

# 被災した建造物の 安全・簡易・迅速復旧工法の開発

加藤 佳孝<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東京大学 生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)

本研究は、被災した建造物を安全・簡易・迅速に復旧できる工法の開発を目的として、水硬性樹脂を含浸させた連続繊維シートを活用して新しい工法を提案し、実建造物への展開可能性について検討を行った。その結果、提案する工法は、従来の算定式（土木学会式）で耐力評価が可能であること、災害損傷時でもせん断補強効果が得られること、従来技術と比較し施工時間を大幅に短縮できることが確認され、実建造物へ展開可能であることが分かった。

キーワード 地震被害、事後対策、復旧工法、水硬性樹脂、連続繊維シート

## 1. はじめに

兵庫県南部地震以降、各地で耐震補強が進んでいるが、想定外の地域での地震発生、耐震補強の未完備などを理由として、地震への事前対策が完全でないことがわかる。災害への対策は、事前対策（耐震補強）が最も効果的であるが、重要なのは災害の事前・事後を通して場面に応じた有効な対策手段を保有することである。現在の我が国の状況を見ると、被災により損傷した建造物を迅速に復旧する技術開発はあまり行われていない。本開発のターゲットはここにあり、本開発の目的達成により、国土交通省基本技術計画「復旧時間を大幅に短縮した国土・都市の機能損失と経済損失のない社会」の実現<sup>1)</sup>が可能であると考えられる。

今後発生すると想定される地震被害として、例えば、首都圏直下型の地震では、112兆円の経済損失が見込まれている<sup>2)</sup>。これらの被害想定結果を参照すると、中小被害数が膨大であり、大被害の20~40倍となっている。本開発は、主にこの中小被害を対象としており、損傷したRC建造物に対し簡易・迅速に対応ができ、安全に再供用させることで、被災者の安心を確保するとともに、経済的な損害を最小限にすることを目指している。

現状、既存の類似技術で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く、頻発する余震に対応できない可能性が高い。そこで、医療用ギブスをアイデアの起源とし、損傷したRC建造物に対し、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

を提案する。

本研究では、提案する復旧工法が実現可能となる材料の開発を実施する。工法の材料の中で、含浸接着樹脂として使用する水硬性樹脂は、医療用ギブスに用いられている水硬性ポリウレタン樹脂を選定し、補強材として使用する連続繊維シートは、適用実績のあるアラミドを用いる。まず、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し、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を行う。次に、梁試験体の載荷実験を、3次元有限要素解析によって再現し、モデル化の方法について検討を行い、さらに、提案工法の実建造物への展開可能性に関する検討を行う。

## 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、樹脂設計の自由度が高く、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<sup>3)</sup>。そこで、水硬性ポリウレタン樹脂の特性を把握するため、物理的性質が対極的な2種類の水硬性ポリウレタン樹脂（軟性型、硬性型）を使用して、連続繊維シートを用いた補修補強指針に直接引用される試験<sup>4)</sup>を各種実施し、エポキシ樹脂と物性値の比較を行った。

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 <sup>2</sup> (100%)	2310N/mm <sup>2</sup> (100%)	1.10N/mm 0.5 N/mm【土木学会指針】(100%)	3.87N/mm <sup>2</sup> (100%)	5.06N/mm <sup>2</sup> (100%)
軟性型	2460N/mm <sup>2</sup> (94%)	1840N/mm <sup>2</sup> (80%)	0.47N/mm (94%)	2.77N/mm <sup>2</sup> (72%)	2.07N/mm <sup>2</sup> (41%)
硬性型	2660N/mm <sup>2</sup> (102%)	460N/mm <sup>2</sup> (20%)	0.26N/mm (52%)	3.78N/mm <sup>2</sup> (98%)	3.15N/mm <sup>2</sup> (62%)

表-2 試験体緒元

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	
							材質径	鉄筋比 (%)	材質径	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	-							
3	せん断耐力算定	軟性型	アラミド							
4	せん断耐力算定	硬性型	アラミド							

