

# プレキャスト床版合成桁

—その実験的研究—

橋 善 雄\*・近 藤 和 夫\*\*  
岩 永 安 正\*\*\*・足 立 義 雄\*\*\*\*

## 1. まえがき

従来の合成桁におけるジベルを省略し、プレキャスト床版と鋼桁とを高張力ボルトその他（接着剤）で結合することにすれば、強度高く信頼性あるコンクリート床版を用いることができ、現場施工期間を短縮することが可能である。また、連続桁の支点上の負の曲げ応力に対処するためにプレストレス工法を用いる場合も、あらかじめコンクリート床版のみプレストレスした後合成すれば、コンクリートの収縮、クリープの影響を少なくすることができて非常に有利である。

この種の工法については、すでにSattler<sup>1)</sup>、Dörnen<sup>2)</sup>、Gibschmann<sup>3)</sup>、成瀬<sup>4)</sup>、上野<sup>5)</sup>、中平<sup>6)</sup>、その他<sup>7),8),9),10)</sup>の報告があるが、これらに取扱われていない問題として、

- (1) 実物大合成桁の床版継手が桁の耐荷力におよぼす影響
- (2) 負曲げモーメントを受けた場合の桁の耐荷力
- (3) 動的載荷の影響
- (4) プレキャストコンクリート床版の種々の継手の強度

などがある。それゆえ、この工法を用いた大阪市神崎橋拡幅工事に関連して、以上の点につき実験的研究を行ったものである。

## 2. 実験の概要および供試体

実験に用いた供試体の内容は表-1および図-1のとおりである。

このほかに小型の供試体により接着剤の諸性質を調べた。セメントは浅野ペロセメントを用い、コンクリート打設後1週間湿潤養生を行ない、供試体4個以上の平均値は  $\sigma_{28} = 525 \text{ kg/cm}^2$ 、引張強さ係数  $38.9 \text{ kg/cm}^2$ 、 $E = 3.11 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  であった。鋼材の降伏点強度は  $31 \text{ kg/mm}^2$  以上、高張力ボルト（建築学会規準第2種  $\phi 19$

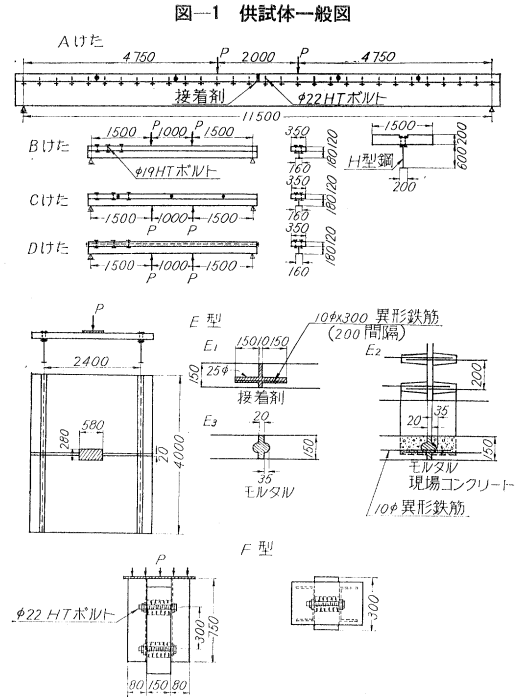


表-1

供試体名称	個数	スパン (m)	摘 要	載荷によるモーメント
A	1	11.5	高張力ボルトを用いた合成桁。モルタルベッド。目地はモルタルと接着剤	正
B	2	4	同 モルタルベッドおよび接着剤	正
C	1	4	同 (支点沈下によるプレストレス) 目地はモルタル	負
D	2	4	同 (PC鋼棒によるプレストレス) モルタルおよび接着剤 (動的試験後静的載荷)	負
E	3	2.4	床版継手はモルタル、現場コンクリートおよび接着剤 (継手に載荷)	正
F	7		高張力ボルトを用いた押抜供試体 (モルタルおよび接着剤併用)	

