

7. 実験報告

7.1. 天井構面の面内せん断試験

7.1.1. 試験目的

屋根構造にかかる水平力を耐力壁に均等に伝えるためには床面や屋根面の面内せん断力が充分剛である必要がある。

木質トラス工法により木造建築物の大スパン架構が可能になるが、大スパン化により耐力壁区画の負担面積が大きくなることで必要面内せん断耐力が大きくなる。これにより屋根水平構面の剛性が不足する問題を抱えている。

本試験では水平力伝達過程での安全性確保のため接合部を含めたトラス下限材の挙動を確認することを目的とするが、下弦材のみでの測定が試験方法上不可能であることから、すでに強度確認がされている木枠付きウレタンパネルを下弦材間に挿入して、測定に耐えうる面内せん断耐力を確保した状態で行った。

7.1.2. 試験体

試験体は木造トラス下限材によって構成された天井構面であり、下弦材の内側に木枠付きのウレタンパネルをCN75@300で釘打ち固定している。試験体の上下には加力・支持用に105mm角の梁材を設け、下弦材と梁材の固定は2-CN75釘の斜め打ちとし、下弦材間にころび止めを施工した。試験体数は6体であるが、このうち3体はウレタンパネルを一丁継ぎに配置した仕様であり、残りの3体は千鳥継ぎに配置した仕様である。

試験体の形状及び仕様を図7.1.1～7.1.3に示す。

7.1.3. 試験方法

強度試験は、「木造軸組工法住宅の許容応力度設計（2008年版）」（財団法人日本住宅・木材技術センター企画編集・発行平成21年1月（第2版））に記載の「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」に従って実施した。

試験は、繰り返し試験機（株式会社岩崎製、最大能力200kN）を用いて、タイロッド式で行った。変形に伴うパネルの回転を拘束しないよう、試験体底面に幅100×高さ100mmの鋼製ベースを既設の支持ベースに固定し、試験体をその鋼製ベースにM16ボルトで固定した。加力は、軸組上面に4本のボルト（M16）で固定した加力用の105mm角製材を用いて行った。変位は、ひずみゲージ式変位変換器を用いて、加力梁および支持梁の水平方向変位（ $\delta 1$ および $\delta 2$ ）、左右柱相当材の鉛直方向変位（ $\delta 3$ および $\delta 4$ ）を計測した。変形角は以下の式から計算した。試験体の製作は株式会社FPコーポレーションの石狩工場にて行い、（独）北海道立総合研究機構森林研究本部林産試験場で試験を実施した。

$$\text{せん断変形角 } \gamma = (\delta 1 - \delta 2) / H - (\delta 4 - \delta 3) / V \quad (\text{rad})$$

繰り返し履歴は、変形角が $\pm 1/600, 1/450, 1/300, 1/200, 1/150, 1/100, 1/75, 1/50, 1/30 \text{rad}$ 各1回ずつであり、その後 $1/15 \text{rad}$ 以上に達するまで加力した。

