

# 熱可塑性樹脂とCFシートを用いた コンクリート新規補修工法

秋田大学 大学院理工学研究科 システムデザイン工学専攻

教授 徳重英信

## 1. 従来型「熱硬化性樹脂」を用いたCFRP接着工法

- 1995年の阪神淡路大震災以降，橋梁やトンネル等の耐震補強や剥落防止等に広く採用されてきている。
- 鋼板接着やコンクリート巻立・増厚工法に比較して，補強材料（CFシート）が軽い  
→ 施工省力化
- 熱硬化性エポキシ樹脂等を塗布・接着するため，低温・多湿環境の施工は困難（積雪寒冷地では冬期不可） → アクリル系樹脂等での対応
- エポキシ樹脂塗布時の溶剤等による労働環境の課題

熱硬化性樹脂 → 熱可塑性樹脂

## 2. 熱可塑性樹脂をCF素材に適用する際の課題

- 従来技術：熱可塑性エポキシ樹脂をCFRP成形に用いた例はある
- 「CFシートとコンクリートの接着」に従来型熱可塑性樹脂を用いることは難しい。

## 1. 熱可塑性樹脂の改良・開発（秋田大学：寺境光俊，山下剛司【高分子化学】）

- 熱可塑性樹脂の粘性・接着性能の改良  
※既存技術（ほか特許）に抵触しないよう考慮
- 効率的な施工法を達成するための熱可塑性樹脂の形状の選定  
（板型？，粒子状？ 布状？など・・・）



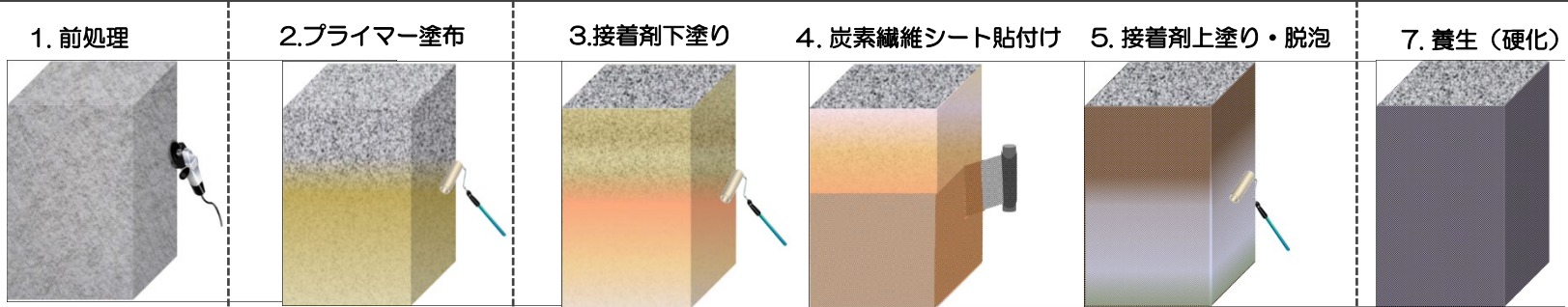
## 3. CFシートとコンクリートの付着性能照査（秋田大学：徳重英信）

- 室内試験での検証
- 実構造物での試験施工

## 2. 適切な施工方法の開発（秋田大学：村岡幹夫【機械工学】）

- 熱可塑性樹脂+CFシート・・・コンクリートへの融着方法の開発  
IH（電磁誘導加熱），バギング，近赤外線など加熱・接着工法の効率化

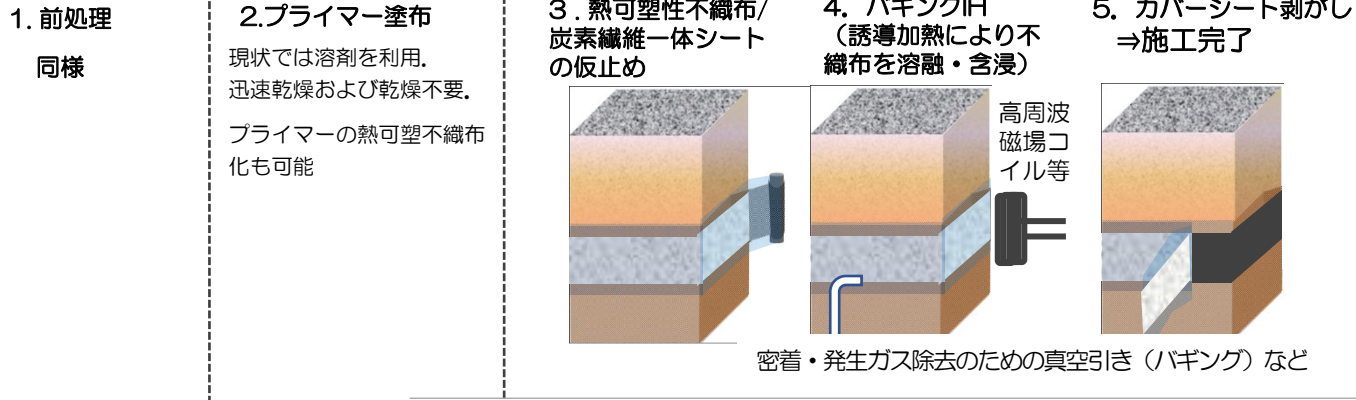
既存工法



- 通常の接着剤（熱硬化性）は湿度85%以上の湿潤環境では硬化困難。
- 冬季用接着剤でも5℃以下では硬化不良の懸念。プライマーも接着剤（同様の制限）
- 接着剤は高粘性で強い匂い（施工環境への懸念）

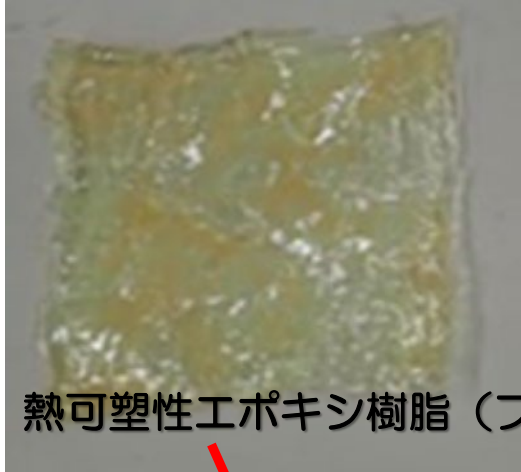
20℃最低9時間の硬化時間が必要。その間、埃等の付着を防ぐためカバーが必要。

本研究開発の技術例



- 5℃以下・湿度85%以上の湿潤環境でも可（熱可塑性樹脂の融着）
- 真空パックによるコンクリート表面への密着性確保と発生ガスの排気（施工環境がよい）。

養生不要  
すぐに保護塗装ができる。



熱可塑性エポキシ樹脂（プレート）



既往の研究（例えば・・・）

Md. Golam MOSTOFA et al. : Flexural Strengthening Effect of RC Beam by Hybrid Bonding Method using Thermoplastic CFRP, 第8回FRP複合構造・橋梁に関するシンポジウム講演概要集, pp.77-86(2020)

