

CLT等新たな木質建築部材利用促進・定着委託事業
のうち国による開発

事業報告書

平成31年3月

一般社団法人 日本CLT協会

CLT等新たな木質建築部材利用促進・定着委託事業のうち国による開発

目次

第1章 事業概要	1
1.1 事業実施の目的	1
1.2 事業内容	1
1.3 委員名簿	2
第2章 検討方針	3
2.1 現行規定と合理化検討方針	3
2.2 有開口耐力壁のモデルの設定	4
2.3 水平加力試験方法の検討	15
第3章 試験概要と試験結果と考察	22
3.1 試験概要	22
3.2 試験体図と接合金物	26
3.3 試験体の設置要領	34
3.4 水平加力試験結果と考察	42
3.5 供試CLTのせん断性能を参考で確認するための 4点曲げ試験	76
3.6 CLTの圧縮試験	86
第4章 プログラムでの解析結果と柱脚金物耐力を考慮した断面検定	100
4.1 プログラムによる解析結果とまとめ	100
4.2 柱脚金物終局耐力時の水平力による壁断面検定	126
第5章 まとめ	127
5.1 検討結果の考察	127
5.2 有開口耐力壁の設計法の提案	128
資料1 委員会議事録	

第1章 事業概要

1.1 事業実施の目的

CLTパネル工法建築物の耐力壁パネル・床パネル・屋根パネルに開口を設ける場合は、CLTパネル工法技術基準告示で、パネルの剛性や耐力の低減について特別な調査・研究結果に基づいて算出し、構造安全性を確認することが求められている。現状、これに対応して公開されている設計法は適用できるケースが少なく、煩雑な設計と高度な計算が必要で、設計者の大きな負担となっている。特に、壁に設備配管用の小開口等を設ける場合において大きな課題となっている。

そこで、本事業において、告示で求められているパネルの剛性や耐力の低減についての特別な調査・研究として、実験や解析を実施し、小開口付パネルの適切かつ簡便な設計法を開発することにより設計における負担を軽減し、CLTパネル工法建築物の普及促進を図ることを目的とする。

1.2 事業内容

小開口を設けたCLTパネルの構造特性を、実験や解析によって把握し、剛性・耐力に影響のない開口サイズ及び配置等を規定する。低減が必要となる条件及び計算となった場合は合理化案を開発する。

① 小開口を設けたCLTパネルの実大水平加力試験

数種類の実大の小開口付CLTパネルの試験体を製作し、水平加力試験を行い耐力・剛性を把握する。

② 小開口を設けたCLTパネルの構造解析プログラムによるシミュレーション

プログラムによる構造（シェルモデル）解析を行い、構造安全性を確認する。

③ 試験及びシミュレーション結果に基づく計算合理化案の検討・開発

実験・シミュレーションにより小開口とCLTパネルの関係性において、耐力・剛性に関する規則性を検討し、結果を元に設計法を開発する。

④ CLT工法建築物関連書籍等による設計法の公開と各種CLT関連講習会時における紹介

CLTを解説している書籍等に掲載結果を掲載することで、一般に公開する。また、日本CLT協会によるCLT関連の講習会等でも紹介し、成果の普及を図る。

1.3 有開口耐力壁開発委員会委員名簿

(敬称略、順不同)

委員長	神谷 文夫	セイホク株式会社
委員	五十田 博	京都大学 教授
	植松 武是	北海学園大学 教授
	荒木 康弘	国土交通省国土技術政策総合研究所
	野田 康信	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所
	鈴木 圭	公益財団法人 日本住宅木材・技術センター
	岡部 実	一般財団法人 ベターリビング
	協力委員	梅森 浩
大橋 修		三井ホーム株式会社
渡邊 須美樹		株式会社木構研
車田 慎介		銘建工業株式会社
コンサル	中越 隆道	中越建築設計事務所
	戸田 淳二	株式会社中央設計
行政	福島 純	林野庁 林政部木材産業課
事業主体	坂部 芳平	一般社団法人日本CLT協会
	河合 誠	一般社団法人日本CLT協会
	小玉 陽史	一般社団法人日本CLT協会
	伴 勝彦	一般社団法人日本CLT協会

第2章 検討方針

2.1 現行規定と設計法の検討方針

C L Tパネル工法の技術基準告示第 611 号では、開口について第十第 2 項第二において規定しており、設けられる開口は、告示第 611 号第四床版第二号ハの矩形パネルに設ける開口に該当することが定められている。以下に告示の該当部分を記載する。

「第四床版第二号ハ 形状が矩形であるものに開口部等を設けたもので、かつ、当該パネルの剛性及び耐力の低減について特別な調査又は研究の結果に基づき算出した上で構造耐力上主要な部分として構造計算を行うもの」と規定している。

また、開口を設ける箇所と大きさは、第十構造計算（ルート 1）第 2 項第二で以下の規定としている。

「第十構造計算（ルート 1）第 2 項第二 耐力壁として設ける無開口壁パネル又は有開口壁パネルの袖壁部分、垂れ壁部分若しくは腰壁部分に第四第二号ハに該当する開口部等を設ける場合にあっては、当該開口部等の寸法は、24 センチメートル角以下であること。」

しかし、現行では、ルート 1 において上記の規定により耐力壁に開口部等を設けたもので、第四床版第二号ハで規定する「特別な調査又は研究の結果に基づき算出した」開口を設けた矩形の耐力壁パネル仕様は定められていない。

そのため第十のルート 1 の構造設計では、開口を有する耐力壁を設計できない状況にあり、そのことは設計に際して大きな制約を生じさせている。

そこで有開口耐力壁の法的位置付けを、告示第 611 号第五壁等第二号と同様な扱いとすることとした。

第五壁等第二号では、壁パネルを外層ラミナに長辺方向・短辺方向が平行な矩形パネルとして規定しているが、2016 年版告示解説書の逐条解説では、告示本文に記載していない「特別な調査又は研究に該当する」場合として、パネル外周が外層ラミナに対し斜辺を有していても設計できるとしている。

よって、有開口耐力壁においても、第十第 2 項第二の逐条解説に「特別な調査又は研究として、実験による性能確認とそれに対応する理論的評価を行う」ことを追記することで、これを根拠として、ルート 1 で設計可能とすることとした。

検討方法は、一般的に耐力壁に設けられる開口を調査し、大きさ、位置、数を特定した有開口耐力壁モデルを設定し、水平加力試験、4 点曲げせん断試験、材料試験による解析、および、有限要素法によるシェルモデルによる検討、並びに、計算による断面検定を実施し、ルート 1 の設計に用いても支障のない開口を有する耐力壁を特定し、設計法を作成することとした。

2.2 有開口耐力壁のモデルの設定

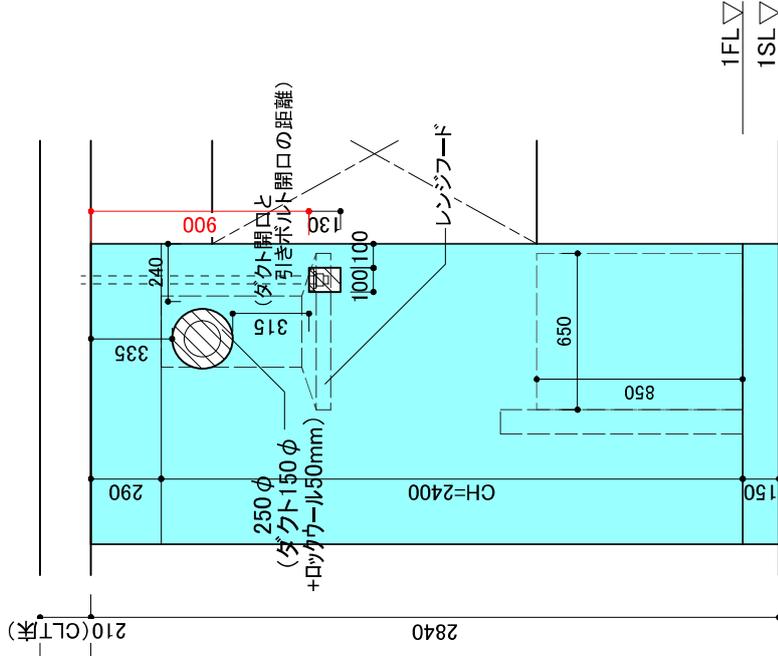
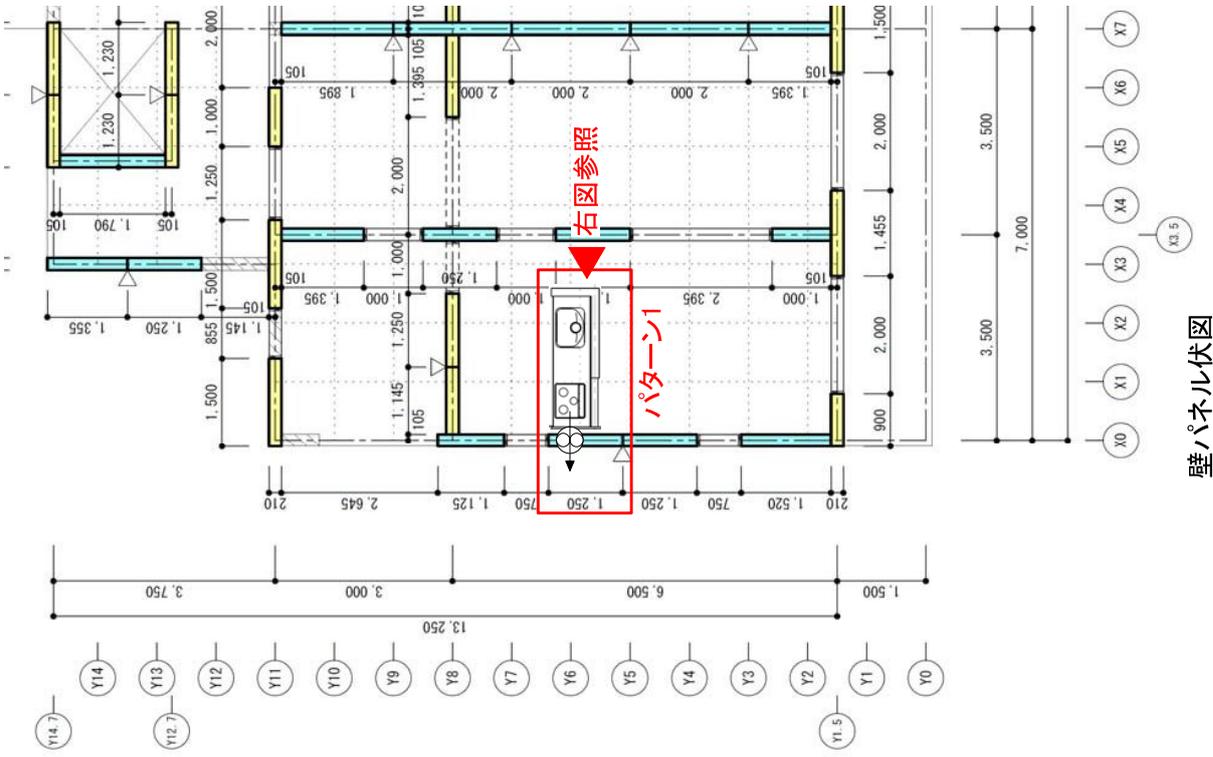
2.2.1 CLT耐力壁に設ける換気開口位置の検討

<検討概要>

:共同住宅における、壁パネルの換気(キッチン)開口位置について、下図のパターン1~4の検討を行う。



＜パターン1_X0,Y5～Y6の壁パネル※引きボルト用開口位置の変更＞

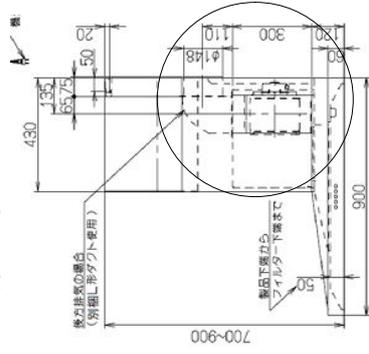


壁パネルと換気開口の位置関係

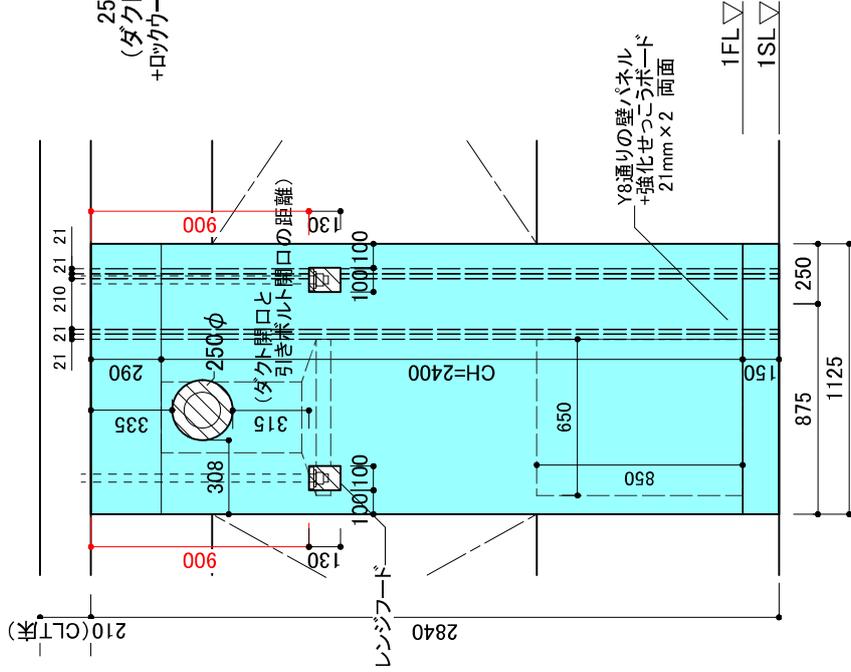
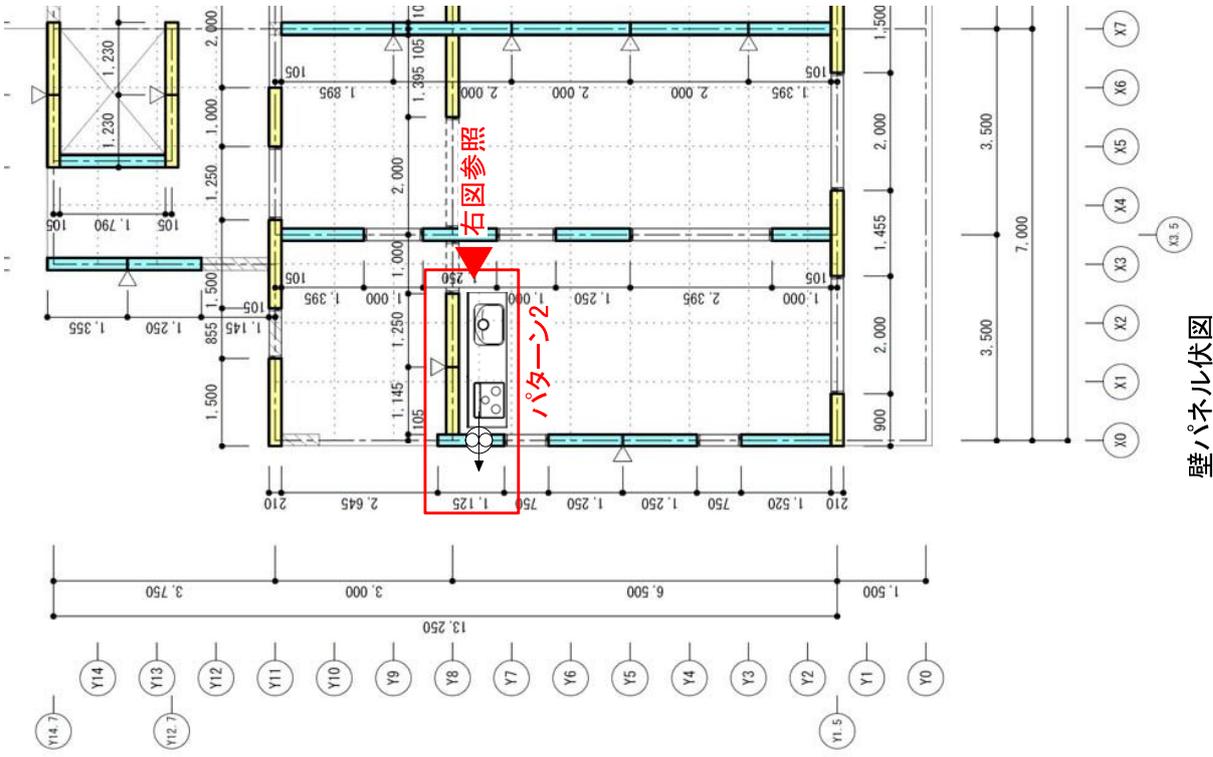
レンジフードとダクト開口について
(参考にした機種は別紙参照)

注1:ダクト用の開口がレンジフード内に納まっていないが、これは、参考にしたレンジフードが低層住宅用のため、ダクト周りのロックワール50mm(耐火用)が設置されない設計となっているため。

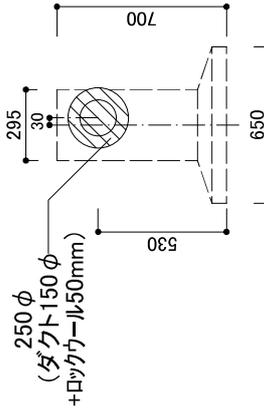
注2:ダクト周りのロックワール50mm(耐火用)を設置する場合は、ダクトの曲がり部分にもロックワールの厚さを考慮し、ダクトの設置位置を50mm程度ずらす必要があると考えられる。(下図参照)



＜パターン2_X0,Y7～Y8の壁パネル※引きボルト用開口位置の変更＞



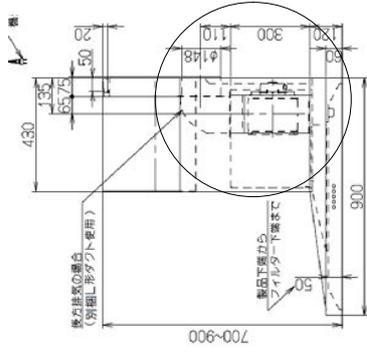
壁パネルと換気開口の位置関係



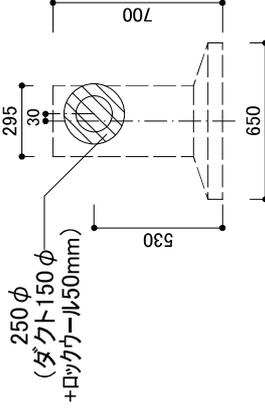
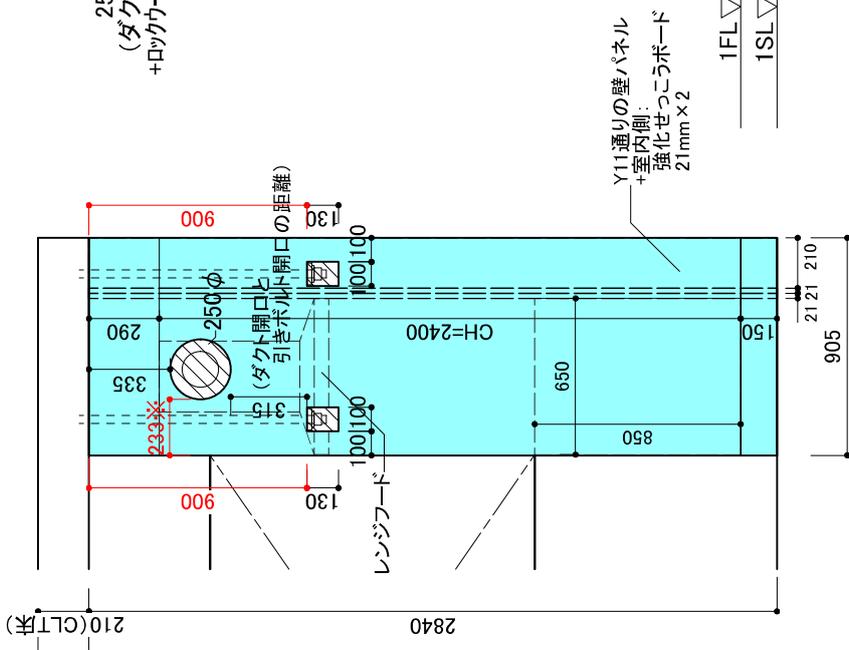
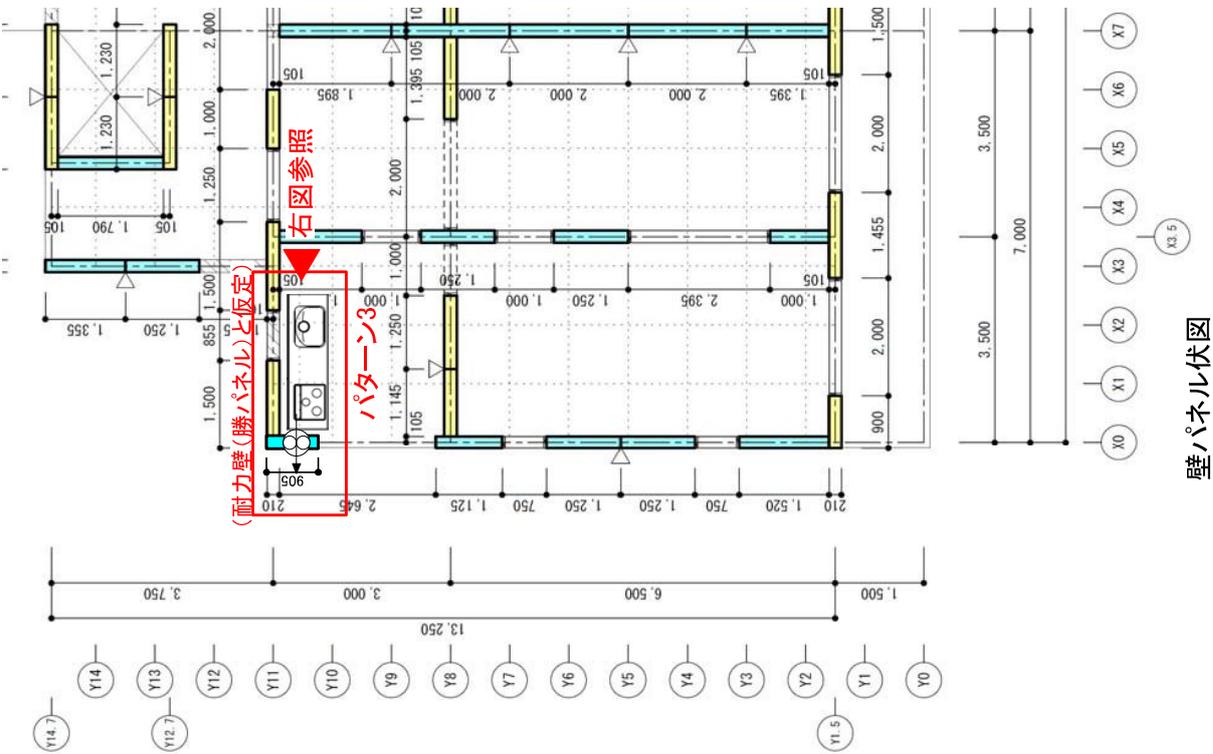
レンジフードとダクト開口について
(参考にした機種は別紙参照)

注1:ダクト用の開口がレンジフード内に納まっていないが、これは、参考にしたレンジフードが低層住宅用のため、ダクト周りのロックワール50mm(耐火用)が設置されない設計となっているため。

注2:ダクト周りのロックワール50mm(耐火用)を設置する場合は、ダクトの曲がり部分にもロックワールの厚さを考慮し、ダクトの設置位置を50mm程度ずらす必要があると考えられる。(下図参照)



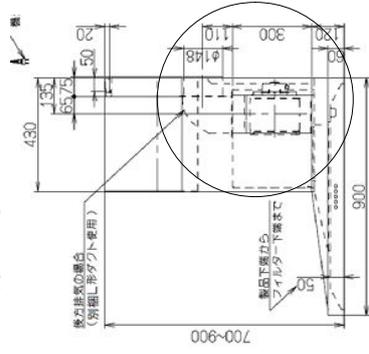
＜パターン3_X0,Y10～Y11の壁パネル※引きボルト用開口位置の変更＞



レンジフードとダクト開口について
(参考にした機種は別紙参照)

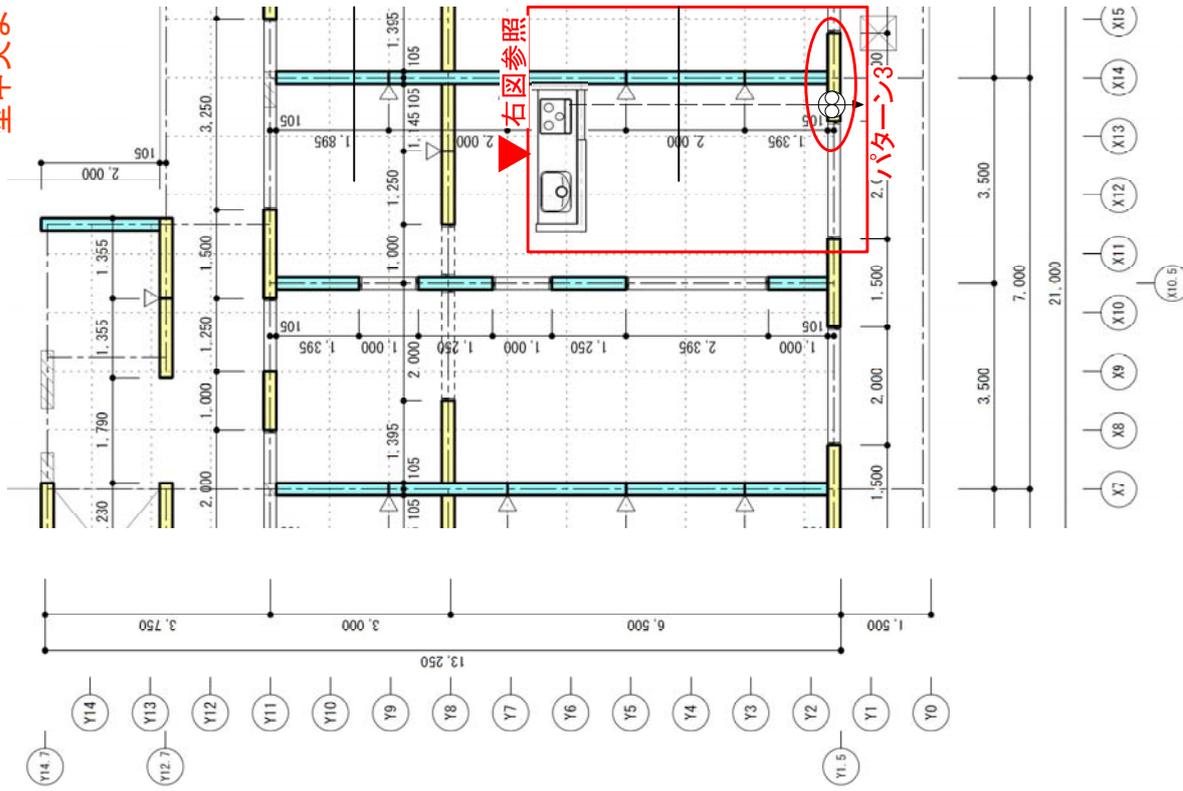
注1:ダクト用の開口がレンジフード内に納まっていないが、これは、参考にしたレンジフードが低層住宅用のため、ダクト周りのロックワール50mm(耐火用)が設置されない設計となっているため。

注2:ダクト周りのロックワール50mm(耐火用)を設置する場合は、ダクトの曲がり部分にもロックワールの厚さを考慮し、ダクトの設置位置を50mm程度ずらす必要があると考えられる。(下図参照)



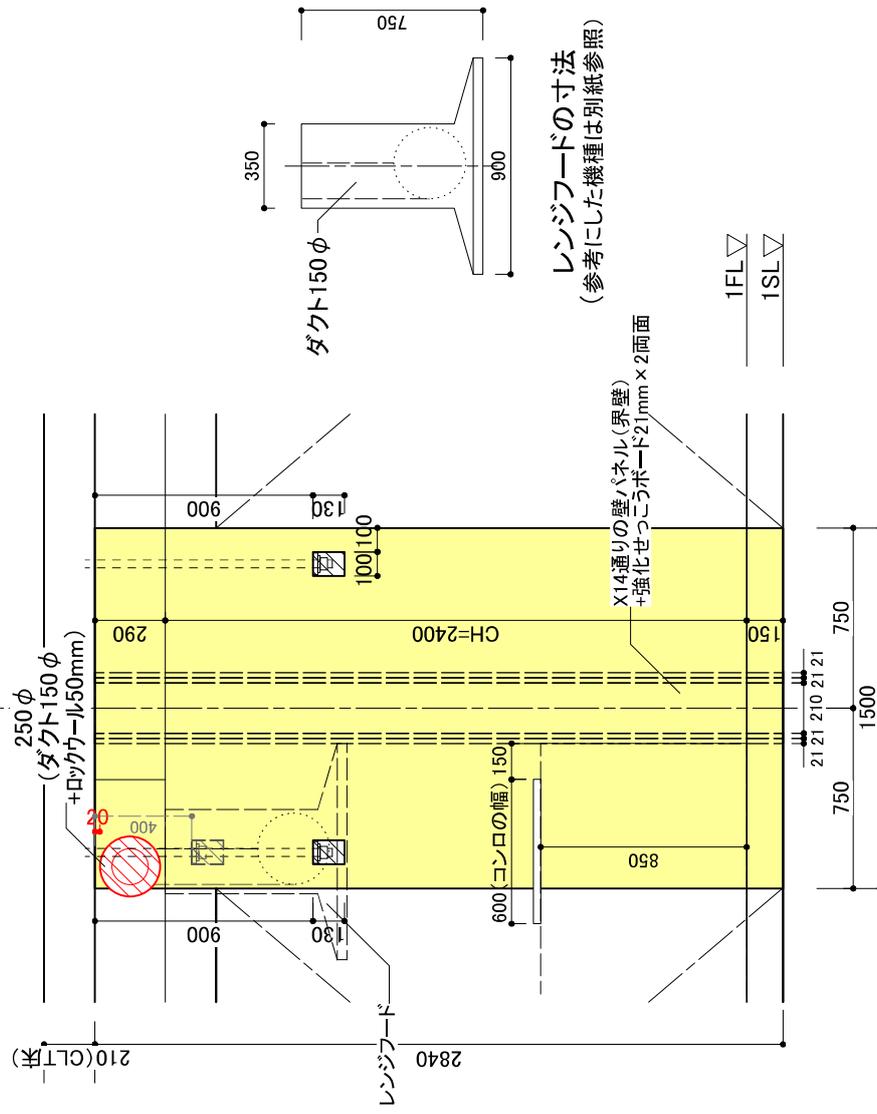
壁パネルと換気開口の位置関係
※換気開口位置がパネル端部から
240mm未満となった。

<パターン4_X13~15、Y11.5の壁パネル>



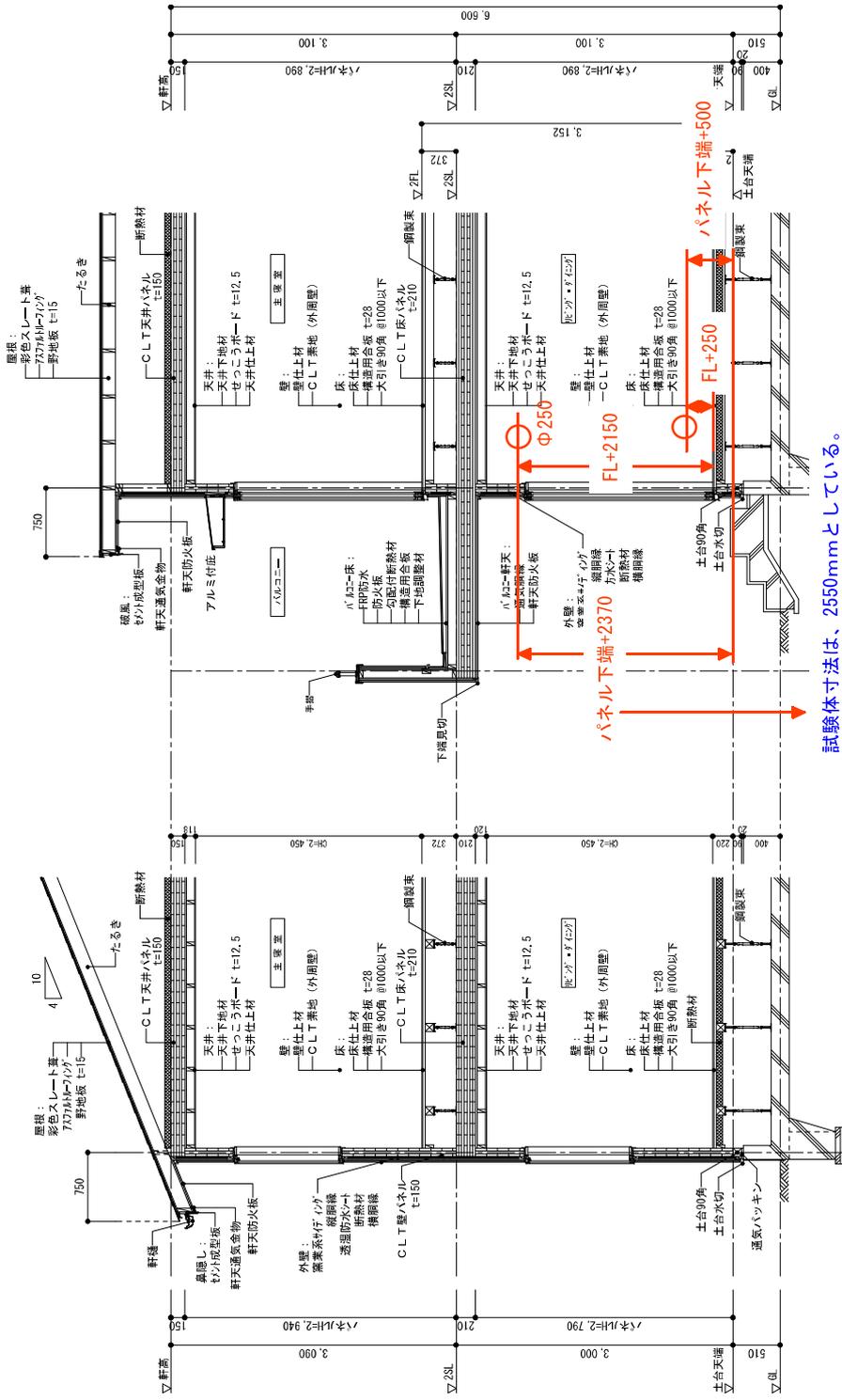
壁パネル伏図

パターン4の換気開口位置は、ダクト内部で調整することで壁中央よりに設置することができることから、パターン3に準拠することとする。



壁パネルと換気開口の位置関係

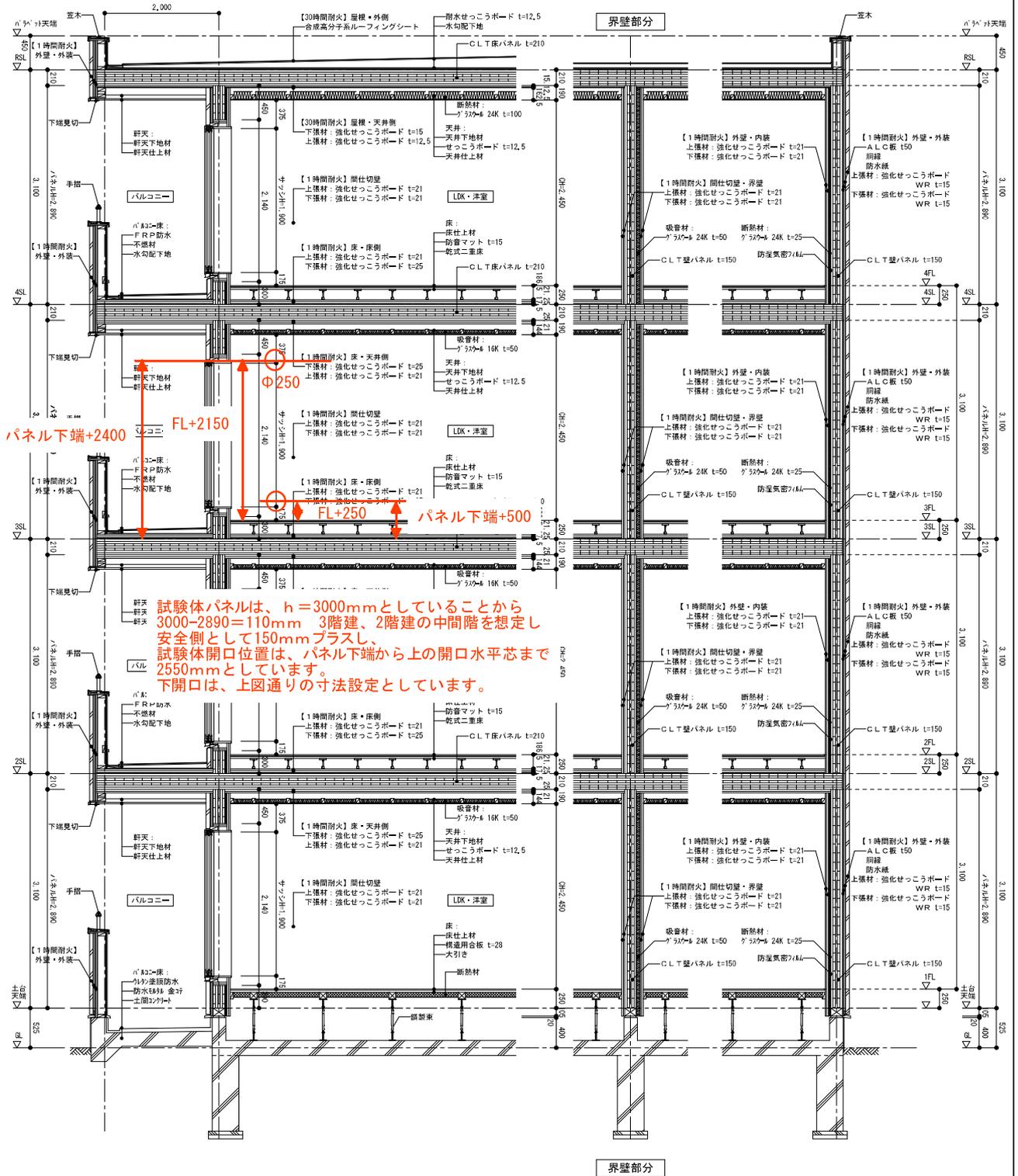
※換気開口位置がパネル端部から240mm未満となった。



試験体寸法は、2550mmとしている。

試験体パネルは、 $h = 3000\text{mm}$ としていることから
 $3000 - 2890 = 110\text{mm}$ 2階建では、安全側として180mmプラスし、
 試験体開口位置は、
 パネル下端から上の開口水平芯まで2550mmとしています。
 下開口は、上窓通りの寸法設定としています。

