

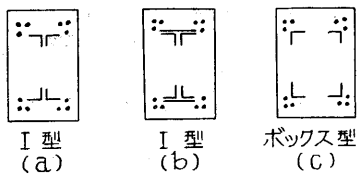
鉄骨鉄筋コンクリートの強さ

坪井善勝・若林実

1. まえがき

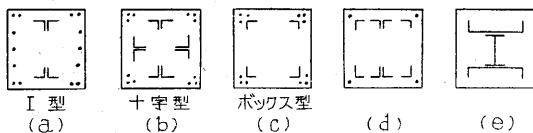
鉄骨鉄筋コンクリートとは鉄骨を組んでおきこれに鉄筋を配してコンクリートで一体にした構造で Composite Structure といわれるものである。本構造の特徴は比較的小さい断面内に多量の鋼材を無理なくおさめることができることその他、鉄筋コンクリートでは鉄筋とコンクリートとの附着にすべてを頼っているに反し、鉄骨は材が鈔や溶接で結合されるなどそれ自身として完結した形としてコンクリート中に埋込まれているため、地震力その他不測の力をうけて材が大変形を起した場合に粘り強いこと、しかも裸の鉄骨のように座屈の可能性がなく、耐火的であることなどである。関東大震災でその耐震性が証明され、断面形式などが国独自の方式として発達し、地上6階建以上の大建築はほとんどすべて本構造であるが、本構造の力学的性状が最近までほとんど明らかでなく設計法もまちまちであった。終戦後のビルブームによって本構造の力学的性状を解明することの必要性が再認識され、筆者等のほか二、三か所で実験が行われている。筆者らは昭和25年来組織的な実験的研究を行っており、その性状もほぼ明らかになってきたので、その大要を報告する。

2. 従来から行われている構造法と計算法



第1図 梁の断面

わが国で従来から採用されている断面の形式は第1図、第2図のようである。梁の断面は型鋼をI型に組



第2図 柱の断面

む場合 [(a), (b)], とボックス型に組む場合とがあり、柱ではI型[(a)], 十字型[(b)], ボックス型[(c)], これらの組合せ[(d)], 大型の型鋼を用いたもの[(e)], などが、このうち (b) 図の型式が最も多く使われ、(e) は外国では多くみられるが、わが国ではあまり使用されない。

従来から行われている鉄骨鉄筋コンクリートの計算法は大体次の3種類に分類される。

a. 鉄筋コンクリート式計算法

鉄骨も鉄筋もともに鉄筋と考え、鉄筋コンクリートの計算法によって計算する。

b. 鉄骨式計算法

コンクリートを考慮に入れないで鉄骨のみについて鉄骨構造としての計算を行う。ただしコンクリートが鉄骨の座屈を防止するものと考えて座屈の計算は行わない。

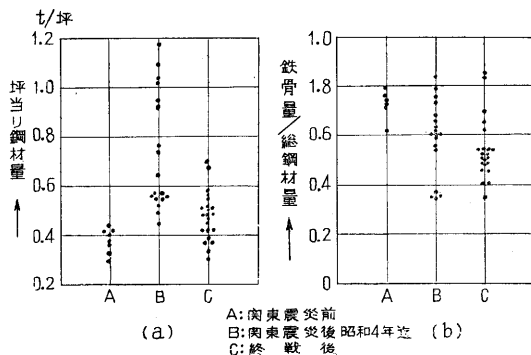
c. 累加強度式計算法

鉄骨は鉄骨構造、鉄筋とコンクリートとは鉄筋コンクリートとして計算し、両者の和をもって部材の許容耐力とみなす。

鉄骨と鉄筋とコンクリートの集成材である本構造のいづれを重視するかによって上記のような計算法が考えられるわけであるが、必ずしもその耐力に忠実ではない。そこでより合理的なものとして次の方法があげられる。

