

伝統的構法通し貫仕口のめり込みの繰り返し復元力特性

Restoring Force Characteristics of Embedment of Traditional Wooden Joints due to Cyclic Loadings

棚橋秀光¹・大岡優²・白井悠吾³・岩本いづみ⁴・鈴木祥之⁵

Hideaki Tanahashi, Yu Ooka, Yugo Shirai, Izumi Iwamoto and Yoshiyuki Suzuki

¹立命館大学客員研究員 衣笠総合研究機構 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

Visiting Researcher, Ritsumeikan University, Kinugasa Research Organization

²都城工業高等専門学校講師 建築学科 (〒885-0034 宮崎県都城市吉尾町 473 番地の 1)

Lecturer, National Institute of Technology, Miyakonojo College

³大阪府立大学工業高等専門学校専攻科生 (〒572-8572 大阪府寝屋川市幸町 26-12)

Advanced Course Student, Osaka Prefecture University College of Technology

⁴大阪府立大学工業高等専門学校講師 総合工学システム学科 (〒572-8572 大阪府寝屋川市幸町 26-12)

Lecturer, Osaka Prefecture University College of Technology

⁵立命館大学教授 衣笠総合研究機構 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

Professor, Ritsumeikan University, Kinugasa Research Organization

The authors have researched the mechanisms and formulations of traditional wooden joints with wedges applying the Elasto-plastic Pasternak model. However, restoring force characteristics of embedment of traditional wooden joints due to cyclic loadings have not been clarified so far, although cyclic loadings have significant effects on their behaviors. Thus, the authors carried out the basic embedment tests of traditional wooden joints with/without wedges due to cyclic loadings and their restoring force characteristics were obtained and discussed. As a result, cyclic loadings have large effects on the stiffness and strength of the restoring force characteristics of joints.

Keywords : traditional wooden joint, restoring force characteristics, embedment, cyclic loading

1. はじめに

伝統木造建築物においては、地震時における仕口（接合部）の回転抵抗による復元力の適切な評価が最も重要となる。著者らは柱貫接合部の復元力は主に回転めり込み抵抗に起因すると考え、十字型通し貫仕口の弾塑性にわたる復元力のメカニズムとその復元力特性の定式化を提案¹⁾した。また、実際の仕口では接触部の密着度を向上させるために楔を用いることが多く、楔の果たす効果および緩み挙動を含めた接合部性能の把握が耐震評価上の重要な課題となることから、楔の締固め効果や剛性増大効果、楔特有の拔出しや繰り返し载荷による仕口の復元力の低下挙動などに関する解明を進めてきた²⁾。その結果として、楔を持つ仕口のめり込み抵抗のメカニズムを、楔打ち込みに伴う導入支圧力・接触長さや回転角の関係で3つの段階（楔Aモデル、楔Bモデル、楔Cモデル）に区別して力学モデルを構築し、その定式化とシミュレーションを試み、A、Bモデルについてはシミュレーションが有効であることを検証した²⁾。

また、仕口の復元力には摩擦抵抗が含まれ、摩擦係数を低減すると摩擦抵抗モーメントが大きく減少することを検証し、摩擦が復元力特性に大きな影響を持つことを明らかにした¹⁾²⁾。あわせて、楔の支圧力によ

る摩擦抵抗が摩擦によるエネルギー吸収機構を持つことを確認した²⁾³⁾。しかし、地震時挙動に重要な意味をもつ繰り返しに伴う復元力特性やメカニズムはまだ解明途上にあり、検討課題となっていた³⁾。

繰り返し挙動に関する既往の研究としては、繰り返しの復元力特性に関する実験や解析モデルと定式化の提案は少なくない⁴⁾⁵⁾などが、そのほとんどは耐力壁・非耐力壁を含む構造要素や架構の静的・動的な実験に基づく提案⁴⁾⁵⁾であり、伝統的構法の仕口に焦点をあてた、繰り返しのメカニズムの解明とその定式化の提案は見られない。

そこで、今までの一連の研究の成果にたつて、本研究では、楔の有無を含めた十字型通し貫仕口の復元力特性の繰り返しによる強度・剛性の変化の解明を主な目的として、新たに基礎的な実験として、全面圧縮・部分圧縮（めり込みと同義）の繰り返し載荷実験を行い、繰り返しに伴う圧縮の復元力特性を把握する。あわせて、仕口の回転めり込みの繰り返しの復元力特性については、既往の実験データを参考に、繰り返しの力学モデルの推定を行う。最終的には伝統的構法の仕口の繰り返しの復元力特性の定式化とシミュレーションを行い、地震応答解析、限界耐力計算などに適用できるようにすることをめざす。

