

[76] SRC柱の基礎への埋込み深さに関する実験

正会員 ○ 古賀 康之 (建設省土木研究所)
 正会員 小林 茂敏 (建設省土木研究所)
 正会員 河田 博之 (建設省土木研究所)
 森 浜 和 正 (建設省土木研究所)

1. まえがき

土木構造物でSRC構造が採用された例の多くは独立柱形式あるいはラーメン形式の橋脚である。これらの構造物にSRCを用いた場合に設計施工の厄介な部分のひとつは、橋脚の鉄骨をフーチングに定着させることである。現在、この方法にはアンカーボルトを介してフーチングに定着する方法が最も一般に用いられているが、他に、橋脚の鉄骨を直接フーチングへ埋込む方法もある。

アンカーボルトを使用して定着する場合には鉄筋がアンカーボルトの外側に配置されるために柱の付け根を太くしなければならない等の問題を生ずることも多い。一方、鉄骨を直接フーチングへ埋込む方法は柱をスレンダーなものにするのに適した方法であるが、その埋込み深さについては、「橋脚部短辺方向の鉄骨部の腹材高さ以上又は短辺方向高さ以上でかつ、フーチング厚さ以下」と規定された例もある⁽¹⁾が、設計理論などもまだ明確にはなっていないとはいえない。

以上のことから、SRC柱をフーチングの中へ種々の深さで埋込んで、その性状等を調べて考察を行なったので報告する。

2. 実験概要

2.1 試験体 試験体は図-1に示すような断面60×60×高さ300cmの柱を幅80×高さ80×長さ250cmのフーチングに埋込んだもので、埋込み深さを20cm(鉄骨腹部厚1/2)、40cm(鉄骨腹部厚)、及び60cm(鉄骨腹部厚の3/2)の3種類に、フーチングの配筋にスターラップを0.16%加えたものと加えないものとの組合せで表-1に示すような諸元で5本の試験体を製作した。

2.2 使用材料 使用した鋼材の機械的性質を表-2に示す。

セメント：早強ボルトランドセメント

骨材：鬼怒川産砂及び砂利 $\rho_s=2.54, \rho_g=2.60$

配合：表-3に示すようなもの、但し実際に得られた強度は柱 = 288 kg/cm²、フーチング = 200 kg/cm²であった。

2.3 载荷および測定の方法

载荷及び測定の方法の概要を図-2に示す。载荷はフーチングにひびわれが発生するか、または柱の鉄筋が降

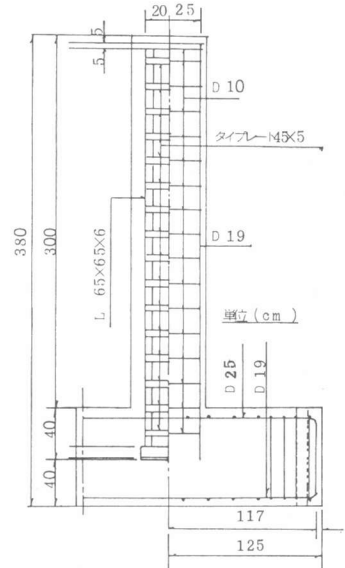


図-1 試験体配筋図

表-1 試験体の諸元

試験体	部材名	せん断支間比	帯鋼材比(%)	主鋼材比(%)	埋込み深さ cm
No. 1	柱	4.9	0.31	0.9	20
	フーチング	1.17	0.0	0.36	
No. 2	柱	4.9	0.31	0.9	
	フーチング	1.17	0.16	0.36	
No. 3	柱	4.9	0.31	0.9	
	フーチング	1.17	0.0	0.36	
No. 4	柱	4.9	0.31	0.9	
	フーチング	1.17	0.16	0.36	
No. 5	柱	4.9	0.31	0.9	60
	フーチング	1.17	0.0	0.36	

表-2 鋼材の機械的性質

鋼材の種類	使用部材	使用材料	引張強さ kg/mm ²	降伏点 kg/mm ²	伸び %
鉄筋	柱部材	主鉄筋 D 19	57.0	37.6	27
		フーチング用鉄筋 D 10	54.7	38.6	26
	フーチング	主鉄筋 D 25	58.0	37.0	25
		D 19	57.0	37.6	27
		スターラップ 13	53.7	37.1	27
鉄骨	柱部材	L 65 × 65 × 6	51.4	37.0	26
		タイプレート 45 × 5	50.0	36.0	36
		ペースプレート厚 25	45.0	30.0	30
コンクリート強度	柱部材		288	28.7	
	フーチング		200	19.9	

表-3 コンクリートの配合

強度 kg/cm ²	Gmax mm	S lu cm	W/C %	S/a %	W kg	C kg	S kg	G kg	使用試験体
240	25	12	65	48	185	285	905	985	柱部
240	25	8	75	52	180	240	963	910	フーチング

