

[103] 負鉄筋の埋込み定着に関する実験的研究

正会員 ○角 田 与史雄 (北海道大学工学部)

正会員 能 町 純 雄 (北海道大学工学部)

1. まえがき

鉄筋とコンクリートとの付着作用を利用して鉄筋をコンクリート中に定着する場合、定着長がいくら必要かという問題と、定着長をどの位置から測るかという問題とがある。前者は、必要定着長の算定に用いる付着強度の値がその中心課題であるのに対し、後者は、設計に用いる応力理論と実応力との関係が問題となる。すなわち、鉄筋コンクリートはりに斜ひびわれが生ずれば、はりの引張鉄筋には慣用の応力理論による計算値を上回る応力が作用することが明らかにされており、それはあたかも計算上の曲げモーメント曲線または鉄筋の引張力曲線がその絶対値が大きくなる方向にある距離だけ移動したかの如くなることから、モーメントシフトまたは引張力シフトと呼ばれている。このことから現在、各国の示方書や規準には付着強度に対する規定と並び、シフトに対する配慮が見られる。しかしそれは、はりやスラブの引張鉄筋の途中定着や折曲げ位置決定のように、スパン内でのシフトに限られており、例えば片持ばりや片持板の負鉄筋の構造物体中への埋込み定着等を対象にしたシフトの規定は見当らないようである。そのような状況にある中で、岡村¹⁾は、フォーミング中への柱の軸方向鉄筋の埋込み定着を例にとり、この種の定着においてもシフトを考慮するよう推奨しており、また、土木学会が最近刊行したコンクリート構造の限界状態設計法試案²⁾の中でも、部材結合部における鉄筋の埋込み定着においてもシフトを考慮する内容となっている。しかし、これらは十分な実験的裏付けに基づいたものとは言い難い。

本研究は、片持ばり等の負鉄筋の埋込み定着を例に挙げ、部材結合部における鉄筋の定着に対する埋込み長について実験的に検討を行ったものである。

2. 供試体および実験方法

本研究で用いた供試体は大別して3種からなる。実験Aの供試体は、図-1に示すように、構造物本体の上面に合わせて結合された片持ばりの負鉄筋の埋込み定着のモデルで、後出の表-1に示すように負鉄筋の直径 ϕ 、かぶり厚と鉄筋径の比 c/ϕ および埋込み長 l を変数としている。なお、供試体A5~A17では埋込み定着部に横方向鉄筋が存在しないのに対し、A18~A20ではスターラップ状の鉄筋が配置してある。また、大部分の供試体は負鉄筋が2本からなるが、供試体A14~A16では負鉄筋が3本からなり、中央の1本は供試体右端まで延長し、両側の2本のみが途中で定着している。

