

繊維強化プラスチックの
土木構造材料への適用に関する
共同研究報告書（Ⅰ）

——一次構造材料としてのFRPの適用事例調査——

平成10年10月

建設省土木研究所
材料施工部化学研究室
社団法人強化プラスチック協会
石川島播磨重工業株式会社
佐藤工業株式会社
ショーボンド建設株式会社
東急建設株式会社
株式会社富士ピー・エス

Copyright©(1998)by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

繊維強化プラスチックの
土木構造材料への適用に関する
共同研究報告書（Ⅰ）

——一次構造材料としてのFRPの適用事例調査——

建設省土木研究所	化学研究室	室長	明嵐 政司
		主任研究員	木嶋 健
		主任研究員	西崎 到
		研 究 員	佐々木 厳
社団法人強化プラスチック協会		小山 達雄	
社団法人強化プラスチック協会		小澤 延行	
石川島播磨重工業株式会社		浜本 章	
	佐藤工業株式会社	大野 一昭	
	ショーボンド建設株式会社	江口 和雄	
	東急建設株式会社	大橋 潤一	
	株式会社富士ピー・エス	徳光 卓	

要 旨

本共同研究は、FRPの耐腐食性と、軽量であることから比強度の高さに注目して、一次構造材料として土木用途へ適用するための技術開発を進めている。

本報告は、これらの事例を文献調査により収集し、FRPの土木用の一次構造材料としての適用の特徴や、開発動向などについての調査を行った結果を報告する。

キーワード：FRP、構造材料、適用事例、文献調査

繊維強化プラスチックの土木構造材料への適用に関する共同研究担当者名簿

建設省土木研究所	明嵐 政司 木嶋 健 西崎 到 佐々木 巖	材料施工部化学研究室長 材料施工部化学研究室主任研究員（1998年4月から） 材料施工部化学研究室主任研究員 材料施工部化学研究室研究員
(社)強化プラスチック協会	小山 達雄 小澤 延行 浅野 清 細川 順二 須藤 正典 馬場 健司 奥村 信之 松岡 寛 小堀 豊 小宮 巖 山下 信博 小林 満男	F R P 引抜成形工業部会部会長 F R P 引抜成形工業部会副部会長 F R P 引抜成形工業部会委員 F R P 引抜成形工業部会委員 F R P 引抜成形工業部会委員 F R P 引抜成形工業部会委員 F R P 引抜成形工業部会委員 F R P 引抜成形工業部会委員 F R P 引抜成形工業部会委員 F R P 引抜成形工業部会委員 F R P 引抜成形工業部会委員 F R P 引抜成形工業部会委員
石川島播磨重工業（株）	浜本 章 張 惟敦 大矢 弘史 安藤 紘二	技術研究所課長 技術研究所課員 技術研究部長代理 技術研究部課長
佐 藤 工 業 （株）	岩藤 正彦 大野 一昭 伊藤 良浩 木村 宗穂 植島 好正	中央技術研究所副所長 中央技術研究所土木研究部主任研究員 中央技術研究所土木研究部研究員 中央技術研究所土木研究部 土木本部技術部課長
ショーボンド建設（株）	斎藤 弘志 江口 和雄 曳村 俊貴 寺田 宮子	補修工学研究所副所長（1998年3月まで） 補修工学研究所江口研究室室長（1998年4月から） 材料開発室 材料開発室
東 急 建 設 （株）	佐藤 康夫 前田 強司 大橋 潤一 岡本 大 早川 健司	技術本部技術研究所土木研究部長 技術本部技術研究所土木研究部土木材料研究室長（1998年3月まで） 技術本部技術研究所土木研究部土木材料研究室長（1998年4月から） 技術本部技術研究所土木研究部土木構造研究室主任研究員 技術本部技術研究所土木研究部土木材料研究室研究員
(株) 富士ビー・エス	岩本 久信 徳光 卓 篠原 貴	本店技術部開発課長 本店技術部開発課副長 本店技術部開発課

目 次

まえがき

1. 適用事例調査の範囲と方法	1
2. 事例調査結果	2
2.1 事例一覧（集計表）	2
2.2 適用の動向に関する分析と解説	5
2.3 使用部位や構造形式について	8
2.4 現在使用されているFRPの種類	14
2.5 現状の適用事例における接合技術	18
3. 考察	24
3.1 FRPの長所や適用による機能向上の分析	24
3.2 一次構造材への適用における問題点と解決すべき課題	29
4. 事例データシート	35
5. 参考文献	139

付録

FRP一般の解説 ―FRPとは―	143
引抜FRPの製造法詳細解説	149
引抜FRPの諸性状	152

まえがき

繊維強化複合材料は軽量かつ高強度で腐食しないことから、航空機産業などの分野で発達してきた。土木分野においても、プレストレストコンクリート緊張ケーブルやグラウンドアンカー、コンクリート補強などへの用途が一般的なものとなりつつある。さらに積極的な利用方法として、鉄やコンクリートに代わる一次土木構造材料としての用途が注目されている。繊維強化複合材料の一次土木構造材料としての適用は、土木構造物の軽量化によるコストダウン、長寿命化による維持管理労力の軽減などの利点が期待出来る。一方、土木分野では経験の少ない異方性材料であること、土木での長期的耐久特性データが少ないこと、弾性係数が比較的小さいことなど、解決すべき課題も多い。このため、これらを克服するための技術開発が世界中で進められている。既に海外では実際の構造物の建設例も報告されている。本報告書はこの様な背景から、繊維強化複合材料の一次土木構造材料としての適用事例を中心に情報を収集し、とりまとめたものである。

土木研究所における、繊維強化複合材料の鉄やコンクリートに代わる一次土木構造材料としての適用技術の検討の着手は、平成4年（1992年）頃であった。研究は、フィージビリティスタディから始められ、その後、素材および部材の物性試験、実大模型の製作などに発展した。現在は、共同研究を公募して、社団法人強化プラスチック協会や民間の研究者との共同研究が始まるなど、本格的な研究が進みつつある。

今回の調査では、米国をはじめとする外国でも同様の動きがあり、ここ数年で、実際の橋梁建設まで進められつつあることが分かった。その数は、橋梁で約40橋である。これらの試みの結果の多くが良好であることは、繊維強化複合材料の土木構造材料としての適性の高さを示しているものと考えられる。

しかし、繊維強化複合材料を土木構造材料として用いる場合、適切な設計手法等の技術は確立していない。このため、繊維強化複合材料を一次土木構造材料として適用するための更なる技術開発が必要である。

1. 適用事例調査の範囲と方法

1.1 文献調査方法

(1) 文献の収集

FRPの1次構造材料への適用に関連した論文や記事で、過去5年以内に公表されたものを、文献検索、主要なジャーナル・会議概要集などから得た。また、得られた資料の参考文献からも収集した。

調査した主な文献資料は以下の通りである。

- ・ J I C S T のオンラインデータベース
- ・ 土木学会の会誌及び論文集
- ・ J C I の会誌及び論文集
- ・ A S C E の会誌及び論文集
- ・ A C I の会誌及び論文集
- ・ 橋梁と基礎
- ・ プレストレストコンクリート
- ・ 強化プラスチック
- ・ F R P I n t e r n a t i o n a l
- ・ C o m p o s i t e s
- ・ S P I の論文集
- ・ I C C I の論文集及びショートコース資料
- ・ A C M B S の論文集

(2) 文献の整理

得られた文献の適用事例を種類ごとに集計して分析し、構造物1件ごとにデータシートに整理した。更に論文の記述内容から、FRP利用におけるメリットの整理及び考察、さらに、FRP適用上の課題についての整理及び考察を加えた。

1.2 構造物事例の範囲

事例調査の範囲を、FRPを1次構造部材に使用して建設された土木構造物に限定した。FRPは土木分野において、ケーブルやシート等の補強用材料としての適用例が近年増加しているが、これらの用途は原則として調査範囲に含まない。また、車両・船舶・航空機関連等における適用事例についても、調査の対象とはしなかった。建築分野での適用事例については、構造設計を伴う事例についてのみ参照した。なお、適用事例の進捗状況を、以下の3段階に分け、当該事例がどこに相当するかを示した。

- A : 実構造物あるいは実大規模の試験構造物が建設されたもの
- B : 一次構造物材料として使用するために実験的検討を行っているもの
- C : 実構造物はまだ完成していないが計画及び設計を行っているもの

2. 事例調査結果

2. 1 事例一覧表

事例調査の結果を次頁の表に示す。なお、各事例の詳細は、第4章にまとめた。

事例の多くは橋梁であったので、次頁の表の作成にあたっては、道路橋とそれ以外の橋梁、および橋梁以外の適用事例の3つに分類して整理した。適用事例の順序は原則として、竣工年月が早いものを先にまとめたが、資料から読みとれないものは、発表年や記述内容などからの推定によって順序を決定した。構造物名は固有名詞がつけられていないものについては、“ ” で括って表示した。資料から読みとれない項目については、空白にしてある。

FRPを主構造(一次構造材料)に使用した実構造物 事例調査リスト

道路橋

No.	構造物名	実用段階	竣工年月	発表年	構造物種別	構造物の所在地	架設場所(環境)	構造形式等	適用部位	研究グループ	参考文献
R1	" 道路橋床版 "	A	1960～	1995	道路橋			ハニカム	床版	IHS,KSC	(1)
R2	Second Severn Crossing	A	1960s	1996	道路橋	Severn River, England and Wales, UK	Severn Riverに架かる橋梁	デッキスラブ	排水溝		(2)
R3	" モジュール化された車道橋 "	A		1995	道路橋	Philadelphia, USA	動物園内の可搬橋		全体	ET	(3)
R4	" 車道橋(プロトタイプ) "	B		1995	道路橋	Royal Military College, Canada	試験	ポニートラス		ET	(3)
R5	" FRP製ポニートラス道路橋 "	B	試験	1995	道路橋	Royal Military College, Canada	試験	ポニートラス	全体	ET,RM大	(4)
R6	" Lift Bridge (跳ね上げ橋) "	A		1995	道路橋	England, UK	Cotswold運河にかかる	単純桁	全体	Maunsell	(5)
R7	Bow Meadow Bridge	A	1995.10	1996	道路橋	Crescent, Washington, USA	クレセント湖にかかる栈橋	トラス	支持構造部	ET	(6)
R8	INEEL	A	1995	1998	道路橋	Idaho Falls, Idaho, USA		多室箱桁橋	床版・桁	Lockheed Martin	(7)
R9	LAUREL LICK BRIDGE	A	1997.3頃	1997	道路橋	Lewis County, West Virginia, USA		Hデッキ	床版	WV大	(8)
R10	" The West Virginia FRP composite bridge "	A	1997.5	1997	道路橋	West Virginia, USA					(9)
R11	MAGAZINE DITCH BRIDGE	A	1997.6.23	1998	道路橋	Delaware, USA		1スパン橋	床版	D大	(10)
R12	Tom's Creek Bridge	A	1997.7	1997	道路橋	Blacksburg, Virginia, USA	Blacksburg市内 Tom's creekを横断	単純桁	桁部	VCIT他	(11), (12)
R13	T E C H 2 1	A	1997.7	1998	道路橋	Route 128, Butler County, Ohio, USA		多室箱桁橋	床版・桁	Lockheed Martin	(13)
R14	Wickwire Run Bridge (SuperdeckTM)	A	1997年9月	1997	道路橋	West Virginia, USA	州道119号線		床版	WV大	(14)
R15	Russel County Bridge	A		1997	道路橋	Russel County, Kansas, USA	河川	不明	全体	KSC inc & AOC	(15)
R16	" モジュール型FRP製橋梁用床版 "	B		1997	道路橋	WVU, Brumouick Technologies, USA	試験	中空床版橋	床版	WV大, BT社	(16)
R17	" モジュール型複合道路橋 "	B		1997	道路橋	California, USA	試験	多室箱桁橋	全体	Lockhead Martin	(17)
R18	The Mckinleyville Bridge	A			道路橋	Mckinleyville, West Virginia, USA	バッファロー湾	3スパン連続橋	床版補強		(18)
R19	Bridge 12				道路橋	Route 13, Delaware, USA		3スパン	床版	D大	(10)
R20	Bridge I-351	C	1998予定		道路橋	Route 896, Wilmington, Delaware, USA		1スパン橋	床版	D大	(10)

歩道橋(その他の橋梁を含む)

P1	LONGSPAN PRESTEK	A	1990年代	1997	歩道橋	San Francisco, USA	国立公園	トラス橋	全体	ET	(19)
P2	The Aberfeldy Footbridge	A	1992.9	1993	歩道橋	Aberferdy, Scotland, UK	ゴルフ場(テイ川)	斜張橋	全体	Maunsell	(20)
P3	LONGSPAN PRESTEK	A	1994		歩道橋	Olympic National Park, Port Angeles, Washington	公園内	プレートトラス		ET	(21)
P4	" 栈橋 "	A	1994年7月	1995	歩道橋	Huntigton Beach, California, USA	栈橋	歩道、単純桁		IKG	(22)
P5	" 栈橋 "	A	1994年11月	1995	橋梁	Port Huenuma, California, USA	栈橋	単純桁		米海軍他	(23)
P6	" 歩道橋 "	A	1990年代	1994	橋梁	West Virginia University			上部工	WV大	(24)
P7	LONGSPAN PRESTEK	A	1995秋		歩道橋	ハレアカラ国立公園, Maui, Hawaii, USA	ハイキングコース内	トラス橋	全体	ET	(25)
P8	LaSalle Street lift bridge	A	1995年修理		歩道橋	Chicago, Illinois, USA		トラス橋の外の		ET	(26)
P9	" 栈橋(歩道) "	A	1995年6月	1995	歩道橋	Bar Harbor Yacht Club, Maine, USA	栈橋	歩道			(27)
P10	" 人道橋 "	A		1995	歩道橋	Hawaii, USA	水族館内			Morrison	(28)
P11	" 人道橋(管理橋) "	A		1995	歩道橋		化学プラント内		全体	Creative Pultrusion	(29)
P12	Levisa Fork Bridge	A		1995	歩道橋	Jenson County, Kentucky, USA		吊り橋			(30)
P13	Work Platform for Nuclear Power Plant	A		1996	歩道橋	Oyster Creek Nuclear Power Plant, New Jersey, USA	原子力発電所燃料補給設備	トラス、プラント歩廊		ET	(31)
P14	" 歩道橋 "	B	1996.3	1996	歩道橋	日本・茨城県つくば市、建設省土木研究所構内		斜張橋	全体		(32), (33)
P15	Antioch bridge	A		1996	歩道橋	Chicago, Illinois, USA			梁、桁	ET	(34)
P16	Kolding Bridge	A	1997.6	1997	歩道橋	Kolding, Denmark	跨線橋、5tの除雪車・救急車は通行可	斜張橋	全体		(35)
P17	The Mooring Construction at Harlingen	A	1997.12	1998	歩道橋	Harlingen, Holland	栈橋	下路桁橋	全体	おが 運輸省	(36)
P18	Lincoln composite bridge	B		1996	歩道橋	Lincoln, Nebraska, USA	リンカーン市内公園を跨ぐ	斜張橋	全体		(37)
P19	" 複合材橋 "			1997	歩道橋	Washington DC, USA				FHWA他	(38)

その他

O1	" 建築物屋根 "	A	1993	1994	建築物屋根	Colorado, USA		トラス構造	支持構造部		(39)
O2	" Composite Marine Fenders "	A	1993年	1996	護岸施設	Delaware Bay, USA	フェリー栈橋				(40)
O3	" 塗装足場 "	A	1994.1	1993	足場	日本・群馬県					(41)
O4	送電様塔	A	1994								(42)
O5	" Full-Scale composite and steel wicket "	B	1995年頃	1998	水門	Olmsted Dam, Kentucky, USA		起伏ゲート			(43)
O6	" 非常階段塔 "	A	不明(1995以前)	1995	非常階段塔	US Naval Training Base, Fort Story, VA, USA			全体		(44)
O7	" ナイアガラ滝展望台 "	A	不明(1995以前)	1995	手摺、階段	Niagara, New York, USA			全体	IKG	(45)
O8	" ガードレール "	B	試験	1995	ガードレール					FHWA他	(46)
O9	" なだれ予防柵 "	A	1996.10	1997	なだれ予防柵	磐越自動車道東山工事区新潟福島県境	道路法面	スノコ状の支柱と横棒	全体	JH	(47)
O10	" アンテナ塔 "	A		1998	アンテナ塔						(48)

実用段階
A : 実構造物
B : 実験
C : 計画

注 : WV大=ウェストバージニア大学(米国)
D大=デラウェア大学(米国)
RM大=王立陸軍学校(カナダ)
FHWA: 米国連邦道路庁

2. 2 適用の動向に関する分析と解説

繊維強化プラスチック (FRP) は、軽量、耐食性などの特徴をもつ近年開発された構造用新材料の1つである。わが国の土木分野では、塩害などによる鉄筋やPC鋼材の腐食によるコンクリート構造物の早期劣化を改善する目的で、これらの代替材としてFRPを適用する研究が各方面で行われ、実際の構造物に適用した事例も数多く報告されている。また、FRPは非磁性という特徴を有していることから、この特性を利用してリニア鉄道にFRP材を適用する研究も行われている。

さらに、FRPは従来の土木構造材料と比較して非常に軽量であるため、鉄筋やPC鋼材の代替材だけでなく桁や床版などの一般部材に使用すれば、製作および施工にかかる現場架設作業が軽減され、施工の省力化や死荷重低減による構造物自体の小型化や長大化などの効果が期待できる。近年、これらの軽量、耐腐食性などの特徴に着目し、FRP材を一般構造部材に適用する研究がアメリカを中心に行われ、実構造物に適用された事例も報告されている。本節では、FRPを1次構造材料として使用する研究および施工の動向について概括する。

(1) 研究の動向

図2-2-1は、今回調査した文献(全50編)の掲載書籍とその件数について整理したものである。図に示すように、調査を行なった文献の主な出典は、「SPI」(50th Annual conference, Composites Institute, The Society of the Plastics Industry), 「ICCI' 98」(second International Conference on composites in Infrastructure), 「FRP Composites in Constraction Application」であり、全体の約半数を占めている。

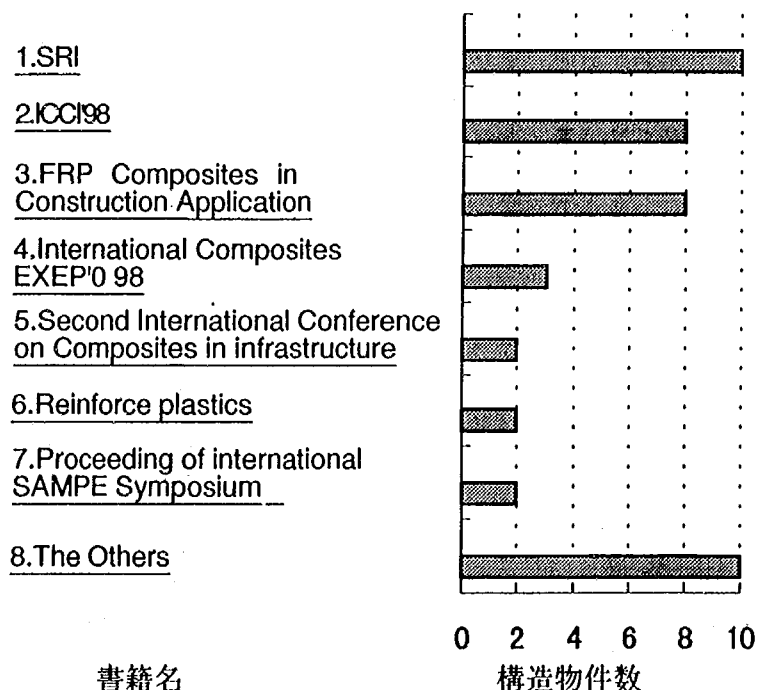


図2-2-1 調査構造物と掲載書籍

図2-2-2に、調査した文献の発表年次を示す。研究は、1990年代から行われはじめ、論文発表は1995年に最も多く16件が報告されている。これらの研究のうち、試験施工も含めて実際に構築された構造物は、22件ある。図2-2-3は、構造物の完成年度を示したものである。FRPを主部材とした構造物は、現状では試験施工という意味合いが強いが、その件数は多くなっている。

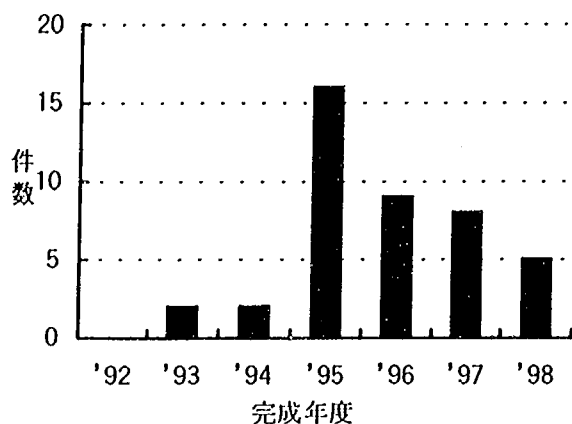


図2-2-2 研究の発表年度

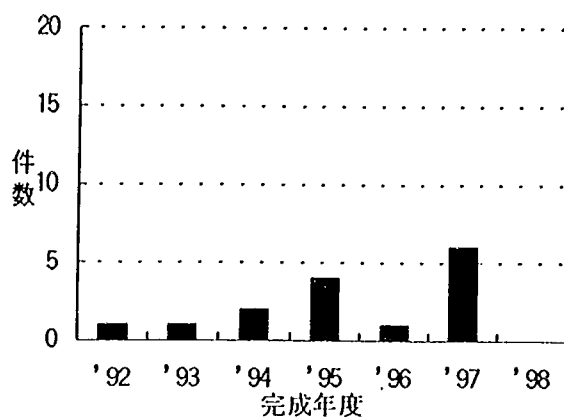


図2-2-3 構造物の完成年度

図2-2-4は、実際に構築された構造物の種別を示したものである。適用構造物は、道路橋、歩道橋、栈橋がそのほとんどであり、全体の約76%を占めてる。その他には、水門、ガードレール、アンテナ塔、階段などに適用した事例が報告されている。

図2-2-5は、設計もしくは施工された道路橋および歩道橋のスパン長と件数の関係について示したものである。図に示すように、道路橋のスパン長はほとんど10m以下であり、上部工の床版や桁にFRPが適用されている。このような道路橋への適用のメリットは、軽量というFRPの

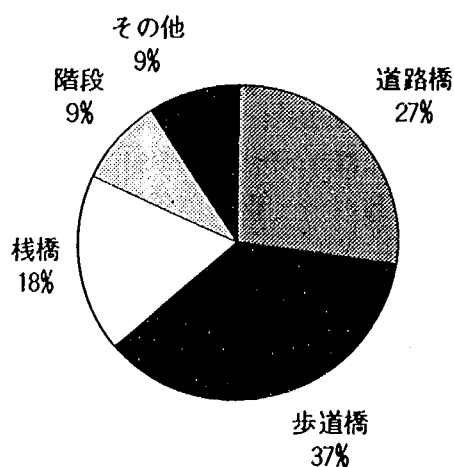


図2-2-4 構造物の種別

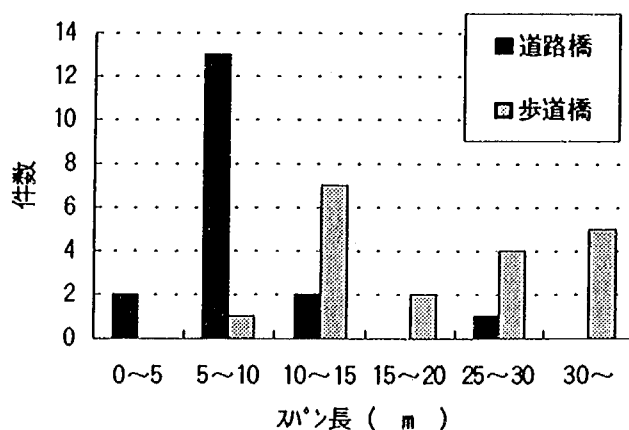


図2-2-5 道路および歩道橋のスパン長

特徴から、大型重機を使用することなく現場作業を軽減することができ、急速施工できる点にある。したがって、老朽化した橋の架け替えや補修工事へ適用する試みが、試験施工という意味合いから短スパン橋を対象に行われている。

歩道橋や栈橋は、耐腐食性という特徴に着目し、塩害によって耐久性が懸念される構造物に適用されている。そのほかには、軽量であることから運搬が比較的容易に行なえ、また大型重機を必要としないなどの理由から、特殊施工環境下での施工、および死

荷重を軽減できるといった設計上の理由で施工された事例が報告されている。

図2-2-6は、FRPを一般構造材料に適用する研究の地域別を示したものである。研究は、その大部分がアメリカであり、イギリス、オランダ、日本で行われている。

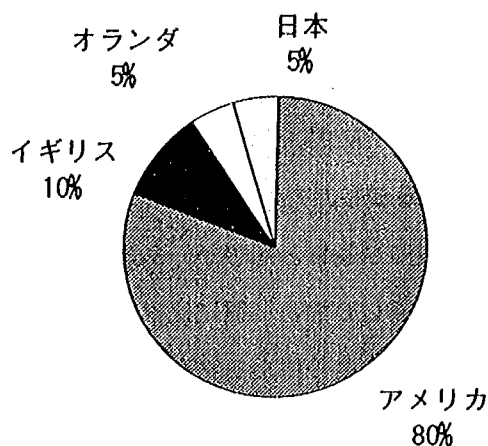


図2-2-6 研究地域による分類

(2) 問題点と今後の動向

FRPを一般構造材料に使用するときの問題点は、1) 従来の一般構造材料と比較してインシタルコストが高くなること、2) 弾性係数が小さいため、設計がたわみによって決定すること、3) 近年開発された新材料であるため長期間のフィールドデータに乏しく信頼性が確立していないこと、などである。

材料コストの問題は、従来のコンクリートや鋼材より、FRPが安価もしくは同等の材料費になる可能性はきわめて低い。したがって、FRPを一般構造材料として適用していくためには、施工やメンテナンスを削減できるといった付加価値を考慮し、構造物のライフサイクルという総合的な評価を考慮する必要がある。そして、FRPを一般構造材料として使用する場合の設計方法の確立、長期間のフィールドデータの収集から信頼性を向上させることが必要である。

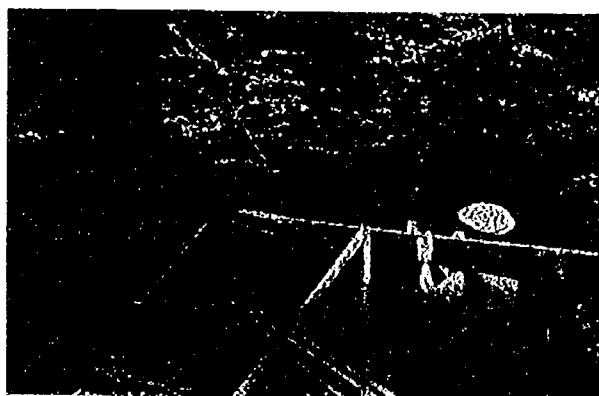
現在、FRPを一般構造材料に適用した事例は、鋼材に比較して軽量であることや耐腐食性に優れているなどの長所に着目して行われている。これらのFRPを適用した構造物についても、従来はコンクリートおよび鋼材によって施工されており、必ずしもFRPを使用しなくてもよい。しかし、今後、急速な高齢化により世界一の高齢化社会となるわが国の建設業界は、建設労働者の高齢化、若年労働者の減少による熟練労働者の不足という問題を抱えている。したがって、今後の建設工事には、施工の合理化、省力化が求められている。このため、軽量であり、耐久性に優れたFRP部材は、十分に一般構造材料となりうるものであると考えられる。

2. 3 使用部位や構造形式について

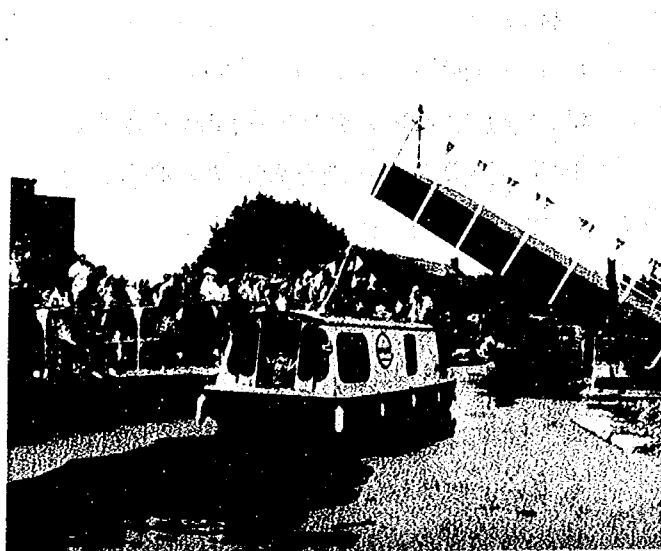
2. 3. 1 FRPの一般的性質

FRPの構造物の構造材料への適用においては長所を生かし、欠点をカバーする必要がある。以下に、鋼材に対するFRP材料の一般的な性質を列記する。これらは使用目的や使用方法によって長所とも短所ともなり得るものである。

- (1)引張強度が鋼材と同等か、あるいは大きい。
- (2)強度が等しい場合、鋼に比べて軽量である。
- (3)鋼のような塩分による腐食がない。
- (4)材料への着色が可能である。
- (5)非磁性である。
- (6)鋼材に比べて高価である。
- (7)降伏点がなく弾性変形状態から破断する。
- (8)クリープ変形が大きく、繊維によっては緊張力による時間依存性の破断を生じる場合がある。
- (9)紫外線等による材質の劣化を生じやすい。
- (10)繊維が同一でも、マトリックスの樹脂により物性が左右される。
- (11)引張弾性係数が小さい。
- (12)展性・延性に乏しくせん断強度が小さい。



(a)トラス部材の人力架設
(Olympic National Park橋)



(b)はね上げ橋への適用
(Bonds Mill 橋)

図-2.3.1 FRPの軽量さを生かした例

2. 3. 2 土木・建築構造物へのFRPの適用理由

調査事例における土木・建築構造物へのFRPの適用理由としては、軽量化、耐久性の向上、景観性の向上、エネルギー吸収性、非磁性などが挙げられている。

(1)軽量化

軽量というFRPの性質を活かすことにより、下部工反力の軽減、運搬重量の軽減、架設における工期短縮や設備の軽便化などを図ることができる(図-2.3.1)。

具体的な事例としては、軟弱地盤における下部工での直接基礎の採用による工費の低減(Aberferdy footbridgeほか)、ヘリコプター(Point Bonita灯台橋)や人馬(Olympic National Park橋)による運搬、人力架設(Olympic National Park橋ほか)などがあり、FRPを用いることによって、既存の工法では不可能な施工方法を可能としている。また、橋梁の架け替え(West Virginia FRP橋ほか)や、軍事目的・災害復旧など(ポニートラス橋の実験)の大幅な工期短縮を必要とする場合にも適用されている。さらに、跳ね上げ橋のウインチ設備軽減(英国Lift Bridge)や原子炉内での施工(Oyster Creek Nuclear Power Plant 内歩廊)などの特別な条件での事例も報告されている。

(2)耐腐食性の向上

FRP使用のメリットとしては、塩害に対する耐腐食性の向上、維持補修にかかるランニングコストの低減があり、ほとんどの論文・報告で耐久性が高いことを採用理由の一つに挙げている。特に、海岸や係船施設などの腐食環境下でも塗り替えを必要としないことは、メンテナンスコストの低減に有効であると述べられている(Harlingen係船栈橋, Point Bonita灯台橋ほか)。

(3)景観性の向上

FRPの着色や形状が比較的自由という特徴は、数多くの文献でメリットの一つとして取り上げられている。別の考え方として、木材との競合(West Versinia Univ.)や複合(Meadow橋ほか)、既存の建設用材料に比べてより自然に近い(有機化合物)ものとの捉え方も提示されている。

(4)エネルギー吸収性

FRPには衝撃に対する変形が大きく、衝撃に対して弱いという特性がある。この特性は一般の構造物ではデメリットとされるが、これを逆にメリットとした例も報告されている。事例としては、ガードレール(FHWAによる試験)や飛行場のアンテナ塔など(航空機の衝突により容易に壊れる)が紹介されている。

(5)非磁性

FRPは非磁性であるため、電波に対する干渉を抑えることができる。この特性が飛行場のアンテナ塔で活用されている。

2. 3. 3 適用構造物の種類

次に、FRPの適用事例における構造物の種類(適用のための研究を含む)を多い順から列記すると下記のとおりになる。

- (1)橋梁上部工
- (2)護岸・係船施設
- (3)階段・手摺・歩廊(図-2.3.2)
- (4)塔(冷却塔・電波塔)
- (5)ガードレール
- (6)橋梁下部工
- (7)その他(水門ゲート・足場パイプなど)(図-2.3.3)

適用事例の約8割は橋梁となっている。橋梁への施工事例の内、歩道橋と道路橋の比率はほぼ5:5であるが、道路橋の事例を見ると山間部など比較的交通量が少なく、設計荷重も軽いものに限られている。その理由はFRPを用いた土木・建築構造物は歴史が浅く、長期の耐久性や物性に対する信頼性に乏しいこと。弾性係数が小さいため撓みやすく、せん断強度が小さいため特に床版などの局部的なせん断力が作用する部位での問題が懸念されることなどが挙げられる。

上記の構造物には、構造物全てをFRPで施工する場合と構造物の一部にFRPを適用する場合がある。後者は上記の信頼性や欠点を補うための手段として有効とされている(図-2.3.4)。

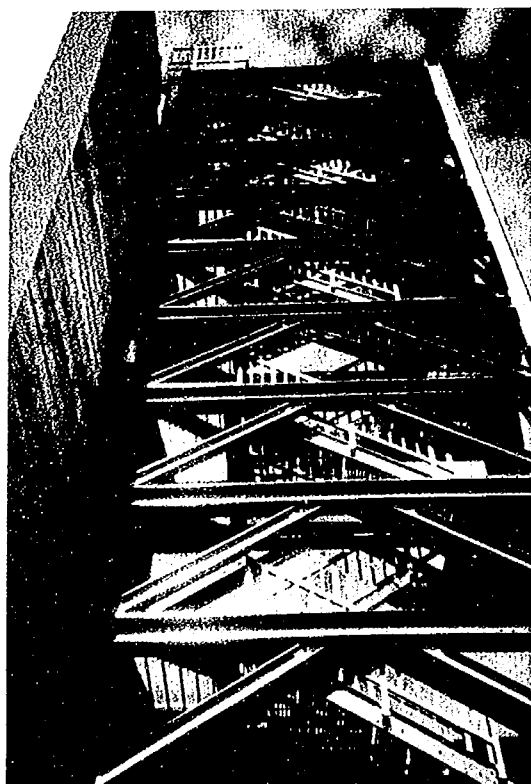


図-2.3.2 FRPを用いた階段
(U.S. Naval Training Base)

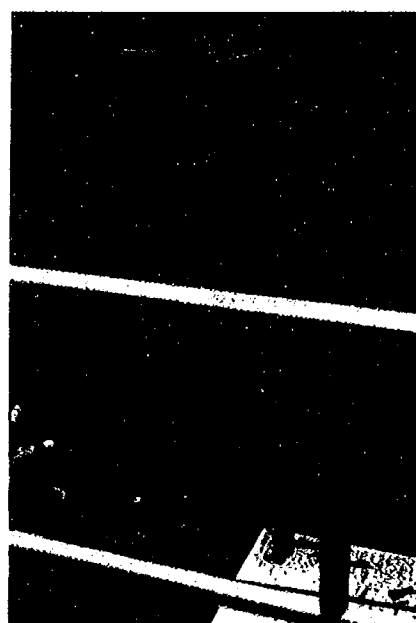


図-2.3.3 FRPを用いた水門
(Olmsted Locks & Dam)

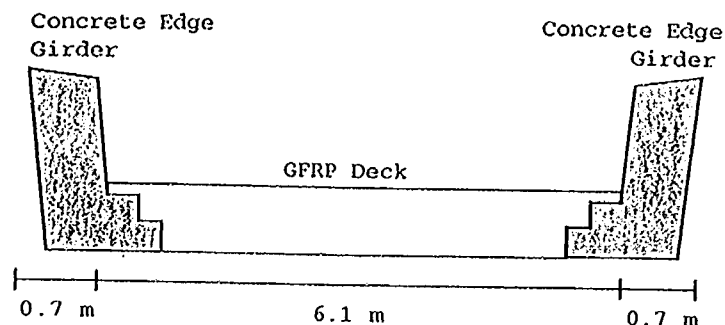


図-2.3.4 コンクリート桁とFRP床版の複合構造(Magazine Ditch 橋)

2. 3. 4 橋梁構造物の構造形式

適用事例を大別すると、その構造形式は斜張橋・トラス橋・桁橋・その他に分類される。

(1)斜張橋

斜張橋は主桁・床版をケーブルで吊り下げる形式であり、実質的な主桁の支間を小さくできるため、FRP主桁の曲げモーメントを低減することにより、曲げ剛性の不足を補うことができる。FRPによる斜張橋の代表例としては、1992年に英国で架設されたAberferdy歩道橋(図-2.3.5)があり、橋長113m、幅員2.2mの橋梁全てをFRP材料で施工している。米国のLincoln Composite 橋では、橋長274m、幅員3.7mの橋梁全てがFRP構造物で建設される計画である。桁などの構成部材の断面形状は四角形・I形が多く採用されている。斜材は全ての適用例でアラミド繊維ロープが使用されている。FRPを使用した斜張橋特有の問題点としては、風による揚力の発生があり、Aberferdy歩道橋では床版にゴムマットを敷くことにより自重を増し、これを防いでいる。

(2)トラス橋

トラス橋は上弦材と下弦材間の距離を実質的な桁高として利用するため曲げ剛性を確保できる。構成部材には軸力のみが作用するため、部材の実質断面を小さくでき、コストの低減が可能である。歩道橋の施工例はトラス橋が最も多く、そのほとんどがポニートラス形式であり、E.T.Techtonics社(米国)により施工されている(図-2.3.6)。構成部材の断面形状はI形・H形・チャンネル形に標準化されている。適用例には曲げ剛性不足を補うために外ケーブルを併用したものもみられる。

(3)桁橋

桁橋の場合、曲げ剛性を確保するためには桁高を大きくとる必要があるが、桁高を大きくするのは景観上問題があり、FRP材料の使用量が増加するため、経済性の面からみても非効率的である。このようなことから、桁橋形式ではほとんどの適用事例に箱桁形状が採用されている。箱桁の断面形状としてはダブルI・四角形・台形(図-2.3.7)が採用されている。箱桁形式以外ではプレートガーダー形式や下路桁形式がある。

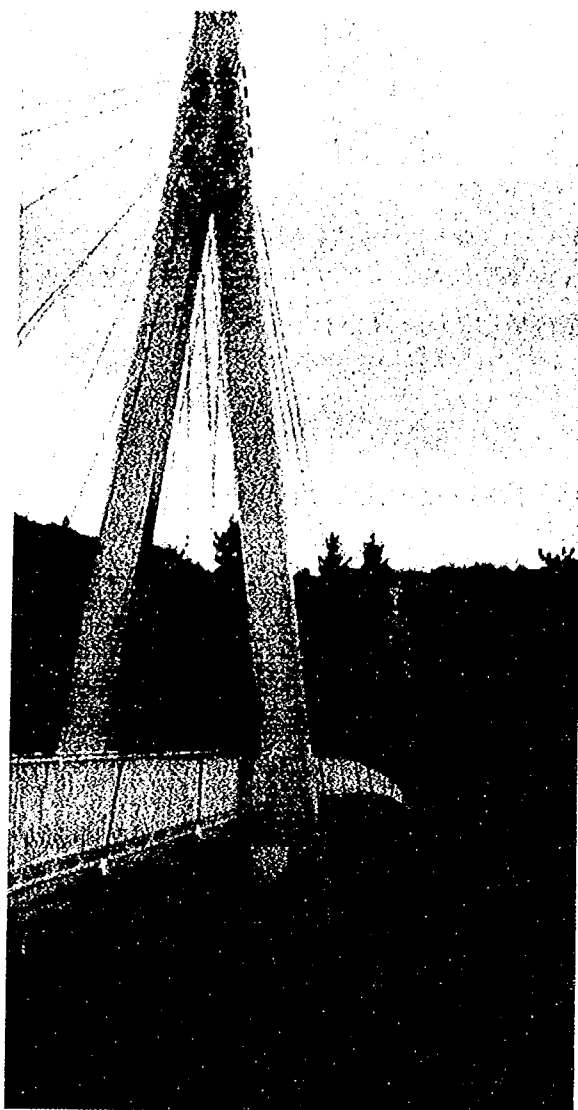


図-2.3.5 Aberferdy 歩道橋



図-2.3.6 Point Bonita 灯台歩道橋

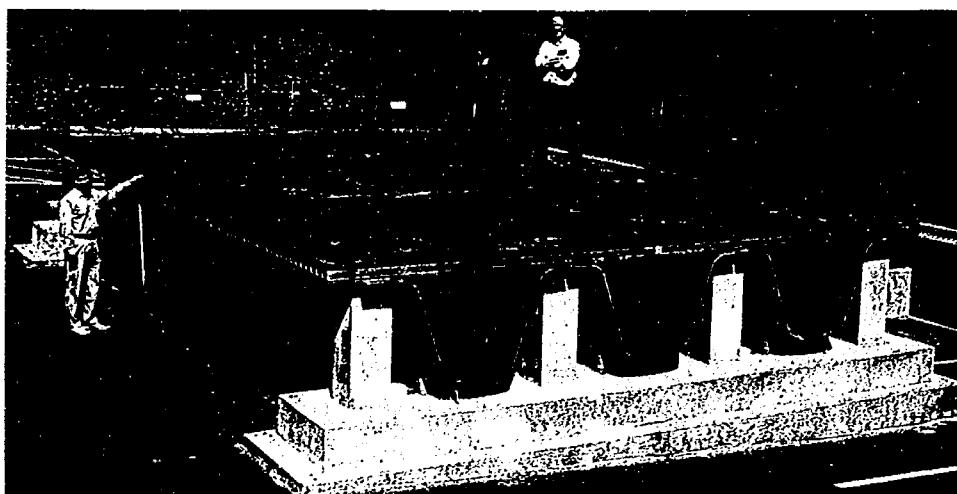


図-2.3.7 Lockheed Martin Palo Alto研究所
のデモンストレーション橋

2. 3. 5 橋梁床版と橋梁付属物

既存の橋梁において最も損傷を生じやすいのが床版と橋梁付属物(高欄等)であり、いずれも橋面を通行する車両や人間などの荷重が直接作用する部材である。FRPはせん断や衝撃に対して比較的弱いため、考慮が必要となる。

(1)床版

適用事例を見ると、歩道橋ではFRPの母材そのまま、あるいは床版上に簡単な舗装やゴムマットを敷き並べただけで用いられているのが大半である。車道橋で床版にFRPを使用する場合、輪荷重に伴うせん断力が大きくなるため、床版の上面にポリエステルレジンコンクリートを打設する(図-2.3.8)、木製のデッキを敷き並べるなど(図-2.3.9)、応力集中に伴うせん断力の作用を軽減するための措置がとられている。

(2)橋梁付属物

適用事例では車道橋の高欄についての記述は少なく、詳細は不明である。歩道橋については、下路トラスや下路桁とすることによってFRPの構造材をそのまま高欄として利用している場合が多い。検査路の手摺に用いられたケースではFRP特有の問題点として、静電気の発生があげられている。

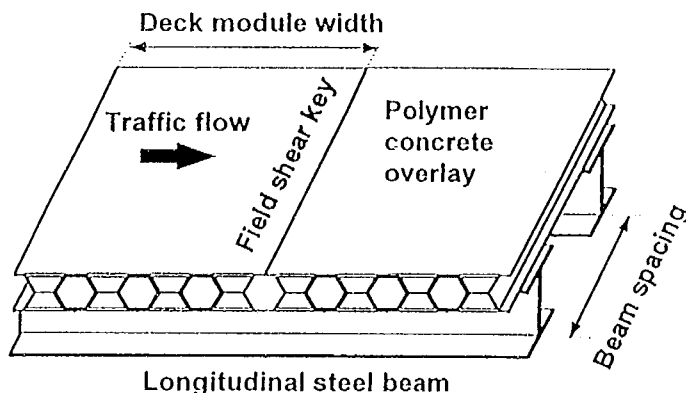


図-2.3.8 六角形断面のFRP床版とポリエステルレジンコンクリート舗装の組み合わせ (Wick Wire 橋ほか)

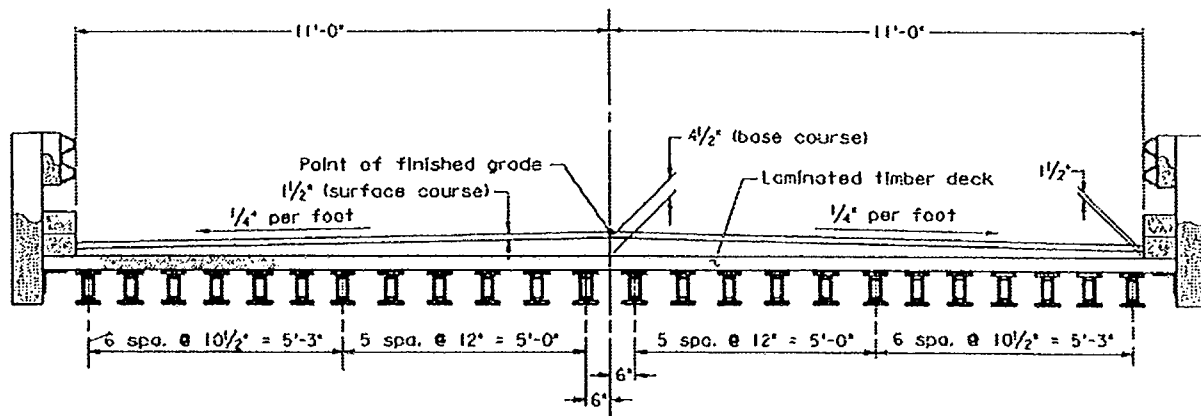


図-2.3.9 ダブルI形断面の箱桁上に木製床版の組み合わせ (Tom's Creek 橋)

2. 4 現在使用されているFRPの種類

①FRPの成形法にはさまざまな種類があり、得られる成形品の性能もさまざまである。代表的な成形法は次の通りである。

1) ハンドレイアップ法

型の上に繊維強化材料（主にガラス繊維）を置き、ローラーハケを使って樹脂を塗り付け、必要な厚みまで積層し、無圧常温でそのまま硬化する方法で、大きさに制限がなく、多種少量の生産に向いている。

2) プレス法、（SMC法）

繊維強化材料に樹脂と種々の充填材を含浸させたシート状の成形材（SMC）を加熱金型でプレスする成形法で量産品に向けた成形法である。

3) フィラメントワインディング法（FW法）

繊維強化材料（主にガラスロービング）を前もって樹脂に含浸し、回転しているマンドレル（芯金）に張力をかけながら巻きつけて硬化させる成形法で形状（円筒状又は球形）に制約はあるが、繊維強化材料の強さを十分に利用できる成形法である。

4) 引抜成形法

繊維強化材料を製造ライン方向に引き出しながら樹脂を含浸させ、加熱金型内を通して硬化させ連続的に引き出す成形法で、長さ方向に一定断面形状を有した成形品を任意の長さで得ることができ、長手方向に強度の高い製品を得ることができる。

②FRPに用いられる繊維強化材はプラスチックの補強に用いる材料で、強度特性を大幅に向上させる。繊維素材としては、ガラス、カーボンのような無機繊維からアラミド、ポリエステルなどの有機繊維と多岐にわたっている。安価で高性能なガラス繊維がもっとも一般的である。カーボン繊維やアラミド繊維を用いるとさらに高強度、高弾性率が得られるが比較的高価である。

③FRPに使用する樹脂のほとんどは熱硬化性樹脂であり、その大部分は不飽和ポリエステル樹脂で、次いでビニルエステル樹脂、エポキシ樹脂などが使用されている。用途により耐炎性、耐熱性に優れたフェノール樹脂なども用いられる。樹脂によって化学的性質、熱的性質、成形性などが異なるので十分樹脂特性を理解した上で選択する必要がある。

調査した適用事例は47例あり、そのうちの38例は橋梁としてFRPが使用されている適用例である。他の9例はフェリーの栈橋、足場、水門、非常階段塔、ガードレール、なだれ予防柵等である。これらの適用事例を①成形法別による分類、②繊維強化材料別分類、③樹脂マトリックス別分類、④断面形状別分類の4つに整理分類し図1～4に表記した。

2. 4. 1 成形法による分類

成形法による分類では引抜成形による部材の適用が約60%の31件と圧倒的に多く、次いでハンドレイ成形部材の9件、VARI（バキューム アシスト レジン インジェクション）成形部材の4件、FW成形部材の1件が報告されている。FRPの中でも強度の高い製品が得られ、寸法精度の良さ、製造長さの自由度などの理由で引抜成形部材が多く採用されたものと考えられる。

成形法による分類

①引抜	31
②ハンドレイ	9
③FW	1
④VARI	4
⑤不明・その他	9
小計	54

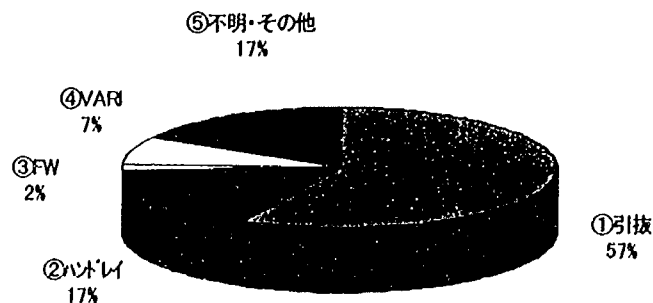


図2-4-1 成形法による分類

2. 4. 2 繊維強化材料別分類

繊維強化材料による分類では、ガラス繊維を使用したGFRPの通用事例が85%。次いでカーボン繊維の4%の順となっており、安価で高性能が得られるガラス繊維を使用した事例が最も多く報告されている。

繊維強化材料別の分類

①ガラス繊維	48
②カーボン繊維	2
③アラミド繊維	0
④不明・その他	6
小計	56

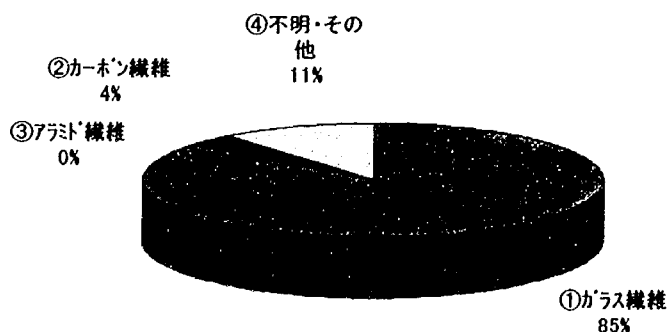


図2-4-2 繊維強化材料の分類

2. 4. 3 樹脂マトリックス別分類

F R P 部材の大部分に不飽和ポリエステル樹脂とビニルエステル樹脂が使用されている。不飽和ポリエステル樹脂は耐熱性、耐食性などの性能は中程度のものであるが材料価格は他の樹脂に比べ経済的である。又ビニルエステル樹脂は不飽和ポリエステル樹脂とエポキシ樹脂を平均化したような性能を示す樹脂で、特に耐食性を要求される場合に利用されている。

樹脂マトリックス別分類

①不飽和ポリエステル	16
②ビニルエステル	15
③フェノール	1
④不明・その他	20
小計	52

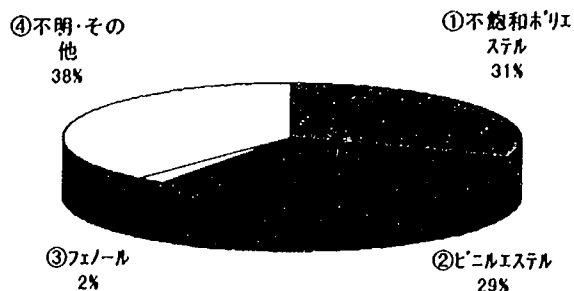


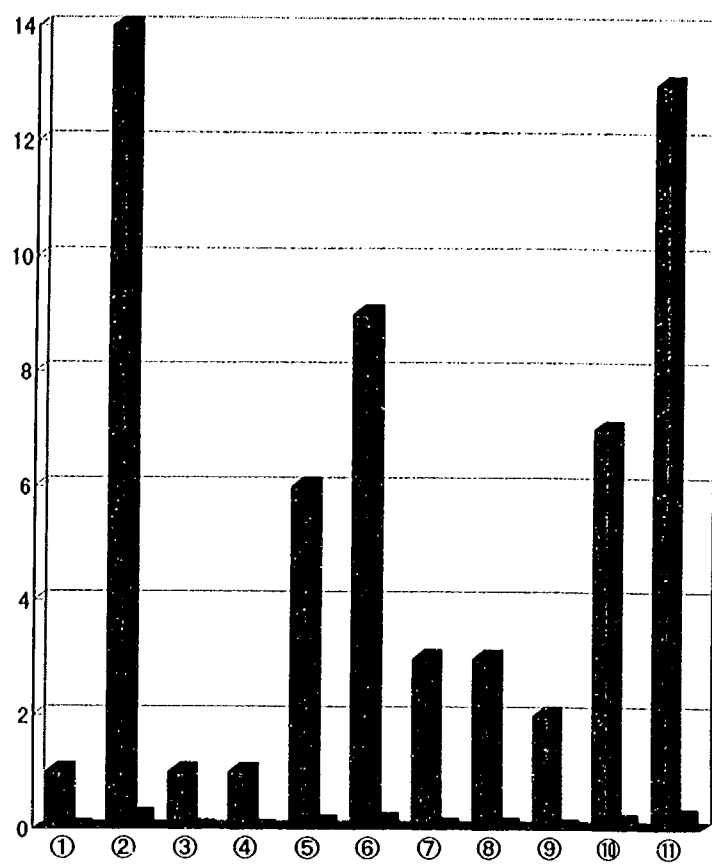
図2-4-3 樹脂マトリックス別分類

2. 4. 4 断面形状別分類

F R P 部材の形状は角形パイプ、チャンネル、I ビームが多く用いられ、六角形と台形を組合せたハニカム形状なども使用されている。適用に当っては部材の剛性を高める形状検討や部材の方向性等を考慮する必要がある。

