

土木分野における付帯物および仮設物を 熱可塑性FRPで製造する利点の整理

保倉 篤¹・宮里 心一²

¹正会員 金沢工業大学 革新複合材料研究開発センター (〒924-0838 石川県白山市八束穂2-2)

E-mail:hokura@neptune.kanazawa-it.ac.jp

²正会員 金沢工業大学教授 環境・建築学部環境土木工学科 (〒924-0838 石川県白山市八束穂2-2)

E-mail: miyazato@neptune.kanazawa-it.ac.jp

土木分野の一部の付帯物および仮設物では、高耐食性や軽量等の特長がある熱硬化性FRPが適用されている。ここで、従来の熱硬化性FRPから熱可塑性FRPに変わることによって、生産性が向上し、製造費は低下することが期待できる。そこでシーズ側の背景を踏まえて、熱可塑性FRPの土木分野へのニーズを調査し、様々なケースでの実装可能性を確認してきた。その内、本研究では、早期の実用を期待できる付帯物および仮設物を対象に、使用の利点を整理した。すなわち、マンホール蓋および橋梁検査路の部材において、鋼製、熱硬化性FRPや熱可塑性FRPで製造される場合を想定し、製造費および運搬費を比較した。さらに、過疎化が進む地域を対象に、仮設道路橋が複数の限界集落に掛け替えられる場合を想定し、ランニングコストを評価した。

Key Words : thermoplastic FRP, accessory parts, temporary parts, initial cost, running cost

1. はじめに

社会基盤を建設および製造する際、歴史とともに新しくユニークな材料が使用されてきた。今日の主たる土木材料であるセメントコンクリートは 17 世紀に、鋼は 16 世紀に新材料として使われ始めた。例えば、セメントコンクリートに関しては、イギリス人のジョセフ・アスペディン氏が、1824 年にポルトランドセメントの特許を取得し、実装に至った¹⁾。また、鋼に関しては、イギリスのコールブルックデール地方において、1779 年に鉄橋であるアイアンブリッジが架設された²⁾。この様に、材料の特長を活かした実装を進めることで、社会基盤のユーザーである国民の生活の豊かさの向上に貢献してきた。

さて、現代においても、新しい土木材料の開発および実装が進められている。そのひとつに、繊維補強プラスチック材料 (以下、FRP と略す) が挙げられ、土木学会複合構造委員会等の活動が精力的に進められてきた。その成果として、石川県羽咋市で 1988 年に架けられた新宮橋³⁾や、沖縄県うるま市に 2000 年に架けられた歩道橋⁴⁾などを含め、構造物としての供用が継続しているもの

も複数ある。また、主構造体ではないが、橋梁の検査路のように、付帯物として FRP が使用されるケースも増えつつある。

ここで著者らは、平成25年度から9年間の計画で、「革新的イノベーション創出プログラム (COI STREAM)」 (以下、COI事業と略す) の活動の一環として、熱可塑性FRPの開発研究を推進している⁵⁾。すなわち、従来の熱硬化性FRPから熱可塑性FRPに変わることによって、図-1に示すとおり生産性が向上し、製造費を低下することが期待できる。このことは、航空機の分野を対象

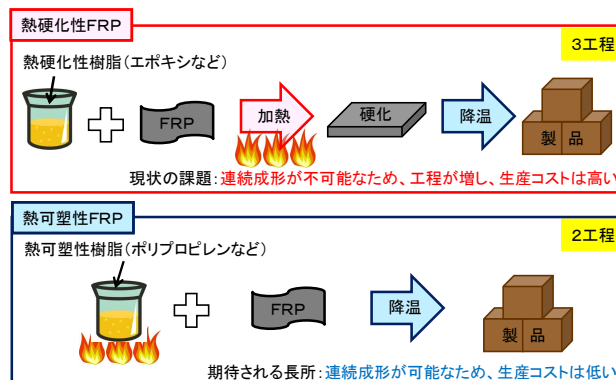


図-1 熱硬化性FRPおよび熱可塑性FRPの生産工程

としたLudger Michels⁹⁾らによる研究によれば、従来の熱硬化性FRPと比較して熱可塑性FRPでは、製造費が約80%程度に低減されると報告されている。そこでCOI事業では、前述のシーズ側の背景を踏まえて、熱可塑性FRPの土木分野へのニーズを調査し、様々なケースでの実装可能性を整理している^{例えば7)}。その内、本研究では、早期の実用を期待できる付帯物および仮設物を対象に、使用の利点を整理した。すなわち、マンホールの蓋や検査路などの付帯物が、鋼、熱硬化性FRPおよび熱可塑性FRPで製造される場合を想定し、製造費ならびに運搬費を比較した。加えて、過疎化が進む複数の集落において、はじめにある限界集落では数十年間に亘り供用され、次に住人が居なくなり道路の必要性が無くなった後は、別の限界集落に掛け替えられる仮設道路橋を想定し、ランニングコストを評価した。なお本研究では、上述のLudger Michels⁹⁾らの研究を参考に、熱硬化性FRPを用いた場合より、熱可塑性FRPを用いた場合では製造費が80%に低減されると仮定した。