矩計図は4階建であるが、開口位置の検討において中間階は階数に影響されない位置、寸法であることから下記のように検討をおこなった。



2.2.2 有開口耐力壁のモデルの設定

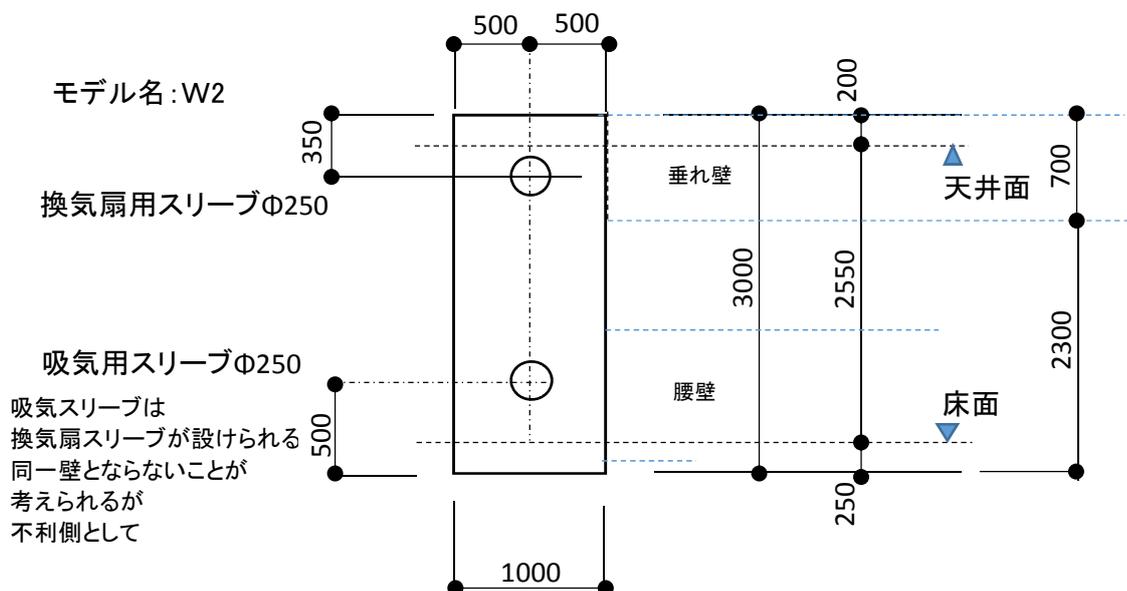
有開口耐力壁のモデルは、開口部の実施設計に関する聞き取り内容を参考に実際に設計される開口位置寸法を検討しモデルを設定した。

(1) $\Phi 250 + \Phi 125$ (キッチン換気スリーブおよび吸気スリーブを想定)

垂れ壁パネル、腰壁パネルの隅角部に生じる力が、直接開口部に影響しない納まりを想定する。

◎中央配置 上の開口部は、不利な外端に近い350mm

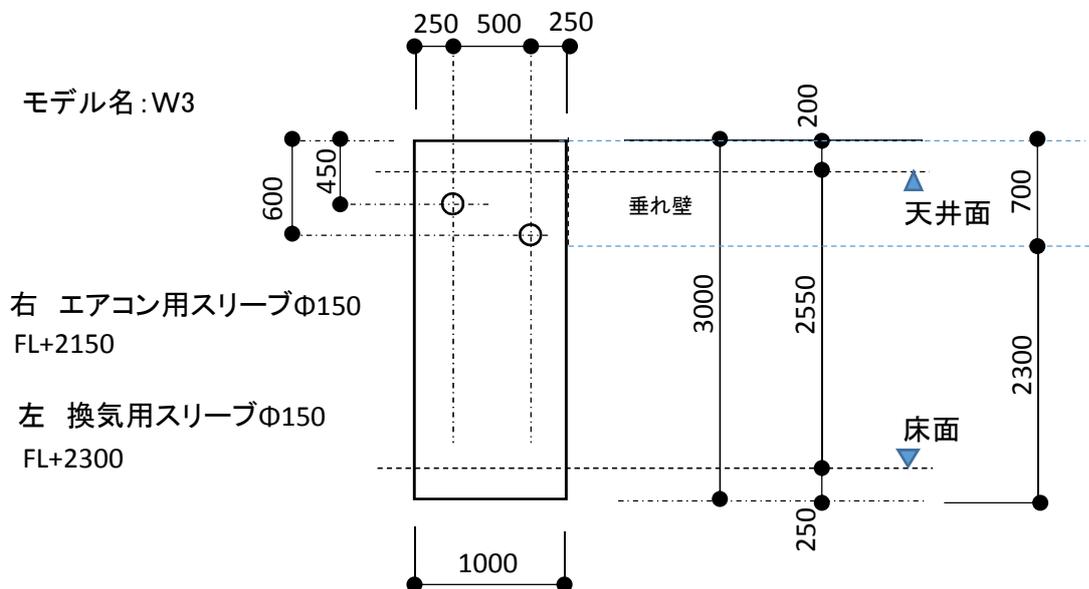
(実際の設計寸法最小値360mm) で設定している。



(2) $\Phi 125 + \Phi 125$ (エアコン用スリーブおよび換気用スリーブを想定)

垂れ壁パネル、腰壁パネルの隅角部に生じる力が、直接開口部に影響しない納まりを想定する。

◎左右配置(逆対象は位置は可)

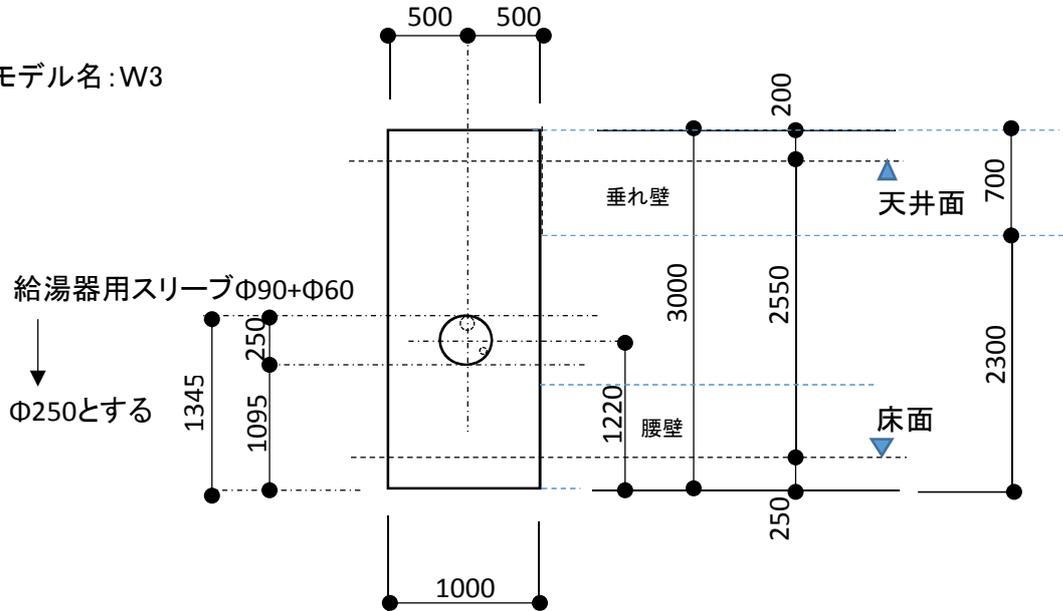


(3) $\Phi 100+\Phi 100$ (給湯器設置個所の周辺に設ける複数の小径スリーブを想定)

: 垂れ壁パネル、腰壁パネルの隅角部に生じる力が、直接開口部に影響しない
納まりを想定する。

◎中央配置

モデル名:W3



給湯用($\Phi 90+\Phi 60$)+電気用 $\Phi 35$ を
包含する開口で設定する。

有開口耐力壁の検討用モデルは、W2、W3、W4の3ケースに設定する。

モデル名W1は、無開口壁としている。

2.3 水平加力試験方法の検討

2.3.1 試験方法

- (1) ルート1で定められている壁パネルの許容せん断耐力の算定式、および、基準耐力 Q_a を用いて、ルート1で壁パネルが負担すると想定される最大水平力 P_{max} を設定し、設定した荷重を試験体に作用させる。
- (2) 壁パネルには、実際の建物の壁で作用している軸力を考慮するために定軸力を載荷する。軸力は、無開口の壁の長期許容支持力 N_{max} とする。
- (3) 試験体の脚部接合部は、最大水平力 P_{max} を加力した時点で終局耐力とならない脚部接合金物とする。
- (4) 面内せん断耐力 Q_{max} 時点においては、耐力壁パネルの小開口周辺が損傷していないことおよび、小開口周辺の歪が許容できると判断できる数値であることを確認する。
- (5) 上記4) を行うことで「実験による性能確認」とする。

2.3.2 ルート1で壁パネルが負担すると想定される最大水平力Pmaxの設定

(1) 告示第611号第十第2項第四号で示されているルート1の基準式

$$Q_a = 3/H (Q_0 + 1.5n) \quad \text{kN/m}$$

ここで、試験体高さH=3.0mより

$$Q_a = (Q_0 + 1.5n) \quad \text{kN/m}$$

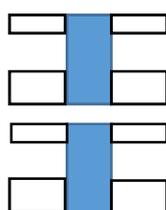
2) ルート1で定めている基準耐力Q0

耐力壁の層数2以下用 $Q_0 = 15 \text{ kN/m}$

耐力壁の層数3用 $Q_0 = 10 \text{ kN/m}$

(3) 階数ごとに最大となる許容せん断耐力Qa

1) 2階建の場合の許容せん断耐力Qaの算定

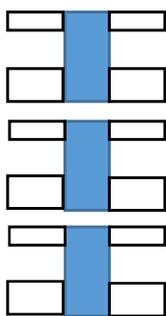


左図より、nの最大数は、
 $n = 8$ である。

よって、2層の許容せん断耐力は

$$Q_a = (15 + 1.5 \times 8) = 27 \text{ kN/m}$$

2) 3階建の場合の許容せん断耐力Qaの算定



左図より、nの最大数は、
 $n = 12$ である。

よって、3層の許容せん断耐力は

$$Q_a = (10 + 1.5 \times 12) = 28 \text{ kN/m}$$

断面の検討は、 30 kN/m を用いて行う。

(4) 耐力壁のルート1における終局を考慮した場合に想定される最大水平力Pmaxの設定

3層のQaが2層と比較して大きいことから、下記の算定によりPmaxを設定する。

$$P_{max} = 28 \times 3/2 \times 1.5 = 63 \text{ kN/m}$$

上記の式における1.5は、Pmaxを設定するためのPuを想定して設定した比率

水平力Pmax	65	kN/mを目安とする。
---------	----	-------------

(5) 水平加力サイクルの設定

$$Q_a / 2 = 28 / 2 = 14 \text{ k N}$$

$$Q_a = 28 \text{ k N}$$

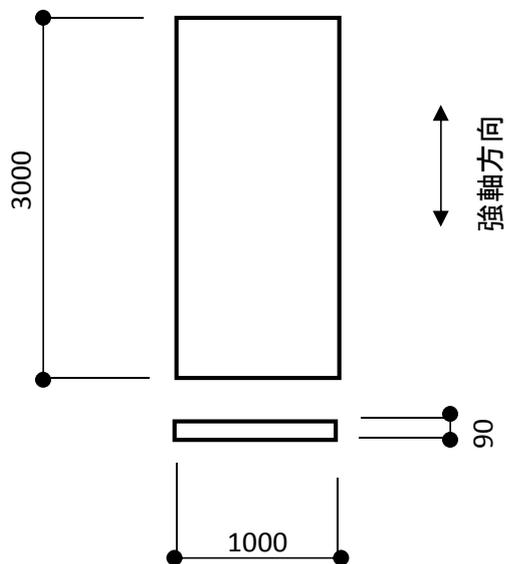
$$P_{max} = 65 \text{ k N}$$

0.8×水平最大加力値（試験の状況により、最大加力の状況を判断する。）

上記の数値を目安にジャッキのキャリブレーションを行うこととする。

2.3.3 水平加力試験における耐力壁の定荷重加力値の設定

(1) 無開口の壁の長期許容支持力 N_{max} の設定



$$t = 90 \text{ mm} \quad \text{壁パネル厚さ}$$

$$L = 1000 \text{ mm} \quad \text{壁脚長}$$

$$l_k = 3000 \text{ mm} \quad \text{壁パネル高さ}$$

$$A_0 = 90000 \text{ mm}^2 \quad \text{壁断面積}$$

$$I_0 = (1000 \times 90^3) / 12 = 60750000 \text{ mm}^4 \quad \text{壁断面2次モーメント}$$

有効細長比 $\lambda = 1 \text{ k} \cdot (A_0/I_0)^{0.5} = 115.47 > 100$ より

$F_c = 10.8 \text{ N/mm}^2$ 圧縮基準強度

$F_k = (3000/\lambda^2) \cdot F_c = 2.43 \text{ N/mm}^2$ 座屈基準強度

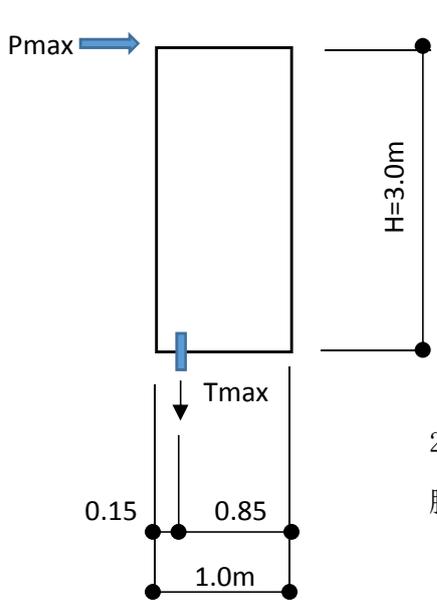
$N_{\max} = 1.1/3 \times F_k \times A_0 = 80190 \text{ N}$ より

定載荷軸力N 80 kNを目安に設定する。

ルート1の計算では、長期負担軸力は許容支持力を超えない確認を行うことから設計で許容される最大軸力を定載荷軸力と設定している。

2.3.4 壁脚部の接合方法の設定

(1) 壁脚部で生じる引抜き力Tmaxの算定と接合部の設計



$P_{\max} = 65 \text{ kN}$

$T_{\max} = (P_{\max} \times 3.0) / 0.85 = 229.4 \text{ kN}$

引抜き力 $T_{\max} = 230 \text{ kN}$

とする。

クロスマーク金物TC-90 ABR490 M20

$P_{ub} = 1.1 \times 490 \times 260 / 1000 = 140.14 \text{ kN}$

2箇所として $P_{\max} > 280 \text{ kN} > 230 \text{ kN}$ より可である。

脚部金物 2×TC-90に相当する金物を配置する。

ボルトをF10T M20とした場合は、

$T_{\max} = 240 \text{ kN/本}$ より

2箇所として $T_{\max} = 480 \text{ kN}$ の引張耐力となる。

上記の数値を超える場合は、U形金物のビス接合部が先行破壊すると想定される。

U形金物は、ビスS T S・C65により裏表各26本、計56本により壁パネルに緊結する。

(2) 水平力Pmaxを作用させた場合の壁脚部の曲げ応力に対する断面検定

$$M_{max} = P_{max} \times H = 65 \times 3.0 = 195 \text{ kNm}$$

$$S60-3-3 \quad F_b = 12.67 \text{ N/mm}^2$$

$$Z = 90 \times 1000^2 / 6 = 15000000 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_b = M/Z = 195 \times 10^6 / 15 \times 10^6 = 13.0 \text{ N/mm}^2$$

$$12.67 \times 1.5 = 19.01 \text{ N/mm}^2$$

上記より、曲げ先行破壊は生じないと判断される。

(3) ルート1における許容せん断力Qaを負担した場合の壁脚部曲げ応力に対する断面検定

$P_a = 30 \text{ kN}$ と設定する。(2.3.2 (3) より)

$$M_{max} = P_a \times H = 30 \times 3.0 = 90 \text{ kNm}$$

$$\sigma_b = M/Z = 90 \times 10^6 / 15 \times 10^6 = 6.0 \text{ N/mm}^2 < 2/3 F_b = 8.45 \text{ N/mm}^2$$

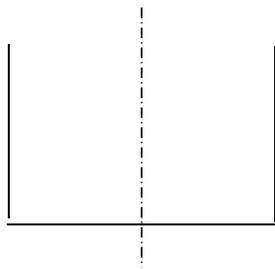
上記より、曲げモーメントに対しては支障が生じないと判断される。

(4) 水平力Pmaxを作用させた場合の壁脚部引抜き力と曲げ応力に対する断面検定

$$\text{金物に作用する引抜き力 } T = 65 \times 3.0 / 1.0 = 195 \text{ kN}$$

$$\text{鉛直軸力 } N = -80 / 2 = -40 \text{ kN}$$

$$\text{生じる引張軸力 } N_{max} = T + N = 155 \text{ kN}$$



壁長さの1/2を有効断面と設定する。

$$\sigma_t = 155 \times 10^3 / (90 \times 1000 / 2) = 3.44 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_b = M/Z = 195 \times 10^6 / 15 \times 10^6 = 13.0 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_b + \sigma_t = 16.44 \text{ N/mm}^2 < 12.67 \times 1.5 = 19.01 \text{ N/mm}^2$$

上記より、破壊は生じないと想定される。

(5) 許容せん断耐力 Q_a を負担した場合の壁脚部引抜き力と曲げ応力に対する断面検定

$$\text{金物に作用する引抜き力 } T = 30 \times 3 / 1.0 = 90 \text{ k N}$$

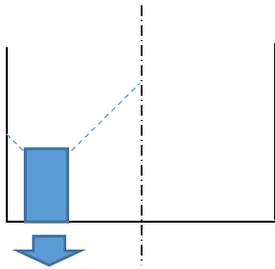
$$\text{鉛直軸力 } N = 80 / 2 = 40 \text{ k N}$$

$$\text{金物降伏耐力 (79.6 k N} \times 2 \text{本)} = 159.2 \text{ k N}$$

79.6 k N = 325 (F) \times 245 (A b e) \times 1/1000 : A B R 490M20の降伏耐力 P_y の値

$$\text{負担する軸力 } T = 50 \text{ k N} < \text{金物短期耐力 } 2/3 \times 159.2 = 106 \text{ k N}$$

金物強度は支障はない。



引張力は直上だけではなく
壁長さの1/2が有効断面と設定し検討する。

$$\sigma_t = 50 \times 10^3 / (90 \times 1000 / 2) = 1.11 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_b = M/Z = 90 \times 10^6 / 15 \times 10^6 = 6.0 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_b + \sigma_t = 7.11 \text{ N/mm}^2 < 2/3 \times 12.67 = 8.45 \text{ N/mm}^2$$

試験体の断面では、先行破壊しないと想定される。

ビス直上の断面しか抵抗しない場合の検定

$$\sigma_t = 50 \times 10^3 / (90 \times 200) = 2.78 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_b = 6.0 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_b + \sigma_t = 8.78 \text{ N/mm}^2 > 2/3 \times 12.67 = 8.45 \text{ N/mm}^2$$

上記より、引張力が、金物周辺のビスから接合しているラミナに直接作用した場合は、ビス周辺から引張による損傷が生じる恐れがあるが、試験体の強度は基準値より高目なので損傷しないと想定する。

2.3.5 使用材料 S60-3-3基準強度

試験体：S60-3-3 厚90mm 及び Mx60-5-5 厚150mm 樹種：すぎ

強度等級	面内方向 N/mm^2										
	Fc		Ft		Fb		Fs				
	強軸	弱軸	強軸	弱軸	強軸	弱軸	tmin=30mm				
							m=3	m=4	m=5	m=6	m=7
S60-3-3	10.80	5.40	8.00	4.00	10.80	5.40	1.68	1.77	1.87	1.96	2.04
Mx60-5-5	8.10	4.68	6.00	3.45	8.10	4.68	2.02	2.13	2.25	2.35	2.45

試験体壁パネルは、L=1000mm m=7とする。
ラミナ幅 120mmと設定する。

強度等級	面外方向 N/mm^2				
	Fb		Fs	β	
	強軸	弱軸	共通	強軸	弱軸
S60-3-3	12.67	0.48	0.9	1.385	4.505
Mx60-5-5	10.37	1.97	0.9	1.256	2.308

強度等級	面内方向 N/mm^2			面外方向 N/mm^2			
	E		G	E		G	
	強軸	弱軸	共通	強軸	弱軸	強軸	弱軸
S60-3-3	4000	2000	500	5777	222	45.40	125.0
Mx60-5-5	3000	1200	500	4728	624	29.67	19.5

外層ラミナの樹種	Fcv (N/mm^2)
つが、アラスカイエローシダー、ベにまつ、ラジアタパイン、べいつが、もみ、とどまつ、えぞまつ、べいもみ、スプルス、ロジボールパイン、ポンドローサパイン、おうしゅうあかまつ、 すぎ 、べいすぎ及びジャックパイン	6.0

面内Fsは、下記式による。

$$\min \left\{ \begin{array}{l} f_{v,lam,0} = 2.70 \\ f_{v,lam,90} \cdot (t_{net}/t_{gross}) \\ (b \cdot nca / 2 \cdot t_{gross}) \cdot 1 / (1/f_{v,tor} \cdot (1 - 1/m^2) + 2/f_R \cdot (1/m - 1/m^2)) \end{array} \right.$$

第3章 試験概要と試験結果と考察

3.1 試験概要

3.1.1 水平加力試験概要

(1) 試験場 富山県 株式会社ストローク

(2) 期間 2018年12月3日～7日
2018年12月10日～13日

(3) 試験体内訳 試験体数

試験体名称	開口状況	壁端部上下オリジナルU形金物補強	タイロッド方式	クロスマーク金物仕様
W0	無	1	-	-
W1	無	3	1	-
W2	上下2-Φ250中央	3	1	1
W3	上部Φ150左右	3	1	-
W4	下2-Φ250中央	3	1	-
小計		13	4	1

総試験体数 18 体

(4) 加力方法

①最大加力の設定

$P_{d\max} = Q_a \times 3/2 \times 1.5 = (10 + 1.5 \times 12) \times 3/2 \times 1.5 = 63 \text{ k N}$ より
水平加力 $P_{d\max} = 65 \text{ k N}$ と設定した。

②加力サイクル

(ジャッキは手動操作によるので目標値に近似で行うことを指示した。)

正負サイクル1 $1/4 P_{d\max} \quad \approx 15 \text{ k N}$

正負サイクル2 $1/2 P_{d\max} \quad \approx 30 \text{ k N}$

正負サイクル3 $P_{d\max} \quad \approx 65 \text{ k N}$

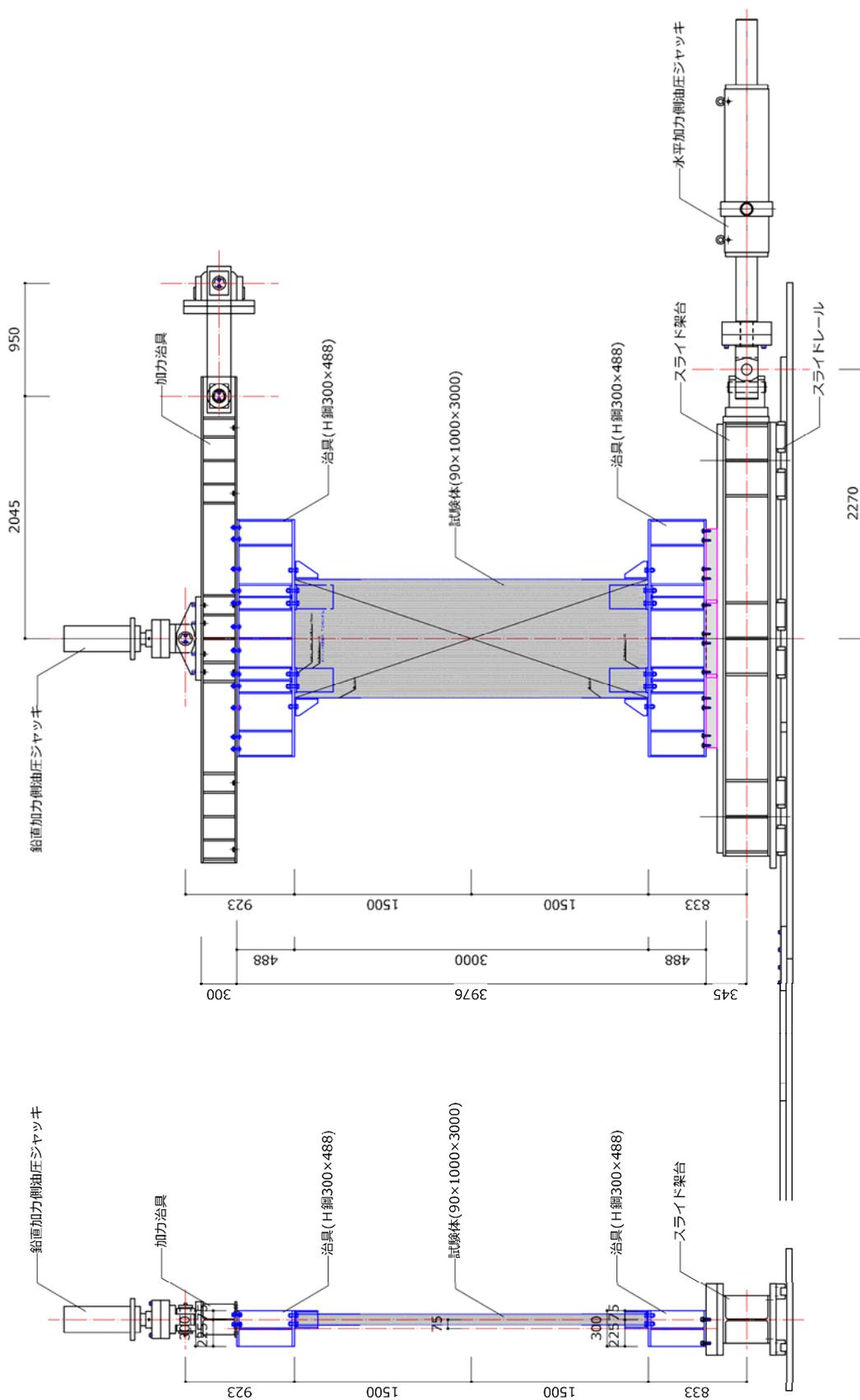
プッシュオーバー $0.8 P_{d\max}$ まで

(目標は $0.8 P_{d\max}$ だが、試験体の状況で判断することとした。)

③定軸力

ジャッキ操作は手動のため、軸力は、 $N = 80 \text{ k N}$ を保つように操作を指示した。

(5) 加力装置



3.1.2 材料試験

各試験体の健全なラミナ部分から試験体を作成した。

圧縮試験を実施し試験体強度が、告示第1024号の基準耐力に対してどのような関係であったかを確認する目的で試験を実施した。

(1) 試験場 北海道 北海学園大学

(2) 期間 2018年12月中～2019年2月中

(3) 試験体内訳

試験体名称	No
W1	2
	3
W2	1
	2
	3
W3	1
	2
	3
W4	2
	3

合計10体

(4) 加力方法

単調加力による。

破壊する最大荷重を加力し、最大荷重の7割程度に荷重が低下した時点で試験を終了した。

3.1.3 4点曲げ試験概要

水平加力試験の試験体強度が、告示第1024号の基準耐力に対してどのような関係であったかを確認する目的で試験を実施した。

(1) 試験場 富山県 株式会社ストローク

(2) 期間 2019年2月26日

(3) 試験体内訳

W1 無開口壁パネル

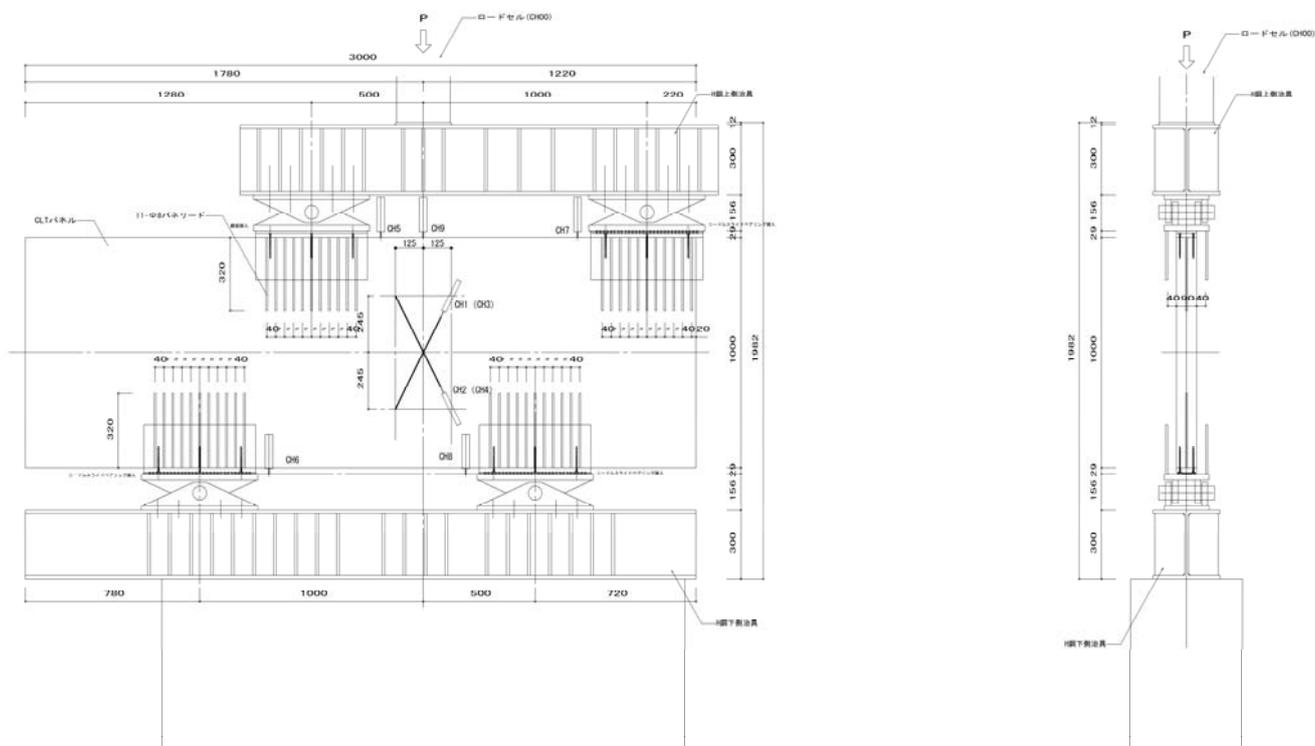
W4 中央付近にΦ250の開口を設けた壁パネル

(4) 加力方法

単調加力による。

試験体のせん断破壊が生じた時点、または、加力支点のめり込み破壊時点で試験を終了した。

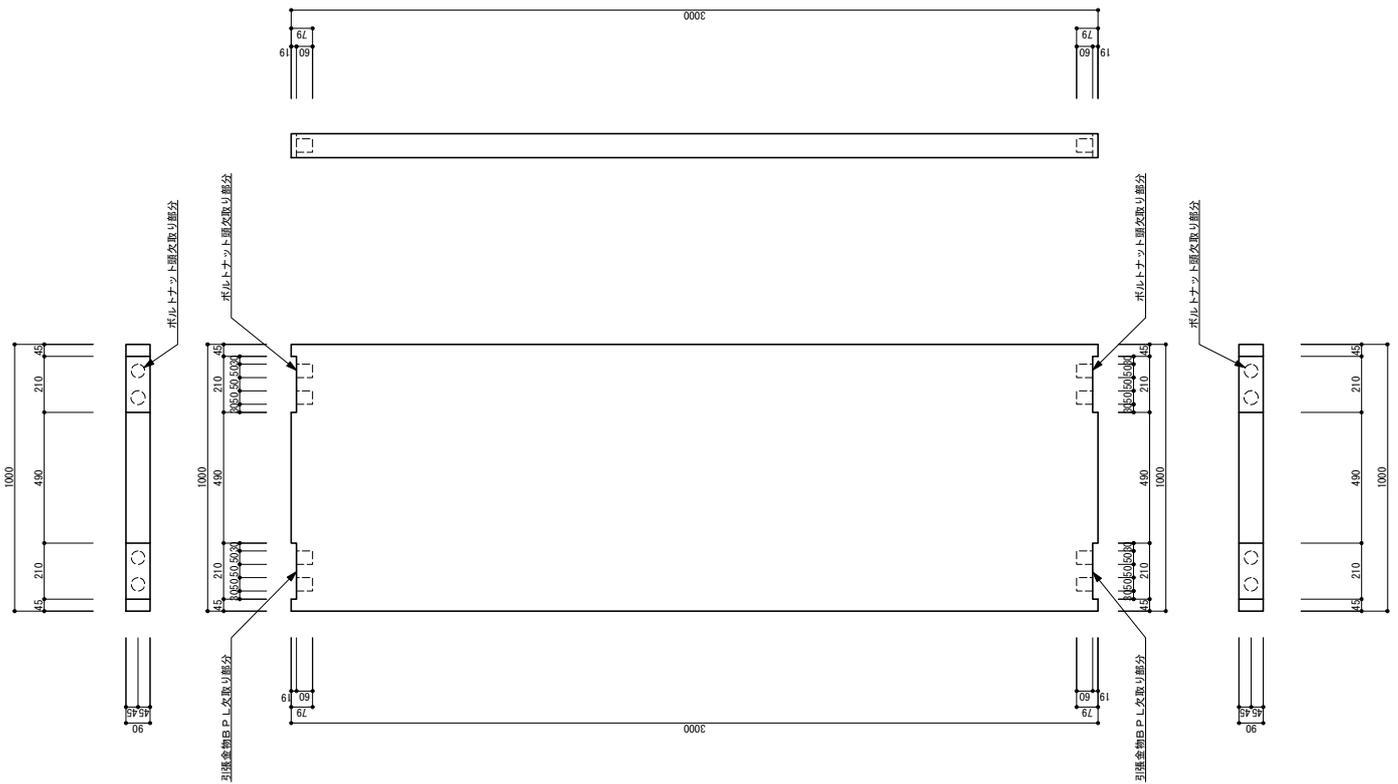
(5) 加力装置



W1 有開口耐力壁せん断曲げ試験

3.2 試験体図

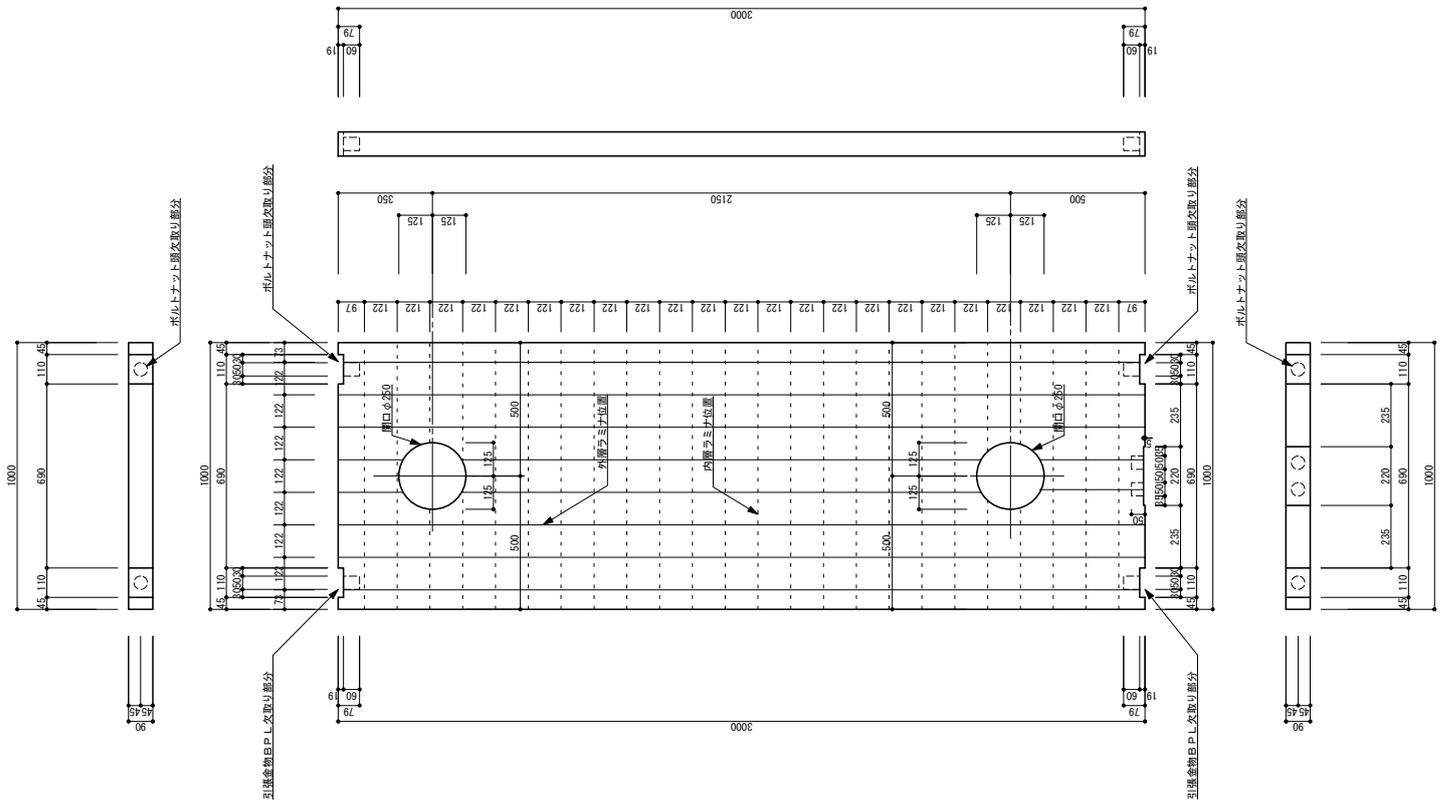
3.2.1 耐力壁試験体図



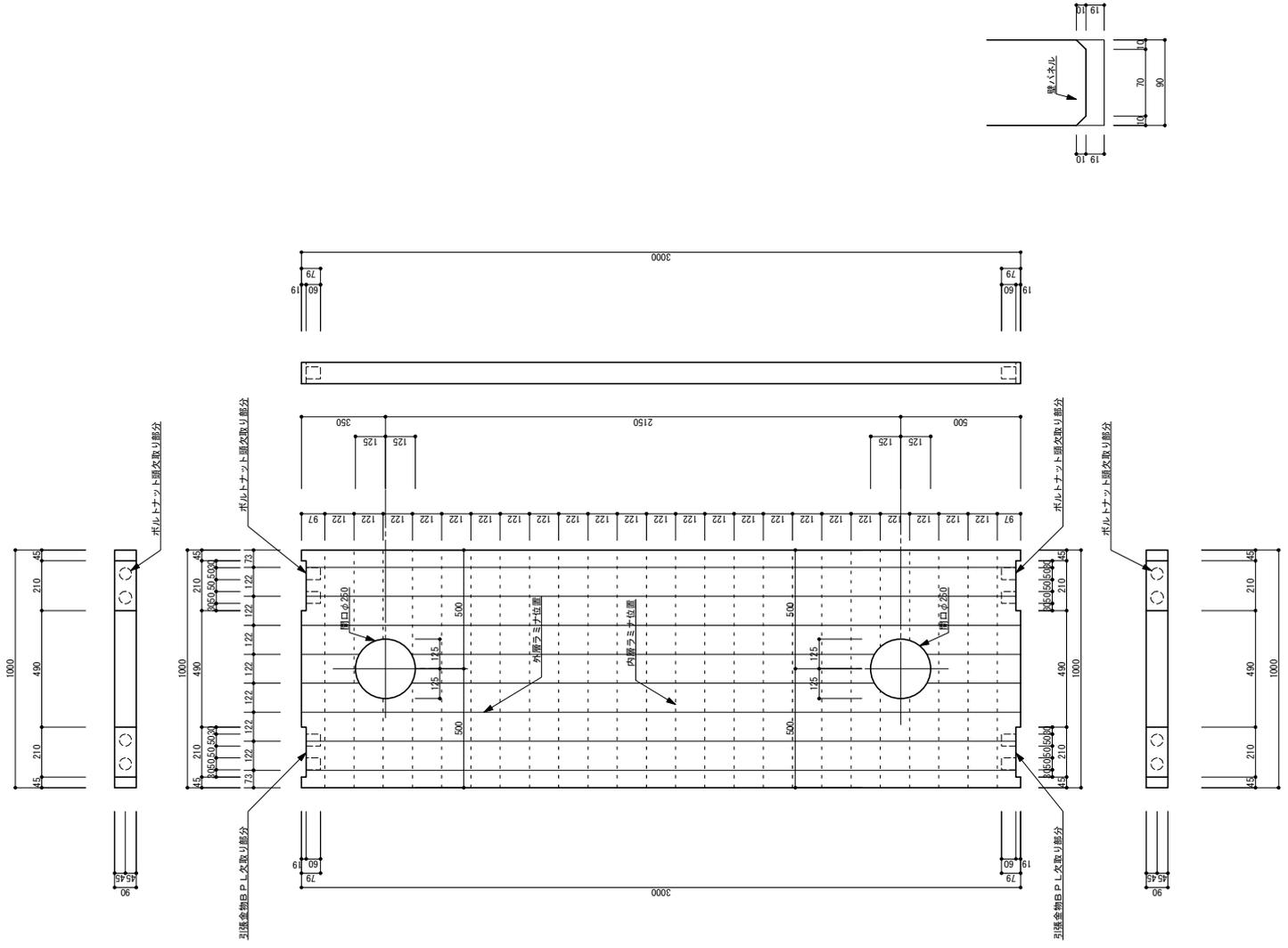
上下の引張金物WTC-90のB.P.L.部分の
 欠取りは、金物溶接部が収まる様に
 上図の加工を行う。

