木造住宅の構造性能評価のための
勾配屋根の面内せん断耐力に関する研究

報告書

平成 28 年 3 月 30 日

一般社団法人北海道建築技術協会

地方独立行政法人　北海道立総合研究機構
建築研究本部　北方建築総合研究所

目　次

1. 背景と目的
1.1 研究の背景
1.2 研究の目的と内容

2. 垂木断面、接合具、屋根勾配等を主なパラメータとする勾配屋根の面内せん断実験
2.1　実験計画
1)屋根勾配の絞り込み
2)垂木断面の絞り込み
3)接合部仕様等
4)試験体一覧と試験方法
2.2 実験結果
1)荷重-変形曲線等
2)構造性能値

3. 屋根構面の構造性能確保・向上のための検討
3.1　試験体と実験方法
3.2　実験結果
1)荷重-変形曲線等
2)構造性能値

4. まとめ

1.背景と目的

1.1　研究の背景

木造住宅の構造設計では、水平方向に作用する地震力に対して損傷あるいは倒壊の生じない耐力を確保することを目的とし、耐力壁等の鉛直部材を主な耐震要素として有効に機能させるための種々な検討が行われる。その中の一つに、床や屋根等の水平構面の構造耐力の検討があり、平成 12 年の建築基準法改正以降、木造住宅の耐震性能を評価するに当たっては、住宅に配置された鉛直部材が水平構面によってどの程度一体化されているのかについて検討することが求められるようになった。この水平構面に関する検討を行うことにより、耐力壁の配置の自由度を高めることができるようにもなるが、当該検討を行うことのできる構造仕様・構造データは限られていると共に、住宅性能表示制度*1に示されている構造仕様と道内木造住宅の構造仕様との整合も図られていないのが現状である。中でも、積雪荷重に対応した断面の垂木を構成要素とした登り梁形式の勾配屋根において、屋根上での施工性に配慮した木ねじ等の接合具を活用した場合の構造データは皆無である。

耐力の大きな壁が用いられるようになってきていること、吹き抜けを設ける建物が増加傾向にあることなどから、耐震性能を確保する上で水平構面の重要性が高まってきていると共に、木造住宅設計者・工務店が本傾向に対応するための木造住宅の構造設計・評価に活用できる支援情報が求められている。

※１：平成 12 年 4 月 1 日に施行された「住宅の品質確保の促進等に関する法律」に基づく制度。様々な住宅の性能を一般ユーザーに対してわかり易く表示するもので，本研究と関連する表示項目としては「構造の安定」がある。

1.2　研究の目的と内容

積雪荷重に対応した断面の垂木と JIS 釘や木ねじ等で構成される勾配屋根構面を対象とし、面内せん断耐力と構造仕様との関係を実験的に明らかにし、せん断耐力の確保・向上を図った勾配屋根の構造仕様を提案することを目的とする。具体的な検討内容は次の通りである。

１）垂木断面、接合具、屋根勾配等を主なパラメータとする勾配屋根の面内せん断実験

・ねらい：道内木造住宅の設計者ニーズに基づく構造仕様の勾配屋根に面内方向のせん断力が作用した時に、過大な変形や、急激な構造耐力の低下を招くような破壊が発生する部位等を実験的に明らかにする。

２）屋根構面の構造性能確保・向上のための検討

・ねらい：「１)」で確認した実験結果を参照し、危険な破壊形態とならずに構造耐力を確保・向上できる構造仕様の提案を試み、実験によりその構造性能値を示す。

2. 垂木断面、接合具、屋根勾配等を主なパラメータとする勾配屋根の面内せん断実験

2.1　実験計画

1)屋根勾配の絞り込み

委託機関の(一社)北海道建築技術協会の「木造勾配屋根の水平耐力の確保・向上技術に関する研究委員会」で議論された道内木造住宅の設計者ニーズに基づき、登り梁形式の勾配屋根の実験計画を立てるに当たり、スパンと勾配について次のように整理した（図 2.1 参照）。

①スパンが 3 間（=5.46m）程度となる場合は、勾配屋根によって確保できる小屋裏空間を、収納あるいは生活空間として有効活用することを考える。そのためには大きな屋根勾配が必要となる（5 寸～矩勾配）。

②スパンが 4 間（=7.286m）程度確保できる場合は、（既に空間は確保できているので）活用可能な小屋裏空間よりも、各空間を包み込む一体感を形成する役割を勾配屋根に担わしたい。その際、屋根勾配が大きいと外観のボリュームも増し、住宅デザインも難しくなるので、比較的緩勾配でよい（3～5 寸勾配）。

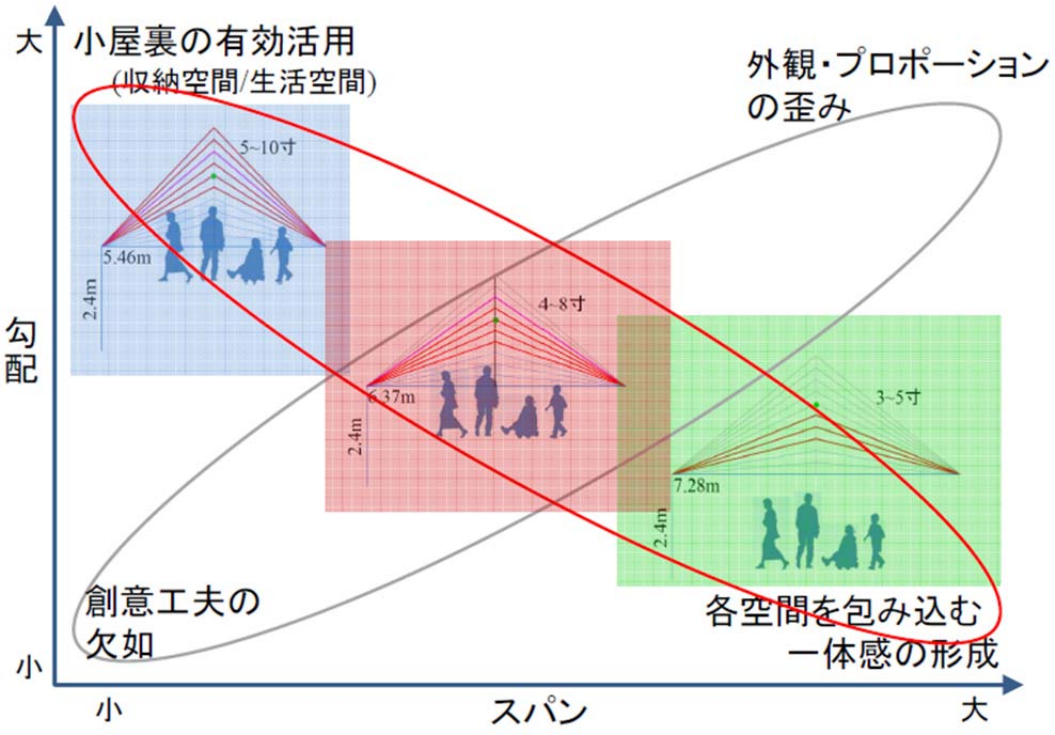


図 2.1　スパンと屋根勾配の絞り込み

これらに基づき、本研究では、実験対象とする勾配屋根試験体の屋根勾配を、スパンに応じて次のように設定した。

・スパンが 3 間（=5.46m）　⇒ 5 寸～矩勾配
・スパンが 3.5 間（=6.37m）⇒ 4 寸～8 寸勾配
・スパンが 4 間（=7.28m）　⇒ 3 寸～5 寸勾配

2)垂木断面の絞り込み

スパンが 3 間（=5.46m）、3.5 間（=6.37m）、4 間（=7.28m）となる登り梁形式の小屋組みにおける垂木の必要断面を、スパン計算により絞り込んだ（図 2.2 参照）。なお、スパン計算は、垂木はツーバイ材を活用することを想定して幅 b=38mm とし、屋根上積雪荷重 d_s を 1.6m に設定して行った。

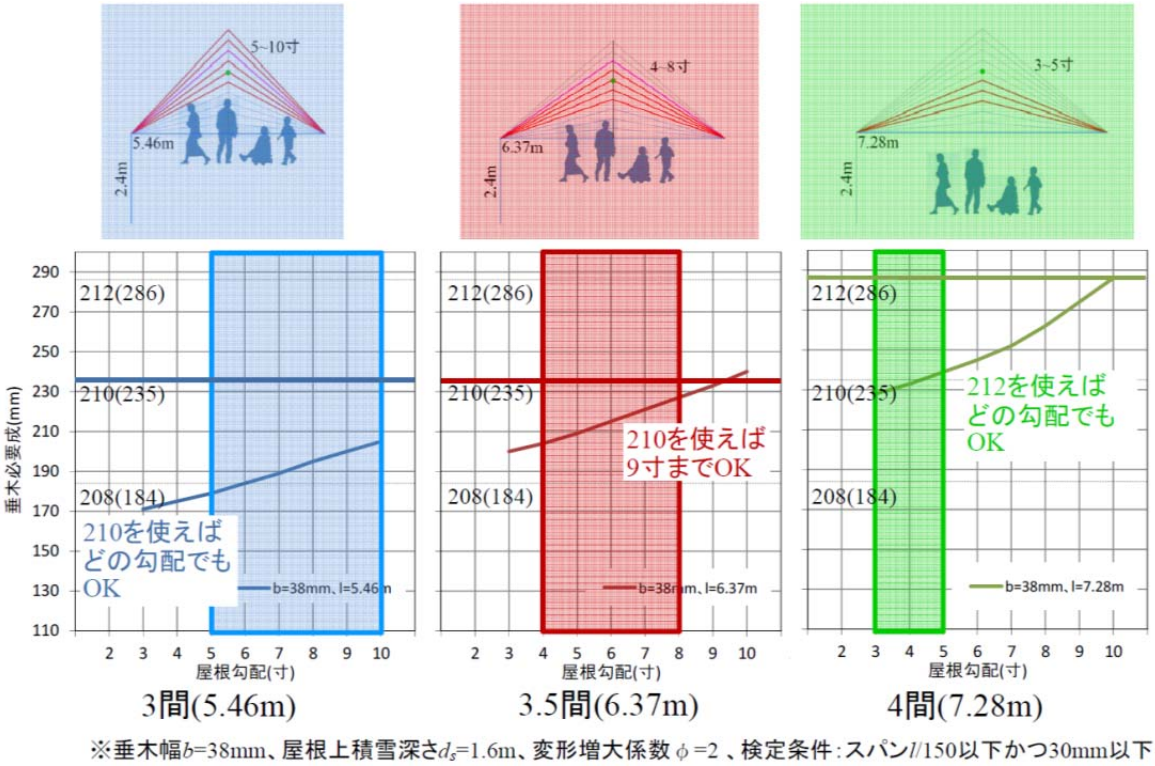


図 2.2　垂木の必要成の検討

図 2.2 によると、スパンを 3 間（=5.46m）とする場合は、垂木に 210（ツー・バイ・テン）材を用いることで、矩勾配までの対応が可能であることが分かる。また、スパン 3.5 間（=6.37m）の場合も 210（ツー・バイ・テン）材を垂木に使うことで 9 寸勾配までの対応が可能であり、スパン 4 間（=7.28m）の場合は 212（ツー・バイ・トゥエルブ）材を垂木に使えばどの勾配でも対応できることがわかる。これらのことより、試験体の屋根勾配、スパン、垂木断面の組合せを次のように設定した。

・スパン 3 間（=5.46m）、　5 寸～矩勾配、　垂木 210 材
・スパン 3.5 間（=6.37m）、4 寸～8 寸勾配、垂木 210 材
・スパン 4 間（=7.28m）、　3 寸～5 寸勾配、垂木 210 材

