

接着工法合成桁橋の設計施工について

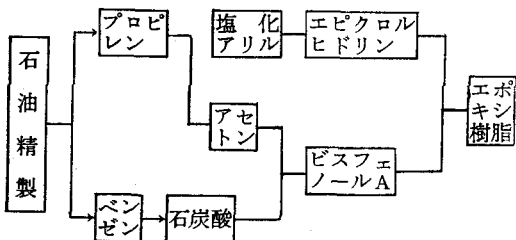
正員 ○渡 辺 昇*
 正員 角 田 和 夫**
 正員 小 山 義 之***
 正員 東 田 信 安****

1. ま え が き

エポキシ樹脂接着剤は、高分子の化学物質であって、液状のエポキシ樹脂 (A 剤) と硬化剤 (B 剤) とを混合することにより、はじめて化学反応をおこし硬化する。硬化時間は、早いもので数分、遅いもので数十時間、その間に2つの物体を強力に接着することができる。これを、橋の分野に利用する一方法として、合成桁橋のコンクリート床板と鋼桁上フランジとの合成に対して、従来のずれ止め金物を用いずに、直接プレキャストコンクリート床板と鋼桁とを接着剤だけで貼りあわせる合成桁工法の開発研究を行ない、すでに、関西において支間24mの1等橋の実橋を架設したが、今回、北海道において、寒冷時に、本工法の実橋を架設したので、これらを含めて、接着工法合成桁の設計施工について報告するものである。

2. エポキシ樹脂接着剤について

エポキシ樹脂 (A 剤) は、水飴のような液体で、下図のように石油化学から作られている。



硬化 (B 剤) 剤には、常温硬化のもの、加熱硬化のものがあり、普通、接着用には、常温硬化型のものが用いられ、ポリアミン、ポリアミド、ポリサルファイドなどがある。この A 剤と B 剤とをまぜることにより、硬化が始まる、

表—1

硬化剤 (B 剤)	ポリアミン	ポリアミド	ポリサルファイド
A 剤 100 に対する添加量	8	80	50
引張強度 (kg/cm ²)	600	400	360
圧縮強度 (kg/cm ²)	1200	900	800
弾性率 (×10 ⁵ kg/cm ²)	3~3.5	2	1.5
伸長率 (%)	—	8	16

表—2

接 着 材 料	せん断強さ (kg/cm ²)
アルミニウムとアルミニウム	160~315
銅 と 銅	157~176
亜鉛と亜鉛	93~110
しんちゅうとしんちゅう	170~195
铸铁と铸铁	187
*メラミン樹脂とメラミン樹脂	8
*ガラス板とガラス板	40
*ガラスとアルミニウム	40
*木とアルミニウム	120
*ゴム と 鉄	130

注 * は材料が破壊した

表—3

	エポキシ	アルキッド	ビニル	ポリエチレン
酸	優	不可	優	可
アルカリ	優	不可	優	良
接着力	優	良	可	不可
可撓性	優~良	良	優	優
硬度	優	良	良	可
耐摩耗性	優	可	良	良

* 北海道大学助教授 工博

** 北海道開発局土木試験所

*** 北海道土木部

**** 富士製鉄

硬化後の硬化樹脂の機械的性質は、表-1のとおりであり、接着強さは、表-2のとおりである。エポキシ樹脂は他の合成樹脂にくらべて、耐薬品性が良好であり、表-3のとおりである。

3. コンクリートと鋼との接着について

図-1のように、コンクリートブロックと鋼板とをエポキシ樹脂接着剤で接着し、硬化後、鋼板頂部に破壊荷重 P をかけた。これはあきらかにせん断試験であるが、破壊は接着剤内部で生ぜず、図-1の破壊面のように、コンクリートの中で生じた。すなわち、コンクリートと鋼との接着強度というのは、コンクリート自身のせん断強度のことである。コンクリート自身のせん断強度については、建設省土木研究所報告 100 号の 9 の伊藤茂富、大野利幸、上野裕康の 3 氏による「コンクリートのせん断強度について」という論文が参考になる。この論文によると、コンクリートのせん断強度は圧縮強度の 14~22% であると結論している。したがって、 σ_{28} が 320 kg/cm² のコンクリートでは、45~70 kg/cm² のせん断強度があり、実際に、図-1のような試験でも、大凡、この事実が確認された。したがって、この強度を安全率で割れば、せん断許容応力度がえられ、接着工法合成桁におけるコンクリート床板と鋼桁上フランジとの間に生ずるせん断応力が、このせん断許容応力度以内に入るように、鋼桁上フランジの幅 (接着幅) を設計してやればよい。接着幅を大きくすればする程、せん断耐荷力は増加する。

