

S 造と SRC 造の建物の柱脚の実験的研究 (その 4)

——ホール・イン工法による埋込型の側柱柱脚の検討——

武田 寿一 高橋 泰彦
高木 正敏 木村 耕三
(本社 建築本部 設計第三部)

An Experimental Investigation of Column Bases of Steel Reinforced Concrete Structure (Part 4)

——Tests of Side Column Bases Made by “Hole-In-Method”——

Toshikazu Takeda Yasuhiko Takahashi
Masatoshi Takagi Kozo Kimura

Abstract

This paper describes the results of tests to study column bases made by the “Hole-In-Method” which was devised to solve problems of constructability of ordinary embedded column bases. The tests were performed to grasp differences in behaviors of bases due to working methods and to investigate failure patterns and effects of reinforcement. As a result, yielding of columns occurred and column bases did not fail, but tests showed that bases made by the “Hole-In-Method” had characteristics as good as ordinary ones.

The “Hole-In-Method” is one of the methods for making embedded bases. The procedure for construction is firstly to make footing beams having holes for erecting columns, and next to fill in concrete around the columns after the columns have been built in the holes.

In addition, a design method applicable to embedded column bases was suggested.

概 要

埋込型柱脚に施工性の改良を加えた掘立式柱脚を検討するために行なった模型実験の報告である。今回の実験では、施工方法の違いによる挙動の比較、柱脚の破壊状況と補強方法の調査などを目的とした。結果的には、柱の降伏が先行し、柱脚に破壊が起こらなかったが、得られたデータから判断すると掘立式柱脚は従来の埋込型と同じように良い挙動を示すことがわかった。

なお、掘立式とは、基礎ばりのコンクリート打設時に柱建方用の穴をあけておき、その穴に柱鉄骨を建てた後、柱まわりにコンクリートを充填して埋込型柱脚とする施工法を意味している。また付録として、埋込型柱脚の設計法を提案した。

1. 序

前報¹⁾では、柱鉄骨を基礎ばりの中に埋込む、埋込型柱脚の性状が構造的に優れていることを実験によって、確認した。しかし、埋込型柱脚を実際に採用した場合、露出型柱脚と比べると構造的には優れているものの、施工性に不利な点があることがわかってきた²⁾。そこで、埋込型柱脚の欠点を改良した柱脚として、埋込型掘立式工法による柱脚（以後、掘立式工法をホール・イン工法と称する）が考案された。ホール・イン工法は、図一1

に示す様に、基礎ばりのコンクリート打設時に柱脚部を箱抜きにして、柱建方用の穴をあけておき、その穴に柱鉄骨を建てた後に、柱回りを後打ちコンクリートで充填することによって完成する埋込型柱脚の施工法で、その詳細および施工例は参考文献³⁾に示す。

ホール・イン工法による柱脚を建物の外周部の柱に適用する場合、柱脚の柱鉄骨のかぶりコンクリートが小さく、コンクリートによる支圧抵抗は比較的小さくなると予想されるので、補強鉄筋などを挿入して耐力の上昇を考慮する必要がある。また、かぶりコンクリートの中間

に基礎ばりと後打ちコンクリートの打継ぎ面が存在する状態となり、コンクリート部での応力伝達が、一体打のものとは異なることが考えられる。

そこで、これらの問題点を解明するために、埋込型柱脚を側柱に適用した場合を対象として、ホール・イン工法による柱脚と在来の一体式による柱脚の性状比較、柱脚部の補強筋の効果の検討、破壊状況をもとに応力伝達機構の解明、を目的とした実験を行なった。

2. 試験体

試験体は、建物の外周部の側柱と、配筋のおさまり上、水平ハンチを設けた基礎ばりを水平荷重時に反曲点を形成する位置から切り出したL字形であり、直交方向基礎ばりの一部も含んだ立体的な側柱柱脚のモデルである。試験体は実物をほぼ1/3に縮小した大きさで、その詳細な形状、寸法を図-2に示す。掘立式の柱建方用の穴は、基礎ばりと柱脚まわりの後打ちコンクリートとを一体化するために、柱のフープ筋の外側にリブラスを巻き柱型の型枠として作成した。また、はりの主筋には、上端筋と下端筋を連続させたU字形の定着法を採用した。