断面形状別分類

①パイプ丸形	1	2%
②パイプ角形	14	22%
③丸棒	1	2%
④アングル	1	2%
⑤H.I.ーム	6	10%
⑥チャンネル	9	15%
⑦平板	3	5%
⑧異形(台形・六角)	3	5%
⑨グレーチング	2	3%
⑩ハニカム	7	12%
⑪不明・その他	13	22%
小計	60	100%



— 圖 2-4-4 断面形状別分類 —

2. 5 現状の適用事例における接合技術

事例調査を行った文献に見られる引抜材の継手について、具体的な構造の記述があるものを以下に示す。

2. 5. 1 E.T.Techtonics 社の例に見られる接合技術

E.T.Techtonics 社はアメリカ ペンシルバニア州フィラデルフィアの会社で、その LONGSPAN PRESTEK System (1991年頃のもの Prestec System と呼んでいる。) は、すでに数多くの実例が発表されている。引抜パイプ、アングル、チャンネル、平板からなるポニートラスであるが、一部に鋼あるいはケブラー繊維のケーブルが使用されているものも見られる。図-2-5-1に一例を示す。部材について述べられている文献では、角パイプとしては全て 50.8mm (2") × 50.8mm のものが使用されているが、チャンネル材には、152.4mm (6") のものと、203.2mm (8") のものが使われている。継手の設計について詳細な記述は見られないが、いくつかの論文にボルトの径が、19mm (3/4") とある。ボルトは、鋼のものが使用されており、SUS304, A307 などの記述が見られるほか、FRPのボルトも使用できとしている。確かに、E.T.Techtonics 社の Prestec System のパンフレットにはそのような写真も見られるが、一部の展示用の構造に限られており、実例には使用されているとは考えられない。写真-2-5-2に継手部の例を示す。ここに見られるように、ボルトが角パイプを貫通する構造となっており、この部分には何らかの技術があるはずであるが、これについての説明は見られない。ただ、一部にこのシステムには鋼のインサートが使用されていると有ることから、このパイプにインサートが入っていることも考えられる。

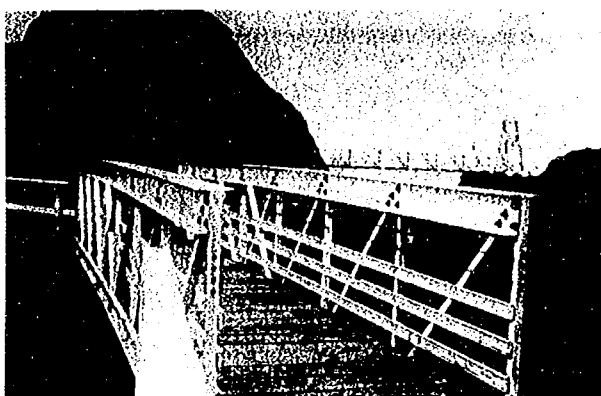


図-2-5-1 LONGSPAN PRESTEK の実例

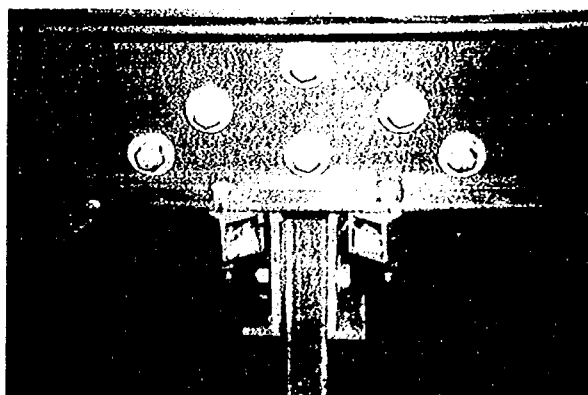


図-2-5-2 LONGSPAN PRESTEK の継手部の例

2. 5. 2 ウェストヴァージニア大学のモジュール式床版

図-2-5-3に示すような、断面が六角形の引抜材と、2つの台形の上辺をあわせたような断面形状の引抜材2種類を組み合わせて、図-2-5-4のように床版としている。H-deck と称してアメリカ特許出願中であり、その商品名は、Superdeck™ とのことである。図-2-5-4の例では、床版下の桁はやはり引抜材で、 $305 \times 305 \times 12.7\text{mm}$ ($12 \times 12 \times 0.5\text{in}$) のIビームが使われている。床版の組立には接着剤が使用される。この接着剤に対する要求項目として、伸び性、ピール特性(耐剥離特性)、エネルギー吸収特性、疲労特性、耐環境性(湿度、塩水噴霧、温度範囲 $-29^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$)、可使用時間最低30分、最低限の表面处理、許容接着層厚さ $0.5 \sim 3\text{mm}$ 、流れ性、現場での塗り易さがあげられている。ASTM試験法により、ラップ継手試験による評価が行われ、図-2-5-4の実例には、アッシュランドケミカル社(Ashland Chemicals)の2液混合型ポリウレタン接着剤、Pliogrip™ が選ばれた。

床版とIビームの接合には、上記の接着剤とブラインドファスナーが併用されている。このブラインドファスナーは、Huck International社のBOM™という直径 12.7mm のもので、軸と外筒からなり、軸を引っ張ることにより外筒に軸力がかかって球状に膨れ、2枚の板を接合する。

このシステムで使用されている接着およびブラインドファスナーについて、強度評価が行われたことは述べられているが、その具体的なデータについては全くふれられていない。

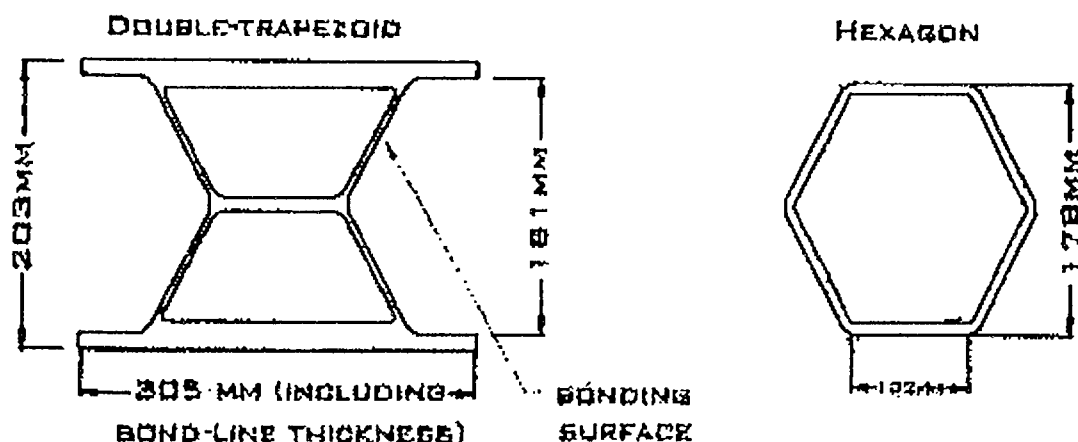


図-2-5-3 H-deck に使われる部材

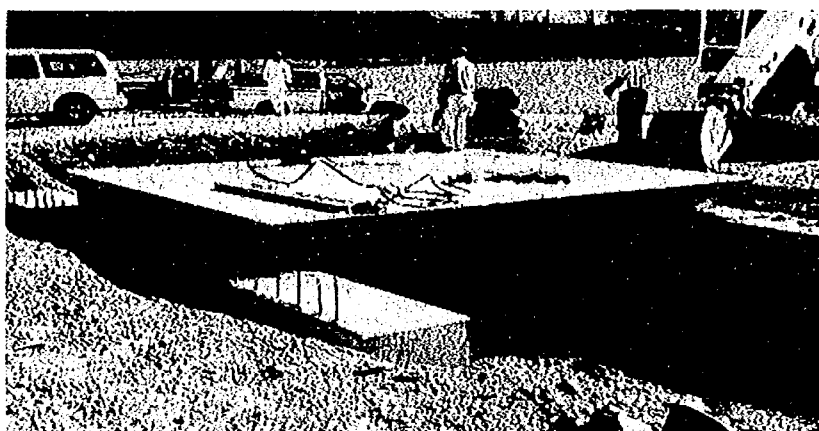


図-2-5-4 H-deck の実例

2. 5. 3 Aberfeldy 歩道橋に使われている接合

基本的な構造は、幅 60cm、厚さ 8cm で、断面が 8×8 cm の 7 つのセルから成るプランクと、それを接合するための 8×8 cm の角パイプから成る。プランクの両側面と、角パイプの 4 辺のうちの 3 辺には溝が設けられている。これを接合する際には、両接合面にエポキシ接着剤を塗って合わせ、両側の溝に断面形状が dog bone 型の金具を挿入して固定する。この接合方法により、Aberfeldy 橋では、図-2-5-6 に示すように、3 枚のプランクと 2 本の角パイプで床版を形成し、その両側面にさらに角パイプ 5 本から成る耳桁が設けられている。主塔は同じプランク 4 枚と、角パイプ 4 本で正方形断面を作っている。



図-2-5-5 Aberfeldy 橋の全景

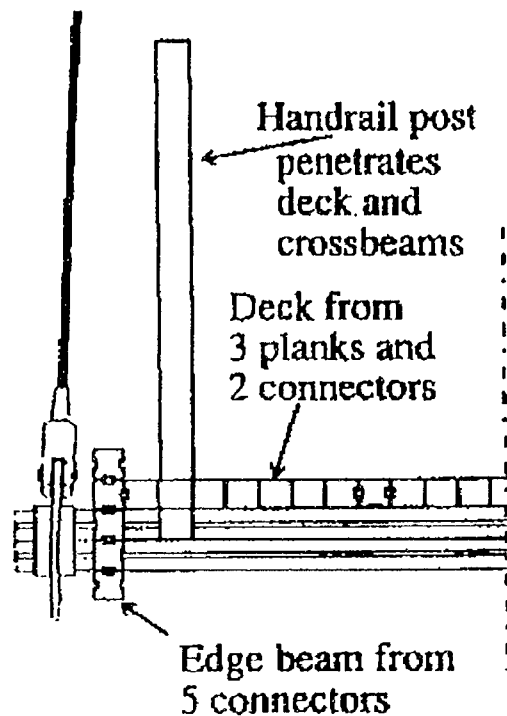


図-2-5-6 Aberfeldy 橋の中央断面

2. 5. 4 ウェストヴァージニア大学の構造

図-2-5-7 に示すような引抜材を基本として、2 種類の上部構造（図-2-5-8、図-2-5-9）と、2 種類の床版（図-2-5-10、図-2-5-11）を提案、実際にこれを製作して評価を行っている。図中に示されているように、部材同士はボルトあるいは接着で接合されているが、極めて現実的な方法の評価であり、その結果は興味深い。その評価によると、鋼ボルトを使用した B-1、B-2、F-1 では、中央桁から両側の桁への荷重伝達が十分期待できないのに対し、接着を用いた F-2 では、以前行った接着を用いなかった試験と比較し、曲げ剛性が 10% 向上したとのことである。なお、この論文では、ボルト接合について、その数、破壊モードなどについての議論は見られない。

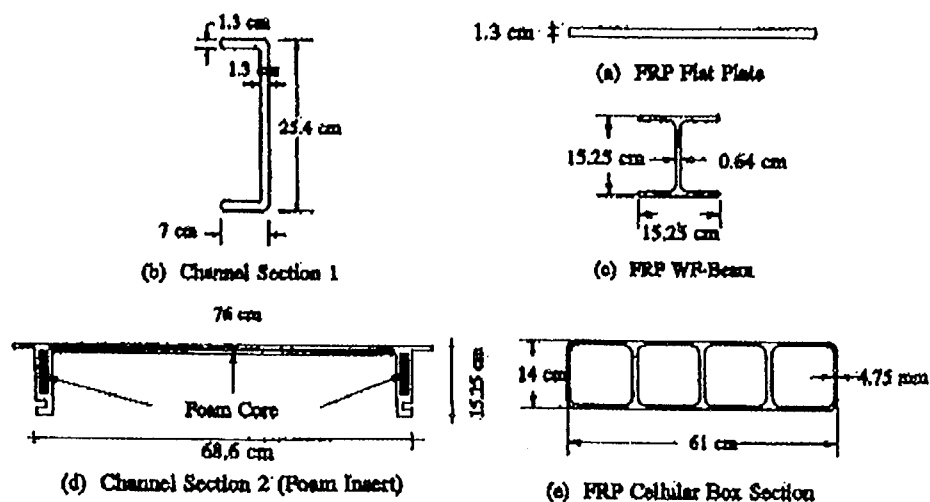


図-2-5-7 基本となる引抜材の断面形状

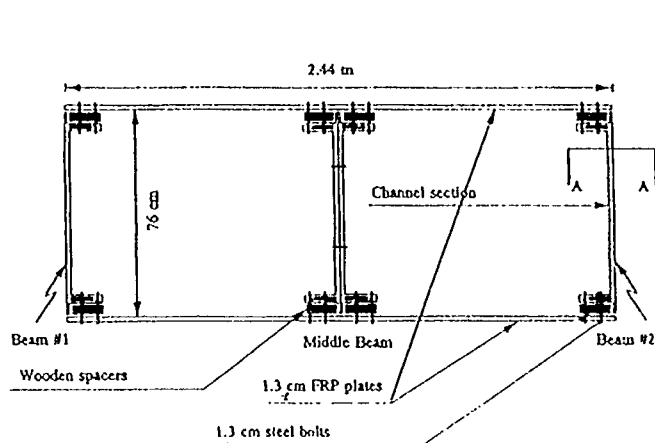


FIG. 4. Cross Section of Bridge Test Specimen B-1

図-2-5-8 上部構造試験体 B-1 の断面

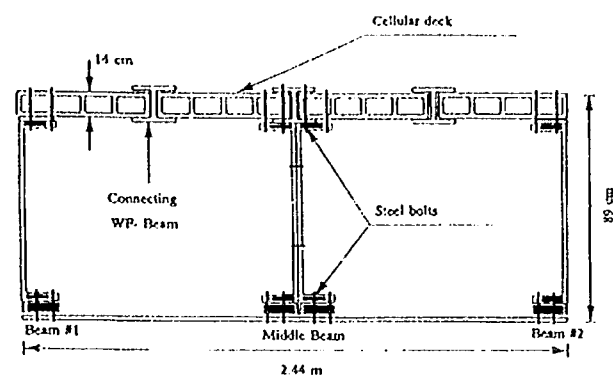


図-2-5-9 上部構造試験体 B-2 の断面

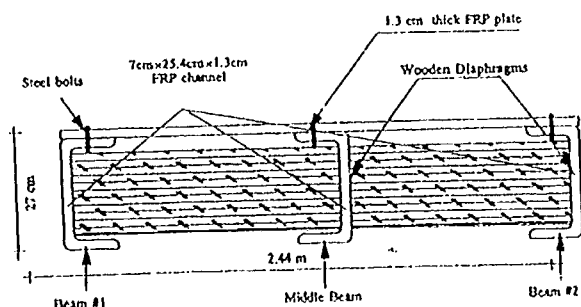


FIG. 5. Cross Section of Floor Test Specimen F-1

図-2-5-10 床版構造試験体 F-1 の断面

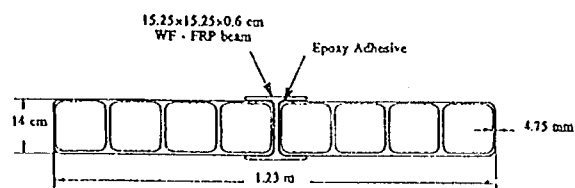


図-2-5-11 床版構造試験体 F-2 の断面

2. 5. 5 Goldsworthy 社のスナップジョイント

F R Pの成形機メーカーである Goldsworthy 社は、図-2-5-12のようなスナップジョイントを提案し、引抜成形機とマシニングセンターを並べた成形機を開発している。この方法を使用して、高さ28メートルの送電線鉄塔が建設されているほか、海洋発電サイトの鉄塔としても建設されている。。

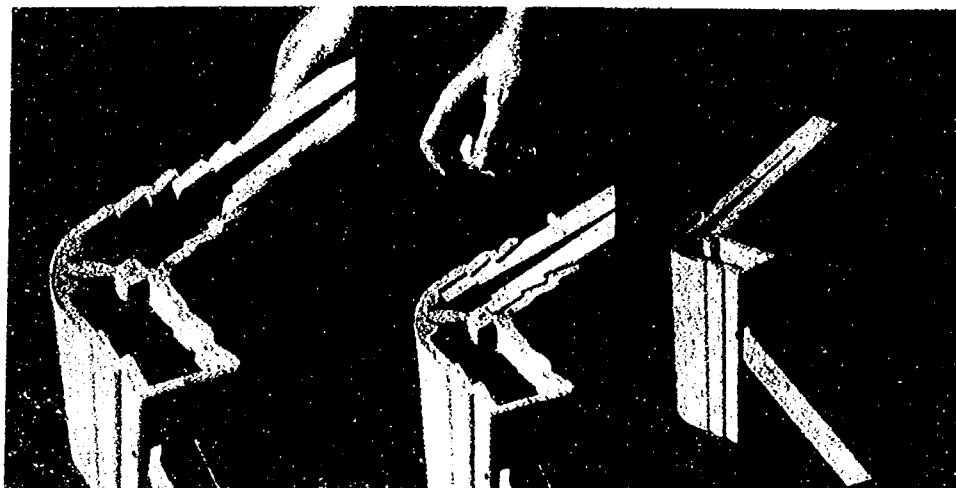
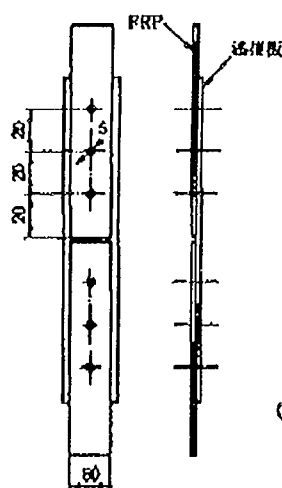


図-2-5-12 Goldsworthy 社提案のスナップジョイント

2. 5. 6 大型冷水塔用F R P主架構の継手

土木構造ではないが、引抜パイプを用いた構造物の継手についての具体的強度データが見られるため、ここにあげる。図-2-5-13のような平板の重ね継手で、リベット（ブラインドリベット）の本数を変えて接合強度を求めた結果、図-2-5-14に示すように一本あたりの荷重ではほとんど変わりがなく、5本の場合でも1本の場合の7%程度の低下となっている。また、図-2-5-15のように、角パイプで引張と圧縮、本数を変えた場合について強度を求めた結果も、表-2-5-1に示すように一本あたりの強度にはほとんど差がないことが示されている。これらの結果から、この冷水塔主架構では、継手にはブラインドリベットを使用し、設計要求値に対してリベットの本数を決定している。



(注) リベット
本 数：1～5 本
直 径：4.8 mm
材 質：SU8 304

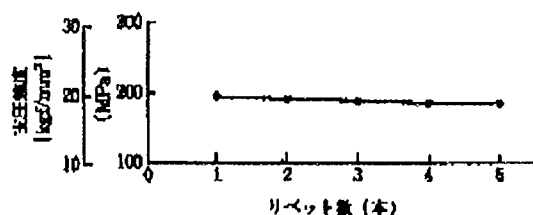


図-2-5-13 支圧強度試験片の形状および寸法

図-2-5-14 支圧強度試験結果

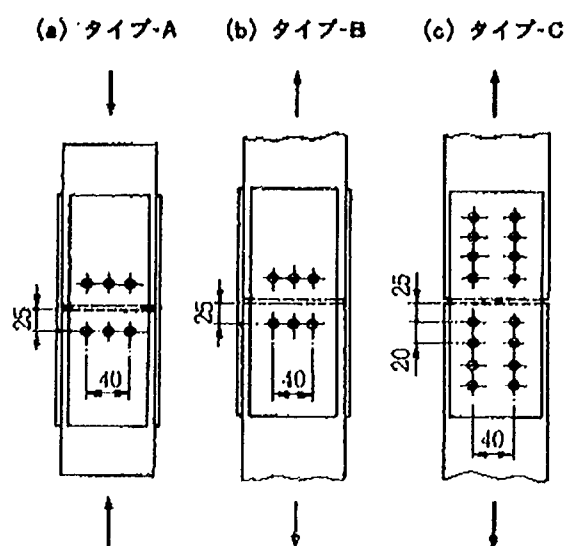


図-2-5-15 角パイプ継手強度試験用試験体の形状および寸法

表-2-5-1 角パイプ強度試験結果

項目		種別	タイプ-A*	タイプ-B*	タイプ-C*
リベット数(本)			12	12	16
破壊荷重	(kN)		44.2	43.7	58.4
	[kgf]		4 520	4 460	5 960
1本あたりの平均耐力	(kN)		3.70	3.65	3.66
	[kgf]		377	372	373
支圧強度	(MPa)		192	190	190
	[kgf/mm ²]		19.6	19.4	19.4

2. 5. 7 継手に関する考察

FRPを主構造材とした主に橋梁の文献に見られる継手の実例を示した。橋梁を製作したことそのものを主題とする文献から抽出した例であるため、継手についての詳細、強度評価に関する記述は見られない。しかし、全体的な印象としては、これらの例では継手は必ずしも大きな課題であったようには読みとれない。やはり、FRPを橋梁などの土木構造物に適用する際の課題が剛性にあり、剛性を満足する設計では部材の応力のみならず、継手にとっても強度が必ずしもクリティカルであったわけではないということであろうか。引抜FRP材を適用するとすれば、材料コストにこれ以上多くを望むことはできないため、あるいは設計施工側としては手が付けられないため、その興味は、全体の剛性を高くとることができる構造、また、施工時のコストダウンが期待できる全体構造と継手の考案、開発にあるものと見られる。

3. 考察

3. 1 FRPの長所や適用による機能向上分析

各事例文献より、FRPの諸物性をリストアップし、表-1にまとめた。

大部分のFRP材は、マトリックスにポリエステル樹脂あるいは、ビニルエステル樹脂が使用され、それにEガラス繊維を30～75%含有させたGFRP材である。その機械的性能は、引張強度が167～206 MPa(17～21kgf/mm²)、引張弾性係数が17.2～22.3 GPa(1750～2275kgf/mm²)、圧縮強度が172～206 MPa(17.5～21kgf/mm²)である。これらの値は、「土木研究所資料 繊維強化構造材料の歩道橋への利用可能性の検討 平成6年11月」の報告書にまとめられている数値の範囲内にある。その他に、カーボン繊維やアラミド繊維が利用されている。表-1の事例から、構造部材の部位によっては、材料の持つ性能を生かしより合理的な設計をするため1種類の材料で全てを構成するのではなく、各種材料の良い点を取り入れて利用しているのが見られる。

FRP材の一般的性質については、2. 3. 1で述べられている。

それらを土木用構造部材として利用した場合、事例から以下のような特長があげられる。

3. 1. 1 材料

FRP材は他の材料と比較して比強度が高いが、FRPを構成している繊維の組み合わせにより性能値は異なるので、構造用部材に使用する際、部材の方向性を確認して適切に組み合わせる必要がある。

FRP材の形状は、四角管、アングル材、六角管、台形管、Cチャンネル材が多く、それらが土木用構造部材の主な構成材料となっている。また、それらを組み合わせた多孔性セルを有するGFRP板材や六角形と台形を組み合わせたハニカム部材がある。適用に当たっては、部材の剛性を高める形状検討を行って床版、桁、梁等に用いられている。

断面が四角形の方はアングルより耐荷荷重は大きく、脆性破壊しにくい。しかもエネルギー吸収性が大きい特徴がある。

FRPの強度や耐久性についての研究は、ウエストバージニア大学の建設施設センター(CFC)等で行われており、その成果は高速道路橋の標準仕様書に反映されている。一部では、耐久性データの収集が少ないことから、実環境下で10年間暴露して計測する計画もあり、それらの研究成果が待たれる。

一般的な材料の耐疲労特性は、繰返し回数が 10^7 で疲労強度が求められ、CFRP材で、0.22～0.48である。GFRP材は、0.3である。鋼材は、0.4～0.5である。

その他の特性として、①非磁性であり、電波障害が生じない特性からアンテナ塔としての利用がある。②耐食性に優れ、コンクリート構造物や鋼構造物に見られる電位差腐食や隙間腐食がほとんど生じない。③着色が自在にでき、塗料をもちいた場合の塗り替え時の環境汚染に与える影響がないことも大きなメリットになりうる。④摩耗性も優れることから、ダムゲートに適用されている。25年の開閉に相当する繰返し試験を行い摩耗や腐食に関して支障が見られない結果が得られている。

3. 1. 2 製造方法

FRPの製造方法には、製品の要求特性、生産量、価格に応じた原料及び成形の3要素（賦形・含浸・硬化）の組み合わせにより、ハンドレイアップ成形法、バキュームアシスト・レジンインジェクション成形法（VAR I法）、引抜成形法、FW成形法など、いろいろな方法がある。

量は比較的少ないが、製品が比較的大きい場合などは、ハンドレイアップ成形法、バキュームアシスト・レジンインジェクション成形法（VAR I法）が用いられる。

逆に、量は比較的多いが、製品が比較的小さく、均一な品質のものを得る場合などは、引き抜き成形法、FW成形法が用いられる。

したがって、成形法の選定については、製品の要求性能、個数、需要との関係、成形設備、運搬、価格など、非常に多くの点から検討し、決定しなければならない。

また、補強として、現場で繊維を巻き付ける方法もあり、それによって、耐荷重の増大を図った報告もある。

3. 1. 3 施工性

FRPを利用した場合のメリットに施工性が優れることが取り上げられている。

まず、軽量であるため組立に重機を必要としない。また組立が簡単であるため、熟練工が不要である。設備が最小で済み、遠隔地での施工が可能である。その結果として工期の短縮ができる。

運搬については、軽量であることを生かして人による運搬も可能である。狭い場所での取り扱いにもメリットがある。補修工事では、老朽化した床版の取り替えを短時間で行った例があり、通常の架け替えでは3週間かかるものがFRP材を使用したことにより16時間で完了した。その点、軍事目的や仮橋や応急橋などの比較的小規模で施工の省力化が要求される場合などは、最も適していると言える。

また、軟弱地盤での設置が可能であり、直接基礎が可能である。軽量であるため、地盤沈下の防止にも有効である。

欠点として施工コストは、木橋の場合0.93\$ / m²に対し、FRPは、1.5\$ / m²と割高である点である。

3. 1. 4 維持管理

メンテナンスフリーであることが採用の大きな理由となっている。FRPであるため、鋼材と異なり湿気による錆の発生がないことや海岸近くに設置した場合でも、塩害や海水の影響を受けないため、設置場所に選択性がないことがあげられる。また、化学的薬品による腐食にも強く、コンクリートが設置出来ない環境にも適用できる。

FRP材は、ひび割れや腐食を生じないメリットがあり供用期間は、長いと考えられる。耐用年数は15年と考えた場合、初期建設費用が高くても設備費や補修費が安くトータルでみた場合コストが安くなると考えられる。

3. 1. 5 構造・設計

F R P 材を構造部材として利用する場合、設計面で鉄筋コンクリート構造物や鋼構造物と比べ種々の特長を有する。

①コンクリート床版の鉄筋の代わりにF R P 棒材を利用した場合、コンクリートのかぶり厚さを10mm程度低減できる。また、F R P の軽量であることから、補強コンクリートの20%の重量で補強コンクリート以上の荷重容量を持つ報告があり、死荷重を軽減出来ることは、設計上大きいメリットである。

②F R P 部材は、鋼材に比べ弾性係数が小さく、たわみが大きい。
設計においては、長スパン橋の場合、たわみ量で構造検討を行う必要がある。資料によると支間中央部における部材のスパン/タワミ >500 （たわみ限界）が制約条件となっている。

③部材の形状や他の材料を併用することにより剛性および終局耐力の向上を図っている。六角形の断面は、高い荷重容量があり、かつエネルギー吸収性に優れ、疲労効果にも優れている特長があるためハニカム構造を利用した事例が多く見られる。

一例として、複合材デッキシステム構造がある。ポリマーコンクリートによるオーバーレイ、床版は六角形と台形の組み合わせたハニカム構造、桁部は鋼材からなるものである。

木製床版のたわみ剛性の改善では、鋼製の梁をF R P 製の梁に代替する際、梁の構造を工夫することにより、たわみの改善を図った事例がある。その評価にA A S H O のH S - 20の荷重を負荷させ、たわみ測定して求めている。その梁の形状は、箱形I ビームである。また、桁部材では、たわみの改善のため構造をR P Pratt truss からX - braced truss へ改良が行われ曲げ剛性の向上を図っている。

このように剛性アップのため、構造形式の革新検討が進むものと考えられる。
そのため材料費のアップにつながる懸念があるが軽量のメリットをいかした施工費の低減により相殺が可能であると考えられる。

④その他設計に関する事として、部材の坐屈強度の検討や安全率の設定が必要である。また、ケーブル部材を利用した場合ではケーブルのゆるみの問題を解決しておく必要がある。

⑤設計資料としてA S C E から出版されている構造用プラスチック設計マニュアルが紹介されている。

⑥設計用件によっては、F R P の適用でしか対応出来ない事例もある。たとえば、牛やラバが通る橋とか支持構造が周囲の景観に調和するとか、原子炉のように特殊な条件での歩道橋の設置などは、適用事例がすすむものと考えられる。

3. 1. 6 接合方法

構成する部材の接合は、応力の伝達においてまた応力の集中を分散させる意味において重要な課題である。主として行われている方法は、接着接合、ボルト接合、トグル接合等が主流である。

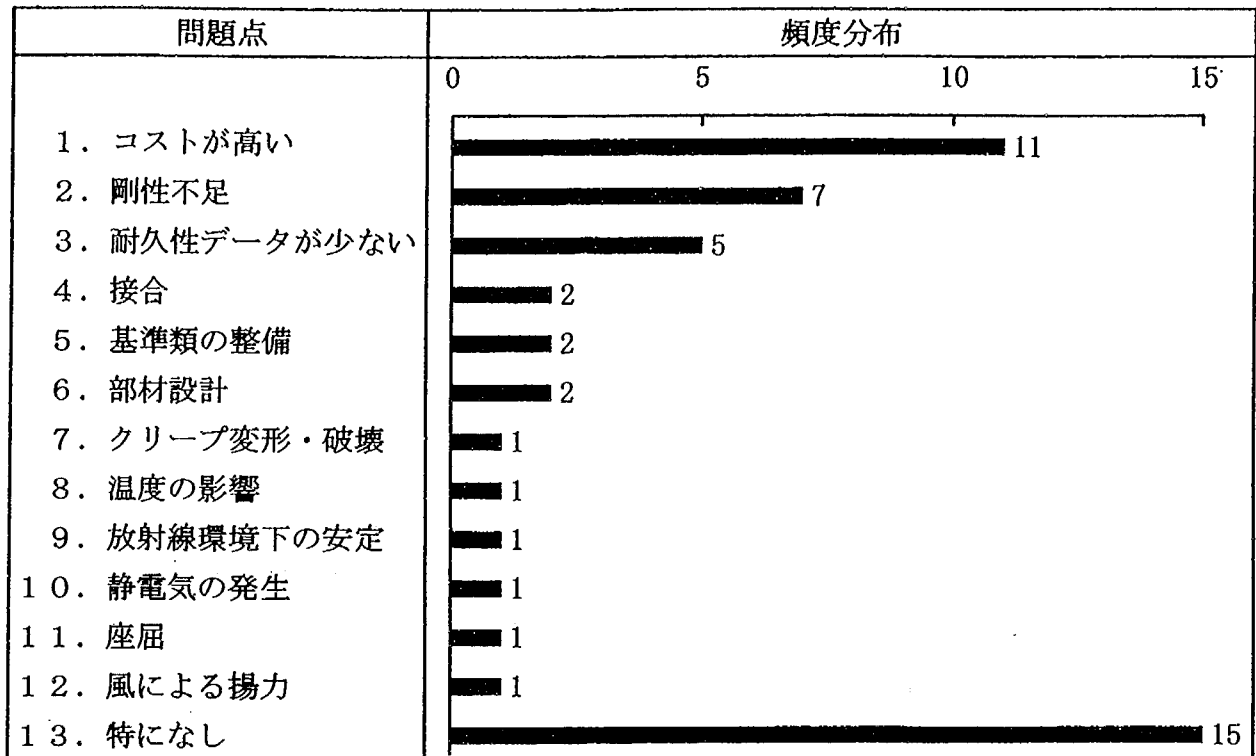
成形法 形状	マトリックス	繊維 強化材	繊維 含有率 (wt%)	寸法 (mm)	物性値						適用					構造
					引張 強度 (MPa)	引張弾性 係数 (GPa)	せん断 弾性係数 (GPa)	ポアソン 比	圧縮強度 (MPa)	曲げ強度 (MPa)	床版	桁	梁	ケーブル		
□形管 アングル	ビニルエステル												○		50*50*3 内部にセルがある梁が荷重保持が長い 38*38*6	
チャンネル 中空管	ポリエステル	ガラス		203.2 50.8*50.8*6.4	172 (25ksi)	22.3 (3250ksi) 17.5 (2500ksi)			172 (25ksi)	172 (25ksi)					歩道橋 トラス	規定たわみ 1/360, 最小振動数 5 サイクル/sec, トラス 鉛直圧縮部材、対角引張部材、水平緊張材 静的載荷試験の結果を積層板理論で解析可。 スチール接合、ボルト接合
チャンネル フラットバー - WF-FRP						16 ~ 21 *10	2.8 ~ 4.9	0.24 ~ 0.33			○					
ハニカム ロープ	ビニルエステル	ガラス アラミド	40 ~ 45	セル	207		0.38		207		○	○		○	斜梁形式 歩道橋	座屈の検討, 安全率 5,
チャンネル 角形管				152.4 50.8	206 (30ksi)	22.3 (3250ksi) 17.5 (2500ksi)			206 (30ksi)	172 (25ksi)		○			木造橋 可動式	上弦材、下弦材、対傾構、垂直材 支持構造部 X-braced truss を採用
		ガラス			206 (30ksi)	17.5 (2500ksi)			206 (30ksi)						トラス橋	上弦材、下弦材、斜材、垂直材用部材
ハンドレイ 角形管	ポリエステル	ガラス									○		○		単純橋	上部工全体をFRPに。耐久性とメンテナンスの信頼性 設計指針から構造上の信頼性確認実験を実施。 箱形断面スラブ。U型梁。
ハニカム	ビニルエステル	ガラス		六角形と台形							○				FRP-Hdeck	床版の限界状態設計は、最大たわみで制御する。
溝型材 中空管		ガラス	60								○	○	○	○	道路橋 ポストラス橋	接合部材はボルトによる機械継ぎ手。一部GFRPを使用。 外ケーブルにAFRP。その圧接による接合を併用。
Cチャンネル	ビニルエステル	Eガラス										○	○		歩道	外装にカーボン繊維を組み合わせたハイブリッド複合材の長期耐 久性を検討。
	ビニルエステル	Eガラス	50 ~ 55								○		○			FRP成形材は、デッキスラブの架け替えに有効。
引抜材		ガラス									○		○	○	吊り橋 歩道橋	温度上昇による強度、弾性係数の低下。32.2℃以上で影 響あり。65.6℃で強度が50%、弾性係数は85%低下。 設計は、変形基準に支配される。風荷重の解析必要。
引抜材 パイル		Eガラス		777リックとローピング 材							○	○			道路橋	ハニカム部材(六角形+台形)、接合は、接着剤使用。 床版は、9.5mm のポリマーコンクリートで被覆。長期挙動の計測を 実施。
	ポリエステル	ガラス アラミド												○	斜梁橋 歩道橋	
チャンネル 引抜材				6インチ、8インチ							○				プラットフォーム 歩道橋	原子力発電所、接合はSUSボルト。たわみ 1/360。 FRP強度の安全率は、2.5。 放射線環境下での樹脂の安定性が未知。
引抜材	ビニルエステル	Eガラス		305*205*12.7 六角形 台形							○		○	橋台	道路橋	接合は、グライッドファイバー、とポリウレタン樹脂。六角形の断面は、 高い荷重容量とエネルギー吸収、疲れ効果あり。
棒部材	イソフタリック	Eガラス	75												車道橋	FRP部材をコンクリート中に埋設し、床版コンクリートを補強する。
ハンドレイ	ビニルエステル	Eガラス	30													
セル板材 コネクタ-材				GFRP GFRP アラミド							○	○	○	○	歩道橋 斜張橋	接合はトグル。たわみ性から構造形式が決定。 軟弱地盤で直接基礎が可能。
ハニカム	ポリエステル	Eガラス	40	ポリ紙形状ハニカム											道路橋	主部材と高欄。 その他の例、ガラスとカーボン繊維の混入した引抜材を用いた I桁による箱桁新設。
ハニカム チョップドファイバー ローピング		Eガラス		1.83*0.61*0.14m 777リック、 板状繊維							○	○			車道橋	床版は、六角形部材と台形部材の組み合わせ。桁+床版 の接合は、接着剤を利用。床版は 9.5mm のポリマーコンクリート で被覆。支持杭はFRPパイルを利用。
引抜材	ビニルエステル	Eガラス	50 ~ 55	六角形と台形							○				車道橋	H-deck。インターロックで表面を接着させて接合する。
引抜材		Eガラス									○		○	○	歩道橋 吊り橋	32.2℃以上で物性に影響がでる。65.6℃で強度が50%、弾 性係数は85%に低下。接合は、ボルト。主塔。設計は、 変形基準に支配される。

3. 2 一次構造材への適用における問題点と解決すべき課題

3. 2. 1 事例調査における一次構造材への適用上の問題点

事例調査した文献から一次構造材への適用上の問題点を集計し、ヒストグラムにした図を以下に示す。

図—3.2.1 一次構造材への適用上の問題点



この集計結果から、最も頻度が高いのは「コストが高い」（11件）であった。コストは高いものの他のメリット（軽量であること、耐食性・耐候性に優れていることなど）を有効に活用したというのがほとんどのケースといえる。次に頻度が高いのはやはり剛性の問題（7件）であり、引張弾性係数が鉄の1/10であるというのは構造部材としては非常に大きな問題である。3番目に高いのは「耐久性のデータが少ない」（5件）であり、耐食性・耐候性に優れているというのが一般的な評価であるが、実際のところは十分なデータがないのが実状であろう。以上の3つの問題点が特に頻度が高く、その他としては物性関係が4件、接合2件、部材設計2件、基準類の整備2件となっている。

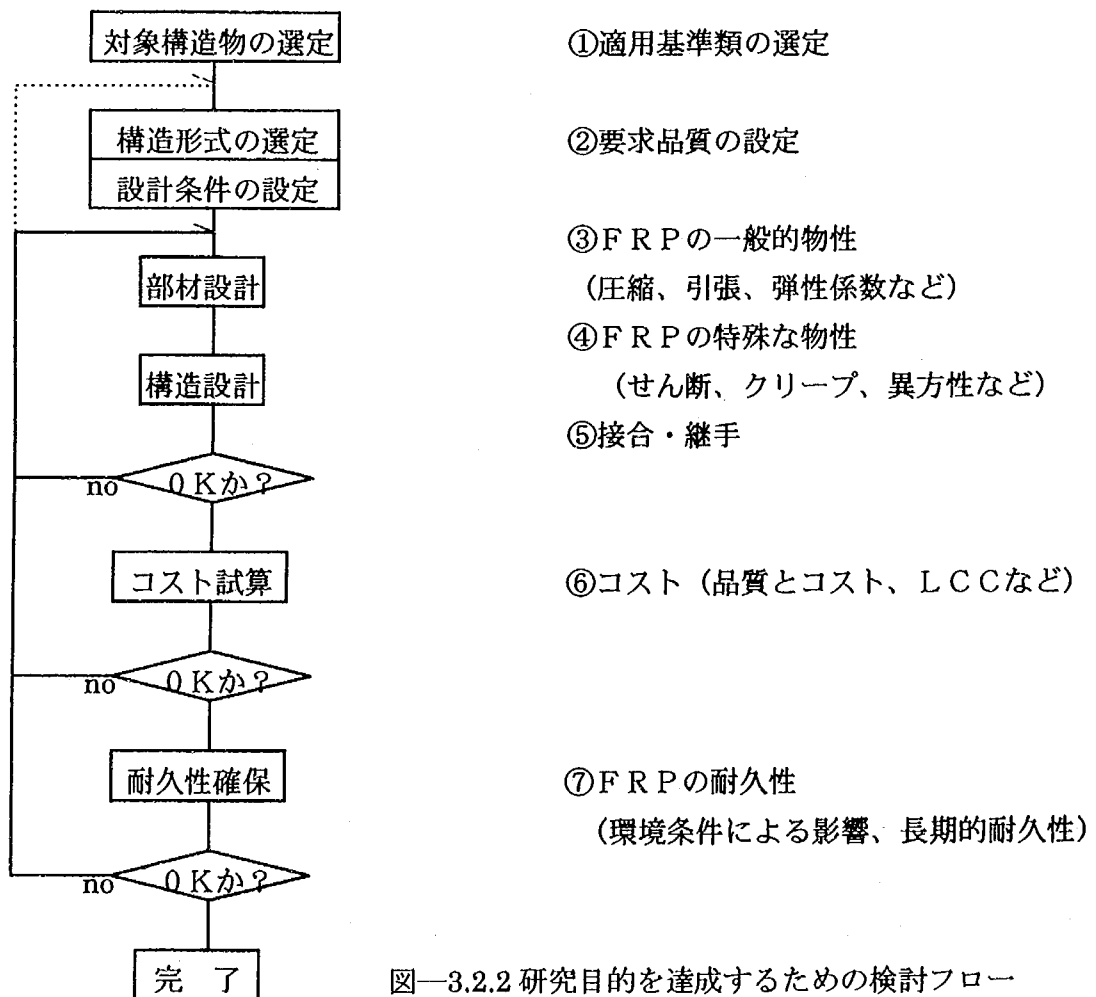
3. 2. 2 一次構造材への適用における解決すべき課題

一次構造材への適用上の課題について考える前に研究目的および目標条件を明確にしておく必要がある。以下の研究目的および目標条件に対する検討フローおよび適用上の検討課題を図—3.2.2 に示す。

研究目的：目標通りのものがFRPを用いて施工することが可能であることを実証する。

目標条件：①スパン50～100m程度の道路橋（2車線）
②ライフサイクルコストは在来と比べて低い。
③耐用年数100年

適用上の検討課題



図—3.2.2 研究目的を達成するための検討フロー
および適用上の検討課題

FRP文献調査 問題点一覧表 (1/3)

No.	問 題 点
R 1	特になし。
R 3	特になし。
R 4	特になし。
R 5	・コストが高い。→本橋では上記のメリットを最大限に活かし、構造形式の革新を行うことにより、軽量化によるコスト低減と施工コストの低減により材料コストの上昇分は相殺できるとしている。 ・大きなクリープ変形とクリープ破壊を生じる。→本橋では、外ケーブルをクイーンポスト配置することにより、これらを防いでいる。 ・継ぎ手部に大きな局部応力を生じる。→本橋では、外ケーブルの緊張力により材料同志を圧着させ、これを防いでいる。
R 6	特になし。
R 7	特になし。
R 9	・イニシャルコストが高い。 ・たわみやすい。 ・鉛直方向の剛性は、補強コンクリートの約50%程度である。
R 10	特になし。
R 11	・イニシャルコストが高い。
R 12	・FRPの、湿度など環境についての耐久性の、長期間にわたるフィールドデータがない。
R 14	・イニシャルコストが高い。 ・たわみやすい。 ・鉛直方向の剛性は、補強コンクリートの約50%程度である。
R 15	特になし。
R 16	・路面の走行性確保ために、許容応力に対して床版面に生じる応力は設計上十分な余裕をとる必要がある。 ・FRP製橋梁用床版の終局状態の設計は最大たわみにより制御する必要がある。(たわみが大きい)
R 17	・建設コストが高い。→本論文では材料コストを最小限にとどめる～即ち、安い材料を最小の量だけ使う～ことによって、コスト低減が可能としている。その方法として、本論文では多重セル箱桁形式と直交異方性梁(?)による設計が行われている。 ・高コスト(コンポジット部品は1ポンド当たり5ドル以下で供給可能だが、開発段階での施工後のコストはコンクリート製の1～4倍) ・一般論として、長期の耐久性とメンテナンスに対する信頼性に乏しい。
R 18	特になし
R 19	・イニシャルコストが高い。
R 20	・イニシャルコストが高い。
P 1	特になし。
P 2	・たわみ性から構造形式が決定→本橋では斜張橋とすることにより対応。 ・風による揚力→本橋では橋面に黒色ゴム製のコンベアベルトを敷くことにより対応。

FRP文献調査 問題点一覧表 (2/3)

P 3	特になし。
P 4	特になし。
P 5	特になし。
P 6	・FRPの使用が少ないのは、デザインの標準化や試験法の不足しているためである。 ・床版に関して、一般的な木の施工コストは\$0.93/m²であり FRP の施工コストは\$1.5/m²である。
P 7	・設計から、部材成形、出荷まで（建設を除く）の総コスト\$50,000。設計を含む全工期 90 日。
P 8	・交通インフラのような構造物は、雪を溶かす為の塩水噴霧に長期間さらされ、水による長期の疲労における材料寿命に不利なラボデータが出ている。
P 9	特になし。
P 10	特になし。
P 11	特になし。
P 12	・弾性係数、せん断弾性係数が小さい。 ・等方性の部材ではない。 ・温度上昇による温度、弾性係数の低下。（32.2℃以上で影響があり、65.6℃において、強度は50%、弾性係数は85%に低下する。）
P 13	・一つ予期しなかった点を上げると、このプラットホーム上を歩いた作業者は、防護服と滑り止め床の影響によりしばしば静電気によるショックを経験した。 ・放射線環境下で、引抜材中の樹脂の安定性が未知である。
P 14	特になし。
P 15	・交通インフラのような構造物は、雪を溶かす為の塩水噴霧に長期間さらされ、水による長期の疲労における材料寿命に不利なラボデータが出ている。
P 17	・イニシャルコストが高い。鋼橋案に対し、概略検討時ではほぼ同等、比較設計時で15%コスト高、詳細設計時で2倍のコスト高となった。 ・支間中央部たわみで設計が決まる。 ・製造方法の選定・樹脂材質の選定・樹脂 gel-time の設定。
P 18	・部材の座屈応力および組合せによる座屈 ・安全率の設定 ・動的荷重による振幅 ・変形能が大きい ・ケーブルのゆるみを考慮する
P 19	・複合材料を使用するための明確な設計指針が無い。 ・品質管理と標準化。 ・接合の標準化。
O 1	・応力解析がむずかしい。（特に長大橋）
O 2	・鋼製のものよりも重量が軽いが値段は同程度である。
O 3	・FRPパイプを足場材に適用する場合に心配することは、たわみ問題であるが、径と支点間の距離を基準化することにより、十分に適用できる。

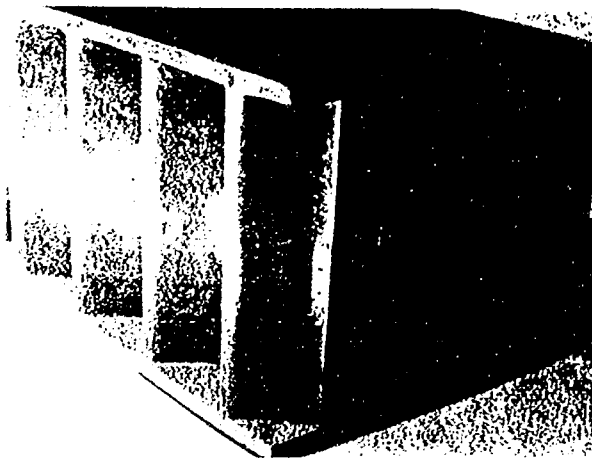
F R P 文献調査 問題点一覧表 (3/3)

	・コストが高い。
○5	・損傷したコンポジット部材の補修は、一つの重要な項目であるとしている。現在は、USACE では Olmsted Wickets にコンポジットを使用する計画はないそうである。
○6	特になし。
○7	・当初の建設会社による設計に強度不足が見つかり、設計変更があった。
○8	特になし。
○10	特になし。

4. 事例データシート

調査によって得られた各事例に関する情報を、事例毎にデータシートの形にまとめた結果を、次頁以降に示す。

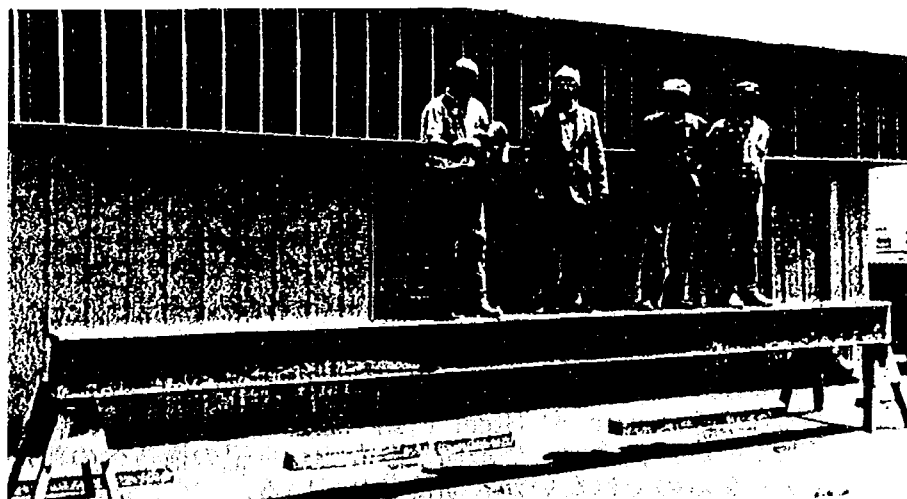
構造物名	—	竣工年月	1960～
構造物種別	道路橋	所在地	—
構造物概要	格子状デッキプレート（ハニカム構造）		
FRP の適用部位	デッキプレート、		
主な接合法	記述なし		
FRP の概要 （繊維）・樹脂・ 部材・形状・使 用量等）	ガラス繊維＋樹脂の形態 カーボン繊維織物	引抜材 GFRP	
		ハンドレイ GFRP	○
		ケーブル材	
		シート補強材	
FRP 適用による メリット	軽量かつ高強度であるFRPを用いることによって、老朽化した既設床版の取り替えが短期間で可能になる。		
FRP 適用上の 問題点	なし		
その他 （注目すべき要 素技術等を記 述）	デッキプレートに埋設したレーザー光線ファイバーの利用により応力を計測したり、AE法により損傷をとらえる。 研究は、IHS（International Honeycomb Structures Inc. KSC(Kansas Structural Composites Inc.))で行っている。		
題目 （和訳タイトル）	Honeycomb:the bridge building material ハニカム材：橋梁架設材料		
書名	Reinforced Plastics		
巻頁	pp.40-42	刊行年月	1995 年
著者名	N a t a l i e、B r o o k s		
論文概要	ガラス繊維をベースのFRP部材を格子状デッキプレートとして、利用した例の紹介。古くなった小スパン床版の取り替えなど。（7～10m）		



A sample of a highway bridge deck panel made from a 23 cm high FRP honeycomb core. The polymer concrete surface has not yet been applied.

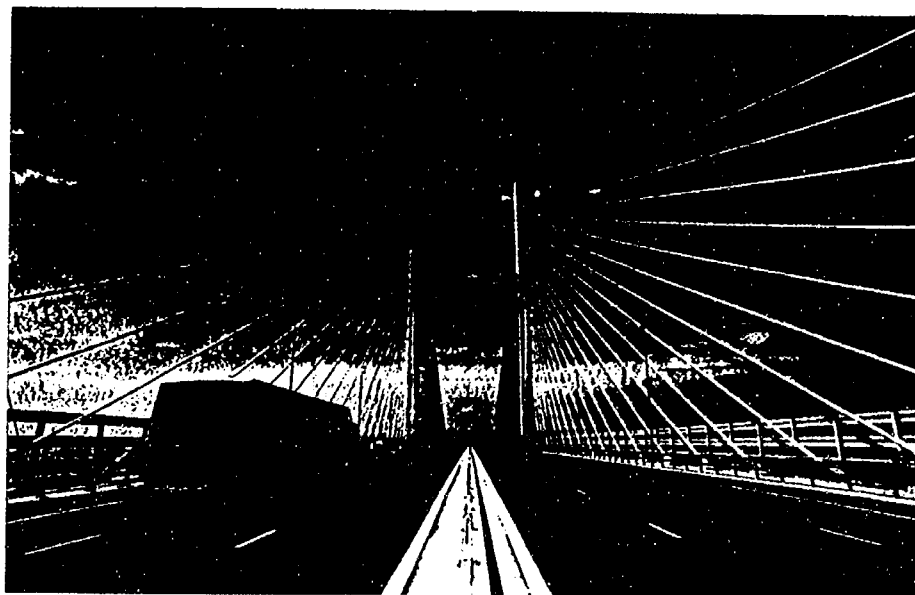


A cut away section of a bridge panel. Uni-axial glass fibres can be clearly seen in the panel surface.

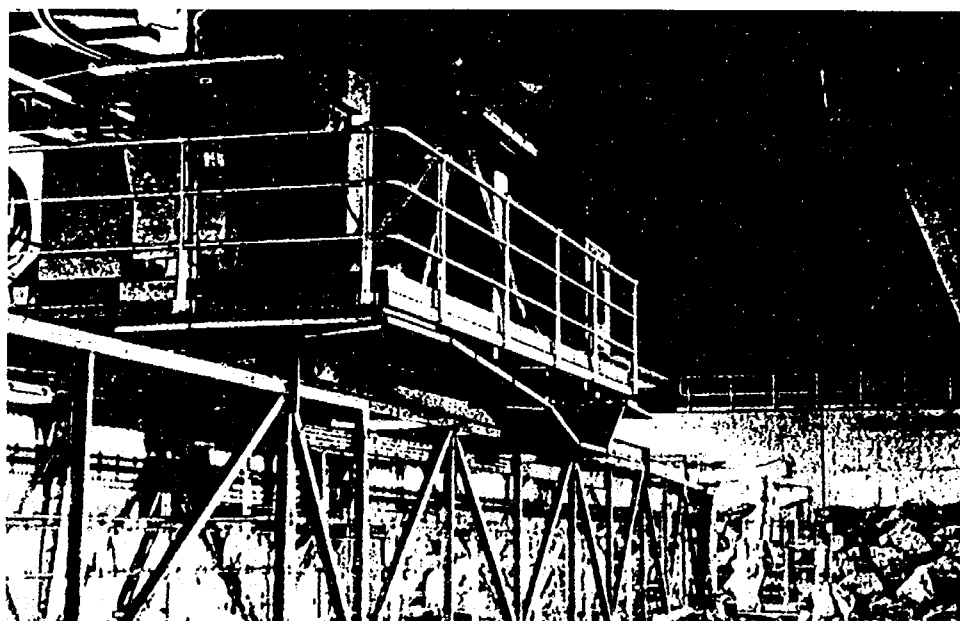


This section of bridge deck is to be used to restore a historic bridge in Nebraska. It is the largest test sample produced by KSC at 7 m long.

