

[107] 鉄筋コンクリート造スラブ付き柱はり立体接合部に関する実験的研究

正会員 ○ 鈴木 紀 雄 (東京大学大学院)

正会員 小 谷 俊 介 (東京大学工学部)

正会員 青 山 博 之 (東京大学工学部)

1. 序

スラブ付きの立体柱はり接合部試験体に、1方向、あるいは2方向の水平力を加える実験を行なった。本報告では、1方向加力を行なった実験の結果から、スラブが、はり及び直交ばりの挙動に及ぼす影響について検討する。

2. 実験の概要

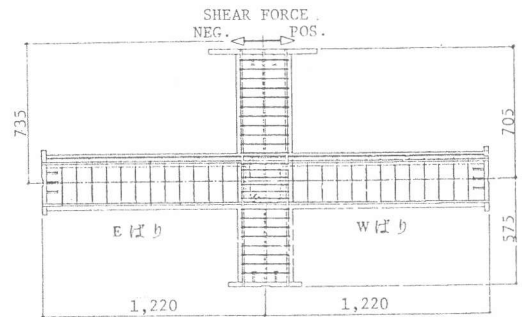
立体鉄筋コンクリート造骨組の、はり・柱部材の仮想反曲点で切断することにより、立体十字形の柱はり接合部を取り出し、これを約4倍に縮小して試験体とした。試験体の形状と配筋を図1に示す。柱は断面が30 cm×30 cm、危険断面と加力中心との距離が73.5 cmで、主筋に8-D13を配した(全鉄筋比 $P_g = 1.13\%$)。はり断面が20 cm×30 cmで、危険断面と加力中心との距離が120 cm、主筋は、上端、下端とも4-D13である(引張鉄筋比 $P_t = 0.85\%$)。柱とはりの主筋はそれぞれ切断端部で銅板に溶接して抜け出しを防いだ。スラブの厚さは7 cmで、主筋はD6@20 cmをシングル配筋とし、その端部は180°フックとしてコンクリートに定着させた。また、スラブの四隅を、加力装置の都合により切り落とした。

柱のせん断補強は、せん断終局強度が曲げ終局強度を上回るように、はりのせん断補強は、はりのみのせん断終局強度が、全スラブ筋をはり上端鉄筋に含めた場合の曲げ終局強度を上回るように決めた。

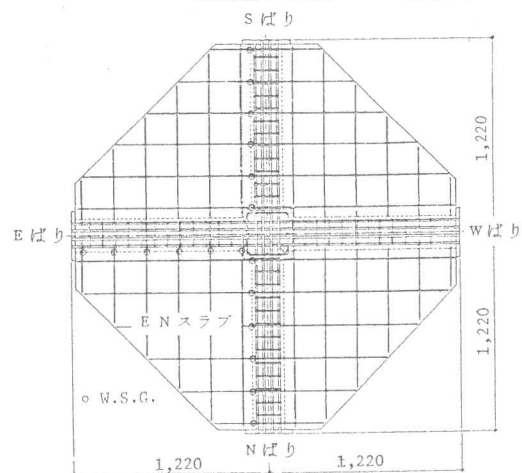
材料の性質を表1に示す。試験体のコンクリートは、はり上端まで打設し、その24時間後に上柱のみを打設したため、性質が異なっている。

この試験体の支持条件を、図2のように、柱脚はピン支持、各はり端は水平面内で自由に移動し得るローラー支持とし、鉛直方向1基、水平方向2基のアクチュエータで、柱頭に柱軸力と水平方向の強制変位を加えた。

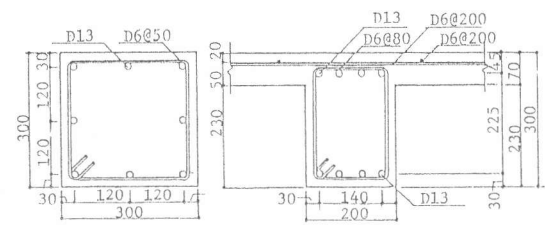
試験体の全体的な変形を調べるために、(i)柱頭の水平変位(層間変位) (ii)はり端の水平直交2方向の変位 (iii)はり端における、はり部材軸まわりの回転角を、反力床に固定



(a) 試験体立面 単位 (mm)



