

## アラミド繊維シート補強された木造柱脚接合部の変形性能向上と地震時最大層間変形角の簡易推定

Improvement of Deformation Capacity for Timber Column-Ground Sill Joints Reinforced with Aramid Fiber Sheets and Estimation of Maximum Story Deformation Angle

首都大学東京都市環境科学研究科建築学域 准教授 多幾山法子

### (研究計画ないし研究手法の概略)

木造住宅の接合部補強に関して、近年、安価で施工性の高い手法として、新素材であるアラミド繊維シートを接合部に貼り付ける簡易補強法が発案されている。本プロジェクトでは、アラミド繊維シートを用いた柱脚補強に焦点を当て、耐震性向上を目指した一連の活動に取り組んでいる。

先行研究の柱-土台接合部の曲げ試験や引抜試験では、下記の課題が確認された。

- a) シートが纏まっての剥離や分断、シートが数分割されての剥離や分断、など、破壊モードにばらつきが生じ易く、各々で復元力特性が大きく異なる
- b) シートが纏まって剥離した場合、脆性破壊が生じる点

以上より、本報では、シートの損傷を制御しつつ、補強効果と変形性能を向上させる貼付形式を提案し、検証を進めた。

更に、被災後に建物を継続使用するためには、迅速に損傷度を推定することも重要である。特に、被害が広域の場合には、専門家の詳細診断前に個々でできる簡易推定ツールが必要である。そこで、本報では、シートの損傷を確認するだけで、建物の最大層間変形角を推定できる可能性を検討した。

### 1. アラミド繊維シート貼付形式の改良提案・曲げ試験（2章）の試験体概要

既往の曲げ試験結果より、下記の傾向が示されている。

傾向1) シート全体が同時に剥離または破断する場合は、脆性破壊が生じ、耐力が急激に低下する

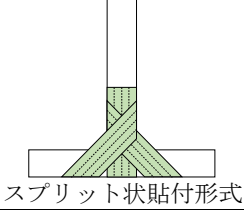






傾向2) シートが繊維方向に分割されて、外縁から順に剥離または破断する場合は、変形性能が高い

そこで、本報ではシートをあらかじめ分割して施工することで、スプリット状剥離を誘発し、変形性能の向上を期待する。

アラミド繊維シートは、1本の太さが数 $\mu\text{m}$ のアラミド繊維を一方向に数百～数千本単位で束ねた繊維束から構成され、繊維束の編組の仕方には様々な種類がある。本研究で用いるフィブラシートAK-40は、繊維直交方向にポリエステル繊維の横糸を通し、3繊維束で1畝を形成しながら30畝編組されたものである。

表1のように、シートを予め数畝ごとにグルーピングし、スプリット状に分割する。縦貼り用とクロス貼り用シートを各々分割し、それらを組み合わせて貼り付ける試験体を図1のように用意する。また、既往研究では、部材接合界面では、繰り返し荷重により局所的に圧縮力が生じ、強化プラスチック層が破砕することが確認されており、これを回避するため、接合界面の上下10mmのシートに接着剤を塗布しない非含浸範囲を設ける（S2, S3を除く）。

表1 シートの分割畝数

	縦貼りシート	(A) 6, 6, 6, 6, 6 畝 	(B) 9, 5, 3, 5, 9 畝 	(C) 3, 6, 12, 6, 3 畝 
	クロス貼りシート	(D) 6, 6, 6, 6, 6 畝 	(E) 9, 8, 6, 5, 3 畝 	(F) 3, 5, 6, 8, 9 畝 