伏するまでは、荷重制御により荷重を反復漸増し、その後は変位制御により、ひびわれ時又は柱鉄筋降伏時変位を10%づつ反復漸増した。載荷速度は1サイクル/分とし、各サイクル毎にひびわれの進行状況、荷重、変位、各種のひずみの測定を行った。なお変位の測定は摺動方式の変位計、ひずみはW, S, G, ひびわれは目視によって観測した。

3. 実験結果

3.1 埋込み深さと耐力

柱の先端の荷重及び変位（各サイクルの最大荷重と変位の包絡線）は図-3のようになった。

太い実線は、コンクリート及び鋼材を実測の圧縮強度及び降伏強度を有する完全弾塑性体（弾性域における $E_s/E_c=10.0$ ）と考え、かつ定着部鋼材の伸び出しをも考慮した弾塑性計算²⁾を用いた柱だけが降伏する場合の荷重～変位曲線である。表-4に実験値と計算値の比較を示す。No.5の荷重～変形の測定値は計算値とよく一致しているが、他はいずれもそれよりも小さい荷重で耐力が下がっている。すなわちNo.5以外はフーチングで破壊をしたのである。以下にフーチングで破壊の生じる場合の状況を述べる。

3.2 フーチングにおける破壊の進行状況

どの実験供試体も荷重の増加につれてフーチング側面にひびわれが生じたが、埋込み条件によってひびわれの状況が大きく異なった。埋込み深さ20cmのケースNo.1の場合には荷重8.2tのときに図-4-(1)に示すように柱鋼材の先端にAで示されるような船底形のひびわれが発生した。その後、荷重の方向を逆にした（負方向載荷）場合には、引張り側になった鋼材の底部に同様なひびわれが発生

した。次に荷重を正方向載荷に移し、荷重を少し上昇させるとAのひびわれはフーチングの上表面にまで達し、大きく開いて柱の耐力が急激に低下した。すなわち、引張り鋼材下端に生じた船底形の付着ひびわれによって破壊した。

フーチングにスターラップの入ったNo.2試験体は、ひびわれ位置も荷重もNo.1とはほぼ同じであるが、ひびわれがNo.1のように急激には開かず、破壊するまでの変形が大きくなった。

埋込み深さが40cmの試験体No.3の場合には、図4-(2)に示すようなひびわれが発生した。荷重が14.6tのとき、深さ20cmの所にあるタイプレートの所からひびわれが発生し、その後、ひき続いて柱の引張り鋼材先端にBのような船底形の付着ひびわれが生じた。同じ大きさの荷重を負の方向に加えた場合には、引張り側となった側にこれとほとんど対称にひびわれが生じた。次に正荷重を加えた時には、柱のフレーム内にひびわれCが生じたが、これはその後、荷重が増してもあまり変化はしなかった。その後、負の荷重でC, Dのようなひびわれも出てきたが、最終的には、ひびわれBおよびB'が荷重をくり返すうちに次第に幅と長さを増し、これがフーチング

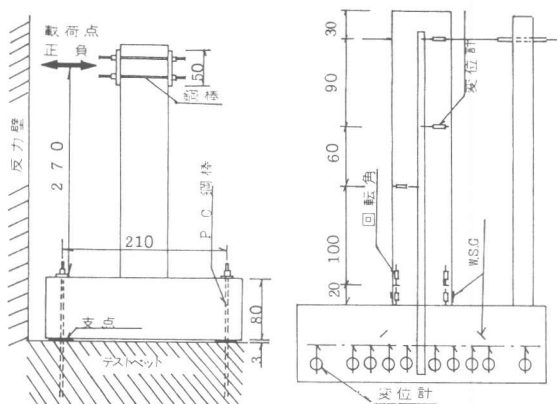


図-2 載荷方法および測定方法

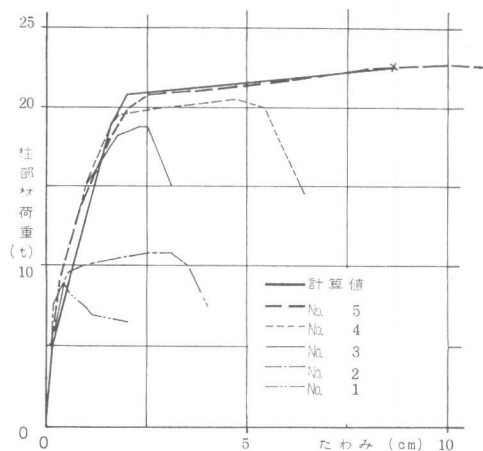


図-3 荷重～変位 線線

表-4 実験値と計算値の比較

試験名	Pc (t)	Pry (t)	Psy (t)	Pu (t)	Pc 計	Pry 計	Psy 計	Pu 計
No.1	5.0	—	—	—	1.03	—	—	—
No.2	4.75	—	—	—	0.98	—	—	—
No.3	5.25	18.0	—	—	1.08	0.94	—	—
No.4	5.0	17.75	19.5	20.5	1.03	0.93	0.94	0.91
No.5	5.25	18.0	19.9	22.8	1.08	0.95	0.95	1.01

