

FRP 合成床版の紹介

Introduction of FRP-RC Composite Slab

久保 圭 吾^{*1} 古谷 賢 生^{*2} 能登 宥 愿^{*3}
 Keigo KUBO Kenshou FURUYA Hiroyoshi NOTO

Summary

A FRP-RC composite slab was developed for a highway bridge deck intended for the elongation of life span and the shortening of construction period. The slab consists of a permanent form of pultruded glass fiber reinforced plastics (FRP) and reinforced concrete. FRP has many advantages as construction materials, such as high-strength, lightweight and anti-corrosive. The paper gives an overview of this slab.

キーワード：合成床版、ガラス繊維強化プラスチック

1. はじめに

近年の道路橋RC床版は、自動車交通量の飛躍的な増加と、車両の大型化によって、きわめて過酷な条件下に置かれ、種々の劣化が問題となってきた。なかでも、路下が道路や鉄道の場合には、床版に剥落や抜け落ちが生じた場合、重大事故につながる恐れがある。一方、最近になって、中小スパン橋梁の省力化と長寿命化を目的として、従来の多主桁構造を少数主桁構造に置き替える試みが数多く見られるようになり、道路橋床版の長支間化が顕著になってきた。さらに、最近では、木製型枠材料や型枠技術者の不足が社会的な問題となっており、道路橋床版の施工法の改善が急務となってきた。このような状況のもとで、耐久性に優れ、かつ長支間床版にも対応可能なFRP（繊維強化プラスチック）製永久型枠を用いた合成床版が開発された。ここでは、このFRP合成床版の概要について紹介する。

側配力筋を配筋する構造としている。このとき、FRP材料の幅は、製作性・施工性を考えて、リブ2本を含んだ600mm幅とし、隣接部材とは、連続性を確保できる幅でラップさせ、接着剤により接合する。また、FRP底板のコンクリート接触面に、砂を接着することにより、FRPとコンクリートの付着を確保している。なお、本床版を適用した場合の特長は以下が考えられる。

- ① FRPがRC部分のひび割れ進展を抑制し耐久性が向上する。
- ② 架設時のパネル重量が軽いため大型の重機が不要で施工が容易となる。
- ③ FRPは耐水性、耐食性に優れた材料であり維持管理が容易である。
- ④ FRPパネルが工場製作となるため、支保工や型枠の現場作業が省略できるだけでなく、品質管理や現場の施工管理も容易で現場工期の短縮が可能である。
- ⑤ 着色が自由で環境との調和が図れる。

2. 構造の概要

FRP合成床版は、軽量で耐食性に優れたFRP材を支保工兼用の永久型枠として使用するもので、コンクリート硬化後の荷重に対しては鉄筋コンクリートとFRPの合成断面として抵抗する合成床版である。本床版の構造を図-1に示す。FRP型枠は、コンクリート打設時の支保工を省略できる程度の剛性を確保するため、床版支間方向にリブを配置した断面としており、このリブと下側配力筋が交差するため、交差部に貫通孔を設け、そこに下

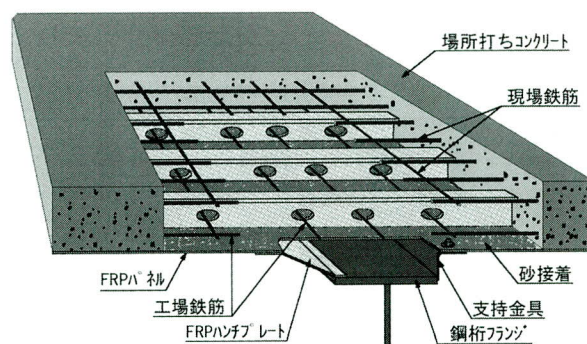


図-1 FRP合成床版の概念図

*1技術本部技術研究所技術開発課

*2生産本部製造部計画室計画二課

*3技術本部技術研究所所長

3. FRPの材料特性¹⁾

FRPとは強化繊維と樹脂からなる複合材料であり、高強度・軽量・耐食性に優れるという特長から、近年、船・自動車・航空機などの構造材として多く採用されるようになってきた。ただし、FRP材は、開発されて50年程度と歴史が浅いこともあり、床版のように、長期間使用する土木構造物に適用するには、材料特性の把握が重要となってくる。

