

論文

[2042] 引張突縁を有するRCはりの曲げ耐力および破壊性状について

正会員 ○渡辺 忠朋 (鉄道総合技術研究所)

正会員 佐藤 勉 (鉄道総合技術研究所)

正会員 斉藤 啓一 (鉄道総合技術研究所)

1. はじめに

鉄筋コンクリートはりとして一般に用いられているものには、T形、箱形、下突縁に載荷されるはりなどがある。これらのはりは、一般にスラブとの単体として作られていることが多い。

現行の設計においては、T形ばり等のような圧縮突縁部材に対しては有効幅 b_e を規定し、応力度照査を行っている¹⁾²⁾。しかし、箱形ばりやラーメンの張出しばり等のように引張突縁部材に対しては、有効な引張鉄筋の範囲に関する規定が示されてなく、特に限界状態設計法の部材断面耐力を評価する場合においては、耐力を過少評価することになると思われる。

そこで、T形等の断面を有する部材について、特に研究例³⁾の少ない引張突縁を有する部材の曲げ降伏耐力、曲げ耐力および破壊性状を明らかにすることを目的として載荷実験を行った。

以下に、実験結果および曲げ降伏耐力・曲げ耐力の算定方法について検討したので述べる。

なお、本研究は、運輸省受託研究「鉄道技術基準整備のための調査研究」の一部として、行ったものである。

2. 実験概要

2. 1 供試体形状・諸元および載荷方法

供試体形状および諸元を図-1および表-1に示す。供試体は合計11体製作した。

供試体は、断面形状(逆T形、矩形断面)、引張突縁の幅、せん断スパン比、軸方向鉄筋の配置間隔、鉄筋量、支承の幅をパラメータとした。軸方向鉄筋はフランジ幅内に均等の間隔で配置した。また、全ての供試体においてせん断破壊しないようにウェブにせん断補強鉄筋をD10-1組を10cmの間隔でスパン全長に渡り配置した。また、フランジ内には十分なせん断の伝達が可能ないように軸方向引張鉄筋の配力鉄筋として軸方向引張鉄筋の直角方向にD10を10cmの間隔でスパン全長に渡り配置した。

載荷は2点对称載荷とした。荷重載荷ステップは、ひびわれ発生荷重、鉄筋ひずみの最大値が500 μ 、1000 μ 、降伏ひずみおよび破壊の5サイクル(載荷・除荷)で行うものとした。

2. 2 使用材料

軸方向鉄筋およびせん断補強鉄筋は、鉄筋コンクリート用鋼棒JIS G 3112に適合するSD35 D10を使用した。なお、鉄筋の降伏点強度は3700kgf/cm²・引張強さは5400 kgf/cm²であった。セメントは普通ポルトランドセメント、粗骨材の最大寸法は15mm以下、水セメント比は65%とした。

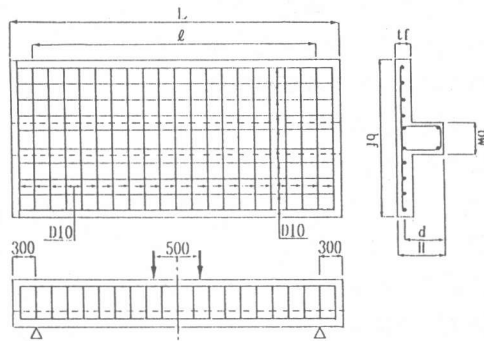


図-1 供試体形状

表-1 供試体諸元

No.	NAME	形状	上縁幅	下縁幅	フランジ厚	桁高	有効高	桁長	スパン	せん断スパン比	軸方向引張主鉄筋 A_s	コンクリートの圧縮強度	支承の幅
			b w (cm)	b f (cm)	t f (cm)	h (cm)	d (cm)	L (cm)	ℓ (cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	
1	1-1	矩形	20	20	—	30	25	410	350	6.0	10-D10	233	全幅
2	1-2	矩形	20	20	—	30	25	260	200	3.0	10-D10	253	全幅
3	2-1	逆T形	20	60	10	30	25	410	350	6.0	10-D10	235	全幅
4	3-1	逆T形	20	100	10	30	25	410	350	6.0	10-D10	253	全幅
5	3-2	逆T形	20	100	10	30	25	260	200	3.0	10-D10	235	全幅
6	3-3	逆T形	20	100	10	30	25	410	350	6.0	10-D10	233	一部
7	4-1	逆T形	20	140	10	30	25	410	350	6.0	10-D10	253	全幅
8	4-2	逆T形	20	140	10	30	25	260	200	3.0	18-D10	274	全幅
9	4-3	逆T形	20	140	10	30	25	410	350	6.0	10-D10	276	全幅
10	5-1	逆T形	20	100	5	30	27.5	440	380	6.0	10-D10	251	全幅
11	6-1	逆T形	20	100	5	60	57.5	850	790	6.0	10-D10	245	全幅

