

U.D.C. 624.01245

連続繊維シート巻立て補強後のせん断耐力に 水硬性樹脂の特性が及ぼす影響

鈴木 将充* 小島 文寛* 北沢 宏和* 伊藤 正憲*

要約： 著者らは、医療用ギプスをアイデアの起源として、地震等で損傷を受けた RC 部材に対し、水硬性樹脂が含浸された連続繊維シート (Fiber Sheets containing Hydraulic resin) を巻き立てた後、給水するだけで補修効果が得られる新しい迅速復旧工法 (TST-FISH 工法) の開発を行ってきた。本稿では、連続繊維シート巻立て工法の含浸接着樹脂として水硬性ポリウレタン樹脂が適用可能か検討した結果および、水硬性ポリウレタン樹脂の特性が連続繊維シートにより補強された RC 梁のせん断耐力に及ぼす影響について実験的に検討した結果について報告する。各種の検討により、水硬性ポリウレタン樹脂を用いた場合でもエポキシ樹脂を用いた従来工法と同様のせん断補強効果が得られること、土木学会が提示している算定式で連続繊維シートが受け持つせん断耐力が評価可能であることが明らかとなった。また、連続繊維シート巻立て工法によりせん断補強する場合、含浸接着樹脂の各種性能の中で継手強度が最もせん断補強効果に影響しており、継手強度の保有すべき物性値の目安として引張強度に近い強度を発現しているか、もしくは破壊形態がシート破断であるかを確認することが、含浸接着樹脂選定の判断材料になり得ることを実験的に明らかにした。

キーワード： 水硬性樹脂、連続繊維シート、せん断耐力、継手強度

目次： 1. はじめに
2. 水硬性ポリウレタン樹脂の特性
3. 梁試験体による構造特性の把握
4. まとめ

1. はじめに

阪神・淡路大震災以降、各地でコンクリート建造物の耐震補強が進められ、首都圏の主要交通機関や緊急輸送道路の耐震補強はほぼ完了している。しかし、地震の規模によっては、倒壊等の大被害に至らないまでも中小被害を受ける建造物が、未だ多く存在している¹⁾。損傷した建造物は、余震に対する安全性、建造物の機能確保を目的として応急復旧する必要がある²⁾が、既往の復旧技術は施工が大掛かりであり、また効果発現までに日数を要するものが多いため、頻発する余震に対応できない可能性が高い。このような背景の下、被災後に迅速に対応でき、安全かつ簡易に施工可能な復旧工法の開発が望まれている。そこで、著者らは医療用ギプスをアイデアの起源とし、損傷した RC 部材に対し、水硬性樹脂が含浸された連続繊維シートを巻き立てた後、給水するだけで補修効果が得られる新しい迅速復旧工法を開発している³⁾。

一般的に、連続繊維シートを用いてせん断補強する場合、含浸接着樹脂としてエポキシ樹脂が用いられている。これは、エポキシ樹脂が高分子材料の中でも強度および耐久性に優れていること、さらに、数多くの施工実績により信頼性が高いことによる。これまでに多くの研究機関で連続繊維シートを用いたせん断補強効果に関する研究が行われているが^{4)~6)}、エポキシ樹脂以外の含浸接着樹脂を用いた事例は少ない。既往の研究では、解析的検討により、シートとコンクリート間の接着層の力学特性が構造特性に影響を及ぼすことは明らかとされている⁷⁾が、含浸接着樹脂の特性がせん断補強に及ぼす影響を実験的に検討した例はほとんど無い。

本研究は、水硬性ポリウレタン樹脂が連続繊維シート巻立て工法の含浸接着樹脂へ適用可能か検討するとともに、水硬性ポ

リウレタン樹脂の特性が連続繊維シートにより補強された RC 梁のせん断耐力に及ぼす影響について実験で明らかにした。なお、含浸接着樹脂は、従来用いられるエポキシ樹脂および特性が異なる 2 種類の水硬性ポリウレタン樹脂(以下、HPR-A、HPR-B)の計 3 種類を使用した。

2. 水硬性ポリウレタン樹脂の特性

水硬性ポリウレタン樹脂は、反応性モノマーや溶剤の割合によりウレタン硬化物の硬軟が調整可能であるため、保有すべき物性を把握すれば、含浸接着樹脂として一層の改良が期待できる。そこで、水硬性ポリウレタン樹脂の特性を把握するため、連続繊維シートを用いた補修補強指針で提案されている試験⁸⁾を各種実施し、エポキシ樹脂と物性値の比較を行った。