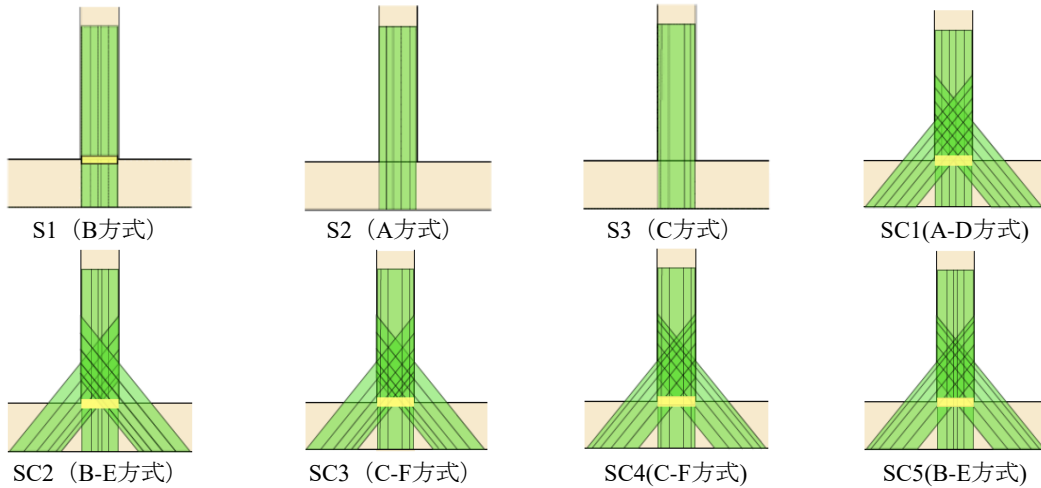


図1 試験体一覧

## 2. 柱－土台試験体の曲げ試験の加力・計測方法

地震時に引抜よりも曲げ変形が生じ易い独立柱の柱脚を想定し、曲げ試験を実施する。1章に述べたように、シート繊維方向の分裂箇所をパラメタとして様々実施する。

試験体は柱と土台を逆T字型に短ホゾ接合し、V字金物で留める。柱・土台ともに105mm角のスギ材とする。被災後の補強を想定するため、一度目の加力をし、金物を撤去してアラミド繊維シート補強を施した後、再加力する流れを基本方針とする。

加力システムを図2に示す。試験体土台を加力装置の架台にアンカーボルトで緊結する。紙面手前の試験体面をS側、裏面をN側と呼ぶ。アクチュエータ先端に取り付けた治具と試験体をPC鋼棒で接続する。柱頂部に設置したワイヤー変位計の計測値を柱高さで除した値を試験体変形角と定義し、1/120～1/5rad程度まで正負交番二回繰返加力を行う。なお、柱には自重以外の軸力を与えない。また、接触式変位計で接合部回転角を算出する。

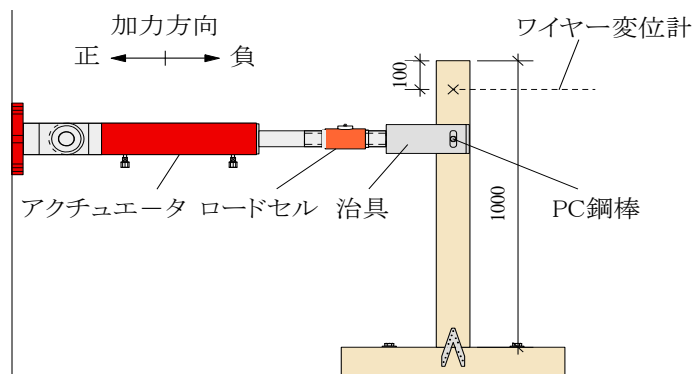


図2 加力システム

### 3. 実建物の構法および損傷状況の確認

架構全体に補強を施す場合の貼付箇所や施工方法を検討するため、八王子市の在来軸組木造住宅や福島県の多数の伝統木造住宅の様々な接合部を確認し、実建物の接合部の構法や地震時の損傷状況を把握した。なお、仕上げ材を撤去し、床下から小屋裏までの全ての部材を対象とした実測調査を実施した。