注) 支承の幅: 全幅 (下フランジ幅の全幅)、一部 (ウェブ幅)

2. 3 測定項目

測定項目を以下に示す。

- (a) ひびわれ発生荷重および破壊荷重
- (b) 鉄筋のひずみおよびコンクリートのひずみ
- (c) たわみ
- (d) ひびわれ性状

3. 実験結果および考察

3. 1 ひびわれ性状および破壊性状

実験終了時の下フランジのひびわれ状況の例を図-2に示す。

スパン直角方向に伸展しているひびわれは、逆T形供試体も矩形断面供試体と同様にほとんどが降伏荷重以前に発生し、降伏荷重以降はそのひびわれのひびわれ幅が大きくなっていき、新たなひびわれの発生は認められなかった。破壊は逆T形供試体も矩形断面供試体と同様に全て圧縮縁のコンクリートの圧縮破壊であった。

また、ウェブとフランジ接合部付近には、面内のせん断によるひびわれの発生は特に認められなかった。

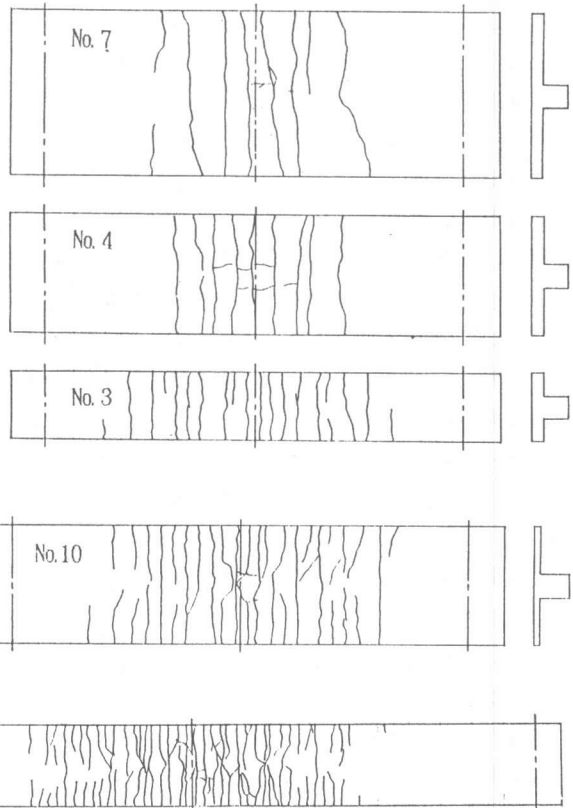


図-2 ひびわれ状況の例

供試体No.3, No.4, No.7はフランジ厚 (t_f) とはり高 (H) の比 (H/t_f) が等しく、ウェブ幅 (b_w) とフランジ幅 (b_f) の比 (b_f/b_w) を変化させた供試体である。 b_f/b_w が小さい供試体No.3は、スパン全長にわたりひびわれが発生しているが、 b_f/b_w が大きい供試体No.4, No.7は、 b_f/b_w の小さい供試体No.3に比べてひびわれの本数が少ないことが分かる。これは、各供試体ともフランジ幅を大きくした供試体でも軸方向鉄筋量を一定としているので、 b_f/b_w が大きい供試体ほど軸方向鉄筋間隔が大きくなっていることによる影響と考えられる。供試体No.4, No.10, No.11はウェブ幅 (b_w) とフランジ幅 (b_f) の比 (b_f/b_w) が等しく、フランジ厚 (t_f) とはり高 (H) の比 (H/t_f) を変化させた供試体である。フランジ厚が薄い供試体No.11では、スパン中央のほぼ全長にわたってひびわれが分布しているが、フランジ厚が供試体No.11に比べて厚い供試体No.10, 4はひびわれが少なくなっていることが認められる。

