



FRPを用いた補強技術 ～国内外の最新技術を例に～

YAMAGUCHI UNIVERSITY

山口大学大学院 創成科学研究科
(社会建設工学科)
准教授 吉武 勇
[E-Mail] yositake@yamaguchi-u.ac.jp
[Homepage] <http://www.concrete.civil.yamaguchi-u.ac.jp/>
[Facebook] <http://www.facebook.com/yuconcretelab>



■本日の話題－構成－

- 複合材料のFRPとは？
- 炭素繊維シート
- 炭素繊維補強板 (CFRPプレート)
- 炭素繊維補強棒 (CFRPロッド)

キーワード：繊維・付着・定着・温度

No.2

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17



■複合材料

複合材料 (Composite Materials)
強度・剛性・軽量化などの特性向上のため2種類以上の性質が異なる素材を組み合わせた材料
強化材料と母材 (マトリクス) から構成

<参考>
複合構造 (Composite/Hybrid Structure)
合成構造 (複数材料を組み合わせた構造部材)
混合構造 (異種部材を連結した構造体)
の総称

No.3

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

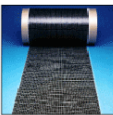
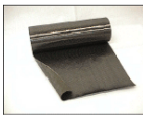
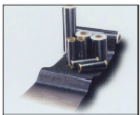


■FRP (連続繊維補強材)

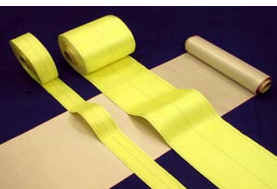
複合材料 (Composite Materials)

- Fiber Reinforced Polymers (FRP)
- Fiber Reinforced Plastics (FRP)

繊維 (Fiber)

【引用】炭素繊維補修・補強工法技術研究会 (<http://www.tampoken.com/index.html>)




【引用】アラミド補強研究会 (<http://www.aramid-ken.jp/index.html>)

【引用】硝子繊維協会 (<http://www.glass-fiber.net/>)

No.4

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

YAMAGUCHI UNIVERSITY

■世界のFRP研究の学会・論文誌

日本複合材料学会 一般社団法人強化プラスチック協会

International Institute for FRP in Construction

COMPOSITE STRUCTURES

Journal of Reinforced Plastics & Composites

Journal of Composites for Construction

世界には建設分野に限らずFRP研究の学会・論文誌が多数

No.5 山口県健康づくりセンター 多目的ホール 2017/05/17

YAMAGUCHI UNIVERSITY

■FRP（連続繊維補強材）

アラミド繊維
AFRP: Agamid fiber reinforced polymer

ガラス繊維
GFRP: Glass fiber reinforced polymer

炭素繊維
CFRP: Carbon fiber reinforced polymer

バサルト繊維（玄武岩を熔融して紡糸）
BFRP: Basalt fiber reinforced polymer

No.6 山口県健康づくりセンター 多目的ホール 2017/05/17

YAMAGUCHI UNIVERSITY

■バサルト繊維

Composites: Part B

A short review on basalt fiber reinforced polymer composites

Vivek Dhand^a, Garima Mittal^a, Kyong Yop Rhee^{a,*}, Soo-Jin Park^b, David Hui^c

^aDepartment of Mechanical Engineering, College of Engineering, Kyung Hee University, 446-701 Yongin, Republic of Korea
^bDepartment of Chemistry, Inha University, Incheon, Republic of Korea
^cUniversity of New Orleans, Dept. of Mechanical Engineering, New Orleans, LA 70148, United States

密度 g/cm ³	引張強度 GPa	ヤング率 GPa	伸び能力 %
2.7	2.8~4.8	86~90	3.15

[Ref] <http://www.build-on-prince.com/basalt-fiber.html>

(a) basalt fiber fabric, (b) carbon fiber fabric
(c) strands of carbon fiber, (d) strands of basalt fiber.

No.7 山口県健康づくりセンター 多目的ホール 2017/05/17

YAMAGUCHI UNIVERSITY

■バサルト繊維

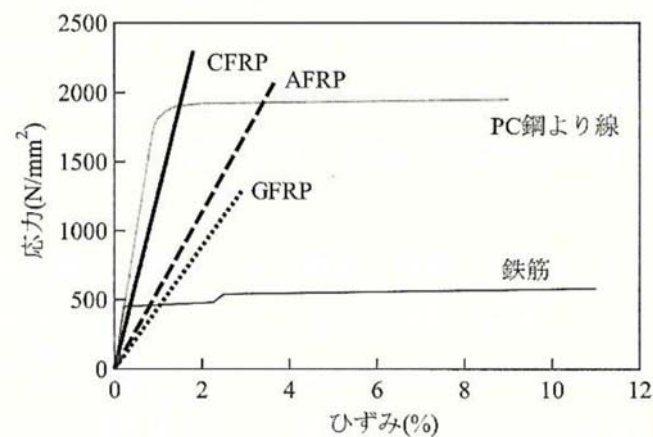
Percentage wise chemical composition of basalt

Properties of Basalt

Values
Tensile Strength (GPa)
Elastic Modulus (GPa)
Elongation at Break (%)
Density (g/cm ³)

[Ref] Vivek Dhand, Garima Mittal, Kyong Yop Rhee, Soo-Jin Park, David Hui, (2015), "A short review on basalt fiber reinforced polymer composites", *Composites Part B: Engineering*, Vol.73, pp.166-180.

No.8 山口県健康づくりセンター 多目的ホール 2017/05/17

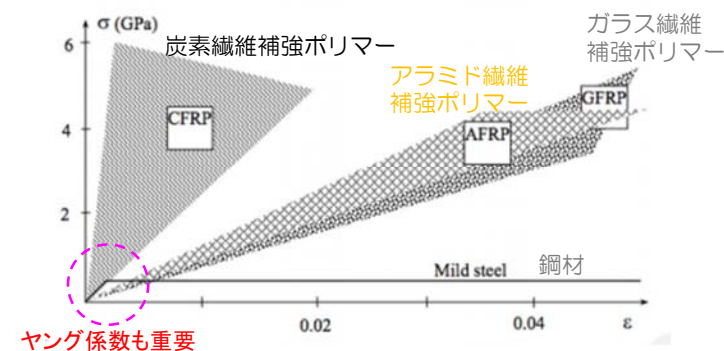


【引用】複合構造レポート05 FRP接着による鋼構造物の補修・補強技術の最先端, 土木学会

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

No.9



[Ref] A.M. El-Shihy, H.M. Fawzy, S.A. Mustafa and A.A. El-Zohairy, (2010), "Experimental and numerical analysis of composite beams strengthened by CFRP laminates in hogging moment region", *Steel Composite Structures*, Vol.10, No.3, pp.281-295.