### 4. 最大層間変形角の推定手法の構築を目指したアラミド繊維シート補強を接合部に施した実大架構の静的加力実験

2章の結果を踏まえ、変形性能の高い貼付形式を示し、地震時に生じた最大接合部回転角とシートの損傷との対応を示す。

架構試験体概要を図3に示す。材種は桁、柱、土台ともにスギ材を用い、短ほぞ接合し、V字金物で留める。被災後の住宅を模擬するため、1度加力し損傷を与えた後、V字金物を撤去してアラミド繊維シート補強を施す。貼付形式はスプリット状とし、畝のグルーピングについては、別途検討した解析モデルを用いて、最も変形性能の高くなる形式を推定した。縦貼りシートの畝数を12:7:12に、クロス貼りシートを外縁から順に8:6:3:5:4:5の比率とした。先行研究の内容を踏まえ、部材の接合界面と木造非接着部に非含浸領域を設け、両面貼りとする。また、紙面手前をS側、裏面をN側、左をW側、右をE側とする。

アラミド繊維シートの施工においては、(a)架構を直立させたままシートを貼り付けるため、特に高所作業は難しい、(b)スプリット状の場合は分割したパーツ1枚ずつ貼るため、手間がかかる、(c)強化プラスチック層の形成前に樹脂が広がってしまい、非含浸範囲まで固まる、などが要因で施工精度にバラツキが生じた。

