

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：32704

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26820236

研究課題名(和文)木質構造における筋かいの座屈耐力と変形能力に期待した耐力壁の開発

研究課題名(英文)Development of structural wall with large deformation capacity focusing on its brace buckling strength in timber engineering

研究代表者

神戸 渡 (Kambe, Wataru)

関東学院大学・建築・環境学部・講師

研究者番号：90453000

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、木質構造の耐力壁の中で筋かいを用いた耐力壁に焦点を当て、その水平変形能力の高い耐力壁の開発に関する検討を行った。筋かいには単板積層材を用いることとし、樹種や積層材の構成に関する検討を行った結果、全層の繊維の向きをそろえた構成で、樹種をカラマツとしたものが望ましいことが分かった。それを用いた水平加力試験を行い、その抵抗メカニズムを把握し、また大きな変形能力を持つことを確認した。

研究成果の概要(英文)：In this study we would focus on the lateral deformation ability of structural wall with brace in timber engineering. At first we could material tests for brace members, we would change the wood species and configuration of layer in laminated veneer lumber. As a result, the laminated veneer lumber which wood specy is Japanese larch and grain direction of all layer is in parallel is suitable for those brace members. In next step, we conducted lateral loading tests with structural wall with brace. I would study its resitant mechanism and confirm the large deformation ability of those walls. And we studied the evaluation method of its load-doformation ability based on the material tests.

研究分野：構造工学

キーワード：木質構造 筋かい 座屈 変形能力 耐力壁

1. 研究開始当初の背景

木質構造の建築物の主なものとして、木造住宅が挙げられる。木造住宅を建築するための構法として、軸組構法が最も多いと言われており、軸組構法における耐震要素として最も重要なものは筋かい耐力壁である。

現在の木造住宅の耐震性能の検討には壁量計算が用いられている。壁量計算は層間変形角が 1/200 程度に収まるように設計している。一方で、壁量計算で想定している荷重が作用した後にも大きな変形能力があることは実験的には分かっているが、その変形量を期待した検討は難しい現状である。これは変形量が最終的にどの程度まで期待できるかが不明であることが原因であると考えられる。筋かい耐力壁の場合、筋かいが引張力を受ける場合には、金物接合部周辺の変形が耐力壁の変形に影響を及ぼす。一方で、圧縮力を受ける場合は、筋かいの座屈ともなう変形と金物接合部周辺の変形能力が耐力壁の変形に影響を及ぼす。そのため、耐力壁の耐力を高めるためには、接合部や筋かい材の強度が重要であり、変形能力を高めるためには、同じようにそれらの変形能力が重要となる。しかしながら、筋かいに座屈が発生した後の変形能力は現在のところ明らかにされていない現状である。この要因として、筋かい材に用いる材には製材を用いることが多く、製材は樹種のバラツキなどにより安定的な変形量を定めることが難しいという問題点があることに起因していると予測できる。

2. 研究の目的

本研究では、圧縮力をうける筋かい耐力壁が水平力をうける時の変形能力について検討することを目的としている。

その目的を果たすためには、大きな変形能力が期待できる材料であること、その変形能力が安定的であること、またそれらの性能を構造計算することが容易であること、これ等の事が必要な検討項目として挙げられる。そのために、まず筋かいの選定するための材料試験を行う。それらの結果に基づき、耐力壁の加力試験を行い、材料試験をベースにその水平変形性能に関する検討を行う。これらの手順に従って、研究を進める。

3. 研究の方法

まず、材料試験について検討する。圧縮力をうける筋かい材は、曲げ座屈が発生し、その後、曲げ破断することが一般的に分かっており、木質材料を対象として筆者の検討でも把握している。そこで、その実験方法を応用することとする。図 1 に示すような両端をピン支持とした単調圧縮試験を行う (以後、圧縮試験と呼ぶ)。圧縮試験での強度や変形性能は材料の長さによって変化することが分かっている。そこで、断面を 45×90mm 程度とし、長さを変化させた材料を用意し、それらの圧縮試験を行い、それらの座屈強度や変形性能を把握する。また、座屈強度を推定するための方法として、筆者が提案した方法が

ある。そのためには、日本住宅・木材技術センターが示しているマニュアルに基づいた短柱の縦圧縮試験を行う必要がある (以後、縦圧縮試験と呼ぶ)。縦圧縮試験から降伏ひずみを定め、それを応用し、座屈強度の推定を行う。これらの研究結果に基づき、筋かい材の選定を行う。試験の概要を図 2 に示す。