構造物名	Second Severn Crossing	竣工年月	1960 年代
構造物種別	車道橋, 鉄道橋	所在地	イギリス
構造物概要	England と Wales の間を流れる Severn 川に架かる橋		
FRP の適用部位	デッキスラブ 排水溝		
主な部材接合法			
FRP の概要 (繊維・樹脂・部材 形状・使用量等)	排水溝 U 型 深さ 450mm 幅 350mm 長さ 4m の部材	引抜 GFRP	
		ハンドレイ GFRP	
		ケーブル材	
		シート補強材	
FRP 適用による メリット	軽量のため, 架設時に大型重機を必要としない. 外部からのメンテナンスを軽減できる. 腐食を生じない. Steel の 1/3 のコスト.		
FRP 適用上の 問題点			
その他 (注目すべき要素 技術等を抽出)			
題目 (和訳タイトル)	Composites begin to bridge the gap		
書名	Reinforced Plastics November 1996		
巻頁	pp.22-26	刊行年月	1996
著者名			
論文概要	The Second Severn Crossing Group によると, FRP 部材を使用した 場合, Concrete や Steel に比べ重量・価格等の点において大変すぐ れている. 経済面, 環境面からも 21 世紀の構造への新たなアプロ ーチとなるのではないかと期待されている.		

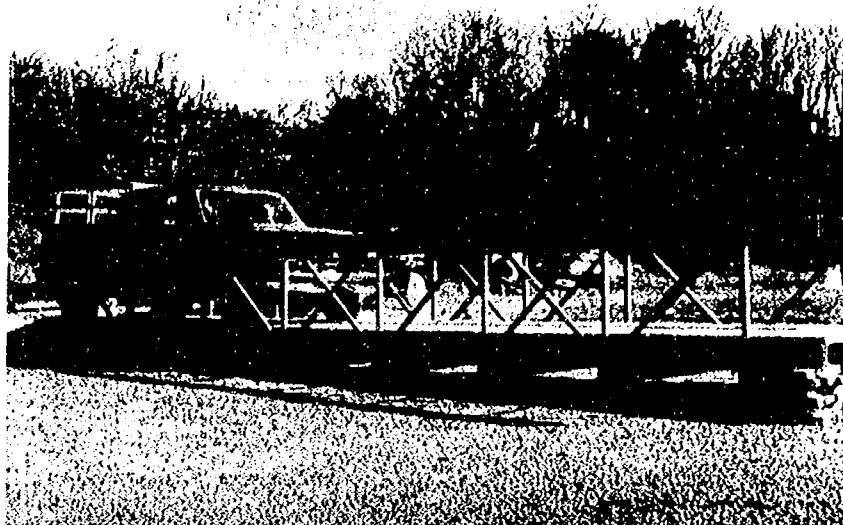


図一1 道路橋の管理用通路及び排水溝に FRP を使用



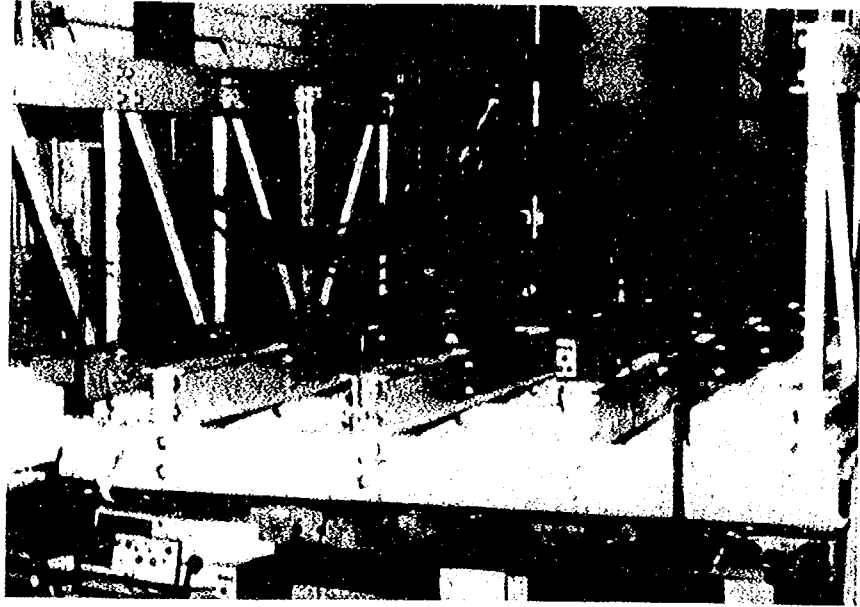
図一2 GRP で作られた管理用通路

構造物名	モジュール化された車道橋		竣工年月	
構造物種別	道路橋	所在地	米国フィラデルフィア動物園	
構造物概要	耐荷重 15000lbs スパン 10,20,30,40 フィート			
FRP の適用部位				
主な部材接合法				
FRP の概要 (繊維・樹脂・部材 形状・使用量等)			引抜 G F R P	
			ハドレイ GFRP	
			ケーブル材	
			シート補強材	
FRP 適用による メリット				
FRP 適用上の 問題点				
その他 (注目すべき要素 技術等を抽出)				
題目 (和訳タイトル)	Advanced Composite Materials Vehicular Bridge			
書名	FRP Composites in Construction Application A PROFILE IN PROGRESS (1995) 繊維強化複合材料の建設への応用 －発展状況－			
巻頁	p. 81	刊行年月		
著者名	編集：John P. Busel (Market Development Alliance of the Composites Institute)			
論文概要				



**Advanced Composite
Material Vehicular Bridge**

構造物名	車道橋（プロトタイプ）	竣工年月	
構造物種別	道路橋（ポニートラス）	所在地	カナダキングストン 王立陸軍学校
構造物概要	スパン 6 フィート 幅 10 フィート 11.2 トンの 4 輪自動車を通すように設計された。 トラス ボルトによる機械的接合 ケーブルも使われている。		
FRP の適用部位			
主な部材接合法			
FRP の概要 （繊維・樹脂・部材 形状・使用量等）	中空引き抜き成形 GFRP	引抜 GFRP	○
		ハットレイ GFRP	
		ケーブル材	
		シート補強材	
FRP 適用による メリット			
FRP 適用上の 問題点			
その他 （注目すべき要素 技術等を抽出）			
題目 （和訳タイトル）	Vehicle Bridge		
書名	FRP Composites in Construction Application A PROFILE IN PROGRESS （1995） 繊維強化複合材料の建設への応用 －発展状況－		
巻頁	p. 81	刊行年月	
著者名	編集：John P. Busel （Market Development Alliance of the Composites Institute）		
論文概要			



Vehicle Bridge

構造物名	“FRP 製ポニートラス道路橋”		竣工年月	試験
構造物種別	道路橋 (ポニートラス)	所在地	Ontario, Canada	
構造物概要	本橋は支間 6m、幅員 3m、設計荷重 100kN のオールガラス FRP 道路橋であり、構造形式は外ケーブル補強ポニートラスである。			
FRP の適用部位	ポニートラスの構成部材のうちのトラス材料、継ぎ手ボルトの一部に GFRP、外ケーブルの一部に AFRP を使用。			
主な部材接合法	ボルトによる機械継手(鋼製 or GFRP 製ボルトを使用)と外ケーブルの緊張に伴う圧接を併用。			
FRP の概要 (繊維・樹脂・部材 形状・使用量等)	連続引き抜き成形によるガラス繊維製の溝型材と中空管を使用。繊維容積率 60%。 《研究グループ》 ・E.T.technics Incorporated. ・Royal Military College of Canada. ・Ellis Hall, Queen'University. ・Creatives Pultrusions Incorporated.		引抜 GFRP	○
			ハドレイ GFRP	
			ケーブル材	
			シート補強材	
FRP 適用による メリット	軍事目的の仮橋や応急橋など、比較的小規模で特に施工の省力化が要求される場合に適している。(この他に、橋梁自重の軽量化・耐腐食性・設計の自由度が大きい・運搬費・施工費の軽減が挙げられている)			
FRP 適用上の 問題点	1. コストが高い。→本橋では上記のメリットを最大限に活かし、構造形式の革新を行うことにより、軽量化によるコスト低減と施工コストの低減により材料コストの上昇分は相殺できるとしている。 2. 大きなクリープ変形とクリープ破壊を生じる。→本橋では、外ケーブルをクイーンポスト配置することにより、これらを防いでいる。 3. 継ぎ手部に大きな局部応力を生じる。→本橋では、外ケーブルの緊張力により材料同志を圧着させ、これを防いでいる。			
その他 (注目すべき要素 技術等を抽出)	床版に集成材(内部を角形鋼管で補強)を使用し、橋体自重の軽量化と同時に、FRP 構造材に作用する局部応力の発生を軽減している。			
題目 (和訳タイトル)	Experimental Behavior of a Reinforced Plastic Vehicle Bridge (FRP 道路橋の実験)			
書名	50 th SPI(1995) Session 11-E			
巻頁	Session 11-E/1 ~ /5		刊行年月	1995.1
著者名	M.A.ERIKI, P.YANTHA, M.F.GREEN, G.E.JOHANSEN, R.WILSON, D.MAURER			
論文概要	オール FRP 橋は軍事用や応急用の小規模な道路橋における軽量橋に適していると考えられており、しだいにオール FRP 橋に対する関心が高まっている。FRP の道路橋への適用に対する問題点としては主に材料コストと FRP の機械的性質に対する知識不足が挙げられる。材料コストは構造形式の革新と、施工コストを FRP の軽量化を生かして低減することにより相殺することが可能と考えられる。本論文は支間 6m、幅員 3m、設計荷重 100kN の道路橋のオールガラス FRP 橋の静的・動的試験結果について記したものである。本橋はポニートラス橋で、標準的な連続引き抜き成形法によって製造された溝型、中空管型の FRP 構造材をボルトによる機械継手により組み合わせている。外側のトラス材は橋梁の曲げ剛性と終局荷重を高めるためにクイーンポスト配置でトラスの下に配置された PC ケーブルによって互いに圧着されている。横締め緊張した集成材の木製床版を有する場合、有しない場合の静的・動的試験結果を示した。			

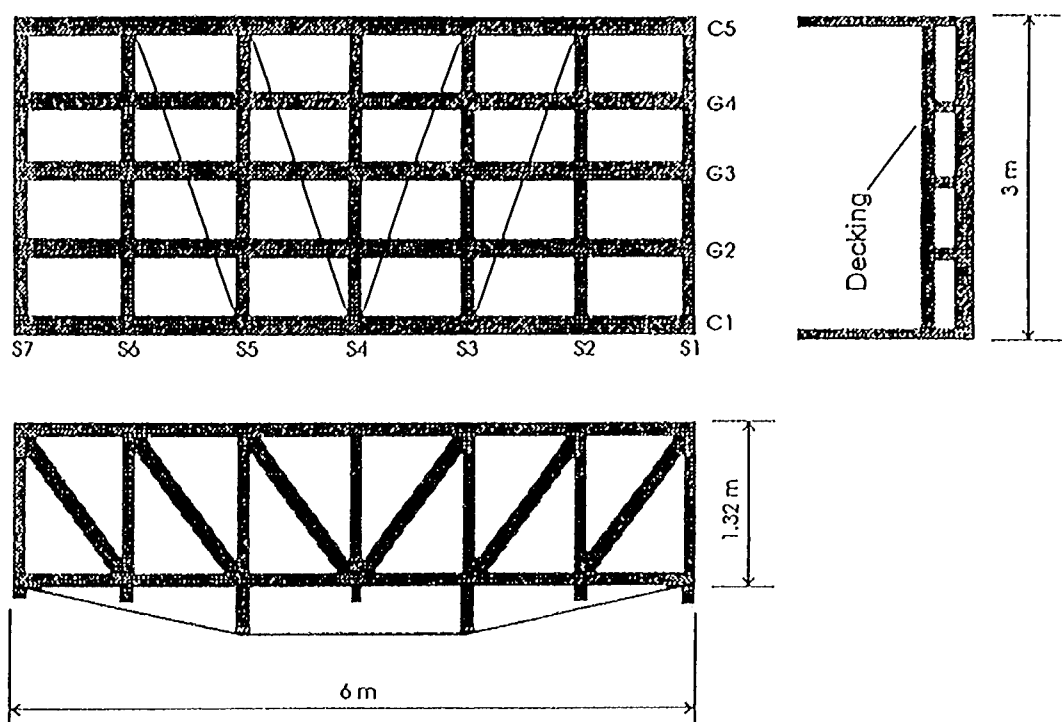


図-1 FRP歩道橋の骨組構造

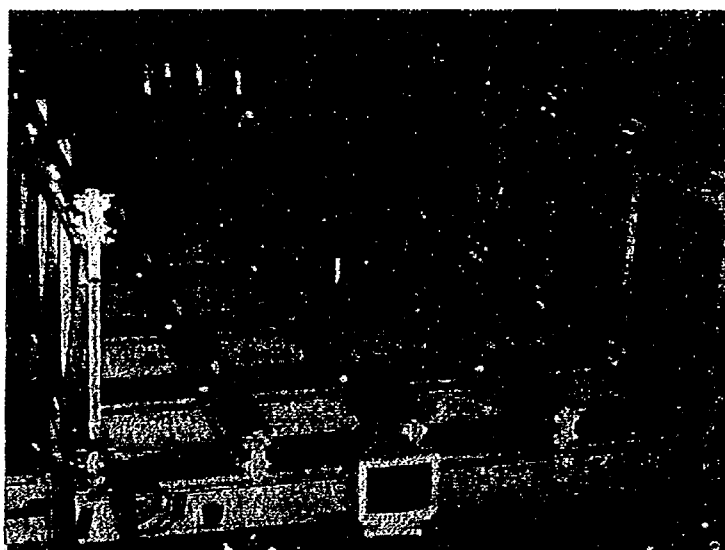
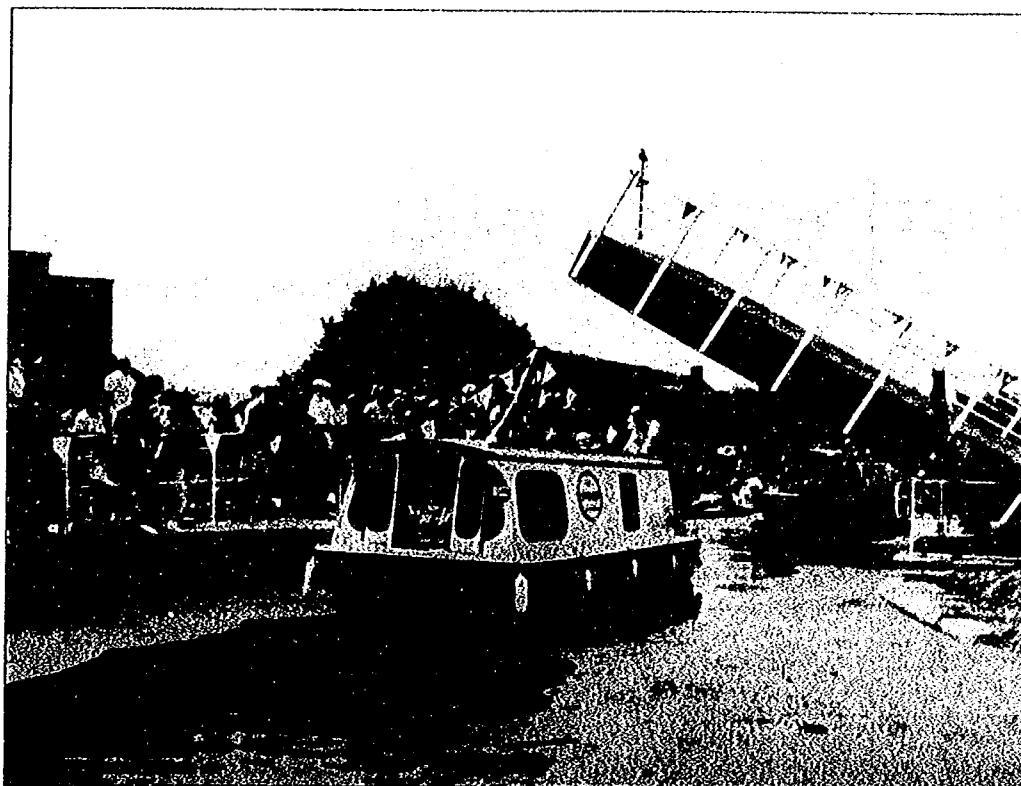


図-2 床版施工前の橋梁の状態

構造物名	Lift Bridge (跳ね上げ橋)		竣工年月	不明(1995 以前)		
構造物種別	車道橋 (単純桁)	所在地	英国イングランド			
構造物概要	オール FRP 製跳ね上げ橋 Cotswold 運河にかかる 橋長 27ft、幅 15ft 重量 4.5 トン 重車両 (44 トン) も通行可					
FRP の適用部位	桁、床版 (詳細は不明)					
主な部材接合法	Advabced Composite Construction System (ACCS)という、穴開を行わずに機械的インターロックと接着剤による接合法による。					
FRP の概要 (繊維・樹脂・部材 形状・使用量等)	イソポリエステル樹脂 (屋外における耐候性向上のため UV 吸収剤を含有) Maunsell Structural Plastics 社製	引抜 GFRP	hi			
		ハットレイ GFRP				
		ケーブル材				
		シート補強材				
FRP 適用による メリット	軽量 (この橋は油圧によって跳ね上げられるが、網で作った場合には橋本体と同じくらいに大きくなる跳ね上げ装置が、限られたスペースで出来た。) (また施工がとても簡単であった。習熟していない作業員でも可能で、特別な工具や重機はいらなかった) 耐食性も優れていた					
FRP 適用上の 問題点						
その他 (注目すべき要素 技術等を抽出)						
題目 (和訳タイトル)	Lift Bridge Solves Problem in England					
書名	FRP Composites in Construction Application A PROFILE IN PROGRESS (1995) 繊維強化複合材料の建設への応用 ー発展状況ー					
巻頁	p. 13		刊行年月			
著者名	編集: John P. Busel (Market Development Alliance of the Composites Institute)					
論文概要						



構造物名	The Bow Meadow Bridge	竣工年月	1995. 10
構造物種別	トラス	所在地	アメリカ、ワシントン州
構造物概要	1995/10、クレセント湖（ワシントン州）に建設された FRP 製橋梁で、船が着くときにのみ設置する可動式となっている。 →この橋梁には 22.9m の支持構造が必要である		
FRP の適用部位	・ 支持構造部：X-braced truss (E.T.Techonics 開発) 上弦材、下弦材、対傾構、垂直材等		
主な接合法	ボルト（材質は不明）		
FRP の概要 （繊維・樹脂・部材・形状・使用量等）	・ FRP の機械的強度 圧縮：30,000psi、引張：30,000psi、 曲げ：25,000psi ・ 高さ 152.4mm のチャンネル材：3250ksi、 ・ 50.8mm の角管：2500ksi	引抜 GFRP	○
		ハンドレイ GFRP	
		ケーブル材	
		シート補強材	
FRP 適用による メリット	・ 軽量化（総重量：約 12,000lb） ・ メンテナンスフリー ・ 美観（着色または塗装することで周囲の環境と調和できる）		
FRP 適用上の 問題点	・ コンピューターで解析した結果、当初考えていた「RP Pratt truss」の支持構造は剛度が低く、たわみが大きく、通行する動物に危険を生じる恐れがある。 →よってこの問題点を解決した「X-braced truss」を採用した。		
その他 （注目すべき要素技術等を抽出）	・ FRP の構造を「X-braced truss」とする。		
題目 （和訳タイトル）	Advanced Composite Material Support Frames: An Evaluation of the Bow Meadow Bridge at Lake Crescent, WA 複合材料の新支持構造：ワシントン州クレセント湖にかかるボウ・メドウ橋における評価		
書名	SPI、第 51 回		
巻頁	SESSION 7-D, pp1-9,	刊行年月	1996
著者名	G. ERIC JOHANSEN, ROY W. WILSON, FREDERIC ROLL, NOAH OLSON, MARTIN H. MILLMAN, MICHAEL SILVEY		
論文概要	・ 今回の試験施工は後日行われる The Olympic National Park 内にある木造橋の改修工事（手摺り、床版は木製、支持構造部を RP 製）という大プロジェクトを行う前のデモンストレーションである。 ・ 設計時の要望は、①牛やラバが安全に通行できること（たわみ量の検討）、②支持構造が美観的に周囲の環境にとけ込めることの 2 点であった。コンピューター解析や今回の試験施工の結果、RP 製「X-braced truss」型支持構造を用いることで上記の要望を満足することができた。		

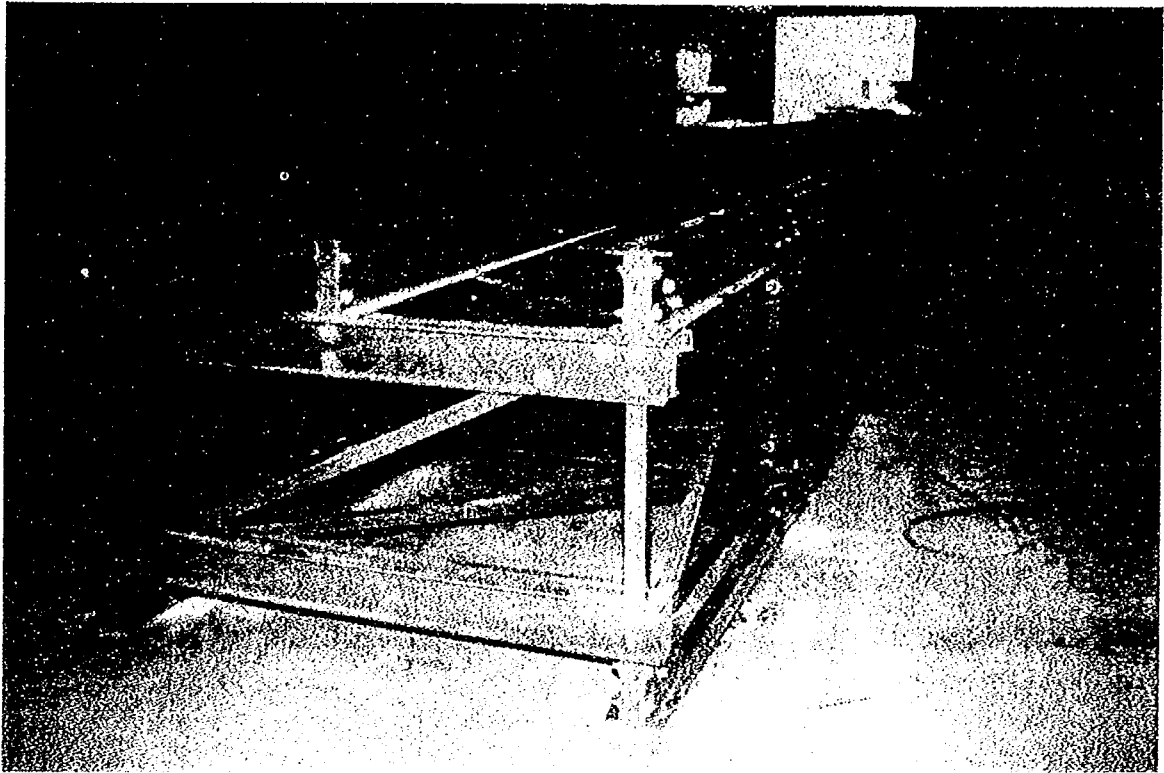


FIGURE 1. Support frame assembled in shop

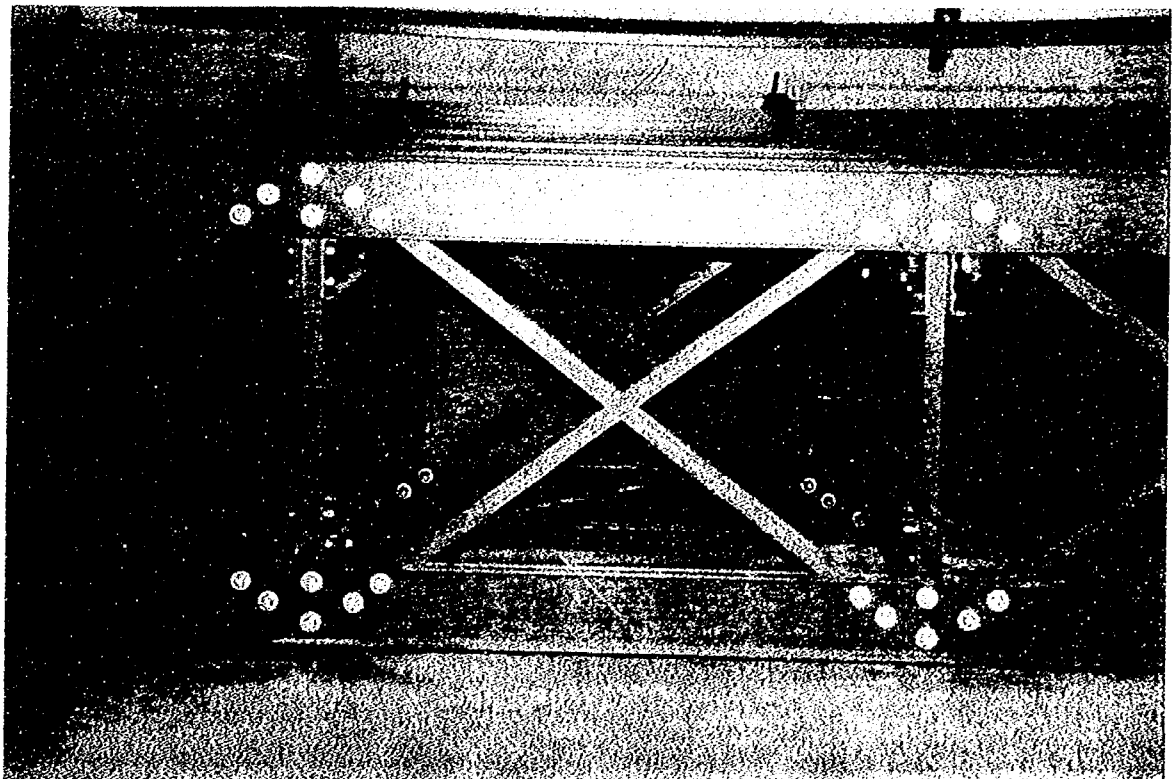


FIGURE 2. Detail of X-Bracing



FIGURE 5. Lateral Support and Stringer Detail

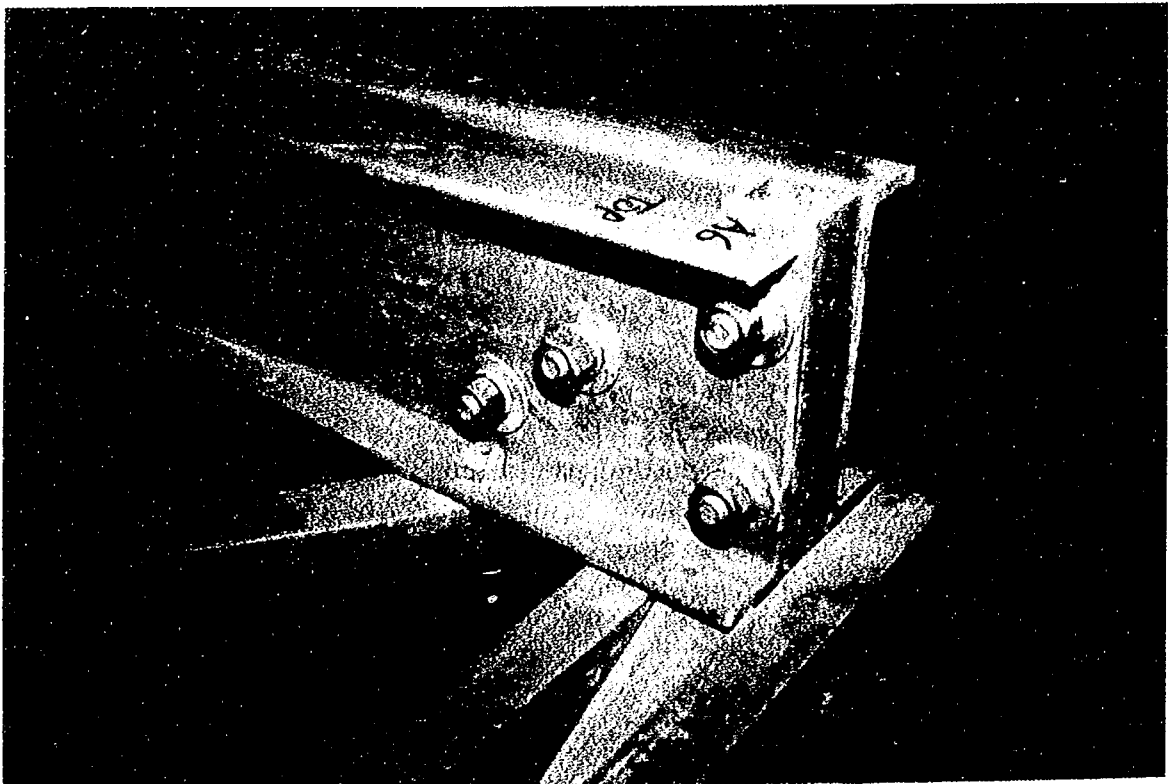


FIGURE 6 - End Detail

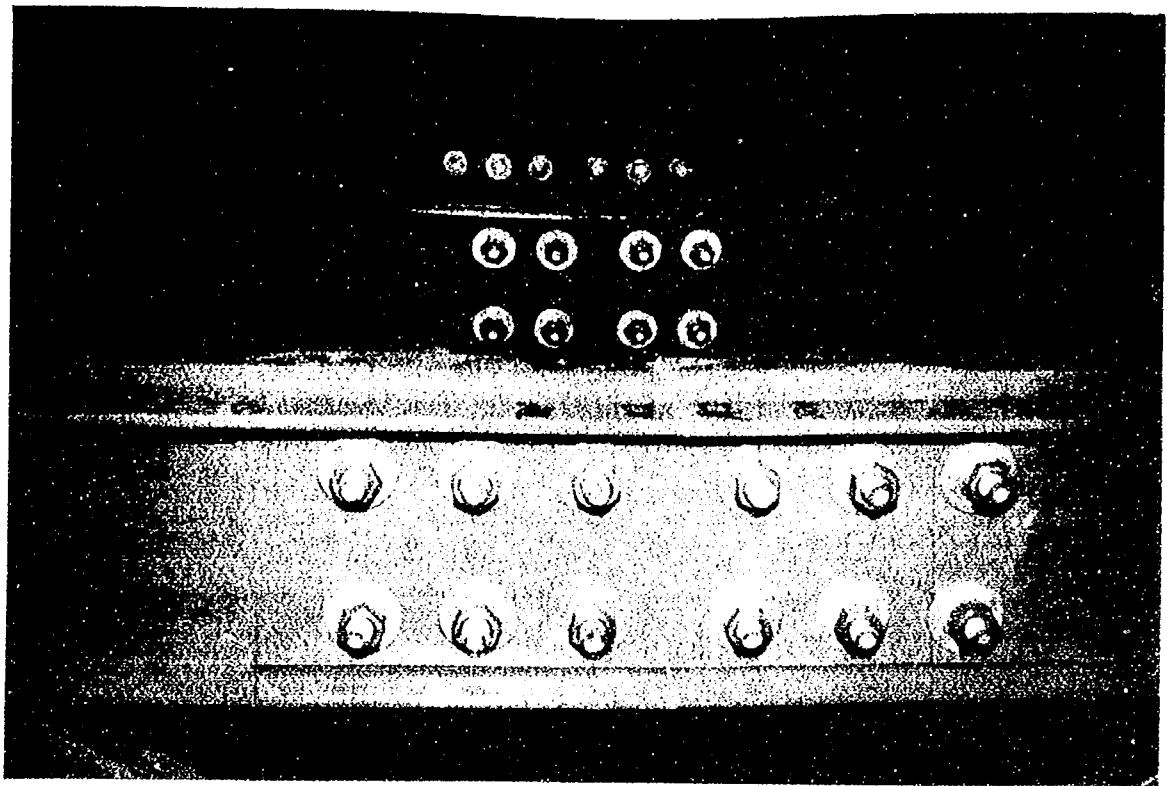


FIGURE 3. Detail of Splice

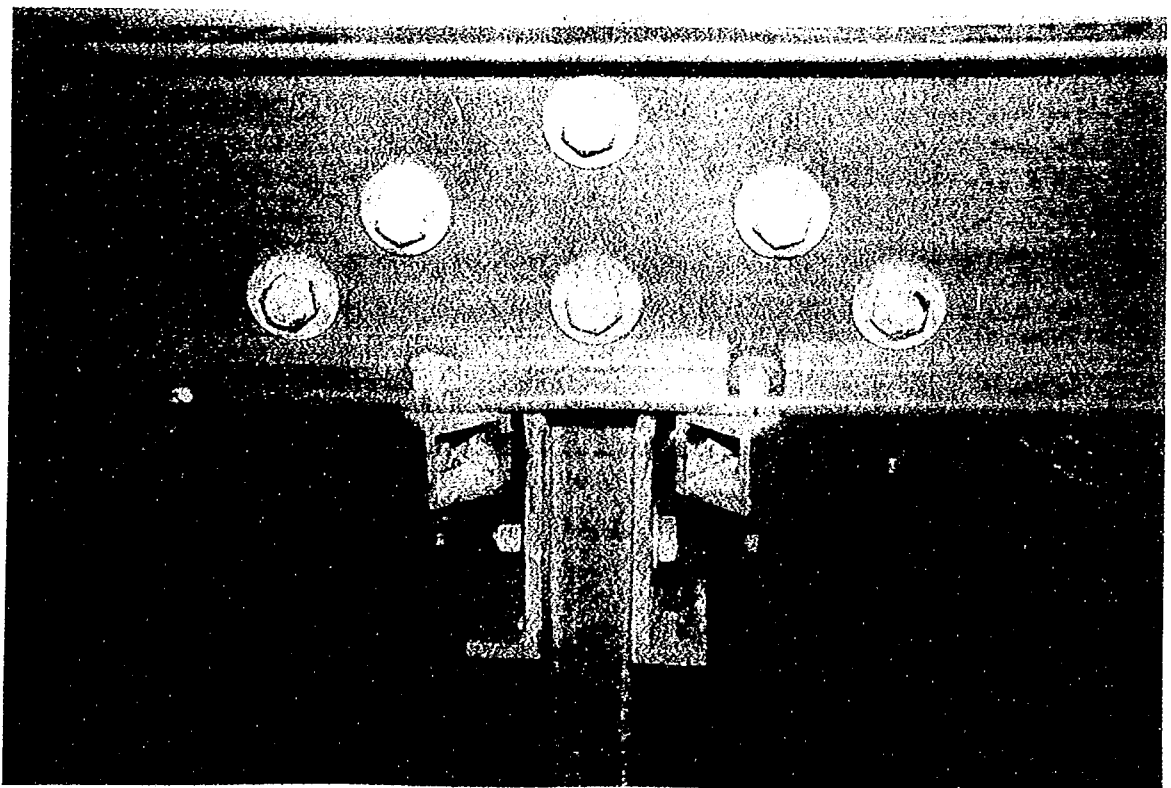


FIGURE 4. Horizontal Bracing Detail

構造物名	INTEL		竣工年月	1995年	
構造物種別	道路橋		所在地	Idaho Falls, Idaho	
構造物概要	INTEL(Idaho National Engineering and Environmental Laboratory) Transportation Complex に設置された、長さ9.1m、幅5.5mの highway bridge. Lockheed Martin の開発。 Component structure.				
FRP の適用部位	床版：スキン - ガラス織物の knit [0/45/90/-45/Mat]s で 1587g/m ² ? コア - 101.6mm 角 引抜パイプ。 ビーム：U字ビーム（曲面） 3.05m×5.5m のパネル3枚を、3本のU字ビームの上にボルト接合				
主な部材接合法	ボルト接合				
FRP の概要 （繊維・樹脂・部材形状・使用量等）	ガラス／ビニルエステル樹脂 ガラス／不飽和ポリエステル樹脂			引抜GFRP	○
				ハットレイGFRP	○
				ケーブル材	
				シート補強材	
FRP 適用による メリット	記述なし				
FRP 適用上の 問題点	記述なし				
その他 （注目すべき要素 技術等を抽出）	8人、8時間で設置できる。				
題目 （和訳タイトル）	Methods of Installation and the Structural Analysis of Two Short Span Composite Highway Bridges				
書名	International Composites EXPO'98				
巻頁	Session 4-E 写1		刊行年月	1998.1	
著者名	Richards,D., Dumlao,C., Henderson,M., Foster,D.				
論文概要	TECH21と対比しながら、設計、製作、試験の概要を紹介。				

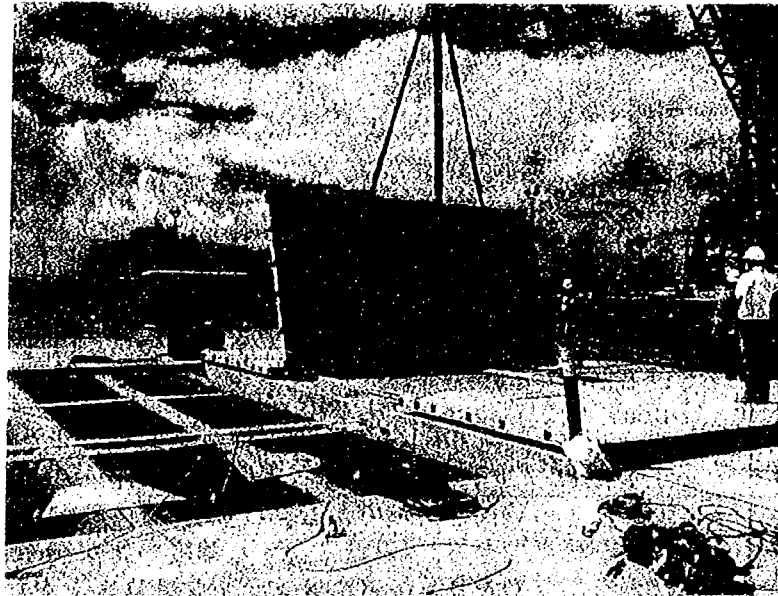
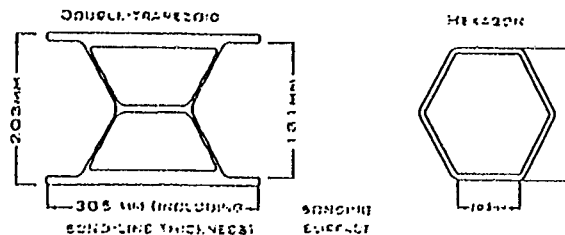


Figure 1: INEEL Bridge being installed, July 1997.

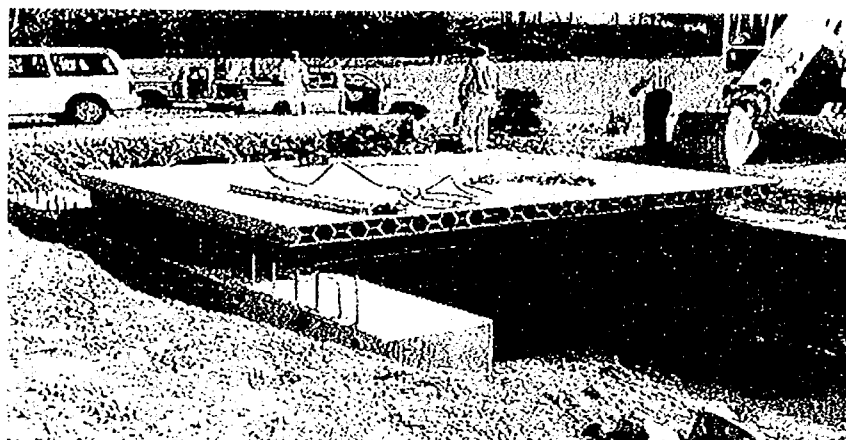
構造物名	LAUREL LICK BRIDGE		竣工年月	1997 年 5 月		
構造物種別	道路橋	所在地	アメリカ・ウエストバージニア州			
構造物概要	短支間 FRP 橋 橋長:6.10m、幅 4.88m					
FRP の適用部位	橋梁上部工のデッキスラブならびに梁部材					
主な部材接合法	部材の接合法：接着（工場） H-deck の接合法：インターロックで表面を接着する方式（現場）					
FRP の概要 （繊維・樹脂・部材 形状・使用量等）	・ファイバーに E-glass を、マトリックスにはビニエステルを使用している。ファイバーの体積混入率は 50～55%。 ・部材断面は六角形と台形形状の 2 種類であり、これを組み合わせてデッキスラブを製造している。(H-deck) ・H-deck の製造は、試作に VARTM (Vacuum Assisted Resin Transfer Molding) を、施工使用にプルトルージョンを用いている。	引抜 GFRP	○			
		ハドレイ GFRP	○			
		ケーブル材				
		シート補強材				
FRP 適用による メリット	・架設に要する時間が短縮できる。(現場作業の軽減) ・死荷重を軽減できる。(重量に対する強度の比が高くできる) ・部材の耐用年数を長くでき、メンテナンスコストを軽減できる。 ・計量であるため、架設時に大型重機を必要としない。					
FRP 適用上の 問題点	・イニシャルコストが高い。					
その他 (注目すべき要素 技術等を抽出)	・ AASHTO の高速道路橋の設計基準に基づき設計されている。 ・ 論文発表時には、両橋梁とも設計の段階。					
題目 (和訳タイトル)	Development and Demonstration of a Modular FRP Deck for Bridge Construction and Replacement 橋梁の建設および架け替えに用いる FRP 製デッキスラブの開発とその適用事例					
書名	52th SPI					
巻頁	Session 16-D		刊行年月	1997		
著者名	ROBERTO LOPEZ-ANIDO, HOTA V.S.GANGARAO, JONATHAN TROVILLION And JOHN BUSEL					
論文概要	FRP 成形材を試験的に実橋梁に適用することが計画されている。この計画における成型方法には、VARTM とプルトルージョンの 2 種類を用いている。VARTM 製法は人手に頼ることが多く、初期投資が少なくすむが大量生産には向いていない。プルトルージョン製法は、大型設備を必要とするため初期投資が大きくなるが、大量生産が可能である。FRP 成形材は橋梁デッキスラブの架け替え、あるいは新設において有効であり、また、すべての部材を FRP 成形材によって橋梁上部工を構築することが可能である。					

(他の参考文献)

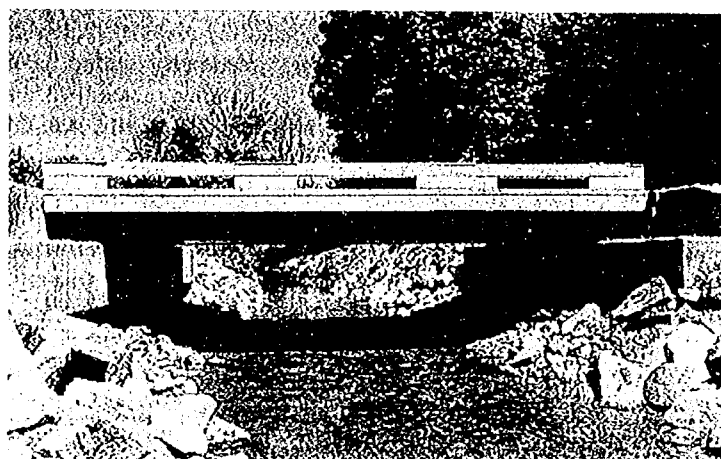
1) R. Lopez-Anido, H.V.S. Gangarao, D. Troutman, D. Williams : "Design and Construction of Short-Span Bridges with Modular FRP Composite Deck (FRP 複合床版を使用した短支間橋の設計と建設)", ICCI 2, pp.705-714, 1998



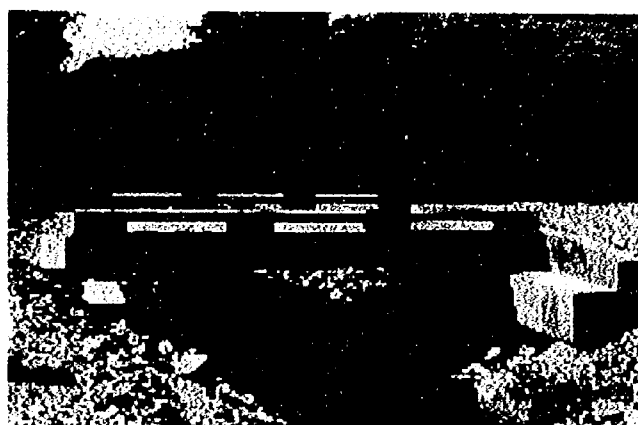
図一1 FRP デッキ構造



図一2 Laurel Lick Bridge 施工状況

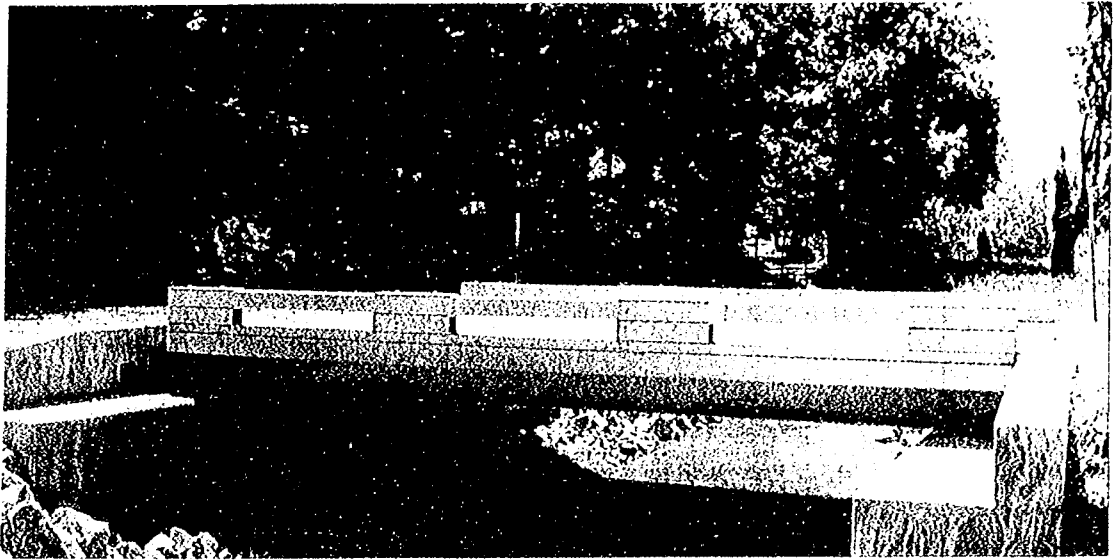


図一3 Laurel Lick Bridge 正面図



図一4 Wickwire run Bridge 正面図

構造物名	The West Virginia FRP composite bridge		竣工年月	1997 年 5 月	
構造物種別	車道橋		所在地	アメリカ・ウェストバージニア州	
構造物概要	ウェストバージニア州ローレルリック川に架かる道路橋 (スパン 6.1m : 20ft)				
FRP の適用部位	橋全体 ・ 支持杭 (FRPパイプ) : ワイトフランジ桁 (30cm×30cm×1.3cm厚) を使用 →鉄筋コンクリート製のキャップ付き ・ 桁 : ワイトフランジ桁 (30cm×30cm×1.3cm厚×6.1m長) 6本 ・ 床版 : ハニカム構造パネル (1.83m×0.61m×0.14m厚、壁厚4.7mm、5ウェブ) →3部材で 6.1m 長さの床版を構成				
主な部材接合法	床版部材の組立て (六角形部材+台形部材) および桁+床版の接合には高強度粘着性ボンドを使用。				
FRP の概要 (繊維・樹脂・部材形状・使用量等)	引拔成型により部材を作製 素材として以下のものがある。 ・ Eガラスの3軸メッシュ布地 (ファブリック) ・ チョップドファイバー (短繊維) の板状繊維 (CSM) ・ 連続繊維 (ロベキング) 部材として、上記素材から以下のものが造られている。 ・ AC1 部材 (桁) ・ A2 部材 (パイプ) ・ H-床版			引拔GFRP	○
				ハットレイGFRP	
				ケーブル材	
				シート補強材	
FRP 適用によるメリット	引拔成型された複合床版部材とその構成システムとの使用により、 ・ 施工が早い (既に造られている部材の設置のみ) ・ 重機が不要 (床版 1 枚の重さは1134kgのためバックホーで吊れる) ・ 供用期間が長い (ひび割れ、腐食を生じない) 高価でない (設置費、維持管理費が安く供用期間が長いので、材料が高価であるという初期費用を相殺することができる)				
FRP 適用上の問題点	本文中に記述なし				
その他 (注目すべき要素技術等を抽出)	・ 床版は、厚さ9.5mmのポリマーコンクリートで被覆。				
題目 (和訳タイトル)	Light but Strong				
書名	Roads & Bridges				
巻頁	pp.38-40		刊行年月	1997.8 月	
著者名	なし Creative Pultrusions Inc.社 配布技術情報				
論文概要	ウェストバージニア州ローレルリック川に架かるスパン 6.1m (20ft) の道路橋 (国道 26 号線) を、劣化した木橋から FRP 橋に架け替えた。施工は、FRP 部材を引拔成型で作成し現地で部材を組み立てる方法であり、施工所要日数は 23 日であった。1997 年 5 月から供用している。橋の長期挙動把握のために、計測を実施している。				

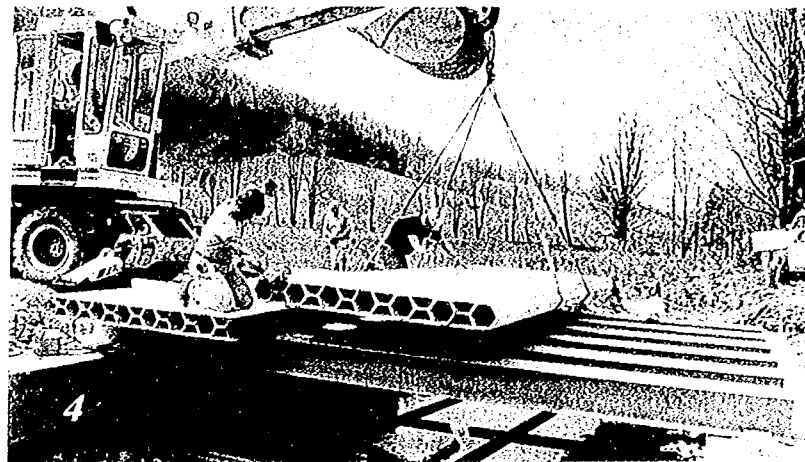


図一 1 ウェストバージニア州 FRP 橋開通 (5 月)



図一 2 第一デッキ部品の設置

図一 3 柱杭の取付け



図一 4 デッキ部品の設置中

構造物名	MAGAZINE DITCH BRIDGE	竣工年月	1997年6月23日
構造物種別	車道橋	所在地	Delaware州
構造物概要	22m長、6m巾の1スパン単純支持橋		
FRPの適用部位	床版 (すべてACMでなく、エッジ部はボステンのコンクリート部材を使用)		
主な部材接合法	ジョイントなし		
FRPの概要 (繊維・樹脂・部材 形状・使用量等)	GF/ビニルエステル ハニカム構造で発泡体充填(発泡体材質の記述無し)	引抜GFPRP バッドレイGFPRP ケーブル材 シート補強材 ハニカム材	☐
FRP適用による メリット	デザインの複雑さや耐久性がある。 今までの橋よりもライフサイクルコストが良い。 コンクリートのエッジ部も含めて1日で修復		
FRP適用上の 問題点	イニシャルコストが従来のもよりも高い。		
その他 (注目すべき要素 技術等を抽出)	橋の全長間で、高低差とカーブが存在する。		
題目 (和訳タイトル)	Advanced Composite Bridges in Delaware (デラウェア州の先端複合材橋)		
書名	ICCI'98		
巻頁	Vol. 1	刊行年月	1998年
著者名	M. Chajes, J. Gillespie, D. Mertz, H. Shenton		
論文概要	デラウェア州ではここ数年で3ヶ所ACMを使用する橋の建造が予定されている。それぞれの橋は各種モニターされて研究所のテストと合わせ検討される。今回のこの橋は75年の寿命で計画されている。		

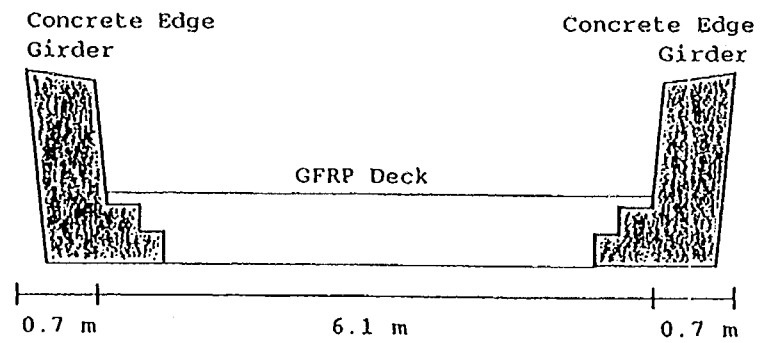


Figure 2. Typical Cross-Section of Magazine Ditch Bridge

構造物名	The Tom's Creek Bridge	竣工年月 補修年月	1997. 7
構造物種別	車道橋	所在地	Virginia 州 Blackburg
構造物概要	Virginia 州 Blackburg の Tom's Creek にかかる橋。幅 24', 高さ 17.5' 斜角 15°。1932 年に建造、1964 年に再架設。床版は、木製。		
FRP の適用部位	床版の桁を、鋼製の広幅フランジの梁の代わりに、FRP 製の箱形 I ビームで置き換える。		
主な部材接合法	ボルト接合 (材質不明)		
FRP の概要 (繊維・樹脂・部材・形状・使用量等)	高さ 8inch の箱形 I ビーム (引抜材)。 補強材 - ガラスおよび炭素繊維 (炭素繊維は、断面の曲げ剛性を上げるためフランジの部分に配置)。 マトリックスは、ビニルエステル樹脂	引抜 GFRP	○
		ハンドレイ GFRP	
		ケーブル材	
		シート補強材	
FRP 適用によるメリット	・メンテナンスフリー ・木製床版のたわみ剛性の改善		
FRP 適用上の問題点	・FRP の湿度・温度など環境条件に関する耐久性データがない。		
その他 (注目すべき要素技術等を抽出)	・解析により、FRP 製箱形 I ビームがこの橋に適用できることを確認。AASHTO の HS-20 の荷重 (最悪の荷重) に対して、ビームに生じる力: 3500lb (試験によるビームの強度: 29000lb)。最大たわみ: 0.75inch。		
題目 (和訳タイトル)	1. Tom's Creek 橋の複合上部構造のラボび野外における特性研究 2. Tom's Creek 橋の補修と屋外における耐久性に関する研究		
書名	1. ICCI'98 Second International Conference on Composites in Infrastructure 2. S P I 5 2 t h		
巻頁	1. Pp.634-644 2. Session 9-E pp.1-6	刊行年月	1998
			1997
著者名	J.Lesko,J.L.,et.,al.		
論文概要	・長期間使用した橋の修理の際に、鋼製の梁をFRP製の箱形 I ビームに置き換え、実使用環境下での耐久性試験を行う。試験期間は、10 年以内を予定。特に腐食の抵抗性の評価が得られると期待。また、新規に開発した箱形 I ビームの載荷試験を実施し、その結果を報告。木製床版のたわみ剛性が改善された。		

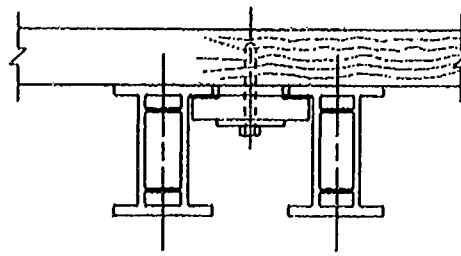


Figure 4. A typical spanner connection used to secure the timber deck to the composite superstructure.