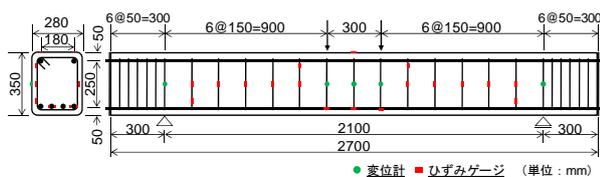


図-1 試験体寸法

表-3 材料試験結果

コンクリート	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	静弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )
No.1	32.5	3.04	2.43×10 <sup>4</sup>
No.2	30.6	2.91	2.35×10 <sup>4</sup>
No.3	33.5	3.17	2.45×10 <sup>4</sup>
No.4	32.5	3.04	2.43×10 <sup>4</sup>

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

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

### (1) 実験概要

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、一液硬化性であり、水と接触することで反応・硬化が始まり、それに伴い炭酸ガスを発生する。原液のままでは粘性が高く扱いが困難であるため、軟性型はグリコールエステル系溶剤により、硬性型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、軟性型はウレタン特有の柔軟性を有しているが、硬性型は硬質な塗膜を形成するためゴム弾性を有していないという異なる性質を持っている。

含浸接着樹脂の塗布量は、エポキシ：0.8kg/m<sup>2</sup>、軟性型：0.45kg/m<sup>2</sup>、硬性型：0.85kg/m<sup>2</sup>とした。含浸接着樹脂の塗布方法は、エポキシの場合、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→シート貼付けの手順で行った。なお、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<sup>2</sup>、引張強度2060N/mm<sup>2</sup>、弾性率1.18×10<sup>5</sup>）を使用した。

試験は、連続繊維シートの引張試験（JSCE-E 541-2007）、連続繊維シートの継手試験（JSCE-E 542-2007）、連続繊維シートとコンクリートとの付着試験（JSCE-E 543-2007）、連続繊維シートとコンクリートとの接着試験（JSCE-E 544-2007）を各規格に準拠し実施した。

### (2) 水硬性ポリウレタン樹脂の特性比較

各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 $G_f$

は、土木学会指針より $G_f = 0.5 \text{ N/mm}$ を基準（100%）とした。軟性型の場合、付着強度および接着強度は高くないが、継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。硬性型の場合、シート界面に硬質な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、軟性型および硬性型の特性が対極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い、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について検討した。

### (1) 実験概要

試験体寸法を図-1、試験体緒元を表-2、材料試験結果を表-3に示す。実験は、連続繊維シートをせん断ス

表-4 各試験体耐力

試験体 No.	計算値(kN)					曲げ耐力 $M_{UCAL}$	実験値(kN)	破壊形式	終局時の連続繊維シート
	せん断耐力						せん断耐力		
	$V_{cCAL}$	$V_{sCAL}$	$V_{fCAL}$	$V_{ICAL}$	$V_{fjCAL}$		$V_{fjEXP}(V_{jEXP})$		
1	255.9	76.8	332.7	-	-	726.2	355.7	せん断	-
2	250.8	76.8	327.6	338.4	666	723.4	780.1		シート破断
3	258.5	76.8	335.3	376.4	711.7	727.6	757.3		シート破断
4	255.9	76.8	332.7	373.8	706.5	726.2	649.9		継手部破壊

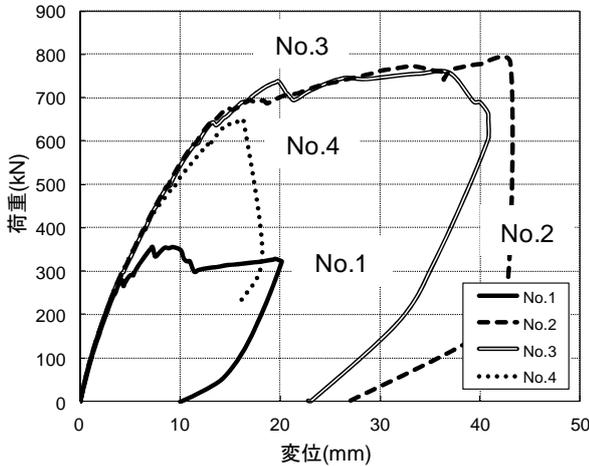


図-2 荷重-変位関係(No.1~No.4)

ンに1層巻き立て、梁上面にて200mmの継手(定着)長を設け、7日間気中養生した後、載荷した。

載荷方法は、2点集中の単調載荷とし、支点は移動および回転支持とした。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適宜測定した。