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

No.10

炭素繊維の特徴

1. 軽量・・・比重は鉄の1/5
2. 高強度・・・強度は鉄の10倍
3. 高弾性・・・鉄筋の3倍以上の繊維も
4. 耐久性・・・腐食しない



【資料】炭素繊維補修・補強工法技術研究会 第4回土木技術講習会

炭素繊維の用途

- ・飛行機（B787）
- ・人工衛星
- ・車
- ・テニスラケット
- ・ゴルフシャフト
- ・釣竿

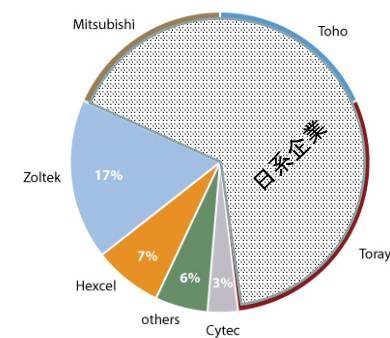


山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

No.11

Carbon fiber market share by company



Rocky Mountain Institute © 2011. For more information see www.RMI.org/ReinventingFire.

[Ref] http://www.rmi.org/RFGraph-Carbon_fiber_market_share_by_company

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

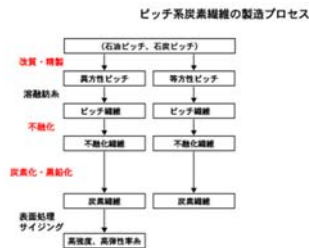
2017/05/17

No.12

・PAN（パン）系
アクリル繊維を原料に高温
で炭化して作った繊維
単繊維の太さ：5-7 μ m



・PITCH（ピッチ）系
ピッチ（石油・石炭等の副生成物）
を原料に高温で炭化して作った
繊維
単繊維の太さ：7-10 μ m

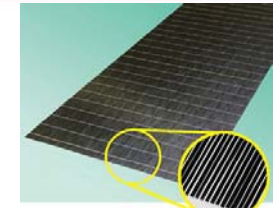
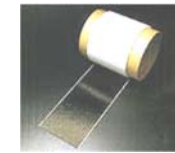


【引用】炭素繊維協会 (<http://www.carbonfiber.gr.jp>)

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

・シート・ストランドシート



[引用]新日鉄住金マテリアルズ
(<http://www.nck.nsmat.co.jp/construction/st/index.html>)

・プレート

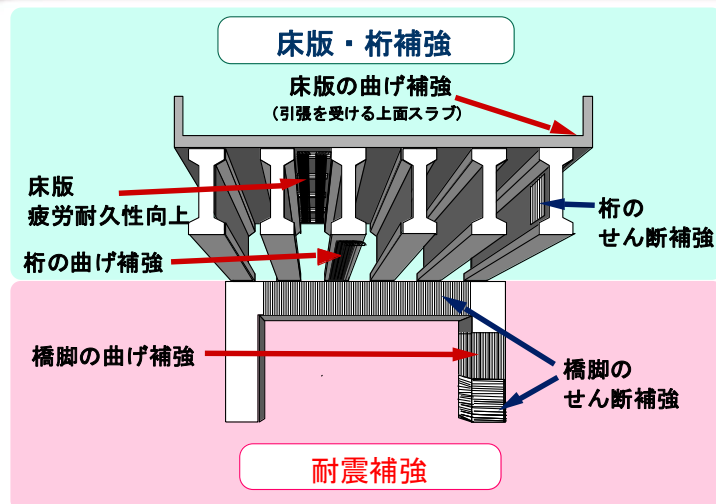


・ロッド



山口県健康づくりセンター 多目的ホール

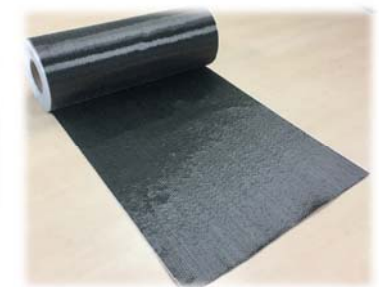
2017/05/17



【資料提供】長谷川泰聰氏(山口大学大学院・三菱ケミカルインフラテック)。

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17



Carbon Fiber Sheet / Fabric

■炭素繊維シート

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

No.	炭素繊維の種類	繊維目付量 (g/m ²)	設計厚さ (mm)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)
1	高強度型	200	0.111	3400	2.45×10 ⁵
2	高強度型	300	0.167	3400	2.45×10 ⁵
3	高強度型	400	0.222	3400	2.45×10 ⁵
4	高強度型	450	0.250	3400	2.45×10 ⁵
5	高強度型	600	0.333	3400	2.45×10 ⁵
6	中弾性型	300	0.165	2900	3.90×10 ⁵
7	中弾性型	300	0.165	2400	4.40×10 ⁵
8	高弾性型	300	0.143	1900	5.40×10 ⁵
9	高弾性型	300	0.143	1900	6.40×10 ⁵

No.17

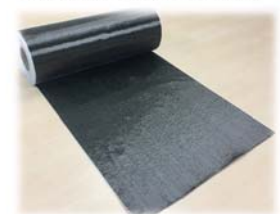
山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

【シート工法】

- ・軽量（既存躯体への影響~~無~~）
- ・高強度（鉄の~~10倍以上~~の強度）
- ・高弾性（鉄筋の~~応力低減効果大~~）
- ・高耐久性（~~耐腐食性に優れる~~）
- ・20年以上の実績

〔資料提供〕(株)三菱ケミカルインフラテック。



No.18

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

炭補研マニュアル類

- 炭素繊維シートによるコンクリート構造物の補修補強マニュアル
- トンネル覆工編
- 橋梁上部工鉄筋コンクリート床版編
- 覆蓋式水路床版編
- 炭素繊維シート貼付工事における品質管理マニュアル
- 炭素繊維シート接着工法 設計・施工の手引き

旧建設省土木研究所と炭補研の共同研究報告書

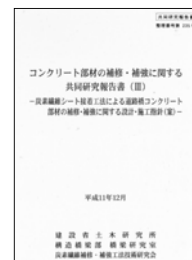
- コンクリート部材の補修・補強に関する共同研究報告書(Ⅲ)
- ー炭素繊維シート接着工法による道路橋コンクリート部材の補修・補強に関する設計・施工指針(案)ー

