

2.9 (株)ルピシアトレーディング/(有)ナスカ

事業名	LUPICIAニセコヴィレッジ新本社棟新築工事の設計実証・性能実証		
実施者(担当者)	(株)ルピシアトレーディング(有)ナスカ		
建築物の概要	用途	事務所	
	建設地	北海道虻田郡ニセコ町	
	構造・工法	木造軸組工法+CLT壁(耐力壁・屋根床版)	
	階数	1	
	高さ(m)	4.959	
	軒高(m)	4.792	
	敷地面積(m ²)	1623.43	
	建築面積(m ²)	681.05	
	延べ面積(m ²)	625.65	
	階別面積	1階	625.65
	2階	-	
	3階	-	
CLTの仕様	CLT採用部位	壁、屋根	
	CLT使用量(m ³)	加工前製品量190m ³ 、建築物使用量162m ³	
	壁パネル	寸法	150mm厚
		ラミナ構成	5層5プライ
		強度区分	Mx90-5-5
		樹種	カラマツ
	床パネル	寸法	
		ラミナ構成	
		強度区分	
		樹種	
	屋根パネル	寸法	150mm厚
		ラミナ構成	5層5プライ
強度区分		Mx90-5-5	
樹種		カラマツ	
木材	主な使用部位(CL T以外の構造材)	柱:カラマツ集成材 梁:カラマツ集成材 外装:カラマツ製材	
	木材使用量(m ³)※構造材、羽柄材、下地材、仕上材等とし、CL T以外とする	95m ³	
仕上	主な外部仕上	屋根	超速硬化ウレタン防水t3.0
		外壁	カラマツ製材15x45の上、木材保護塗装
		開口部	木製建具(Low-E 6 + A12 + 6)
	主な内部仕上	界壁	
		間仕切り壁	CLT露し
		床	木毛セメント板t50/長尺塩ビシート
	天井	CLT露し/岩綿吸音板t9	
構造	構造計算ルート	ルート1	
	接合方法	GIR接合	
	最大スパン	2.6m	
	問題点・課題とその解決策	CLTに斜め挿入されるGIR耐力が現状設定されていないので、それを引張及び曲げ試験によって確認する。	
耐火	防火上の地域区分	その他地域	
	耐火建築物等の要件	無	
	本建築物の耐火仕様	無	
	問題点・課題とその解決策	無	
温熱	建築物省エネ法の該当有無	規制対象	
	温熱環境確保に関する課題と解決策	連続する外側断熱とし、CLTの持つ断熱性能と複合的に検討	
	主な断熱仕様(断熱材の種類・厚さ)	屋根(又は天井)	フェノールフォームt60
		外壁	フェノールフォームt60
床		フェノールフォームt60	
施工	遮音性確保に関する課題と解決策	大判パネルによる架設と接合方法の再考が必要	
	建て方における課題と解決策	柱の建方とRC腰壁の順序整理と打設時の柱への防水方法の検討が必要	
	給排水・電気配線設置上の工夫	床をOAフロア化し、給排水・電気配線の取り回しをフレキシブル化	
	劣化対策	建方期間を最小化するとともに、防水工事を降雪前に実施する	
工程	設計期間	2021年8月~2022年2月(7ヵ月)	
	施工期間	CLT躯体施工期間	2022年7月~2023年2月(8ヵ月)(予定)
			2022年10月~11月(1ヵ月)(予定)
	竣工(予定)年月日	2023年2月15日(予定)	
体制	発注者	株式会社ルピシアトレーディング	
	設計者(複数の場合はそれぞれ役割を記載)	基本・実施設計:有限会社ナスカ一級建築事務所	
	構造設計者	株式会社坂田涼太郎構造設計事務所	
	施工者	未定	
	CLT供給者	銘建工業(北海道産材)	
	ラミナ供給者	銘建工業(北海道産材)	

実証事業名：LUPICIA ニセコヴィレッジ新本社棟新築工事の設計実証・性能実証

建築主等/協議会運営者：(株) ルピシアトレーディング/ (有) ナスカ

1. 実証した建築物の概要

用途	事務所			
建設地	北海道虻田郡ニセコ町			
構造・工法	木造軸組工法+CLT (耐力壁・屋根床版)			
階数	1			
高さ (m)	4.959	軒高 (m)	4.792	
敷地面積 (㎡)	1,623.43	建築面積 (㎡)	681.05	
階別面積	1階	625.65	延べ面積 (㎡)	625.65
	2階			
	3階			
CLT 採用部位	壁、屋根			
CLT 使用量 (m ³)	加工前製品量 190 m ³ 、加工後建築物使用量 162 m ³			
CLT を除く木材使用量 (m ³)	56 m ³			
CLT の仕様	(部位)	(寸法 / ラミナ構成 / 強度区分 / 樹種)		
	壁	150mm 厚/5 層 5 プライ/Mx90 相当/カラマツ		
	床	—		
	屋根	150mm 厚/5 層 5 プライ/Mx90 相当/カラマツ		
設計期間	2021 年 8 月～2022 年 2 月 (7 カ月)			
施工期間	2022 年 7 月～2023 年 2 月 (8 ヶ月) (予定)			
CLT 躯体施工期間	2022 年 10 月～11 月 (1 ヶ月)			
竣工 (予定) 年月日	2023 年 2 月 15 日			

2. 実証事業の目的と設定した課題

本建物は北海道に建設される木造平屋の建物である。2m 近い積雪に対し安価な通常の木造在来軸組工法で設計すると屋根構成部材数が多くなり施工が複雑になり、天井仕上げも必要になる。また下部躯体の必要壁長さも多くなる。

そこで在来軸組工法の必要な箇所を CLT 部材に置換する計画を立案し、屋根及び壁に CLT 部材を使用する。CLT 部材を使用することで屋根施工が簡略化され天井仕上げも省略でき、外周円壁のみで必要な水平耐力を取ることで、室内に耐力要素を必要としないフレキシブルで開放的な空間を構成することができる。しかし、部分的に CLT 部材を使用する建物は数が多くないため、接合仕様・加工の標準化、構造性能の把握が CLT を採用する上での懸念点となっている。

そこで本事業で意匠的・施工的な観点から見た接合仕様・加工の提案を行うとともに、本建物に採用予定壁接合の構造実験を行い、構造特性を把握するとともに、より耐力が高く・破壊性状の良い接合部の提案を行う。

実証事業では以下の課題を設定し、検討を行う。

- ① 天井仕上げとして用いる屋根 CLT 部材の下部躯体への接合仕様及び性能の把握
- ② 屋根 CLT 部材の歩留まり向上のための検討
- ③ 構造実験による壁 CLT 部材の接合部性能の把握・改善
- ④ 当該建物を S 造で置換した際のコスト比較及び、意匠納まり、施工メリットの把握

3. 協議会構成員

(事業主) 株式会社ルピシアトレーディング：水口博喜・伊藤晶・森繁かをり・前田紗智子・植松秀典・長沼憲児・梅垣和敬・茂呂貴子

(設計) 有限会社ナスカ：古谷誠章・狩野広行 (協議会運営者)

(構造設計) 株式会社坂田涼太郎構造設計事務所：坂田涼太郎・鈴木一希

(材料制作) 銘建工業：藤崎健介

(材料加工) 籐寿産業：相澤貴宏

(構造実験) 東京都市大学 建築都市デザイン学部建築学科 落合研究室：落合陽

4. 課題解決の方法と実施工程

①に関しては、屋根 CLT 接合要素として汎用的に使用されている接合具・接合方法・性能を調査し、本物件に適している接合方法を立案する。

②に関しては、材料加工を専門とする協議会構成員と設計段階から協議することで歩留まりを逐一把握し、歩留まりが向上するような架構案を立案していく。また、構造材を切り出した端材を用いて造作用の材を切り出し、廃棄される材を極力削減していく。

③に関しては、接合具状況をパラメーターとした接合部実験を行い、構造性能を把握するとともに構造性能を向上させる仕様を提案する。

④に関しては、本事業建物を鉄骨造に置換設計したもので建設事業費の算出を行う。

大まかには以下の項目で木造にコストメリットがあると考えられる。

- ・構造部材：重量低減による基礎躯体低減とそれに伴う土工事、型枠鉄筋工事の簡素化。
- ・仕上材及び下地材：鉄骨造では、木造では存在しなかった内装仕上や屋根の下地工事が生じる。
- ・断熱材：CLT 部材は躯体の断熱性能が高いため鉄骨造に置換した際に必要断熱材量が増加する。
- ・足場等：鉄骨造では、壁及び天井に内装仕上工事が生じるため、仕上用内部総足場が必要となる。
- ・工期：鉄骨造では、内装仕上工事の発生、建方期間の延伸等に伴う工期の延伸が生じ、直接仮設工事及び共通費の増額を見込む必要がある。

<協議会の開催>

○性能実証

令和3年8月：第1回開催、設計問題点洗い出し（メール・電話主体でのやり取り）

9月：第2回開催：問題点改善案の立案、実験計画の立案（メール・電話主体でのやり取り）

10月：第3回開催：改善案仕様での概算見積りの検討、実験試験体発注

11月：第4回開催：概算見積りを踏まえた上での改善案の提示、構造実験

12月：第5回開催：実証事業の取りまとめ検討

○設計実証

令和3年9月：第1回開催：積雪風洞実験及び対応検討

10月：第2回開催：基本設計説明及び協議 第3回開催：積雪風洞実験及び対応検討

11月：第4回開催：外構造成計画とランドスケープデザイン立案

12月：第5回開催：景観条例住民説明会及び対応の検討

令和4年2月：第6回開催：実施設計報告

<設計>

令和4年1月：実施設計

1月：構造設計

2月：建築確認申請

<施工>（予定）

令和4年7月：工事契約

7～10月：着工、基礎工事

10月～11月：木工事

12月：外装工事

12月～令和4年1月：内装工事

令和3年12月～2月：設備工事

<性能確認>

令和3年11月：接合部引張試験 2条件各3体計6体、接合部曲げ試験4条件各3体 計12体

5. 得られた実証データ等の詳細

(1) 引張試験

通常型 GIR に関しては 70kN を超えたところで一度降伏性状を見せるがその直後耐力が上昇に転じている。その後試験機限界荷重 100kN を迎えたため、試験を終了した。試験終了時も CLT 小口及び側面に損傷はみられなかった。

試験結果より本実験状況での通常型 GIR 短期基準引張耐力は 66kN と算定できた。一方、靱性型 GIR は 45kN で GIR が降伏し、その後緩やかに耐力上昇し GIR が破断し試験が終了した。以下に各試験の代表荷重-変形曲線と最終破壊性状及び短期基準引張耐力を示す。試験終了時も CLT 小口及び側面に損傷はみられなかった。

試験結果より本実験状況での靱性 GIR 短期基準引張耐力は 45kN と算定できた。

(2) 曲げ試験

GIR 種類・接合部軸力正負をパラメーターに接合部曲げ試験を行った。

① 接合部圧縮時

接合部軸力が圧縮になる場合は、GIR 種類に関わらず安定して耐力を負担できることがわかった。ただ破壊性状は大きく異なり通常型 GIR は GIR が貫通している飼木部分がひび割れた後飼木圧縮部分が座屈しめり込みながら緩やかに終局を迎えた。対する靱性型 GIR は柱中央がひび割れた後、CLT がローリングシア破壊を生じ終局に至った。この破壊形式は靱性型 GIR が CLT せい方向に 2 本入っており、発生軸力の偶力に起因するせん断力によりローリングシア破壊を起こしたと推察される。

除荷時の残留変形を見ても靱性型 GIR に比べて通常型 GIR のほうが小さく、試験体の損傷が小さいことが伺える。

② 接合部引張時

接合具部が引張になる場合は靱性型 GIR の剛性が大きく高くなった。靱性型 GIR 試験体は引張耐力の関係で接合具が 2 本挿入されており、GIR 同士の偶力によりモーメント抵抗しているためと思われる。その影響で靱性型 GIR は早期に降伏し 20kN で柱際のひび割れが生じ耐力が上がらなくなる。その後変位 40mm を超えると圧縮側にあった GIR が引張に転じ、耐力が緩やかに上昇し試験機の変形限界を迎えた。

通常型 GIR は接合具が 1 本しか入っていないため剛性は低いが大きな損傷もなく、耐力が緩やかに上昇していき試験機の変形限界を迎えた。

除荷時の残留変形を見ても靱性型 GIR に比べて通常型 GIR のほうが小さく、試験体の損傷が小さいことが伺える。設定した課題において次の結果が得られた。

6. 本実証により得られた成果

① 天井仕上げとして用いる屋根 CLT 部材の下部躯体への接合仕様及び性能の把握

プレカット業者及び CLT 給業者へのヒアリングにより、加工手数を極力少なくすることで経済性及び施工者負担を少なくできることがわかった。構造性能を加味し、CLT を長ビスで固定する方法を採用することとした。

② 屋根 CLT 部材の歩留まり向上のための検討

屋根 CLT は円周方向を 3 分割すると CLT 歩留まり運搬コストが最小化されることが判明し、それに則り設計図書へ反映した。

③ 構造実験による壁 CLT 部材の接合部性能の把握・改善

(1) 引張試験

CLT ラミナに対してナナメに各 GIR を挿入した試験体に対して引張試験を行った。その結果本建物の接合具挿入状況での各 GIR の短期基準引張耐力を算出することができた。この結果をもとに CLT 端部接合部を設計することとした。

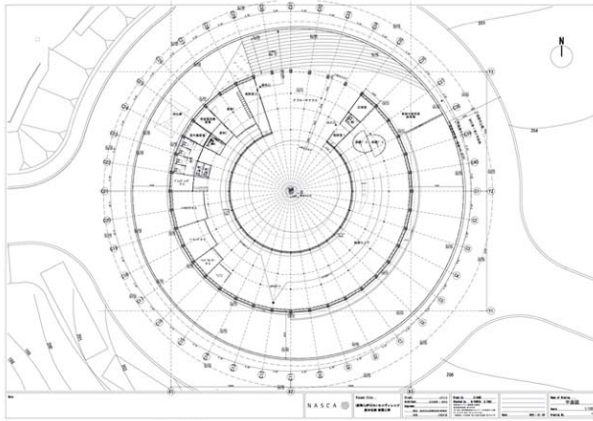
(2) 曲げ試験

GIR 種類・接合部軸力正負をパラメーターに接合部曲げ試験を行った。

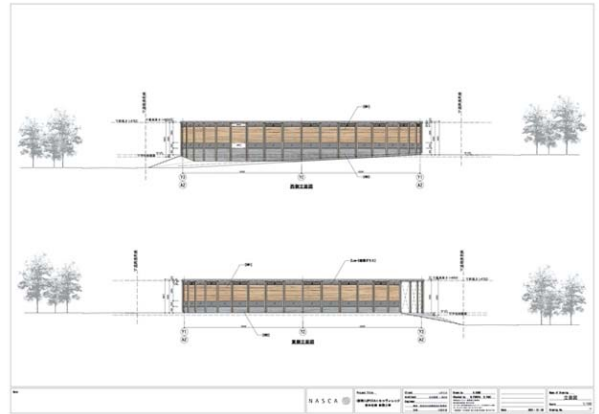
設計で想定しているせん断力 12kN に対し、各 GIR ともに短期許容応力を満足することが確認された。ただ破壊性状の観点から靱性型 GIR を使用した試験体は接合具が早期に降伏することにより、木材の損傷が早期に起こってしまった。対する通常型 GIR では大変形に至るまで大きな損傷を確認できない。

前述した耐力状況や損傷性状を鑑み、本建築で使用する接合具は「通常型 GIR」とすることと決定した。

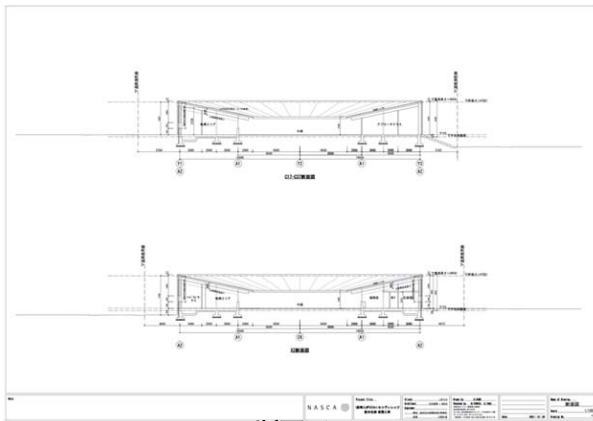
7. 建築物の平面図・立面図・写真等



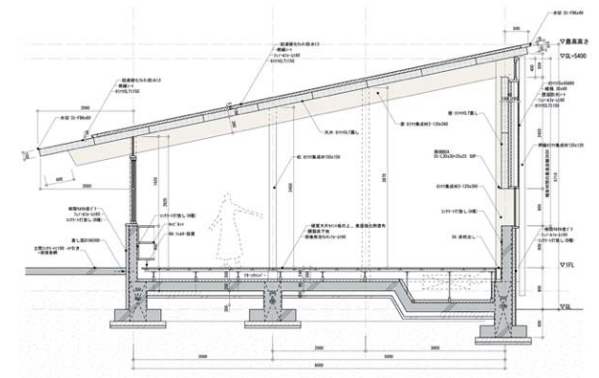
平面図



立面図



断面図



矩計図



実証実験名：LUPICIA ニセコヴィレッジ新本社棟新築工事の設計実証・性能実証
建築主等／協議会運営者：(株) ルピシアトレーディング／(有) ナスカ

成果物

1. 建築計画

00. ハイブリッド・ワークプレイスの実現にむけて

東京から北海道ニセコ町への本社移転計画である。

コロナ以前から北海道への本社機能の移転は計画されており、ニセコ町の間山5万坪の土地には、ビール工房、野菜茶工場がすでに建設されている。今後、従業員用の宿舎や豊富な水源を利用した一般の方も訪れることのできる親水公園などを整備していき、地域に開かれたある種のムラの様相を呈す。

国内外で100を超える店舗数を有するLUPICIAにとっての必要な機能として、すべての店舗情報を一挙に集約するヘッドクォータールーム、在宅勤務やオフィス勤務、そして、いつどこでどう働くかについての柔軟性を求める人の希望にも答えていく業務形態、またそれを支えるための全国各地と瞬時に快適につながるネットワーク環境の整備等、新しいオフィス空間が求められた。

これまで通りオフィスに自分の固定デスクを持つ人もいれば、自宅からTV会議で参加する人もいる。週に数日は自宅で働き、残りはオフィスで事前予約しておいた共有デスクで仕事をする人もいる。定時で仕事をする人もいれば、自由な時間で働く人もいる。そのような柔軟性や順応性、雇用する側とされる側が主体性を共有するスタイルを象徴するモデルである「ハイブリッド・ワークプレイス」を目指す。

01. LUPICIA型ハイブリッド・ワークプレイスの実現

その時々の方々のにとって最適な業務場所・環境を主体性を持って選択できる空間・環境をつくるのが大切である。各々が各々の風景を独占しながら仕事できるソシオファーガ的な環境を持つ、外縁部のカウンターやコンセントレイト・ブース、季節のよいときには軒下空間や中庭でのランチミーティングなど。また、求心的な円環状のプランは、物理的な距離を保ちつつも対岸の様子も垣間見える心地よい距離感を提供する。

ハイブリッド・ワークプレイスを実現するにあたり、共同体としての企業のオフィス空間は、ますます重要性を帯びてくる。それを実現する上で、オフィス自体があるべき姿とはなにか。それは、現実世界でのコラボレーションをより良くできる環境を整えること、そのコラボレーションの場にまた別の現実世界の人（リモートワーカー）が容易に参加できるシステムを構築することで世界をひとつにし、ハイブリッド・ワークプレイスをバックアップできる最適な器をつくることであろう。