2. 全面圧縮・部分圧縮の繰り返し実験の概要

実験は十字型通し貫仕口を想定した実大めり込み試験体と材料試験を含む小試験体とし、楔を持たない仕口を実験1、三角楔と平行楔を持つ仕口を実験2として、同一の原木のヒノキ・ケヤキの厚さ30mmの板材より試験体を採取、加工した。その一覧表を表1に示す。試験体は図1に例示するように、通し貫仕口用の貫を、予備用を含め連続して木取りした。木口の年輪傾角はできるだけ半径方向の圧縮の試験体をめざして木取りしたが、図1のようにFHK・PHK以外の試験体の圧縮方向の半径方向からのずれは12~22°程度であった。また、実大試験体100mmの高さの範囲で年輪傾角の変化も若干見られた。小試験体は縦圧縮試験体（LH、LHK、LK）と繰り返し横圧縮試験体（H、HK、HW、K）、実大の全面圧縮・部分圧縮をセットとした繰り返し試験（FH・PHシリーズ、FHW・PHWシリーズ、FHK・PHKシリーズ）からなる。未実施の予備試験体は表から除外してある。

表1 試験体一覧表

実験	試験体記号	樹種	寸法(奥行×高さ×幅)	個数	載荷状態	載荷法	備考
実験1	H-1,2,3	ヒノキ	30×60×30	3	全面横圧縮	繰り返し7×③	
	LH-1,2,3	ヒノキ	30×60×30	3	縦圧縮	単調増加	
	FH-1,2,3	ヒノキ	30×100×100	3	全面横圧縮	繰り返し7×③	
	PH-1,2,3	ヒノキ	30×100×400	3	部分横圧縮	繰り返し7×③	
実験2	HK-1,2	ヒノキ	30×60×30	2	全面横圧縮	繰り返し1×③	
	HK-3,HW-1	ヒノキ	30×60×30	2	全面横圧縮	繰り返し7×③	途中まで除荷
	LHK-1,2,3	ヒノキ	30×60×30	3	縦圧縮	単調増加	
	K-1,2,3	ケヤキ	30×60×30	3	全面横圧縮	繰り返し7×③	
	LK-1,2,3	ケヤキ	30×60×30	3	縦圧縮	単調増加	
	FHW-1,2,3	ヒノキ	30×100×100	3	全面横圧縮	繰り返し7×③	三角楔HK-T
	FHK-1,2,3	ヒノキ	30×100×400	3	全面横圧縮	繰り返し7×③	平行楔FW
	PHW-1,2,3	ヒノキ	30×100×100	3	部分横圧縮	繰り返し7×③	三角楔HK-T
	PHK-1,2,3	ヒノキ	30×100×400	3	部分横圧縮	繰り返し7×③	平行楔FW
	FH-4	ヒノキ	30×100×100	1	全面横圧縮	繰り返し1×①	
PH-4	ヒノキ	30×100×400	1	部分横圧縮	繰り返し1×①		

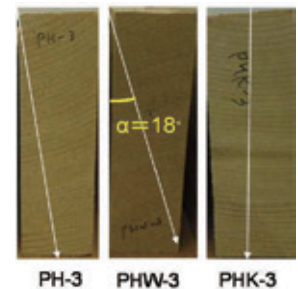
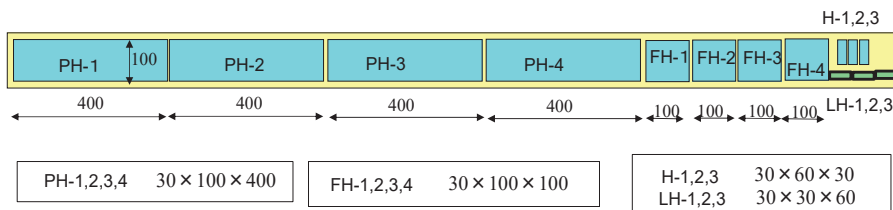


図1 試験体の木取り要領と形状・寸法例（FH・PHシリーズ）と木口の年輪傾角の例

繰り返し載荷の載荷スケジュールは、圧縮ひずみ 0.01、0.02、0.03、0.05、0.1、0.15、0.2 の 7 ステップ、

各ステップ 3 サイクルを基本 (図 5) とし、表 1 にはステップ数 7×サイクル数 3 を繰り返し 7×③などと表現している。HK-3、HW-1 は除荷の途中で繰り返す変則スケジュール (図 6) とした。FH-4、PH-4 はひずみ 0.2 の 1 往復のみで、繰り返しの有無の比較のために行った。

縦圧縮試験はJISZ2101に準拠し、ひずみゲージを用いて単調増加で荷重速度0.2mm/min で荷重して、縦ヤング係数、最大応力度を求めた。横圧縮の場合は、楔を持つ仕口を含めて変位/初期荷重板間距離をひずみとして扱う。荷重速度は変位0と設定変位の往復で2分となる速度で変位の自動制御で島津製作所万能試験機にて荷重した。したがって荷重速度は0.6~20mm/minとなる。図2~4に荷重のセットアップを示す。挟み式のめり込み試験となっており、弾塑性パステルナーク・モデル (EPMと略す) ⁶⁾による全面圧縮と部分圧縮の比較を意図している。ただし、楔を持つものは挟み式でも上下の対称性は保証されない。

