

(59) コンクリート構造物への格子状FRP筋の適用

APPLICATION OF FRP GRID REINFORCEMENTS TO CONCRETE STRUCTURES

関島謙蔵* 貫上卓哉* 大塚 靖* 林耕四郎**

Kenzo SEKIJIMA, Takuya KANJO, Yasushi OTSUKA, Koshiro HAYASHI

Fiber reinforced plastics (FRP) grid reinforcement is a new composite material for reinforcing concrete, which is made of high strength continuous glass and/or carbon fibers impregnated with resin and formed in grid shapes. It has some characteristics as follows; non-corrosive, light in weight, non-magnetic and so on.

In this paper some application cases of FRP grid reinforcements to the following concrete structures are described;

- (1) Shotcrete for landslide protection of the LPG inground storage tank
- (2) Concrete lining of the water-conveyance tunnel
- (3) Impact absorber walls for boats installed in front of the pier
- (4) Free access floor tiles for office automation
- (5) A prestressed concrete slab of the pedestrian bridge

1. まえがき

近年、コンクリート中の鉄筋の腐食による構造物の劣化が問題となっている。このため、鉄筋を保護するのに被りを大きくする等の対策をとることもあるが、部材断面が大きくなるために不経済であり、しかも構造物の重量が増加するという欠点もある。一方、従来のガラス繊維に加えて炭素繊維やアラミド繊維等の新素材繊維が次々と登場してきた。これらの繊維は鋼材より強度が高く、しかも軽量であり、さびることがないので、これらをコンクリートの補強材として使用することによりコンクリート構造物の耐久性を向上させ、さらに構造物の軽量化をはかるといふ点に着目して、多くの機関で研究・開発が進められている。

著者らは一方向繊維強化プラスチック (FRP) を格子状に成形した新しいコンクリート用補強材を既に開発し¹⁾、各種の実験を行った結果²⁾、実際の構造物への適用例も増加してきた。本報告では、格子状FRP筋の各種のコンクリート構造物への適用例について紹介する。

2. 格子状FRP筋の特徴

格子状FRP筋は、耐アルカリ性、耐酸性、耐薬品性に優れた樹脂をガラス繊維や炭素繊維等の高性能連続繊維で強化し、平面または曲面の格子状に成形したコンクリート補強用複合材料である。交差部では樹脂を含浸させた繊維束が交互に交差して何層にも重なり合うことになり、格子交差部の強度が確保されている。その結果、格子状FRP筋をコンクリート内に埋め込んだ場合には、格子交差部によりコンクリートとの付着及び定着が確保され、さらには重ね継手が可能となる³⁾。

* 清水建設株式会社 技術本部

** 大日本硝子工業株式会社 開発部

格子状FRP筋の主な特徴を表-1に示す。また、図-1は異形鉄筋D10(SD35)及び破断荷重がほぼ等しいFRP筋G10(ガラス繊維)とH10(ガラス繊維+高強度炭素繊維)の引張特性の比較を示したものである。G10のように1種類の繊維で強化したFRP筋は破断まで弾性的挙動を示す。一方、H10のように2種類の繊維で強化したものは伸びの小さい炭素繊維から破断し、伸びの大きいガラス繊維の破断によって終局となり、鉄筋の降伏現象に似た挙動を示す(ハイブリッド効果)。

表-1 格子状FRP筋の特徴

・さびない	・塩害、薬品の害を受けるような苛酷な条件下で使用されるコンクリート構造物の耐久性向上
・耐アルカリ性、耐酸性、耐薬品性に優れる	・繊維の有効利用と異種繊維混合によるハイブリッド効果の発現
・連続繊維及び多種類繊維の使用	・コンクリートとの定着確保
・格子交差部の強度確保	・重ね継手が可能
・軽量(比重÷2)	・現場での生産性向上
・複雑な形状の一体成形可能	
・非磁性	・非磁性を要求される構造物に適用可能

3. LPG地下式貯槽の山留め吹付けコンクリートへの適用

トンネル等における吹付けコンクリート工事では、吹付けコンクリートを補強するために溶接金網が使用される場合があるが、溶接金網は剛性が高いために凹凸の大きい1次吹付け面とのなじみが悪く、取付け作業に多くの手間を必要としている。一方、FRPメッシュは耐食性に優れ、軽量である等の特徴を有するので、吹付けコンクリートの補強網として有望である。最初に、FRPメッシュを用いてNATMにおける吹付けコンクリートの施工試験を行ったので、その結果について述べる⁴⁾。

