

[2032] RC 単純ばりの付着割裂強度に関する実験的研究

正会員 角 徹三 (豊橋技術科学大学建設工学系)

正会員 ○山田 守 (豊橋技術科学大学大学院)

柴田 誠 (同 上)

高橋裕彦 (同 上)

1. はじめに

本研究は、異形鉄筋を用いたRC部材の付着割裂強度に影響を及ぼす要因を定量的に評価し、せん断破壊耐力との相関を明らかにしようとするものである。そのため、影響因子の設定の如何によっては両タイプのいずれかが発生可能なように、単純ばり載荷法を採用した。

研究は端緒についたばかりであるので、本報では3体の供試体の実験結果の概要を示し、付着長さの異なる供試体の付着割裂強度、及び、同一断面内にある隅角筋(横補強筋の隅角部に配置された主筋)と中間筋(横補強筋の辺上に配置された主筋)の挙動の差異について考察する。

2. 実験概要

2-1. 載荷装置

図1に載荷装置を示す。通常の単純ばり載荷の載荷点・反力支点関係を逆転させ、中央下方2点に載荷点、両端の上部に反力支点を設けることにより、付着割裂ひびわれの観察が詳細かつ安全に行うことができる。載荷は載荷ビームを介して手動油圧ジャッキで行い、すべて一方向単調載荷で破壊に至らせた。

2-2. 供試体

図2に本実験で用いた3体の供試体の寸法及び配筋方法を示す。引張主筋(試験鉄筋)は異形横ふし鉄筋D19で、主筋からのかぶり厚さが底面、側面とも2.0cmとなるよう断面内に4本等間隔に配置した。(コンクリート打設方向に対して下端筋となっている。)せん断スパン域の横補強筋は高強度丸鋼φ6(降伏強度5070kg/cm²)を5.0cm間隔で配置した。No. 1、No. 2は付着割裂破壊を想定した供試体で、鉛直反力作用領域では鋼管によって付着を完全に断ち、支点反力による引張主筋の拘束を除外したものである。支点近くでの曲げ破壊、せん断破壊を防止するため、引張主筋の付着性状に影響が少ないと思われる程度の補強筋を配置した。No. 3は引張主筋の付着を断たず、引張主筋が支点反力で拘束されており、せん断破壊を想定した供試体である。

各供試体には、載荷点から有効せい(d=37cm)だけ外側の位置にせん断ひびわれが発生する

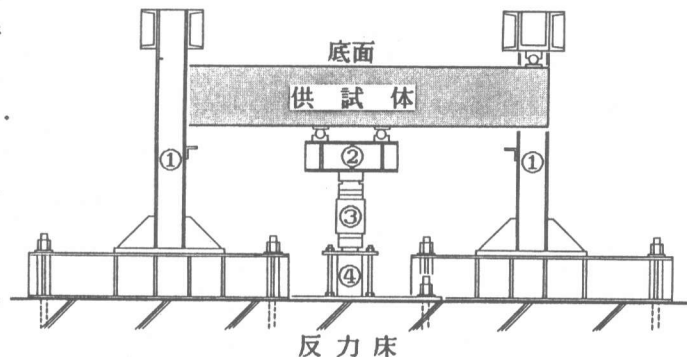


図 1 載荷装置

ように、この位置に引張主筋下端まで、厚さ2mmのプラスチック製スリットを設けた。これによりスリットから外側の付着長さ Q_o 。(以後、外側付着長さと呼ぶ)は、No. 1で50 cm、No. 2で25 cm、No. 3では35 cmとなる。スリットから内側の付着長さ Q_i (以後、内側付着長さと呼ぶ)は、いずれの供試体も37cm ($=d$)である。