実験Bの供試体は、図-2に示すように構造物本体の高さの途中に片持ばりが結合されており、実験Cの供試体はさらに、

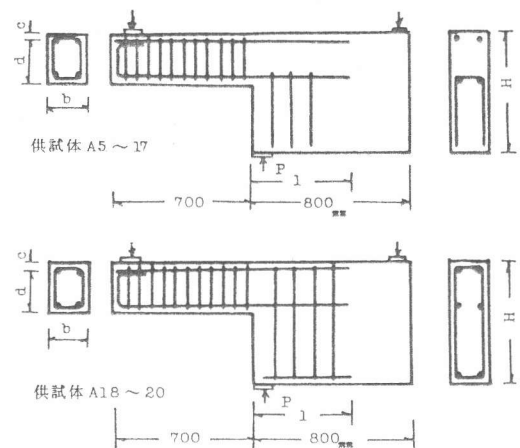


図-1 実験Aの供試体の概略形状

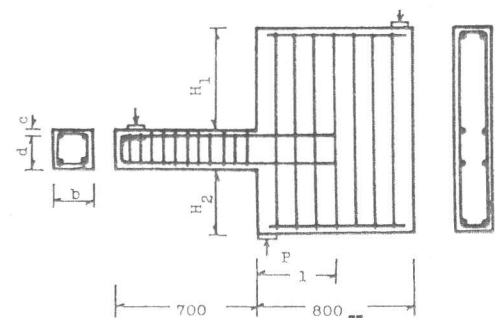


図-2 実験Bの供試体の概略形状

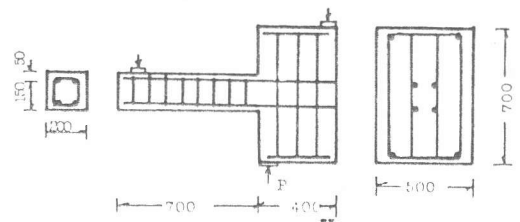


図-3 実験Cの供試体の形状寸法

構造物本体の幅よりも小さな幅の片持ばりが結合された場合の例で、いずれも片持ばりの負鉄筋の埋込み定着を抜けている。

以上において、片持ばりの負鉄筋には横フシ型異形棒鋼SD35を用い、その縦リブの部分には溝が設けられ、予めストレージを貼付して防水措置を施した後、コンクリートが打設された。なお、負鉄筋以外の鉄筋にはSD30のJ30を用いている。また、コンクリートは早強ポルトランドセメントおよび天然骨材を用いたもので、単位セメント量および水セメント比は、供試体A5～A17に対してそれぞれ 320 kg/m^3 および50%、その他の供試体に対して 325 kg/m^3 および49%であり、試験日 材令7日における目標強度はいずれも 300 kg/cm^2 である。

3. 実験結果および考察

3. 1 引張力シフト

いま、図-4に示すような片持ばりが先端附近に集中荷重を受ければ、鉄筋引張力の計算値はabようになる。それに対してシフトが起つたとすればa'b'ようになる。これが通常のシフトであるが、本研究の対象はaの右側におけるシフトである。すなわち定着付着作用のみを考えれば鉄筋引張力がac'のようになると仮定するとき、シフトが起つたとすればa'e'のようになるはずである。ここにa'e'がシフトの領域であり、a'e'が実際の定着に寄与する領域である。

上記は模式図であるが、本実験の測定例を図-5に示す。この供試体ではまず位置aにひびわれが生じた後、位置bにもひびわれが生じて鉄筋ひずみ曲線の極大値が2箇所になったが、さらにその後位置cにもひびわれが生じて結局3箇所に極大値が生じている。その際、鉄筋ひずみ曲線はae間で波打った形になっているが、それはひびわれ間付着と呼ばれる現象によるもので、力の伝達機構から見れば、水平線と同義のものである。従って、斜ひびわれの影響により位置cの鉄筋引張力が位置eへシフトしたと考えることができる。そのことはまた、 $P=5t$ と $6t$ との間で鉄筋ひずみ曲線が大きく右方へ移動し、定着に寄与する領域が変化したことからも明らかである。なお、図中には位置eの右側でも多数のひびわれが見られるが、それは主として鉄筋降伏後に生じた付着破壊によるもの（割裂ひびわれの一種）である。

図-6は、上記と同様に実験Aの測定例を示したものである。この供試体は負鉄筋が3本からなり、両側の2本の鉄筋のみが途中定着されているが、その2本の鉄筋が付着破壊を起した。しかしこの場合にも引張力シフトが明確に見られる。

次に、図-7は定着長が短い場合の特異な破壊形態を示したものである。この供試体では位置aにひびわれが生じた後、位置bにもひびわれが生じ、それが斜ひびわれへと発達しつつあったが、