面内せん断試験の支持・加力方法、ならびに水平・鉛直方向変位の計測位置を図7.1.4に示す。また、試験の実施状況を写真7.1.1～7.1.4に示す。

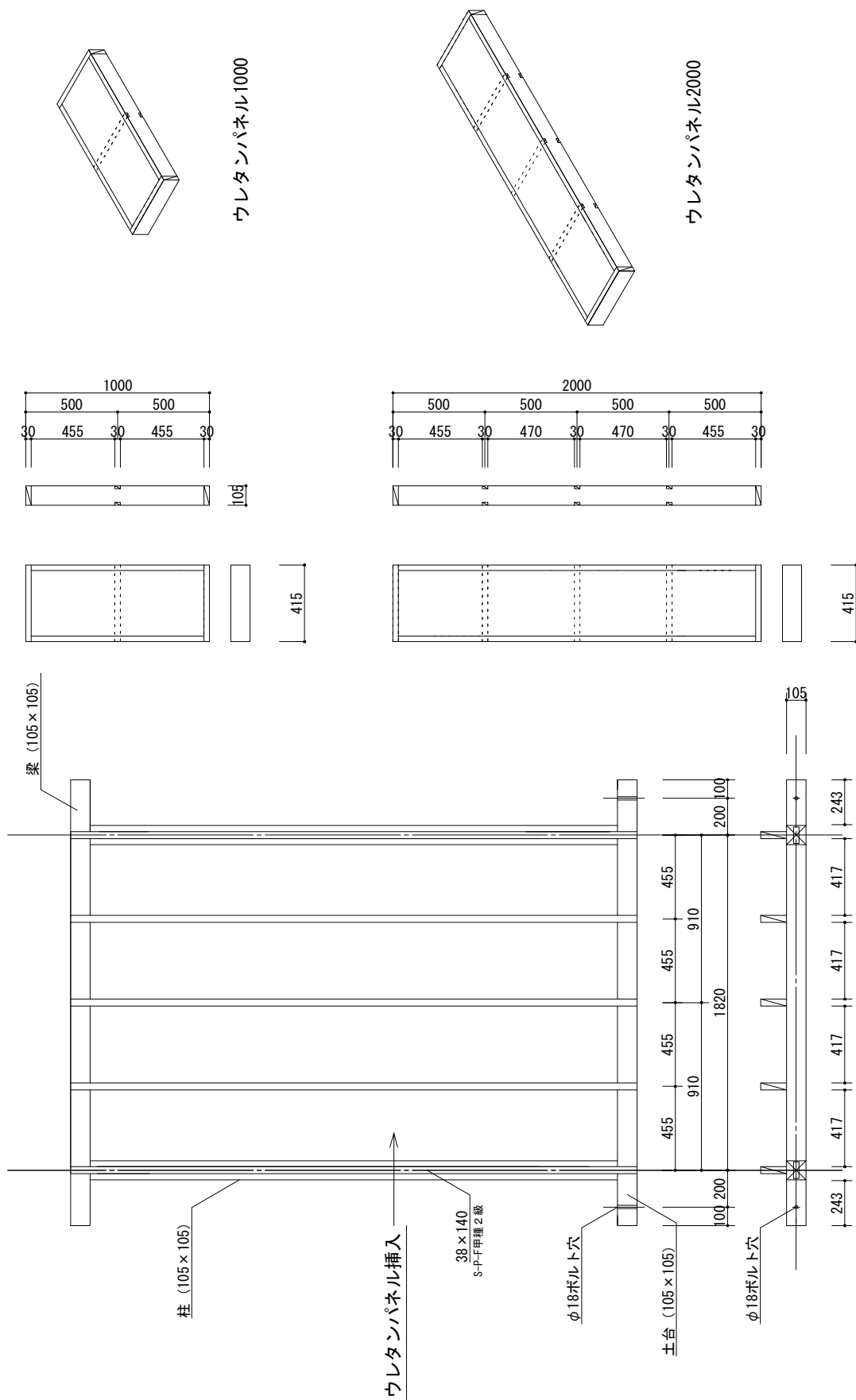


図 7.1.1 軸組とウレタンパネルの仕様

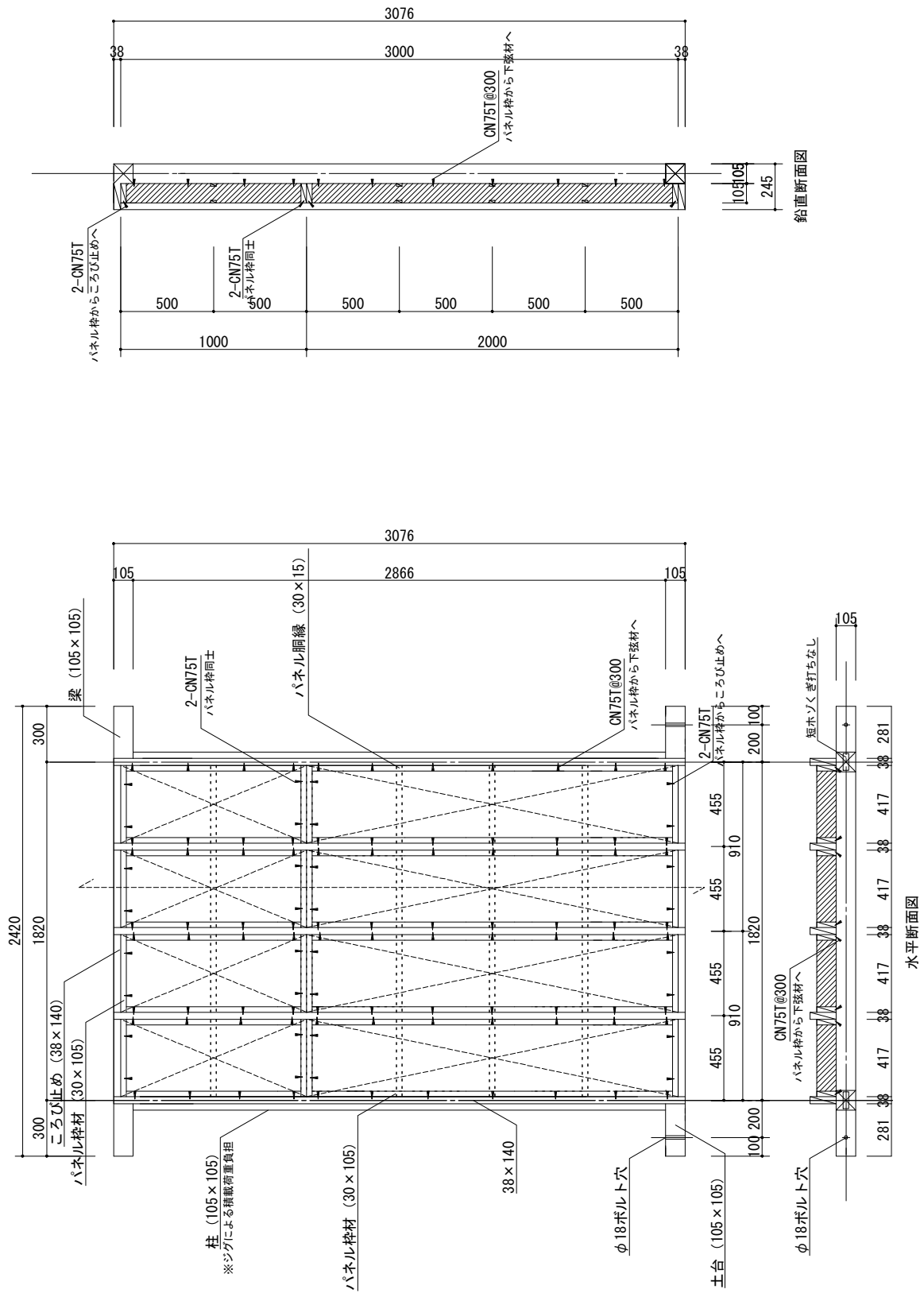


図 7.1.2 試験体 (一丁継ぎ) の形状

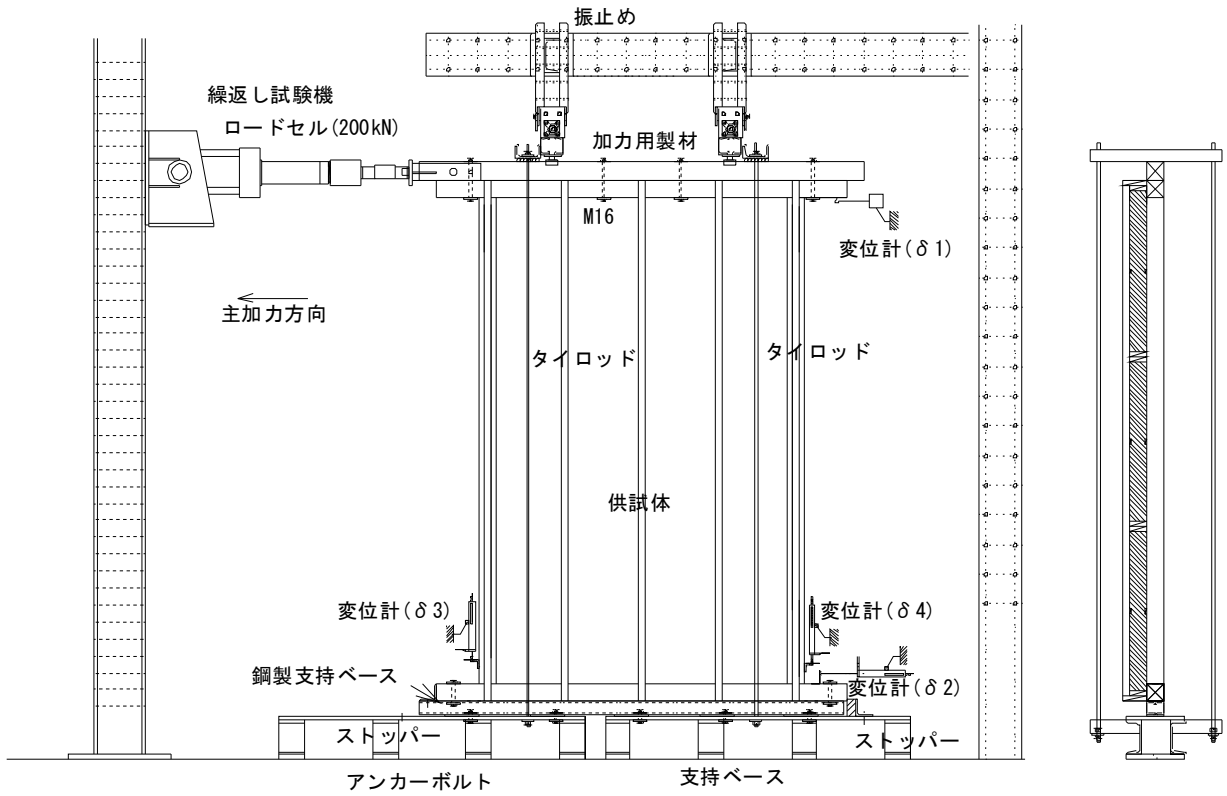


図 7.1.4 試験方法



写真 7.1.1 試験実施状況



写真 7.1.2 試験体設置状況

7.1.4. 試験結果

試験結果を表 7.1.1、7.1.2 に示す。荷重と変形の間係を図 7.1.5～図 7.1.16 に、破壊後の様子を写真 7.1.3～7.1.14 に示す。また、試験結果を比較するため、床倍率を参考までい試算した。

表 7.1.1 一丁継ぎ試験結果

項目	試験結果						
	①	②	③	平均	変動係数	ばらつき係数	50%下限値
最大耐力 P_{max} (kN)	4.87	4.37	4.37	4.54	0.064		
最大耐力時変角 γ_{pmax} (10^{-3} rad)	28.4	26.6	28.2	27.7	0.034		
降伏耐力 P_y (kN)	2.90	2.56	2.67	2.71	0.064	0.970	(a) 2.63
降伏変形角 γ_y (10^{-3} rad)	4.46	3.74	5.42	4.54	0.186		
終局耐力 P_u (kN)	4.44	4.07	3.89	4.13	0.067		
終局変形角 γ_u (10^{-3} rad)	65.9	33.4	50.5	49.9	0.325		
降伏点変形角 γ_v (10^{-3} rad)	6.83	5.96	7.88	6.89	0.140		
剛性 K(kN/rad)	649	684	493	609	0.167		
塑性率 μ	9.65	5.61	6.41	7.22	0.296		
構造特性係数 Ds	0.234	0.313	0.291	0.279	0.146		
$P_u \cdot (0.2/Ds)$ (kN)	3.79	2.61	2.67	3.02	0.221	0.896	(b) 2.71
$2/3P_{max}$ (kN)	3.25	2.91	2.91	3.02	0.064	0.970	(c) 2.93
特定変形角 (1/150rad)耐力 (kN)	3.38	3.28	2.88	3.18	0.083	0.961	(d) 3.06
短期基準せん断耐力 (kN)	2.63						
床倍率(試算値)	0.73						