(1) FRPの強度

FRPは強化繊維と樹脂の複合材であるため、その種類や割合により様々な特性の材料を作ることが可能である。ただし、成形法により強化繊維の方向や割合等に制約があることから、本床版では、FRPの中で比較的強化

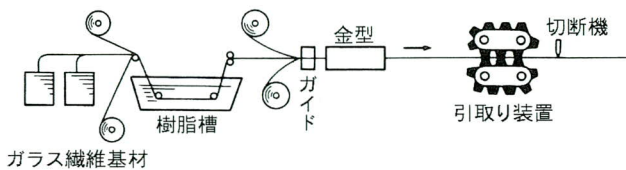


図-2 引抜き成形法概念図

表-1 FRPの強度特性

項目	単位	FRP	構造用鋼
比重	-	1.6~2.0	7.8
引張り強さ	L.W.	250~550	400~510
	C.W.	20~40	
引張り弾性率	L.W.	20~30	210
	C.W.	5~7	
曲げ強さ	L.W.	250~550	400~510
	C.W.	7~13	
曲げ弾性率	L.W.	10~25	210
	C.W.	7~10	
ガラス含有率	%	45~60	-

L.W.: 長手方向 C.W.: 幅方向

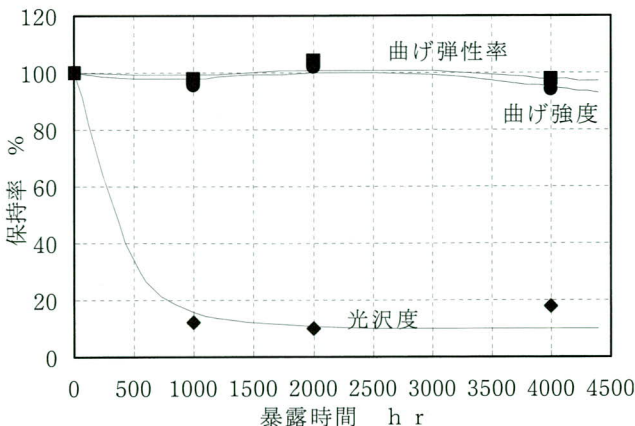


図-3 耐候性促進試験

繊維の割合を多くできることにより、高強度・高弾性率を確保できる引抜き成形法を用いている。この成形法は、図-2の概念図に示すように、ガラス繊維基材に、不飽和ポリエステル系樹脂を主成分とした樹脂配合物を含浸させ、金型内に連続的に供給させて成形する方法で、大量生産に向けた成形法である。表-1に、引抜き成形品の強度特性を構造用鋼のものとともに示す。これより、FRPの引張り強さは、構造用鋼と遜色なく、弾性率は鋼の約1/7であり、コンクリート同程度であることがわかる。なお、引抜き成形品は、成形の関係上、強化繊維の量が長手方向に比べ、幅方向が大幅に少ないことから、強度等が方向により異なる異方性材料である。

(2) FRPの耐候性

FRPは、太陽光により表面の樹脂が劣化する現象が生じる。ただし、本床版では、FRP面が露出するのは床版下面であり、直接太陽光が当たらないため、劣化は少ないと考えられる。

なお、FRPの耐候性は、サンシャインカーボンアーク形ウェザーメータ（太陽劣化促進試験機）による促進試験により確認されており、この結果を図-3に示す。これより、太陽光により、FRPの光沢度は急激に低下するが、強度・弾性率はほとんど変化しないことがわかる。このとき、促進暴露200~400時間は、直射日光が当たる場所での天然暴露1年に相当するため、この結果は、床版下面での低減率を50%と考えると20~40年に相当するものである。なお、本床版では、床版下面の質的変化を最小限に抑えるため、不織布（ポリエステル）をFRP材成形時、表面に配置することにより径時劣化を防止している。

(3) FRPの耐燃性

床版にFRP材を用いた場合、路下で火災が発生した時の耐燃性が問題となる。FRPは、難燃度の高い樹脂の使用や、樹脂に添加剤を加えることにより難燃化・不燃化することが可能である。このため、本床版においては、成形の際、添加剤を加えることによりJIS A 1322（建築用薄物材料の難燃性試験方法）の防災3級以上に相当する難燃性能を付加している。したがって、火災によりFRPに直接炎が当たった場合でも延焼することはなく、構造上、FRPの上面にコンクリートを有することから、熱容量が大きいこと、損傷は表面の樹脂が焦げる程度と考えられる。なお、損傷を受けた場合でも、繊維シート補強等により、容易に補修が可能である。