2. 鋼、熱硬化性FRP、熱可塑性FRPで製造されたマンホール蓋の比較

表-1に、マンホール蓋を一括発注した時の1組に対する製造費を示す。また、図-2に鋼で製造されたケースを、

図-3に熱硬化性FRPおよび熱可塑性FRPで製造されたケースのマンホール用の蓋および受枠を示す。ここでは、マンホールの上に設置する蓋と、それを受ける囲いの受枠があり、これらを組み合わせて、マンホール蓋と定義

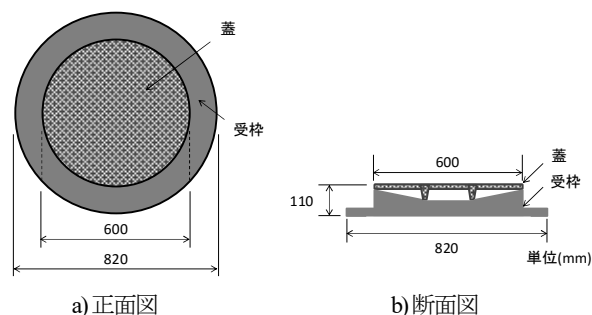


図-2 鋼で製造されたマンホール用の蓋および受枠

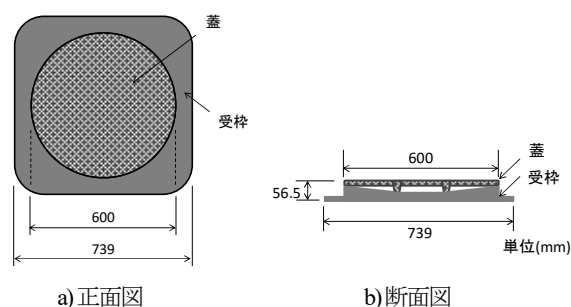


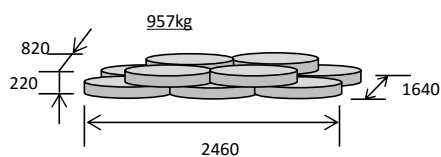
図-3 熱硬化性FRPおよび熱可塑性FRPで製造されたマンホール用の蓋および受枠

表-1 マンホール蓋を一括発注した時の1組に対する製造費

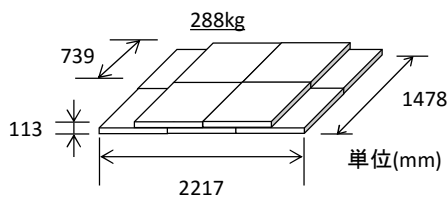
種類	製造費	単体の質量	参照
鋼	66,400 円/組	蓋:44.7kg 受枠:51.0kg	9),10)
熱硬化性 FRP	82,400 円/組	蓋:18.8kg	11),12)
熱可塑性 FRP	65,920 円/組	受枠:10.0kg	6)

表-2 トラックのサイズおよび最大積載量

車種	荷台寸法(mm)		最大積載量	参照
	長さ	幅		
2t ユニック	3,700	1,790	2.0t	13)
4t ユニック	4,990	2,060	2.5~3.0t	
10t ユニック	9,500	2,350	8.0~9.0t	

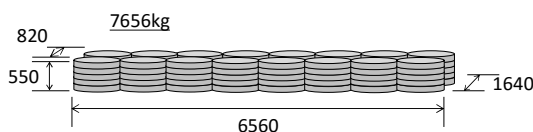


a) 鋼 (2t ユニック×1 台)

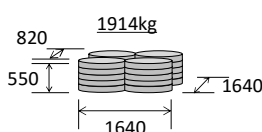


b) 熱硬化性 FRP および 熱可塑性 FRP (2t ユニック×1 台)