d. 終局強度式計算法

材の終局耐力に忠実な計算法であるが、このような方法を確立するためにはまず材の終局強度をはっきりつかむことが必要で、実験的裏付けを必要とするゆえんである。



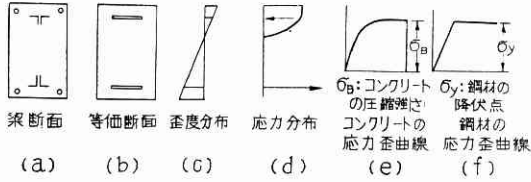
第3図 坪当り鋼材量

第3図は関東震災以前から東京に建てられたおもな高層建築の使用鋼材量を調べたものであるが、坪当り鋼材量は関東震災の経験から一時非常に多く使われるようになったのが最近また減って非常に slender なものができることを示す。また (b) 図によれば全鋼材量に対する鉄骨量は年々減少し、鉄骨コンクリートから鉄筋コンクリートに移りつつあることを示している。

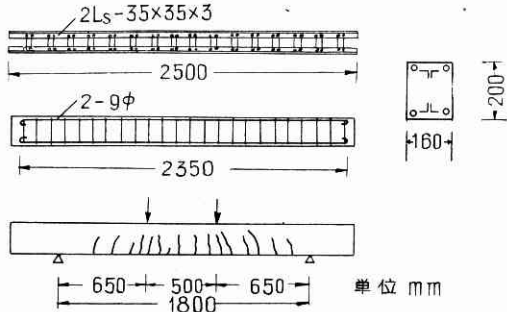
3. 梁の曲げ強さ

鉄骨鉄筋コンクリートの梁が曲げモーメントだけを受ける場合は破壊機構は比較的簡単であり、鉄骨と鉄筋コンクリートとは一体になって働くから、たとえば第4図 (a) のような断面なら鉄骨も鉄筋もそれらの重心に集った (b) 図のような断面をもつ鉄筋コンクリートと考えればよい。コンクリートの応力歪曲線を (e) 図のように2

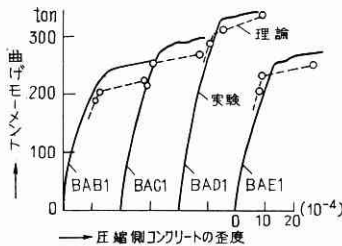
次のパラボラと直線とからなるものとし、鋼材の応力歪曲線を (f) 図のように仮定すれば断面に働く応力分布は (d) 図のようになり、平面保持の仮定と、断面に働く力とモーメントの釣合式とから材の耐え得るモーメント



第 4 図 梁断面に働く応力



第 5 図 梁試験体



第 6 図 梁の実験値と理論値との比較

(終局強度)を計算することができる。第 5 図のような梁に図示のように 2 点荷重を加えて実験した結果第 6 図のような歪とモーメントとの関係が得られ、同図

のように実験値と理論値とは 10% 以内の誤差で一致する。またこの実験では一部の試験体に地震時の状態を考えて数回の正負の漸増繰返荷重を加えたが単調に荷重を

第 1 表 試験体の断面

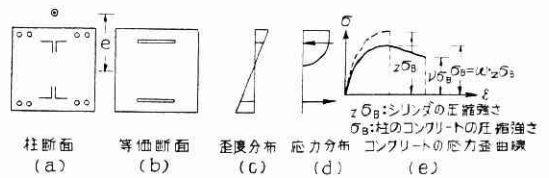
試験体番号	偏心率	鋼材	鉄筋比	断面	試験体番号	偏心率	鋼材	鉄筋比	断面	
CAQ1-1	0.50	2Ls-40x40x3	1.44	□	GAA1-1	0.30	2Ls-40x40x3	1.44	□	
12					2					0.82
21					2					2.76
22	0.24									
CBQ1-1	0.72	2Ls-40x40x3	2.28	□	GBA1-1	1.00	2Ls-40x40x3	2.28	□	
12					2					0.82
21					2					3.09
22	0.34									
CCQ1-1	0.97	2Ls-40x40x3	3.11	□	GBB1-1	0.12	2Ls-40x40x3	2.28	□	
12					2					1.64
21					2					3.91
22	0.47									
CGA1-1	0.58	2Ls-40x40x3	0.82	□	CCB1-1	1.35	2Ls-40x40x3	3.11	□	
12					2					1.64
21					2					2.75
22	0.24									
CCB1-1	0.90	2Ls-40x40x3	1.64	□	CCQ1	0	0	0	□	
12					2					0
21					2					0
22	0.38									
備考		片側			備考		片側			