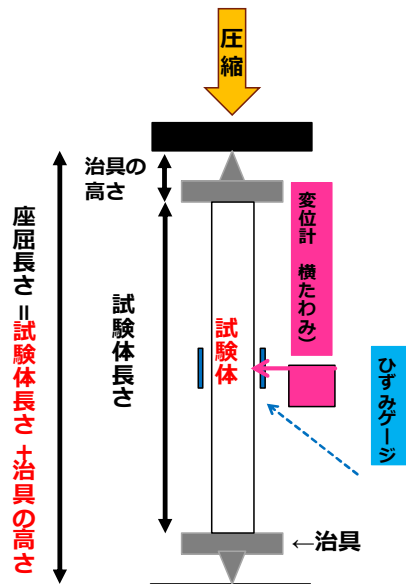


図1 圧縮試験の方法

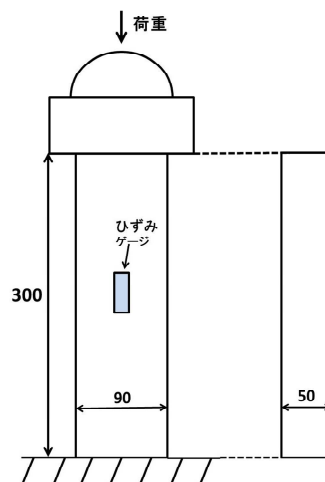


図2 短柱の縦圧縮試験の方法 (単位: mm)

圧縮試験におけるパラメータは、筋かい材の細長比である。試験体の長さを変化させることで、細長比が 50, 60, 70, 80, 100, 130, 150, 190 となるように試験体の長さを変化させた。

筋かい材に用いる木質材料は、単板積層材 (以下、LVL と呼ぶ。) を用いることとした。LVL は、エンジニアードウッドの 1 つであることから、材料の構造性能に関して、製材に比べてバラツキが小さいものと判断することができるためである。

次に LVL としてどのような材料を用いるかということが課題となる。LVL は厚さが 3mm 程度のベニヤを接着積層したものであるが、全層の繊維をそろえたものもしくは、2 層のみ直交層を入れたものを日本農林規格では A

種 LVL と呼ぶ。直交層の量が断面全体の 30% 以下のものを B 種 LVL と呼ぶ。本研究では、1 番目のものを LVL とよび、2 番目のものを LVB と呼ぶ。3 番目のものは研究初期の段階では検討項目として挙げていたが、LVB の実験を行った時点で、その後の検討の必要性が低いと判断したため、実施しなかった。これら LVL の種類を表 1 に示す。LVL と LVB の違いを図 3 に示す。

表 1 単板積層材の種類




	定義 (JAS)	通称	本研究
A種LVL		LVL	LVL
	<ul style="list-style-type: none"> 全ての層の繊維方向が揃っている 		
B種LVL		LVB	LVB
	<ul style="list-style-type: none"> 繊維直交層が最外層から2層目にある 繊維直交層の比率は全体の20%未満 		
B種LVL		LVB	LVB
	<ul style="list-style-type: none"> 繊維直交層が最外層から3層目にある 繊維直交層の比率は全体の30%未満 		



図 3 LVL の LVB の断面の様子

次に、樹種を選択が課題となる。第一段階として、現在の LVL で多く用いられることが多いカラマツを用いた LVL を対象とすることとした。2 番目の検討項目として、カラマツ、ヒノキ、スギを用いた LVL を対象とすることとした。3 番目にカラマツの LVB を対象とすることとした。

以上の検討から、カラマツの LVL を用いることが最も筋かい材の座屈強度の推定精度が高くかつ、変形性能も高いと判断することができたため、カラマツの LVL を筋かい材として用いた筋かい耐力壁の水平加力試験を行うこととした。本研究では特に、圧縮力を受ける場合の検討に着目しているため、片筋かい耐力壁で、筋かいに圧縮力が作用するときの実験に焦点を当てることとした。筋かい耐力壁の試験体の状況を図 4、図 5 に示す。

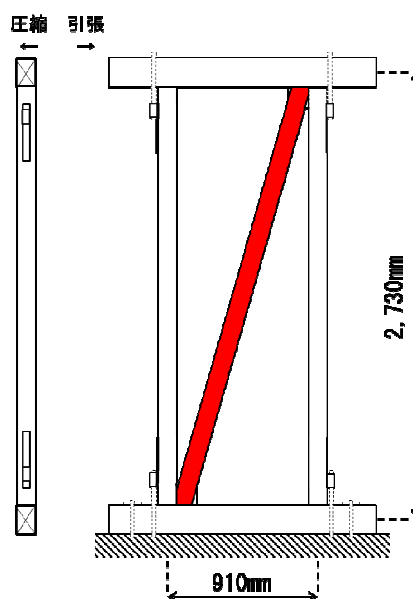


図 4 筋かい耐力壁の試験状況 (1)