試験体は5体で、試験体の構成は表-1に示す通りである。各試験体のパラメータを(1)在来工法とホール・イン工法による施工法、(2)柱脚のはしあき(鉄骨柱フランジ外表面から柱脚外方向前面までの距離)、(3)柱脚補強方法の違い、とし、それらが判別できる様に試験体名の中に表現した。名称の頭文字「L」と、2番目の「6」は、前報¹⁾と同様、側柱柱脚及び鉄骨柱の基礎ばり中への埋込長さを示している。4番目の「15」、「20」は、はしあき寸法でそれぞれ15cm、20cmを表わしている。5番目は、補強方法の違いで「I」は、補強筋を挿入するかわりにフープ筋をサイズアップしたもの、「II」は六角形のフープ型補強筋を用いた形式、「III」は□型補強筋を用いた形式を示している。最後の文字「G」は、ホール・イン工法によるものを意味している。

3. 加力方法と測定方法

加力方法は、図-2の通りで、柱脚下端でピン支持し、基礎ばり端部をローラー支持した状態で柱頭にジャッキで水平力を加えた。基礎ばり上端面に引張応力が生じる状態を正加力、その逆を負加力として、荷重制御を目指し図-3のスケジュールにしたがって加力した。

全体変形は、柱の埋込部の断面中心と、基礎ばり端部を不動点とした治具によって測定した。また、各部材の表面やコンクリート内部の鉄筋のひずみをストレインゲージで測定した。

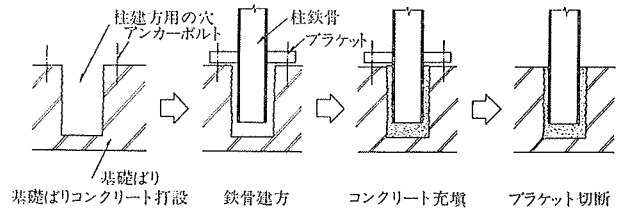


図-1 ホール・イン工法の施工順序

試験体名	柱脚のコンクリート	柱脚のはしあき	柱脚補強筋の形状	柱脚部フープ	基礎ばり(加力方向)
L6N15I O-G	掘立式 (ホール・イン工法)	150mm	—	2-D16@70	断面 230×600 主筋 上端、下端 4-D25 スタップ 2-D10 @50
L6N15II O-G			フープ型補強 上端、下端とも 3段D16	2-D10@70 但し TOP筋 2-D13	
L6N20I O-G			□型補強 上端、下端とも 3段D16	—	
L6N20II O-G	一体式	200mm	—	—	
L6N20III O			—	—	

表-1 試験体一覧表

	コンクリート(Fc)		鋼板(SM50)		鉄筋(SD35, SD40)			
	一体打	後打ち	E19	E9	D25	D16	D13	D10
降伏応力度(t/cm ²)	—	—	3.49	3.37	3.70	4.43	4.20	4.80
最大強度(t/cm ²)	0.265	0.192	5.07	5.52	5.76	7.45	5.94	6.37
伸び率(%)	—	—	29.1	26.9	19.3	12.7	17.3	16.3

表-2 使用材料の特性

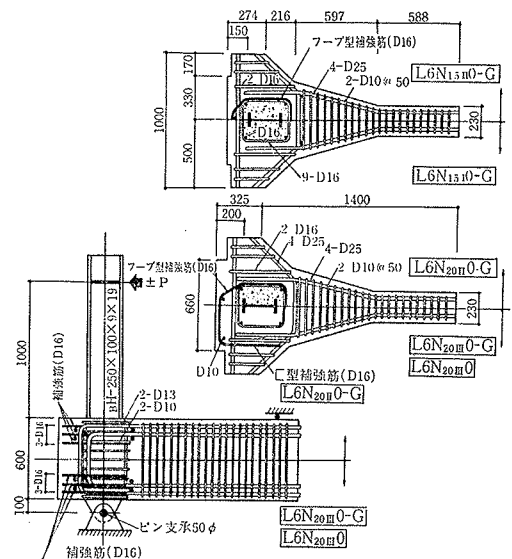


図-2 試験体形状・寸法

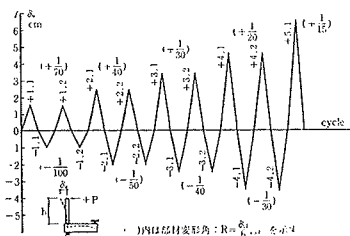


図-3 加力スケジュール

4. 実験結果と考察

4.1. 実験結果

荷重 (P) と柱頭の変位 (δ_u) の履歴曲線を図-4に示す。一体式、掘立式柱脚のひびわれ発生状況を図-5に、両試験体の鉄筋ひずみ分布を図-6、図-7に示す。