## (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連続繊維シートを用いた補修補強指針<sup>9)</sup>に基づき式(1)、式(2)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<sup>9)</sup>により算出した。また、表-4に示す $V_j$ は $V_c$ と $V_s$ の和である。

$$V_{fj} = V_c + V_s + V_f \quad (1)$$

ここに、 $V_{fj}$ : 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

$$V_f = K \cdot [A_f \cdot f_{fu} (\sin \alpha_f + \cos \alpha_f) / s_f] \cdot z \quad (2)$$

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(mm<sup>2</sup>)、 $s_f$ : 連続繊維シートの配置間隔(mm)、 $f_{fu}$ : 連続繊維シートの引

表-5 連続繊維シートが受け持つせん断耐力

試験体 No.	$V_{fjEXP} - V_{jEXP}$ (kN)	実験値 / 計算値
	$V_{fjEXP}$	$V_{fjEXP} / V_{ICAL}$
2	424.4	1.25
3	401.6	1.07
4	294.2	0.79

張強度(N/mm<sup>2</sup>)、 $\alpha_f$ : 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。表-4に終局時の連続繊維シートの状態を試験体毎に示す。

## (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 $V_j$ 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。

#### a) 荷重-変位関係

図-2にNo.1~No.4の荷重-変位関係を示す。無補強の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。

#### b) 連続繊維シートが受け持つせん断耐力

表-5に $V_{fjEXP}$ および $V_j$ の実験値と計算値の比を示す。 $V_{fjEXP}$ は、修正トラス理論に基づきNo.2~No.4のせん断耐力 $V_{fjEXP}$ から無補強試験体No.1のせん断耐力 $V_{fjEXP}$ を差し引いた値である。No.1のせん断耐力 $V_{fjEXP}$ を用いた理由は、No.2~No.4の計算値 $V_{jCAL}$ よりも高い実験値 $V_{fjEXP}$ を示しており、計算値を用いるよりも、より正確に $V_j$ を算定できると考えたためである。また、計算値 $V_{jCAL}$ との比で表わすことで $V_{fjEXP}$ 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、硬性型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。

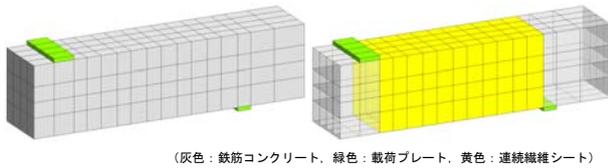


図-3 有限要素メッシュ(左:無補強, 右:全面補強)

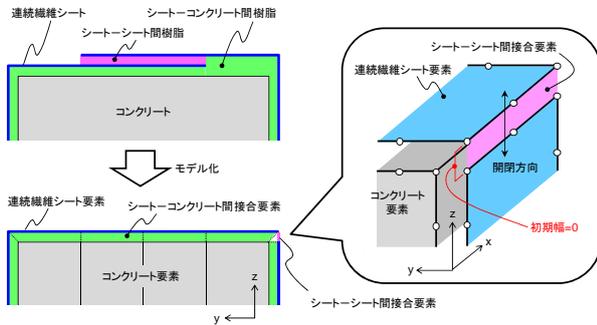


図-4 連続繊維シート継手部の要素配置詳細

これらの実験結果より、軟性型の様に、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従来の土木学会式(式(2))により評価可能である。一方、硬性型の様に、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式により評価ができない結果が得られた。

#### 4. FEMによる解析的検討

3.で実施した載荷実験の梁試験体計4ケースを対象として再現解析を行い、モデル化の方法について検討した。

##### (1) 解析モデル

有限要素メッシュは、図-3に示すように、コンクリートおよび載荷板は20節点六面体要素、繊維シートは8節点平板要素でモデル化し、繊維シート要素とコンクリート要素の間に16節点接合要素を配置した。解析対象の対称性を考慮して、梁の中央から片側スパンを対象とした1/2モデルとした。

シートの継手部は、図-4に示すようにシート端部間に6節点接合要素を配置することによって再現した。接合要素の幅(=シート端部間距離)は初期段階でゼロであり、両側のシートに引張力が作用することによって、接合要素幅が開口していくものである。なお、解析で入力した材料の特性値は表-3の数値を使用した。