上げたものと終局耐力に差違は認められなかった。

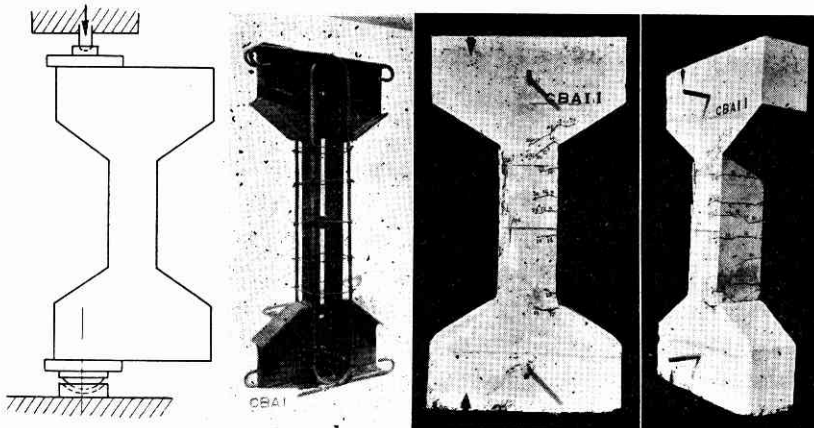
4. 偏心圧縮柱の強さ

偏心圧縮柱においても鉄骨と鉄筋とがその重心に集ったものとして、鉄筋コンクリートの終局強度式に準じて取扱うことができる。ただ柱の場合には圧縮側のコンクリートの応力歪曲線をどうとるか、コンクリートの最大歪能力をいかにするかが理論耐力に大きく影響するので、この点を実験的に検討してみた。

第 1 表のように 3 種類の鉄骨と 2 種類の鉄筋とを組合せて 10 種類の断面 (片側鋼材比 0~4.75%) を選び、これに第 7 図 (a) のような偏心荷重を加えた。梁と同じように第 8 図 (a) のような断面を、(b) 図のような等価断面におきかえ、(c) 図のような平面保持の仮定を使って (d) 図のような応力分布を求めて断面に働く力とモー



第 8 図 柱断面に働く応力



(a) 加力装置

(b) 鉄骨

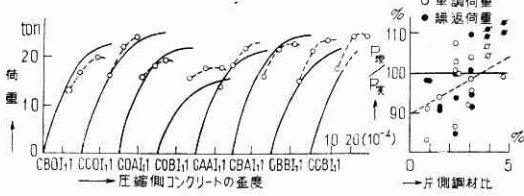
(c) キレット

(d) キレット

第 7 図 柱 試験体

メントの釣合式とから耐え得る荷重を計算するのであるが、コンクリートの圧縮応力歪曲線を (e) 図のようにパラボラと下降直線とからなるものと仮定して、圧縮強度試験用シリンダーの応力歪曲線と区別したものを用いる。ここにあらわれる常数 ω と ν とを実験値と理論値が最も良く一致するように定めてみると、 $\omega=0.75$ 、 $\nu=0.75$ となる。柱のコンクリート強度がシリンダー強度の 0.75 倍と