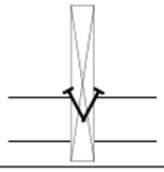
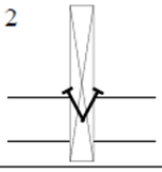
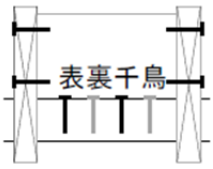
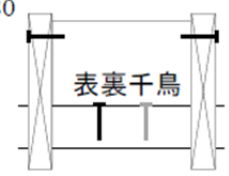
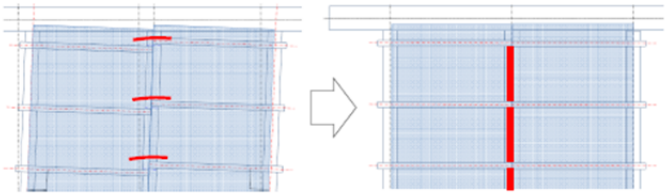
3)接合部仕様等

試験体の接合部の構造仕様は、(公財)日本住宅・木材技術センターの「木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2008 年)第 4 版(2009.6)」（以降、「グレー本」と略記）において床倍率・短期許容せん断耐力が明記されている JIS 釘仕様を参考に、JIS 釘仕様と木ねじ仕様の 2 仕様とした。各接合部の仕様を表 2.1 に一括して掲げる。なお、グレー本では、高さが 90mm まで垂木を使用する場合の床倍率･短期許容せん断耐力が明記されているが､210 材や 212 材を垂木に使用した場合の床倍率・短期許容せん断耐力は示されていない。

検討対象とした JIS 釘と木ねじの外観を写真 2.1 に示す。木ねじについては、「X6×80（若井産業株式会社製）」と「P5×80II（東日本パワーファスニング株式会社製）」の長さは同じであるが、「P5×80II」の径が「X6×80」より 1mm 小さいことから、「X6×80」を用いた試験体は「P5×80II」を用いた試験体と同等以上の構造性能を発揮できると判断し、本研究では「P5×80II」を使用することとした。

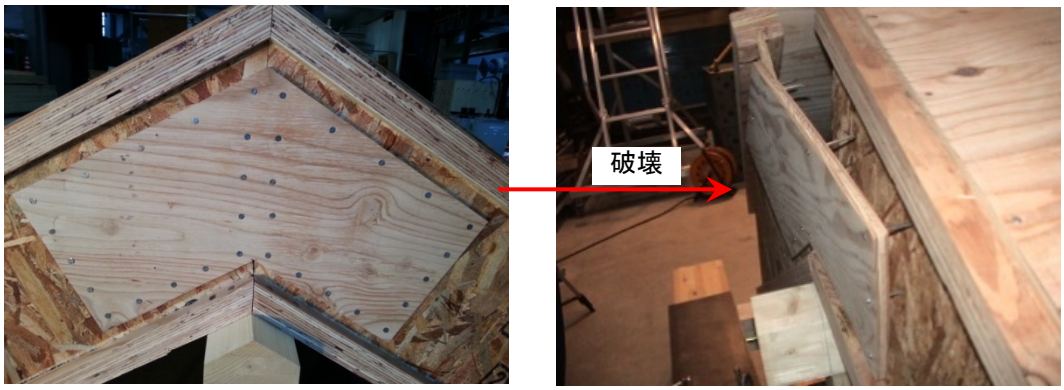
「棟木上での垂木同士の接合」については、これまでの当所の既往の研究により、厚さ 12mm の合板ガセットにて接合する場合は、N50 を 24～32 本用いて留め付けることで、有効な接合耐力を確保できることが分かっている（例えば植松武是他：道産厚物合板・平角材を用いた勾配屋根水平構面の構造耐力と破壊形態、日本建築学会北海道支部研究報告集 88、pp.61-64、2015.6）。本研究では、これまでの当所の実験における同接合部の破壊形態に鑑みて、①垂木のずれを防いで一体性を確保すると同時に、②合板ガセット接合よりも施工手間の低減を図ることのできる仕様として、転び止めを配置する仕様の提案を試みた(写真 2.2 参照)。

表 2.1　試験体の接合部仕様

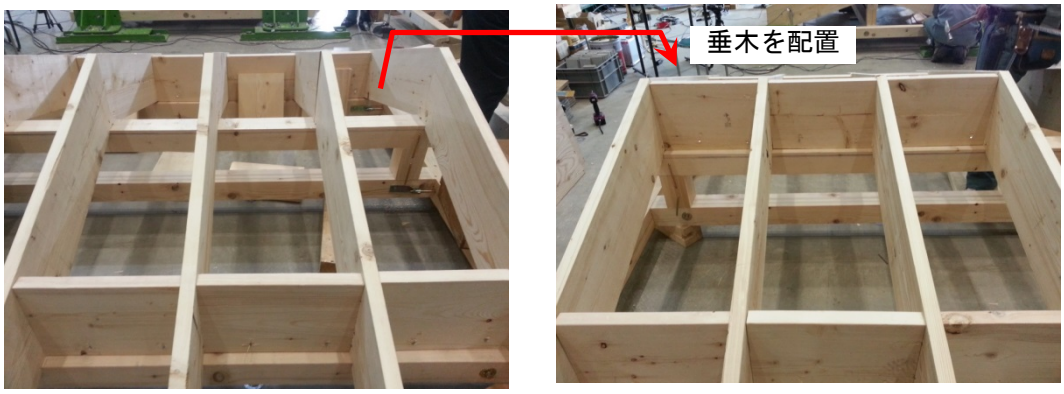
接合部	JIS釘仕様	木ねじ仕様	参考
垂木と軒桁	N75×2 	長さ80×2 	・JIS釘仕様=ｸﾞﾚｰ本
転び止め	N75 	長さ80 	・JIS釘仕様=ｸﾞﾚｰ本 (垂木との接合は無し)
棟木上での垂木同士の接合	・既実験12mm合板ガセット →廃止して棟木上の垂木間に転び止めを配置 		・既実験：12mm合板ガセット+N50×24～32本

※構造用合板：12mm-N50@150、ｸﾞﾚｰ本：木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2008年)第4版

写真 2.1　JIS 釘と木ねじ



(a)合板ガセット接合と破壊形態



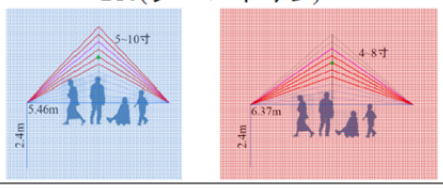
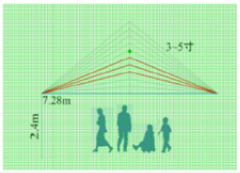
(b)転び止めの配置

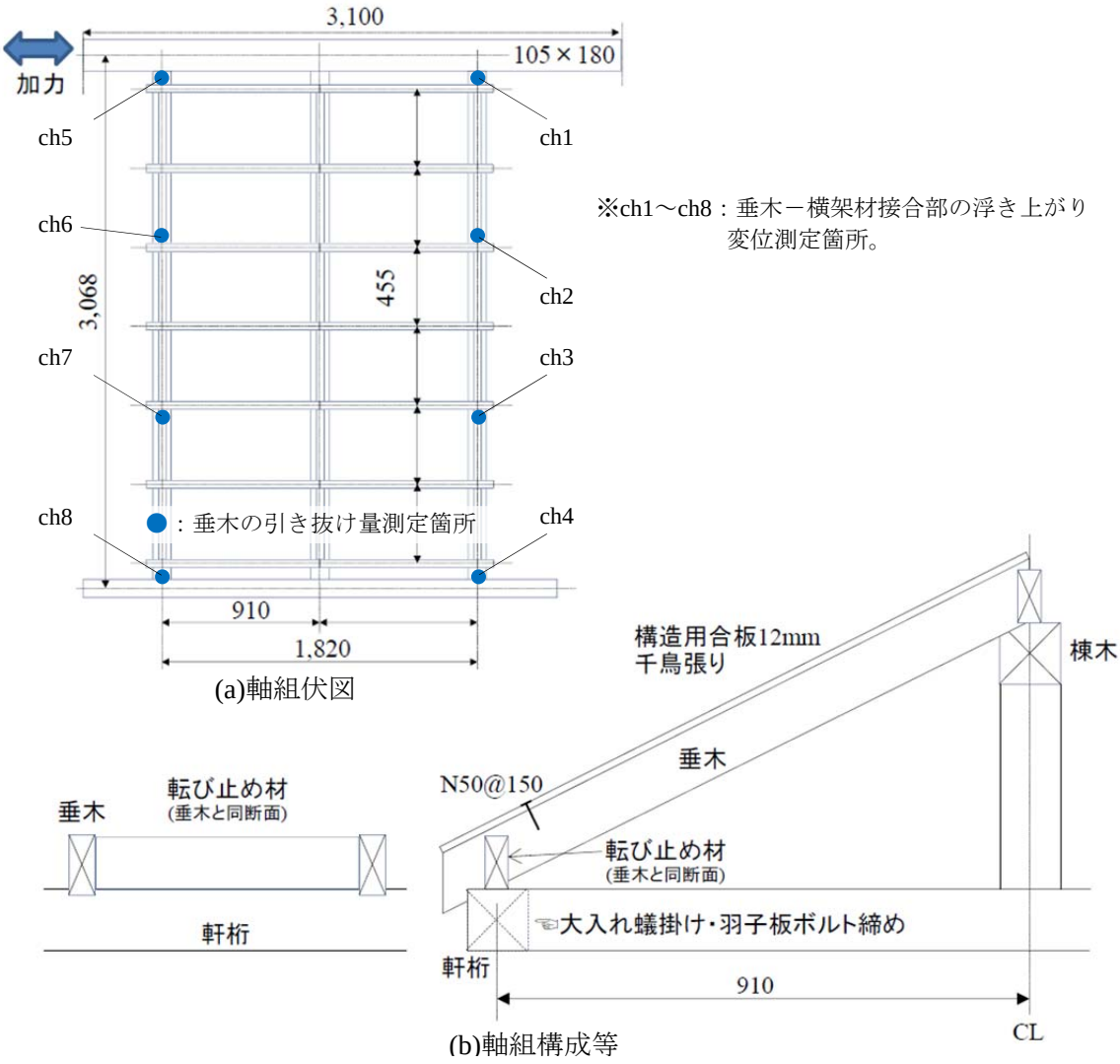
写真 2.2　転び止めを活用した棟上での垂木の一体性の確保

4)試験体一覧と試験方法

試験体の一覧を表 2.2 に一括する。各試験体に共通する軸組構成等を図 2.3 に示す。

表 2.2　試験体一覧

垂木	勾配(寸)	接合具	試験体名	試験体数
210(ツー・バイ・テン) 	4	N釘	210-4N	3体
		木ねじ	210-4S	3体
	7	N釘	210-6N	1体
		木ねじ	210-6S	1体
	矩	N釘	210-10N	3体
		木ねじ	210-10S	3体
212(ツー・バイ・トゥエルブ) 	3	N釘	212-3N	3体
		木ねじ	212-3S	3体
	4	N釘	212-4N	1体
		木ねじ	212-4S	1体
	5	N釘	212-5N	3体
		木ねじ	212-5S	1体



(a)軸組伏図

(b)軸組構成等

図 2.3 試験体の概要

試験体の外観及び加力装置への設置状況等を写真 2.3 に示す。実験はグレー本に示されている「鉛直構面及び水平構面の剛性と許容せん断耐力を算定するための試験」の柱脚固定式による方法に準じて実施した。最終変形量については、見かけのせん断変形角が約 1/10 になるまで加力した。正負繰り返し回数は各 1 回である。