02. 合理的で安心安全なCLTと軸組在来工法のハイブリッド

積雪が2mを超える北海道ニセコ町において、円形平面の平屋建ての本社を木造でつくる。

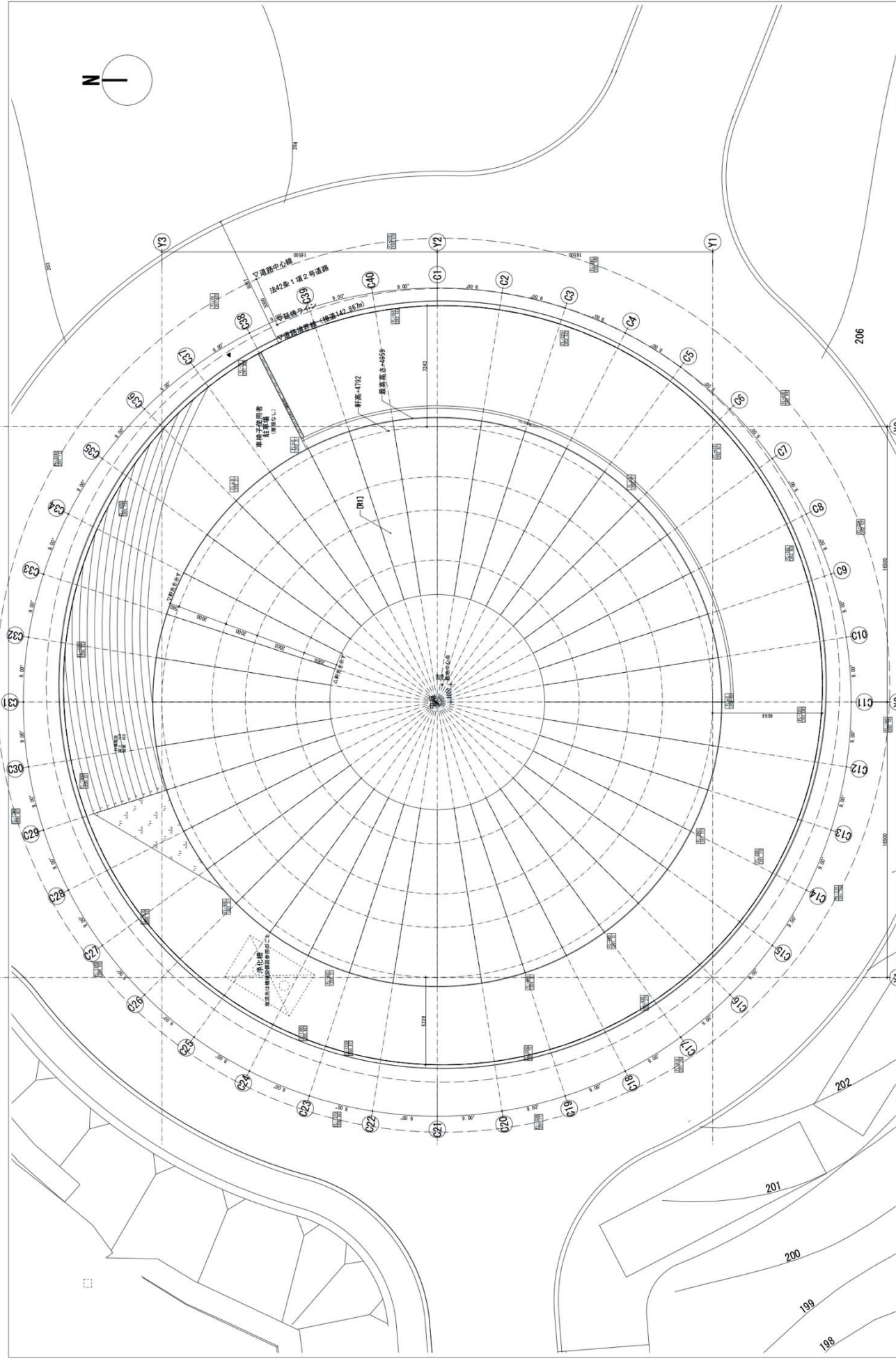
この大きな積雪量に対し、通常の木造在来軸組工法で設計すると屋根構成部材数が多くなるとともに、工が複雑化し、外壁部の必要壁長さも多くなる。また、大幅な内装仕上の発生とそれに伴う足場等の仮設工事、建方等を含めた工期の延伸による工事経費の増加を見込む必要が生じる。

そこで在来軸組工法の必要な箇所をCLT部材に置換する計画を立案し、屋根及び外周円外壁にCLT部材を使用する。CLT部材を使用することで施工を簡略化し、内装仕上げも省略しつつ、外周円外壁のみで必要な水平耐力を取ることで、室内に耐力要素を必要としないフレキシブルで開放的なオフィス空間を構成することができる。

放射状にカラマツ集成材の柱及び梁をかけ、耐震要素及び内装仕上げとして、CLT版を屋根及び外壁に配置するシンプルな構成である。外周円外壁は、集成材の柱とCLT部材によりラーメン架構を形成する。CLT部材の端部には曲げモーメントによる引張力が生ずることからGIR接合を、せん断抵抗には既成金物を用いた接合部とする。屋根においても室内側にはCLT面を露出させ、意匠的に美しく安価な接合方法を実現し、CLT部材の歩留まりをあげる方法を検討した。

03. 風土に根ざし、エコフレンドリーな業務環境

耐雪型の屋根とし、断熱を十分に施すことにより、屋根の積雪を自然の断熱材としつつ、危険を伴う雪下しなどの労力の低減をする。また、この場に働く人々に危険が及ばないようにするための雪庇に対する検討や高窓を利用した自然通風・換気経路の検討などを北海道立総合研究機構と協働し、この建築形状が有害な雪庇や吹き溜りが生じにくいことを降雪風洞実験により確認した。気象データ、風洞実験等から克雪を含む建築環境や空調熱源についての検討を行い、エコフレンドリーなオフィス建築の創出を目指す。



Name of Drawing: 配置図
 Scale: 1/100
 Drawing No.: G-301
 Date: 2021.12.29

Drawn by: H. KAWA
 Checked by: K. ENDO, S. MAE

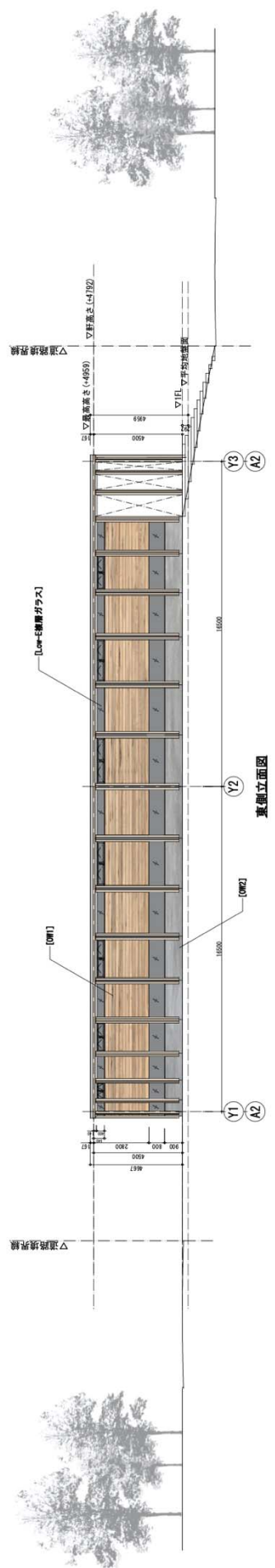
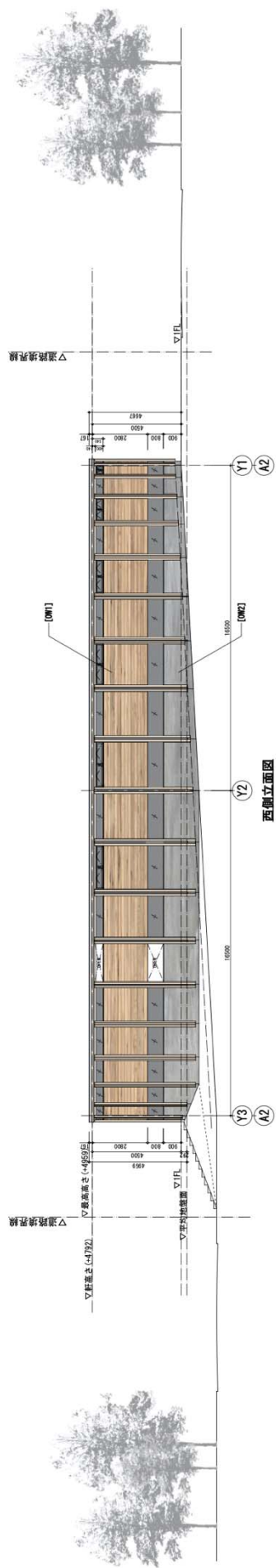
 本図は設計者によるもので、変更は設計者の承認を得なければならず、設計者以外による変更は認められません。
 本図は、設計者によるもので、変更は設計者の承認を得なければならず、設計者以外による変更は認められません。

Client: LIP CIA
 Architect: 株式会社 LIP CIA
 Engineer: 株式会社 LIP CIA

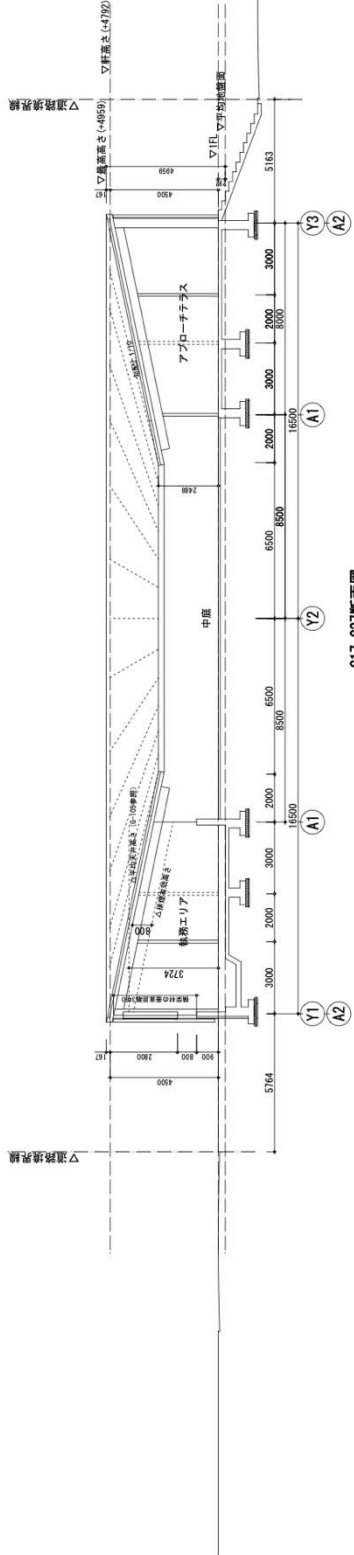
Project Title: (株) LIP CIA ニ セ コ グ イ レ ッ シ ュ
 新水処理 新築工事



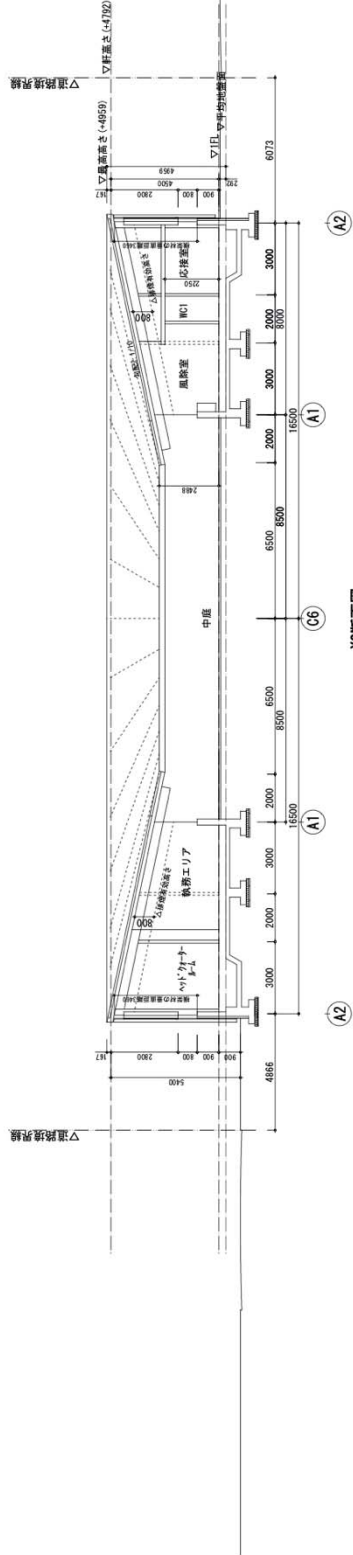
Note:



Note	Project Title NASCAL-エコーガイレッジ 新木地区 新築工事	Client LIFELIA 西尾建設・NASCAL 〒100-0001 東京都千代田区千代田 1-1-1 TEL: 03-5427-0888 FAX: 03-5427-0887	Architect Engineer LIFELIA 〒100-0001 東京都千代田区千代田 1-1-1 TEL: 03-5427-0888 FAX: 03-5427-0887	Drawn by Checked by N.K.M.P. M.UMEDA, S.YOH 〒100-0001 東京都千代田区千代田 1-1-1 TEL: 03-5427-0888 FAX: 03-5427-0887	Date 2021.12.20	Name of Drawing 立面図	Scale 1/100	Drawing No.



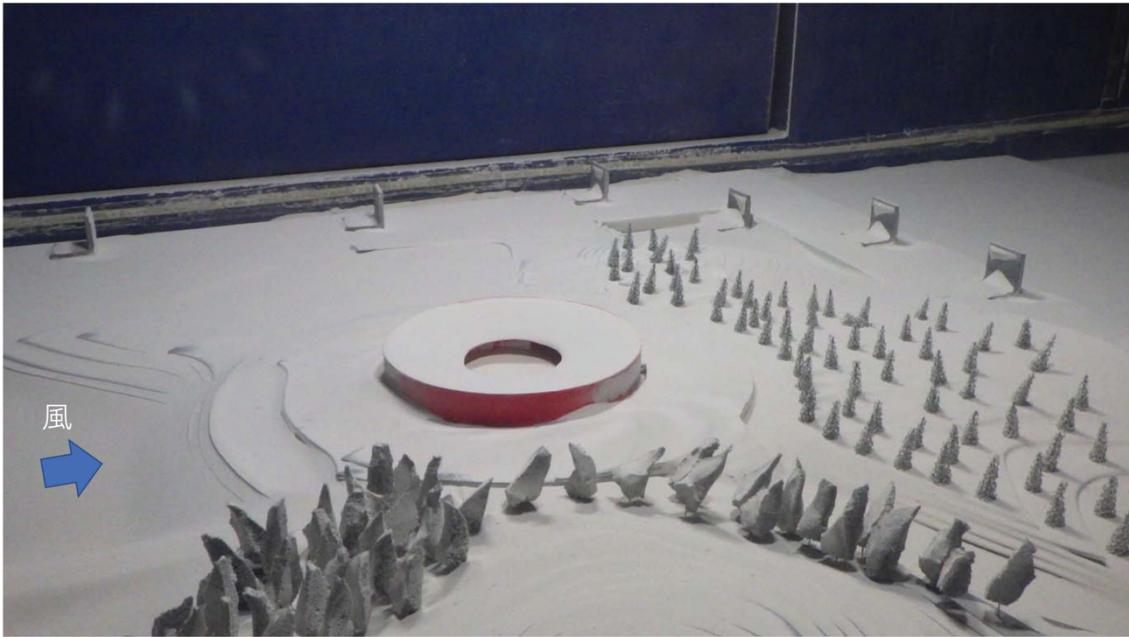
C17-C37断面図



X2断面図

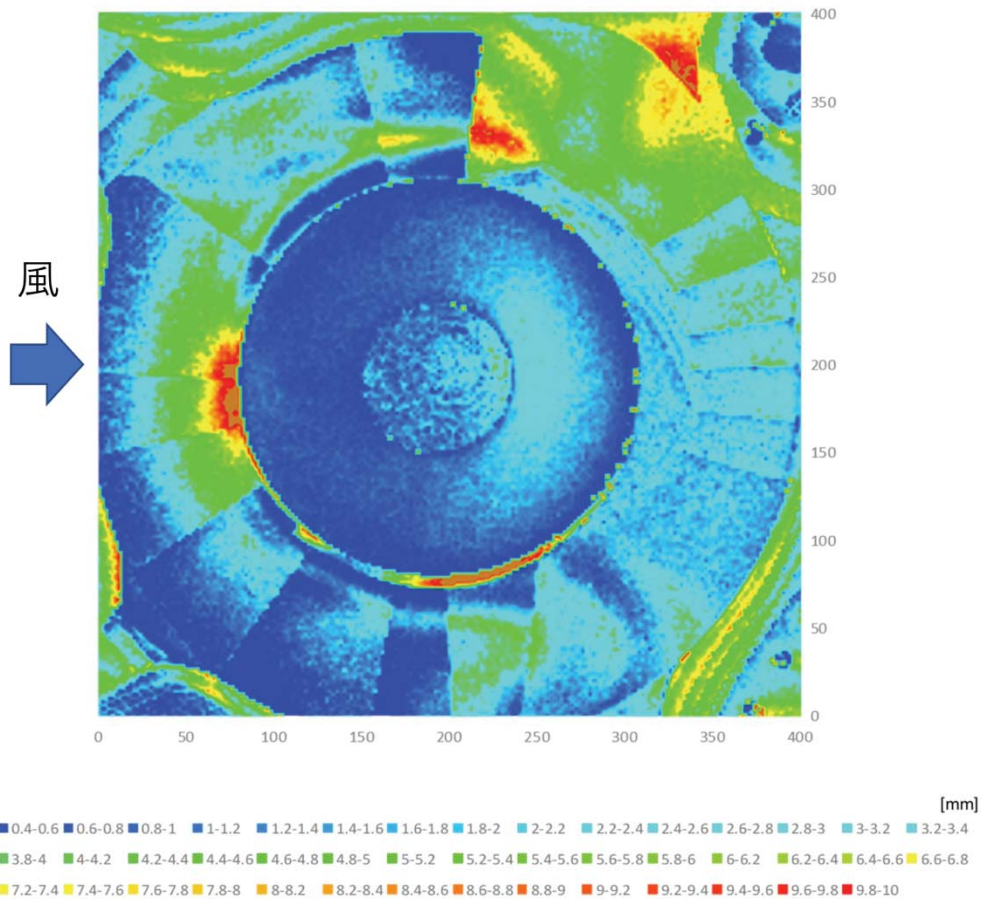
Notes	 Project Title (株)山形エコーダイヤレックス 事務所 新築工事	Client 山形エコーダイヤレックス Architect 株式会社エコーダイヤレックス	Drawn by K. KAWA Checked by M. ITOHARA, S. YAMAI 監理 山形エコーダイヤレックス株式会社 〒980-0801 山形県山形市山形1-1-1 TEL 023-232-0001 FAX 023-232-0002 一級建築士 国土交通省登録第 30077 号	Name of Drawing 断面図 Scale 1/100 Date 2021.12.20
		Client 山形エコーダイヤレックス Architect 株式会社エコーダイヤレックス 監理	Drawn by K. KAWA Checked by M. ITOHARA, S. YAMAI 監理 山形エコーダイヤレックス株式会社 〒980-0801 山形県山形市山形1-1-1 TEL 023-232-0001 FAX 023-232-0002 一級建築士 国土交通省登録第 30077 号	Name of Drawing 断面図 Scale 1/100 Date 2021.12.20





実験後の状況

堆積量の分布 (2回目)



■実証するCLT建築物と他工法のコスト比較

項目	木造		鉄骨造	
構造	CLT+在来軸組工法		ラーメン構造	
規模	平屋建て			
延べ面積	630㎡			
比較内容	総工費			
工事費				
項目	金額	備考	金額	備考
直接工事費				
直接仮設工事	4,193,000		7,853,000	仕上用内部総足場・外部足場期間延伸
土工事・地業工事	1,577,000		2,365,500	基礎増大に伴う増額
コンクリート工事	9,488,000		14,488,000	自重増加に伴う基礎量の増大
型枠工事	13,440,000		20,940,000	基礎増大に伴う増額
鉄筋工事	9,424,000		14,424,000	基礎増大に伴う増額
鉄骨工事	0		36,000,000	90t 400,000円/tにて計上
木工事	80,739,000	CLT・集成材	0	木工事中止
屋根工事	12,430,000		21,230,000	野地板・断熱補強による増額
建具工事	26,463,000	-	26,463,000	-
金属工事	1,764,000		5,730,000	内装下地LGSによる増額
外装仕上工事	4,929,000		5,929,000	断熱補強による増額
内装仕上工事	15,488,000		28,352,000	内装木質化による増額
雑工事	15,500,000	-	15,500,000	-
外構工事	5,730,000	-	5,730,000	-
電気設備工事	45,000,000	-	45,000,000	-
機械設備工事	85,500,000	-	85,500,000	-
共通費	77,130,000	国交省基準	84,130,000	工期延伸による増額
合計	408,795,000		419,634,500	
㎡単価	648,000		666,000	
工期	7.5ヶ月		11ヶ月	
総括	木造・内装木質化と北海道産材の仕様は、本計画の条件であり、在来軸組工法とCLTのハイブリッド工法により、建方日数の縮減、構造と内装仕上の兼用、また、それによる仮設工事の縮減等を検討していく。		構造は鉄骨ラーメン工法とし、内装木質化の条件を揃えて比較した。自重の増加による基礎関係、断熱補強、内装下地及び仕上、仕上用足場等の要素による増額が顕著である。また、これらに伴う工期延伸による直接仮設工事、共通費の増額が生じ、総工費では左記の木造よりも価格が上がる結果となった。	

金額差があるものを示す

2. 構造概要と実証試験概要

(1) 構造概要

① 平面計画

計画建物は地上一階建て約 600 m²の木造建築で、半径 16.5m の外周円と半径 8.5m の内周円により区切られたドーナツ状の平面を持っている。当該敷地の設計用積雪深は 2m を超え地震荷重にも積雪荷重が加算されるため、設計用せん断力は平面に対して大きなものとなり通常の木造在来軸組工法では多くの耐力壁が必要となる。しかしながら建築の機能としては空間が連続したオフィスとする必要がある。

そこで在来軸組工法の一部を、耐力・剛性の大きな CLT 部材に置換する計画を立案する。具体的には建物外周円に CLT 部材を使用したラーメン架構を構成することで外壁部分だけで必要な水平耐力を確保し、室内に耐力要素を必要としないフレキシブルで開放的なオフィス空間を構成することができる。また屋根にも CLT 部材を用いることで積雪に対し安全で、水平荷重に対して剛強な水平構面を構成している。