2.1 試験概要

2.1.1 使用材料

本研究で用いたエポキシ樹脂(粘度：20000 mPa・s at 20℃)は、二液混合型の連続繊維シート接着用である。水硬性ポリウレタン樹脂(粘度：35000~45000 mPa・s at 25℃)は、水と接触することで反応・硬化が始まる一液硬化性である。原液のままでは粘性が高く扱いが困難であるため、HPR-A はグリコールエステル系溶剤により、HPR-B は反応性モノマーによりそれぞれ希釈して使用した。なお、希釈剤の影響により HPR-A はウレタン特有の柔軟性・伸縮性(ゴム弾性)を有しているが、HPR-B は硬い塗膜を形成するためそのゴム弾性を有していないという異なる特性を持っている。

エポキシ樹脂の塗布量は、メーカーの標準塗布量より 0.8kg/m²とした。HPR-A および HPR-B は、シートに樹脂を含浸後、接着に余分な樹脂を取り除いた状態で重量を測定し、そ

*土木総本部 土木技術部

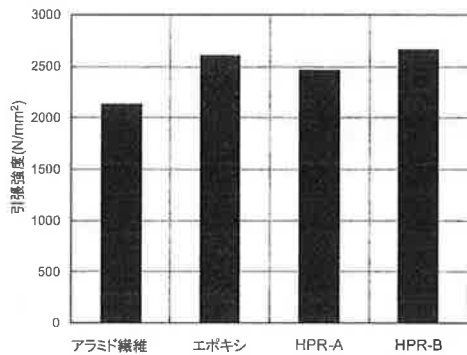


図1 引張強度

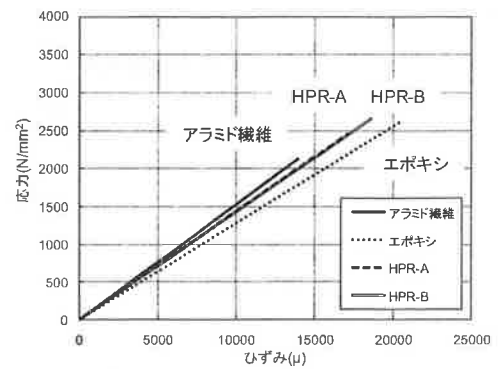


図2 応力-ひずみ関係

れぞれ 0.45kg/m^2 , 0.85kg/m^2 とした。

含浸接着樹脂の塗布方法は、エポキシ樹脂の場合、プライマー塗布→樹脂下塗り→シート貼付け→樹脂上塗り、水硬性ポリウレタン樹脂の場合、シートに樹脂含浸→シート貼付け→散水による給水の手順で行った。なお、試験に用いた連続繊維シートは、アラミド繊維シート(公称値、目付量: 280g/m^2 、引張強度 2060N/mm^2 、弾性率 1.18×10^5)で統一した。

2.1.2 連続繊維シートの引張試験

供試体は、幅 12.5mm 、全長 200mm の連続繊維シートに樹脂を含浸させ、7日間気中 (20°C , $60\%\text{RH}$) にて養生し作製した。試験は、両端に長さ 50mm の鋼製のタブを接着し、JSCE-E 541-2007 に準拠して行った。

引張強度 f_{fu} および弾性係数 E_f はそれぞれ式(1), (2)により算出した。なお、供試体数は5個とし、平均値を算出した。

$$f_{fu} = \frac{F_u}{A} \quad (1)$$

ここに、 f_{fu} : 引張強度 (N/mm^2)、 F_u : 最大引張荷重 (N)、 A : 供試体の断面積 (mm^2)

$$E_f = \frac{\Delta F}{\Delta \varepsilon \cdot A} \quad (2)$$

ここに、 E_f : 弾性係数 (N/mm^2)、 ΔF : 最大引張荷重の 20% と 60% における 2 点間の荷重の差 (N)、 $\Delta \varepsilon$: 同上 2 点間のひずみの差、 A : 供試体の断面積 (mm^2)

2.1.3 連続繊維シートの継手試験

供試体の寸法などは引張試験と共通であるが、継手長を 150mm , 200mm , 250mm の 3 種類とし、JSCE-E 542-2007 に準拠して試験を行った。