楔はケヤキで、三角楔は図 7 に示す形状とし、セットアップした状態で上下の荷重板間隔を 125 mm に固定し、変位を固定して計測を開始した後、楔を 2 人で左右からハンマーで手で打ち込めるだけ打ち込んで、支圧力を導入してその数値を確認してから荷重を開始した。この手法は既往の研究 ⁷⁾で行っており、楔を打ち込む際に横にはみ出さないように図 7 の溝付荷重板 ⁷⁾を使用した。平行楔は幅 30 mm 高さが 25 mm のケヤキを三角楔と同じ条件となるように設置したが、楔の打ち込み、支圧力の導入はない。平行楔は、ヒノキとケヤキを重ねた複合部材の圧縮特性を把握し、三角楔によるめり込み特性との比較のためのものである。実験は、立命館大学セル実験室と都城工業高等専門学校の実験室にて、2016 年 2 月~3 月に実施した。

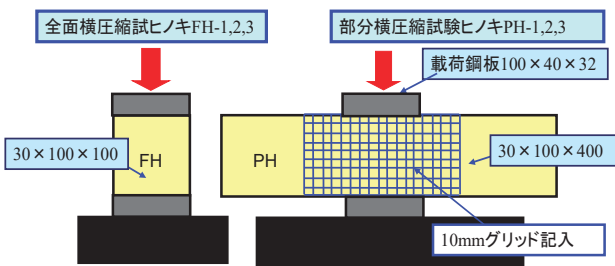


図 2 FH・PH シリーズのセットアップ

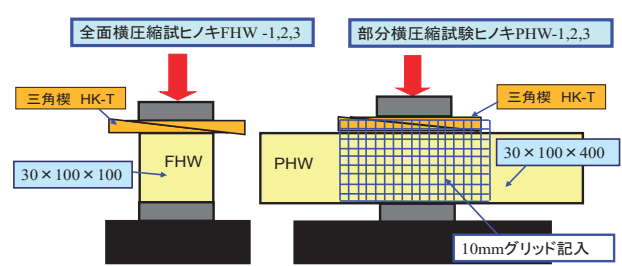


図 3 FHW・PHW シリーズのセットアップ

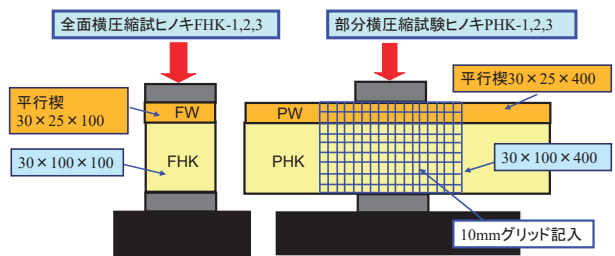


図 4 FHK・PHK シリーズのセットアップ

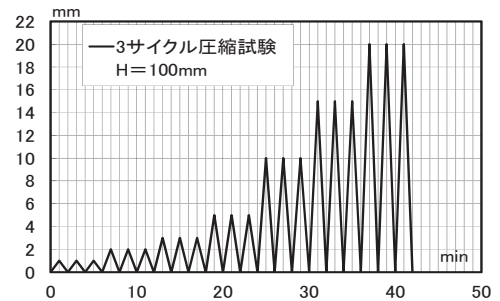


図 5 荷重スケジュール (高さ 100 mm の場合)

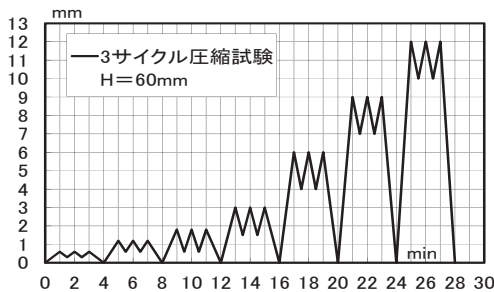


図 6 変則荷重スケジュール例 (除荷途中で繰り返す)

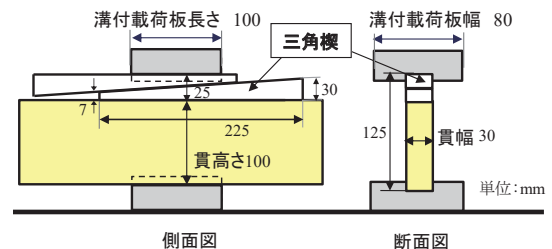


図 7 三角楔 HK-T と荷重板形状・寸法

3. 実験結果の概要と分析

(1) 材料定数

主な材料特性を小試験体・実大試験体含めて表 2 に示す。含水率は実大試験体は高周波式、小試験体は全

乾法による。ヒノキの縦圧縮ヤング係数はケヤキより大きいのが特徴である。

表 2 試験体の材料定数一覧表

平均値:()は変動係数を示す

樹種	密度 (g/cm ³)	縦圧縮ヤング係数 (N/mm ²)	縦圧縮強度 (N/mm ²)	横圧縮ヤング係数 (N/mm ²)	横圧縮降伏応力度 (N/mm ²)	含水率 (%)
ヒノキ	0.42 (0.03)	11751 (0.06)	46.2 (0.06)	383 (0.34)	5.3 (0.29)	9.1 (0.29)
ケヤキ	0.69 (0.02)	11606 (0.09)	65.6 (0.05)	1128 (0.03)	14.8 (0.06)	8.2 (0.04)