土木学会

- 連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針
- (土木学会コンクリートライブラリー 101)

NEXCO

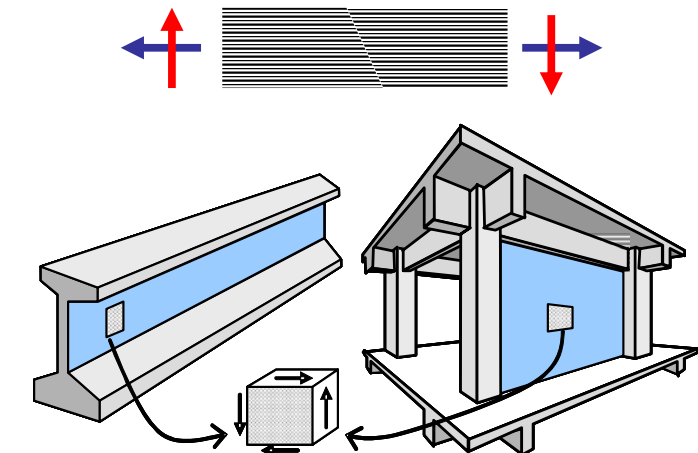
- 設計要領第二集 橋梁保全編



No.19

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

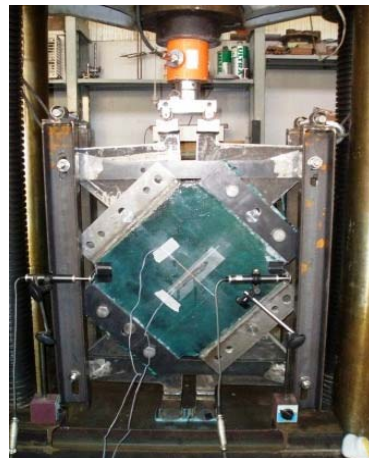
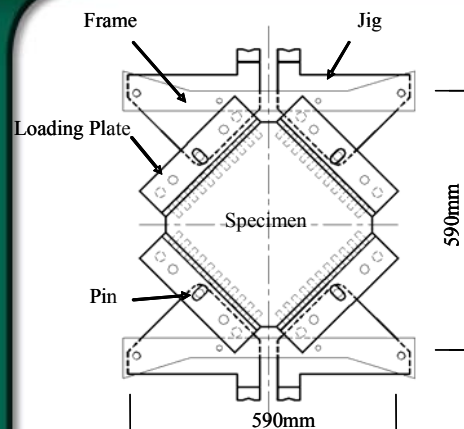
2017/05/17



No.20

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

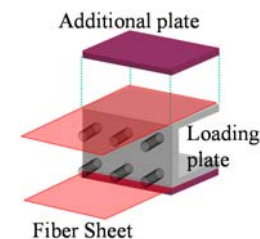
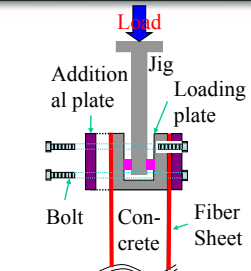
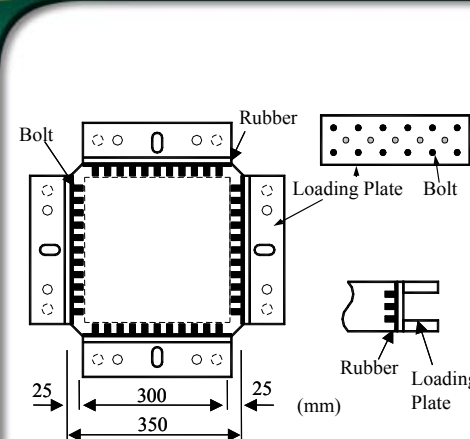


[Ref] Isamu YOSHITAKE, Ayumi INAMORI, Sumio HAMADA and Nobuhiro HISABE (2006), Pure Shearing Behaviour of Concrete Element with Carbon Fiber Sheet, *Proceedings of the 2nd fib Congress 2006*, pp.10-64.

No.21

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

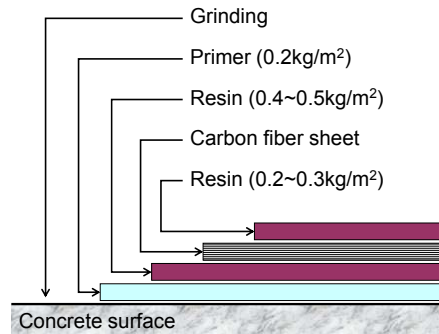
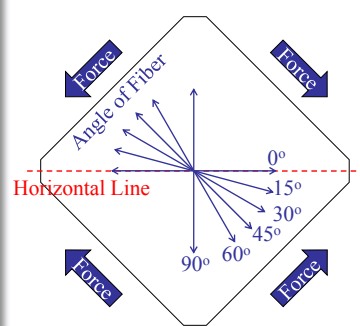


[Ref] Isamu YOSHITAKE, Ayumi INAMORI, Sumio HAMADA and Nobuhiro HISABE (2006), Pure Shearing Behaviour of Concrete Element with Carbon Fiber Sheet, *Proceedings of the 2nd fib Congress 2006*, pp.10-64.

No.22

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17



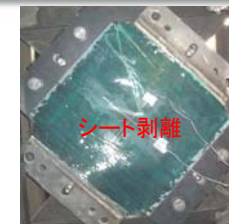
[Ref] Isamu YOSHITAKE, Ayumi INAMORI, Sumio HAMADA and Nobuhiro HISABE (2006), Pure Shearing Behaviour of Concrete Element with Carbon Fiber Sheet, *Proceedings of the 2nd fib Congress 2006*, pp.10-64.