これより、逆T形断面RCはりにおいてもひびわれ間隔は、鉄筋の配置間隔により影響され鉄筋配置間隔が大きいほどひびわれ間隔が大きくなる傾向が認められることが分かる。また H/t_f が大きいほどひびわれが多くなりひびわれの分布する領域が広がると考えられる。

なお、供試体のスパンを変化させた供試体においては、ひびわれ性状には顕著な差異は認められなかった。

3. 2 軸方向引張鉄筋のひずみ分布

荷重載荷点断面の軸方向鉄筋ひずみの例を図-3に示す。図には、RC部材の使用される状態を考慮し鉄筋応力度が1000kgf/cm²、2000kgf/cm²相当荷重時および降伏荷重載荷時について示した。

図の横軸はウェブ中心から着目した軸方向鉄筋までの距離を示している。本実験では、曲げひびわれが発生した断面と軸方向鉄筋のひずみ測定断面が必ずしも一致していないが、載荷荷重が小さい段階では、ウェブ内の軸方向鉄筋(図

3においてウェブ中心から75mmの

位置の鉄筋)とウェブ外の軸方向鉄筋(図

3においてウェブ中心から75mm以上の位置にある鉄筋)のひずみはほぼ等しいが、載荷荷重が降伏

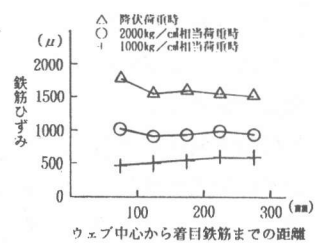
荷重程度になるとウェブ内の軸方向鉄筋ひずみがウェブ外の軸方向鉄筋ひずみに比べて大きくなる傾向がある

と考えられる。ただし、 H/t_f が大きい供試体No.11では比較的低い

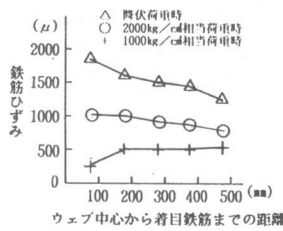
荷重段階からウェブ内の軸方向鉄筋ひずみがウェブ外の軸方向鉄筋ひずみに比べて大きくなる傾向が認められる。

4. 実験結果の検討

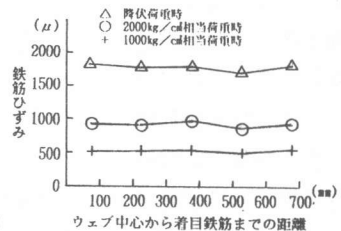
4. 1 弾性範囲の鉄筋ひずみ分布



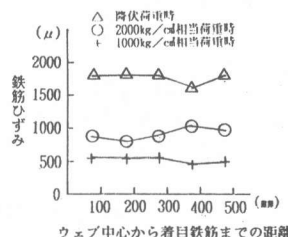
(a) No. 3



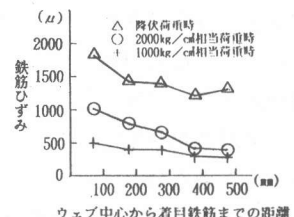
(b) No. 4



(c) No. 7



(d) No. 10



(e) No. 11

図-3 軸方向鉄筋ひずみ分布

一般のRC部材の使用される状態を考慮し軸方向鉄筋ひずみが1000マイクロ程度の荷重時の荷重載荷点断面の軸方向鉄筋のひずみの実験値と計算値の関係を図-4に示す。図の横軸はウェブ中心から着目した軸方向鉄筋までの距離を示す。

軸方向鉄筋のひずみの計算値は、載荷荷重による発生曲げモーメントを用いてウェブ幅を有する矩形断面はりとして、引張を受けるコンクリートを無視して計算した。フランジの有効幅はウェブ幅の2~7倍とし、それぞれ仮定した有効幅内の軸方向鉄筋を引張鉄筋として考慮した。計算値のひずみは計算に考慮した軸方向鉄筋のひずみの平均ひずみを示している。

b_f / b_w をパラメータとした供試体No.3、No.4、No.7では、いずれの供試体においてもフランジ内の軸方向鉄筋を全て有効とした計算値は実験値とほぼ等しいか、それ以上となる結果となりフランジを全幅有効としても軸方向鉄筋のひずみは安全側に評価されると考えられる。