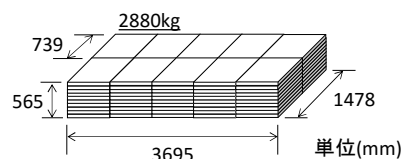
図-4 マンホール蓋の10組に対するトラック積載時の組み合わせ



a) 鋼 (10t ユニック×1 台)



b) 鋼 (2t ユニック×1 台)



c) 熱硬化性 FRP および 熱可塑性 FRP (4t ユニック×1 台)

図-5 マンホール蓋の100組に対するトラック積載時の組み合わせ

した。次に、表-2にトラックのサイズおよび最大積載量を、表-3にマンホール蓋の寸法および質量を示す。ここで、熱可塑性FRPの製造工程は熱硬化性FRPとは異なるが、いずれも同一の質量と仮定した。

図-4にマンホール蓋10組を、図-5にマンホール蓋100組に対するトラック積載時の組み合わせを示す。これらによれば、鋼、熱硬化性FRPおよび熱可塑性FRPで製造されたマンホール蓋を積載するにあたり、適する車種を把握できた。すなわち、10組のマンホール蓋を積載する場合、1台の2tユニック車で運搬できる。一方、100組のマンホール蓋を積載する場合、鋼では1台の10tユニック車および1台の2tユニック車で、熱硬化性FRPおよび熱可塑性FRPでは1台の4tユニック車で運搬できる。

表-4に、10組のマンホール蓋に対する距離・車種別の運搬費を示す。運搬距離は「東京-大阪」および「東京-群馬」を想定し、600km および 100km に設定した。ここで、図-6に10組のマンホール蓋に対する、図-7に100組のマンホール蓋に対する、製造費と運搬費を足したイニシャルコストを示す。これらによれば、イニシャルコストは熱可塑性FRPが最も安く、鋼、熱硬化性FRPの順に高くなることが確認できる。また、この傾向は運搬距離が長い場合に顕著になる。

表-3 マンホール蓋の寸法および質量

種類	製品寸法(mm)		質量※	参照
	長さ	高さ		
鋼	820	110	95.7 kg	10)
熱硬化性 FRP	739	56.5	28.8 kg	12)
熱可塑性 FRP				

※蓋および受枠の合計質量

表-4 10組のマンホール蓋に対する距離・車種別の運搬費

距離	車種	運搬費	参照
600km	2t ユニック	92,000 円	14)
	4t ユニック	107,000 円	
	10t ユニック	159,000 円	
100km	2t ユニック	34,000 円	
	4t ユニック	39,000 円	
	10t ユニック	56,000 円	