(b) 試験体平面



(c) 柱断面

(d) はり断面

図1 試験体寸法と配筋

表1 材料の性質

Concrete Properties		Except Upper Column	Upper Column
Secant Modulus	: E_c (kg/cm ²)	1.91×10^5	2.46×10^5
Compressive Strength	: F_c (kg/cm ²)	191	234
Strain at Compressive Strength	: ϵ_b (%)	0.22	0.21
Splitting Tensile Strength	: F_t (kg/cm ²)	14.2	16.2

Rebar Properties		D13	D6
Yield Stress	: σ_y (kg/cm ²)	3590	3400
Tensile strength	: σ_t (kg/cm ²)	5320	4250

したゲージホルダーに取り付けた変位計で測定した。

アクチュエータや支持治具に組み込んだロードセルによって、(Ⅰ)柱の軸力 (Ⅱ)柱頭に加わる水平力 (Ⅲ)各はりのせん断力を測定した。柱頭の水平変位により鉛直方向のアクチュエータが傾き、付加的な水平力が加わるので、水平方向のアクチュエータの力にこの付加的な力を加えたものを層せん断力と評価する。

柱とはりの主筋、及び一部のスラブ筋にはワイヤストレーンゲージを貼り、そのひずみ度を測定した。

試験体は3体で、そのうち2体はスラブつき、1体はスラブなしである。スラブつき試験体の1体には、柱の軸方向応力度を 20 kg/cm^2 に保ち1方向の加力を、もう1体には水平2方向の加力を行なったが、本論では、1方向加力をしたスラブつき試験体(“SU20”と名づけた)の結果についてのみ報告する。加えた層間変位の履歴を図4に示す。

3. 実験結果

加力方向のはりのせん断力とたわみ量との関係を図5に示す。同図に、スラブの協力幅を変えて計算した、はりのせん断力—たわみ量関係を破線で示す。耐力の高いものから順に、(Ⅰ)スラブの全幅が有効なT形ばりとした場合、(Ⅱ)建築学会の鉄筋コンクリート規準の規定に従った有効幅をもつT形ばりとした場合、(Ⅲ)スラブの協力幅がゼロの長方形ばりとした場合、を表す。上端が引張となる場合に実験結果と比較すると、初期剛性は(Ⅲ)の計算値が近く、最大耐力は(Ⅰ)の計算値に近い。このことより、はりの変形の増加に伴って、スラブの協力幅が拡大していくことが推定される。

上端引張時に、荷重とともに、スラブの鉄筋が塑性化する領域が広がってゆく様子を図6に実線で示す。引張ひずみ度は接合部に近い鉄筋ほど大きいという分布を示し、大変形時には、ほぼ全部のスラブ筋が降伏している。鉄筋がバイリニアの復元力特性をもつと仮定して、このスラブの鉄筋のひ