##### (2) 解析結果

試験体合計4体の解析結果として、最大荷重(せん断耐力)の一覧を表-6、荷重-変位関係を図-5にそれぞれ実験結果と併せて示す。

表-6 解析における最大荷重の比較

試験体 No.	最大荷重(kN)		解析/実験
	実験	解析	
No.1 (無補強)	355.7	372.9	1.048
No.2 (エポキシ)	780.1	630.6	0.808
No.3 (軟性型)	757.3	753.6	0.995
No.4 (硬性型)	649.9	644.5	0.992

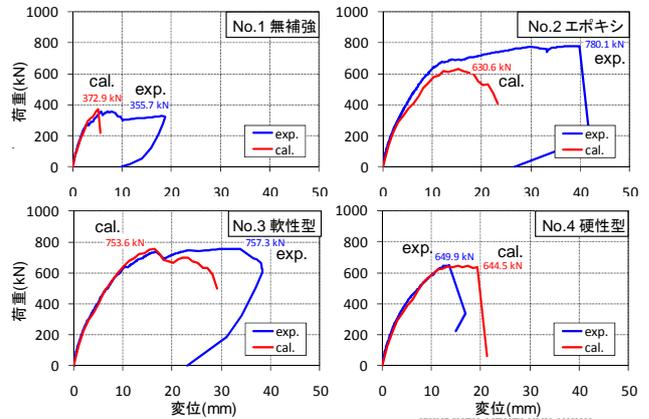


図-5 荷重-変位関係(実験の再現解析)

実験に対する解析の最大荷重の比はNo.2 (エポキシ)を除き、いずれのケースも $\pm 10\%$ の範囲内におさまっており、最大荷重(せん断耐力)については概ね推定することが可能であった。また、荷重-変位関係についても、変位20mm程度までは精度良く推定されたが、No.2 (エポキシ)やNo.3 (軟性型)で観察されたような大きな変位までは再現されていない。これらのケースでは、シートがコンクリートから剥離した後もコンクリートを十分に拘束することによって、高い靱性性能が得られたものと推定され、特に載荷点近傍の圧縮縁コンクリートには非常に高い拘束圧力が作用する。解析においては、このような高い拘束応力下におけるコンクリートの応力・ひずみ特性が十分に再現されず、コンクリートの圧縮軟化が変位20mm程度からの荷重の低下を招いたものと考えられる。特に、No.2 (エポキシ)については、実測された圧縮強度自体が他のケースに比べて低いことから、上記の傾向がより顕著に表れたものと考えられる。

解析結果より、水硬性ポリウレタン樹脂を用いてせん断補強した場合のせん断耐力を概ね推定可能なモデル化の方法が考案できたといえる。ただし、今回のモデル化では、樹脂特性を定義するにあたり幾つかの仮定を設けており、今後さらに検討を要する点を残している。

#### 5. 柱試験体を用いた構造性能の確認

3., 4.では、水硬性ポリウレタン樹脂が含浸接着樹脂として適用可能であることを確認した。本章では、提案工法の実構造物への展開可能性について、柱試験体を用いて構造性能の観点から検討した。試験は、損傷後の補

表-7 試験体諸元

試験体	破壊形態	有効高さ d (mm)	スパン a (mm)	a/d	軸方向鉄筋		せん断補強筋		連続繊維 シート種類
					材質 径	鉄筋比 (%)	材質 径	鉄筋比 (%)	
軟性型 エポキシ	曲げ	260	910	3.5	SD345 D22	6.0	SD295A D4	0.072	アラミド

表-8 各試験体耐力

試験体	1次载荷						2次载荷				破壊形態	
	計算値			実験値	残留 ひび割れ幅 (mm)	計算値				実験値		
	せん断耐力 (kN)					除荷荷重 (kN)	せん断耐力 (kN)					最大荷重 (kN)
V <sub>cd</sub>	V <sub>sd</sub>	V <sub>vd</sub>	V <sub>cd</sub>	V <sub>sd</sub>	V <sub>fd</sub>		V <sub>fyd</sub>					
軟性型	113.4	15.6	129.1	208.4	166.7 (-150.1)	0.5	-	15.6	139.2	154.8	229.9 (-221.5)	曲げせん断
エポキシ	113.4	15.6	129.1	208.4	172.8 (-160.1)	0.5	-	15.6	139.2	154.8	218.6 (-210.5)	