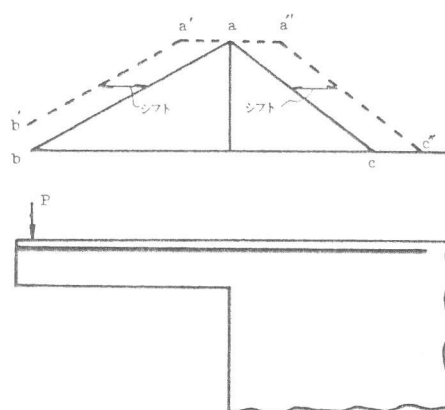


図-4 シフトの模式図

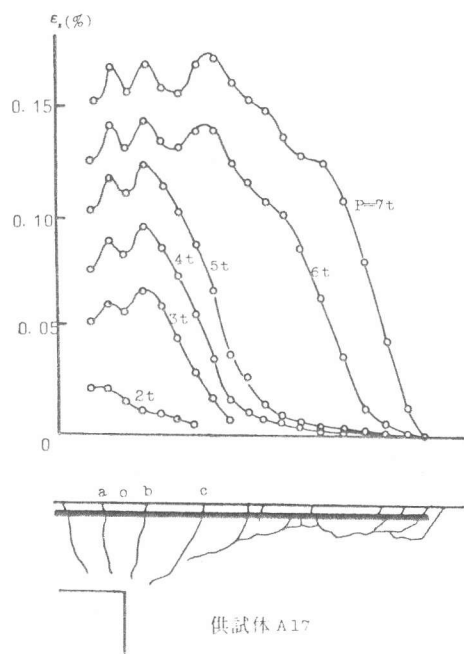


図-5 鉄筋ひずみ分布とひびわれ

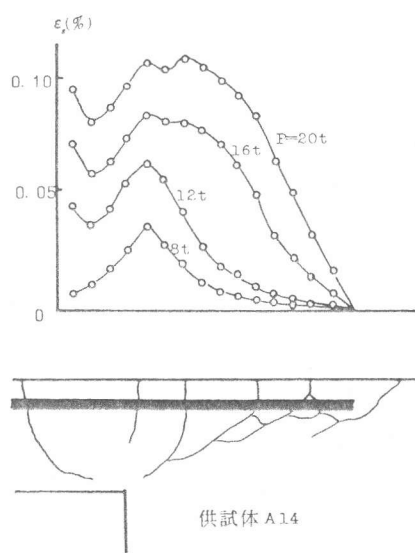


図-6 鉄筋ひずみ分布とひびわれ

その途中で定着部コンクリート全体の剝落破壊が生じてしまった。一方、図は省略するが、供試体 A20 は、上記の供試体とは定着部に横方向鉄筋を配置した点のみが異なるが、上記の破壊形態は避けられ、通常の付着破壊を起した。このことより、実験 A の供試体のような部材結合部では、定着部コンクリートの補強に対する配慮も必要であることがわかる。

表一1 は、実験 A における鉄筋の埋込み定着部のひずみ分布とひびわれ状況より推定した引張力シフト長 s の値を示したものである。これによれば、片持ばりの有効高さに対するシフト長の比 s/d は 0.53 ~ 1.09、

平均 0.80 となっている。これより、構造物の設計における安全性を考慮すれば、この種の部材結合部における鉄筋の埋込み定着では、設計上、少なくとも部材有効高さ程度のシフトは考慮すべきであると言うことができよう。

図一8 は、実験 B における測定例を示したものである。実験 B では 6 個の供試体について実験したが、そのうち 4 個の供試体では、この図に見られるようにシフトが観測されなかった。

一方、実験 B の残りの供試体 2 個と実験 C の供試体 2 個のいずれにおいても、シフトらしきものが観測された。図一9 はその例を示したもので、鉄筋ひずみ曲線には波打ち現象が見られ、シフトが起ったことを示唆している。しかし、前述の実験 A の場合と異なり、ひずみの極大値が右方へ向って減少しており、波打ち区間においても定着付着に対してかなりの密着をしていることを示している。

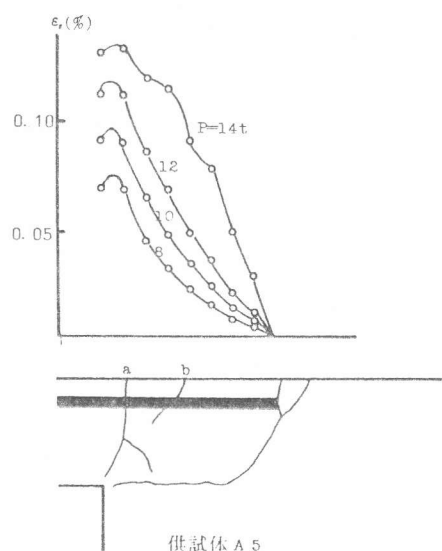
これより、実験 B または C のように構造物本体の高さの中間部に鉄筋が埋込み定着される場合には、シフトが全く起らないか、それとも不完全なシフトが起ると言うことができる。表一2 に示す s は、このような不完全なシフト長であり、実質的なシフト長はこの半分程度とみなすことができる。土木学会の限界状態設計法試案²⁾では、この種の埋込み定着の場合には部材有効高さの $1/2$ 以上のシフト長を考慮するよう規定しているが、本実験結果は、その規定が決定的外れでないことを示している。