など・・・

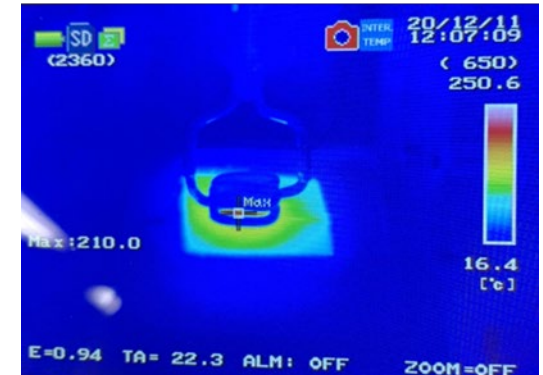
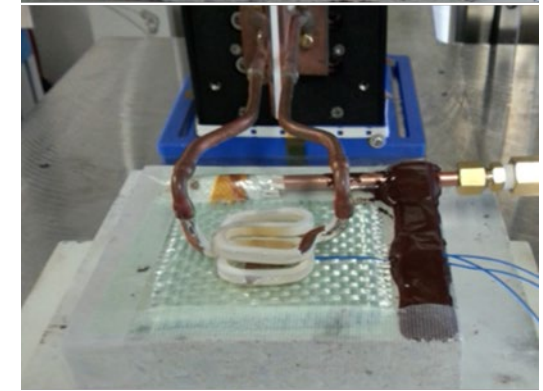
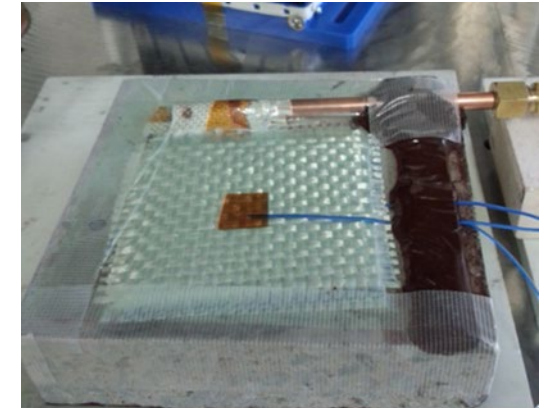
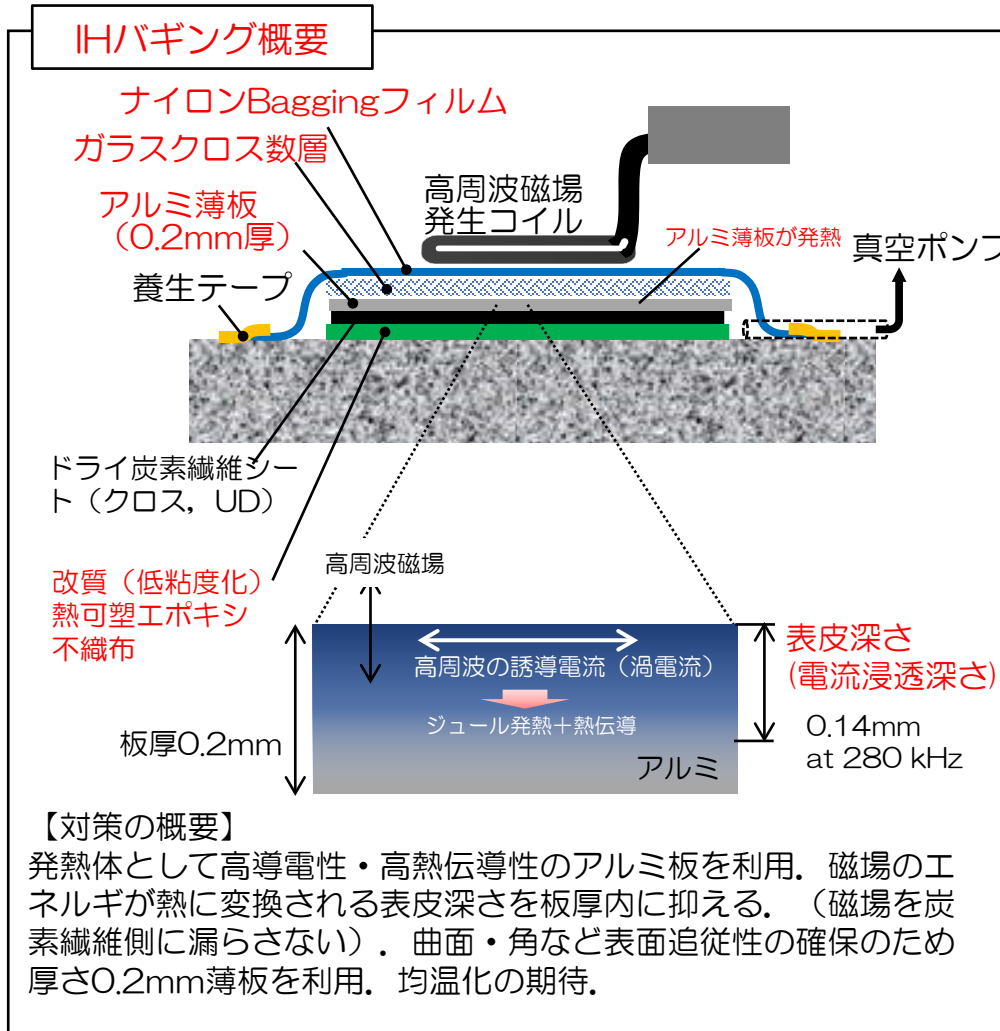
熱可塑性エポキシ樹脂でCFをCFRPとする研究開発がある。



