壊が生じた場合である。破壊時の曲げモーメントは、それぞれ85.2kg・mおよび89.5kg・mであった。前述のzの値の変化は、このうちの(a)の供試体について調べればよい。Fig. 5 (a)には煩雑化を避けるため3本のひずみ分布曲線だけを示しておいたが、実際の測定は荷重34.1kg(曲げモーメント2.13kg・m)を増すごとに行ない、曲げモーメントの増加に伴う分布曲線の変化を小刻みに調べてある。

このひずみ分布曲線の測定に用いたゲージの長さは20mmである。当初、粗骨材の最大寸法25mmに対し小さすぎるのではないかと不安を抱いていたが、実際に測定してみるとFig. 5に示されているように滑らかなひずみ分布曲線がえられた。しかも引張縁ひずみが第1折点のひずみより小さいうちはひずみ分布は直線となっている。ゲージ長の選び方は今後の検討を必要とする問題であるが、少なくともFig. 5 (a),

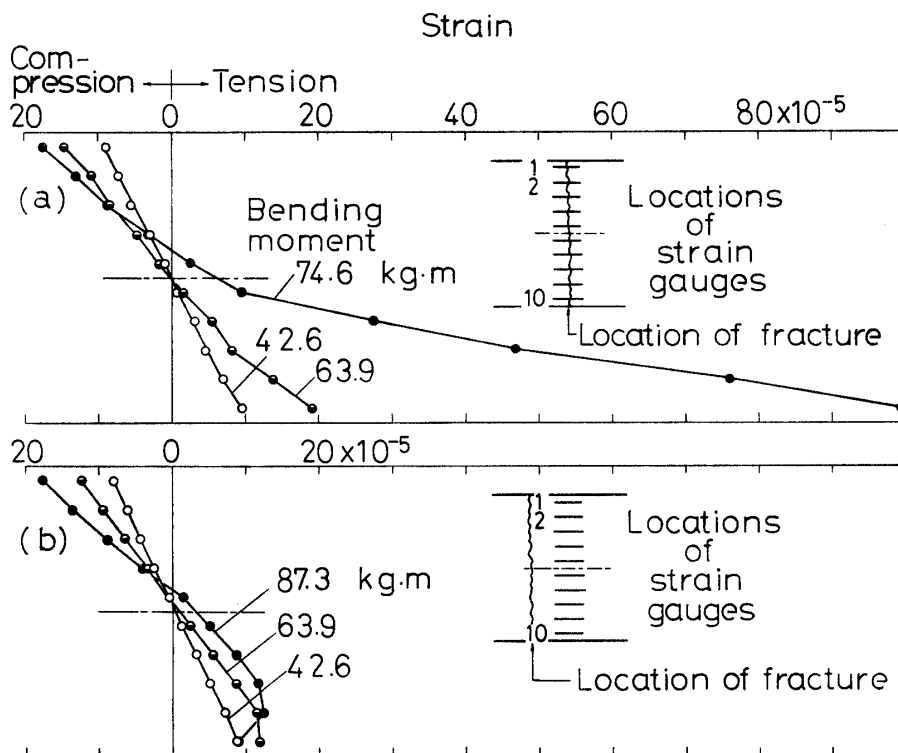


Fig. 5 Distribution of strains along depth of concrete beam.

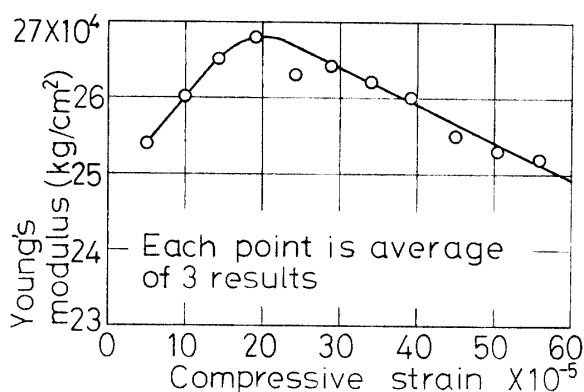


Fig. 6 Relation between compressive strain and Young's modulus.