表 7.1.2 千鳥継ぎ試験結果

項目	試験結果						
	①	②	③	平均	変動係数	ばらつき係数	50%下限値
最大耐力 P_{max} (KN)	3.58	4.47	4.17	4.07	0.111		
最大耐力時変角 γ_{pmax} (10^{-3} rad)	17.6	31.2	19.7	22.9	0.321		
降伏耐力 P_y (KN)	2.11	3.04	2.50	2.55	0.184	0.914	(a) 2.33
降伏変形角 γ_y (10^{-3} rad)	3.60	6.16	3.98	4.58	0.301		
終局耐力 P_u (KN)	3.30	4.06	3.83	3.73	0.105		
終局変形角 γ_u (10^{-3} rad)	33.4	52.0	42.3	42.5	0.218		
降伏点変形角 γ_v (10^{-3} rad)	5.63	8.21	6.11	6.65	0.206		
剛性 K(kN/rad)	585	494	627	569	0.120		
塑性率 μ	5.93	6.33	6.92	6.39	0.079		
構造特性係数 Ds	0.304	0.293	0.279	0.292	0.042		
$P_u \cdot (0.2/D_s)$ (kN)	2.17	2.77	2.75	2.56	0.132	0.938	(b) 2.40
$2/3P_{max}$ (kN)	2.39	2.98	2.78	2.72	0.111	0.948	(c) 2.57
特定変形角 (1/150rad)耐力 (kN)	2.87	3.08	3.08	3.01	0.041	0.981	(d) 2.95
短期基準せん断耐力 (kN)	2.33						
床倍率(試算値)	0.65						

ばらつき係数 = $1 - \text{変動係数} \times k$

k : 信頼水準 75%の 50%下限許容限界値を求めるための係数で、試験体数が 3 のとき 0.471
短期基準せん断耐力は、(a)、(b)、(c)、(d) のうちの最小値とする。

床倍率は以下の式により試算した。

$$\text{床倍率} = P_a \times (1/1.96) \times (1/L)$$

ただし、 P_a ：短期許容せん断耐力＝短期基準せん断耐力 $P_0 \times \alpha$

1.96：床倍率＝1 を算定する数値 (kN/m)

α ：耐力に影響を及ぼす係数で、水平構面の床板、構成材料の耐久性・使用環境の影響、施工性の影響などを考慮して定める係数。

(木造軸組工法住宅の許容応力度設計(平成 16 年 4 月第 3 版)より)

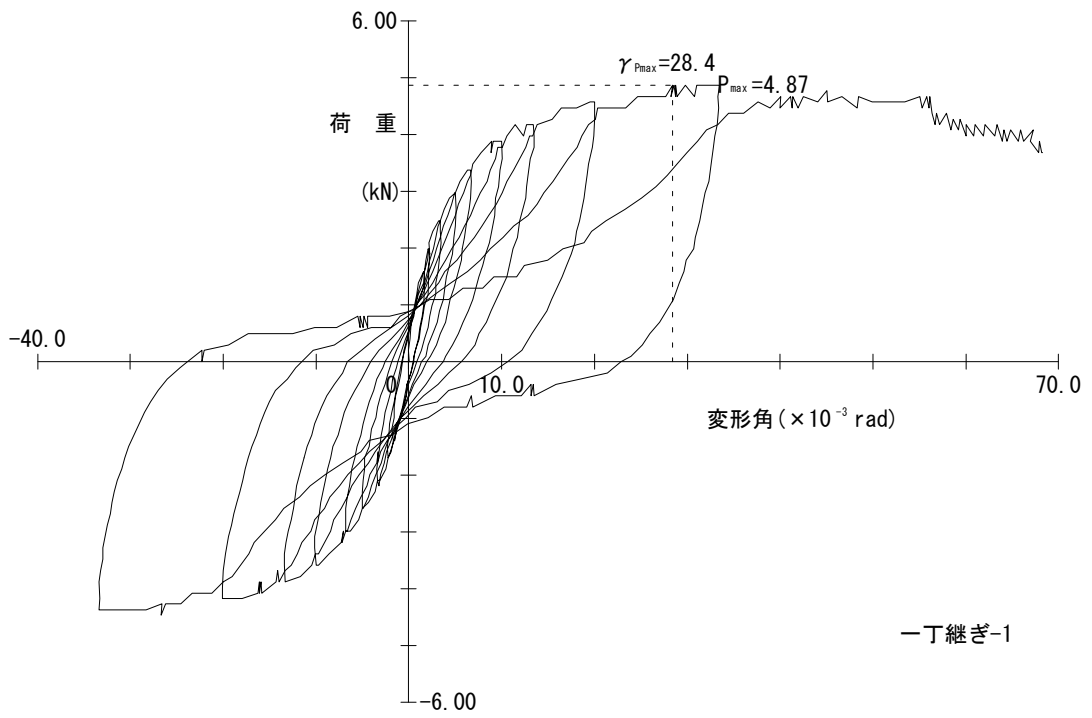


図 7.1.5 荷重 - せん断変形曲線 (一丁継ぎ①)

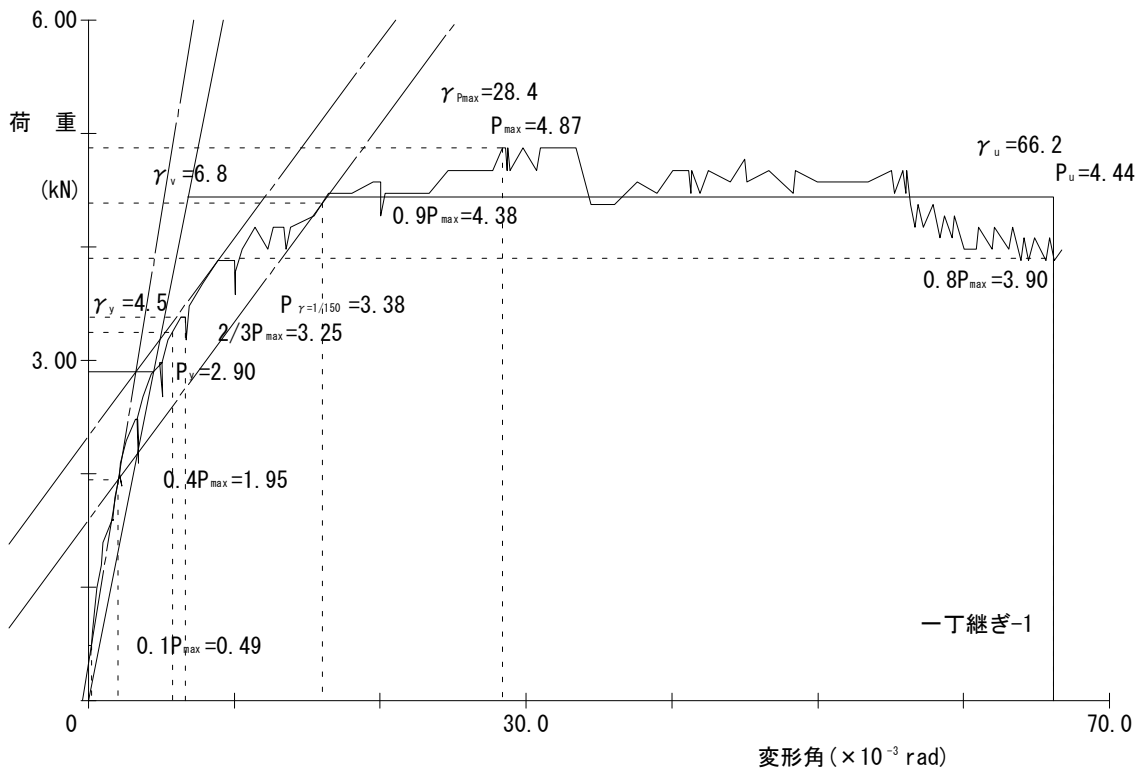


図 7.1.6 荷重 - せん断変形曲線 (一丁継ぎ①、包絡処理後)