図 5 筋かい耐力壁の試験状況 (2)

4. 研究成果

まず、圧縮試験の結果について示す。圧縮試験における筋かい材の曲げ変形の様子を図 6 に示す。加力が徐々に進むにつれて、曲げ変形が大きくなっていることが見て取れる。最終的には、材料の中間部分もしくは中間部分近傍にある接着層のあたりを起因とした曲げ破断が見られた。接着層近傍からの破断の様子を図 7 (左)、それ以外の一般部での破断の様子を図 7 (右) に示す。

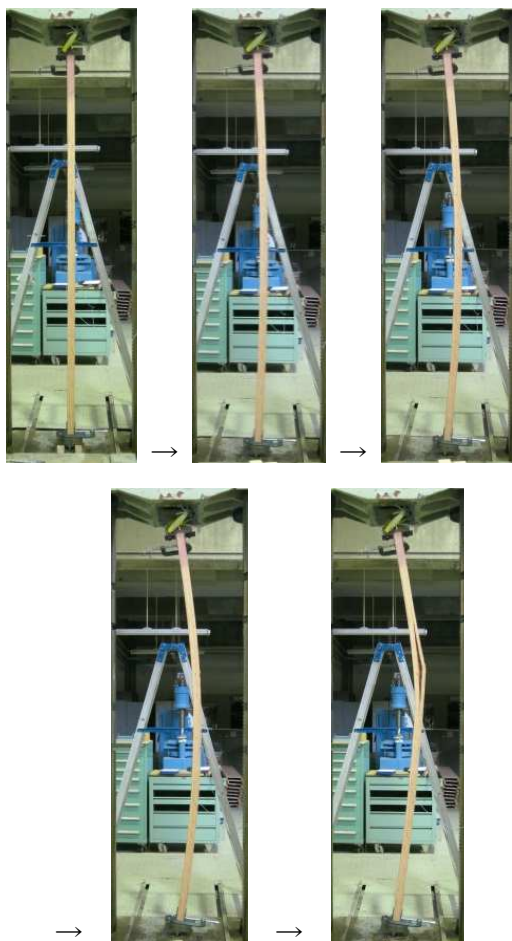


図6 圧縮試験における曲げ変形
(2年目に実施した試験結果より)

細長比: 190、(左から、設置時、 $1300\mu\epsilon$ 時、 $2600\mu\epsilon$ 時、 $3900\mu\epsilon$ 時、破壊時)



図7 曲げ破断の様子

次に短柱の縦圧縮試験から得られた応力ひずみ関係の例を図8に示す。この図から、弾性限界の点を降伏点と定義する。これは既往の研究における提案方法に準拠したものである。それらの結果、カラマツのLVLの降伏ひずみは $2400\mu\epsilon$ 、ヒノキのLVLの降伏ひずみは $2000\mu\epsilon$ 、スギのLVLの降伏ひずみは $1500\mu\epsilon$ 、カラマツのLVBの降伏ひずみは $1300\mu\epsilon$ であることが分かった。短柱の縦圧縮試験は1材料あたり3~4体行った。各結果における上二桁を有効とし、下二桁を切り

捨て、それらの下限値としている。統計的な処理をした値ではなく、あくまでこのあたりから降伏が始まったであろうと判断した点である。この手法にはまだ適切な機械的な処理を行う方法がなく、本研究においても試行錯誤したが、適切な方法を提案するに至っていないため、今後の課題である。

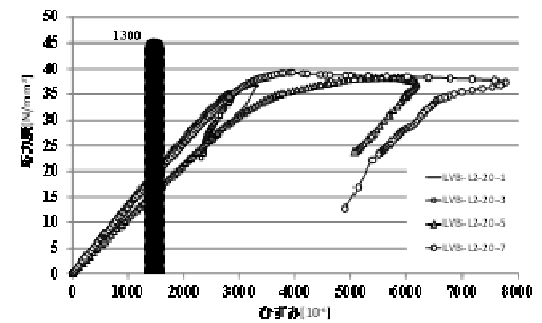


図8 短柱の縦圧縮試験における応力ひずみ関係

次に、圧縮試験における結果を示す。圧縮試験における荷重-横たわみ関係の例を図9に示す。細長比が大きくなるに従い、変形能力が大きくなっていることが分かる。筋かい耐力壁の変形性能に活かそうと着想したのは、このような変形能力である