試験体 W1 (開口なし) 1/20
 試験体数 4体

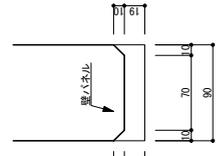
C L T 構成等級 S 60-3-3

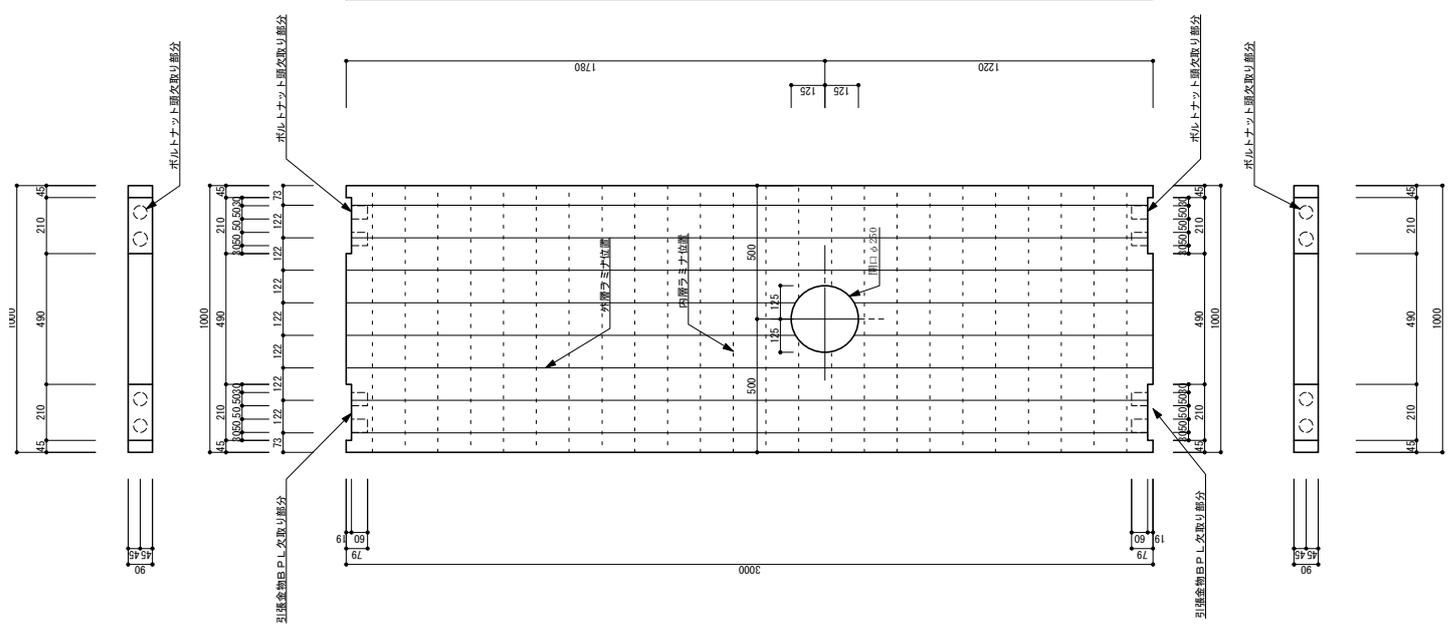


試験体 W2-2 (開口φ250×2) 1/20
試験体数 1体

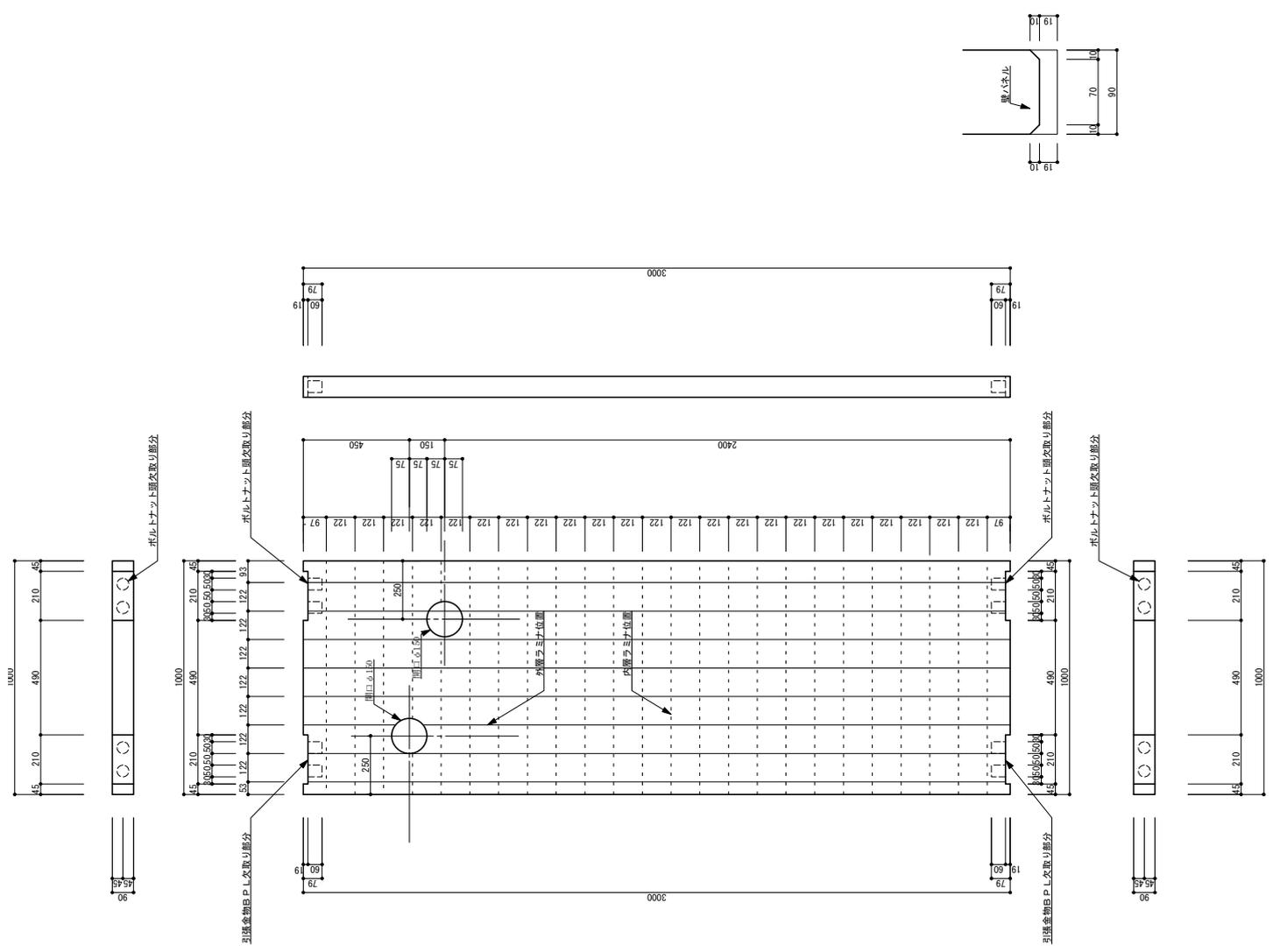


試験体 W2-1 (開口φ250×2) 1/20
試験体数 5体

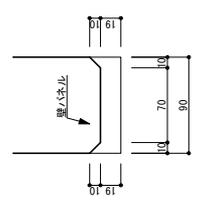




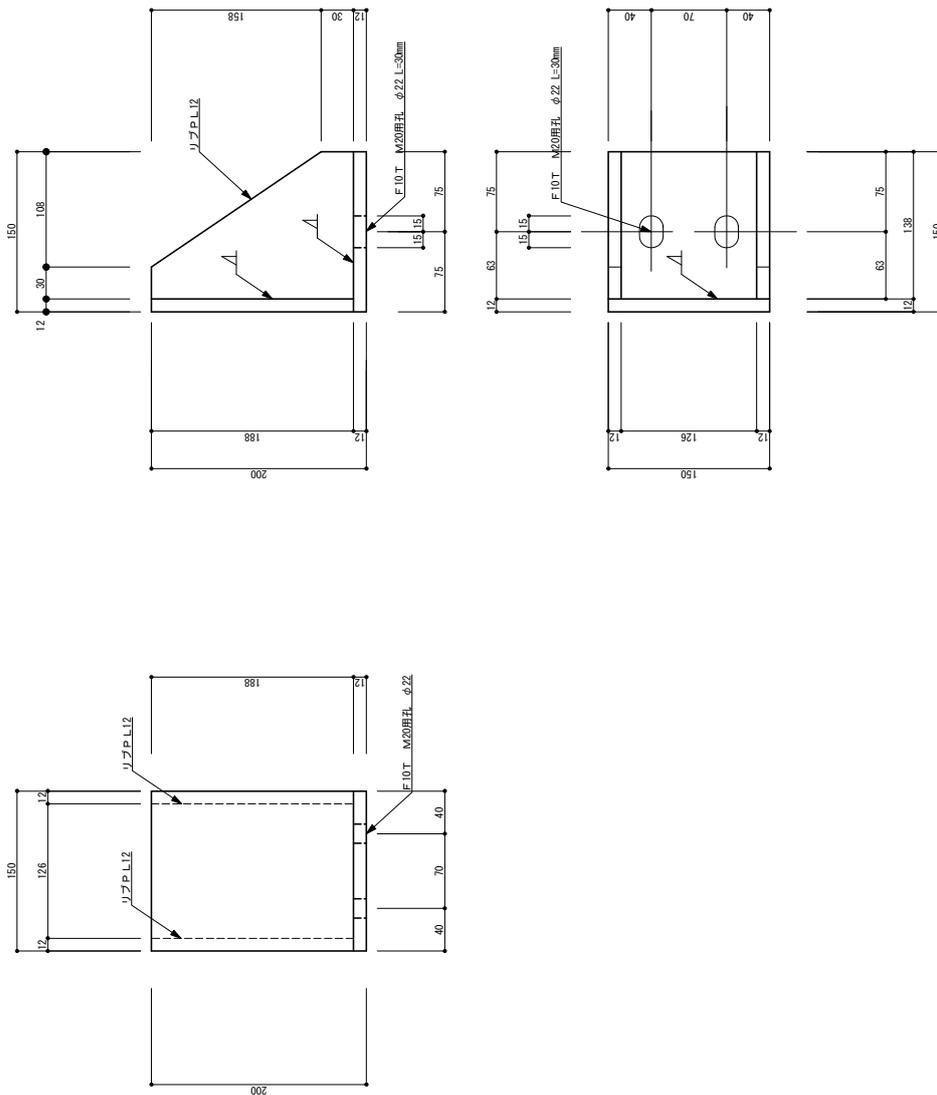
試験体 W4 (開口φ250) 1/20
試験体数 4体



試験体 W3 (開口φ150×2) 1/20
試験体数 4体



3.2.2 金物・治具図



特記事項

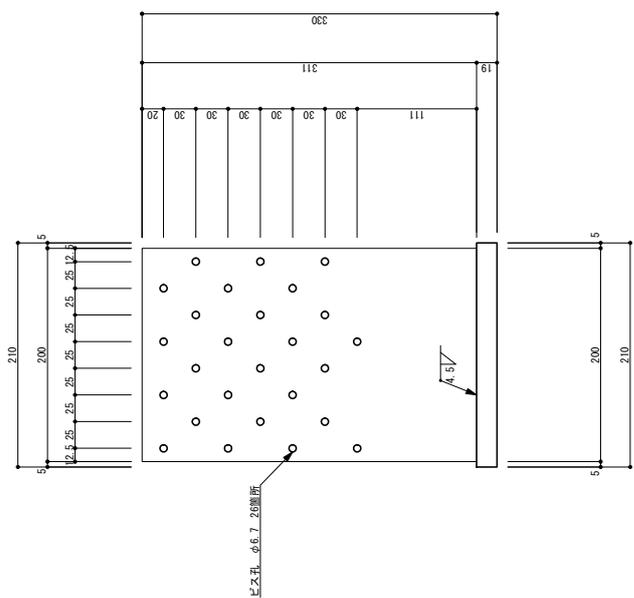
1. 鋼板 S S 400

2. 治具との緊結ボルト F 10 T M20 首下長さ L = 65mm 2箇所

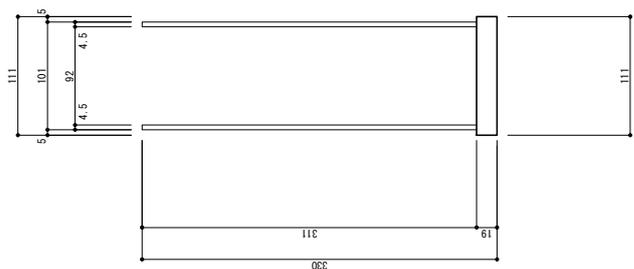
壁パネル水平移動拘束用リップ金物 S R 1/5

リップ金物 S R 製作数量 4個

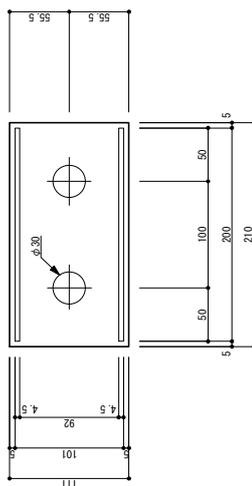
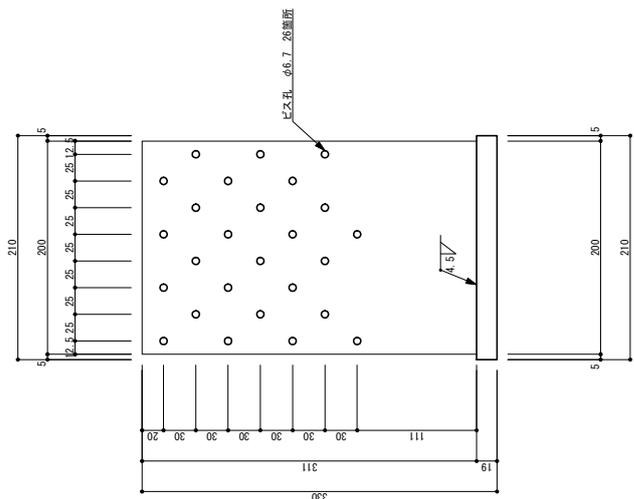
高力六角ボルト F 10 T M20 首下長さ L = 65mm 2 x 4 = 8本



右側 P L



左側 P L



特記事項

1. 鋼板 S S 400
2. 治具との緊結ボルト F 10 T M20 首下長さ L = 90mm 2箇所
3. 使用ビス 52-S T S ・ C65

壁頭部、脚部引張金物W T C-90 1/5

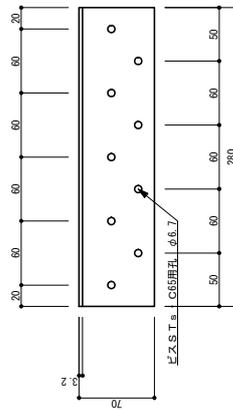
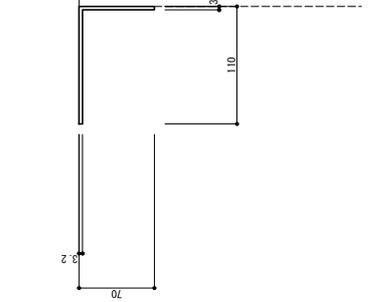
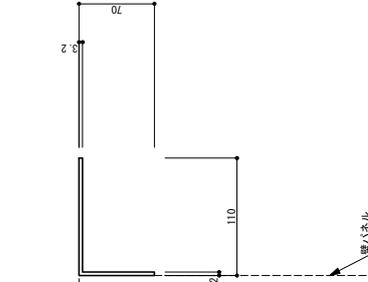
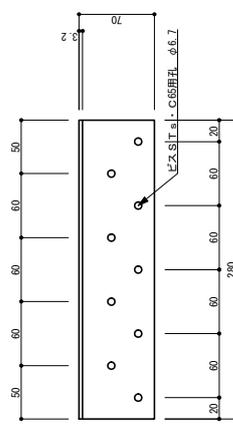
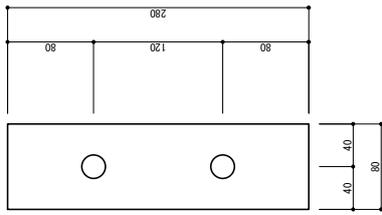
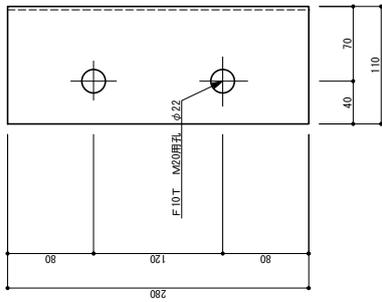
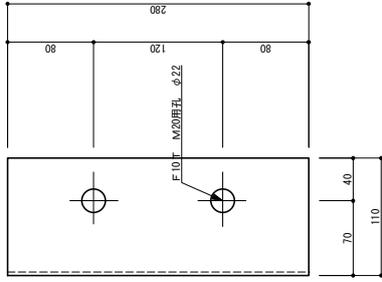
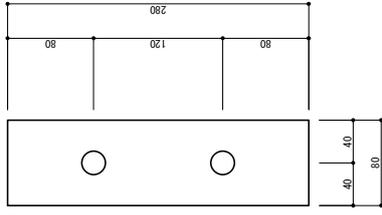
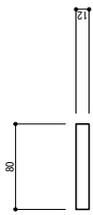
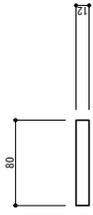
引張金物W T C-90製作数量 24個 (試験体6体分を製作し使い廻す。)

タイロッド試験用引張金物 T C-90 (クロスマーク) 製作数量 4個 (使い廻す。)

使用ビス 引張金物関連の数量 S T S ・ C65 52×48+4×16=2560本 (T C-901個当たり4本使用する。)

高力六角ボルト F 10 T M20 首下長さ L = 90mm 48×2=96本 (T C-90はW T C-90で用いたボルトを使用する。)