mm,  $\phi 22 \text{ mm}$ ) の抗張力は  $94.9 \text{ kg/cm}^2$  以上であった。

## 3. 実験の内容とその結果および考察

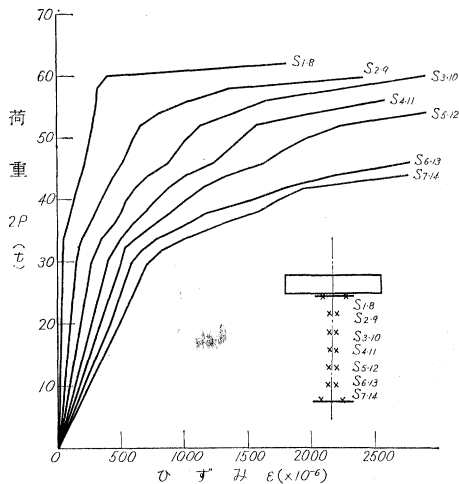
### (1) A 桁の実験

実橋（大阪市神崎橋、 $l=11.50 \text{ m}$ ）と等大であるが、実橋の床版継手が鉄筋コンクリート現場施工（図-1、 $E_2$ ）であるのを、実験桁では桁中央断面は接着材継手

\* 正 員 工博 大阪市立大学教授  
\*\* 正 員 大阪市土木局橋梁課長  
\*\*\* 正 員 日本橋梁KK  
\*\*\*\* 学生員 大阪市立大学工学部

(図-1,  $E_1$ ), 他はモルタル継手 (図-1  $E_3$ ) とした。プレキャスト床版と鋼桁との間には, なじみをよくするためモルタルベッドを用い, 40 cm 間隔に 2 本ずつ配置した高張力ボルトは建築学会標準第 2 種  $\phi 22$  mm で 1 本当り 15.4 t の張力を与えた。中央 2 m の間隔に 2 点载荷により  $2P=30$  t までの弾性試験を 3 回行ったが, 30 t において中央断面におけるひずみの実測値の計算値に対する比は, コンクリート床版上面 92%, 鋼桁下縁 91%, たわみ 90% で, 十分合成桁として働いていることが認められ, もちろんずれは生じていない。30 t を越えると, 図-2 に示すように鋼桁下縁の荷重ひずみ曲線

図-2 A 桁荷重-ひずみ曲線



が急激に増えてきて, 37 t では早くも鋼桁下縁が降伏点に達した。この理由は, 中央断面継手に接着剤を用いているため, そのヤング係数が小さくコンクリートの 1/8 程度 ( $\phi 5$  cm, 高さ 10 cm の円筒形供試体 4 個の測定平均値約  $4 \times 10^4$  kg/cm<sup>2</sup>) であるので, 接着剤部分が早く降伏したためと考えられる。2P=38 t の頃からモルタルベッドの付着がとれてきて, 49 t を越えるとずれが徐々に大きくなってくる。45 t (設計荷重 25 t に対する比は 1.8) のときボルトの摩擦係数を計算すると 0.47 であり, 52 t からずれが非常に大きくなってきて重ねばりとして働いていることは図-3 に明らかである。さらに 60 t では中央断面の接着剤継手が破壊し中立軸は急激に下る。またそのために継手位置の鋼桁上縁が急に座屈し上縁は折れ線を示す (写真-1)。いっぽう, 高張力ボルトは 58 t で一たんずれたものが, コンクリート穴周壁にスパイラル鉄筋を入れてあるため, ボルトは支圧ボルトとして働き, 再び不完全ながら合成桁として作用し, 60 t を越えとずれが少なくなり桁の荷重ひずみ曲線も立ってくる。荷重たわみ曲線は図-4 に示す。この桁の破壊荷重は 64 t であり, 計算値 76 t の 84% であった。この理由は, 上述のように中央断面コンクリート床版の