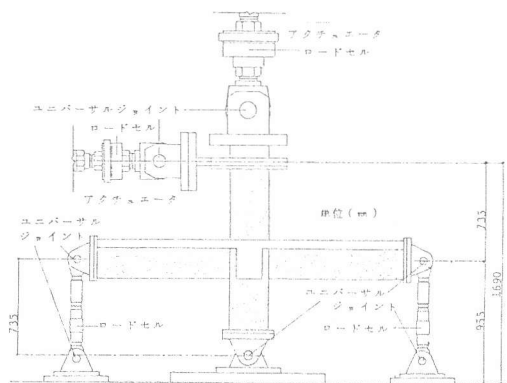


図2 加力装置

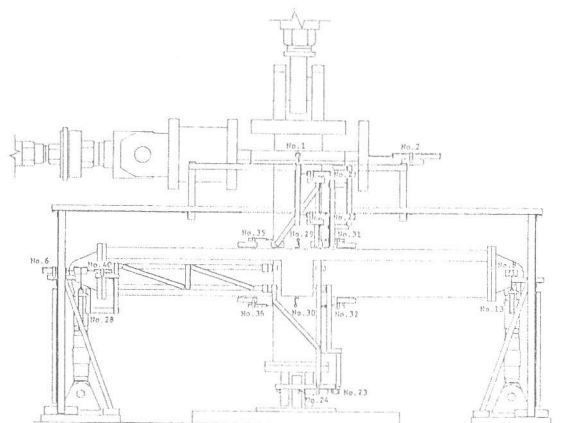


図3 測定装置

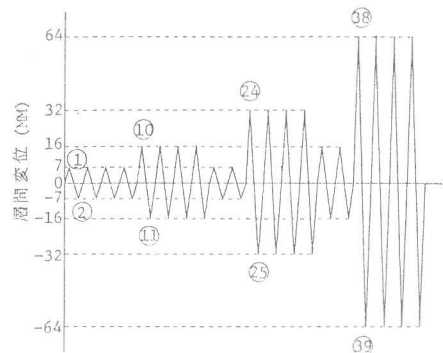


図4 層間変位の履歴

初期剛性 : $S = 3 E_c I_e / a^3$
 ひび割れ耐力 : $M_c = 1.8 \sqrt{f_c} Z_e$
 降伏耐力 : 平面保持仮定の断面解析による
 降伏時剛性低下率⁽²⁾ : $\alpha_{y_0} = (0.043 + 1.64 n P_t + 0.043 a/D)(d/D)^2$
 長方形ばり $\alpha_y = \alpha_{y_0}$ T形ばり $\alpha_y = \alpha_{y_0} I_e / I_{e_0}$
 E_c : コンクリートヤング率, I_e : 鉄筋, スラブを考慮した断面2次モーメント, a : シアスパン, α_{y_0} :
 長方形ばりの剛性低下率, α_y : T形ばりの剛性低下率
 I_{e_0} : 鉄筋を考慮した長方形ばりの断面2次モーメント

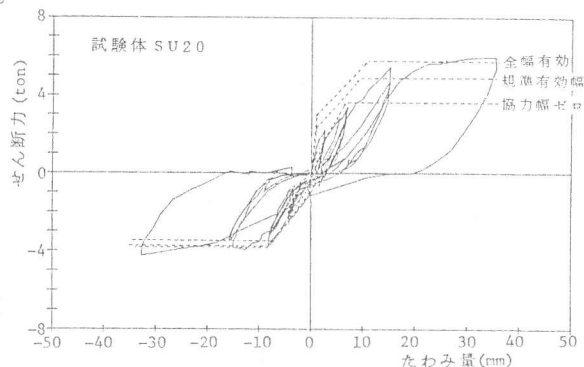


図5 はりのせん断力—たわみ量関係の例

ひずみ度から求めた応力度の和と、全スラブ筋の応力度がはり主筋の応力度と等しいとしたときの応力度の和との比が、有効幅と全幅との比を表すものと考え、これを図7に示す。はりの部材角が1/123から1/62の間を除き、はりの変形が増すにつれてスラブの協力幅が拡大し、大変形時には、ほぼ全幅が有効となっていることが分かる。

図8(a)には、ENスラブ(図1参照)の鉄筋のひずみ度分布を、また、図8(b)には、鉄筋の復元力特性をバイリニアールと仮定して算出した応力度分布を示す。加力方向のはりに直交するスラブ筋も応力を負担し、スラブのモーメントが釣り合っている。

はり上端が圧縮を受けるときには、スラブの協力幅がはりの復元力特性の計算値に及ぼす影響は小さい。しかし、図5では、最大耐力はスラブの協力幅をゼロとした場合よりは大きく、スラブがはりに協力していると推定される。

はり上端圧縮時のスラブ筋のひずみ度は、図6の破線のようになる。はりが上端圧縮を受けているにもかかわらず、大部分のスラブ筋のひずみは引張側となっている。また、鉄筋の復元力特性をバイリニアールと仮定すると、先端部のスラブ筋は引張応力を負担していると推定される。

次に、スラブが直交ばりに及ぼす影響について検討する。従来、欧米では、スラブの応力により直交ばりが振り破壊することが予測されるため、はりの曲げ抵抗としてスラブの全幅の鉄筋を有効と考えることが疑問視されていた。スラブの鉄筋が全幅にわたってはりの曲げ抵抗に有効とし、平面保持の仮定が成り立つとすると、直交ばりには図9(a)のような力がスラブによって加えられることになるため、直交ばりには水平方向のせん断力と振りモーメントが生ずる。上端引張となっているはりについたスラブ(以後「引張側スラブ」とよぶ)内の全鉄筋が引張降伏したとき、これらの鉄筋の応力によって生じるはり図心まわりの振りモーメントは、直交ばりのつけ根では $85 \text{ ton} \cdot \text{cm}$ ($3.4 \text{ ton/cm} \times 0.32 \text{ cm} \times 6 \text{ 本} \times 1.3 \text{ cm}$) と計算できる。この値は、上端圧縮側のはりについたスラブ(以後「圧縮側スラブ」とよぶ)の応力を無視しているので、振りモーメントを低目に評価していることになる。Hsu⁽³⁾によれば、単純振りを受けるはりのひび割れ振りモーメントは、