本研究では・・・熱可塑性エポキシ樹脂をCFシートとコンクリートの接着に用いることを想定



※粘性制御, ※温度制御, ※力学的特性  
※付着性能・・・補強・補修効果



**【実験の構成】**

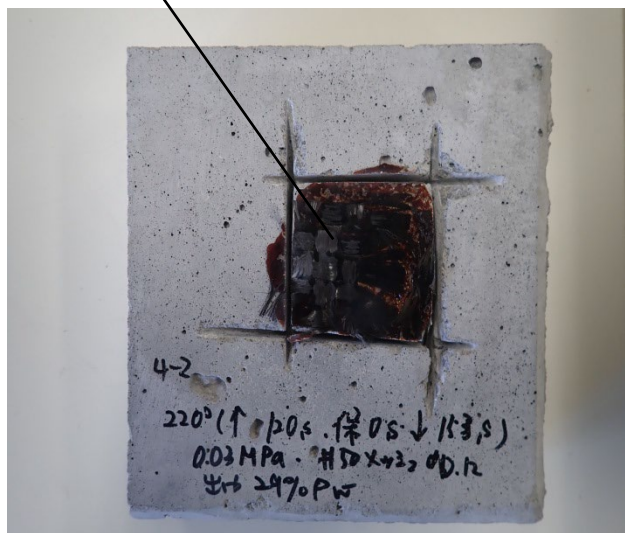
・モルタル150mm角・厚40mm、・熱可塑性樹脂不織布（PPで代用）、ドライ炭素繊維クロス60mm角

**【実験結果の概要】**

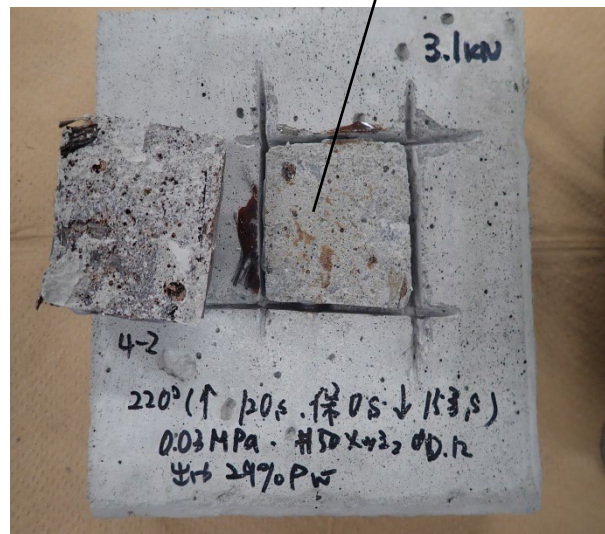
280kHz・10kWの誘導加熱装置を75%出力で利用。約3分でモルタル表面温度（熱電対計測）が250°Cに到達。厚み薄板全域での均温化を確認。ナイロン表面温度は170°C。