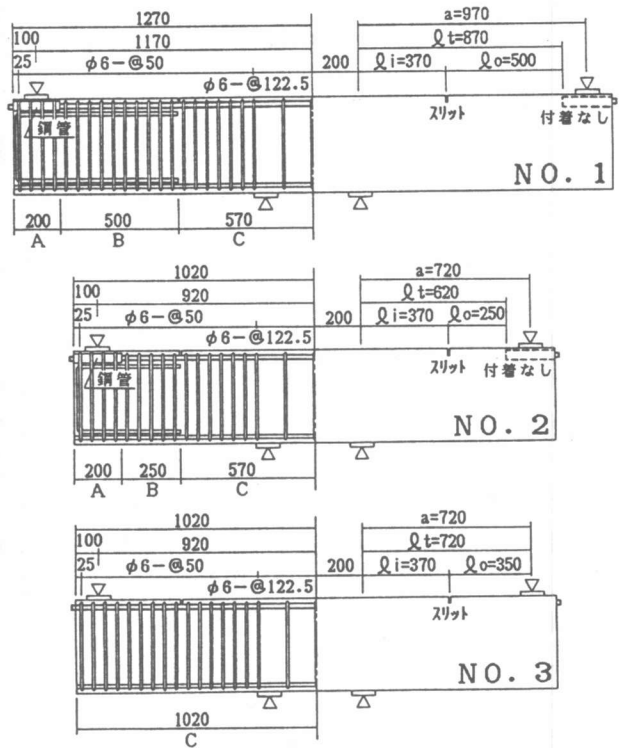
単純ばり型の付着実験は最終的な破壊がどちらか一方のスパンに発生し、もう一方のデータが十分生かされず不経済になるという欠点がある。本実験ではこの欠点を補うため、片方のスパンの付着割裂破壊が確認された後、図3のように $\phi 12$ 高張力鋼棒12本により引張主筋と剝離したコンクリートを締め付けて補強し(1本当たりの締め付け張力3.4 t)、付着を復元させて再度載荷し、反対スパンのデータを有効に利用した。

2-3. 使用材料の性質

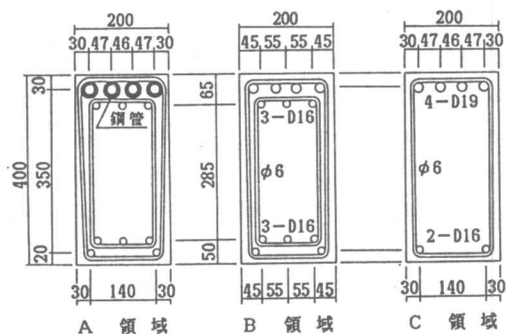
表1に供試体に用いた鉄筋の性質を示す。引張鉄筋及び横補強筋は、付着割裂破壊及びせん断破壊が曲げ破壊に先行するように高強度鉄筋を用いた。コンクリートは早強ポルトランドセメントを用い、目標強度を 210 kg/cm^2 として表2の配合によった。

2-4. 計測事項

せん断力 Q は油圧ジャッキと載荷ビーム間のロードセルで計測し、スパン中央点及び載荷点のたわみは、両端の反力点でピン・ローラーで供試体に取り付けられた測定フレームからの相対変位として測定した。付着応力は試験鉄筋に5~10 cm間隔で貼付した抵抗線ひずみゲージの出力から算出した。スリット位置での試験鉄筋のすべり量 S は、 $\phi 0.8$ のステンレスワイヤの先端をスリット位置の試験鉄筋に固定させ、シース



(a) 側面図



(b) 断面図

図2 供試体寸法及び配筋方法

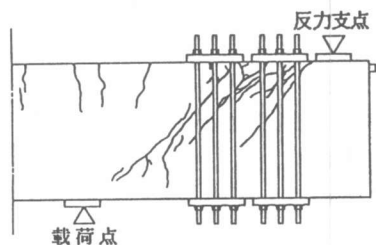


図3 破壊後の締め付け補強

で保護し供試体中を通してはり端部まで延ばし、変位計で直接測定した。

3. 実験結果と考察

実験結果の一覧を表3に示す。No. 1、No. 2の-1は処女載荷時のデータ、-2は締め付け補強後のデータである。ひずみ測定による主筋の応力分布は、図4の(a) のようにはならず、

Q_i 区間では比較的フラットな、 Q_0 区間では急な勾配となった。したがって、せん断スパンの付着応力を評価するには図中の3通り、すなわち①平面保持とした場合の主筋応力分布から計算する方法、②付着長さを Q_t とし載荷点の鉄筋応力から求める方法、③付着長さを Q_0 としてスリット位置での鉄筋応力から求める方法が考えられるが、本報では③式により求めた τ_0 を付着応力として以後の考察を行った。表3中の $Q_{u\cdot cal}$ は大野・荒川式¹⁾で求めたせん断耐力、 $\tau_{u\cdot cal}$ は森田・藤井式²⁾で求めた付着割裂強度である。