$$M_{cr} = x^2 y f_{ct}$$

x, y : 断面の短辺と長辺

f_{ct} : コンクリート引張強度

で表されるから、この試験体の直交ばりのひび割れ振りモーメントは $57 \text{ ton} \cdot \text{cm}$ と計算される。従って、図9(a)のような応力状態であるとすると、直交ばりが振

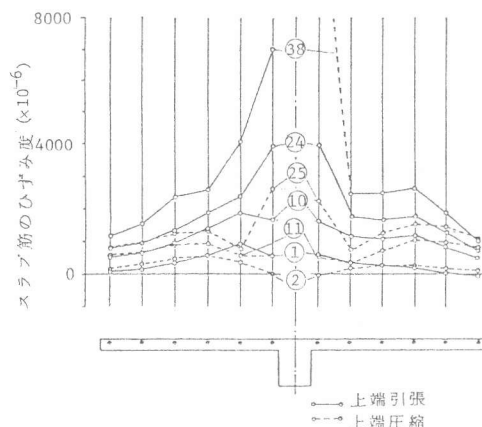


図6 スラブ筋のひずみ度分布

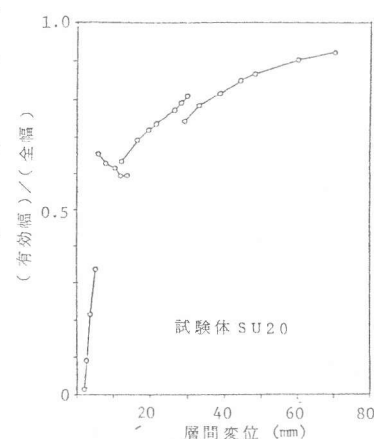


図7 はりの有効幅の変化

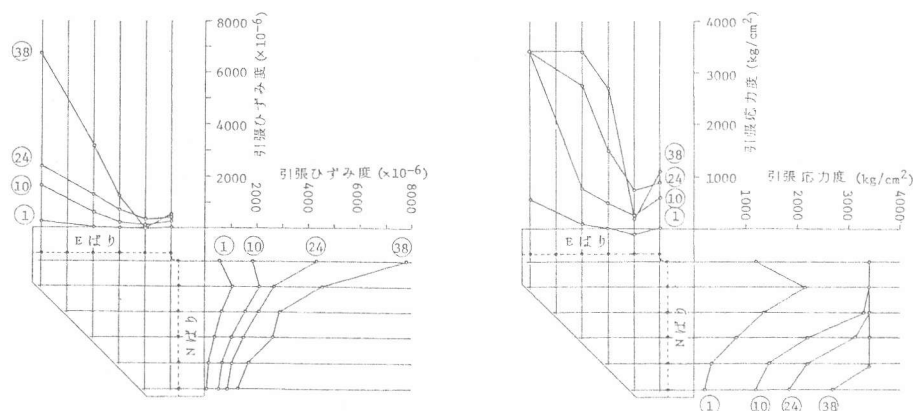


図8 スラブ筋のひずみ度分布と応力度分布

り破壊することが考えられる。

しかし実験では、このような直交ばりの破壊は生じなかった。この理由は、スラブのひずみ度の測定値から推定されるように、はりとはスラブに平面保持が成り立たず、スラブが直交ばりに及ぼす力が図9(b)のようになっており、引張側スラブと圧縮側スラブの力が打ち消し合うためと考えられる。

このように、圧縮側スラブが引張応力を受ける原因について、定性的な説明を試みる。このために、

直交ばりがどのような変形をしているかを調べる。図10に、直交ばりの先端の接合部に対する相対的な水平面内の変形量を示す。直交ばりは、引張側スラブによって引張られる方向に変形しており、変形量は荷重の増加に伴って増大している。層間変位が16mmのときには、この変形量は、直交ばりの鉛直軸まわりの曲げによるひび割れ変形の計算値を越えるが、実験でも直交ばりのつけ根にひび割れの発生が観察された。