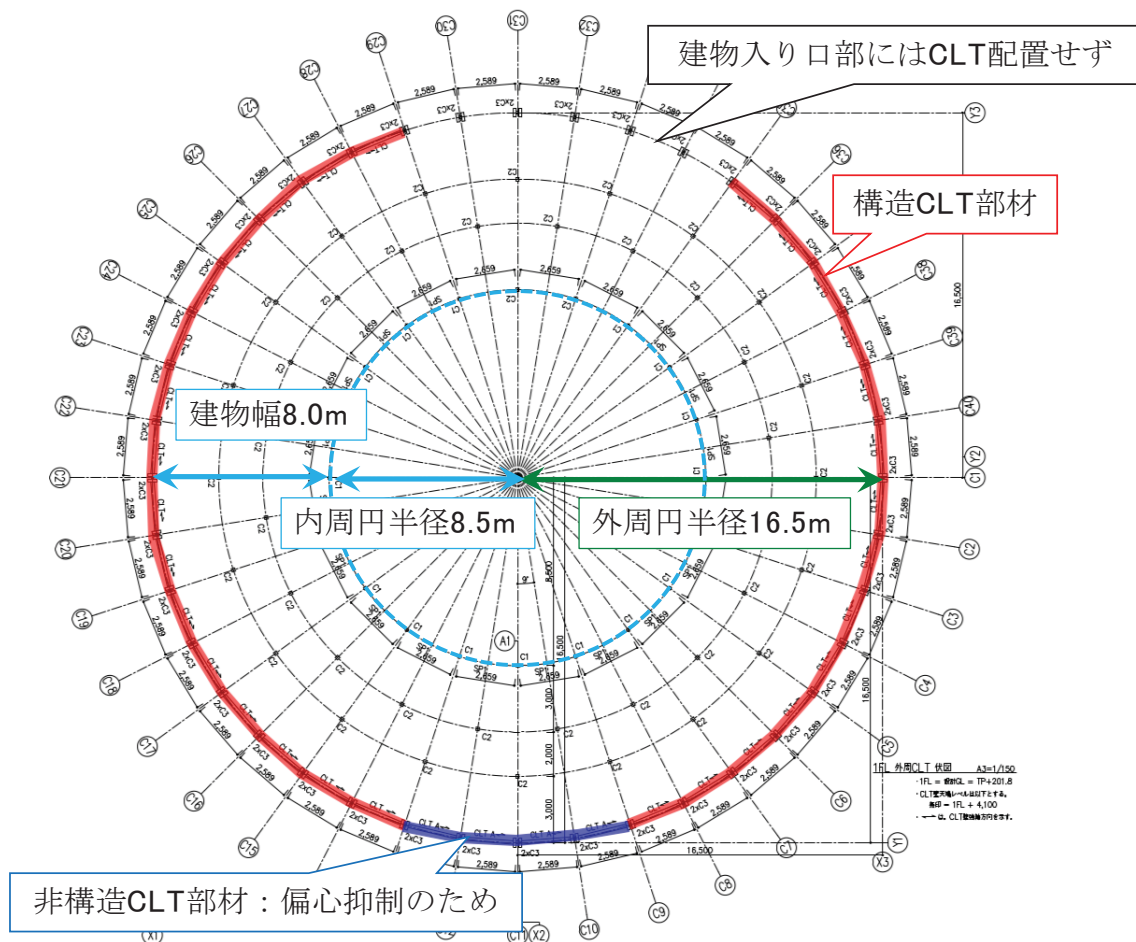


図 平面的な耐力要素位置図

② 外周円面内ラーメン架構概要

主として水平力を負担する外周円部分は、集成材柱：2本 x120x390 の弱軸と CLT 部材：Mx90-5-5 によりラーメン架構を形成する。CLT 部材の端部には曲げモーメントによる引張力が生ずることから GIR 接合を、せん断抵抗には既成金物を用いた接合とする。

集成材柱は下部の RC 基礎部分で固定されモーメント抵抗接合となっている。施工方法としては RC 底盤打設後に木架構の建て方を実施、その後柱側面を型枠として RC 立ち上がり部分を打設する方針である。型枠となる柱表面には適切な養生を施す。既製品柱脚金物と RC 立ち上がり・アンカーボルトを用いることで、木材加工が容易で経済性に配慮したモーメント抵抗接合柱脚を実現している。

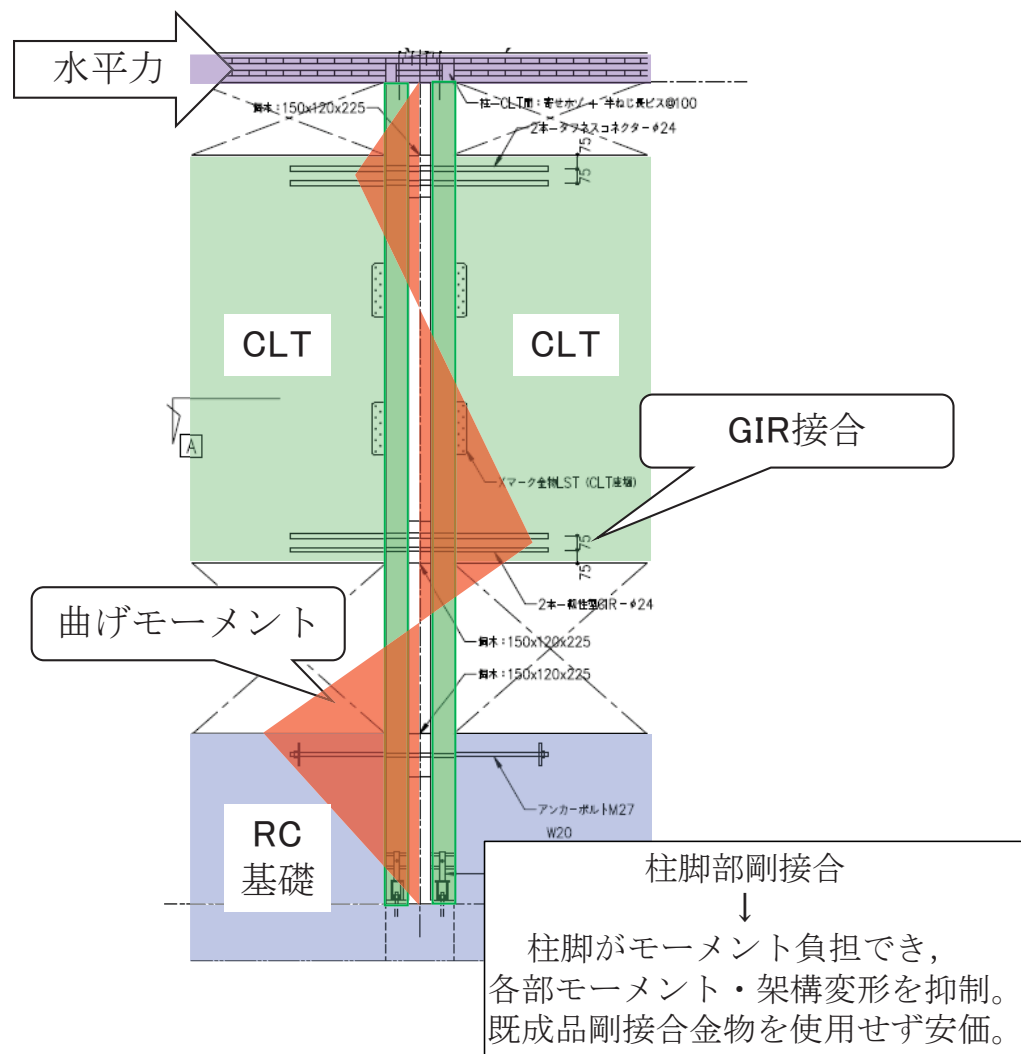


図 外周円部分のモーメント抵抗概念図

③ 外周円面外ラーメン架構概要

外周円架構は面外方向においても水平力を負担する。建物円周方向の荷重に対し CLT 小口の圧縮力と CLT 接合部の GIR 引張力によるリング効果により柱の固定度を確保し、柱部材自体がピン接合でもモーメント抵抗させている。この際接合部には軸力とせん断力が同時に作用するが、これらの相互効果による接合部の性能は明らかとなっていない。

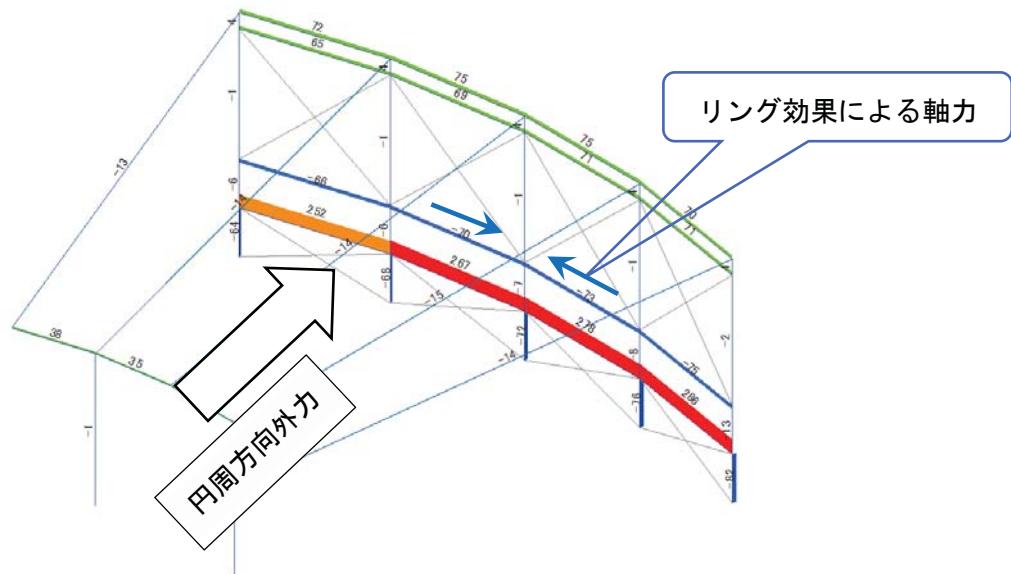


図 代表架構 面外方向加力時 軸力図

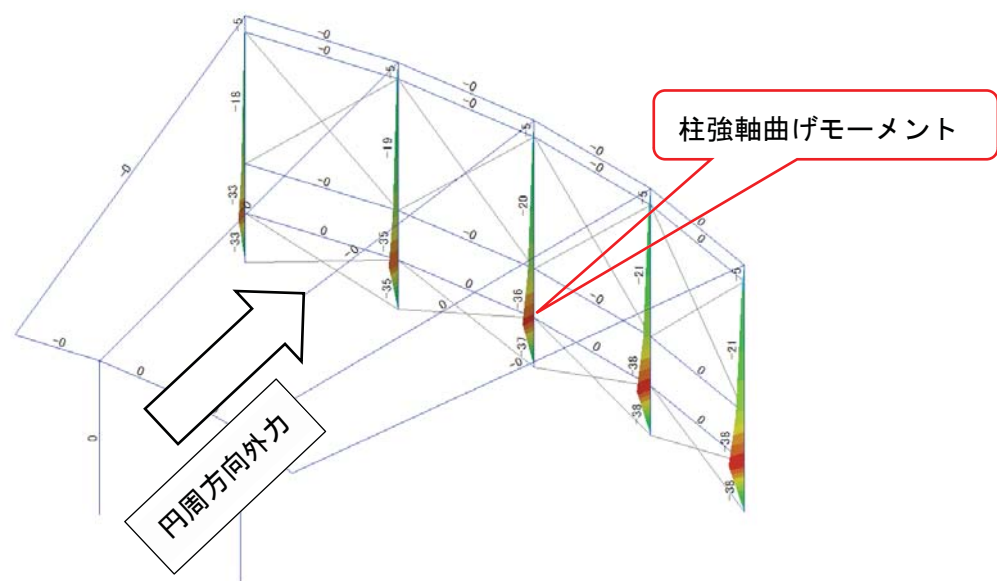


図 代表架構 面外方向加力時 曲げモーメント図

(2) 実証試験概要

当該 GIR 接合は、柱と CLT 部材が 4°傾いているため CLT ラミナを横切る形で GIR が定着されることとなる。現状の CLT 設計施工マニュアルや木質構造設計規準ではこの影響を評価できない。また使用する GIR によっても耐力・破壊正常が異なっていることが予想される。そこで本実証試験では GIR 接合が CLT 積層方向に対し斜めに挿入する場合の引張試験及び曲げ試験を実施し接合部耐力・破壊性状の確認を行う。

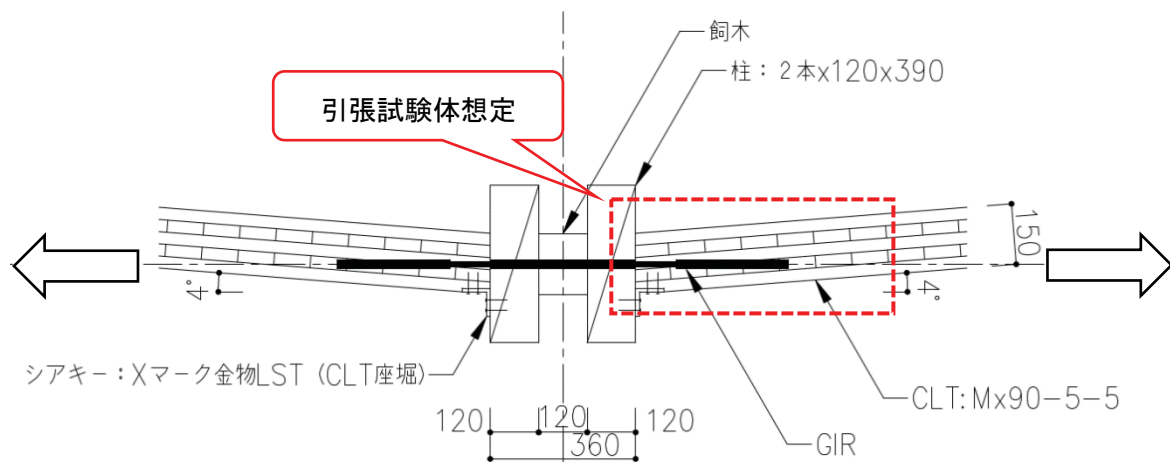


図 外周円 CLT と柱取り合い

①：引張試験

外周円 CLT 部材に面内せん断力が作用した際に GIR 接合部には引張力が生じる。本引張試験においては GIR 接合部が CLT ラミナを横切る形で挿入された際の耐力及び破壊性状を確認することとする。パラメーターとしては GIR 種別とし靱性型 GIR 及び通常型 GIR の 2 パターンとしている。

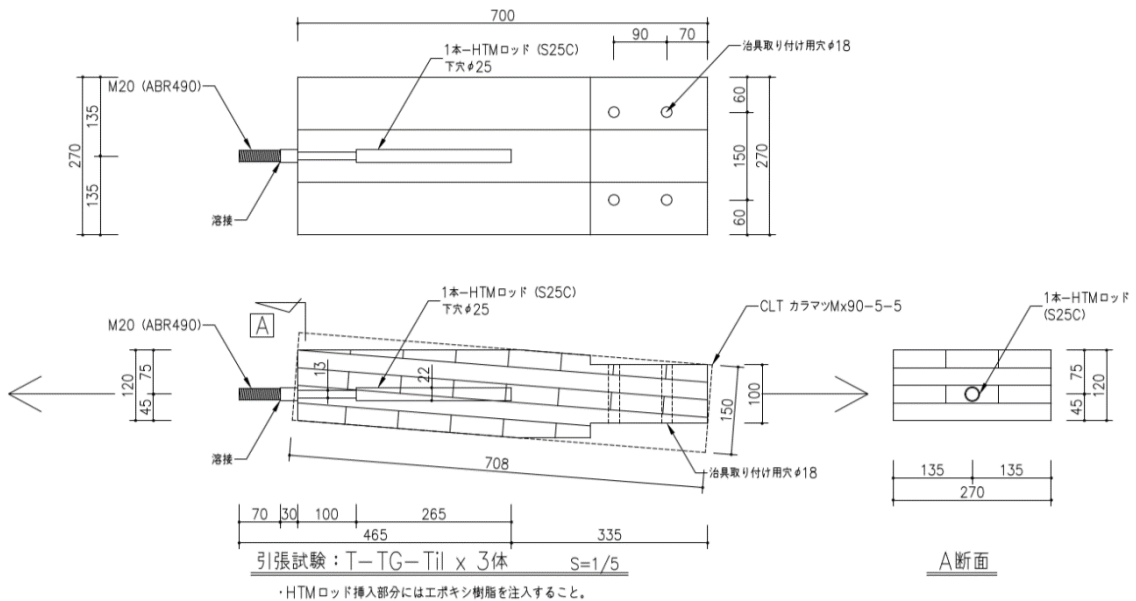


図 靱性型 GIR 引張試験体

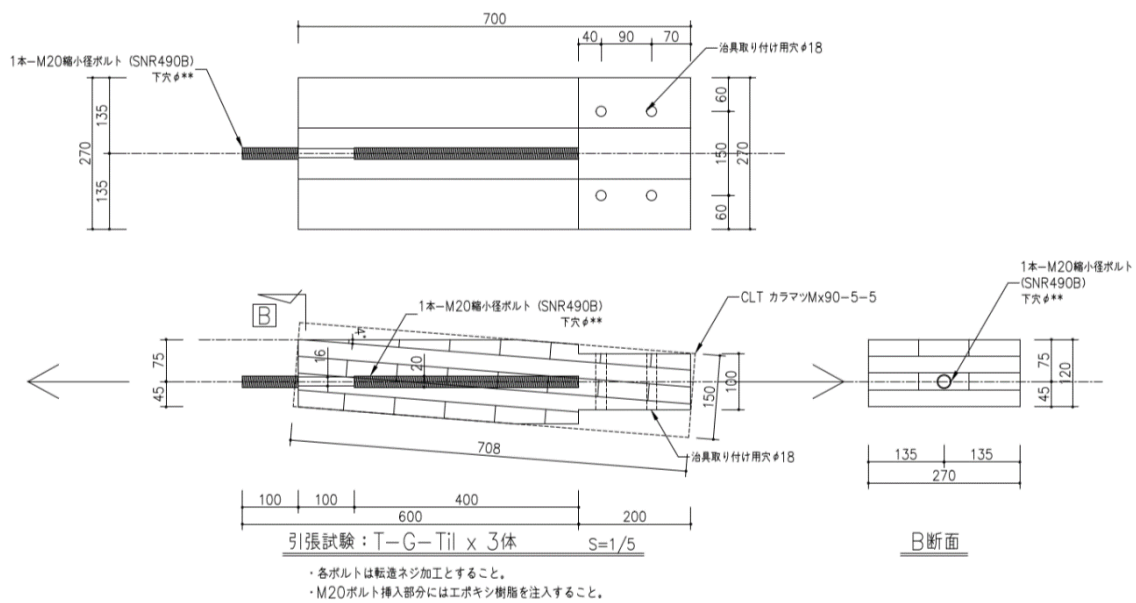


図 通常型 GIR 引張試験体

② : 曲げ試験

外周円の円周方向の力に対しては、GIRの引張り及びCLTの圧縮によるリング効果により柱の固定度を上昇させ柱強軸側の曲げモーメントにより外力に抵抗している。そこで本曲げ試験においては当該接合部に、リング効果による軸力及び外力に寄る円周方向せん断力が同時に作用した際の耐力及び破壊性状を確認する。パラメータとしてはGIR種別（靱性型GIR及び通常型GIR）、接合部軸力（圧縮・引張）となっている。試験体端部はピン支持として試験荷重に対応して軸力が発生するようにしている。なお引張りに対するGIR耐力が同等になるよう、靱性型GIRは2本、通常型GIRは1本で試験体を作製している。

