

[109] 鋼部材とコンクリート部材の接合工法に関する実験的研究

正会員 田 島 二 郎 (埼玉大学工学部)

正会員 ○町 田 篤 彦 (埼玉大学工学部)

正会員 睦 好 宏 史 (埼玉大学工学部)

1 序

従来、一つの構造物は、鋼構造あるいはコンクリート構造というように、一種類の材料を用いて建設されることが多かったが、それぞれの材料特性に応じて、鋼部材とコンクリート部材を適宜組合せて一つの構造物とすれば、合理的な設計が可能となり、構造物に要求される複雑多岐な性能を満足させることが容易となる場合が少なくない。しかし、この種の構造で最大の問題点となる接合部の設計方法に関しては、公表された研究成果が少なく、国内外を通じて、大規模な構造物にこの種の構造が採用された例もまた少い。

本研究は、鋼梁と鉄筋コンクリート梁を軸方向に接合して一体とする梁構造に用いる接合工法について、載荷実験を行い、接合部の変形状、耐荷性状などについて検討を重ねた結果をとりまとめたものである。この種の合成構造は、例えば、主径間部を鋼桁とし側径間部をPC又はRC桁とした連続桁や斜張橋に応用すれば、有利な構造にすることが出来ると考えられる。

2 接合部の構造ならびに実験の概要

試験に用いた供試体は、図1に示すような鋼梁と鉄筋コンクリート梁あるいはプレストレストコンクリート梁を、接合部が中心となるように軸方向に接合したものである。接合工法としては、この種の構造で実用性が高いと判断される三種の工法を採用した。従来の合成桁におけるスタッドジベルを応用したもの、鋼構造における引張ボルト継手を応用したものおよび両者の中間のものである。以下、夫々を、A、B、Cタイプと呼ぶことにする。

Aタイプ接合部は、詳細を図2に示すように、鋼梁の上下フランジのウェブ側の面に4本ずつのスタッドジベルを溶接したのち、所要の鉄筋を配置し、コンクリート梁部と一体にコンクリートを打設したものである。使用スタッドならびにその本数は、1本あたりの終局荷重を $Q_u = 40 d h \sqrt{f_c k}$ とし¹⁾、これが付根から $1/3$ の点に作用するとして、接合部の破壊モーメントが鉄筋コンクリート断面のそれを若干下回るように定めた。接合部および鉄筋コンクリート断面の破壊モーメント、鋼断面の降伏モーメントは、夫々、 10 t-m 、 14.4 t-m 、 23.1 t-m である。コンクリート部の主鉄筋には、ネジ筋鉄筋を用い、アンカープレ