継手強度 f_{fus} は式(3)により算出した。なお、供試体数は 5 個とし、平均値を算出した。

$$f_{fus} = \frac{F_u}{A} \quad (3)$$

ここに、 f_{fus} : 継手強度 (N/mm^2)、 F_u : 最大引張荷重 (N)、 A : 供試体の断面積 (mm^2)

2.1.4 連続繊維シートとコンクリートとの付着試験

付着試験は、JSCE-E 543-2007 に準拠して供試体の作製および試験を行った。供試体は、分離型コンクリートブロック(断面 $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 、長さ 400mm)に連続繊維シートを付着長 200mm となるように調整し貼り付け、7日間気中 (20°C , $60\%\text{RH}$) にて養生した後、試験を行った。

界面剥離破壊エネルギー G_f および付着強度 τ_u はそれぞれ式(4), (5)により算出した。なお、供試体数は 3 個とし、平均値を算出した。

$$G_f = \frac{P_{\max}^2}{8b^2 \cdot E_f \cdot t} \quad (4)$$

ここに、 G_f : 界面剥離破壊エネルギー (N/mm)、 P_{\max} : 最大荷重 (N)、 b : 連続繊維シート幅の平均値 (mm)、 E_f : 連続繊維シートの弾性係数 (N/mm^2)、 t : 連続繊維シートの厚さ (mm)

$$\tau_u = \frac{P_{\max}}{2b \cdot l} \quad (5)$$

ここに、 τ_u : 付着強度 (N/mm^2)、 b : 連続繊維シート幅の平均値 (mm)、 l : 連続繊維シートの試験部分における有効付着長 (mm)

2.1.5 連続繊維シートとコンクリートとの接着試験

接着試験は、コンクリート平板 ($300\text{mm} \times 300\text{mm}$ 、厚さ 60mm) に連続繊維シートを貼り付け、7日間気中 (20°C , $60\%\text{RH}$) にて養生後、表面にエポキシ樹脂を用いて鋼製治具 ($40\text{mm} \times 40\text{mm}$) を接着し、試験を行った。

接着強度 f_{au} は、式(6)により算出した。

$$f_{au} = \frac{F_{au}}{A_s} \quad (6)$$

ここに、 f_{au} : 接着強度 (N/mm^2)、 F_{au} : 最大荷重 (N)、 A_s : 鋼製治具の面積 (mm^2)

2.2 試験結果と考察

2.2.1~2.2.4 の試験より得られた物性値を表 1 にまとめる。なお、表中 () 内の数値は、エポキシ樹脂を基準 (100%) とした百分率で表している。また、界面剥離破壊エネルギーは、土木学会指針より $G_f = 0.5\text{N/mm}$ を基準 (100%) とした。

表 1 含浸接着樹脂の特性

種類	引張強度	継手強度	界面剥離破壊エネルギー	付着強度	接着強度
エポキシ	2610N/mm ² (100%)	2310N/mm ² (100%)	1.10N/mm 0.5 N/mm【土木学会指針】 (100%)	3.87N/mm ² (100%)	5.06N/mm ² (100%)
HPR-A	2460N/mm ² (94%)	1840N/mm ² (80%)	0.47N/mm (94%)	2.77N/mm ² (72%)	2.07N/mm ² (41%)
HPR-B	2660N/mm ² (102%)	460N/mm ² (20%)	0.26N/mm (52%)	3.78N/mm ² (98%)	3.15N/mm ² (62%)