$\tau_{0\cdot max}$ は実験で得られた各鉄筋別の付着応力の最大値、 $\tau_{0u\cdot exp}$ は最大耐力 $Q_{u\cdot exp}$ の時の付着応力の平均であり、付着割裂強度の実験値とする。

3-1. 破壊モード

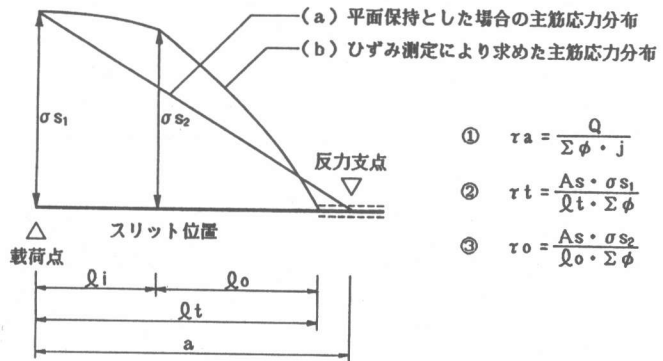
No. 1、No. 2は、処女載荷・締め付け補強後の載荷とも、 $Q_{u\cdot cal}$ よりかなり低いせん断力で付着割裂破壊を生じた。スリットの先端にせん断ひびわれが発生した後、外側付着長さ域のかぶり

表 1 鉄筋の性質

種類	径	降伏強度[kgf/cm ²]	最大強度[kgf/cm ²]
引張鉄筋	D19	6130	7930
スターラップ	6φ	5070	7110
圧縮鉄筋	D16	3400	4870

表 2 コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 [mm]	スランブの範囲 [cm]	空気量の範囲 [%]	水セメント比 w/c [%]	細骨材率 s/a [%]	単位置 [kg/m ³]			
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
13	7.5~10	2.7	70	56.3	253	317	930	712



$$\begin{aligned} \textcircled{1} \quad \tau_a &= \frac{Q}{\sum \phi \cdot j} \\ \textcircled{2} \quad \tau_t &= \frac{A_s \cdot \sigma_{s1}}{Q_t \cdot \sum \phi} \\ \textcircled{3} \quad \tau_0 &= \frac{A_s \cdot \sigma_{s2}}{Q_0 \cdot \sum \phi} \end{aligned}$$

図 4 付着応力の評価法

表 3 実験結果一覧

試験体	a/d	Q_0 (cm)	F _c (kg/cm ²)	Q _{u·cal} † (ton)	$\tau_{u·cal}$ †† (kg/cm ²)	Q _{u·exp} (ton)	付着強度 (kg/cm ²)		破壊モード	
							τ_{0max}	$\tau_{0u·exp}$		
NO. 1-1	2.62	50	182	17.40	21.37	13.4	隔	27.5	23.0	付着割裂破壊
							中	19.8		
NO. 1-2						14.1	隔	32.0	24.0	付着割裂破壊
							中	19.8		
NO. 2-1	1.95	25	192	21.70	21.94	10.7	隔	33.2	23.0	付着割裂破壊
							中	16.7		
NO. 2-2						11.2	隔	30.4	22.9	付着割裂破壊
							中	18.3		
NO. 3	1.95	35	198	21.98	22.22	27.9	隔	66.0	(63.0)	せん断破壊
							中	61.4		

† 大野・荒川式 †† 森田・藤井式

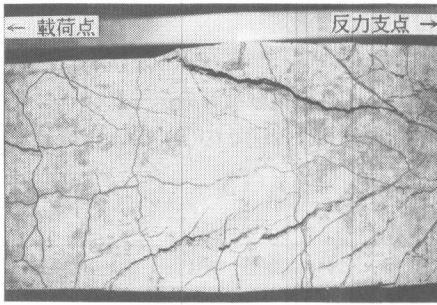


写真 1 No.1-2 底面

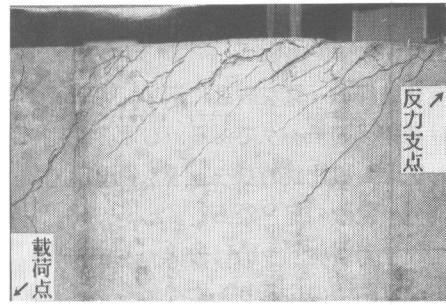


写真 2 No.1-2 側面

コンクリートに異形鉄筋の付着作用特有の無数のひびわれが発生し、最終的には隅角部のかぶりが大きく剝離するコーナースプリット型に近い破壊で耐力を失った。森田・藤井式²⁾や著者等の有限要素解析³⁾によれば、鉄筋中心を連ねるラインで割り裂かれるサイドスプリット型破壊になることが予想されたが、横補強筋間隔が比較的小さかった(5cm)ため底面かぶりの剝離は見られなかった。