F10T M20 ボルト孔は、φ22とする。



右側B L S T

左側B L S T

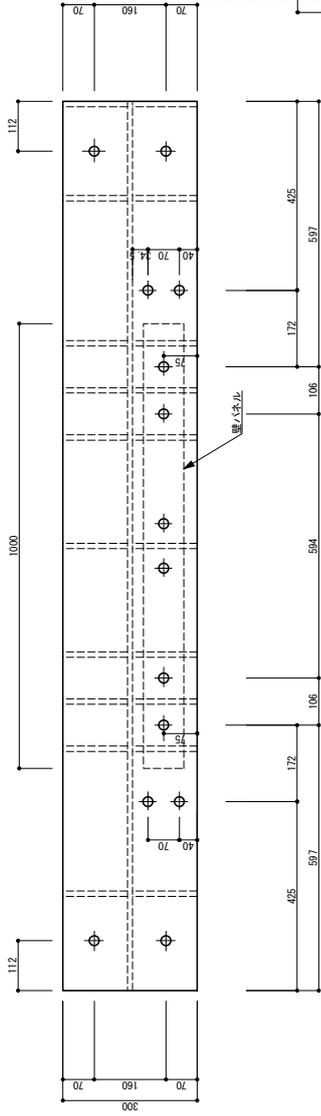
壁水平移動拘束せん断金物B L S T 1/5

鋼材S S 400

ビスT S ・ C 65 各9本 合計18本

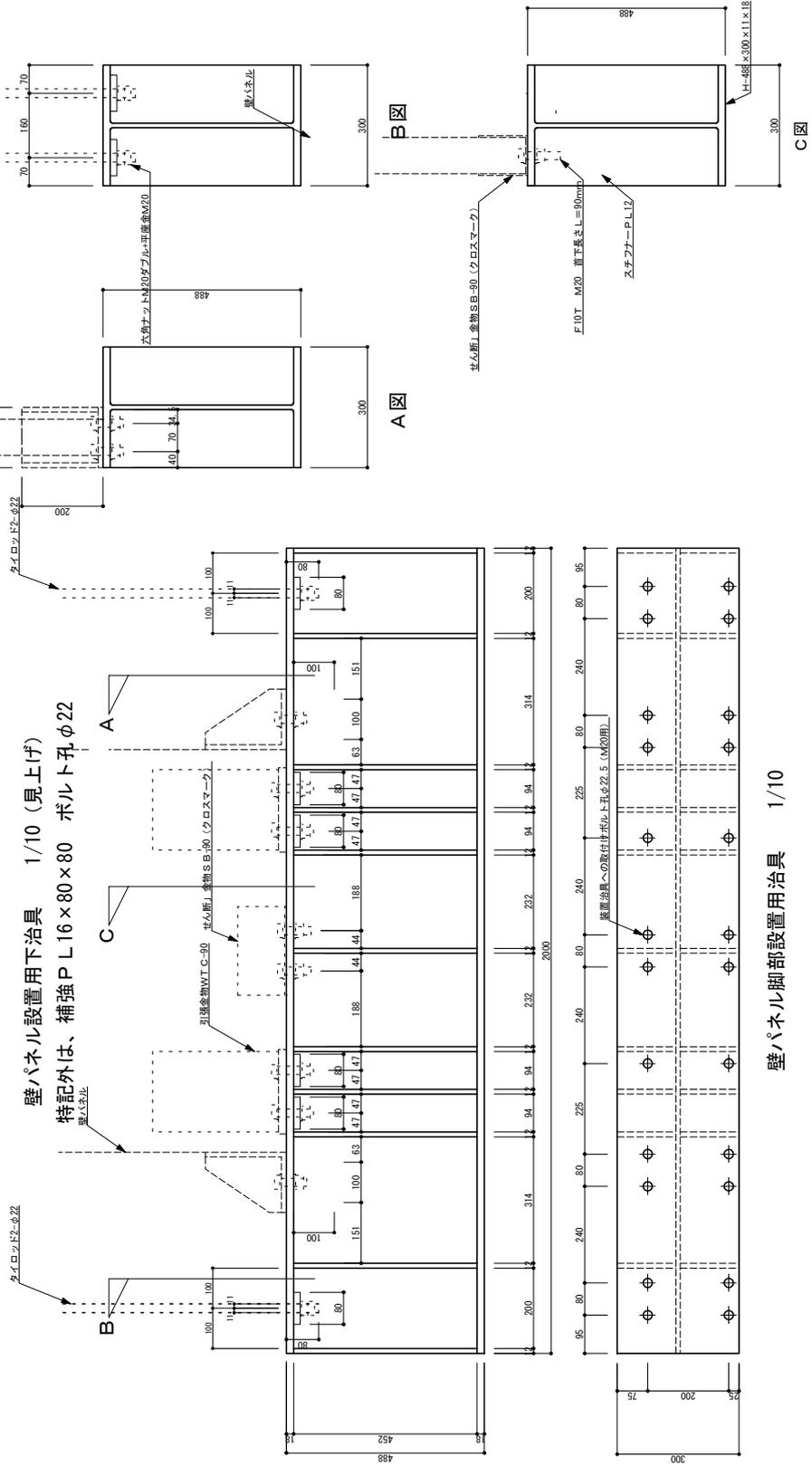
治具取付けボルト F 10 T M 20 首下90mm 合計4本

F10T M20 ボルト孔は、φ22とする。



上フランジ

壁パネル設置用下治具 1/10 (見上げ)
 特記外は、補強PL16×80×80 ボルト孔φ22

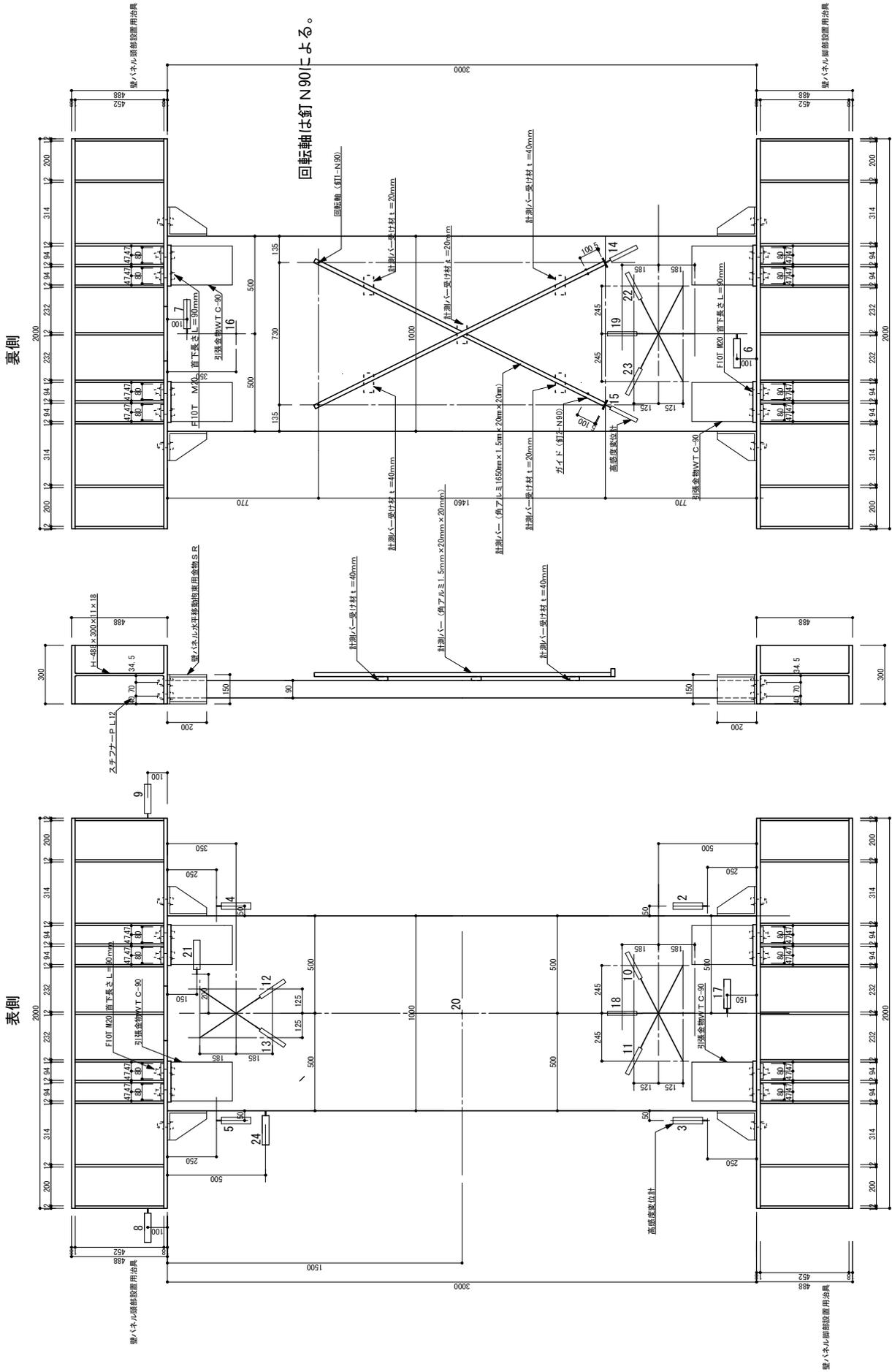


下フランジ

3.3 試験体の設置要領

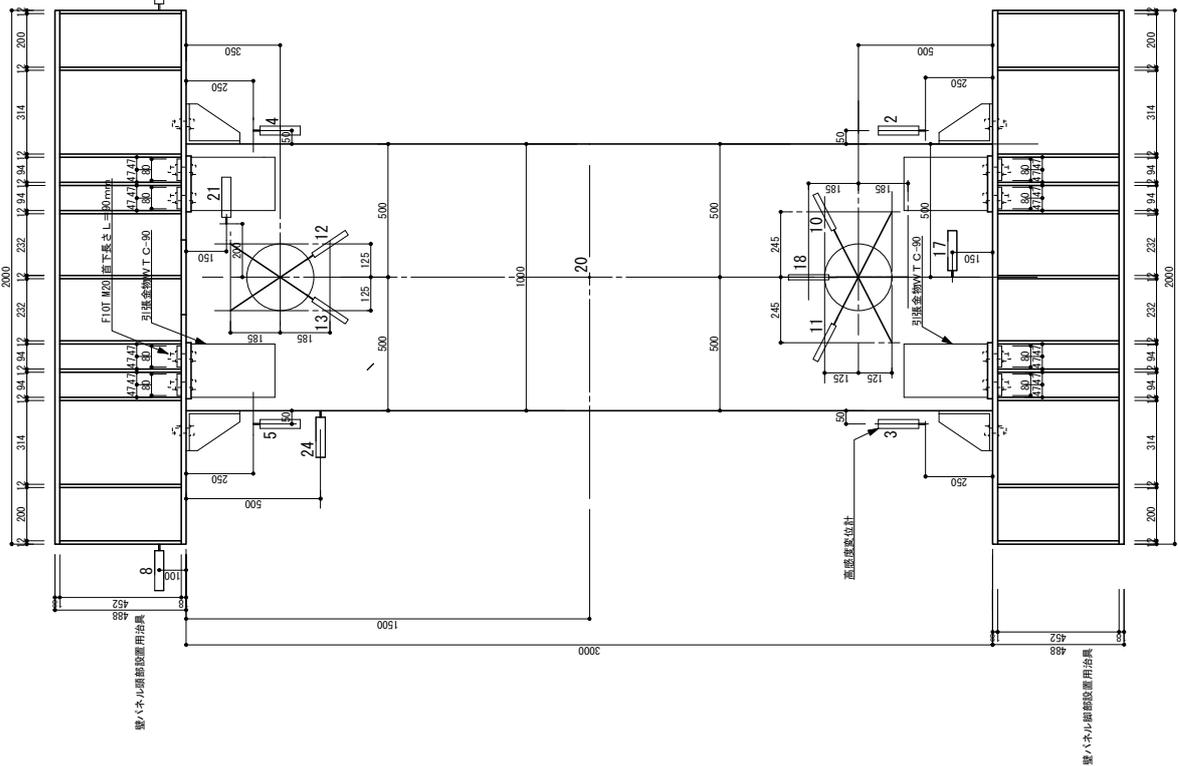
3.3.1 水平加力試験体設置要領

CH24は、W1-N○2の試験途中から追加設置した。

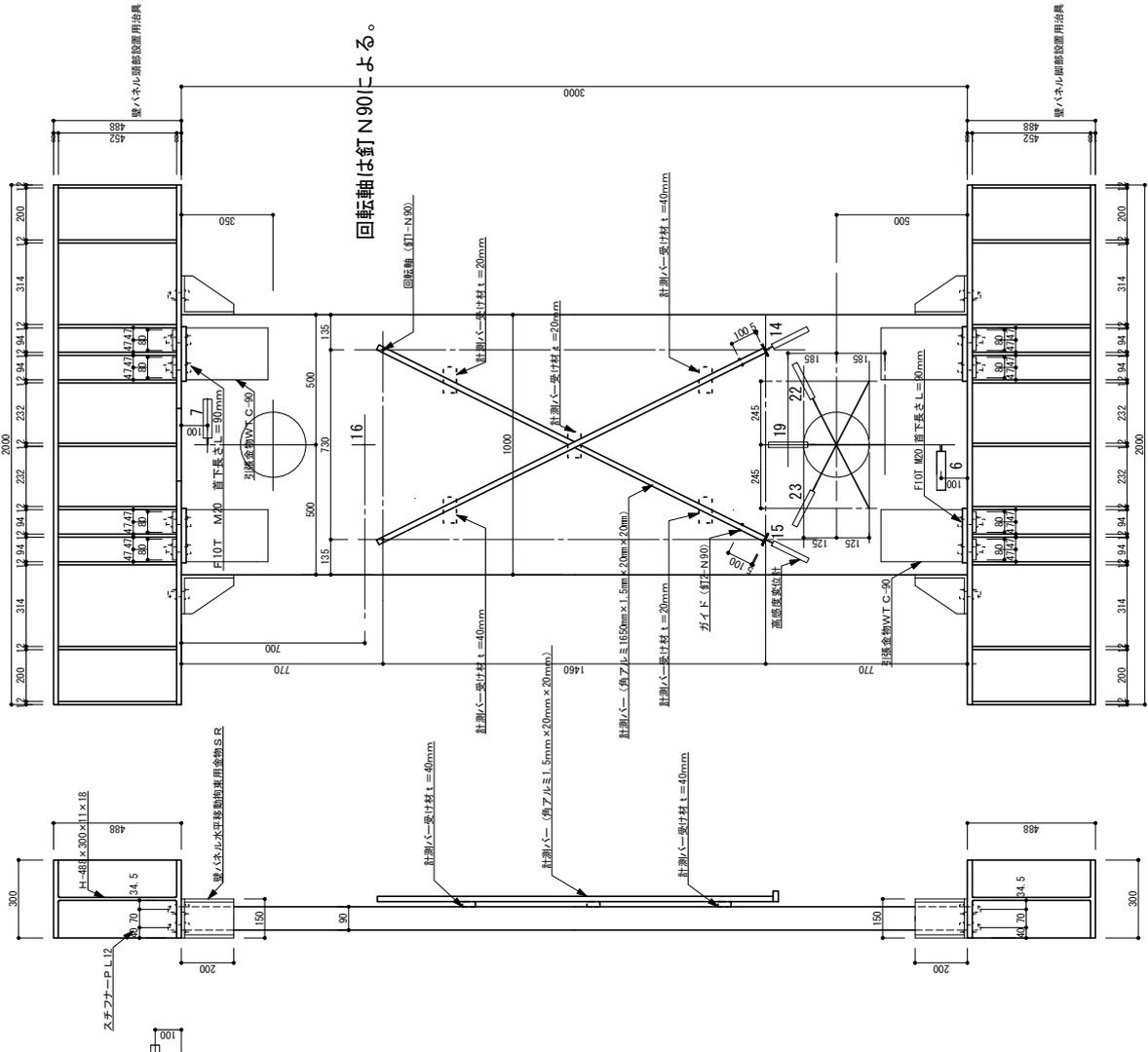


W1試験体 4開リブ金物S R配置試験体セットイングおよび計測位置図 1/20

表側

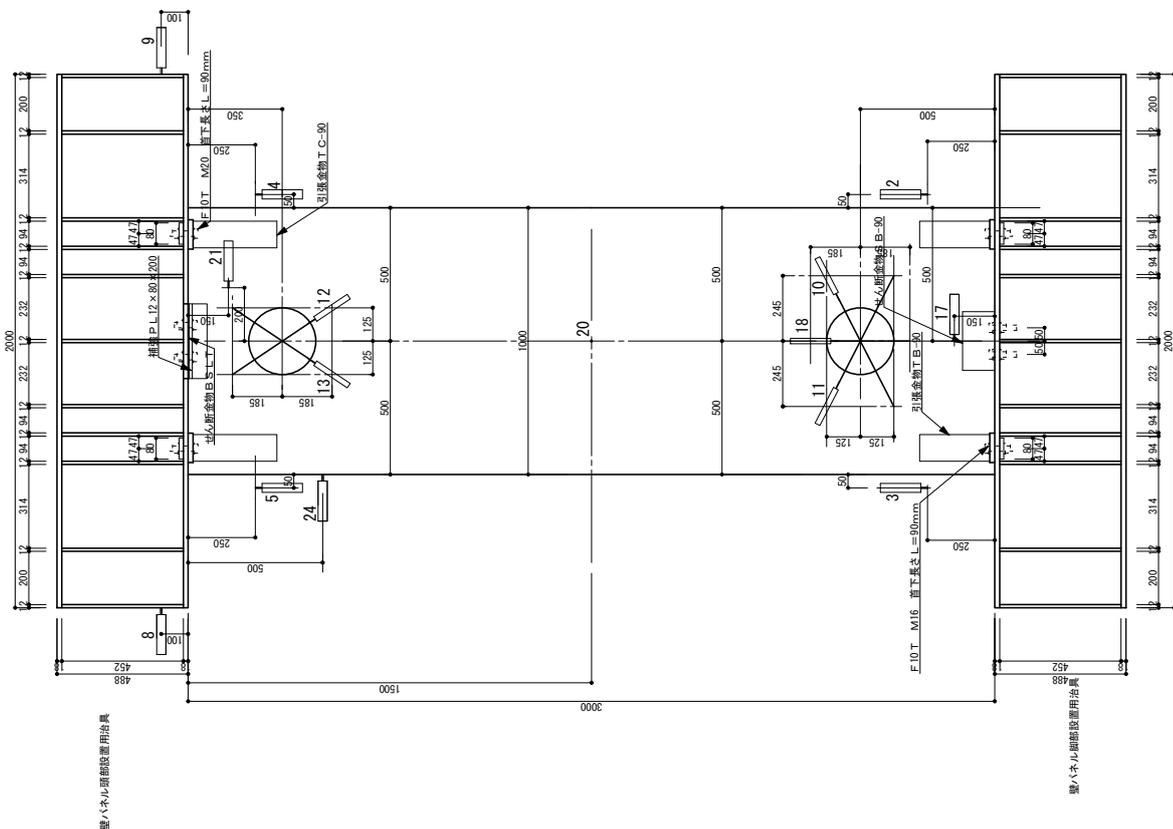
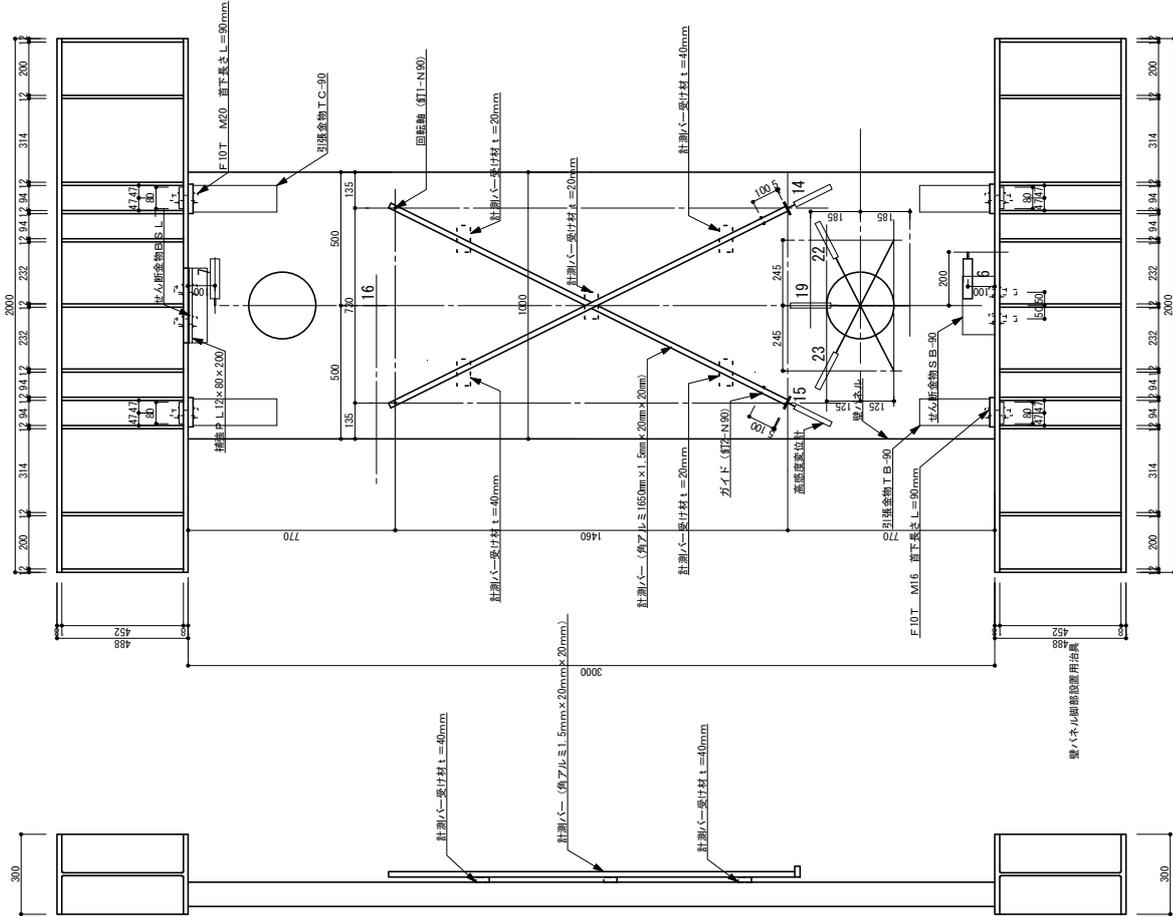


裏側



W2試験体 4開リブ金物S R配置試験体セッティング図および計測位置図 1/20

開口は、φ250とする。



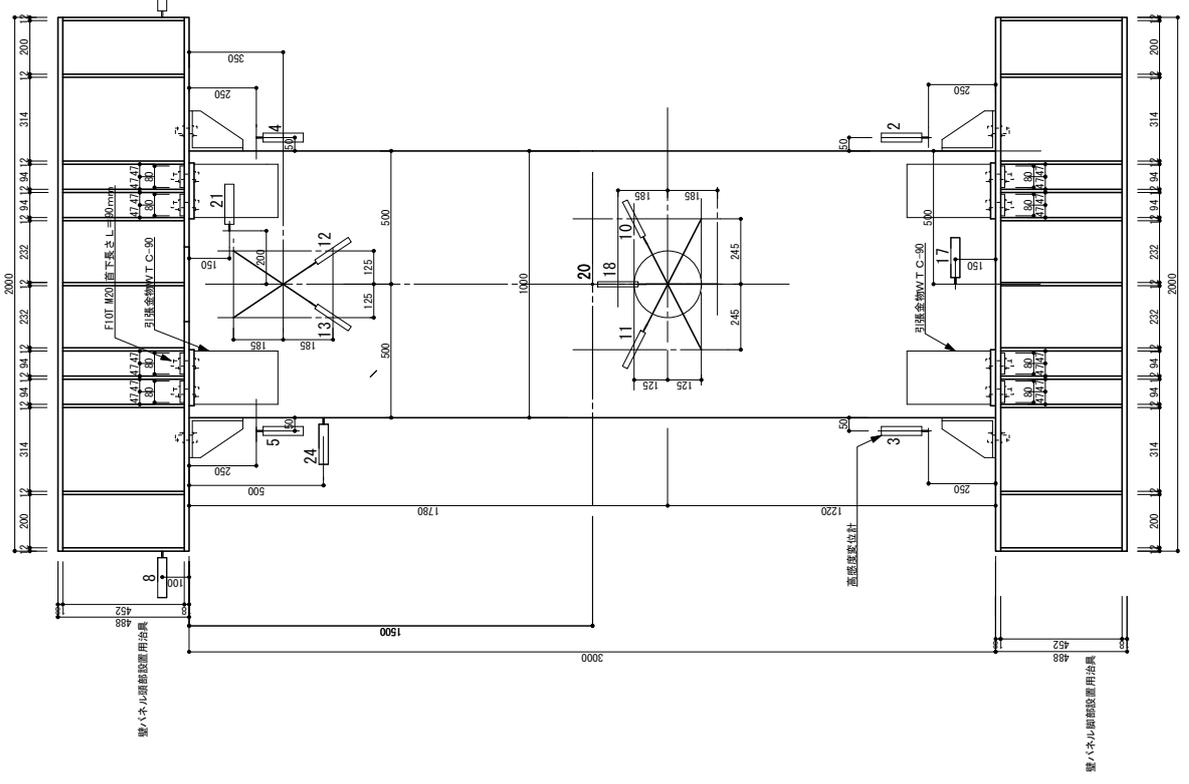
特記事項

(1) 引張金物 T B-90のボルト以外は、F 10 T M20としている。

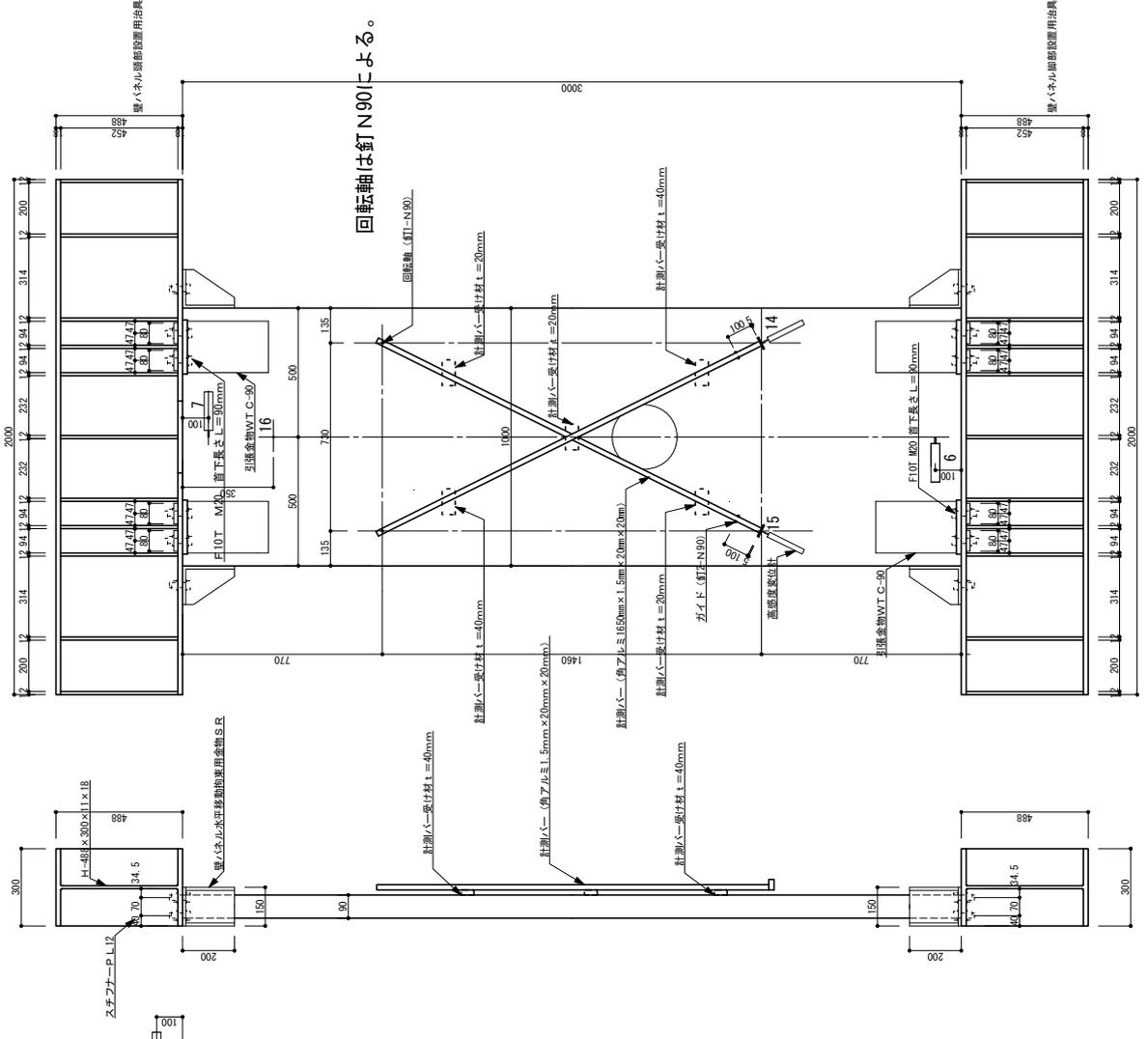
W2試験体 クロスマーク金物仕様試験体セッティング図 1/20

CH24は、W1-No2の試験途中から追加設置した。
 CH19、CH22、CH23は、なし

表側

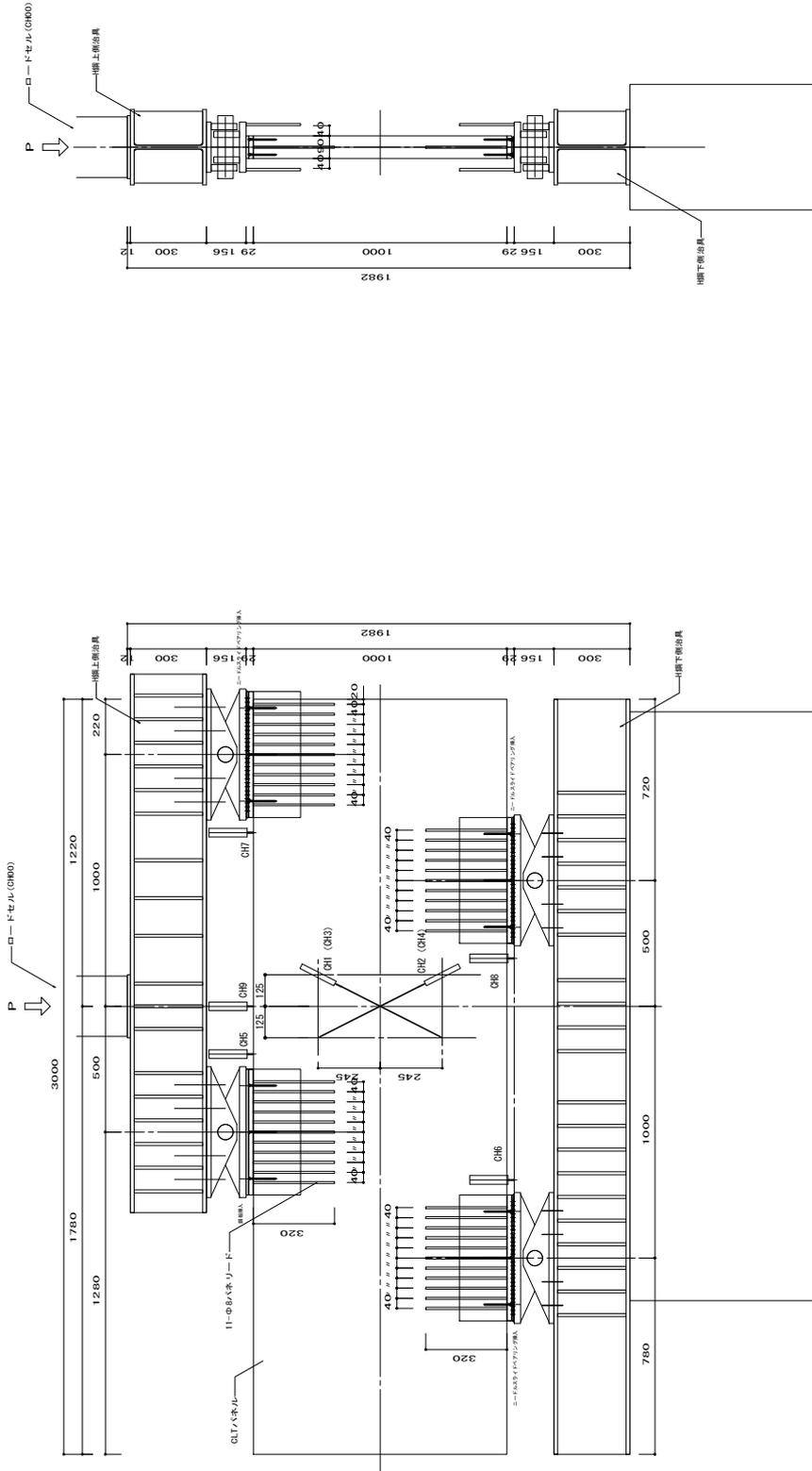


裏側



W4試験体 4開リブ金物S R配置試験体セッティングおよび計測位置図 1/20

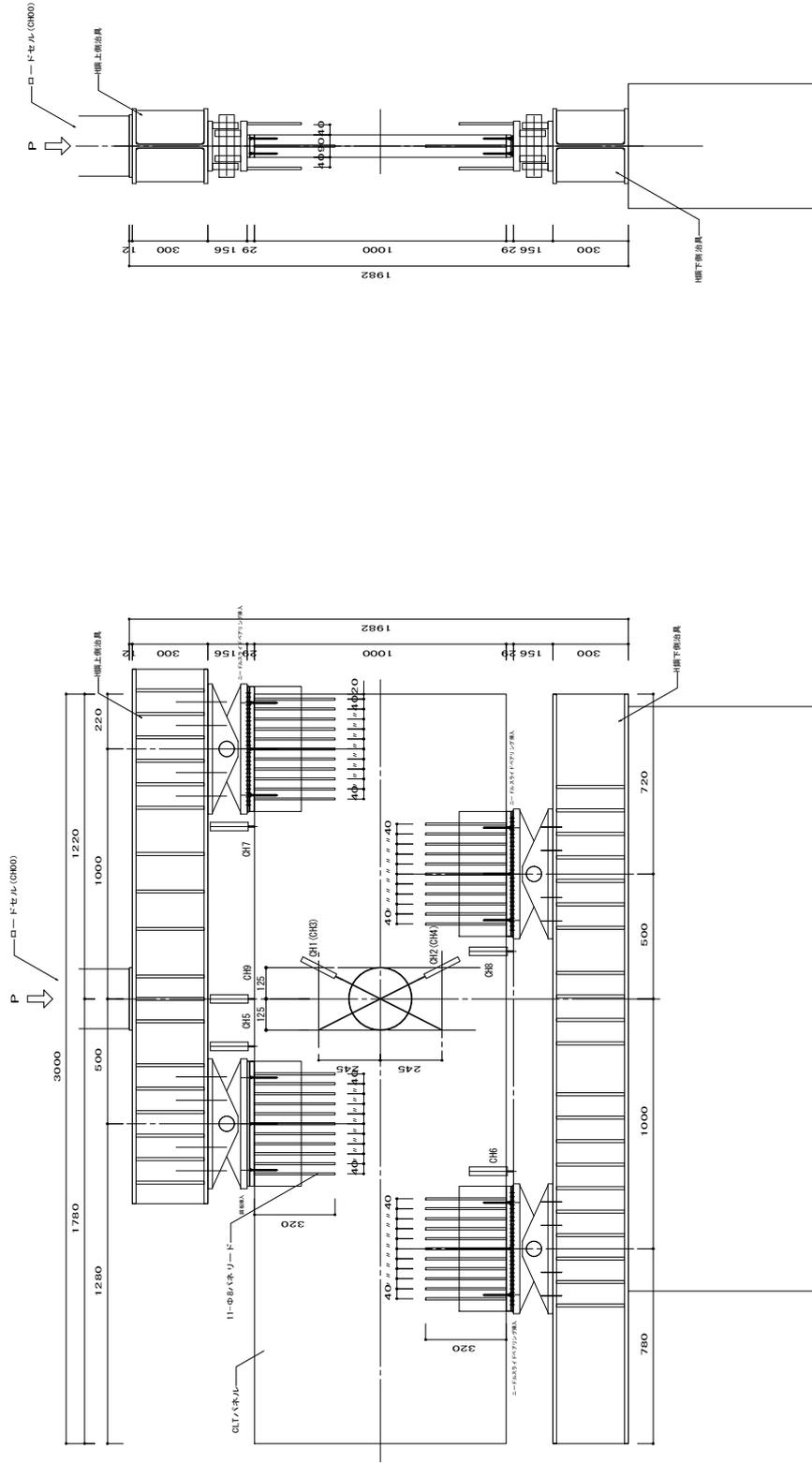
3.3.2 4点曲げ試験体設置要領



W1 有開口耐力壁せん断曲げ試験

□試験装置図 S=1:20

加力は、単調加力とする。



W4 有開口耐力壁せん断曲げ試験

□試験装置図 S=1:20

加力は、単調加力とする。

3.4 水平加力試験結果

3.4.1 荷重と変位

(1) 試験体W1

① 試験体と試験体設置

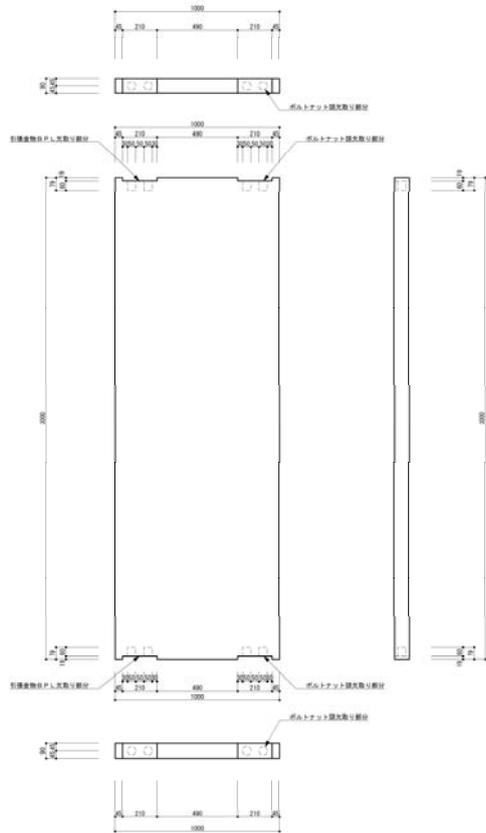


写真4.1.1 加力前 表



写真4.1.2 加力前 裏



写真4.1.3 加力後 表



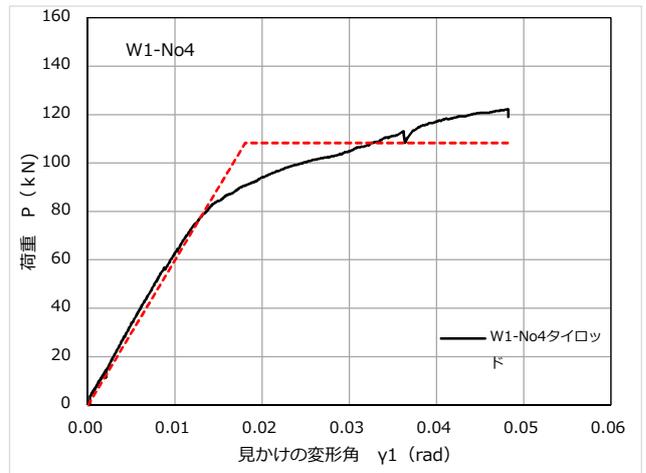
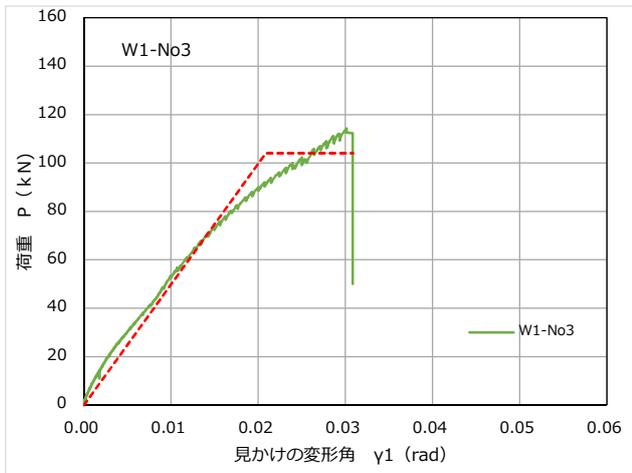
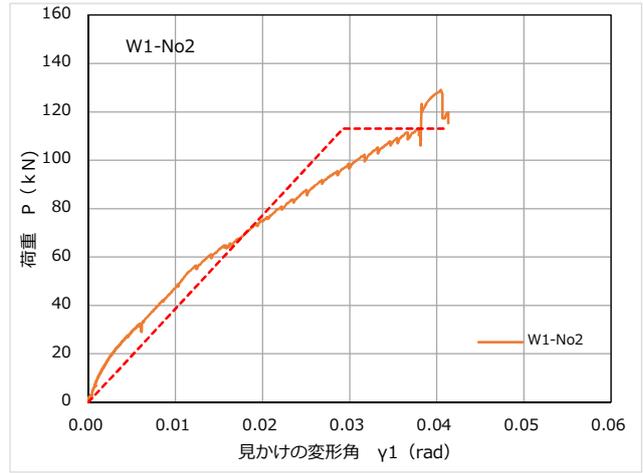
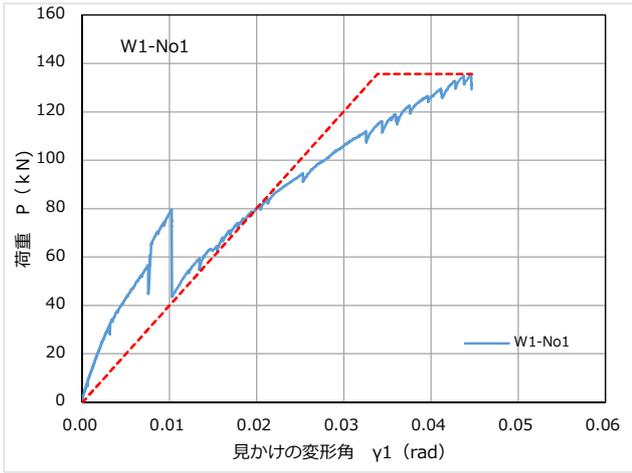
写真4.1.4 加力後 裏



写真4.1.4 正面左 裏からの撮影

Pmaxでは、金物のビスが降伏しC L T脚部端部が浮き、金物ベースP Lがボルトを支点として弓なりに変形した。

②荷重-変位グラフ W1-No1~No4



$\delta v, P_u$	0.034	135.75
$\delta u, P_u$	0.045	135.75

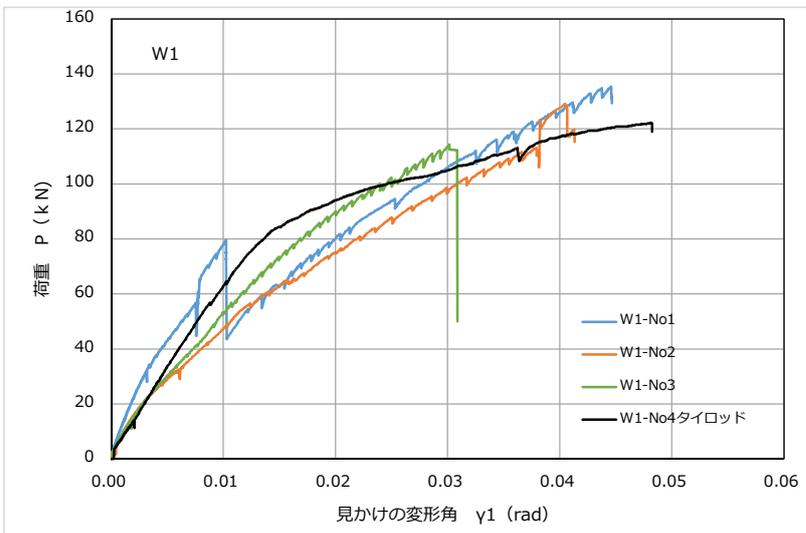
$\delta v, P_u$	0.029	113.08
$\delta u, P_u$	0.041	113.08

No3

$\delta v, P_u$	0.021	104.10
$\delta u, P_u$	0.031	104.10

No4

$\delta v, P_u$	0.018	108.34
$\delta u, P_u$	0.048	108.34



③各数値の算定とバイリニア

W1 みかけの変形角 $\gamma 1$

	Pmax	δ_{max}	$2/3 \cdot P_{max}$	P_y	δ_y	P_u	δ_v	δ_u	K	μ
	kN	mm	kN	kN	mm	kN	mm	mm	kN/mm	
No1	135.30	0.045	90.20	81.62	0.020	135.75	0.034	0.045	4012.2	1.32
No2	129.05	0.040	86.03	69.47	0.018	113.08	0.029	0.041	3871.6	1.41
No3	114.30	0.030	76.20	69.69	0.014	104.10	0.021	0.031	4988.1	1.48
Ave	126.22	0.038	84.14	73.59	0.017	117.65	0.028	0.039	4290.6	1.40
sd	10.787	0.007	7.191	6.95	0.003	16.312	0.007	0.007	608.1	0.080
cv	0.085	0.193	0.085	0.095	0.185	0.139	0.235	0.185	0.142	0.057
下限値	92.22	0.035	61.48	51.67	0.016	66.23	0.025	0.036	4004.2	1.37
No4 タイロッド	122.30	0.048	81.53	77.60	0.013	108.34	0.018	0.048	6003.9	2.67

Pmax:最大荷重、 δ_{max} :最大荷重時の変位

P_y :降伏耐力、 δ_y :降伏変位

P_u :終局耐力、 δ_v :完全弾塑性モデルの降伏点変位、 δ_u :終局変位

K:初期剛性、 μ :塑性率 $\mu = \delta_u / \delta_v$

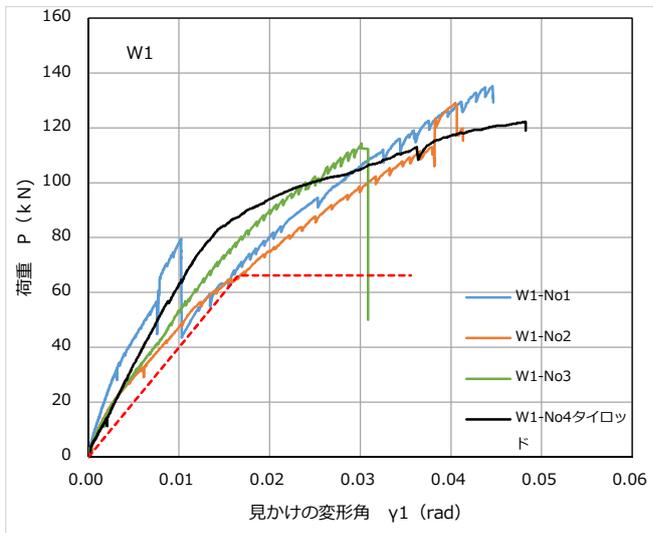
Ave:平均値、sd:標準偏差、cv:変動係数 $cv = sd / Ave$ 、黄色枠:短期基準耐力

下限値: Pmax、 $2/3P_{max}$ 、 P_y 、 P_u ・・信頼水準75%の95%下側許容限界値

K、 δ_{max} 、 δ_y 、 δ_v 、 δ_u 、 μ ・・信頼水準75%の50%下側許容限界値

下限値=Ave・(1-k・cv)

k 95%=3.152、k 50%=0.471 (n=3)



完全弾塑性線 全体 みかけの変形角 $\gamma 1$

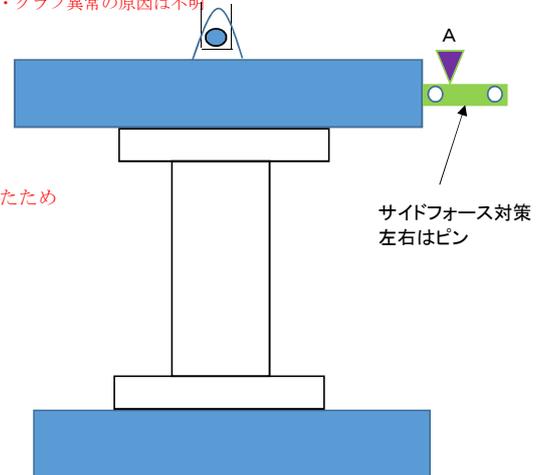
δ_v, P_u		
δ_u, P_u		
$\delta_v = P_u$	0.017	66.23
δ_u : 下	0.036	66.23

・No1の荷重-変位グラフが異常のためPuのばらつきに影響しているか？

治具へのセッティングが荷重を押し上げたことから

変更し加力した。

・グラフ異常の原因は不明



試験体W1-No1は

上部治具をAにて水平維持のため固定し、回転を拘束していたため

浮上がりで生じる反力を負担してしまい

変形を抑制し水平荷重が増加していた。

Pmaxまでの加力においては

拘束を解除して上部治具の回転を許容し加力した。

サイクルごとの初期カーブを繋げると段差が生じた。

No2、No3をもとにNo1を補正するのが妥当と考える。

(2) 試験体W2

① 試験体と試験体設置

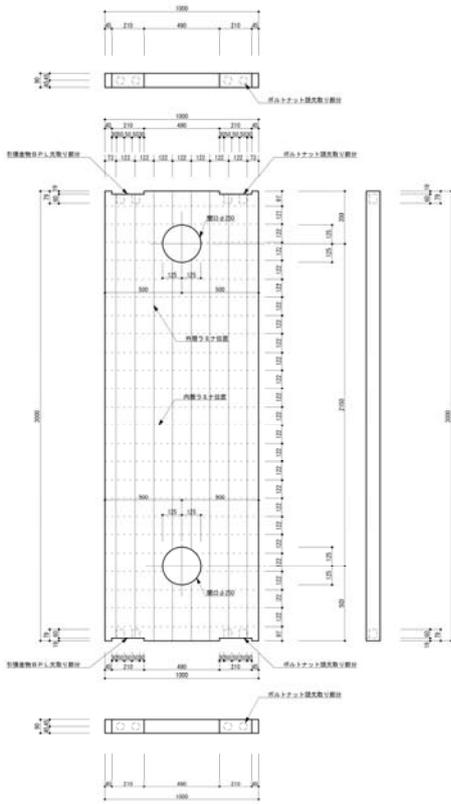


写真4.1.5 加力前表



写真4.1.6 加力前裏



写真4.1.7 加力後表

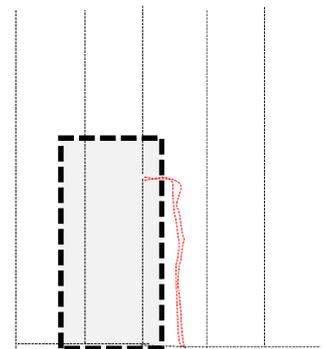


写真4.1.8 加力後裏

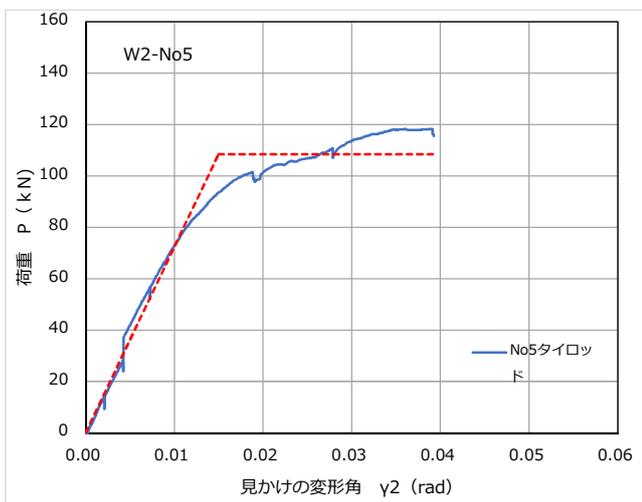
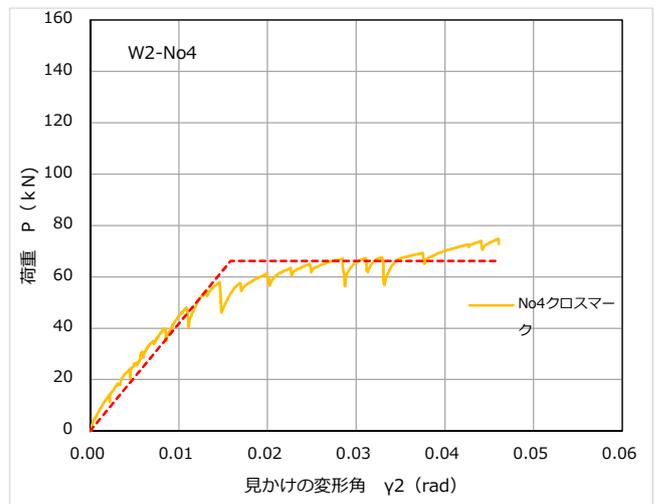
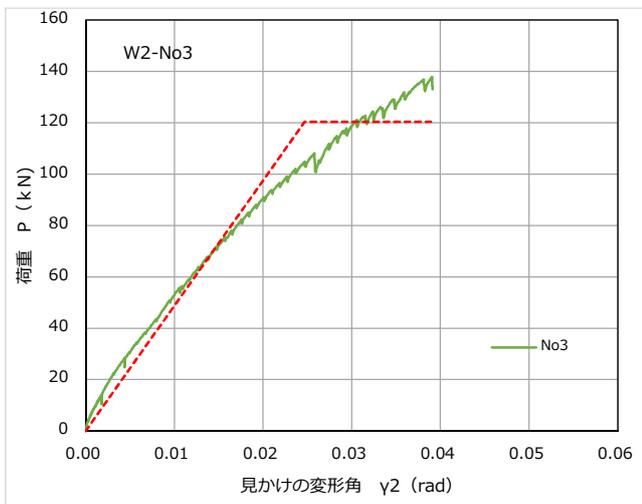
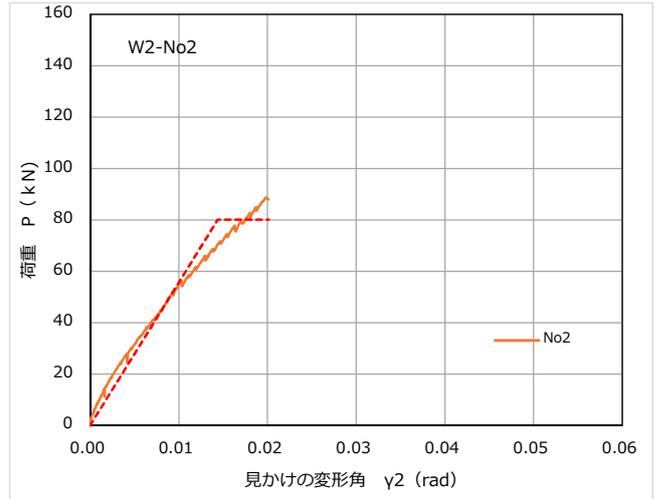
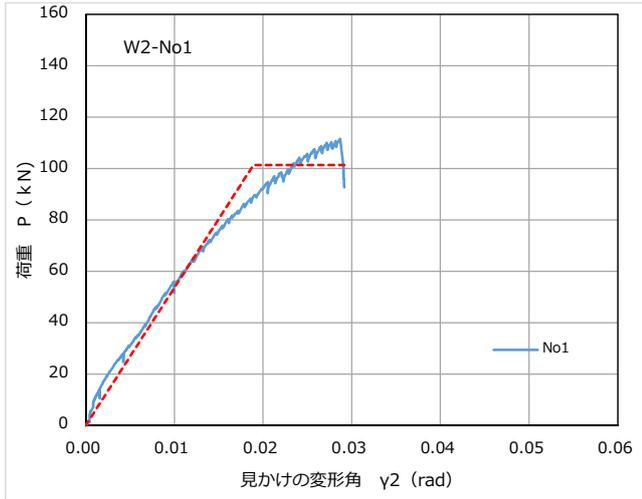