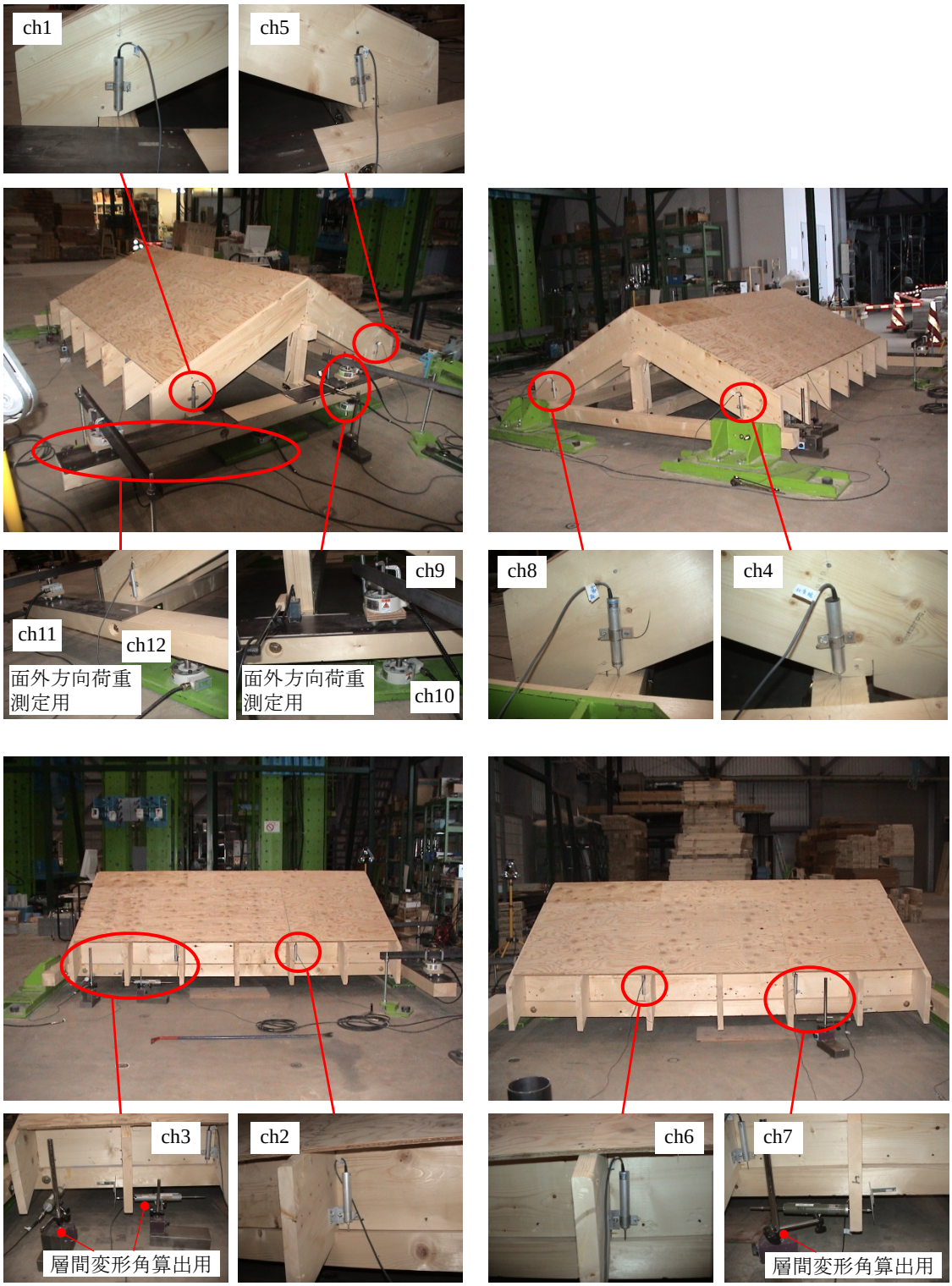


写真 2.3　試験体の外観及び設置状況等

2.2 実験結果

1)荷重-変形曲線等

各試験体の荷重－変形曲線を図 2.4～2.15 に示す。これらを含む測定データと写真・動画を別添の DVD に保存して提出する（一部欠測有り）。データファイル名等を表 2.3 に一括する。

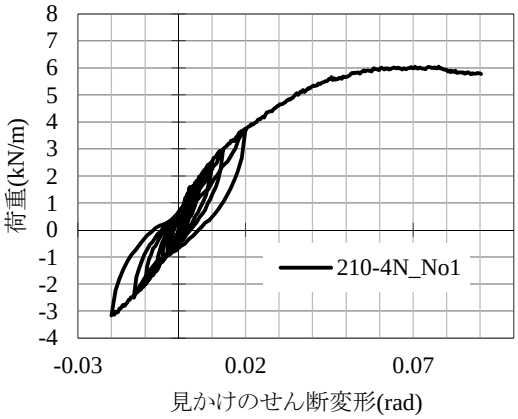
全 28 体の面内せん断実験を実施した結果、提案した構造仕様のように木ねじの本数を JIS 釘より少なくしても、面内せん断耐力の確保・向上に寄与できる接合耐力を確保できること、また、終局状態に至るまで局部的な破壊や変形が生じないことなどが確認できた。

表 2.3　データファイル一覧

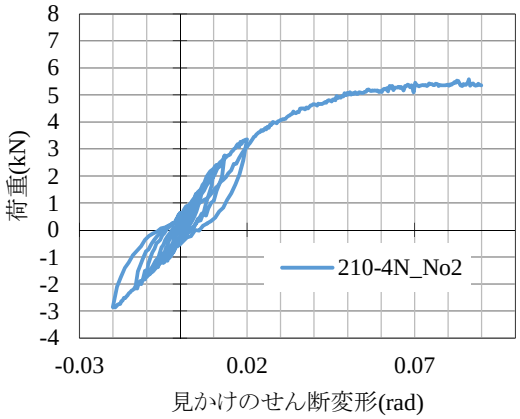
試験体名	測定ﾃﾞｰﾀ	写真ﾌｫﾙﾀﾞ	動画ﾌｫﾙﾀﾞ
210-4N_No1	試験体名.xlsx	試験体名_Phot	試験体名_Movie
210-4N_No2			
210-4N_No3			
210-4S_No1			
210-4S_No1			
210-4S_No1			
210-7N			
210-7S			
210-10N_No1			
210-10N_No2			
210-10N_No3			
210-10S_No1			
210-10S_No2			
210-10S_No3			

試験体名	測定ﾃﾞｰﾀ	写真ﾌｫﾙﾀﾞ	動画ﾌｫﾙﾀﾞ
212-3N_No1	試験体名.xlsx	試験体名_Phot	試験体名_Movie
212-3N_No2			
212-3N_No3			
212-3S_No1			
212-3S_No1			
212-3S_No1			
212-4N			
212-4S			
212-5N_No1			
212-5N_No2			
212-5N_No3			
212-5S_No1			
212-5S_No2			
212-5S_No3			

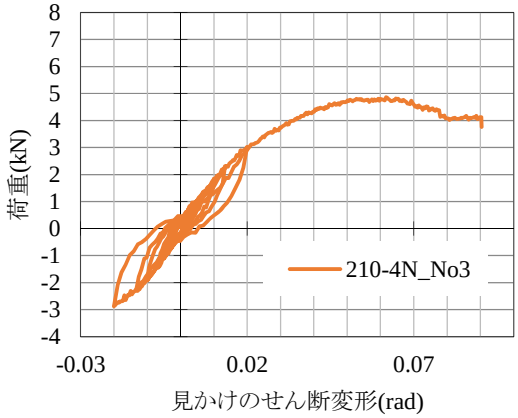
※含水率ﾃﾞｰﾀは「H27_勾配屋根_含水率」に一括して保存。



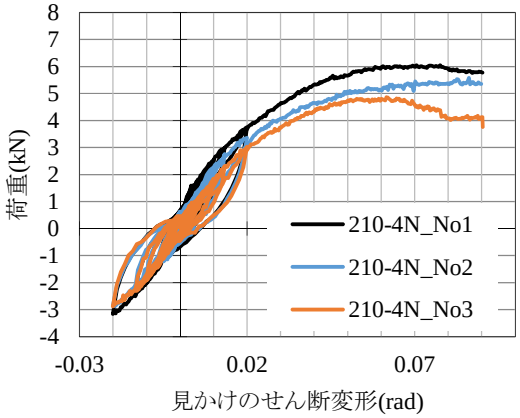
(a)210-4N_No1



(b)210-4N_No2

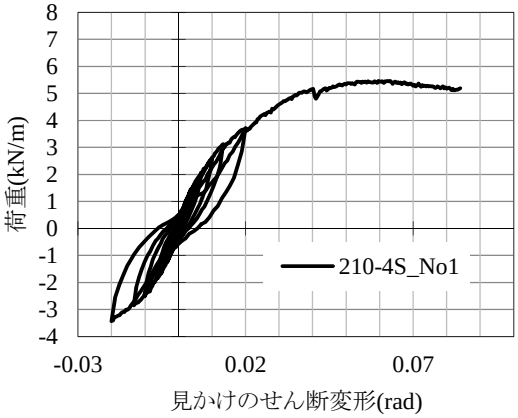


(c)210-4N_No1

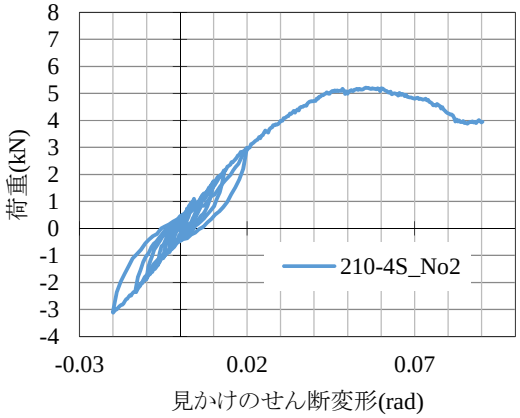


(d)210-4N_No2

図 2.4　210-4N

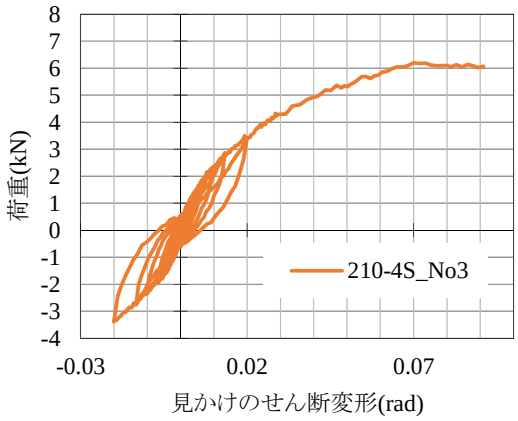


(a)210-4S_No1

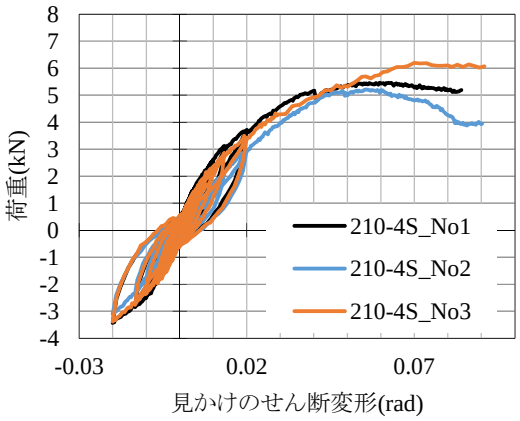


(b)210-4S_No2

図 2.5　210-4S(その 1)