(写真1、2、3参照) No. 3は、せん断ひびわれ域の横補強筋の降伏と同時にせん断ひびわれが大きく開き、かつ、ずれて耐力を失った。同時に、スリット外側の側面かぶり部分には、主筋のたば作用の影響と考えられる割裂ひびわれが発生した。(写真4参照)

図5は実験で得られた各試験体のせん断力 Q と載荷点たわみ δ の関係である。一点鎖線で示すのは締め付け補強を行った試験体(No. 1-2、No. 2-2)であるので、履歴ループを描いている。図中のF点は曲げひびわれ、S点はせん断ひびわれ、B点は付着割裂ひびわれの発生を示している。

3-2. $Q-\tau$ 関係

図6はせん断力 Q と τ の関係を、隅角筋・中間筋別に示したものである。隅角筋、中間筋ともせん断ひびわれ荷重 Q_c で $Q-\tau$ の勾配が急変し、その後 τ は著しく増加する。中間筋の τ は最大耐力 $Q_{u,exp}$ 前にピークに達し、その後急激に減少する。その影響で隅角筋の τ が上昇し、付着割裂破壊に至っている。No. 3では、隅角筋・中間筋の挙動に差異はみられ

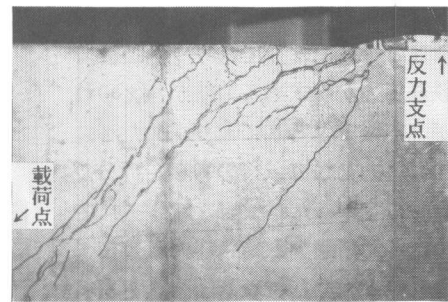


写真 3 No.2-1 側面

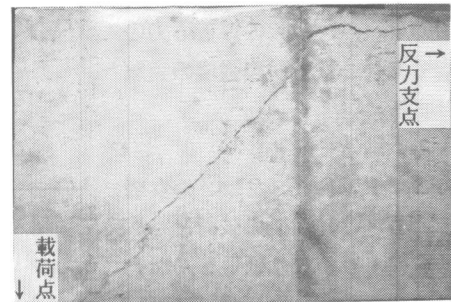


写真 4 No.3 側面

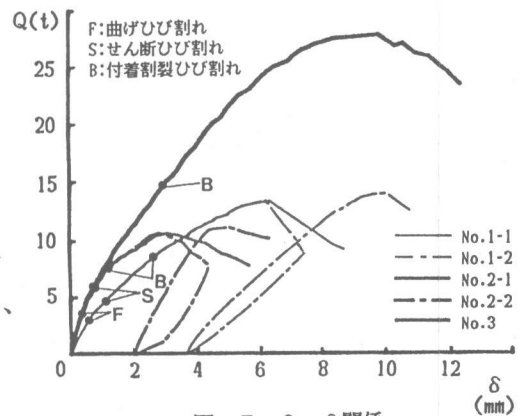


図 5 $Q-\delta$ 関係

ず、 τ_0 は健全なまません断破 $\tau/\sqrt{F_c}$ 壊に至っている。

3-3. τ_0 -S 関係

図7にNo. 1、No. 2の τ_0 とスリット位置での引張主筋のすべり量Sとの関係を示す。隅角筋、中間筋とも、すべりはせん断ひびわれ発生前にはまったく見られないが、せん断ひびわれを契機に増加し始める。隅角筋の最大付着応力 $\tau_{0,max}$ 、せん断ひびわれ後の τ_0 -S 剛性の勾配が中間筋のそれに比べ非常に大きくなっている。これは、付着割裂強度を上昇させるには、横補強筋の隅角部に主筋を配置することが有効であることを示している。またピーク後の τ_0 の減少も隅角筋の方が小さく、割裂破壊後の耐力保持にも隅角筋が有効であると言える。