FRPメッシュと溶接金網を1次吹付け面に取付けた時の各補強網と1次吹付け面とのあきの測定結果を図-2に示す。同図より、補強網の剛性が小さくなるにつれて1次吹付け面とのあきが小さくなっていることがわかる。このことから、FRPメッシュを使用した場合溶接金網を使用した場合に比べてあきが小さい分だけ2次吹付けコンクリート量を節約できることも明らかになった。また、2次吹付けコンクリートのはね返り率を測定した結果、FRPメッシュを使用した場合のはね返り率は溶接金網を使用した場合とほぼ同様であった。

FRPメッシュはトンネルや法面の吹付けコンクリートの補強用に多くの使用実績があるが、この度、LPG地下式貯槽の山留め吹付けコンクリートにも適用された⁵⁾。LPG地下式貯槽の断面図を図-3に示す。この貯槽は底部減圧型メンブレン方式の地下式貯槽で、側壁と底版を一体化したRC構造であり、掘削完了後躯体を構築していく開削順巻工法で施工された。この貯槽は軟弱層が浅いため、連続地中壁は軟岩層(土丹)に根入れして高止りされた。軟岩層は厚さ15cmの吹付けコンクリートとロックボルトによって補強しながら掘削したが、この吹付けコンクリートを補強するためにFRPメッシュが約4300m²使用された。FRPメッシュは3m×1.7mの格子状(格子間隔15cm)であり、1次吹きと2次吹きの間にL型ピンを用いて取り付けした。なお、FRPメッシュは1ますずつ重ね合わせている。FRPメッシュの取付け状況を写真-1に示す。FRPメッシュは軽量なためハンドリングが容易であり、面積の大きいものが使用できるので、施工性は溶

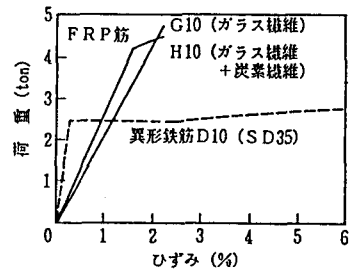


図-1 FRP筋の引張特性

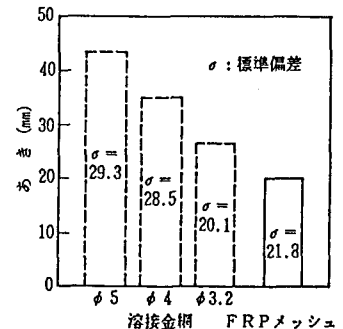


図-2 1次吹付け面とのあき

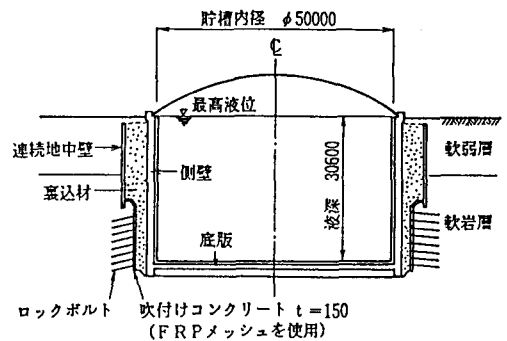


図-3 LPG地下式貯槽の断面図

接金網を使用する場合よりも大幅に向上した。

4. 導水路トンネルの覆工コンクリートへの適用

トンネルは通常コンクリート覆工を行うが、しばしばこれを補強するために鉄筋が使用されている。しかし、環境条件が劣悪で酸性水等が流れる導水路トンネルでは鉄筋が腐食する恐れがあり、あるいは腐食に問題がなくても坑内は作業空間が狭いので、鉄筋の組立てに多くの時間と労力を費やしている。一方、格子状FRP筋は耐食性に優れ軽量であり、かつ平面状のみならず曲面状にも成形可能であることから、トンネルの覆工コンクリートの補強筋として有望である。そこで、格子状FRP筋を覆工コンクリートへ適用して施工試験を行い、その施工性について調査した⁶⁾。