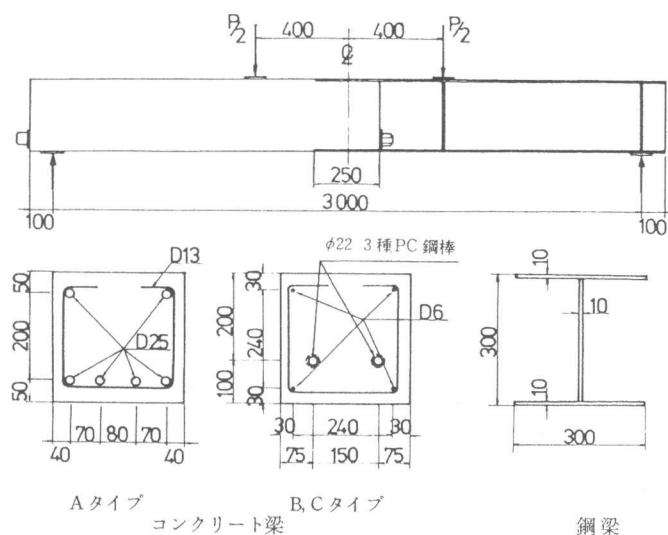


図1 供試体の断面寸法および載荷方法

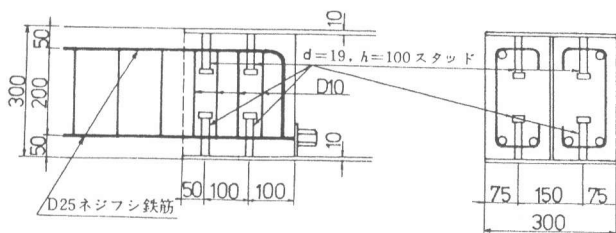


図2 Aタイプ接合部の詳細

ートおよびナットで定着した。

B タイプのコンクリート部は、図 1 に示すようなプレストレストコンクリート梁で、導入プレストレス $50t$ 、破壊モーメント $10.8t\cdot m$ のものである。接合部は、図 3 に示すように、鋼梁にエンドプレート、リブ、定着プレートを溶接し、これで P C 鋼棒を定着するものである。

エンドプレートの厚さは、これを上下フランジおよびリブで支えられ、プレストレス導入時および破壊時のコンクリートの応力を受持つ梁として決定した。リブの厚さは、下フランジおよびウェブとともに導入プレストレスを受ける圧縮材として決定した。定着プレートの厚さは、これをアンカープレートの面積に導入プレストレスが分布して作用する 4 辺単純支持の板として

決定した。なお、コンクリート部の打込みにあたっては、鋼梁エンドプレート部を端面の型わくとして用い、端面相互に空間が生じてコンクリートに局部応力の発生することがないように留意した。また、試験時の有効プレストレスは、 $42t$ であった。

C タイプは、コンクリート部は B タイプと等しくし、接合部は A タイプとほぼ同様としたものである（図 4 参照）。鋼梁接合部の端面には、エンドプレートを溶接し、側面には、両端にネジ切りした鉄筋とナットによって鋼板を固定した。側面に鋼板を配したのは、接合部のコンクリートが载荷によって横方向にふくらむのを防ごうとしたためである。接合部コンクリートは、端面を下にして鋼梁を立て、上方より打込んだ。

载荷は、図 1 に示すようにして行った。

3 A タイプの変形ならびに耐荷性状

A タイプでは、 $2.5t$ （スタッドが道路橋仕方書の許容荷重 $Q_a = 5.5dh\sqrt{\sigma_{ck}}$ に達する荷重）で 3 回、 $7.5t$ （同じく、限界荷重 $Q_c = 87.5d^2\sqrt{\sigma_{ck}^2}$ に達する荷重）で 1 回の繰返し载荷を行ったのち、破壊に到るまで载荷した。破壊荷重は $28t$ で、実際の $\sigma_c = 313\text{ kg/cm}^2$ を用いて計算したスタッドが Q_u に達する荷重 $20.9t$ を大きく上まわった。また実際にスタッドが降伏したと考えられる荷重は、 $24t$ で（図 6 参照）、これも Q_c あるいは Q_u に達する荷重を大きく上まわっている。この間のスパン中央のたわみは図 5 に示すようで、この図からも、スタッドが Q_a 、 Q_c あるいは Q_u に達する荷重段階でたわみ性状に急変は認められない。このような好結果が得られたのは、作用モーメントに相当する力の一部はスタッドに伝達されなかったことによると考えられる。すなわち、この種の構造では、合成桁におけるより、スタッドの効果が大きいと言えるのである。しかし、本実験は、スタッドの高さが桁高の $1/3$ にも達するものであるから、実際の構造でこのような好結果が得られるとは限らない。この点に関しては、現在、検討を続行している。

図 5 には、コンクリート断面には弾性理論による中立軸を用いた断面二次モーメントを用い、スパン中央で剛性を急変させて鋼断面の断面二次モーメントとした計算によるたわみも示してある。これによれば、実際のたわ