また、図11は、直交ばりの部材軸まわりの振り変形角の大きさを示したものである。やはり、引張側スラブに引張られるように振れている。

直交ばりの水平面内変形と振り変形によって、直交ばりと圧縮側スラブの間に引張応力が作用する部分が現れ、図9(b)のような力の分布が生じると考えられる。

4. 結論

スラブ付きの立体柱はり接合部試験体を作製し、スラブがはり、及び直交ばりに及ぼす影響について実験的に検討した。その結果を以下にまとめる。

(i)スラブは、はりに協力して働き、はりの曲げ強度を高める作用をする。はり上端引張時には、スラブ筋は引張鉄筋として働く。その協力幅は、はりの変形の増加に従って、ゼロに近い値からほぼ全幅へと増加してゆく。

(ii)直交ばりは、上端引張となっているはりについたスラブに引張られるために、水平面内での変形や材軸まわりの振り変形を受ける。この結果、上端圧縮となっているはりについたスラブと直交ばりとの間には、引張応力が作用する部分が生じる。

(iii) (ii)で述べた、上端引張となっているはりについたスラブの引張応力と、反対側の上端圧縮となっているはりについたスラブの引張応力は互いに打ち消し合う。このため、直交ばりに加わる鉛直軸まわりの曲げモーメントや、材軸まわりの振りモーメントは大きくならない。この結果、直交ばりが破壊することなく、上端引張時には全幅のスラブ筋がはりの曲げ抵抗として有効となる。

謝辞 この研究は、文部省科学研究費(課題番号56420043、研究代表者青山博之)により行なった。

- 参考文献
- (1)鈴木・小谷・青山「鉄筋コンクリート造立体柱・はり接合部に関する実験的研究(その1 実験の概要とスラブの効果についての検討)」日本建築学会大会学術講演梗概集 昭和57年。
 - (2)菅野俊介「鉄筋コンクリート部材の復元力特性に関する研究」コンクリートジャーナル Vol.11 No.2 1973.2
 - (3)Hsu, T.T.C. "Behavior of R/C Rectangular Members, Torsion of Structural Concrete" SP-18, ACI, Detroit, 1968

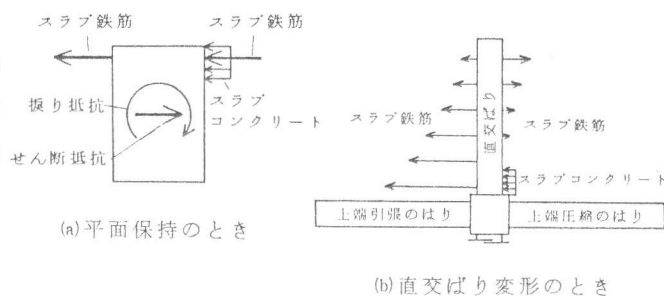


図9 直交ばりに作用する力

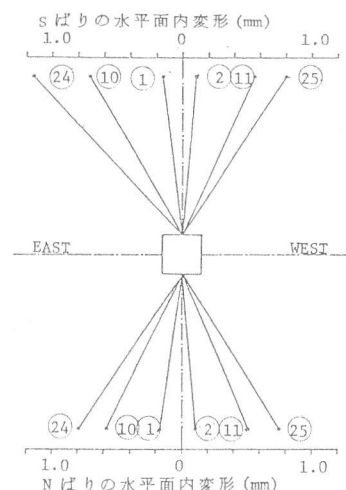


図10 直交ばりの水平面内変形

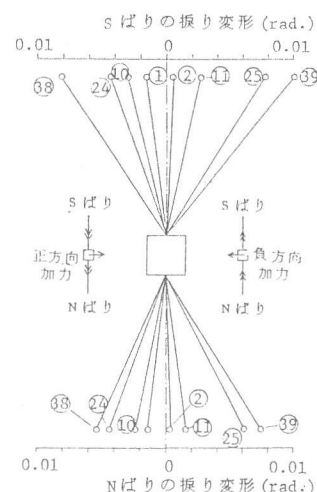


図11 直交ばりの振り変形