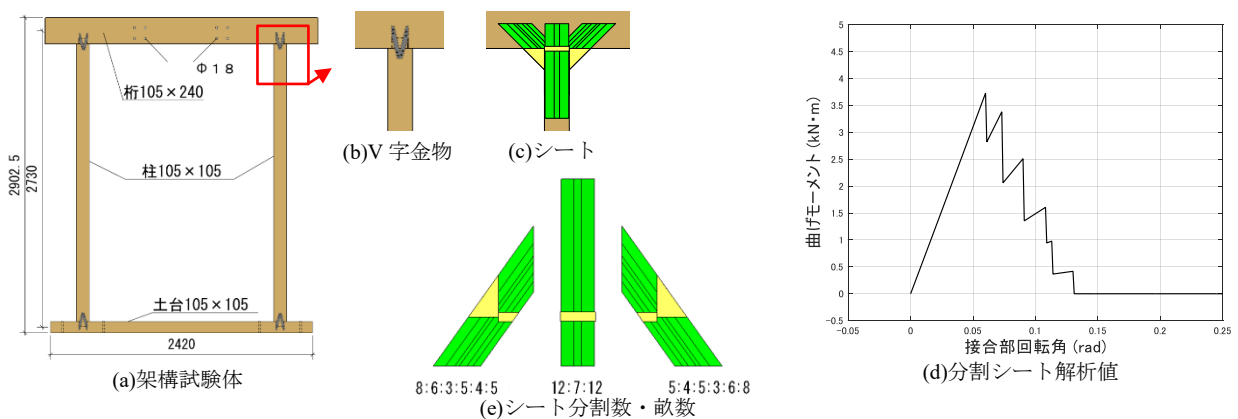


図3 架構試験体・シート分割方法

### (実験調査によって得られた新しい知見)

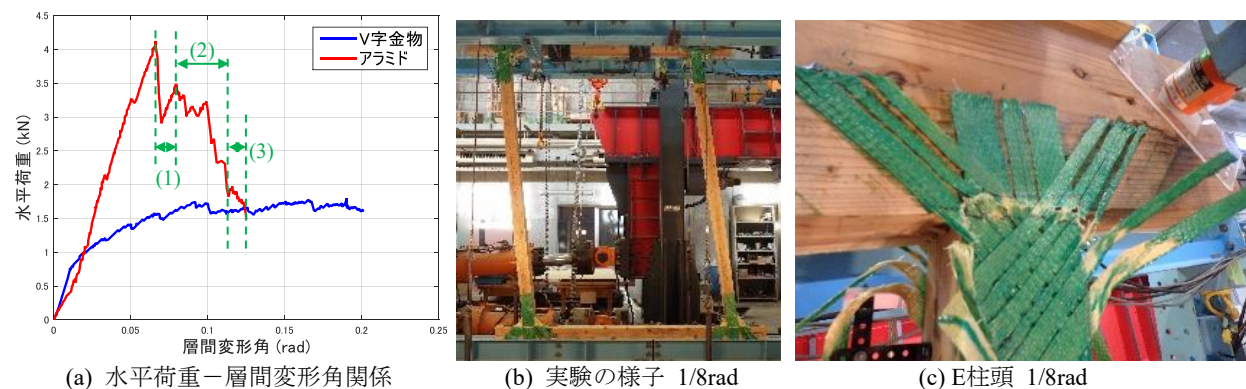
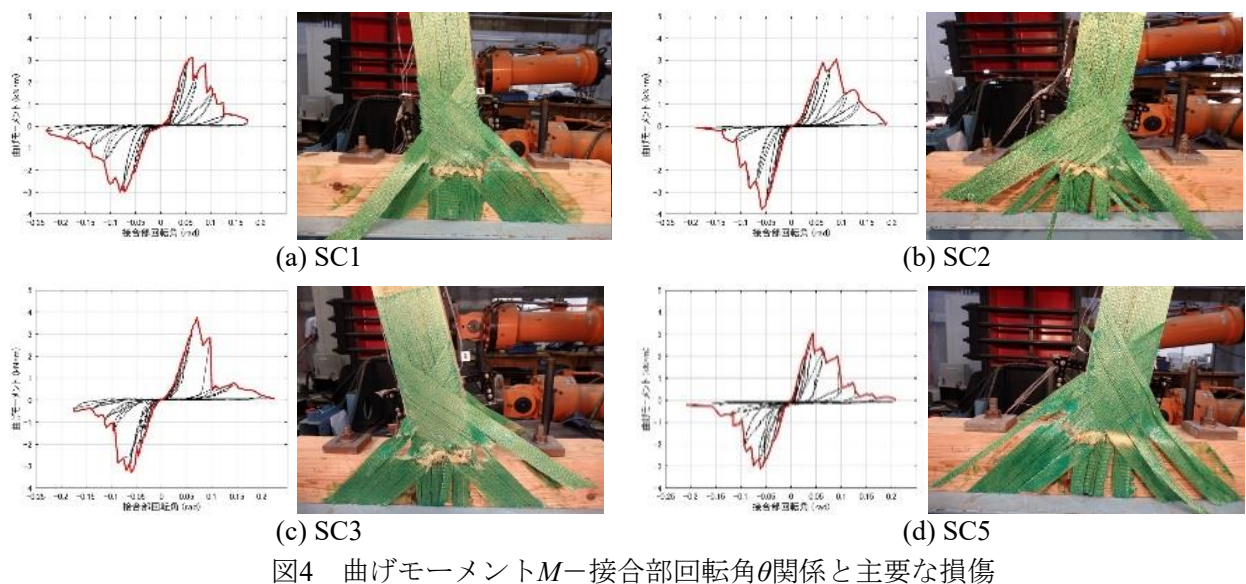
### 5. 柱-土台試験体の曲げ試験の結果

SC1, SC2, SC3, SC5の試験体の曲げモーメント $M$ -接合部回転角 $\theta$ 関係と主要な損傷を図4に示す。

S1形式では、SN両側の一部のシートが外縁から剥がれ始め、SN両側のシートの剥離後に抵抗力を失った。S2, S3形式では、加力開始直後から、柱と土台の界面で圧縮力による強化プラスチック層の破砕が生じ、SN両側の柱と土台の界面でシートが外縁から上下に分断し始めた。

SC1形式とSC3形式では、S側の一部のシートが外縁から剥がれ始めた後、木材非接着部のシートの

大部分が千切れた。N側では柱からの剥離と土台からの剥離が生じ、SN両側のクロス貼りシートの概ねが抵抗力を失った。SC2形式では、木材非接着部のシートや非含浸部付近でシートが浮きはじめた後、一部のシートが剥がれた。NS両側の土台に貼った最外縁のシートが剥離した後、概ね外縁から順にシートが剥離または破断した。SC4試験体では、SN両側のシートが外側から剥がれ始めた後、SN両側の外縁のシートから剥離が進行し、S側では土台シートの大部分が剥離した。その後、S側での剥離領域が広範囲に渡り、N側では非含浸部でシートが破断した。SC5試験体は、SN両側のシートが外縁から剥がれ始めた後、N側で土台シートの大部分が剥離した。その後、N側で柱からの剥離が始まり、S側では土台シートの大部分が剥離した。