写真-1 鋼で製造されたマンホール蓋の腐食状況

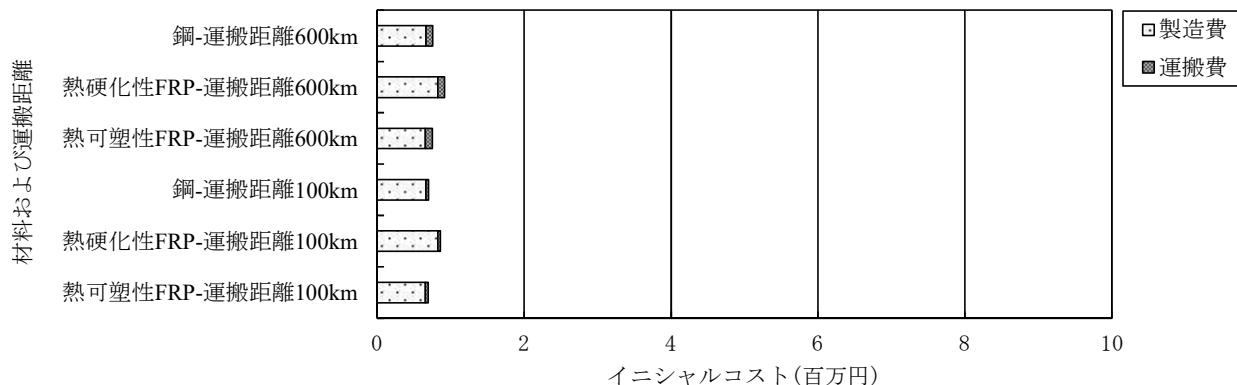


図-6 10組のマンホール蓋に対するイニシャルコスト

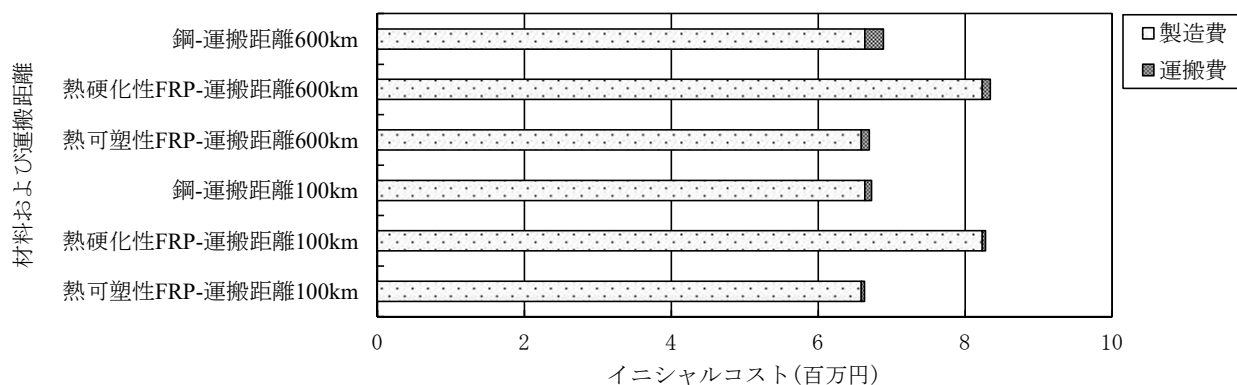


図-7 100組のマンホール蓋に対するイニシャルコスト

ここで、写真-1 に鋼で製造されたマンホール蓋の腐食状況を示す。すなわち鋼の場合、熱硬化性 FRP および熱可塑性 FRP と比較して耐久性が劣り、安全面におけるリスクは高まる。このことから、耐久性において、耐腐食性の高い熱硬化性 FRP および熱可塑性 FRP は有利であると考えられる。

3. 鋼，熱硬化性FRP，熱可塑性FRPで製造された橋梁検査路の比較

表-5に、橋梁に設置される120mの検査路に対する製造費を示す。また、表-6に1ユニット（長さ4m）当たりの検査路の寸法および質量を示す。ここで、2章と同様に、検査路は熱可塑性FRPおよび熱硬化性FRPで同一の質量と仮定した。

図-8に鋼の検査路における、図-9に熱可塑性FRPおよび熱硬化性FRPの検査路におけるトラック積載時の組み

表-5 検査路に対する製造費

種類	製造費	質量	参照
鋼	64,000 円	80kg/m	15),16)
熱硬化性 FRP	131,000 円	20kg/m	
熱可塑性 FRP	104,800 円		-

表-6 検査路の寸法および質量

種類	製品寸法(mm)			4m 当たりの質量
	長さ	幅	高さ	
鋼	4,000	675	1100	底版：263 kg 手摺：53 kg
熱硬化性 FRP				底版：68 kg 手摺：12 kg
熱可塑性 FRP				底版：68 kg 手摺：12 kg