導水路トンネルの断面図を図-4に示す。原設計では、インバート筋及びアーチ筋ともに主筋（周方向）はD22で間隔が20cm、配力筋（奥行き方向）はD16で間隔が30cmであった。FRP筋の場合は格子間隔を狭くした方がコンクリートのひびわれが分散するので、インバート筋の主筋及び配力筋の間隔はともに15cmとした。アーチ筋については、インバートの両側から既設の主筋が20cm間隔で立ち上がっているため、これらの鉄筋とラップさせるために主筋の間隔は10cmとし、配力筋の間隔はインバート筋と同様15cmとした。なお、これらのFRP筋の単位幅当りの引張耐力は、原設計と同等以上となっている。FRP筋の成形、坑内への搬入及び取付け上の理由から、インバート筋はトンネルの奥行き方向にのみ分割し、アーチ筋は周方向と奥行き方向に分割した。

インバート筋及びアーチ筋の取付け状況をそれぞれ写真-2及び写真-3に示す。取付け方法は、最初に地山にアンカーを打ち、その頭部に奥行き方向の組立て筋を溶接し、覆工コンクリートの形状に合わせて成形した格子状FRP筋を番線で固定する方法とした。FRP筋は格子交差部の強度が確保されているので、取付け時にラップさせて重ね継手とした。

格子状FRP筋は先組みされた状態で坑内に搬入され、しかも軽量かつ取付けが容易なので、配筋時間は鉄筋を使用した場合の約1/3に短縮された。従って、劣悪環境下で使用され、かつ工期短縮による効果・影響の大きい各種トンネルの補修工事等に適していると思われる。

5. 栈橋の前面に取付けた小型船舶用防衝版への適用

干潮時に既設栈橋の下側に小型船舶が潜り込み、波浪によって栈橋に損傷を与えることがあるので、これを防止するために、栈橋前面にコンクリート製の防衝版を設置することになった⁷⁾。この防衝版は潮の干満帯に設置されるために、塩害対策用のエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用することが計画されていた。原設計はエポキシ樹脂塗装鉄筋D19（SD30A）の複鉄筋スラブであ

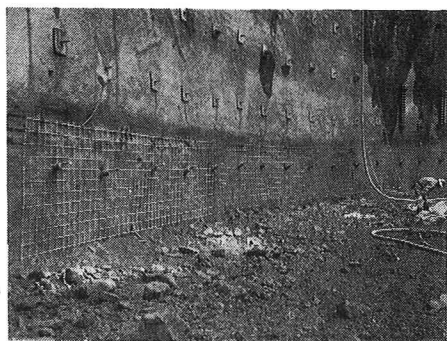


写真-1 FRPメッシュの取付け状況

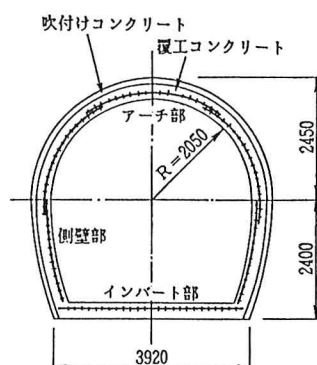


図-4 導水路トンネル断面図

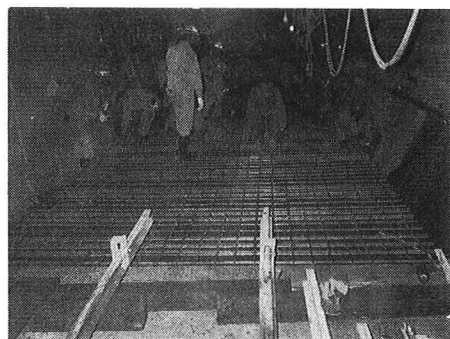


写真-2 インバート筋の取付け状況

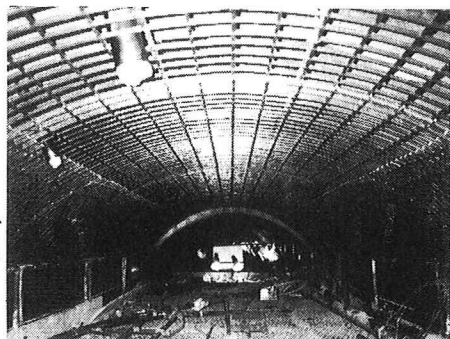


写真-3 アーチ筋の取付け状況

り、長辺方向の配筋間隔は20cm、短辺方向の配筋間隔は17.5cmであった。一方、格子状FRP筋は耐食性に優れているので、塩害対策用のコンクリート補強材として適用可能であると考えられる。そこで、FRP筋及びエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用したコンクリートはり(幅52.5cm)の曲げ試験を行って、両者の曲げ性状を比較した。