注 (1) 継手強度は継手長200mmの結果 注 (2) 表中 () 内の数値はエポキシ樹脂を基準(100%)とした百分率

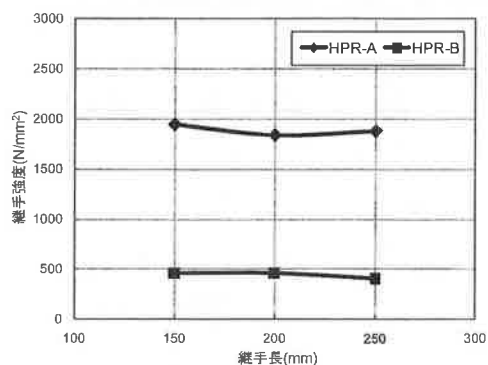


図 3 各継手長の継手強度

2.2.1 連続繊維シートの引張試験

引張強度を図 1, 応力 - ひずみ関係を図 2 に示す。なお、樹脂の影響を把握するために、樹脂を含まずにアラミド繊維シートのみでの試験も行った。各樹脂を含ませた場合、引張強度はほぼ同様の結果が得られたが、弾性係数は、エポキシ樹脂より水硬性ポリウレタン樹脂の方が若干高くなることが確認された。無含浸のアラミド繊維シートを試験した場合、樹脂を含ませた場合と比較し、引張強度および終局ひずみは低く、弾性係数は高くなる結果が得られた。これは、シート間に樹脂が介在しないため、繊維間の応力が不均一な状態で伝達され、局部的に繊維が破断したためと考えられる。これらの結果より、引張強度はアラミド繊維シートの性能に依存するが、弾性係数は含浸接着樹脂の影響を受けると考えられた。

2.2.2 連続繊維シートの継手試験

継手長 200mm の継手強度を表 1, 各継手長における継手強度を図 3 に示す。エポキシ樹脂は、破壊形態が全てシート破断であるため、継手強度はほぼ連続繊維シートの引張強度に等しい結果が得られた。HPR-A の場合、継手強度は引張強度を下回っているが、破壊形態はシートでの破断がほとんどであった。一方、HPR-B の場合、継手強度は HPR-A の 1/4 程度と極めて低く、すべて継手で破壊していた。継手長を 150mm から 250mm まで変化させても、継手強度は同程度であり、水硬性ポリウレタン樹脂は継手長の影響をほとんど受けないことが確認できる。

HPR-A および HPR-B の継手強度に大きな差がみられたため、継手界面の様子をマイクロSCOPEで観察した(図 4)。HPR-A は、繊維を一本ずつコーティングするように硬化している様子が観察されたが、HPR-B は、繊維束の表面に塗膜を



図 4 破壊後継手部界面の状況 (左: HPR-A, 右: HPR-B)

形成し硬化しており、それぞれ異なる様子が観察された。

これらの実験結果より、HPR-A はウレタン硬化物が比較的細かく結合しているため、シート間の界面に生じるせん断力に対して抵抗できる。一方、HPR-B はシート間の界面に硬く脆い塗膜が形成されるためせん断力に対する抵抗はあまり期待できないと考えられた。

2.2.3 連続繊維シートとコンクリートとの付着試験

界面剥離破壊エネルギーおよび付着強度を表 1 に示す。土木学会の指針³⁾では、界面剥離破壊エネルギーは試験によらない場合、安全側の値として $G_f = 0.5 \text{ N/mm}$ を用いてよいとされている。本実験では、エポキシ樹脂は安全側の値を満たしており、HPR-A は安全側の値と同等の数値を示している。一方、HPR-B は安全側の値の約 1/2 程度であった。しかし、付着強度では、エポキシ樹脂と HPR-B は同等であり、HPR-A は他と比較し低い値であった。界面剥離破壊エネルギーは、単位面積の剥離が開始されるまでに、界面において消費されるエネルギーと定義されている。そのため、シートとコンクリートの付着応力と相対変位の関係より、付着応力 - 相対変位曲線下の面積で表わされるが、HPR-A は HPR-B と比較して付着強度が小さく、界面剥離破壊エネルギーが大きいことから、剥離開始時の相対変位は大きい値となる。一方、HPR-B は付着強度が大きく、界面剥離破壊エネルギーが小さいことから、剥離開始時の相対変位は小さい値となる。これにより、HPR-A は HPR-B よりも、せん断力に対する変形性能を有していると考えられる。

2.2.4 連続繊維シートとコンクリートとの接着試験

接着強度は、エポキシ樹脂が約 5 N/mm^2 と 3 種類の中では最大となり、次いで HPR-B が約 3 N/mm^2 , HPR-A が約 2 N/mm^2 という結果が得られた(表 1)。HPR-B は HPR-A に比べ、硬い塗膜を形成するため、シートとコンクリートの界面における接着強度が高くなったと考えられた。