合わせを示す。これらによれば、鋼，熱硬化性FRPおよび熱可塑性FRPで製造された検査路を積載するにあたり、適する車種を把握できた。すなわち、鋼の検査路を積載

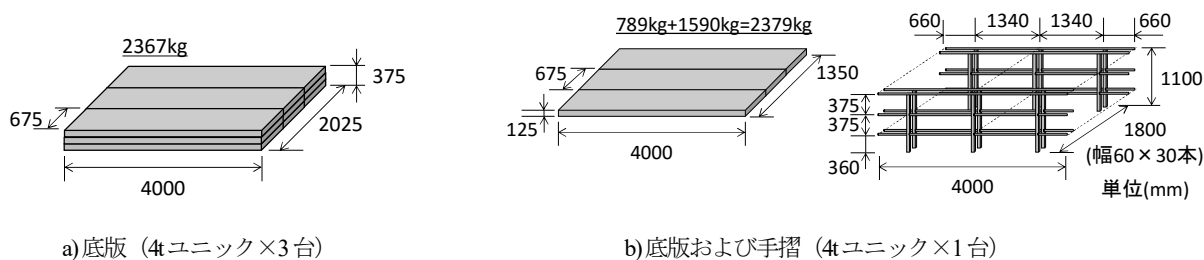


図-8 鋼の検査路におけるトラック積載時の組み合わせ

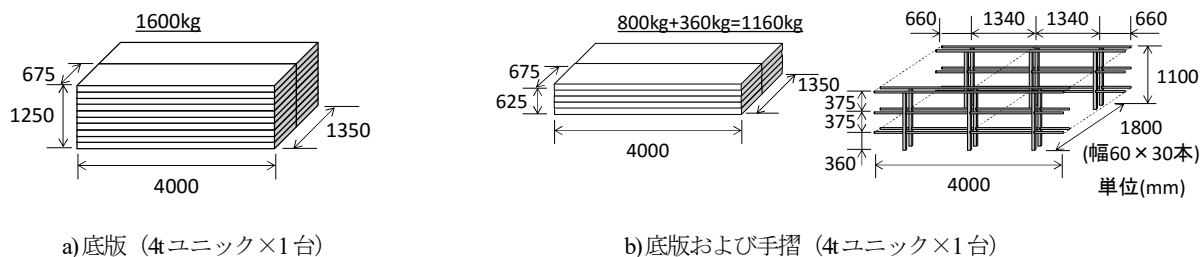


図-9 熱硬化性 FRP および熱可塑性 FRP の検査路におけるトラック積載時の組み合わせ

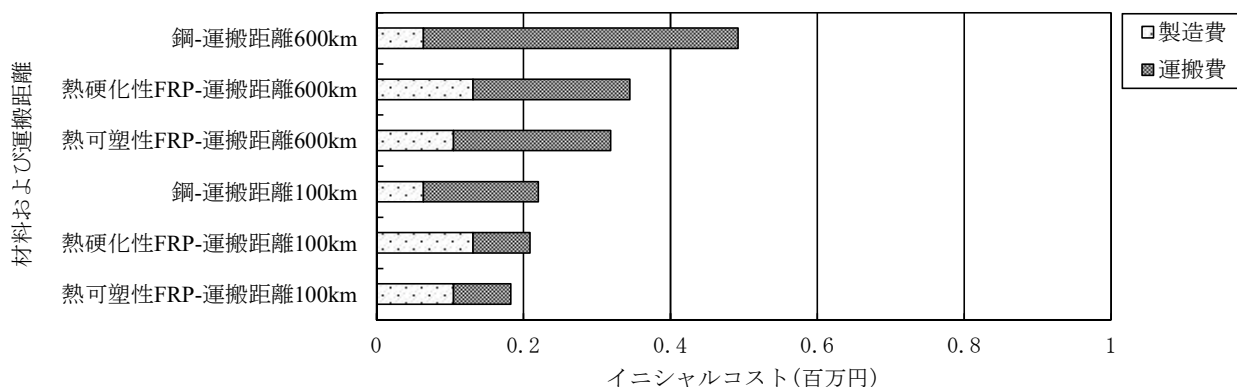


図-10 橋梁に設置される 120m の検査路に対するイニシャルコスト

する場合、4台の4tユニック車で運搬できる。一方、熱硬化性FRPおよび熱可塑性FRPの検査路を積載する場合、2台の4tユニック車で運搬できる。

図-10に、120mの検査路に対するイニシャルコストを示す。これによれば、イニシャルコストは熱可塑性FRPが最も安く、熱硬化性FRP、鋼の順に高くなることが確認できる。特に、運搬距離が長い程、その傾向は顕著になることが認められる。これは、鋼において、熱硬化性FRPおよび熱可塑性FRPよりも質量が4倍大きいため、トラックの台数が増加し、運搬費が高くなるためと考えられる。

さらに、写真-2に鋼で製造された検査路の腐食状況¹⁶⁾を示す。2章と同様に、検査路を使用中の作業や通行者が負うリスクを考慮して、耐腐食性の高い熱硬化性FRPおよび熱可塑性FRPは有利であると考えられる。



写真-2 鋼で製造された検査路の腐食状況¹⁶⁾

4. 限界集落での仮設道路橋として熱硬化性FRPおよび熱可塑性FRPを転用する場合の比較

表-7 に熱硬化性 FRP で作製されたケースを、表-8 に熱可塑性 FRP で作製されたケースの各部材の数量およびコストを示す。なお形状は、床版の部材 A を平板と