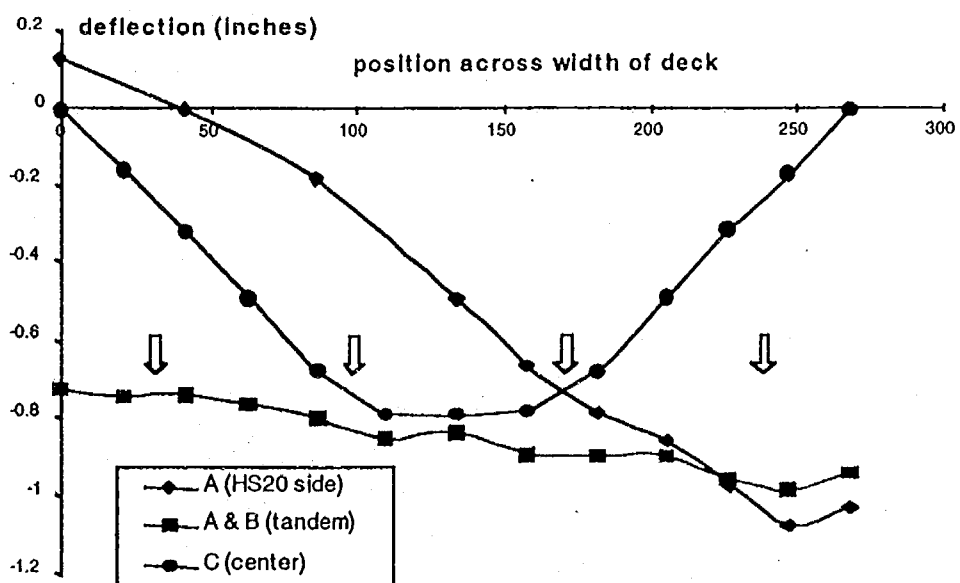
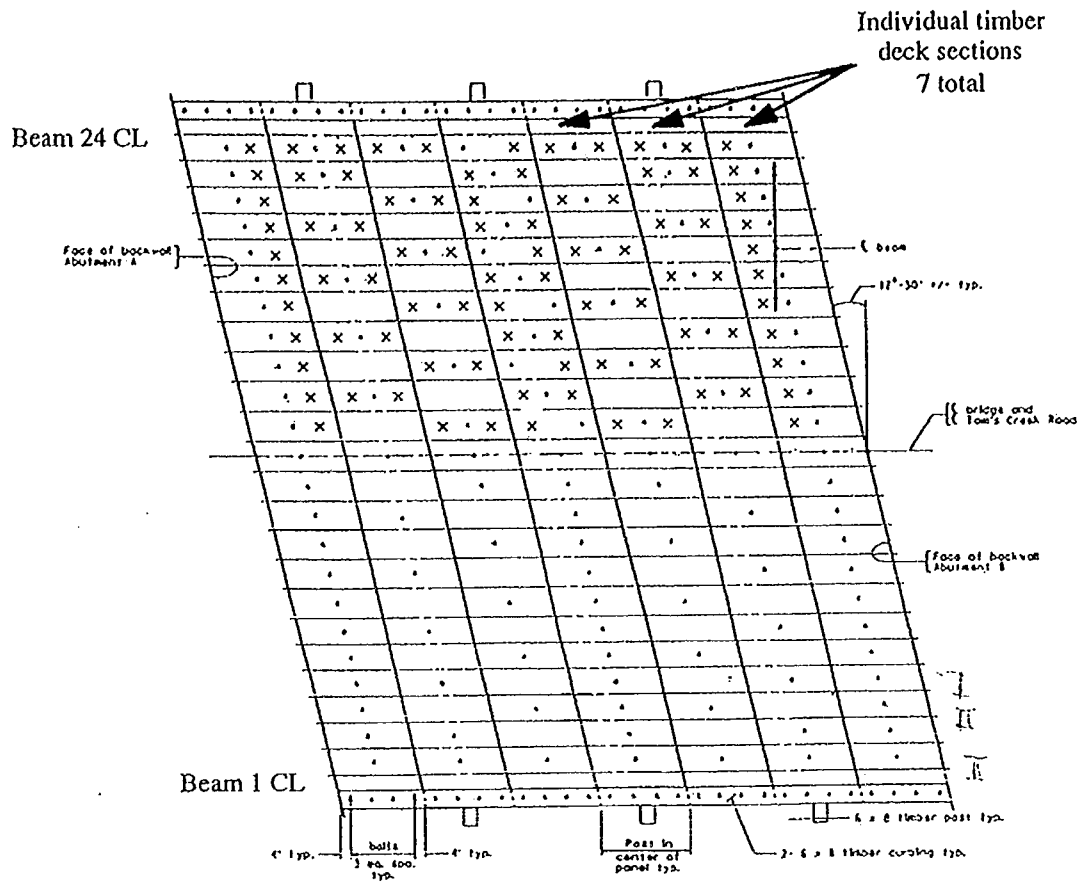


Figure 6 . Timber deck deflections under each loading scenario measured along the centerline of the middle deck section. The arrows indicate the loading points.

(白 紙)

R13

構造物名	TECH 2 1		竣工年月	1997年7月	
構造物種別	道路橋	所在地	Route 128 Butler County, Ohio		
構造物概要	長さ10.1m, 幅7.3m, 深さ838mm。 Lockheed Martin の開発。 Modular design.				
FRP の適用部位	床版：スキン下面 [45/0/-45][45/90/-45]の3軸スティッチ織物 上面[45/0/-45][45/90/-45] [45/0/-45]の3軸スティッチ織物 コア 台形断面引抜パイプ。 ビーム：U字ビーム（INEELよりは平面）				
主な部材接合法	ボルト・接着併用。				
FRP の概要 （繊維・樹脂・部材形状・使用量等）	ガラス／不飽和ポリエステル樹脂			引抜GFRP	○
				ハブレイGFRP	○
				ケーブル材	
				シート補強材	
FRP 適用によるメリット	記述なし				
FRP 適用上の問題点	記述なし				
その他 （注目すべき要素技術等を抽出）	15人, 3時間で設置。 米国で3番目のオールコンポジット橋とあるが, 1, 2番目が何かは不明。				
題目 （和訳タイトル）	Methods of Installation and the Structural Analysis of Two Short Span Composite Highway Bridges				
書名	International Composites EXPO'98				
巻頁	Session 4-E 写1, 図2		刊行年月	1998.1	
著者名	Richards,D. , Dumlao,C. , Henderson,M. . Foster,D.				
論文概要	INEEL と対比しながら, 設計, 製作, 試験の概要を紹介。				

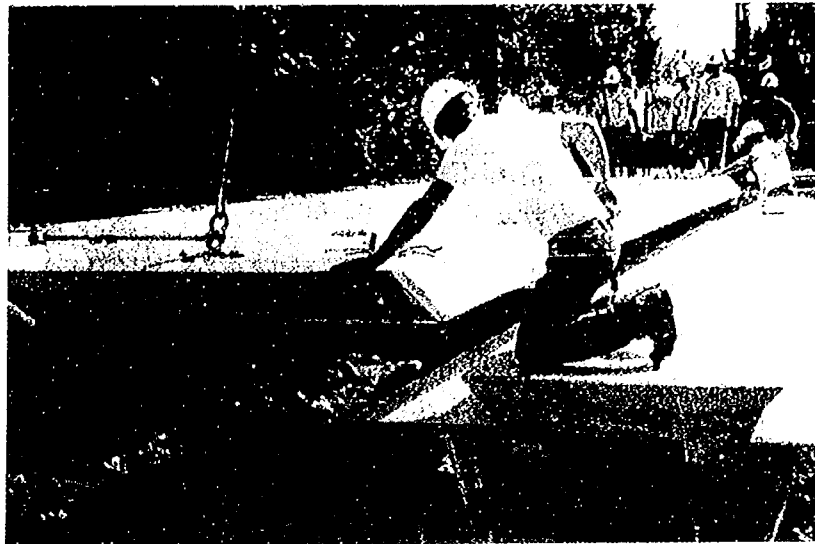


Figure 2: Installation of the TECH 21 Bridge in Butler County, Ohio, 7/8/97.

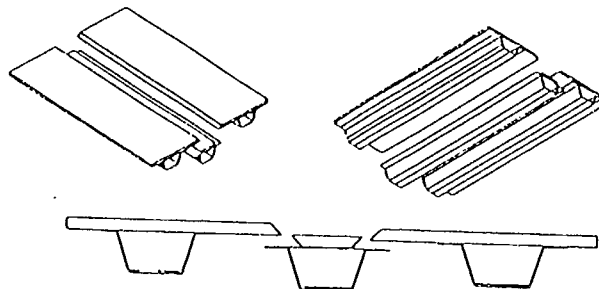


Figure 3: Sketch of the TECH 21 Bridge Design.

CONCLUSIONS

Comparison of the Bridges shows advantages and disadvantages:

<u>Difference</u>	<u>INEEL</u>	<u>TECH 21</u>	<u>Comments</u>
Structure	Components	Modular	Modular was easier to ship and installation was quicker.
Deck Tubes	Square	Trapezoid	Shows stiffer deck and less face sheets to reduce costs.
Beams	Rounded	Flat	Not clear yet.

R14

構造物名	“WICK WIRE RUN BRIDGE”		竣工年月	1997 年 9 月		
構造物種別	車道橋	所在地	アメリカ・ウェストバージニア州、デーラー郡			
構造物概要	・ 4 本の鋼製主桁上（間隔 1.83m）の FRP 床版 ・ FRP 床版の長さ 9.14m、幅 6.60m					
FRP の適用部位	・ 橋梁上部工の床版					
主な部材接合法	・ 部材の接合方法：接着（工場） ・ H 床版の接合方法：インターロックで表面接着（現場）					
FRP の概要 （繊維・樹脂・部材形状・使用量等）	・ ファイバーに E-glass を、マトリックスにはビニルエステルを使用している。ファイバーの体積混入率は 50～55%。 ・ 部材断面は六角形と台形の 2 種類であり、これを組合せてモジュール型床版を製造している。 ・ H 床版の製造は、試作にハットレイ材(VARTM)、実施工に引抜材を用いている。			引抜 GFRP	○	
				ハットレイ GFRP	○	
				ケーブル材		
				シート補強材		
FRP 適用によるメリット	・ 架設に要する時間が短縮できる。（現場作業の軽減） ・ 死荷重を軽減できる。（重量に対する強度の比を高くできる。） ・ 部材の耐用年数を長くでき、メンテナンスコストを軽減できる。 ・ 軽量のため、架設時に大型重機を必要としない。					
FRP 適用上の問題点	・ イニシャルコストが高い。 ・ たわみやすい。 ・ 鉛直方向の剛性は、補強コンクリートの約 50% である。					
その他 （注目すべき要素技術等を抽出）	・ AASHTO の高速道路橋として設計されている。 ・ 部材スパン／たわみ ≥ 500 （たわみ限界）とする。 ・ 六角形の断面は、高い荷重容量、エネルギー吸収、疲労効果がある。					
題目 （和訳タイトル）	Development and Demonstration of a Modular FRP Deck for Bridge Construction and Replacement（橋梁の建設と取替えのためのモジュール型 FRP 床版の開発とデモンストレーション）					
書名	52th SPI					
巻頁	Session 16-D		刊行年月	1997		
著者名	R. Lopez-Anido, H.V.S. Gangarao, J.Trovillion J.Busel					
論文概要	州と連邦の研究機関及び複合材料業界の共同で、腐食しない複合材料で作られたモジュールを用いて劣化したコンクリート橋床版を取替える計画のシステムが開発された。デッキモジュールは強化された交差断面と繊維構造により設計されている。試作テストとフィールド実証における床版はハンドレイと引き抜き成形により製作された。複合材デッキシステムは経年のコンクリート橋床版の取替、新しい橋の床版建設及びすべて複合材からなる短支間橋への利用が期待されている。 写真 0、図 2、表 0					

(他の参考文献)

1) R. Lopez-Anido, H.V.S. Gangarao, D. Troutman, D. Williams : "Design and Construction of Short-Span Bridges with Modular FRP Composite Deck (FRP 複合床版を使用した短支間橋の設計と建設)", ICCI 2, pp.705-714, 1998

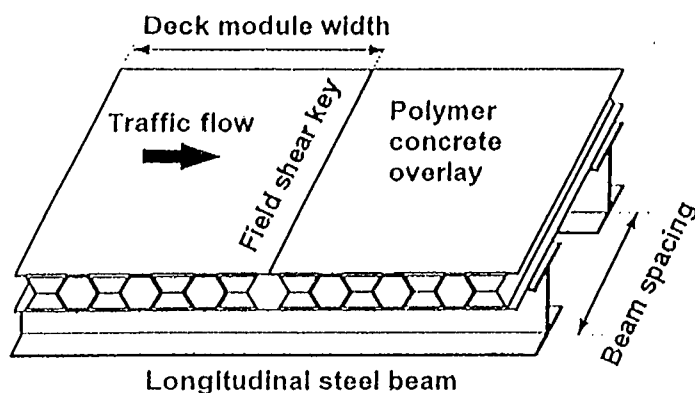


Figure 1. PORTION OF FRP DECK SUPPORTED ON STEEL BEAMS

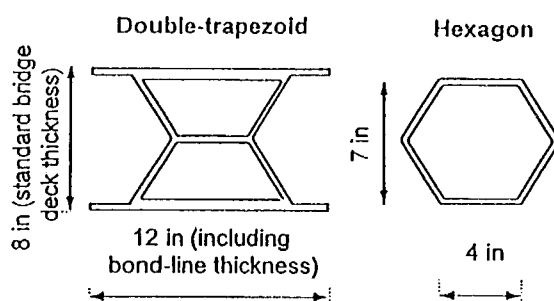


Figure 2. PULTRUDED COMPONENTS

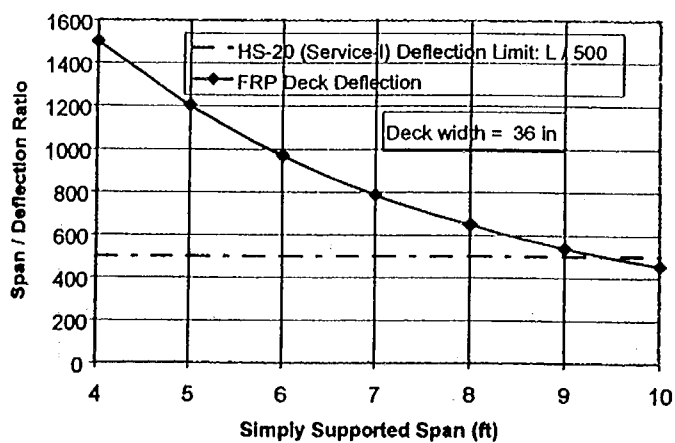


Figure 4. Deck Load-Deflection Ratio under a Wheel Load

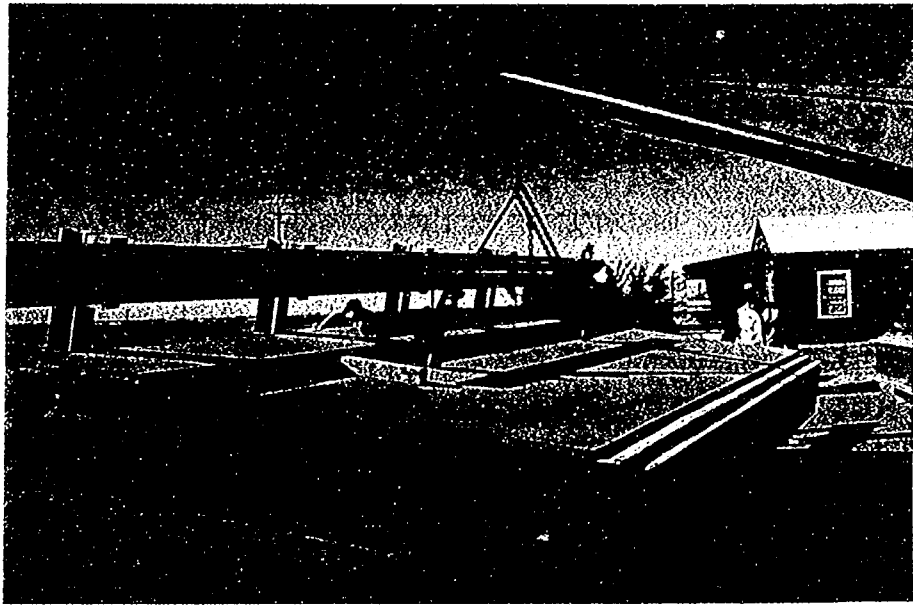


Figure 5. Wickwire Ruh Bridge

構造物名	“Russel Country Bridge.”		竣工年月	記載なし
構造物種別	道路橋	所在地	Russel Country,Kansas,US.	
構造物概要	橋長 7.1m、重量 11t の小スパンオール FRP 橋 (Russel County bridge)			
FRP の適用部位	主部材、高欄			
主な部材接合法	(不明)			
FRP の概要 (繊維・樹脂・部材 形状・使用量等)	ポリエステル樹脂が 60%で 40%のガラス繊維を混入した、ハニカム FRP 板 (蜂の巣状の芯を挟み込んだ板) 施工 : Kansas Structural Composite,inc. 樹脂 : Alpha/Owens Corning(AOC) 繊維 : Vetrotex Certain Teed the glass fibres Brunswick Technologies and ITW Plexus 以上 3 社 ~ガラス繊維 《研究グループ》 ・Kansas Structural Composite INC. ・Resin:Alpha/Owens Corning. ・Glass fivers:Vetrotex Certainteed. ・Reinforcements:Brunswick Tecnologies & ITW.	引抜 GFRP		
		ハットレイ GFRP		
		ケーブル材		
		シート補強材		
		記載なし		
FRP 適用による メリット	・ボール紙形状 (蜂の巣状の芯を挟み込んだ板) 及び製造技術の工夫により、強い・低コスト・軽量といったメリットがある ・軽量な為、部材の工場生産と運搬及びクレーン架設が容易である。 ・本橋梁は、既設橋梁の急速架け替え実証施工として行われたもので、8~16 時間で架け替えが可能となる。			
FRP 適用上の 問題点	(特に記載なし)			
その他 (注目すべき要素 技術等を抽出)	本文中では、他に下記構造物が紹介されている。 ・ガラス繊維(46%)、炭素繊維(9%)混入引き抜き部材(フェノール樹脂)を用いた、2 本の I 桁による箱桁~新設、既設構造物の耐力改善 社名 : MMFG ・ガラス繊維混入率 12%の加圧整形部材を用いた道路照明システム 社名 : Zehro Plastics ・フェアフィールドホテルチェーンのガラス繊維引き抜き整形部材(ポリエステル樹脂)による非常階段 他			
題目 (和訳タイトル)	Bridges are best at SPI. (SPI では橋が一番)			
書名	Reinforced Plastics April 1997.			
巻頁	VOL.41, NO.4, PAGE.72-73,75,78	刊行年月	1997.4	
著者名	(特に記載なし)			
論文概要	ナッシュビルで開催された ICE 97 でカウンターポイズ優秀設計賞を受賞した、架橋プロジェクトについて挙げている。 受賞橋梁は、カンザス州のラッセル地方の小川に架けられた道路橋 (Russel County bridge)である。 また、本文では、他の FRP 構造物についても数件が報告されている。			

(他の参考文献)

" A COMPOSITE SKETCH. " CIVIL ENGINEERING, JANUARY, 1998



LIGHTWEIGHT FIBERGLASS COMPOSITES ALLOWED EASIER INSTALLATION OF SECTIONS OF THE 23.3 FT LONG NO-NAME CREEK BRIDGE IN RUSSELL COUNTY, KANSAS.

図－1 Russel County Bridgeの架設状況

R16

構造物名	“モジュール型 FRP 製橋梁用床版”		竣工年月	試験	
構造物種別	道路橋		所在地	Morgantown, West Virginia, US	
構造物概要	ハニカム形状の断面を有する FRP 製橋梁用床版で、ハニカム断面とすることにより上載荷重に抵抗させている。製品名 H-deck system				
FRP の適用部位	床版全体				
主な部材接合法	接着				
FRP の概要 (繊維・樹脂・部材 形状・使用量等)	E-Glass 製の布をビニルエステル樹脂で貼り合わせたもの。(Brunswick Technologies, INC 製) ハニカムを構成する各部材の材質は別添の表に示すとおり。曲げ剛度は $8.42 \times 10^3 \text{Kn}$ VARTM=Vacuum Assisted Resin Transfer Molding 《研究グループ》 •West Virginia Univ. •E-Grass: Brunswick Technologies INC. •VARTM: Hard Core-Dipont, LLC.			引抜 GFRP	
				ハッドレイ GFRP	
				ケーブル材	
				シート補強材	
				VARTM	○
FRP 適用による メリット	(特に記載なし)				
FRP 適用上の 問題点	1. 路面の走行性確保のために、許容応力に対して床版面に生じる応力は設計上十分な余裕をとる必要がある。 2. FRP 製橋梁用床版の終局状態の設計は最大たわみにより制御する必要がある。(たわみが大きい)				
その他 (注目すべき要素 技術等を抽出)	研究は米国軍の CPAR program の支援と、Federal highway Administration の支援を受けて行われた。				
題目 (和訳タイトル)	Design and Evaluation of a Modular FRP Bridge Deck (モジュール型 FRP 製橋梁用床版の設計と評価)				
書名	52th SPI(1997) Session 3-E				
巻頁	Session 3-E/1 ~ /6		刊行年月	1997	
著者名	Roberto LOPEZ-ANIDO, Hota V.S.GANGARAO, Venkata VEDAM, Nikki OVERBY				
論文概要	本論文は multi-axial fiber 構造のハニカム形状のモジュール型 FRP コンポジット橋梁用床版の特性に関するものである。FRP H-decks(訳者注:ハニカム形状をしたモジュール型 FRP 製橋梁用床版の製品名)は工学的なアプローチで設計・製造を行った。FRP H-decks の静的載荷試験・疲労試験結果を示した。FFM 解析と実験結果を比較した。道路橋用 FRP 床版の限界状態設計方法を提示した。FRP H-decks の設計は限界たわみにより定められる。				

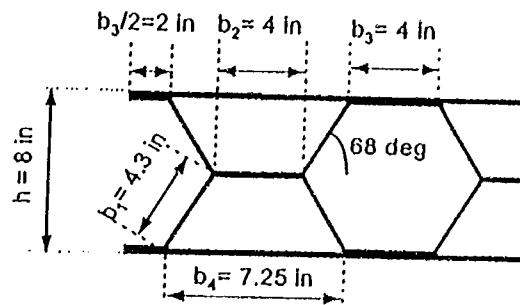


図-1 H-DECKの断面図

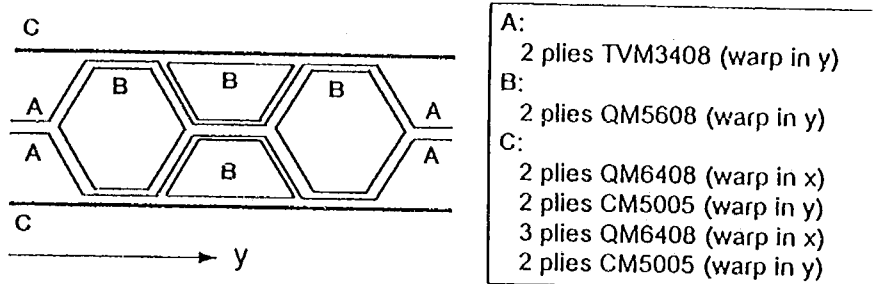


図-2 H-DECKの使用繊維材料

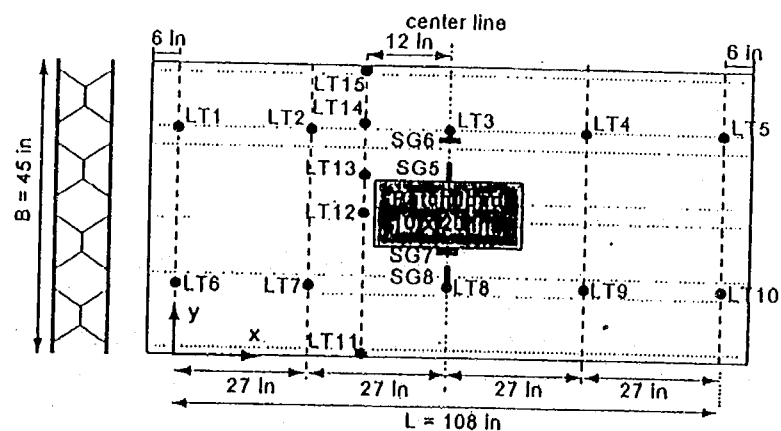


図-3 供試体の寸法

構造物名	“モジュール型複合道路橋”		竣工年月	試験
構造物種別	道路橋	所在地	Palo Alto Labo, California, US	
構造物概要	スパン、30 フィートのU型断面を有する単純橋			
FRP の適用部位	上部工橋体の全部 (U型梁、箱型断面スラブ)			
主な部材接合法	接着			
FRP の概要 (繊維・樹脂・部材 形状・使用量等)	・ハンドレイアップしたガラス繊維性のU型梁 (4 プライ半等方性の heavy weight ガラス繊維フ ァブリックをポリエステルレジンを用いてハン ドレイアップ、U型梁相互の連絡は heavy weight ガラス繊維ファブリックでハンドレイ アップ) ・床版は連続引抜整形した角形管を並べて、上下 をガラス繊維ファブリックでサンドウィッチし た構造 (相互の連結は、ポリエステル樹脂 or ビ ニルエステル樹脂で接着) 《研究グループ》 ・Lockhead Martin Missiles & Space INC.	引抜GFRP		
		ハンドレイGFRP		○
		ケーブル材		
		シート補強材		
FRP 適用による メリット	軽量さ・耐腐食性・設計の自由度が大きい			
FRP 適用上の 問題点	・建設コストが高い→本論文では材料コストを最小限にとどめる ～即 ち、安い材料を最小の量だけ使う～ ことによって、コスト低減が可 能としている。その方法として、本論文では多室セル箱桁型式と直交 異方性梁による設計が行われている。 ・(一般論として、長期の耐久性とメンテナンスに対する信頼性に乏し い)			
その他 (注目すべき要素 技術等を抽出)	将来、部材同志のボルト接合や接着 (ハンドレイアップしない)、床版 部材のプレハブ化を行う予定。			
題目 (和訳タイトル)	DEMONSTRATION LOW-COST MODULAR COMPOSITE HIGHWAY BRIDGE (低コストモジュール型複合道路橋の実証試験)			
書名	ICCI'96			
巻頁	PP.1141-1155	刊行年月	1996	
著者名	C.Dumlao, K.Lauraitis, E.Abrahamson, B.Hurlbut, M.Jacoby A.Miller, A.Thomas			
論文概要	高分子複合材料を交通道路橋の材料として用いることは、軽量・高強度・ 高弾性・耐腐食性といったメリットもあるが、ハイコスト・構造の信頼 性が乏しい等のデメリットもある。そこで、Lockheed Martin 社のパ ル・アルト研究室で、支間 120 フィート未満の単純橋をターゲットに、 支間 30 フィートの高分子複合材料製の実物大試験橋梁の設計・建設・ 試験を行い、設計指針から構造上の信頼性確認試験までを行った。			

(他の参考文献)

- 1)"Plastics & Composites in Construction." Engineering News-Record(ENR) Special Advertising Section, Nov.27, 1995
- 2)"Bridging the Cost Gap with Composites." Mechanical Engineering, pp.76~77, Feb., 1995

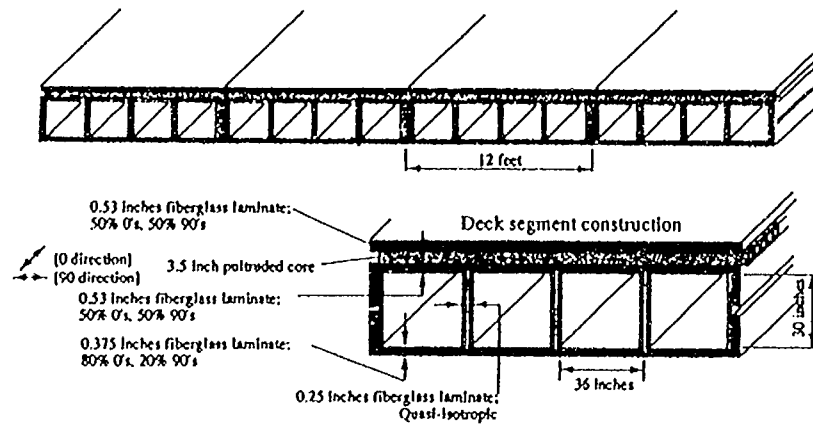


図-1 橋長60ft, 幅員48ftの多室箱桁橋のコンセプト

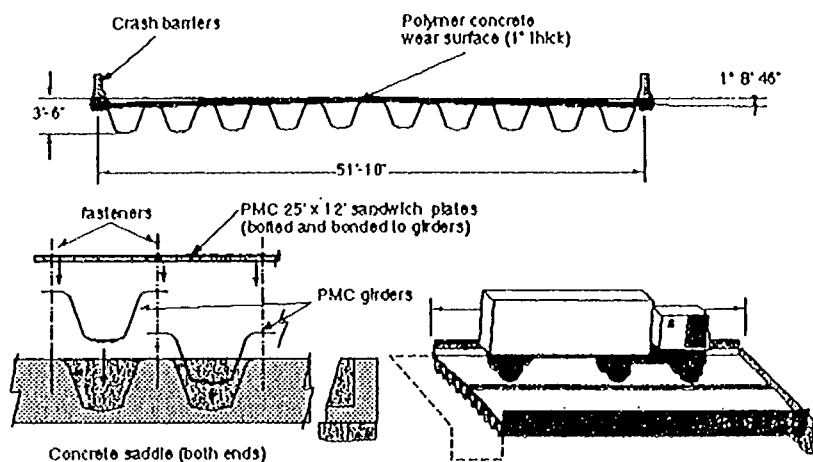


図-2 多室多主桁橋のデザインコンセプト

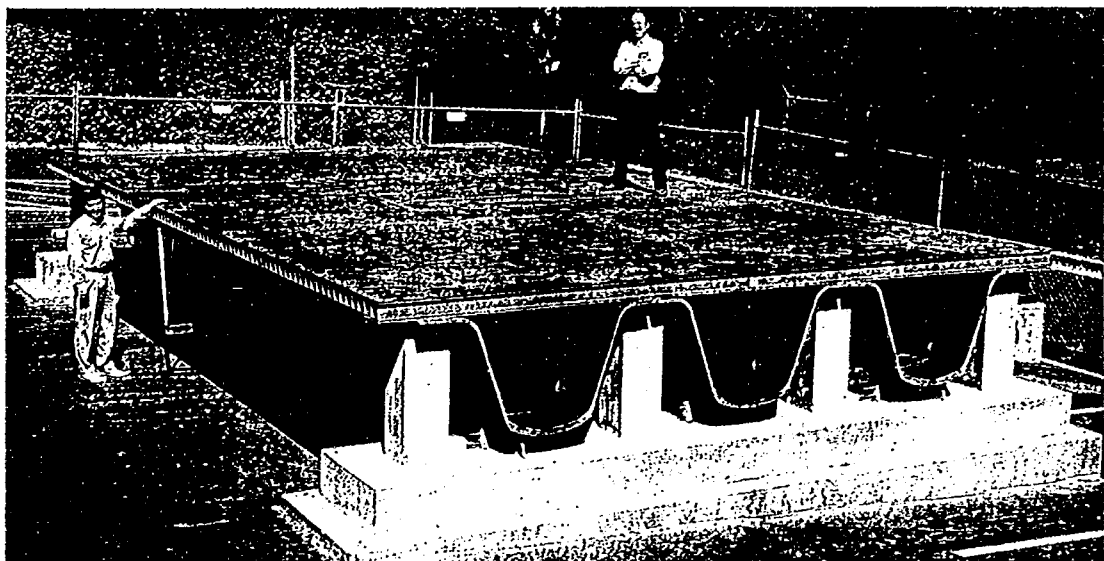


図-3 橋長30ft, 幅員18ftのデモンストレーション道路橋

構造物名	“The Mckinleyville Bridge” (マッキンレイビル橋)		竣工年月	記述なし		
構造物種別	車道橋 (3 スパン連続橋)	所在地	アメリカ・ウエストバージニア州、マッキンレイビル市			
構造物概要	・ バッファロークリークに架かる長さ 54m、幅 9 m の橋。現行の橋は、3 年に 1 回の検査によって補修を要する必要があったため、新たに現行の 60m 下流に新橋を架けることになった。					
FRP の適用部位	・ コンクリート床版中に F R P 棒部材を埋設し、コンクリート床版を補強する。					
主な部材接合法	・ 棒部材を 2 種類の繊維 (弦材) と一緒にらせん状に巻きつける。その後、エポキシ樹脂でコーティングし、砂をかける。(長手方向の接合法は記述なし)					
FRP の概要 (繊維・樹脂・部材形状・使用量等)	・ 棒部材は重量で 75% の繊維と 25% の樹脂でできている。 ・ 繊維は 1kg が 227m 分に相当する E ガラス。 ・ 樹脂はポリエステルやウレタンに浸さず新しくフェノールビニールエステルを適度な回数浸した isophthalic と呼ばれる材料である。			引抜 G F R P	○	
				ハドレイ GFRP		
				ケーブル材		
				シート補強材		
FRP 適用によるメリット	・ 鋼材を床版補強材として使用する場合、腐食防止の見地からにもかぶりコンクリート厚 50～65mm を必要とした。これが FRP を使用するとそれ自身腐食しないので、かぶり厚さを 40mm まで低減できる。 ・ FRP 部材は鋼材に比べ弾性係数が低く、コンクリート版のたわみ等によるひび割れ幅を小さくできる。					
FRP 適用上の問題点	・ 記述なし。					
その他 (注目すべき要素技術等を抽出)	・ FRP の強度や耐久性についての研究は、かねてからウエストバージニア大学の建設施設センター (CFC) やウエストヴァージニア道路部 (WVDOH) 等で行われており、研究結果は高速道路橋の標準仕様書に反映されている。この橋は、これらの研究を実際に実構造物に適用した例についての報告である。					
題目 (和訳タイトル)	The Mckinleyville Bridge-An Innovative Fiber Reinforced Plastic, Concrete and Steel Bridge (マッキンレイ橋ー革新的な FRP、コンクリート及び鋼からなる合成構造橋)					
書名	Off Proc Annu Int Bridge Conf					
巻頁	Vol.13 th PAGE. 304-309		刊行年月	1996		
著者名	Barry Dickson, Sanjeev Kumar, Hemanth Thippeswamy					
論文概要	この文献は、FRP コンクリート鋼橋の共同研究者である連邦道路管理局、CFC、WVDOH、およびプラスチック製造業者が FRP で補強したマッキンレイビル橋の設計に際し、その研究経緯と FRP 特性さらに実験室での研究内容について紹介し、実際に設計を行った内容について記載したものである。 写真 0、図 2、表 0					

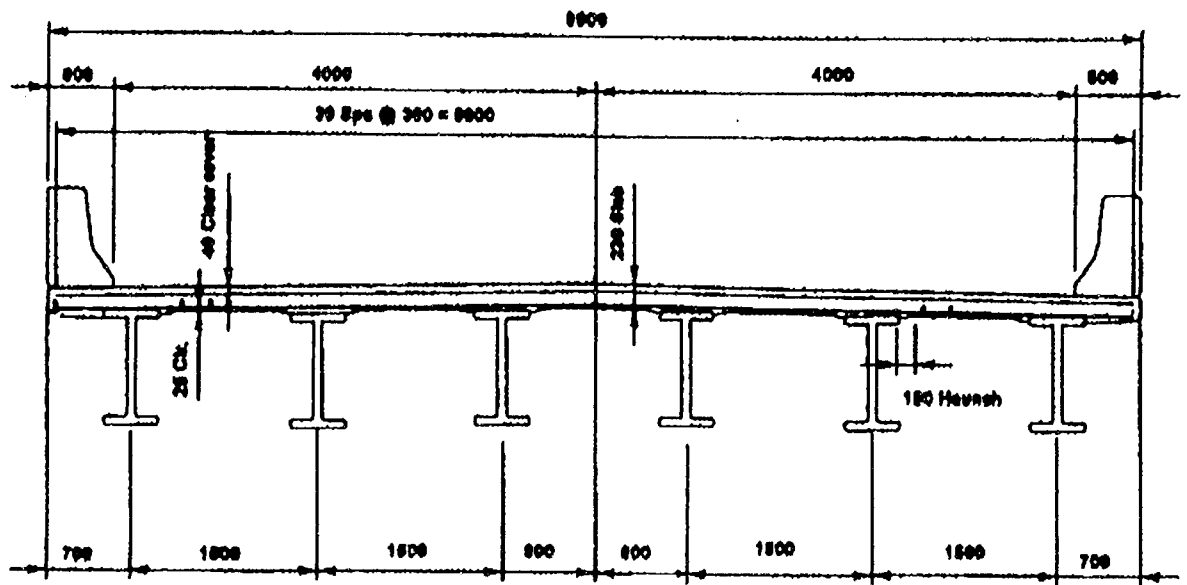


Figure 2 Cross Section of the McKinleyville Bridge

構造物名	BRIDGE 12		竣工年月	未定 (設計初期段階)	
構造物種別	高速道路車道橋	所在地	Delaware州 Route 13		
構造物概要	幹線の高速道路の橋として現存する物を建て替える計画。 3スパンを予定。				
FRPの適用部位	床版				
主な部材接合法	Transverse Joint 詳細不明				
FRPの概要 (繊維・樹脂・部材 形状・使用量等)	GF／ビニルエステル ハニカム構造で発泡体充填（発泡体材質の記述無し）		引抜GFRP		
			バットレイGFRP		
			ケーブル材		
			シート補強材		
			ハニカム材		○
FRP適用による メリット	デザインの複雑さや耐久性がある。 今までの橋よりもライフサイクルコストが良い。				
FRP適用上の 問題点	イニシャルコストが従来の物よりも高い。				
その他 (注目すべき要素 技術等を抽出)	橋の全長間で、高低差とカーブが存在する。				
題目 (和訳タイトル)	Advaced Composite Bridges in Delawaare (デラウェア州の先端複合材橋)				
書名	I C C I ' 9 8				
巻頁	V o l . 1		刊行年月	1998年	
著者名	M. Chajes、J. Gillespie, D. Mertz, H. Shenton				
論文概要	デラウェア州ではここ数年で3ヶ所ACMを使用する橋の建造が予定されて いる。それぞれの橋は各種モニターされて研究所のテストと合わせ検討され る。今回のこの橋は75年の寿命で計画されている。				

(白 紙)

構造物名	BRIDGE 1-351		竣工年月	1998年 予定	
構造物種別	車道橋	所在地	Delaware州	Wilmington	
			Route	896	
構造物概要	9m長、8m幅の1スパン単純支持橋 (現存する9m長、12m幅のコンクリート橋の建て替え)				
FRPの適用部位	床版				
主な部材接合法	1ヶ所以上のジョイントを有する。詳細不明				
FRPの概要 (繊維・樹脂・部材 形状・使用量等)	GF/ビニルエステル ハニカム構造で発泡体充填(発泡体材質の記述無し)		引抜GFRP		
			ハットレイGFRP		
			ケーブル材		
			シート補強材		
			ハニカム材		○
FRP適用による メリット	デザインの複雑さや耐久性がある。 今までの橋よりもライフサイクルコストが良い。				
FRP適用上の 問題点	イニシャルコストが従来の物よりも高い。				
その他 (注目すべき要素 技術等を抽出)	all composite slab FRP表面にポリマーコンクリート又はラテックスを設ける				
題目 (和訳タイトル)	Advaced Composite Bridges in Delawaare (デラウェア州の先端複合材橋)				
書名	ICCI'98				
巻頁	Vol. 1		刊行年月	1998年	
著者名	M. Chajes、J. Gillespie, D. Mertz, H. Shenton				
論文概要	デラウェア州ではここ数年で3ヶ所ACMを使用する橋の建造が予定されて いる。それぞれの橋は各種モニターされて研究所のテストと合わせ検討され る。今回のこの橋は75年の寿命で計画されている。				

(白 紙)

構造物名	LONGSPAN PRESTEK (E. T. Techtonics Inc.)		竣工年月	1990 年代	
構造物種別	歩道橋 (トラス橋)		所在地	アメリカ・サンフランシスコ	
構造物概要	・ 支間 L=10.7m (FRP 重量 650kg、総重量 1363kg) L=21.4m (FRP 重量 2350kg、総重量 3636kg)				
FRP の適用部位	・ 鉛直圧縮部材、対角引張部材、水平緊張剤				
主な部材接合法	・ 金属金具				
FRP の概要 (繊維・樹脂・部材形状・使用量等)	・ 繊維・樹脂 ガラス繊維／イソフタル酸ポリエステル樹脂 ・ 部材形状 チャンネル (203.3mm) 中空管 (50.8×50.8×6.4mm) 圧縮、引張、曲げ強度：25000psi ヤング率：3250ksi (チャンネル) 2500ksi (アングル)			引抜 GFRP	○
				ハット型 GFRP	
				ケーブル材	
				シート補強材	
FRP 適用によるメリット	・ 従来の材料 (木、鉄、コンクリート) に比べて、 ①メンテナンスがいらない (腐食、腐敗)。 ②軽量である。 ③簡単に形、色を変えることができる。 ④組立が簡単である。				
FRP 適用上の問題点	・ 記述なし。				
その他 (注目すべき要素技術等を抽出)	・ ヘリコプターによる材料運搬、組立・設置。 ・ 工期短縮 (設計から施工までの全工程が 90 日) ・ 今回の実験及びコンピュータ解析の結果、スパン 33m まで可能。				
題目 (和訳タイトル)	Design and Construction of FRP Pedestrian Bridges: "Reopening the Point Bonita Lighthouse Trail" (FRP 歩道橋の設計と建設：ポイントボニタ灯台への架け橋)				
書名	52th SPI				
巻頁	Session 3-F		刊行年月	1997	
著者名	G.Eric Johansen, Roy J. Wilson, F. Roll, P. Garrett Gaudini, K. Gray				
論文概要	この橋の施工上の課題は、設置場所が崖っぶちの足場の悪い条件にあるため建設・資材搬入等で制限があること、また年中海水を浴びており、従来の木材・鉄・コンクリート材料ではメンテナンスに難があることから、軽量で耐食性の良い、FRP を選んだ。その結果、工期短縮にもつながった。また、このような長支間の橋でも構造部材に FRP を適用することが可能であることが明らかになった。 写真 4、図 0、表 0				

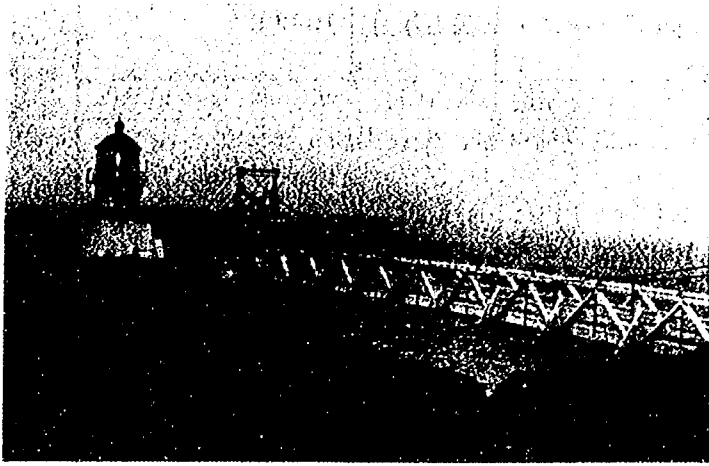


FIGURE 1. Point Bonita Lighthouse and "Swaying" Suspension Bridge

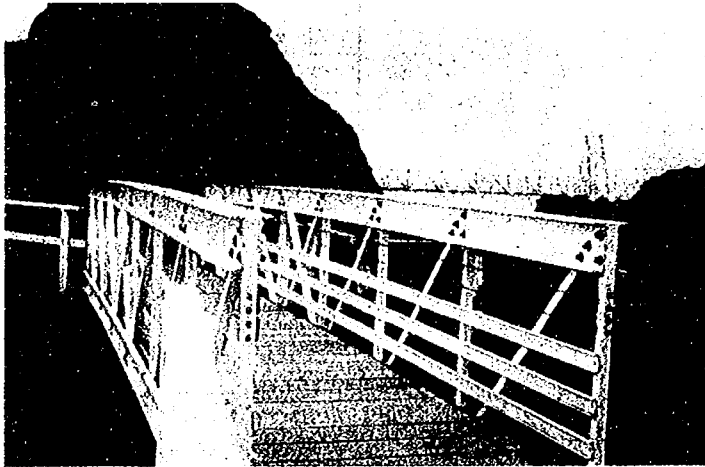


FIGURE 2. 35'-0" Span Bridge

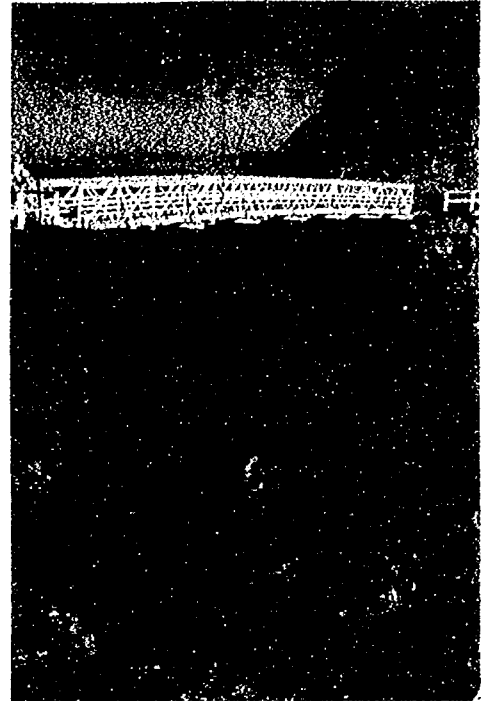


FIGURE 3. 70'-0" Span Bridge

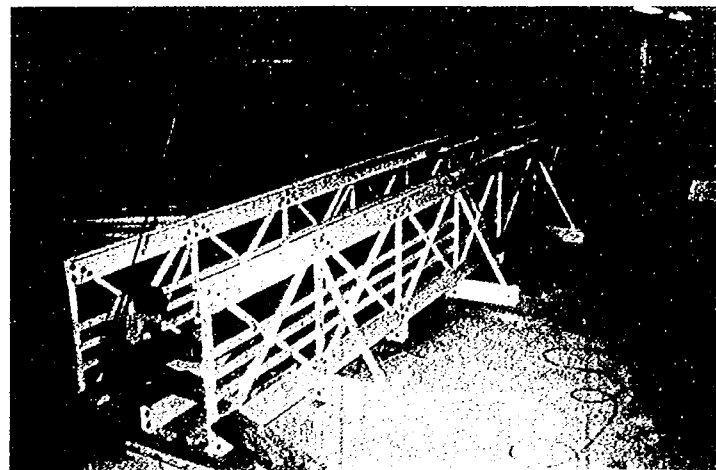


FIGURE 4. Shop Assembly by E.T. Techtonics, Inc.