荷重とスパン中央におけるたわみの関係を図-5に示す。FRP筋は剛性が小さいので、曲げひびわれ発生後は試験体の曲げ剛性が低下し、降伏荷重以下ではエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用した試験体の約5倍のたわみが生じた。このことは、弾性範囲内においては約5倍のエネルギー吸収能力を有することを示しており、防衝版の機能の点からはむしろ有利であると考えられる。なお、FRP筋を使用した試験体は圧縮側のコンクリートが圧壊して曲げ圧縮破壊し、エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用した試験体は下段の鉄筋が降伏して曲げ引張破壊した。以上のように、両者の破壊形式は異なるが、曲げ耐力はほぼ等しくなった。

格子状FRP筋を使用した防衝版の配筋図を図-6に示す。FRP筋はD19相当のガラス繊維を使用したものとし、格子間隔及び有効高さは原設計と同じとした。FRP筋を使用した防衝版のコンクリート打設状況を写真-4に示す。コンクリート打設は製作ヤードにおいてレーダミクストコンクリートをポンプ圧送して行った。防衝版は製作完了後、ストックヤードに平積みして保管した。次に、クレーンを使用して台船の上に仮置きした後、設置箇所まで運搬し、ゴム支承を介して3辺支持状態でボルトを用いて栈橋前面に取付けた(写真-5)。

当栈橋には、格子状FRP筋または原設計通りのエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用した防衝版が多数設置されている。現在、これらの防衝版の波浪による疲労性状について調査を続けている。

6. OAフローへの適用

オフィスビル等のインテリジェント化に伴い、一般オフィスにもOAフローが使用され始めているが、従来のアルミダイキャスト製に代わって、断熱性、歩行感、コストに優れたガラス繊維補強セメント(GRC)製が増加してきた。しかし、GRC製OAフローは要求強度に対して静的強度は満足するが、動的強度は必ずしも十分ではない。そこで、諸性能、寸法を維持しつつ、耐衝撃性を向上させる必要があり、GRC及びガラス繊維を使用したFRPメッシュのハイブリッド構造を有するOAフローが開発された⁸⁾。

