

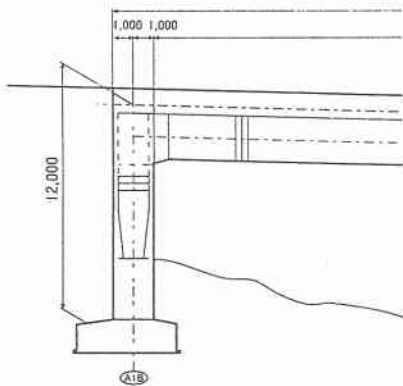
I - 95

鋼・コンクリート複合構造の隅角部と接合部に関する実験的研究
～北海道縦貫自動車道 小針岸川橋～

片山ストラテック (株) 正 員 大久保 宣人
日本道路公団 前田 良文
日本道路公団 小林 良
北海道開発コンサルタント (株) 正 員 本間 雅史

1. まえがき

近年、維持管理の低減、走行性および耐震性の向上を目的として、鋼桁と橋台とを剛結したインテグラルアバットメント構造が採用される事例が見受けられる。インテグラルアバットメント構造は橋梁工事の工費節減、省力化、橋梁の走行性、景観、耐久性および耐震性の向上など種々の優位性が十分あり今後の発展性が期待される構造である。ここに報告する鋼・コンクリート複合ラーメン橋（小針岸川橋）の橋台部分は図－1に示すように、鋼支柱が半分程度埋め込まれた複合構造となっており過去にほとんど施工例がなく、また、研究事例もない。したがって、実施工に先立ち、複合ラーメン隅角部および鋼支柱接合部の力学特性を把握する意味で模型実験を行った。



図－1 橋台構造図

2. 複合隅角部の実験

2. 1 実験における着目点

複合隅角部における実験の着目点は、以下の通

りである。

- (1) 隅角部における力の伝達はスタッドジベルを介して行われるよう設計されているので、その効果を検証する。
- (2) 構造上床版に大きな負の曲げモーメントが発生するため、床版および橋台背面コンクリートのひび割れ状況を把握する。
- (3) 隅角部付近床版コンクリートの合成効果について検証する。

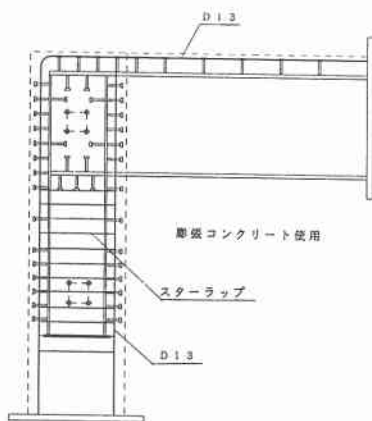
2. 2 供試体

供試体は実橋の 1/4 スケールとしスタッドジベル、鉄筋量、使用コンクリートを変化させ表－1に示す4ケースを製作した。ケース1は隅角部付近に配置するスタッドジベルを設計上最小限の本数とする。また、床版鉄筋は通常使用される鉄筋の相当量（D10）とする。ケース2～4はひび割れを制御するため、スタッドジベルの領域を広げ、床版鉄筋の径（D13）を大きくする。さらに、ケース3、4では膨張コンクリートを使用する。また、ケース4は橋台部の縦方向ひび割れを制御する目的で鋼支柱にスターラップを巻くこととする。図－2にケース4の構造図を示す。

表－1 実験モデル

ケース	モデル名称	ジベル本数	鉄筋径	使用コンクリート	打継ぎ目
1	通常設計モデル	13φ 92本	D10	普通コンクリート	なし
2	ひび割れ制御モデル1	13φ 114本	D13	普通コンクリート	あり
3	ひび割れ制御モデル2	13φ 114本	D13	膨張コンクリート	あり
4	ひび割れ制御モデル3	13φ 114本	D13+スターラップ	膨張コンクリート	あり