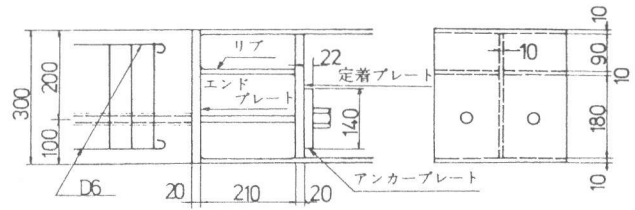


図 3 B タイプ接合部の詳細

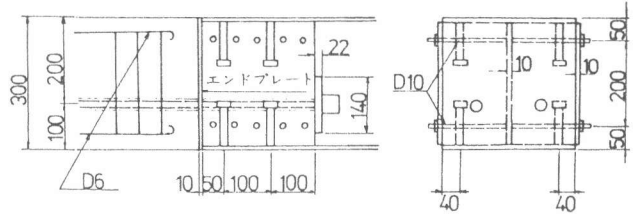


図 4 C タイプ接合部の詳細

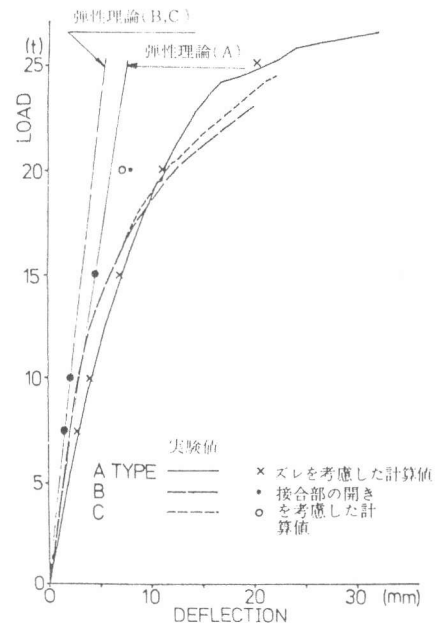


図 5 各供試体のたわみ性状

みは、荷重の低い段階から計算値を上まわっているが、接合部における鋼梁とコンクリート梁との相対的ズレを計算に考慮すれば、両者は良く一致することが認められる。このことは、接合部の変形性状を左右するのは、ズレすなわちスタッドの挙動であって、この種の構造においては、スタッドの許容あるいは限界荷重に対して、合成桁とは異なる基準を設けることの必要性を示している。

図6は、荷重に伴うスタッドのひずみ変化を示したものである。これによれば、19t付近でひずみが不連続となっていることが認められる。この荷重段階は、図7に示す接合部における斜ひびわれが著しく発生した時期と一致する。図6には、4本のスタッドのうち1本の荷重分担が特に低いことも示されている。このスタッドは、斜ひびわれの外側に配置されたものである。これらの事実は、すべて、実際の接合部においてはスタッドの配置に慎重な検討を要することを示すものである。

接合部は、斜ひびわれが著しく発達するとともに、コンクリート梁全体が鋼梁より抜け出して耐荷力を失なった。斜ひびわれは、鋼梁下フランジとコンクリート梁端面の下端および鋼梁上フランジの端部とコンクリート梁上縁が、夫々接触し、他の部分は空間を生じたことにより、大きなせん断力を生じて発生したと考えられる。この斜ひびわれは、この種の接合部の破壊耐力を定める要因の一つとなるので、その補強方法につき、今後の詳細は検討が必要とされる。

4 BおよびCタイプの変形性状ならびに耐荷性状

BタイプおよびCタイプでは、3.5tで2回(荷重履歴をAタイプに類似させる以外の意味はない)、7.5t(コンクリート梁の下縁計算応力が0となる荷重)で3回の繰返し荷重を行ったのち、破壊に到らしめた。この間のたわみは、図5に示したようで、7.5t以降、増加が著しくなった。このことは、当然のことながら、この種の接合工法では、下縁応力が0となる状態を設計上の一つの限界状態とすべきことを示している。