## 6. 実大架構実験の結果

復元力特性から $P\Delta$ 効果を除いた水平荷重—層間変形角関係の骨格曲線の比較を図5(a)に、実験の様子とE柱の柱頭のシートの損傷を図5(b),(c)とする。また、シートの剥離または破断破壊が生じた層間変形角領域を範囲(1)～(3)に分けて記述する。

スプリット状にしたアラミド繊維シートは全て外縁から順に剥離した。クロス貼りシートはE、W柱で異なる破壊性状を示した。E側土台クロス貼りシートは土台の割裂に起因し、柱脚E側シート以外はほぼ剥離した。W柱も柱脚E側シート以外はほぼ剥離したが、残存箇所起因したねじれが

生じた。1/15 radで最大水平抵抗力2.63kNを示し、W側の土台が割裂し、1/8radで水平抵抗力を喪失した。

範囲(1)では対角にある接合部で概ね同時にシートが剥離した。範囲(2)では多くのシートが剥離、または、破断破壊した。範囲(3)では縦貼りシートにも損傷が生じた。主な破壊性状は、土台からの剥離、木材非接着部での破断の2種類であった。基本的には、シートは外縁から1グループずつ剥がれるが、前述のように施工が難しく、施工時に樹脂が流れたことで複数の繊維グループが一体化してしまい、複数枚同時に剥離する場合があった。同時の剥離が生じた際には、抵抗力が急激に失われた。

## 7. 研究成果のまとめ

本研究では、アラミド繊維シートを用いた既存木造建物の柱脚補強法に着目した既往の検討結果に基づき、スプリット状の破壊モードを誘発するシート貼付手法を提案した。また、提案手法の効果を確認するため、柱-土台接合部試験体を用いた曲げ試験、および実大架構を用いた静的加力実験を実施し、破壊性状や復元力特性を把握した。

主な知見を以下に示す。

- 1) シートを予めスプリット状にすることで、最外縁シートから順に剥離する破壊モードを誘発することが可能となり、最大曲げモーメント到達以降の急激な耐力低下は回避でき、変形性能を向上させることができる。また、シートをスプリット状にしたことに伴う最大耐力への影響は大きくない。
- 2) クロス貼りシートの分割方法に関しては、最外縁グループの畝数が多い方が耐力が高く、反対に、畝数が少ない方が変形性能が高い。
- 3) 縦貼りシートの分割方法はクロス貼りに比べて復元力特性へ与える影響が小さい。
- 4) 架構復元力に関して、シート補強後はV字金物の場合より概ね2倍の最大耐力を示した。また、アラミド繊維シートを予めスプリット状にして補強することで脆性的な破壊は回避でき、概ね想定どおり、段階的に復元力が低下した。

今後の課題を以下に示す。

- 5) 現在までの検証では、貼付形式と復元力の関係を明確に定量化することが難しかった。今後は追加検証を繰り返し、地震時のシートの損傷の程度と最大層間変形角の対応を明確にすることを旨とする。

## ( 発表論文 )

- 1) 浅岡優奈, 小池奨, 陳昕岩, 多幾山法子: アラミド繊維シート補強法を施した木造住宅の柱-土台接合部の変形性能の向上, 日本建築学会関東支部研究報告集, 89(I), pp.289-292, 2019.3
- 2) 小池奨, 陳昕岩, 多幾山法子: 既存木造住宅の耐震性向上を目指したアラミド繊維シート接合部補強法の展開 (その 4) スプリット状貼付形式の提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2019.9. (掲載予定)
- 3) 船津寛子, 陳昕岩, 多幾山法子: 既存木造住宅の耐震性向上を目指したアラミド繊維シート接合部補強法の展開 (その 5) 実大架構実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2019.9. (掲載予定)