3. 2 付着応力

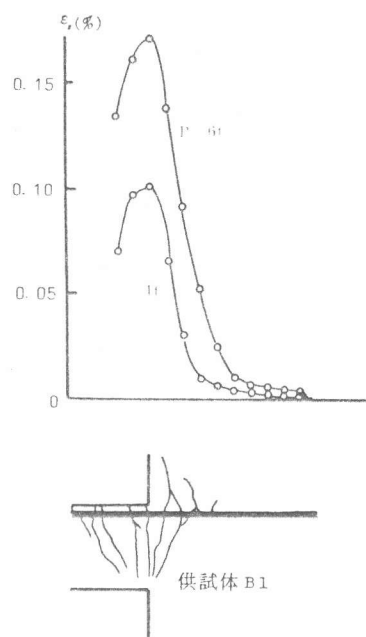
前節の結果より部材結合部における鉄筋の埋込み定着においては、埋込み長はシフト長と定着長の和としなければならないことになる。その際、定着長は付着強度より計算することができるが、本実験におけるような埋込み定着の場合を対象に、シフトの影響を考慮した上での付着強度について調べた研究はほとんどないようである。そこで以下に、実験 A の供試体について、破壊時の付着応力を求め、それを、重ね継手における付着強度と比較することにする。なお、実験 B および C の供試体のように、一方向または二方向のかぶり厚が非常に大きい場合については、重ね継手の実験結果が手許にないので、以下の検討からは除外する。

表一1 実験 A の供試体諸元およびシフト

No	b (cm)	d (cm)	ϕ (mm)	c/ ϕ	l (cm)	H (cm)	s (cm)	s/d
A 5	25	18.75	25	2	40	60	13	0.69
A 6	15	16.25	25	1	50	60	5	0.31
A 7	25	18.75	25	2	50	60	15	0.80
A 10	25	18.75	25	2	60	60	18	0.96
A 11	25	18.75	25	2	70	60	14	0.75
A 12	15	16.25	25	1	70	60	14	0.86
A 14	30	18.75	25	2	50	60	14	0.75
A 15	25	21.25	25	1	50	60	14	0.66
A 16	25	22.50	16	1	50	60	12	0.53
A 17	15	17.50	16	1	70	55	17	0.97
A 18	15	17.50	16	1	70	55	19	1.09
A 19	25	18.75	25	2	60	60	18	0.96
A 20	25	18.75	25	2	40	60	11	0.59



図一7 鉄筋ひずみ分布とひびわれ



図一8 鉄筋ひずみ分布とひびわれ

いま、片持ばりの付け根の位置における鉄筋の引張力を T 、鉄筋の周長を U 、鉄筋の埋込み長を l 、シフト長を s とすれば、定着長 $(l-s)$ における平均付着応力は、次式より求めることができる。

$$\tau_0 = \frac{T}{U(l-s)}$$

実験Aの各供試体の破壊荷重時に対して上式より求めた τ_0 の値は、表一三に示す通りである。なお、各供試体の破壊形態は表中に記されているように、埋込み定着部の付着破壊(B)、片持ばりの曲げ破壊または鉄筋降伏後の付着破壊(F)および定着部コンクリート全体の剝落破壊(C)の3種がある。これらの中、破壊形態Bの供試体の τ_0 は付着強度に相当するが、その他の破壊形態のものについては、付着強度の下限値を与えるに過ぎない。

表一三には、本実験に用いたのと同じ異形鉄筋を用い、 ϕ ・ c/ϕ および重ね合わせ長さ l を変数とし行つた重ね継手の破壊試験(詳細は文献³⁾参照)の結果に基づく付着強度の推定値 f_0 も合わせて示してある。これによれば、 τ_0/f_0 の値は全体として0.60~1.22、平均0.92、破壊形態Bのものに限定しても0.80~0.97、平均0.88とやや低い値となっている。しかしこの程度の差であれば、埋込み定着におけるシフト長を除く定着長に対して重ね継手における付着強度を適用したとしても、実用上問題ないと言えよう。