4. 実用性の検証

FRP合成床版を実橋床版へ適用するためには、FRPと鉄筋コンクリートの合成構造としての構造特性、静的基本強度、および疲労耐久性等を確認することが必要である。このため、本床版では、**図-4**に示すような一連の試験が実施され、実用性の検証が行われている。

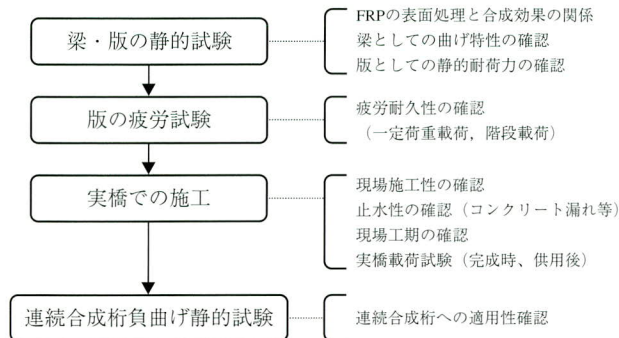


図-4 FRP合成床版の試験項目

(1) FRPの表面処理と合成効果²⁾

FRPを鉄筋コンクリートと合成させて輪荷重に抵抗させるためには、FRPとコンクリートとの接触面の付着特性が重要な要素となる。そこで、この接触面の処理方法についての基礎的な調査を目的として、FRPのコンクリート接触面を、①無処理、②プライマー塗布、③ブラスト処理、④砂接着、⑤FRP格子接着(約5mmのFRPで50mm×50mmの格子をつくり、それをFRPの底板に接着したもの)の5種類の簡単な供試体(幅200mm×高さ100mm×長さ1100mm、支間1000mm)を用いた静的載荷試験が実施され、比較検討が行われた。なお、この実験では、比較のためにRC供試体についての破壊実験も実施された。この実験における各供試体の破壊荷重は、**表-2**に示すとおりであり、砂接着のものは、他のもの比べて、最も高い耐荷力を示し、RCのみのものの約2.5倍となることがわかった。この結果より、FRPの

表-2 破壊荷重 (単位:kN)

供試体名	型枠表面処理	破壊荷重	平均値	RCとの比
A	無処理	51.2	50.8	1.62
		50.4		
B	プライマー塗布	51.9	50.9	1.62
		49.8		
C	ブラスト処理	57.8	58.7	1.87
		59.6		
D	砂接着	79.4	77.4	2.47
		75.3		
E	FRP格子接着	64.3	64.5	2.06
		64.7		
F	RCのみ	32.1	31.3	1.00
	FRP型枠無し	30.5		

ンクリート接触面の表面処理方法として、本床版では砂接着を採用している。

(2) 疲労耐久性³⁾

RC床版の疲労耐久性を検証するには、実橋の荷重状態、すなわち、輪荷重を移動させる方法で耐久性を確認する必要がある。そこで、実橋の破壊形態を再現できる輪荷重走行試験機により、実物大床版の疲労試験が実施された。

なお、荷重は国土交通省で提案されている階段状荷重漸増載荷によりおこなわれた。このときの試験状況(土木研究所)を**写真-1**に示す。各載荷回数ごとの床版中央におけるたわみ-サイクル曲線の変化状況を、平成8年の道路橋示方書により設計されたRC床版(RC8)の試験結果と共に、**図-5**に示す。これより、FRP合成床版のたわみは、52万回載荷まで、急激な変化はみられず、最終段階まで本床版は健全であり、高い耐久性を有していることが確認された。また、FRP合成床版のたわみは、RC8と比較すると、初期段階で約1/2、RC8が破壊する直前の24万回付近では約1/3であり、剛性低下が少ないことが確認された。