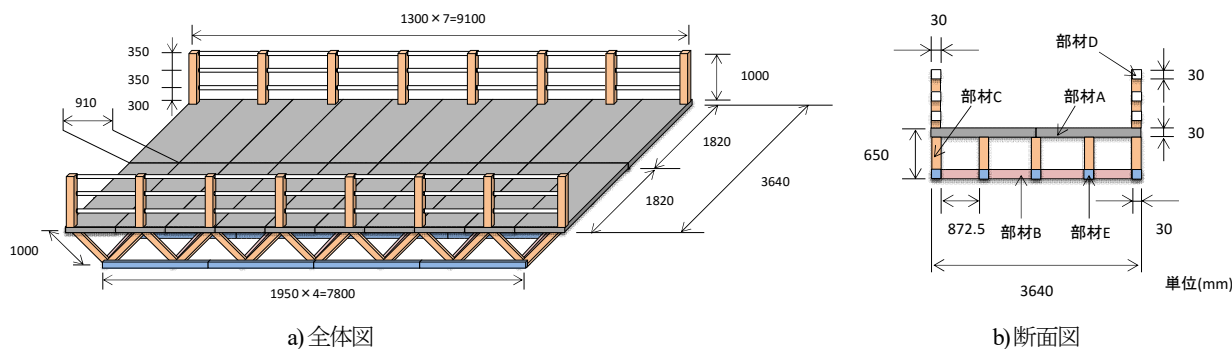


図-11 仮設道路橋のイメージ図

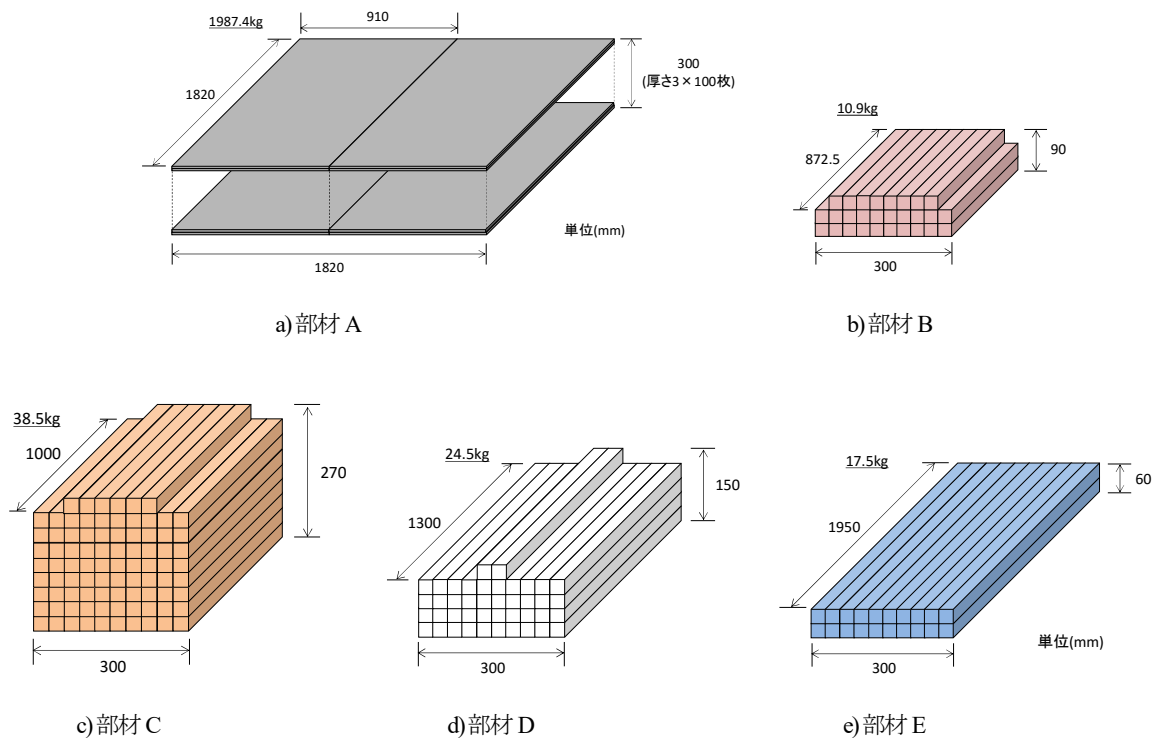


図-12 仮設道路橋の1橋に対するトラック積載時の組み合わせ

し、その他の部材 B, C, D および E を角パイプとした。また、図-11 に各部材を組み合わせた仮設道路橋のイメージ図を示す。ここで、2 章および 3 章と同様に、仮設道路橋は熱可塑性 FRP および熱硬化性 FRP で同一の質量と仮定した。

図-12 に、仮設道路橋の 1 橋に対するトラック積載時の組み合わせを示す。これらによれば、熱硬化性 FRP および熱可塑性 FRP で製造された道路仮設橋を積載するにあたり、適する車種を把握できた。すなわち、1 橋の仮設道路橋を積載する場合、1 台の 4t ユニック車で運搬できる。