図-3 A 桁荷重-ずれ曲線

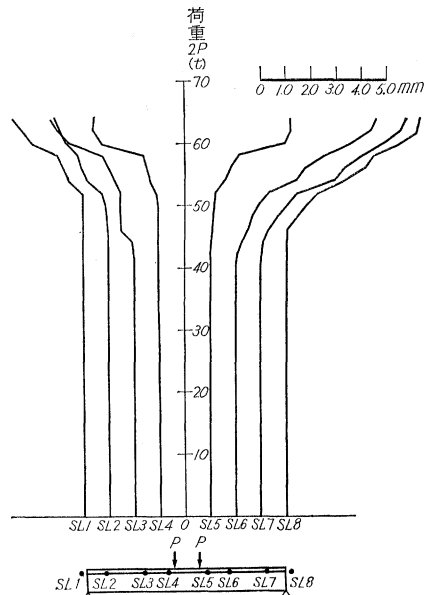


写真-1

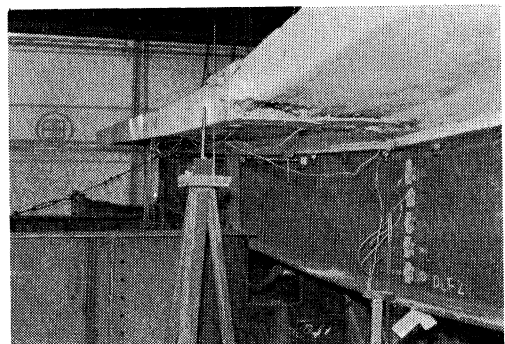
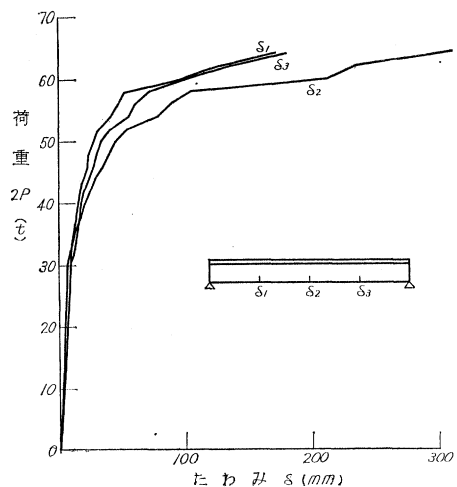


図-4 A 桁荷重-たわみ曲線



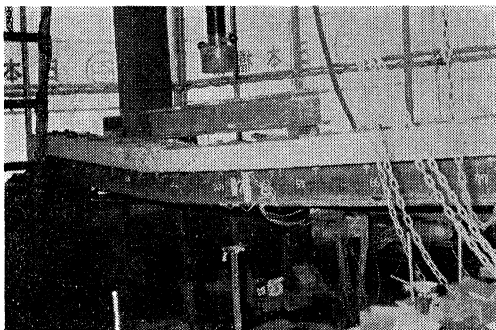
継手の欠損であって、完全な合成桁に比べて耐荷力が劣ることは、プレキャスト合成桁の欠点の一つと考えられる。しかしながら、設計荷重に対する安全率は、ずれに対して 1.8、破壊に対して 2.5 という十分な値であった。

## (2) B 桁の実験

30 cm 間隔に 2 本ずつ配置した高張力ボルト第 2 種  $\phi 19$  mm に 11 t の張力を与えた。B<sub>1</sub> 桁は合成面にモルタルを、B<sub>2</sub> 桁は接着剤を用いた。中間 1 m 間隔に 2 点載荷したが、弾性範囲については、コンクリート上面、鋼桁下縁について実測値/計算値は、ひずみ 80~96%、たわみ 83~99%であった。つぎに B<sub>1</sub> 桁の高張力ボルト張力を 4 t にゆるめて載荷試験を行なったところ、 $2P=12$  t でポンという音とともにモルタルの付着がとれ、ずれを生じた。このときの摩擦係数（モルタルの付着力をふくむ）を計算すると 0.97 となる。一たん荷重を 0 t にもどし再び載荷すると、今度は  $2P=8$  t でずれ始めたので、これより摩擦係数を計算すると 0.65 となる。この B<sub>1</sub> 桁を再び 11 t に締め直し、B<sub>2</sub> 桁とともに 6 カ月間放置した。それはコンクリートの収縮およびクリープによってボルトの張力が減ずるのを調べるためである。