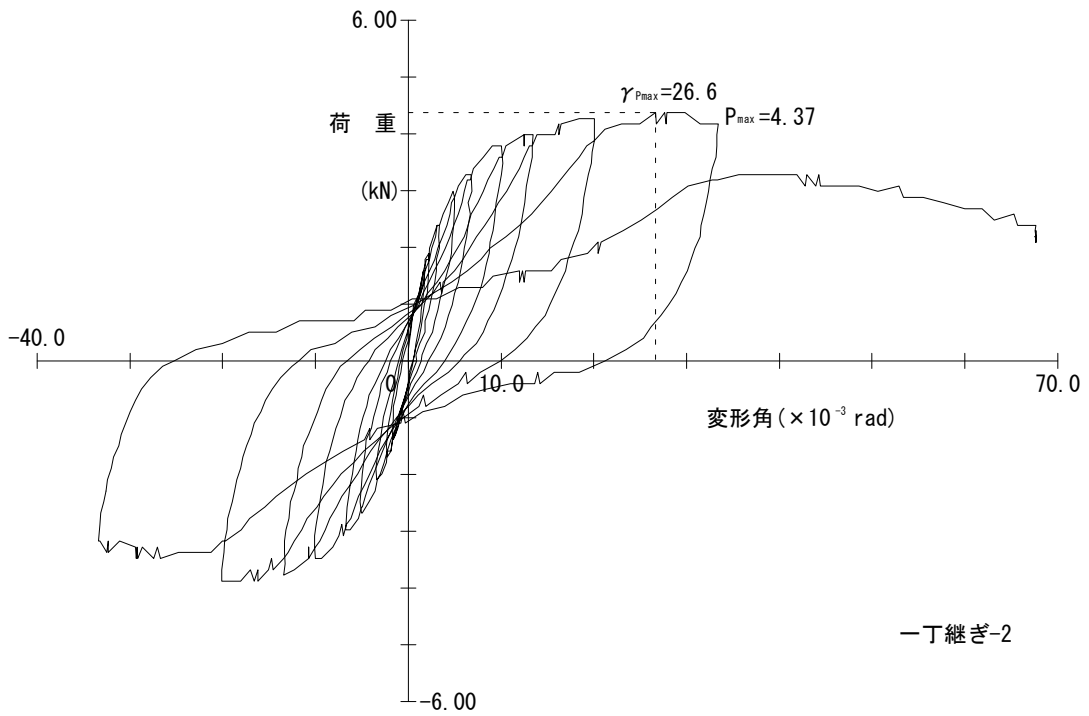


図 7.1.7 荷重 - せん断変形曲線 (一丁継ぎ②)

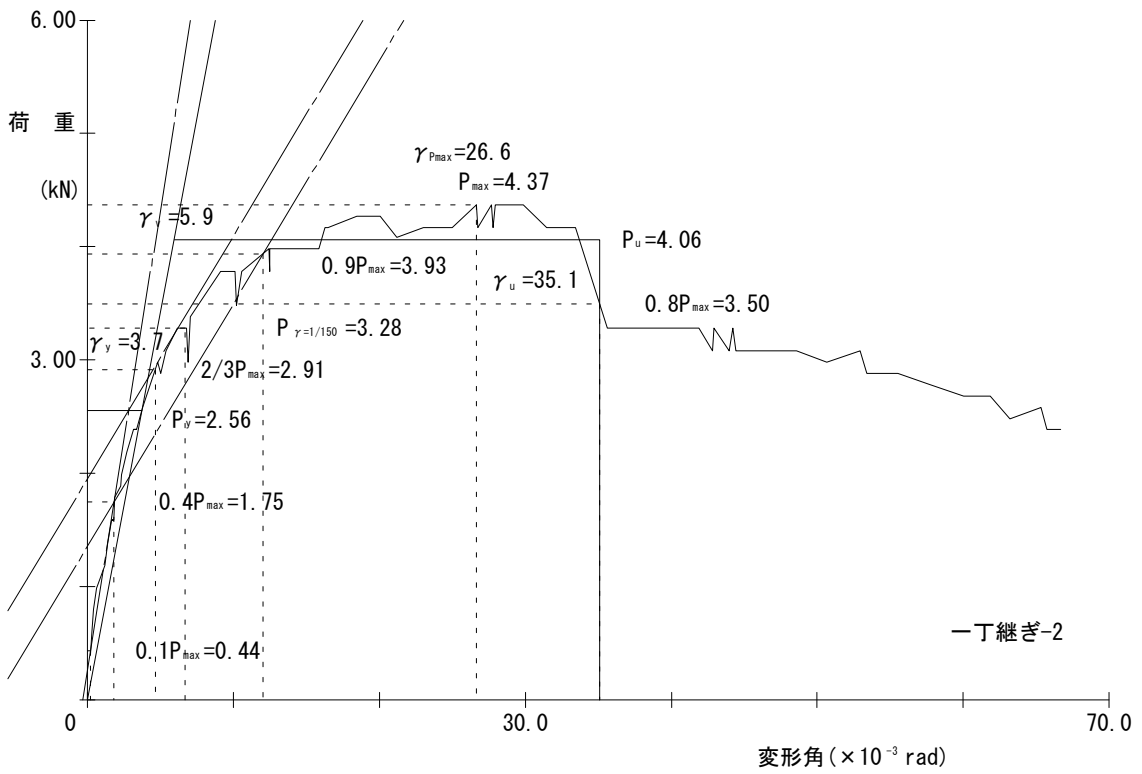


図 7.1.8 荷重 - せん断変形曲線 (一丁継ぎ②、包絡処理後)