(2) 小試験体の繰り返し圧縮試験結果とその特徴

小試験体のヒノキの H-1~3、ケヤキの K-1~3 の繰り返し横圧縮の復元力特性は差異が少なく、代表的な H-1 と K-1 の EPM の完全弾塑性の復元力特性シミュレーション (EPM Sim. と略す) とを重ねて図 8、9 に示す。また比較のために 1 ステップ 3 サイクルの試験体 HK-1、2 の結果を図 10 に示す。先行研究で示した図 11 の概念図³⁾は、降伏後の剛性の差異を除けば、実験的にも概ね検証ができたと考える。

全面圧縮の降伏後の繰り返しの包絡線は、既往の全面圧縮試験と比べて強度増大がやや大きい傾向が見られる。特にケヤキにその傾向が大きい。材料の本来の特性か、繰り返しによるものかは现阶段では判断できない。繰り返しのないヒノキの場合は増大傾向は小さい (図 10 : HK-1、2)。

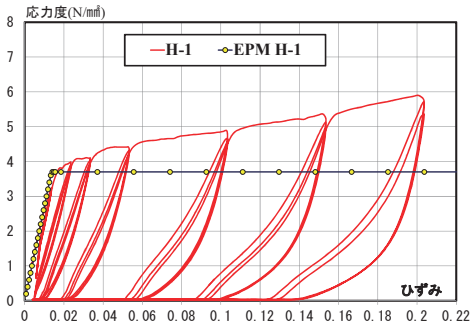


図 8 H-1 の復元力特性と EPM Sim.

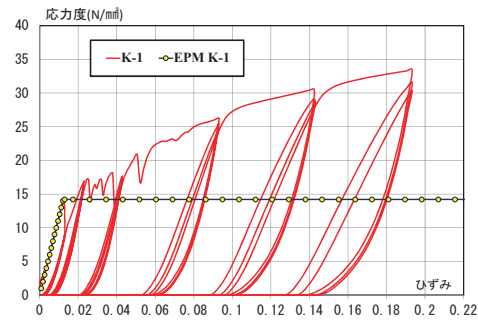


図 9 K-1 の復元力特性と EPM Sim.

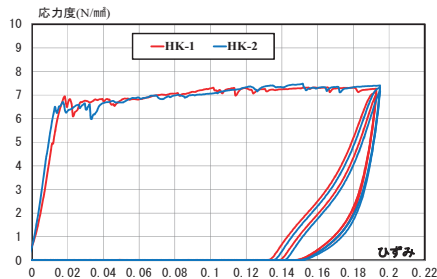


図 10 HK-1、HK-2 の復元力特性

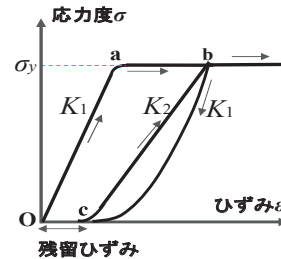


図 11 全面横圧縮の復元力特性の概念図

(3) 実大試験体の繰り返しのめり込み復元力特性

実大試験体のめり込み実験結果を、全面圧縮と部分圧縮を重ねて示す。各シリーズの 3 体とも実験結果に大差はないので代表例として、楔のない FH・PH のシリーズ、三角楔を持つ FHW・PHW シリーズ、平行楔の FHK・PHK シリーズの一組ずつ図 12-14 に示す。三角楔の場合は、楔打ち込による導入支圧力は、FH シリーズで平均 5.8kN(打ち込み量 16.3mm)、PH シリーズで 7.0kN(打ち込み量 19.7mm)であった。

さらに図には EPM によるシミュレーション⁶⁾のグラフを重ねて示し、そのパラメータを表 3 に示す。このシミュレーションは、小試験体の全面圧縮・部分圧縮試験のシミュレーション²⁾を実大のめり込み実験に適用したもので、横圧縮ヤング係数は実大全面横圧縮試験の結果を用い、シミュレーションは実験結果に合うように決めた。

楔の圧縮剛性評価の比較のために平行楔の試験を行ったが、全面圧縮の試験体で得た等価なヤング係数で比較すると、三角楔平均 257N/mm²<楔無し 387 N/mm²<平行楔 670 N/mm²と大きな差が生じた。平行楔の等価な横圧縮ヤング係数をヒノキ HK の平均値 (E=510 N/mm²) とケヤキ K の平均値 (E=1128 N/mm²) の直

列の圧縮ばねで評価すると 573 N/mm^2 となり、実験値 670 N/mm^2 とはかなり差がある。FHK シリーズは楔なし PH シリーズに比べ、年輪傾角がほぼ半径方向载荷のため、横圧縮ヤング係数が一回り大きくなった点を考慮しても差が大きい。平行楔 FHK の降伏応力度は強度の小さいヒノキで決まると考えられ、材料試験と同程度であった。三角楔の圧縮に伴う滑りは生じていないことを目視および写真により確認したが、等価な圧縮ヤング係数が小さくなる理由は、現段階では不明である。

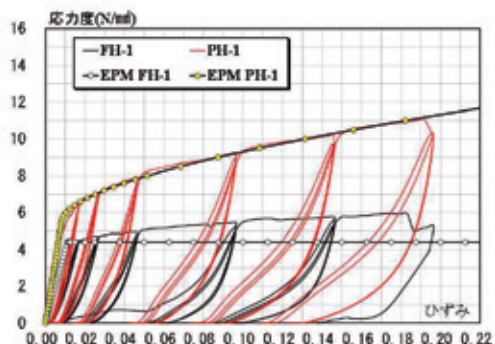


図 12 FH-1、PH-1 の復元力特性と EPM Sim.