6 カ月後の載荷試験では B<sub>1</sub> 桁は  $2P=14$  t でずれ始めた。張力減退がなければ  $8 \times 11/4=22$  t でずれることになるから、ボルト張力は初期プレストレスの 64% に減じていたことになる。破壊荷重は  $2P=26.7$  t であった。B<sub>2</sub> 桁は合成面に接着剤を用いたものであるが、最後までボルトはずれることなく、破壊荷重は  $2P=27.8$  t であった。以上により接着剤がボルト張力の減少を十分補っていることがわかり、合成の効果が確かめられたわけである。破壊のようすは写真-2 に示すように床版が折れている。

写真-2



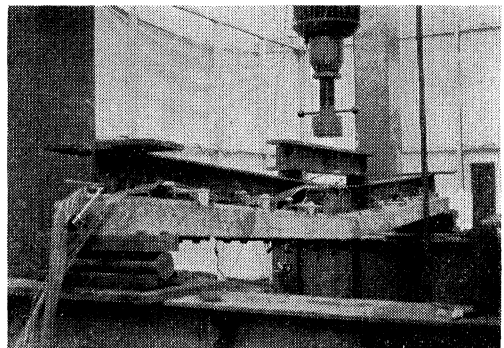
別に  $8 \times 8 \times 40$  cm の供試体 6 個を作り、そのうち 2 個はスプリング装置で 3 t の圧縮力を加え、残り 4 個は収縮に対する control beam として用い、室内に放置して半年間のクリープ係数を測定し（温度  $10 \sim 18^\circ\text{C}$ ）、

収縮をふくんだ値として  $\phi=2.76$  を得た。これを用いた残存プレストレス量計算値は 67% となり、前記実測値とほぼ同じ値となった。

## (3) C 桁の実験

これは連続桁またはゲルバー桁として支点上の負の曲げモーメントに対応するためのもので、スパン 4 m の鋼桁のみを中央 1 m の間隔の 2 点でジャッキを用いてそらせた後（反力 2.5 t ずつ）、プレキャスト床版を高張力ボルトで取りつけ、継手に用いたモルタルの硬化後、ジャッキを取りはずしてコンクリート床版上面に  $-87.5 \text{ kg/cm}^2$  の圧縮プレストレスを与えた。これを逆 T の形にして中央 1 m の間隔で 2 点載荷を行なったが、継手モルタルに目に見えない収縮きれつが入っていたためか、 $2P=2$  t ですでにこの部分に hair crack を生じ、継手に鉄筋が入っていないためひびわれは早く進行した。破壊荷重は計算値 11.0 t に対し実測値 11.7 t であった。写真-3 では中央断面継手の位置で床版が折

写真-3

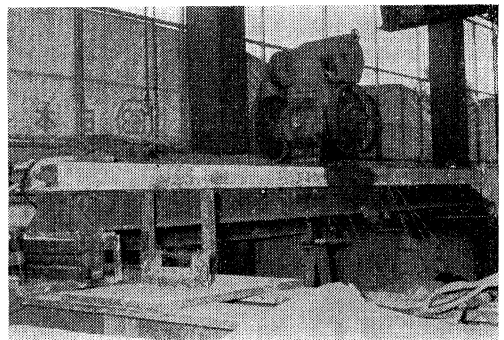


れているのが認められる。この形式のものは、床版にかなりプレストレスが入っていても、やはり床版継手が弱点になるようである。

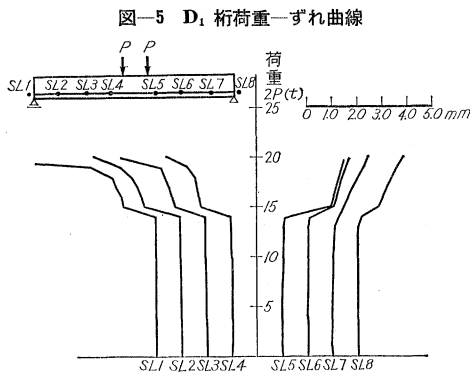
## (4) D 桁の実験

D 桁は  $\phi 19$  mm の高張力ボルト穴に差込んだまま締めつけない状態で、床版のシースにあらかじめ入してある 2 本の  $\phi 18$  mm の PC 鋼棒に 1 本当たり 15 t