※粘性制御, ※温度制御, ※力学的特性  
※付着性能・・・補強・補修効果

改質熱可塑エポキシでIH融着  
(220°C) された炭素繊維クロス



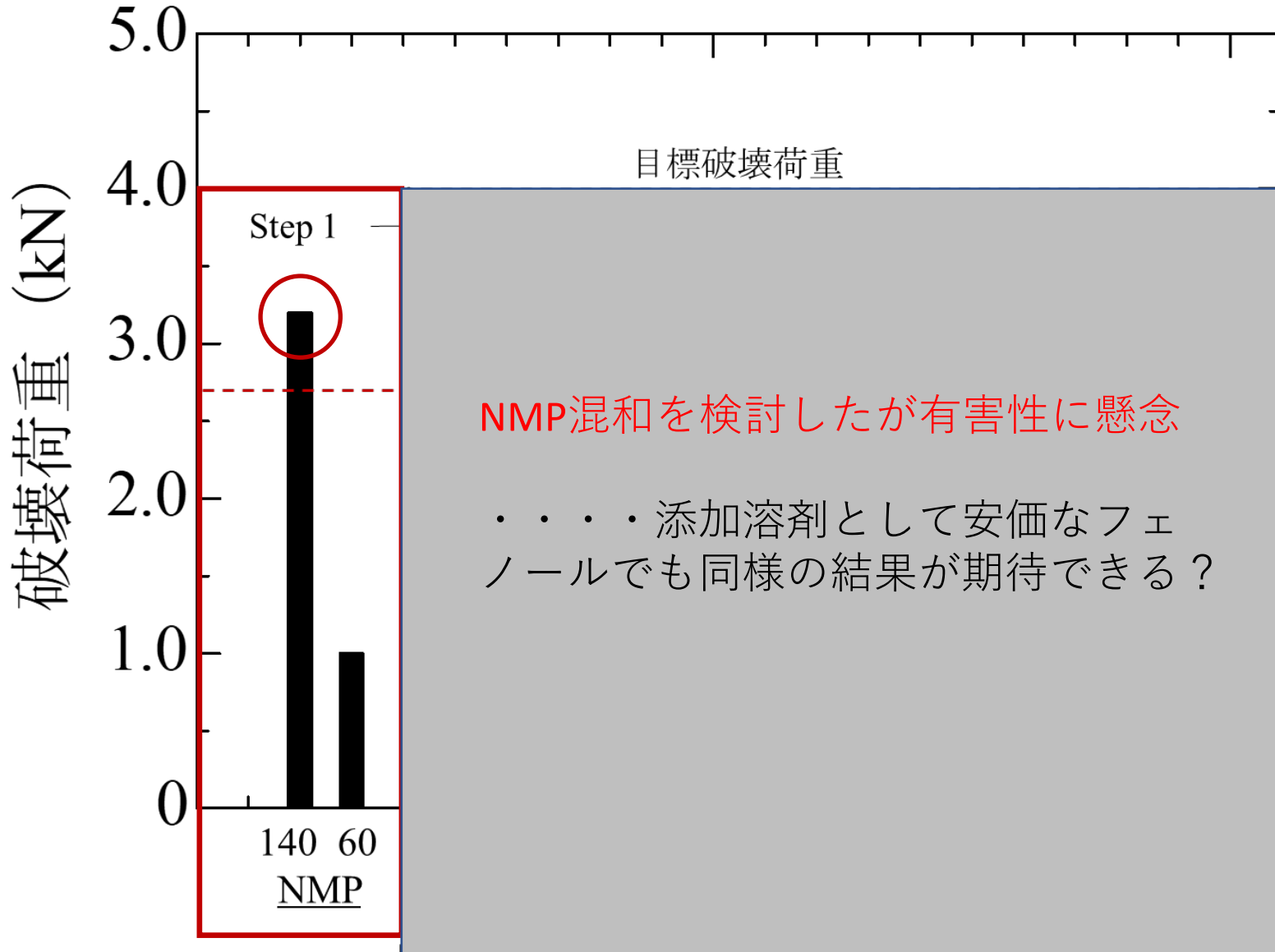
コンクリート母材の破壊面



十分な付着（接着）強度を示す母材破壊モードを確認

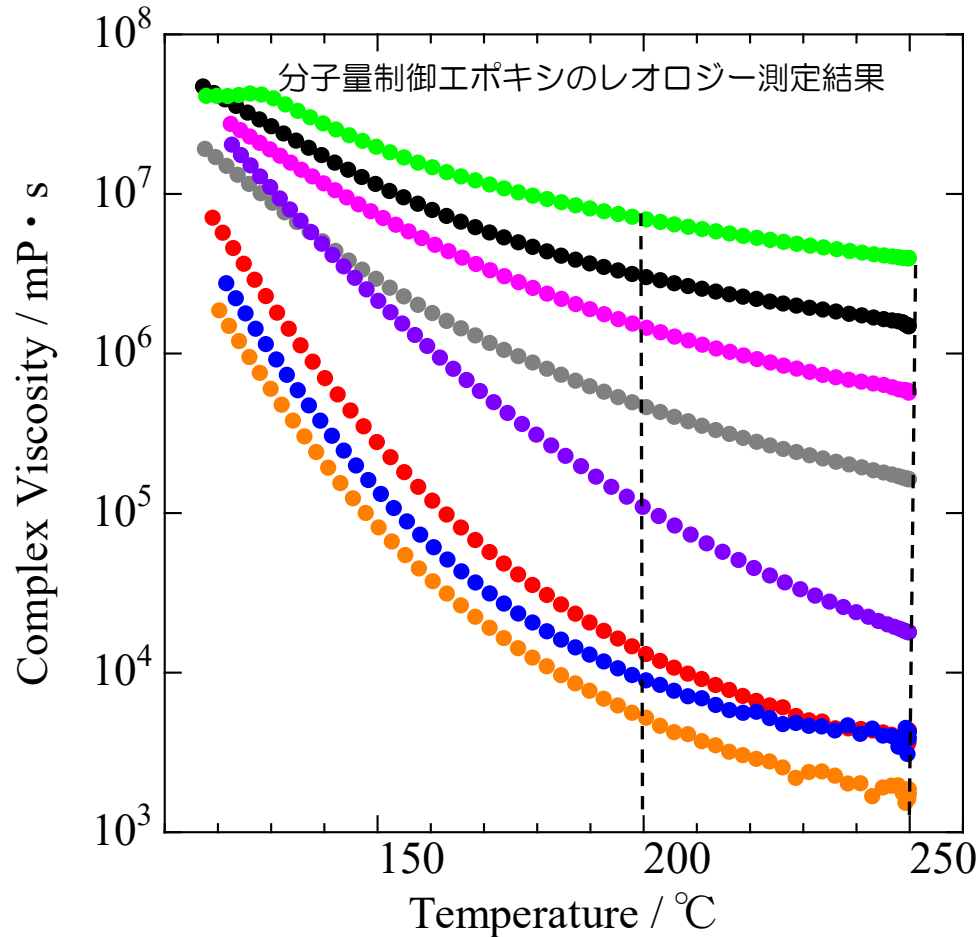
※建研式付着試験器による  
※1:3モルタル (W/C=0.50)