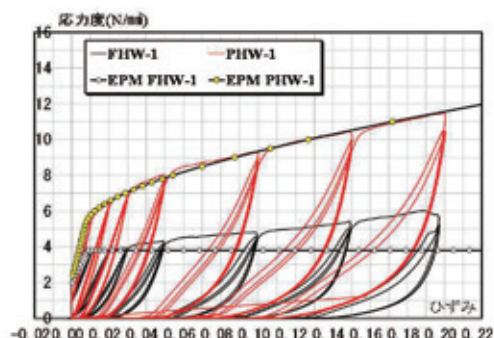


図 13 FHW-1、PHW-1 の復元力特性と EPM Sim.

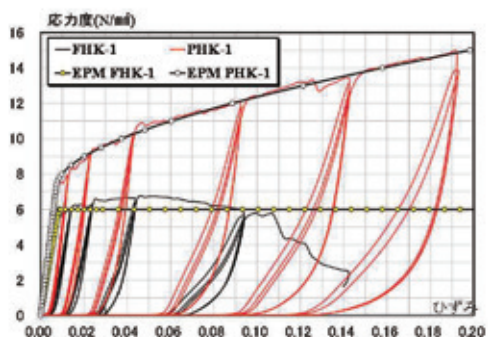


図 14 FHK-1、PHK-1 の復元力特性と EPM Sim.



図 15 FHK-1 の破壊状況

表 3 EPM シミュレーションのパラメーター一覧表

	$E \text{ (N/mm}^2\text{)}$	ϵ_y	γH	η	C	$\sigma_y \text{ (N/mm}^2\text{)}$	楔
PH-1	400	0.011	1.40	1.35	41	4.4	楔なし
PH-2	400	0.011	1.45	1.25	40	4.3	
PH-3	360	0.011	1.50	1.20	37	4.0	
平均	387	0.011	1.45	1.27	39	4.2	
変動係数	0.049	0.000	0.028	0.049	0.043	0.040	
PH-4	322	0.013	3.0	1.00	25	4.2	楔なし
PHW-1	235	0.016	1.50	1.30	20	3.8	
PHW-2	265	0.014	3.00	1.05	14	3.8	ケヤキ三角楔
PHW-3	270	0.014	3.00	1.03	13	3.8	
平均	257	0.015	2.50	1.13	16	3.8	
変動係数	0.060	0.063	0.283	0.109	0.197	0.000	
PHK-1	697	0.009	2.80	1.18	40	6.0	ケヤキ平行楔
PHK-2	680	0.009	1.60	1.45	45	6.0	
PHK-3	633	0.009	2.00	1.18	70	6.0	
平均	670	0.009	2.13	1.27	52	6.0	
変動係数	0.040	0.030	0.234	0.100	0.254	0.000	

先行研究³⁾で楔をもつ仕口の回転めり込みのシミュレーションで、貫と楔の複合部材の圧縮剛性を単純に直列のばねで評価を試みたが、今回の実験結果の複合剛性は全体に低下する傾向があった。図 14 の FHK-1 はひずみ 0.05 付近から強度が低下し、最終的に図 15 に示すような座屈と年輪傾角の不均一性による破壊が生じた。これは同じシリーズの他の 2 試験体でもほぼ同様な傾向を示したが、小試験体では起きなかったことから、部材の高さが相対的に高い全面圧縮試験体では座屈しやすくなるためと考えられ、実際の仕口内ではほぞ穴の拘束により座屈は生じにくく、座屈の考慮は不要と考える。また、EPM シミュレーション結果のパラメータ、無次元特性値 γH はかなりばらつきがあるとともに、既往の数値¹⁾と差異があり、引き続き検討を要する。