4.2. 荷重～変形関係

後述するように補強筋の形状あるいは、掘立式と一体式でフープ筋・補強筋のひずみ分布、ひびわれ状況に差が見られるものの、それらの違いによる柱頭の水平変形量が鉄骨柱の水平変形に比べて小さいために、各試験体の柱頭での水平変形量および荷重に顕著な差はみられなかった。その結果、荷重～変形曲線の形状は、各パラメータによる差はなく、全試験体とも安定したエネルギー吸収のある紡錘型をしている。

4.3. 破壊経過

荷重 4^t で、掘立式では基礎ばり端部に、一体式では引張鉄骨フランジつけ根に、曲げひびわれが発生した。曲げひびわれ発生後、掘立式柱脚では、打継部にそった柱ウェブと平行なひびわれが生じ、大変形時には引張フランジの拔出しにより、後打ちコンクリートの表面が局部的に浮き上がり、繰返し加力によって剝離が見られた。しかし、最終変形時まで後打ちコンクリートと周辺の基礎ばり部のコンクリートとの相対的なずれは観察されなかった。なお、補強筋の形状、はしあき寸法の違いによる破壊状況の差は見られなかった。一方、一体式柱脚では、曲げひびわれ発生後、引張フランジから発生したひびわれは、 45° 方向に直進し、しかも大変形時には、

そのひびわれ位置でコンクリート面に上下方向のずれが見られた。また、柱脚前面のコンクリート面には、いずれの試験体でも曲げひびわれが生じた。柱鉄骨および、はり主筋は全試験とも、それぞれ 16^t 、 20^t 前後で降伏を始めたが、最終的には柱脚の破壊は生じなかった。

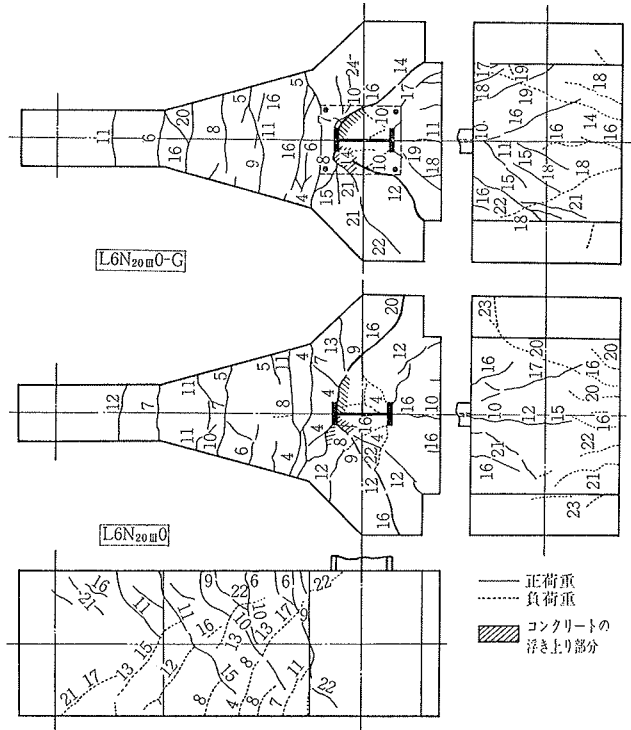


図-5 ひびわれ発生状況

4.4. ひずみ分布

図-6は、掘立式、一体式柱脚の側面位置（鉄骨ウェブ中心位置）での1段目、2段目、3段目のフープ、補強筋、スタラップの軸ひずみ分布を、図-7は基礎ばり主筋上段の軸ひずみ (ϵ_N) と直交方向基礎ばり主筋上段および補強筋の軸ひずみ (ϵ_N)、曲げひずみ (ϵ_M) 分布を示す。なお、ひずみの値は第1サイクル、荷重 15^t 時の値である。