写真-4

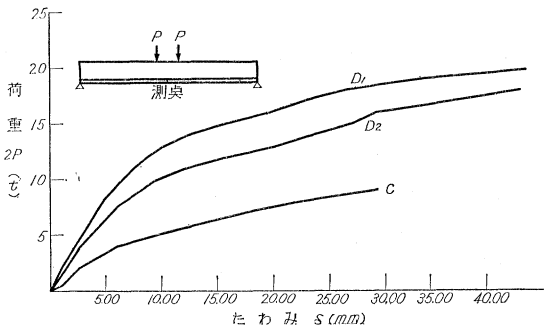


の張力を与え、ついで高張力ボルトを 11 t で締めつけた後、シーにグラウトした。これによってコンクリート床版上面に  $-81.2 \text{ kg/cm}^2$  の圧縮プレストレスを与えた。D<sub>1</sub> 桁の合成面にはモルタル、D<sub>2</sub> 桁には接着剤を用いた。つぎに、桁のスパン中央に重量約 500 kg の起振器を載せ動的載荷試験を行なった（写真—4）。桁の固有振動数実測値は毎分約 1800 になるが、起振器を毎分約 1100 回転で、D<sub>1</sub> 桁は約 10 万回、D<sub>2</sub> 桁は約 20 万回振動せしめた。このときの半振幅は D<sub>1</sub> 桁 0.70 mm、D<sub>2</sub> 0.54 mm であった。肉眼で観察した結果、モルタルを用いた D<sub>1</sub> 桁は約 1 万回で桁中央部付近から付着がとれ始め 5 万回で完全に付着がとれた。接着剤を用いた D<sub>2</sub> 桁は約 10 万回で桁中央部付近が部分的にずれる

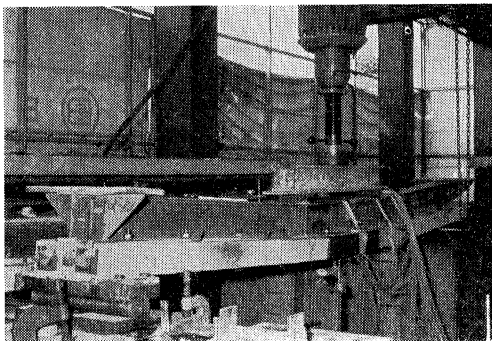


図—5 D<sub>1</sub> 桁荷重—ずれ曲線

図 6 C, D 桁中央点荷重たわみ曲線



写真—5



のが認められた。この点接着剤の方がモルタルよりはすぐれているが、なお完全とはいえない。

動的載荷試験後、逆Tの形で中央 1 m で 2 点載荷を行なったが、D<sub>1</sub> 桁は  $2P=7 \text{ t}$ 、D<sub>2</sub> 桁は 8 t でひびわれが発生した。ずれ荷重から摩擦係数を計算すると、D<sub>1</sub> では 0.59、D<sub>2</sub> では 0.54 を得た。破壊荷重は D<sub>1</sub> 22 t、D<sub>2</sub> 20.1 t であり、計算値との比は 129% と 118% であった。D<sub>1</sub> 桁の荷重ずれ曲線を 図—5 に、C 桁、D<sub>1</sub> 桁、D<sub>2</sub> 桁の荷重たわみ曲線を 図—6 に示した。破壊のようすは 写真—5 に示すように床版は折れていない。

### (5) E 版の実験

E 版の実験は、プレキャストコンクリート床版 2 枚を高張力ボルトで鋼桁に結合し、床版継手中央に集中荷重（自動車後輪を想定して載荷面は  $28 \times 58 \text{ cm}$  の大きさとし、床版のたわみに荷重が沿うような構造とした）を載荷して版の破壊試験を行なったものである。床版の継手はつぎの 3 種である。

- 1) 配力鉄筋をさしこんで接着剤を用いた継手（図—1, E<sub>1</sub>）
- 2) 床版から出ている配力鉄筋を重ね合せ、現場コンクリート施工を行なった継手（図—1, E<sub>2</sub>）
- 3) 床版に半円の切込みを設け、その周囲に薄く接着剤を塗布し、モルタル継手としたもの（鉄筋は入っていない。図—1, E<sub>3</sub>）