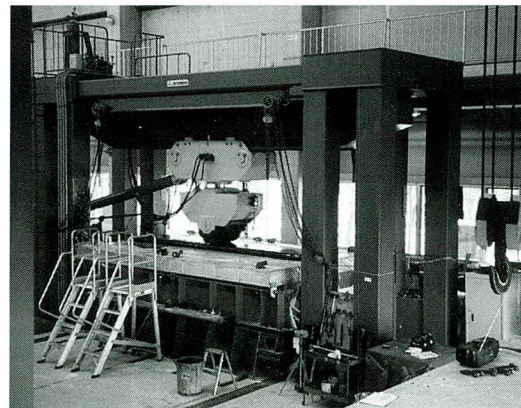


写真-1 疲労試験状況

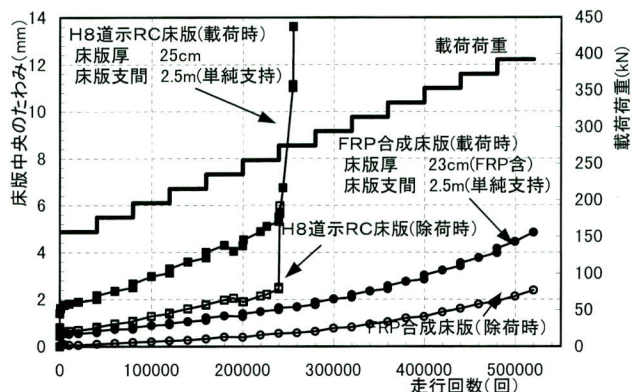


図-5 たわみ-サイクル曲線

5. 実橋への適用

(1) 適用条件

FRP合成床版は、FRPパネルを加工することにより、曲線桁や、斜角を有する橋梁に対しても、適用が可能である。また、FRPパネルの架設は、パネルが軽量なため、架設条件の厳しいオーバブリッジ等にも送り出し工法や一括架設工法の適用が容易となる。また、現場架設時、FRPパネルが型枠、支保工を兼用しているため床版用の足場が不要であり、さらに、鋼桁が耐候性鋼材の場合や、上塗りまで工場塗装する場合には、現場継手部のみの簡単な足場に対応可能となるため、大幅な現場工期の短縮や、工事費の削減が期待できる。

(2) 設計方法

1) 床版厚

床版厚は、一般的に床版支間が大きくなるにしたがって厚くなるが、床版厚毎にFRPの断面を変えていたのでは、成形金型を用いた引抜き成形法では、非常に不経済となる。そこで、本床版では、リブ高さを130mm、160mm、180mm、200mmの4種類に絞ることで、コストダウンを図っている。このときの、床版支間長と床版厚の関係、適用するFRP型の使用範囲とともに図-6に示す。

ただし、床版厚は、最低床版厚式以上とし、断面計算時の応力や鉄筋のかぶり厚等を考慮して決定を行う。

また、FRPは、比重が1.9程度と非常に軽いため、床版としての単位体積重量は、RC床版と同様に24.5kN/m³で設計できる。

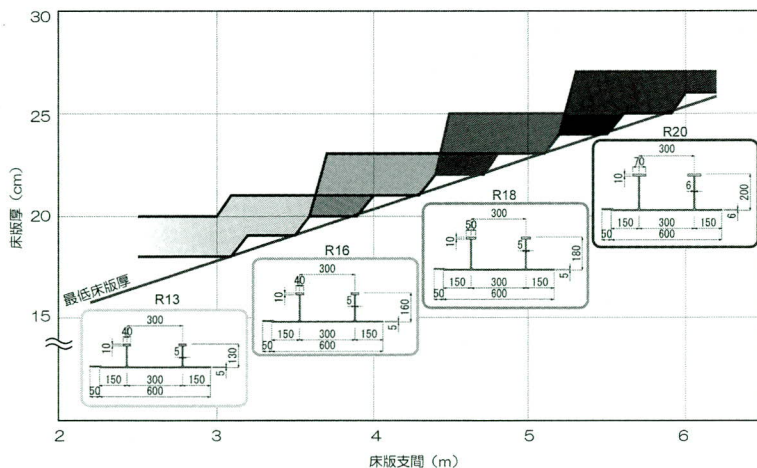


図-6 床版支間長と床版厚の関係

2) 断面計算

主鉄筋断面のFRPパネルは、支保工を兼用するため、鉄筋及び、硬化前のコンクリートの荷重は、FRPパネルのみで抵抗し、コンクリート硬化後の死荷重(地覆、高欄、舗装等)と、活荷重に対しては、FRPと鉄筋コンクリートが合成した断面で抵抗するものとして計算を行う。