構造物名	The Aberfeldy Footbridge(アベルフェルディー歩道橋)	竣工年月	1992.9
構造物種別	歩道橋 (斜張橋)	所在地	Aberfeldy Golf Club, Aberfeldy, UK
構造物概要	設計: ダンディー大学Wolfson橋梁研究室, 架設場所: 英国アベルフェルディーのテイ川(アベルフェルディーゴルフクラブ内, 施主同じ) 施工会社: Maunsell Structural Plastics, Kent (chief engineer: Peter Head), 竣工年月: Sept., 1992, 構造形式: 3径間連続FRP歩道橋(GFRP) 橋長: 113m(25m+63m+25m), 全幅員: 2.2m, 荷重: 歩道荷重 3.52kN/m ² (5.6kN/m)~5kN/m ²		
FRP の適用部位	主部材(構成部品): 中空の GRP で 600mm×80mm の板をトグルで連結 タワー: 4枚の板と 4ケのコネクター材で作られた760mm×760mmの方形 床版: 3枚の板と 2つのコネクター材で構成 端桁: 5ケのコネクター材で構成 横桁: 4ケのコネクター材で構成 ステイクケーブル: ケブラー(アラミド繊維線束, 商品名: パラフィル) パラペット: 引き抜き材(形状など不明).		
主な部材接合法	トグル接合		
FRP の概要 (繊維・樹脂・部材 形状・使用量等)	上 (FRP の適用部位) に示す	引抜 GFRP	○
		ハット型 GFRP	
		ケーブル材	○
		シート補強材	
FRP 適用による メリット	①自重が軽くなる (1mあたりの活荷重=5.6kN/m, 死荷重=0.6kN/m, 活死荷重比=10) ②軟弱地盤でも直接基礎が可能. 地盤沈下の防止. ③性能と価格は鋼橋と同等. ただし, 現場での大組が可能な点, 一台のトラックや空輸が可能な点で優れている. ④設備が最小で済み, 熟練工が不要~僻地での施工に最適		
FRP 適用上の 問題点	①たわみ性から構造形式が決定→本橋では斜張橋とすることにより対応 ②風による揚力→本橋では橋面に黒色ゴム製のコンベアベルトを敷くことにより対応		
その他 (注目すべき要素 技術等を抽出)	特になし		
題目 (和訳タイトル)	A Reinforced Plastic Footbridge, Aberfeldy, UK (英国アベルフェルディにかかる FRP 歩道橋)		
書名	Structural Engineering International 4/93		
巻頁	Recent Structures PP.229~232	刊行年月	
著者名	William J. Harvey (Senior Lecturer, Univ. of Dundee, Dundee, UK)		
論文概要	アベルフェルディー歩道橋はダンディー大学Wolfson橋梁研究室がアベルフェルディーゴルフ場から「低コストの歩道橋」を, との依頼を受け, 1990年夏から計画されたものである. 当初, 学生の設計実習課題として取り組んだが, 従来からの材料・施工法では現場条件に対して重すぎるため, FRP橋の採用が決定された. 橋梁は A 型の主搭形状を持つ 3 径間連続 GFRP 斜張橋(25m+63m+25, 斜材はセミファンタイプ)であり, 橋体は全て GFRP 製, 斜材ケーブル		

はケブラー製である。本橋梁形式の採用によって、軟弱地盤にも関わらずタワーの直接基礎が可能となった。本論文には、橋梁の設計条件・制約条件、構造詳細、施工方法などが示されており、最終的なコストと性能は鋼橋と同等で、熟練工や設備・運搬費を必要としない点で優れている。環境への適応が求められる場合、遠隔地や労働力・設備が限られる場合に最適と結ばれている。

(他の参考文献)

- 1)"World's largest composite bridge is made of Isopolyester pultrusions." Corrosion Prevention & Control, pp66-67, June, 1994
- 2)"FRP Stalrtower Meets the Challenge." FRP Composites in Construction Application, A Profile in Progress, 1995

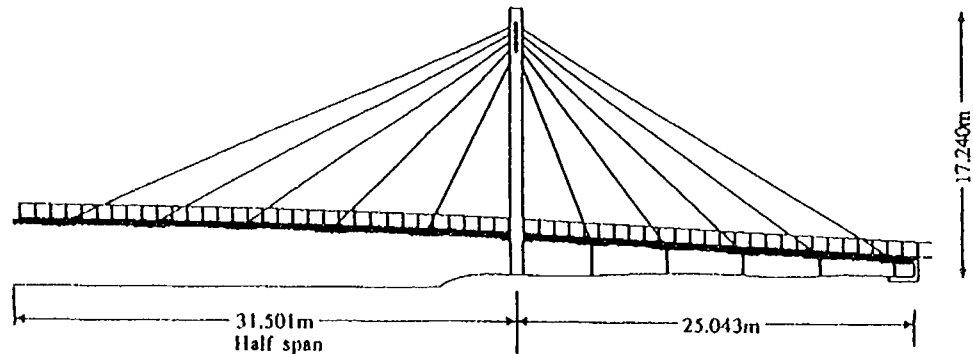


図-1 橋梁側面図(橋梁の半分を表示)

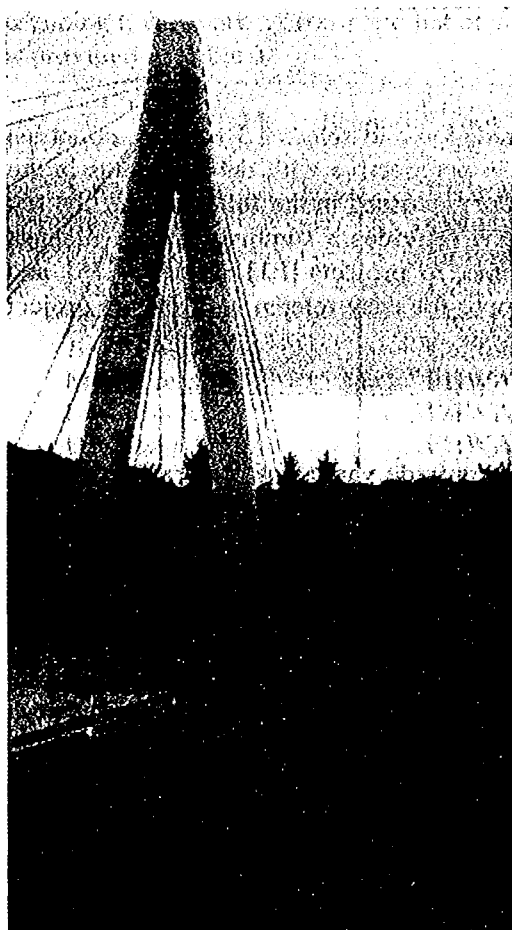


図-2 Aberfeldy Footbridgeの外観

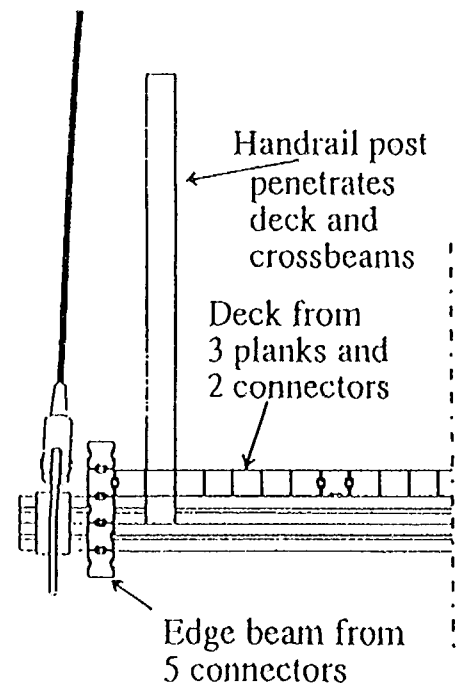


図-3 橋梁断面図

構造物名	LONGSPAN PRESTEK		竣工年月	1994年	
構造物種別		所在地	Olympic National Park (Port Angeles, WA)		
構造物概要	トランス構造プレストレストFRP歩道橋 スパン24.4m、15.24m、9.14mの3本				
FRPの適用部位	デッキは木製、ボルトは記述なし。 他は全てFRP (GFRP、ケブラーケーブル)				
主な部材接合法					
FRPの概要 (繊維・樹脂・部材 形状・使用量等)	チャンネル : 152.4mm、E=3250Ksi		引抜GFRP	○	
	矩形 : 152.4mm、E=3500Ksi		ハットレイGFRP		
	正方形チャープ : 50.8mm、E=2500Ksi		ケーブル材		
	圧縮強さ 30,000、引張強さ 30,000、曲げ強さ 20,000 psi ケブラー (5/8) 42,400lbs、E= 16,000Ksi 実荷重変形=L/360、最小周波数=5Hz		シート補強材		
FRP適用による メリット	軽量であり、人力で運搬可能。 (野鳥保護のため、機械を使用できない。) 景観にマッチした美観。				
FRP適用上の 問題点	特になし				
その他 (注目すべき要素 技術等を抽出)	この設計で、スパン30mまで適用可能。				
題目 (和訳タイトル)	Strength/Stiffness Characteristics of a Prestressed RP Truss Structural System (プレストレスト複合材料トラスシステムの強度/剛性)				
書名	50th SPI (1995)				
巻頁	SESSION 5-E P1~3		刊行年月		
著者名	G.Eric Johansen 他 (E.T.Techtonics) Richard Hanson (National Park Service)				
論文概要	小スパンの2橋は標準的トラス構造で、二重梁の上下をコードで接続し、 一重の鉛直と斜めの部材を用いる。大スパン(21m)の橋は、側面の座屈 や孔周りの問題等が生じ部材が重くなる。人力で運べる901bs以下に抑 さえるため、三重梁の上下をコードで接続し、二重の鉛直と斜めの部材を用 いることを提案した。FRPと金属固定具の設計重量は約55001bsで ある。4名のスタッフと馬車台数で、1.5日で運搬した。 図: なし 表: なし 写真: 6				

7. Johansen, G. E., and Roy Wilson. 1992. "Spanning Devil's Pool with a Prestressed Kevlar Cable/FRP Tube Structural System," *Advanced Composite Materials in Bridges and Structures*, ACMBS, pp. 435-445.
8. Johansen, G. Eric, and Dr. Frederic Roll. 1993. "Creep and Relaxation Characteristics of PRESTEK Structural Systems," *48th Annual SPI Conference Proceedings*, Cincinnati, OH.
9. *Creative Pultrusion Design Guide*. 1987. CPI.
10. *Phillystran Data Manual*. 1987. United Ropeworks.



FIGURE 1. Damaged CORTEN steel bridge of staircase rapids.

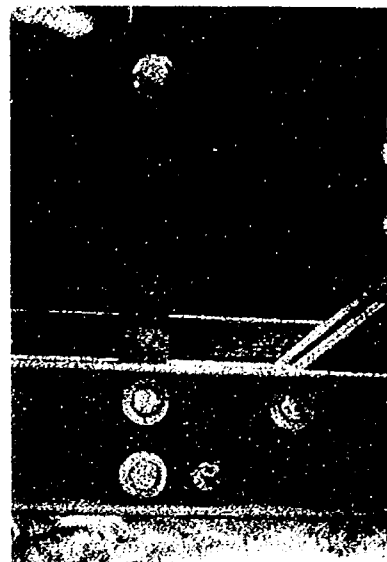


FIGURE 2. Detail of prestressed truss system.

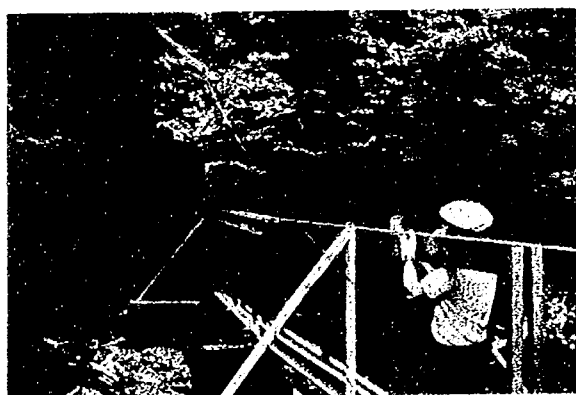


FIGURE 3. Construction of prestressed truss on site.

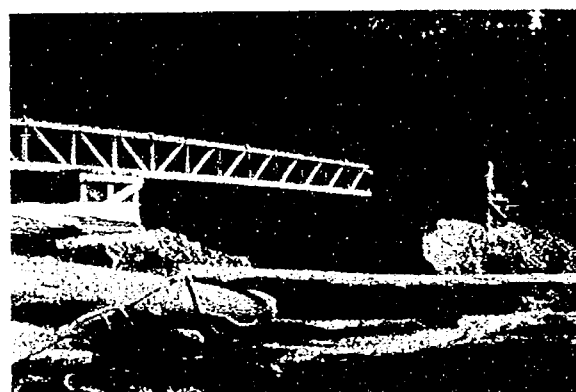


FIGURE 4. Erection of prestressed truss.

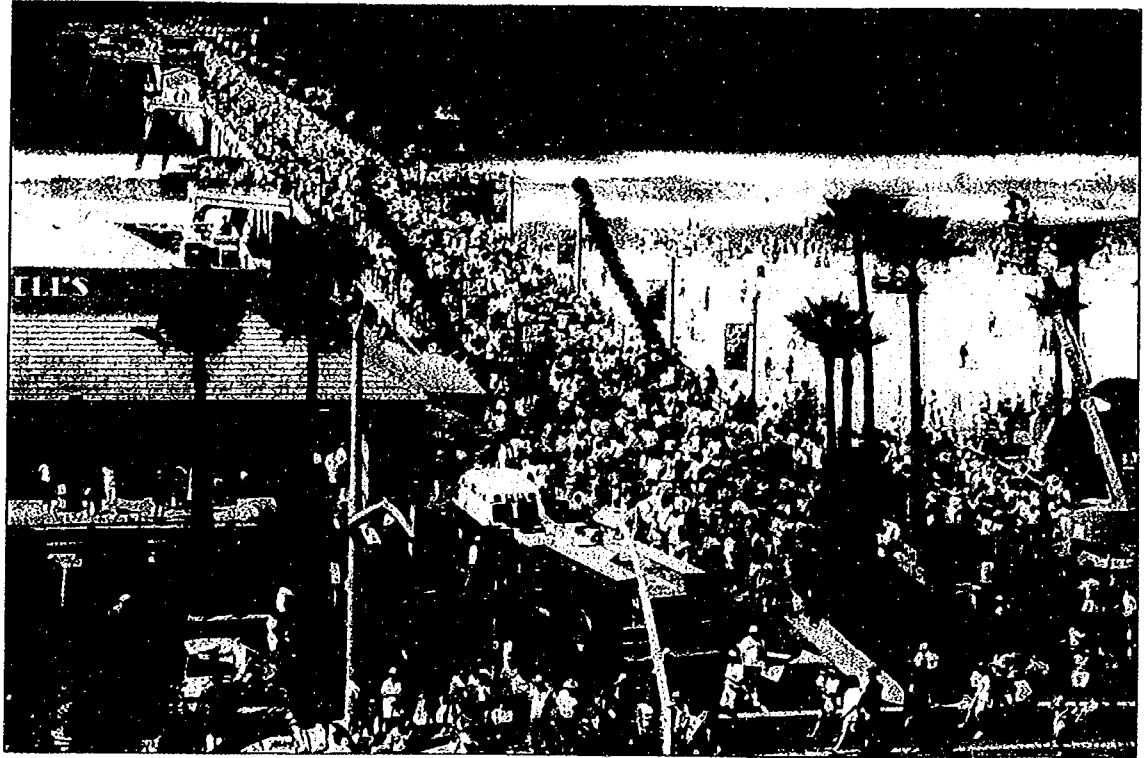


FIGURE 5. 80'-0" span bridge.



FIGURE 6. Detail of bridge truss after installation.

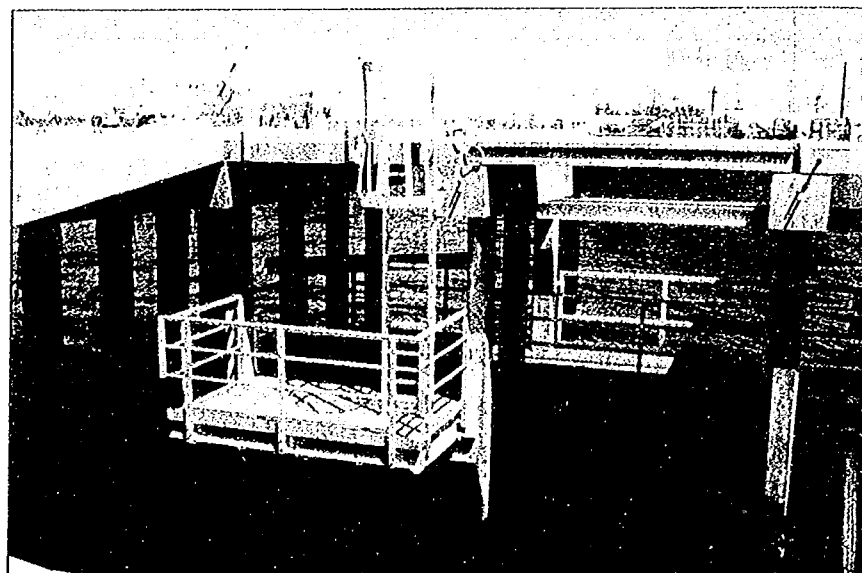
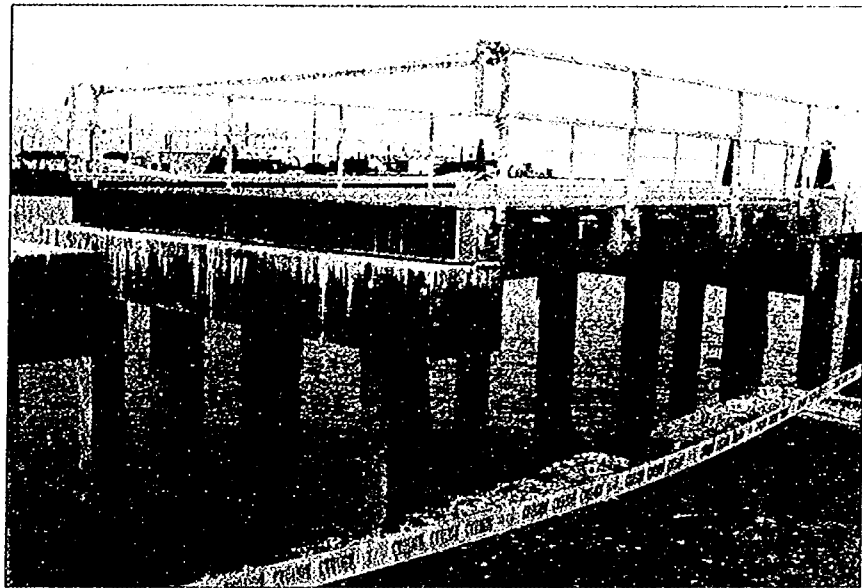
構造物名	栈橋	竣工年月	1994 年 7 月
構造物種別	人道栈橋 (単純桁)	所在地	米国カリフォルニア州 Huntington Beach
構造物概要	全長 1856ft の海上栈橋		
FRP の適用部位	床版 (グレーチング) 連邦道路庁仕様 HS20 水道、ガス、下水道管が全区間に入っている。 耐荷重 96000 ポンド		
主な部材接合法			
FRP の概要 (繊維・樹脂・部材 形状・使用量等)	イソポリエステル GFRP	引抜 GFRP	
		ハドレイ GFRP	
		ケーブル材	
		シート補強材	
FRP 適用による メリット			
FRP 適用上の 問題点			
その他 (注目すべき要素 技術等を抽出)			
題目 (和訳タイトル)	Composite Grating for Public Pier		
書名	FRP Composites in Construction Application A PROFILE IN PROGRESS (1995) 繊維強化複合材料の建設への応用 －発展状況－		
巻頁	p. 25	刊行年月	
著者名	編集: John P. Busel (Market Development Alliance of the Composites Institute)		
論文概要			



構造物名	棧橋	竣工年月	1994 年 11 月
構造物種別	棧橋 (単純桁)	所在地	米国カリフォルニア州 Port Huenuma
構造物概要	全長 150 フィートの海上棧橋		
FRP の適用部位	床版		
主な部材接合法	主桁のボックスビーム断面に穴をあけて、そこにコネクターパイプを通して両端を固定		
FRP の概要 (繊維・樹脂・部材 形状・使用量等)	GFRP (イソフタル酸ポリエステルとビニルエス テル) 5.1ft×14.24in の長方形ボックスビーム 0. 5in の厚板 (トップに 2 層) 直径 2.4ft のコネクターパイプ エポキシ樹脂塗装	引抜 GFRP	○
		ハドレイ GFRP	
		ケーブル材	
		シート補強材	
FRP 適用による メリット	海岸環境における鋼、木材、アルミニウムに比較して耐食性の向上。 施工が容易で短時間で出来た。最も重い部材で 20 フィートのビームで 220 ポンドだった。18ft×20ft のデッキは 4 人の作業員で 8 時間ででき た。		
FRP 適用上の 問題点			
その他 (注目すべき要素 技術等を抽出)	USNavy は、海水と海洋大気環境での GFRP の耐久性を評価する予定 である。		
題目 (和訳タイトル)	U.S. Navy Test Pier Showcases Composites		
書名	FRP Composites in Construction Application A PROFILE IN PROGRESS (1995) 繊維強化複合材料の建設への応用 ー発展状況ー		
巻頁	p. 19	刊行年月	
著者名	編集: John P. Busel (Market Development Alliance of the Composites Institute)		
論文概要			

注 1) 構造物が複数の場合には、構造物毎に別葉に分けて記述する。

注 2) 必要な図表は添付する。



構造物名		竣工年月 (実験)	1990 年代
構造物種別	橋梁 (上部構造、床版)	所在地	ウエストバージニア大学
構造物概要	上部構造① L=4.9m,B=2.44m,t=0.76m,② L=3.65m,B=2.44m,t=0.89m 床版構造① L=4.9m,B=2.44m,t=0.27m,② L=? m,B=1.23m,t=0.14m の構造実験と解析		
FRP の適用部位	・ 上部一チャンネル、WF 梁、箱状の梁、フラットバー (ボルトとスーサー以外すべて) ・ 床版一チャンネル、フラットバー (結合にはエポキシを用いる)		
主な部材接合法	・ ボルト、スーサー、エポキシ樹脂		
FRP の概要 (繊維・樹脂・部材形状・使用量等)	・ 繊維・樹脂 記述なし ・ 部材形状 別紙 Fig 参照 ①ポアソン比 0.24~0.33 ②繊維方向の弾性係数 16.0~21.4(Gpa) ③繊維と直交法の弾性係数 10.4~10.8(Gpa) ④せん断弾性係数 2.8~ 4.9(Gpa)	引抜 GFRP	○
		ハットレIGHFRP	
		ケーブル材	
		シート補強材	
FRP 適用によるメリット	・ FRP の床版は、15 年という長い目で見るとアルミニウムや木でできた床版よりもトータルコストは安くなる。 ・ 急速施工が可能 (軍事的な目的で築造された橋) である。 ・ 施工箇所が狭いところでも可能。 ・ 重さのわりに強い。 ・ 耐腐食性及び高い安定性。		
FRP 適用上の問題点	・ FRP の使用が少ないのは、デザインの標準化や試験法の不足しているためである。 ・ 床版に関して、一般的な木の施工コストは\$0.93/m²であり FRP の施工コストは\$1.5/m²である。		
その他 (注目すべき要素技術等を抽出)	・ 適用例 ①歩道橋：補強材 (ベルリン、中国)、緊張材 (サウスダゴダ、フロリダ) ②道路橋：ポストテンションに FRP を用いたコンクリート桁 (ドイツ)、緊張材に FRP を用いたコンクリート桁 (日本)、laminated papers(New York, 1971)、GRP(Bulgaria, 1982)(中国)		
題目 (和訳タイトル)	Theoretical and Experimental Evaluation of FRP Components and Systems (FRP 構造系及び部材の理論的・実験的評価)		
書名	J Struct Eng		
巻頁	VOL.120,No.2PAGE.464-485	刊行年月	1994
著者名	Sotiris N. Sotiropoulos, Hota V. S. GangaRao, Ahmed N. K. Mongi		
論文概要	繊維強化プラスチック (FRP) 成形部材を用いて、橋梁の上部構造 2 体と床版構造 2 体の試験体を製作し、集中荷重の静的載荷実験を行った。直交異方性板理論、有限要素法及び古典的積層板理論による解析も行った。実験結果は単純化した積層板理論で良く予測されること、橋及び床のたわみは、許容荷重に対する許容限界以下の値であることを示した。写真 0、図 1 4、表 5		

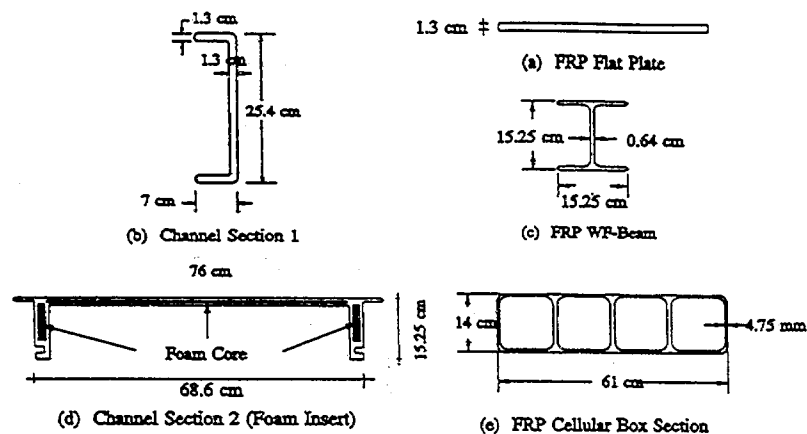


FIG. 1. Typical Cross Sections of Components Used

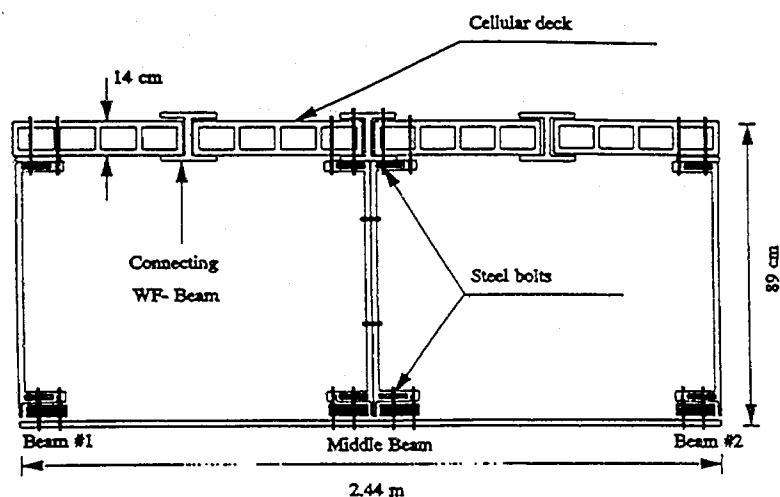


FIG. 2. Cross Section of Bridge Test Specimen B-2

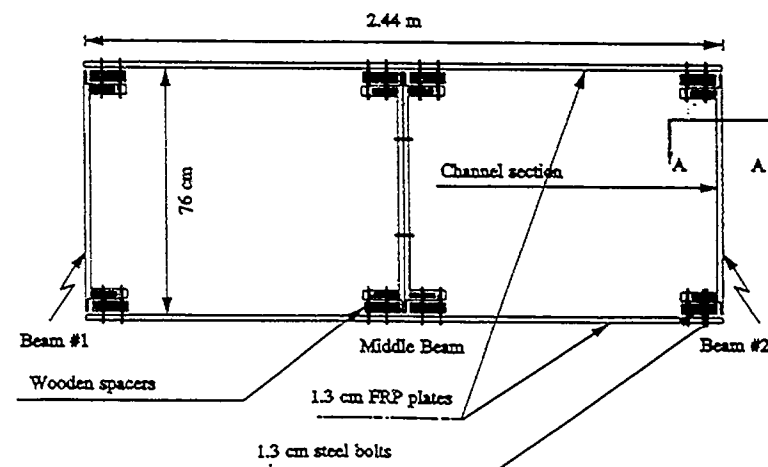


FIG. 4. Cross Section of Bridge Test Specimen B-1

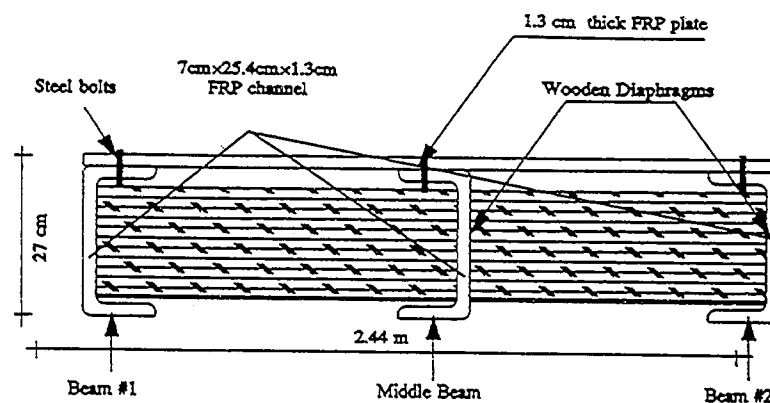


FIG. 5. Cross Section of Floor Test Specimen F-1

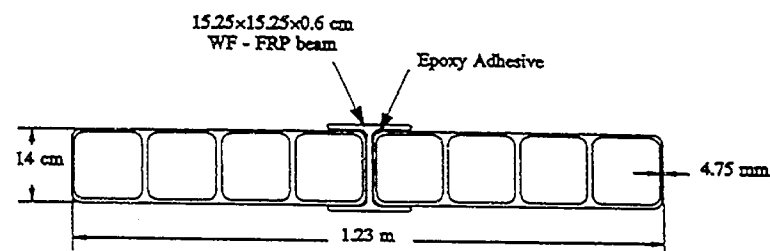


FIG. 6. Cross Section of Floor Test Specimen F-2

構造物名	LONGSPAN PRESTTEK™/ E.T.Techtonics		竣工年月	1995年 秋		
構造物種別	歩道橋	所在地	米国ハワイマウイ島のハレアカラ国立公園			
構造物概要	ハイキングコース内の川にかけられた橋2件 (Span 12.3m,24.6m)					
FRP の適用部位	橋全体					
主な部材接合法	ボルト接合					
FRP の概要 (繊維・樹脂・部材形状・使用量等)	C P I 社(CREATIVE PULTRUSIONS,INC.)の引抜材。152.4mm のチャンネル材と、50.8mm の角パイプを19 mm のボルトで接合。総重量は、1363kg と 3636kg。	引抜 G F R P	○			
		ハドレイ GFRP				
		ケーブル材				
		シート補強材				
FRP 適用によるメリット	通常の輸送方法が使えない場所 (7 m, 8 トン以下のトラックまで) での建設。耐候性。景観。					
FRP 適用上の問題点	設計から、部材成形、出荷まで (建設を除く) の総コスト \$ 50,000。設計を含む全工期90日。					
その他 (注目すべき要素技術等を抽出)						
題目 (和訳タイトル)	Design and Construction of Two FRP Pedestrian Bridges in Haleakala National Park, Maui, Hawaii					
書名	Advanced Composite Materials in Bridges and Structures- II					
巻頁	pp.975-982 写2		刊行年月	1996		
著者名	Johansen,G. E. , Wilson,R.J. , Roll,P. , Gaudini,P.G. , Ribble,S.T. , Fogle,A.J. , Gray,K.E. , Mehdi,R.M. , Choy,V.M.S. (E.T.Techtonics)					
論文概要	マウイ島の険しいハイキングコース中の川にかけられる2本の歩道橋を引抜材(チャンネルと角パイプ)で建設。これを著者の E.T.Techtonics は、LONGSPAN PRESTTEK と称している。建設現場に至る道路が険しく、また古い橋もあり、長さ7 m、重量8 トンまでのトラックしか使用できないため、FRP が適用された。					



FIGURE 1. 24.6 m (80'-0") Span Bridge

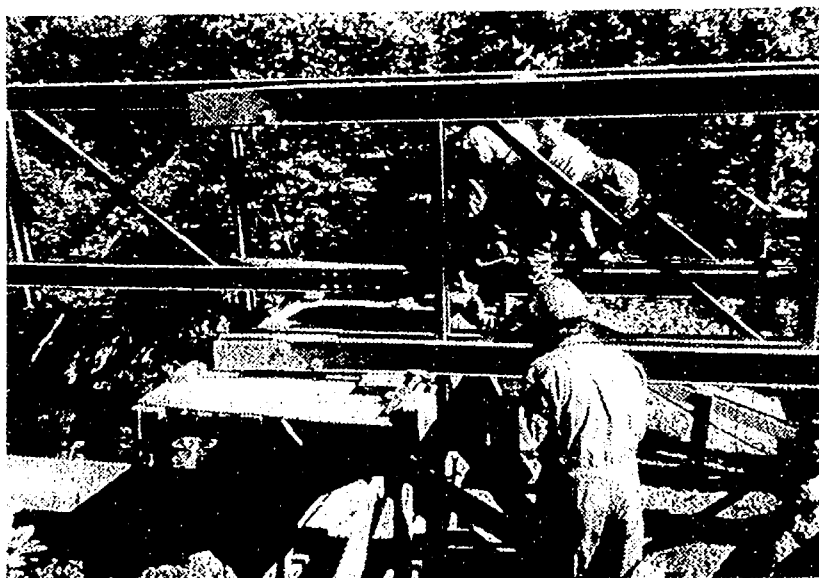
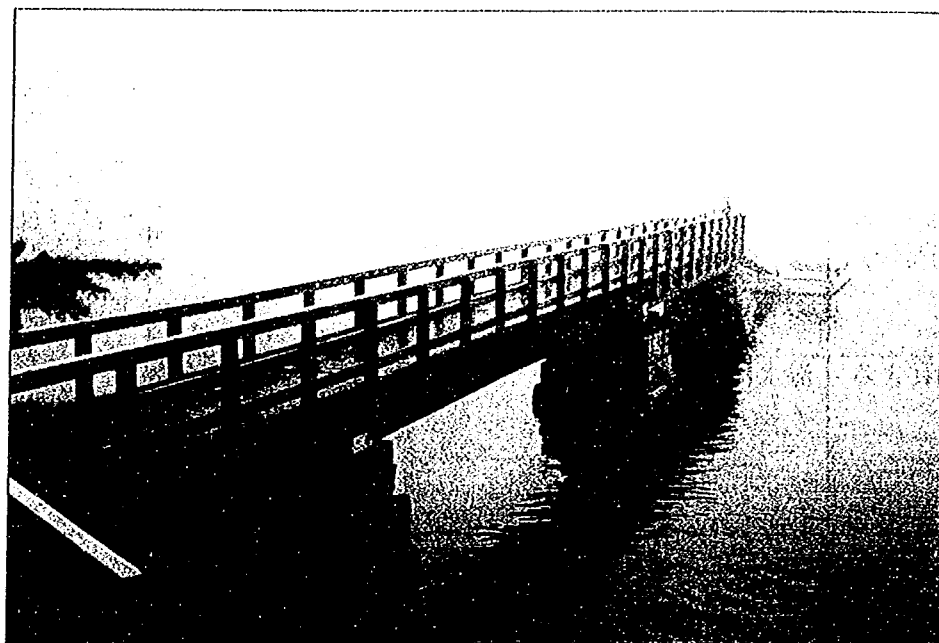


FIGURE 2. Erection of the 24.6 m (80'-0") Span Bridge

構造物名	②LaSalle Street lift bridge		竣工年月	②1995 年修理	
構造物種別	②トラス橋の外の歩道橋	所在地	②イリノイ州シカゴ市		
構造物概要	②				
FRP の適用部位	②				
主な部材接合法					
FRP の概要 (繊維・樹脂・部材形状・使用量等)	②	引抜 G F R P		○	
		ハット・レイ GFRP			
		ケーブル材			
		シート補強材			
FRP 適用によるメリット	☆従来の一般的な構造材に対して、軽くて、強くて、重さに対して堅牢である。 ☆錆が来ない。 ☆メンテナンスコストが削減される。				
FRP 適用上の問題点	☆交通インフラのような構造物は、雪を溶かす為の塩水噴霧に長期間さらされ、水による長期の疲労における材料寿命に不利なラボデータ が出ている。				
その他 (注目すべき要素技術等を抽出)	強化材のガラス繊維と樹脂の組み合わせの研究、外装にカーボン繊維を使用したハイブリッド複合品の研究を継続中。				
題目 (和訳タイトル)	二次的なインフラストラクチャー用途の複合材料の長期的耐久性				
書名	第 28 回 S A M P E 技術論文 (1996 年 11 月 4 ~ 7 日)				
巻頁	1278 ~ 1289 ページ		刊行年月		
著者名	Kin Liao, Robert I. Altkorn, Scott M. Milkovich, Jose Gomez 他 4 名				
論文概要	引抜 F R P の複合品の板状、I 型ビームのテストは、インフラ用途の長期的耐久性を検討する研究室にて 4 点曲げ、環境疲労、冷凍・解凍、塩水噴霧テストで 30 % の曲げ強度でもって 500 万回のサイクルに品質低下なく耐えねばならない。				

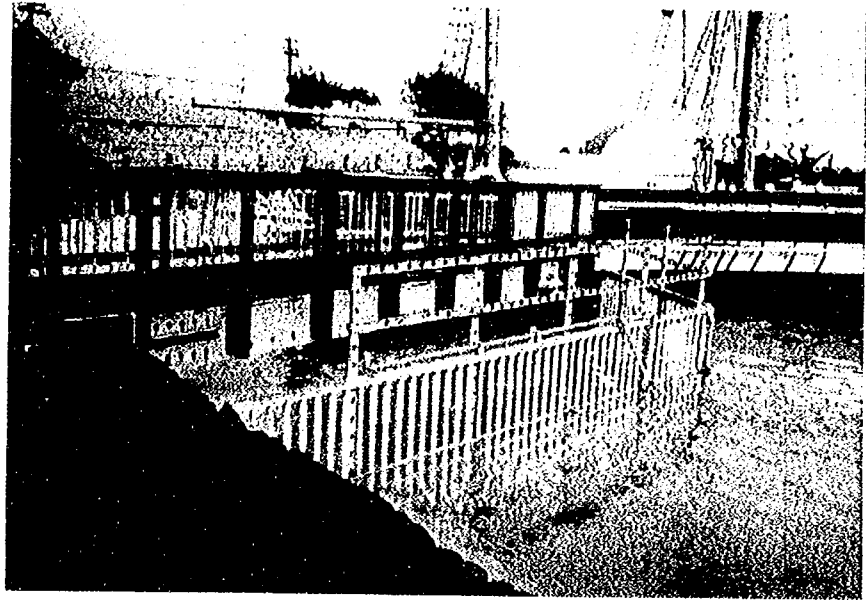
(白 紙)

構造物名	栈橋（歩道）		竣工年月	1995 年 6 月	
構造物種別	栈橋（歩道）	所在地	米国メーン州 Bar Harbor Yacht Club		
構造物概要	32 スパン 26 フィート 6 インチ（1 スパン） 48 フィート 8 インチ（2 スパン） 全長 124 フィート 5 インチ（37.6m）				
FRP の適用部位					
主な部材接合法					
FRP の概要 （繊維・樹脂・部材 形状・使用量等）				引抜 G F R P	
				ハンドレイ GFRP	
				ケーブル材	
				シート補強材	
FRP 適用による メリット					
FRP 適用上の 問題点					
その他 （注目すべき要素 技術等を抽出）					
題目 （和訳タイトル）	World's First FRP-Glulam Ocean Pier				
書名	FRP Composites in Construction Application A PROFILE IN PROGRESS（1995） 繊維強化複合材料の建設への応用 －発展状況－				
巻頁	p. 76		刊行年月		
著者名	編集：John P. Busel （Market Development Alliance of the Composites Institute）				
論文概要					



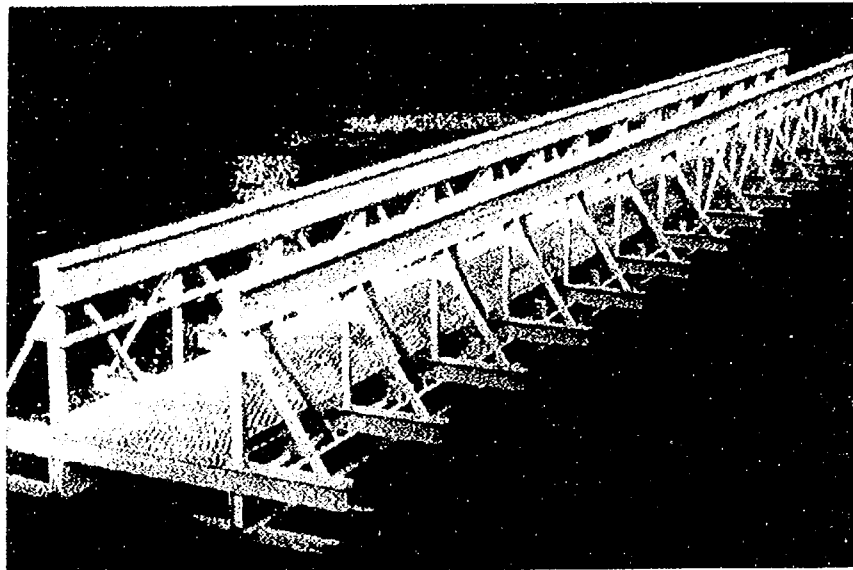
P10

構造物名	人道橋	竣工年月	
構造物種別	人道橋	所在地	米国ハワイ州
構造物概要	公園内人道橋（2 橋） 海洋生物公園（ハワイ）のイルカタンクにかかる スパン：36 フィート		
FRP の適用部位	24 インチ I ビーム		
主な部材接合法			
FRP の概要 (繊維・樹脂・部材 形状・使用量等)			引抜 GFRP
			ハットレイ GFRP
			ケーブル材
			シート補強材
FRP 適用による メリット	海水による腐食防止 メンテナンスの低減化		
FRP 適用上の 問題点			
その他 (注目すべき要素 技術等を抽出)			
題目 (和訳タイトル)	Sea Life Park – Fiberglass Bridges		
書名	FRP Composites in Construction Application A PROFILE IN PROGRESS (1995) 繊維強化複合材料の建設への応用 －発展状況－		
巻頁	p . 81	刊行年月	
著者名	編集：John P. Busel (Market Development Alliance of the Composites Institute)		
論文概要			



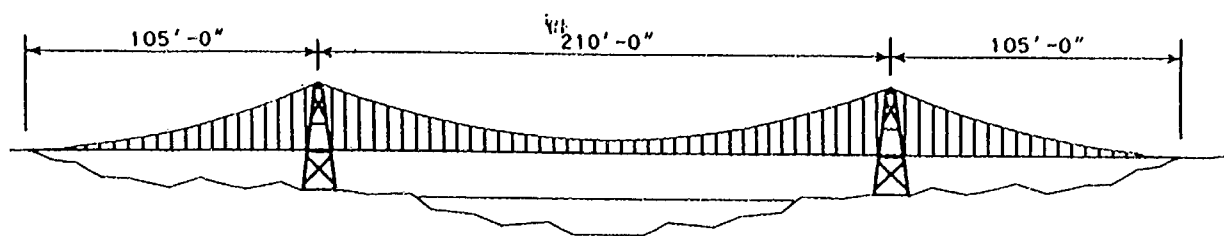
Sealife Park

構造物名	人道橋（管理橋）		竣工年月	
構造物種別	歩道橋	所在地		
構造物概要	スパン 62 フィート 耐荷重 2000lbs 化学工業会社用に製作された。			
FRP の適用部位	オール FRP			
主な部材接合法				
FRP の概要 （繊維・樹脂・部材 形状・使用量等）			引抜 G F R P	
			ハンドレイ GFRP	
			ケーブル材	
			シート補強材	
FRP 適用による メリット				
FRP 適用上の 問題点				
その他 （注目すべき要素 技術等を抽出）				
題目 （和訳タイトル）	Structural Walkway/Bridge			
書名	FRP Composites in Construction Application A PROFILE IN PROGRESS （1995） 繊維強化複合材料の建設への応用 －発展状況－			
巻頁	p . 81	刊行年月		
著者名	編集：John P. Busel （Market Development Alliance of the Composites Institute）			
論文概要				

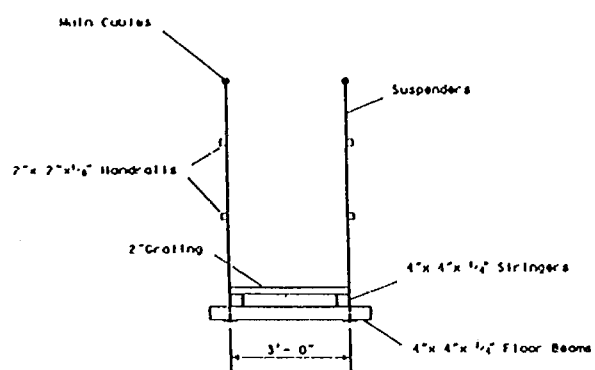


**Structural Walkway/
Maintenance Bridge**

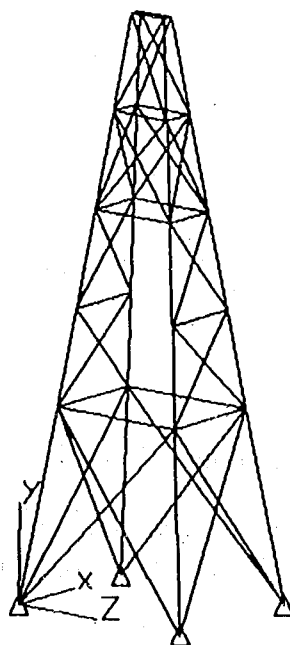
構造物名	Levisa Fork Bridge		竣工年月	
構造物種別	歩道橋（吊り橋）	所在地	アメリカ・ケンタッキー州・ジョンソン群	
構造物概要	FRP を使用した全長 126m（3 スパン、31.5-63-31.5m）の吊り橋			
FRP の適用部位	・ ピア ・ デッキ ・ 梁 ・ ボルト ・ ケーブル			
主な部材接合法	ボルト			
FRP の概要 （繊維・樹脂・部材 形状・使用量等）	・ 部材の製造方法は、引き抜き成形を用いている。 ・ 繊維にはガラスを、結合材には樹脂を使用している。	引抜 GFRP	○	
		ハット・レイ GFRP		
		ケーブル材		
		シート補強材		
FRP 適用による メリット	・ S,RC構造物より軽量である。 ・ 環境暴露による腐食が小さい。			
FRP 適用上の 問題点	・ 弾性係数、せん断弾性係数が小さい。 ・ 等方性の部材ではない。 ・ 温度上昇による強度、弾性係数の低下。 （32.2℃以上で影響があり、65.6℃において、強度は 50%、弾性係数は 85%に低下する）			
その他 （注目すべき要素 技術等を抽出）	・ 構造物の設計は、FEMと各種の破壊理論を用いて行なっている。 ・ ピアの設計は、その構成部材、座屈、破壊解析など詳細に検討している。			
題目 （和訳タイトル）	Design of the Longest RP Suspension Bridge in the World 世界最長の FRP 吊り橋の設計			
書名	50th Annual Conference			
巻頁	Session11-A	刊行年月	1995	
著者名	Bradley N.Robson, Michael W.Whitney, Issam E.Harik, Theodore Hopwood II			
論文概要	ケンタッキー州ジョンソン群レヴィサフォークに架かる老朽化した歩道橋の架け替えに伴い、FRP部材を使用した全長1260mの吊り形式の歩道橋の設計を行なった。この結果、FRP部材を使用した歩道橋の構築は、実行可能であることが示された。 FRPを使用した歩道橋の設計は、FRPの弾性係数が小さいことから変形基準に支配される。今後、風荷重などの動的解析を検討する必要がある。			



図—1 繊維補強材を使用した歩道橋（吊り橋）



図—2 主構造体断面図

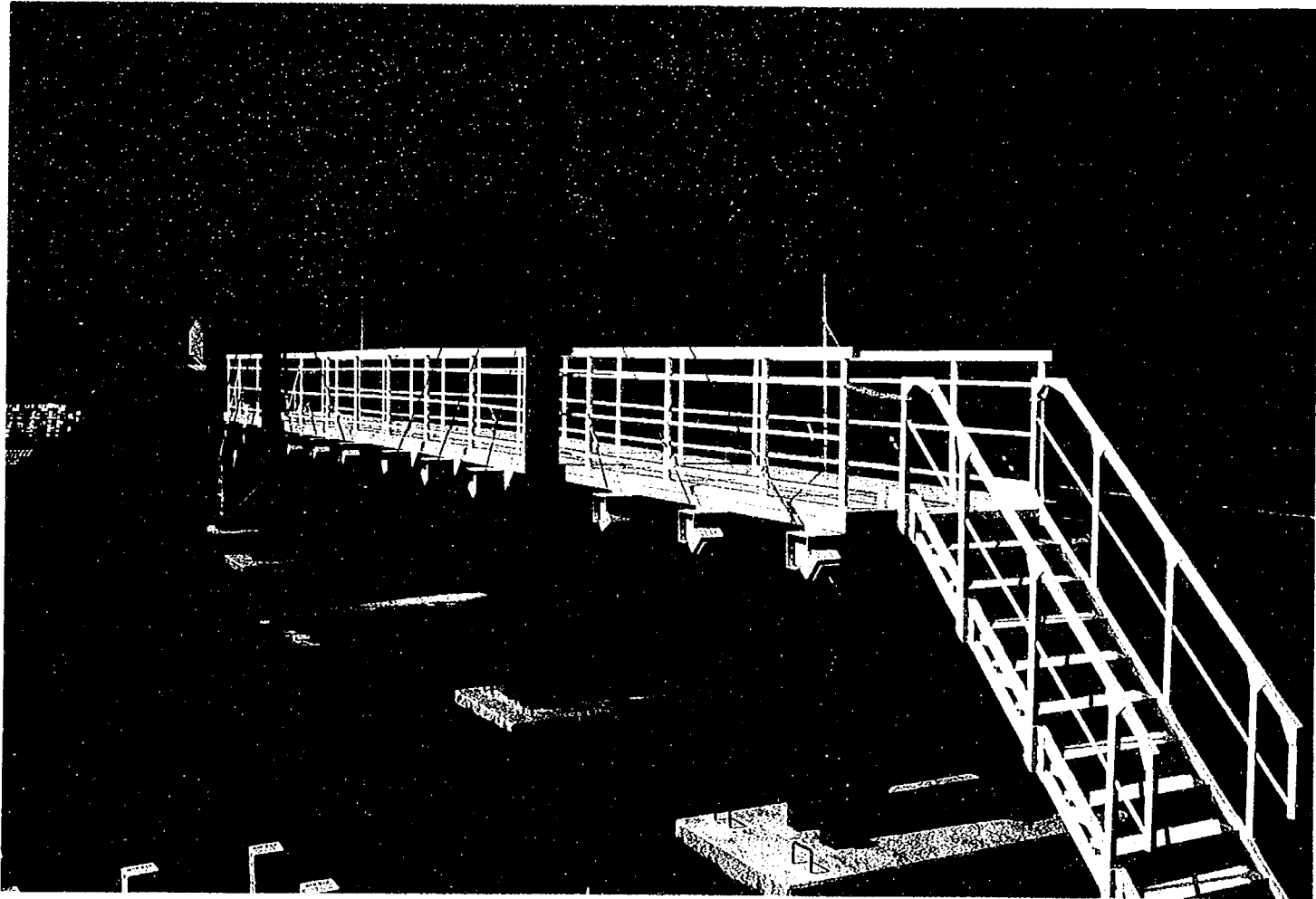


図—3 橋脚の空間的配置

構造物名	Work Platform for Nuclear Power Plant (LONGSPAN PRESTEK™ /E. T. Techtonics Inc.)		竣工年月	
構造物種別	プラント歩廊 (トラス歩道橋)	所在地	Oyster Creek Nuclear Power Plant New Jersey, USA	
構造物概要	原子力発電所の燃料補給設備に使われるプラットフォーム。引抜材の構造体は、原子炉操作用の装置類とともに電動の鋼製軌条の上に設置され、作業員数人を乗せてタワークレーンのように移動しながら作業に用いられる。			
FRP の適用部位	Pratt トラスによる作業用プラットフォーム (天井クレーンの様な物) ・ スパン 13.7m でデッキ幅は 1.2m ・ 100psf の等分布活荷重で L/360 以内 ・ 集中荷重 1,000lb/sq.feet ・ FRP 材料強度の安全率は 2.5 ・ カテゴリー 1 の耐震性を含めた S T A A D 3 の設計に完全準拠 ・ コンピュータ解析を確認するための実大載荷試験を実施 ・ その他、寸法・施工・信頼性等の要求多数			
主な部材接合法	3/4inch の SUS ボルト			
FRP の概要 (繊維・樹脂・部材 形状・使用量等)	E.T. Techtonics 社による FRP 構造システム (LONGSPAN PRESTEK) 引抜 FRP 材製造は Bedford Reinforced Plastics Inc., Bedford, PA、構造物の製作は Structural Fiberglass Inc., Bedford, PA 6 及び 8inch のチャンネル (上下部の梁及び横桁) 2inch のチューブ (トラス斜材等)	引抜 GFRP	○	
		ハットレイ GFRP		
		ケーブル材		
		シート補強材		
FRP 適用による メリット	原子炉上部の核燃料作業用ハッチは大きにより、プラットフォームはスパンが 13.7m あり、鋼製プラットフォームは 21 トン (45,000lb) である。それに対して今回の FRP 製プラットフォームは約 5,000lb であった。このため鋼製軌条への設置や作業が人力で簡便に実施できる。			
FRP 適用上の 問題点	一つ予期しなかった点をあげると、このプラットフォーム上を歩いた作業者は、防護服と滑り止め床の影響によりしばしば静電気によるショックを経験した。 放射線環境下で、引抜材中の樹脂の安定性が未知である。			
その他 (注目すべき要素 技術等を抽出)				
題目 (和訳タイトル)	Design and Construction of a Lightweight FRP Work Platform for Use at Oyster Creek Nuclear Power Plant			
書名	SPI 52 th Annual Conference (1997)			
巻頁	1-6 / Session 3B	刊行年月	1997,1	
著者名	Wilson R. J., Johansen G. E., Ribble S. and Fogle A.			
論文概要	引抜 FRP を用いて原子力発電所の燃料補給設備に使われるプラットフォーム (水平移動する歩道橋様の構造物) を製作した事例の設計施工報告。			

(白 紙)

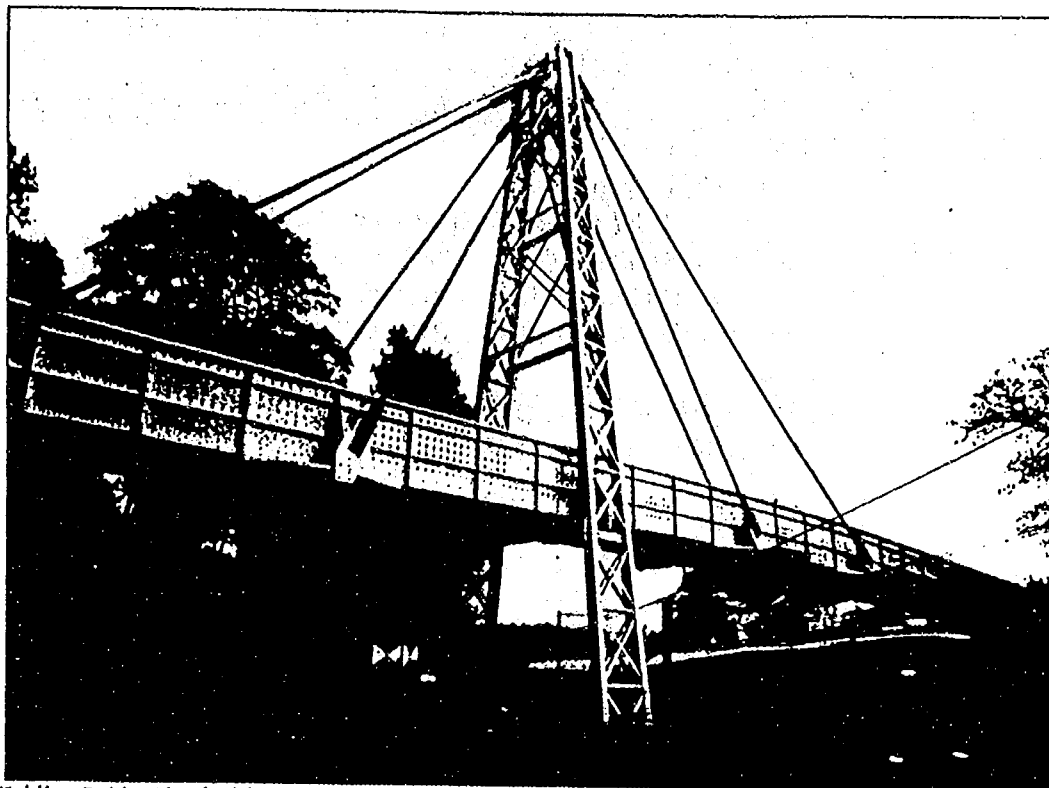
構造物名			竣工年月	1996. 3
構造物種別	歩道橋（斜張橋）	所在地	日本、茨城県つくば市 建設省土木研究所構内	
構造物概要	橋長20m，中央支間長11m，歩廊部幅員2mの3径間連続斜張橋。 繊維強化プラスチックの土木構造材料への適応性を評価検証するための 試験橋梁。上部工総重量は4.4ton。			
FRP の適用部位	タワー，床版パネル，ケーブル，ボルト，手すり，階段を含めた上部工 全体			
主な部材接合法	GFRPボルト			
FRP の概要 （繊維・樹脂・部材 形状・使用量等）	タワー，横桁：GFRP引抜材 250×250 床版パネル：GFRP引抜材 650×150 （GFRP引抜材は、ガラス/ビニルエステル） ケーブル：CFRPロッド及びストランド ボルト，添接板：GFRP製品	引抜GFRP	○	
		ハドレイGFRP	○	
		ケーブル材	○	
		シート補強材	○	
FRP 適用による メリット				
FRP 適用上の 問題点				
その他 （注目すべき要素 技術等を抽出）				
題目 （和訳タイトル）				
書名				
巻頁				
著者名				
論文概要				



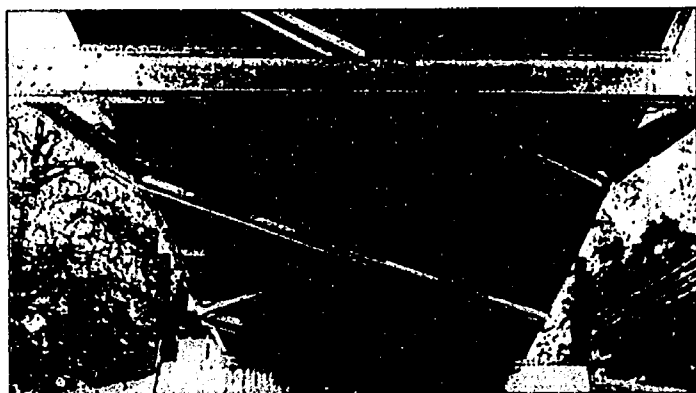
構造物名	①Antioch bridge ;		竣工年月	①		
構造物種別	①	所在地	①イリノイ州シカゴ市			
構造物概要	① 長さ 13.7m、幅 3m、 重量 5 トン、歩行者とゴルフカートが通る橋					
FRP の適用部位	①梁、桁					
主な部材接合法						
FRP の概要 (繊維・樹脂・部 材形状・使用量 等)	①E ガラス／ビニルエステルの引抜成形のC チャンネル、サイズは、20.3cm×6.4cm×0.95 cm で長さ 3.2m と 7.3m。			引抜GFRP	○	
				ハンドレイ GFRP		
				ケーブル材		
				シート補強材		
FRP 適用による メリット	☆従来の一般的な構造材に対して、軽くて、強くて、重さに対して 堅牢である。 ☆錆が来ない。 ☆メンテナンスコストが削減される。					
FRP 適用上の 問題点	☆交通インフラのような構造物は、雪を溶かす為の塩水噴霧に長期間 さらされ、水による長期の疲労における材料寿命に不利なラボ データ が出ている。					
その他 (注目すべき要素 技術等を抽出)	強化材のガラス繊維と樹脂の組み合わせの研究、外装にカーボン繊維を 使用したハイブリッド複合品の研究を継続中。					
題目 (和訳タイトル)	二次的なインフラストラクチャー用途の複合材料の長期的耐久性					
書名	第 28 回 SAMP E 技術論文 (1996 年 11 月 4～7 日)					
巻頁	1278～1289 ページ		刊行年月			
著者名	Kin Liao, Robert I. Altkorn, Scott M.Milkovich, Jose Gomez 他 4 名					
論文概要	引抜FRPの複合品の板状、I 型ビームのテストは、インフラ用途の長 期的耐久性を検討する研究室にて4点曲げ、環境疲労、冷凍・解凍、塩 水噴霧テストで30%の曲げ強度でもって500万回のサイクルに品 質低下なく耐えねばならない。					

(白 紙)

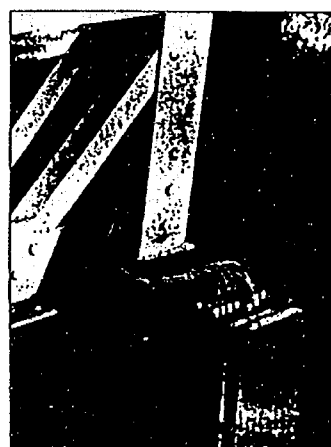
構造物名	Kolding Bridge		竣工年月	1997年6月	
構造物種別	歩道橋	所在地	Kolding, Denmark		
構造物概要	40メートルの斜張橋。総重量12トン。 鉄道の上を横切る歩道橋で、5トンの除雪車や、救急車の通行は可能。				
FRP の適用部位	表面板を一体成形したグレーティング(50×1,200×3,000mm)を、 引抜材のビームで支持。				
主な部材接合法	ステンレスボルト。このプロジェクトのテクニカルアドバイザーは、ボルト接合には、締め付け時に繊維や積層板を痛めるおそれがあり、また、クリープで緩む危険がある。このため、接着の方が望ましいが、接着には、接着技術、特に安全を十分に保証する管理方法が見いだせないため、ボルト接合としたと述べている。				
FRP の概要 (繊維・樹脂・部材形状・使用量等)	ガラス／ポリエステル樹脂グレーティング。 ガラス／ポリエステル引抜材。		引抜GFRP	○	
			ハブドレイGFRP	○	
			ケーブル材		
			シート補強材		
FRP 適用による メリット	記述なし				
FRP 適用上の 問題点	剛性がスチールの8分の1程度しかない。				
その他 (注目すべき要素 技術等を抽出)					
題目 (和訳タイトル)	Polyester Span				
書名	New Civil Engineer				
巻頁	36-37,21/28 August 1997 写4		刊行年月	1997.8	
著者名	なし				
論文概要	雑誌の記事。£200,000 のデモンストレーションプロジェクトで、現在28枚の歪みゲージを貼って、計測中であり、今後数年間続ける予定。この試験は大学その他に公開する。				



Kolding Bridge "looks like any other steel cable stayed bridge".