なったのは鉄骨のためにコンクリートの充填度が低下することが主因と考えられる。上記の常数を使って理論と実験と比較すれば第9図のように良く一致する（標準偏



第9図 柱の実験値と理論値の比較

差 9.1%) が、(b) 図のように鋼材量が多くなるに従い理論値が高くなる傾向をもっている。なおこの場合にも正負の繰返し荷重を与えたものと、単調に載荷したものととの差は認められなかった。

5. 梁の剪断強さ

梁の曲げ強さに比して剪断強さの問題ははるかに複雑である。鉄筋コンクリートそのものの剪断力による破壊機構が明らかになっていないくらいであるから、これに異質の鉄骨が加わった場合にはさらに複雑である。そこで前述したような従来からの計算法でとっている立場のうち、次の二つの方針に従って実験を行いつつある。

a. 鉄筋コンクリート式：タイプレートやラチスプレートなどをスタラップまたは折曲筋のように考えて、すべて鉄筋コンクリート式の計算をする。

b. 累加強度式：鉄骨は裸鉄骨の耐力をとり、この耐力と鉄筋コンクリートの耐力との和が鉄骨鉄筋コンクリートの耐力となるとする。

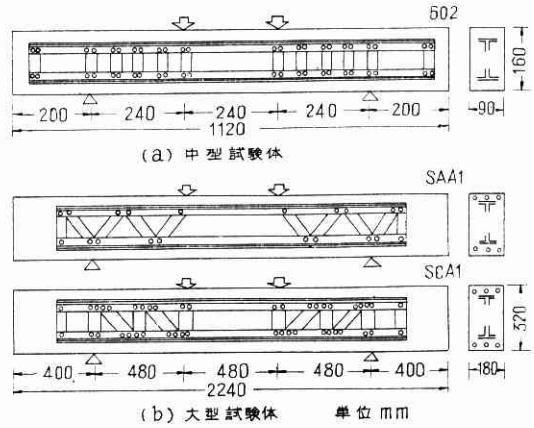
いずれにしても鉄筋コンクリートの終局耐力を算出する適当な式がないので、まず鉄筋コンクリートの梁を試験して耐力を求める実験式を作り、これと同寸法の鉄骨鉄筋コンクリートの実験を行って上記の a, b 2 法を検討している。

鉄筋コンクリートの実験ではコンクリート強度、スタラップ量、載荷法等剪断耐力に影響を及ぼす要素を独立に変化させて約 60 個の梁を試験した結果次のような実験式が得られた。

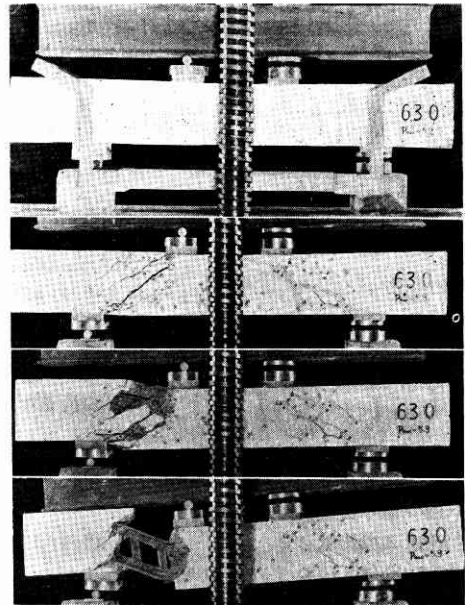
$$\tau = (24 + 0.15\sigma_B) D / l_1 + 3 \sqrt{w p w \sigma_s} \quad (1)$$

ここに $\tau = Q/bj$, Q = 最大剪断力, b = 梁巾, D = 梁せい, $j = 7/8d$, l_1 = 支点から荷重点までの距離, σ_B = コンクリートの圧縮強さ, $w p$ = スタラップの鉄筋比, $w \sigma_s$ = スタラップの降伏点。以上単位は kg, cm。