FRPメッシュを用いて補強したGRC製OAフローの配筋図を図-7に示す。製作は、成形型の所定の位置に格子間隔

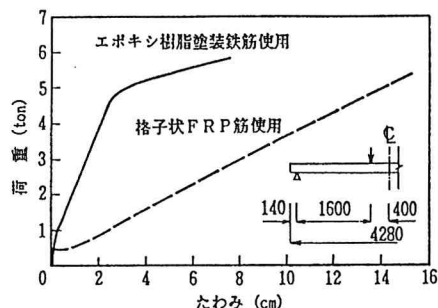


図-5 荷重とたわみの関係

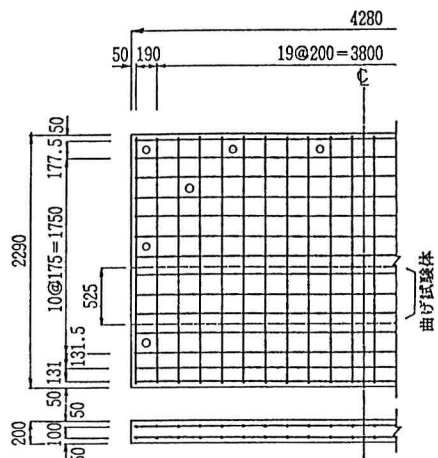


図-6 防衝版の配筋図

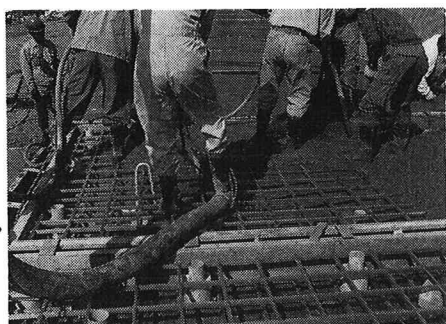


写真-4 コンクリート打設状況

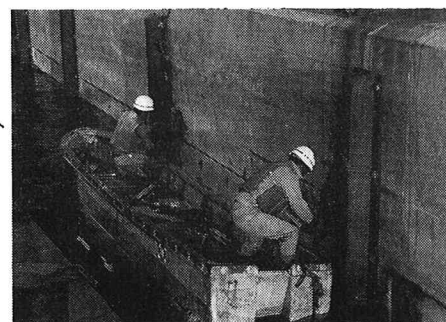


写真-5 防衝版の取付け状況

6 cmのFRPメッシュを配置した後に、ガラス繊維補強モルタルを打設し、蒸気養生によってモルタルを硬化させる方法で行っている。

OAフロアの曲げ試験における荷重と中央のたわみの関係を図-8に示す。同図より、FRPメッシュを用いた補強によってOAフロアの耐衝撃性及び破壊靱性が大幅に向上したことが確認された。さらに、FRPメッシュは非磁性、非導電性であるため、OA機器に悪影響を及ぼさない利点もあり、多くの使用実績がある。

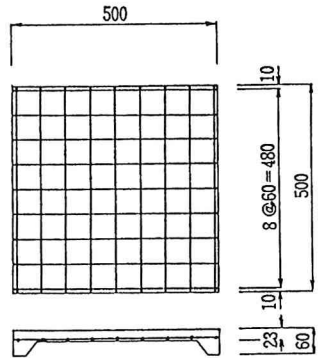


図-7 OAフロアの配筋図

7. プレストレストコンクリート床版歩道橋への適用

FRP製の緊張材は一般にPC鋼材に比べて弾性係数が小さいので、プレストレス導入時のコンクリートの弾性変形、クリープや乾燥収縮等によるプレストレスの損失が小さいという利点がある。ところで、格子状FRP筋は格子交差部が定着の役割を果たすので、プレテンション方式のPC用緊張材としても使用可能であり、伝達長が極めて短い特徴がある。また、格子交差部でコンクリートとの付着を確保しているのので、従来の曲げ理論が適用できることも確認されている⁹⁾。そこで、格子状FRP緊張材を使用したPC部材の実用化を目指して、実構造物としてのPC床版歩道橋を製作することを試みた¹⁰⁾。

図-9に示すように、PC床版は下段に引張耐力が約10.8tの格子状FRP緊張材を配置し、上段には用心筋としてD10相当の格子状FRP筋を配置した。なお、FRP緊張材及びFRP筋にはガラス繊維を使用し、格子間隔は15cmとした。

格子状FRP緊張材の緊張状況を写真-6に示す。すなわち、床版本体よりも両端に長い格子状FRP緊張材を成形し、最初に両端部に配力筋を2本ずつ含むようにコンクリートを打設してブロックを製作した。次に鋼製フレームを反力台とし、ロードセルを介して4台のメカニカルジャッキを同時に加力してコンクリートブロックを押し広げることにより、8本の緊張材に引張力を与えた。この時の緊張材の初期引張力は引張耐力の40%に相当する。FRP緊張材を緊張した状態でコンクリートを打設し、コンクリートの硬化後、ジャッキを除荷してプレストレスを導入した。なお、PC床版の曲げ試験の結果から、荷重とスパン中央のたわみの関係は、曲げひびわれ発生までは全断面有効と仮定した弾性計算値とはほぼ一致することが確かめられている。

次に、PC床版歩道橋の施工方法について述べる。最初に、設置箇所の地盤を掘削し、砕石及び均しコンクリートを打設した後、格子状FRP筋で補強したコンクリート製橋台を設置した。そして、橋台の橋座の上にゴム支承を置いた後、トラッククレーンを用いてPC床版を設置した(写真-7)。最後に手摺及びスロープを取付けて完成したPC床版歩道橋を写真-8