3-4. 付着長が付着割裂強度に及ぼす影響

図8は、外側付着長さ l_0 と付着割裂強度 $\tau_{0u,exp}$ の関係である。図中の黒印記号は付着応力の評価を③式で行ったものを示している。Jirsa等⁴⁾の式には、付着長さが付着割裂強度を低減させる影響因子として取り入れられているが、本実験では付着長さによらず付着割裂強度は一定とする森田・藤井式²⁾に近い結果となった。また、②式によるものを白抜き記号で示すが、隅角筋・中間筋の付着性状の差を忠実に表現できないうえ、付着強度を過小評価することがわかる。

4. まとめ

単純はり型の付着実験より得られた結果を以下に要約する。

- (1) 引張主筋の側面、底面を詳細に観察できるよう工夫した載荷装置による実験で、とすれば混同されがちな付着割裂ひびわれと主筋のだば作用によるひびわれの追跡が可能であった。(写真1、2、3、4参照)
- (2) スリットから外側の平均付着応力 τ_0 は、せん断ひびわれ後急激に上昇する。すなわち、付着割裂耐力 Q は、せん断ひびわれ荷重 Q_c と密接な関係があると考えられる。

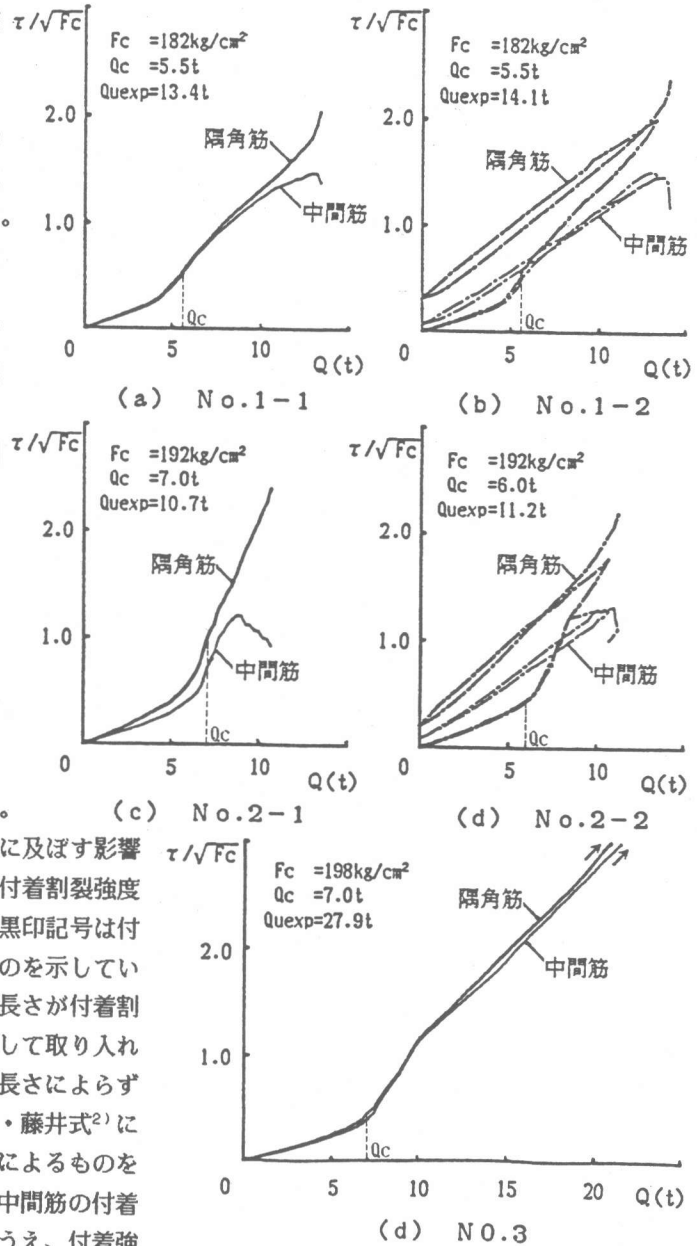


図 6 $Q - \tau_0$ 関係

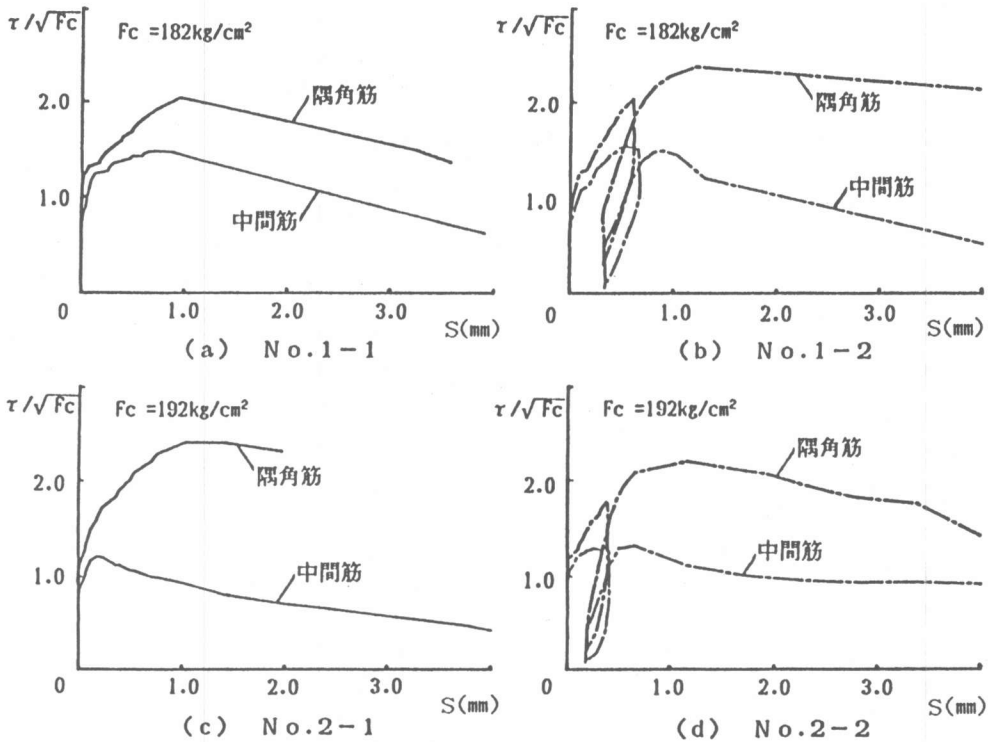


図 7 τ o-S関係

(3) 横補強筋の隅角部に主筋を配置すれば、横補強筋の辺上に主筋を配置する場合に比べ、付着割裂強度の向上、破壊後の耐力保持に有効であると考えられる。