No.23

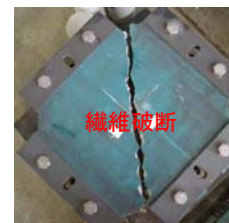
山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

N-S $f_{ps} = 2.54(\text{MPa})$	CF1-S-0 $f_{ps} = 6.31(\text{MPa})$	CF1-S-15 $f_{ps} = 5.21(\text{MPa})$
CF1-S-30 $f_{ps} = 3.76(\text{MPa})$	CF1-S-45 $f_{ps} = 3.29(\text{MPa})$	CF1-S-60 $f_{ps} = 2.87(\text{MPa})$
CF2-S-0 $f_{ps} = 4.79(\text{MPa})$	CF2-S-45 $f_{ps} = 3.24(\text{MPa})$	CF3-S-45/45 $f_{ps} = 5.00(\text{MPa})$



CF1-S-45



CF2-S-45

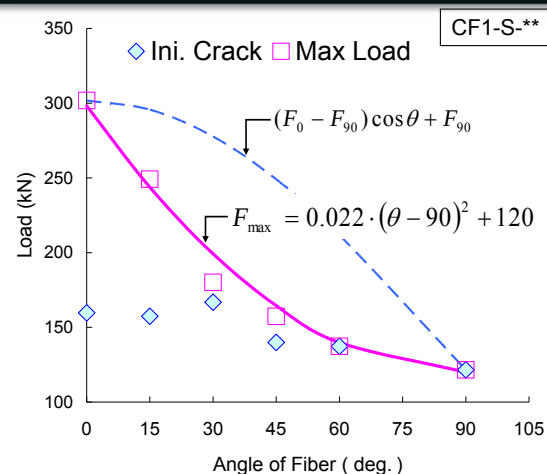
No.24

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17



■炭素繊維の方向性の影響



[Ref] Isamu YOSHITAKE, Ayumi INAMORI, Sumio HAMADA and Nobuhiro HISABE (2006), Pure Shearing Behaviour of Concrete Element with Carbon Fiber Sheet, *Proceedings of the 2nd fib Congress 2006*, pp.10-64.
久部修弘, 吉武 勇, 稲森あゆみ, 浜田純夫: 純せん断実験に基づく炭素繊維シートのせん断補強の定量化, 土木学会論文集E, Vol.62, No.4, pp.855-865, 2006.12.

No.25

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17



Carbon Fiber Reinforced Polymer Plate/ Strip /Laminate

■炭素繊維補強 (CFRP) 板

No.26

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17



■CFRP材による橋梁上部工の補強例



[資料提供] (株)三菱ケミカルインフラテック

No.27

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17



■FRP材による曲げ・せん断補強



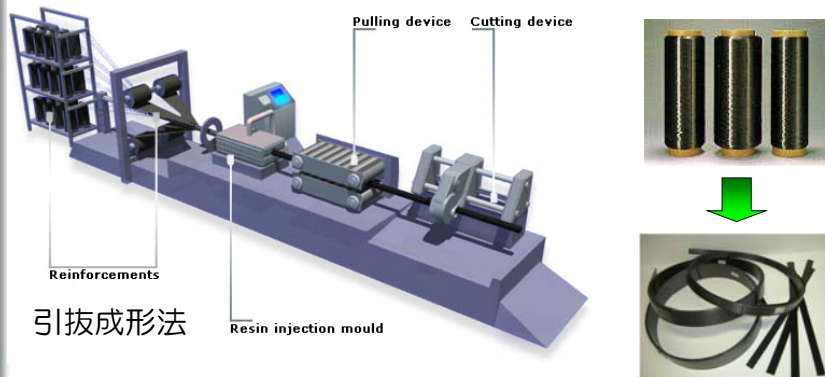
[注]補強材の種類は定かではありません。2017年4月吉武撮影

No.28

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

CFRP : Carbon Fiber Reinforced Plastic
(工場で予めプラスチック化した炭素繊維補強材)
引抜成形法にて製造



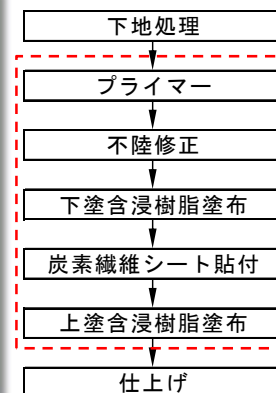
[資料提供] (株)三菱ケミカルインフラテック

No.29

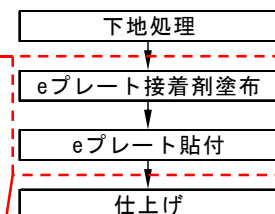
山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

シート工法施工工程



eプレート工法施工工程



現場での樹脂含浸不要
プレート貼付のみ

- 現場での樹脂含浸が不要
→品質の安定化
- 省力化 (工期短縮)
- 高弾性シート (300g/m²目付) ×3層
を1枚のプレートで置換可能→省力化 (工期短縮)
- 経済性に優れる

[資料提供] (株)三菱ケミカルインフラテック

No.30

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

施工手順



1. 下地処理
ディスターバー等を用いて、コンクリート表面の不陸修整及びブレイタンスや汚れの除去を行います。



2. 保護布剥がし
eプレート表面の保護布を剥がします(ビールプライドの場合)。



3. eプレート切断
eプレートを所定の長さ、枚数に切り出します。



4. 接着剤塗布(コンクリート面)
コンクリート面に均一に接着剤を塗布します。



5. 接着剤塗布(eプレート面)
接着剤塗布装置を使用して、eプレート面に均一に接着剤を塗布します。



6. eプレート貼付
eプレートを所定の位置に、圧着ローラー等を用いて貼り付けます。

No.31

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

	CFRPプレート工法	鋼板接着工法
工法概要	本技術は、CFRPプレートによる鋼、コンクリート構造物の曲げ補強工法で、従来は鋼板接着工法で対応していた。本技術の活用により、鋼材腐食の心配がなく、死荷重の増加がほとんどなくなるため、構造物の品質及び耐久性が向上する。	主桁下面に鋼板をアンカーボルトと共に設置し、鋼板周囲をシーリング後にエポキシ樹脂を注入する補強工法
概略図		
品質	削孔等で既存構造物に損傷を与えることなく補強を行うことができる。	鋼板設置のため既存構造物にアンカー削孔を行う必要があり、主桁を損傷する恐れがある。
現場条件	樹脂練り混ぜ、塗布作業に作業スペースとして2.0m×2.5m=5.0m ² 程度を確保する。	樹脂練り混ぜに作業スペースとして2.0m×2.5m=5.0m ² 程度を確保する。
施工性	軽量のeプレートを人力で接着するだけのため、手間がかからず、施工性が向上する。	重量物である鋼板を設置するために重機が必要となる。
経済性	1,258,550円/橋 (65)	1,930,096円/橋 (100)
工程・工期	3日/25m ²	7日/25m ²