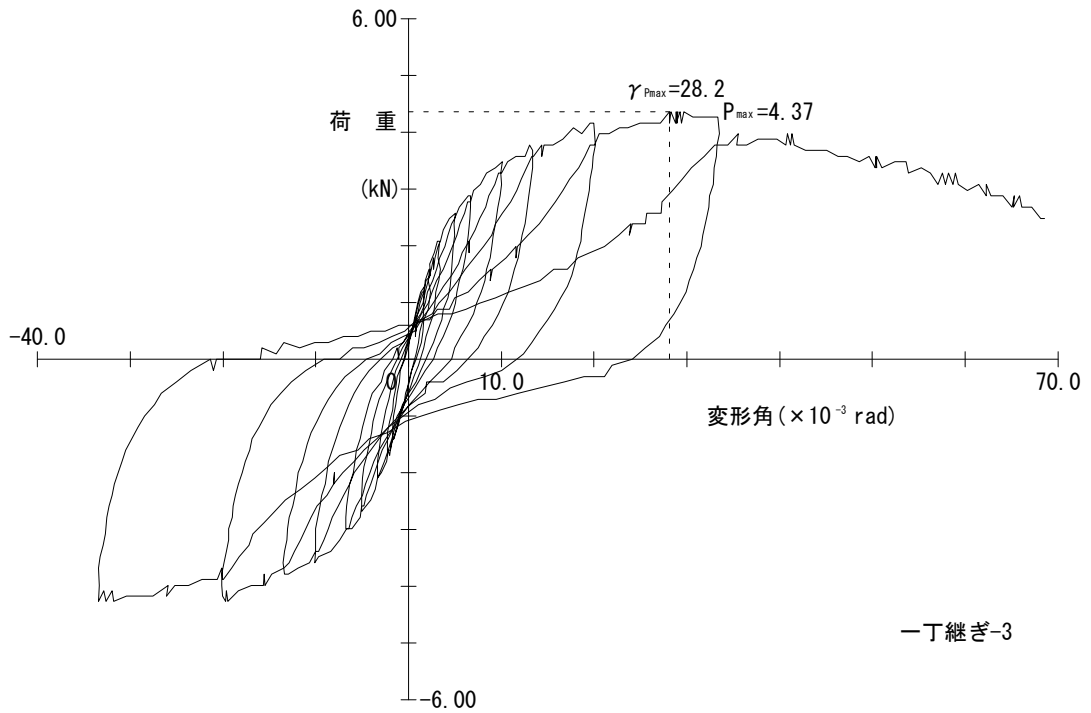


図 7.1.9 荷重 - せん断変形曲線 (一丁継ぎ③)

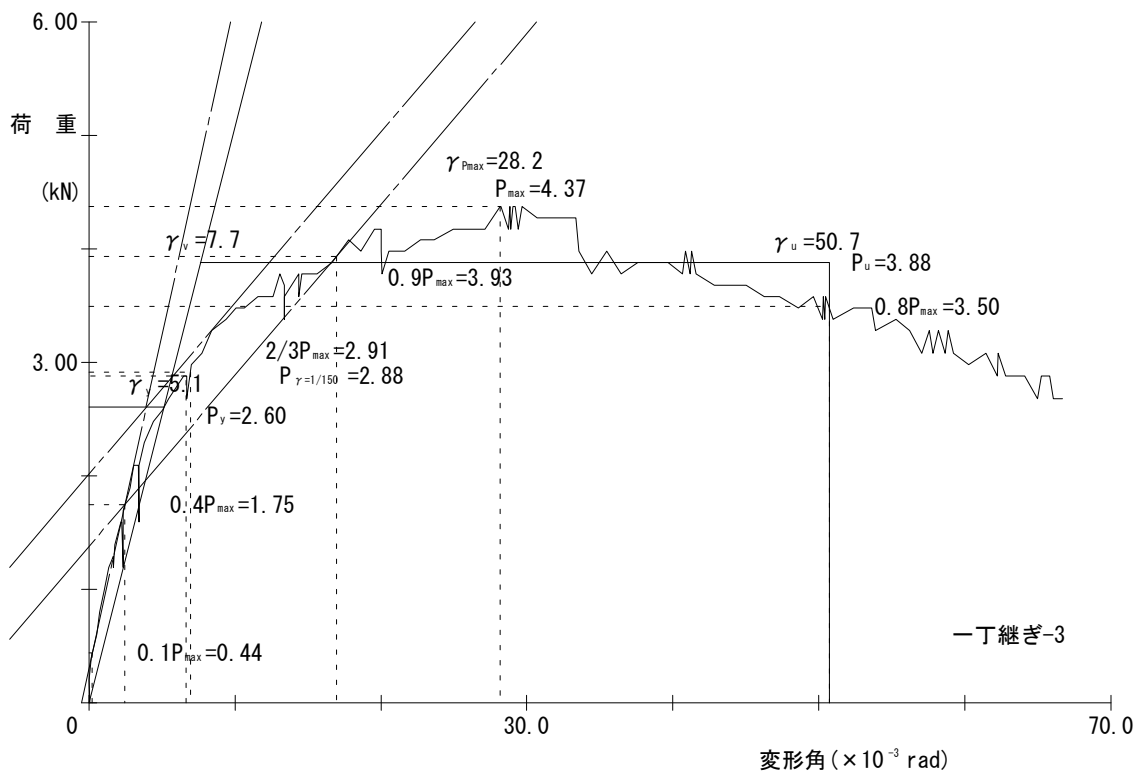


図 7.1.10 荷重 - せん断変形曲線 (一丁継ぎ③、包絡処理後)

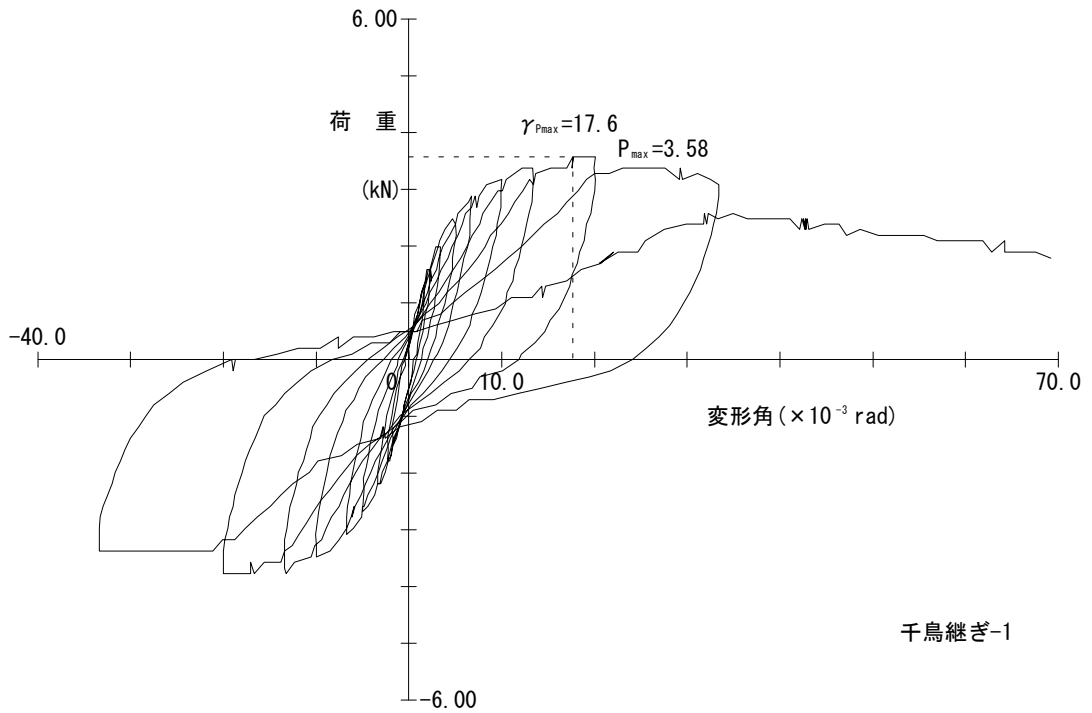


図 7.1.11 荷重 - せん断変形曲線 (千鳥継ぎ①)