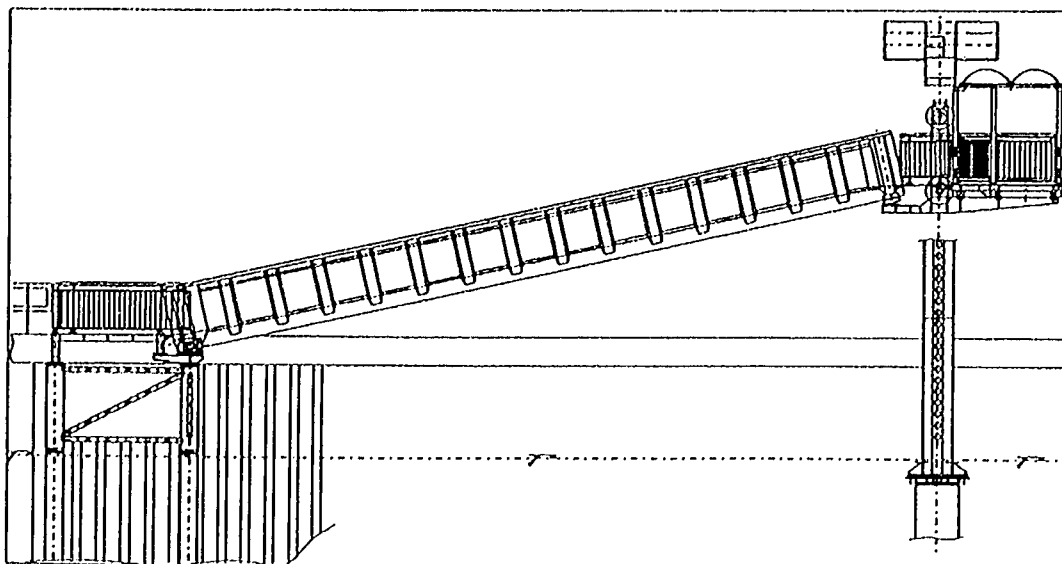


The deck is made from fibre reinforced polyester gratings supported by pultruded fibre-reinforced polyester beams.

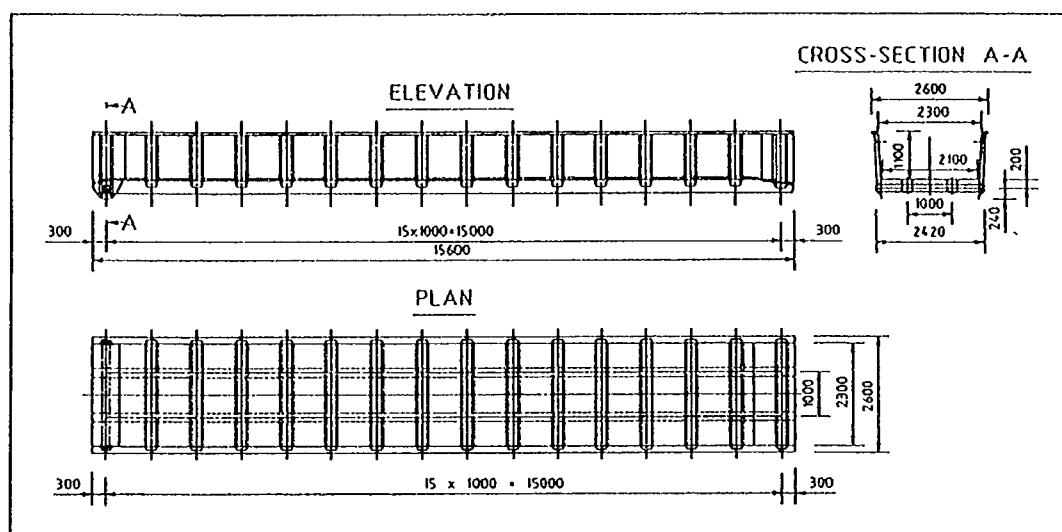


Strain gauges connected to a computer will record the bridge's load bearing characteristics.

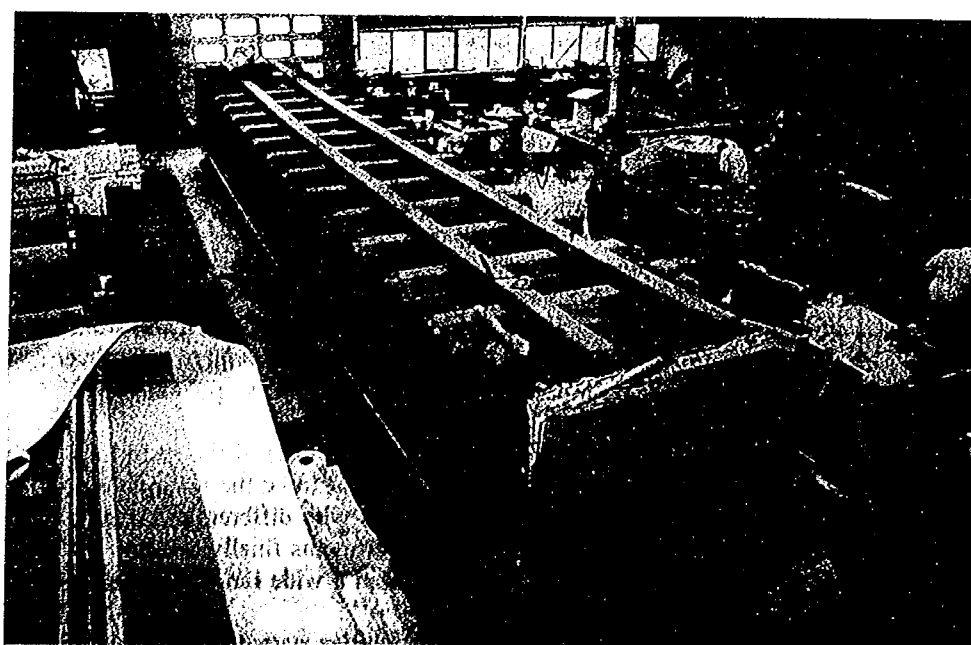
構造物名	“ The Mooring Construction at Harlingen(ハーリンゲンの係船施設)”		竣工年月	1997.12		
構造物種別	可動栈橋 (下路桁)	所在地	Harlingen,Netherlands			
構造物概要	単純FRP歩道橋(GFRP) 橋長:15m, 幅員:2.1m 荷重:歩道荷重 4kN/・(実証試験時の荷重 7.5kN/m ²)					
FRP の適用部位	主要部材の全部(床版, ウェブ, フランジ) ガラス繊維は E-Glass 使用, matrix はビニルエステル樹脂(耐火性のポリエステル樹脂で表面を被覆), PVC のコアを持つ Box 形状.					
主な部材接合法	一体成形					
FRP の概要 (繊維・樹脂・部材 形状・使用量等)	“FRP の適用部位” に記載 施主: Dutch Ministry of Transport. 設計: Comp-Support 社 製造: Bergum Staalbouw 社 施工: Poly Products 社 《研究グループ》 ・Dutch Ministry of Transport. ・Design:Comp-Support. ・fabrication:Bergum Staalbouw. ・constructor:Poly-Products.			引抜GFRP		
				ハットレイ GFRP	○	
				ケーブル材		
				シート補強材		
FRP 適用による メリット	・メンテナンスコストの低減 ・環境保護~鋼橋の場合, 塗替え時に環境汚染が生じる. オランダの環境保護法対策. ・自重の軽量化~鋼橋の 45%					
FRP 適用上の 問題点	・イニシャルコストが高い. ~鋼橋案に対し, 概略検討時ではほぼ同等, 比較設計時で15%コスト高, 詳細設計時で2倍のコスト高となった. ・支間中央部たわみで設計が決まる. ・製造方法の選定・樹脂材質の選定・樹脂 gel-time の設定					
その他 (注目すべき要素 技術等を抽出)	・製造方法:当初vacuum bagging processを予定→ハンドレイアップに変更(bleederの問題)~ ・matrix:当初ポリエステル樹脂→ビニルエステル樹脂に変更(実験で耐火性が良かった)→製造時に種々の問題発生→結局, ポリエステル樹脂の方が良かった					
題目 (和訳タイトル)	Design and Manufacturing of Full Composite Pedestrian Bridge (オール FRP 歩道橋の設計と製造)					
書名	Second International Conference on Composites in Infrastructure, vol.1, 1998					
巻頁	pp.443~455		刊行年月	1998.1		
著者名	R.Noordzij(Dutch Ministry of Transport, Zoetermeer, Netherlands)					
論文概要	本論文は岸壁と係船栈橋間に架設した15mのFRP歩道橋の設計・製造について書かれている. オランダでは年々増加する鋼橋の維持管理コストに頭を痛めており, 特に, オランダ環境法(今後, 年々シビアになる)では塗り替え時のサンドブラスト砂に含まれる塗料屑も産業廃棄物とみなされるため, 仮設の防護工に要するコストが極端に高くなっている. そこで最低25年間は維持補修が不要な構造物としてFRP歩道橋が実証施工された. 本論文では, その歩道橋の計画から, 比較設計, 詳細設計, 実構造物の製造に至るまで, 材料・設計・製造法などがいかに決められ, 変化していったかが克明に記述されている.					



図－１ 橋梁外観図

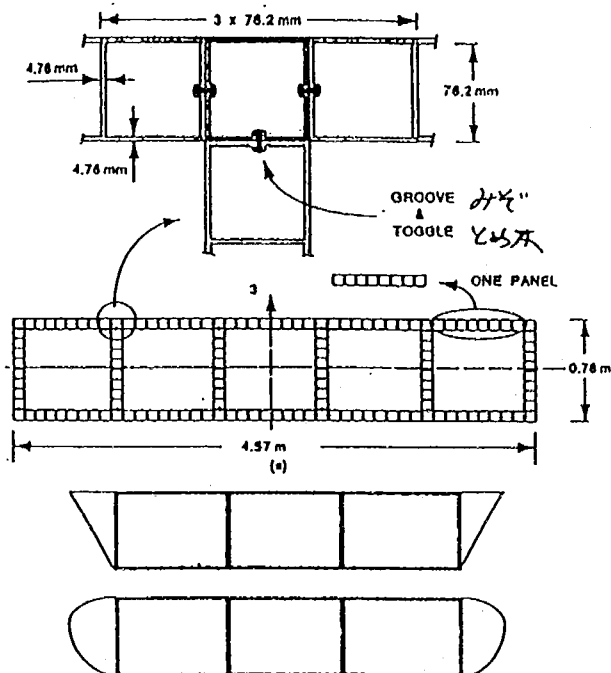


図－２ 橋梁一般図



図－３ 橋体の製造状況

構造物名	Lincoln composite bridge		竣工年月	計画	
構造物種別	歩道橋 (斜張橋)		所在地	アメリカ、ネブラスカ州 リンカーン市	
構造物概要	全長 274.3m、2タワー、中央支間 122m、高さ 33m、(床版上 24m) 幅員 4.57m				
FRP の適用部位	タワー部——GFRP (フィラメントワインディング) による) ケーブル——アラミド繊維 kevler 49 床版——①GFRP 引抜材の組み合わせによるボックスガーダー、 幅 4.57m、高さ 0.76m ②フラットハニカム GFRP 板を利用				
主な部材接合法	記述なし				
FRP の概要 (繊維・樹脂・ 部材・形状・使 用量等)	・引抜材 Eガラス 40～45%含有 ・樹脂は、ビニルエステル樹脂 ・ハニカム構造材 ・アラミド繊維ケーブル Kevler 49 ・	引抜き材 GFRP		○	
		ハニカム GFRP			
		ケーブル材		○	
		シート補強材			
		ハニカム GFRP		○	
FRP 適用による メリット	・軽量 ・腐食しない ・比強度が大きい ・メンテナンスフリーでコストが安い				
FRP 適用上の 問題点	・部材の座屈応力、動的荷重による振幅の大きさ ・部材の組み合わせによる座屈の検討 ・変形が大きい ・安全率の設定 ・ケーブルのユルミの考慮				
その他 (注目すべき要 素技術等を抽 出)	・人間ががまんできる床版の最大加速度を設定、0.125G ・設計に構造用プラスチックマニュアルを利用				
題目 (和訳タイトル)	FRP 製斜張橋の歩道橋の解析と設計について				
書名	Composites				
巻頁	Part B 27 B、pp307-317		刊行年月	1996	
著者名	Magdi A. Khalifa, Osama A. Hodhod, Mohammed A. Zaki				
論文概要	アメリカで最初の全FRP斜張橋を設計するにあたり、FEM等各種解析を行った。部材について座屈の検討、剛性の長短期間の性能基準を設定。また、安全率の検討、橋のゆれに対する人間が許容する値を検討。				



— REPRESENTS PANELS
— REPRESENTS NONSTRUCTURAL FAIRINGS

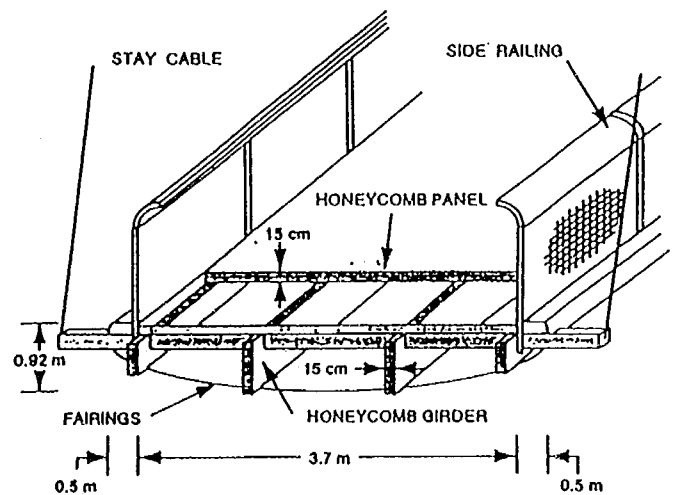
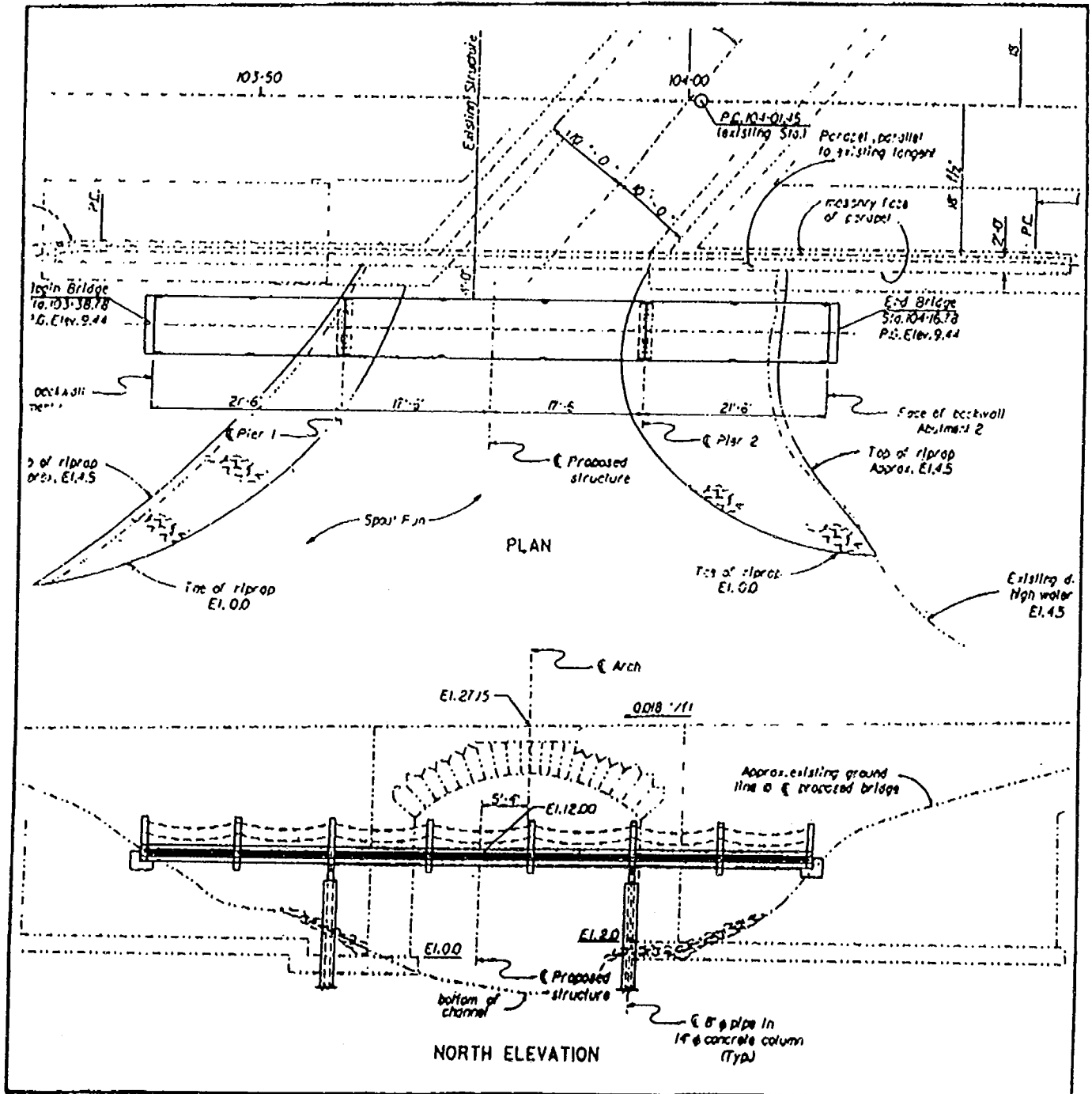


Figure 5 Honeycomb deck section

構造物名	複合材橋		竣工年月	未定
構造物種別	歩道橋	所在地	ワシントンDC	
構造物概要	Figure 1に示される歩道橋（案）。 デモンストレーションとしてワシントンDCのジョージワシントンパークウェイの歩道橋が選定された。 選定理由：低リスク 小規模 安価			
FRPの適用部位	具体的記載なし			
主な部材接合法				
FRPの概要 （繊維・樹脂・部材 形状・使用量等）			引抜GFRP	○
			ハットレイGFRP	
			ケーブル材	
			シート補強材	
FRP適用による メリット	・ 価格が安い（特に運搬を伴う場合）			
FRP適用上の 問題点	・ 複合材料を使用するための明確な設計指針がない ・ 品質管理と標準化 ・ 接合の標準化			
その他 （注目すべき要素 技術等を抽出）	森林局は2つ、国立公園局は6つ以上の複合材料製歩道橋を設置している。			
題目 （和訳タイトル）	複合材料橋での2つの連邦機関の試験：複合材料受け入れのケーススタディ			
書名	International Composites EXPO'97 Proceedings (SPI)			
巻頁	SESSION 3-A (P. P1-7), 1997		刊行年月	
著者名	Glen Mandio (GHL Incorporated)			
論文概要	連邦高速道路管理局(FHWA)、森林局(USFS)は最近FRP性の歩道橋を用いて試験を開始した。FHWAは1996年から複合材料製歩道橋を設計し、新規技術と材料を使用して性能を評価しようと注力。デモンストレーションとしてジョージワシントンパークウェイの歩道橋が比較的 low リスク、小規模、低価格のため選定された。今後このFRP製橋の安定性、耐久性、設計や接合の完全さを確認し、さらに普及に努めてゆく計画である。			

Figure 1: Proposed Composite Bridge Over Spout Run Along George Washington Parkway in Washington, DC.



構造物名	ガラス繊維の成形板を用いた長スパントラス橋		竣工年月	1993
構造物種別	車道橋		所在地	フロリダ州
構造物概要	スパン長：40ft、高さ：7ftのトラス構造			
FRPの適用部位	上弦材、下弦材、斜材、垂直材など骨組み構造の主部材にガラス繊維をの成形板を用いている。			
主な接合法	ボルト接合（FRP製			
FRPの概要 （繊維・樹脂・部材・形状・使用量等）	GFRPの機械的性質 圧縮：30,000psi 引張：30,000psi 弾性係数：25,000ksi	引抜GFRP	○	
		ハブ型GFRP		
		ケーブル材		
		シート補強材		
FRP適用による メリット	・軽量である。 ・非磁性である。 ・耐食性に富む。 ・従来の木や鉄の代替として期待できる。			
FRP適用上の 問題点	・ガラス繊維の成形板を用いたトラス橋のある荷重に対して、どのような挙動を示すか明確化されていない。 ・応力解析が難しい。			
その他 （注目すべき要素技術等を抽出）	・なし			
題目 （和訳タイトル）	Design and Construction of Fiberglass Truss for a Long-Span Fiberglass Building 長スパン構造物用GFRP製トラス構造の設計と建設			
書名	SPI、第49回			
巻頁	Session 14-A、pp1-4	刊行年月	1994. 2	
著者名	ED MORSI J.LARRALDE			
論文概要	ガラス繊維の成形板を用いたトラス橋のある荷重に対して、どのような挙動を示すか明確化されていない。そこで、本手法を用いることにより構造解析が可能になった。			

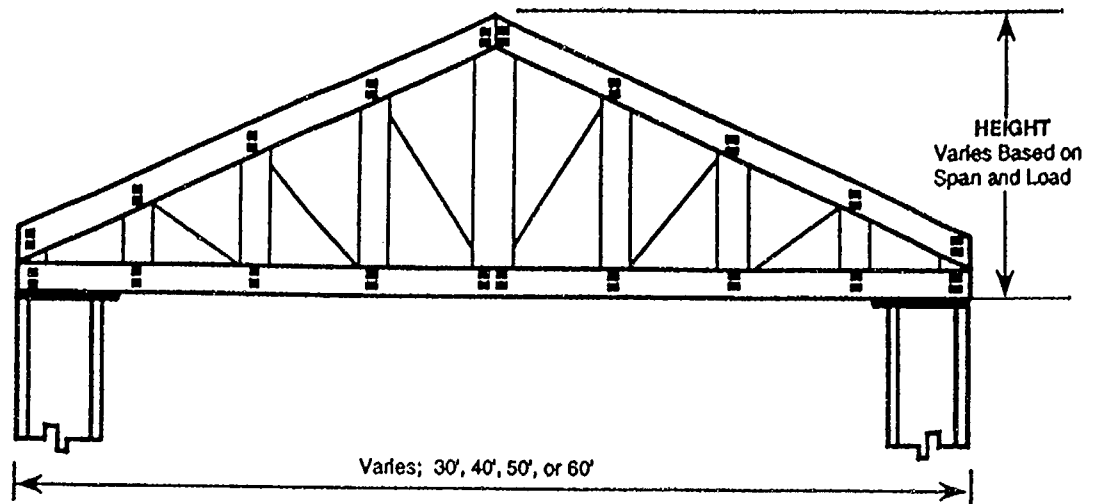
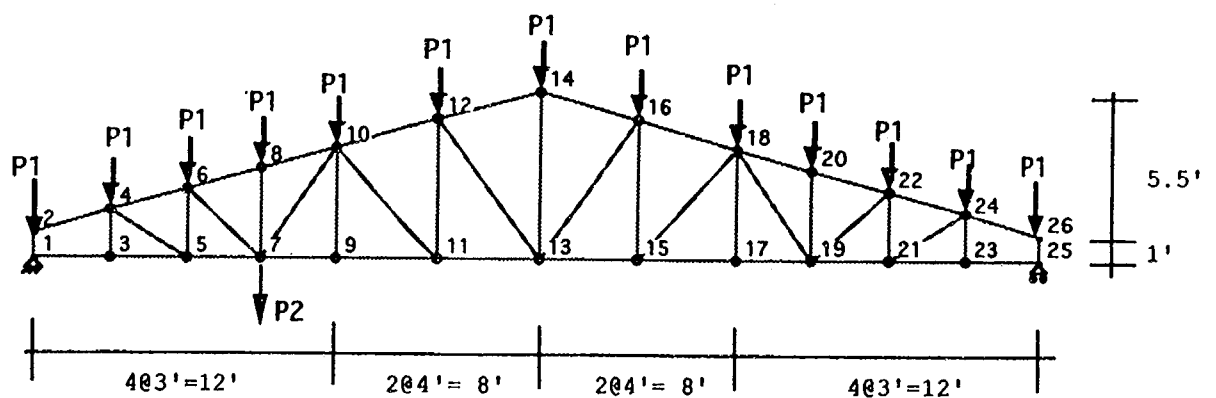


FIGURE 1. FRP long span truss section elevation.



MEMBERS

top and bottom chord = J[10"
all diagonals = PL 1/2 x 4 "
7-8 = steel PL 1/2 x 5 "
13-14 = PL 1/2 x 6 "
all FRP unless indicated,
E = 2,500 ksi

FORCES

P1 = 1,200 lb
P2 = 5,300 lb

WESTURCO FRP ROOF TRUSS

Structural Analysis

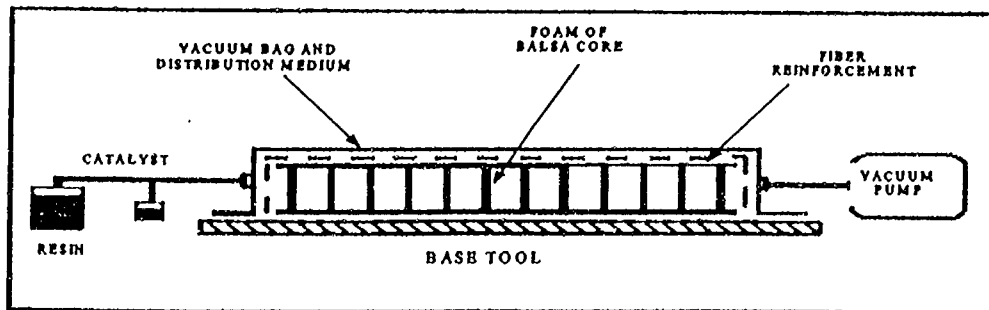
1

J. Larralde, Ph.D., P.E.

March 1993

FIGURE 2.

構造物名	Composite Marine Fenders		竣工年月	1993 年		
構造物種別	護岸施設	所在地	アメリカ・デラウェア湾			
構造物概要	・複合部材によるパネルは、フェリーターミナルのコンクリート防護アバットの柱に取付けられている。 ・このパネルは、四つの部材から構成され、重さは 2,500 ポンドである。(鉄製の場合、7,500 ポンド)					
FRP の適用部位	・4 つのパネルによる防弦材					
主な部材接合法	・記述なし。					
FRP の概要 (繊維・樹脂・部材形状・使用量等)	・繊維 ガラス繊維 ・部材形状 0.8m×0.15m×3m ・弾性係数は鋼材の約 10% である。 ・許容ひずみは鋼材の約 15 倍である。 ・せん断弾性係数は比較的低いので、たわみではせん断力を考慮する。			引抜 GFRP		
				バットレイGFRP		
				ケーブル材		
				シート補強材		
FRP 適用によるメリット	・鋼製のものに比べて重量が軽いので取付設置のコストが安い。 ・メンテナンスの費用が安い。 ・腐食抵抗が優れている。 ・エネルギー吸収能力がある。					
FRP 適用上の問題点	・鋼製のものよりも重量が軽い、値段は同程度である。					
その他 (注目すべき要素技術等を抽出)	その他の適用例： ①デラウェア記念橋の基礎の防護施設 ②アメリカ北東部の主要道路部の鋼桁橋					
題目 (和訳タイトル)	Composites in Civil Infrastructure and Marine Applications (土木構造物及び海洋構造物における複合部材の適用)					
書名	I C C I ' 9 6					
巻頁	p1115-1125		刊行年月	1996		
著者名	Rick J. Volk, P. E.					
論文概要	建設されてから長い年月が経過した土木構造物は、構造的に弱っており、修復あるいは新しく構造物が必要だという意見が圧倒的である。そのため、関係当局は橋梁や護岸施設に FRP を利用するための実験や研究を行い、今や FRP は土木構造物の建設や補修の重要な役割を担っている。 写真 7、図 2、表 0					



The Seeman Composite Resin Infusion Molding Process (SCRIMP).



Complete pier side installation of Composite Marine Fenders. These 9 fender units replaced 180 timber piles and as a result, completely eliminated the water pollution from the leaking creosote.

構造物名			竣工年月	1994 年 1 月	
構造物種別	足場	所在地	日本・群馬県		
構造物概要	JR 高崎線北藤岡、倉賀野間の烏川橋梁（単線式下路トラス L=54m）の塗装工事において、FRP パイプによる足場を使用した。				
FRP の適用部位	橋梁の下部吊り足場とトラス上部工の足場				
主な部材接合法					
FRP の概要 （繊維・樹脂・部材 形状・使用量等）	・ FRPパイプの製造法は、コンポーズ法（樹脂被覆法）である ・ 使用したFRPパイプの種類は、φ 49.5、φ 60.4、□60である。 ・ 従来の単管パイプと比較をすると、許容曲げ応力度は 46.5%、重量は 51.0%、単価は 2.75 倍である	引抜 G F R P			
		ハンドレイ GFRP			
		ケーブル材			
		シート補強材			
FRP 適用による メリット	・ 軽量のため作業効率がよい ・ 安全対策の面からも軽量で取り扱いやすい ・ 電気絶縁性がよいため、架線付近や線間付近で使用しても短絡を起こさず感電防止対策によい。 ・ 耐用年数が長い（足場丸太と比較して）				
FRP 適用上の 問題点	・ FRPパイプを足場材に適用する場合に心配することは、たわみ問題であるが、径と支点間の距離を基準化することにより、十分に適用できる。 ・ コストが高い				
その他 （注目すべき要素 技術等を抽出）					
題目 （和訳タイトル）	FRP 材を使用した足場工の研究について				
書名	鋼橋塗装				
巻頁	Vol.21 No.1 pp.25～33	刊行年月	1993		
著者名	建築塗装工業株式会社				
論文概要	現在、足場材料としては、単管、足場丸太が主流であるが、重量、絶縁化、耐用年数、資源面などの問題がある。これらに代わる材料として、軽量で絶縁性の材料である FRP に着目し、すべりやたわみ等の性能試験を行なった後、FRP パイプを全面的に使用した試験施工を行なった。この結果、FRP パイプは、足場工に使用できることが明らかになった。しかし、価格が高いことが一番問題であり、今後汎用性を持たせ、大量生産に持ち込む必要があり、その手段として公的機関の認知を受ける必要がある。				

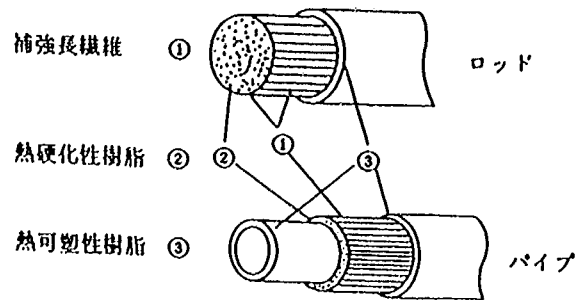


図-1 コンボーズの構造

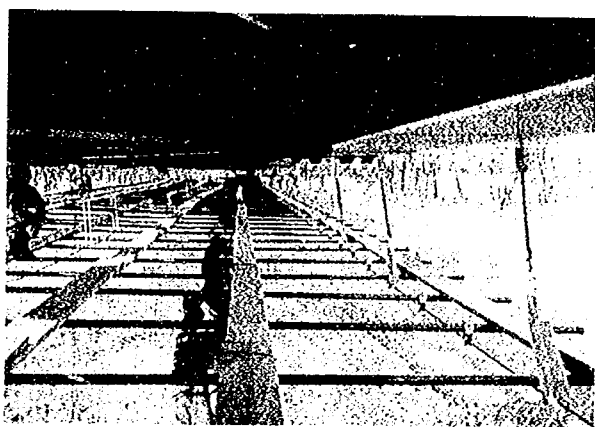


写真-1 FRP引出し後、中吊り、足場板敷設も終わった状態

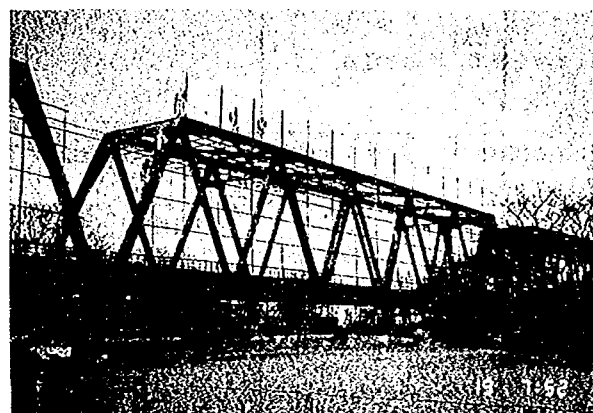


写真-2 FRP材による上部工敷設状態

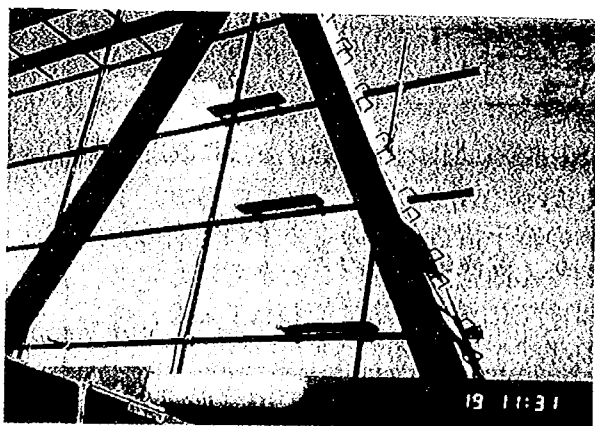


写真-3 簡易ブラケット足場2本受け型を取り付けた状態

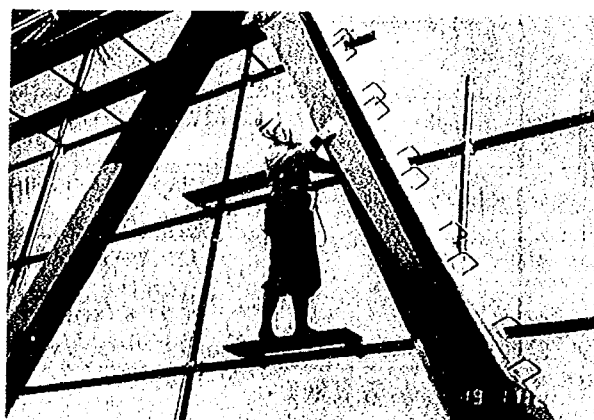


写真-4 簡易ブラケット足場に乗り、作業を行っている状態

構造物名	“送電用塔”		竣工年月	1994年 or 以前		
構造物種別	トラス塔	所在地	記述なし			
構造物概要	クリスマスツリー型のスナップジョイントを使って組み立てた高さ28mのトラス送電塔。					
FRPの適用部位	塔全体					
主な部材接合法	ファスナーを使用せず、クリスマスツリー型のスナップジョイント。					
FRPの概要 (繊維・樹脂・部材形状・使用量等)	引抜GFRPという以外には記述なし。			引抜GFRP	○	
				ハドレイGFRP		
				ケーブル材		
				シート補強材		
FRP適用によるメリット	継手部分も一連の工程の中で加工できる引抜成形機を使用することによる、コストメリット。耐食性に優れていることによるメンテナンス費用低減。					
FRP適用上の問題点	記述なし。					
その他 (注目すべき要素技術等を抽出)	同様の設計で、200フィートまでの送信塔、構造ビル、石油掘削リグも可能としている。					
題目 (和訳タイトル)	Composite Structures are a Snap					
書名	ICCI '98					
巻頁	図11		刊行年月	1998年		
著者名	Goldworthy,W.B., Hiel,C.					
論文概要	コンポジット構造用の全く新しい継手を紹介する。これまでのコンポジット構造の継手は、金属の構造物の継手構造をそのままねたものであったが、FRPの支圧強度や層間せん断強度が低いことを考慮したスナップ継手を考案した。この継手はすでに送電用塔に使われており、将来は高層ビルなどにも適用可能である。					

(他の参考文献)

1) "Cutting through the Glass Ceiling:A Report on the Development of an Innovative In-Line Machining Center to Economically Fabricate Pultrusions for Civil Engineering Applications", Session 7-E, International Composites Expo '98.

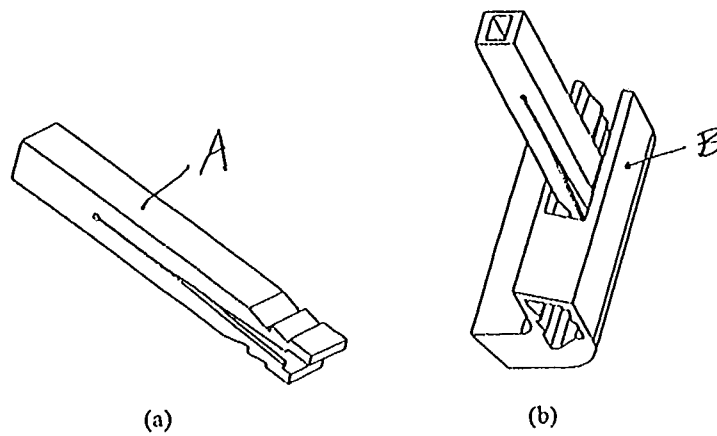


Figure 3(a,b) "Snap" joint concept
(Designed by W.B. Goldsworthy & Associates, Inc.)



Figure 4(a,b,c) Hardware for fastenerless "Snap" joint
(Designed by W.B. Goldsworthy & Associates, Inc.)

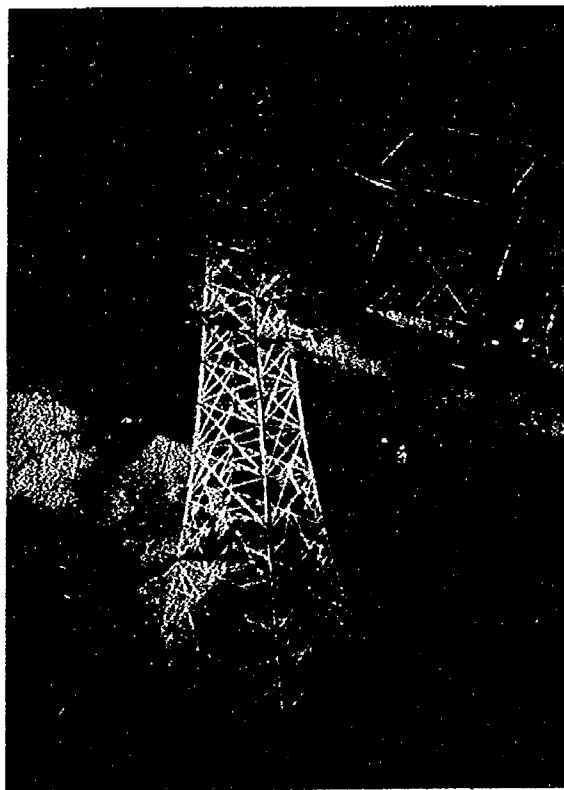
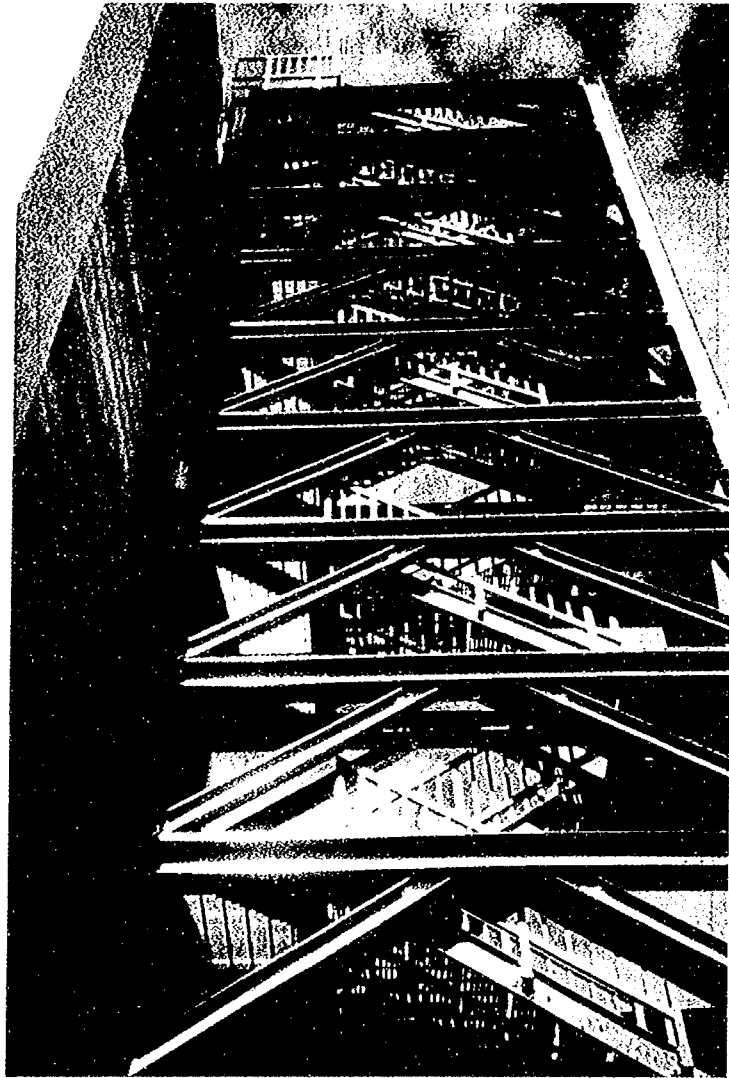


Figure 5. Fastenerless "Snapped" composite transmission tower
(Designers: W.Brandt Goldsworthy & Associates Inc, 1994 for Ebert Composites)

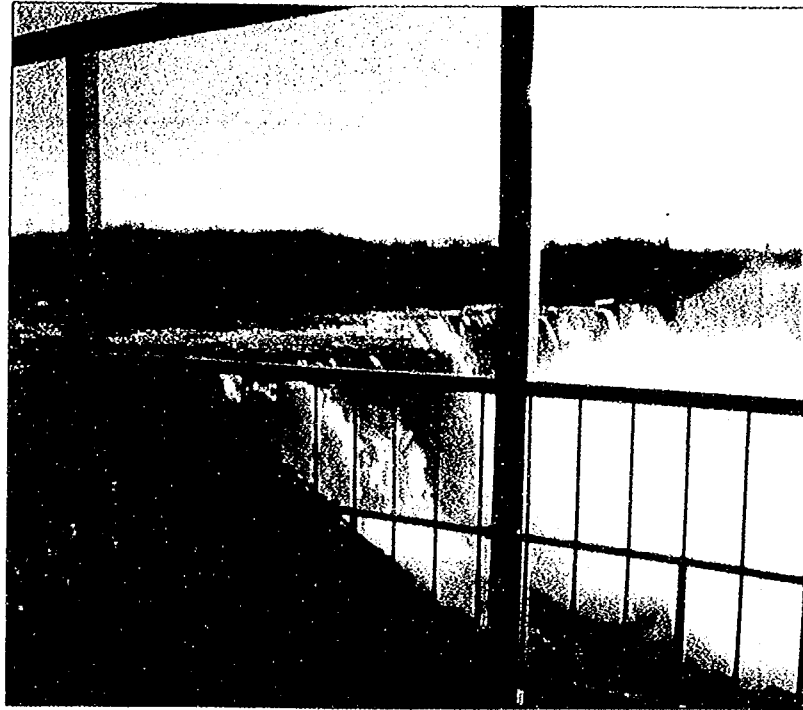
構造物名	Full-Scale composite and steel wicket		竣工年月	1995年頃		
構造物種別	ダムゲート (ウicketゲート)	所在地	Olmsted Dam Kentucky, USA			
構造物概要	ケンタッキー州のオハイオ川に建設された Olmsted Prototype Wicket Dam は、多数の可動型ゲートによる堰である。そのゲートの一部に引抜FRP製の壁体が採用された。ゲート一枚の大きさは、幅3m 高さ7.5mである。					
FRP の適用部位	可動型のダムゲート壁体 (河床?から起きあがるタイプ) 背面ビーム1本及びジャッキ取り付け具、ヒンジ等は塗装併用の鋼製 ・ゲート板: 引抜シート、厚さ1.9cm (0.75 inch) ・補剛部材: 引抜Iビーム、45.7×11.4cm (18×4.5 inch) (板厚各 9.5, 12.7mm (3/8, 1/2 inch))					
主な部材接合法	Fastener (Huck Manufacturing Co.) Pliogrip adhesive					
FRP の概要 (繊維・樹脂・部材 形状・使用量等)	引抜材: Morrison Molded Fiber Glass(MMFG)製 Extren625 glass/vinylester pultrusion ・厚さ1.9cmのシート (平板) ・ウェブ11.4cm、フランジ45.7cmのIビーム			引抜GFRP	○	
				ハットレIGHFRP		
				ケーブル材		
				シート補強材		
FRP 適用による メリット	振動レスポンスが鋼製ゲートよりも高い 約1年間の供用と25年に相当する400回の開閉後にも摩耗や腐食の支障は見られなかった 鋼製ゲートではSUSとの電位差腐食と隙間腐食が広範囲にみられたが、コンポジットゲートはほとんどメンテナンスがいらなかった					
FRP 適用上の 問題点	損傷したコンポジット部材の補修は一つの重要な項目であるとしている 現在はUSACEではOlmsted Wicketsにコンポジットを使用する計画はないそうである					
その他 (注目すべき要素 技術等を抽出)						
題目 (和訳タイトル)	Performance Evaluation of Full-Scale Composite and Steel Wickets for Use at Olmsted Locks & Dam					
書名	ICCI'98					
巻頁	Vol.1, pp667-681		刊行年月	1998,1		
著者名	Chowdhury M., Hall R.					
論文概要	オハイオ川に建設された Olmsted Prototype Wicket Dam の引抜FRP製のゲートに関する報文である。ダムの場所と機能の解説、ゲートの諸元や適用にあたり実施された調査に関する結果が紹介されている。 鋼製及びコンポジット製ゲートの調査として、自由振動特性の測定、油圧昇降装置による操作の評価、長期間の変状観察が行われた。					

(白 紙)

構造物名	非常階段塔	竣工年月	不明(1995 以前)
構造物種別	非常階段塔	所在地	US Naval Training Base Fort Story, VA, USA
構造物概要	6 3 フィートの GFRP 製非常階段塔 90000 ポンドの荷重、130lbs/ft ² の風力 (140mph のハリケーンに相当) に耐えるように設計された。 本体の建物には構造的には接合していない。		
FRP の適用部位	I 型ビームを柱、梁、斜材に使用した。 柱材：10 インチ×10 インチ×1/2 インチ 斜材：8 インチ×8 インチ×3/8 インチ 梁：10 インチ×10 インチ×3/8 インチ 手摺：2 インチ×2 インチ×1/4 インチ (角チューブ)		
主な部材接合法	GFRP ビームをステンレススチールのアングル材とボルトで接合した。		
FRP の概要 (繊維・樹脂・部材 形状・使用量等)	FRP は塩水腐食に耐えるように海水での試験を行って選定した。 EXTRENO + Series525 (耐火型ポリエステル樹脂、ガラス繊維)	引抜 GFRP	○
		ハンドレイ GFRP	
		ケーブル材	
		シート補強材	
FRP 適用による メリット	海岸からの塩水による腐食防止。 長期的ライフサイクル、低メンテナンス		
FRP 適用上の 問題点			
その他 (注目すべき要素 技術等を抽出)			
題目 (和訳タイトル)	FRP Stairtower Meets the Challenge		
書名	FRP Composites in Construction Application A PROFILE IN PROGRESS (1995) 繊維強化複合材料の建設への応用 — 発展状況 —		
巻頁	p. 10	刊行年月	
著者名	編集：John P. Busel (Market Development Alliance of the Composites Institute)		
論文概要			



構造物名	ナイアガラ滝展望台		竣工年月	不明(1995 以前)		
構造物種別	手摺、階段	所在地	米国、ニューヨーク州、ナイアガラ			
構造物概要	ナイアガラ滝の観光用展望台 (米国側)					
FRP の適用部位	手すり (延長約 1000 フィート) 非常用階段 (14 階段、14 踊り場)、高さ 185 フィート					
主な部材接合法	ボルト (詳細不明)					
FRP の概要 (繊維・樹脂・部材 形状・使用量等)	I K G (Nashville, TN) Eーガラス、イソフタル酸ポリエステル樹脂			引抜 G F R P	○	
				ハドレイ GFRP		
				ケーブル材		
				シート補強材		
FRP 適用による メリット	滝の飛沫がかかる環境で、腐食しやすい鋼製の旧構造物を置き換えた。 F R P の方が耐食性の高さによりライフサイクルコストが低かった。					
FRP 適用上の 問題点	当初の建設会社による設計に強度不足が見つかり、設計変更があった。					
その他 (注目すべき要素 技術等を抽出)						
題目 (和訳タイトル)	Eliminating Corrosion Niagara Falls					
書名	FRP Composites in Construction Application A PROFILE IN PROGRESS (1995) 繊維強化複合材料の建設への応用 ー発展状況ー					
巻頁	p. 9		刊行年月			
著者名	編集: John P. Busel (Market Development Alliance of the Composites Institute)					
論文概要						



構造物名	ガードレール		竣工年月	
構造物種別	ガードレール	所在地		
構造物概要	・ Federal Highway Administration(FHWA)が行ったガードレールの試験			
FRP の適用部位	・ 供試体形状 (表 1) 中空管とアングルの材質は、ビニールエステル			
主な部材接合法				
FRP の概要 (繊維・樹脂・部材形状・使用量等)	・ ガラス繊維シート	引抜 G F R P		
		ハドレイ GFRP		
		ケーブル材		
		シート補強材	○	
FRP 適用によるメリット	・ 繊維シートを巻き付けることによって、耐荷荷重を大きくする。			
FRP 適用上の問題点				
その他 (注目すべき要素技術等を抽出)	・ 内部にウェブや個々のセルがある梁は、横断面にセルがほとんどない梁より耐荷荷重が大きい。 ・ 断面が四角形の方が、アングルより耐荷荷重は大きく、脆性破壊しにくい。			
題目 (和訳タイトル)	Design of Pultruded Beams for Optimization of Impact Performance (最も効率のよい衝撃作用の引抜梁の設計)			
書名	50 th Annual Conference, Composites Institute, The Society of the Plastics Industry, Inc. , 1995			
巻頁	Session 10-E	刊行年月	January ,1995	
著者名	Alrik L. Svenson, Martin W.Hargrave, Ala Tabiei, Lawrence C.Bank, Yu Tang			
論文概要	FHWA では、ガードレールに使用する複合材料を調査し、ガードレールのためのガラス繊維補強プラスチック (RP) の最適な設計を求めようとした。この試験では、RP を使用したいろいろなタイプの断面形状で半静的と衝撃試験を行い、最大荷重、エネルギー吸収特性を求め、最適な断面形状を検討したものである。 写真 11、図 6、表 2			