E<sub>1</sub> での最初のひびわれは、10 t のとき、接着剤継手部でなく継手にそう入した鉄筋の端部付近で継手に平行に生じた。これは継手鉄筋および接着剤が有効であったことを示している。つぎに荷重を増すと継手に直角方向にひびわれが生じた。E<sub>2</sub> では 9.5 t で継手に直角に、つづいて 10 t を越えると配力鉄筋端部で継手に平行にひびわれ、ついで継目部もひびわれてきた。E<sub>3</sub> は 7 t でまず継手からひびわれ始め、継目のひびわれが広がると、つぎに継目に直角にひびわれが生じた。やがていずれの床版も、表面では長径 3 m（床版スパン方向）、短径 2 m くらいのだ円状のひびわれが生じた。たわみについては各種とも大差はない。破壊荷重は E<sub>1</sub> 49.4 t、E<sub>2</sub> 41.8 t、E<sub>3</sub> 43.0 t であった。E<sub>1</sub>、E<sub>2</sub>、E<sub>3</sub> の破壊状況を 写真—6, 7, 8 に示す。

継手中央の荷重ひずみ曲線を 図—7 に示したが（簡単のため中央点のみ）、E<sub>3</sub> では肉眼によるひびわれは載荷の早期に発生し、E<sub>1</sub> がこれにつぎ、E<sub>2</sub> が最もおそい。E<sub>1</sub>、E<sub>2</sub> では継目部がひびわれかけても、なお版として若干働いているが、E<sub>3</sub> は版としての作用を早期に失なうことが認められる。継目に直角方向のコンクリート床版下面応力  $\sigma_y$  の計算値は、無限帯状版で単純支持の場合と固定の場合の平均として荷重 10 t のとき  $47.0 \text{ kg/cm}^2$  を得るから、前記実測値は大体計算値に近い。

写真-6

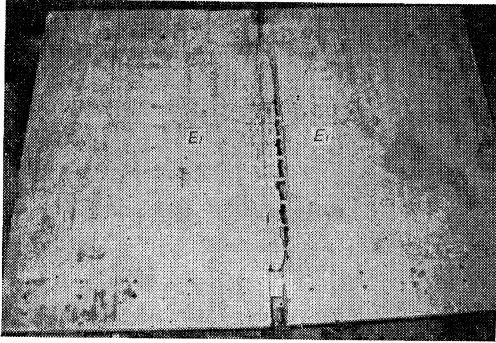


写真-7

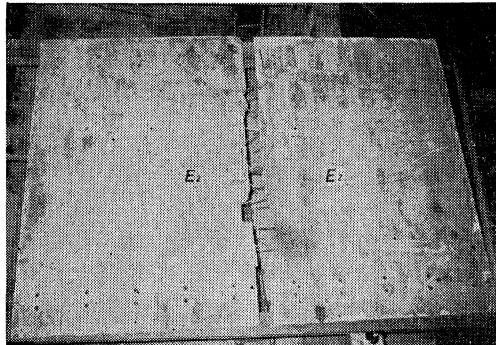


写真-8

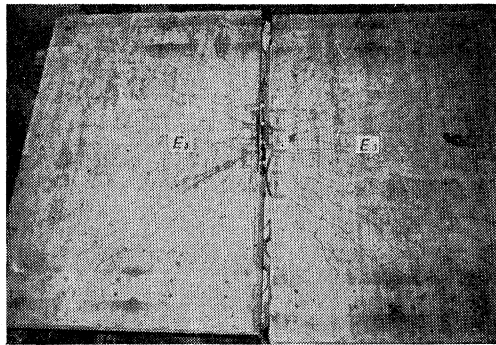
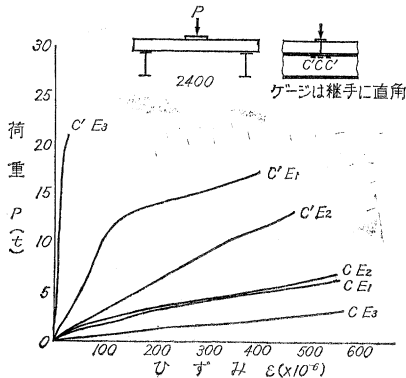