修効果を検証するため、軸力を作用させずに正負交番载荷を行った。また、これまでの実験結果より、水硬性ポリウレタン樹脂は軟性型を用いて、エポキシとの比較を行った。

(1) 実験概要

表-7に試験体諸元を示す。与える損傷は、日本道路協会刊行「道路震災対策便覧（震災復旧編）」の被災度判定表<sup>9</sup>より、1次载荷で残留ひび割れ幅 $0.5\text{mm} \leq W < 2\text{mm}$ （被災度B：中被害）のせん断損傷を与え、変位0mmでせん断スパンにアラミド繊維シートを一層巻き立てて補修を行い、6日間養生した後、2次载荷を行った。なお、両試験体とも、アラミド繊維シートの継手長は200mmとした。载荷点の境界条件は、下端のみを固定し上端は自由端とした。载荷は部材角による変位制御で、部材角1/1000、1/500、1/250…と破壊に至るまで順次変位を増加させた。なお、軸方向鉄筋の降伏後は、各部材角で3回の繰り返し载荷を行った。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、せん断補強筋ひずみおよびアラミド繊維シートのひずみを適宜測定した。

(2) 実験結果と考察

表-8に試験体の最大耐力の計算値、実験値、および破壊形態を示す。なお、せん断耐力は梁と同様に式(1)、式(2)により算出した。

a) 1次载荷

1次载荷において、軟性型およびエポキシはともに、ほぼ同様な荷重 - 変位関係となった。両者ともに部材角が1/250のときに斜めひび割れが発生し、部材角1/200でせん断補強筋が降伏した。部材角1/100の終了後の残留ひび割れが、0.5mmとなったことから、設定した損傷の条件を満たしたと判断し载荷を終了した。なお、1次载荷終了時点で両条件の軸方向鉄筋は降伏直前であった。

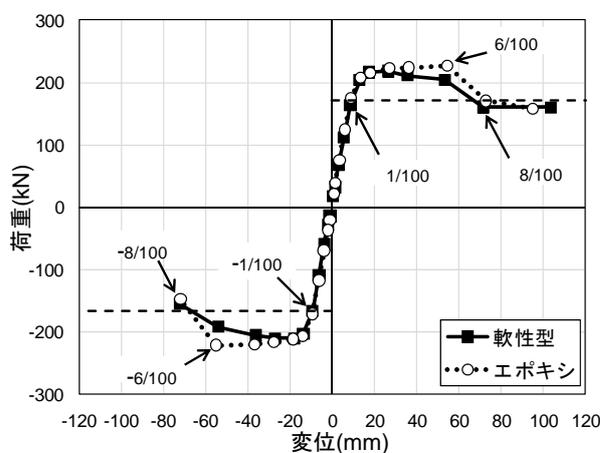


図-6 荷重-変位包絡線(2次载荷)

b) 2次载荷

図-6に試験体の2次载荷の荷重-変位包絡線を示す。なお、図内に各試験体の最外縁の軸方向鉄筋降伏時の荷重を破線で示す。エポキシは、軸方向鉄筋の降伏後、1次载荷で発生した斜めひび割れ面を滑るように変形が進行し、部材角 $\pm 8/100$ で耐力低下を生じた。その後正側のみ载荷を継続し、最終的には部材角10/100を超えた後、アラミド繊維シートが隅角部より破断し終局に至った。軸方向鉄筋降伏後も荷重増加が観察されるが、部材角 $\pm 8/100$ で急激な荷重低下が生じており、終局時の破壊状況においてもせん断変形が卓越していたことから、破壊形態は曲げ降伏後のせん断破壊であると考えられた。