(b) に関する限り、信頼しうる結果がえられているとみてよい。

さて、 z の値は、Fig. 5 のように図示したひずみ分布曲線からつぎの要領で求めた。(1) 圧縮側のひずみ分布曲線を延ばして圧縮縁ひずみを推定する。(2) つぎに圧縮ひずみの平均値 ϵ_{cm} を求める。(3) Fig. 6 からこの ϵ_{cm} に対応する弾性係数 E の値を求める。(4) 圧縮縁から中立軸までの距離 x をひずみ分布曲線から読みとる。(5) はりの圧縮力を $C = E \cdot \epsilon_{cm} \cdot x \cdot b$ なる式から算定する。 b は、はりの幅で、この場合 10 cm である。(6) 最後に、はりに作用している曲げモーメント M を C で割って z を求める。

Table 1 には、このようにして求めた圧縮縁ひずみと x, C および z の値を示してある。なおこの表には、参考のため、引張側のひずみ分布曲線を延長して求めた引張縁ひずみの値も示しておいた。

E の値を求めるのに用いた Fig. 6 の曲線は 3 個の円柱供試体について求めたもので、この図では供試体の圧縮ひずみを横軸に、応力-ひずみ線図においてこ

の圧縮ひずみに対応する点と原点とから求めた割線弾性係数を縦軸にとってある。円柱供試体とはり供試体では、その形状、打込み方向、突き固め方法などが同じでないが、これらの影響は無視しうるものとみなした。著者らが以前に、本論文のはり供試体と同じ要領で水平方向に打込んだ $10 \times 10 \times 20$ cm の角柱供試体と $10 \phi \times 20$ cm の円柱供試体について弾性係数の値を比較したところ、実用上同じ値がえられているからである。

コンクリートの弾性係数の値にはばらつきがある。はりの圧縮側コンクリートの弾性係数が Fig. 6 の値と相異しておれば、Fig. 4 (a) のように応力分布が直線であっても z の算定値が 6.7 cm にならない。その場合でも、 z の値は応力分布が直線とみなしうる範囲で一定値を示し、応力分布が Fig. 4 (b) または (c) に変ると減少するから、 z の値の変化から応力分布形の変化を知ることが可能である。

さて Table 1 によると、曲げモーメントが $32.0 \text{ kg}\cdot\text{m}$ から $42.6 \text{ kg}\cdot\text{m}$ に増大しても z の値は一定で 6.7 cm である。 z の減少が認められるのは $49.0 \text{ kg}\cdot\text{m}$ あたりからで、 $72.4 \text{ kg}\cdot\text{m}$ までは曲げモーメントが増すにつれて z の値が減少している。実測によると、この範囲では圧縮応力の分布は三角形で圧縮力 C の作用点の位置は移動していないから、この z の変化は引張力 T の作用点の移動によるものである。曲げモーメント $74.6 \text{ kg}\cdot\text{m}$ では z の値が増大しているが、この場合は中立軸が上方へ移動し圧縮力 C の作用点が上昇していることに注意する必要がある。すなわち、 z が増大していても引張力 T の作用点は、やはり、上に移動しているのである。

はりは、引張面に破損が生じて内部の応力を増加させることによって、すなわち応力分布の形状を変化

Table 1 Values of extreme fiber strain, x, C and z

Bending moment M kg. m	Extreme fiber strain $\times 10^{-5}$		x cm	Compressive force C kg	z $(= \frac{M}{C})$ cm
	Tension	Compression			
32.0	7.2	7.4	5.1	480	6.7
42.6	10.6	10.0	5.0	640	6.7
49.0	11.6	11.6	"	740	6.6
51.1	12.2	12.2	"	780	6.6
53.3	12.8	12.9	"	820	6.5
63.9	21.5	16.0	"	1030	6.2
72.4	46.2	18.4	"	1190	6.1
74.6	110.0	22.0	4.1	1180	6.3
81.0	163.8	26.0	3.9	1330	6.1