(4) 繰り返しのめり込み復元力特性の特徴と定式化

小試験体・実大試験体を含めて、全面横圧縮の復元力特性の図 11 の概念図と比較しながら、繰り返しのめり込みの復元力特性の特徴をもとに定式化を提案する。

- a) 再载荷の载荷（上昇）ラインはゆるい弓型のカーブも見られるが、比較的直線的で、最大経験値を指向する。除荷では、図 16 のように初期の弾性剛性と概ね同じかやや大きい剛性で戻りはじめ、次第に剛性が低下してカーブしながら残留ひずみまで戻るが、3 イクル分の除荷カーブはほとんど重なる。
- b) そこで、図 16 のようにこの繰り返しのループを近似式として双曲線関数からなるループ関数 Φ_c : (1) 式を用いて表現し、2、3 回目の繰り返しのループの差異は無視して 1 本にまとめ、任意の **b** 点（そのひずみを ε_i ）で除荷が始まると(1)式に従って $\eta_d=2\sim 5$ の値をとって残留ひずみ点 **c**（そのひずみ s_i ）まで戻り、ひずみゼロまで戻った後、再载荷では残留ひずみ点 **c** までスリップしてから $\eta_u=1\sim 2$ の値をとって上昇を始める。ここで、 η はカーブの膨らみを制御するパラメータである。この関数と算定例を図 17 に示す。

$$\Phi_c(\eta, \Delta\varepsilon_i, \sigma_i) = \frac{\sinh(\eta / \Delta\varepsilon_i) \sigma_i}{\sinh \eta} \quad (1)$$

ここで、 $\Delta\varepsilon_i = \varepsilon_i - s_i = \varepsilon_i(1 - \alpha_i)$: ループの水平幅。 $\alpha_i = s_i / \varepsilon_i$: 残留ひずみ比。

σ_i : そのサイクルの最大応力度で、ループの高さ。

- c) 除荷開始のひずみ ε_i に対する残留ひずみ s_i の比を残留ひずみ比 α_i とし、 α_i の実験結果の平均値を求めると図 18 の破線になり、近似式で表すと (2) 式になる。同様に载荷と除荷のパラメータの平均値（破線）と定式化を図示すると図 19 になり、近似式を (3)、(4) 式に示す。この定式化により、実験結果のシミュレーションも基本的にも可能になるが、(2)~(4) 式は今回の実験データによる平均値であり、ばらつきも考えるとシミュレーションの結果は平均的なものになる。

$$\alpha_i = 0.20 \ln(\varepsilon_i) + 0.97 \quad (2)$$

$$\eta_{ui} = 4.89 \varepsilon_i + 1.0 \quad (3)$$

$$\eta_{di} = 1.33 \ln(\varepsilon_i) + 7.3 \quad (4)$$

- d) 以上の検討により、塑性剛性の増大傾向を除けば、図 11 で示した概念図は実験的にも概ね検証ができたと考える。

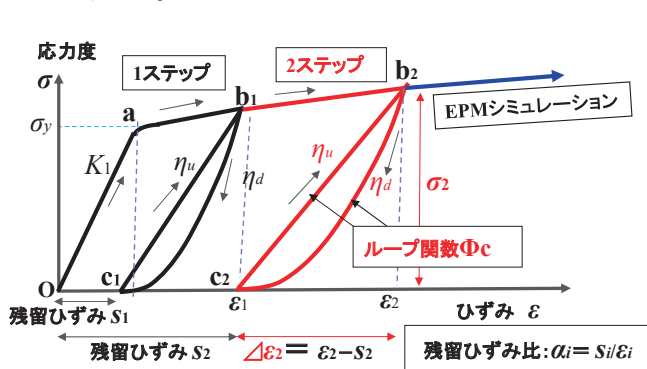


図 16 繰り返し载荷ループの概念図

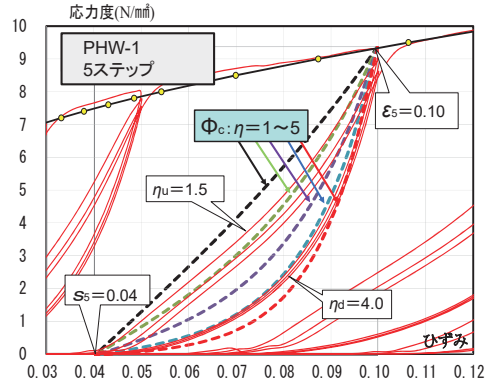


図 17 関数 Φ_c による繰り返しループの解析要領

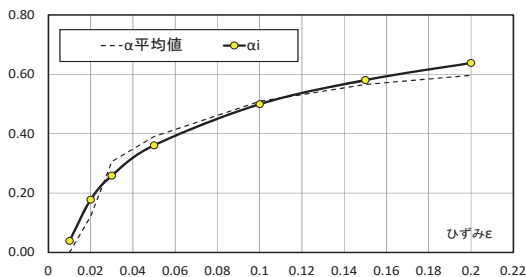


図 18 残留ひずみ比 α_i

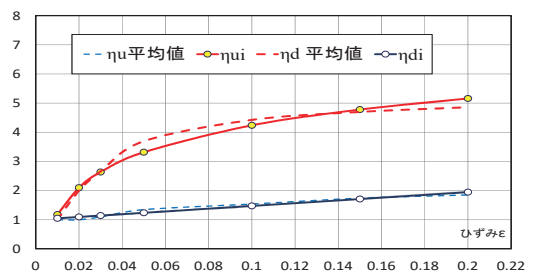


図 19 载荷・除荷のパラメータ η_{ui} , η_{di}

4. 回転めり込みの繰り返しによる復元力特性

先行研究³⁾で、著者らは図20の回転めり込みの回転角とモーメントの関係の概念図を提案した。今回の実験では、摩擦抵抗を含まない回転めり込みのみの復元力特性を把握するための実験はできていないが、岩本ら⁸⁾は摩擦抵抗を含まないで回転めり込みのみの抵抗を把握するために、梘子式のジグを用いて楔なしで繰り返し回転めり込み実験を行い図21の復元力特性を得ている（未発表資料）。参考に、包絡線のEPMのシミュレーションを行い、そのEPMパラメータを図21下部に追加している。図21の回転めり込みの繰り返しの挙動は、除荷の初期剛性がやや大きく、ループが右側に膨らむ傾向があることを除けば、本実験で得られた繰り返しめり込みの挙動と多くの共通点があり、図20の回転めり込みの概念図は妥当なものと判断できる。