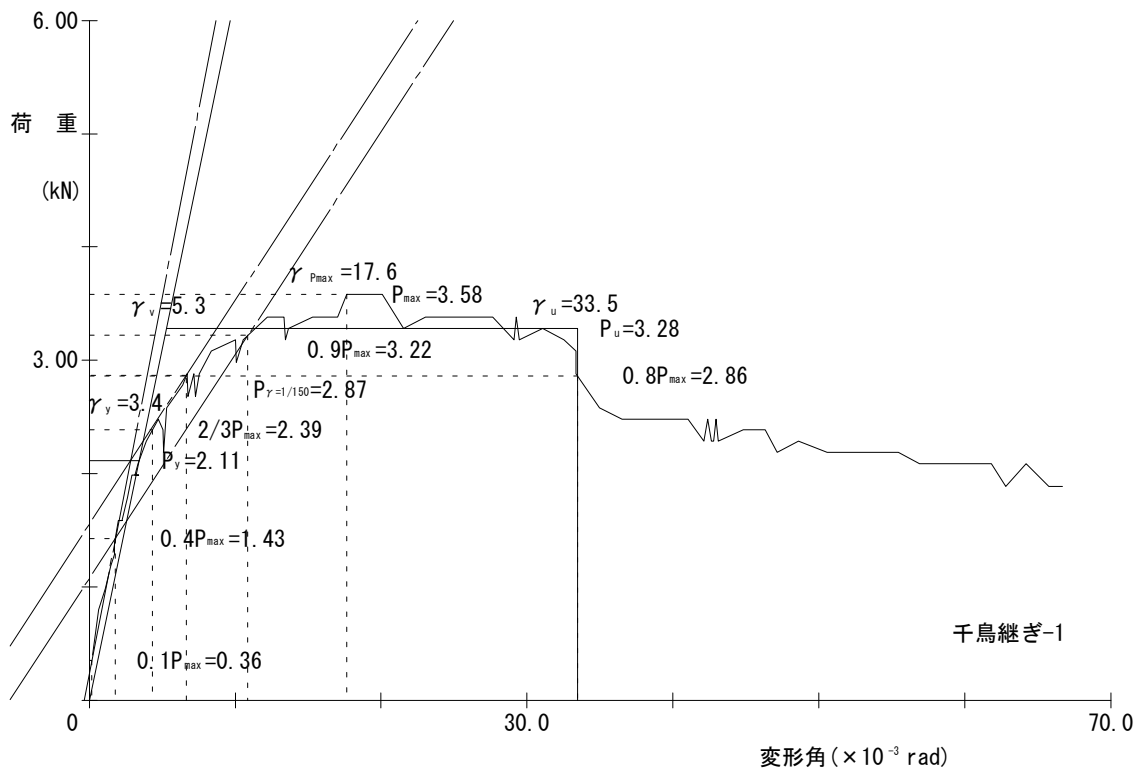


図 7.1.12 荷重 - せん断変形曲線 (千鳥継ぎ①、包絡処理後)

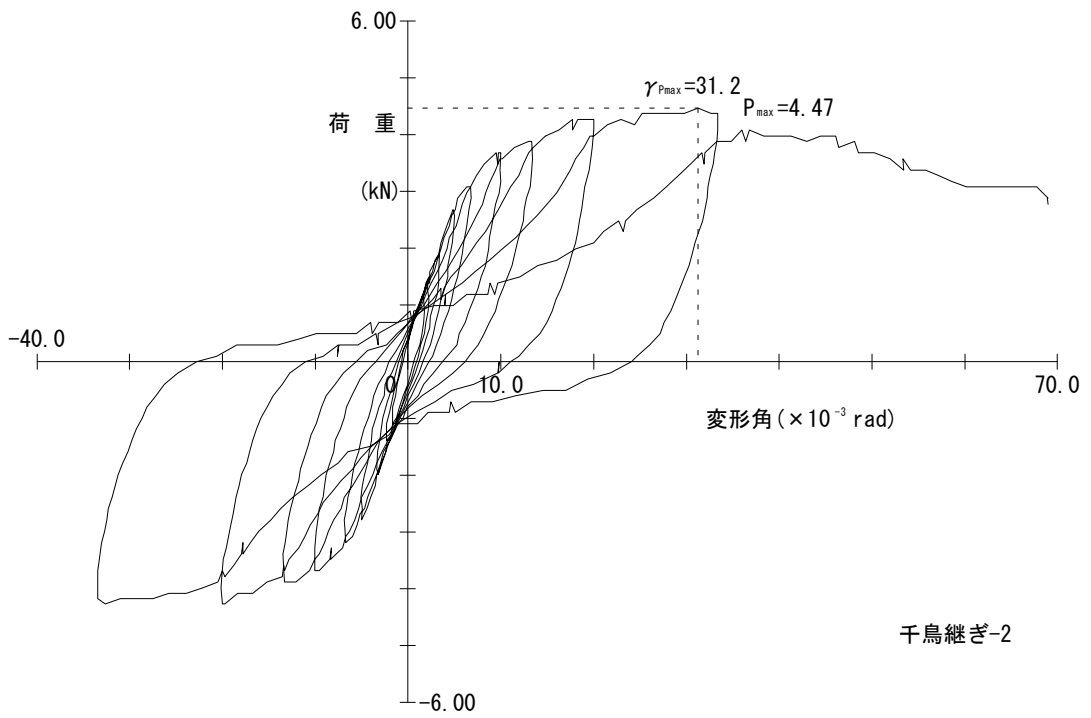


図 7.1.13 荷重 - せん断変形曲線 (千鳥継ぎ②)

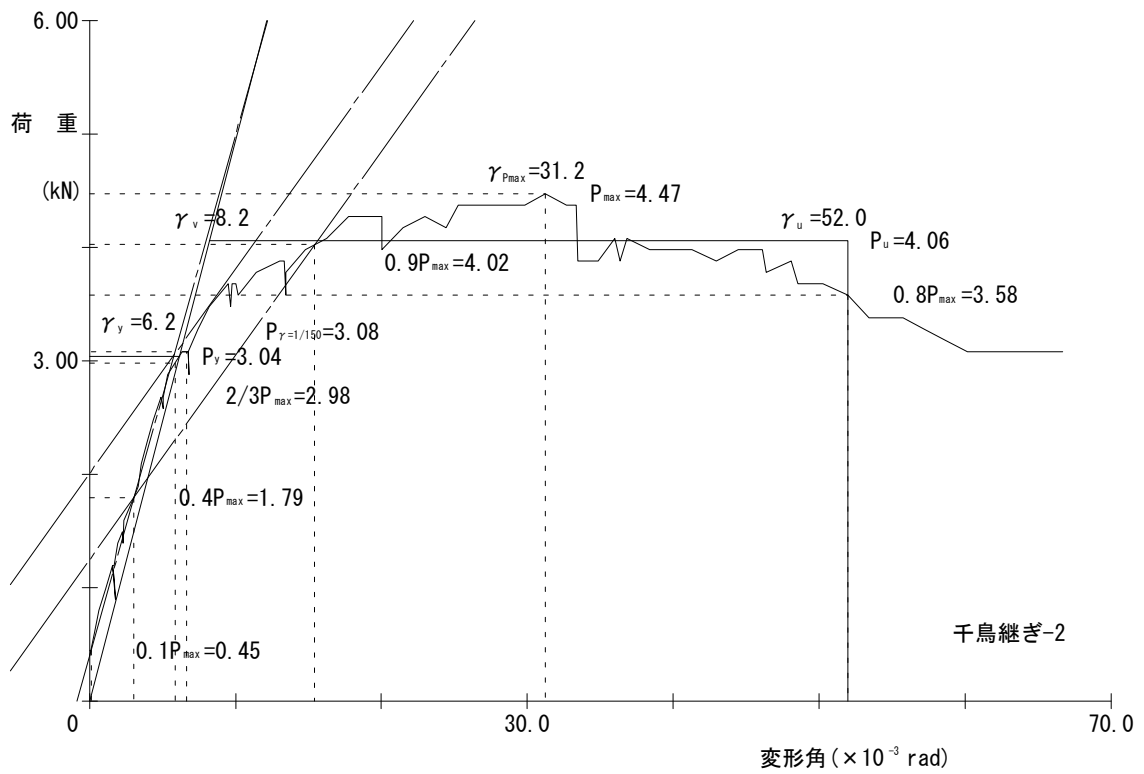


図 7.1.14 荷重 - せん断変形曲線 (千鳥継ぎ②、包絡処理後)