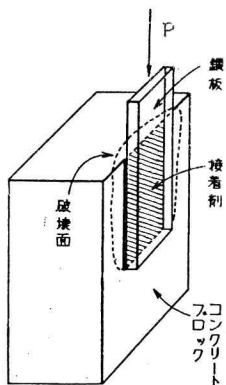


図-1

4. 接着工法合成桁橋の設計計算について

ずれ止めを全く用いずに接着剤だけでプレキャストコンクリート床板を鋼桁に貼りつけて作った合成桁は、従来のずれ止めを用いた合成桁にくらべて設計計算は大差なく、むしろ非常に簡単になる。例えば、ずれ止め自身の設計などは、ずれ止めを用いないから、不要になる。接着面に作用するせん断応力は次式より計算される。

(i) 主荷重により生ずるせん断応力 τ_1 は、

$$\tau_1 = + \frac{QS_V}{I_F \cdot b} \quad (1)$$

であり、ここで、 Q は主荷重によるせん断力、 S_V はコンクリート床板の合成桁中立軸に関する断面一次モーメント、 I_F は合成桁の断面二次モーメント、 b は鋼桁上フランジの幅 (接着幅) である。

(ii) コンクリート床板と鋼桁との温度差によるせん断応力 τ_2 は、

$$\tau_2 = \pm \frac{2N_t}{l \cdot b} \quad (2)$$

であり、ここで、 N_t は温度差により生ずるせん断力、 l は支間、 b は接着幅である。

(iii) コンクリート床板の硬化乾燥収縮によるせん断応力 τ_3 は、

$$\tau_3 = - \frac{2N_s}{l \cdot b} \quad (3)$$

であり、ここで、 N_s は乾燥収縮によるせん断力、 l は支間、 b は接着幅である。

式 (2) および (3) 式においては、コンクリート床板と鋼桁上フランジとが、接着剤によって完全に連続的に合成されており、その結果、せん断応力が支間全体に一樣に分布するものと仮定した。結局、計算による $(\tau_1 + \tau_2 + \tau_3)$ が、接着面の床板コンクリート自身のせん断許容応力度以下であればよい。もしも、許容応力度以上になる場合は、鋼桁の上フランジの接着幅 b を増してやればよい。