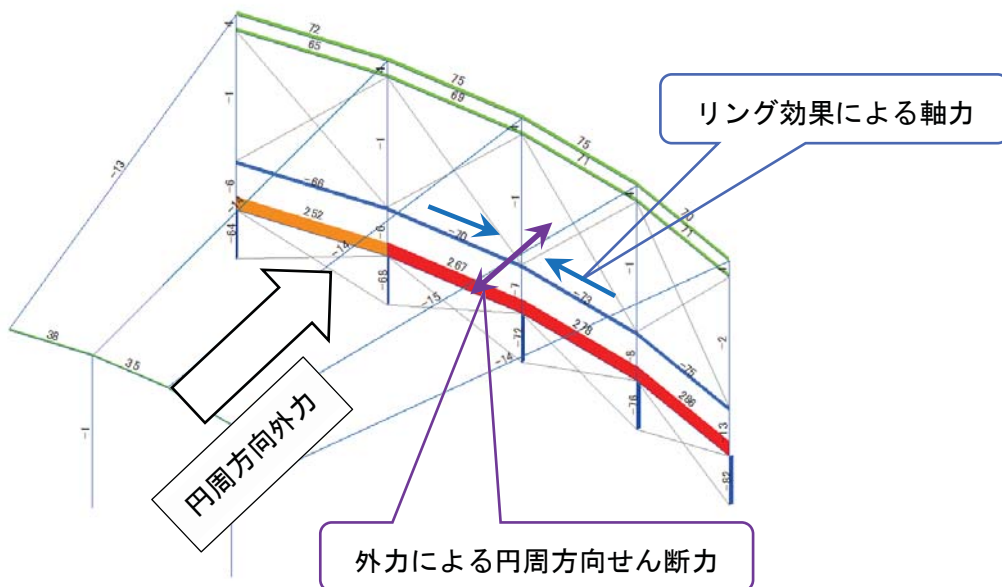


図 代表架構 面外方向加力時 軸力図

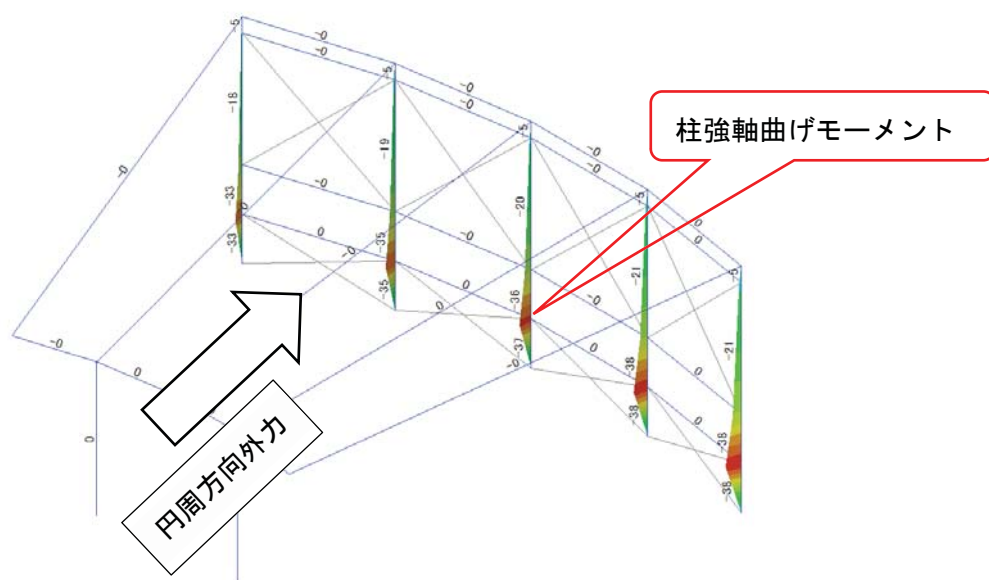


図 代表架構 面外方向加力時 曲げモーメント図

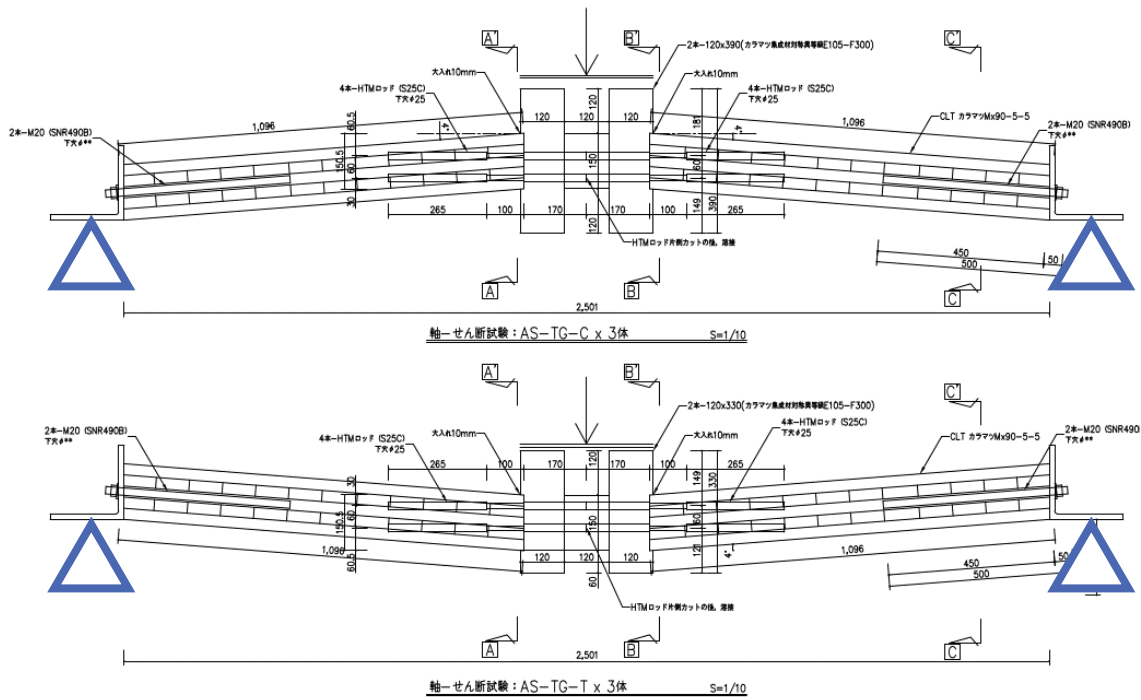


図 靱性型 GIR 曲げ試験体 (GIR2 本, 上 : 接合部圧縮, 下 : 接合部引張)

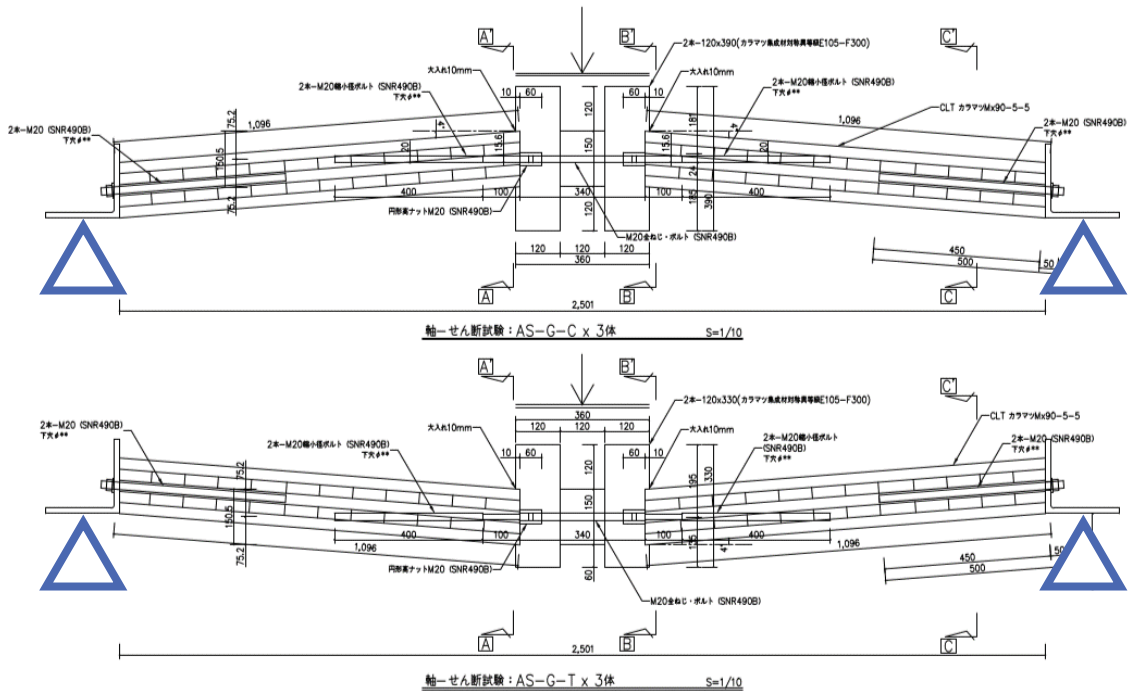


図 通常型 GIR 曲げ試験体 (GIR1 本, 上 : 接合部圧縮, 下 : 接合部引張)

3. 実証により得られた成果の概要

(1) 引張試験

通常型 GIR に関しては70kNを超えたところで一度降伏性状を見せるがその直後耐力が上昇に転じている。その後試験機限界荷重 100kN を迎えたため、試験を終了した。試験終了時も CLT 小口及び側面に損傷はみられなかった。

試験結果より本実験状況での通常型 GIR 短期基準引張耐力は 66kN と算定できた。

一方靱性型 GIR は 45kN で GIR が降伏し、その後緩やかに耐力上昇し GIR が破断し試験が終了した。以下に各試験の代表荷重—変形曲線と最終破壊性状及び短期基準引張耐力を示す。試験終了時も CLT 小口及び側面に損傷はみられなかった。

試験結果より本実験状況での靱性 GIR 短期基準引張耐力は 45kN と算定できた。

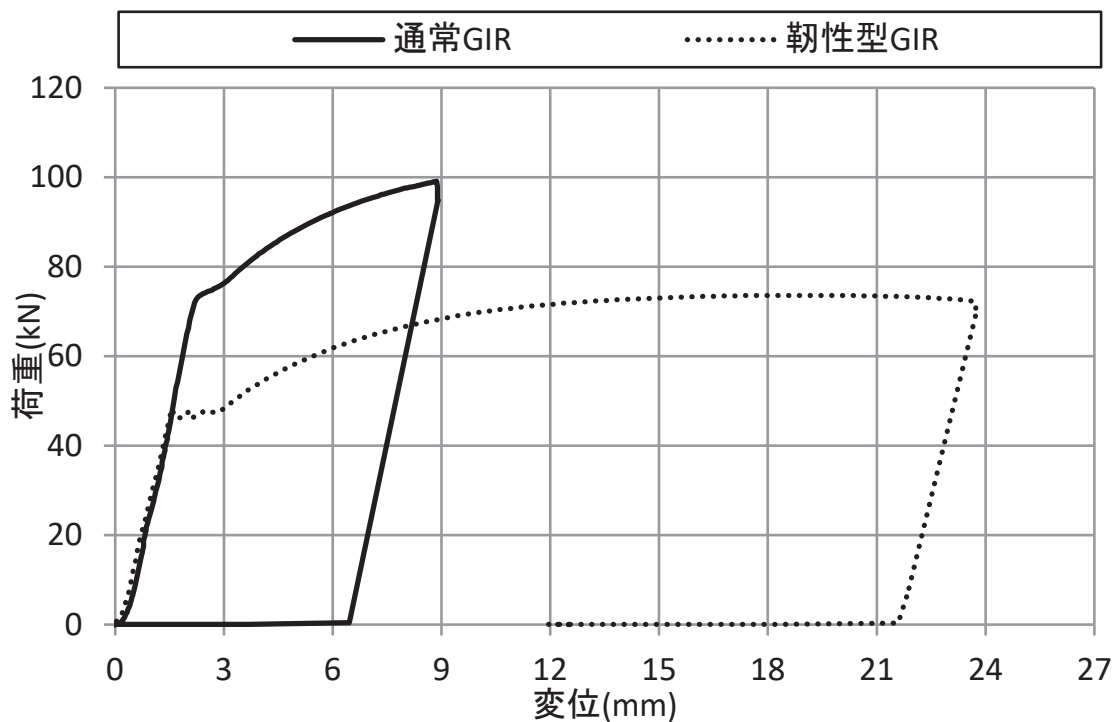
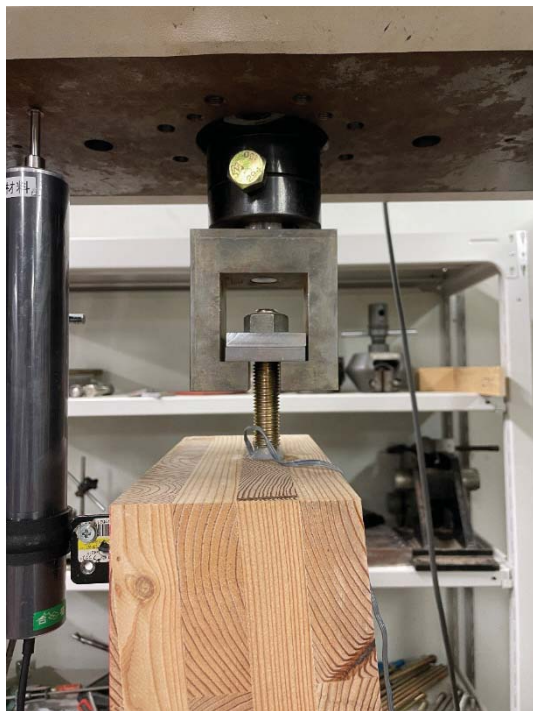


図 引張試験代表荷重—変形曲線



(1) 通常型 GIR



(2) 靱性型 GIR

図 最終破壊性状

表 引張試験 試験結果一覧

試験体名	T-TG-Til-1	T-TG-Til-2	T-TG-Til-3	T-G-Til-1	T-G-Til-2	T-G-Til-3
Pmax [kN]	71.07	73.60	73.93	100.23	99.07	99.97
D(Pmax) [mm]	18.00	18.17	20.11	14.24	8.87	10.38
対象データ数	644	672	789	174	344	401
処理結果	OK(Bi-Linear)	OK(Bi-Linear)	OK(Bi-Linear)	交点制限-縦軸上 倒。OK(Bi-Linear)	OK(Bi-Linear)	OK(Bi-Linear)
初期滑り [mm]	考慮しない	考慮しない	考慮しない	考慮しない	考慮しない	考慮しない
D(0.1Pmax) [mm]	0.49	0.38	0.33	2.30	0.58	0.50
D(0.4Pmax1) [mm]	1.26	1.01	1.09	4.46	1.38	1.32
D(0.4Pmax2) [mm]	1.26	1.01	1.09	4.46	1.38	1.32
D(0.9Pmax) [mm]	7.75	7.80	8.23	9.77	5.22	5.75
曲線に接する点P	45.50	48.27	46.93	70.97	72.93	71.63
曲線に接する点D	2.08	1.57	1.87	5.86	2.25	2.23
二直線の交点Py [kN]	44.04	48.16	45.81	94.92	73.48	70.94
二直線の交点D(Py)	1.81	1.55	1.65	8.40	2.29	2.17
曲線上の点 δy	1.94	1.57	1.75	9.77	2.33	2.17
D(0.8Pmax): δu	22.68	23.75	29.14	14.29	8.90	10.41
初期剛性K [kN/mm]	22.720	30.765	26.232	9.230	31.527	32.636
Energy	1397.49	1535.28	1900.68	893.81	661.93	807.32
Pu [kN]	65.82	67.79	68.27	101.94	88.25	89.28
D(Pu): δv	2.90	2.20	2.60	11.04	2.80	2.74
$\mu = \delta u / \delta v$	7.828	10.779	11.196	1.294	3.179	3.805
$D_s = 1 / \sqrt{2\mu - 1}$	0.261	0.221	0.216	0.794	0.432	0.389
残差	115.78	138.55	152.91	98.52	51.31	62.85
適合度=1-残差/Energy	0.917	0.910	0.920	0.890	0.922	0.922
短期許容引張耐力(kN)	45.21			66.35		

(2) 曲げ試験

GIR 種類・接合部軸力正負をパラメーターに接合部曲げ試験を行った。

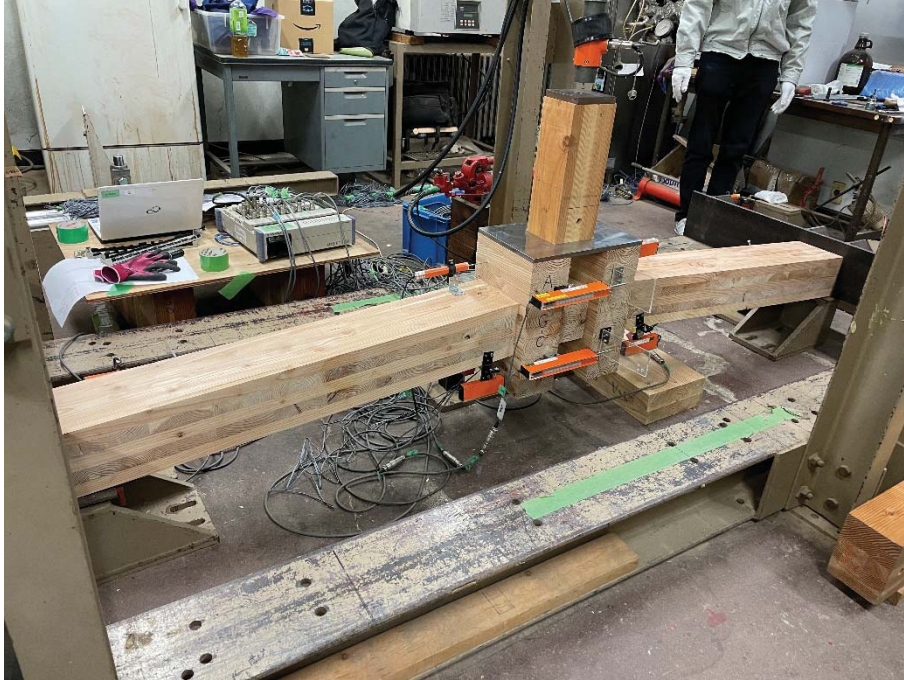


図 接合部圧縮試験 試験全景



図 接合部引張試験 試験全景

①接合部圧縮時

接合部軸力が圧縮になる場合は、GIR 種類に関わらず安定して耐力を負担できることがわかった。ただ破壊性状は大きく異なり通常型 GIR は GIR が貫通している飼木部分がひび割れた後飼木圧縮部分が座屈しめり込みながら緩やかに終局を迎えた。対する靱性型 GIR は柱中央がひび割れた後、CLT がローリングシアー破壊を生じ終局に至った。この破壊形式は靱性型 GIR が CLT せい方向に 2 本入っており、発生軸力の偶力に起因するせん断力によりローリングシアー破壊を起こしたと推察される。

除荷時の残留変形を見ても靱性型 GIR に比べて通常型 GIR のほうが小さく、試験体の損傷が小さいことが伺える。

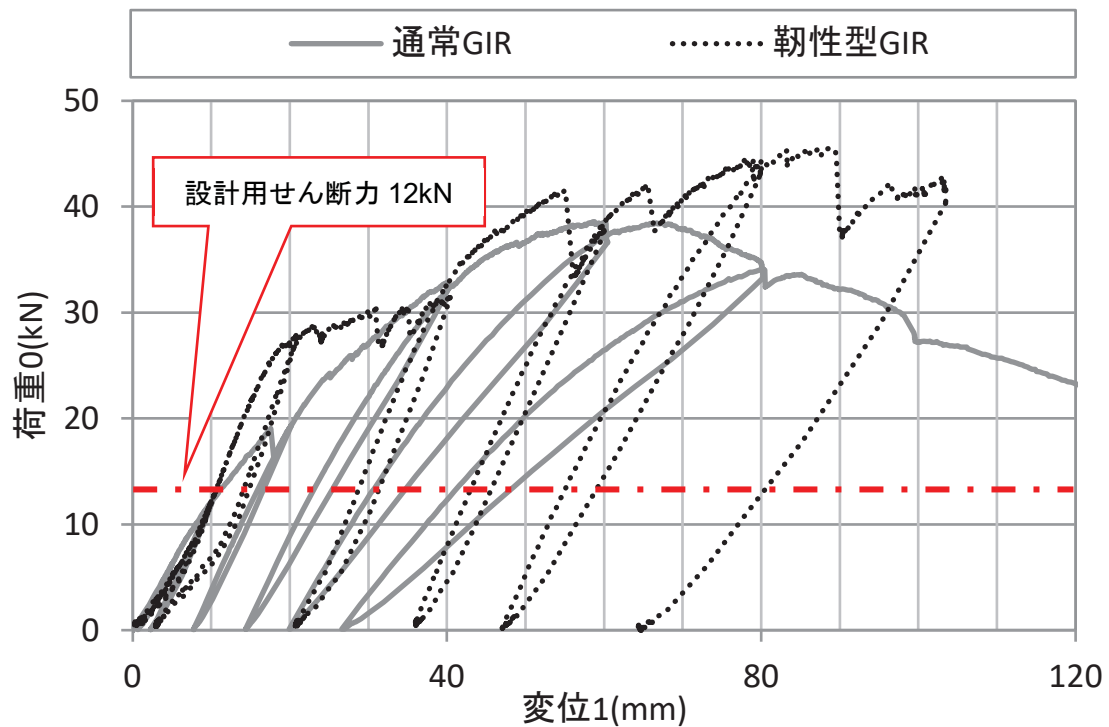


図 曲げ試験（圧縮軸力）代表荷重—変形曲線



(1) 通常型 GIR



(2) 靱性型 GIR

図 最終破壊性状

②接合部引張時

接合具部が引張になる場合は靱性型 GIR の剛性が大きく高くなった。靱性型 GIR 試験体は引張耐力の関係で接合具が 2 本挿入されており、GIR 同士の偶力によりモーメント抵抗しているためと思われる。その影響で靱性型 GIR は早期に降伏し 20kN で柱際のひび割れが生じ耐力が上がらなくなる。その後変位 40mm を超えると圧縮側にあった GIR が引張に転じ、耐力が緩やかに上昇し試験機の変形限界を迎えた。通常型 GIR は接合具が 1 本しか入っていないため剛性は低いが大きな損傷もなく、耐力が緩やかに上昇していき試験機の変形限界を迎えた。