次に第10図のような鉄骨コンクリートを試験すると第11図のように破壊するが、タイプレート量とかコンクリートの強さとかの影響は鉄筋コンクリートの場合と非常に似た性質をもち、タイプレートを鉄筋に換算して(1)式に入れて計算した値と実験値とはほぼ一致することが確かめられた。またタイプレート量の異なる2個の鉄



第10図 梁剪断試験体



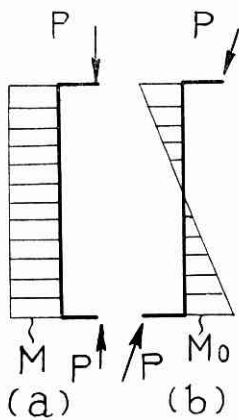
第11図 梁剪断試験

骨コンクリートの強さの差は、これらを裸鉄骨のまま試験したときの強さの差と等しいことから、上記の累加強度式の妥当性がある程度確められた。いかなる形式の鉄骨コンクリートにもあてはまる一般式を求めるべく目下検討中である。

6. 柱の剪断強さ

常時荷重のもとでは柱に剪断力が加わることがほとんどないためか、鉄筋コンクリート柱の剪断抵抗に関する実験は非常に少ない。しかしわが国では地震によって柱にも大きい剪断力が生ずるので、柱の剪断抵抗に関する研究が必要である。

前述の偏心圧縮柱では第12図(a)のような荷重を加えたが、これと同じ断面の柱に(b)図のような荷重を加えた結果第13図のような3種類の破壊状態を呈した。第1は(c)図のような偏心圧縮破壊で、剪断力のない場



第 12 図 柱載荷法

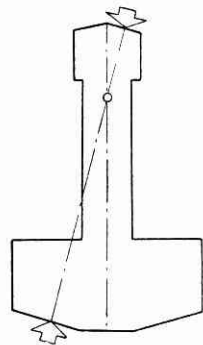
合と同様な破壊状態を呈する。このような破壊を起した柱に対しては 4 節に述べたような終局強度式によってその耐力を計算すれば理論値は実験値と一致する。第 2 の (d) 図のような亀裂は剪断力による斜張力のために生ずるものであって、亀裂は主応力線の方と一致している。このような破壊に対して柱がいかなる抵抗を示すか、タイプレート

される。この点に関して目下追加実験を試みている。

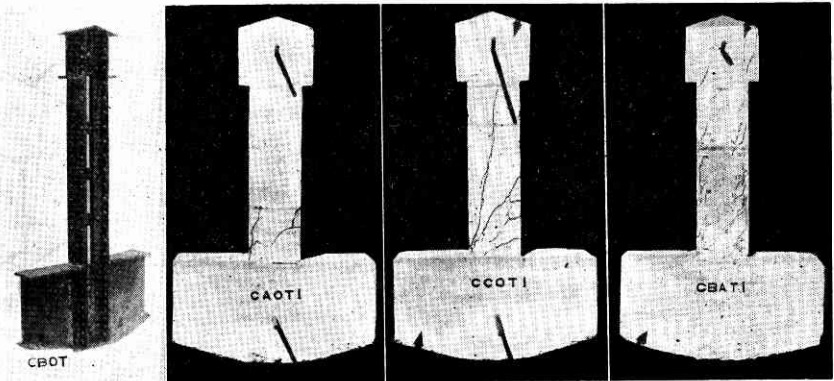
7. 接合部の強さ

建物を設計する場合に柱や梁は太い断面の鉄骨を使うとか、カバープレートをあてるなどの方法をとることによってスマートなものにすることができるが、柱と梁との接合部で苦勞することが多い。すべての力を鉄骨に頼るときは設計は武骨なものとなり、鉄筋ばかりに頼れば鋸や溶接によって接合する確実な鉄骨構造という特徴がなくなる。従って鉄骨と鉄筋コンクリートが一体となった接合部の破壊機構を究明する必要が生ずる。