図8は、Bタイプにおける定着プレートおよびリブのひずみと荷重との関係を示したものである。これによれば、リブは、破壊に到るまでほぼ一定の応力状態にあって、大きな力が作用した様子は認められなかった。しかし、定着プレートは、約13tで降伏点に達しているのであって、極めて大きな力が作用したことが示された。これは、このプレートに荷重されるP C鋼棒の反力がこの荷重段階で導入プレストレスを大きく上まわったことによると考えられる。安全のためには、定着プレートはP C鋼棒の全強を受けるのに十分な厚さとするべきことを示唆する事項である。

Cタイプにおけるスタッドのひずみ状況は、図9に示すようであ

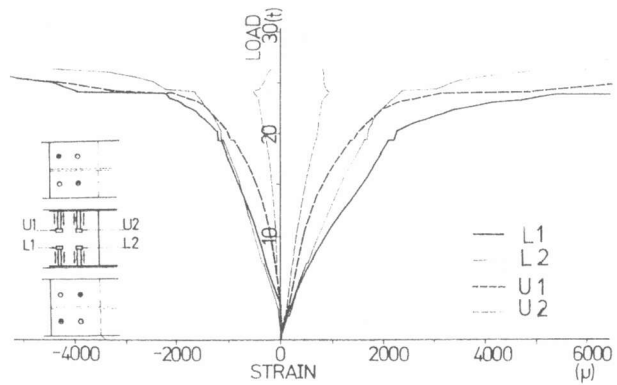


図6 スタッドジベルのひずみ状況 (Aタイプ)

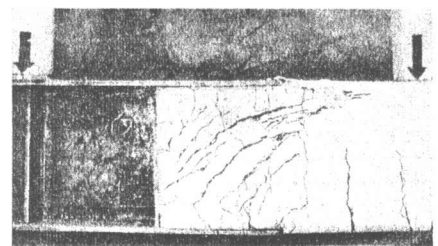


図7 Aタイプ接合部の破壊状況

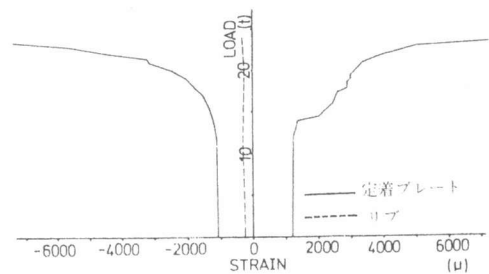


図8 定着プレートおよびリブのひずみ状況

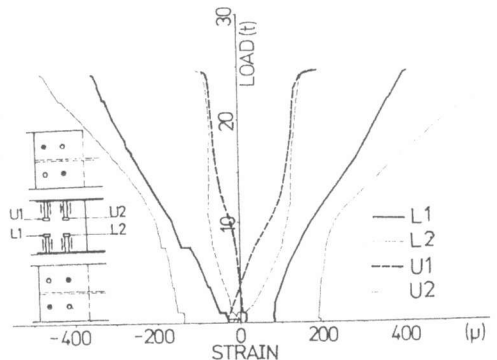


図9 スタッドのひずみ状況 (C)

った。これとAタイプの場合（図6）とを比較すれば、Cタイプの場合、スタッドに伝達される荷重は、Aタイプより相当小さいことがわかる。これは、Cタイプの場合、エンドプレートおよび側面に配したプレートによって接合部コンクリートの変形が相当に拘束されたことによると考えられる。しかし、図から明らかなように、特に下フランジのスタッドに伝達される力は荷重の増加とともに増加しているので、この種の接合工法でスタッドが不要であるとは結論出来ない。