除荷時の残留変形を見ても靱性型 GIR に比べて通常型 GIR のほうが小さく、試験体の損傷が小さいことが伺える。

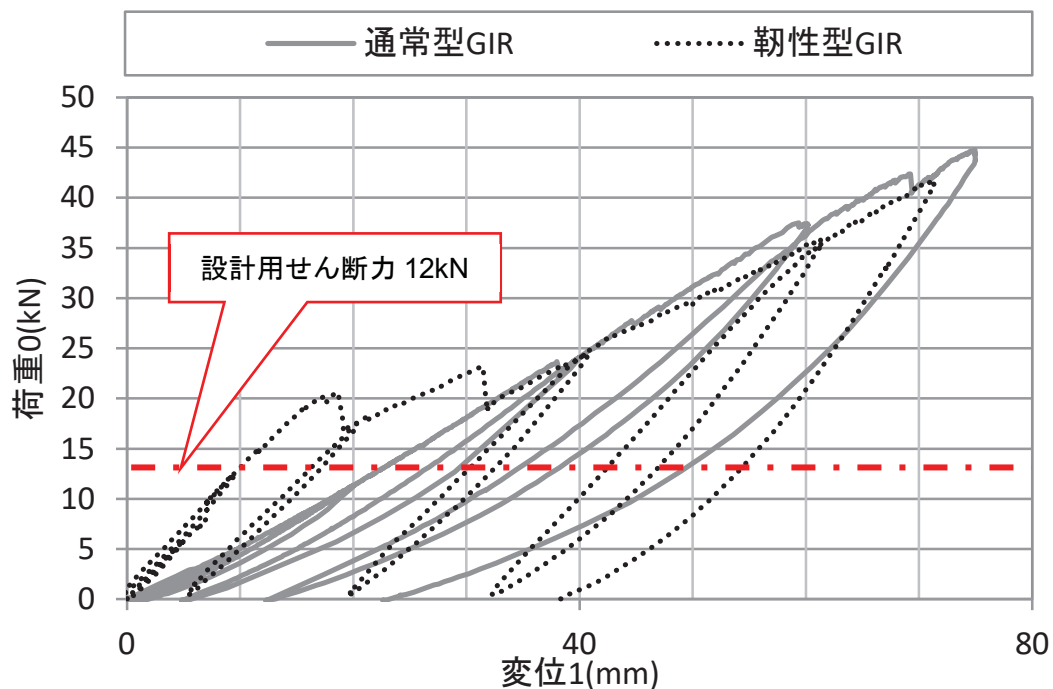


図 曲げ試験（引張軸力）代表荷重—変形曲線



(1) 通常型 GIR



(2) 靱性型 GIR

図 最終破壊性状

表 曲げ試験 試験結果一覧（靱性型 GIR）

試験体名	AS-TG-C-1	AS-TG-C-2	AS-TG-C-3	AS-TG-T-1	AS-TG-T-2	AS-TG-T-3
Pmax [kN]	39.64	45.62	43.41	40.33	39.98	41.70
D(Pmax) [mm]	78.64	88.88	88.20	69.86	70.00	71.26
対象データ数	509	438	456	639	717	700
処理結果	OK(Bi-Linear)	注意:荷重回復あり。OK(Bi-Linear)	OK(Bi-Linear)	OK(Bi-Linear)	OK(Bi-Linear)	OK(Bi-Linear)
初期滑り [mm]	考慮しない	考慮しない	考慮しない	考慮しない	考慮しない	考慮しない
D(0.1Pmax) [mm]	2.82	4.45	2.58	3.32	3.78	3.54
D(0.4Pmax1) [mm]	9.22	13.16	11.84	13.94	14.55	13.38
D(0.4Pmax2) [mm]	9.22	13.16	11.84	13.94	14.55	13.38
D(0.9Pmax) [mm]	58.60	53.60	63.49	65.33	63.98	64.35
曲線に接する点P	29.30	27.34	25.04	22.39	20.83	20.29
曲線に接する点D	22.48	19.44	20.46	20.94	20.30	17.46
二直線の交点Py [kN]	26.22	26.91	23.14	21.50	19.93	19.53
二直線の交点D(Py)	14.79	18.67	15.94	18.66	18.08	15.62
曲線上の点 δy	16.56	18.85	18.15	19.68	18.87	16.24
D(0.8Pmax): δu	88.32	103.52	88.48	72.24	70.12	71.32
初期剛性K [kN/mm]	1.583	1.428	1.275	1.092	1.056	1.203
Energy	2652.11	3433.31	2700.10	1752.92	1537.09	1683.50
Pu [kN]	34.22	38.07	36.38	29.95	26.75	28.26
D(Pu): δv	21.61	26.67	28.54	27.42	25.33	23.50
$\mu = \delta u / \delta v$	4.086	3.882	3.100	2.634	2.768	3.035
$D_s = 1 / \sqrt{2\mu - 1}$	0.373	0.384	0.438	0.484	0.469	0.444
残差	182.99	391.88	336.91	267.59	287.20	327.76
適合度=1-残差/Energy	0.931	0.886	0.875	0.847	0.813	0.805
短期許容せん断耐力(k	24.65			19.92		

表 曲げ試験 試験結果一覧 (通常型 GIR)

試験体名	AS-G-C-1	AS-G-C-2	AS-G-C-3	AS-G-T-1	AS-G-T-2	AS-G-T-3
Pmax [kN]	28.86	37.49	38.56	32.19	44.79	35.72
D(Pmax) [mm]	74.52	55.66	58.60	55.64	74.94	56.66
対象データ数	646	683	909	292	766	380
処理結果	注意:荷重回復あり。OK(Bi-Linear)	OK(Bi-Linear)	OK(Bi-Linear)	交点制限:縦軸下側。交点制限:横軸	交点制限:縦軸上側。交点制限:横軸	交点制限:縦軸下側。交点制限:横軸
初期滑り [mm]	考慮しない	考慮しない	考慮しない	考慮しない	考慮しない	考慮しない
D(0.1Pmax) [mm]	2.80	3.47	3.20	6.37	8.80	6.00
D(0.4Pmax1) [mm]	10.15	12.84	13.55	23.57	29.71	24.22
D(0.4Pmax2) [mm]	10.15	12.84	13.55	23.57	29.71	24.22
D(0.9Pmax) [mm]	50.19	37.53	44.05	49.88	65.63	51.70
曲線に接する点P	17.64	27.69	25.87	0.00	37.34	0.05
曲線に接する点D	18.30	25.88	27.58	-0.10	58.84	0.00
二直線の交点Py [kN]	16.10	22.59	19.06	-5.07	60.46	0.01
二直線の交点D(Py)	14.02	19.17	16.80	-8.39	95.93	-0.06
曲線上の点 δy	16.01	20.46	17.60	23.57	65.63	24.22
D(0.8Pmax): δu	116.96	80.42	95.28	55.64	74.98	56.66
初期剛性K [kN/mm]	1.005	1.104	1.083	0.546	0.614	0.590
Energy	2592.16	2251.54	2734.84	874.97	1702.60	984.41
Pu [kN]	24.77	34.83	34.46		40.64	
D(Pu): δv	24.64	31.54	31.82		66.17	
$\mu = \delta u / \delta v$	4.747	2.550	2.995		1.133	
$Ds = 1 / \sqrt{2\mu - 1}$	0.343	0.494	0.448		0.889	
残差	312.26	106.59	226.51		50.55	
適合度=1-残差/Energy	0.880	0.953	0.917		0.970	
短期許容せん断耐力(k	18.00			23.38		

4. 実証により得られた成果から構造設計への反映

(1) 引張試験

CLT ラミナに対してナナメに各 GIR を挿入した試験体に対して引張試験を行った。その結果本建物の接合具挿入状況での各 GIR の短期基準引張耐力を算出することができた。この結果をもとに CLT 端部接合部を設計することとした。

(2) 曲げ試験

GIR 種類・接合部軸力正負をパラメーターに接合部曲げ試験を行った。

設計で想定しているせん断力 12kN に対し、各 GIR ともに短期許容応力を満足することが確認された。ただ破壊性状の観点から靱性型 GIR を使用した試験体は接合具が早期に降伏することにより、木材の損傷が早期に起こってしまった。対する通常型 GIR では大変形に至るまで大きな損傷を確認できない。

前述した耐力状況や損傷性状を鑑み、本建築で使用する接合具は「通常型 GIR」とすることと決定した。

試験成績書

令和4年2月10日

東京都市大学 建築都市デザイン学部
建築学科 講師 落合陽

1. 件名	CLTを母材としたGIR接合の引張性能試験
2. 試験概要	<p>[1] 目的 CLTを母材としたGIR接合単体の引張試験を行う。</p> <p>[2] 試験体</p> <ol style="list-style-type: none">1) 部材構成：CLT及びGIR2) CLT：カラマツMx90-5-53) 集成材：カラマツ対称異等級集成材E105-F3004) GIR：HTMロッド（S25C）、M20縮小径ボルト（SNR490B）5) 試験体数：引張試験 6本 <p>[3] 試験方法 試験方法は3章に示す方法に則り実施する</p>
3. 試験結果	別紙の通り。（全12ページ）
4. 試験実施場所	東京都文京区弥生1-1-1 東京大学農学部内 5号館地下実験室
5. 試験実施日	2021/11/15-19, 11/26
6. 試験担当者および 試験成績書作成者	担当者：東京都市大学 落合陽 坂田涼太郎構造設計事務所 鈴木一希 作成者：東京都市大学 落合陽

1. 一般事項

2022/2/10

東京都市大学 建築都市デザイン学部 建築学科 講師 落合 陽	
1. 件名	CLTを母材としたGIR接合単体の引張試験
2. 試験概要	<p>[1] 目的 CLTを母材としたGIR接合単体の引張試験を行う。</p> <p>[2] 試験体</p> <p>1) 部材構成：CLT及びGIR</p> <p>2) CLT：カラマツMx90-5-5</p> <p>3) 集成材：カラマツ対称異等級集成材E105-F300</p> <p>4) GIR：HTMロッド（S25C）、M20縮小径ボルト（SNR490B）</p> <p>5) 試験体数：引張試験 6本</p> <p>[3] 試験方法 試験方法は3章に示す方法に則り実施する</p>
3. 試験実施者	東京都市大学 落合陽 坂田涼太郎事務所 坂田涼太郎 鈴木一希
4. 試験実施場所	東京都文京区弥生1-1-1 東京大学農学部内 5号館地下実験室
5. 試験実施日	2021/11/15-19, 11/26
6. 試験担当者および試験成績書作成者	担当者：東京都市大学 落合陽 坂田涼太郎構造設計事務所 鈴木一希 作成者：東京都市大学 落合陽

2. 試験体

表 2. 1 試験体仕様

	仕様詳細
試験体数	6体 (T-TG-Til×3体およびT-G-Til×3体)
母材	CLT カラマツMx90-5-5
接合具	T-TG-Til : HTMロッド (S25C) T-G-Til : M20縮小径ボルト (SNR490B)
接合方法	母材となるCLTに下穴を開け、接合具1本を挿入した後、エポキシ樹脂を充填し定着させる。なお、CLTと接合具の軸芯を4°ずらし接合を行う。

表 2. 2 材料物性値

試験体名	T-TG-Til		
試験体部材	樹種	等級	含水率
CLT	カラマツ	Mx-90-5-5	20%以下

試験体名	T-G-Til		
試験体部材	樹種	等級	含水率
CLT	カラマツ	Mx-90-5-5	20%以下

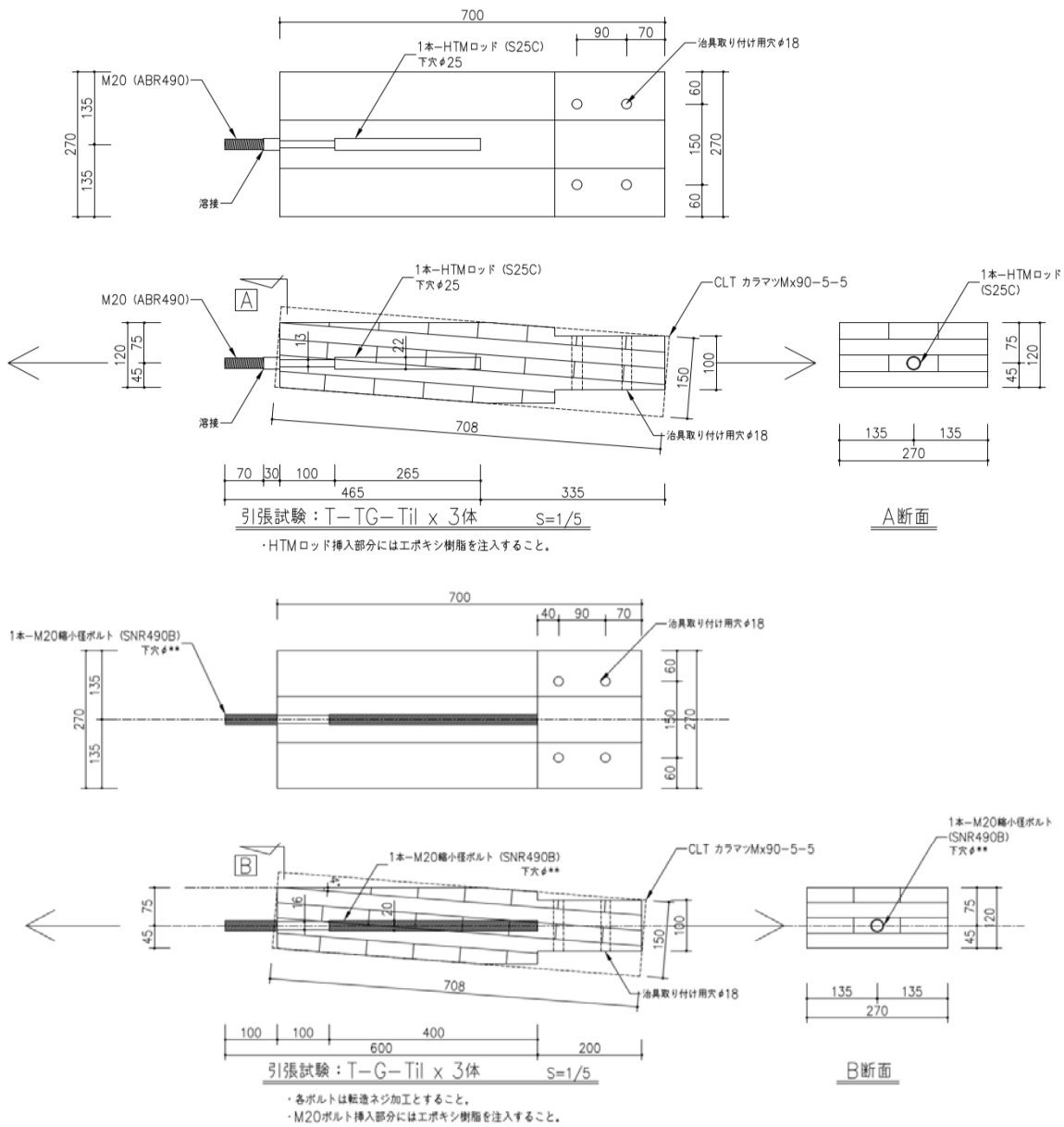


図 2. 1 試験体図

3. 試験方法

(1) 万能試験機 (AUTOGRAPH AG-IS 100kN) を用いて、単調引張加力を行った。変位が 20mm に到達するまたは、荷重値が 100kN に到達するか、破壊が生じ最大荷重後に荷重がその 80% 以下となった時点で終了とした。

(2) 変位は、変位計 CDP-100 と SDP-100 (東京測器研究所製) を取り付け、万能試験機クロスヘッドと試験体の相対変位を算出した。

(3) 荷重はロードセル 100kN により、検出した。

(4) 測定した荷重および変位のデータは、データロガー UCAM-65B (共和電業社製) を介してパソコンに取り込んだ。



図 3. 1 試験方法

4. 試験結果

(1) 各試験体の荷重-見掛けの変形角曲線を図4. 1～4. 3に示す。

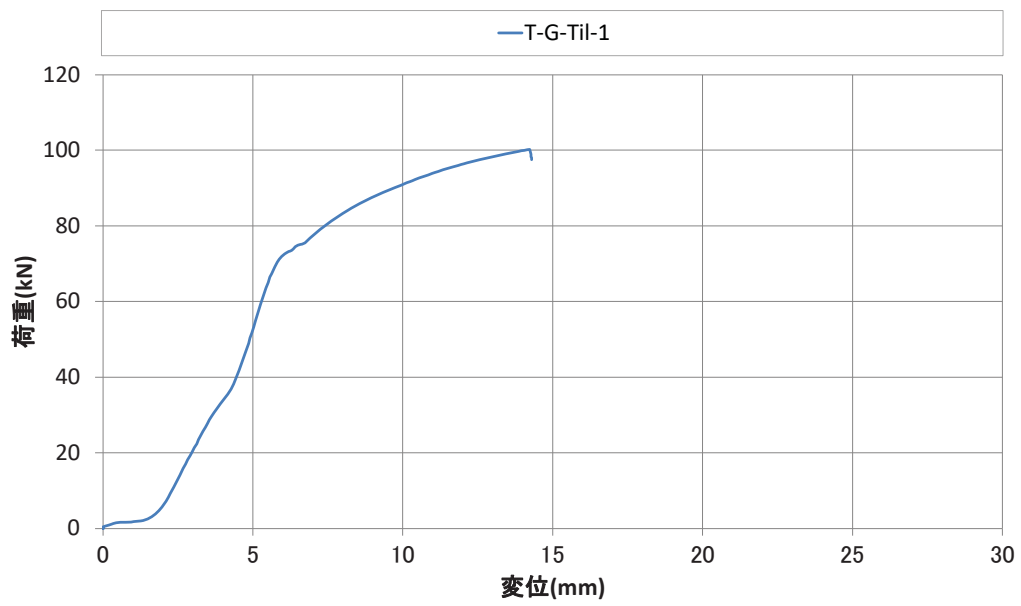
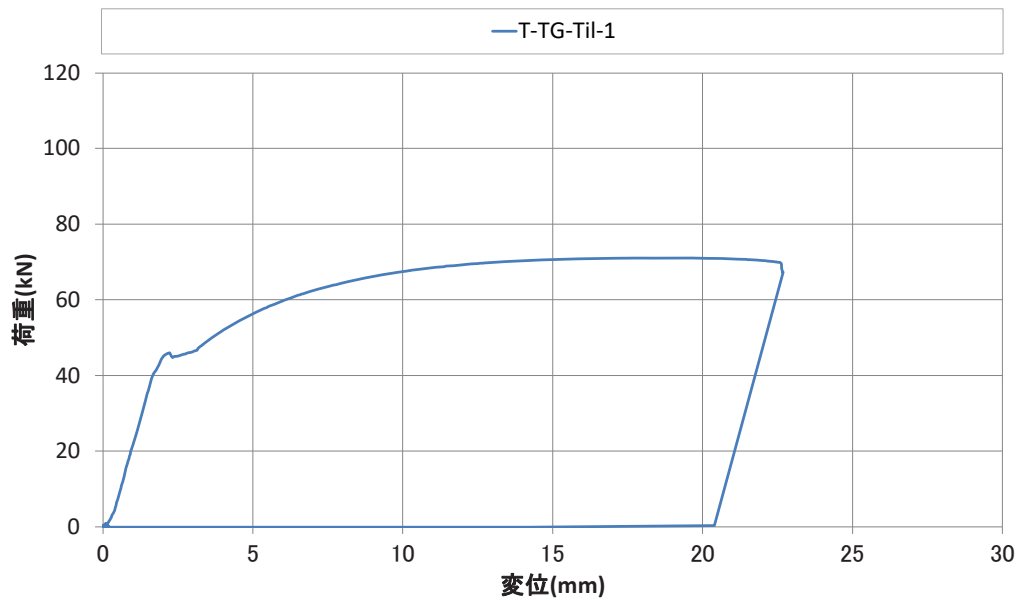