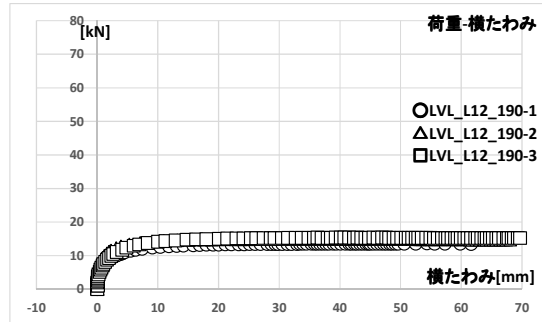
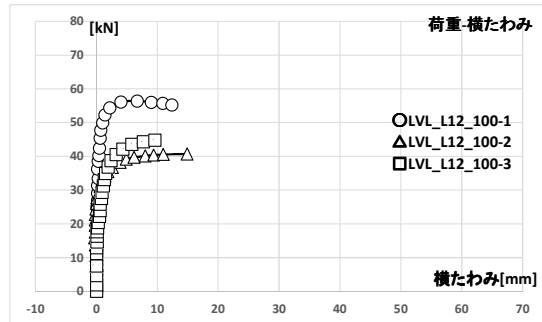
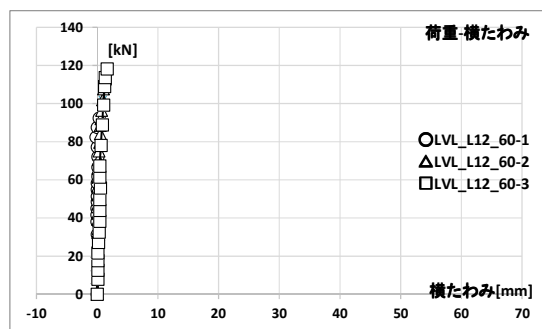


図9 荷重-横たわみ関係
(カラマツ、上から $\lambda=60, 100, 190$)

次に、ひずみ-応力度の関係例を図 10 に示す。図に示すように、加力の初期段階ではひずみの値はどちらも圧縮側に進むが、曲げ座屈が発生するに伴い、対称形になっていく。これが曲げ座屈の特徴である。この図において、ひずみが降伏ひずみに達した時の応力度を塑性座屈強度 (σ_3) と最大応力度 (σ_1) の値を用いて、座屈強度に関する検討を行う。座屈強度の評価には、弾性座屈の領域ではオイラーの方法を用い、塑性座屈の領域ではテトマイヤーの方法を適用した。

それらの推定結果と実験結果の関係を図 11~14 に示す。それぞれの材料で十分な精度で推定で来ていることが分かるが、これらの中で精度が最も高く、また変形能力が最も大きかったものはカラマツの LVL であった。以上のことから、本研究で対象とした材料の範囲内では、最も筋かい材に望ましい材はカラマツの LVL であると判断した。

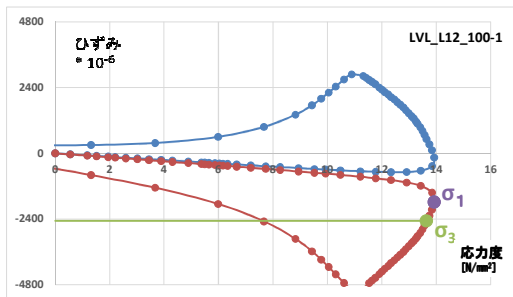


図 10 ひずみ-応力度関係の例

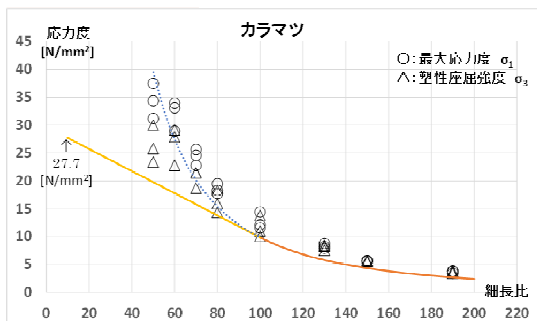


図 11 座屈強度の推定結果 (カラマツ、LVL)