溶融粘度調整 (分子量制御) → 添加溶剤にNMP (N-メチル-2-ピロリドン) 使用



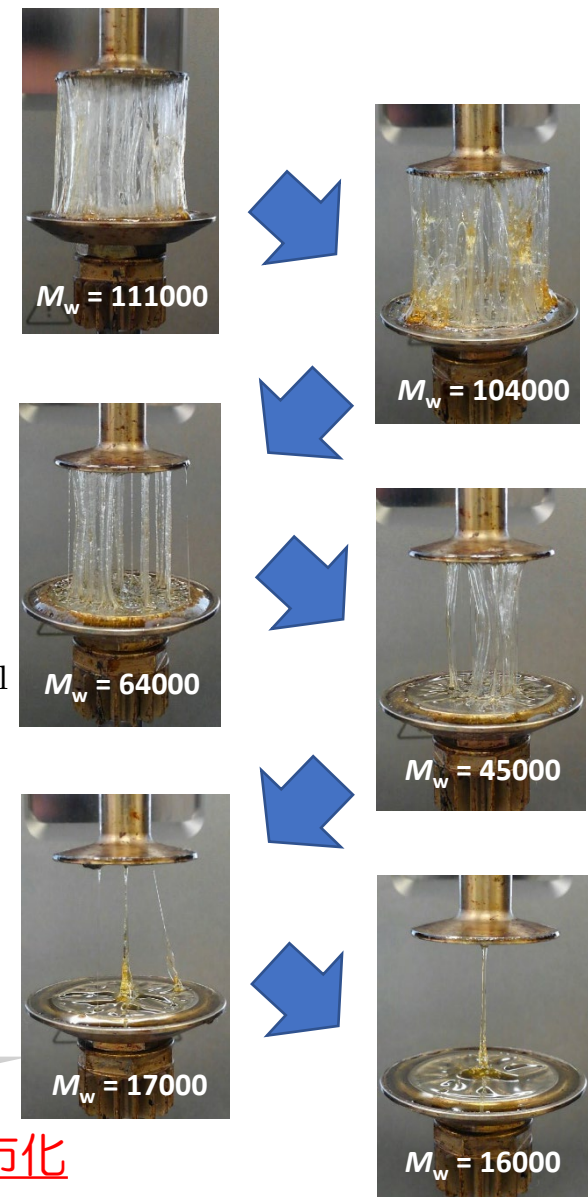


分子量制御により粘性の低下を確認



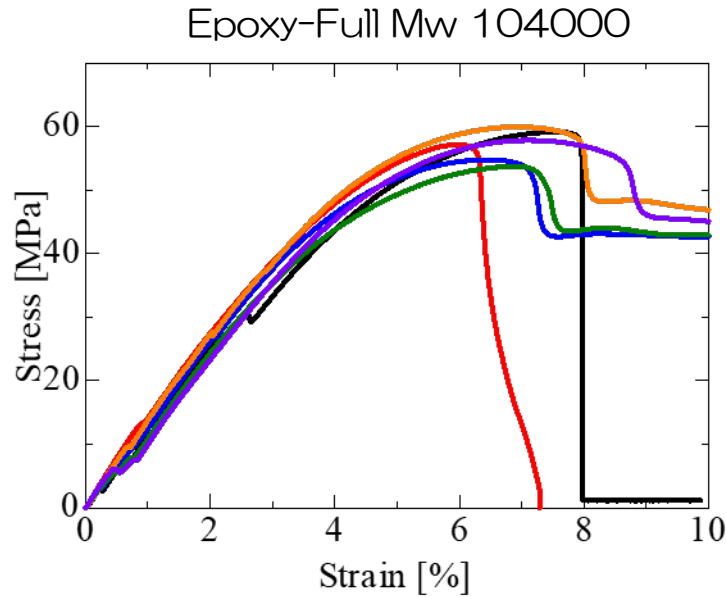
樹脂の分子量  
 $M_w = 20,000, M_w/M_n = 2.30$  (分子量制御樹脂)  
 $M_w = 111,000, M_w/M_n = 3.43$  (分子量無制御樹脂)