図4. 1 荷重-変位曲線①

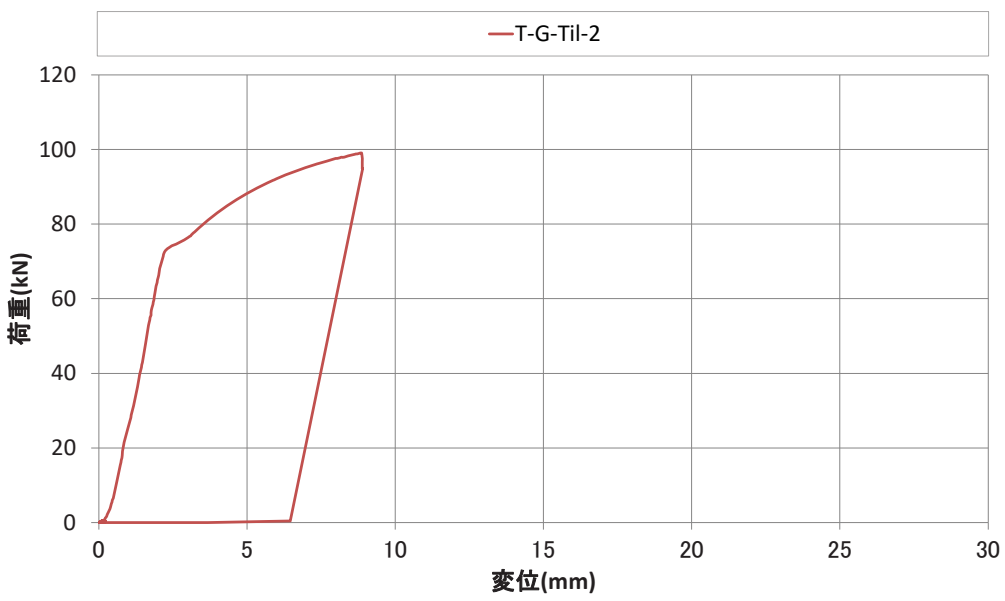
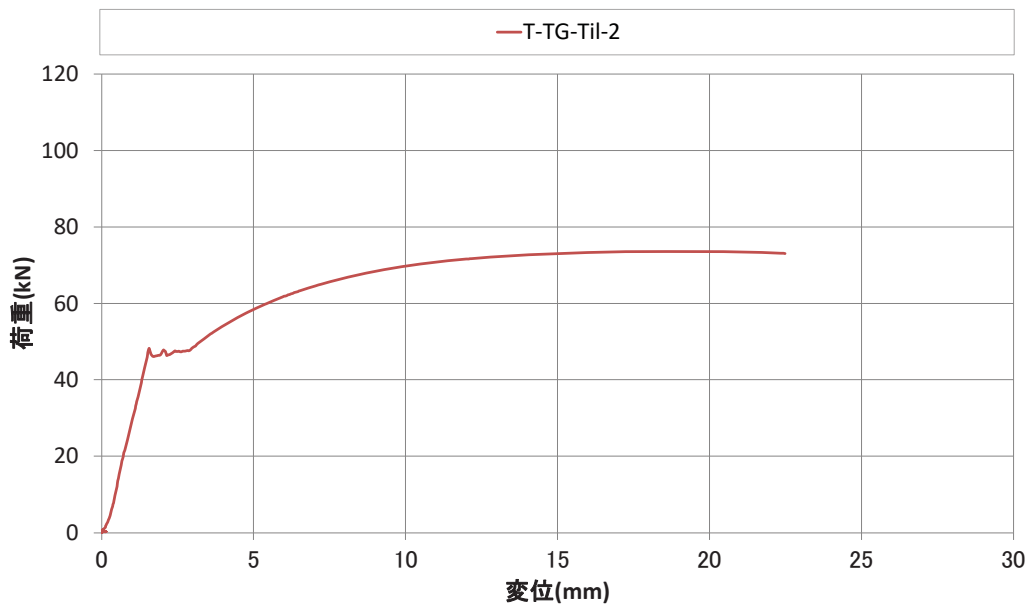


圖4.2 荷重-變位曲線②

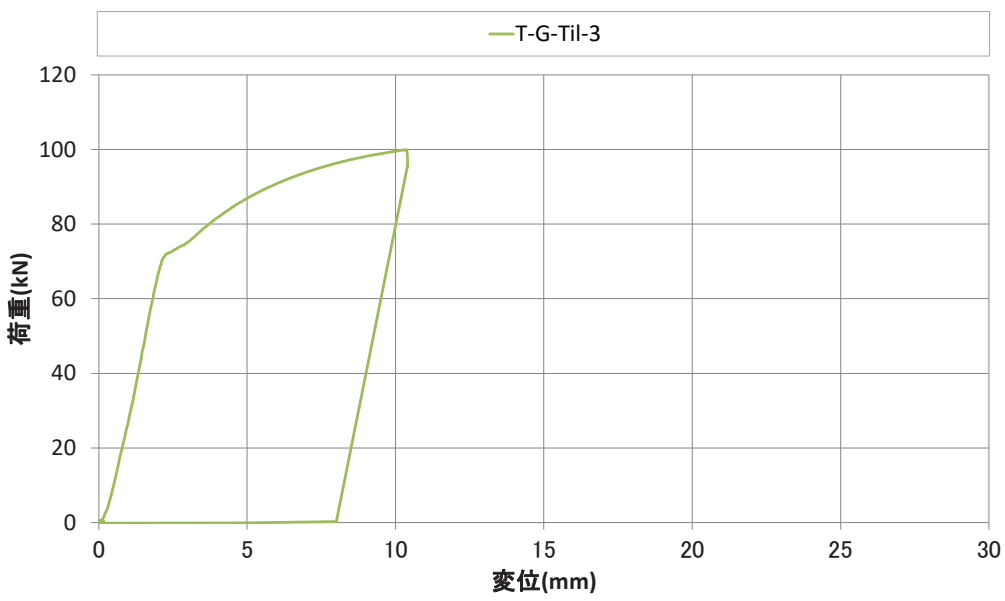
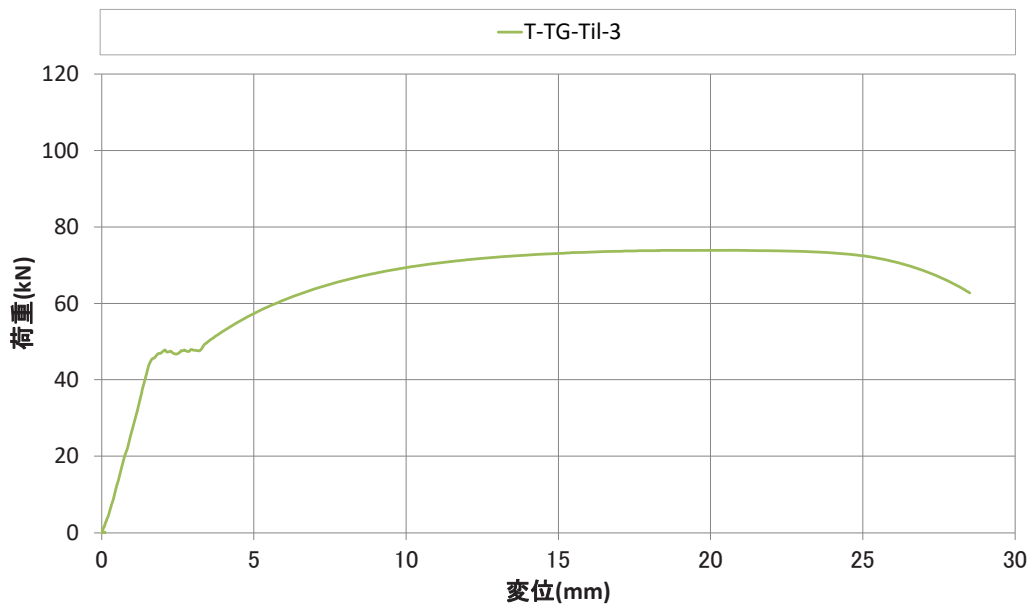


図4.3 荷重-変位曲線③

(2) 最大耐力および最大耐力時の変位を表 4. 1 に示す。

表 4. 1 最大耐力と最大耐力時変位

試験体番号		最大耐力と最大変位	
		Pmax (kN)	δ (Pmax) (mm)
T-TG-Til	1	71.07	18.00
	2	73.60	18.17
	3	73.93	20.11
平均値		72.87	18.76
標準偏差		1.57	1.17
T-G-Til	1	100.23	14.24
	2	99.07	8.87
	3	99.97	10.38
平均値		99.75	11.16
標準偏差		0.61	2.77

(3) 破壊状況は以下のとおりである。

1)

T-TG-Til : GIRの伸びが観察された。

T-G-Til : 破壊に至る前に試験機の最大荷重に達した。

2) 破壊状況の写真は「6. 破壊状況」に示す。

5. 基準許容引張断耐力、基準終局耐力、基準剛性の算出

(1) 一覧表

PickPoint 3.24+a

試験体名	T-TG-Til-1	T-TG-Til-2	T-TG-Til-3	T-G-Til-1	T-G-Til-2	T-G-Til-3
Pmax [kN]	71.07	73.60	73.93	100.23	99.07	99.97
D(Pmax) [mm]	18.00	18.17	20.11	14.24	8.87	10.38
対象データ数	644	672	789	174	344	401
処理結果	OK(Bi-Linear)	OK(Bi-Linear)	OK(Bi-Linear)	交点制限-縦軸上側。OK(Bi-Linear)	OK(Bi-Linear)	OK(Bi-Linear)
初期滑り [mm]	考慮しない	考慮しない	考慮しない	考慮しない	考慮しない	考慮しない
D(0.1Pmax) [mm]	0.49	0.38	0.33	2.30	0.58	0.50
D(0.4Pmax1) [mm]	1.26	1.01	1.09	4.46	1.38	1.32
D(0.4Pmax2) [mm]	1.26	1.01	1.09	4.46	1.38	1.32
D(0.9Pmax) [mm]	7.75	7.80	8.23	9.77	5.22	5.75
曲線に接する点P	45.50	48.27	46.93	70.97	72.93	71.63
曲線に接する点D	2.08	1.57	1.87	5.86	2.25	2.23
二直線の交点Py [kN]	44.04	48.16	45.81	94.92	73.48	70.94
二直線の交点D(Py)	1.81	1.55	1.65	8.40	2.29	2.17
曲線上の点 δy	1.94	1.57	1.75	9.77	2.33	2.17
D(0.8Pmax): δu	22.68	23.75	29.14	14.29	8.90	10.41
初期剛性K [kN/mm]	22.720	30.765	26.232	9.230	31.527	32.636
Energy	1397.49	1535.28	1900.68	893.81	661.93	807.32
Pu [kN]	65.82	67.79	68.27	101.94	88.25	89.28
D(Pu): δv	2.90	2.20	2.60	11.04	2.80	2.74
$\mu = \delta u / \delta v$	7.828	10.779	11.196	1.294	3.179	3.805
$Ds = 1 / \sqrt{2\mu - 1}$	0.261	0.221	0.216	0.794	0.432	0.389
残差	115.78	138.55	152.91	98.52	51.31	62.85
適合度=1-残差/Energy	0.917	0.910	0.920	0.890	0.922	0.922
短期許容引張耐力(kN)	45.21			66.35		

※試験機の荷重容量の限界に達したため、その時点での最大荷重を採用した。

(2) 短期基準引張耐力の算定

短期基準引張耐力P0は、下記の(a)～(b)で求めた耐力の平均値に、それぞれのバラツキ係数を乗じて算出した値のうち最も小さい値とする。なお、バラツキ係数は、母集団の分布形を正規分布とみなし、統計的処理に基づく信頼水準75%の50%下側許容限界値をもとに次式より求めた。

$$\text{バラツキ係数} = 1 - CV \cdot k$$

ただし、CV: 変動係数、k: 定数0.471 (n=3)

(a) 降伏耐力Py、(b) 最大耐力Pmaxの2/3
また、最大荷重に到達せず、試験機の荷重限界で終局を迎えた試験体に関しては、その時点での最大荷重の2/3の値を採用することとした。

(3) 短期許容引張耐力の算定

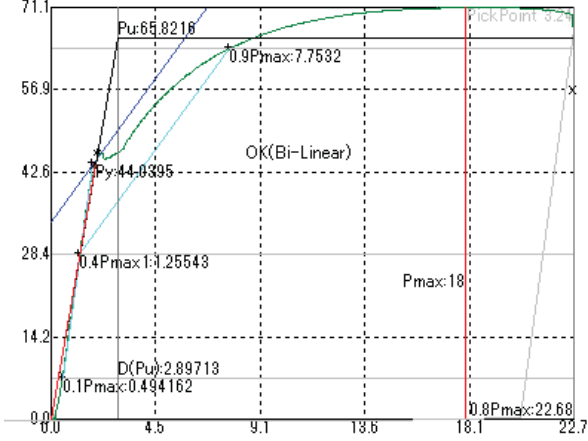
短期許容引張耐力Paは次式によって算定した。

$$Pa = P0 \times \alpha$$

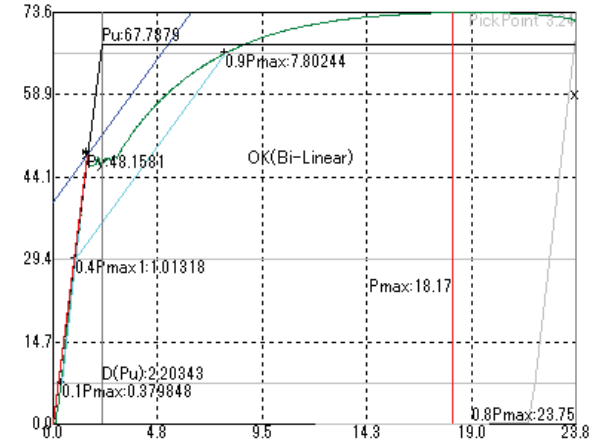
ここで、P0: 短期基準引張耐力

α : 耐力に影響を及ぼす係数で、ここでは「1.0」とした。

(5) 完全弾塑性モデル

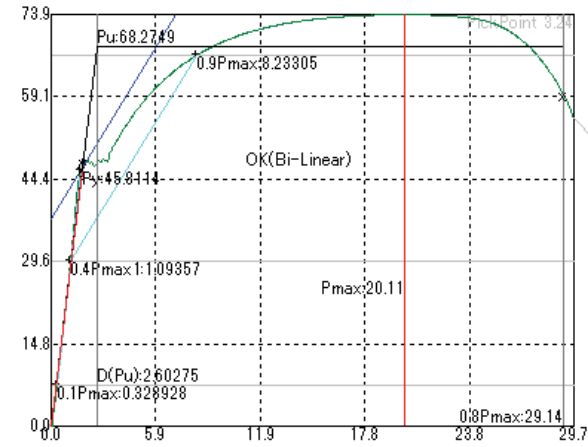


No. 1



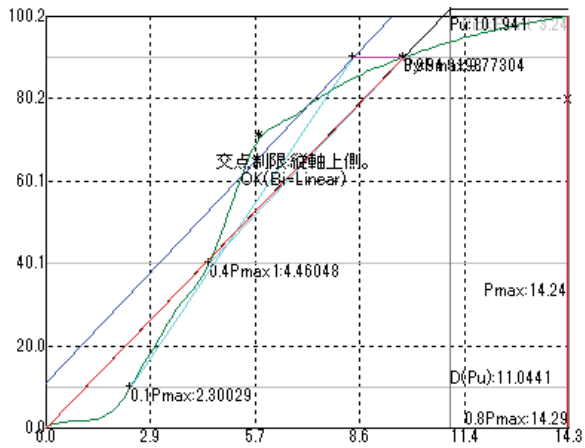
No. 2

Y軸：荷重 (kN)
X軸：変位 (mm)

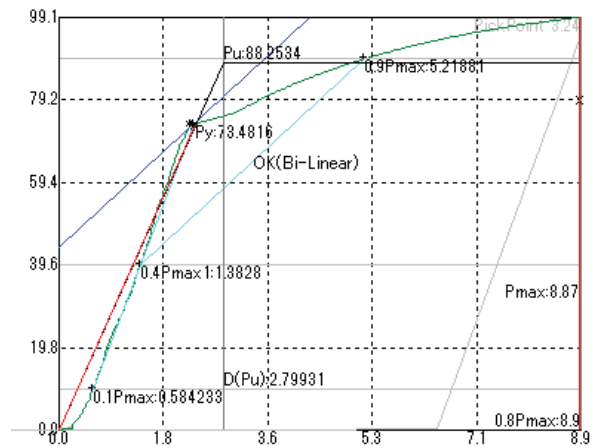


No. 3

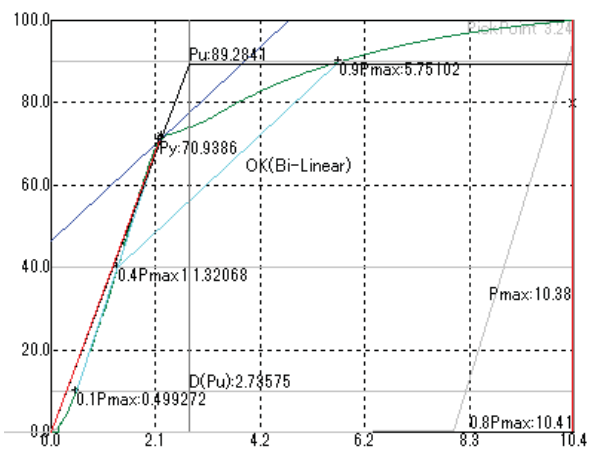
図 5. 1 T-TG-TiI試験体の完全弾塑性モデル



No. 1



No. 2











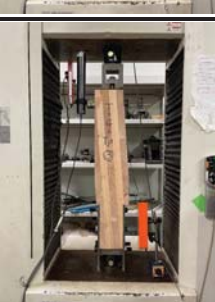



No. 3

Y軸：荷重 (kN)
X軸：変位 (mm)

図 5. 2 T-G-Til試験体の完全弾塑性モデル

6. 破壊状況

<p>T-TG-Til No. 1 終局時、GIRの伸びが観察された。</p>		
<p>T-TG-Til No. 2 終局時、GIRの伸びが観察された。</p>		
<p>T-TG-Til No. 3 20mmを超える変位まで引張を行った。その結果変位が約29mmに達した時点でGIRが破断した。</p>		
<p>T-G-Til No. 1 GIRの伸びが観察される前に、最大荷重100kNに到達し、試験を終了した。</p>		
<p>T-G-Til No. 2 GIRの伸びが観察される前に、最大荷重100kNに到達し、試験を終了した。</p>		
<p>T-G-Til No. 3 GIRの伸びが観察される前に、最大荷重100kNに到達し、試験を終了した。</p>		

試験成績書

令和4年2月10日

東京都市大学 建築都市デザイン学部
建築学科 講師 落合陽

1. 件名	CLTを母材としたGIR接合部の曲げ性能試験
2. 試験概要	<p>[1] 目的 CLTを母材としたGIR接合部の曲げ試験を行う。</p> <p>[2] 試験体</p> <ol style="list-style-type: none">1) 部材構成：CLT及びGIR2) CLT：カラマツMx90-5-53) 集成材：カラマツ対称異等級集成材E105-F3004) GIR：HTMロッド（S25C）、M20縮小径ボルト（SNR490B）5) 試験体数：曲げ試験 12体 <p>[3] 試験方法 試験方法は3章に示す方法に則り実施する。</p>
3. 試験結果	別紙の通り。（全16ページ）
4. 試験実施場所	東京都文京区弥生1-1-1 東京大学農学部内 5号館地下実験室
5. 試験実施日	2021/11/15-19, 11/26
6. 試験担当者および 試験成績書作成者	担当者：東京都市大学 落合陽 坂田涼太郎構造設計事務所 鈴木一希 作成者：東京都市大学 落合陽

1. 一般事項

2022/2/10

東京都市大学 建築都市デザイン学部 建築学科 講師 落合 陽	
1. 件名	CLTを母材としたGIR接合部の曲げ性能試験
2. 試験概要	<p>[1] 目的 CLTを母材としたGIR接合部の曲げ試験を行う。</p> <p>[2] 試験体</p> <p>1) 部材構成：CLT及びGIR</p> <p>2) CLT：カラマツMx90-5-5</p> <p>3) 集成材：カラマツ対称異等級集成材E105-F300</p> <p>4) GIR：HTMロッド（S25C）、M20縮小径ボルト（SNR490B）</p> <p>5) 試験体数：曲げ試験 12体</p> <p>[3] 試験方法 試験方法は3章に示す方法に則り実施する。</p>
3. 試験実施者	東京都市大学 落合陽 坂田涼太郎事務所 坂田涼太郎 鈴木一希
4. 試験実施場所	東京都文京区弥生1-1-1 東京大学農学部内 5号館地下実験室
5. 試験実施日	2021/11/15-19, 11/26
6. 試験担当者および 試験成績書作成者	担当者：東京都市大学 落合陽 坂田涼太郎構造設計事務所 鈴木一希 作成者：東京都市大学 落合陽

2. 試験体

表 2. 1 試験体仕様

仕様詳細	
試験体数	12体 (AS-TG-C×3体、AS-TG-T×3体、AS-G-C×3体、AS-G-T×3体)
母材	CLT カラマツMx90-5-5
接合具	AS-TGシリーズ：HTMロッド (S25C) AS-Gシリーズ：M20縮小径ボルト (SNR490B)
接合方法	母材となるCLTおよび集成材・かい木に下穴を開け、接合具を挿入した後、エポキシ樹脂を充填し定着させる。(図2.1および図2.2) なお、CLTと接合具の軸芯を4°ずらし接合を行う。