図-6をみると掘立式柱脚では、打継面にあるフープ筋のひずみがスタラップ、補強筋のひずみよりも大きく、

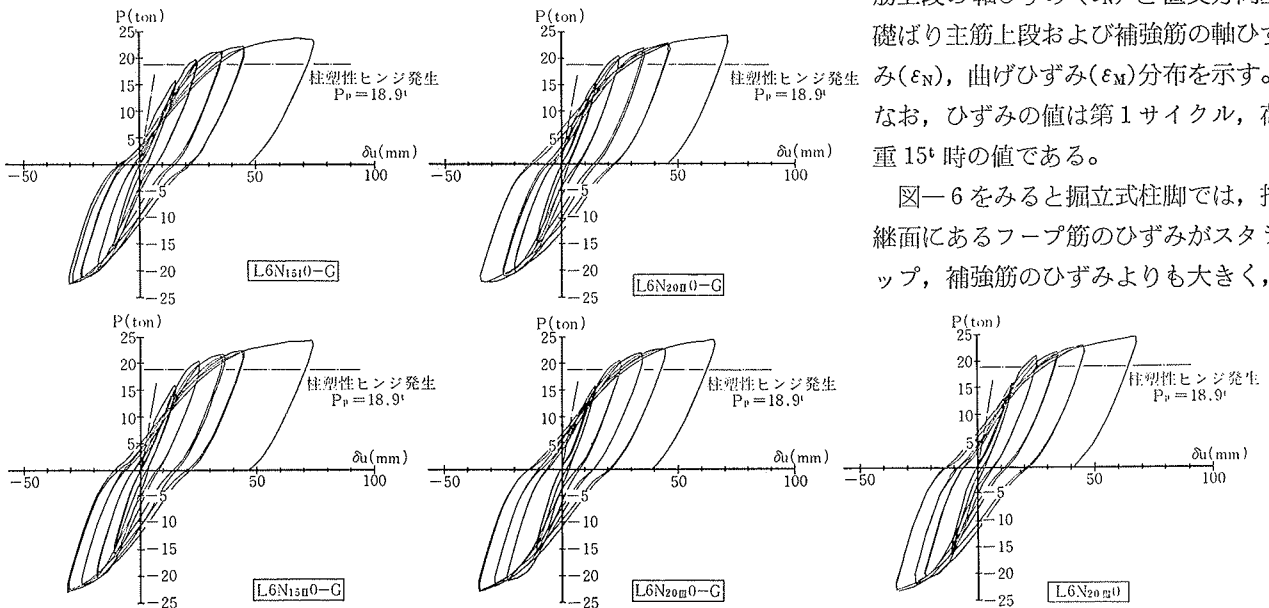


図-4 荷重 (P)～変形 (δ_u) 曲線

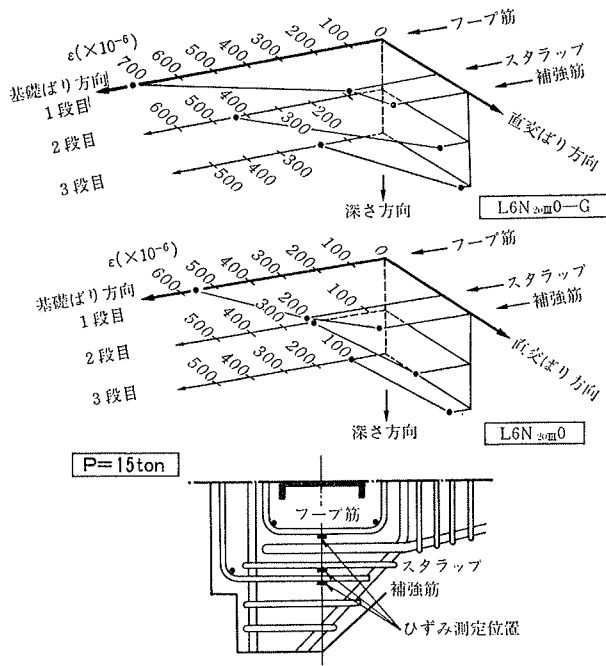


図-6 フープ、補強筋、スタラップのひずみ分布

ひずみがフープ筋に集中し、さらに、ひずみは深さ方向に分布している。したがって、掘立式柱脚の補強方法としては、柱の拘束を高める意味からもフープ筋による補強が有効と言える。

一方、一体式柱脚では、フープ筋のひずみが最も大きいが、スタラップ、補強筋と幅広く分布している。

柱脚前面のコンクリートをC型補強筋、直交方向基礎ばり主筋を曲げ主筋とする耐荷ばりと考えると、その支持条件は、ひびわれ状況と図-6、図-7のひずみ分布から、掘立式柱脚では単純支持に、一体式柱脚では固定に近くなっていると考えられる。

また、後述するように柱脚の耐力決定要因の一つに基礎ばり主筋のアンカー耐力が考えられるが、図-7の基礎ばり主筋のひずみ分布から、一体式柱脚の方が掘立式柱脚より、よくアンカーされていることがわかる。