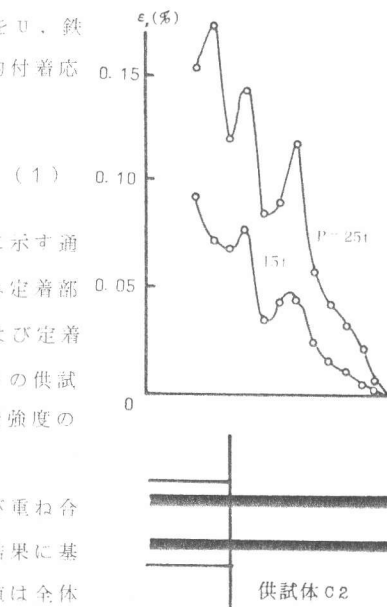
5. 結論

以上に述べた主な結果を列記すれば、次のとおりである。

- 1) 片持ばりの負鉄筋の埋込み定着などのような部材結合部における鉄筋の定着に対しても、引張力シフトを考慮して設計を行う必要があることが実験的に裏づけられた。
- 2) 構造物本体の上面に結合される片持ばり等の負鉄筋の埋込み定着においては、設計上少なくとも片持ばり等の有効高さ程度の引張力シフトは考慮しなければならない。
- 3) 構造物本体の高さの中間部分に結合される片持ばり等の負鉄筋の埋込み定着においては、必ずしもシフトが起るとは限らないが、設計上は上記の場合の半分程度のシフトは考慮するのがよい。
- 4) 鉄筋の埋込み定着において、埋込み長からシフト長を除く長さを定着長とするときの付着強度として、重ね継手における付着強度を適用したとしても、実用上十分な近似となる。

謝辞 本研究は文部省科学研究費によつて行つたものであり、また、木村 勉技官および卒業生より多大な協力を受けたことを記し、ここに深く感謝の意を表したい。

文献 1) 岡村：コンクリート構造の限界状態設計法、共立出版、昭53、11、 2) 土木学会：コンクリート構造の限界状態設計法試案、昭56、4、 3) 角田・高橋：異形鉄筋の重ね継手における定着付着強度に関する研究、土木学会北海道支部論文報告集第38号、昭57、2、 4) 角田・能町：鉄筋の定着におけるシフトに関する一研究、土木学会第36回年次学術講演会講演概要集第5部、昭56、10



図一9 鉄筋ひずみ分布

表一四 実験BおよびCの供試体諸元およびシフト

試体	b (cm)	d (cm)	ϕ (mm)	c/ϕ	l (cm)	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	s (cm)	s/d
B1	15	17.5	16	1	40	50	35	—	—
B2	15	17.5	16	1	60	50	35	—	—
B3	15	17.5	16	1	60	20	35	—	—
B4	25	20.0	16	2.6	40	50	35	—	—
B5	25	20.0	25	1.5	40	50	35	22	1.10
B6	25	20.0	25	1.5	60	50	35	23	1.15
C1	20	17.0	16	—	40	25	25	9	0.53
C2	20	15.0	25	—	40	25	25	16	1.07

表一五 破壊時の平均付着応力

試体	τ_0 (kg/cm ²)	f_0 (kg/cm ²)	τ_0/f_0	破壊形態
A5	55.4	52.4	1.06	C
A6	20.5	34.1	0.60	C
A7	38.9	46.1	0.84	B
A10	38.9	41.5	0.94	B
A11	42.4	37.0	1.15	F
A12	22.8	30.9	0.74	B
A14	38.7	46.6	0.83	B
A15	29.3	36.7	0.80	B
A16	34.0	36.2	0.94	B
A17	25.3	28.4	0.89	F
A18	41.9	34.2	1.22	F
A19	43.5	44.7	0.97	B
A20	48.1	51.4	0.94	B

B：付着破壊 C：コンクリート破壊
F：曲げ破壊