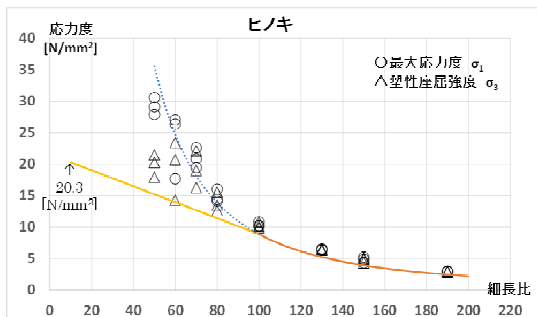


図 12 座屈強度の推定結果 (ヒノキ、LVL)

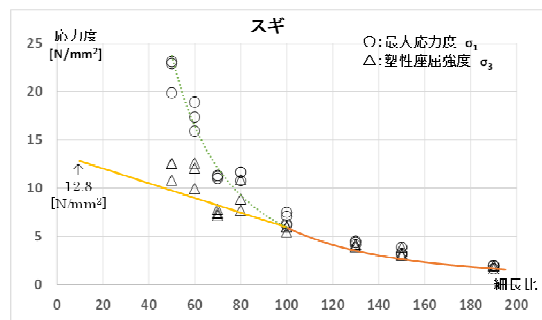


図 13 座屈強度の推定結果 (スギ、LVL)

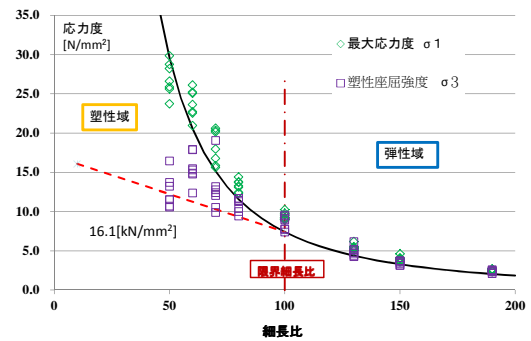


図 14 座屈強度の推定結果 (カラマツ、LVB)

次に筋かい耐力壁の加力試験の結果について説明する。試験では、壁長さが 910mm、1820mm、2730mm のものを用いた。耐力壁の形状を図 15、16 に示す。それらの結果の荷重-層間変形角の関係を図 17 に示す。

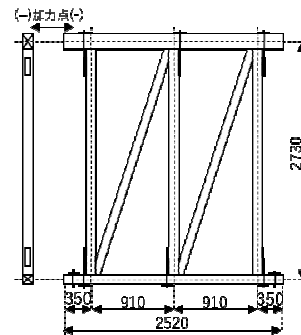


図 15 2P 耐力壁

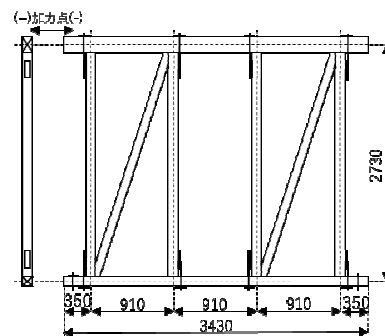


図 16 3P 耐力壁

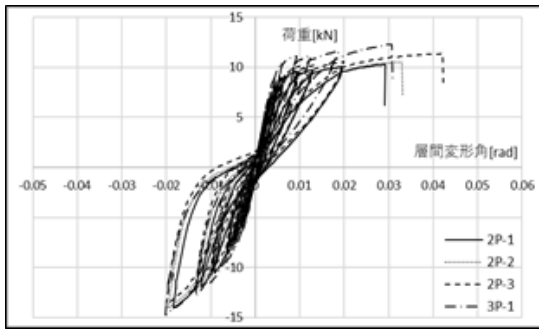


図 17 荷重-変形角関係

耐力壁の筋かいに貼付したひずみゲージの圧縮ひずみの大きさと荷重の関係を図 18 に示す。図より、圧縮ひずみが降伏に達した時の水平変位が 24.8mm であり、降伏ひずみの倍に達した時の水平変位が 58.0mm であることから、圧縮ひずみが倍になると、水平変位は 2.3 倍と、おおよそ比例関係になっていることが分かる。このような関係が、全ての耐力壁で見られた。しかしながら、その比率は一定ではなく、バラツキも見られた。その結果を表 2 に示す。

以上の結果より、水平変形能力が高い筋かい耐力壁を目指した場合、その変形能力は筋かいの圧縮ひずみと相関があることが分かった。その関係を応用すると、高い変形能力のある筋かい耐力壁を開発することができることが分かった。この考え方は本研究の 1 つの成果である。また、本研究で扱った材料の中では、カラマツの LVL を用いることが最も変形能力が高い筋かい耐力壁となることが分かった。