(c)210-4S_No3



(d)210-4S_No1～3

図 2.5　210-4S(その 2)

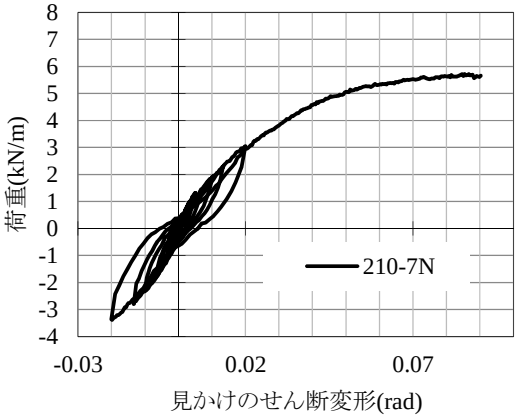


図 2.6　210-7N

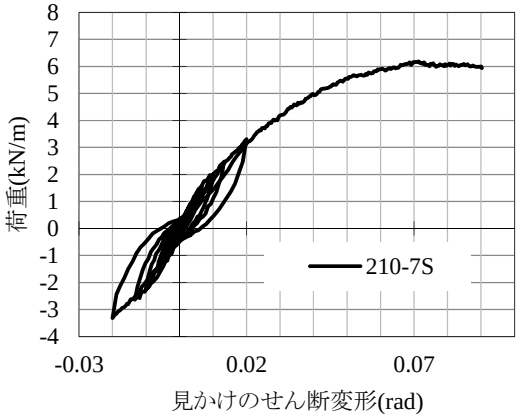
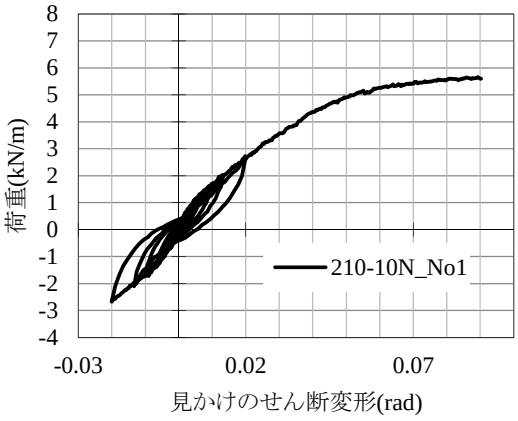
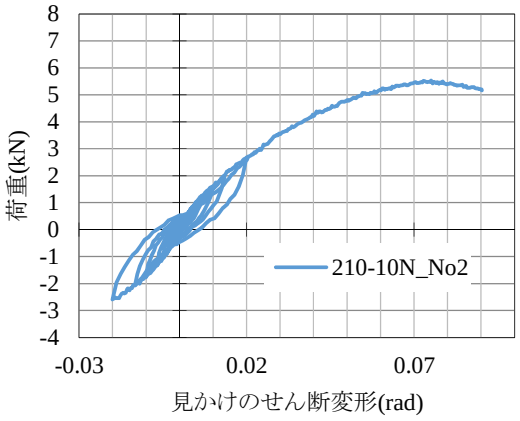


図 2.7　210-7S

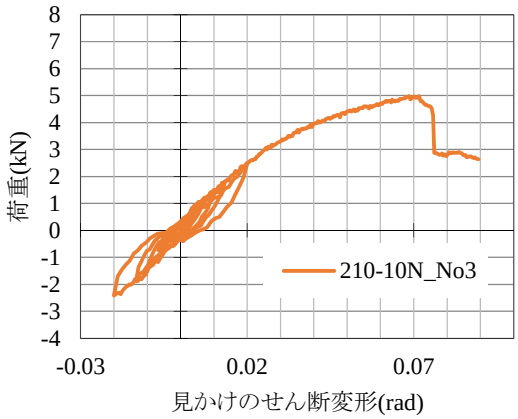


(a)210-10S_No1

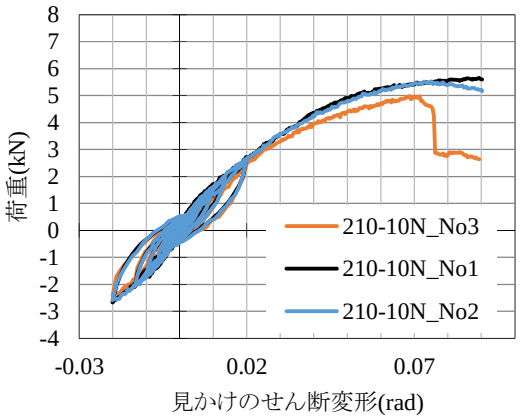


(b)210-10S_No2

図 2.8　210-10S(その 1)

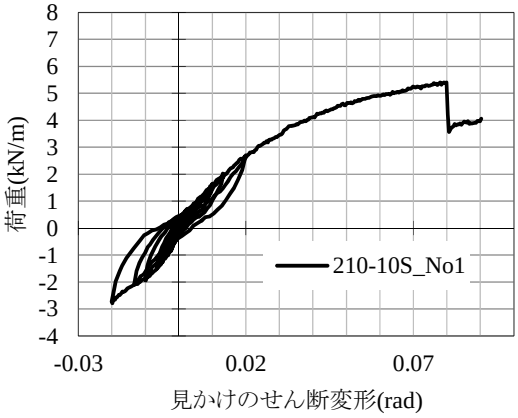


(c)210-10S_No3

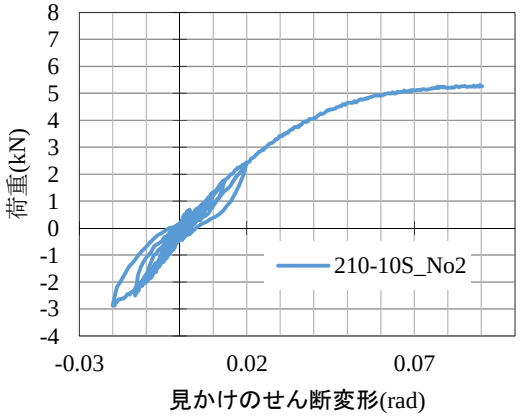


(d)210-10S_No1～3

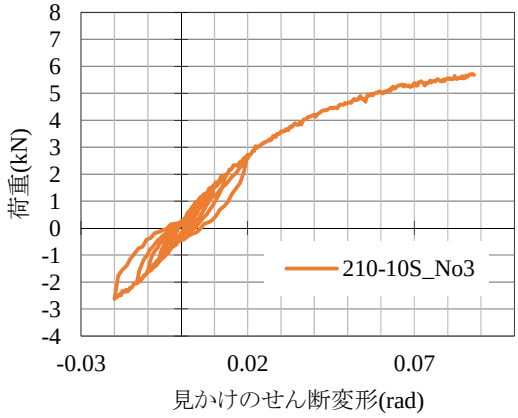
図 2.8　210-10S(その 2)