図-7 版、荷重ひずみ曲線



以上のように、継手のひびわれ荷重の点から考えると、集中荷重に対しては配力鉄筋のない継手は十分でなく、必ず配力鉄筋が必要である。E<sub>1</sub>継手は現場コンクリート施工を要しないが、接着剤施工にかなり手数を要することとその経済性に、なお問題が残されているようである。

(6) 押抜試験

① φ22 mm の高張力ボルトを1本当り 15 t の張力で締めつけ、押抜試験を行なうことによりコンクリートと鋼材(肌は黒皮のままであり、生じた赤錆をワイヤブラシで清掃した程度)間の摩擦係数を測定し、② つぎにコンクリート鋼材の接触面全面にモルタルを塗布したもの、③ 接着剤を部分的に塗布したもの、についても同様の試験を行なった。ずれの測定はダイヤルゲージを鋼桁の左右対称の位置に4個取りつけ、回転の影響をのぞくようにした。

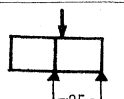
① の実験では、コンクリートと鋼材間の摩擦係数は 0.250~0.375 にばらつき、平均 0.304であった。② では 0.533~0.700 であり、モルタルの付着力が大であることを示した。③ では接着面積を3種類に変えて行なったが、1カ所面積 10×10 cm, 10×20 cm, 15×20 cm の順に μ=0.33~0.50 であった。したがって接着剤を併用しても、その面積があまり小さいと、高張力ボルトのせん断耐力を増加する効果が少ないという結果となった。穴の周囲に埋込んだスパイラル鉄筋はボルトがすべってからコンクリートの支圧応力を高めるに役立っていた。

(7) モルタルおよび接着剤を用いた種々の継手試験

モルタルおよび接着剤3種についてつぎのような実験を行なった。接着剤3種はいずれもエポキシ樹脂系であって、E, AS, S で表わす。AS は重量比で接着剤1, 標準砂4の割合で混合したものであり、桁に用いた接着剤はすべて S である。継手の厚さは 3~5 mm とし、試験結果は表-2 に示すが、いずれも2週強度で3個以上の平均値である。

接着剤は\*をのぞきモルタル継手にくらべ強度はかな

表-2 (単位 kg/cm<sup>2</sup>)

	曲げ強度	圧縮強度	せん断強度	曲げ強度	引張強さ係数	
モルタル	77.4	631	10.8(14.6)	4.5(11.4)	3.5	
接着剤	E	79.7	135*	45.5	51.3	30.0
	AS	195.8	694	29.3	48.7	24.1
	S	178.5	533	33.8	46.2	32.8
コンクリート	—	—	—	47.7	33.1	
供試体の形	4×4×16 cm	左の曲げ試験の残片		15×15×53 cm (継手は中央)	標準供試体	

( ) 内は面にハツリを入れたもの

り大であり、大体コンクリート程度の強度が期待できる。また  $E_1$  版 (図一1) に示すように、継手の穴に異形鉄筋をそう入し、すき間に接着剤をつめたものの曲げ供試体試験を行なって、コンクリートの 1.73 倍という良好な結果を得たが、施工に手間がかかるので一考を要する。

#### 4. 結 論

以上の実験の範囲内でつぎのような結論が得られた。

① 高張力ボルトを用いたプレキャスト床版合成桁は、弾性範囲内では普通の剛ジベルを用いた合成桁と同じ静力学的桁作用を示した。コンクリート床版と鋼桁の合成は破壊荷重近くまで保たれていたが、一度ずれてからボルト穴に支圧されて再び不完全ながら合成作用が保たれた。それゆえ、摩擦ボルト (friction bolt) として働く限界に対してある安全率を持った設計が行なわれるべきであるが、一度ずれた後もコンクリート穴の周囲にスパイラル鉄筋などの補強があれば支圧ボルト (bearing bolt) としても働くから、この点に関しては合成桁の静的耐荷力にはあまり影響を与えとは考えられない。