上面まで達して破壊した。

埋込み深さが60cmのNo.5の場合には、荷重が18.0tになって柱部材の引張り鉄筋が降伏するまで、フーチングにはひびわれはまったく発生しなかったが、鉄筋が降伏すると図4-(8)におけるA(負荷重ではA')のようなひびわれがフーチングの中で最も上にある鉄骨のタイプレートの位置から発生した。続いて荷重が20t程度になって鉄骨も降伏すると、Aのひびわれは幅が急に大きくなったがそれと同時にフーチングの中にひびわれB(負荷重ではB')が発生した。

4. 考 察

今回、3種類の埋込み深さを変えた実験の範囲におけるフーチングに生じたひびわれはいくつかのパターンに分類できると考えられる。No.1(No.2), No.3(No.4), 等のフーチングに発生し、最終的には破壊の原因となった引張側鋼材の底部から発生する船底形のひびわれは、引張側鋼材の定着破壊と考えられる。この破壊が生ずるのは、船底形の断面における強度の鉛直方向成分の合力が、鋼材の引張力に達した時であるから、破壊断面の形状と強度がわかれば、破壊強度の計算が出来ると考えられる。しかしながら破壊断面の形状を求める適当な方法が現在の所見当らない。そこでパンチングシミュアによって図-5に示すような面がぬけ出ると仮定すればせん断強度を τu として、

$$h = T / \tau u \times 2 / 2 \times (bc + bh) \dots \dots \dots (1)$$

となる。

但し、T: 引張り側鋼材に生じる引張力(kg)

τu : せん断強度(kg/cm²)

bc: 柱幅(cm)

bh: フーチング幅(cm)

h: 埋込み深さ(cm)

また、鉄筋コンクリート同様に考えて柱の有効高さ応力中心間距離を各々d, jとすれば、柱の曲げ耐力Mは(2)式であらわせる。

$$M = j \times d \times T \dots \dots \dots (2)$$

せん断強度として仮に、

$$0.93\sqrt{\sigma_c}, \quad (= 3.5\sqrt{F'_c} \text{ psi ACI式}^3)) \text{ を用い、}$$

σ_c を試験体のフーチングのコンクリート強度(200kg/cm²)

とすれば $\tau u = 13.1 \text{ kg/cm}^2$ となる。これと(1), (2)式から、この試験体の埋込み深さと最大水平荷重との関係を求めると、図-6の実線のようになる。なお、図中にプロットしてある黒丸は5つの試験体の正負それぞれの荷重時における船底形のひびわれが発生した時の荷重であるがいずれも計算値よりは大きい。

これは破壊面の仮定や、せん断強度の仮定にまだ問題があるからであろうが、この考え方は今回の実験値に対しては安全側であるといえよう。

次に、No.3(No.4), No.5の試験体に生じた柱の

フレーム内のひびわれは、フーチング接合部のせん断力によるものと思われる。これと同じような問題は柱と梁の接合部のパネル等で取扱われている。フーチングを梁と考えれば、柱の鋼材の引張力T, フーチング反力によるせん断力V, とすれば、接合部における公称せん断応力度 τ は次式で現わせる。