一方、配力筋断面は、FRP材料の幅方向の弾性係数が小さく、FRP材に接着継手を有することから、FRP底板は無視し、鉄筋コンクリート断面として設計する。

なお、コンクリート打設時のFRP型枠は支保工として機能させることから、その時のたわみについても照査を行う。

(3) 施工手順

FRP合成床版の実橋における施工手順は、図-7のとおりであり、施工状況を写真-2に示す。

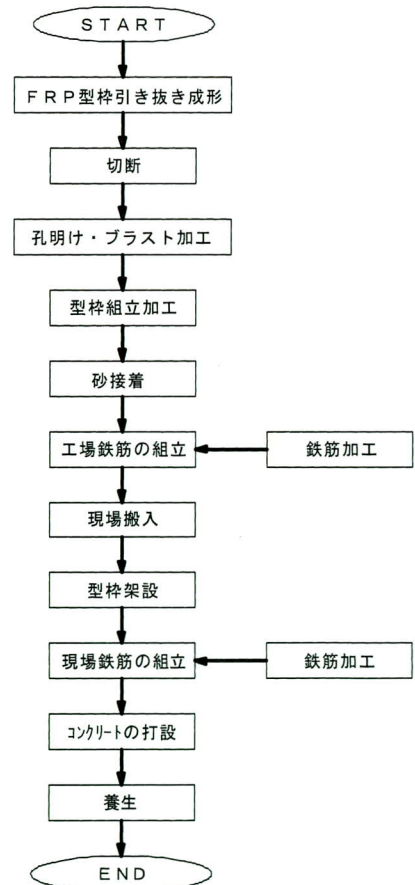
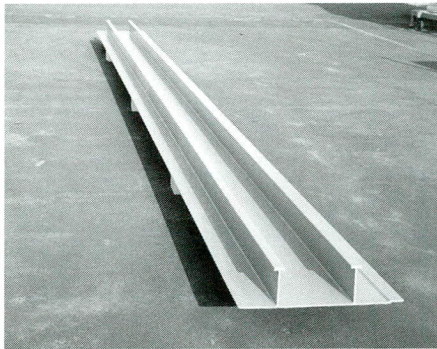


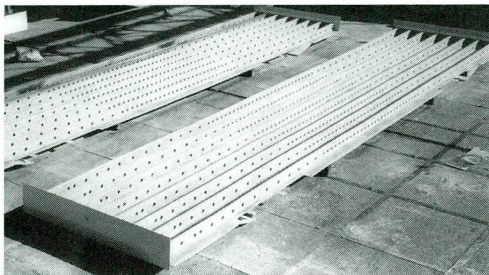
図-7 施工手順

1) 工場組み立て

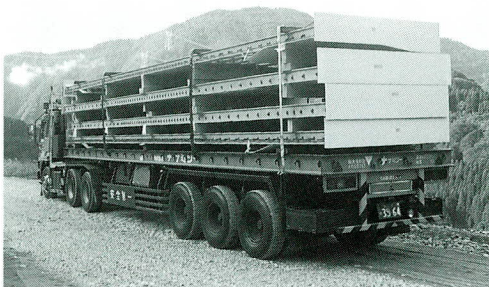
引抜き成形されたFRP材は、幅寸法が600mmであり、これを現場で接合すると現場作業が増大するため、あらかじめ、工場にて輸送可能な大きさ（通常、幅方向に4枚組立てた2400mmの幅）に組立てる。なお、FRPの継手は接着剤により接合するが、施工時の密着性を確保するため、ステンレス製のブラインドリベットを併用している。また、下側配力筋がFRPリブを貫通し、現場での施工が困難なことから、下側の鉄筋は工場にて挿入している。



引抜き成形品



工場組立てパネル



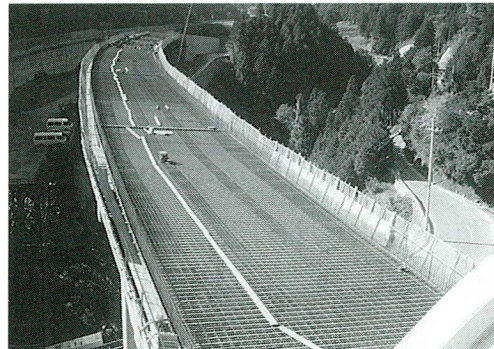
輸送

2) FRPパネルの架設

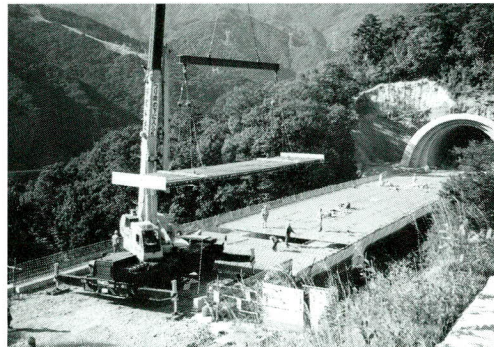
FRPパネルの架設は、FRPが軽量であるため、小規模な重機により行うことが可能である。また、架設作業は、全て上から作業であり、床版用の足場等は不要である。