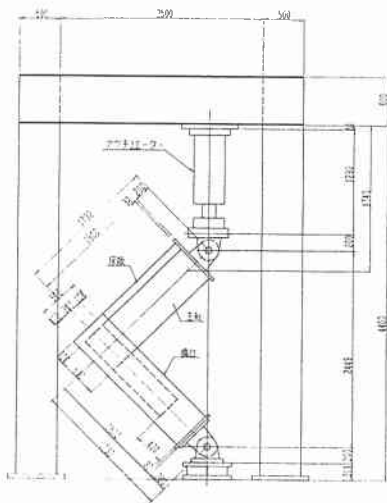
An Experimental Study on Structural Properties of a Steel-Concrete Hybrid Frame Bridge
By Nobuhito OKUBO, Yoshifumi MAEDA, Ryo KOBAYASHI, Masashi HONMA



図—2 ケース4構造図

2. 3 実験方法

実験は図—3に示すように供試体を 45° に傾け大阪大学の 63 t 試験機（アクチュエータ）を用いて行った。載荷方法は 20 t までは荷重制御で、それ以降は変位制御とした。



図—3 載荷要領図

2. 4 実験結果

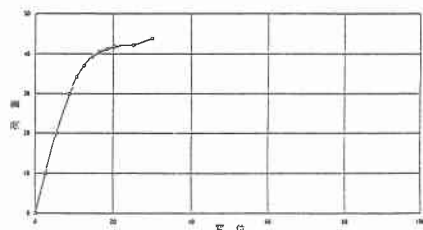
2. 4. 1 荷重—変位の結果

図—4、図—5にケース2およびケース3における載荷装置の3サイクル目をプロットした荷重—変位の結果を示す。なお、ケース1については

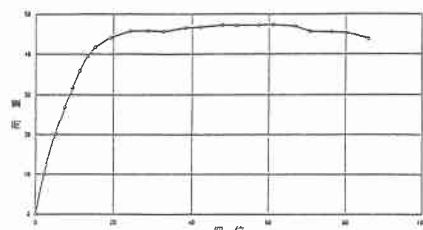
ケース2と同様であり、ケース4についてはケース3と同様の結果となった。

ケース1、2については 35 t、ケース3、4については 40 t までは、ほぼ弾性的に挙動していることがわかる。供試体の設計は 30 t 載荷で降伏するように設計を行っているが、実験ではケース2で 40 t、ケース3は 45 t で降伏という結果となった。

ケース2とケース3を比較するとケース3の方が降伏荷重で 5 t 程度大きくなっている。双方のケースでの構造的な違いはないが、使用コンクリートがケース2では普通コンクリートであり、ケース3では膨張コンクリートである。したがって、ケース3の降伏荷重が大きいのは膨張コンクリートの効果であると言える。



図—4 ケース2荷重—変位曲線



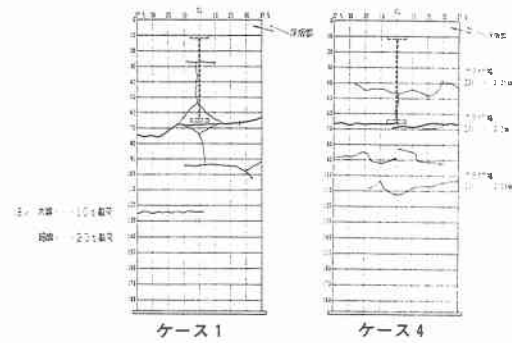
図—5 ケース3荷重—変位曲線

2. 4. 2 ひび割れの結果

図—6にケース1、4の橋台部背面におけるひび割れ状況図を示す。

初期ひび割れはケース1～4とも 5 t 程度で、主桁下フランジ延長線上において水平方向に発生した。さらに荷重の載荷を続けるとケース1ではこの部分のひび割れが大きくなり集中する形となった。しかし、ケース2～4では、水平方向のひび割れが主桁下フランジ延長線上の上下にも発生し、ひび割れが分散する形となった。これは、ひび割れ制御用のスタッドジベルの効果であると言える。また、