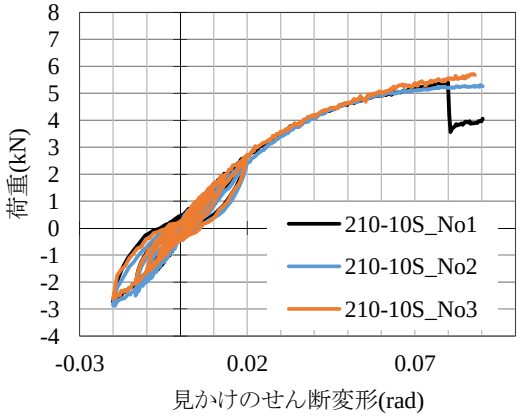
(a)210-10S_No1



(b)210-10S_No2

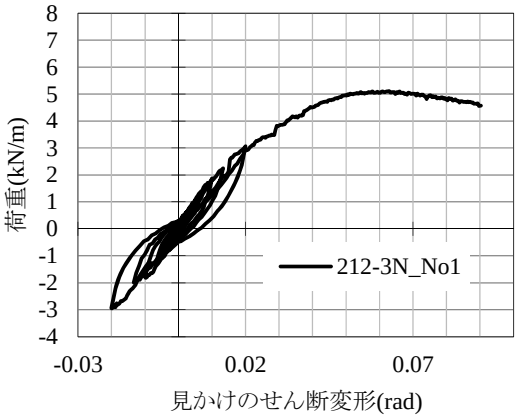


(c)210-10S_No3

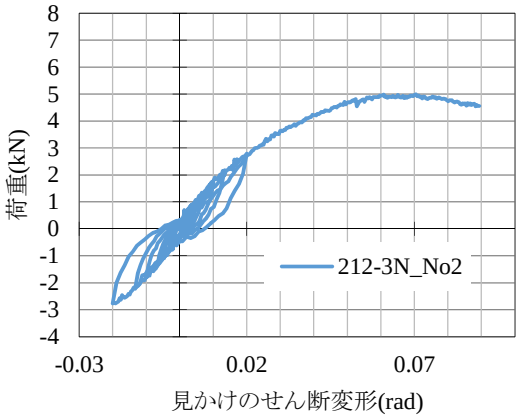


(d)210-10S_No1～3

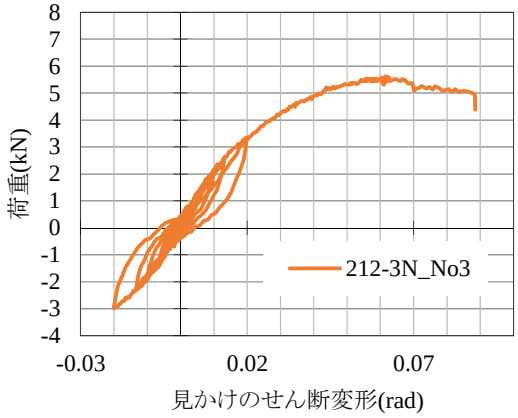
図 2.9　210-10S



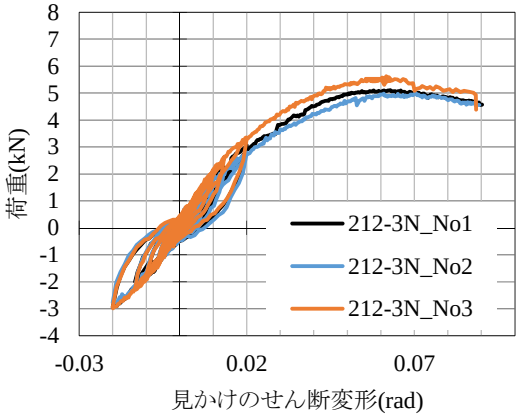
(a)212-3N_No1



(b)212-3N_No2

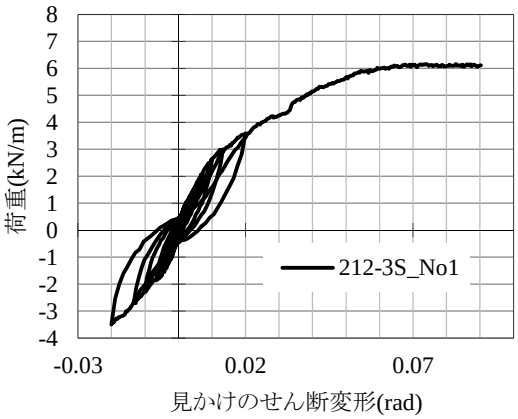


(c)212-3N_No3

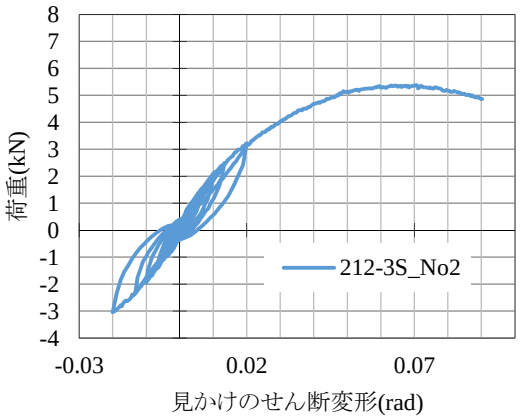


(d) 212-3N_No1～3

図 2.10　212-3N

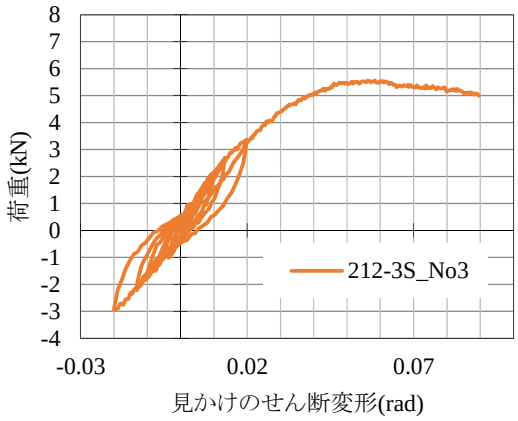


(a)212-3S_No1

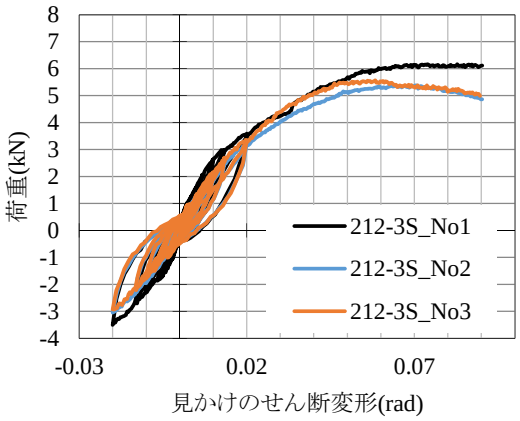


(b)212-3S_No2

図 2.11　212-3S(その 1)



(c)212-3S_No3



(d) 212-3S_No1～3

図 2.11　212-3S(その 2)

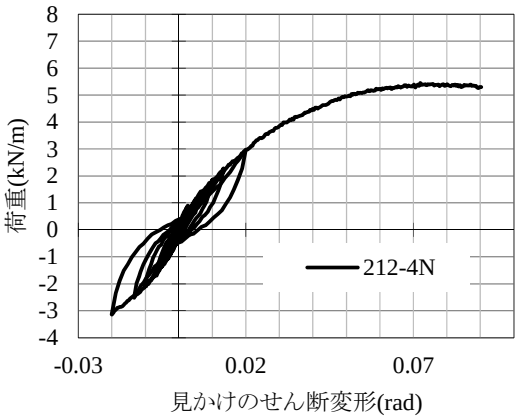


図 2.12　212-4N

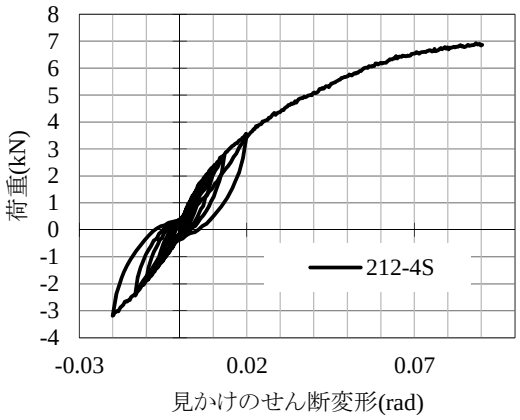
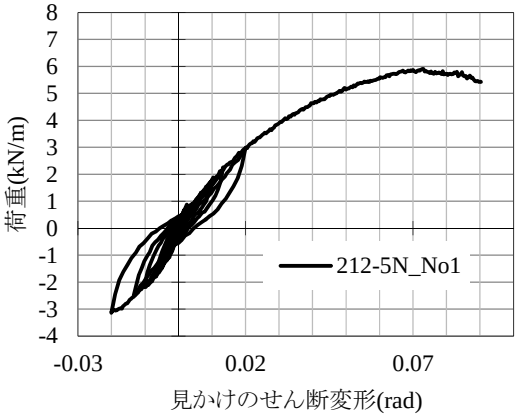
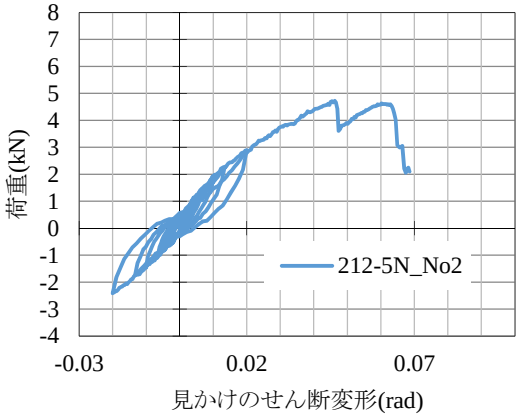


図 2.13　212-4S

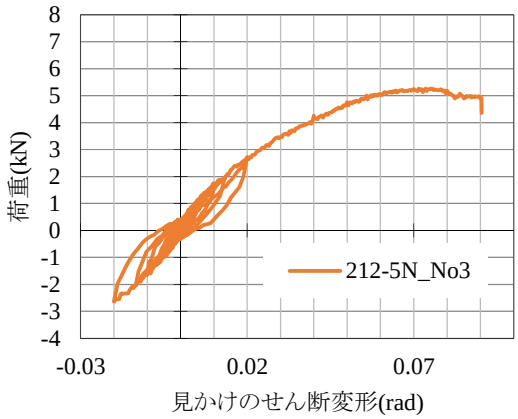


(a)212-5N_No1

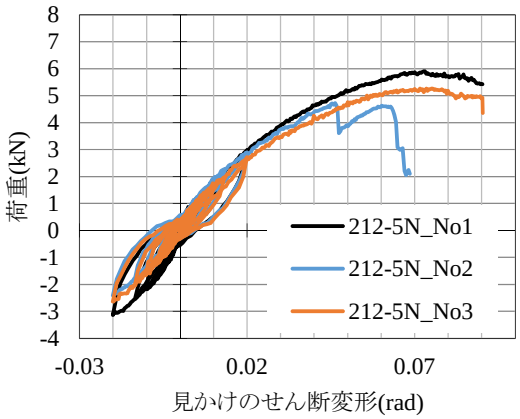


(b)212-5N_No2

図 2.14　212-5N(その 1)

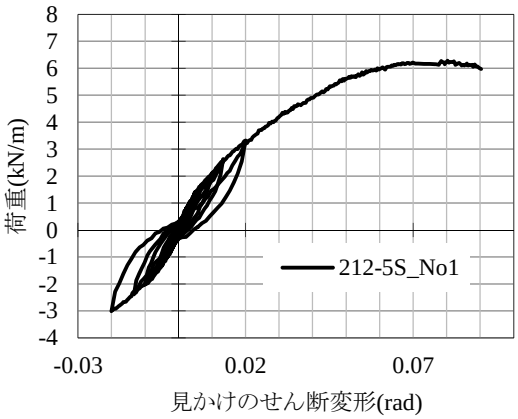


(c)212-5N_No3

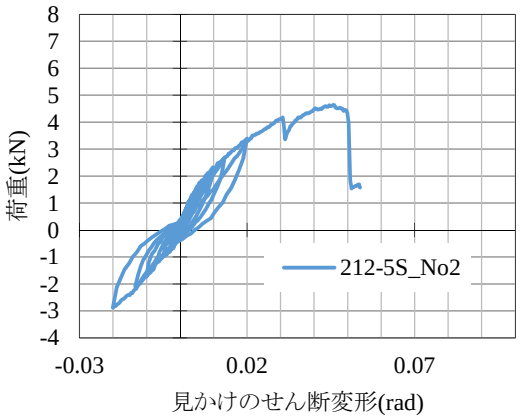


(d) 212-5N_No1～3

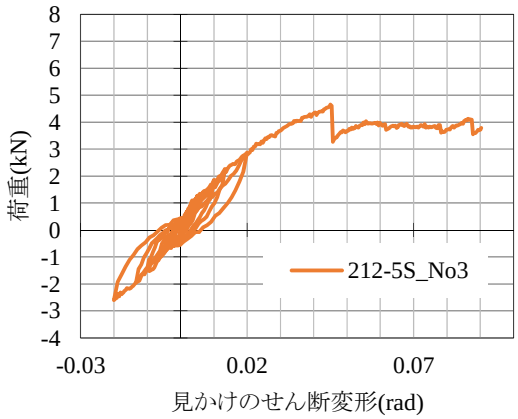
図 2.14　212-5N(その 2)



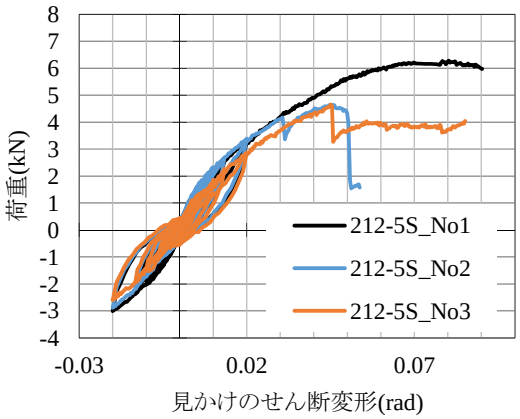
(a)212-5S_No1



(b)212-5S_No2



(c)212-5S_No3



(d)212-5S_No1～3

図 2.15　212-5S(その 2)

2)構造性能値

前項の実験結果を用い、グレー本に示されている方法に基づいて短期許容せん断耐力及び床倍率を算出した。構造性能評価用の骨格曲線を図 2.16～2.27 に示す。これらの図より算出した構造性能値を表 2.4 及び図 2.28 に示す。