させることによって荷重の増加に抵抗しうることがこれで立証された。つぎに応力分布形に顕著な変化が現われ始める点はどこか。これを調べてみよう。

3.6 応力分布形の変化

Fig. 3によると、第1折点のひずみは純引張、曲げ引張ともに 8.7×10^{-5} である。はりの引張縁ひずみがこの第1折点に達したとき応力分布形に変化が現われると考えられるが、Table 1の z の値には変化が認められない。分布形の変化の程度が著しくないためであろう。

z の値の変化から応力分布形の変化を確認できるのは曲げモーメント $49.0 \text{ kg}\cdot\text{m}$ あたりからで、このときの引張縁ひずみは 11.6×10^{-5} である。これは3.2でのべた純引張の場合の破壊開始点のひずみ $10.6 \sim 12.2 \times 10^{-5}$ に一致する。この結果から、応力分布形に顕著な変化が現われるのは、コンクリートばりの引張縁ひずみが純引張における破壊開始点のひずみに達したときだと推論できよう。

3.7 中立軸の移動

Table 1に中立軸の位置を表わす x の値が示してある。曲げモーメント $32.0 \text{ kg}\cdot\text{m}$ における x の値は 5.1 cm で、僅か 0.1 cm であるが中立軸がはり高さの中心より下に移動している。モーメントが $42.6 \text{ kg}\cdot\text{m}$ にふえると $x=5.0 \text{ cm}$ となり、中立軸は中心にくる。その後、中立軸の位置は不動で曲げモーメントが $72.4 \text{ kg}\cdot\text{m}$ から $74.6 \text{ kg}\cdot\text{m}$ にふえたときに初めて上昇している。曲げモーメント $42.6 \sim 72.4 \text{ kg}\cdot\text{m}$ の範囲では、3.5でのべたように引張力の作用点が上昇している。それにもかかわらず中立軸の位置は移動していないわけで、これはきわめて興味深い現象といえる。

Table 1によると、曲げモーメント $32.0 \text{ kg}\cdot\text{m}$ における縁ひずみは $7.2 \sim 7.4 \times 10^{-5}$ である。それぞれ3個の純引張供試体と円柱供試体とを用いて、ひずみ $0 \sim 7.3 \times 10^{-5}$ に対する割線弾性係数を求めると、純引張に対しては $293000 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 、圧縮に対しては $257000 \text{ kg}/\text{cm}^2$ となっている。はり高さ方向のひずみ分布が直線とみなしうる状態であれば、 $C=T$ の関係より、中立軸は中心より下になければならない。曲げモーメント $32.0 \text{ kg}\cdot\text{m}$ において中立軸の下降が認められたのは、おそらく、この引張と圧縮における弾性係数の相異に起因するのであろう。