しかし、 H / t_f が大きい供試体No.11のウェブ直下の軸方向鉄筋はフランジ内の軸方向鉄筋を全て有効とした場合の計算値よりも大きくなっており、ウェブ内の軸方向鉄筋のひずみが過少評価になることが分かる。

以上のことから、一般には曲げひびわれ発生以降の使用状態においては、フランジ幅内の軸方向鉄筋を全て引張鉄筋として有効として評価してよいと考えられる。しかし、

H / t_f が大きい場合には、ウェブ内の軸方向鉄筋とウェブ外の軸方向鉄筋ではひずみの差が生じるので、フランジ内の軸方向鉄筋のひずみをすべて一定として取り扱うような設計を行う場合で、フランジ内の軸方向鉄筋を全て有効として引張鉄筋として計算する場合はウェブ内に配置される軸方向鉄筋量をフランジ外に配置される軸方向鉄筋量より多く配置する等の配慮が必要であると考えられる。

4. 2 降伏耐力および曲げ耐力

表-2に降伏耐力および曲げ耐力の実験値を示す。

降伏耐力の実験値(Pytest)はフランジ内のいずれかの軸方向鉄筋が降伏ひずみに達したときの

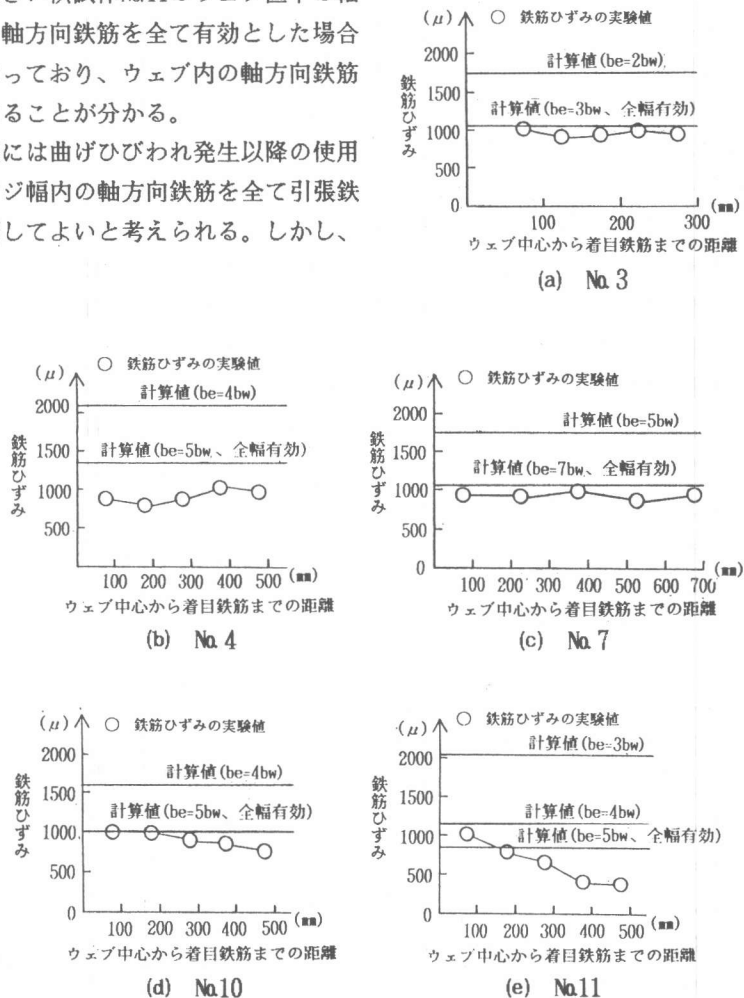


図-4 軸方向鉄筋ひずみの実験値と計算値

荷重、曲げ耐力の実験値(Putest)は実験時の最大荷重とした。降伏耐力および曲げ耐力の実験値と計算値との比較を表-2に示す。なお、表中()内の数値は、各計算値の実験値に対する比を示している。

計算値は、各供試体ともに引張を受けるコンクリートは無視しウェブ幅を有する矩形断面と同様の計算を行った。フランジ内にある全軸方向鉄筋は、同一の面内にあるものとした。なお、降伏耐力はフランジ内の軸方向鉄筋のひずみが降伏ひずみに達する時の曲げモーメント、曲げ耐力は、圧縮縁のコンクリートの圧縮ひずみが0.035に達するときの曲げモーメントとした。