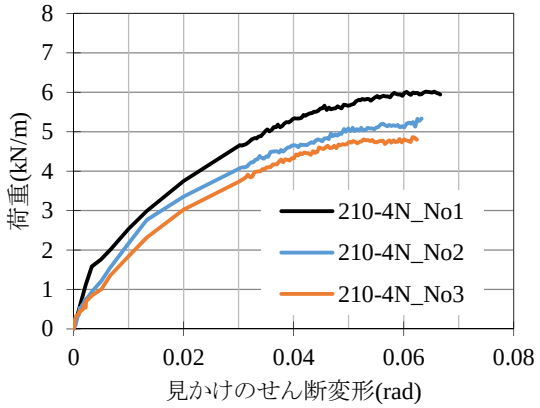


図 2.16　210-4N

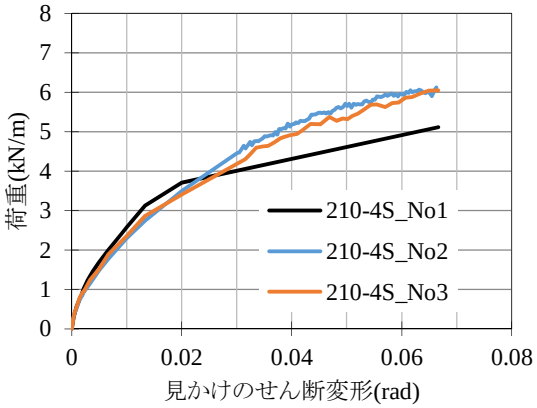


図 2.17　210-4S

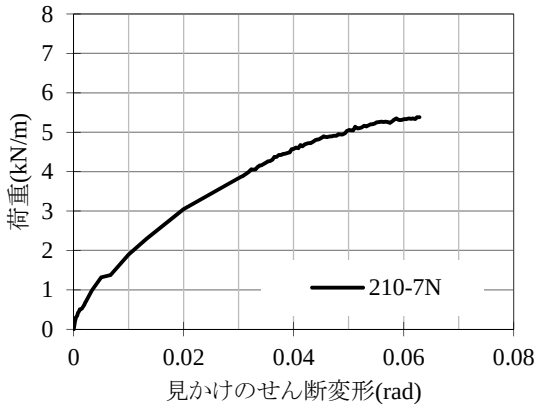


図 2.18　210-7N

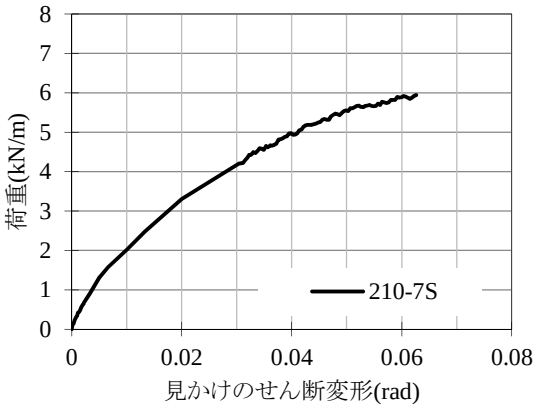


図 2.19　210-7S

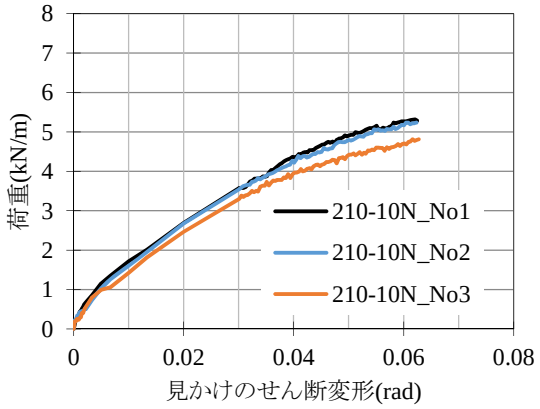


図 2.20　210-10N

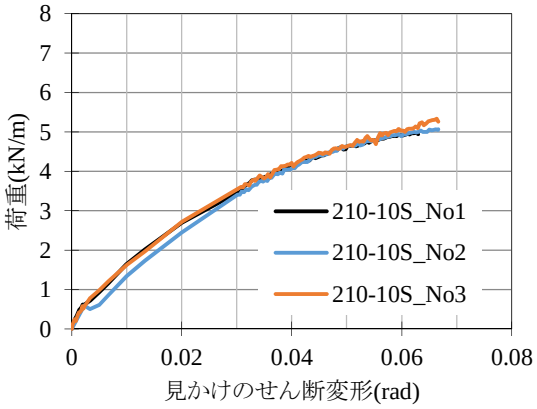


図 2.21　210-10S

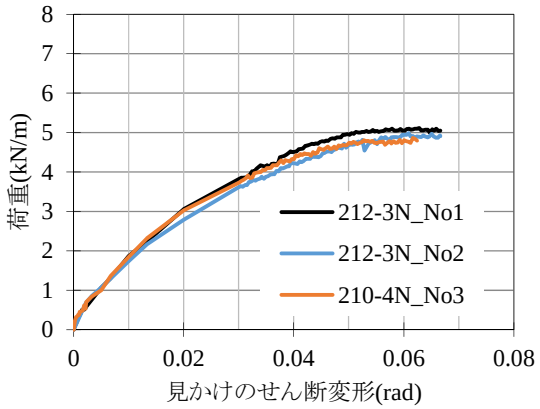


図 2.22　212-3N

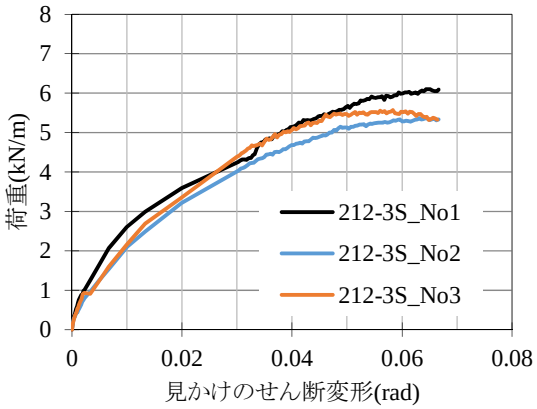


図 2.23　212-3S

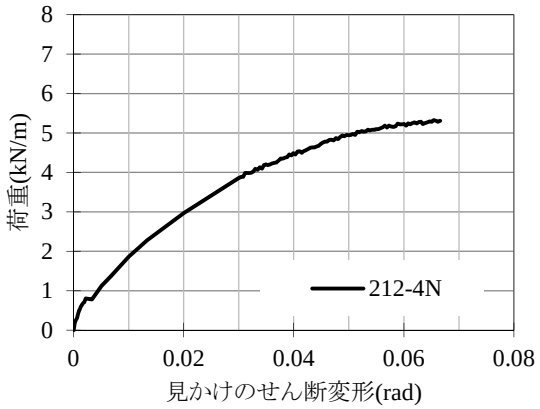


図 2.24　212-4N

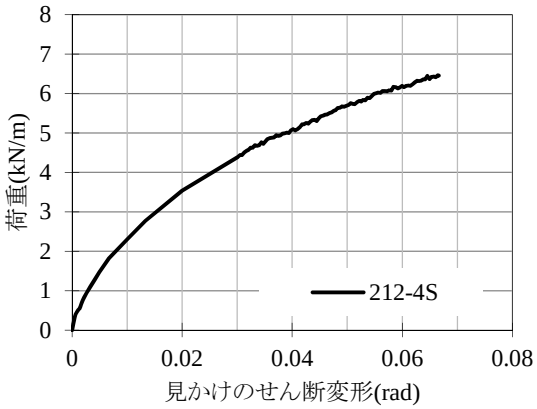


図 2.25　212-4S

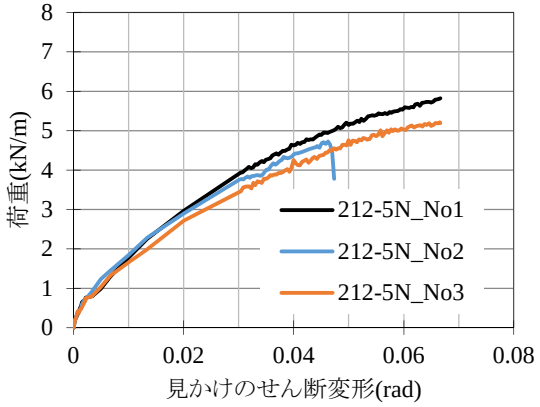


図 2.26　212-5N

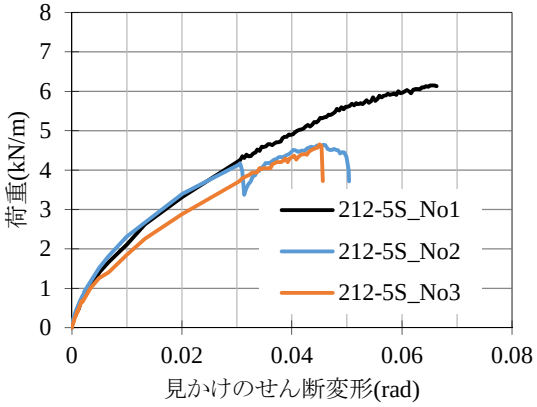


図 2.27　212-5S

表 2.4　構造性能値(その１)

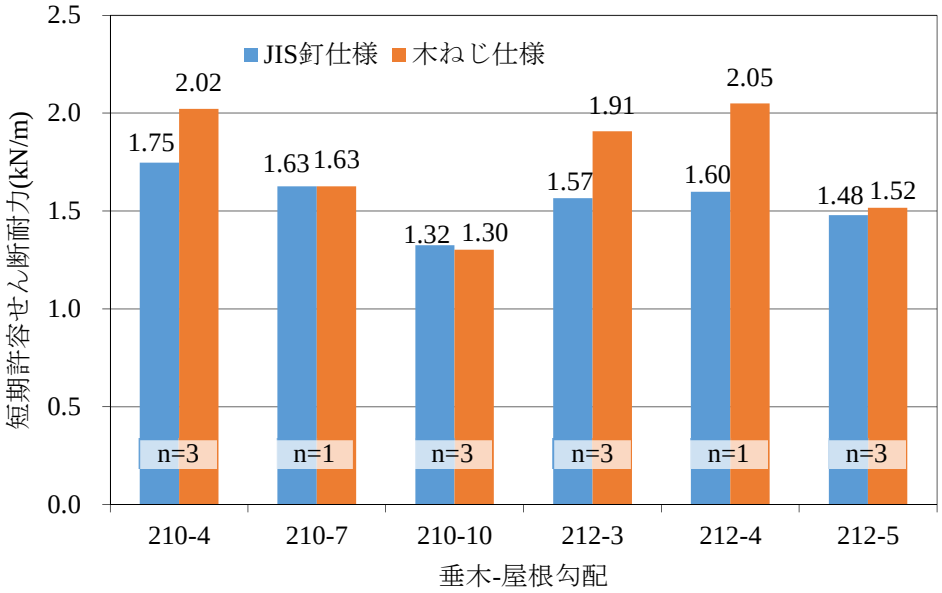
垂木-勾配	短期許容せん断耐力 (kN/m)	
	JIS 釘仕様	木ねじ仕様
210-4	1.75	2.02
210-7※	1.63	1.63
210-矩(10)	1.32	1.30
212-3	1.57	1.91
212-4※	1.60	2.05
212-5	1.48	1.52

※試験体数 1(その他は 3 体)

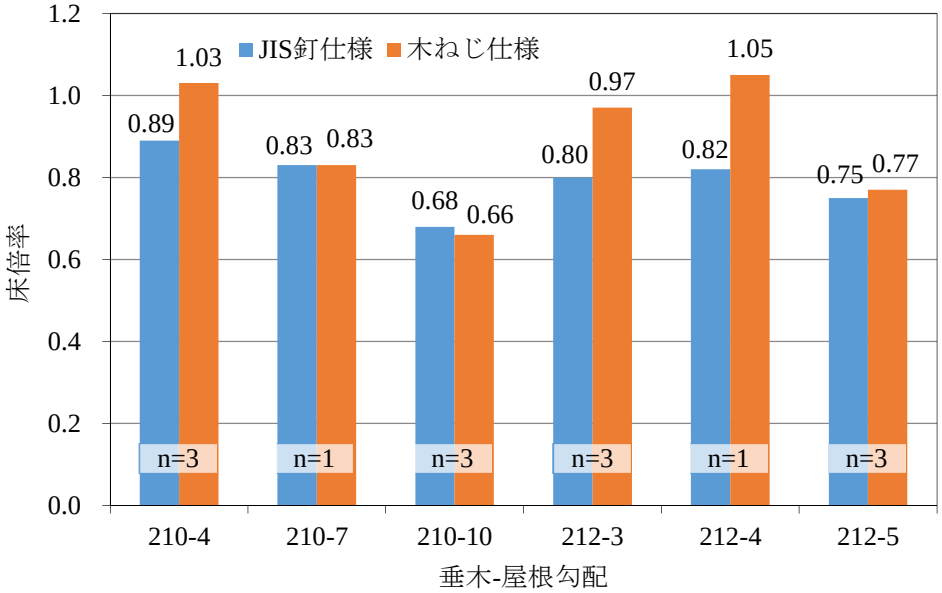
表 2.4　構造性能値(その２)