軟性型は、緩やかな荷重低下が $\pm 4/100$ から始まり、部材角 $\pm 8/100$ で降伏時の荷重を下回った。その後正側のみ载荷を継続し、最終的には10/100を超えた後、アラミド繊維シートが隅角部から破断し終局に至った。荷重低下開始時期は異なるが、破壊形態はエポキシと同様に、曲げ降伏後のせん断破壊であると考えられ、せん断損傷を与えた柱部材に対して、従来工法を想定したエポキシと同様の補修効果が確認された。

表-9 施工時間

	湿潤調整, 樹脂含浸	シート巻き立て	給水, 脱泡・水切り	施工時間	合計施工時間
1 段目	2' 25"	4' 40"	2' 50"	9' 55"	34' 55"
2 段目	2' 40"	3' 50"	3' 20"	9' 50"	
3 段目	2' 20"	4' 50"	8' 00"	15' 10"	
平均	2' 28"	4' 26"	4' 43"	11' 38"	



図-7 各工程の作業様子

## 5. 模擬実大柱を用いた施工性能の検証

実大断面を模擬した柱試験体を用いて施工性能の検証を行った。施工は、実施工時を想定し、連続繊維シート巻立て工法の作業実績が豊富な専門業者が行った。

### (1) 実験概要

柱試験体の寸法は、断面1000mm×1000mm、高さ1700mmである。施工は、幅500mmの連続繊維シートを試験体周方向に1層巻き立て、200mmの継手長を設けることを1段とし、試験体上縁より下に向かって3段行った。施工範囲は幅1000mm×高さ1500mm×4面=6m<sup>2</sup>である。迅速復旧時の施工フローは、補強効果が得られると判断された必要最低限の手順として、表面処理工、断面修復工、シート巻立て工である。なお、本実験では既に断面処理工まで施しているため、施工はシート巻立て工のみである。作業手順は、湿潤調整、樹脂含浸、シート巻き立て、給水および脱泡・水切りの順で行った。実験は、作業員3名を従事させ、作業開始から終了までの時間を計測し、施工面積当たりの作業時間の把握を行った。

### (2) 実験結果と考察

施工時間を表-9、各工程の作業様子を図-7に示す。段数毎の施工時間を比較すると、1段目と2段目はほぼ同様の施工時間を示しているが、3段目は5分程度作業時間が遅くなっている。これは、3段目が最下段であるため作業をするのに体勢を変えざるをえず作業し難い箇所であったためと考えられた。これらの結果より、施工面積当たりの作業時間を算出すると、5'49"/m<sup>2</sup>となる。

参考文献<sup>7)</sup>を基に、従来工法との施工時間の比較を試みた。従来工法の施工時間は労務歩掛より算出した。シート巻立て工は、日当たり施工量25m<sup>2</sup>/日（労務編成3名、1層）であるため、日当たり標準労働時間8時間を用いて施工面積当たりの作業時間に換算すると、19'12"/m<sup>2</sup>とな

る。両者の施工面積当たりの作業時間を比較すると、水硬性ポリウレタン樹脂を用いた場合の方が作業時間を約1/3に短縮可能である。ただし、今回は、従来工法のプライマー塗布工を考慮せずに比較したため、あくまでもシート巻立て工のみの作業時間である。

## 6. まとめ

本研究は、被災した構造物を安全・簡易・迅速に復旧できる工法の開発を目的として、水硬性樹脂を含浸させた連続繊維シートを活用して新しい工法を提案し、実構造物への展開可能性について検討を行った。その結果、提案する工法は、従来の算定式で耐力評価が可能であること、災害損傷時でもせん断補強効果が得られること、従来技術と比較し施工時間が大幅に短縮可能であることを確認した。現状、実用化の段階まで至ってはいないが、これまでの検討より、本提案工法は実構造物へ展開可能であると考えられた。

謝辞：本研究を進めるにあたり、エムシー工業 山崎久史氏、東京大学生産技術研究所 西村次男氏、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：国土交通省技術基本計画，2008。
- 2) 地震情報サイト JIS：首都直下地震交通施設の被害想定，<http://j-jis.com/news/shuto/transportation.shtml>，2010。
- 3) 日本ウレタン工業協会：<http://www.urethane-jp.org/>，2010。
- 4) 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。
- 5) 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。
- 6) 日本道路協会：道路震災対策便覧震災復旧編，2007。
- 7) 東燃株式会社：FORCA トゥシート技術資料，1995。