- Epoxy\_Full  $M_w = 135000$
- Epoxy\_Full  $M_w = 111000$
- Epoxy\_Full  $M_w = 104000$
- Epoxy\_Full  $M_w = 64000$
- Epoxy 1/2Phenol  $M_w = 45000$
- Epoxy bisA20  $M_w = 17900$
- Epoxy bisA26  $M_w = 17000$
- Epoxy 1/8Phenol  $M_w = 16000$

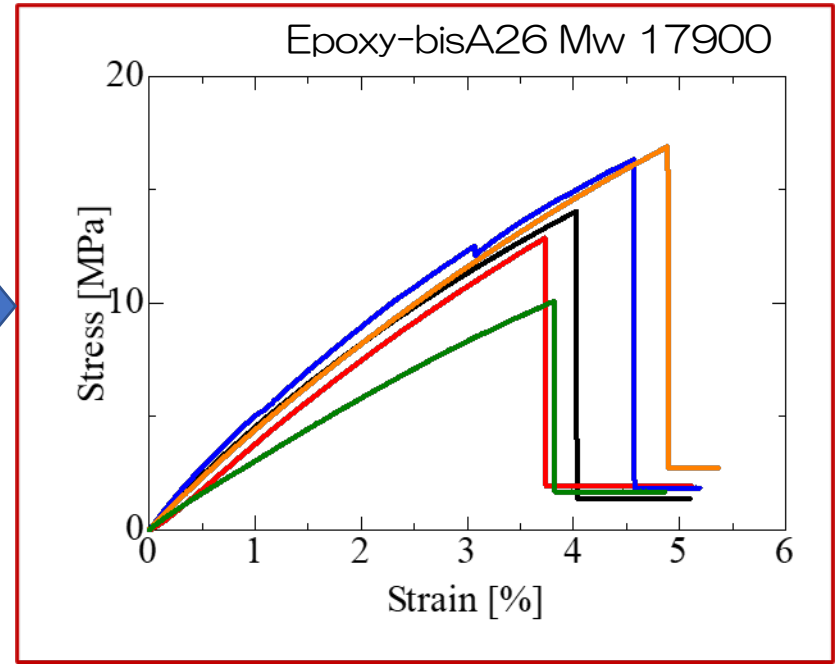


プレート化, 不織布化

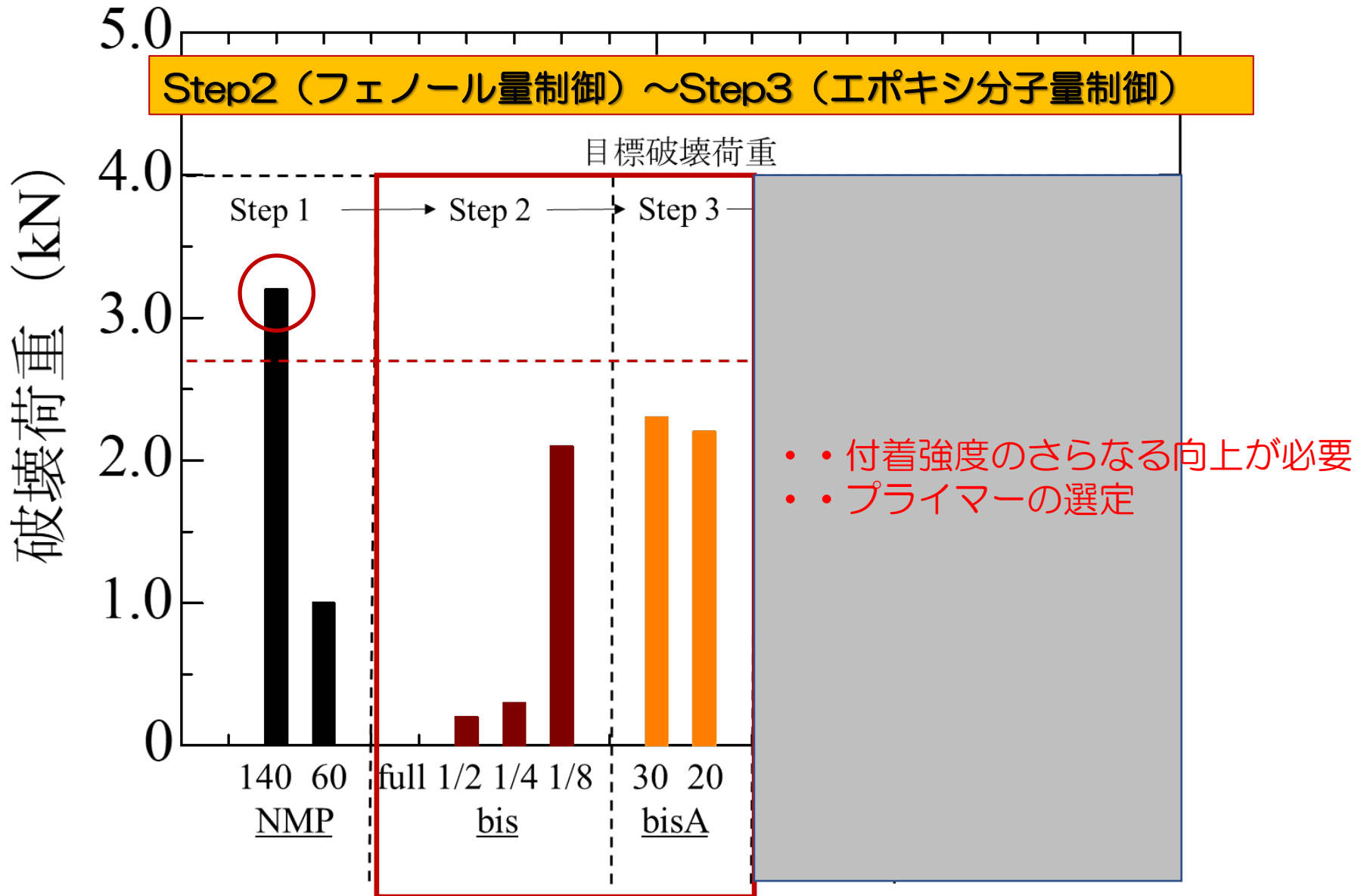
## 樹脂引張試験

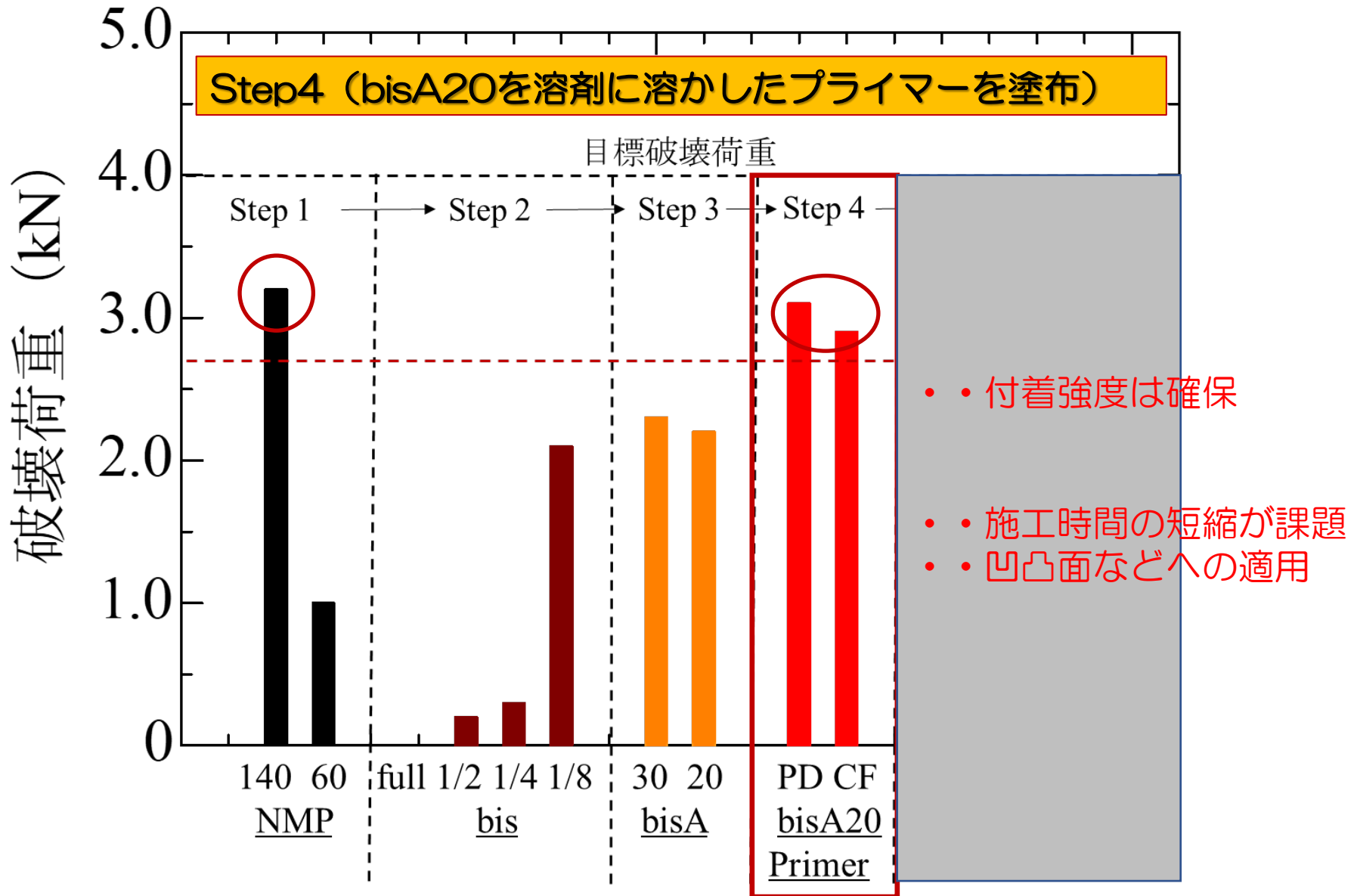


名前 番号	引張強度 Mpa	破断伸び %	引張弾性率 Mpa	破断エネルギー J
1-1	59.15	7.961	1832	0.1752
1-2	57.18	-	1861	0.1386
1-3	54.79	106.5	1777	2.673
1-4	59.93	50.588	1869	1.334
1-5	53.73	10.94	1831	0.2333
1-6	57.85	97.79	1832	2.593
Ave.	57.11	54.75	1834	1.191



名前 番号	引張強度 Mpa	破断伸び %	引張弾性率 Mpa	破断エネルギー J
1-1	14.04	4.025	681.1	0.03216
1-2	12.87	3.73	531.9	0.02659
1-4	16.33	4.565	717.9	0.04085
1-5	16.89	4.884	659.1	0.04822
1-6	10.09	3.817	458.8	0.02604
Ave.	14.04	4.204	609.8	0.03477