表 1. 梁の使用

種類	形状 (mm)	寸法 (mm)	
MULTI	Multi-cell (50×152×5)	762.152.51	1 multi-cell
DBS	四角形管 (50×50×3)	762.102.51	2 管接着
SWV	四角形管 (50×50×3)	762.60.60	1 管接着シート巻
DBW	四角形管 (50×50×3)	762.108.60	2 管接着繊維シート巻
FBW	小四角形管 (25×25×3)	762.60.60	4 管接着繊維シート巻
TBA	等辺のアンクル (38×38×6)	762.46.95	3 アンクル接着
FBA	等辺のアンクル (25×25×3)	762.23.76	4 アンクル接着

表 2. 静的と衝撃試験の最大荷重

種類	最大荷重 (kN)	
	静的試験	衝撃試験
MULTI	19.8	18.8
DBS	16.8	**
SWV	11.9	14.9
DBW	26.1	34.1
FBW	24.2	25.0
TBA	11.5	*
FBA	3.12	*

* 衝撃試験をなし

** 衝撃試験ための供試体なし

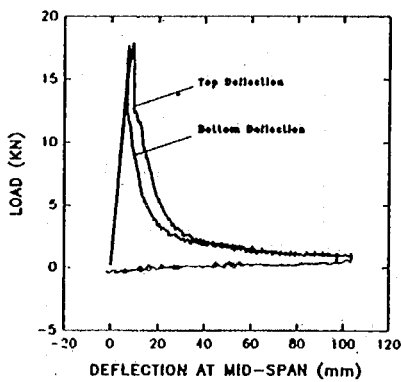


図 9 静的試験 (MULTI)

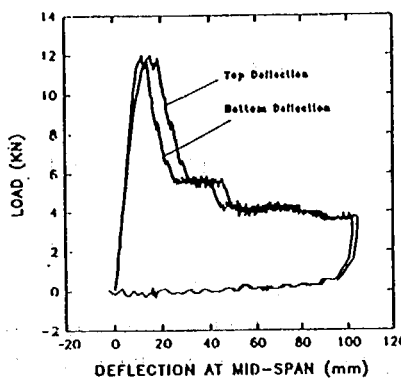


図 10 静的試験 (SWV)

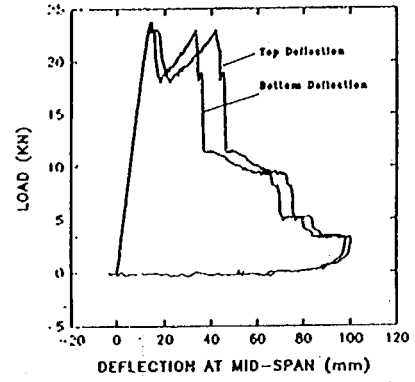


図 11 静的試験 (FBW)

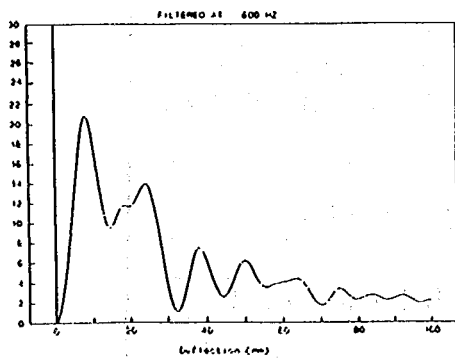


図 9 衝撃試験 (MULTI)

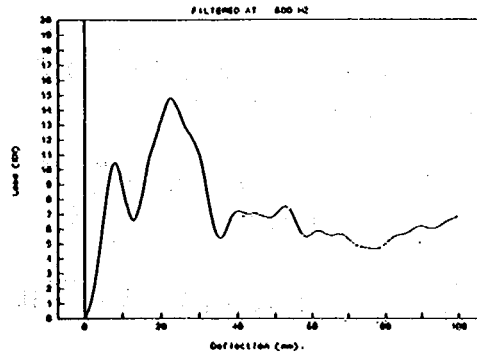


図 10 衝撃試験 (SWV)

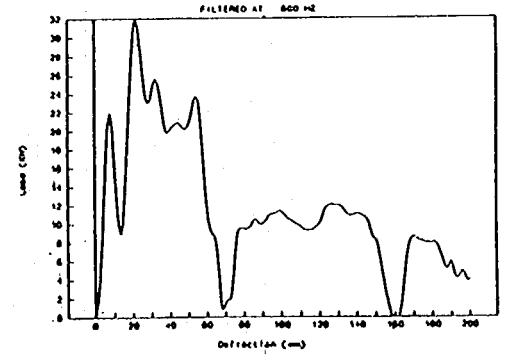


図 11 衝撃試験 (FBW)

構造物名	なだれ予防柵	竣工年月	1996. 10
構造物種別	なだれ予防柵	所在地	磐越自動車道東山工事区 新潟福島県境、日本
構造物概要	JH新潟建設局が施工した磐越自動車道東山工事における、支柱基礎を必要としない吊り柵型のなだれ予防柵（3×5 m）、計81基である。なだれ予防柵は地形が急峻で機械施工の困難な箇所に設置するが、鋼材を用いた場合は補助機械なしでの組立作業は困難である。このため、支柱及び横バーを軽量でかつ高強度のFRPとし、現地における組立作業を人力にて行えるようにした。		
FRPの適用部位	大きなスノコ状の形状をしたなだれ予防柵本体の支柱と横バー ・ H型材（支柱）：長さ3 m、33 kg ・ 角パイプ（横バー）：長さ5 m、19 kg		
主な部材接合法			
FRPの概要 （繊維・樹脂・部材 形状・使用量等）	ポリエステル樹脂、ガラス繊維による引抜材 ふっ素樹脂による塗装 柵81基（支柱162本、横バー810本）	引抜GFRP	○
		ハットレイGFRP	
		ケーブル材	
		シート補強材	
FRP適用による メリット	・ 重量は鋼材の1/4でかつ予防柵の部材として十分な強度を有する ・ 高所における設置作業が人力により楽にできる ・ 荷揚げ用の索道が1ブロックあたり1箇所に集約可能 ・ 組立及び設置の施工費が低く抑えられる ・ 硫酸や塩酸など化学物質に対する耐食性に優れる		
FRP適用上の 問題点	素材の耐久性（表面処理のない場合に一年間の暴露試験で10%の強度低下というデータがある） FRPの材料費はまだ高価である。しかし今後の大量の消費によりコストの低減が見込める。 既存の金型の種類により部材の選択に制約がある		
その他 （注目すべき要素 技術等を抽出）	なだれ予防柵は吊り索とFRPという既存技術の組み合わせであり、設計や施工に特殊な技術を必要としないことも、短期間で施工ができた理由としている。		
題目 （和訳タイトル）	材料の軽量化による現場施工の省力化をはかる 強化プラスチック（FRP）を利用したなだれ予防柵の施工		
書名	北陸の建設技術		
巻頁	Vol.25, pp22-25	写5、図3、表0	刊行年月 1997, 9
著者名	大淵政義		
論文概要	なだれ予防柵は地形が急峻で機械施工の困難な箇所に設置することが多いが、主構造を鋼材とした場合は補助機械なしでの組立作業は困難である。このため、なだれ予防柵の支柱及び横バーを軽量でかつ高強度のFRPとし、現地における組立作業を人力にて行えるようにした。このFRPを利用したなだれ予防柵の施工結果を報告したものである。		

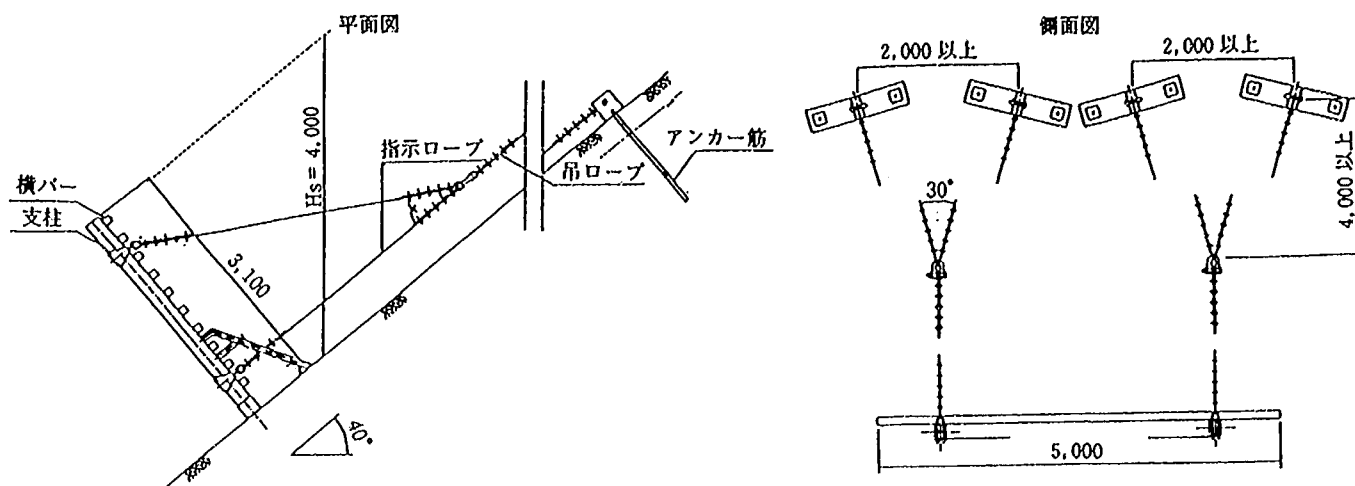


図-2 なだれ予防さく一般図（斜度40°）

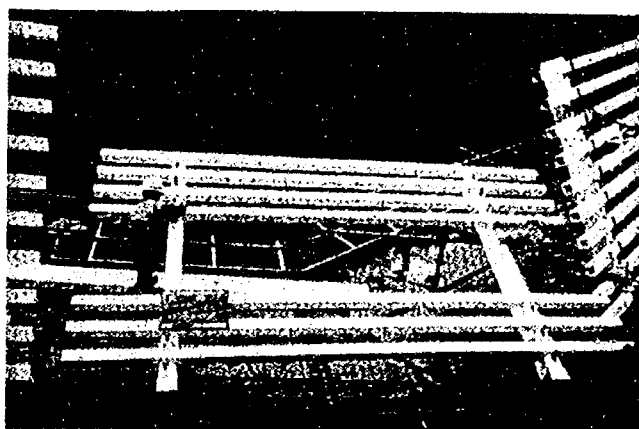


写真-3 なだれ予防さく組立状況

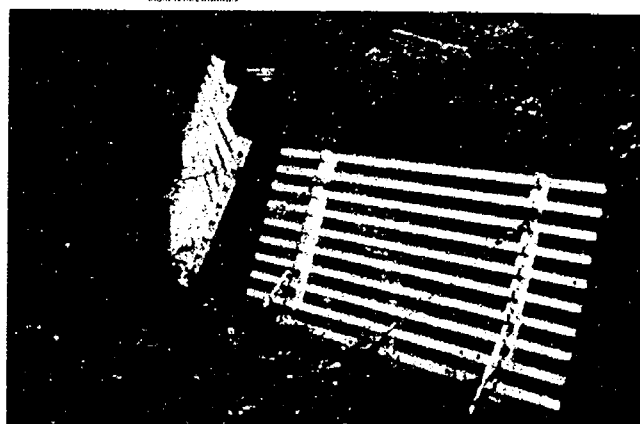
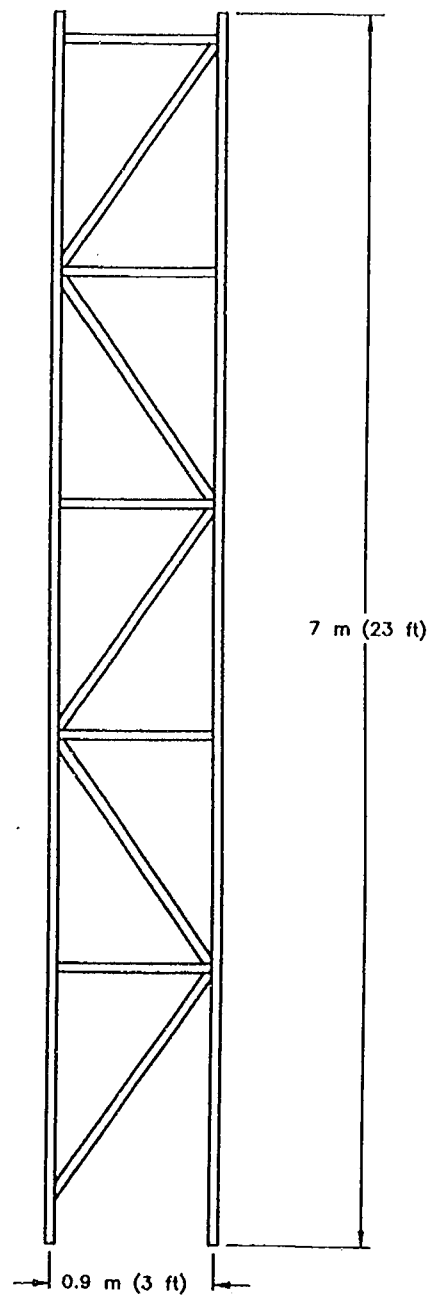


写真-4 なだれ予防さく設置完了状況



写真-5 なだれ予防さく設置状況

構造物名		竣工年月	
構造物種別	アンテナ塔	所在地	
構造物概要	航空機の衝突で容易に破壊するアンテナ塔 ・トラス形式、 ・0.9m×0.9m×高さ 7m ・総重量 890N		
FRP の適用部位	構造物全体 ・トラス部材として使用 (主に角パイプ、補強にフラットバーを一部使用)		
主な部材接合法	ピン結合		
FRP の概要 (繊維・樹脂・部材 形状・使用量等)	・ガラス繊維 ・レジン ・角形ビーム(断面寸法：51×51×3.2mm) プレート (断面寸法： 51×6.4mm) ・タワーの重量：890N	引抜GFRP	○
		ハットレ GFRP	—
		ケーブル材	—
		シート補強材	—
FRP 適用による メリット	・航空機の衝突によって、確実に破壊する。 ・軽量である。 ・維持管理が最小限でよい。 ・非伝導性であるため干渉しない。		
FRP 適用上の 問題点	本文中に記載なし		
その他 (注目すべき要素 技術等を抽出)	・風や航空機の Jet Blast に対しての解析では、風の角度など詳細に検討している。 ・衝突に対して、確実に破壊する材料として FRP に着目している。		
題目 (和訳タイトル)	Structural Analysis of a Fiberglass Antenna Tower (ファイバーガラスを使用したアンテナ塔の構造解析)		
書名	SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPOSITES IN INFRASTRUCTURE		
巻頁	pp.493～503	刊行年月	1998
著者名	E.Steinberg, M.Johnson		
論文概要	空港滑走路の両サイド 61m には、障害物のないエリアの確保が必要である。しかし、航空機の衝突で容易に破壊する構造物は、その設置を認められている。今後、空港需要の増加から、このエリアの積極的な利用が予想されるため、衝突で確実に破壊することが条件である FRP を使用したアンテナ塔の構造解析を行なった。解析は、風荷重に対する静的解析と衝突時の動的解析を行なっている。この結果、FRP は、構造物の性能を満足する材料であることが示された。また、FRP の使用は、運搬、構造物の形式、維持を簡易にする。		



图一1 塔断面图

5. 参考文献

- (1) Brooks Natalie, "Honeycomb:the bridge building material", Reinforced Plastics, pp.40-42 (1995)
- (2) "Composites begin to bridge the gap", Reinforced Plastics, November 1996, pp.22-26 (1996)
- (3) John P. Busel, "Advanced Composite Materials Vehicular Bridge", FRP Composites in Construction Application A PROFILE IN PROGRESS (1995), pp.81
- (4) M. A. ERIKI, P. YANTHA, M. F. GREEN, G. E. JOHANSEN, R. WILSON, D. MAURER, "Experimental Behavior of a Reinforced Plastic Vehicle Bridge", 50th SPI(1995) Session 11-E, Session 11-E/1~ /5, (1995.1)
- (5) John P. Busel, "Lift Bridge Solves Problem in England", FRP Composites in Construction Application A PROFILE IN PROGRESS (1995), pp.13
- (6) G. ERIC JOHANSEN, ROY W. WILSON, FREDERIC ROLL, NOAH OLSON, MARTIN H. MILLMAN, MICHAEL SILVEY, "Advanced Composite Material Support Frames: An Evaluation of the Bow Meadow Bridge at Lake Crescent, WA", SPI, 51th, SESSION 7-D, pp.1-9 (1996)
- (7) D. Richards, C. Dumlao, M. Henderson, D. Foster, "Methods of Installation and the Structural Analysis of Two Short Span Composite Highway Bridges", International Composites EXPO'98, Session 4-E (1998.1)
- (8) Roberto LOPEZ-ANIDO, Hota V. S. GANGARAO, Jonathan TROVILLION and John BUSEL, "Development and Demonstration of a Modular FRP Deck for Bridge Construction and Replacement", 52th SPI, Session 16-D (1997)
- (9) "Light but Strong", Roads & Bridges, pp.38-40 (1997)
- (10) M. Chajes, J. Gillespie, D. Mertz, H. Shenton, "Advanced Composite Bridges in Delaware", ICCI'98 Vol. 1, pp.645-650, (1998)
- (11) J. Lesko, J. L., et., al. "Tom's Greek橋の複合上部構造のラボ及び野外における特性研究", ICCI'98, pp.634-644 (1998)
- (12) J. Lesko, J. L., et., al. "Tom's Greek橋の補修と屋外における耐久性に関する研究", SPI 52th, Session 9-E pp.1-6 (1997)
- (13) Richard, D. et al, "Methods of Installation and the Structural Analysis of Two Short Span Composite Highway Bridges", International Composite EXPO'98, Session 4-E (1998)
- (14) R. Lopez-Anido, et al., "Development and Demonstration of a Modular FRP Deck for Bridge Construction and Replacement", 52nd SPI, Session 16-D (1997)
- (15) "Bridges are best at SPI", Reinforced Plastics April 1997, Vol.41, No.4, pp72. 73. 75. 78 (1997.4)
- (16) Roberto LOPEZ-ANIDO, Hota V. S. GANGARAO, Venkata VEDAM, Nikki OVERBY, "Design and Evaluation of a Modular FRP Bridge Deck", 52th SPI (1997) Session 3-E/1~/6(1997)
- (17) C. Dumlao, K. Lauritis, E. Abrahamson, B. Hurlbut, M. Jacoby, A. Miller, A. Thomas, "DEMONSTRATION LOW-COST MODULAR COMPOSITE HIGHWAY BRIDGE", ICCI'96, pp.1141-1155 (1996)
- (18) Barry Dickson, Sanjeev Kumar, Hemanth Thippeswamy, "The McKinleyville Bridge - An Innovative Fiber Reinforced Plastic, Concrete and Steel Bridge", Off Proc Annu Int Bridge Conf, Vol. 13th, pp304-309 (1996)
- (19) G. Eric Johansen, Roy J. Wilson, F. Roll, P. Garrett Gaudini, K. Gray, "Design and

- Construction of FRP Pedestrian Bridges"Reopening the Point Bonita Lighthouse Trail"". 52th SPI, Session 3-F (1997)
- (20) William J. Harvey, "A Rainforced Plastic Footbridge, Aberfeldy, UK", Structural Engineering International 4/93, Recent Structures pp.229-232.
- (21) G. Eric Johansen and Richard Hanson, "Strength/Stiffness Characteristics of a Prestressed RP Truss Structural System", 50th SPI (1995), Session 5-E pp.1-3
- (22) John P. Busel, "Composite Grating for Public Pier", FRP Composites in Construction Application A PROFILE IN PROGRESS (1995), pp.25
- (23) John P. Busel, "U. S. Navy Test Pier Showcases Composites", FRP Composites in Construction Application A PROFILE IN PROGRESS (1995), pp.19
- (24) Sotiris N. Sotiropoulos, Hota V. S. GangRao, Ahmed N. K. Mongi, "Theoretical and Experimental Evaluation of FRP Components and Systems", J Struct Eng, Vol. 120, No. 2, pp.464-485(1994)
- (25) Johansen, G. E. , Wilson, R. J. , Roll, P. , Gaudini, P. G. , Ribble, S. T. , Fogle, A. J. , Gray, K. E. , Mehdi, R. M. , Choy, V. M. S., "Design and Construction of Two FRP Pedestrin Bridges in Haleakala National Park, Maui, Hawaii", Advanced Composite Materials in Bridges and Structures-II , pp.975-982 (1996)
- (26) Kin Liao, Robert I. Altkorn, Scott M. Milkovich, Jose Gomez, et al., "二次的なインフラストラクチャー用途の複合材料の長期的耐久性", 第28回SAMPE技術論文(1996), pp.1278-1289
- (27) John P. Busel, "World's First FRP-Glulam Ocean Pier", FRP Composites in Construction Application A PROFILE IN PROGRESS (1995), pp.76
- (28) John P. Busel, "Sea Life Park-Fiberglass Bridges", FRP Composites in Construction Application A PROFILE IN PROGRESS (1995), p.81
- (29) John P. Busel, "Structural Walkway/Bridge", FRP Composites in Construction Application A PROFILE IN PROGRESS (1995), pp.81
- (30) Bradley N. Robson, Michael W. Whitney, Issam E. Harik, Theodore Hopwood II "Design of the Longest RP Suspension Bridge in the World", 50th Annual Conference Session11-A (1995)
- (31) Wilson R. J. , Johansen G. E. , Ribble S. and Fogle A. , "Design and Construction of a Lightweight FRP Work Platform for Use at Oyster Creek Nuclear Power Plant", SPI 52th Annual Conference (1997), 1-6/Session 3B (1997)
- (32) I. Nishizaki, I. Sasaki, et al., "Feasibility Study of the Application of FRP to Pedestrian Bridges", ICCI'96, pp.1174-1185 (1996)
- (33) I. Sasali, I. Nishizaki, et al., "A Bridge Constructed Entirely of Composites; and the Results of Load Testing", ICCI '98, Vol.1, pp.657-666 (1998)
- (34) Kin Liao et al., "二次的なインフラストラクチャー用途の複合材料の長期的耐久性", 28th SAMPE, pp.1278-1289 (1996)
- (35) "Polyester Span", New Civil Engineer, pp.36-37, 21/28 August (1997)
- (36) R. Noordzij(Dutch Minstry of Transport, Zoetermeer, Netherlands), "Design and Manufacturing of Full Composites Pedestrian Bridge", Second International Conference on Composites in Infrastructure, vol. 1, 1998, pp.443-455 (1998)
- (37) Magdi A . Khalifa, Osama A. Hodhod, Mohammed A. Zaki, "FRP製斜張橋の歩道橋の解析と設計について", Composites, PartB 27B, pp.307-317 (1996)
- (38) Glen Mandio (GHL Incorporated), "複合材料橋での2つの連邦機関の試験：複合材料受け入れのケ

- ーススタディ", International Composites EXPO'97 Proceedings (SPI), Session 3-A pp.1-7(1997)
- (39) E D MORSI, J.LARRALDE, "Design and Construction of Fiberglass Truss for a Long-Span Fiberglass Building", SPI 49th, Session 14-A pp.1-4 (1994)
- (40) Rick J. Volk, P. E. , "Composites in Civil Infrastructure and Marine Applications", ICCI'96, pp.1115-1125 (1996)
- (41) 建設塗料工業株式会社, "F R P 材を使用した足場工の研究について", 橋梁塗料, Vol.21 No.1 pp.25-33 (1993)
- (42) Goldworthy, W. B. , Hiel, C. , "Composite Structures are a Snap", ICCI'98 (1998)
- (43) Chowdhury M. , Hall R. , "Performance Evaluation of Full-Scale Composite and Steel Wickets for Use at Olmsted Locks & Dam", ICCI'98, Vol. 1, pp.667-681 (1998)
- (44) John P. Busel, "FRP Stairtower Meets the Challenge", FRP Composites in Construction Application A PROFILE IN PROGRESS (1995), pp.10
- (45) John P. Busel, "Eliminating Corrosion Niagara Falls", FRP Composites in Construction Application A PROFILE IN PROGRESS (1995), pp.9
- (46) Alrik L. Svenson, Martin W.Hargrave, Ala Tabiei, Lawrence C.Bank, Tang, "Design of Pultruded Beams for Optimization of Impact Performance", 50th Annual Conference, Composites, The Society of the Plastics Industry, Inc., 1995, Session 10-E (1995)
- (47) 大淵政義, "強化プラスチック(FRP)を利用したなだれ予防柵の施工" 北陸の建設技術, Vol.25, pp.22-25 (1997)
- (48) E.Steinbeng, M. Johnson, "Structural Analysis of a Fiberglass Antenna Tower", Second International Conference on Composites in Infrastructure, pp.493-503 (1998)

付 録

FRPの一般解説

1. FRPとは

繊維強化プラスチックのことを、省略してFRP (Fiber Reinforced Plastic) と呼ぶ。樹脂と繊維を組合わせることによって、単独では持ち得なかった優れた性能を得ることができる。

複合材料の考え方は、古くはエジプトの日干しレンガに始まるが、現代の技術力を生かして高性能なプラスチック材料にしたものがFRPであるといえる。

組み合わせる素材の種類によって、幅広い性能が得られることから、tailor-madeの材料であるともいえる。

2. FRPの特長と欠点

FRPは複合材料としての特長を発揮し、学力的特性をはじめ多くの優れた点がある一方で欠点も存在する。特長を理解して最適な設計をすることで、優れた性能を引き出す必要がある。

(特長)

- ・高い比強度、弾性率をもつ
- ・耐食性の向上に役立つ
- ・製品の表面状態が良い
- ・透光性、電波透過性が良い
- ・軽薄短小に役立つ
- ・後加工性が良い
- ・破壊靱性の向上、破壊吸収エネルギーの増大
- ・最適設計の実現、適応性の高い材料

(欠点)

- ・耐熱性が不足
- ・層間せん断強さが劣る
- ・表面が傷つきやすい
- ・接合部の強度が劣る

3. FRPの種類と特徴

(1) 素材による分類

①繊維による分類

FRPは、使用する繊維がガラス繊維の場合、頭にGをつけてGFRPと呼ぶ。同様に、カーボン繊維やアラミド繊維を使用する場合はCFRP、AFRPと呼ぶ。

安価で高性能なガラス繊維がもっとも一般的である。カーボン繊維やアラミド繊維を用いると、さらに高強度、高弾性率が得られるが、比較的高価である。

各種繊維の強度特性を表1に示す。

表1 複合材料用繊維の強度特性

繊維の種類	繊維材質	比率 (g/cm)	引張強さ (kgf/mm ²)	比強さ (cm×10 ⁶)	弾性率 (kgf/mm ²)	比弾性率 (cm×10 ⁶)
無機繊維	Eーグラス	2.54	350	14	7,400	290
	Tーグラス	2.48	460	18	8,800	350
	アスベスト(クリソタイル)	2.4~2.6	210~560	8~22	16,100	650
有機繊維	アラミド(ケブラー49)	1.45	280	19	13,300	910
多結晶質繊維	炭素繊維(PAN系高強度)	1.77	350	14	26,000	1,470
	炭素繊維(PAN系高弾性率)	1.95	300	10	35,000	1,800
	窒化ホウ素	1.91	140	7	9,100	480
複合繊維	ホウ素／タングステン	2.63	280	11	38,600	1,470
	炭化ケイ素／タングステン	3.46	210	6.1	47,100	1,360
金属繊維	銅	7.75	420	5.3	20,400	260
	タングステン	19.3	410	2.0	41,500	220
	ベリリウム	1.83	130	7	24,600	1,350
セラミック ホイスカー	アルミナ	3.96	2,110	53	43,600	1,100
	炭化ケイ素	3.21	2,110	66	49,200	1,540
	窒化ケイ素	3.18	1,410	44	38,700	1,210
金属ホイスカー	鉄	7.83	1,340	17	20,400	260
	クロム	7.20	910	13	24,600	340
	銅	8.91	330	3.7	12,700	140

②樹脂による分類

F R Pに使用する樹脂は、熱硬化性樹脂が大部分で、熱可塑性樹脂も一部に用いられる。樹脂によって、化学的性質、熱的性質、成形性などが異なる。

熱硬化性樹脂の種類と性能を表2に示す。

表2 代表的な樹脂の硬化物の特性^{1) 2)}

種 類 性 質	不飽和ポリエステル ビスフェノール系	エポキシ ビスフェノールA型	ビニルエステル エビビス型	ポリエステル-アクリレート (ビスフェノール)
作業性(主として粘度)	◎	△	◎	◎
硬化の自在性	◎	△～◎	○～◎	○
硬さ	高～低	高	高～低	高
機械的性質	○	◎	◎	◎
電気的性質	◎	◎	◎	◎
熱変形温度(°C)	～150	～170	～160	～130
耐アルカリ性	○	◎	◎	◎
耐酸性	○～△	○～△	○～△	△
硬化収縮(%)	△(7～10)	◎(0.5～3.0)	○(3～5)	○(3～5)
接着性	○	◎	○～◎	○
フィラーの混和性	◎	○	○	○
着色の自由度(色むら)	◎	△	△～○	△
変性の自由度	◎	△～×	○	△～×
比重	1.15～1.16	1.19～1.22	1.18～1.23	1.12
非張破断伸び(%)	2.5 ～3.0	5.0	1.8 ～3.0	3.2

1) FRP試験マニュアル、宮入裕夫、日本規格協会

2) FRP構造設計便覧、(社)強化プラスチック協会

不飽和ポリエステル樹脂

もっとも良く利用される樹脂で、特に断りがない場合は、この樹脂を示すことが多い。

引抜材の特性区分中の全種に対応することができる。ただし、耐熱性、耐食性、靱性、衝撃特性などは中程度のものである。また、特に処方しない場合、硬化収縮が大きく、寸法安定性の劣ることがあるが、材料価格は経済的である。

組み合わせて利用される強化材はガラス繊維が主体である。

エポキシ樹脂

不飽和ポリエステル樹脂に比べ、各種の優れた性能を示す。特に硬化物の靱性が高く、他の樹脂に比較し、安定した動的機械特性を示す。また、成形時の硬化収縮が小さく、寸法安定性に優れている。ただし、硬化速度が遅く、価格が割高であるなど、経済的に難点がある。ロッドなどの異方性の高い場合に、その特徴が発揮される。

組み合わせて利用される強化剤は、ガラス繊維、炭素繊維、アラミド繊維などである。

ビニルエステル繊維

不飽和ポリエステル樹脂とエポキシ樹脂を平均化したような性能を示す樹脂である。成形性は不飽和ポリエステル樹脂、硬化物性能はエポキシ樹脂に近い性能を示す。一般に、耐食性が要求される場合に利用される。

組み合わせて利用される繊維はガラス繊維が主体であり、炭素繊維、アラミド繊維も用いられる。

フェノール樹脂

耐炎性、耐熱性に特異的に優れた性能を発揮する樹脂である。機械的な特性は比較的低位のものである。硬化時の反応生成物として水が発生するため、成形品の内部組織が粗になりがちで、成形物の寸法安定性にも多少難がある。

組み合わせて利用される強化剤はガラス繊維がほとんどである。

表3 F R P の成形法の種類と用途

圧力別成形法	成形法の種類	用 途
1. 接触圧成形法	ハンドレイアップ法 ----- (Hand-Lay Up)	浴槽、浄化槽、タンク、容器
	スプレー・アップ法 ----- (Spray Up)	ボート、漁船
	フィラメント・ワインディング法 ----- (Filament Winding)	浴槽、ボート
2. 低圧成形法	コールド・プレス法 ----- (Cold Press)	容器
	バック法 (オートクレープ) ----- (Flexible bag)	航空機用部品
3. 高圧成形法	マッチドダイ成形法 (Matched Die)	
	プリフォーマ法 ----- (Preform)	ヘルメット、椅子 パラボラアンテナ
	マット法 ----- (Tailored Fabric)	平板、パネル
	SMC法 ----- (プリプレグ・マット法) (Sheet Molding Compound: Prepreg mat)	浴槽、便槽、電気部品、積層板
	BMC法 (プリミックス法) (Bulk Molding Compound: Premix Compound)	
	射出成形法 (Injection molding)	各種部品
4. その他の成形法	連続成形法	
	連続成形法 ----- (Continuous)	波板、平板
	引抜成形法 ----- (Plutrution)	ロッド、チャンネル、アングル パイプ、形材
	遠心成形法 ----- (Centrifugal)	パイプ、ボビン

(2) 成形法による分類

FRPの成形法はさまざまな種類があり、得られる成型品の性能もさまざまである。代表的な成形法を以下に示す。

①ハンドレイアップ法

型の上にガラス繊維を置き、樹脂を塗りつけて、無圧常温でそのまま硬化する方法である。自由な形状のものが少量でも安価にできる。

②プレス法

ガラス繊維に樹脂を混ぜ、加熱金型でプレスする。量産品に向いている。

③引拔法

長繊維に樹脂をしみ込ませ、多数本引き揃えて、中空の金型の中に引き込み、型の熱で硬化させながら連続的に引抜く。繊維の性能を最も良く引き出すことのできる成形法です。生産性も良い方法であるが、断面形状一定のものに限られる。

その他の各種成形法と成形品の用途について、表3に示す。

4. FRPの歴史

1860年代にセルロイドが登場して以来、数多くのプラスチックが開発されてきたが、80年間その強度は 10 kgf/mm^2 を超えるものはなかった。

1940年代に、ガラス繊維と不飽和ポリエステル樹脂がほぼ同時代に登場し、複合されることにより、その強度は 130 kgf/mm^2 を超える飛躍的な進歩を遂げた。日用雑貨的な用途から工業材料へと、大きく発展してきた。新規な複合素材の登場や、新規な成形法の誕生で、用途はますます広がっている。

50年程度の、歴史の比較的浅い材料であるが、構造用材料としての実力を現在では十分に備えている。軽量、高強度、高耐食性などを生かし、新規材料としての発展が期待されている。

5. FRPの適用事例

代表的な適用事例を、以下に写真で示す。

引拔FRPの製造法詳細解説

FRPは一般に「鉄より強く、アルミより軽い」といわれているが、種々の成形方法がある中で、引拔成形法は特に比強度、比弾性の点において他成形法と比較すると優れた性能を有している。引拔成形で成形されているものには、ロッド、チャンネル、アングル、角パイプ、丸パイプ等がある。最近の傾向として徐々に構造部材として使用されるケースが増えている。成形装置は近年海外からの導入も盛んに行われるようになってきている。また国内製造メーカー間の交流も強化プラスチック協会、引拔工業部会等を通じて行われるようになってきた。更に材料としての規格化も進みつつある。しかし欧米の生産量と国内生産量を比較した場合その量は欧米のレベルには遠く及ばず、今後用途開発の余地はまだ有るものと思われる。ここでは引拔成形法を中心に記述する。

1・引拔成形法の原理と利点

引拔成形法(Pultrusion)は、引き揃えた強化基材に硬化剤を混合した樹脂マトリックスを含浸させ、加熱金型に引き込み硬化させ引抜く事を基本工程としたFRP成形法の一つである。

長尺製品の製造が可能

長手方向に強度の高い製品の製造が可能

同一断面であればアンダーカットの製品も製造可能

製品の品質がH L U品等と比較すると安定している

ライン機械化が容易で大量生産に適している

プレス生産等と比較すると金型コストが低い

ロービングを主とし原材料が安価である

2・成形工程と成形装置

一般的な成形工程図を図1-1に示す

1) ロービングラック 図1-1①

長手方向の強化繊維としては一般適にガラスロービングが用いられ、ロービングの使用量は製品の断面積により異なるため、その断面積に必要なロービングを収納するラックを設置している。(カーボン繊維、アラミド繊維の場合も形態は異なるが同様の設備が必要となる。)

2) マットハンガー 図1-1②

幅方向の強化繊維は一般的にコンティニアスストランドマットやロービングクロスが用いられるがこのガラスマットやクロスのロールを保持するハンガーを設置している。(ガラスマット以外も同様である)

3) 含浸槽 図1-1③

繊維基材に均一に充分樹脂を含浸させるため、含浸槽を用いる。一般的に用いられる樹脂は、不飽和ポリエステル樹脂、エポキシ樹脂、フェノール樹脂等である。(含浸槽を用いず注入で含浸する方式もある)

4) プリフォーム部 図1-1④

繊維基材をあらかじめ成形断面の形状に近い形状にして成形金型に引き込むためのガイド。

5) 成形金型 図1-1⑤

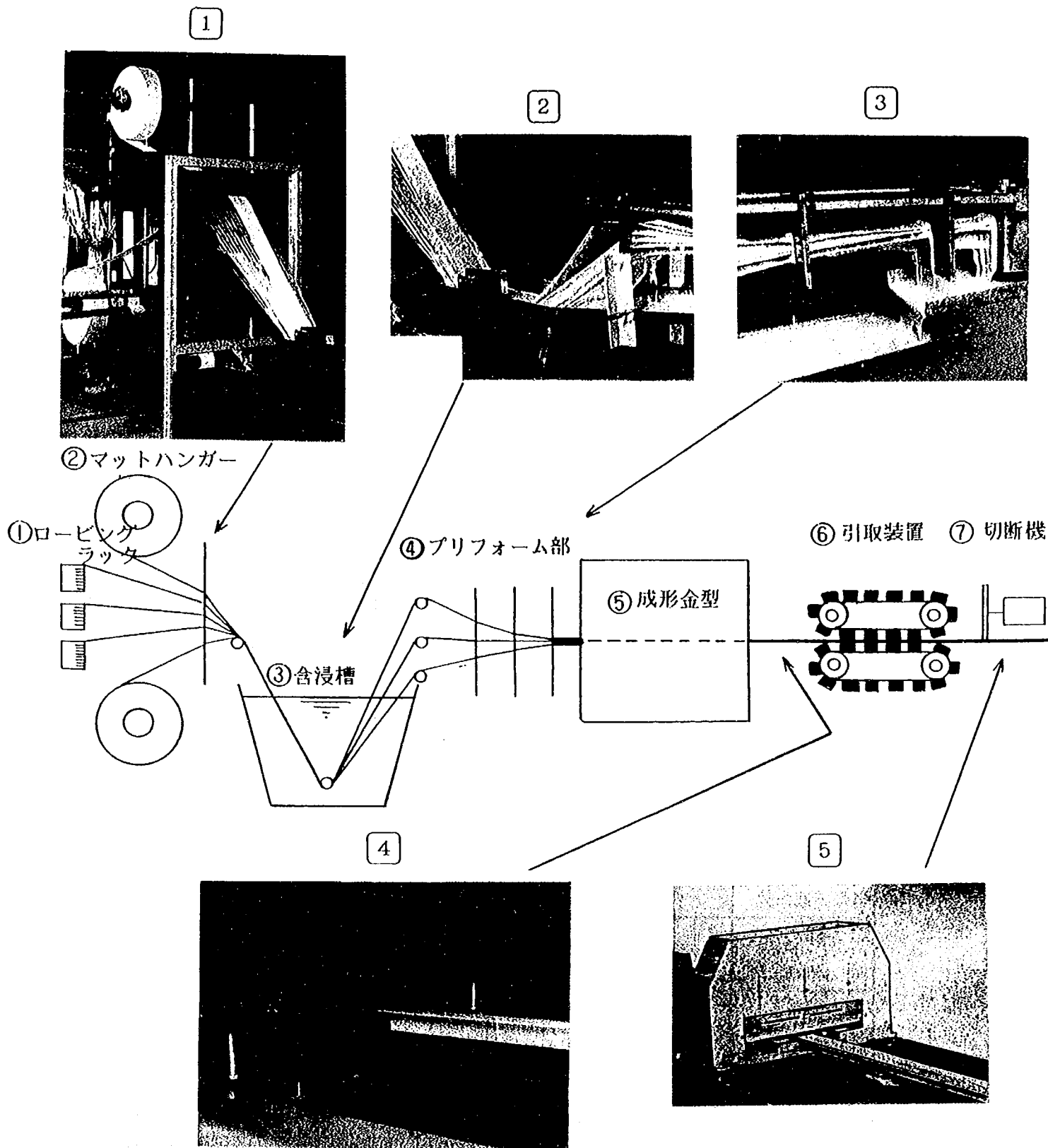
樹脂の硬化反応を行い形状を付与する。硬化反応を行うためには、充分な熱を与えておく必要がある、加熱方式は蒸気加熱、電気ヒーター方式等がある。加熱温度は100℃～180℃程度であるが使用する樹脂によって最適の温度を設定する。成形金型材質は機械構造用炭素鋼鋼材やダイス鋼にクロムメッキ加工した物が一般的である。成形金型長さは0.5m～1.5m程度が一般的である。

6) 引取装置 図1-1⑥

引抜成形は熱可塑樹脂の押出し成形と異なり、樹脂が液状から固形へと変化するため、基本的に押出しが不可能であり引取り方式となる。成形金型から成形品を引き出すには、成形金型と成形品の摩擦抵抗等があり大きな力が必要となる。引取り荷重は一般的に成形品の表面積に比例して大きくなっていく。一般的に引取装置は2トン～15トン程度のもが使用されている。引取り方式はキャタピラー方式と、ダブルクリッパー方式とがある。キャタピラー方式は成形品の形状にあわせた引取り駒が多数必要となるが、引取り時成形品にかかる荷重は少なく圧壊による成形品の不具合の発生は少なくなる。ダブルクリッパー方式は多数の引取り駒等は不要となるが、その機構上中空薄肉成形品の引取り方式としては適さない。

7) 切断機 図1-1⑦

引抜成形は基本的にはエンドレスの成形が可能であるが、成形品の運搬の都合上ある長さでの切断が必要となる。一般的な切断機は成形品長さをセットすると長さを検知、切断を自動的に行うものが多い。(ロット等小口径の成形品は長尺でドラムに巻き付けて出荷されるケースもある)



(写真説明)

- ① ガスロービング及びガラスマットをロービングラック及びマットハンガーより引き出す。
- ② 含浸槽
- ③ プリフォーム部
- ④ 成形品完成
- ⑤ 切断機

図 1 - 1 引抜成形工程図

引拔FRPの諸性状

1. 機械的特性

引拔成形材の機械的特性は、補強のために使用される樹脂及び繊維の種類、構成や量によって大きく異なる。それらは主として、一方方向ロービングにコンティニアストランドマットを併せて使用する形材とロービングのみで構成される棒材とに大別される。表1に、材料構成比率の多小異なる形材の特性値を示す。鋼材と比較して長手方向の強さは同等又はそれ以上の値を示すが弾性係数はそれより低く、設計には配慮が必要である。又、幅方向との強度差が大きく、異方性材料の性格を顕している。この点については、フィラメントワイディングの併用、或いはロービング等の横方向強化材を併用することにより改善が可能で、ニーズに合った成形品を提供できる引拔成形の特徴を示している。

表1 引拔FRP形材の機械的特性¹⁾

		試験方法	単位	採取 方法	形 材			他 材 料		
					I	II	III	構造用鋼	アルミ	炭素繊維*
材料 構成	マット	—	%	—	20	10	10			
	ロービング	—	%	—	37	47	41			
	樹脂分	—	%	—	43	43	49			
	板厚			mm	2.0	4.0	6.0			
比 重		JIS K 6911			1.80	1.86	1.79	7.8	2.7	1.4
引 張 強 さ	〃	〃	MPa	LW	350	510	400	333-	69-	
			MPa	CW	68	38	32	490	274	38-61
引張弾性係数	〃	〃	MPa	LW	21560	27100	24000			2450-
			MPa	CW	6950	5290	5100	205800	68600	4116
曲 げ 強 さ	〃	〃	MPa	LW	270	450	410	333-	69-	55-
			MPa	CW	170	98	73	440	274	103
曲げ弾性係数	〃	〃	MPa	LW	9020	15400	13600			2450-
			MPa	CW	7250	8040	7450	205800	68600	4116
圧 縮 強 さ	JIS K 6919	〃	MPa	LW	300	540	530			
			MPa	CW	105	126	120	440	—	62-75
せん断強さ	Fed. Spec. L-P 406d No. 1041	〃	MPa	LW	150	170	140		68-	
			MPa	CW	50	47	50	370	88	—

LW：長手方向 CW：幅方向を示す

表2は棒材の機械的特性値を示す。強化材として炭素繊維を使用することによって強度及び弾性係数の向上が可能である。

表2 引抜FRP棒材の機械的特性^{2) 3)}

	単位	ガラス繊維棒材	炭素繊維棒材
繊維含有率	%	55-75	55-65
比重	—	1.8-2.1	1.5-1.55
引張強さ	M P a	590-980	880-1380
引張弾性係数	M P a	29500-49000	107900-127500
曲げ強さ	M P a	590-980	590-1380
曲げ弾性係数	M P a	29500-49000	107900-127500
圧縮強さ	M P a	390-490	—
せん断強さ	M P a	180-200	—

2. 電気的特性

表3にガラス繊維強化引抜材の電気的特性を示す。

ガラス繊維強化引抜材は、一般的に電気絶縁性に優れた性能を持ち、絶縁特性を持たせる為の塗装やライニングが必要ないので、多くの絶縁材料として使用されている。一方、炭素繊維強化引抜材は絶縁のガラス繊維強化引抜材と異なり導電性材料となる。

表3 引抜材の電気特性⁴⁾

項 目	単 位	形 材	棒 材
耐アーク性	sec	120	
耐電圧	KV/mm	6-12	
吸水率	%	0.2以下	
誘電率	10^5	4.7-5.2	
	10^6	4.5-5.1	
	10^7	4.3-4.7	
誘電正接	10^5	0.011-0.014	
	10^6	0.010-0.014	
	10^7	0.010-0.014	

3. 熱的特性

表4に各種材料の熱的性能を示す。

ガラス繊維強化引抜材の場合、比熱が大きく、熱伝導率が非常に小さいため、断熱効果を要求される用途に対して、性能を十分に発揮することができる。

表4 各種材料の熱的特性⁴⁾

特 性	単 位	FRP(G) 引抜材	FRP(C) 炭素繊維強化	炭素鋼 圧延鋼 SS-41	アルミニウム合金 鍛錬用 24S-T4	コンクリート	木材 潤葉樹 (カエデ・ナラ)
密 度	g/cm ³	1.7-2.0	1.6	7.85	2.77-2.35	2.3-2.35	0.58-0.68
比 熱	J/(kg・K)	1256	1381	921	921	837	1381
熱伝導率	W/(m・K)	0.28	60	76	222	14.2-15.5	0.09-0.19
線膨張率	10 ⁻⁶ /℃	7-60	-0.7	12	24	10-15	5-34
比抵抗	Ωcm	10 ¹⁵	10 ⁻⁹	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶		

※材種及び含水率による アカマツでは0.36-0.65

表5には素材の違いによる熱的特性を示す。

強化材の熱伝導率は樹脂のそれより大きく、強化材の種類によって異なる。

表5 各種FRPの熱的特性⁵⁾

材 料		方向	熱伝導率 W/(m・k)	線膨張率 10 ⁻⁶ /K	熱収縮率 %
一 方 向 強 化 棒	GFRP	平行	0.8	7	0.10
		直角	0.4	23	0.55
	CFRP (高強度)	平行	10	-0.5	-0.01
		直角	1.0	25	0.06
	AFRP	平行	1.5	-1.5	-0.03
		直角	0.6	30	0.75

熱収縮は300K→4.2K 他は273K～323K

4. 耐食性⁴⁾

引抜材は金属よりも優れた耐食性を有することから、これらの利点を生かして様々な耐食用途へ適用されている。

表6には引抜材の耐食性のデータを示す。

耐食性は同じ薬液でも、濃度や液温が変化した場合の性能には差がある。又、引抜材に使用される樹脂や繊維補強材の種類、構成などでも異なり、樹脂では耐食性に優れたイソフタル酸系のポリエステル樹脂やビニルエステル樹脂、エポキシ樹脂などが使用されたり、ロービングでは耐水性や耐溶剤性用途として無アルカリガラスを、耐酸性を要求される場合は含アルカリガラスが用いられる。

従って、実際の使用に関しては、薬液の種類・濃度・温度等の浸せき条件、引抜材の材料構成など数多くの条件が複合されることを考慮する必要がある。

表6 引抜材の耐食性⁴⁾

薬品名	濃度	適否	薬品名	濃度	適否
リン酸	10%	○	エタノール	100%	○
塩酸	30%	○	メタノール	100%	○
硫酸	10%	○	エチレングリコール	100%	○
硫酸	40%	○	ホルムアルデヒド	100%	△
硫酸	70%	×	アセトン	100%	×
クロム酸	10%	△	ベンゼン		×
硝酸	5%	○	酢酸エチル		×
酢酸	10%	○	ガソリン		○
マレイン酸	25%	○	食塩	30%	○
アンモニア水	10%	△	硫酸アルミニウム	20%	○
カセイソーダ	10%	△	硫酸アンモニウム	20%	○
カセイソーダ	30%	×	塩化アンモニウム	20%	○
炭酸ソーダ	30%	○	過酸化水素	20%	○

5. 耐候性⁴⁾

一般に長期間暴露を行った場合、次第に引抜材表面層が劣化（黄変やガラスの露出）していき、強度低下が生じる。

引抜材はその対策として、耐候性の優れた樹脂の選択、不織布やサーフェイシングマット等による樹脂層の確保等を行うことにより良好な耐候性を示す。

図1にウェザーメーターによる2000時間の促進暴露試験結果を示すが、通常のFRPと同様に曲げ強さ・曲げ弾性率の低下が少ないことが分かる。

更に耐候性向上のため、表面への塗装（ウレタン塗装・フッ素塗装など）を施すこともある。しかし、実際に長期に天然暴露された引抜材の耐候性データは少なく、又、耐食性と同様に使用される樹脂、構成、色、暴露環境等により性能は変化するため、使用条件を考慮した構成の検討が必要である。

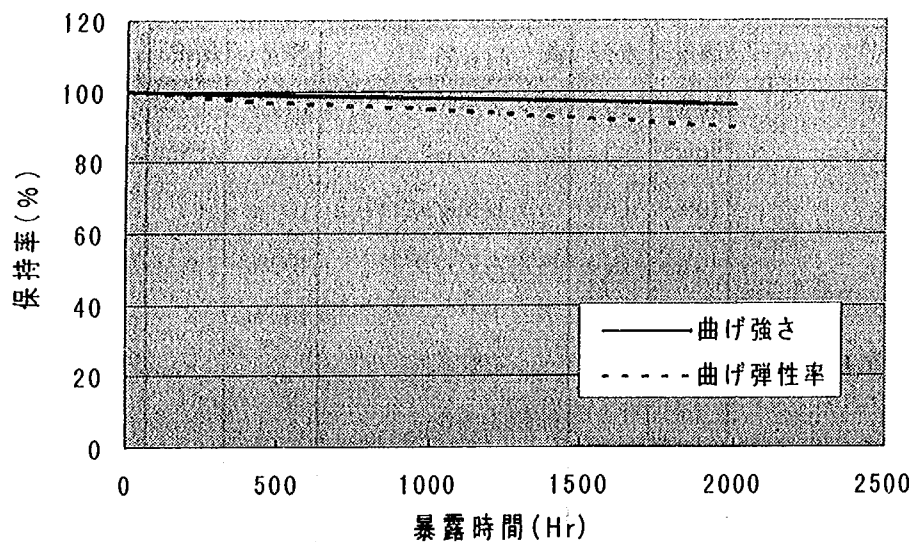


図1 促進暴露試験結果

6. 耐熱性⁴⁾

引抜材の熱間強度は、使用する樹脂の温度依存性に大きく左右される。従って、構造部材として熱間で使用される引抜材等の場合は、その使用条件にあった樹脂の選択が必要になる。

図2には不飽和ポリエステル引抜材の熱間強度保持率を示す。高温度になるに従って急激に保持率が低下するため、これ以上の耐熱性が要求される場合には耐熱グレードの樹脂を使用することになる。

耐熱グレードとしてはビニルエステル樹脂、エポキシ樹脂、さらにはフェノール樹脂の使用が望ましく、図3に示すような温度依存性を有する。

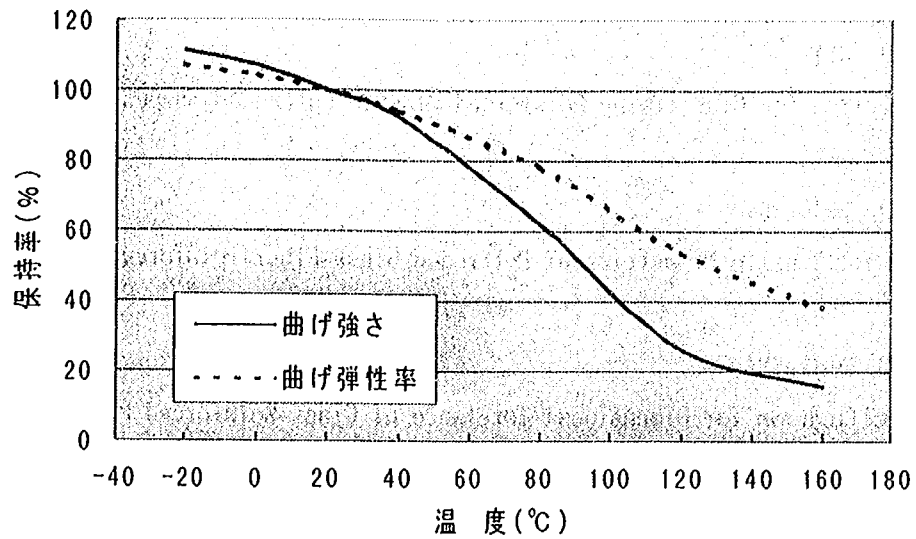


図2 引抜材の熱間強度保持率

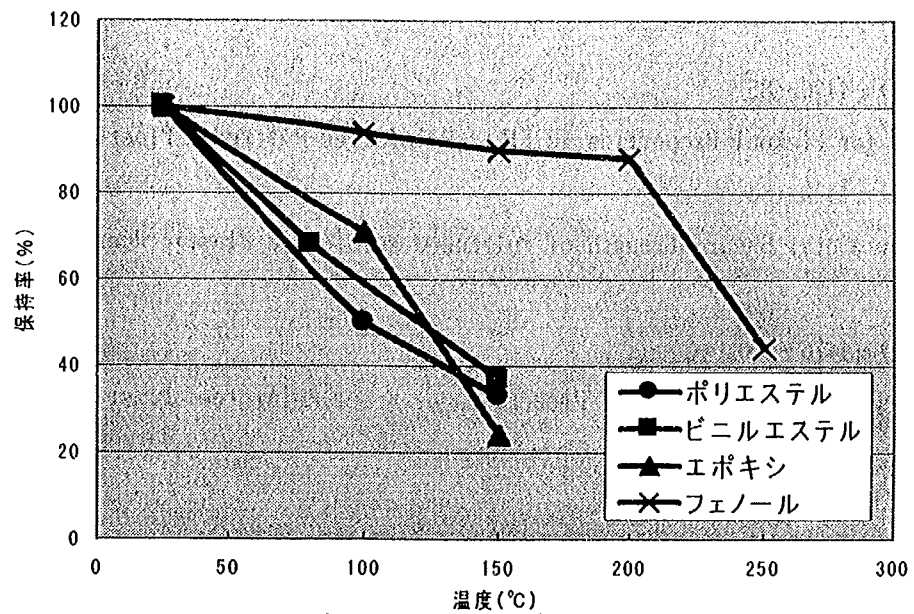


図3 各種材料の曲げ強さ保持率

7. 内外の関連規格^{6) 7)}

7. 1 国内の規格

- ①日本工業規格 JIS K 7015-1998
繊維強化プラスチック引抜材
- ②日本工業規格 JIS K 7011-1989
構造用ガラス繊維強化プラスチック
- ③土木学会規準 JSCE-E131-1995
連続繊維補強材の品質規格