写真4.1.9 正面左 裏からの撮影

P_{max}では、金物のビスが降伏しC L T脚部端部が浮き、金物をビスで留めつけている壁の中央側ラミナに縦方向で亀裂が生じていた。



②荷重-変位グラフ W2-No1～No5



No1

$\delta v, Pu$	0.0189	101.42
$\delta u, Pu$	0.029	101.42

No2

$\delta v, Pu$	0.0144	80.12
$\delta u, Pu$	0.020	80.12

No3

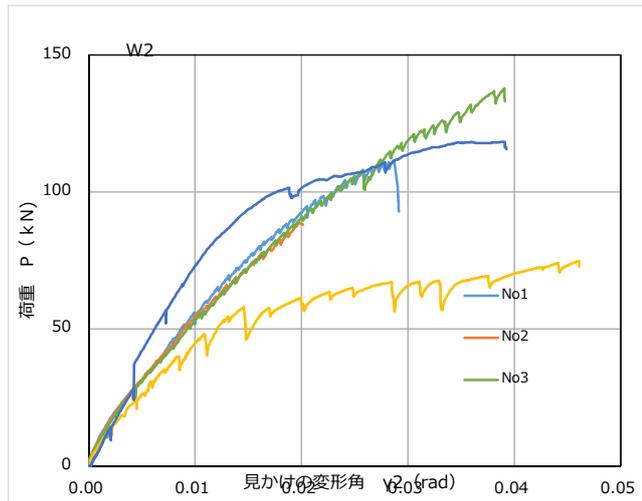
$\delta v, Pu$	0.0247	120.35
$\delta u, Pu$	0.039	120.35

No4

$\delta v, Pu$	0.0158	66.20
$\delta u, Pu$	0.046	66.20

No5

$\delta v, Pu$	0.0150	108.45
$\delta u, Pu$	0.039	108.45



③各数値の算定とバイリニア

みかけの変形角 γ_2

	Pmax	δ_{max}	$2/3 \cdot P_{max}$	P_y	δ_y	P_u	δ_v	δ_u	K	μ
	k N	mm	k N	k N	mm	k N	mm	mm	kN/mm	
No1	111.55	0.029	74.36	62.56	0.012	101.42	0.019	0.029	5360.6	1.54
No2	88.79	0.020	59.19	48.69	0.009	80.12	0.014	0.020	5568.7	1.40
No3	137.81	0.039	91.87	71.73	0.015	120.35	0.025	0.039	4873.3	1.58
Ave	112.71	0.029	75.14	60.99	0.012	100.63	0.019	0.029	5267.6	1.51
sd	24.531	0.010	16.354	11.60	0.003	20.128	0.005	0.009	356.9	0.097
cv	0.218	0.330	0.218	0.190	0.255	0.200	0.267	0.322	0.068	0.064
下限値	35.39	0.025	23.59	24.43	0.010	37.18	0.017	0.025	5099.4	1.46
W2-04クロス マーク	74.78	0.05	49.85	52.33	0.013	66.20	0.016	0.046	4176.9	2.91
W2-05タイ ロッド	118.30	0.04	78.86	73.99	0.010	108.45	0.015	0.039	7237.2	2.62

Pmax:最大荷重、 δ_{max} :最大荷重時の変位、 P_y :降伏耐力、 δ_y :降伏変位

P_u :終局耐力、 δ_v :完全弾塑性モデルの降伏点変位 δ_u :終局変位

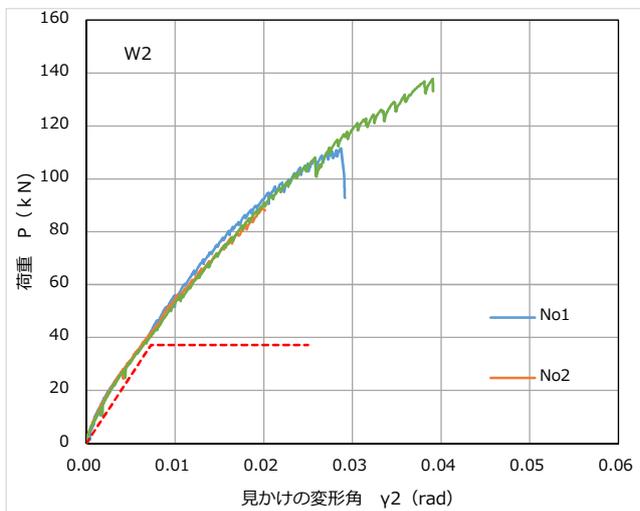
K:初期剛性、 μ :塑性率 $\mu = \delta_u / \delta_v$

Ave:平均値、sd:標準偏差、cv:変動係数 $cv = sd / Ave$ 、黄色枠:短期基準耐力

下限値: Pmax、 $2/3 P_{max}$ 、 P_y 、 P_u ・・・信頼水準75%の95%下側許容限界値

下限値 = Ave $\cdot (1 - k \cdot cv)$

K、 δ_{max} 、 δ_y 、 δ_v 、 δ_u 、 μ ・・・信頼水準75%の50%下側許容限界値 $k_{95\%} = 3.152$ 、 $k_{50\%} = 0.471$ (n=3)



・No2の P_u が小さく、ばらつきから P_u はかなり低い結果になっている。

完全弾塑性線全体 見かけの変形角 γ_2

δ_v 、 P_u	0.0073	37.18
δ_u 、 P_u	0.025	37.18

P_u 、 δ_u 下限

$\delta_n = P_u / K$ 下限



No2は、金物のビス接合上部に70 k N程度の加力から外層ラミナに亀裂が生じ荷重を増加させると内層ラミナはばはぎ部分が分離し隙間が発生した。

加力荷重を上げていったが、試験体が表方向に傾き始めたので加力を中止した。

No1、No3の結果が妥当であり、No2は異常終了となったと考えている。

写真4.1.10 側面左 U形金物ビス接合部の亀裂

(3) 試験体W3

① 試験体と試験体設置

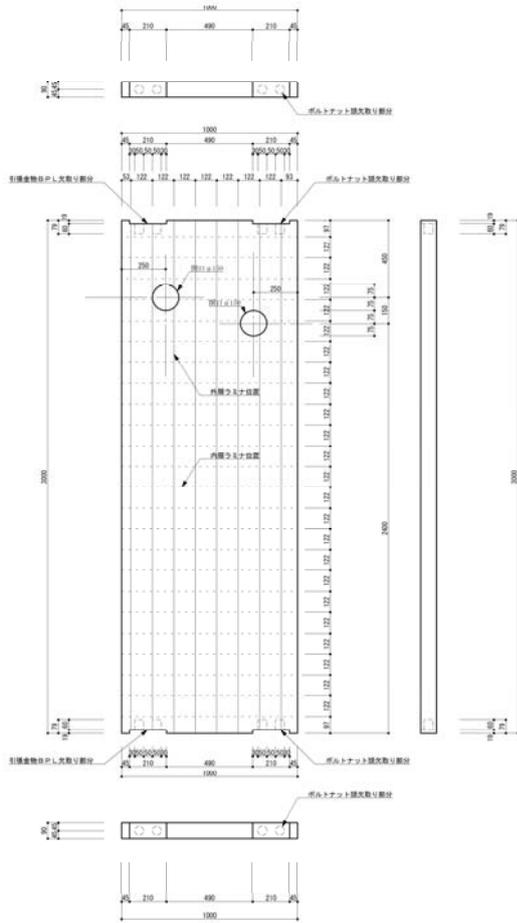


写真4.1.11 加力前 表



写真4.1.12 加力前 裏



写真4.1.13 加力後 表



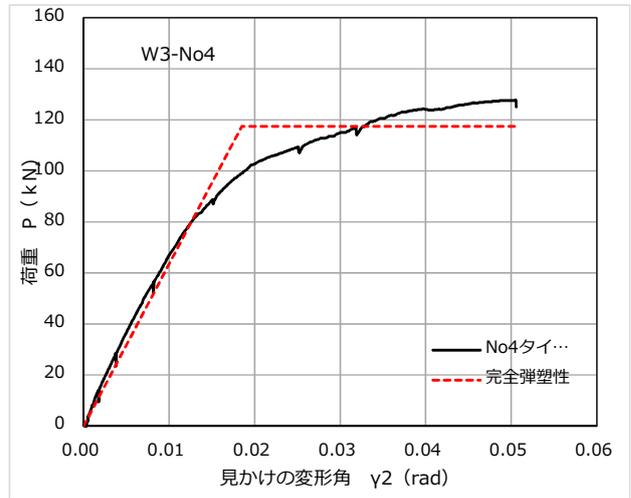
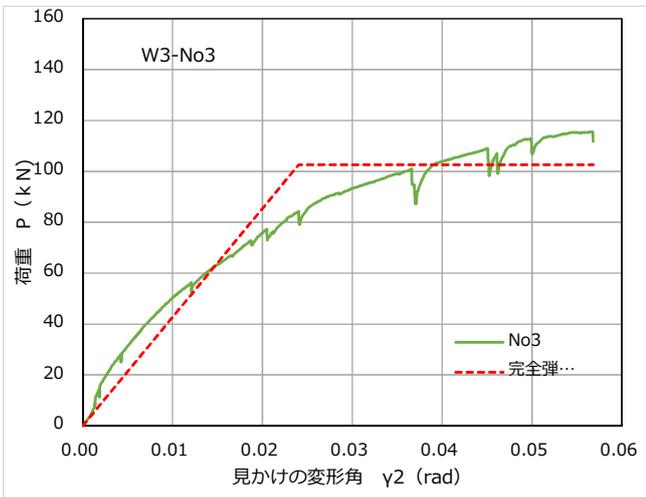
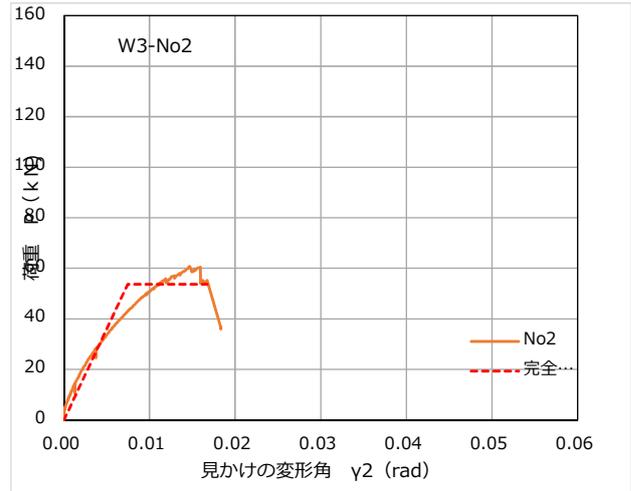
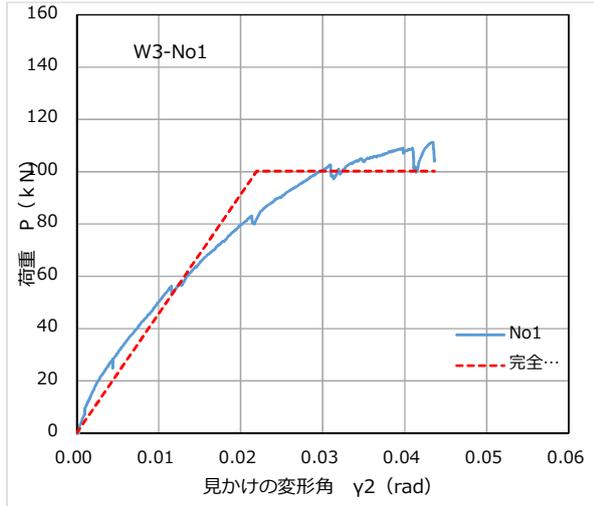
写真4.1.14 加力後 裏



写真4.1.15 正面左 裏からの撮影

P_{max} では、金物のビスが降伏しC L T脚部端部が浮き、金物ベースP Lがボルトを支点として弓なりに変形した。

②荷重-変位グラフ W3-No1~No4



$\delta v, P_u$	0.022	100.28
$\delta u, P_u$	0.044	100.28

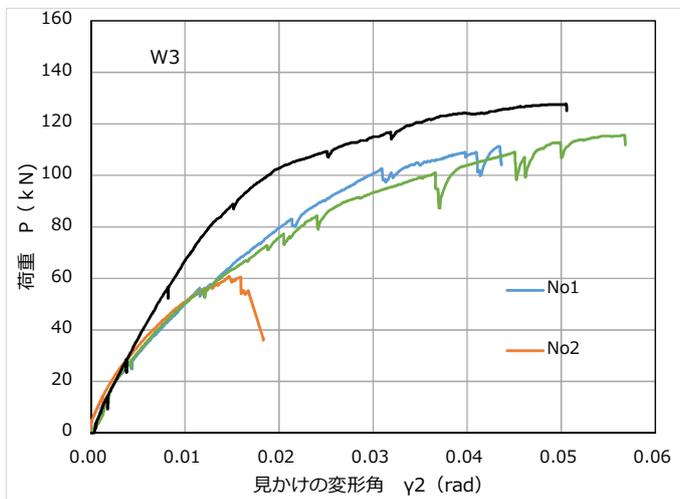
$\delta v, P_u$	0.007	53.66
$\delta u, P_u$	0.017	53.66

No3

$\delta v, P_u$	0.024	102.62
$\delta u, P_u$	0.057	102.62

No4

$\delta v, P_u$	0.019	117.43
$\delta u, P_u$	0.051	117.43



バイリニアが作れない。

- ・No2のPuが小さく、ばらつきが大きく下限値が求まらない。
変動係数が大きすぎてマイナス数値となる。

③各数値の算定とバイリニア

W3 見かけの変形角2

	Pmax	δ_{max}	$2/3 \cdot P_{max}$	P_y	δ_y	P_u	δ_v	δ_u	K	μ
	k N	mm	k N	k N	mm	k N	mm	mm	kN/mm	
No1	111.30	0.043	74.20	56.81	0.012	100.28	0.022	0.044	4565.3	1.99
No2	60.77	0.015	40.52	29.90	0.004	53.66	0.007	0.017	7218.8	2.25
No3	115.55	0.056	77.03	62.63	0.015	102.62	0.024	0.057	4269.2	2.36
Ave	95.87	0.038	63.91	49.78	0.010	85.52	0.018	0.039	5351.1	2.20
sd	30.470	0.021	20.313	17.46	0.006	27.620	0.009	0.020	1624.22	0.193
cv	0.318	0.560	0.318	0.351	0.533	0.323	0.508	0.523	0.304	0.088
下限値	-0.17	0.028	-0.11	-5.26	0.008	-1.54	0.014	0.029	4586.1	2.11
W3-04タイプ ポット	127.80	0.050	85.20	79.94	0.013	117.43	0.019	0.05	6346.1	2.73

※P関係のばらつき大きく下限値が得られず

Pmax:最大荷重、 δ_{max} :最大荷重時の変位、 P_y :降伏耐力、 δ_y :降伏変位

P_u :終局耐力、 δ_v :完全弾塑性モデルの降伏点変位

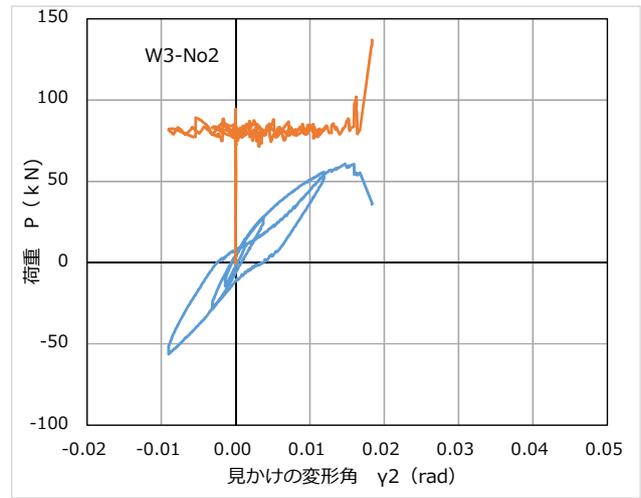
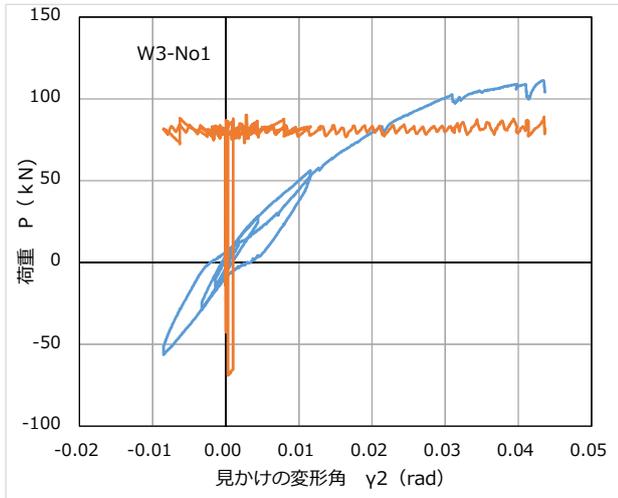
δ_u :終局変位、K:初期剛性、 μ :塑性率 $\mu = \delta_u / \delta_v$

Ave:平均値、sd:標準偏差、cv:変動係数 $cv = sd / Ave$ 、黄色枠:短期基準耐力

下限値: P_{max} 、 $2/3 P_{max}$ 、 P_y 、 P_u ・信頼水準75%の95%下側許容限界値 下限値=Ave・(1-k・cv)

K、 δ_{max} 、 δ_y 、 δ_v 、 δ_u 、 μ ・信頼水準75%の50%下側許容限 $k_{95\%} = 3.152$ 、 $k_{50\%} = 0.471$ (n=3)

W3-No1とW3-No2の試験データ比較



試験体W3-No1

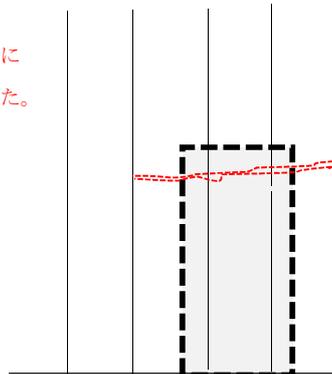
試験体W3-No2



写真4.1.16 側面左 U形金物ビス接合部の亀裂

W3-No2が異常終了した原因

60 kN加力近辺で、金物のビス上部においてヨコ方向に表裏の外層ラミナで亀裂が生じ、内層ラミナが破断した。荷重が低下し始めたので加力を中止した。



(4) 試験体W4

① 試験体と試験体設置

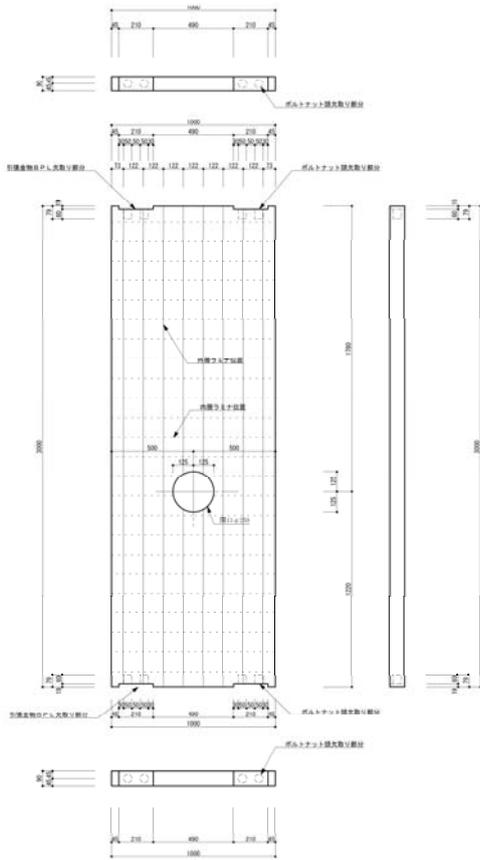


写真4.1.17 加力前 表



写真4.1.18 加力前 裏



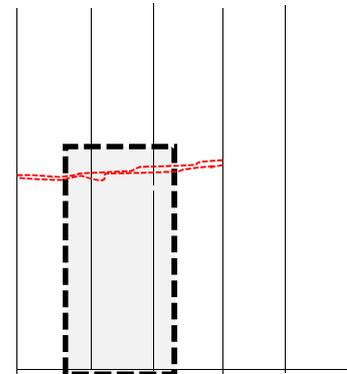
写真4.1.19 加力後 表



写真4.1.20 加力後 裏

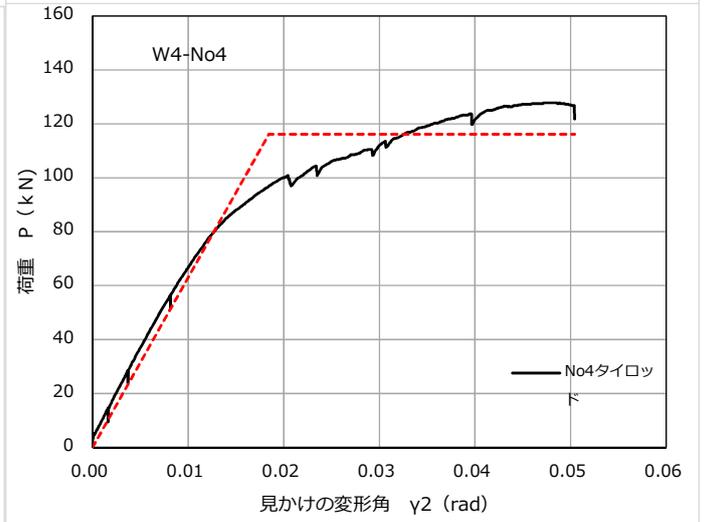
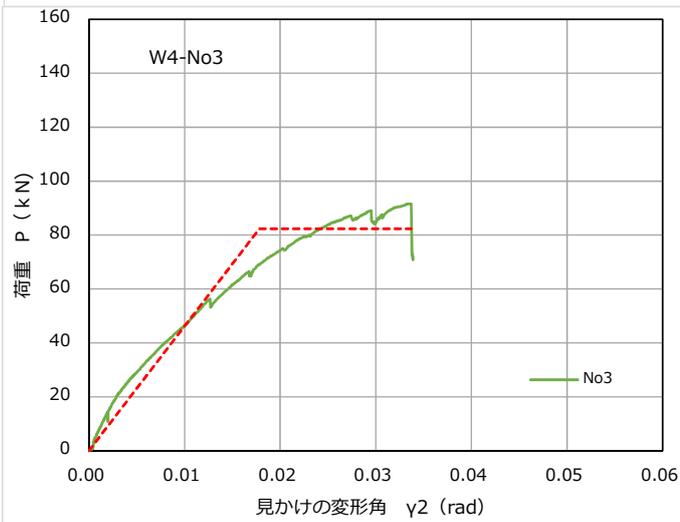
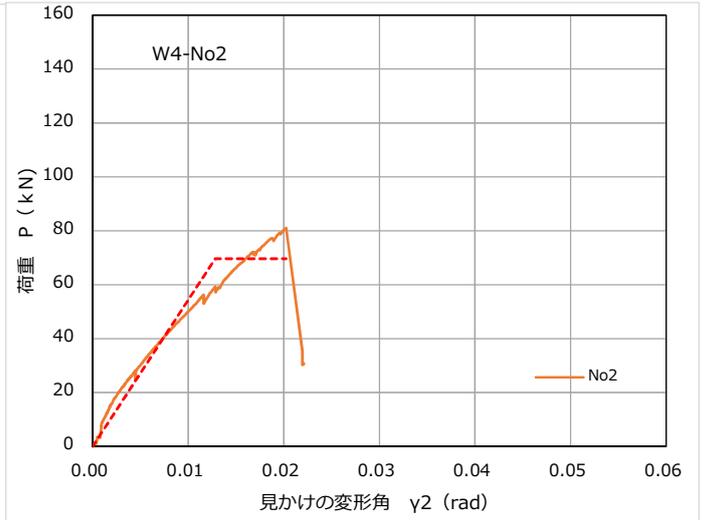
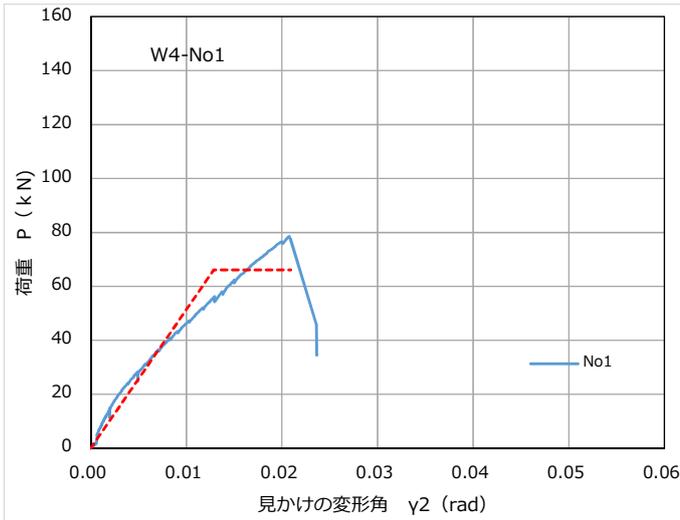


写真4.1.21 左側金物を裏面から撮影



P_{max} では、金物のビスが降伏しC L T脚部端部が浮き、金物に接する内端部ラミナが、ビスで拘束されている部分とそうでない部分で破断した。W4-No1、W4-No2は、荷重の低い時点で金物上部ビス周囲でラミナに亀裂が生じた。

②荷重-変位グラフ W4-No1~No4



No1

$\delta v, Pu$	0.013	66.07
$\delta u, Pu$	0.02	66.07

No2

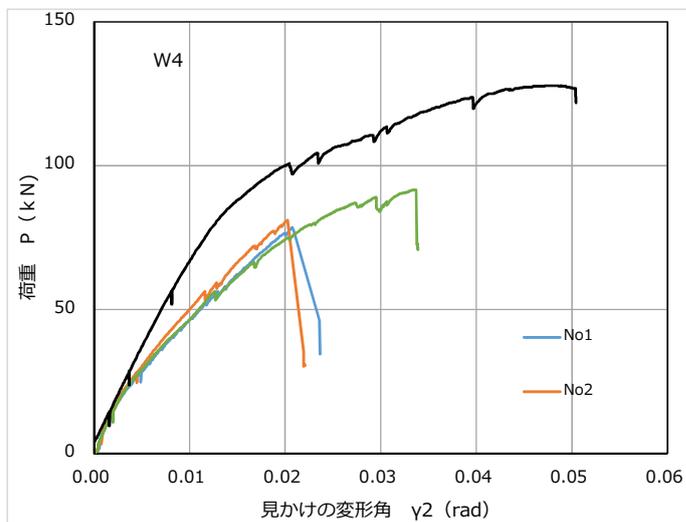
$\delta v, Pu$	0.013	69.68
$\delta u, Pu$	0.02	69.68

No3

$\delta v, Pu$	0.018	82.32
$\delta u, Pu$	0.03	82.32

No4

$\delta v, Pu$	0.018	116.16
$\delta u, Pu$	0.05	116.16



③各数値の算定とバイリニア

W4 見かけの変形角 γ_2

	Pmax	δ_{max}	2/3・Pmax	Py	δ_y	Pu	δ_v	δ_u	K	μ
	kN	mm	kN	kN	mm	kN	mm	mm	kN/mm	
No1	78.53	0.021	52.35	36.42	0.01	66.07	0.013	0.021	5143.9	1.63
No2	81.03	0.020	54.02	40.79	0.01	69.68	0.013	0.020	5434.5	1.58
No3	91.54	0.033	61.02	46.98	0.01	82.32	0.018	0.034	4619.8	1.89
Ave	83.70	0.025	55.80	41.39	0.01	72.69	0.014	0.025	5066.1	1.70
sd	6.901	0.007	4.601	5.31	0.002	8.532	0.003	0.008	412.9	0.168
cv	0.082	0.298	0.082	0.128	0.203	0.117	0.199	0.304	0.082	0.099
下限値	61.95	0.021	41.30	24.67	0.01	45.80	0.013	0.021	4871.6	1.62
W4-No4タイプ ポット	127.80	0.047	85.20	79.57	0.01	116.16	0.018	0.050	6298.5	2.73

Pmax:最大荷重、 δ_{max} :最大荷重時の変位、Py:降伏耐力、 δ_y :降伏変位、

Pu:終局耐力、 δ_v :完全弾塑性モデルの降伏点変位

δ_u :終局変位、K:初期剛性、 μ :塑性率 $\mu = \delta_u / \delta_v$

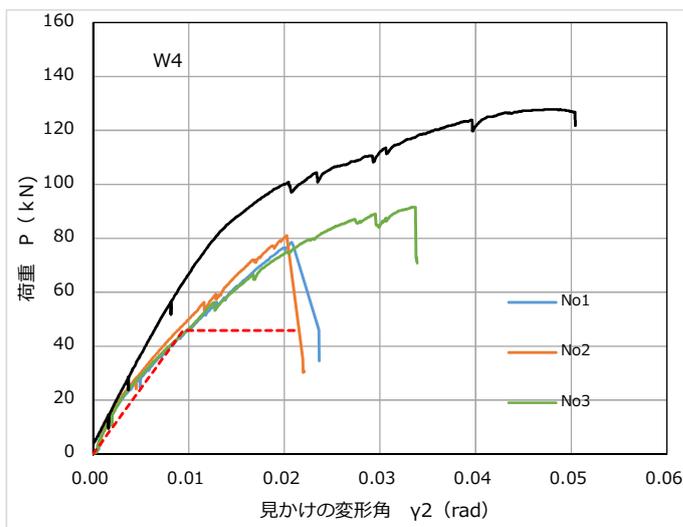
Ave:平均値、sd:標準偏差、cv:変動係数 $cv = sd / Ave$ 、黄色枠:短期基準耐力

下限値:Pmax、2/3Pmax、Py、Pu・・信頼水準75%の95%下側許容限界値

K、 δ_{max} 、 δ_y 、 δ_v 、 δ_u 、 μ ・・信頼水準75%の50%下側許容限界値

下限値=Ave・(1-k・cv)

k95%=3.152、k50%=0.471 (n=3)

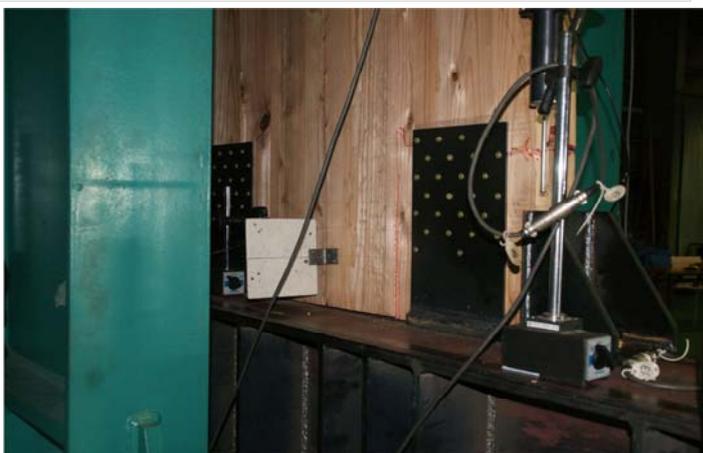


完全弾塑性線全体 見かけの変形角 γ_2

δ_v, Pu	0.009401	45.80
δ_u, Pu	0.02	45.80

Pu、 δ_u 下限

$\delta_v = Pu / K$ 下限



W4-No1、No2は、80 kN程度の加力時点に表裏外層ラミナ、内層ラミナの亀裂が生じ荷重が低下した。

写真4.1.22 左側金物を裏面から撮影

(5) 荷重と変位についてのまとめ

試験体	試験体名称	P _{max}	P _u	P _y	コメント	
 無開口	W1	No1	135.30	135.75	81.62	上部支点治具の回転を拘束していたため、変位に対し荷重が大きくなっていた。途中解除し再加力した。
		No2	129.05	113.08	69.47	正常終了
		No3	114.30	104.10	69.69	正常終了
	タイロッドNo4	122.30	108.34	77.60	タイロッド方式による試験は、試験体が金物接合部の降伏に伴い回転し、ロッドは回転に合わせて傾斜した。ロッドによる拘束は不十分となった。P _{max} 時点では、開口周辺に損傷は発生していない。	
 2-Φ250	W2	No1	111.55	101.42	62.56	正常終了、P _{max} 時点では、開口周辺に損傷は発生していない。
		No2	88.79	80.12	48.69	金物の上部ビス接合部が70 k N程度で外層ラミナ亀裂、内層ラミナはばはぎ部分離が生じ、試験体が面外に傾いたので、加力を中止した。
		No3	137.81	120.35	71.73	正常終了、P _{max} 時点では、開口周辺に損傷は発生していない。
		クロス金物No4	74.78	66.2	52.33	クロスマーク金物仕様
	タイロッドNo5	118.30	108.45	73.99	タイロッド方式による試験は、試験体が金物接合部の降伏に伴い回転し、ロッドは回転に合わせて傾斜した。ロッドによる拘束は不十分となった。P _{max} 時点では、開口周辺に損傷は発生していない。	
 2-Φ150	W3	No1	111.30	100.28	56.81	正常終了、P _{max} 時点では、開口周辺に損傷は発生していない。
		No2	60.77	53.66	29.90	60 k N加力近辺で、金物のビス上部においてヨコ方向に表裏の外層ラミナで亀裂が生じ、内層ラミナが破断した。荷重が低下し始めたので加力を中止した。
		No3	115.55	102.62	62.63	正常終了、P _{max} 時点では、開口周辺に損傷は発生していない。
	タイロッドNo4	127.80	117.43	79.94	タイロッド方式による試験は、試験体が金物接合部の降伏に伴い回転し、ロッドは回転に合わせて傾斜した。ロッドによる拘束は不十分となった。P _{max} 時点では、開口周辺に損傷は発生していない。	
 1-Φ250	W4	No1	78.53	66.07	36.42	80 k N程度の加力時点で表裏外層ラミナ、内層ラミナの亀裂が生じ荷重が低下した。
		No2	81.03	69.68	40.79	80 k N程度の加力時点で表裏外層ラミナ、内層ラミナの亀裂が生じ荷重が低下した。
		No3	91.54	82.32	46.98	正常終了、P _{max} 時点では、開口周辺に損傷は発生していない。
	タイロッドNo4	127.80	116.16	79.57	タイロッド方式による試験は、試験体が金物接合部の降伏に伴い回転し、ロッドは回転に合わせて傾斜した。ロッドによる拘束は不十分となった。P _{max} 時点では、開口周辺に損傷は発生していない。	

表のW1、W2、W3のP_{max}と比較すると、W4のP_{max}が3体とも低い結果となっている。W4は、他と比較して試験時の観察では金物のビス接合部が荷重の低い時点でラミナに亀裂を生じさせていたことから、結果としてP_{max}が低くなっている。ラミナの強度のばらつきによるものと判断される。

目標P_{max}は、65 k Nであったことから試験結果は異常終了したW3-No2を除き、すべて目標P_{max}以上となった。

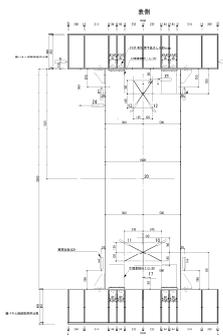
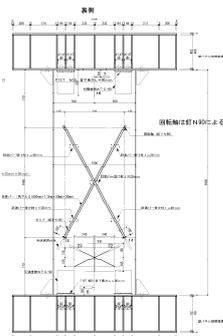
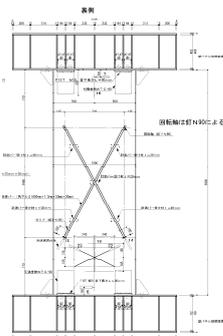
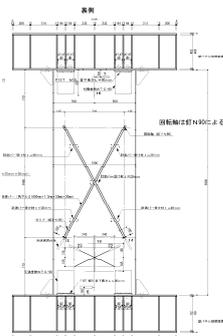
W2-No4のクロスマーク金物仕様における結果も、目標P_{max}以上となっていた。