3) 現場配筋

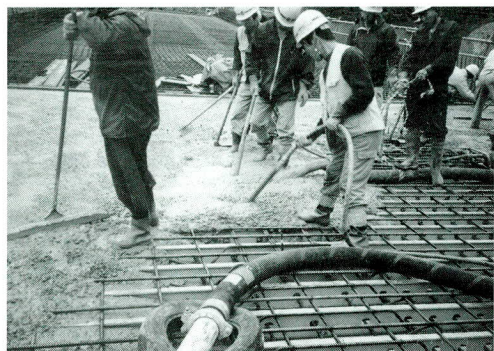
現場での配筋は、FRPの頂部をスペーサー代わりとして配筋をおこなうため、作業性が向上するのみでなく、品質管理も容易となる。また、FRPリブが版のせん断剛性に寄与するため、ベント筋が不要であり、直筋のみで施工が可能である。



現場配筋



現場架設



コンクリート打設

写真-2 施工状況

6. おわりに

FRP 合成床版は、耐食性に優れることから、特に海岸部や、山間部の融雪剤を多量に撒く地域では非常にメリットのある床版工法である。ただし、初期建設コストは、鋼・コンクリート合成床版の一般塗装仕様と比べ若干高価となるため、今後は更なるコストダウンを図りたい。

また、本床版を既存 RC 床版の打換えに適用した場合、RC 床版と比べ耐久性が向上するうえ、床版厚がうすく、単位体積重量が RC 床版と同じため、死荷重の大幅な軽減が可能となる。したがって、既存の鋼桁への影響を小さくすることが可能となる。

さらに、本構造は、軽量で、耐食性、疲労耐久性に優れた構造であることから、床版以外の構造物への適用も考えていきたい。

<参考文献>

- 1) 社団法人強化プラスチック協会：FRP 設計便覧
- 2) 石崎茂，久保圭吾，松井繁之：FRP 永久型枠を用いた RC 床版の静的強度・疲労耐久性に関する研究，土木学会構造工学論文集 Vol.40A, pp.1413-1424, 1994.3.
- 3) 石崎茂，久保圭吾，松井繁之：FRP 合成床版の輪荷重走行試験機による階段状載荷試験，土木学会第二回道路橋床版シンポジウム，pp.113-118, 2000.10.

2005.2.7 受付

グラビア写真説明

中ノ郷高架橋

中ノ郷第一高架橋は第二東名高速道路の一部で静岡市の北西部、安倍川橋に隣接する長支間場所打ち PC 床版を有する少数鉄桁橋です。上り線は床版支間 10m の 2 主鉄桁橋で移動型枠を同時に 4 基使用することで、現場施工の合理化・工期短縮を目指しました。また、下り線はランプ部変速車線の影響で 16.5m ～ 20.0m と幅員が変化していることから固定式型枠施工を採用しましたが、床版コンクリートの品質を確保するために、その養生方法等に工夫を凝らしています。本工事では、藁科川橋東および中工事で得られた知見・経験を十分に生かした設計・施工を行い、特に床版の品質については客先からも高い評価を頂きました。

(生駒 元)

支承・連結装置耐震性向上工事 1 - 22

本橋は、首都高速都心環状線神田橋ランプ付近であり、近くには気象庁等があります。

支承交換・変位制限装置・落防 PC ケーブルといった一連の支承連結工事の中で、大規模補強工事（フルウェブ化工事）をパイロット工事として 2 脚施工しました。施工ステップ及び補強構造が複雑なため、紙製模型や三次元 CAD 図などを用いて理解しやすいよう工夫しました。また、供用下でジャッキアップしながらの施工を要するなど非常に難度の高い工事であったため、首都公団内でも全社的に大変注目されていた工事です。

現在は、鋼製橋脚隅角部補強工事 1 - 6 として、同様の補強工事を 5 橋脚施工しています。

(清水達也)