(4) 付着長さが異なる試験体でも、付着割裂強度に著しい差は見られなかった。付着長さが付着割裂強度に及ぼす影響は、横補強筋量や主筋と横補強筋の掛かり型との複合的なものと考えられるため、今後の検討課題としたい。

謝辞

本実験で使用した高強度鋼材は神戸製鋼(株)が快く御提供下さった。ここに記して感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) 荒川卓：鉄筋コンクリート梁のせん断抵抗に関する研究(実験結果の総括)、日本建築学会論文報告集、1960年、10月、pp48~61
- 2) 藤井栄、森田司郎：異形鉄筋の付着割裂強度に関する研究-第2報 付着割裂強度算定式の提案-、日本建築学会論文報告集、1983年、2月、pp45~53
- 3) 角徹三、山田守、柴田誠：有限要素法による付着割裂作用を受けるコンクリートの応力解析、土木学会中部支部研究発表会梗概集、1988年、3月
- 4) Orangun, C.O.; Jirsa, J.O. and Breen, J.E.: "A Reevaluation of Test Date on Development Length and Splices," ACI Journal, Proc. Vol 74, Mar. 1977

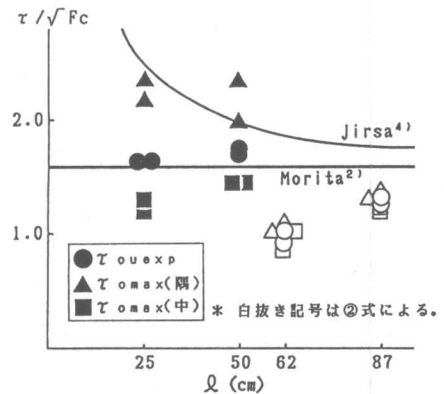


図 8 l o- τ ou関係