2.2.5 含浸接着樹脂の特性のまとめ

HPR-A の場合、付着強度および接着強度は高くないが、継

表 2 試験体諸元

試験体 No.	試験条件	樹脂種類	連続繊維シート種類	有効高さ d (mm)	スパン a (mm)	a/d	軸方向鉄筋		せん断補強筋	
							材質呼び名	鉄筋比 (%)	材質呼び名	鉄筋比 (%)
1	無補強	-	-	300	900	3	SD490 D29	3.06	SD295A D6	0.15
2	従来工法	エポキシ	アラミド							
3	せん断耐力算定	HPR-A								
4	せん断耐力算定	HPR-B								
5	無付着状態	HPR-A								
6	継手部補強	HPR-B								

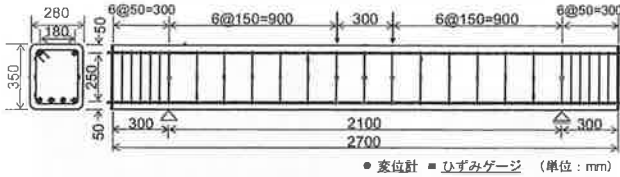


図 5 試験体寸法

手強度および界面剥離破壊エネルギーが高く、せん断抵抗や変形性能を有している。HPR-B の場合、シート界面に硬い塗膜を形成するため付着強度および接着強度は高いが、脆い塗膜でもあるためせん断抵抗や変形性能を有していない。各試験結果より、HPR-A および HPR-B の特性が対照的であることが確認された。

3. 梁試験体による構造特性の把握

水硬性ポリウレタン樹脂が連続繊維シート巻立て工法の含浸接着樹脂へ適用可能か検討するとともに、水硬性ポリウレタン樹脂の特性がせん断補強効果に及ぼす影響を把握するため、補強後もせん断破壊が先行するように設計した RC 梁を用いて載荷試験を行った。連続繊維シートが受け持つせん断耐力に含浸接着樹脂が及ぼす影響、付着特性が補強後のせん断耐力に及ぼす影響、各種条件下におけるせん断補強効果の把握についてそれぞれ検討した。

3.1 実験概要

試験体寸法を図 5、試験体諸元を表 2、試験体に使用した材料の試験結果を表 3 に示す。実験は、連続繊維シートをせん断スパンに 1 層巻き立て、梁上面にて 200mm の継手(定着)長を設け、7 日間空中養生した後、載荷した。例外として、No.5 は施工面を無付着状態にするため厚さ 0.01mm のポリエチレンフィルムを 2 層巻き立て、No.6 は、継手部の上にさらに 1 層連続繊維シートをエポキシ樹脂にて貼り付け継手部を補強した。

載荷方法は、2 点集中の単調載荷とした。また、目視によるひび割れの観察を行うとともに、荷重、鉛直変位、軸方向鉄筋ひずみ、せん断補強筋ひずみ、連続繊維シートひずみを測定した。

3.2 試験体耐力および破壊形式

表 4 に各試験体耐力の計算値(CAL)および実験値(EXP)、破壊形式を示す。ここで、せん断耐力は土木学会の指針⁸⁾に基づき式(7)、式(8)により算出した。なお、本実験では軸方向圧縮力を作用させないため、 V_c は二羽式⁹⁾により算出した。また、表 4 に示す V_f は V_c と V_s の和である。

表 3 材料試験結果

コンクリート	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)
No.1	32.5	3.04	2.43×10 ⁴
No.2	30.6	2.91	2.35×10 ⁴
No.3	33.5	3.17	2.45×10 ⁴
No.4	32.5	3.04	2.43×10 ⁴
No.5	38.1	3.53	2.42×10 ⁴
No.6	38.1	3.53	2.42×10 ⁴

鉄筋	降伏応力 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)
軸方向鉄筋 SD490 D29	523	677	1.87×10 ⁵
せん断補強筋 SD295A D6 (0.2%offset)	349	506	1.82×10 ⁵

連続繊維シート	含浸樹脂	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)
アラミド 目付量 280g/m ²	-	2130	1.53×10 ⁵
	エポキシ	2610	1.28×10 ⁵
	HPR-A	2460	1.44×10 ⁵
	HPR-B	2660	1.43×10 ⁵