[資料提供] (株)三菱ケミカルインフラテック

No.32

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

CFRP補強工法における懸念（１）

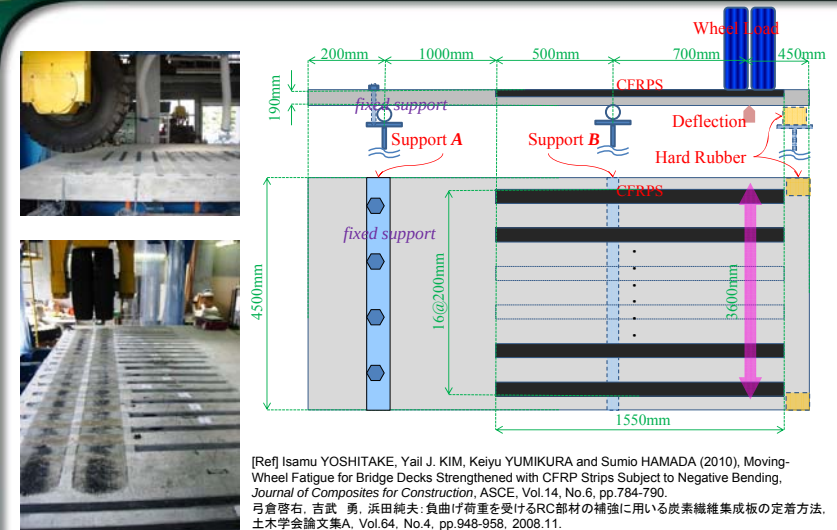
■母材とCFRP材間の接着・定着

No.33

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

■橋梁床版張出し部の負曲げ補強

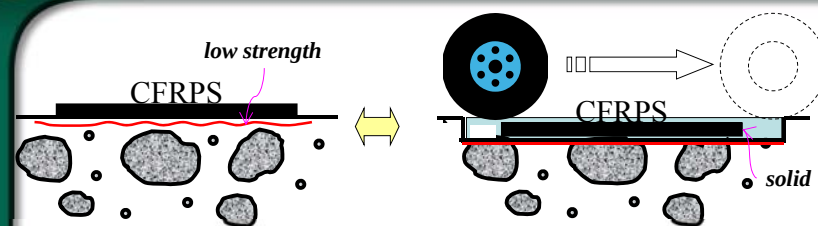


No.34

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

■CFRPプレート貼付補強

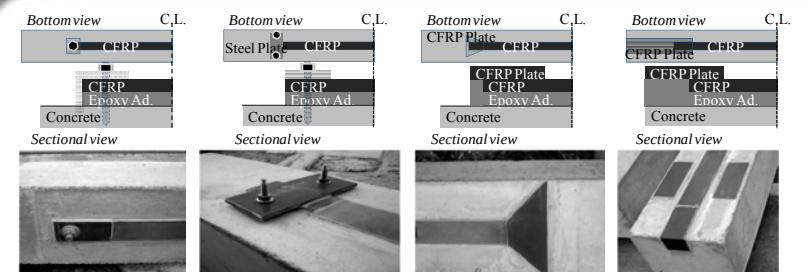


No.35

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

■CFRPプレートの端部定着補強



[Ref] Isamu YOSHITAKE, Yail J. KIM, Keiyu YUMIKURA and Yoichi MIMURA (2011), Composite Strips with Various Anchor Systems for Retrofitting Concrete Beams, *International Journal of Concrete Structures and Materials*, KCI, Vol.5, No.1, pp.43-48.

No.36

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17



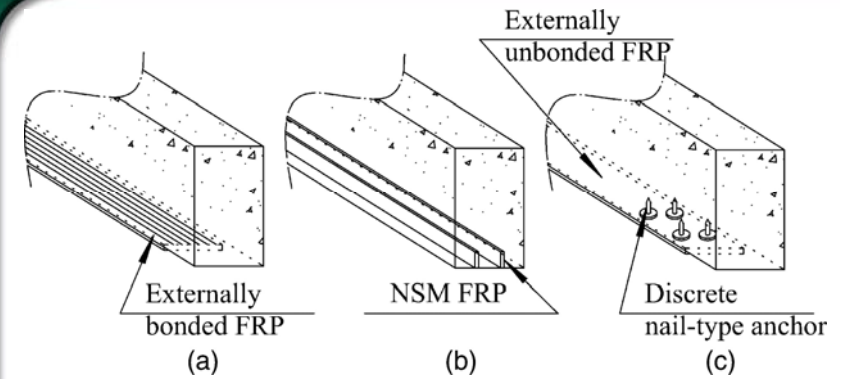
Prof. Kent A. Harries
(Univ. of Pittsburgh)



No.37

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17



(a) externally bonded FRP; (b) near surface mounted (NSM) FRP; (c) discrete nail-type anchor

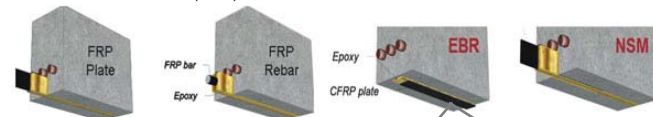
[Ref] Kim, Y.J., and Heffernan, P. (2008), Fatigue Behavior of Externally Strengthened Concrete Beams with Fiber-Reinforced Polymers: State of the Art, *Journal of Composite Construction*, ASCE, pp.246-256.

No.38

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

Near Surface Mounted (NSM) FRPs



[Ref] <http://xd.hpu.edu.vn/>

[Ref] <http://aslanfrp.com/frpstrengthening.html>



Keywords: Bond; Anchorage

[Ref] Isamu YOSHITAKE, Yail J. KIM, Keliyu YUMIKURA and Yoichi MIMURA: Composite Strips with Various Anchor Systems for Retrofitting Concrete Beams, *International Journal of Concrete Structures and Materials*, KCI, Vol.5, No.1, pp.43-48, 2011.6.