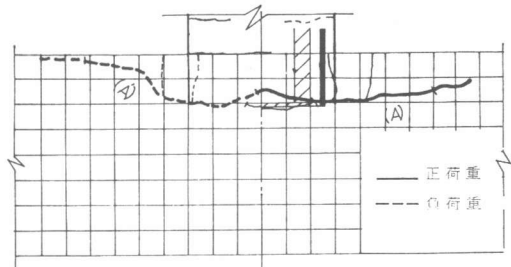


図4-1 埋込み深さ20cm

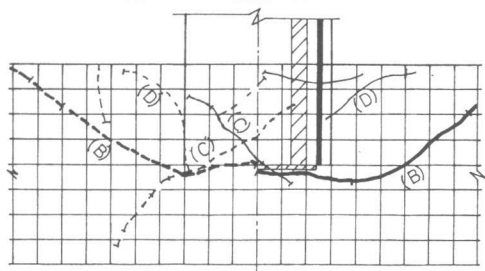


図4-2 埋込み深さ40cm

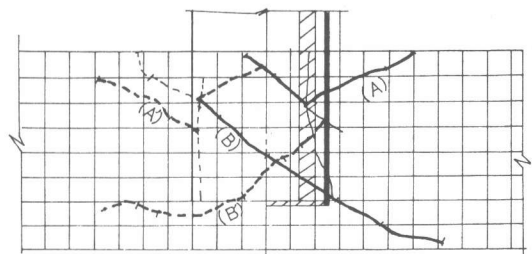


図4-3 埋込み厚さ60cm
図-4 フーチング側面ひびわれ図

$\tau = (T - V) / \phi A_{cv} \dots (4)$ 但し、 ϕ : 係数 0.85, A_{cv} : せん断応力度を伝達する有効面積。
 A_{cv} は本来はフーチング有効高さ \times スターラップで囲まれたフーチング幅であるが、これを埋込み深さ (h) \times フーチング幅 (b_c) とすれば、
 $h = (T - V) / \phi b_c \tau_u \dots (5)$
 τ_u を文献⁴⁾にしたがい、大きな変形をうけることもないので、
 $1.30 \sqrt{\sigma_c}$ ($1.4 \times 3.5 \sqrt{f_c}$ psi) として計算し p と h との関係の求めると図-6の点線のようなになる。
 図中の白丸印は、試験体 No. 3, No. 4, No. 5 においてフレーム内にひびわれが生じた荷重と埋込み深さの実測値を示している。この計算によれば、この試験体に関しては定着せん断ひびわれよりも、きびしい条件となる(ただし実験値にはかなり余ゆがあるが)。しかしながらフーチングはもう少し幅が広く、また、柱の埋込み部分に鉄筋を巻くことなどによっても対処出来るので、このことが実際には解決不能なことではないと思われる。最後に No. 5 の試験体で比較的浅い部分に生じたひびわれは鉄骨が伸び出した為定着部のタイプレートの部分に大きな押し抜き力が生じ、ひびわれが生じたものと考えられる。このようなひびわれは、定着長をいくら長くとっても防止出来ないと思われる。これを防止するのは鉄骨の付着を良くするか、フーチング内での断面を大きくする以外に方法はないであろう。

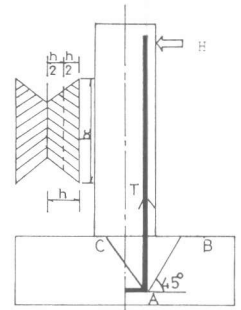


図-5 抜け出し面積の仮定

5. まとめ
 SRC をフーチングに埋込んで定着する場合の埋込み深さに関して、実験を行ない、フーチングひびわれのパターンを観察した。そして、埋込み深さは2つの条件から決まるものとして、かなり自由な発想で実験値を計算で再現出来ないかどうかを試みた。しかしながら、ひびわれ荷重を予測するのにかなり大きなせん断強度を用いたにもかかわらず実験値より小さな予想値しか得られない。今後さらに検討する必要がある。

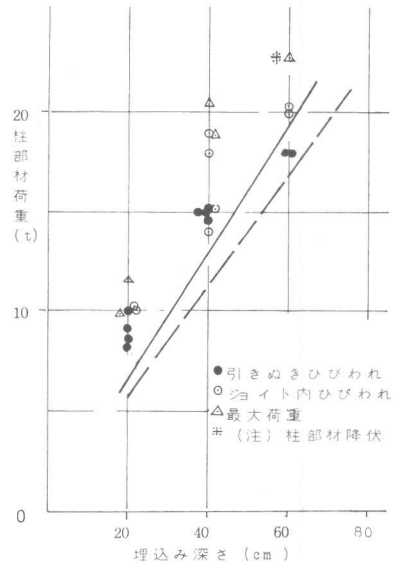


図-6 埋込み深さとひびわれ荷重

表-5 ひびわれ発生荷重

試験体名	引きぬきひびわれ荷重 (t)		ジョイント内ひびわれ荷重 (t)		最大荷重 (t)
	正	負	正	負	
No. 1	8.2	9.9	-	-	9.9
No. 2	8.5	9.1	-	-	11.8
No. 3	14.6	15.1	15.1	14.0	18.9
No. 4	15.0	15.0	18.0	19.0	20.5
No. 5	18.0	18.0	20.0	20.3	22.8

参考文献

- 文献 1) 本州四国連絡橋公団：大型鉄骨鉄筋コンクリート橋脚設計要領，同解説（案）昭和54年11月
 文献 2) 太田 実：コンクリート構造物（橋脚・橋台）耐震設計法（案）土木研究所資料第1284号
 文献 3) ACI Standard 318-71：Building code Requirements Reinforced concrete (ACI 318-71)
 文献 4) ACI-ASCE Committee 352：Recommendatcons for Design of Beam-Columnjoints in Monolithic Reinforced Concrete Structures. (ACI Journal, Vol. 73, No.7)