4.5. 破壊パターン

今回の実験では柱脚の破壊は生じなかったが、破壊経過、ひずみ分布から正加力時の側柱柱脚の破壊パターンを推定すると図-8の様になる。すなわち、引張フランジ先端からの斜めひびわれは、一体式柱脚では、45°方向に直進するのに対し、掘立式柱脚では45°方向に入ったひびわれは、コンクリートの打継面に沿ってしばらく進んだ後、柱脚前面の入隅部に向って再び45°方向に進展する。また、基礎ばりの曲げひびわれも図-8に示す様に両者で異なる。掘立式のひびわれの特徴は、後打ちコンクリートの柱フランジと平行な打継面にそって進行することである。

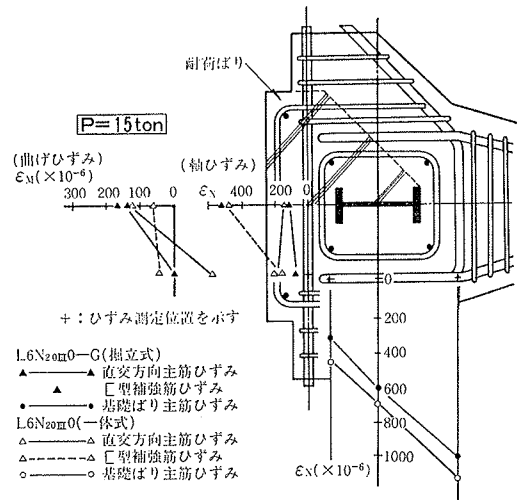


図-7 基礎ばり主筋のひずみ分布

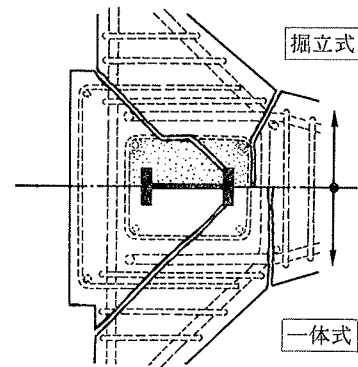


図-8 破壊パターン

5. まとめ

今回の実験結果から、以下のことがわかった。

- (1) 掘立式と一体式柱脚で破壊性状、ひずみ分布に多少差が見られたものの、変形状態においては、全試験体とも差はなく、優れた耐震性能を有する。
- (2) 掘立式柱脚では、はしきき寸法、補強方法の違いによる破壊状況の差は見られなかった。
- (3) 掘立式柱脚で後打ちコンクリートと周辺の基礎ばりコンクリートとの相対的なずれは、大変形時にも見られなかった。
- (4) 掘立式柱脚では、フープ型補強筋を用いるのが有効と考えられる。
- (5) 図-8に示す様に掘立式と一体式柱脚で破壊性状が異なる。破壊パターンに基づいて耐荷機構を検討し、次に柱脚の設計法を示した。

付録 埋込型柱脚の設計法(案)

参考文献¹⁾と本報の結果をもとに、保有耐力時に柱下端、または、はり端に塑性ヒンジが形成されるような埋込型柱脚に適用する設計法をまとめた。この設計法は、

柱の応力を柱脚の支圧力によって基礎ばりに伝達する機構に基づいており、柱のモーメントとせん断力に対する設計に使用する。柱の軸力は別途処理するものとし、モーメントと軸力の相互作用なども無視している。

1. 埋込型柱脚の条件

この設計法は、次の条件を満足する柱脚に適用する。

- (1) 柱鉄骨の埋込長さ (D_s) は、柱丈 (H) の2倍以上とする。しかし、 $D_s > 3H$ の場合には、 $D_s = 3H$ を耐力計算上有効な埋込長さとする。(付図-1)
- (2) コンクリートの支圧強度は、基準強度 (F_c) の α 倍とする。現状では、 $\alpha = 1.0$ とする。(付図-1)
- (3) 柱脚のパネルゾーンとしての破壊は防止する。