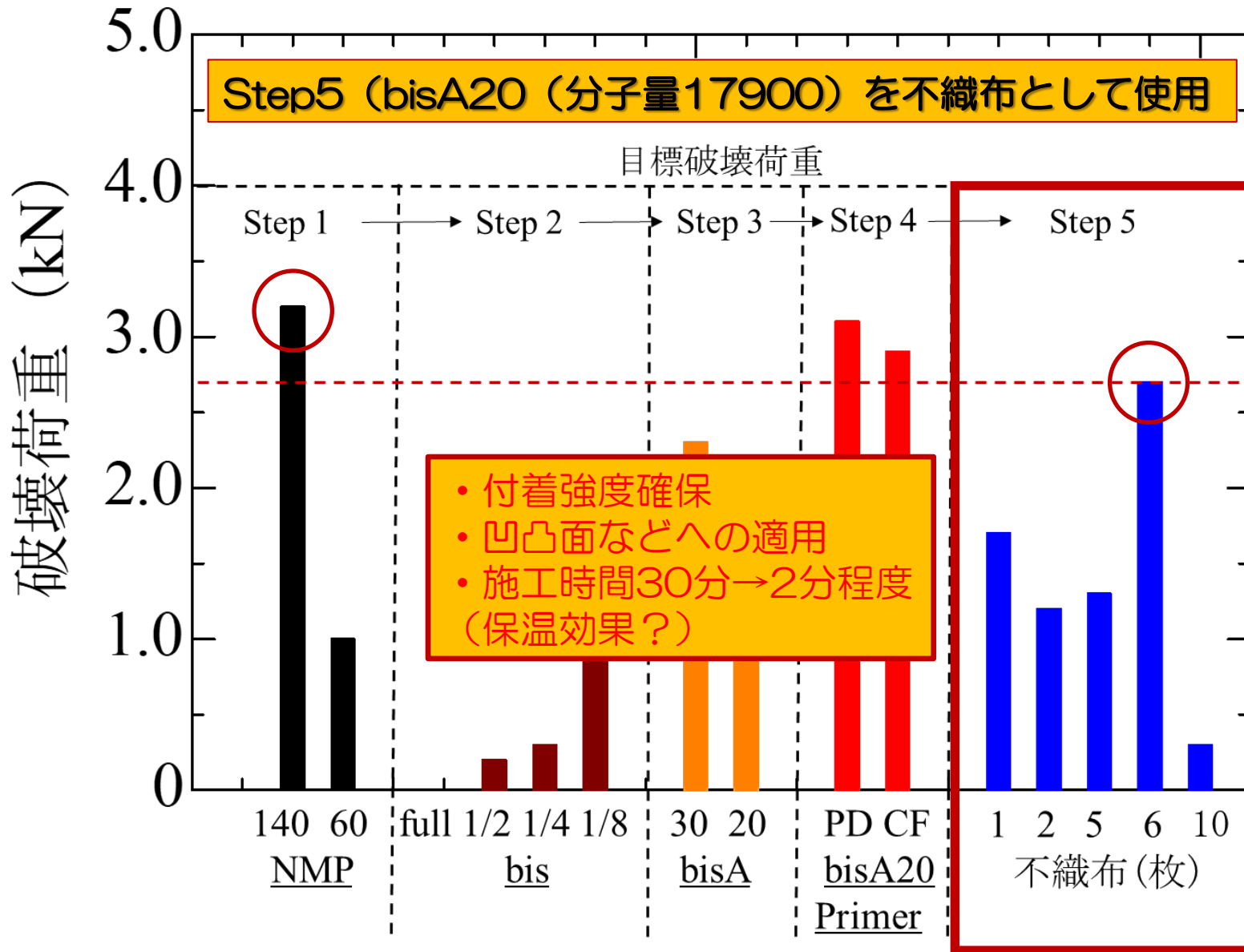


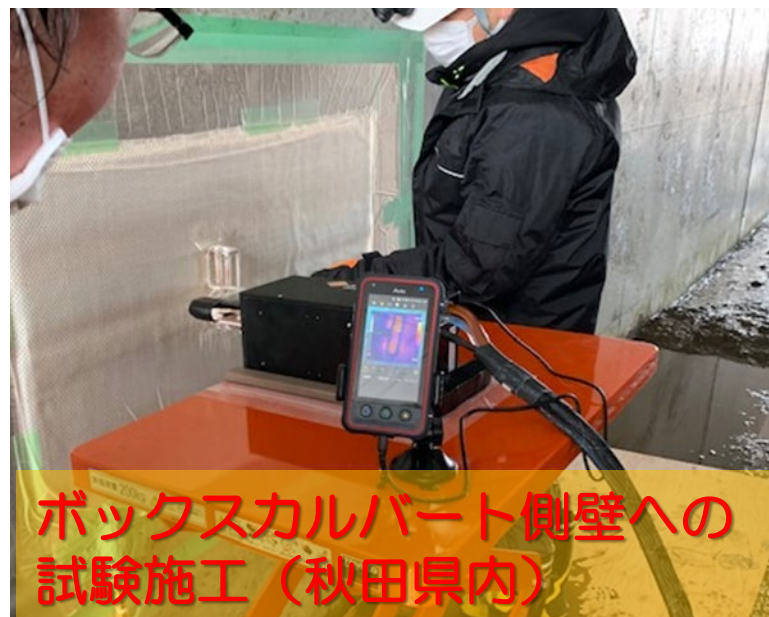




不織布化





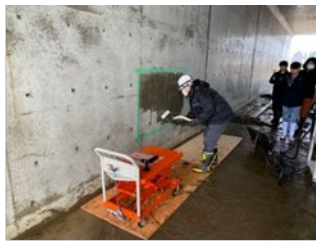


ナイロンフィルム表面温度 $240^{\circ}\text{C}$ の時のコンクリート表面温度（条件350A：出力60%）

- ①側溝蓋による予備実験：室温 $20^{\circ}\text{C}$ ，コンクリート表面 $250^{\circ}\text{C}$ （昇温時間2分）
- ②ボックスカルバート壁への試験施工No.1：気温 $2^{\circ}\text{C}$ ，湿度67%，コンクリート表面 $180^{\circ}\text{C}$ （昇温時間3分）
- ③ボックスカルバート壁への試験施工No.2：気温 $7.5^{\circ}\text{C}$ ，湿度92%，コンクリート表面（不織布の未溶融，昇温時間3分）  
→浸透水の潜熱が原因か？



1. 高圧洗浄・平坦化



2. プライマー塗布



3. 新開発シート仮止め



4. バギングIH



5. 冷却後完成

ここまでの研究開発では、**熱可塑性エポキシ樹脂の改良**と、**IHバギング法**との**組み合わせ**による**接着工法**の開発を用い、**コンクリートとCFシートの接着性能**に関する基礎的な検討を行った。本研究の範囲では以下のことが明らかとなった。

(1) **熱可塑性エポキシ樹脂**の可塑化のための**加熱温度と粘性低下**の関係を、**ビスフェノール**を用いることにより明らかにし、**付着強度の確保**も可能であることがわかった。

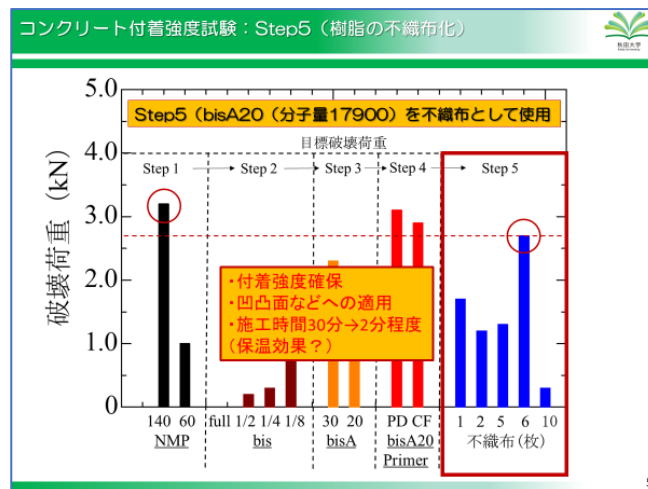
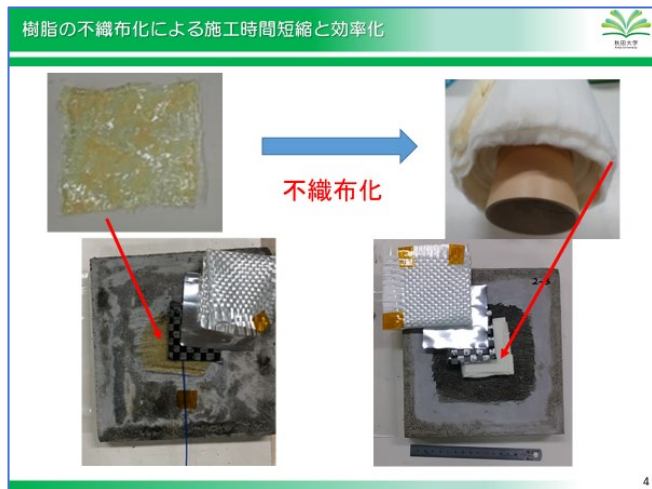
(2) 樹脂可塑化のための加熱工法として、さらに負圧を作用させる**IHバギング工法**はエポキシ樹脂の**熱可塑化に有効**であることがわかった。