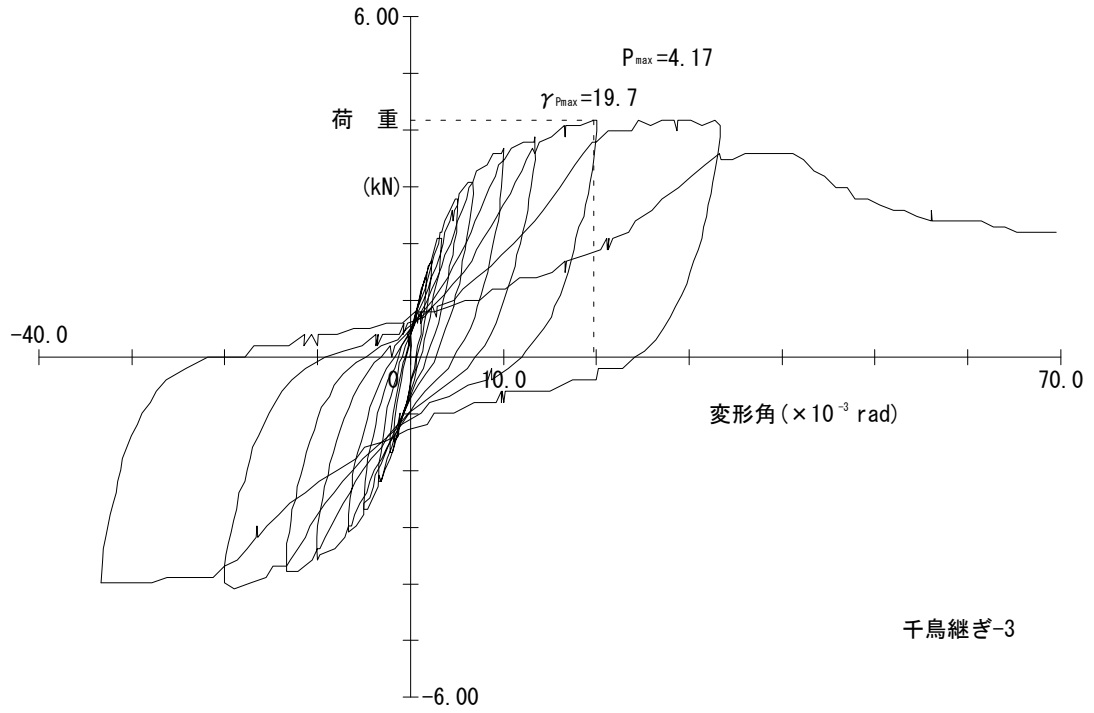


図 7.1.15 荷重 - せん断変形曲線 (千鳥継ぎ③)

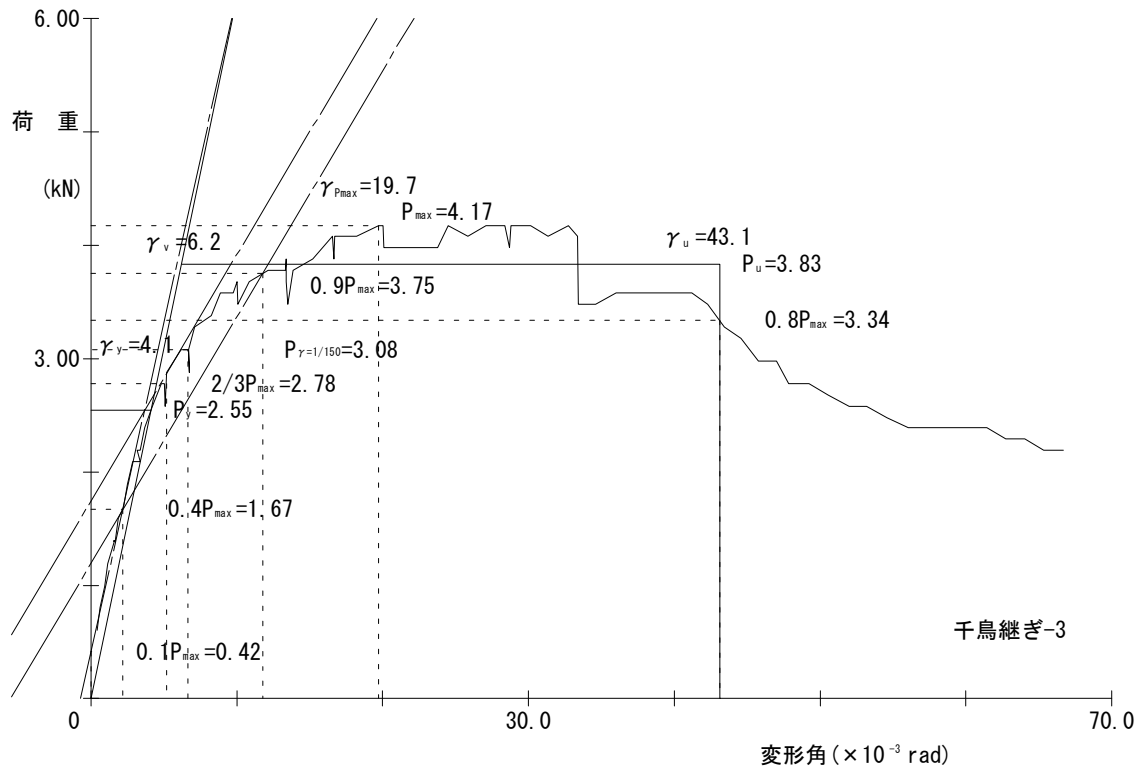


図 7.1.16 荷重 - せん断変形曲線 (千鳥継ぎ③、包絡処理後)