7. 2 海外の規格

①A S T M D-3647-84

Standard Practice for Classifying Reinforced Plastic Pultruded Shapes According to Composition

②A S T M D-3916-84

Test Method for Tensile Properties of Pultruded Glass-Fiber-reinforced Plastic Rod

③A S T M D-3917-84

Standard Specification for Dimensional Tolerance of Glass-Reinforced Plastic Pultruded Shapes

④A S T M D-3919-80

Standard Definitions of terms Relating to Reinforced Plastic Pultruded Products

⑤A S T M D-4385-84a

Practice for Classifying Visual Defects in Temosetting Reinforced Plastic Pultruded Products

⑥A S T M D-4476-85

Test Method for Flexural Properties fo Fiber Reinforced Pultruded Plastic Rod

⑦A S T M D-4475-85

Apparent Horizontal Shear Strength of Pultruded Reinforced Plastic Rods by the Short-Beam Method

⑧A S T M D-4476-85

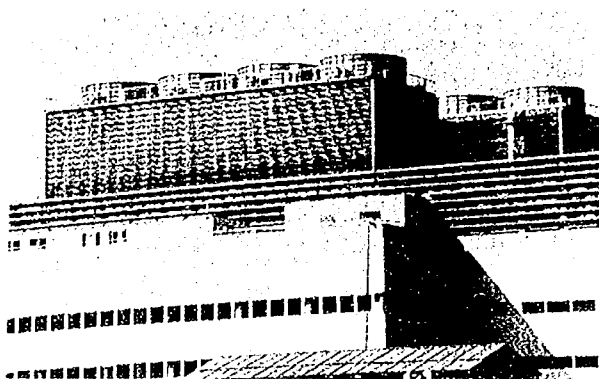
Standard Test Method for Flexural Properties of Fiber Reinforced Plastic Rods

参考文献

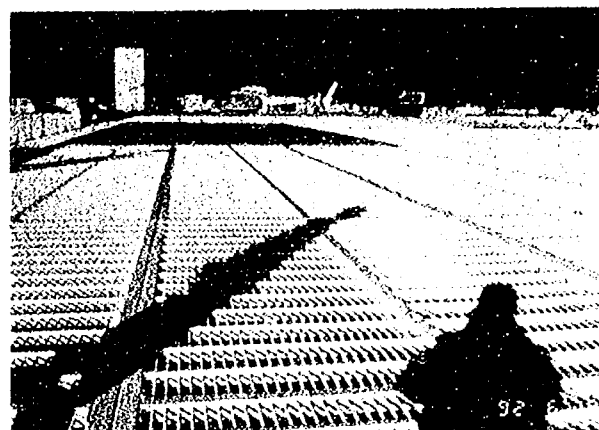
- 1) 伊世ら 強化プラスチック 41, 8, 21(1995)
- 2) 旭硝子マテックス株式会社 カタログ
- 3) 日東電工株式会社 カタログ
- 4) 繁本ら 強化プラスチック 41, 5, 15(1995)
- 5) FRP構造設計便覧 強化プラスチック協会 (1994)
- 6) 繊維強化プラスチック引抜材 FRPS PL 001-1995, 強化プラスチック協会(1995)
- 7) 繊維強化プラスチック引抜材 技術マニュアル 強化プラスチック協会(1996)

用途別製品写真集

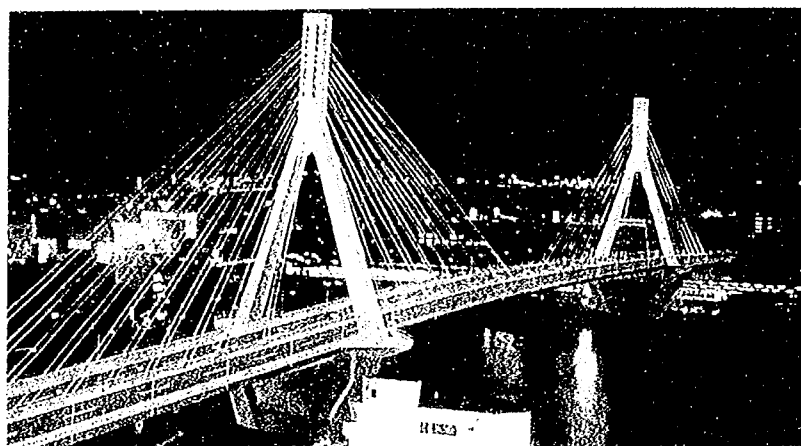
1. 建設資材



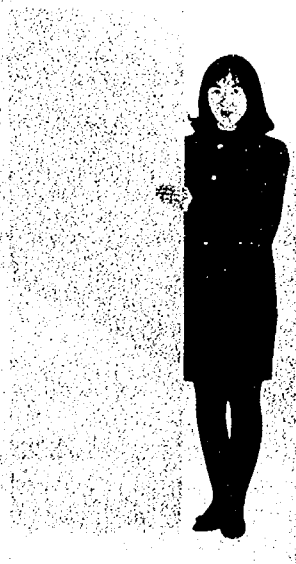
▲関西国際空港の大型冷却塔
(外板、ルーバー、下部水槽、ファン)



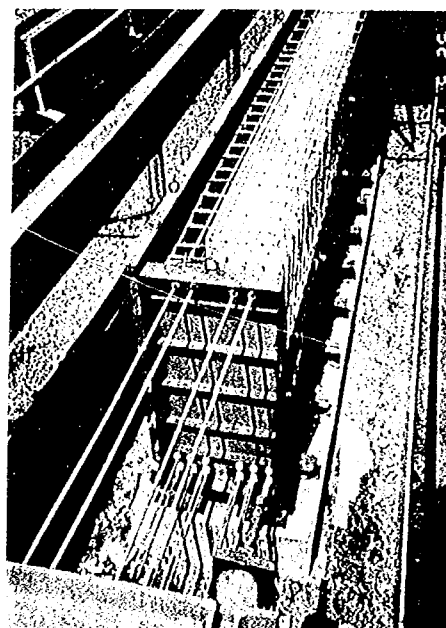
▲ビル屋上のヘリコプター駐機場



▲斜張橋の斜材外套管 (青森ベイブリッジ)

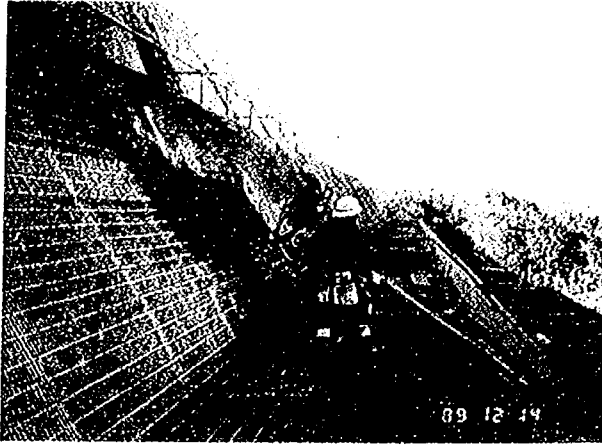


▲コンクリート型枠(左)とせき板

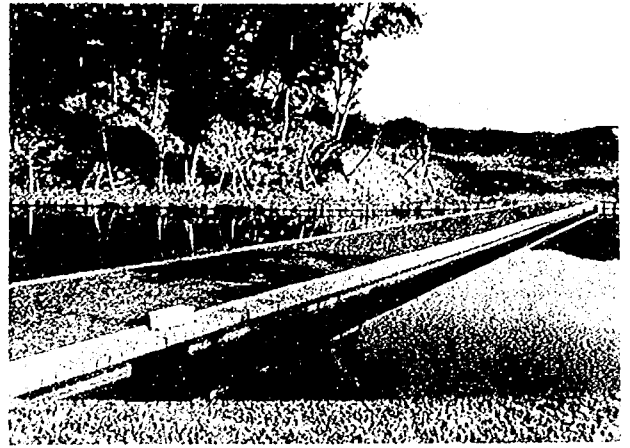


▲PCCコンクリート橋のAFRP補強筋

(「FRP40年の歩み」 (社)強化プラスチック協会、平成6年9月) より

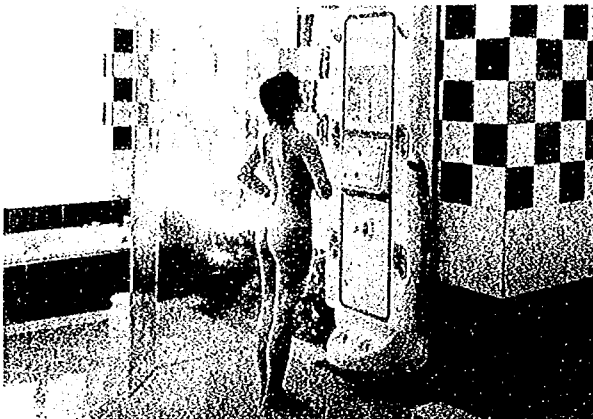


▲法面保護コンクリート用補強筋

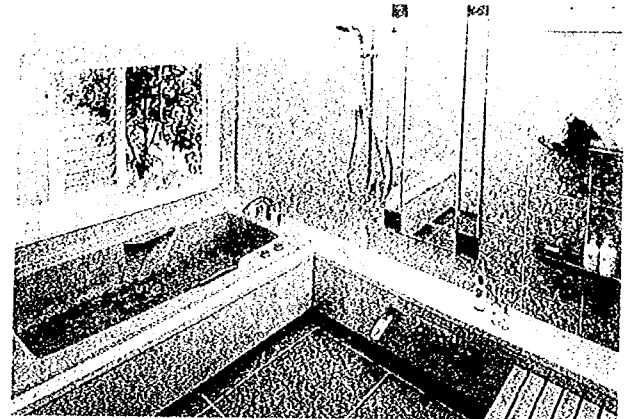


▲ゴルフ場の浮橋 (FIBRA補強筋使用)

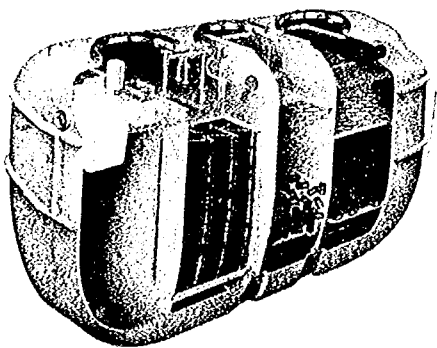
2. 住宅機材



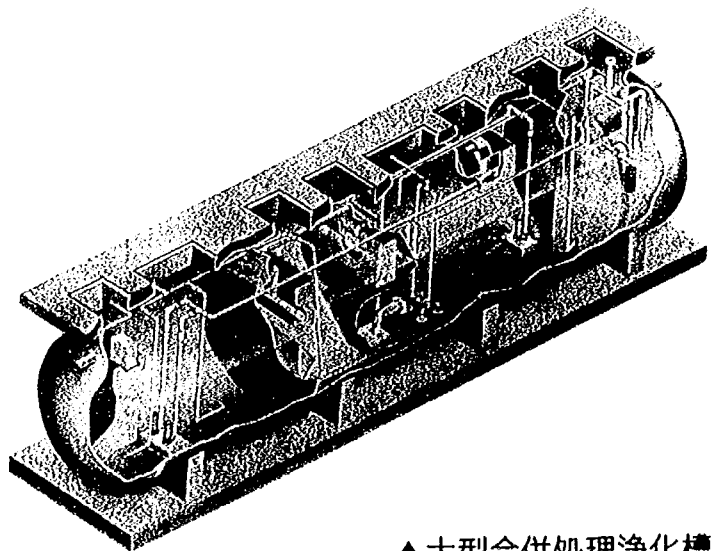
▲多機能シャワーユニット



▲高級浴室ユニット



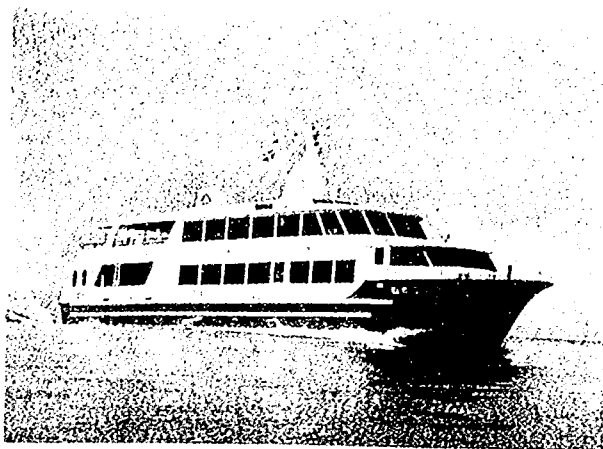
▲SMC製小型合併処理浄化槽



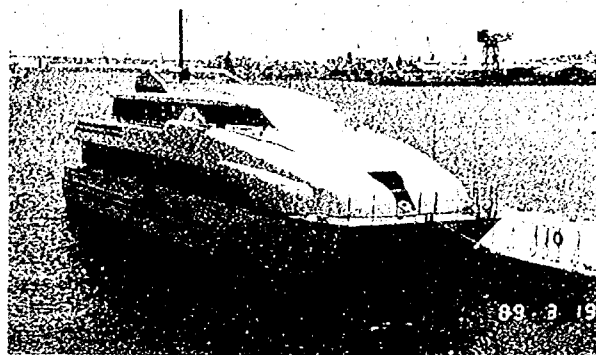
▲大型合併処理浄化槽

(「FRP40年の歩み」 ((社) 強化プラスチック協会、平成6年9月) より)

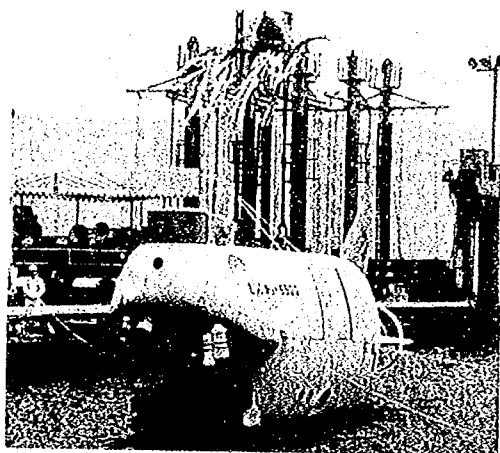
3. 舟艇・船舶



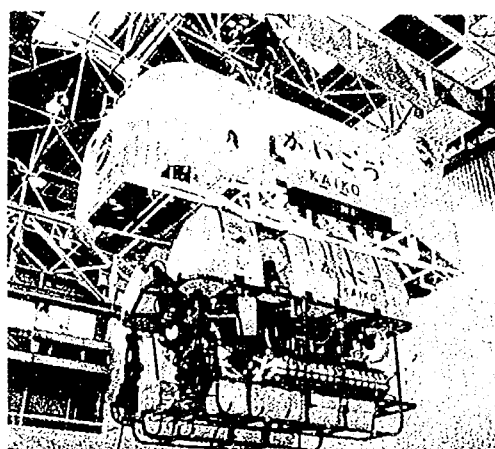
▲303人乗り客船（全長32m）



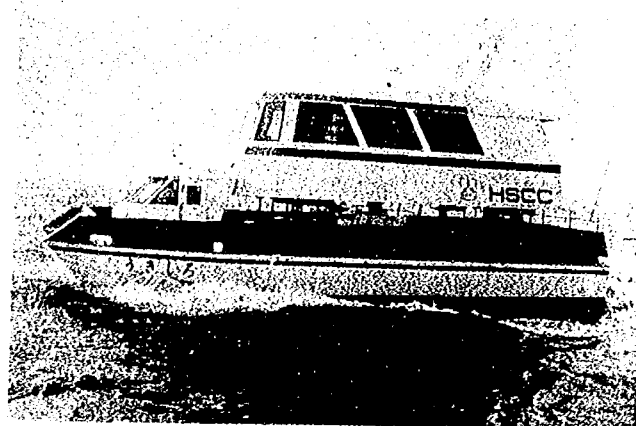
▲230人乗り双胴型客船（全長29m）



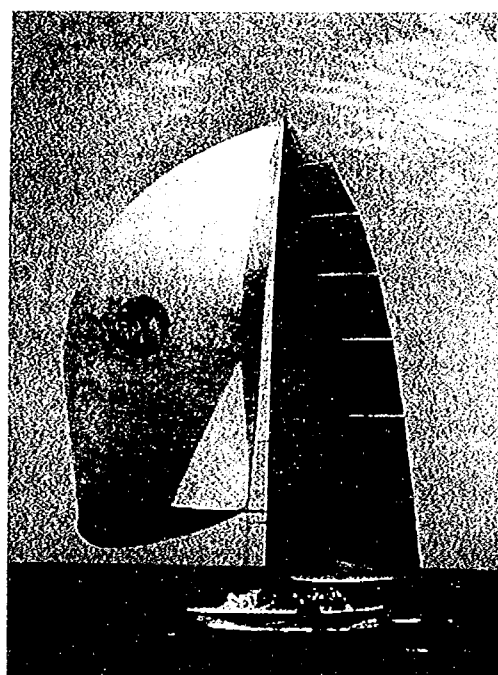
▲〈しんかい6500〉の外皮



▲深海無人探査機〈かいこう〉の外皮



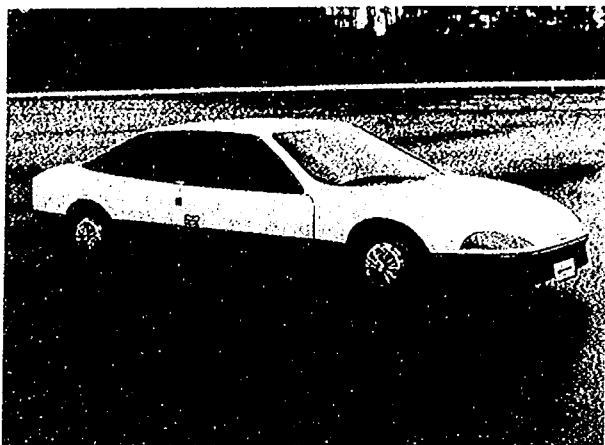
▲揺れない客船〈HSCC〉



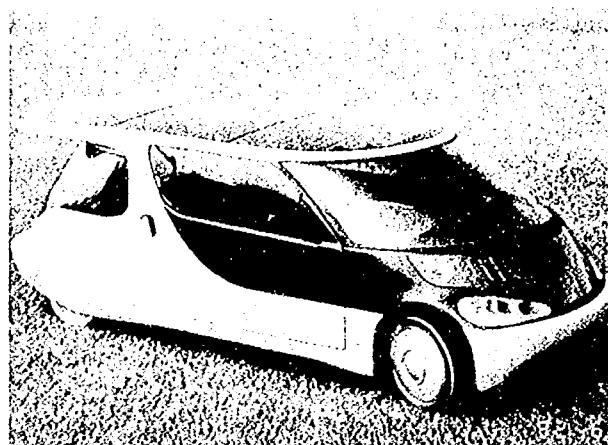
◀アメリカスカップ挑戦艇〈Nippon〉

（「FRP40年の歩み」（社）強化プラスチック協会、平成6年9月）より）

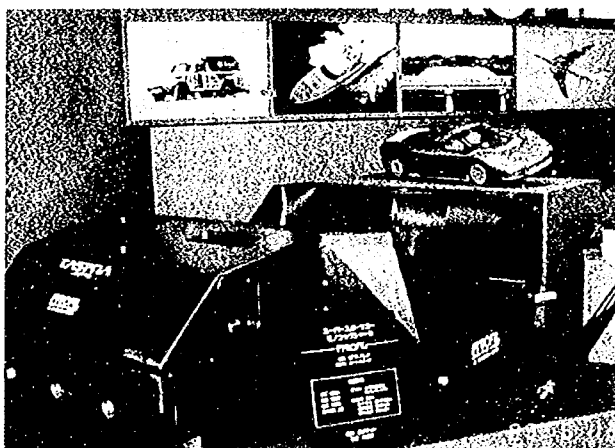
4. 自動車・車両



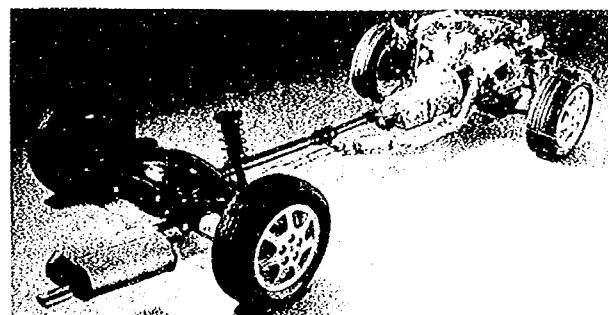
▲電気自動車〈NAV〉(時速100km)



▲近距離走行用ソーラーカー〈SCV-2〉



▲レーシングカー用CFRP製シャシー



▲CFRP製プロペラシャフト
(トヨタマークII)

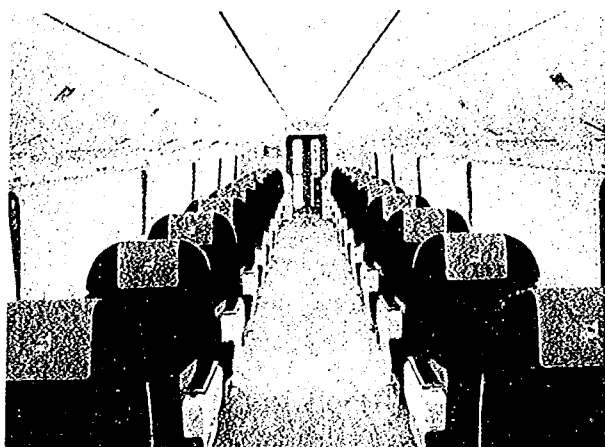


▲キャンピングカー

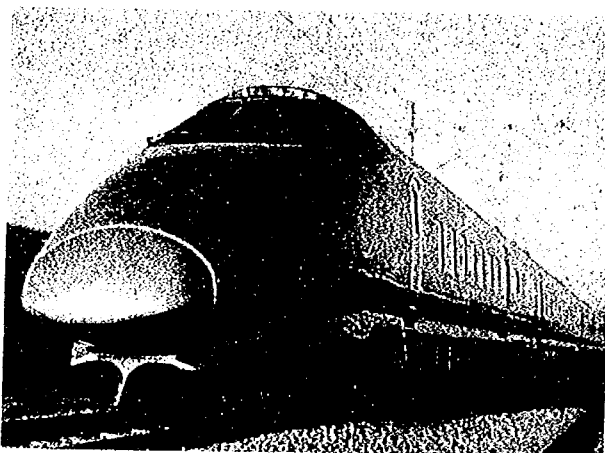


▲リサイクルSMC成形品
(トヨタカリブのルーフラック)

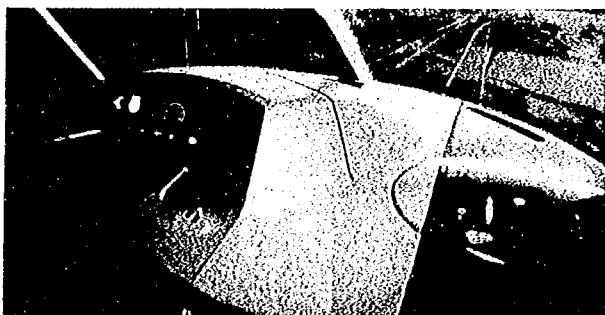
(「FRP40年の歩み」 (社)強化プラスチック協会、平成6年9月) より)



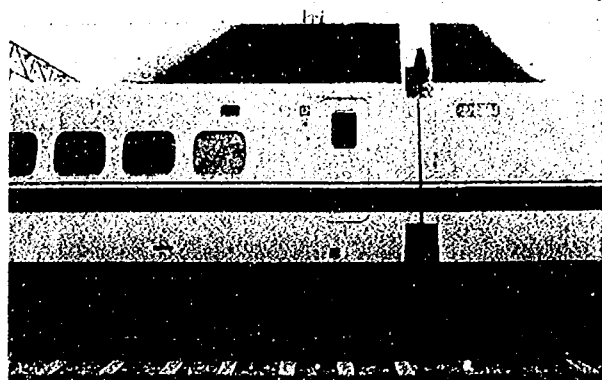
▲成田エクスプレス〈NEX〉
(フェノールFRP製荷棚ふた、蛍光灯キセ)



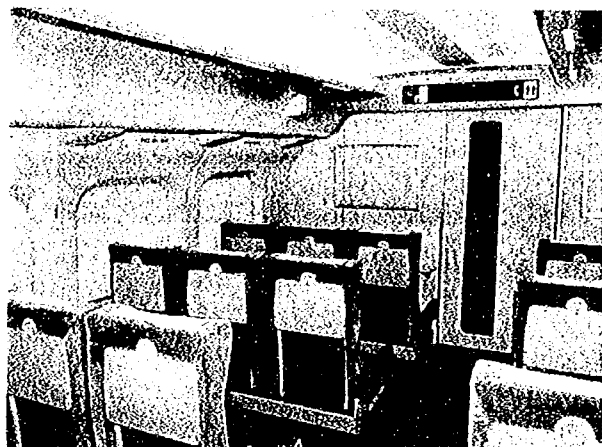
▲山形新幹線〈つばさ〉
(前頭カバー、屋根、内装材、トイレユニット)



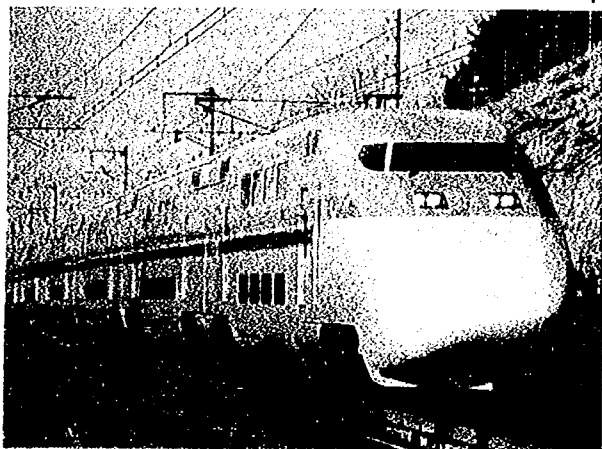
▲〈つばさ〉の運転席コンソール



▲新幹線〈のぞみ〉のパンタカバー



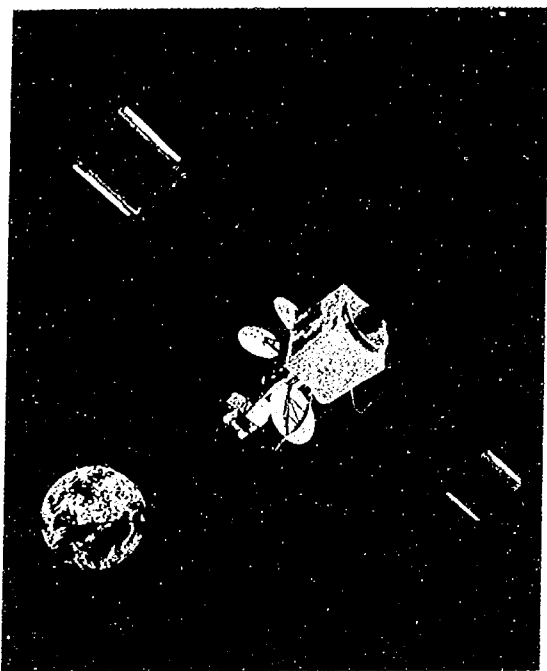
▲〈のぞみ〉FRP製天井と窓枠キセ



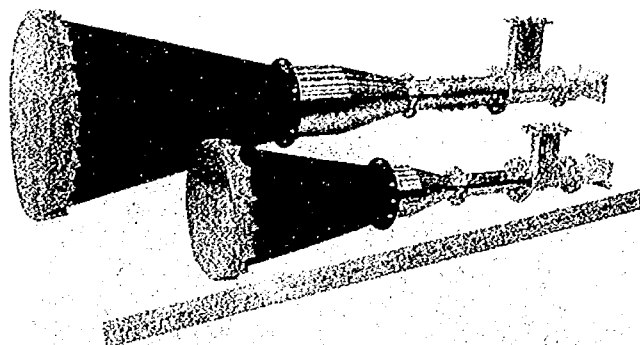
▲東北・上越新幹線のオール2階建
〈MAX〉

(「FRP40年の歩み」(社)強化プラスチック協会、平成6年9月)より)

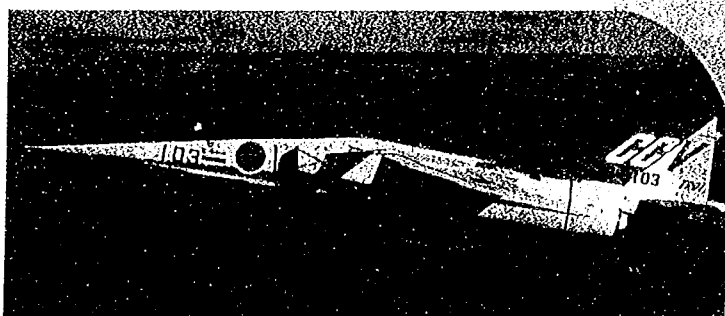
5. 宇宙・航空機



▲インテルサット5号衛星



▲インテルサット5号用ホーンアンテナ



▲CCV研究機



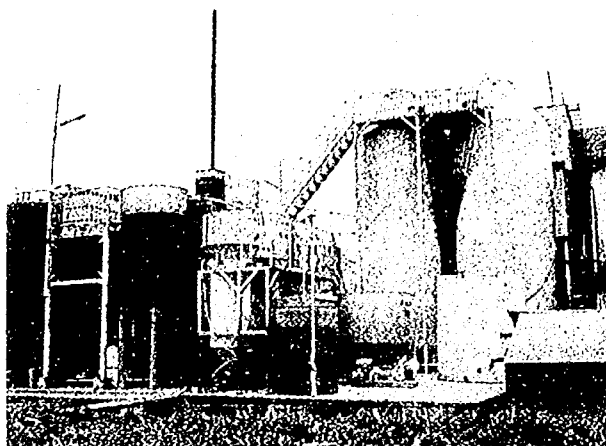
▲SH-60対潜ヘリコプター



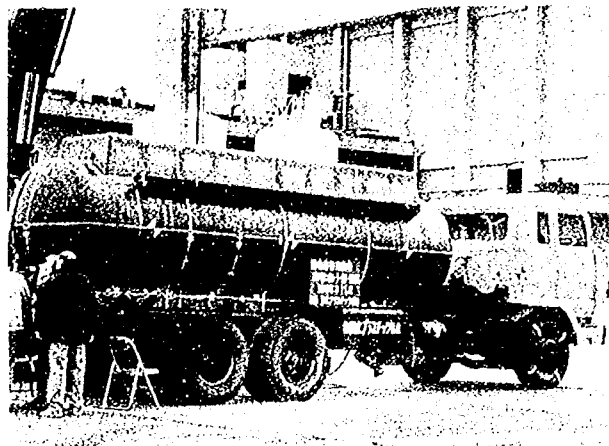
▲ボーイング777

(「FRP40年の歩み」(社)強化プラスチック協会、平成6年9月)より)

6. タンク・容器



▲食品醸造工場のFRPタンク群



▲タンクローリー



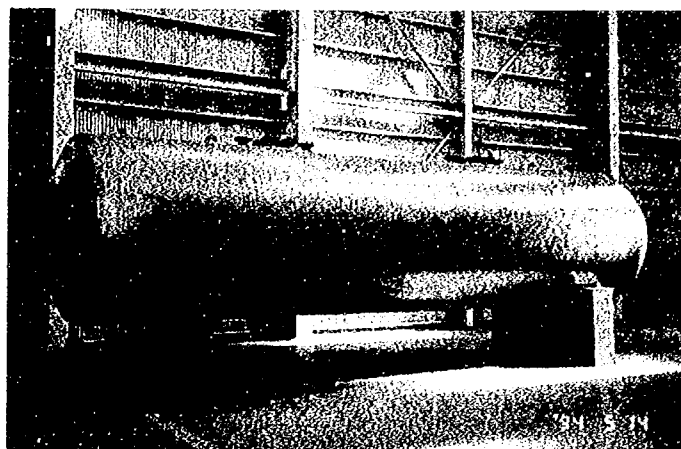
◀救急用エアタンク



◀V A R I 成形による大型漬物タンク



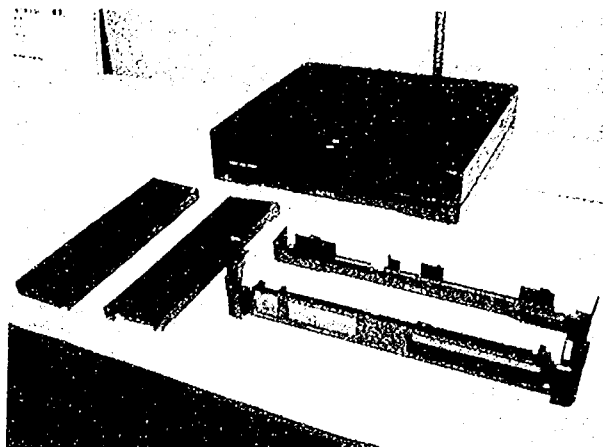
▲天然ガス自動車用圧力タンク



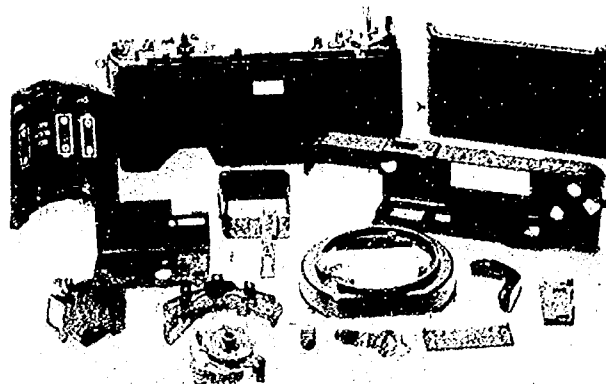
▲S F 二重殻タンク

(「FRP40年の歩み」(社)強化プラスチック協会、平成6年9月)より

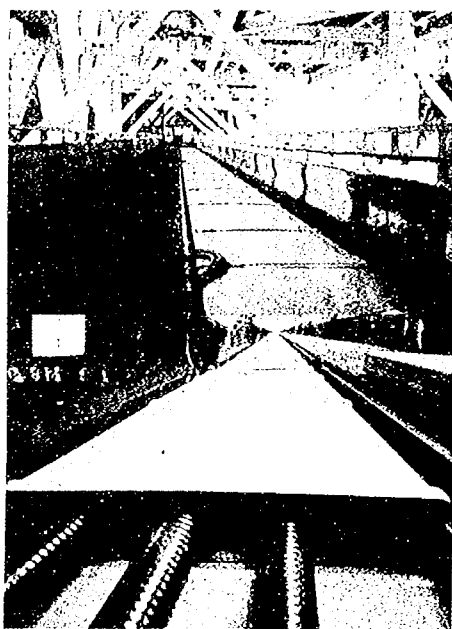
7. 工業機材



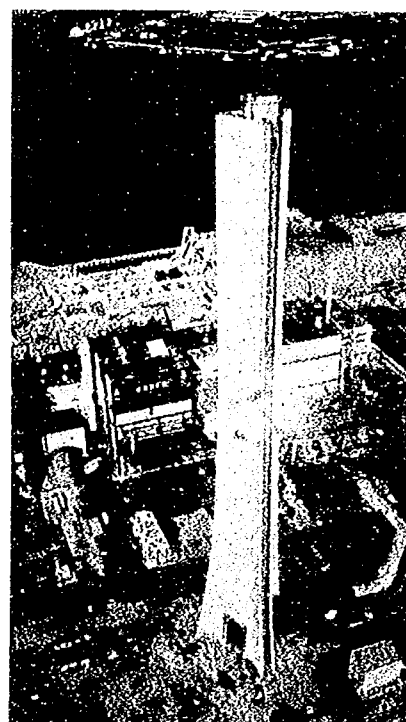
▲BMC製VTR部品



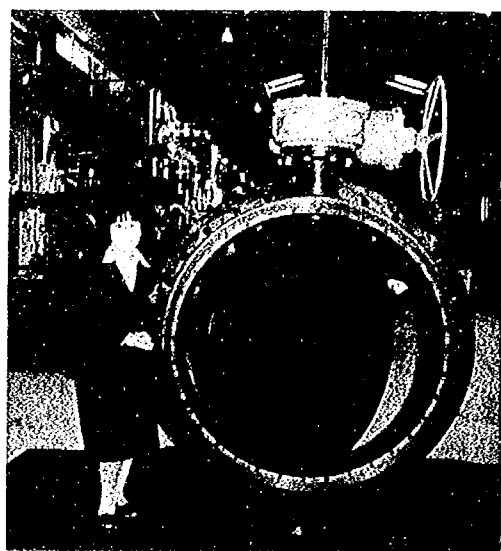
▲FRTPによるカメラ機構部品



◀瀬戸大橋の高圧送電ケーブル防災トラフ



◀関西電力南港火力発電所の煙突内筒（下の写真も）
（直径五・三m、長さ一一mのCFRP管五一本使用）



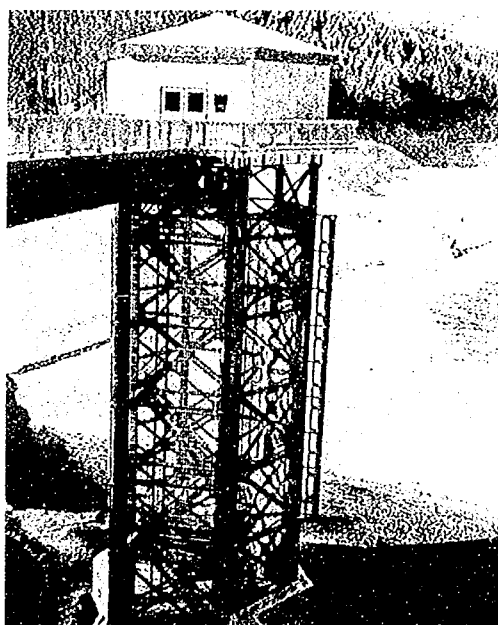
◀大口径バタフライバルブ



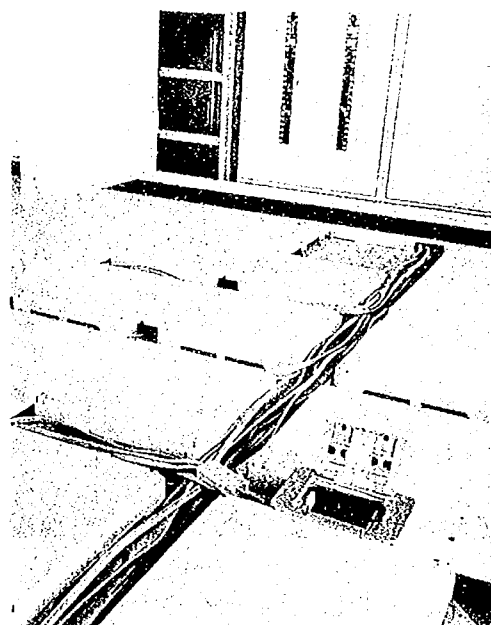
（「FRP40年の歩み」（社）強化プラスチック協会、平成6年9月）より）



▲世界最大の縦型ポンプ
(高さ4.9m、幅1.3m、揚程21m)

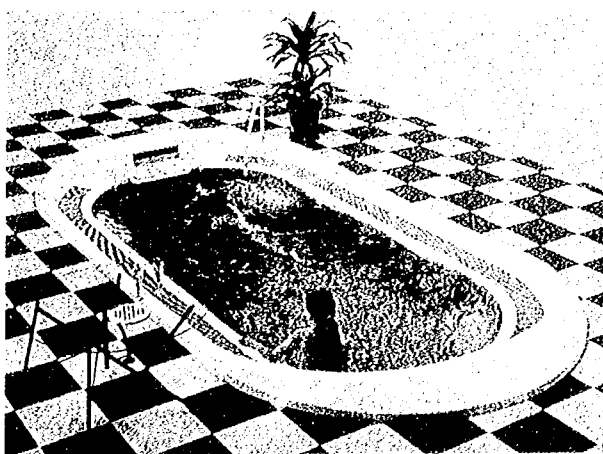


◀ダム取水塔スクリーン

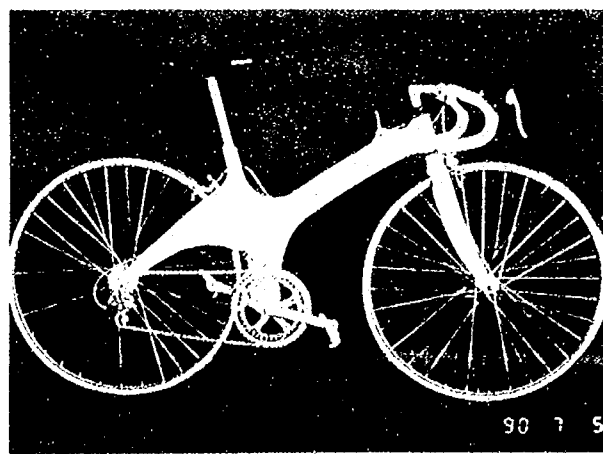


◀BMC成形によるOAデバイスフロア

8. スポーツ・レジャ

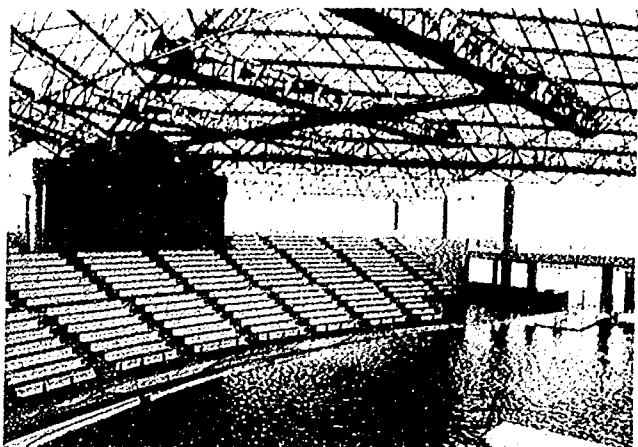


▲流水プール〈マリンブロー〉

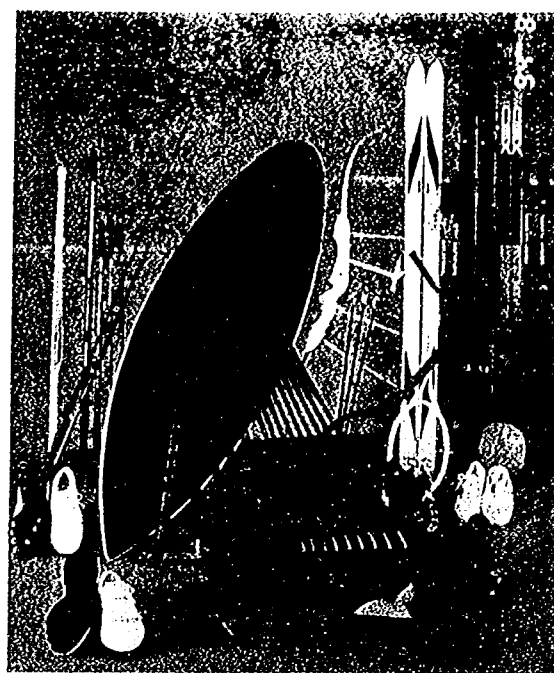


▲SRTM製モノコックフレーム自転車

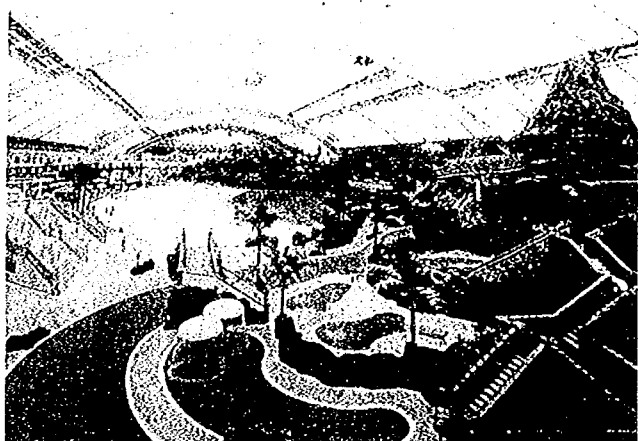
(「FRP40年の歩み」(社)強化プラスチック協会、平成6年9月)より



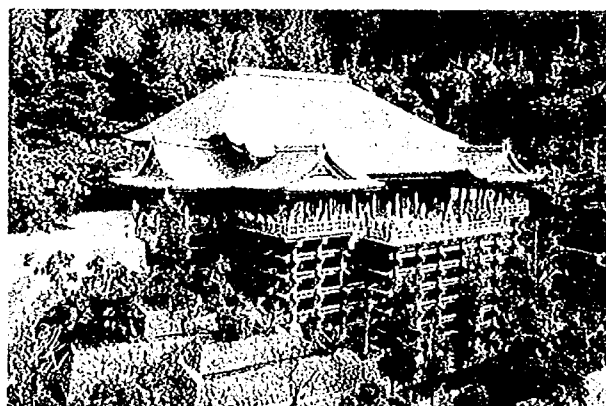
▲横浜八景島〈アクアスタジアム〉
(上部点検歩廊、観客席いす、フェンス)



▲C F R P 利用のスポーツ用品



▲宮崎シーガイア〈オーシャンドーム〉
(開閉屋根、人工滝、ウォーターライダー)



▲東武ワールドスクウェアの清水寺
(25分の1模型)



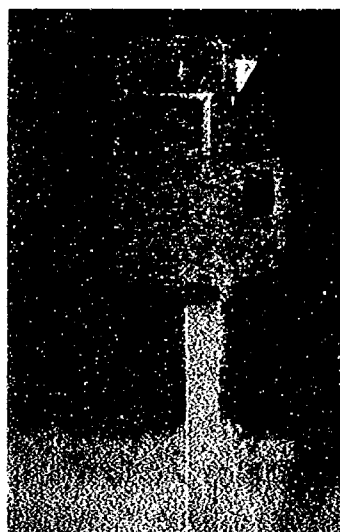
▲ゴールデンレイクスカントリークラブの延40,000㎡の人工滝

(「FRP40年の歩み」(社)強化プラスチック協会、平成6年9月)より)

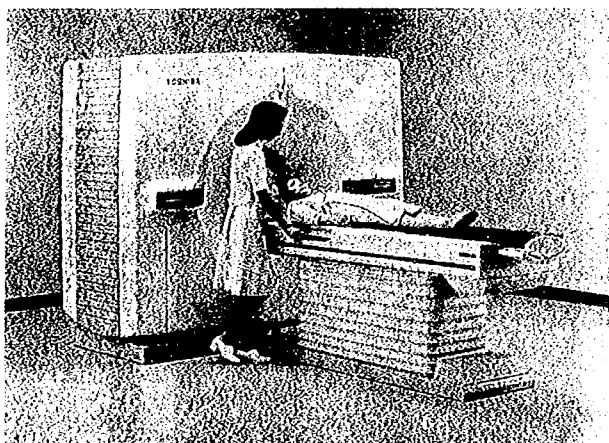
9. その他



▲高さ34mの宇佐見観音



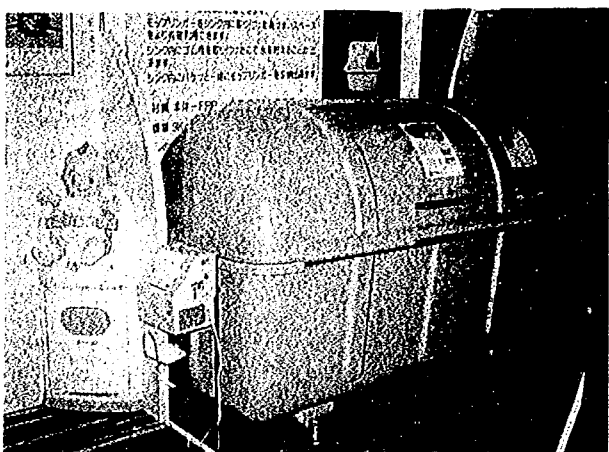
◀塩害防止用の郵便ポスト



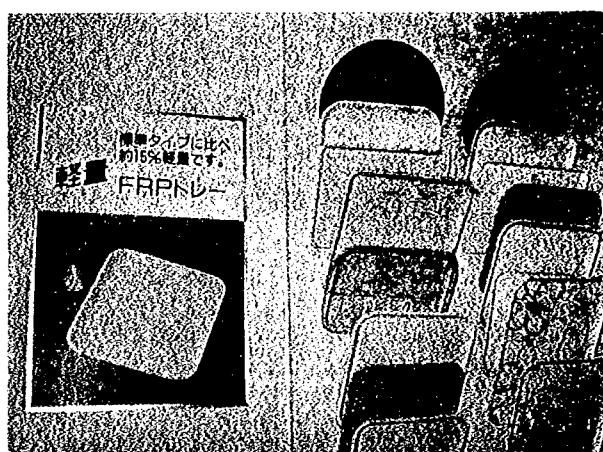
▲MRI断層撮影装置
(本体カバー、ベッド天板)



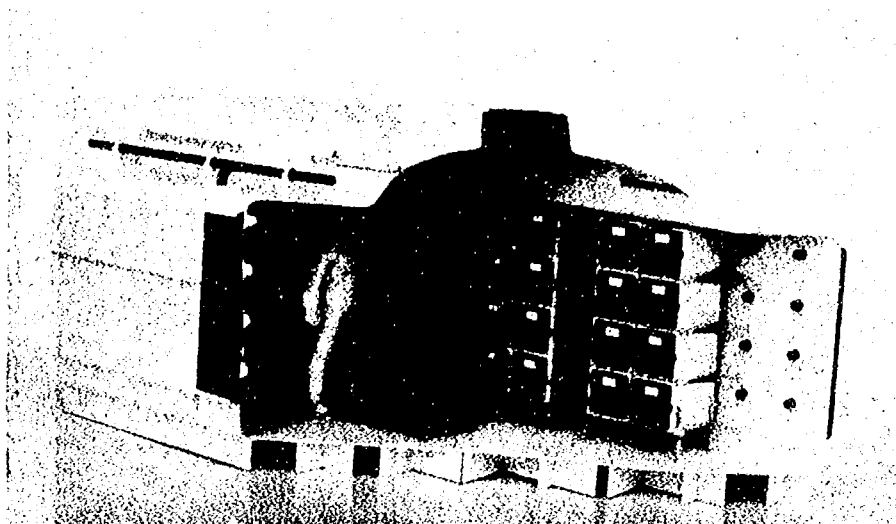
▲医療介護用の移動式入浴システム



▲業務用大型ごみ箱



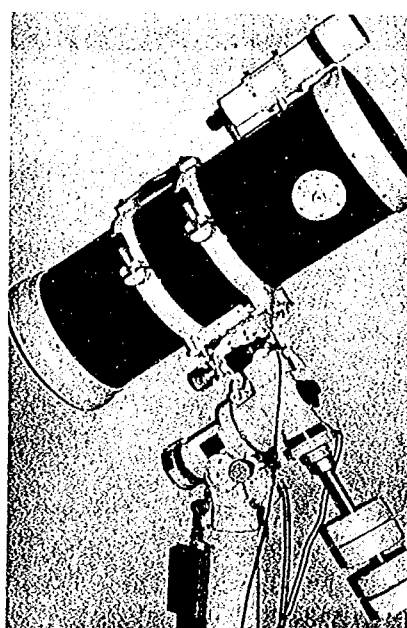
▲配膳用トレイ



▲動物飼育カプセル〈TILAC〉



▲スフォルツァの騎馬像
（高さ八・八m、名古屋国際会議）



▲CFRP/FW製鏡筒使用の
天体撮影用望遠鏡

繊維強化プラスチックの土木構造
材料への適用に関する共同研究報告書(Ⅰ)
— 一次構造材料としてのFRPの適用事例調査 —

共同研究報告書
整理番号第210号
1998年10月

建設省土木研究所 室 長 明風 政司
主任研究員 木嶋 健
主任研究員 西崎 到
研 究 員 佐々木 敏

社団法人強化プラスチック協会 小山 達雄
石川島播磨重工業株式会社 浜本 章
ショーボンド建設株式会社 江口 和雄
株式会社富士ビー・エス 徳光 卓

社団法人強化プラスチック協会 小澤 延行
佐藤工業株式会社 大野 一昭
東急建設株式会社 大橋 潤一

要 旨

本共同研究は、FRPの耐腐食性と、軽量であることから比強度の高さに注目して、一次構造材料として土木用途へ適用するための技術開発を進めている。

本報告は、これらの事例を文献調査により収集し、FRPの土木用の一次構造材料としての適用の特徴や、開発動向などについての調査を行った結果を報告する。

キーワード：FRP、構造材料、適用事例、文献調査

郵便はがき

50円切手
をはって
下さい。

3 0 5 0 8 0 4

茨城県つくば市大字旭一番地
建設省土木研究所

材料施工化学研究室 行

No. _____

共同研究報告書第210号

No. _____

配布先氏名

配布先住所



共同研究報告書第210号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏名



共同研究報告書第210号