表 2. 2 材料物性値

試験体名	AS-TG-C / AS-TG-T		
試験体部材	樹種	等級	含水率
CLT	カラマツ	Mx-90-5-5	20%以下

試験体名	AS-G-C / AS-G-T		
試験体部材	樹種	等級	含水率
CLT	カラマツ	Mx-90-5-5	20%以下

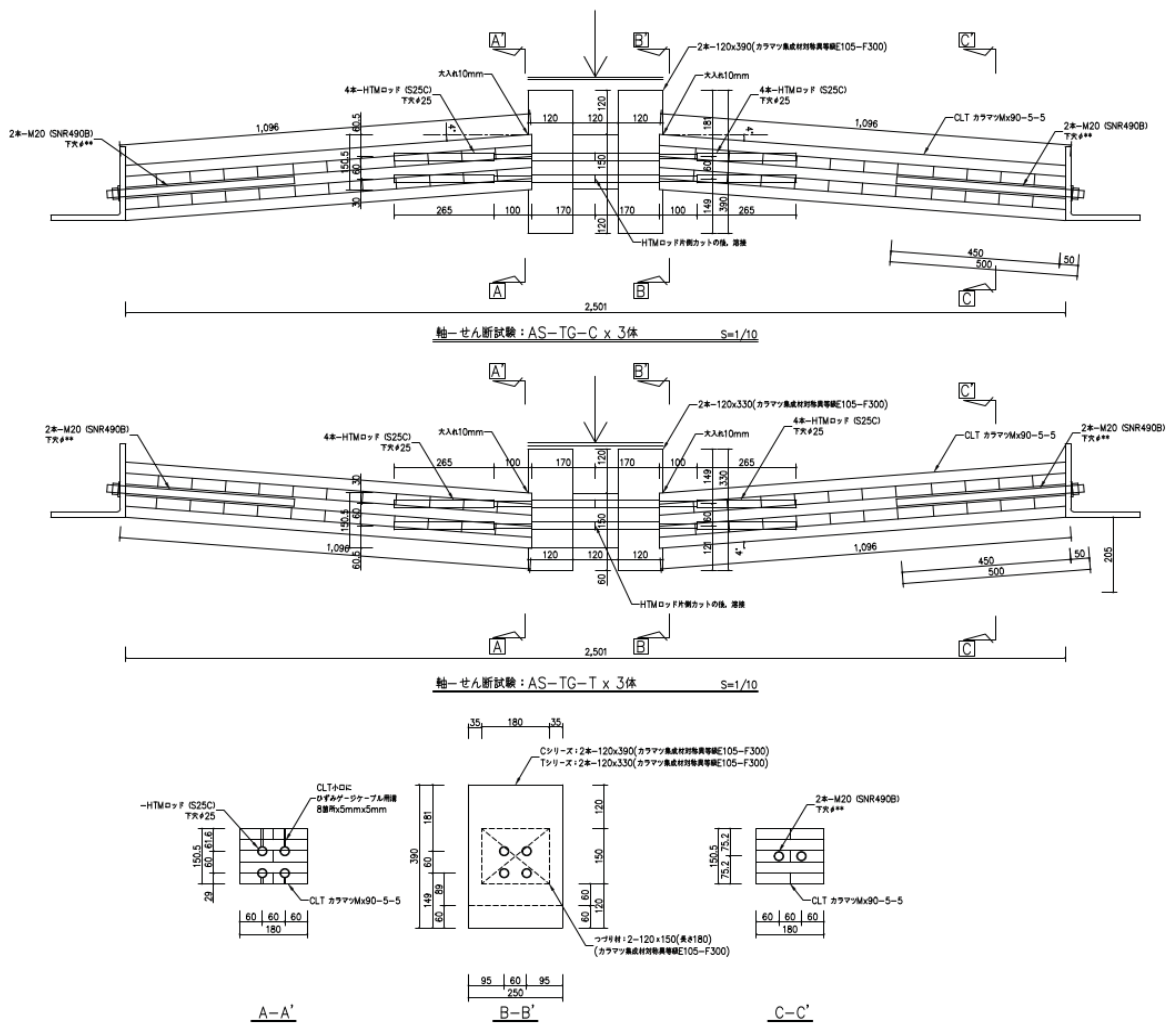
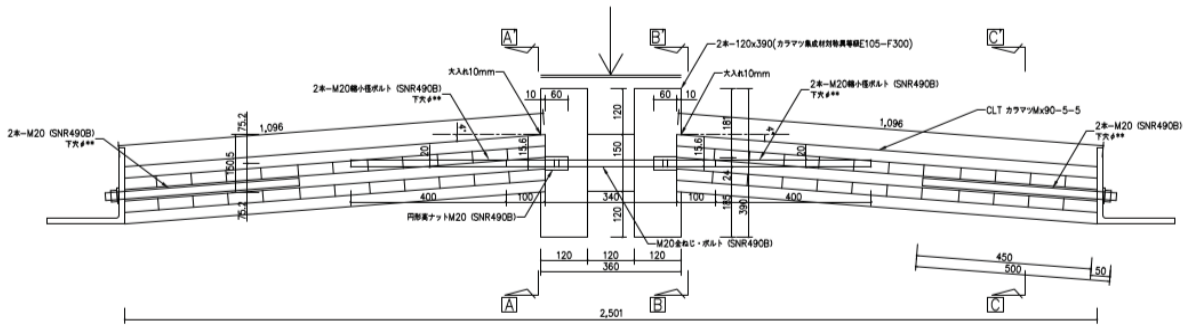
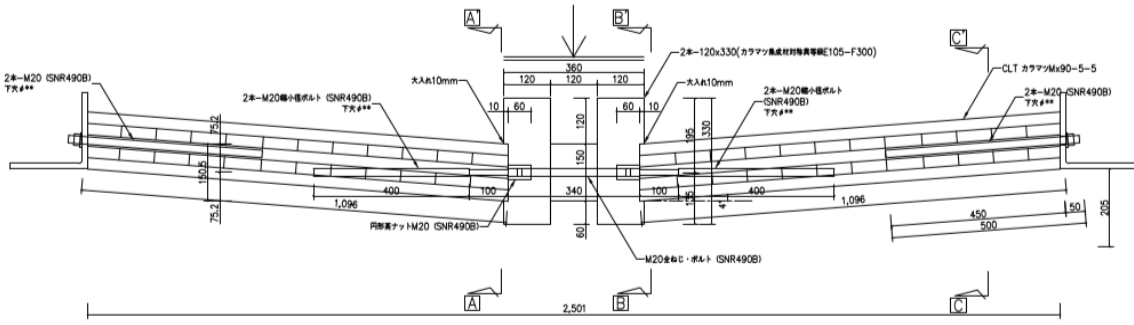


図2. 1 AS-TG-C/AS-TG-T試験体図面



軸-せん断試験：AS-G-C x 3体 S=1/10



軸-せん断試験：AS-G-T x 3体 S=1/10

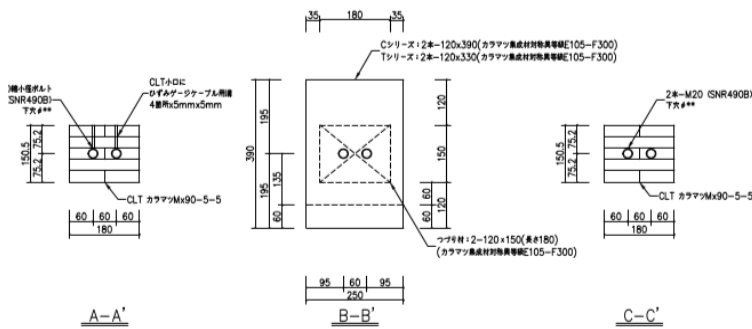


図 2. 2 AS-G-C/AS-G-T試験体図面

3. 試験方法

(1) 圧縮試験機を用いて、単調圧縮加力を行った。ただし各試験体シリーズの内1体（または2体）は繰り返し圧縮加力とした。その場合の繰り返し履歴は試験体中央部の鉛直絶対変位が5mm、10mm、20mm、40mm、60mm、80mmに達した時点とし、その後は押し切ることとした。変位が油圧ジャッキのストローク限界に到達するまたは、荷重値が100kNに到達するか、破壊が生じ最大荷重後に荷重がその80%以下となった時点で終了とした。

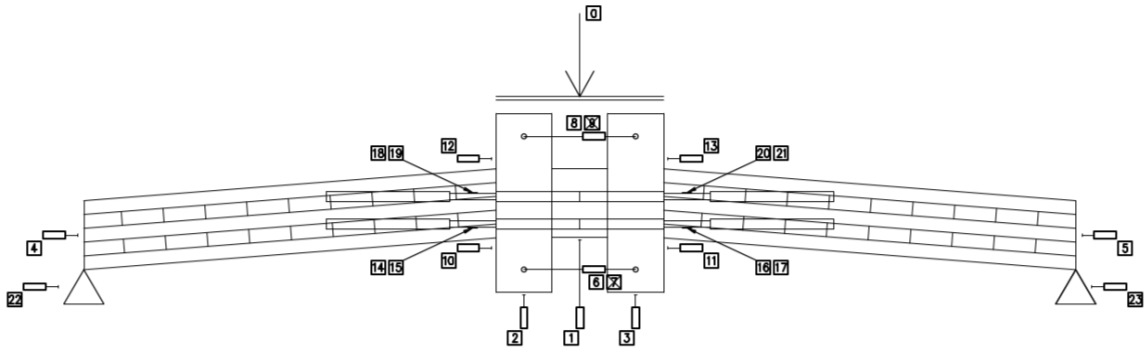
(2) 変位は、変位計SDP-50とSDP-100（東京測器研究所製）を取り付け、図3. 2のように変位計を配置し算出した。

(3) 荷重はロードセル 100kNにより、検出した。

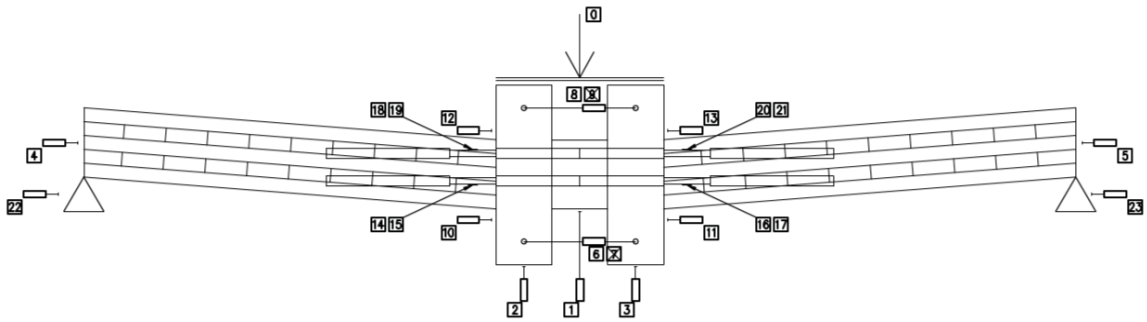
(4) 測定した荷重および変位のデータは、データロガーUCAM-65B（共和電業社製）を介してパソコンに取り込んだ。



図3. 1 試験方法

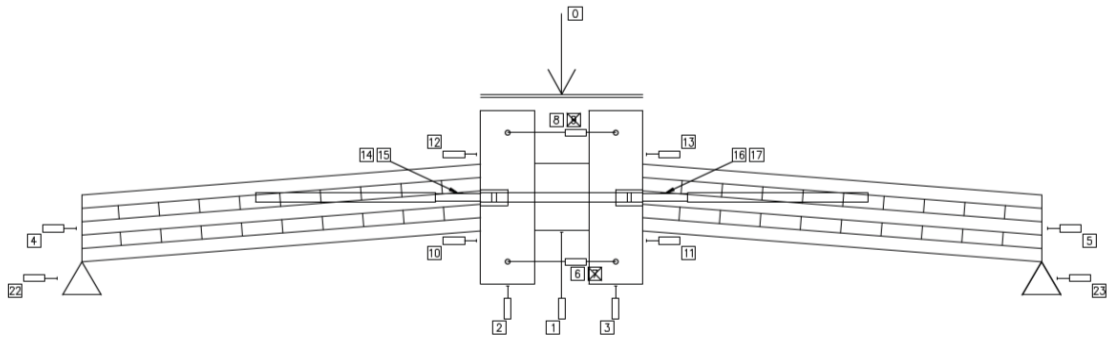


軸-せん断試験：AS-TG-C 計測計画 S=1/10

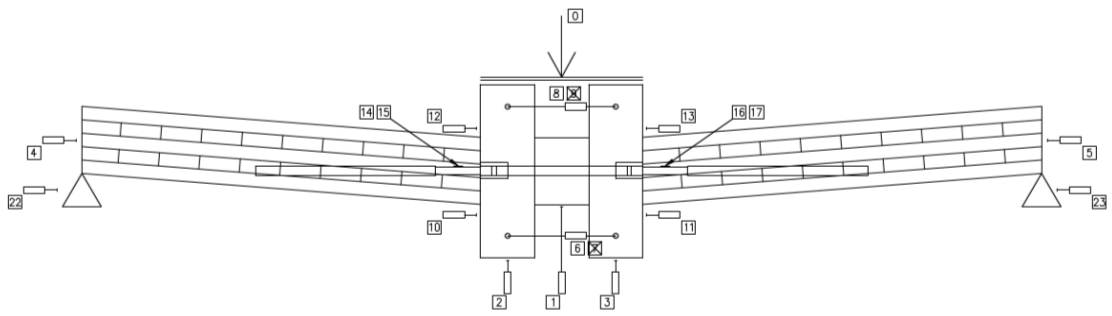


軸-せん断試験：AS-TG-T 計測計画 S=1/10

図3.2 試験体AS-TG-C/AS-TG-T計測計画



軸—せん断試験：AS-G-C 計測計画 S=1/10



軸—せん断試験：AS-G-T 計測計画 S=1/10

図3.3 試験体AS-G-C/AS-G-T計測計画

4. 試験結果

(1) 各試験体シリーズの荷重-中央変位曲線を図4. 1~4. 2に示す。

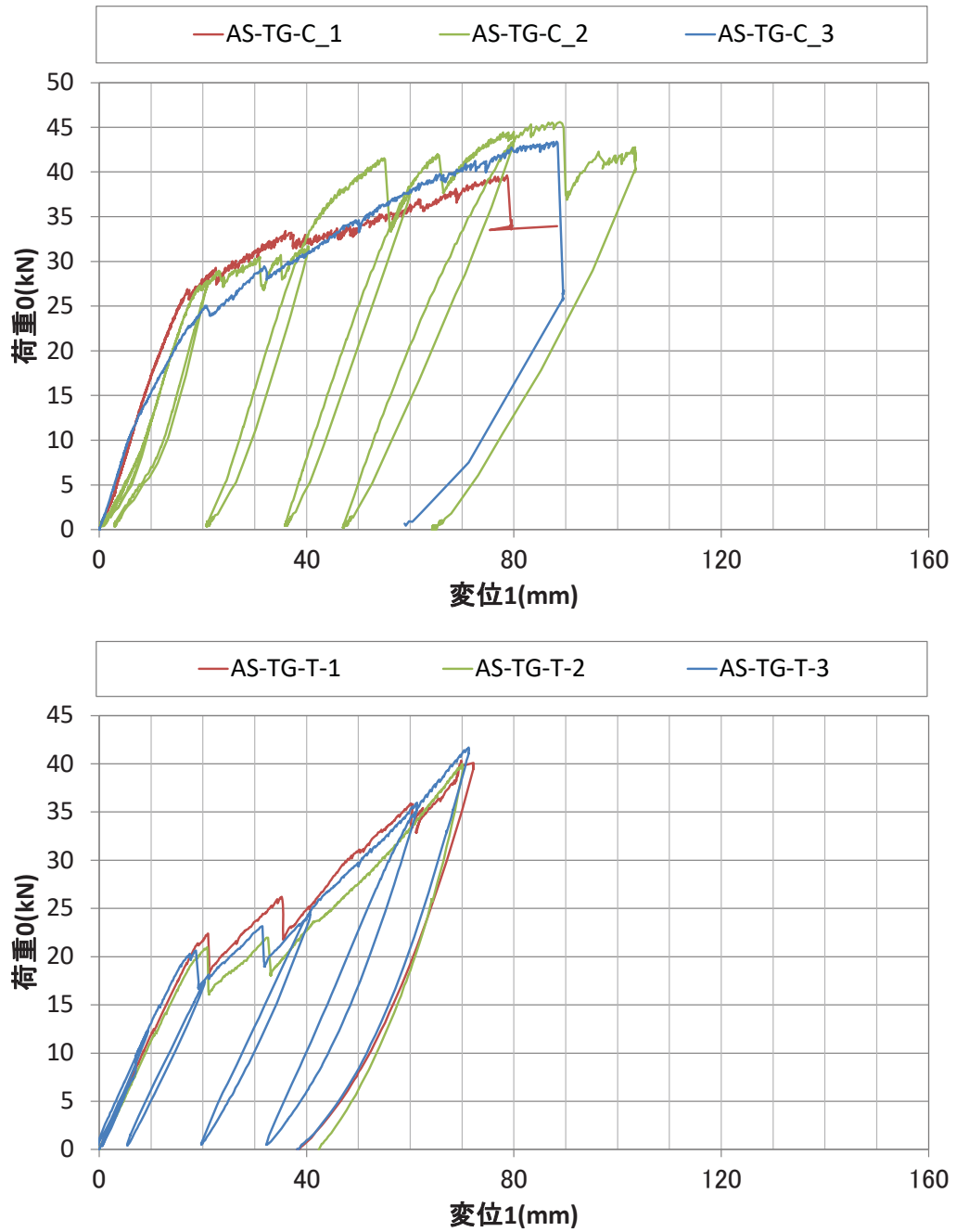


図4. 1 荷重-変位曲線(AS-TGシリーズ)

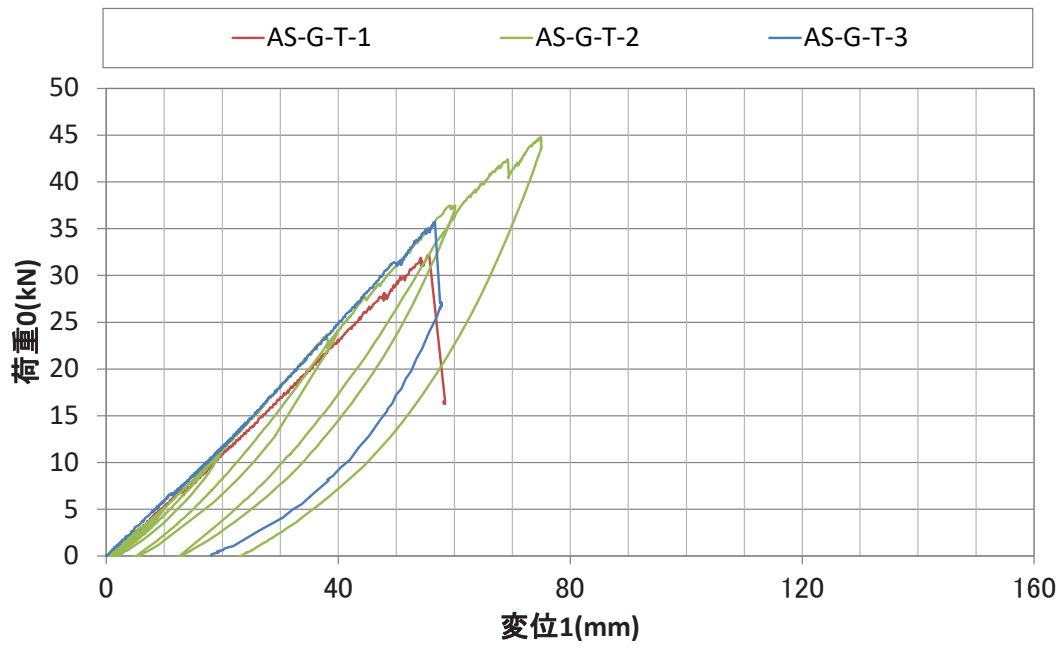
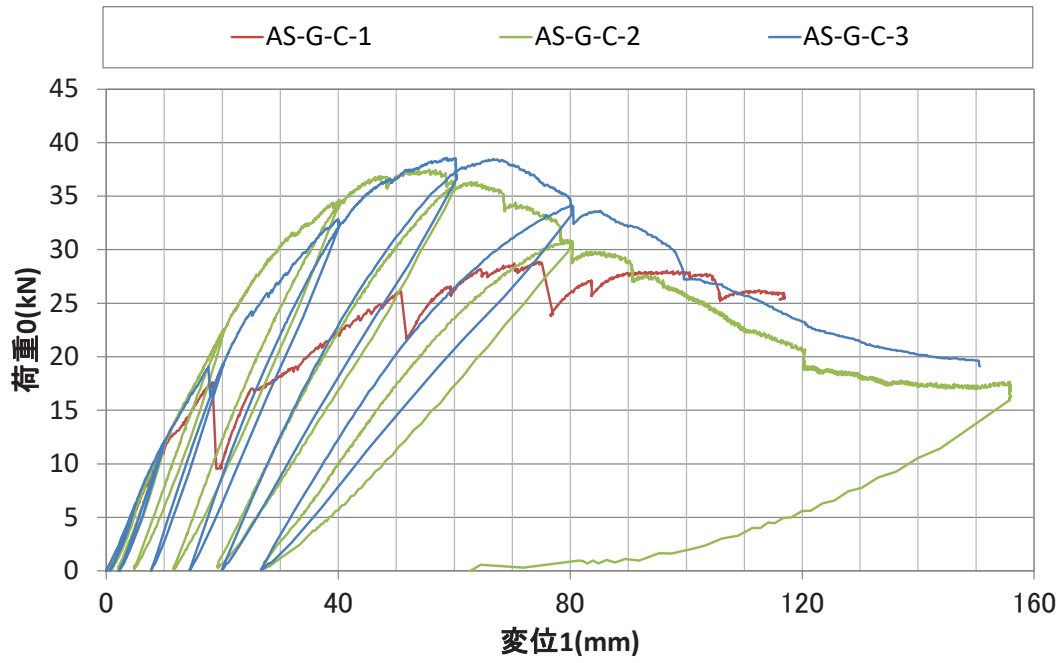