② しかし実験 A において破壊荷重は計算値の 84% であった (もちろん設計荷重に対する安全率は 2.5 であり、十分と考えられる)。この理由は、継手に接着材を用いたため、断面が塑性領域に入ると、もともと小さい接着剤のヤング係数がさらに小さくなるために、鋼桁分担モーメントの割合がそれだけ大となり、鋼桁下縁の降伏を早めたものと考えられるので、この点に十分注意しなければならない。つまり合成桁として完全な耐荷力を得るには継手が弱点になるようである。

③ 負モーメントを受けるところに高張力ボルトを用いたプレキャスト床版合成桁を使用する際、合成桁降下によるプレストレス工法よりも PC 鋼棒によるプレストレス工法の方が確実性があり、PC 鋼棒によって引張力を担わせるようにするのがよいと考えられる。

④ プレキャスト床版と鋼桁との間には、高張力ボルト締めつけの際のひびわれの発生を防ぐため、圧縮強度が十分なモルタルまたは接着剤を敷いた方がよく、これらは高張力ボルトの摩擦抵抗を増加するに役立つ。この場合、合成面の摩擦係数は 0.45 にとれば十分安全である。高張力ボルトに接着剤を併用するとき、その塗布面積があまり小さいとせん断抵抗の増加に対し効果はないようである。

コンクリート床版の収縮およびクリープのため、初期プレストレスが若干減退することをあらかじめ考慮に入れておかねばならない。本実験では半年間の減退量 36%

であった。

動荷重に対しては接着剤の方がモルタルよりやや付着に対する耐久性があるが十分とはいえない。それゆえ橋梁においては接着剤のみで合成することは無理なようで、やはりボルトと併用すべきであろう。

⑤ 床版のブロックとブロックの継手として接着剤 (鉄筋併用) を用いたものは、現場コンクリート施工のものとの差がないが、前者は施工および経済性の点から一考を要する。継手に接着剤のみを用いた場合、橋梁などの集中荷重が載荷するものに対してはまだ確実性に乏しく、配力鉄筋などによって継手を補強するか、PC 鋼棒でプレストレスするかが不可欠な条件となるようである (この点文献に 2), 3) 示された事例は問題があるのではなかろうか。大阪市神崎橋に実施された本工法では、継手は鉄筋コンクリート現場施工とした)。

#### 5. あとがき

以上実験の概要を述べ、継手については今後なお考究すべき多くの問題があるが、本法は将来性を持った一つの興味ある工法であることは疑われない。

本実験に当ってご協力を得た、大阪市 芦見技師、日本橋梁 菊地技師、大阪市大 (当時) 玉田君、久保田君、接着剤についてご援助を得た諸会社に厚くお礼申し上げます。

#### 参 考 文 献

- 1) Sattler, K.: Betrachtungen über die Verwendung hochzugtester Schrauben bei Stahlträger-Verbundkonstruktionen, Preliminary Publication of IABSE, S. 333, 1960
- 2) Dörnen, K. u. A. Meyer: Die Emsbrücke Hembergen in dübellosem Stahlverbund, Der Stahlbau, Heft 2, s. 199, 1960
- 3) Gbschmann, E.: Die Verwendung von Stahlbetonfertigteilen bei Brücken in Verbundbauweise, Preliminary Publication of IABSE, s. 921, 1960
- 4) 成瀬輝男: プレキャスト版合成桁, 土木学会誌, 47-1, pp 34, 1962
- 5) 上野・成瀬・辻: プレキャスト版合成桁の実験, 土木技術, 17-8, pp 5, 1962
- 6) 中平・矢幡: 高張力ボルトを応用した合成桁の実験的研究, 土木技術, 17-5, pp 21, 17-9, pp 5, 1962
- 7) Krosse, H.: Hochstrassenkonstruktion in Fertigteil-Verbundbauweise, Die Bauingenieur, Heft 7, s. 237, 1961
- 8) Krug, S.: Versuche mit Klebern und Mörteln unter Verwendung von Kunstharzen, Die Bauingenieur, Heft 8, s. 287, 1961
- 9) Ney, K. u. J. Postl: Sinmast, ein Kunstharz für die Baustelle, Die Bauingenieur, Heft 12, s. 441, 1962
- 10) J. Postl: Klebung bei einer Verbundbrücke, Die Bauingenieur, Heft 10, s. 390, 1962

(1964.1.6・受付)