No.39

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

CFRP補強工法における懸念 (2)

■母材とCFRPの温度特性の差異

No.40

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

熱膨張係数：炭素繊維 << コンクリートおよび鋼
 $\approx 0.3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ $\approx 10 \sim 12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

高温（火災）

- J.C.P.H. Gamage, R. Al-Mahaidi and M.B. Wong (2006), Bond characteristics of CFRP plated concrete members under **elevated temperatures**, *Composite Structures*, Vol.75, Issues 1-4, pp.199-205.
- T.C. Nguyen, Y. Bai, X.L. Zhao and R. Al-Mahaidi (2011), Mechanical characterization of steel/CFRP double strap joints at **elevated temperatures**, *Composite Structures*, Vol.93, pp.199-205. など

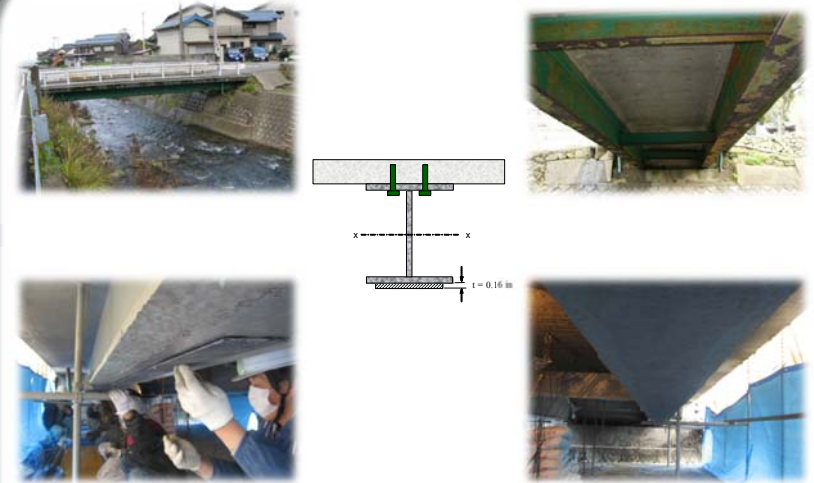
低温

- Isamu YOSHITAKE, Hisatsugu TSUDA, Jumpei ITOSE and Nobuhiro HISABE (2016), Effect of discrepancy in thermal expansion coefficients of CFRP and steel under **cold temperature**, *Construction and Building Materials*, Vol.59, pp.17-24. など

No.41

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

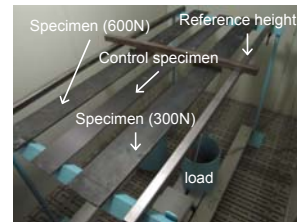
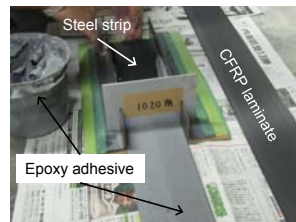
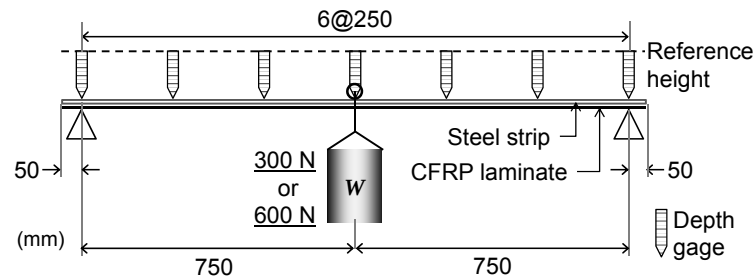
2017/05/17



No.42

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

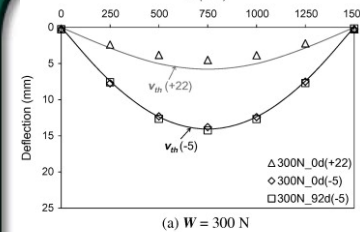
2017/05/17



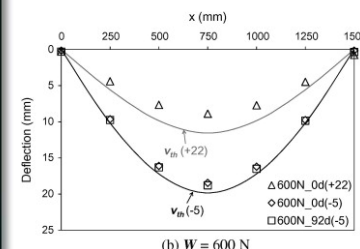
No.43

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17



(a) W = 300 N

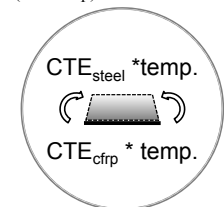


(b) W = 600 N

仮想仕事の原理に基づく理論式

$$v_{th} = \int \frac{M\bar{M}}{EI} dx + \int \frac{T(k_l - k_u) \cdot \bar{M}}{h} dx$$

where, v_{th} = theoretical deflection, EI = flexural rigidity of the composite strip, M = (virtual) bending moment, T = temperature variation, h = thickness of the strip. In addition, k_l is CTE of a bottom layer (CFRP laminate), and k_u is CTE of a top layer (steel strip).



[Ref] Isamu YOSHITAKE, Hisatsugu TSUDA, Jumpei ITOSE and Nobuhiro HISABE (2016), Effect of discrepancy in thermal expansion coefficients of CFRP and steel under cold temperature, *Construction and Building Materials*, Vol.59, pp.17-24.

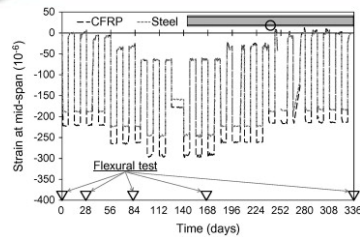
No.44

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

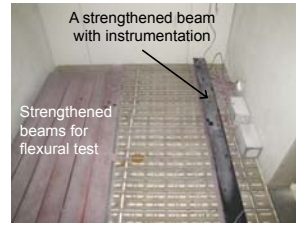
2017/05/17

YAMAGUCHI UNIVERSITY

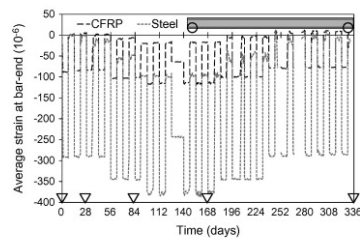
■温度変化（低温～常温）の影響



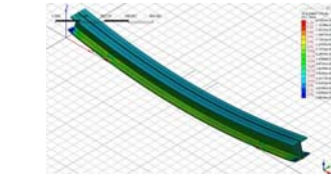
(a) mid-span



冷凍庫内で温度変化を受けるCFRP補強はり



(b) beam-end



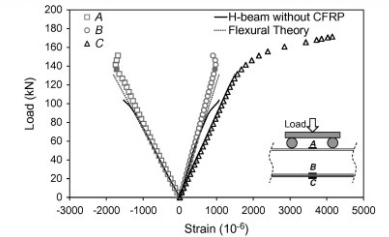
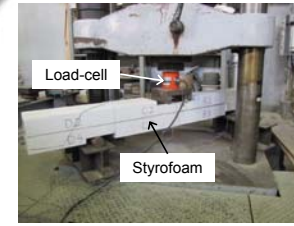
山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