図-13 に、仮設道路橋の工程フローの例を示す。また、表-9 に 1 橋の仮設道路橋に対する距離・車種別の運搬費を示す。運搬距離は過疎化が進む山間部の集落（例えば、石川県白山市・小松市・加賀市および能登地方の山間部）を想定し、60km に設定した。ここで、図-14 に 1 橋の仮設道路橋に対する、製造費、現場での組立費、解体費および運搬費を足したランニングコストの算定例を示す。なお、FRP は軽量なため、施工等が容易になることを想定し、鋼と比較して解体費を 80% に低減した。すなわち、鋼における解体費の割合は、橋長および幅員の面積に対して 21% と仮定し、熱硬化性 FRP および熱可塑性 FRP では 17% とした。さらに、掛け替えの時期を 20 年/回と仮定した。これらによれば、ランニングコストは熱硬化性 FRP と比較して、製造費が 80% に低減された熱可塑性 FRP の方が安くなることが確認できる。また、この傾向は掛け替え回数が増える程、熱硬化性 FRP および熱可塑性 FRP の公共事業の費用におけるコストの抑制が顕著になることが期待できる。

なお、本章の検討では、鋼で製造された道路仮設橋は対象から除外した。この理由は、急峻な地形では重量物の掛け替え作業が困難なためである。

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 鋼、熱硬化性 FRP および熱可塑性 FRP で製造された付帯物の製造費ならびに運搬費を比較した。その結果、マンホール蓋の場合、運搬距離が 100km および 600km のいずれも、イニシャルコストは熱可塑性 FRP が最も安く、鋼、熱硬化性 FRP の順に高くなることが確認できた。一方、検査路の場合、運搬距離が 100km および 600km のいずれも、イニシャルコストは熱可塑性 FRP が最も安く、熱硬化性 FRP、鋼の順に高くなることが確認できた。
- (2) 過疎化が進む複数の集落において、道路の必要性がなくなった場合、別の限界集落に掛け替えられ

表-7 熱硬化性 FRP で作製された各部材の数量およびコスト
17,18)

部材	種類	形状	寸法(mm)				必要数量	価格(円)	
			幅	厚さ	高さ	長さ		単体	合計
A		平板	910	3	—	1820	200枚	24,950	4,990,000
B		角パイプ	30	—	30	872.5	28本	21,813	610,750
C						1000	86本	25,000	2,150,000
D						1300	42本	32,500	1,365,000
E						1950	20本	48,750	975,000
総価格(円)									10,090,750

表-8 熱可塑性 FRP で作製された各部材の数量およびコスト

部材	種類	形状	寸法(mm)				必要数量	価格(円)	
			幅	厚さ	高さ	長さ		単体	合計
A		平板	910	3	—	1820	200枚	19,960	3,992,000
B		角パイプ	30	—	30	872.5	28本	17,450	488,600
C						1000	86本	20,000	1,720,000
D						1300	42本	26,000	1,092,000
E						1950	20本	39,000	780,000
総価格(円)									8,072,600

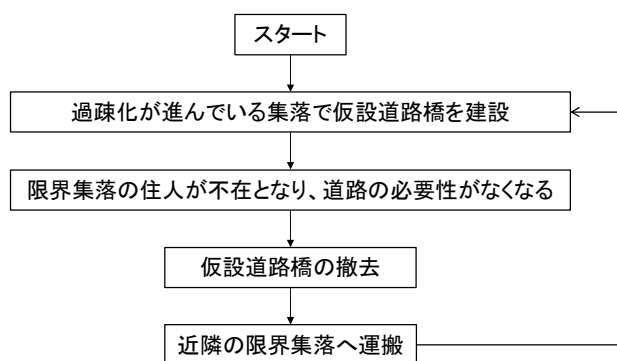


図-13 仮設道路橋の工程フローの例

表-9 1 橋の仮設道路橋に対する距離・車種別の運搬費

距離	車種	運搬費	参照
60 km	4t ユニック	35,000 円	13)

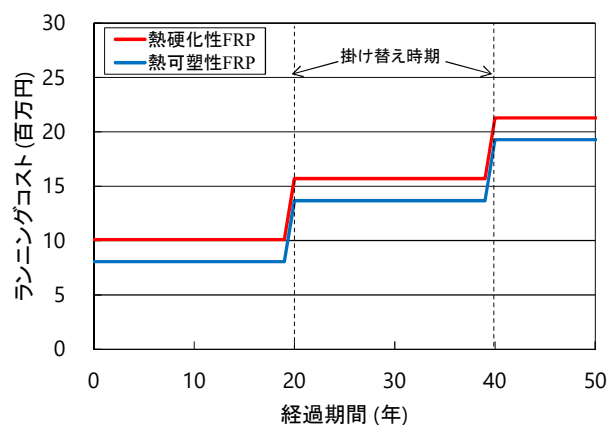


図-14 ランニングコストの算定例

る仮設橋を想定し、ランニングコストを評価した。その結果、熱硬化性FRPおよび熱可塑性FRPで製造された仮設道路橋の製造費、組立費、解体費ならびに運搬費を算定することができた。