計算に用いた、コンクリートおよび鉄筋の応力・ひずみ関係を図-5に示す。フランジ内の軸方向鉄筋の有効範囲については、ウェブ外の軸方向鉄筋を無視した場合(Pycal1, Pucal1)とフランジ内の軸方向鉄筋を全て考慮した場合(Pycal2, Pucal2)について行った。

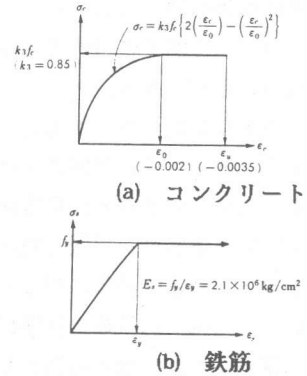


図-5 応力ひずみ関係

降伏耐力の計算値と実験値を比較すると、ウェブ内の軸方向鉄筋のみを考慮した場合の計算値は実験値に対して過少評価となった。フランジ内の軸方向鉄筋を全て有効とした場合の計算値はせん断スパン比が3.0の供試体についてはせん断スパン比6.0の供試体に比べて実験値に対して小さめになっているものの、計算は同一面内の軸方向鉄筋は全て降伏ひずみに達していると仮定して算出しているのに対し、実験値はいずれかの軸方向鉄筋が降伏ひずみに達した場合としていることによる違いはあるが、実験値とよく一致していると考えられる。

また、曲げ耐力については、フランジ内の軸方向鉄筋を全て考慮した場合の計算値(Pucal2)は、全ての供試体において実験値より計算値が小さい結果となり、安全側の評価になっていることが分かる。これはコンクリートの圧縮ひずみが0.035のときを曲げ耐力としてしていることおよび鉄筋のひずみ硬化による影響と考えられる。フランジ内の軸方向鉄筋を全て有効とした場合の降伏耐力および曲げ耐力の計算値と実験値の比(Pycal2/Pytest, Pucal2/Putest)とb f / b w

表-2 降伏耐力および曲げ耐力の実験値および計算値

No.	NAME	Pytest	Putest	Pycal1	Pycal2	Pucal1	Pucal2
1	1-1	7.25	8.80	2.86(2.53)	6.67(1.09)	3.39(2.60)	7.59(1.16)
2	1-2	15.5	18.50	5.78(2.68)	13.26(1.17)	6.90(2.68)	15.36(1.20)
3	2-1	6.75	8.80	1.61(4.19)	7.23(0.93)	1.91(4.61)	7.65(1.15)
4	3-1	7.75	8.60	1.58(4.91)	7.34(1.06)	1.89(4.55)	7.68(1.12)
5	3-2	16.50	19.90	3.23(5.11)	14.48(1.14)	3.83(5.20)	15.30(1.30)
6	3-3	7.50	8.40	1.61(4.66)	7.20(1.04)	1.91(4.40)	7.59(1.11)
7	4-1	7.25	8.20	1.58(4.59)	7.34(0.99)	1.89(4.34)	7.68(1.07)
8	4-2	16.50	22.00	3.16(5.22)	14.72(1.12)	3.94(5.58)	15.38(1.43)
9	4-3	12.75	13.60	1.61(7.92)	12.31(1.04)	1.97(6.85)	12.76(1.07)
10	5-1	6.77	9.02	1.58(4.28)	7.39(0.91)	1.88(4.80)	7.76(1.16)
11	6-1	7.89	10.19	1.65(4.78)	8.14(0.97)	1.87(4.65)	8.30(1.22)

注) Pytest: 降伏耐力の実験値(t)
 Putest: 曲げ耐力の実験値(t)
 Pycal1: 降伏耐力の計算値(t) (ウェブ内の軸方向鉄筋のみ有効)
 Pycal2: 降伏耐力の計算値(t) (全ての軸方向鉄筋を有効)
 Pucal1: 曲げ耐力の計算値(t) (ウェブ内の軸方向鉄筋のみ有効)
 Pucal2: 曲げ耐力の計算値(t) (全ての軸方向鉄筋を有効)