膨張コンクリートを使用したケース 3，4 はケース 1，2 に比べひび割れ発生量が全体的に少なくなった。したがって、膨張コンクリートはひび割れの制御に有効である。鉛直方向のひび割れに着目してみるとケース 4 が最も小さく短いものとなった。ケース 4 は鋼支柱部にスターラップを巻いており、その効果が表れたと考えられる。



図—6 橋台部背面ひび割れ図

次に図—7 にケース 1，4 の床版上面のひび割れ状況図を示す。

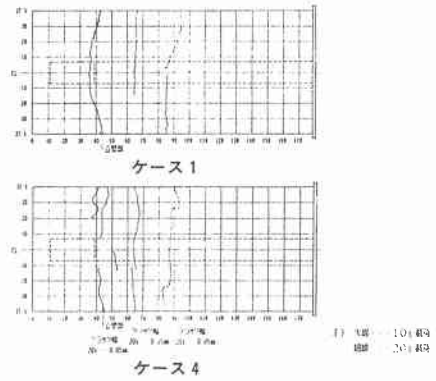
初期ひび割れは、普通コンクリートを使用したケース 1，2 では約 6 t で、膨張コンクリートを使用したケース 3，4 では約 12 t で橋台部と床版部の境に発生した。したがって、膨張コンクリートは床版の初期ひび割れを抑える効果もあるといえる。

その後、荷重を続けるとケース 1 では初期ひび割れが発生した位置にひび割れが集中する形となった。しかし、ケース 2～4 はひび割れが分散され、また、ひび割れ幅も小さくなった。ケース 2～4 はひび割れ制御用のスタッドジベルを取り付けた構造となっており、その効果が表れていると言える。

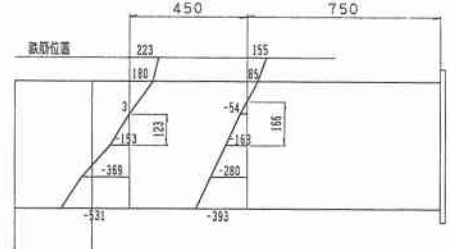
2. 4. 3 荷重—ひずみの結果

ここでは、隅角部（橋台前面より 5 cm の所）と一般断面部（橋台前面より 50 cm の所）における主桁および床版鉄筋のひずみに着目し断面性能について考察を行う。図—8 にケース 4 の 20 t 荷重時における主桁部のひずみ分布を示す。

各断面のひずみ分布は各ケースほぼ同じ傾向であり、一般部については線形分布、隅角部については



図—7 床版上面ひび割れ図

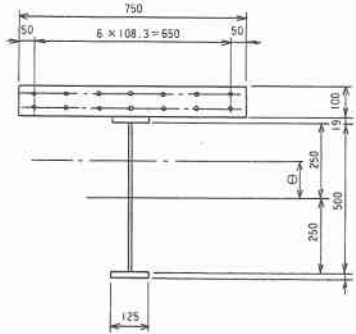


図—8 ケース 4 主桁部ひずみ分布図（20 t 時）

表—2 主桁部中立軸位置（e）比較表

隅角位置	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
合成断面として計算	21.6	21.6	21.6	21.6
遮断面として計算	5.6	7.9	7.9	7.9
実験値				
10t時	13.2	14.4	15.8	15.2
20t時	8.3	10.7	13.0	12.3

一般部	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
合成断面として計算	21.6	21.6	21.6	21.6
遮断面として計算	3.6	7.9	7.9	7.9
実験値				
10t時	17.3	16.1	17.7	17.3
20t時	14.3	13.6	18.3	16.6