3.4.2 変位計タスキ計測によるひずみとせん断応力度

(1) 定荷重による試験結果の解析 W1、W2、W3、W4

S60-3-3 L=1000mm $F_s=2.04N/mm^2$

W1

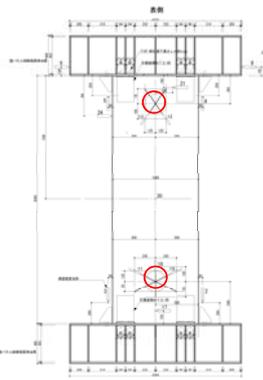
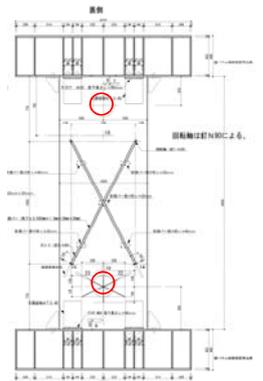
表	水平荷重	鉛直荷重	変位計 No	加力方向	h	ℓ	圧縮 δ	引張 δ	圧縮 δ と 伸び δ の絶対値の平均 Δ	ひずみ γ	せん断弾性係数 G	せん断応力度 $\sigma_s = \gamma \times G$	真の変形	
	kN	kN			mm	mm	mm	mm	mm		N/mm ²	N/mm ²	rad	分数1/d
	28.26	81.63	12・13	→	370	250	-0.232	0.175	0.204	0.0010	500	0.491		
	-28.01	83.50		←	370	250	-0.241	0.123	0.182	0.0009	500	0.439		
	56.77	83.13		→	370	250	-0.433	0.394	0.414	0.0020	500	0.998	0.0059	1/170
	-56.52	84.88		←	370	250	-0.481	0.269	0.375	0.0018	500	0.905	0.0047	1/214
	28.26	81.63	10・11	→	250	490	-0.087	-0.029	0.058	0.0003	500	0.130		
	-28.01	83.50		←	250	490	-0.036	0.087	0.062	0.0003	500	0.138		
	56.77	83.13		→	250	490	-0.275	-0.131	0.203	0.0009	500	0.456		
	-56.52	84.88		←	250	490	-0.044	0.195	0.120	0.0005	500	0.268		
	28.26	81.63	14・15	→	1460	730	0.235	-0.460	0.348	0.0005	500	0.266		
	-28.01	83.50		←	1460	730	0.085	-0.765	0.425	0.0007	500	0.325		
	56.77	83.13		→	1460	730	0.810	-1.100	0.955	0.0015	500	0.731		
	-56.52	84.88		←	1460	730	0.415	-1.420	0.918	0.0014	500	0.703		
	28.26	81.63	22・23	→	250	490	-0.368	0.254	0.311	0.0014	500	0.698		
	-28.01	83.50		←	250	490	-0.304	0.101	0.203	0.0009	500	0.455		
	56.77	83.13		→	250	490	-0.744	0.522	0.633	0.0028	500	1.421		
	-56.52	84.88		←	250	490	-0.703	0.108	0.406	0.0018	500	0.910		

図に示されている開口位置にタスキに変位計を配置し変形量を測定している。

以下の表に記載されているひずみ γ とせん断応力度 σ_s の値は、無開口W1との比較のため参考値として算定している。

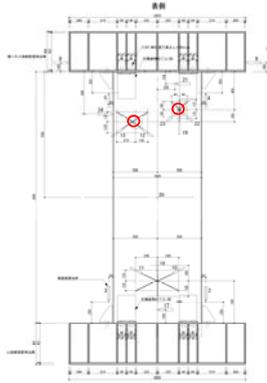
開口廻りの応力ではない。

W2

表	水平荷重	鉛直荷重	変位計 No	加力方向	h	\varnothing	圧縮 δ	引張 δ	圧縮 δ と 伸び δ の絶対 値の 平均 Δ	ひずみ γ	せん断 弾性係 数G	せん断 応力度 σ_s $=\gamma \times G$	真の変形	
	kN	kN			mm	mm	mm	mm	mm		N/mm ²	N/mm ²	rad	分数1/d
	28.01	80.25	12・13	→	370	250	-0.378	0.27	0.324	0.0016	500	0.782		
	-28.01	84.87		←	370	250	-0.343	0.218	0.281	0.0014	500	0.677		
	56.02	83.87		→	370	250	-0.726	0.561	0.644	0.0031	500	1.553	0.0060	1/166
	-56.77	82.62		←	370	250	-0.722	0.508	0.615	0.003	500	1.484	0.0053	1/188
	28.01	80.25	10・11	→	250	490	-0.036	0.146	0.091	0.0004	500	0.204		
	-28.01	84.87		←	250	490	-0.022	0.217	0.120	0.0005	500	0.268		
	56.02	83.87		→	250	490	-0.275	0.27	0.273	0.0012	500	0.612		
	-56.77	82.62		←	250	490	-0.19	0.361	0.276	0.0012	500	0.619		
	28.01	80.25	14・15	→	730	1460	0.020	-0.720	0.370	0.0006	500	0.283		
	-28.01	84.87		←	730	1460	-0.010	-0.865	0.438	0.0007	500	0.335		
	56.02	83.87		→	730	1460	0.505	-1.720	1.113	0.0017	500	0.852		
	-56.77	82.62		←	730	1460	0.480	-1.420	0.950	0.0015	500	0.727		
	28.01	80.25	22・23	→	250	490	-0.469	0.167	0.318	0.0014	500	0.714		
	-28.01	84.87		←	250	490	-0.377	0.043	0.210	0.0009	500	0.472		
	56.02	83.87		→	250	490	-0.845	0.333	0.589	0.0026	500	1.322		
	-56.77	82.62		←	250	490	-0.739	0.195	0.467	0.0021	500	1.049		

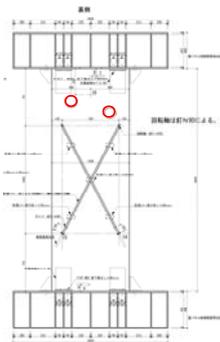
W3

表



水平荷重	鉛直荷重	変位計 No	加力方向	h	φ	圧縮 δ	引張 δ	圧縮 δ と 伸び δ の絶対値の平均	ひずみ γ	せん断弾性係数 G	せん断応力度 $\sigma_s = \gamma \times G$	真の変形
kN	kN			mm	mm	mm	mm	mm		N/mm ²	N/mm ²	rad 分数1/d
28.26	79.12	12・13	→	250	353	-0.189	0.182	0.186	0.0009	500	0.455	
-28.51	79.87		←	250	353	-0.190	0.123	0.157	0.0008	500	0.384	
56.27	83.25		→	250	353	-0.378	0.343	0.361	0.0018	500	0.884	0.0065 1/153
-56.77	81.87		←	250	353	-0.408	0.262	0.335	0.0016	500	0.821	0.0059 1/170
28.26	79.12	22・23	→	180	180	-0.130	0.029	0.080	0.0006	500	0.312	
-28.51	79.87		←	180	180	-0.303	0.159	0.231	0.0018	500	0.907	
56.27	83.25		→	180	180	-0.348	0.166	0.257	0.0020	500	1.010	
-56.77	81.87		←	180	180	-0.578	0.275	0.427	0.0034	500	1.675	
28.26	79.12	10・11	→	250	490	-0.188	0.044	0.116	0.0005	500	0.260	
-28.51	79.87		←	250	490	0.058	0.072	0.065	0.0003	500	0.146	
56.27	83.25		→	250	490	-0.427	-0.036	0.232	0.0010	500	0.520	
-56.77	81.87		←	250	490	0.022	0.260	0.141	0.0006	500	0.317	

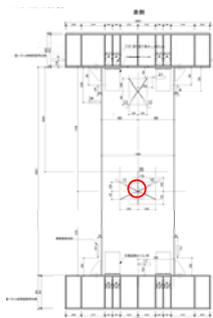
裏



28.26	79.12	14・15	→	1460	730	-0.005	-0.845	0.425	0.0007	500	0.325	
-28.51	79.87		←	1460	730	-0.125	-0.800	0.463	0.0007	500	0.354	
56.27	83.25		→	1460	730	0.440	-1.470	0.955	0.0015	500	0.731	
-56.77	81.87		←	1460	730	0.380	-1.340	0.860	0.0013	500	0.659	

W4

表



裏

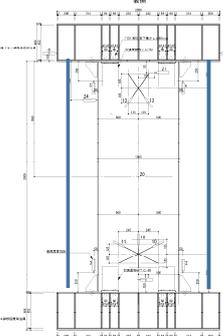


水平荷重	鉛直荷重	変位計 No	加力方 向	h	φ	圧縮 δ	引張 δ	圧縮 δ と 伸び δ の絶対 値の 平均	ひずみ γ	せん断 弾性係 数 G	せん断 応力度 σ_s $= \gamma \times G$	真の変形
kN	kN			mm	mm	mm	mm	mm		N/mm ²	N/mm ²	rad 分数1/d
28.01	82.00	12・13	→	370	250	-0.232	0.146	0.189	0.0009	500	0.456	
-28.51	79.62		←	370	250	-0.182	0.087	0.135	0.0006	500	0.325	
56.27	80.62		→	370	250	-0.458	0.379	0.419	0.0020	500	1.010	0.0073 1/137
-56.02	82.75		←	370	250	-0.459	0.16	0.310	0.0015	500	0.747	0.0057 1/174
28.01	82.00	10・11	→	250	490	-0.253	0.241	0.247	0.0011	500	0.555	
-28.51	79.62		←	250	490	-0.19	0.224	0.207	0.0009	500	0.464	
56.27	80.62		→	250	490	-0.542	0.467	0.505	0.0023	500	1.133	
-56.02	82.75		←	250	490	-0.474	0.448	0.461	0.0021	500	1.035	
28.01	82.00	14・15	→	1460	730	0.205	-0.665	0.435	0.0007	500	0.333	
-28.51	79.62		←	1460	730	0.140	-0.700	0.420	0.0006	500	0.322	
56.27	80.62		→	1460	730	0.820	-1.460	1.140	0.0017	500	0.873	
-56.02	82.75		←	1460	730	0.550	-1.240	0.895	0.0014	500	0.685	

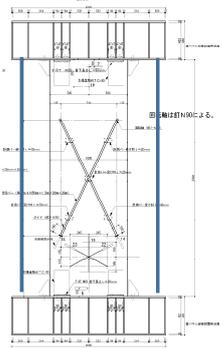
(2) タイロッドによる試験結果の解析 W1、W2、W3、W4

S60-3-3 L=1000mm $F_s=2.04N/mm^2$

W1

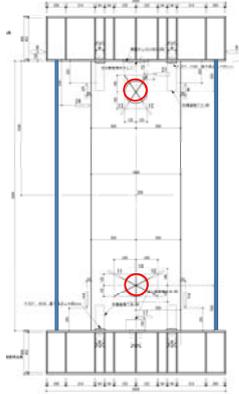
表	水平荷重	鉛直荷重	変位計 No	加力方向	h	φ	圧縮 δ	引張 δ	圧縮 δ と 伸び δ の絶対値の平均	ひずみ γ	せん断弾性係数 G	せん断応力度 $\sigma_s = \gamma \times G$	真の変形	
	kN	kN			mm	mm	mm	mm	mm		N/mm ²	N/mm ²	rad	分数1/d
	28.61	82.62	12・13	→	370	250	-0.203	0.029	0.116	0.0006	500	0.280		
	-28.76	84.00		←	370	250	-0.248	0.065	0.157	0.0008	500	0.378		
	56.77	81.75		→	370	250	-0.305	0.168	0.237	0.0011	500	0.571	0.0030	1/332
	-56.77	85.25		←	370	250	-0.175	0.080	0.128	0.0006	500	0.308	0.0032	1/308
	28.61	82.62	10・11	→	250	490	-0.007	-0.137	0.072	0.0003	500	0.162		
	-28.76	84.00		←	250	490	0.072	0.007	0.040	0.0002	500	0.089		
	56.77	81.75		→	250	490	0.131	-0.311	0.221	0.001	500	0.496		
	-56.77	85.25		←	250	490	0.051	-0.306	0.179	0.0008	500	0.401		

裏

	28.61	82.62	14・15	→	1460	730	-0.145	-0.555	0.350	0.0005	500	0.268		
	-28.76	84.00		←	1460	730	-0.100	-0.560	0.330	0.0005	500	0.253		
	56.77	81.75		→	1460	730	-0.255	-1.400	0.828	0.0013	500	0.634		
	-56.77	85.25		←	1460	730	-0.010	-0.890	0.450	0.0007	500	0.345		
	28.61	82.62	22・23	→	250	490	-0.217	0.072	0.145	0.0006	500	0.324		
	-28.76	84.00		←	250	490	-0.261	-0.029	0.145	0.0007	500	0.326		
	56.77	81.75		→	250	490	-0.383	0.072	0.228	0.001	500	0.511		
	-56.77	85.25		←	250	490	-0.283	0.051	0.167	0.0007	500	0.375		

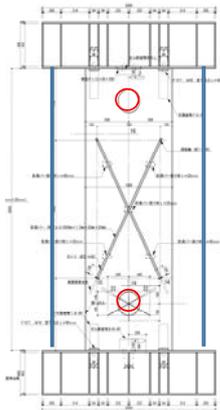
W2

表



水平荷重	鉛直荷重	変位計 No	加力方向	h	ℓ	圧縮 δ	引張 δ	圧縮 δ と 伸び δ の絶対値の平均	ひずみ γ	せん断弾性係数 G	せん断応力度 σ _s = γ × G	真の変形
kN	kN			mm	mm	mm	mm	mm		N/mm ²	N/mm ²	rad 分数1/d
28.26	81.50	12・13	→	370	250	-0.283	0.095	0.189	0.0009	500	0.456	
-29.01	80.50		←	370	250	-0.241	0.174	0.208	0.001	500	0.501	
56.77	79.50		→	370	250	-0.479	0.343	0.411	0.0020	500	0.992	0.0030 1/337
-56.77	78.00		←	370	250	-0.452	0.414	0.433	0.0021	500	1.045	0.0032 1/309
		10・11	→	250	490	-0.087	0.211	0.149	0.0007	500	0.335	
			←	250	490	-0.117	0.21	0.164	0.0007	500	0.367	
			→	250	490	-0.354	0.554	0.454	0.0020	500	1.019	
			←	250	490	-0.168	0.665	0.417	0.0019	500	0.935	

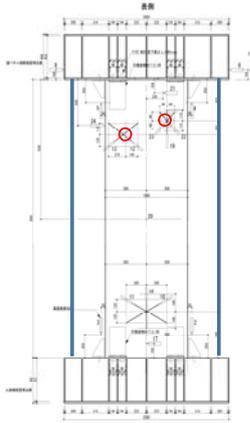
裏



28.26	81.50	14・15	→	730	1460	-0.195	-0.930	0.563	0.0009	500	0.431	
-29.01	80.50		←	730	1460	-0.255	-0.510	0.383	0.0006	500	0.293	
56.77	79.50		→	730	1460	-0.270	-1.880	1.075	0.0016	500	0.823	
-56.77	78.00		←	730	1460	-0.315	-1.245	0.780	0.0012	500	0.597	
28.26	81.50	22・23	→	250	490	-0.426	0.109	0.268	0.0012	500	0.601	
-29.01	80.50		←	250	490	-0.340	-0.036	0.188	0.0008	500	0.422	
56.77	79.50		→	250	490	-0.816	0.080	0.448	0.0020	500	1.006	
-56.77	78.00		←	250	490	-0.790	-0.007	0.399	0.0018	500	0.895	

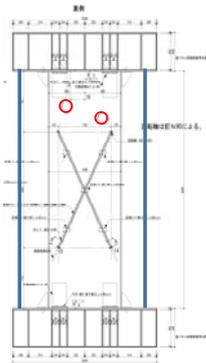
W3

表



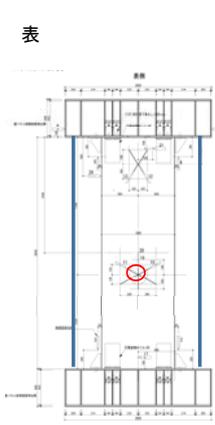
水平荷重	鉛直荷重	変位計 No	加力方向	h	ℓ	圧縮 δ	引張 δ	圧縮 δ と 伸び δ の絶対値の平均	ひずみ γ	せん断弾性係数 G	せん断応力度 σ _s = γ × G	真の変形
kN	kN			mm	mm	mm	mm	mm		N/mm ²	N/mm ²	rad 分数1/d
28.01	81.00	12・13	→	250	353	-0.203	0.211	0.207	0.0010	500	0.507	
-28.01	78.13		←	250	353	-0.036	0.015	0.026	0.0001	500	0.062	
56.02	79.25		→	250	353	-0.334	0.401	0.368	0.0018	500	0.901	0.0033 1/301
-56.77	79.37		←	250	353	-0.175	0.167	0.171	0.0008	500	0.419	0.0036 1/281
28.01	81.00	22・23	→	180	180	-0.065	0.123	0.094	0.0007	500	0.369	
-28.01	78.13		←	180	180	-0.202	0.188	0.195	0.0015	500	0.766	
56.02	79.25		→	180	180	-0.145	0.310	0.228	0.0018	500	0.894	
-56.77	79.37		←	180	180	-0.303	0.377	0.340	0.0027	500	1.336	
28.01	81.00	10・11	→	250	490	-0.108	0.073	0.091	0.0004	500	0.203	
-28.01	78.13		←	250	490	0.044	0.202	0.123	0.0006	500	0.276	
56.02	79.25		→	250	490	-0.260	0.241	0.251	0.0011	500	0.562	
-56.77	79.37		←	250	490	-0.066	0.383	0.225	0.001	500	0.504	

裏

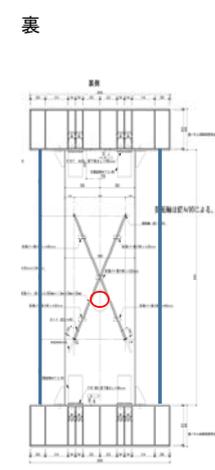


28.01	81.00	14・15	→	1460	730	-0.240	-0.785	0.513	0.0008	500	0.392	
-28.01	78.13		←	1460	730	-0.325	-0.850	0.588	0.0009	500	0.450	
56.02	79.25		→	1460	730	-0.240	-1.695	0.968	0.0015	500	0.741	
56.77	79.37		←	1460	730	-0.230	-1.565	0.898	0.0014	500	0.687	

W4



水平荷重	鉛直荷重	変位計 No	加力方向	h	φ	圧縮 δ	引張 δ	圧縮 δ と 伸び δ の絶対値の平均 Δ	ひずみ γ	せん断弾性係数 G	せん断応力度 σ _s = γ × G	真の変形	
kN	kN			mm	mm	mm	mm	mm		N/mm ²	N/mm ²	rad	分数1/d
28.51	79.00	12・13	→	370	250	-0.102	0.095	0.099	0.0005	500	0.238		
-28.51	78.62		←	370	250	-0.102	0.138	0.120	0.0006	500	0.290		
56.27	80.50		→	370	250	-0.196	0.182	0.189	0.0009	500	0.456	0.0031	1/322
-56.77	80.87		←	370	250	-0.146	0.247	0.197	0.0009	500	0.474	0.0037	1/268
28.51	79.00	10・11	→	250	490	-0.188	0.277	0.233	0.0010	500	0.522		
-28.51	78.62		←	250	490	-0.109	0.289	0.199	0.0009	500	0.447		
56.27	80.50		→	250	490	-0.477	0.576	0.527	0.0024	500	1.182		
-56.77	80.87		←	250	490	-0.408	0.549	0.479	0.0021	500	1.074		



28.51	79.00	14・15	→	1460	730	-0.370	-0.630	0.500	0.0008	500	0.383		
-28.51	78.62		←	1460	730	-0.250	-1.090	0.670	0.001	500	0.513		
56.27	80.50		→	1460	730	-0.325	-1.600	0.963	0.0015	500	0.737		
-56.77	80.87		←	1460	730	-0.665	-1.825	1.245	0.0019	500	0.953		

(3) クロスマーク金物による試験結果の解析 W2

W2

	水平荷重	鉛直荷重	変位計 No	加力方向	h	φ	圧縮 δ	引張 δ	圧縮 δ と伸び δ の絶対値の平均	ひずみ γ	せん断弾性係数 G	せん断応力度 $\sigma_s = \gamma \times G$	真の変形
	kN	kN			mm	mm	mm	mm	mm		N/mm ²	N/mm ²	rad 分数1/d
表	28.01	177.25	12・13	→	370	250	-0.581	0.058	0.320	0.0015	500	0.771	
	-28.51	164.25		←	370	250	-0.569	0.109	0.339	0.0016	500	0.818	
	41.06	260.62	→	370	250	-0.879	0.139	0.509	0.0025	500	1.229	0.0019 1/536	
	-41.76	245.12	←	370	250	-0.824	0.167	0.496	0.0024	500	1.196	0.0027 1/368	
	64.52	254.25	→	370	250	-1.308	0.488	0.898	0.0043	500	2.168		
	28.01	177.25	10・11	→	250	490	-0.036	0.087	0.062	0.0003	500	0.138	
	-28.51	164.25		←	250	490	0.066	0.181	0.124	0.0006	500	0.277	
	41.06	260.62	→	250	490	-0.087	0.117	0.102	0.0005	500	0.229		
	-41.76	245.12	←	250	490	0.022	0.325	0.174	0.0008	500	0.390		
	64.52	254.25	→	250	490	-0.34	-0.102	0.221	0.001	500	0.496		
裏	28.01	177.25	14・15	→	730	1460	-0.510	-1.500	1.005	0.0015	500	0.770	
	-28.51	164.25		←	730	1460	-0.240	-1.060	0.650	0.001	500	0.498	
	41.06	260.62	→	730	1460	-0.700	-2.395	1.548	0.0024	500	1.185		
	-41.76	245.12	←	730	1460	-0.310	-1.605	0.958	0.0015	500	0.733		
	64.52	254.25	→	730	1460	-0.460	-3.350	1.905	0.0029	500	1.459		
	28.01	177.25	22・23	→	250	490	-0.570	0.029	0.300	0.0013	500	0.672	
	-28.51	164.25		←	250	490	-0.355	0.007	0.181	0.0008	500	0.406	
	41.06	260.62	→	250	490	-0.881	0.029	0.455	0.0020	500	1.022		
	-41.76	245.12	←	250	490	-0.536	-0.022	0.279	0.0013	500	0.626		
	64.52	254.25	→	250	490	-1.307	0.348	0.828	0.0037	500	1.858		

(4) 水平加力試験の解析結果のまとめ

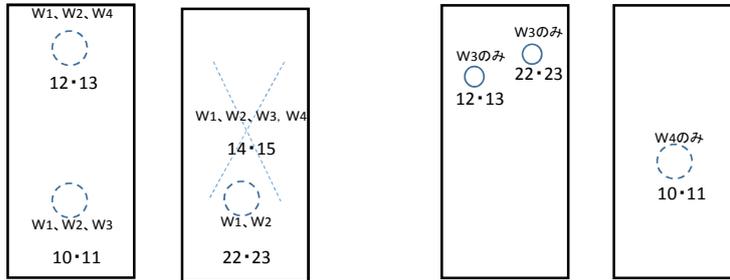
① 定荷重載荷試験結果まとめ

変位計タスキ計測の値からひずみ求めせん断応力度を $G=500\text{N/mm}^2$ として算定した。

無開口W1に対する参考値としてW2、W3、W4について、せん断応力度に数値を記載した。

表 裏 表 裏

変位計タスキ測定箇所図

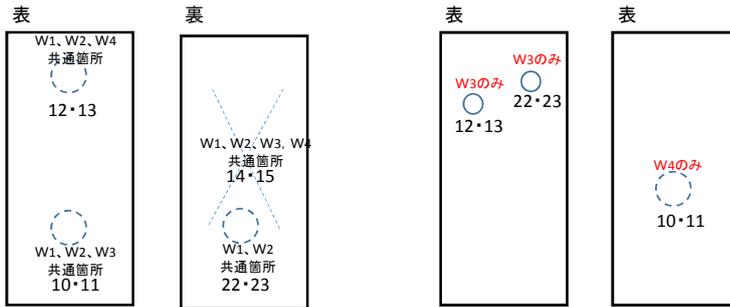


定荷重載荷タイプ

試験体No		W1-No3		W2-No1		W3-No3		W4-No1	
加力方向		→	←	→	←	→	←	→	←
水平荷重 kN		28.26	-28.01	28.01	-28.01	28.26	-28.51	28.01	-28.51
鉛直荷重 kN		81.63	83.50	80.25	84.87	79.12	79.87	82.00	79.62
変形	rad	-	-	-	-	-	-	-	-
	1/d	-	-	-	-	-	-	-	-
せん断応力度 N/mm^2	10・11	0.130	0.138	0.204	0.268	0.260	0.146	-	-
	12・13	0.491	0.439	0.782	0.677	-	-	0.456	0.325
	14・15	0.266	0.325	0.283	0.335	0.325	0.354	0.333	0.322
	22・23	0.698	0.455	0.714	0.472	-	-	-	-

試験体No		W1-No3		W2-No1		W3-No3		W4-No1	
加力方向		→	←	→	←	→	←	→	←
水平荷重 kN		56.77	-56.52	56.02	-56.77	56.27	-56.77	56.27	-56.02
鉛直荷重 kN		83.13	84.88	83.87	82.62	83.25	81.87	80.62	82.75
変形	rad	0.0059	0.0047	0.006	0.0053	0.0065	0.0059	0.0073	0.0057
	1/d	1/170	1/214	1/166	1/188	1/153	1/170	1/137	1/174
せん断応力度 N/mm^2	10・11	0.456	0.268	0.612	0.268	0.520	0.317	-	-
	12・13	0.998	0.905	1.553	1.484	-	-	1.010	0.747
	14・15	0.731	0.703	0.852	0.727	0.731	0.659	0.873	0.685
	22・23	1.421	0.910	1.322	1.049	-	-	-	-

変位計タスキ測定箇所図



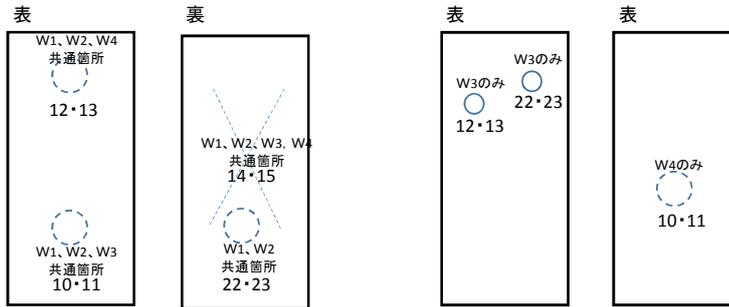
定荷重载荷タイプ

試験体No		W3-No3		W4-No1	
加力方向		→	←	→	←
水平荷重 kN		28.26	-28.51	28.01	-28.51
鉛直荷重 kN		79.12	79.87	82.00	79.62
変形	rad	-	-	-	-
	1/d	-	-	-	-
せん断応力度 N/mm ²	10・11	-	-	0.555	0.464
	12・13	0.455	0.384	-	-
	22・23	0.312	0.907	-	-

試験体No		W3-No3		W4-No1	
加力方向		→	←	→	←
水平荷重 kN		56.27	-56.77	56.27	-56.02
鉛直荷重 kN		83.25	81.87	80.62	82.75
変形	rad	0.0065	0.0059	0.0073	0.0057
	1/d	1/153	1/170	1/137	1/174
せん断応力度 N/mm ²	10・11	-	-	1.133	1.035
	12・13	0.884	0.821	-	-
	22・23	1.010	1.675	-	-

② タイロッド試験結果まとめ

変位計タスキ測定箇所図

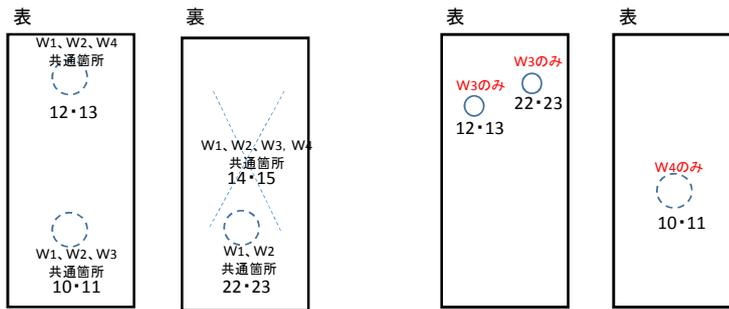


タイロッドタイプ

試験体No		W1-No4		W2-No5		W3-No4		W4-No4	
加力方向		→	←	→	←	→	←	→	←
水平荷重 kN		28.61	-28.76	28.26	-29.01	28.01	-28.01	28.51	-28.51
鉛直荷重 kN		82.62	84.00	81.50	80.50	81.00	78.13	79.00	78.62
変形	rad	-	-	-	-	-	-	-	-
	1/d	-	-	-	-	-	-	-	-
せん断応力度 N/mm ²	10・11	0.162	0.089	0.335	0.367	0.203	0.276	-	-
	12・13	0.280	0.378	0.456	0.501	-	-	0.238	0.290
	14・15	0.268	0.253	0.431	0.293	0.392	0.450	0.383	0.513
	22・23	0.324	0.326	0.601	0.422	-	-	-	-

試験体No		W1-No4		W2-No5		W3-No4		W4-No4	
加力方向		→	←	→	←	→	←	→	←
水平荷重 kN		56.77	-56.77	56.77	-56.77	56.02	-56.77	56.27	-56.77
鉛直荷重 kN		81.75	85.25	79.50	78.00	79.25	79.37	80.50	80.87
変形	rad	0.003	0.0032	0.003	0.0032	0.0033	0.0036	0.0031	0.0037
	1/d	1/332	1/308	1/337	1/309	1/301	1/281	1/322	1/268
せん断応力度 N/mm ²	10・11	0.496	0.401	1.019	0.935	0.562	0.504	-	-
	12・13	0.571	0.308	0.992	1.045	-	-	0.456	0.474
	14・15	0.634	0.345	0.823	0.597	0.741	0.687	0.737	0.953
	22・23	0.511	0.375	1.006	0.895	-	-	-	-

変位計タスキ測定箇所図



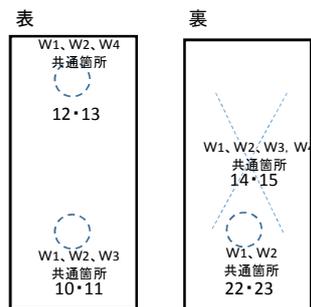
タイロッドタイプ

試験体No		W3-No4		W4-No4	
加力方向		→	←	→	←
水平荷重 kN		28.01	-28.01	28.51	-28.51
鉛直荷重 kN		81.00	78.13	79.00	78.62
変形	rad	-	-	-	-
	1/d	-	-	-	-
せん断応力度 N/mm ²	10・11	-	-	0.522	0.447
	12・13	0.507	0.507	-	-
	22・23	0.369	0.766	-	-

試験体No		W3-No4		W4-No4	
加力方向		→	←	→	←
水平荷重 kN		56.02	-56.77	56.27	-56.77
鉛直荷重 kN		79.25	79.37	80.50	80.87
変形	rad	0.0033	0.0036	0.0031	0.0037
	1/d	1/301	1/281	1/322	1/268
せん断応力度 N/mm ²	10・11	-	-	1.182	1.074
	12・13	0.901	0.419	-	-
	22・23	0.894	1.336	-	-

③ クロスマーク仕様試験結果まとめ

変位計タスキ測定箇所図



クロスマーク仕様タイプ

試験体No		W2	
加力方向		→	←
水平荷重 kN		28.01	-28.51
鉛直荷重 kN		177.25	164.25
変形	rad	-	-
	1/d	-	-
せん断応力度 N/mm ²	10・11	0.138	0.277
	12・13	0.771	0.818
	14・15	0.770	0.498
	22・23	0.672	0.406

試験体No		W2	
加力方向		→	←
水平荷重 kN		41.06	-41.76
鉛直荷重 kN		260.62	245.12
変形	rad	0.0019	0.0027
	1/d	1/536	1/368
せん断応力度 N/mm ²	10・11	0.229	0.390
	12・13	1.229	1.196
	14・15	1.185	0.733
	22・23	1.022	0.626

試験体No		W2	
加力方向		→	←
水平荷重 kN		64.52	-
鉛直荷重 kN		254.25	-
変形	rad	-	-
	1/d	-	-
せん断応力度 N/mm ²	10・11	0.496	-
	12・13	2.168	-
	14・15	1.459	-
	22・23	1.858	-

(5) 水平加力試験結果の考察

1) 無開口壁W1と有開口壁W2のデータ解析

- ① Pdmax=65kNを最大加力荷重と想定し、定荷重は、80 k Nと設定し試験を実施したが、下記の荷重となっていた。

	水平荷重	鉛直荷重
W1	P d =56.77 k N	N =83.13 k N
W2	P d =56.02 k N	N =83.87 k N

荷重に差が生じているが、データの比較においては大きな影響がないと思われる。

② 壁の変形

W1	0.0059rad	1/170
W2	0.0060rad	1/166

変形は、同程度の値となっていることから、ルート1でW2を耐力壁として用いても、支障は生じることが無いと思われる。

③ 無開口壁W1のせん断応力度

せん断応力度は、壁の幅方向に等分布と仮定するとき

$$\tau_{w1等} = (56.77 \times 1000) / (90 \times 1000) = 0.63 \text{N/mm}^2$$

放物線分布と仮定するとき

$$\tau_{w1放} = 1.5 \times (56.77 \times 1000) / (90 \times 1000) = 0.95 \text{N/mm}^2$$

いずれも基準せん断応力度 $F_s = 2.04 \text{N/mm}^2$ 以下であることが確認される。

④ 計測したせん断ひずみ

W1は、56.77 k N、W4は、56.02 k Nの時点とする。

W1 上部Φ250想定位置	$\epsilon 1 =$	0.00200	
W2 上部Φ250位置	$\epsilon 2 =$	0.00311	$\epsilon 2 / \epsilon 1 = 1.556$

W1 下部Φ250想定位置	$\epsilon 1 =$	0.00091		
W2 下部Φ250位置	$\epsilon 2 =$	0.00122	$\epsilon 2 / \epsilon 1 =$	1.342
W1 壁中央部	$\epsilon 1 =$	0.00146		
W2 壁中央部	$\epsilon 2 =$	0.00170	$\epsilon 2 / \epsilon 1 =$	1.166

⑤ 考察

無開口壁W1と比較した場合は、せん断ひずみは大きくなる傾向がみられるが、最も大きな比となる上部開口Φ250の位置において耐力壁として支障がないかを考えた場合に、せん断応力度がひずみに比例すると仮定した場合、W1に対して約1.56倍が、有開口壁W2のせん断応力度と想定されることから、次の値となる。

- ・せん断応力度は、壁の幅方向に等分布と仮定するとき

$$\tau_{w2} = (56.77 \times 1000) / (90 \times 1000) \times 1.556 = 0.98 \text{ N/mm}^2$$

- ・放物線分布と仮定するとき

$$\tau_{w2} = 1.5 \times (56.77 \times 1000) / (90 \times 1000) \times 1.556 = 1.48 \text{ N/mm}^2$$

上記の数値は、共にせん断基準強度 $F_s = 2.04 \text{ N/mm}^2$ 以下となっており、かつ、 $P_d = 56.02 \text{ kN}$ を超え脚部金物部分で破壊を生じて加力を止めた最大加力 $P = 111.54 \text{ kN}$ までの間では、開口周辺にひび割れなど発生していないことから、ルート1では、W2を有開口耐力壁として扱えると思われる。

2) 無開口壁W1と有開口壁W3のデータ解析

- ① $P_{dmax} = 65 \text{ kN}$ を最大加力荷重と想定し、定荷重は、 80 kN と設定し試験を実施したが、下記の荷重となっていた。

	水平荷重	鉛直荷重
W1	$P_d = 56.77 \text{ kN}$	$N = 83.13 \text{ kN}$
W3	$P_d = 56.27 \text{ kN}$	$N = 83.25 \text{ kN}$

荷重に差が生じているが、データの比較においては大きな影響がないと思われる。

② 壁の変形

W1	0.0059rad	1/170
W3	0.0065rad	1/153

変形は、同程度の値となっていることから、ルート1では有開口耐力壁として扱えると思われる。

③ 計測したせん断ひずみ

W1 上部Φ250想定位置	$\epsilon 1 =$	0.00200	
W3 上部右Φ150位置	$\epsilon 3R =$	0.00202	$\epsilon 3R / \epsilon 1 = 1.012$
上部左Φ150位置	$\epsilon 3L =$	0.00177	$\epsilon 3L / \epsilon 1 = 0.886$
W1 W2の下部Φ250想定位置	$\epsilon 1 =$	0.00091	
W3 W2の下部Φ250想定位置	$\epsilon 3 =$	0.00104	$\epsilon 3 / \epsilon 1 = 1.140$
W1 壁中央部	$\epsilon 1 =$	0.00146	
W3 壁中央部	$\epsilon 3 =$	0.00146	$\epsilon 3 / \epsilon 1 = 1.000$

④ 考察

無開口壁W1と比較した場合は、せん断ひずみは大きくなる傾向がみられるが、最も大きな比となる下部開口Φ250の想定位置において耐力壁として支障がないかを考えた場合に、せん断応力度がひずみに比例すると仮定した場合、W1に対して約1.14倍が、有開口壁W3のせん断応力度と想定されることから、次の値となる。

- ・せん断応力度は、壁の幅方向に等分布と仮定するとき

$$\tau_{w3等} = (56.77 \times 1000) / (90 \times 1000) \times 1.14 = 0.72 \text{N/mm}^2$$

- ・放物線分布と仮定するとき

$$\tau_{w3放} = 1.5 \times (56.77 \times 1000) / (90 \times 1000) \times 1.14 = 1.08 \text{N/mm}^2$$

上記の数値は、共にせん断基準強度 $F_s = 2.04 \text{N/mm}^2$ 以下となっており、かつ、 $P_d = 56.27 \text{kN}$ を超え脚部金物部分で破壊を生じて加力を止めた最大加力 $P = 82.75 \text{kN}$ までの間では、開口周辺にひび割れなど発生していないことから、ルート1では、W3を有開口耐力壁として扱えると思われる。

3) 無開口壁W1と有開口壁W4のデータ解析

- ① $P_{dmax}=65kN$ を最大加力荷重と想定し、定荷重は、 $80kN$ と設定し試験を実施したが、下記の荷重となっていた。

	水平荷重	鉛直荷重
W1	$P_d = 56.77 kN$	$N = 83.13 kN$
W4	$P_d = 56.27 kN$	$N = 80.62 kN$

荷重に差が生じているが、データの比較においては大きな影響がないと思われる。

- ② 壁の変形は下記となっていた。

W1	$0.0059 rad$	$1/170$
W4	$0.0073 rad$	$1/137$

変形は、大きくなっているが $1/120$ 以下の変形であることから、ルート1でW2を耐力壁として用いても、支障は生じることが無いと思われる。

- ③ ひずみより算定したせん断応力度は、下記となっている。

W1 上部 $\Phi 250$ 想定位置	$\epsilon_1 =$	0.00200	
W4 上部 $\Phi 250$ 位置	$\epsilon_4 =$	0.00202	$\epsilon_4 / \epsilon_1 = 1.012$
W1 下部 $\Phi 250$ 想定位置	$\epsilon_1 =$	0.00091	
W4 $\Phi 250$ 位置壁下端から 開口芯まで1220mm	$\epsilon_4 =$	0.00226	$\epsilon_4 / \epsilon_1 = 2.478$
W1 壁中央部	$\epsilon_1 =$	0.00146	
W4 壁中央部	$\epsilon_4 =$	0.00175	$\epsilon_4 / \epsilon_1 = 1.194$