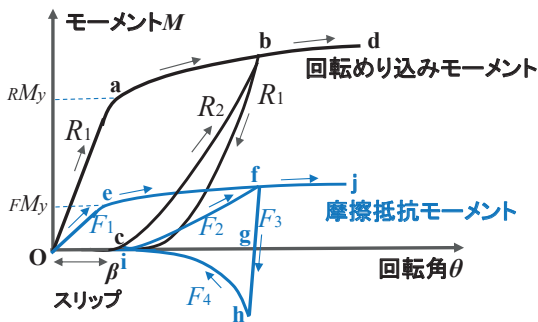


図20 回転めり込みの復元力特性の概念図

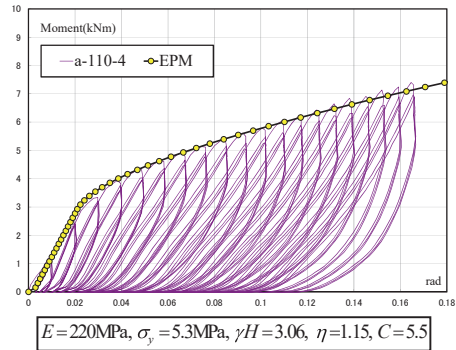


図21 多サイクル回転めり込みの復元力特性

また、現段階では摩擦抵抗モーメントを直接求める実験手法の見通しはないが、先行研究³⁾でテフロンによる摩擦低減した復元力特性が得られており、楔を持つ仕口の全抵抗モーメントから回転モーメントのみ（ただしテフロンで除去できなかった摩擦抵抗を若干含む）を差し引くことで、摩擦抵抗の復元力特性 M_F の推定を試み、図22に示す。これによれば、図20の摩擦抵抗モーメントの除荷の経路 $fghi$ の特異な傾向がはっきり表れている。正載荷初期の立ち上がりが急なのは、楔による剛性増大によるもので、摩擦滑りが発生する前の仕口のシアーパネルのせん断剛性によるものと解釈している³⁾が、実験的な検証はまだできていない。負載荷でその傾向が見られないのは、塑性変形または楔の抜け出しにより楔効果が減退したためと推察する。

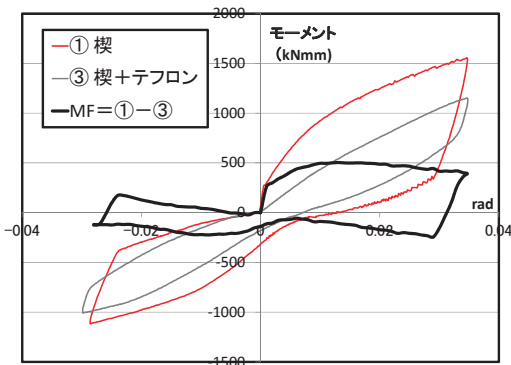


図22 摩擦抵抗モーメント M_F の推定

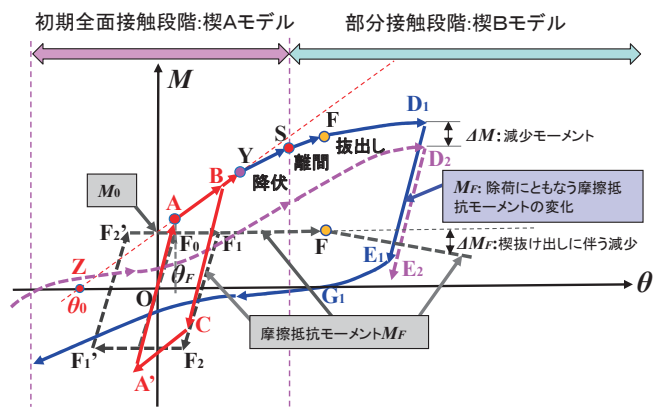


図23 復元力の履歴ループと剛性変化の概念図

5. 繰り返し载荷による除荷段階と再载荷段階（楔 Cモデル）のめり込みメカニズム

先行論文³⁾では、図23の復元力の履歴ループと剛性変化の概念図を示して、貫と柱または楔の接触長さと支圧力の関係から初期全面接触の段階の楔Aモデルと部分接触の段階の楔Bモデルの段階に区別して復元力特

性のメカニズムを検討してきたが、繰り返し载荷の段階を楔Cモデル（図24）と称し、図23の除荷により荷重が戻り、さらに再载荷の繰り返すループとして、 D_1E_1 の除荷剛性、負载荷から ZD_2 に至る再载荷の剛性を検討する。