応力方向が変化する位置であるので、下フランジにひずみが集中する傾向となった。そこで、中立軸に注目すると、表—2 に示すように、各ケースとも

一般部、隅角部のいずれも 10 t 載荷時より 20 t 載荷時の方が中立軸位置が下がっている。これは、荷重の増大に伴い床版上面に発生するひび割れの進行によって床版の有効厚（ひび割れ深さ）が変化し、見かけの中立軸位置が変化するためである。しかし、ケース 1 よりもケース 2～4 の方が中立軸位置の移動量が少なくなっている。ケース 2～4 はスタッドジベルの取り付け範囲を広げた構造であり、さらにケース 3、4 は膨張コンクリートを使用している。中立軸の移動量の減少はこれらの効果が表れていると考えられる。

また、各ケースにおける中立軸位置の実験値は、合成断面および鋼断面として算出した中立軸位置の間となっている。このことから、主桁は合成断面と鋼断面の中間の挙動を示していると言える。したがって、隅角部についてはコンクリートを含まず鋼主桁と床版鉄筋との合成断面としての期待ができると言える。また、一般部では全断面有効とはいえないが、ある程度の床版コンクリートを含んだ合成断面として期待できると言える。

2. 4. 4 まとめ

本実験により鋼・コンクリート複合隅角部において明らかになった代表的なものを以下に述べる。

- (1) 本構造は降伏後、荷重の低下は見られず、残存耐力が大きい。また、隅角部付近において橋台前面と床版裏側のコンクリートが圧壊したにもかかわらず崩壊しなかった。したがって、本実験のような載荷状態では非常にねばり強い構造と言える。
- (2) ひび割れ制御のため取り付け範囲を広げたスタッドジベルはひび割れに対する効果があると言える。
- (3) 膨張コンクリートの使用はひび割れ制御に有効であると言える。
- (4) 鋼支柱の周りに配置したスターラップはひび割れ制御に格段の効果はなかった。
- (5) 隅角部付近の床版コンクリートは載荷荷重の増大とともにひび割れ深さが大きくなるが、鋼主桁と床版鉄筋との合成作用が期待できる。

3. 複合接合部の実験

3. 1 実験における着目点

複合接合部における実験の着目点は以下の通りである。

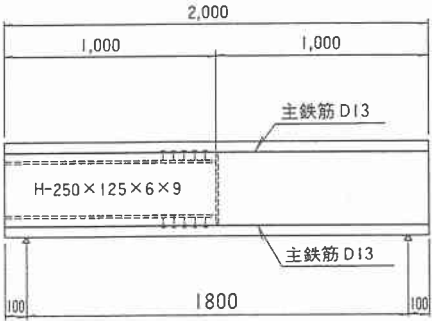
- (1) SRC 構造から RC 構造への移行部は構造上の接合部と考えられ、ベースプレートと境に剛度が急変している。したがって接合部が弱点とならないよう、最適かつ合理的な定着方法について検証する。
- (2) 複合接合部におけるせん断耐力が母材と同等以上確保されているか、終局耐力を明らかにする。

3. 2 供試体

供試体は、SRC から RC に移行する部分を取り出した形状とし接合部の定着方法に着目する。S 部には H 型鋼 (H・250×125×6×9) を使用し 5 ケース製作し、単純支持された梁として載荷試験を行う。供試体の設計方法は、40 t 載荷時において梁中央部 RC 断面の鉄筋が降伏するように設計を行っている。表 1-3 に各ケースの構造概要を図 1-9 に基本ケースの構造図を示す。

表—3 実験モデル

case	モデル名称	H 型鋼にスタッドジベル	ベースプレートにスタッドジベル	アンカーボルト	PC 鋼棒
1	基本ケース	○			
2	スタッドジベル定着モデル	○	○		
3	アンカーボルト定着モデル	○		○	
4	PC 鋼棒締め付けモデル	○			○
5	スタッドジベル定着なし				