写真 7.1.3 破壊後の様子(千鳥継ぎ-1)
変形角 $1/15\text{rad}$ 時

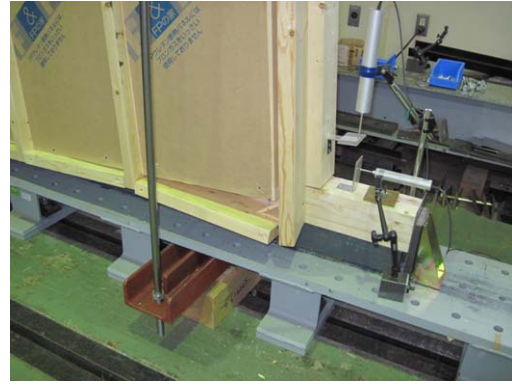


写真 7.1.4 破壊後の様子(千鳥継ぎ-1)
パネル枠の破壊



写真 7.1.5 破壊後の様子(千鳥継ぎ-2)
変形角 $1/30\text{rad}$ 時

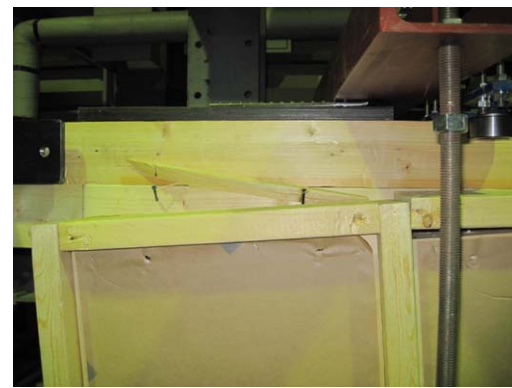


写真 7.1.6 破壊後の様子(千鳥継ぎ-2)
パネル枠と桁材の離脱



写真 7.1.7 破壊後の様子(千鳥継ぎ-3)
パネル枠材の変形



写真 7.1.8 破壊後の様子(千鳥継ぎ-3)
パネルの離脱

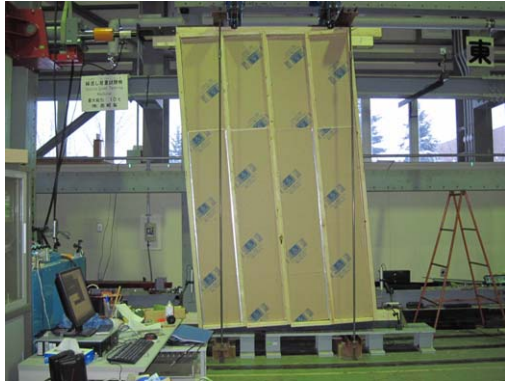


写真 7.1.9 破壊後の様子(一丁継ぎ-1)
変形角 $1/15\text{rad}$ 時

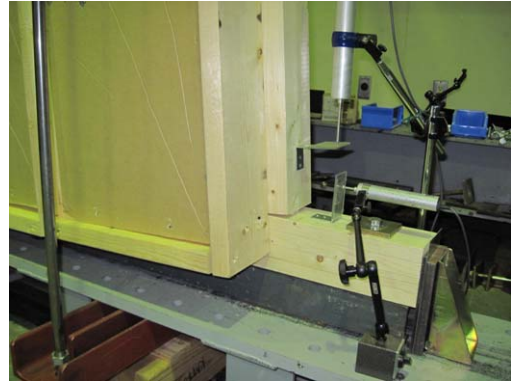


写真 7.1.10 破壊後の様子(一丁継ぎ-1)
全体の様子

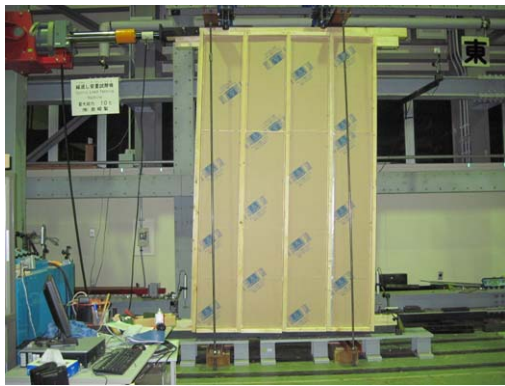


写真 7.1.11 壊後の様子(一丁継ぎ-2)
変形角 $-1/30\text{rad}$ 時



写真 7.1.12 壊後の様子(一丁継ぎ-2)
パネルの離脱



写真 7.1.13 壊後の様子(一丁継ぎ-3)
パネルと枠材とのずれ



写真 7.1.14 破壊後の様子(一丁継ぎ-3)
パネルの変形

7.1.5. 考察

1) 耐力の検証

屋根構造にかかる水平力は屋根面と火打ち水平構面により、壁耐力要素へ伝達される。木質トラス工法の場合、トラス下弦材の天井水平構面自体には面内せん断耐力はなく、現状は屋根面と火打ち水平構面で剛性を確保するしか方法がない。

本試験結果から千鳥継ぎ仕様は床倍率 0.65 で一丁継ぎ仕様は 0.73 であった。これは木製火打や火打ち金物 HB よりも高く、屋根垂木に 9mm 以上の構造用合板を張った仕様の 0.7 倍に匹敵する。

トラス下弦材に剛性を有する面材等を施工することにより面内せん断耐力を十分に期待できる事が確認できた。

表 7.1.3 床倍率の参考値 (品格法 評価方法基準告示より抜粋)

	水平構面の仕様	床倍率
屋根面	5 寸勾配以下、構造用合板 9mm 以上又は構造用パネル 1.2.3 級、垂木@500 以下転ばし、N50@150 以下	0.7
	矩勾配以下、構造用合板 9mm 以上又は構造用パネル 1.2.3 級、垂木@500 以下転ばし、N50@150 以下	0.5
	5 寸勾配以下、幅 180 杉板 9mm 以上、垂木@500 以下転ばし、N50@150 以下	0.2
	矩勾配以下、幅 180 杉板 9mm 以上、垂木@500 以下転ばし、N50@150 以下	0.1
火打ち水平構面	木製火打 90×90 (隅長 750) 又は火打ち金物 HB、平均負担面積 2.5m ² 以下、梁背 150 以上	0.8
	木製火打 90×90 (隅長 750) 又は火打ち金物 HB、平均負担面積 2.5m ² 以下、梁背 105 以上	0.5
	木製火打 90×90 (隅長 750) 又は火打ち金物 HB、平均負担面積 3.3m ² 以下、梁背 150 以上	0.48
	木製火打 90×90 (隅長 750) 又は火打ち金物 HB、平均負担面積 3.3m ² 以下、梁背 105 以上	0.36
	木製火打 90×90 (隅長 750) 又は火打ち金物 HB、平均負担面積 5.0m ² 以下、梁背 150 以上	0.24
	木製火打 90×90 (隅長 750) 又は火打ち金物 HB、平均負担面積 5.0m ² 以下、梁背 105 以上	0.15

2) 水平力に耐えうる構造部材の配置

今回の実験では、試験方法の関係により木枠付きウレタンパネルを挿入した状態で異なる 2 つの配列による実験を行った結果を比較すると、一丁継ぎ配列によるせん断力の方が 10% 程度高い値を示した。これは、構造用合板等の水平耐力に用いる構造部材の場合も同様と考えられる。構造面材等の配置は一丁継ぎの方が適していると判断する。

3) 耐力の向上

試験体の破壊状態はロッキングによるものであり、ころび止めが回転して変形拘束に対して充分には機能していない状況である。

本試験では下弦材端部と梁、及びころび止めの接合方法はあおり止めを除き建築基準法告示 1540 号に準拠して行い、告示による接合方法の安全性を確認した。今後、破壊メカニズムを考慮することで、汎用性・施工性を考慮し、より安全性の高い接合方法が構築できるものと思われる。

8. モニタリングセミナー報告

8.1. モニタリングセミナー概要

北海道内主要 5 箇所（札幌、函館、旭川、釧路、帯広）において木質トラスをはじめとする地域材を利用した建築部材を、建築実務者を対象として意見を伺うセミナーを実施することで、市場のニーズにより近づけた木質トラスの製品化に取り組む。

8.2. セミナー対象者

北海道内の 179 市町村及び建築士事務所登録をしている設計事務所約 600 社に向けて FAXDM にて本セミナーの募集を行う。

8.3. セミナー内容

下記 3 つについて講演を行い、アンケートを行い意見徴収を行う。

1. 北海道水産林産部林務局林業木材課より「北海道地域材利用推進方針について」
2. キタヂカラ木材店様より「北海道木材の現状と今後について」
3. 株式会社 F P コーポレーションより「道産材製品 木造トラスについて」

8.4. セミナー結果

8.4.1. セミナー開催状況

平成 23 年 2 月 16 日開催	14:00～16:00	釧路会場	参加者 30 名
平成 23 年 2 月 17 日開催	14:00～16:00	帯広会場	参加者 29 名
平成 23 年 2 月 23 日開催	14:00～16:00	旭川会場	参加者 19 名
平成 23 年 2 月 24 日開催	14:00～16:00	札幌会場	参加者 52 名
平成 23 年 2 月 25 日開催	14:00～16:00	函館会場	参加者 15 名