垂木-勾配	床倍率	
	JIS 釘仕様	木ねじ仕様
210-4	0.89	1.03
210-7※	0.83	0.83
210-矩(10)	0.68	0.66
212-3	0.80	0.97
212-4※	0.82	1.05
212-5	0.75	0.77

※試験体数 1(その他は 3 体)



(a)短期許容せん断耐力



(b)床倍率

図 2.28　構造性能値

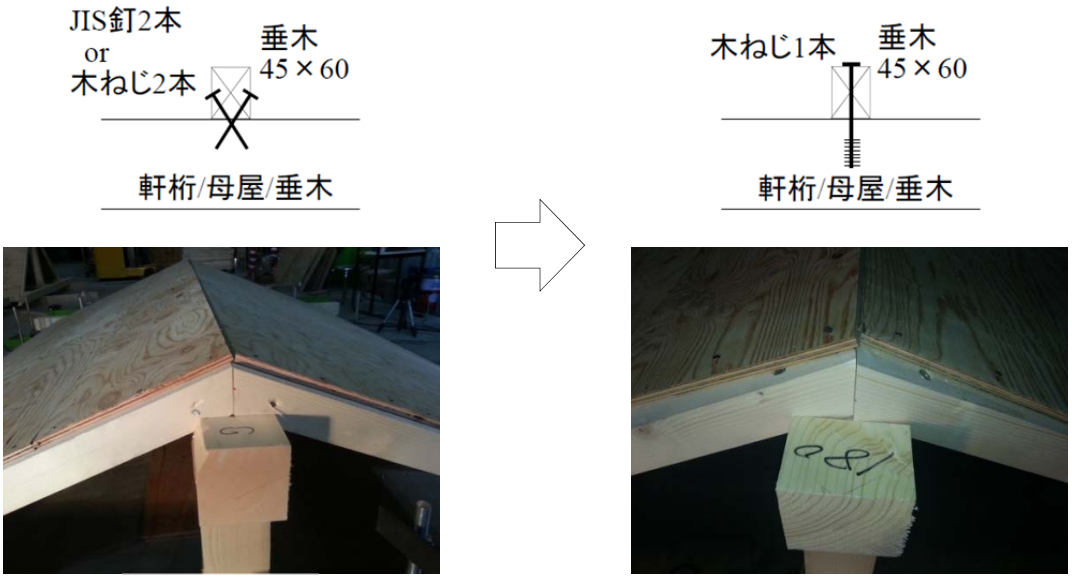
3. 屋根構面の構造性能確保・向上のための検討

全章の結果より、登り梁形式の勾配屋根を対象とし、終局状態に至るまで危険な破壊形態とならずに構造耐力を確保・向上できる構造仕様を提案できたことを確認できた。ここでは、和小屋形式の勾配屋根を対象とし、木ねじを活用することで、施工労力の省力化を図ることのできる構造仕様となる勾配屋根の面内せん断実験を実施した（全４体)。

3.1　試験体と実験方法

ここでは、試験体の寸法等は前章図 2.3 と同様とし、垂木断面が 45×60mm となる和小屋形式の勾配屋根の面内せん断実験を実施した。接合部仕様については、転び止めは設けずに、垂木を脳天から木ねじ 1 本で横架材へ留め付ける仕様とした(図 3.1 参照)。これにより、垂木と横架材を接合する際の労力が省ける。更には、ここで使用した木ねじ(写真 3.1 参照)は、あおり止め金物と同等の性能を有していることが認められていることから、この木ねじ 1 本により、強風時にはあおり止めの機能を、また、地震時には水平構面のせん断抵抗を期待することが出来ることになる。

試験体の一覧を表 3.1 に掲げる。木ねじについては「X6×120（若井産業株式会社製)」と「TK5×105II（東日本パワーファスニング株式会社製)」を用意し、長さ・径共に「X6×120」が「TK5×105II」を上回っていることから、「TK5×105II 」を用いた試験体は「X6×120」を用いた試験体と同等以上の構造性能を発揮できると判断し、本研究では「TK5×105II 」を使用することとした。本研究では、屋根勾配と接合具の仕様の違いをパラメータとした実験計画とし、試験体は各 1 体とした。計測器の設置個所及び実験方法は前章と同じである。試験体の外観を写真 3.2 に示す。



従前の構成　　本試験体の構成

図 3.1 木ねじを活用した和小屋形式の勾配屋根における
垂木と横架材の接合部の構成

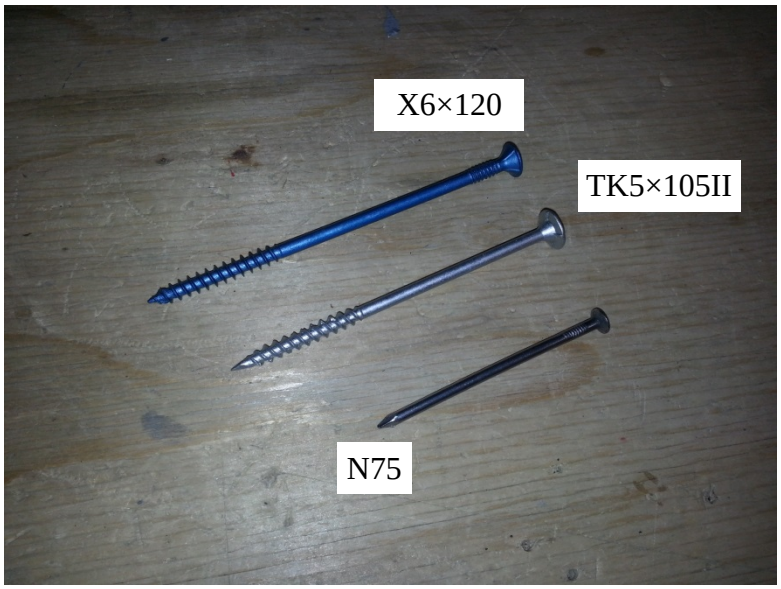
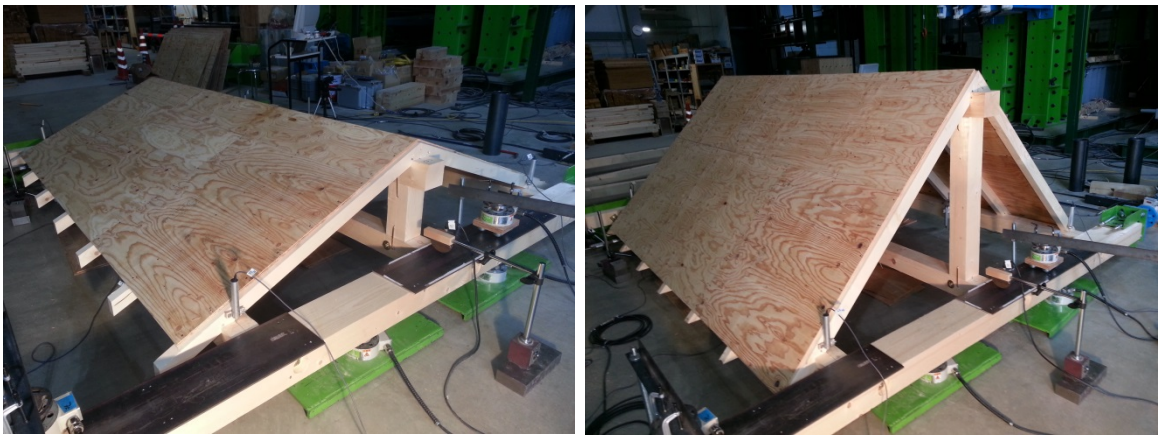


写真 3.1　垂木の留め付けに使用した JIS 釘・木ねじ

表 3.1　試験体一覧

試験体名	勾配・接合具
45×60-4N	4 寸勾配・JIS 釘 N75-2 本
45×60-4S	4 寸勾配・木ねじ-1 本
45×60-10N	矩勾配・JIS 釘-仕様
45×60-10S	矩勾配・木ねじ-1 本

〔備考〕転び止めは施工しておらず、その他の構造仕様は前出の図 2.3 と同じ。



(a)4 寸勾配　　(b)矩勾配

図 3.2 和小屋形式の勾配屋根試験体の外観

3.2　実験結果

1)荷重-変形曲線等

各試験体の荷重－変形曲線を図 3.2～3.5 に示す。これらを含む測定データと写真・動画を別添の DVD に保存して提出する（一部欠測有り）。データファイル名等を表 3.2 に一括する。

各試験体の破壊形式を確認・比較した結果、いずれの試験体も終局状態に至るまで局部的な破壊や変形が生じないこと、更には、省力化・合理化を図った木ねじ仕様とする場合にも、面内せん断耐力の確保・向上に寄与できる接合耐力を確保できることなどが確認できた。

表 3.2　データファイル一覧

試験体名	測定ﾃﾞｰﾀ	写真ﾌｫﾙﾀﾞ	動画ﾌｫﾙﾀﾞ
45×60-4N	試験体名.xlsx	試験体名_Phot	試験体名_Movie
45×60-4S			
45×60-10N			
45×60-10S			

※含水率ﾃﾞｰﾀは「H27_勾配屋根_含水率」に一括して保存。

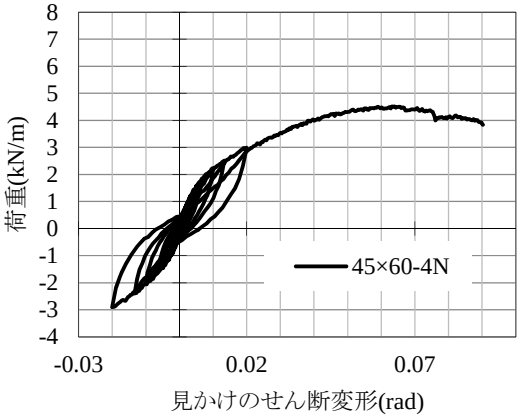


図 3.2　45×60-4N

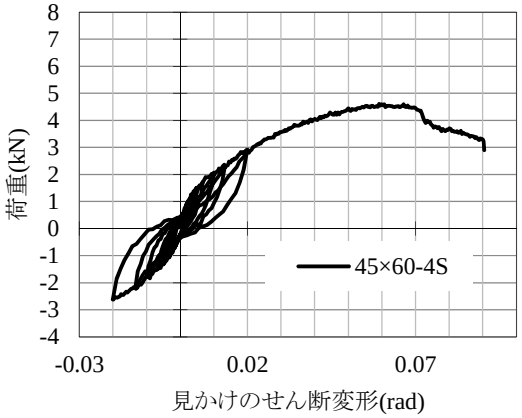


図 3.3　45×60-4S

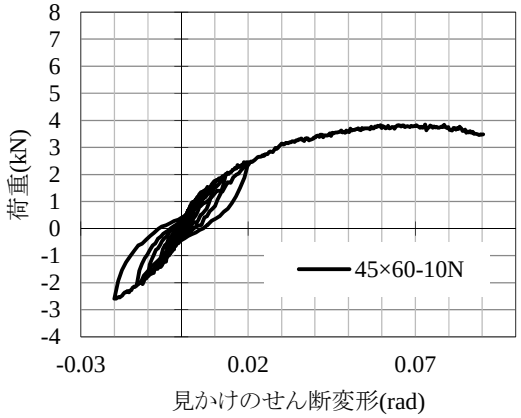


図 3.4　45×60-10N

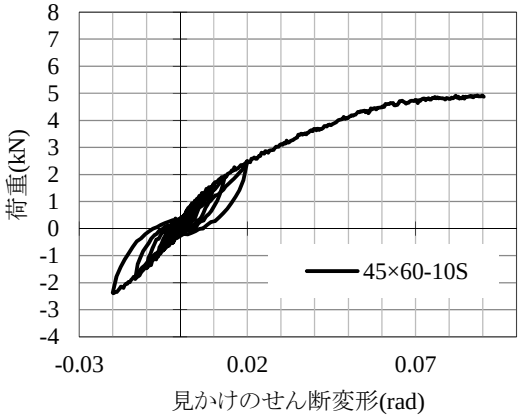


図 3.5　45×60-10S

2)構造性能値

前項の実験結果を用い、グレー本に示されている方法に基づいて短期許容せん断耐力及び床倍率を算出した。構造性能評価用の骨格曲線を図 3.6～3.9 に示す。これらの図より算出した構造性能値を表 3.3 及び図 3.10 に示す。同図には、比較のため全章の試験体の構造性能値も併記した。