(3) 樹脂の**不織布化**は、**施工時間の短縮**などによる**施工の効率化**に結びつき、またコンクリートとの**付着強度確保の安定化**にも結びつく

・・・今後、樹脂の改良や施工法の改良を進める



## 【室内試験】熱可塑性樹脂の基本的調整，樹脂不織布化，IH加熱，バギング



## 【現場試験施工】秋田県中央地域（秋田市，男鹿市）

発明の名称：「構造物の補強または補修方法」

特開2022-69432，特願2021-173400，  
優先日：2020.10.23（特願2020-080574）

出願人：国立大学法人 秋田大学



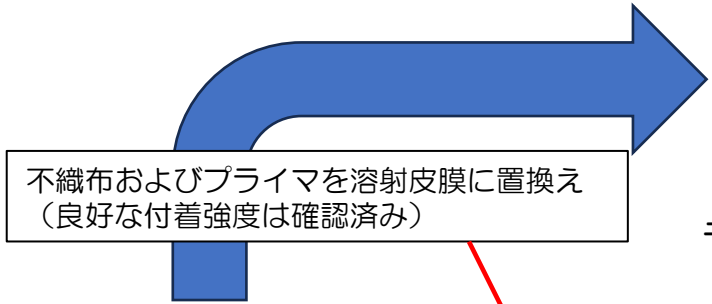
改良技術に知財性があると判断されたので、先の出願の請求項に追記する (2021.10)

■改良技術

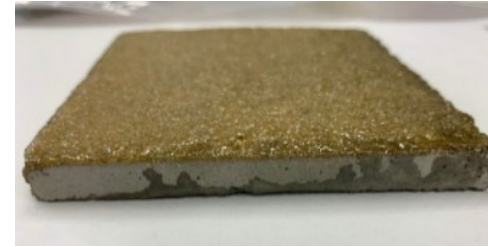
※プライマー及び融着剤（熱可塑性エポキシ樹脂）の供給を溶射にて代用（プライマ塗布作業の省略による迅速化・付着強度の向上）



熱可塑性樹脂の粉末化



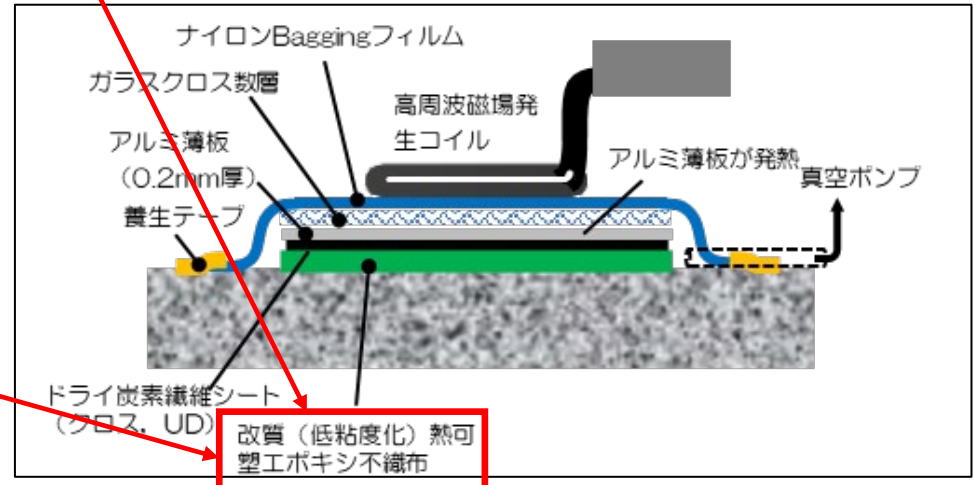
不織布およびプライマを溶射皮膜に置換え  
(良好な付着強度は確認済み)



モルタル基盤への樹脂溶射による皮膜形成の例



プラスチック溶射  
(パウダーフレーム溶射)



発明の名称：構造物の補強または補修方法

出願番号：特願2021-173400

公開番号：特開2022-069432

出願人：国立大学法人秋田大学

発明者：徳重英信，村岡幹夫，寺境光俊，山下剛司

#### 本技術に関する既発表論文等

1) 徳重英信，村岡幹夫，寺境光俊，高橋良輔，山下剛司，野口洋介：改良型熱可塑樹脂とIHを用いた炭素繊維シートとコンクリートの接着特性，令和3年度土木学会年次学術講演会講演概要集，V-385，2021年

2) 山下剛司，寺境光俊，徳重英信，村岡幹夫：分子量を制御した熱可塑性エポキシ樹脂の熱融着による炭素繊維シートとセメントモルタルの接着，材料，Vol.72，No.4，pp.347-351，2023年

- 炭素繊維シート接着工法を用いたコンクリート補修・補強工法
  - ・・・省力化，積雪寒冷地冬期施工・・・市町村管理小規模橋梁など
  
- 炭素繊維シートを用いた木造建築構造部材の補修・補強
  - ・・・伝統建築等木造部材の耐震補強や接合など
  
- 熱可塑性樹脂溶射による鋼製構造物のボルト融着補修など

■コンクリート基盤の昇温効率化  
←他加熱工法の選定を実施中

■加熱時の水蒸気圧に伴う接着不良の改善  
←樹脂重合法過程の照査と、それに応じた併用技術の開発を実施中

■実施工レベルでの効率的施工を行うための機器スケールアップ

・・・など

2017年～ 秋田複合材新成形法技術研究組合（ANC）との意見交換開始

2018年～ ANCからの受託研究として開始  
(<http://anc-a.or.jp/index.html>)

この間、試験施工には、秋田県庁建設部道路課の協力  
秋田県建設業協会の協力

2021年～ 秋田インフラ補修熱可塑新工法研究会での意見交換  
参加者：秋田大学，秋田県産業労働部，試験施工協力企業  
コンクリート製品メーカーおよび補修補強工事等関連企業等

秋田大学 産学連携推進機構  
特任准教授 藤原 将司

TEL : 018-889-2712

FAX : 018-837-5356

e-mail : [staff@crc.akita-u.ac.jp](mailto:staff@crc.akita-u.ac.jp)

ご清聴ありがとうございました。