図—9 ケース 1 構造図

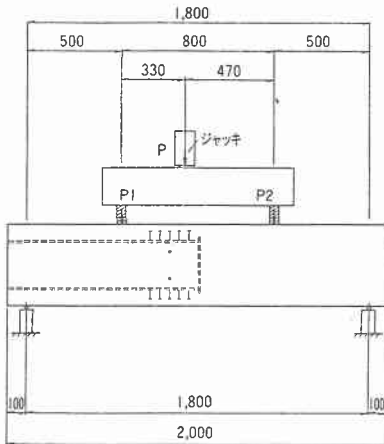
ケース 1 は SRC 部から RC 部への力の伝達を

H型鋼に取り付けられたスタッドジベルによって行う構造としR C部との定着はベースプレートとコンクリートとの付着によるものとする。ケース2～4については部材の構造はケース1と同様とし、ケース2はベースプレートの下側に取り付けしたスタッドジベルによりR C部と定着した構造とする。ケース3はアンカーボルトによる定着とする。ケース4は部材全体をP C鋼棒により締め付け一体化する構造とする。ケース5はスタッドジベルを取り付けず鋼材のみによりコンクリートと定着する構造とする。

3. 3 実験方法

荷重方法は、図一10 に示すように接合部での曲げモーメントとせん断力の比が実橋の比と等しくなるように荷重梁を介して2点荷重を行う。

荷重は油圧ジャッキを用いて荷重制御とし、1tピッチで荷重した。



図一10 荷重要領図

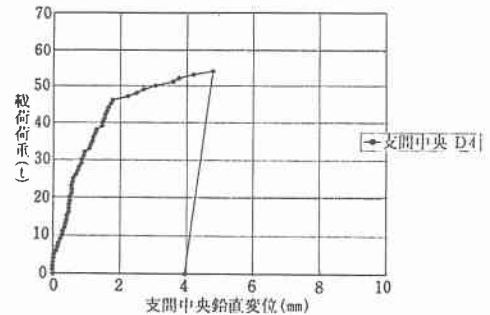
3. 4 実験結果

3. 4. 1 荷重—変位の結果

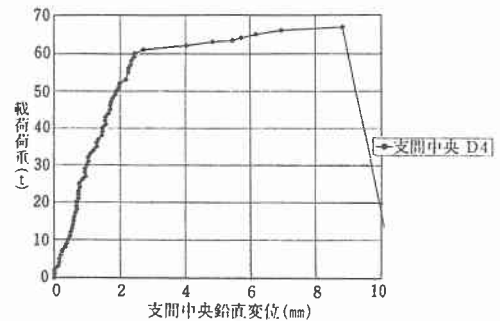
図一11～図一13 にケース2～4の支間中央部の鉛直変位をプロットした荷重—変位の結果を示す。なお、ケース1, 5はケース2と同様の結果であった。

これらの図を見るとケース2は約46tまで弾性的に挙動していることがわかる。また、ケース3は60t、ケース4は180tとなっている。供試体の設計は40t荷重でR C断面の引張鉄筋が降伏する

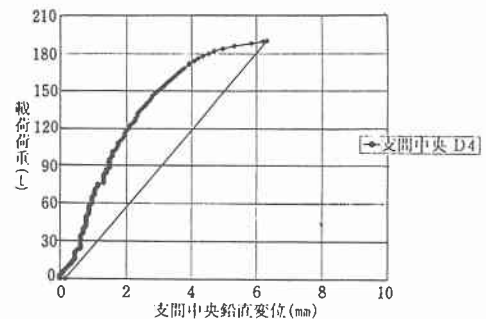
よう設計を行っておりケース2については、ほぼ設計値で降伏している。ケース3はケース2に対して15t程度降伏荷重が向上していることから定着部にアンカーボルトを使用することは有効であると判断できる。ケース4については降伏荷重が180tと他のケースに比べ格段の差があり、P C鋼棒の締め付けによる効果は非常に大きいと言える。