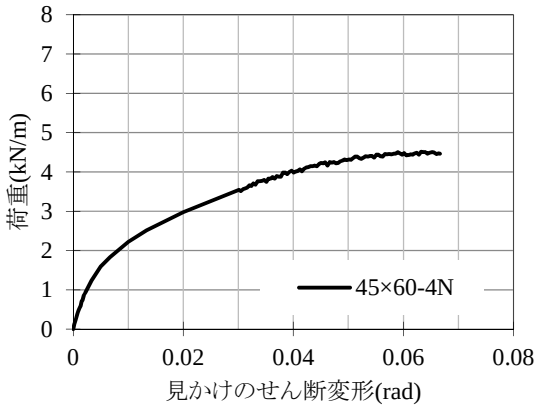


図 3.6　45×60-4N

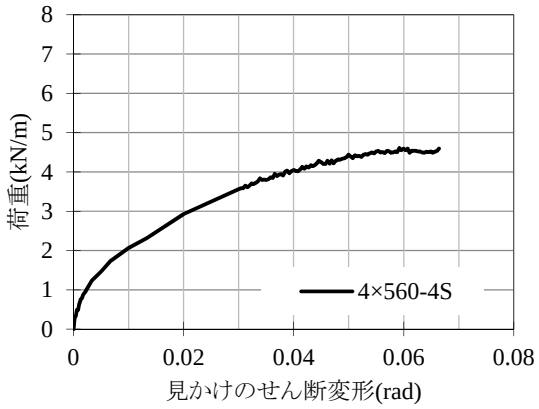


図 3.7　45×60-4S

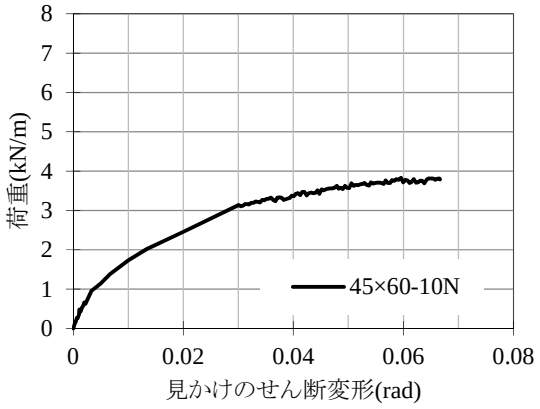


図 3.8　45×60-10N

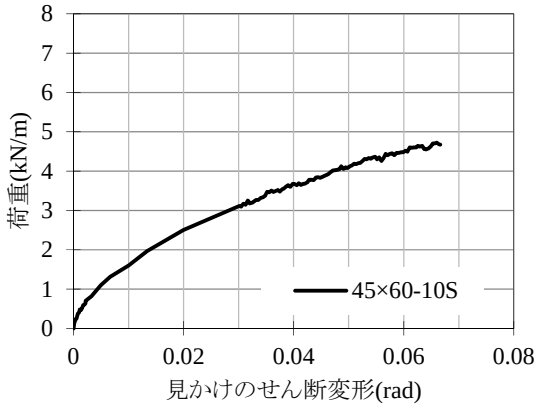


図 3.9　45×60-10S

表 2.4　構造性能値(その１)

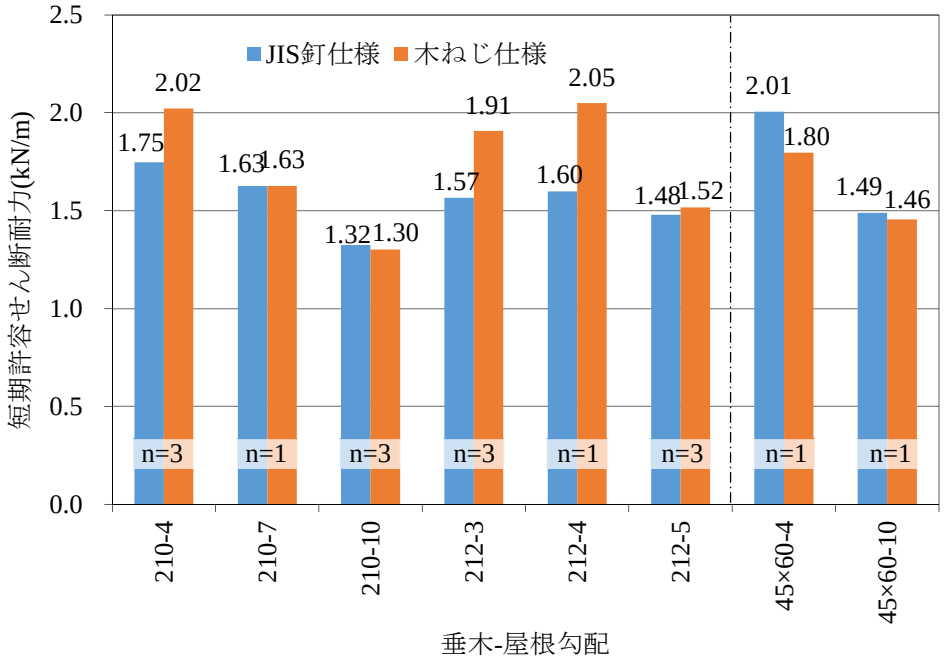
垂木-勾配	短期許容せん断耐力 (kN/m)	
	JIS 釘仕様	木ねじ仕様
45×60-4	2.10	1.80
45×60-10	1.49	1.46

※試験体数 n=1

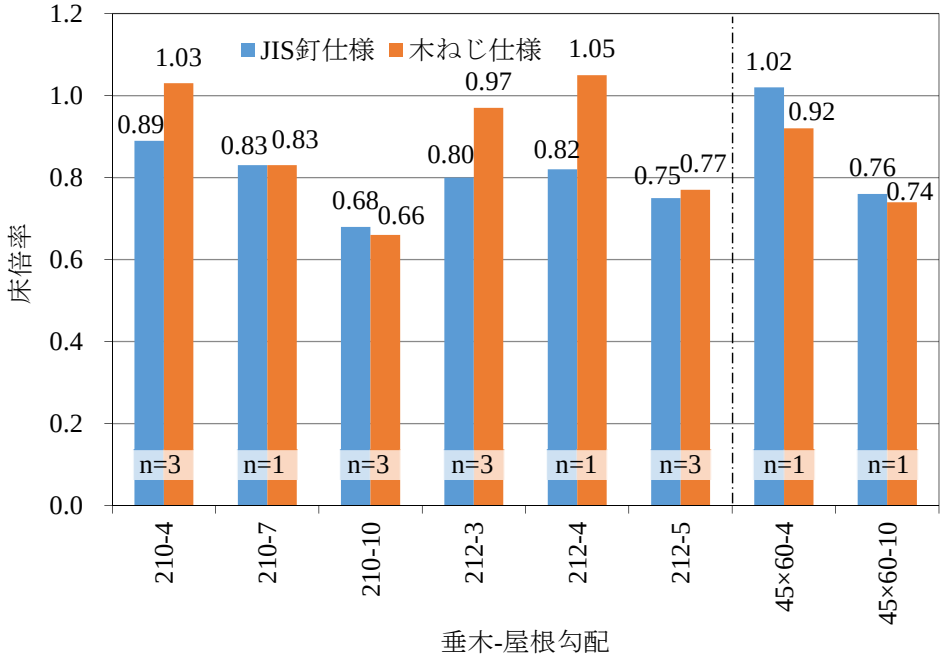
表 2.4　構造性能値(その２)

垂木-勾配	床倍率	
	JIS 釘仕様	木ねじ仕様
45×60-4	1.02	0.92
45×60-10	0.76	0.74

※試験体数 n=1



(a)短期許容せん断耐力



(b)床倍率

図 3.10　構造性能値

4. まとめ

道内木造住宅の設計者ニーズに適合する垂木断面、接合具（JIS 釘、木ねじ）、屋根勾配等を主なパラメータとする勾配屋根の面内せん断実験を実施すると共に、危険な破壊形態とならずに面内せん断耐力を確保・向上できる構造仕様を提案した。

１）垂木断面、接合具、屋根勾配等を主なパラメータとする勾配屋根の面内せん断実験の実施

委託機関の「木造勾配屋根の水平耐力の確保・向上技術に関する研究委員会」で議論された道内木造住宅の設計者ニーズに基づき、登り梁形式の勾配屋根を対象とした実験的検討を行った。屋根スパンに応じた垂木断面と屋根勾配を設定し、これまでの所の知見を活かした部材構成を提案すると共に、接合具が異なる場合（JIS 釘、木ねじ）について、変形性状・破壊性状・構造耐力を確認するための実験計画を立案し、全 28 体の面内せん断実験を実施した。実験の結果、提案した構造仕様は、木ねじの本数を JIS 釘より少なくしても有効な接合耐力を発揮できること、また、終局状態に至るまで危険な変形・破壊性状が生じないことが確認できた。更には、提案した構造仕様の勾配屋根について、構造計算や性能評価時に活用できる構造性能値を示した。

２）屋根構面の構造性能確保・向上のための検討

「１)」において、登り梁形式の勾配屋根について、終局状態に至るまで危険な破壊形態とならずに構造耐力を確保･向上できる構造仕様を提案することができた。これに鑑み、ここでは、小屋組み形式の勾配屋根を対象とし、木ねじを活用しての施工労力の省力化等を図った構造仕様を提案し、面内せん断実験を実施した（全４体)。実験の結果、小屋組み形式の勾配屋根においても、木ねじを活用することで、終局状態に至るまで局部的な破壊や変形を生じさせずに、面内せん断耐力の確保に寄与できる接合部耐力を確保できることが確認できた。また、施工省力化（留め付け本数の低減）と合理化（せん断耐力とあおり止め耐力の確保）を図ることのできる可能性を示すことが出来た。

本研究により、これまで把握されていなかった、積雪荷重に対応した比較的大きな断面の垂木と木ねじなどの接合具とで構成される勾配屋根の面内せん断耐力や変形･破壊形態を明らかにすると共に、木造設計者や工務店がユーザーに対して性能説明が可能な構造仕様を提案することができた。研究対象としたいくつかの構造仕様の勾配屋根については、その水平耐力を算入しての耐震設計・評価も可能である。本研究成果を発展させることにより、木造設計者や工務店は、設計根拠を持ちながら火打ちの削減を図ったり、耐力壁の配置の自由度を高めた空間をユーザーへ提案することができるようになる。本研究の成果は、研究委託機関が会員・非会員へ公開し、普及を図る。