表 4 各試験体の耐力および破壊形式

試験体 No.	計算値(kN)						実験値(kN)		破壊形式	連続繊維シートの破壊形式
	せん断耐力			曲げ耐力			せん断耐力	せん断耐力		
1	255.9	76.8	332.7	-	-	726.2	355.7	-	-	
2	250.8	76.8	327.6	338.4	666.0	723.4	780.1	せん断	シート破断	
3	258.5	76.8	335.3	376.4	711.7	727.6	757.3	せん断	シート破断	
4	255.9	76.8	332.7	373.8	706.5	726.2	649.9	せん断	継手部破壊	
5	269.8	76.8	346.6	395.6	742.2	734.4	734.5	せん断	シート破断	
6	269.8	76.8	346.6	401.0	747.6	734.4	768.1	せん断	継手部破壊	

$$V_{fy} = V_c + V_s + V_f \quad (7)$$

ここに、 V_{fy} : 部材のせん断耐力、 V_c : コンクリートが受持つせん断耐力、 V_s : せん断補強筋が受持つせん断耐力、 V_f : 連続繊維シートが受持つせん断耐力

$$V_f = K \cdot [A_f \cdot f_{fu} (\sin \alpha_f + \cos \alpha_f) / s_f] \cdot z \quad (8)$$

ここに、 K : 連続繊維シートのせん断補強効率、 A_f : 区間 s_f における連続繊維シートの総断面積(mm²)、 s_f : 連続繊維シートの配置間隔(mm)、 f_{fu} : 連続繊維シートの引張強度(N/mm²)、 α_f : 連続繊維シートが部材軸となす角度(°)、 z : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材の図心までの距離 (mm)

破壊形式は、全ての試験体でせん断破壊であった。なお、表 4 に終局時の連続繊維シートの状態を試験体毎に示した。

3.3 連続繊維シートが受け持つせん断耐力に

含浸接着樹脂が及ぼす影響

含浸接着樹脂の種類が、連続繊維シートが受け持つせん断耐力 V_f に与える影響を把握するため、試験体 No.1~No.4 の結果を用いて比較検討する。

3.3.1 荷重-変位関係

図 6 に No.1~No.4 の荷重-変位関係を示す。無補強の

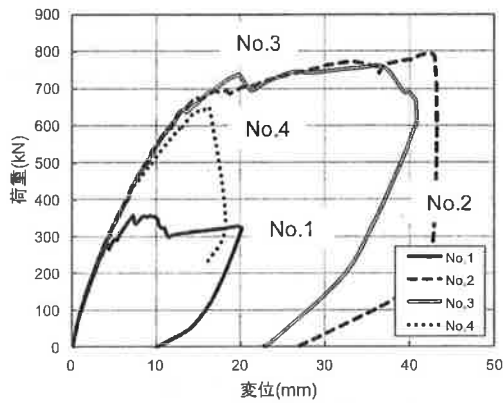


図6 荷重-変位関係 (No.1~No.4)

試験体 No.	実験値 / 計算値	
	$V_{f,EXP} - V_{f,EXP}$ (kN)	$V_{f,EXP} / V_{f,CAL}$
2	424.4	1.25
3	401.6	1.07
4	294.2	0.79

No.1 と補強有の No.2~4 を比較すると、大幅に最大耐力が向上していることが確認できる。No.2 と No.3 を比較すると、最大荷重および最大荷重時の変位に若干の差はあるが、ほぼ同様の挙動を示していることが分かる。No.3 と No.4 を比較すると、最大荷重だけでなく、最大荷重時の変位にも大きな差がみられる。

3.3.2 連続繊維シートが受け持つせん断耐力

表5に $V_{f,EXP}$ および V_f の実験値と計算値の比を示す。 $V_{f,EXP}$ は、修正トラス理論に基づき No.2~No.4 のせん断耐力 $V_{f,EXP}$ から無補強試験体 No.1 のせん断耐力 $V_{f,EXP}$ を差し引いた値である。No.1 のせん断耐力 $V_{f,EXP}$ を用いた理由は、No.2~No.4 の計算値 $V_{f,CAL}$ よりも高い実験値 $V_{f,EXP}$ を示しており、計算値を用いるよりも、より正確に V_f を算定できると考えたためである。また、計算値 $V_{f,CAL}$ との比で表わすことで $V_{f,EXP}$ を評価した。No.2 の場合、1.25 と計算値より安全側に評価できており、No.3 の場合も 1.07 と、No.2 と比較すると僅かではあるが計算値より安全側に評価できている。しかし、No.4 では 0.79 と計算値を下回る結果となった。これは、HPR-B が継手部破壊により連続繊維シートの性能を十分に発揮できなかったためと考えられる。