④ 考察

無開口壁W1と比較した場合は、せん断ひずみは大きくなる傾向がみられるが、最も大きな比となる下部開口Φ250の想定位置において耐力壁として支障がないかを考えるとき、せん断応力度がひずみに比例すると仮定した場合は、W1に対して約2.48倍が、有開口壁W4のせん断応力度と想定され、次の値となる。

- ・せん断応力度は、壁の幅方向に等分布と仮定するとき

$$\tau_{w4等} = (56.77 \times 1000) / (90 \times 1000) \times 2.48 = 1.56 \text{N/mm}^2$$

- ・放物線分布と仮定するとき

$$\tau_{w4放} = 1.5 \times (56.77 \times 1000) / (90 \times 1000) \times 2.47 = 2.35 \text{N/mm}^2$$

等分布と仮定した場合は、せん断基準強度 $F_s = 2.04 \text{N/mm}^2$ 以下となっているが、W4の開口Φ250位置における放物線分布の場合は、 $\angle 0.31 \text{N/mm}^2$ が超えることになった。

しかし、試験における観察では、脚部金物部分で破壊を生じて加力を止めた最大加力 $P = 91.53 \text{kN}$ までの間で、せん断応力の集中などによる開口周辺のひび割れが発生することはなかった。

このことは、最大荷重のときに最も不利な数値となる放物線分布としてせん断応力度を想定すると $91.53/56.77 \times 2.35 = 3.79 \text{N/mm}^2$ となり、基準せん断応力度の約1.86倍が作用していたと考えられる。

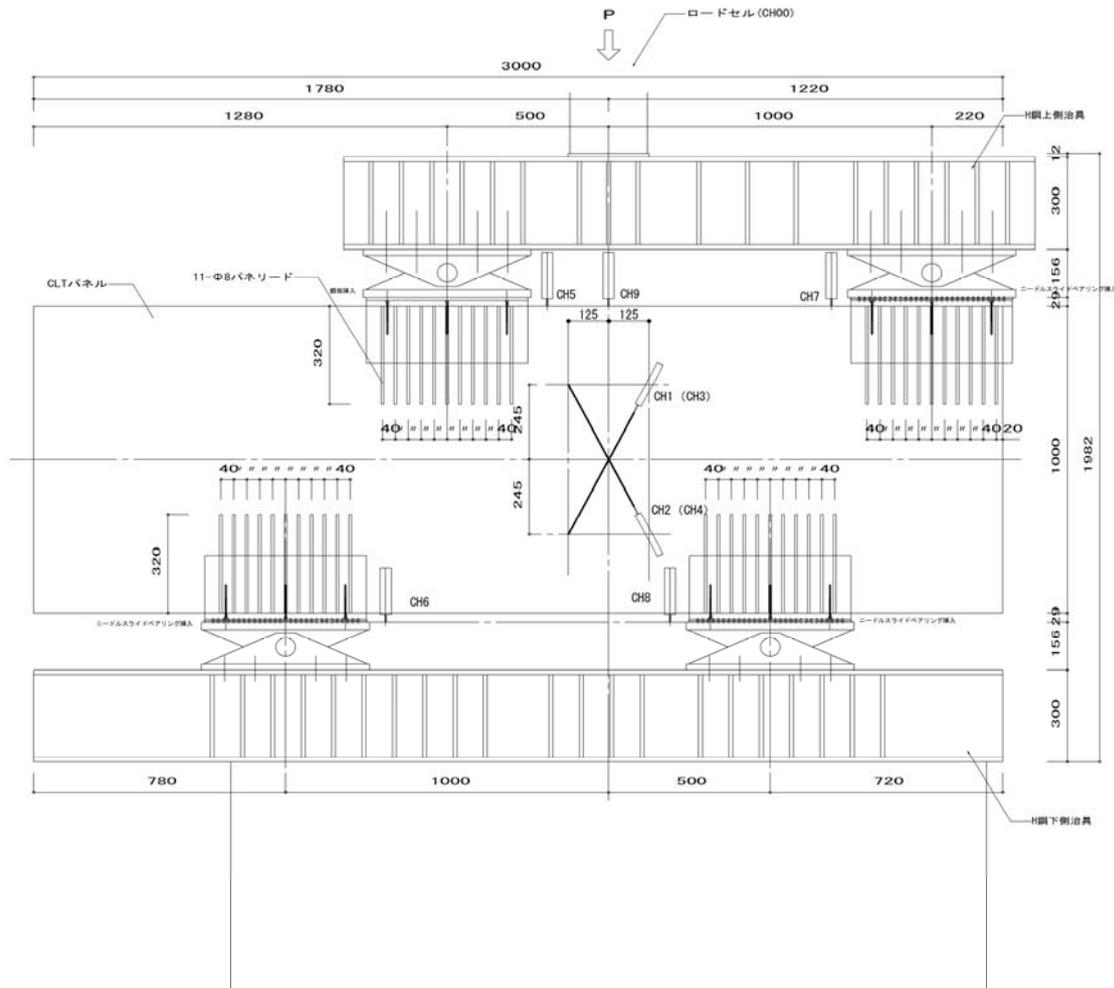
しかし、開口周辺に損傷が発生していないことから考えると、試験体のCLTの強度が、基準よりかなり高い値となっていたと想定される。

1つの要因としては、もともとの基準値 F_s に安全率が考慮されていること、もう1つは試験体にラミナの強度が高いものが用いられていたことによって強度が高い状況になったと思われる。

上記のことを考慮すると、実際に製造されるCLTは、かなり余裕のある応力状態にあると判断されるため、ルート1でW4を有開口耐力壁として扱うことに構造上の支障はないと思われる。

3.5 供試CLTのせん断性能を参考で確認するための4点曲げ試験

3.5.1 4点曲げ試験結果W1

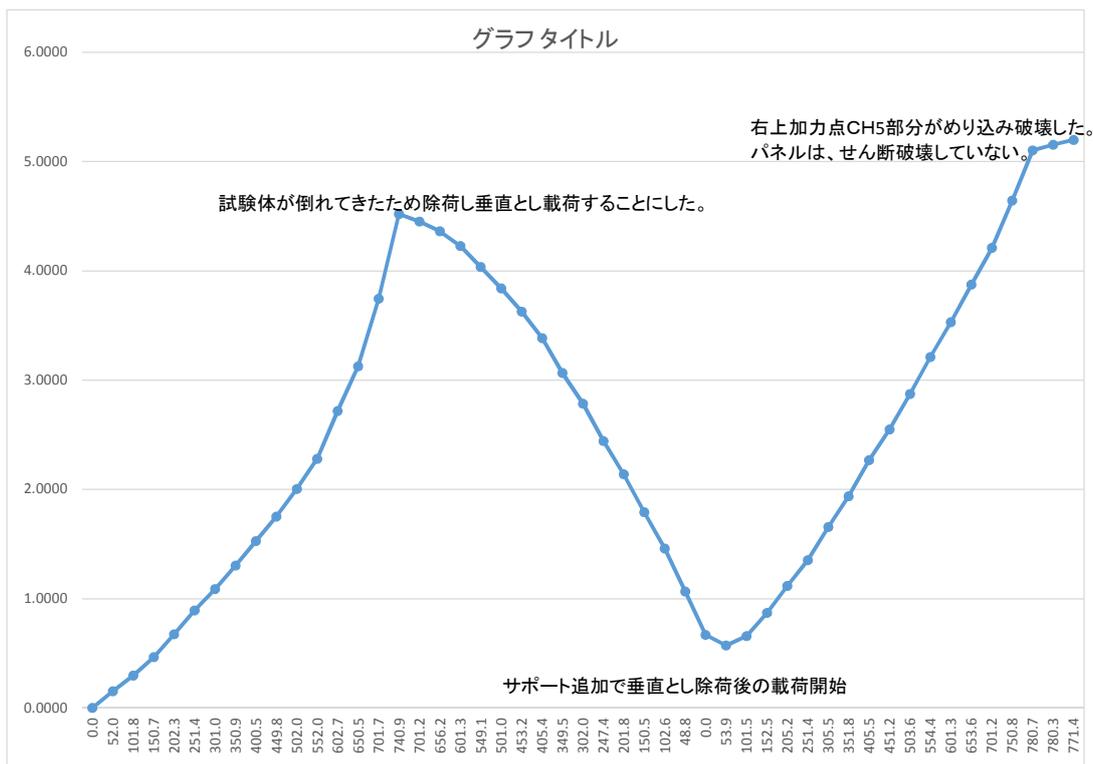


W1 有開口耐力壁せん断曲げ試験

右上加力,右下支点 左上加力,左下支点

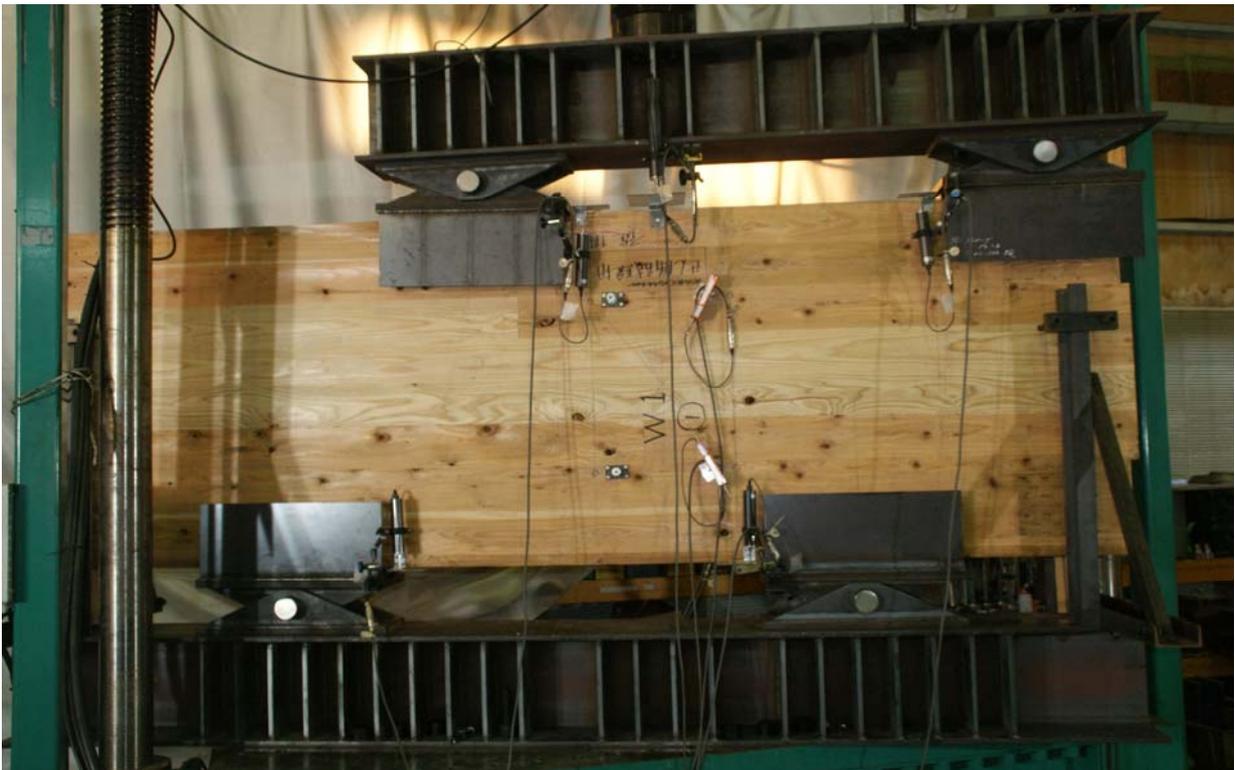
計測ステ ッ	測定日時	(CH0)荷	(CH01)S	(CH02)S	(CH03)S	(CH04)S	(CH05)C	(CH06)C	(CH07)C	(CH08)C	(CH09)C
		重	DP-50CT	DP-50CT	DP-50CT	DP-50CT	DP-50	DP-50	DP-50	DP-50	DP-100
		kN	mm								
10	2019/2/26 15:52	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
66	2019/2/26 15:53	52.046	-0.160	-0.430	0.220	0.220	-0.530	-0.025	-0.085	-0.200	1.050
83	2019/2/26 15:53	101.816	-0.200	-0.640	0.360	0.270	-0.550	-0.070	-0.030	-0.305	1.050
97	2019/2/26 15:53	150.735	-0.180	-0.760	0.450	0.200	-0.695	-0.100	-0.035	-0.370	1.650
111	2019/2/26 15:53	202.281	-0.130	-0.890	0.540	0.100	-0.850	-0.120	-0.050	-0.435	2.140
124	2019/2/26 15:54	251.401	-0.050	-1.010	0.630	0.000	-1.035	-0.145	-0.065	-0.490	2.670
137	2019/2/26 15:54	301.020	0.000	-1.120	0.710	-0.110	-1.215	-0.150	-0.085	-0.530	3.230
150	2019/2/26 15:54	350.890	0.070	-1.240	0.790	-0.220	-1.440	-0.155	-0.120	-0.555	3.840
163	2019/2/26 15:54	400.535	0.150	-1.360	0.870	-0.340	-1.685	-0.155	-0.165	-0.580	4.520
176	2019/2/26 15:54	449.805	0.220	-1.480	0.950	-0.470	-1.970	-0.155	-0.230	-0.590	5.240
190	2019/2/26 15:55	501.976	0.300	-1.610	1.050	-0.610	-2.340	-0.135	-0.315	-0.590	6.100
204	2019/2/26 15:55	552.046	0.400	-1.750	1.150	-0.760	-2.885	-0.100	-0.425	-0.560	7.160
219	2019/2/26 15:55	602.716	0.550	-1.930	1.330	-1.030	-3.505	-0.040	-0.555	-0.530	8.310
236	2019/2/26 15:55	650.535	0.750	-2.040	1.430	-1.350	-4.785	0.105	-0.855	-0.385	10.510
257	2019/2/26 15:56	701.731	1.090	-2.150	1.560	-1.870	-6.510	0.310	-1.355	-0.180	13.510
302	2019/2/26 15:56	740.871	2.040	-1.400	1.290	-3.320	-13.240	1.320	-3.575	0.795	24.210
332	2019/2/26 15:57	701.155	2.570	-0.420	0.610	-4.330	-18.595	2.275	-5.820	1.705	31.600
402	2019/2/26 15:58	656.187	2.700	-0.170	0.430	-4.470	-19.075	2.265	-5.980	1.715	32.120
410	2019/2/26 15:58	601.315	2.640	-0.160	0.420	-4.310	-18.340	2.095	-5.700	1.590	30.540
422	2019/2/26 15:59	549.070	2.520	-0.160	0.420	-4.090	-17.440	1.905	-5.385	1.445	28.620
428	2019/2/26 15:59	501.000	2.390	-0.170	0.420	-3.860	-16.595	1.750	-5.105	1.330	26.910
434	2019/2/26 15:59	453.181	2.240	-0.210	0.420	-3.590	-15.705	1.610	-4.825	1.220	25.170
440	2019/2/26 15:59	405.387	2.070	-0.260	0.410	-3.290	-14.770	1.485	-4.545	1.125	23.440
447	2019/2/26 15:59	349.465	1.840	-0.300	0.400	-2.920	-13.660	1.355	-4.220	1.030	21.420
453	2019/2/26 15:59	302.021	1.650	-0.320	0.390	-2.600	-12.750	1.255	-3.950	0.965	19.750
460	2019/2/26 15:59	247.449	1.420	-0.350	0.360	-2.220	-11.660	1.145	-3.650	0.895	17.830
466	2019/2/26 15:59	201.831	1.220	-0.360	0.330	-1.900	-10.740	1.060	-3.390	0.835	16.180
473	2019/2/26 16:00	150.460	0.980	-0.380	0.270	-1.560	-9.670	0.965	-3.070	0.780	14.290
480	2019/2/26 16:00	102.566	0.760	-0.380	0.230	-1.230	-8.585	0.885	-2.755	0.745	12.400
489	2019/2/26 16:00	48.845	0.500	-0.370	0.180	-0.850	-7.295	0.865	-2.430	0.740	10.100
512	2019/2/26 16:00	0.000	0.200	-0.480	0.160	-0.350	-6.590	0.780	-1.785	0.665	5.580
569	2019/2/26 17:00	53.922	-0.010	-0.530	-0.040	-0.440	-3.850	0.040	-2.210	-0.105	5.290
576	2019/2/26 17:00	101.466	0.050	-0.530	0.010	-0.580	-4.050	0.045	-2.355	-0.145	6.150
583	2019/2/26 17:00	152.486	0.180	-0.530	0.050	-0.790	-4.600	0.055	-2.510	-0.180	7.150
590	2019/2/26 17:00	205.232	0.310	-0.570	0.100	-1.010	-5.145	0.060	-2.670	-0.205	8.180
596	2019/2/26 17:00	251.350	0.420	-0.610	0.160	-1.220	-5.585	0.060	-2.810	-0.220	9.110
603	2019/2/26 17:01	305.522	0.570	-0.680	0.240	-1.460	-6.130	0.060	-2.975	-0.225	10.120
609	2019/2/26 17:01	351.816	0.700	-0.740	0.320	-1.690	-6.625	0.070	-3.125	-0.230	11.040
616	2019/2/26 17:01	405.537	0.860	-0.800	0.410	-1.970	-7.805	0.105	-3.300	-0.230	12.180
622	2019/2/26 17:01	451.205	1.000	-0.840	0.480	-2.220	-8.350	0.140	-3.465	-0.225	13.170
629	2019/2/26 17:01	503.551	1.170	-0.840	0.560	-2.550	-9.045	0.195	-3.655	-0.200	14.440
636	2019/2/26 17:01	554.397	1.350	-0.860	0.620	-2.890	-9.785	0.260	-3.865	-0.170	15.770
644	2019/2/26 17:01	601.290	1.510	-0.850	0.690	-3.240	-10.535	0.325	-4.085	-0.135	17.160
654	2019/2/26 17:01	653.586	1.710	-0.760	0.750	-3.680	-11.500	0.425	-4.355	-0.095	18.930
664	2019/2/26 17:02	701.180	1.900	-0.640	0.810	-4.150	-12.550	0.545	-4.645	-0.035	20.720
676	2019/2/26 17:02	750.825	2.160	-0.430	0.890	-4.790	-13.965	0.755	-5.035	0.060	23.180
688	2019/2/26 17:02	780.687	2.510	0.000	0.910	-5.670	-16.110	1.050	-5.425	0.175	26.530
689	2019/2/26 17:02	780.312	2.540	0.070	0.940	-5.770	-16.385	1.075	-5.450	0.190	26.970
690	2019/2/26 17:02	771.433	2.610	0.330	0.840	-6.140	-16.955	1.100	-5.390	-0.355	19.850

計測ステップ	測定日時	(CH0)荷重	上側相対平均 (CH1,3)	下側相対平均 (CH2,4)	伸縮絶対値の平均	ひずみ	せん断応力 N/mm ²
		kN	mm	mm			
10	2019/2/26 15:52	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000
66	2019/2/26 15:53	52.046	0.030	-0.105	0.068	0.000	0.1516
83	2019/2/26 15:53	101.816	0.080	-0.185	0.133	0.001	0.2975
97	2019/2/26 15:53	150.735	0.135	-0.280	0.208	0.001	0.4659
111	2019/2/26 15:53	202.281	0.205	-0.395	0.300	0.001	0.6736
124	2019/2/26 15:54	251.401	0.290	-0.505	0.398	0.002	0.8925
137	2019/2/26 15:54	301.020	0.355	-0.615	0.485	0.002	1.0890
150	2019/2/26 15:54	350.890	0.430	-0.730	0.580	0.003	1.3023
163	2019/2/26 15:54	400.535	0.510	-0.850	0.680	0.003	1.5268
176	2019/2/26 15:54	449.805	0.585	-0.975	0.780	0.004	1.7513
190	2019/2/26 15:55	501.976	0.675	-1.110	0.893	0.004	2.0039
204	2019/2/26 15:55	552.046	0.775	-1.255	1.015	0.005	2.2789
219	2019/2/26 15:55	602.716	0.940	-1.480	1.210	0.005	2.7168
236	2019/2/26 15:55	650.535	1.090	-1.695	1.393	0.006	3.1265
257	2019/2/26 15:56	701.731	1.325	-2.010	1.668	0.007	3.7440
302	2019/2/26 15:56	740.871	1.665	-2.360	2.013	0.009	4.5186
332	2019/2/26 15:57	701.155	1.590	-2.375	1.983	0.009	4.4512
402	2019/2/26 15:58	656.187	1.565	-2.320	1.943	0.009	4.3614
410	2019/2/26 15:58	601.315	1.530	-2.235	1.883	0.008	4.2267
422	2019/2/26 15:59	549.070	1.470	-2.125	1.798	0.008	4.0359
428	2019/2/26 15:59	501.000	1.405	-2.015	1.710	0.008	3.8394
434	2019/2/26 15:59	453.181	1.330	-1.900	1.615	0.007	3.6261
440	2019/2/26 15:59	405.387	1.240	-1.775	1.508	0.007	3.3847
447	2019/2/26 15:59	349.465	1.120	-1.610	1.365	0.006	3.0648
453	2019/2/26 15:59	302.021	1.020	-1.460	1.240	0.006	2.7841
460	2019/2/26 15:59	247.449	0.890	-1.285	1.088	0.005	2.4417
466	2019/2/26 15:59	201.831	0.775	-1.130	0.953	0.004	2.1386
473	2019/2/26 16:00	150.460	0.625	-0.970	0.798	0.004	1.7906
480	2019/2/26 16:00	102.566	0.495	-0.805	0.650	0.003	1.4594
489	2019/2/26 16:00	48.845	0.340	-0.610	0.475	0.002	1.0665
512	2019/2/26 16:00	0.000	0.180	-0.415	0.298	0.001	0.6880
569	2019/2/26 17:00	53.922	-0.025	-0.485	0.255	0.001	0.5725
576	2019/2/26 17:00	101.466	0.030	-0.555	0.293	0.001	0.6567
583	2019/2/26 17:00	152.486	0.115	-0.660	0.388	0.002	0.8700
590	2019/2/26 17:00	205.232	0.205	-0.790	0.498	0.002	1.1170
596	2019/2/26 17:00	251.350	0.290	-0.915	0.603	0.003	1.3528
603	2019/2/26 17:01	305.522	0.405	-1.070	0.738	0.003	1.6559
609	2019/2/26 17:01	351.816	0.510	-1.215	0.863	0.004	1.9365
616	2019/2/26 17:01	405.537	0.635	-1.385	1.010	0.005	2.2677
622	2019/2/26 17:01	451.205	0.740	-1.530	1.135	0.005	2.5484
629	2019/2/26 17:01	503.551	0.865	-1.695	1.280	0.006	2.8739
636	2019/2/26 17:01	554.397	0.985	-1.875	1.430	0.006	3.2107
644	2019/2/26 17:01	601.290	1.100	-2.045	1.573	0.007	3.5307
654	2019/2/26 17:01	653.586	1.230	-2.220	1.725	0.008	3.8731
664	2019/2/26 17:02	701.180	1.355	-2.395	1.875	0.008	4.2099
676	2019/2/26 17:02	750.825	1.525	-2.610	2.068	0.009	4.6421
688	2019/2/26 17:02	780.687	1.710	-2.835	2.273	0.010	5.1024
689	2019/2/26 17:02	780.312	1.740	-2.850	2.295	0.010	5.1529
690	2019/2/26 17:02	771.433	1.725	-2.905	2.315	0.010	5.1978





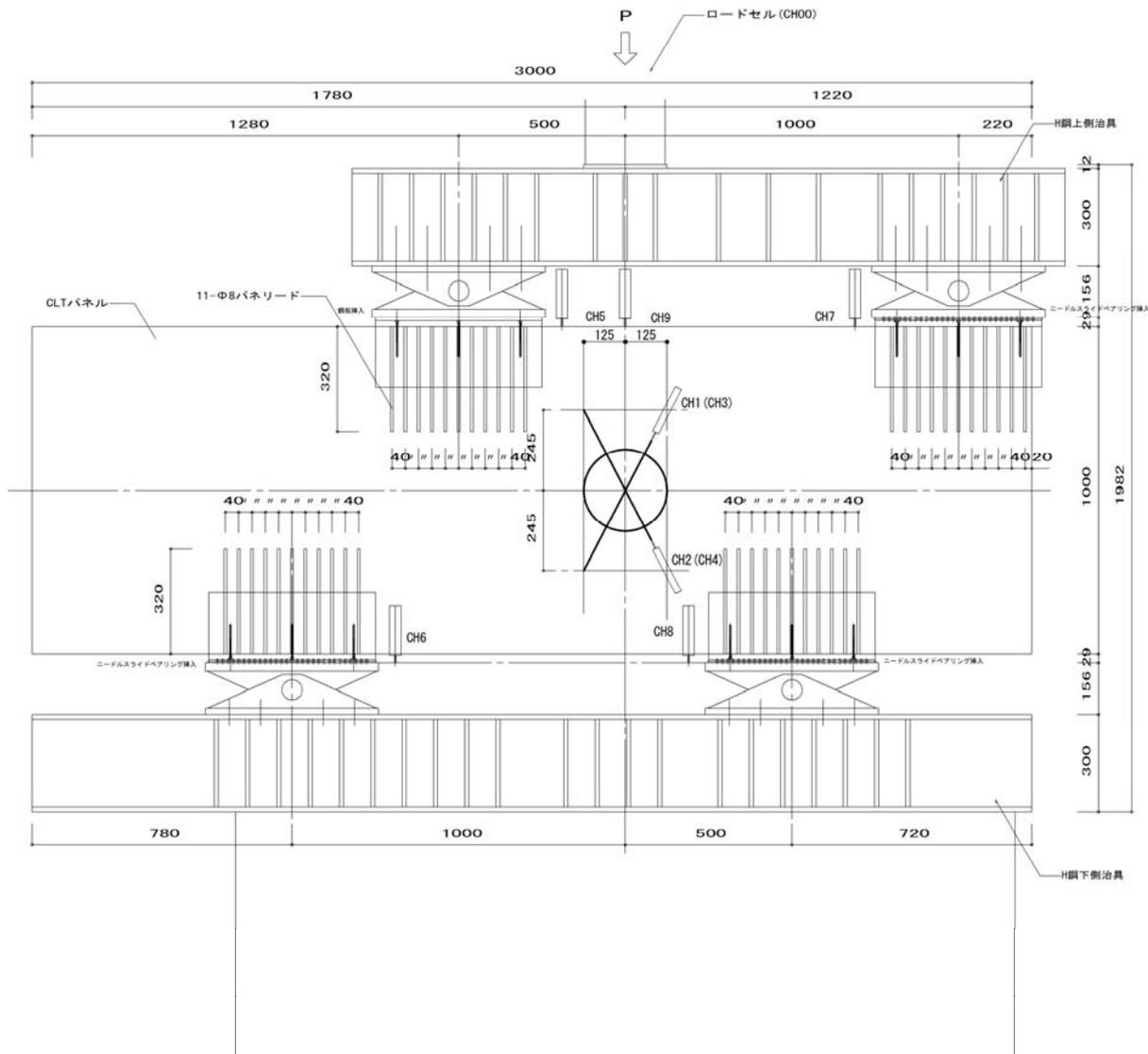
加力前



加力後



3.5.2 4点曲げ試験結果 W4

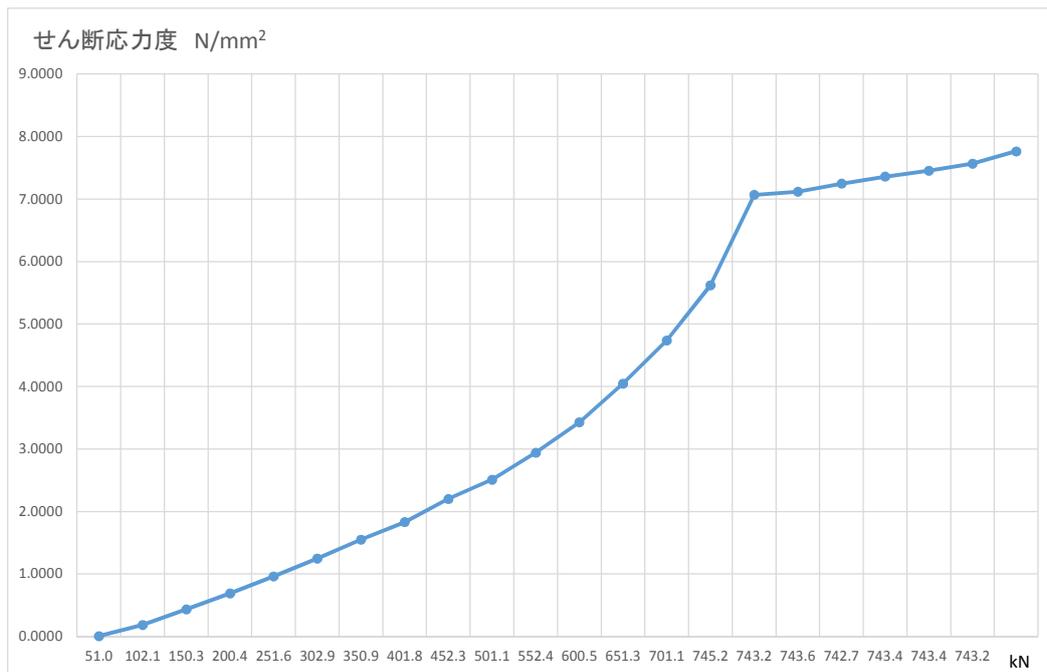


W4 有開口耐力壁せん断曲げ試験

右上加力点 右下支点 左上加力点 左下支点

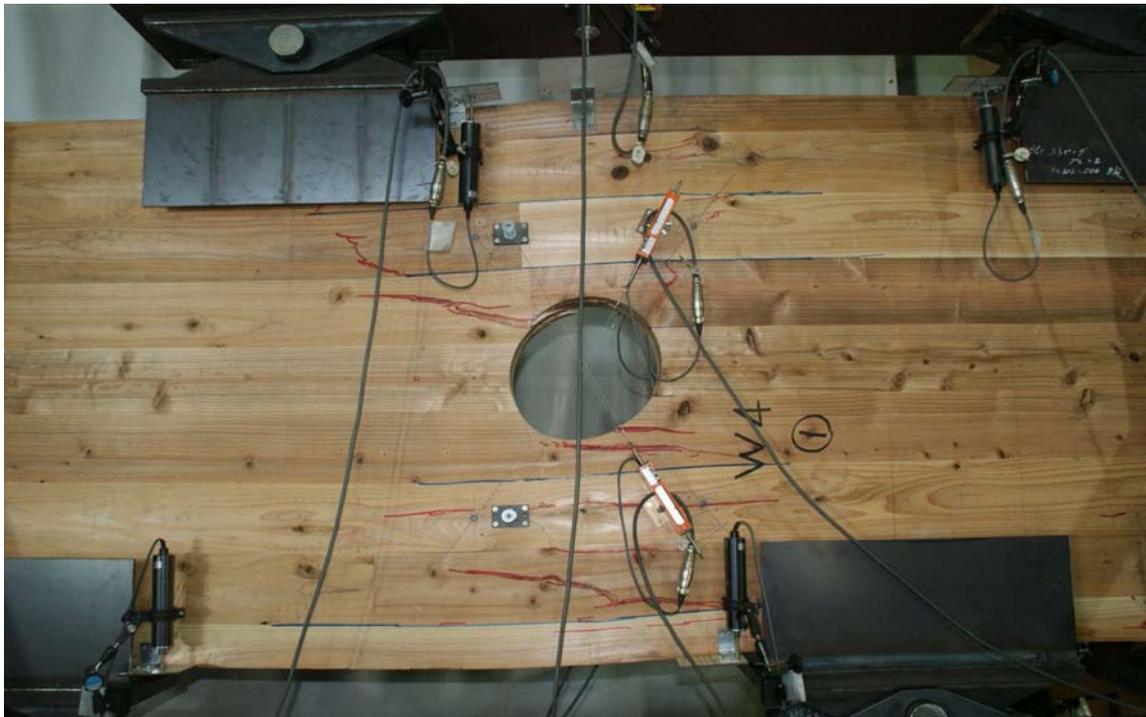
計測ステップ	測定日時	(CH0)荷重 kN	(CH01)SDP -50CT mm	(CH02)SDP -50CT mm	(CH03)SDP -50CT mm	(CH04)SDP -50CT mm	(CH05)CDP -50 mm	(CH06)CDP -50 mm	(CH07)CDP -50 mm	(CH08)CDP -50 mm	(CH09)CDP -100 mm
13	2019/2/26 13:46	0	0	0	-0.01	0	-0.015	0	0	-0.005	0.130
32	2019/2/26 13:46	51.020	-0.010	-0.350	0.090	0.100	-0.620	-0.065	-0.820	-0.375	0.630
49	2019/2/26 13:46	102.116	0.060	-0.550	0.190	0.030	-0.815	-0.130	-1.105	-0.470	1.260
64	2019/2/26 13:46	150.260	0.130	-0.720	0.310	-0.070	-0.950	-0.195	-1.170	-0.550	1.730
79	2019/2/26 13:47	200.430	0.200	-0.910	0.430	-0.170	-1.090	-0.245	-1.225	-0.620	2.200
94	2019/2/26 13:47	251.551	0.270	-1.110	0.560	-0.280	-1.245	-0.275	-1.280	-0.675	2.680
109	2019/2/26 13:47	302.871	0.340	-1.310	0.710	-0.400	-1.410	-0.295	-1.340	-0.730	3.210
123	2019/2/26 13:47	350.865	0.390	-1.510	0.860	-0.500	-1.575	-0.295	-1.390	-0.765	3.730
138	2019/2/26 13:48	401.761	0.470	-1.770	1.070	-0.610	-1.775	-0.295	-1.460	-0.805	4.350
153	2019/2/26 13:48	452.256	0.530	-2.000	1.240	-0.700	-1.975	-0.285	-1.525	-0.815	4.930
168	2019/2/26 13:48	501.100	0.620	-2.310	1.500	-0.810	-2.205	-0.260	-1.600	-0.820	5.640
184	2019/2/26 13:48	552.446	0.740	-2.620	1.800	-0.950	-2.475	-0.215	-1.690	-0.795	6.350
200	2019/2/26 13:49	600.515	0.910	-3.010	2.160	-1.130	-2.770	-0.165	-1.785	-0.755	7.190
218	2019/2/26 13:49	651.310	1.110	-3.430	2.570	-1.330	-3.140	-0.090	-1.925	-0.685	8.270
240	2019/2/26 13:49	701.055	1.330	-4.000	3.190	-1.490	-3.855	0.135	-2.270	-0.445	10.420
265	2019/2/26 13:50	745.173	1.850	-4.740	4.120	-1.880	-4.695	0.415	-2.685	-0.175	13.090
266	2019/2/26 13:50	743.197	1.980	-4.680	4.100	-1.920	-4.720	0.440	-2.785	-0.160	13.940
267	2019/2/26 13:50	743.622	1.960	-4.710	4.220	-2.020	-4.655	0.465	-2.825	-0.135	14.030
268	2019/2/26 13:50	742.722	2.100	-4.770	4.240	-2.000	-4.680	0.485	-2.860	-0.125	14.160
269	2019/2/26 13:50	743.397	2.160	-4.800	4.300	-2.020	-4.705	0.505	-2.890	-0.110	14.330
270	2019/2/26 13:50	743.422	2.220	-4.840	4.370	-2.050	-4.730	0.520	-2.930	-0.100	14.380
271	2019/2/26 13:50	743.222	2.320	-4.940	4.500	-2.070	-4.745	0.535	-2.965	-0.110	14.440
272	2019/2/26 13:50	736.294	15.130	-6.490	19.300	-2.230	-14.180	4.625	-4.125	-4.375	18.590

計測ステップ	測定日時	(CH0)荷重 kN	上側 平均 (CH1,3) mm	下側 平均 (CH2,4) mm	伸縮絶対 値の平均 mm	ひずみ	せん断応 力度 N/mm ²
13	2019/2/26 13:46	0.000	-0.005	0.000	0.003	1.123E-05	0.0056
32	2019/2/26 13:46	51.020	0.040	-0.125	0.083	0.0004	0.1852
49	2019/2/26 13:46	102.116	0.125	-0.260	0.193	0.0009	0.4322
64	2019/2/26 13:46	150.260	0.220	-0.395	0.308	0.0014	0.6904
79	2019/2/26 13:47	200.430	0.315	-0.540	0.428	0.0019	0.9599
94	2019/2/26 13:47	251.551	0.415	-0.695	0.555	0.0025	1.2461
109	2019/2/26 13:47	302.871	0.525	-0.855	0.690	0.0031	1.5492
123	2019/2/26 13:47	350.865	0.625	-1.005	0.815	0.0037	1.8299
138	2019/2/26 13:48	401.761	0.770	-1.190	0.980	0.0044	2.2004
153	2019/2/26 13:48	452.256	0.885	-1.350	1.118	0.0050	2.5091
168	2019/2/26 13:48	501.100	1.060	-1.560	1.310	0.0059	2.9413
184	2019/2/26 13:48	552.446	1.270	-1.785	1.528	0.0069	3.4296
200	2019/2/26 13:49	600.515	1.535	-2.070	1.803	0.0081	4.0471
218	2019/2/26 13:49	651.310	1.840	-2.380	2.110	0.0095	4.7375
240	2019/2/26 13:49	701.055	2.260	-2.745	2.503	0.0112	5.6188
265	2019/2/26 13:50	745.173	2.985	-3.310	3.148	0.0141	7.0670
266	2019/2/26 13:50	743.197	3.040	-3.300	3.170	0.0142	7.1175
267	2019/2/26 13:50	743.622	3.090	-3.365	3.228	0.0145	7.2466
268	2019/2/26 13:50	742.722	3.170	-3.385	3.278	0.0147	7.3589
269	2019/2/26 13:50	743.397	3.230	-3.410	3.320	0.0149	7.4543
270	2019/2/26 13:50	743.422	3.295	-3.445	3.370	0.0151	7.5666
271	2019/2/26 13:50	743.222	3.410	-3.505	3.458	0.0155	7.7630