5. 接着工法合成桁橋の実橋の架設について

接着剤自身の強度試験、接着合成桁の模形桁による各種



写真-1

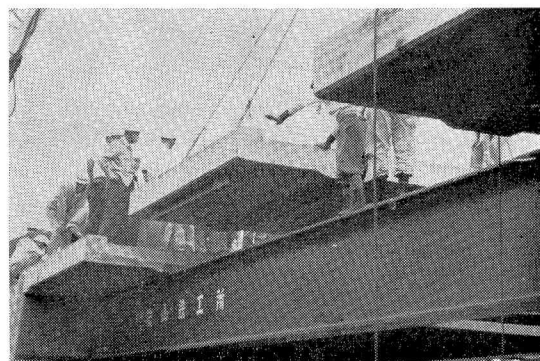


写真-2

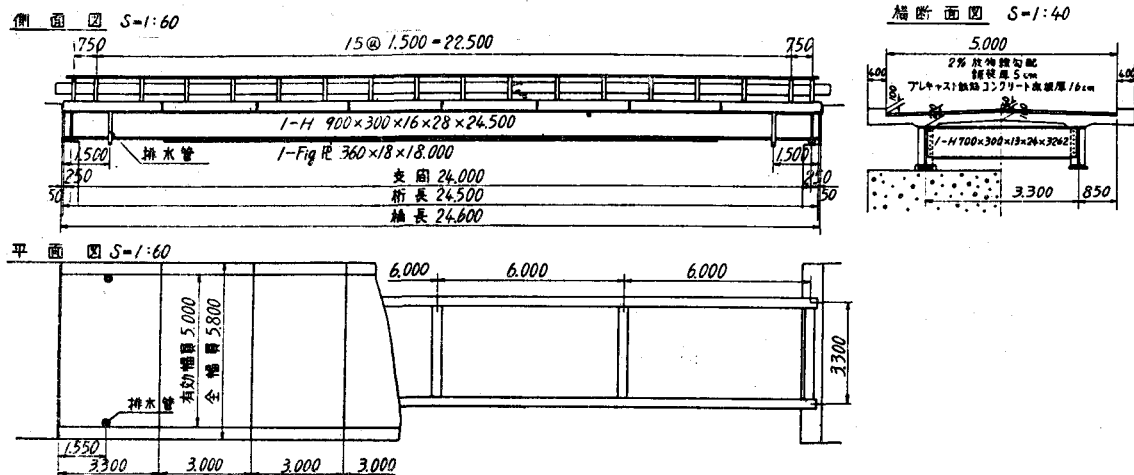


図-2

の強度試験と疲労試験(北海道開発局土木試験所実施)などの基礎的な実験の結果, ずれ止め金物を全く用いないで接着剤だけでプレキャストコンクリート床板を鋼桁に直接貼りつけて作る合成桁は, 理論的にも, 実験的にも, 実用化の目途がついたので, 次いで, 実橋を架設することになった。実橋の設計方針としては, すべて工場内で鋼桁, プレキャストコンクリート床板, 杓, 排水管, 高欄などをプレハブ式に製作し, 架設現場では単に, 接着剤だけでこれらのものを貼りあわせて橋を完成させるいわゆる完全プレハブ方式を採用した。

実橋の架設方法の順序は次のとおりである。

(i) 橋台の上の所定の位置に杓を接着剤(ショーボンド FC 1 mm 厚)で直接貼りつける。アンカーボルトなどはいない。

(ii) 鋼主桁を杓の上に設置する。

(iii) 鋼横桁を鋼主桁に, ハイテンボルトでとりつける。

(iv) 鋼主桁の上フランジをグラインダーでよく磨き, 接着剤(ショーボンド FC 1.5 mm 厚)をぬり, プレキャストコンクリート床板を貼りつける。プレキャストコンクリート床板相互の継目も, 接着剤(ショーボンド FC 1.5 mm 厚)をあらかじめぬりつけ, 相互に接触させ貼りつける(写真 1, 2)。

(v) 排水管を, プレキャストコンクリート床板にあらかじめあけておいた孔に, 接着剤(ショーボンド FC)でとりつける。

(vi) 高欄のポストを, プレキャストコンクリート床板の地覆にあらかじめ埋めこんでおいた鋼管にはめこみ, ボルト締めし, 次いで, 高欄ガードレールをポストにボルトでとりつける。

(vii) 橋の伸縮目地には, 中空ゴムパッキン(東京ファブリック製)の両側面に接着剤をあらかじめぬったものを, は

めこむ(金物は一切用いない)。

実橋の設計架設は, 現在のところ 3 橋で, 次のようなものである。

(1) 富士製鉄室蘭製鉄所構内の道路橋

昭和 39 年 7 月 14 日, 支間 8 m, 幅員 8 m の 1 等橋を架設した。現在も順調に使用に供している。

(2) 富士製鉄広畑製鉄所構内の道路橋(図-2)