実験結果より、水硬性ポリウレタン樹脂を用いた場合の連続繊維シートが受け持つせん断耐力は、HPR-A の様に、付着強度や接着強度が高くなくとも、継手強度および界面剥離破壊エネルギーが高ければ土木学会が提示している算定式(式(8))により評価可能であることが明らかとなった。一方、HPR-B の様に、付着強度や接着強度が高くとも、継手強度および界面剥離破壊エネルギーが低ければ土木学会の算定式により評価ができないことが確認できた。

以上より、HPR-A は連続繊維シート巻立て工法の含浸接着樹脂へ適用が可能であると判断した。

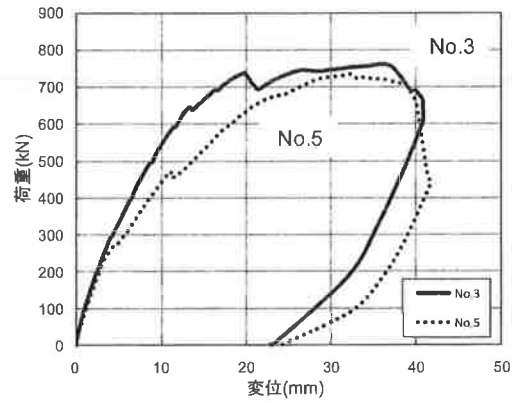


図7 付着状態の影響 (No.3, No.5)

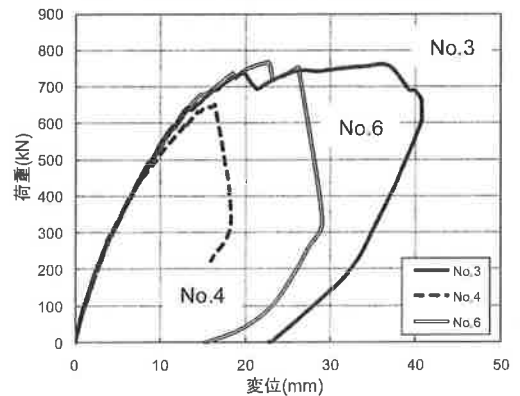


図8 継手強度の影響 (No.3, No.4, No.6)

3.4 付着特性が補強後のせん断耐力に及ぼす影響

HPR-A と HPR-B の実験結果を比較すると、シート-コンクリート界面の付着がせん断耐力へ及ぼす影響は少ないと予測できる。そこで、HPR-A を用いて、無付着状態での挙動の確認を行った。また、脆弱であった HPR-B の継手部を補強することにより、終局状態および終局に至るまでの挙動がどのように変化するか確認することで、せん断耐力に最も影響する含浸接着樹脂の物性を確認した。

3.4.1 付着性能がせん断補強効果に及ぼす影響

図7に付着状態の影響を示す。付着の有無で初期の荷重の立ち上がり方に差がみられるが、終局に近づくにつれ差がなくなっていく、終局時の荷重および変位に大きな差はみられない。これは、シート-コンクリート界面の付着がない状況下でも、継手強度が確保されていれば、せん断補強効果が得られることを示している。

3.4.2 継手強度がせん断補強効果に及ぼす影響

図8に継手強度の影響を示す。HPR-B 継手部補強(No.6)と HPR-A(No.3)の載荷結果を比較すると、最大荷重は同程度であるが終局変位に大きな差がみられる。これは、HPR-B 継手部補強の継手強度が 700N/mm^2 であり、HPR-A の 40%程度と低いことが要因であると考えられた。つまり、継手強度の差が荷重-変位関係へ影響を及ぼしていると考えられる。

以上の実験結果より、継手強度が最もせん断補強効果に影響していることが明らかとなった。2.2.2 の継手試験結果より、

継手強度の保有すべき物性値の目安として引張強度に近い強度を発現しているか、もしくは破壊形態がシート破断であるかを確認することが、せん断補強に用いる含浸接着樹脂選定の判断材料になり得ると考えられた。