2. 中柱柱脚の耐力

完全塑性化を考慮した付図-1 (B) のような矩形の支圧力分布のもとで、柱脚の耐力を求める。すなわち、せん断力を無視すれば、柱脚の曲げ耐力 (M_{U1}) は次式となる。

$$M_{U1} = w D_s^2 \alpha F_c / 4$$

ただし、H型柱では両側のフランジに支圧力が生じるが、Box 柱では支圧力は1面にしか生じない。支圧面の数による影響は、 α の増減で処理することにする。

3. 側柱柱脚の耐力

参考文献¹⁾と本報の図-5から推定した破壊パターンを付図-2に示し、さらに、その図をもとにして設定した、耐荷ばりと伝達鉄筋から構成される応力伝達モデルを付図-3に示す。

側柱では、基礎ばりの取りつかない面に生じる支圧力を、柱を迂回させて、反対側の基礎ばり主筋に伝えることによって、柱の応力を基礎ばりに流すことができる。付図-3のモデルはこの経路を十分に表現しているだけでなく、破壊パターンにも対応している。すなわち、付図-2の④、⑤クラックが耐荷ばりのせん断および曲げ破壊(耐力をそれぞれ ${}_B N_S$, ${}_B N_M$ とする)に、⑥、⑦クラックは伝達鉄筋と主筋の破断(耐力を $\sum_{j=1}^n N_{tj}$, N_{U1} とする)に対応する。したがって、応力伝達モデルの引張耐力 N_T は次式となる。

$$N_T = \min({}_B N_S, {}_B N_M, \sum_{j=1}^n N_{tj}, N_{U1})$$

ただし、 $j=1$ は基礎ばりの主筋、2, 3... n はフープ、スタラップ、補強筋などを意味する。

なお、 N_{tj} として、 j 鉄筋の降伏耐力 (N_{Yj})、アンカー部の引抜耐力 (N_{Aj})、主筋とのラップ耐力 (N_{Rj})、の最小値を採用する。

この引張耐力 (N_T) を用い、側柱柱脚の応力分布を付図-1 (C) のように仮定すれば、柱脚の耐力 (M_{U2}) は、RC 柱の耐力式を引用して求めることができる。

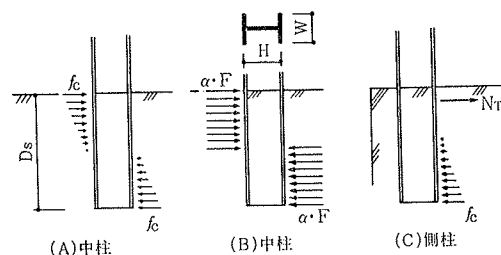
4. 埋込型柱脚の設計法

柱脚の耐力 M_{U1} , M_{U2} と、柱および基礎ばりの終局耐力 M_C , M_B を比較することにより、次式で柱脚の二次設計ができる。

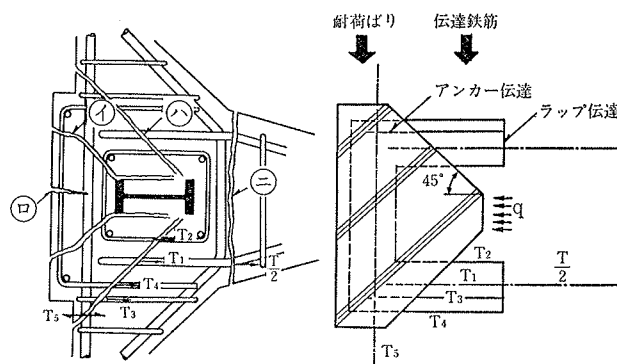
$$M_{U1} > M_{U2} > \min(\beta_C M_C, \sum \beta_B M_B)$$

β_C , β_B は割増係数で鋼材の歪硬化などによる耐力上昇を考慮して、 $\beta_C = 1.3$, $\beta_B = 1.2$ 程度が妥当であろう。なお、 $\sum \beta_B M_B$ は柱の両側の基礎ばりの耐力和を意味する。

また、一次設計は、付図-1 (A) の三角形の応力分布のもとで、縁応力を RC 規準の許容応力度 (f_c) 以下に制限することと、基礎ばり主筋とフープのみを有効として N_T を求めること、などで実施することにする。



付図-1 応力分布



付図-2 破壊パターン 付図-3 応力伝達モデル

参考文献

- 1) 武田, 高橋: S造とSRC造の建物の柱脚の実験的研究(その1), (その2), (その3), 大林組技術研究所報, No. 21, (1980), pp. 14~18, No. 25, (1982), pp. 30~34, No. 26, (1983), pp. 51~55
- 2) 高木, 武田, 高橋, 他: S造およびSRC造の柱脚埋込工法, 建築技術, No. 386, (1983), pp. 73~78