図4.2 荷重-変位曲線(AS-Gシリーズ)

(2) 最大耐力および最大耐力時の変位を表 4. 1 に示す。

表 4. 1 最大耐力と最大耐力時変位

試験体番号		最大耐力と最大変位		試験体番号		最大耐力と最大変位	
		Pmax (kN)	δ (Pmax) (mm)			Pmax (kN)	δ (Pmax) (mm)
AS-TG-C	1	39.64	78.64	AS-TG-T	1	40.33	69.86
	2	45.62	88.88		2	39.98	70.00
	3	43.41	88.20		3	41.70	71.26
平均値		42.89	85.24	平均値		40.67	70.37
標準偏差		3.02	5.73	標準偏差		0.91	0.77
AS-G-C	1	28.86	74.52	AS-G-T	1	32.19	55.64
	2	37.49	55.66		2	44.79	74.94
	3	38.56	58.60		3	35.72	56.66
平均値		34.97	62.93	平均値		37.57	62.41
標準偏差		5.32	10.15	標準偏差		6.50	10.86

(3) 破壊状況は以下のとおりである。

1)

AS-TG-C : 集成材・CLTのせん断破壊または集成材の引張りひび割れ

AS-TG-T : 集成材の引張りひび割れ

AS-G-C : 集成材かい木の局部座屈

AS-G-T : 集成材のせん断ひび割れ

2) 破壊状況の写真は「6. 破壊状況」に示す。

5. 基準許容せん断耐力、基準終局耐力、基準剛性の算出

(1) 一覧表

PickPoint 3.24+a

試験体名	AS-TG-C-1	AS-TG-C-2	AS-TG-C-3	AS-TG-T-1	AS-TG-T-2	AS-TG-T-3
Pmax [kN]	39.64	45.62	43.41	40.33	39.98	41.70
D(Pmax) [mm]	78.64	88.88	88.20	69.86	70.00	71.26
対象データ数	509	438	456	639	717	700
処理結果	OK(Bi-Linear)	注意:荷重回復あり。OK(Bi-Linear)	OK(Bi-Linear)	OK(Bi-Linear)	OK(Bi-Linear)	OK(Bi-Linear)
初期滑り [mm]	考慮しない	考慮しない	考慮しない	考慮しない	考慮しない	考慮しない
D(0.1Pmax) [mm]	2.82	4.45	2.58	3.32	3.78	3.54
D(0.4Pmax1) [mm]	9.22	13.16	11.84	13.94	14.55	13.38
D(0.4Pmax2) [mm]	9.22	13.16	11.84	13.94	14.55	13.38
D(0.9Pmax) [mm]	58.60	53.60	63.49	65.33	63.98	64.35
曲線に接する点P	29.30	27.34	25.04	22.39	20.83	20.29
曲線に接する点D	22.48	19.44	20.46	20.94	20.30	17.46
二直線の交点Py [kN]	26.22	26.91	23.14	21.50	19.93	19.53
二直線の交点D(Py)	14.79	18.67	15.94	18.66	18.08	15.62
曲線上の点 δy	16.56	18.85	18.15	19.68	18.87	16.24
D(0.8Pmax): δu	88.32	103.52	88.48	72.24	70.12	71.32
初期剛性K [kN/mm]	1.583	1.428	1.275	1.092	1.056	1.203
Energy	2652.11	3433.31	2700.10	1752.92	1537.09	1683.50
Pu [kN]	34.22	38.07	36.38	29.95	26.75	28.26
D(Pu): δv	21.61	26.67	28.54	27.42	25.33	23.50
$\mu = \delta u / \delta v$	4.086	3.882	3.100	2.634	2.768	3.035
$D_s = 1 / \sqrt{2\mu - 1}$	0.373	0.384	0.438	0.484	0.469	0.444
残差	182.99	391.88	336.91	267.59	287.20	327.76
適合度=1-残差/Energy	0.931	0.886	0.875	0.847	0.813	0.805
短期許容せん断耐力(k)	24.65			19.92		

(2) 短期基準せん断耐力の算定

短期基準せん断耐力 P_0 は、下記の (a) ~ (b) で求めた耐力の平均値に、それぞれのバラツキ係数を乗じて算出した値のうち最も小さい値とする。なお、バラツキ係数は、母集団の分布形を正規分布とみなし、統計的処理に基づく信頼水準75%の50%下側許容限界値をもとに次式より求めた。

$$\text{バラツキ係数} = 1 - CV \cdot k$$

ただし、CV: 変動係数、k: 定数0.471 (n=3)

(a) 降伏耐力 P_y 、(b) 最大耐力 P_{max} の2/3

また、明確な降伏点が存在せず、ジャッキのストローク限界で終局を迎えた試験体に関しては、その時点での最大荷重の2/3の値を採用することとした。

(3) 短期許容せん断耐力の算定

短期許容せん断耐力 P_a は次式によって算定した。

$$P_a = P_0 \times \alpha$$

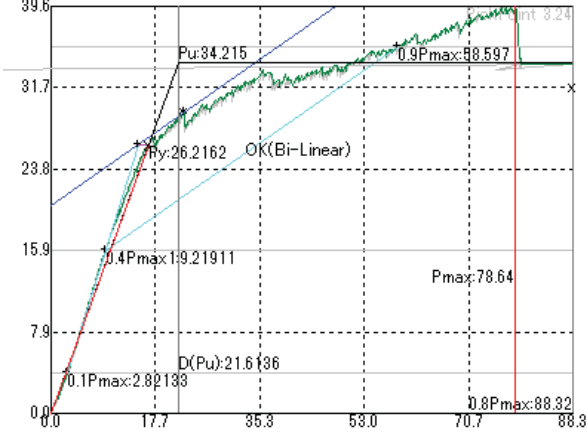
ここで、 P_0 : 短期基準せん断耐力

α : 耐力に影響を及ぼす係数で、ここでは「1.0」とした。

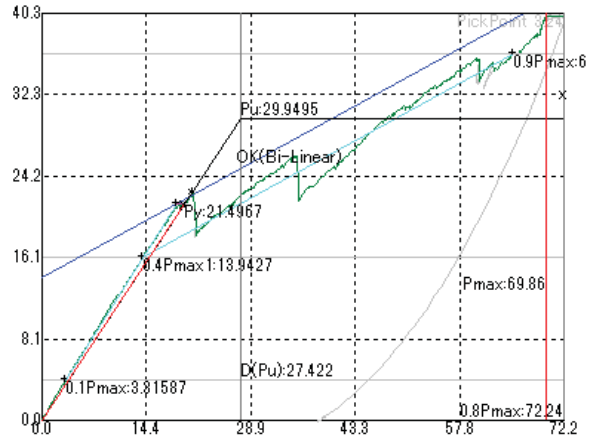
試験体名	AS-G-C-1	AS-G-C-2	AS-G-C-3	AS-G-T-1	AS-G-T-2	AS-G-T-3
Pmax [kN]	28.86	37.49	38.56	32.19	44.79	35.72
D(Pmax) [mm]	74.52	55.66	58.60	55.64	74.94	56.66
対象データ数	646	683	909	292	766	380
処理結果	注意:荷重回復あり。OK(Bi-Linear)	OK(Bi-Linear)	OK(Bi-Linear)	交点制限:縦軸下側。交点制限:横軸	交点制限:縦軸上側。交点制限:横軸	交点制限:縦軸下側。交点制限:横軸
初期滑り [mm]	考慮しない	考慮しない	考慮しない	考慮しない	考慮しない	考慮しない
D(0.1Pmax) [mm]	2.80	3.47	3.20	6.37	8.80	6.00
D(0.4Pmax1) [mm]	10.15	12.84	13.55	23.57	29.71	24.22
D(0.4Pmax2) [mm]	10.15	12.84	13.55	23.57	29.71	24.22
D(0.9Pmax) [mm]	50.19	37.53	44.05	49.88	65.63	51.70
曲線に接する点P	17.64	27.69	25.87	0.00	37.34	0.05
曲線に接する点D	18.30	25.88	27.58	-0.10	58.84	0.00
二直線の交点Py [kN]	16.10	22.59	19.06	-5.07	60.46	0.01
二直線の交点D(Py)	14.02	19.17	16.80	-8.39	95.93	-0.06
曲線上の点 δy	16.01	20.46	17.60	23.57	65.63	24.22
D(0.8Pmax): δu	116.96	80.42	95.28	55.64	74.98	56.66
初期剛性K [kN/mm]	1.005	1.104	1.083	0.546	0.614	0.590
Energy	2592.16	2251.54	2734.84	874.97	1702.60	984.41
Pu [kN]	24.77	34.83	34.46		40.64	
D(Pu): δv	24.64	31.54	31.82		66.17	
$\mu = \delta u / \delta v$	4.747	2.550	2.995		1.133	
$Ds = 1 / \sqrt{2\mu - 1}$	0.343	0.494	0.448		0.889	
残差	312.26	106.59	226.51		50.55	
適合度=1-残差/Energy	0.880	0.953	0.917		0.970	
短期許容せん断耐力(k	18.00			23.38		

※明確な降伏点が存在せず、ジャッキのストローク限界で終局を迎えたため、その時点での最大荷重の2/3の値を採用した。

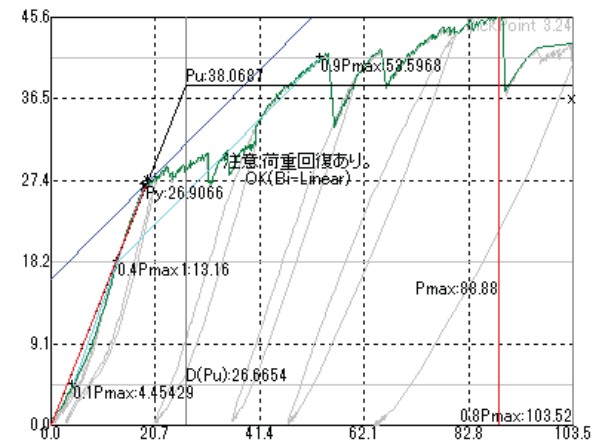
(5) 完全弾塑性モデル



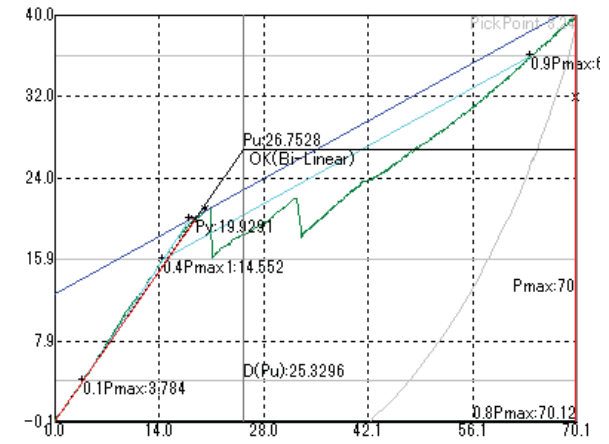
AS-TG-C No. 1



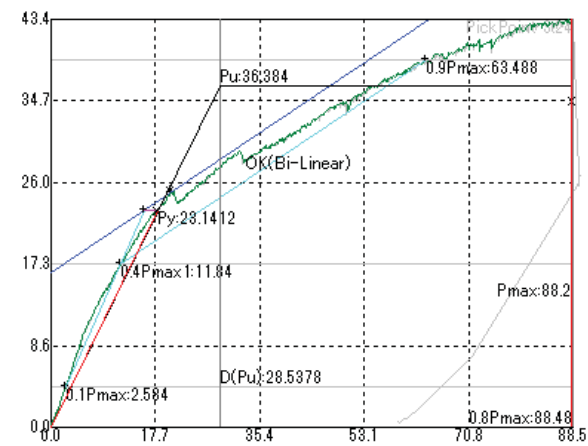
AS-TG-T No. 1



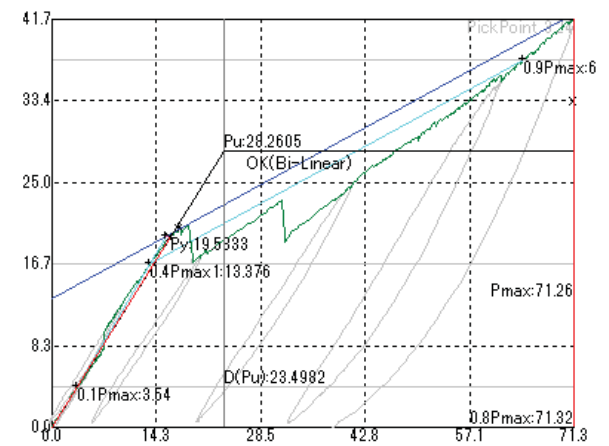
AS-TG-C No. 2



AS-TG-T No. 2



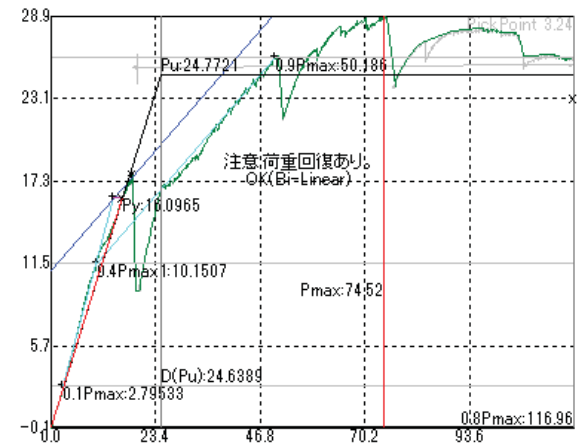
AS-TG-C No. 3



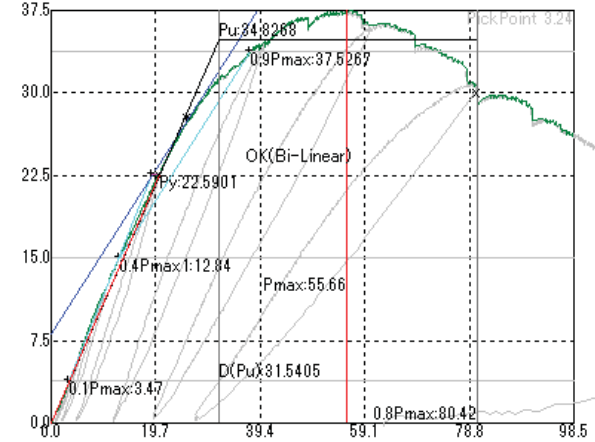
AS-TG-T No. 3

図5. 1 AS-TG シリーズ試験体の完全弾塑性モデル

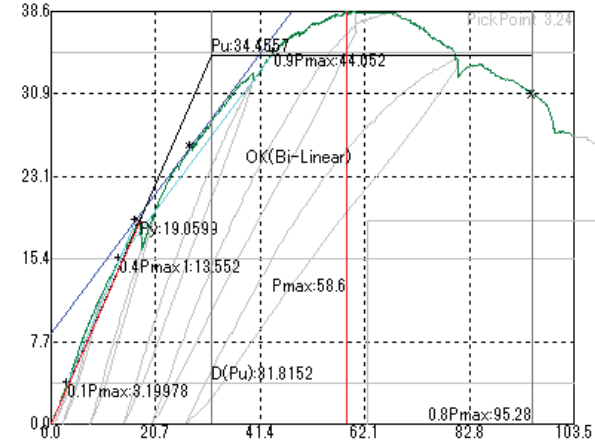
Y軸：荷重 (kN) X軸：変位 (mm)



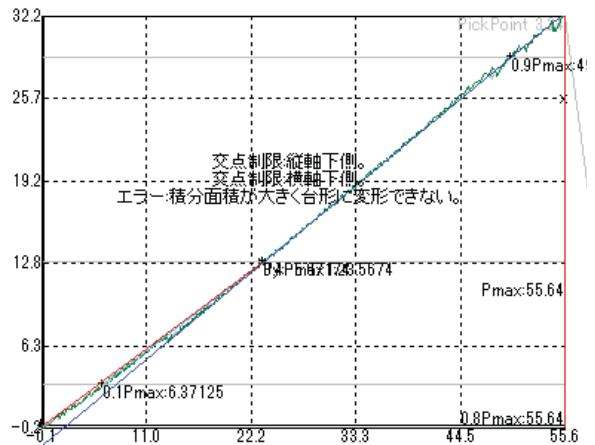
AS-G-C No. 1



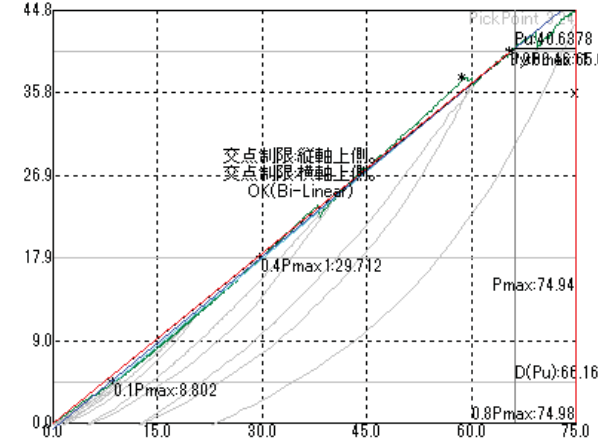
AS-G-C No. 2



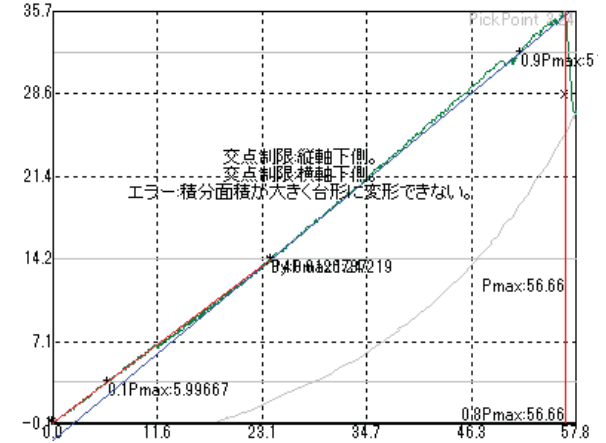
AS-G-C No. 3



AS-G-T No. 1



AS-G-T No. 2





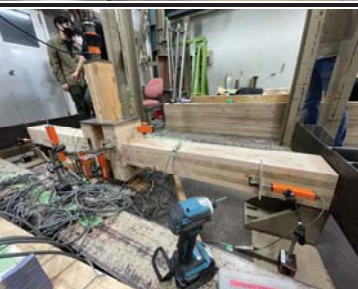
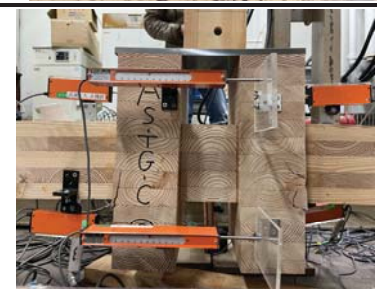








AS-G-T No. 3











図5. 2 AS-G シリーズ試験体の完全弾塑性モデル

Y軸：荷重 (kN) X軸：変位 (mm)

6. 破壊状況

<p>AS-TG-C No. 1</p> <p>終局時、集成材およびCLTのGIR位置に沿ってせん断破壊が観察された。</p>		
<p>AS-TG-C No. 2</p> <p>終局時、CLTと集成材が接触する下端位置で引張力による集成材のひび割れが観察された。</p>		
<p>AS-TG-C No. 3</p> <p>終局時、CLTと集成材が接触する下端位置で引張力による集成材のひび割れが観察された。</p>		
<p>AS-TG-T No. 1</p> <p>終局時、CLTと集成材が接触する下端位置で引張力による集成材のひび割れが観察された。</p>		
<p>AS-TG-T No. 2</p> <p>終局時、CLTと集成材が接触する下端位置で引張力による集成材のひび割れが観察された。</p>		
<p>AS-TG-T No. 3</p> <p>終局時、CLTと集成材が接触する下端位置で引張力による集成材のひび割れが観察された。</p>		

6. 破壊状況

<p>AS-G-C No. 1</p> <p>終局時、2本の集成材に挟まれる集成材のかい木の上端部に圧縮力による局部座屈が生じた。またかい木下端と集成材との間に隙間が生じた。</p>		
<p>AS-G-C No. 2</p> <p>終局時、2本の集成材に挟まれる集成材のかい木の上端部に圧縮力による局部座屈が生じた。またかい木下端と集成材との間に隙間が生じた。</p>		
<p>AS-G-C No. 3</p> <p>終局時、2本の集成材に挟まれる集成材のかい木の上端部に圧縮力による局部座屈が生じた。またかい木下端と集成材との間に隙間が生じた。</p>		
<p>AS-G-T No. 1</p> <p>終局時に、集成材のGIR挿入位置に微小ではあるがせん断破壊による割れが観察された。</p>		
<p>AS-G-T No. 2</p> <p>終局時に、集成材のGIR挿入位置に微小ではあるがせん断破壊による割れが観察された。</p>		
<p>AS-G-T No. 3</p> <p>終局時に、集成材のGIR挿入位置に微小ではあるがせん断破壊による割れが観察された。</p>	