4. まとめ

本研究は、連続繊維シート巻立て工法の含浸接着樹脂として水硬性ポリウレタン樹脂が適用可能か検討するとともに、水硬性ポリウレタン樹脂の特性が連続繊維シートにより補強された RC 梁のせん断耐力に及ぼす影響について実験で明らかにした。本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 樹脂の特性は異なるが、エポキシ樹脂と HPR-A はほぼ同様の荷重-変位関係を示す。
- 2) 修正トラス理論に基づき、連続繊維シートが受け持つせん断耐力を算定した場合、HPR-A の様に、付着強度や接

着強度が高くなくとも、継手強度および界面剥離破壊エネルギーが高ければ土木学会の算定式により評価可能である。

- 3) 連続繊維シート巻立て工法でせん断補強する場合、含浸接着樹脂の各種性能の中で継手強度が最もせん断補強効果に影響しており、継手強度の保有すべき物性値の目安として引張強度に近い強度を発現しているか、もしくは破壊形態がシート破断であるかを確認することが、含浸接着樹脂選定の判断材料になり得る。

本工法は現状、実用化の段階まで至っていないが、これまでの検討により、応急復旧としての適用が可能であると考えている。今後は、長期暴露試験により補修材料の耐久性を確認し、震災時の事後対策(応急復旧)だけでなく、事前対策(耐震補強)として適用可能か検討を行う予定である。

謝 辞

本研究は、平成 21 年度国土交通省建設技術研究開発助成制度(研究代表者:加藤佳孝)により、東京大学生産技術研究所加藤佳孝准教授、埼玉大学牧剛史准教授と共同で行ったものである。研究実施において、エムシー工業(株)山崎久史氏、東京大学生産技術研究所西村次男技術専門員および関係各位の協力を得た。ここに記して、感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局国道・防災課道路防災対策室, 橋梁耐震補強マップ, 2006.3.
- 2) 日本コンクリート工学協会, 被災構造物の復旧性能評価研究委員会報告書, 2007.8
- 3) 笠倉亮太, 鈴木将充, 小島文寛, 伊藤正憲, 加藤佳孝, 牧剛史: 水硬性樹脂を含浸させた連続繊維シートを用いた迅速復旧工法の開発, コンクリート工学, Vol.47, No.12, pp.18-25, 2009.12
- 4) 勝木太, 丸山久一, 睦好宏史, 樋口昇: 連続繊維シートで補強された部材のじん性率照査式に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.3, pp.1537-1542, 2000.7
- 5) 上原子晶久, 下村匠, 丸山久一: 連続繊維シート補強コンクリート部材のせん断耐力の評価法に関する研究, 土木学会論文集, No.648, V-47, pp.217-226, 2000.5
- 6) 張広鋒, 岸徳光, 三上浩, 澤田純之: AFRP シートせん断補強 RC 梁の耐荷性に関する実験的パラメータ研究, 構造工学論文集, Vol.53A, pp.1040-1049, 2007.3
- 7) 新保学幸, 下村匠, 丸山久一, 上原子晶久: 連続繊維シート補強部材のせん断耐力に関する感度解析, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.3, pp.313-318, 2000.7
- 8) 土木学会, コンクリートライブラリー101 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, 2000.7
- 9) 二羽淳一郎, 山田一宇, 横沢和夫, 岡村甫: せん断補強筋を用いない RC はりのせん断強度式の再評価, 土木学会論文集, 第 372 号/V5, pp.167-176, 1986.8

INFLUENCE OF RESIN PROPERTIES ON THE SHEAR CAPACITY OF RC BEAMS REINFORCED BY FIBER SHEETS CONTAINING HYDRAULIC RESIN

M.Suzuki, F.Ojima, H.Kitazawa, and M.Ito

After disasters such as earthquakes it is necessary to quickly repair damage in order to ensure safety and speed recovery efforts. However, conventional methods require large-scale operations and the repair effect may be delayed. Therefore, the authors proposed an emergency rapid retrofitting method utilizing fiber sheets containing hydraulic resin (TST-FiSH) for the repair of reinforced concrete structures. The goals of this new method are to provide higher safety, speed, and ease of application compared to conventional methods. The basic properties of TST-FiSH and the repair effect have been investigated, and in this paper the influence of resin material properties on the shear capacity of RC beams repaired by fiber sheets is reported. It was experimentally understood that the joint strength between fiber sheets is an important factor for improving the shear capacity of RC beams even if the bond and adhesion strengths between fiber sheets and concrete surface are not so strong.