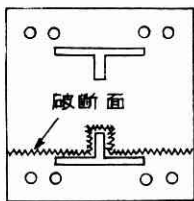
接合部においても累加強度的な立場と鉄筋コンクリートの立場とがある。第 15 図は前者を検討するために行った実験で、(b)、(c) 図に示すように地震荷重による



(a) 載荷法



第 13 図 柱 剪 断 試 験 体



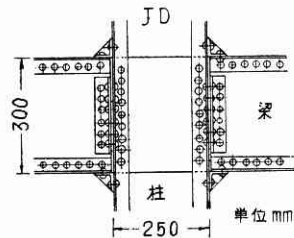
第 14 図 パンチングシヤー

がどの位有効であるかを確かめるため、梁の場合と同じように鉄筋コンクリートと鉄骨鉄筋コンクリートの実験を行いつつある。第 3 の (e) 図のような破壊は新しく発見されたものであり、第 14 図に示すように片側の鉄筋からコンクリートに伝え

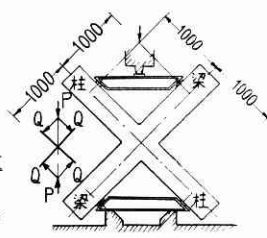
た応力状態を与えたものであり、d 図のような亀裂が生じて梁の端部の亀裂 (A~B) が破壊原因となる。鉄骨鉄筋コンクリートの強さ $P(S)$ と、鉄筋コンクリートの強さ $P(\phi C)$ と両者を合せた鉄骨鉄筋コンクリートの強さ $P(S\phi C)$ との関係調べてみると、 $P(S\phi C)$ は $P(S)$ と $P(\phi C)$ の和より一般に大きく、その比は 1.5~1.8 なること、従って累加強度式で安全側となることが明らかとなった。

られた附着応力が剪断応力となって反対側に伝わる場合、鉄骨のフランジの面でフランジがコンクリートと肌離れすると同時にコンクリートが剪断されるものと推察

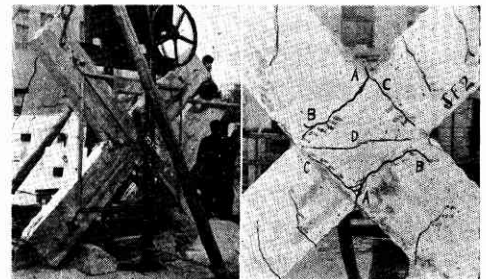
第 16 図は鉛直荷重による応力状態を与え、第 2 の立場すなわち鉄筋コンクリートの終局強度式の成立いかんを検討したものである。すなわち梁端部の鉄骨接合部が