図一11 ケース2 荷重—変位曲線



図一12 ケース3 荷重—変位曲線



図一13 ケース4 荷重—変位曲線

3. 4. 2 ひび割れの状況

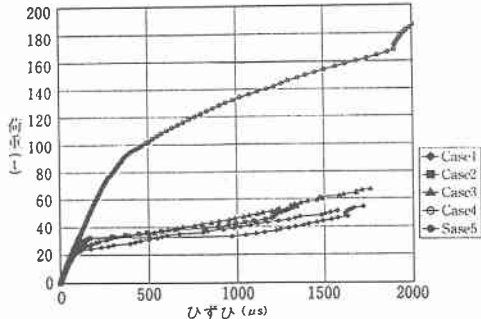
初期ひび割れは、ケース1,2,3,5については約25tでS R C部からR C部に移行する梁中央部付近の鋼桁側寄りに発生した。ケース4の初期ひび割れは

約 75 t で、発生位置は他のケースと同様である。

荷重の増加とともにひび割れも進行し、鋼桁にスタッドジベルを取り付けていないケース 5 は、ひび割れ本数が少なくひび割れ幅も大きいことから、鋼とコンクリートの付着が切れひび割れが集中した結果となった。ケース 1, 2 は全体的にひび割れ状況に大差はなくベースプレートに取り付けたスタッドジベルはひび割れ制御にあまり有効でないと考えられる。ケース 3 はケース 1, 2, 5 に比べひび割れが分散されており、特に R C 部におけるひび割れの分散はアンカーボルトの効果であると判断できる。ケース 4 は他のどのケースよりひび割れが分散されている、また、ひび割れ深さも他のケースは圧縮鉄筋付近まで達しているのに対し、ケース 4 は P C 鋼棒にも達していないことからプレストレスを導入した効果は大きいと言える。

3. 4. 3 荷重—ひずみの結果

図—14 に各ケースにおける梁中央部引張側鉄筋の荷重—ひずみの関係を示す。



図—14 引張鉄筋の荷重—ひずみ曲線

ケース 1, 2, 3, 5 は初期ひび割れが発生している 25 t 程度から急速にひずみが増加しておりひび割れ状況とよく一致している。特にケース 5 でのひずみの増加量が大きいことからひび割れの結果と考えあわせると鋼とコンクリートのみの付着は、コンクリートひび割れ後については期待できないと考えられる。ケース 1, 2 のひずみは同様な傾向であることからベースプレートに取り付けたスタッドジベルの効果はほとんどないと考えられる。ケース 3 はケース 1, 2, 5 に比べひずみの増加量が少ないことからアン

カーボルトによる効果があると言える。ケース 5 についてはひび割れの発生が 75 t 程度であるのに対し、引張側鉄筋のひずみ増加が 90 t をこえてからとなっているのは P C 鋼棒の効果と考えられ、鉄筋に与える負荷も少ない。

3. 4. 4 まとめ

本実験により、鋼・コンクリート複合接合部における定着方法について明らかになったものを以下に述べる。

- (1) 鋼支柱のベースプレートに取り付けたスタッドジベルによるコンクリートの定着効果はあまり期待できない。
- (2) アンカーボルトを使用すればコンクリートと十分効果的に定着することができ、施工性を考慮しても実際の構造物に対して比較的簡単に適用が可能であると言える。
- (3) 鋼とコンクリートのみの定着は、コンクリートひび割れ発生と同時に定着が切れ、引張鉄筋に負担がかかる。
- (4) P C 鋼棒によるプレストレスの導入は大きな効果があり耐力に優れた構造であることがわかった。しかし、実施工における施工性や建設コストを考えると今後の課題が残される。

4. あとがき

本実験は鋼・コンクリート複合ラーメン橋の橋台部における隅角部および接合部の力学的特性を把握するために行った。実験結果により、スタッドジベルの取付範囲、膨張コンクリートとスターラップの使用および定着部アンカーボルトの採用などを実橋に反映できた。さらに、横荷重による横構の省略が可能であることも F E M 解析により確認できており、今後の構造改善およびコストの低減に期待ができる。

最後に、本実験に際して、多大なるご指導をいただきました大阪大学の松井繁之教授、ならびに実験中お世話になりました大阪工業大学の栗田章光教授に紙上を借りて心より感謝の意を表すとともに関係各位に厚く御礼申し上げます。