謝辞：本研究は、文部科学省・科学技術振興機構によるCOI プログラム「革新材料による次世代インフラシステムの構築～安全・安心で地球と共存できる数世紀社会の実現～」により進められたものである。また、熱可塑性FRP のニーズを調査するにあたり、土木分野への革新材料実装研究会に参画頂いた皆様に多大なご支援を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会関西支部：コンクリートなんでも小事典，2008.
- 2) 日本鉄鋼協会：社会インフラにおける鋼構造・鉄鋼材料の歴史・現状・将来展望，第 225・226 回西山記念技術講座，2016.
- 3) 神田博行，木内武夫，松本一昭：新素材 PC 橋の実橋試験桁の載荷試験報告，第 5 回シンポジウム論文集（プレストレストコンクリート技術協会），pp.529-532，1995.
- 4) 山城和男：国内初 実用 FRP 橋（横断歩道橋）の整備，しまたてい，No.14，pp.22-25，2000.
- 5) 科学技術振興機構：「センター・オブ・イノベーション（COI）プログラム」<http://www.jst.go.jp/coi/outline/outline.html>，（2016/7/29アクセス）
- 6) Ludger Michels, Christian Dreyer, Sebastian Steffen, Monika Bauer : Innovative Equipment Concepts for Coating of Composite Products with Duroplastic and Thermoplastic Adhesives, Proceedings of 20th International Conference on Composite Materials, 2015.7
- 7) 宮里心一，保倉篤：土木分野への新たな FRP 部材の研究開発，北陸路，第 62 号，pp.12-17，2015.
- 8) 保倉篤，宮里心一：土木分野における熱可塑性 FRP のニーズ調査，第 7 回日本複合材料会議，2016.
- 9) 建設物価調査会：建設物価 2014 10，p314.
- 10) 會澤高圧コンクリート，<http://www.aizawa-group.co.jp/fukagawa/CD-ROM/product/manhole/t31.html>，（2016/7/29 アクセス）
- 11) けんせつ Plaza，http://www.kensetsu-plaza.com/details/ci0167900_mi084150/，（2016/7/29 アクセス）
- 12) 栗本商事，http://www.kurimoto.co.jp/kurimototrading/prod02/prod02_02.html，（2016/7/29 アクセス）
- 13) トラック輸送の基礎知識，<http://trucknet.client.jp/truck.html>，（2016/7/29 アクセス）
- 14) 東昌運輸，<http://toshio-transport.co.jp/unti.html>，（2016/7/29 アクセス）
- 15) 新技術情報提供システム，http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail2.asp?REG_NO=CB-120033&TabType=2&nt=nt，（2016/7/29 アクセス）
- 16) 久保圭吾，清水達也：FRP 材を用いた検査路の耐荷性状と適用実例，平成 26 年度近畿地方整備局研究発表会論文集，（新技術・新工法部門），No.14，2014.
- 17) 建設物価調査会：建設物価 2014 10，p508.
- 18) 茨木工業，http://www.zero-carbon.com/sheet_carbon_cfrp_molding.html，（2016/7/29 アクセス）

ADVANTAGES OF ACCESSORY AND TEMPORARY PARTS MANUFACTURING WITH THERMOPLASTIC FRP IN CIVIL ENGINEERING FIELD

Atsushi HOKURA and Shinichi MIYAZATO

Some accessory parts and temporary parts in civil engineering field, thermosetting FRP with the features of high corrosion resistance and light weight is applied. Herein, if it was possible to change from conventional thermosetting FRP to thermoplastic FRP, productivity would surely improve, lowering its manufacturing cost. Therefore, on basis of the background of the seeds side, it could investigate the needs for thermoplastic FRP in civil engineering field and confirm implementation possibilities in various cases. Among them, in this study, the benefits of use were organized to target the accessory parts and temporary parts which can be expected early practical use. That is, assuming the case where the manhole cover and the parts of bridge inspection platform were made by steel, thermosetting FRP and thermoplastic FRP, the manufacturing cost and the transportation cost were compared. Furthermore, for the depopulated region, assuming that temporary road bridges are replaced in multiple marginal settlements, the running costs were evaluated.