Fig. 5 (b)にゲージ外で破壊した供試体のひずみ分布曲線が示してある。引張面に最も近いNo. 10ゲージのひずみは、最初のうち、荷重に比例して増加し曲

げモーメント $53.3 \text{ kg}\cdot\text{m}$ で 10.6×10^{-5} なる値を示したが、その後ひずみのふえ方は鈍り、 $66.0 \text{ kg}\cdot\text{m}$ で最大値 12.1×10^{-5} を示したのちは減少を始め、破壊直前の $87.3 \text{ kg}\cdot\text{m}$ においては 8.9×10^{-5} という値を示している。いま、はりは水平方向の繊維から構成されているものとみなし、これが荷重を受けた場合を考えてみよう。はりが円滑に曲がれるためには、はり高さの中心付近にひずみ0なる軸が存在し、はりを構成する繊維に発生するひずみはこの軸からの距離に比例したものでなければならない。したがって、もしある繊維の一部分に破損が生じてここに異常な伸びが発生すると、繊維の残りの部分ではその分だけ伸びを減少して、全体としての繊維のひずみが一定値に収まるよう調整が行なわれなければならない。本実験に用いたコンクリートの純引張における破壊開始点は3.2でのべたように $10.6 \sim 12.2 \times 10^{-5}$ である。はりの引張縁ひずみがこの値に達すると、引張面のどこかに破損が生じ、そこで異常な伸びが発生すると考えられる。Fig. 5 (b)の供試体ではこの異常伸びがゲージ外に生じたため、ゲージ部分でのふえ方が鈍り、ついに減少を示したとみることができる。

上の説明で明らかのように、はりを構成する1本の繊維をとり出してみた場合、微視的にはそのひずみは必ずしも均一でない。しかし、巨視的には繊維に発生するひずみは、ひずみ0なる軸からその繊維までの距離によって決まる。この考え方にたつと、Fig. 5 (a)の供試体の中立軸が曲げモーメント $42.6 \sim 72.4 \text{ kg}\cdot\text{m}$ の範囲で移動しなかった理由を、つぎのように説明することができる。はりのある横断面で引張面に異常な伸びが発生したとしよう。隣接の横断面では、引張面のひずみはその分だけ減少するので、外力とつり合うために内部応力を増大させる必要が生ずる。Fig. 5 (b)の供試体について調べると、同図の(a)の場合と違って中立軸の上昇がみられ、曲げモーメント $42.6 \text{ kg}\cdot\text{m}$ で $x=4.7 \text{ cm}$ 、 $63.9 \text{ kg}\cdot\text{m}$ で $x=4.6 \text{ cm}$ となっている。この中立軸の上昇は内部応力の増大にともなって生じた現象と考えることができる。このようにして、隣接断面ではりの中心より上の部分に引張ひずみが発生すると、この影響をうけて、最初に異常伸びを生じた断面では中心より上での引張ひずみの発生が困難となる。すなわち、中立軸は容易に上昇することができない。

このように、異常伸びが発生した断面では、隣接断面からの拘束をうけるので、曲げモーメントが増大しても暫くの間は中立軸が移動しない。しかし、これには限界がある。やがて中立軸が不動のままでは曲げ

モーメントの増加に対応できなくなる。この時点で中立軸の上昇がおこる。

3.8 ゲージ長とひずみ測定値との関係

曲げにおける破壊開始点は上にのべた中立軸の上昇と関係があるように思われる。これを確かめるには、Fig. 2 から求めた破壊開始点の引張縁ひずみと Table 1 から求めた中立軸が上昇し始める点の引張縁ひずみを比較してみればよさそうに思われるが、この場合、Fig. 2 ではゲージ長 67 mm が、Table 1 ではゲージ長 20 mm が用いられていることに注意しなければならない。両者の数値を関連づけるにはゲージ長による差異を取除く工夫が必要となる。それについてのべる前に、ゲージ長によってひずみの測定値が異なることを示しておこう。

3.7でのべたように、はりの引張面で、その一部分に破損が生じここに大きな伸びが発生すると、その隣接部分では伸びが減少し、場合によっては縮むことすらある。実際の測定に用いるひずみゲージはある長さを有しているの、その測定値は伸びの大きい部分とそうでない部分の合成値となる。ゲージ長が大きいと、後者の影響が大きく現われるのでひずみの測定値は小さくなる。ゲージ長 20 mm を用いた Fig. 5 (a) では、はりの破壊直前に No. 10 ゲージが 155.0×10^{-5} という値を示したのに対し、ゲージ長 67 mm を用いた Fig. 2 では、はりの最終ひずみとして 51.4×10^{-5} が観測されたにすぎない。