昭和 39 年 9 月 21 日, 支間 24 m, 幅員 5 m の 1 等橋を

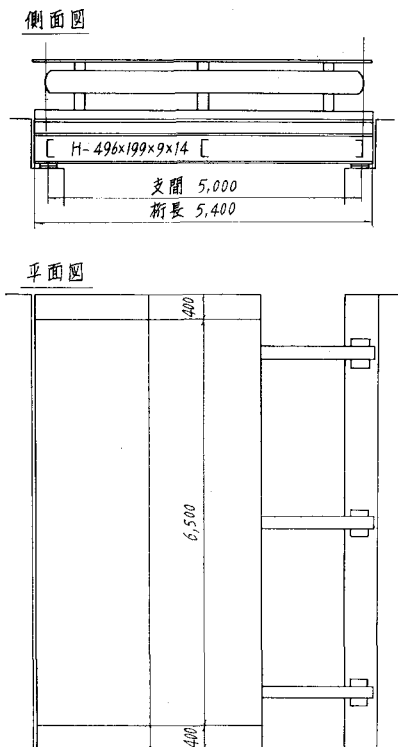


図-3

架設した。

これは、鋼主桁して大形 H 形鋼の下フランジに、さらに 1 枚の鋼板を溶接したもので、横桁にも H 形鋼を用いたものである。橋長 24.60 m で、コンクリート床板は 8 箇のピースに分割して設計施工した。架設には、最大 25 トンの吊る力のあるクレーン車を用いたが、プレキャストコンクリート床板の 1 箇のピースを 10 トン以内になるようにした。ここで用いた接着剤 (ショーボンド FC) は、夏季晴天であったため、非常に条件がよく、施工の翌日には、プレキャストコンクリート床板は、完全に鋼主桁に硬化接着し、まず、理想的な合成桁橋を竣功させることが出来た。今日まで、すでに 5 万台の重交通に供し、最近、橋桁本体にストレンゲージなどをはって、実応力分布の状態を実測してみたが、理論計算による合成桁としての中立軸と、実測による中立軸とがよく一致し、合成桁として有効に働いていることが確認されている。

(3) 北海道門別町豊美橋 (図-3)

昭和 40 年 11 月 15 日、北海道沙流郡門別町字厚賀に豊美橋、支間 5 m、幅員 6.5 m、2 等橋を架設した。当日の気温は 4°C であった。低温時の接着剤の特性については、あらかじめ実験室内において各種の試験を行なった結果、次のような性質があることをつかんでおいた。

(i) 接着剤の硬化反応は低温になるほどにぶくなり、温度が零下になると硬化反応は殆んど停止に近くなり、さらに温度が低下すると、接着剤自身が反応を起す前に、凍結してしまう。

(ii) 凍結した接着剤を冷凍室から外に出し、あたためてやると、やがて硬化反応が始まり、常温位になると、正常な状態で硬化する。すなわち、寒冷時に接着剤自身が破壊してしまうような欠点はない。この点は、セメントコンクリートなどにくらべると、はるかに、寒冷時施工において安心感がある。

(iii) 寒冷時に、接着剤の A 剤と B 剤とをあたためながら混合することは有効である。数 100°C も熱を加えると、接着剤は燃えてしまうが、100°C 位までなら、害はないようである。

豊美橋においては、接着剤としてショーボンド FC を用いたが、A 剤と B 剤との混合は、あたためながら行なった。それを、鋼桁の上フランジにぬりつけた場合、鋼桁が冷えていたので、接着剤のワーカビリティが低下し、接着剤を全面に一樣にぬりつけるのに、いくぶん時間を要した。

橋長は 5.44 m で、プレキャストコンクリート床板は 3 箇のピースに分割し、クレーンを用いて鋼主桁の上にはりつけた。施工時間は 1 ピース当り 30 分間位であった。プレキャストコンクリート床板設置後は、硬化接着を早めるため、橋の下に主桁 3 本に対し、主桁 1 本当り 2 箇所、煉炭の七輪を番線で吊り橋下全体をビニールカバーで囲み、鋼桁を 24 時間あたためた。その結果、接着剤の硬化反応は順調で、24 時間だけの加熱で、完全に接着硬化し、合成桁として、十分の機能を発揮し、成功であった。

なお、本橋に用いた接着剤 (ショーボンド FC) については、現場で、内径 5 cm、高さ 10 cm の鉄製テストピース型枠の内面にストリップペイントをぬったものに、接着剤を流しこみ、接着剤のテストピースを採取した。このようなテストピースは、現場の戸外に直接放置しておき、現場の養生気温に伴って、どのように硬化反応が進行しているかを、直接目でみたり、指でおしてみたりしながら、判断するために有効である。この橋の場合、1 週間後に、テストピースの圧縮破壊試験をやったところ、2 個のテストピースの平均で 435 kg/cm² の強度があったので、まず、施工は成功であったものと推定された。

6. あとがき

接着工法合成桁橋については、すでに実験の段階を終了し、今後の実橋の架設の発展が期待される。特に、交通の多い架橋地点において、短時日の間に合成桁を架設したい場合、あるいは、橋をすぐ交通に供したいような場合などには適した工法であると思う。また、北海道のような寒冷地における架橋の場合も、コンクリート床板はあらかじめ工場内で作られるから、品質強度は十分であり、また、接着硬化も、一寸あたためてやるだけで、短時日のうちに合成桁ができあがるので有効であると思う。