図 24 に示す β は繰り返しに伴い、剛性が立ち上がる回転角で、めり込みの繰り返しの場合の残留ひずみ s_i に相当するもので、相互に関連があると思われる。

図 23 において、除荷の剛性は初期剛性すなわち横圧縮ヤング係数による剛性に、摩擦力の反転に伴う高剛性（図 20 の **fg**）と反転後の **hi** が加算されて結局、**OA** にほぼ平行な剛性で戻り、 E_1 点で折れ曲がり後は緩やかに推移する E_1G_1 のカーブを描くことは妥当なものと考えられる。ただし、そのまま水平に原点 O に戻るかどうかは、楔と残存支圧力の関係が絡んで、現段階では確定できない。本研究では、繰り返しめり込みの復元力特性の検討に重点があるが、回転めり込みについても、3章で試みた手法を手がかりにして、定式化の構築を図りたい。

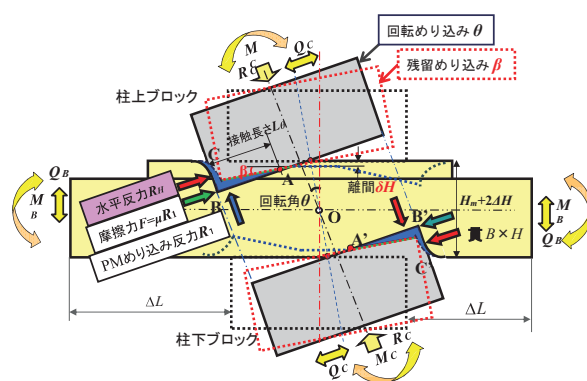


図 24 除荷段階と再载荷段階の楔 C モデル

6. まとめと今後の課題

本研究では、楔の有無を含めた十字型通し貫仕口の復元力特性の繰り返しによる強度・剛性のメカニズムの解明を主な目的として、新たに基礎的な実験として、全面圧縮・部分圧縮の繰り返し载荷実験を行い、繰り返しに伴う圧縮の復元力特性の特徴とメカニズムを明らかにし、双曲線関数のループ関数による簡潔な定式化の構築を試みた。

仕口の回転めり込みの繰り返しの復元力特性については、既往の実験データを参考に、繰り返しの力学モデルの推定を行い、その定式化の手がかりを得た。その解明のためには、回転めり込みのみと摩擦抵抗の繰り返しの復元力特性とを分離して求める必要がある。摩擦抵抗モーメントのみの復元力特性を直接求めることは現段階では困難であることから、通し貫仕口の回転めり込み実験でテフロンなどを用いて摩擦抵抗モーメントを低減する実験を行い、回転めり込みと摩擦抵抗の繰り返しのメカニズムを解明することが残された課題となる。その中で、塑性変形と繰り返しに伴う楔の支圧力の変化、正負の繰り返しの特性、繰り返しサイクル数の増加に伴う劣化などの変化、ランダムな繰り返しによる挙動などの検討も引き続き行う。

参考文献

- 1) 棚橋秀光・鈴木祥之：伝統木造仕口の回転めり込み弾塑性特性と十字型通し貫仕口の定式化、日本建築学会構造系論文集、Vol.76, No.667, pp.1675-1684, 2011.9.
- 2) 棚橋秀光・大岡優・伊津野和行・鈴木祥之：伝統的構法の楔をもつ仕口のめり込みメカニズム、歴史都市防災論文集、Vol.7, pp.97-104, 2013.7.
- 3) 棚橋秀光・大岡優・鈴木祥之：伝統的構法の楔の復元力特性に及ぼす効果、日本地震工学会論文集 第 16 巻、第 1 号(特集号)、pp.170-183, 2016.1.
- 4) 佐藤利昭ほか：木造軸組構法住宅の地震応答シミュレーション履歴特性のモデル化と振動台実験による検証一、日本建築学会構造系論文集 第 73 巻 第 631 号、pp.1569-1576, 2008.9.
- 5) 五十田博：大変形と繰り返しによる劣化を考慮した木造壁の復元力特性モデルの精度検証一木造建物の地震時挙動に関する研究 その 3一、日本建築学会構造系論文集 第 76 巻 第 659 号、pp.113-120, 2011.1.
- 6) 棚橋秀光・大岡優・伊津野和行・鈴木祥之：木材のめり込みメカニズムとめり込み弾塑性変位の定式化、日本建築学会構造系論文集、Vol.76, No.662, pp.811-819, 2011.4.
- 7) 大岡優・向坊恭介・棚橋秀光・伊津野和行・鈴木祥之：伝統的構法の各種楔をもつ仕口の実験的研究（その 5 楔つき仕口のめり込み実験）、日本地震工学会大会・2013 梗概集、pp.263-264, 2013.11.
- 8) 岩本いづみ・清水秀丸・鈴木祥之：木造軸組接合部の基本モデルによる回転めり込みと摩擦、第 12 回日本地震工学シンポジウム、pp.49, 2006.11.