3.9 破壊開始点と中立軸の上昇との関係

Table 1 によると、中立軸の上昇は曲げモーメントが $72.4 \text{ kg}\cdot\text{m}$ から $74.6 \text{ kg}\cdot\text{m}$ に増大したところで起っている。このモーメントに対応する引張縁ひずみは、それぞれ 46.2×10^{-5} および 110.0×10^{-5} である。このひずみの測定には 20 mm ゲージを用いている。67 mm ゲージを用いた場合の測定値はこれより小さい筈である。この値を間接的に求めてみよう。

既にのべたように、はりの引張側に破損を生じた段階で引張側のひずみを詳細に調べると、その大きさが一様でなく、圧縮側に比べて桁違いに大きい値を示す部分と反対に小さい値を示す部分とが存在する。しかし、巨視的な観点から眺めると、圧縮側においても引張側においても、はりのひずみは中立軸からの距離に比例しなければならない。したがってゲージ長の十分大きいひずみゲージを用いると、中立軸が移動しない限り、引張縁ひずみと圧縮縁ひずみは等しくなる筈である。試みにコンクリートのはり供試体の圧縮面と

引張面に 67 mm ゲージ 3 枚ずつを貼りつけて Fig. 1 (a) の要領で載荷しながらひずみを測定してみたところ、ひずみ 18.5×10^{-5} あたりまで実質的に同じ値がえられた。 18.5×10^{-5} をこえると差が認められたが、 22×10^{-5} あたりまでの相異は大きいものではなかった。すなわち、67 mm ゲージを用いた場合には、ひずみ 22×10^{-5} 付近まで圧縮縁ひずみと引張縁ひずみとがほぼ等しいとみてよい。

ところで、はりの圧縮面のひずみは、引張ひずみのように場所によって大きく相異なることはないから、20 mm ゲージを用いても 67 mm ゲージを用いてもその測定値はほぼ同じと考えられる。したがって Table 1 に掲げた圧縮縁ひずみの値はそのまま 67 mm ゲージの値とみなすことができる。すなわち、67 mm ゲージを用いた場合の曲げモーメント $72.4 \text{ kg}\cdot\text{m}$ における圧縮縁ひずみは 18.4×10^{-5} と考えてよい。このとき、中立軸は、はり高さの中心にあるので、前節の説明から、さらにこの値を 67 mm ゲージによる引張縁ひずみの測定値とみなすことができる。

結局、中立軸の上昇は、67 mm ゲージによる引張縁ひずみが 18.4×10^{-5} をこえたあたりで起ったとみてよい。67 mm ゲージを用いて測定したはりの破壊開始点のひずみは 3.2 でのべたように $18.2 \sim 21.5 \times 10^{-5}$ であって、この中立軸上昇点のひずみとほぼ一致している。この事実から、はりの破壊開始点は、それまで静止していた中立軸が隣接部分の拘束力にうちかかって上昇を始める点だと結論することができる。

4. むすび

本実験の結果を要約すると、つぎのようになる。

(1) 純引張の場合、コンクリート供試体に致命的な破損が発生すると、有効断面積の減少をきたして瞬時に供試体の破壊が起る。これに対し曲げ引張の場合は、引張面に破損を生じたのちも、はり内部の応力を増大させることによってかなりの荷重増加にもちこたえることができる。

(2) 引張縁ひずみが第 1 折点のひずみをこえても、はりの応力分布形に大きな変化は現われない。

(3) はりの応力分布形が顕著な変化を示すのは、引張縁ひずみが純引張における破壊開始点のひずみに等しくなったときである。

(4) はりの応力分布形に変化が生じて中立軸は容易に移動しない。中立軸の上昇は、はりが破壊開始点に達したときに起る。

技術年報 **32**, 231 (1978)

- 2) 吉本 彰, 川上正史: セメント技術年報 **26**, 275 (1972)
(昭和 55 年 2 月 16 日 受理)

参 考 文 献

- 1) 吉本 彰, 長谷川 博, 兼行啓治, 白上博明: セメント