(a) 鉄 骨



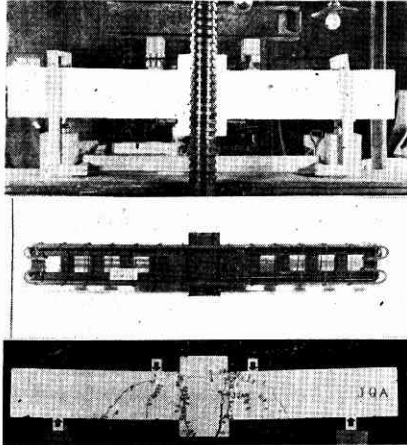
(b) 載荷法



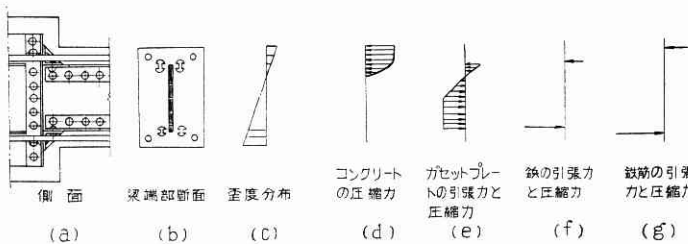
(c) 載荷法

(d) キレツ

第 15 図 接合部の地震荷重時加力試験



第 16 図 接合部の鉛直荷重時加力試験

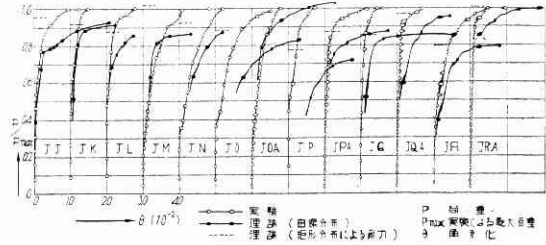


第 17 図 接合部に働く応力

曲げモーメントによって破壊するが、コンクリートは圧縮だけに働き、鉄、鉄骨などは引張または圧縮に働くとして、梁の終局強度式に準じた理論式をたてることができる。第 17 図は梁端部の断面に働くコンクリート、ガモットプレート、鉄などの力の分布を示したものであるがこのような仮定によって計算した荷重-角変化曲線と実験値とは第 18 図のようにほぼ一致する。理論値は実験値より約 10% 低いが、これは鉄骨を包むコンクリートが鉄骨に対して二次的な拘束を与えているためと考えられる。ともあれ接合部の終局耐力を計算によって推定することが可能となった。

8. 附着強さ

鉄骨鉄筋コンクリートでは鉄骨は鉄などによって機械的に結合されているが、鉄骨とコンクリートとの附着力は鉄筋の附着力に比べて低いといわれている。この理由として鉄筋の場合にはコンクリートが鉄筋をしめつけることにより摩擦力で滑りを止める作用が大きいが、鉄骨の場合は断面が薄板の集りであるから外圧がかかり難いことと、梁のフランジの下面など鉄骨の下側には空隙ができてコンクリートの附着は期待できないことなどがあげられる。従って鉄骨の附着力を全然期待しないで設計することもあるが、多くの場合非常に不経済な箇所が生じ、やはりある程度の附着力を期待する方が合理的であろう。鉄骨の附着強度に関する資料もほとんどないので、目下帯板をコンクリート中に埋込んで引抜試験を行って

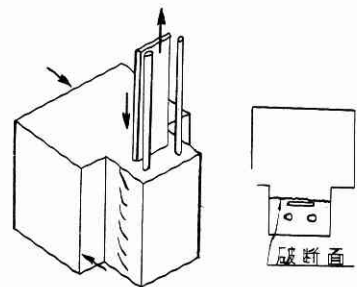


第 18 図 接合部の実験値と理論値との比較

いる。また柱の剪断実験で見えられたパンチングシヤーの問題の基礎的な実験として第 19 図のような引抜試験も行っている。

9. むすび

鉄骨鉄筋コンクリートの建物を設計する際に必要な問



第 19 図 パンチングシヤーと附着の実験

題について一通り研究し、本構造の力学的性質の大意が次第に明らかとなってきた。現在建築学会で本構造の計算規準を作りつつあるが、実際の問題を処理しようとするとなれわれの知識がいかに限られたものであり、今後さらに多くの研究を必要とすることが痛感される。

本研究のうち接合部と梁の剪断に関する研究は生産技術研究所の昭和 29 年度中間試験研究費によって完成されたものである。(1955. 6. 22)

文 献

- (1) 坪井善勝, 若林実: 鉄骨鉄筋コンクリートに関する実験的研究, 日本建築学会論文集 48 号, 1954 年 3 月; 49 号 1954 年 9 月; 50 号 1955 年 3 月; 日本建築学会研究報告 27 号, 1954 年 5 月; 31 号 1955 年 5 月.
- (2) 若林実: 鉄骨鉄筋コンクリートの強度と設計法, 建築雄誌 1953 年 7 月.

表紙写真

鉄骨鉄筋コンクリート梁 (composite beam) の剪断試験の写真である。コンクリートの中には剪断補強材として鉄骨のタイププレートと、筋が入っている。支点と荷重点との間が剪断破壊する直前の状態である。