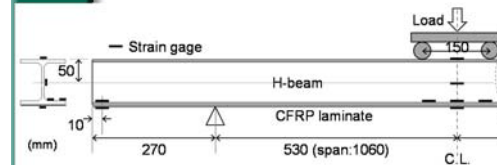
No.45

YAMAGUCHI UNIVERSITY

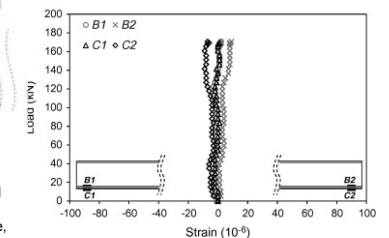
■CFRP補強はりの曲げ試験



(a) mid-span



[Ref] Isamu YOSHITAKE, Hisatsugu TSUDA, Jumpei ITOSE and Nobuhiro HISABE (2016), Effect of discrepancy in thermal expansion coefficients of CFRP and steel under cold temperature, *Construction and Building Materials*, Vol.59, pp.17-24.



(b) beam-end

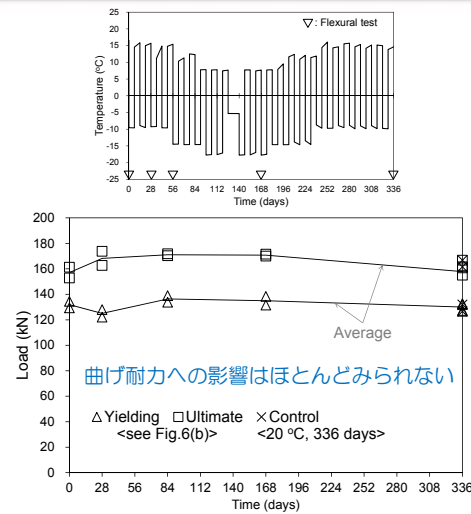
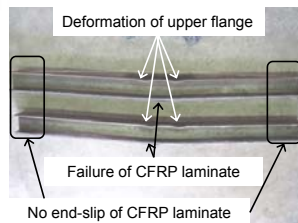
No.46

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

YAMAGUCHI UNIVERSITY

■終局曲げ強度・破壊モード



山口県健康づくりセンター 多目的ホール

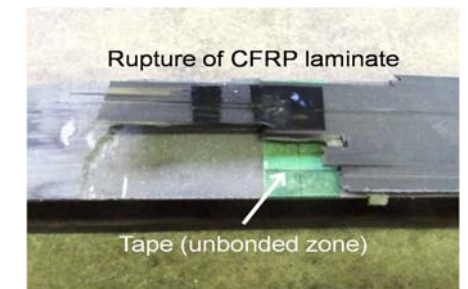
2017/05/17

No.47

YAMAGUCHI UNIVERSITY

■ついでに・・・

もし接着欠陥があったら・・・



10mm・30mm・50mmの各7箇所接着不良箇所
推奨するものではないが、曲げ挙動への影響は微小

[Ref] Isamu YOSHITAKE, Hisatsugu TSUDA, Yail J. KIM and Nobuhiro HISABE (2015), Effect of Thermal Distress on Residual Behavior of CFRP-Strengthened Steel Beams Including Periodic Unbonded Zones, *Polymers*, MDPI, Vol.7, No.11, pp.2332-2343.

No.48

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17



Carbon Fiber Reinforced Polymer Rod

■炭素繊維補強 (CFRP) ロッド



No.49

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

■コスト比較

エポキシ塗装鉄筋D10のコストを100(基準)とした場合

材料	サイズ	長さベース※	引張強度ベース※
エポキシ塗装鉄筋	D10	100	100
	D13	49	49
(無塗装) 鉄筋	D10	43	43
	D13	23	23
高弾性CFRPロッド	Φ8	909	141
	Φ10	1309	203
	Φ12	1818	282

CFRPロッドの比重は1.5~1.7程度で鋼の20% (1/5) 程度。
重さベースのコスト (例:1トンあたり) では長さベースのコスト比の5倍程度におよぶ。

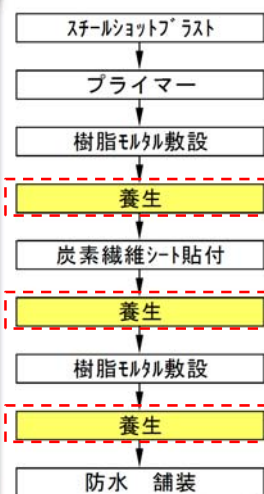
No.50

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

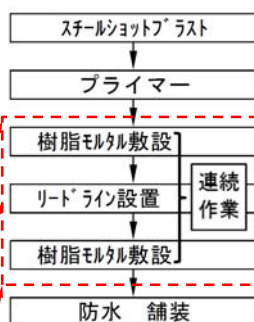
2017/05/17

■CFRPロッド補強工法の特徴

シート工法施工工程



リットライン工法施工工程



工程毎の養生が不要

工程短縮可能
施工費縮小可能

[資料提供] (株) 三菱ケミカルインフラテック。

- ・現場での樹脂含浸が不要
- ・各工程毎の養生不要
→省力化 (工期短縮)
→経済性に優れる

No.51

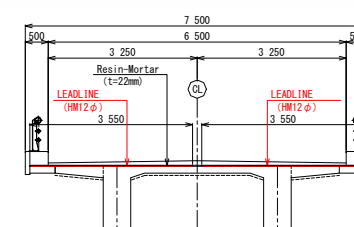
山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