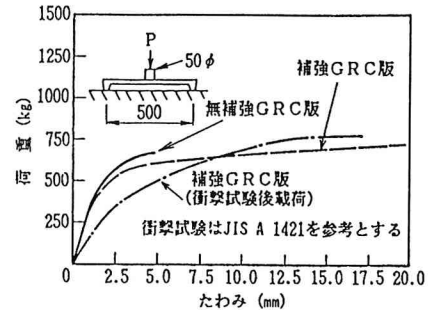


図-8 荷重とたわみの関係

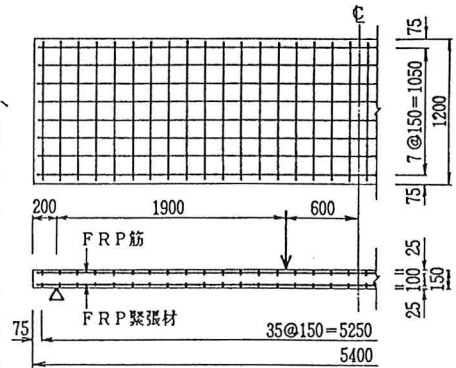


図-9 PC床版の配筋図

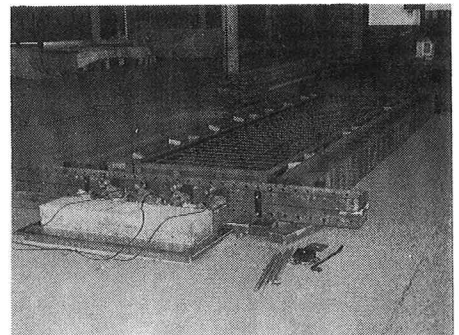


写真-6 FRP緊張材の緊張方法

に示す。

このPC床版歩道橋は昭和63年7月に設置されて以来、約9ヶ月間の通行者は延べ10万人を超えているが、変状は見られていない。この歩道橋の試作によって、格子状FRP緊張材を使用したPC部材の実用化への確信を深めることができた。

8. あとがき

本報告では、格子状FRP筋の特徴を生かした各種のコンクリート構造物への適用例を紹介した。現在は材料コストの点でガラス繊維から成る格子状FRP筋を主に使用している。今後は剛性の高い炭素繊維の材料コストの低下が見込まれているので、格子状FRP筋の適用範囲はさらに広がるものと期待される。

格子状FRP筋を開発し、各種のコンクリート構造物へ適用するに当たって御指導を頂いた東京大学工学部土木工学科教授岡村 甫先生に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 平賀：新しいコンクリート補強材 タフティワインド・ニューファイバーメッシュ (NFM)，強化プラスチック，Vol.32, No.10, 昭和61年10月
- 2) Fujisaki, T., Sekijima, K., Matsuzaki, Y. and Okamura, H. : New Material for Reinforced Concrete in place of Reinforcing Steel Bar, IABSE Symposium in Paris-Versailles, September 1987
- 3) 藤崎，杉田，中辻：鉄筋に代わるFRP構造材料の開発（その1）重ね継手性能確認実験，日本建築学会学術講演梗概集（北海道），昭和61年8月
- 4) Ikeda, K., Sekijima, K. and Okamura, H. : New Materials for Tunnel Supports, IABSE 13th Congress in Helsinki, June 1988
- 5) 永田，関島：新素材補強網をLPG地下式貯槽の山留め吹付けコンクリートに適用（ニュース），コンクリート工学，Vol.26, No.9, 昭和63年9月
- 6) 関島，湯田，関根：新素材で補強したトンネル覆工コンクリートの施工試験，土木学会第43回年次学術講演会講演概要集 第6部，昭和63年10月
- 7) 辰巳，関島，阿部，久保：格子状FRP筋のコンクリート製防衝板への適用，土木学会第44回年次学術講演会講演概要集 第6部，平成元年10月（予定）
- 8) 桜井，加藤：高耐衝撃タイプGRC製OAフロアーの開発，旭硝子研究報告，Vol.38, No.1, 昭和63年
- 9) 関島，二川，岡村：格子状FRP緊張材を用いたプレストレストコンクリートの開発研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.10, 昭和63年6月
- 10) 関島，貫上，池田：格子状FRP緊張材を用いたPC床版歩道橋の試作と曲げ試験，土木学会第44回年次学術講演会講演概要集 第5部，平成元年10月（予定）

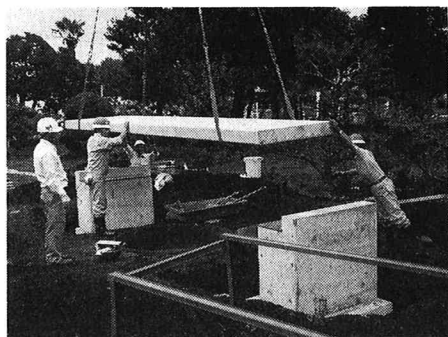


写真-7 PC床版の設置状況



写真-8 完成したPC床版歩道橋