図10は、BタイプおよびCタイプについて、鋼梁とコンクリート梁との接合面における破壊時の応力分布を感圧フィルムによって測定した結果である。これによれば、いずれの場合も、上フランジ付近において極めて大きな応力が生じたことが認められる。図11に示すように、この応力がいずれの場合においても破壊の直接の原因となっているから、プレストレスによる接合工法においては、この応力に対処する方策を見出すことが今後の課題と言える。なお、図10より、Bタイプにおいてはウェブおよびリブに、Cタイプにおいてはウェブに、応力集中したことが認められる。しかし、応力集中の程度は、上フランジ付近を含めて、Bタイプの方が若干著しい。このことは、Cタイプの破壊荷重（25.5t）がBタイプのそれ（24t）よりやや大きかったことの原因と考えられる。これらの事項より、この種の接合工法では、厚いエンドプレートを用いるより、コンクリートを打設し、これを適切に補強する方が、幾分有利になると思われる。

5 結 論

実際の構造物より著しく小さい供試体しか用い得なかったが、実験したいずれの接合工法も、ある程度の実用性が認められた。実験の範囲内で、以下のことが言えると思われる。

- 1) スタッドジベルを応用した接合工法では、スタッドの降伏と接合部コンクリートの斜ひびわれ発生が耐力を支配する要因と考えられる。また、この工法におけるスタッドの効果は、従来の合成桁におけるそれより大きいことが期待されるが、実際の構造物の寸法を考慮した検討が必要である。
- 2) 引張ボルト応用の接合工法およびこれと1)との中間工法では、接合部上縁のコンクリートの圧壊が耐力を支配することが多いと考えられる。これに対処する方策を明らかにするのが今後の検討課題である。
- 3) 引張ボルト応用の接合工法では、接合面の応力集中を軽減するためにエンドプレートを、P C鋼材の定着を確実にするために定着プレートを、夫々、相当に厚くする必要があると判断される。

謝 辞 実験に従事された大友健、古城一郎の両君（昭和57年2月当時埼玉大学生）およびネジフシ鉄筋を提供されたS社に厚くお礼申上げる。

- 文 献
- 1) 平城他「SRC構造に用いられるスタッドの静的強度」第2回JCI年次講演会講演論文集
 - 2) AASHO 第10版 1969年

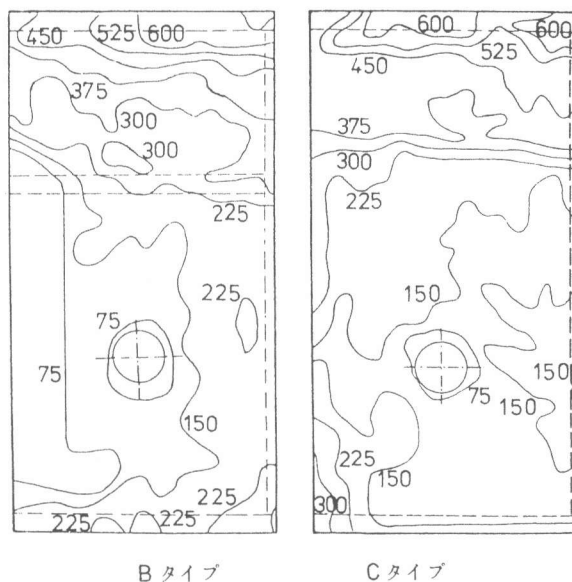


図10 接合面の応力分布

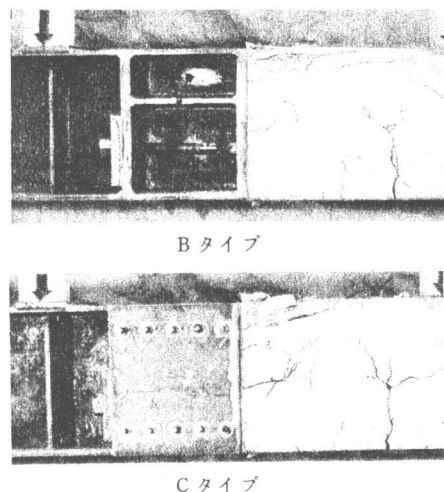


図11 接合部の破壊状況（B，C）