、 H/t_f の関係を図-6、7に、降伏耐力の計算値と実験値の比 (P_{cal2}/P_{test})と $b w / \ell$ の関係を図-8に示す。

いずれの関係においても特に相関が認められないことが分かる。

以上の結果から、本実験の $b f / b w$ 、 $H / t f$ 、 $b w / \ell$ の範囲においては、本供試体のように軸方向鉄筋と直角方向に十分な配筋を行っている場合は、引張を受けるフランジ内にある軸方向鉄筋は曲げに対してウェブ内に配置されている軸方向鉄筋と同様に抵抗すると考え、降伏耐力および曲げ耐力の算定にあたっては、フランジ内の軸方向鉄筋を全て引張鉄筋としたウェブ幅を有する矩形断面として取り扱ってよいと考えられる。

5. 結論

本実験の範囲および検討で明らかになったことを、以下にまとめて示す。

(1)逆T型断面RCはりの曲げひびわれ性状は、矩形断面RCはりとはほぼ同様であり、ひびわれ間隔は引張鉄筋の配置間隔が大きくなるほど大きくなる。また、フランジ厚とはり高の比が大きくなるとひびわれの分散性がよくなる傾向が認められた。

(2)フランジ内の軸方向鉄筋のひずみは、載荷荷重が大きくなるとウェブ内の軸方向鉄筋ひずみがウェブ外に配置されている軸方向鉄筋ひずみより大きくなる傾向があると考えられる。また、その傾向は H/t_f が大きいほど顕著である。

(3)曲げひびわれ発生後のRC部材が一般に使用されるような荷重状態においては、 H/t_f が大きい場合（実験では $H/t_f = 15$ ）は、ウェブ内の軸方向鉄筋のひずみはウェブ外の軸方向鉄筋のひずみに比べて大きくなるので使用状態の設計時にはそれに対する配慮が必要であると考えられる。

(4)本実験の範囲であれば、降伏耐力および曲げ耐力の算定に関しては H/t_f 、 $b h / b w$ および $b f / \ell$ にかかわらずフランジ内の軸方向鉄筋は全て引張鉄筋として有効として、ウェブ幅を有する矩形断面として取扱ってよい。

なお、本研究は運輸省受託研究「鉄道技術基準整備のための調査研究」の一部として行ったものであり、関係の方々には謝意を表す次第である。

[参考文献] 1) 土木学会：コンクリート標準示方書、昭和61年、2) 土木学会：国鉄建造物設計標準、昭和58年、3) 東、大久保：中央集中荷重時単純支持鉄筋コンクリートT型はりの有効幅と破壊、日本建築学会論文報告集、第146号、昭和43年4月 4) 土木学会：コンクリート構造の限界状態設計法指針（案）、コンクリートライブラリー第52号、昭和58年11月

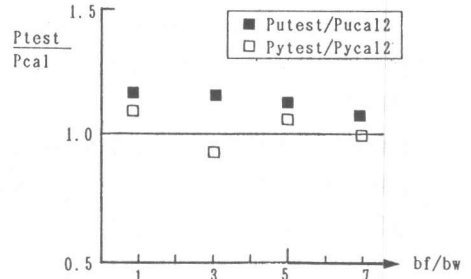


図-6 $b f / b w$ と P_{test} / P_{cal} の関係

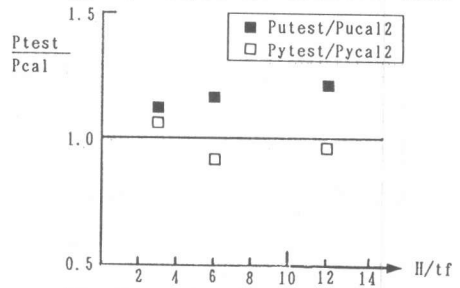


図-7 H / t_f と P_{test} / P_{cal} の関係

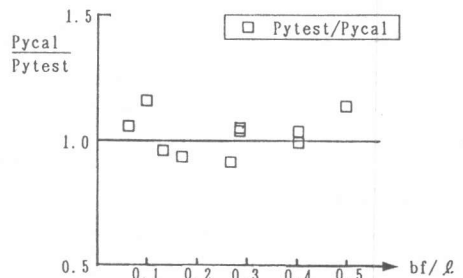


図-8 $b f / \ell$ と P_{test} / P_{cal} の関係