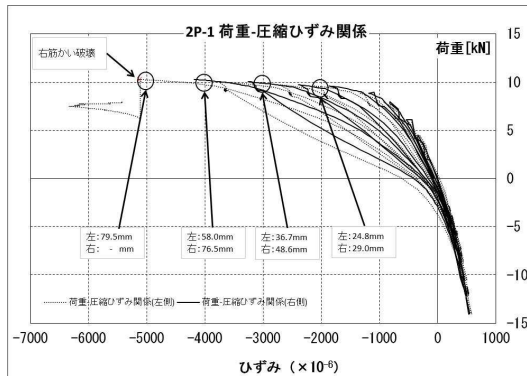


図 18 荷重-圧縮ひずみの関係

表 2

特定の圧縮ひずみ時の耐力壁の水平変位

試験体	2000[1300] $\mu\epsilon$ 時		3000[1950] $\mu\epsilon$ 時		4000[2600] $\mu\epsilon$ 時	
	左側到達	右側到達	左側到達	右側到達	左側到達	右側到達
1P-1	27.2		43.2(1.58)		68.2(2.51)	
1P-2a	20.2		29.0(1.44)		42.4(2.10)	
1P-3a	16.5		23.1(1.40)		31.1(1.88)	
1P-4a	19.0		26.1(1.37)		36.1(1.90)	
2P-1	24.8	29.0	36.7(1.48)	48.6(1.67)	58.0(2.34)	76.5(2.64)
2P-3	30.2	27.3	48.3(1.60)	44.7(1.64)	73.0(2.42)	69.7(2.56)
3P-1	22.6	29.7	36.9(1.63)	57.6(1.94)	57.6(2.55)	到達せず

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9 件)

1. 神戸 渡: カラマツを用いた A 種の構造用単板積層材の座屈強度、構造工学論文集、日本建築学会、Vol. 63B、pp. 603-609、2017 年 3 月、(査読有り)。

2. 神戸 渡、軽部正彦、青木謙治、成田敏基: カラマツの LVL を用いた座屈強度の評価手法に関する実験的研究、日本建築学会構造系論文集、Vol. 82, No. 732、pp. 227-237、2017. 2、DOI: 10.3130/aijs.82.22、(査読有り)。

3. 神戸 渡: カラマツを用いた 2 種類の単板積層材を筋かいに用いた片筋かい耐力壁の水平加力試験、関東学院大学理工/建築・環境学会 研究報告、Vol. 60、pp. 121-125、2017. 3、(査読有り)。

4. 神戸 渡、江藤 駿、土屋壮登: 繰り返し圧縮加力を受けるカラマツの単板積層材の構造性能に関する実験的研究、関東学院大学理工/建築・環境学会 研究報告、Vol. 60、pp. 127-137、2017. 3、(査読有り)。

5. 神戸 渡、大上溪介、斎藤智之: 損傷後に筋かいを交換することによる木質構造の筋かい耐力壁の耐震補強、関東学院大学工学総合研究所報、第 45 号、pp. 25-30、2017. 3、(査読有り)。

6. 神戸 渡、中村円香、成田敏基: 3 樹種の LVL を用いた耐圧縮性能に関する実験的研究、関東学院大学理工/建築・環境学会 研究報告、Vol. 59、pp. 59-67、2016. 3、(査読有り)。

7. 神戸 渡、軽部正彦、青木謙治、成田敏基: カラマツの LVL を用いた座屈強度の評価手法に関する一考察、関東学院大学理工/建築・環境学会 研究報告、Vol. 59、pp. 69-75、2016. 3、(査読有り)。

[学会発表] (計 35 件)

1. 斎藤智之、神戸 渡、中村円香: 水平力を受ける片筋かい耐力壁の座屈性状 -2P・3P 耐力壁の場合-、日本建築学会 関東支部研究発表会、2017 年 2 月 27 日、日本大学理工学部 1 号館 (東京都千代田区神田駿河台)。

2. 神戸 渡、中村円香: 3 樹種の LVL を対象とした座屈強度に関する実験的研究、日本建築学会大会、2015 年 9 月 4 日、東海大学湘南キャンパス (神奈川県平塚市北金目)。

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等なし。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

神戸 渡 (KAMBE, Wataru)

関東学院大学・建築・環境学部・講師

研究者番号: 90453000