■CFRPロッド補強の施工事例



CFRPロッド敷設



< 補強断面 >



保護モルタル敷設



完了

[資料提供] (株) 三菱ケミカルインフラテック。

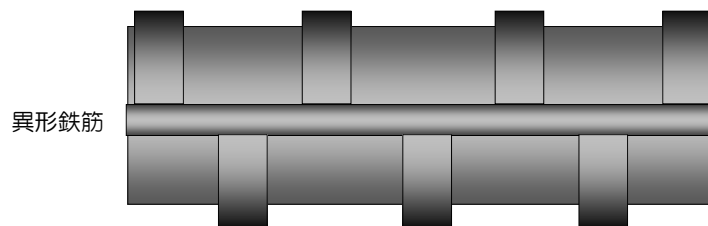
No.52

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17



- ・異形鉄筋のような“ふし”加工ができない
- ・定着端部の曲げ加工ができない

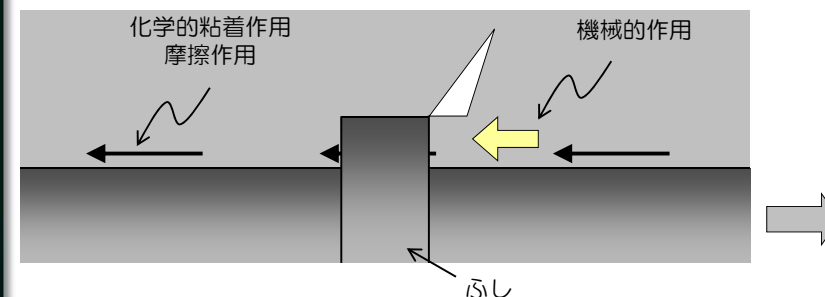


No.53

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

- (1) コンクリート中の（セメント）ペーストと鉄筋表面との間の化学的な付着作用
- (2) コンクリートと鉄筋表面の摩擦作用
- (3) 異形鉄筋表面のふしによる機械的作用

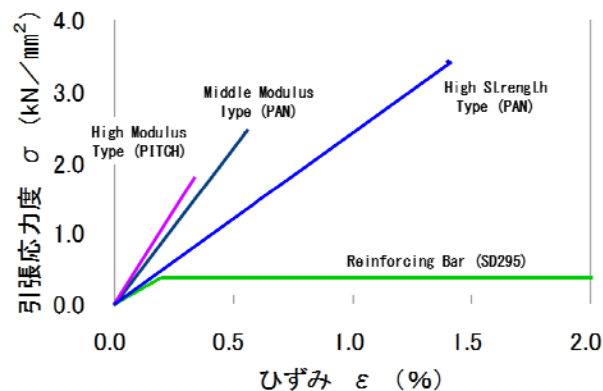


No.54

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

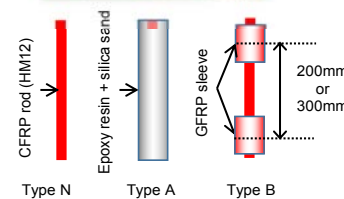
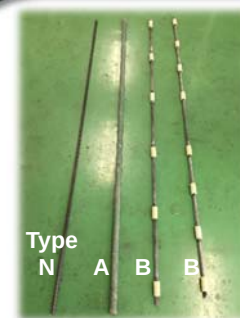
CFRPロッドの力学性能を発揮するためには、母材コンクリートとの付着・定着が肝要



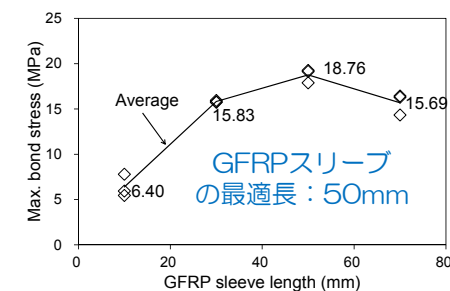
No.55

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17



コンクリートに埋設したCFRPロッドの引抜き試験



No.56

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

YAMAGUCHI UNIVERSITY ▶▶

■付着改善CFRPロッドの埋設施工

コンクリート打設

コンクリート表層の切削
(ウォータージェット)

CFRPロッドの設置

モルタル打設

曲げ試験

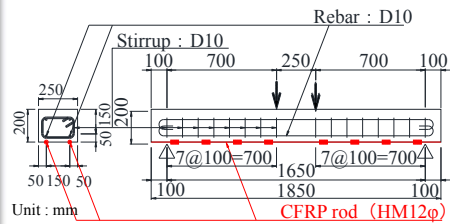


No.57 山口県健康づくりセンター 多目的ホール 2017/05/17

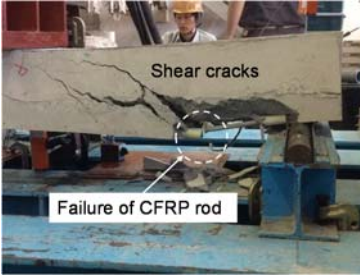
YAMAGUCHI UNIVERSITY ▶▶

■曲げ補強効果

	Pcr (kN)	Pmax (kN)	破壊モード
無補強	8.7	38.0	曲げ
HM12	14.2	68.6	曲げ・せん断
HM12-EC	14.3	101.4	せん断
HM12-GS-300	14.8	87.0	せん断
HM12-GS-200	13.5	105.6	せん断



Unit : mm



Shear cracks

Failure of CFRP rod

[Ref] Hiroaki HASEGAWA, Nobuhiro HISABE, Yusuke KURODA and Isamu YOSHITAKE (2016), Flexural Behavior of a Cantilevered RC Slab Strengthened with NSM CFRP Rods, ACMBBS-VII, Vancouver, BC (CANADA). .

No.58 山口県健康づくりセンター 多目的ホール 2017/05/17

YAMAGUCHI UNIVERSITY ▶▶

CFRP補強工法における懸念 (3)

■CFRP材中の炭素繊維の挙動

No.59 山口県健康づくりセンター 多目的ホール 2017/05/17

YAMAGUCHI UNIVERSITY ▶▶

■FRP材に関する国際会議




International Conference on Advanced Composite Materials in Bridges and Structures (ACMBBS)

「我々は太径のFRPロッドを少数本埋設するよりも、細径のFRPロッドを適切数だけ埋設補強する方法を考えなければならない」
by Prof. Rizkalla

No.60 山口県健康づくりセンター 多目的ホール 2017/05/17

YAMAGUCHI UNIVERSITY ▶▶

■CFRPロッド中の炭素繊維

Concrete

引張力

ひきみけ

CFRP＝複合材料
炭素繊維を樹脂でまとめた集合体

No.61

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

YAMAGUCHI UNIVERSITY ▶▶

■おわりに

- 世界中でFRP補強材の材料・工法の研究開発が進められている。
- FRP補強材は、繊維と樹脂マトリックスから形成された複合材料であることを再認識する。
- 環境条件等を踏まえ、FRP補強材の特性（長所・短所）を考慮・検討する。
- FRP補強材だけでなく、それを接着・定着する材料・工法にも留意しなければならない。
- FRP補強材を適切に使って永く活用できる社会基盤構造物を実現していきましょう。

No.62

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17

YAMAGUCHI UNIVERSITY ▶▶

■御礼

御静聴有り難うございました。

Thank you for attention

No.63

山口県健康づくりセンター 多目的ホール

2017/05/17