加力前



試験後

3.5.3 供試CLTのせん断強度とせん断剛性

(1) 載荷荷重とひずみの比較

①W1の荷重とひずみ

荷重No	(CH0)荷重	上側 相 対平均 (CH1, 3)	下側 相 対平均 (CH2, 4)	伸縮絶対 値の平均 △	ひずみ	せん断応 力度
		mm	mm	mm		N/mm ²
100	101.816	0.080	-0.185	0.133	0.001	0.297
200	202.281	0.205	-0.395	0.300	0.001	0.674
300	301.020	0.355	-0.615	0.485	0.002	1.089
400	400.535	0.510	-0.850	0.680	0.003	1.527
500	501.976	0.675	-1.110	0.893	0.004	2.004
600	601.290	1.100	-2.045	1.573	0.007	3.531
700	701.180	1.355	-2.395	1.875	0.008	4.210
750	750.825	1.525	-2.610	2.068	0.009	4.642
Pmax	780.687	1.710	-2.835	2.273	0.010	5.102

②W4の荷重とひずみ

荷重No	(CH0)荷重	上側 相 対平均 (CH1, 3)	下側 相 対平均 (CH2, 4)	伸縮絶対 値の平均 △	ひずみ	せん断応 力度
		mm	mm	mm		N/mm ²
100	102.116	0.125	-0.260	0.193	0.0009	0.432
200	200.430	0.315	-0.540	0.428	0.0019	0.960
300	302.871	0.525	-0.855	0.690	0.0031	1.549
400	401.761	0.770	-1.190	0.980	0.0044	2.200
500	501.100	1.060	-1.560	1.310	0.0059	2.941
600	600.515	1.535	-2.070	1.803	0.0081	4.047
700	701.055	2.260	-2.745	2.503	0.0112	5.619
Pmax	745.173	2.985	-3.310	3.148	0.0141	7.067

③W1とW4の荷重とタスキ測定の変形の比較

荷重No	W1の変形 の平均値 mm	W4の変形 の平均値 mm	W変形/W1変形	
100	0.133	0.193	1.453	
200	0.300	0.428	1.425	
300	0.485	0.690	1.423	
400	0.680	0.980	1.441	No100～No500の平均
500	0.893	1.310	1.468	1.442
600	1.573	1.803	1.146	
700	1.875	2.503	1.335	
750	2.068	3.148	1.522	W4はPmaxの値を設定

無開口W1と比較して有開口W4は、およそ1.45倍のひずみが生じている。
荷重Noの600と700は、W1の試験において試験体が外側に湾曲してきたため
試験体を740kNから除荷し、鉛直に再セットして加力再開したことから
W1の変形数値が正しく測定されていないことで小さくなっていると考えられる。
荷重No750では、正常に復帰したと思われる。

有開口W4は、無開口W1に対して変形が平均で1.44倍で推移していること
から、せん断応力度は、W1の1.44倍と想定される。

ここで、有開口W4のせん断破壊時のPmax=745.17kNにおけるせん断応力度を
算定すると以下の値となる。

$$\tau = P_{\max} / (2A) = (745.17 \times 1000) / (2 \times 90 \times (1000 - 250)) = 5.520 \text{ N/mm}^2$$

従って、W1のせん断強さは、 $5.52 \times 1.44 = 7.95 \text{ N/mm}^2$ と想定され

対角の変形からひずみ ϵ を算定し、せん断弾性係数を求めると

$$(h^2 + L^2)^{0.5} / (h \times L) \times \Delta = (250^2 + 490^2)^{0.5} / (250 \times 490) \times 2.068$$

$$\text{ひずみ } \epsilon = 0.00929$$

$G = 7.95 / 0.00929 = 855.8 \text{ N/mm}^2$ となる。

せん断弾性係数は、約1.71倍であることが想定される。

3.6 CLT の圧縮試験

参考として供試 CLT の圧縮強度を短柱圧縮試験で求めた。

1. 試験体

試験体は、CLT 構造試験体から切り出した試験片で外観及び寸法等を写真 1.1 に示す。試験体数は全 10 体である。



樹種 : スギ
強度等級 : S60-3-3
長さ : 400mm
断面幅 : 120mm
断面厚さ : 90mm

写真 1.1 試験体の外観と概要

2. 試験方法

試験は万能試験機(UH-2000kNC, 株式会社島津製作所製)により 1000kN/5V のレンジで加力を行った。加力に際しては、最大荷重に達した後、その最大荷重の 7 割程度に荷重が低下した時点で実験を終了した。

荷重と変位の計測に当たっては万能試験機の電圧出力を使用すると共に、定格出力 30mm (5,000 μ) のひずみ変換型変位計 (DTK-A-30, 株式会社共和電業製) を用いて試験体表層ラミナの表面 (右) と裏面 (左) の圧縮方向の変位量を計測した。標点間距離は試験体長の 2 分の 1 (200mm) とした。併せて、表面及び裏面のそれぞれ中央部の圧縮方向のひずみをひずみゲージ (PFL-30-11-3LJCT-F, 株式会社東京測器研究所製) にて計測した。

いずれのデータも、データロガー (DTH-A-100, 株式会社共和電業製) を介してパーソナルコンピュータにて収録を行った。試験体の設置状況を写真 2.1 に示す。

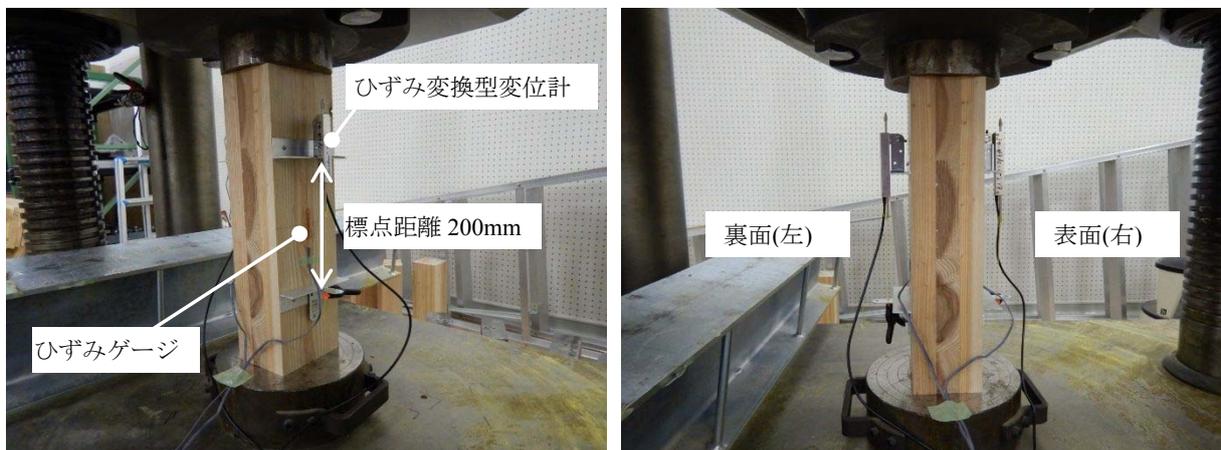


写真 2.1 試験体の設置状況

3. 試験結果

試験結果を表 3.1 に一括して掲げると共に、各数値の関係を図 3.1 に示す。各試験体の応力度－ひずみ度曲線は図 3.2 に示すとおりである。各試験体の最終状況を写真 3.3～3.12 に示す。

表 3.1 試験結果の一覧

試験体名	密度 ρ (kg/m ³)	圧縮強度 σ_c (N/mm ²)	圧縮ヤング係数 E_c		
			ひずみゲージ (10 ³ N/mm ²)	ひずみ変換型 変位計 (10 ³ N/mm ²)	加力機 変位出力 (10 ³ N/mm ²)
W1-②	429	30.4	5.15	5.37	4.18
W1-③	395	29.2	7.21	6.94	5.15
W2-①	421	28.0	5.11	4.69	4.05
W2-②	416	30.4	4.88	5.65	4.22
W2-③	393	26.9	4.70	4.67	3.57
W3-①	400	26.1	4.45	4.02	3.28
W3-②	432	33.0	5.98	6.06	3.49
W3-③	419	25.6	4.44	4.38	3.70
W4-②	422	25.7	4.61	4.49	3.46
W4-③	407	28.4	5.24	5.39	4.29
平均値	413	28.4	5.18	5.17	3.94
標準偏差	13.7	2.41	0.85	0.89	0.56
変動係数	3.31%	8.49%	16.4%	17.2%	14.1%

【備考】圧縮ヤング係数の算出に当たっては、最大荷重の 10%時と 40%時の応力度とひずみ度を用いた。

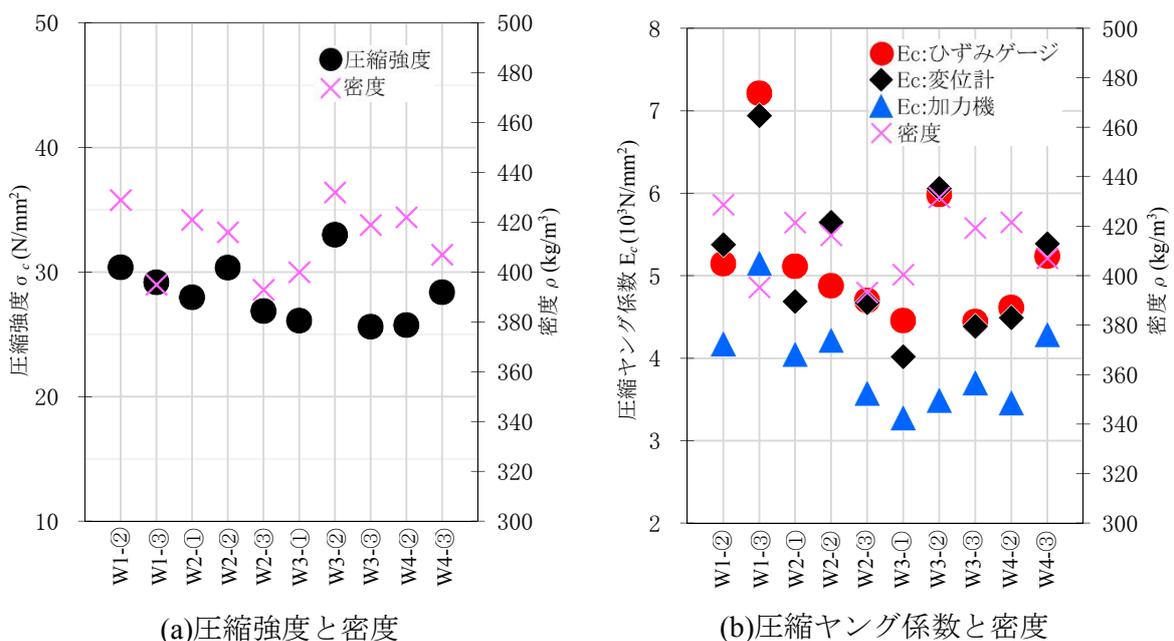


図 3.1 各試験体の密度・圧縮強度及び圧縮ヤング係数

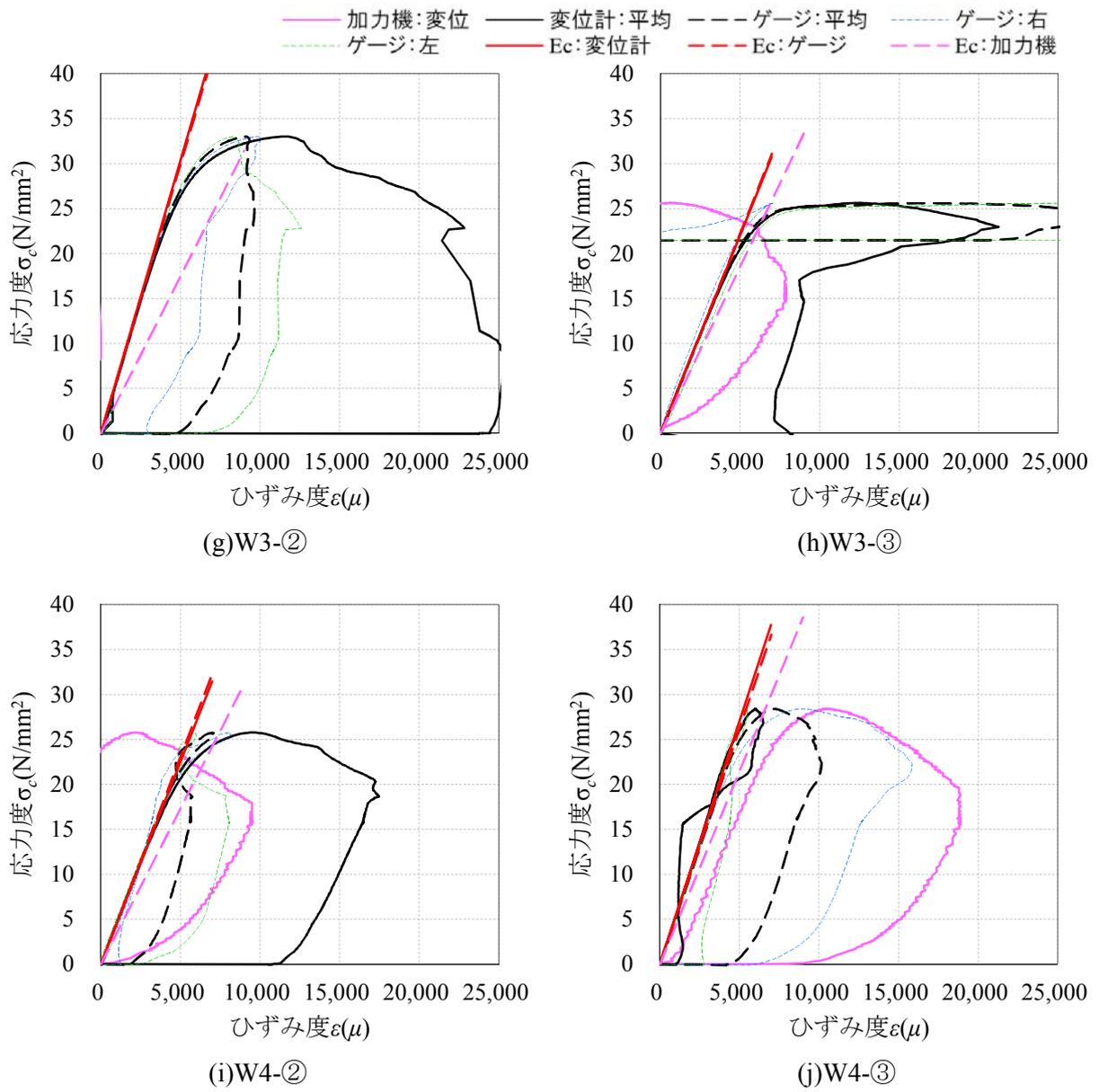


図 3.2 応力度—ひずみ度曲線 (2)



写真 3.3 試験体 W1-2 の最終破壊状況



写真 3.4 試験体 W1-③の最終破壊状況

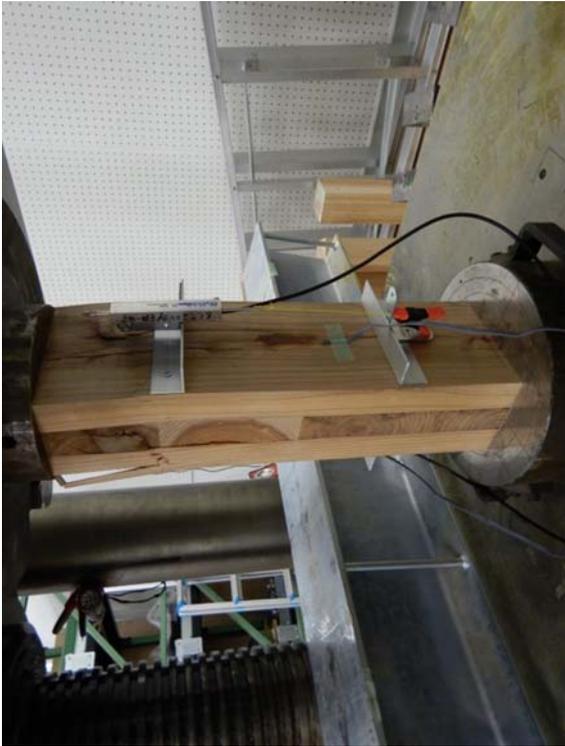


写真 3.5 試験体 W2-①の最終破壊状況

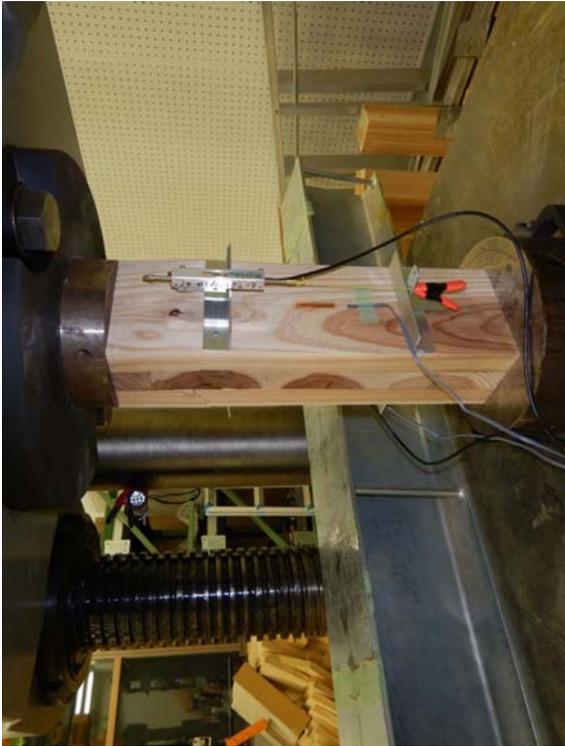


写真 3.6 試験体 W2-②の最終破壊状況



写真 3.7 試験体 W2-③の最終破壊状況

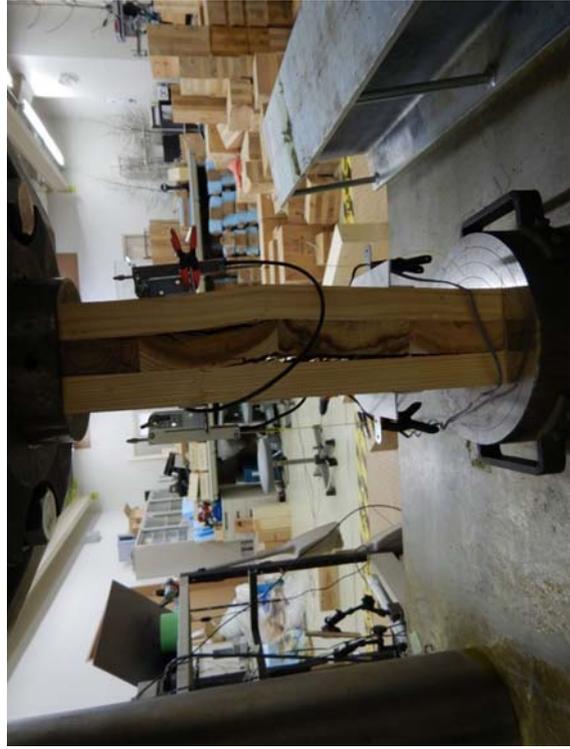


写真 3.8 試験体 W3-①の最終破壊状況



写真 3.9 試験体 W3-②の最終破壊状況



写真 3.10 試験体 W3-③の最終破壊状況

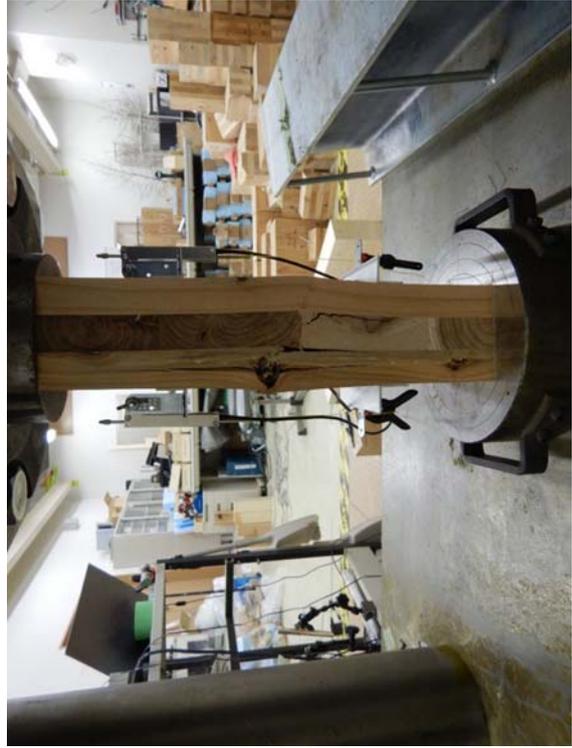


写真 3.11 試験体 W4-②の最終破壊状況



写真 3.12 試験体 W4-③の最終破壊状況

第4章プログラムでの解析結果と柱脚金物耐力を考慮した断面検定

4.1 プログラムによる解析結果とまとめ

4.1.1 開口低減率による壁の挙動比較報告

(1) 検討方法

壁長が異なる3層3プライのCLT壁パネルの水平力作用時の挙動を解析的に検討する。壁長さは1.0m、1.5m、2m(壁高さは3m)とし、壁上には集成梁があるものとする。壁の四隅には引きボルト接合をモデル化した非線形バネを設定し、CLT壁下部には土台があるものとし、その土台へのめり込み、並びにCLT壁上部には集成梁へのめり込み挙動も考慮したモデルについて荷重増分解析を行った。荷重増分解析においては、鉛直荷重を壁頂部に載荷するものと載荷しないものの2種類の荷重条件に対して、開口低減率0.7、0.8、0.9の3段階を適用したものと開口低減率を適用しないものについて壁の挙動の違いを比較した。なお、載荷する鉛直荷重はMx60-3-3の高さ3mにおける長期圧縮座屈荷重80kN/mを用いた。

(2) 解析モデル

壁パネルは壁の厚さ・幅を持つ梁要素と上下に壁幅に相当する剛梁で構成し、壁上に集成梁が配置されるモデルとし、集成梁は90×240のスギ集成材E65-F225とした。基礎天端を支持層とし、そこから土台高さ105mm、壁パネル高さは3000mmとした。加力は集成梁芯高さとし、壁パネルの四隅には引きボルトによる引張バネと土台や床パネルへのめり込み挙動を圧縮バネとして配置し、せん断バネを壁パネル上下中央に設けた。

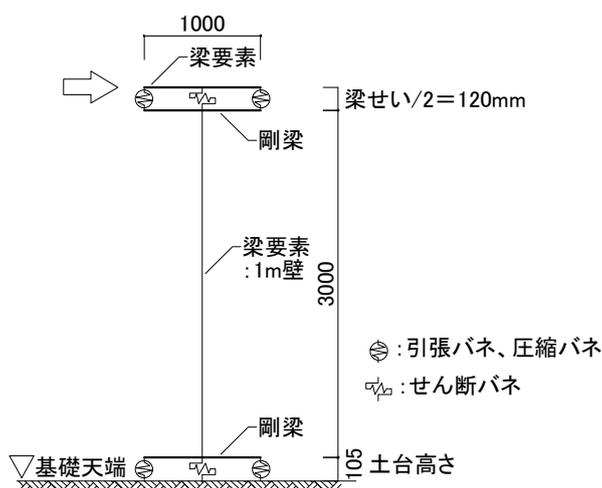


図 2.1 1m 壁解析モデル

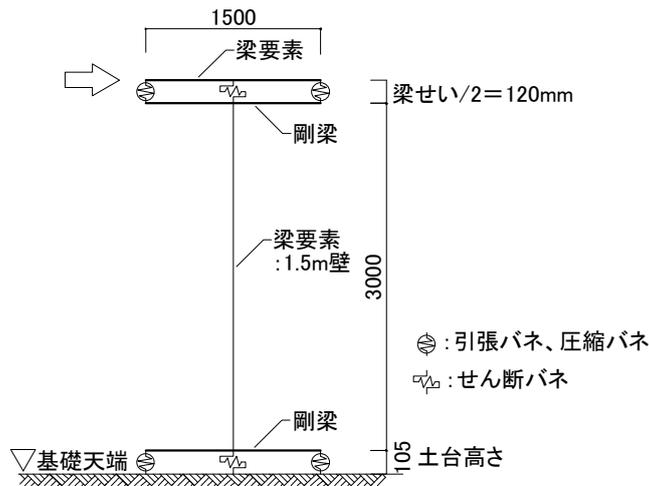


図 2.2 1.5m 壁解析モデル

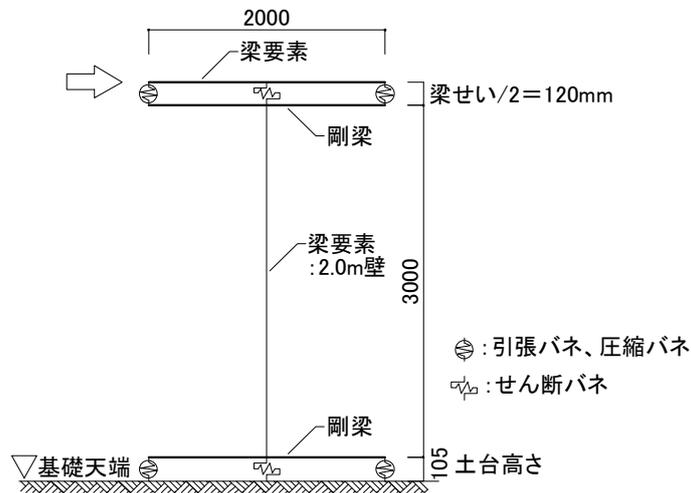


図 2.3 2m 壁解析モデル

(3) CLT 弾性係数

表 3.1 弾性係数(単位:kN/mm²)

単位:kN/mm²

部位	ラミナ構成	強度等級	面内方向			面外方向			
			E		G	E		G	
			強軸	弱軸	共通	強軸	弱軸	強軸	弱軸
壁	3層3プライ	Mx60-3-3	4.000	1.000	0.500	5.777	0.111	0.0238	0.0625

水平加力試験はS60-3-3により行われているが、面内方向の基準強度、弾性係数はMx60-3-3に等しいことから、解析内容は同一となる。

(4) 接合部特性

1) 引張バネ

平成 29 年度建築研究所委託事業 低層用 CLT パネルの引きボルト接合部の引張試験業務報告書（公財）日本住宅・木材技術センターより算出された ABR490 M16 の特性値（剛性平均）からバネ特性を算出した。なお、Lb の算出方法は図 4.1 参照のこと。引張バネの応力変形特性は終局耐力を折れ点とした完全バイリニアモデルとした。解析上、壁パネルの隅角部に引張バネを配置するため、 $R=0.83 d/D$ とし弾性剛性に R^2 を乗じ、非線形応力変形特性の耐力には R を乗じ、変形を R で除し補正を行った。

壁-床/壁-梁/壁-基礎
引張バネ Mx60-3-3 (M16/ABR490)

部位	バネ記号	Lb (mm)	パネル幅 Dw (mm)	縁距離 dc (mm)	d (mm)	R	
壁-床	W-1.0-T-S	597	1000	135	865	0.718	Lb=小座金4.5+座金12+床厚210 +CLT穴の長さ350+座金16+小座金4.5=597mm
	W-1.5-T-S	597	1500	135	1365	0.755	
	W-2.0-T-S	597	2000	135	1865	0.774	
壁-梁	W-1.0-T-B	627	1000	135	865	0.718	Lb=小座金4.5+座金12+梁せい240 +CLT穴の長さ350+座金16+小座金4.5=627mm
	W-1.5-T-B	627	1500	135	1365	0.755	
	W-2.0-T-B	627	2000	135	1865	0.774	
壁-基礎	W-1.0-T-F	475.5	1000	135	865	0.718	実験と整合させて基礎天端高さとした。 Lb=小座金4.5+座金16+CLT穴の長さ350 +土台せい105=475.5mm
	W-1.5-T-F	475.5	1500	135	1365	0.755	
	W-2.0-T-F	475.5	2000	135	1865	0.774	

部位	バネ記号	k_1 (kN/mm)	Rk_1 (kN/mm)	P_y (kN)	δ_y (mm)	$R P_y$ (kN)	P_u (kN)	δ_v (mm)	$R P_u$ (kN)	$R \delta_u$ (mm)
壁-床	W-1.0-T-S	25.2	12.98	51	2.02923	36.61	59.3	2.34848	42.57	83.15
	W-1.5-T-S	25.2	14.37	51	2.02923	38.52	59.3	2.34848	44.78	79.04
	W-2.0-T-S	25.2	15.09	51	2.02923	39.47	59.3	2.34848	45.89	77.13
壁-梁	W-1.0-T-B	24.63	12.69	51	2.07693	36.61	59.3	2.40368	42.57	87.33
	W-1.5-T-B	24.63	14.05	51	2.07693	38.52	59.3	2.40368	44.78	83.01
	W-2.0-T-B	24.63	14.75	51	2.07693	39.47	59.3	2.40368	45.89	81.01
壁-基礎	W-1.0-T-F	27.86	14.36	51	1.836045	36.61	59.3	2.12492	42.57	66.23
	W-1.5-T-F	27.86	15.89	51	1.836045	38.52	59.3	2.12492	44.78	62.95
	W-2.0-T-F	27.86	16.68	51	1.836045	39.47	59.3	2.12492	45.89	61.43

Lb: ナット間距離

Dw: パネル幅

dc: 縁距離

$d = Dw - dc$

R: 調整係数 ($= 0.83d/Dw$)

k_1 : 初期剛性

Rk_1 : 補正初期剛性 ($= R^2 k_1$)

P_y : 降伏耐力

$R P_y$: 補正降伏耐力 ($= R \times P_y$)

P_u : 終局耐力

$R P_u$: 補正終局耐力 ($= R P_u$)

$R \delta_u$: 補正終局変位 ($= 0.1L/R$)

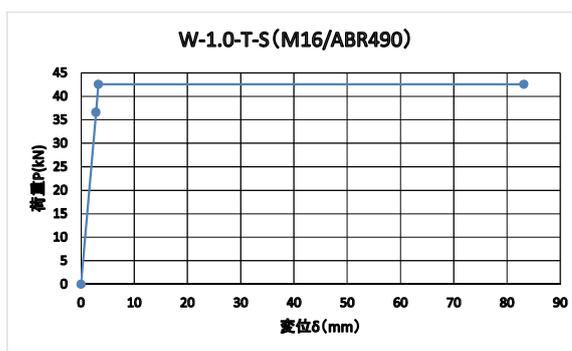


図 4.1 引張バネ特性

2) 圧縮バネ

圧縮バネの応力変形特性は、CLT 床には Mx60-5-7 を、梁・土台にはスギ集成材 E65-F225 を用いるとし、降伏耐力を折れ点としたバイリニアモデルとした。降伏耐力 P_y 、弾性剛性 K_1 、降伏後剛性 $K_2 (=k_1/8)$ は設計施工マニュアル 3.1.2 (3) 接合部のモデル化 (P.68) より算出した。解析上、壁パネルの隅角部に圧縮バネを配置するため、 $R=0.83 d/D$ とし弾性剛性に R^2 を乗じ、非線形応力変形特性の耐力には R を乗じ、変形は R で除し補正を行った。

壁-床/壁-梁/壁-土台
圧縮バネ Mx60-3-3

部位	バネ記号	パネル厚 tw(mm)	パネル幅 Dw(mm)	縁距離 dc(mm)	d(mm)	Ae(mm ²)	R
壁-床	W-1.0-C-S	90	1000	135	865	19462.5	0.718
	W-1.5-C-S	90	1500	135	1365	30712.5	0.755
	W-2.0-C-S	90	2000	135	1865	41962.5	0.774
壁-梁	W-1.0-C-B	90	1000	135	865	19462.5	0.718
	W-1.5-C-B	90	1500	135	1365	30712.5	0.755
	W-2.0-C-B	90	2000	135	1865	41962.5	0.774
壁-土台	W-1.0-C-D	90	1000	135	865	19462.5	0.718
	W-1.5-C-D	90	1500	135	1365	30712.5	0.755
	W-2.0-C-D	90	2000	135	1865	41962.5	0.774

部位	バネ記号	Fcv (N/mm ²)	E ₉₀ (N/mm)	Z ₀ (mm)	k ₁ (kN/mm)	Rk_1 (kN/mm)	P _y (kN)	RPy (kN)	k ₂ (kN/mm)	剛性 低下率
壁-床	W-1.0-C-S	6	200	210	18.53	9.55	116.77	83.83	1.19	0.125
	W-1.5-C-S	6	200	210	29.25	16.68	184.27	139.17	2.08	0.125
	W-2.0-C-S	6	200	210	39.96	23.93	251.77	194.86	2.99	0.125
壁-梁	W-1.0-C-B	6	216	240	17.51	9.02	116.77	83.83	1.12	0.125
	W-1.5-C-B	6	216	240	27.64	15.76	184.27	139.17	1.97	0.125
	W-2.0-C-B	6	216	240	37.76	22.61	251.77	194.86	2.82	0.125
壁-土台	W-1.0-C-D	6	216	105	40.03	20.63	116.77	83.83	2.57	0.125
	W-1.5-C-D	6	216	105	63.18	36.04	184.27	139.17	4.5	0.125
	W-2.0-C-D	6	216	105	86.32	51.7	251.77	194.86	6.46	0.125

*梁、土台はスギ集成材E65-F225

tw: パネル厚さ

Dw: パネル幅

dc: 縁距離

d=Dw-dc

Ae: 有効支圧面積 (tw × d/4)

R: 調整係数 (=0.83d/Dw)

Fcv: 土台又は床パネルのめり込みの基準強度

E₉₀: 土台又は床パネルの繊維直交
方向のヤング係数(繊維平行方向Eの1/30)

Z₀: 土台又は床パネル厚さ

k₁: 初期剛性 (=E₉₀Ae/Z₀)

Rk_1 : 補正初期剛性 (=R²k₁)

P_y: 降伏耐力 (Fcv × Ae)

RPy : 補正降伏耐力 (=RP_y)

k₂: 降伏後剛性 (=k₁/8)

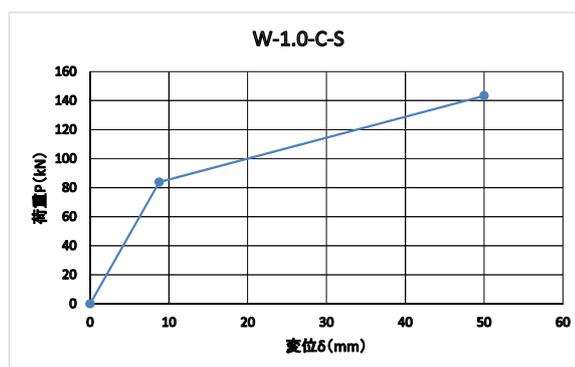


図 4.2 圧縮バネ特性

3) せん断バネ

せん断バネは引きボルトで降伏させることを前提に剛性は無限大、耐力は十分高い値を設定し、予備解析により CLT 壁の下部が水平挙動していないことを確認した。またせん断バネはせん断力のみ伝達し、せん断バネ位置でモーメントは発生しない。

(5)解析結果

1) 無載荷

CLT 壁端部の引き抜き力が引きボルトの終局耐力に達するときの壁頂部水平力と、ほぼ等しい荷重で解析終了となっていた。面内のせん断変形と曲げ変形を低減させるように開口低減率を適用したが、金物が先行降伏するモードに変化はなかった。開口低減率が 0.9~0.7 に変化していくと変形がわずかに大きくなり、剛性が低下していることがわかる。

①1.0m 壁解析モデル

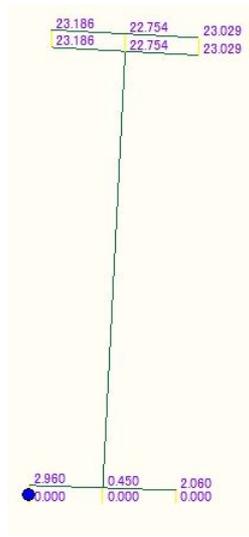


図 5.1.1 X-Z 変形図 (1.0mCLT 壁結果例 開口低減率 0.7) 単位 : mm

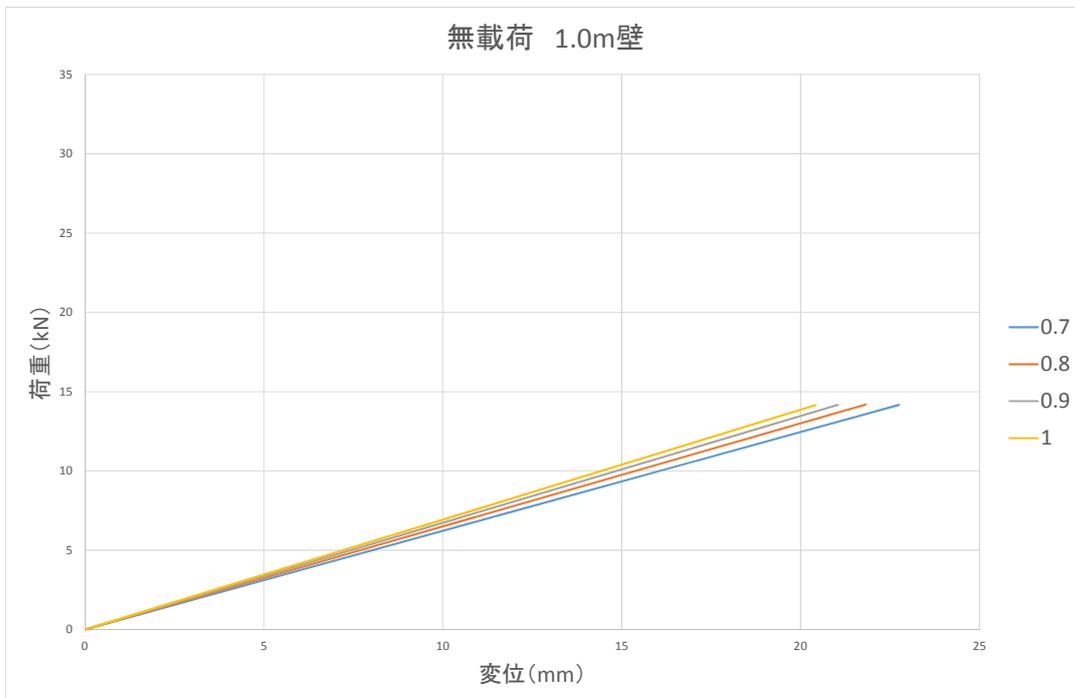


図 5.1.2 解析結果(1.0mCLT 壁)

②1.5m 壁解析モデル

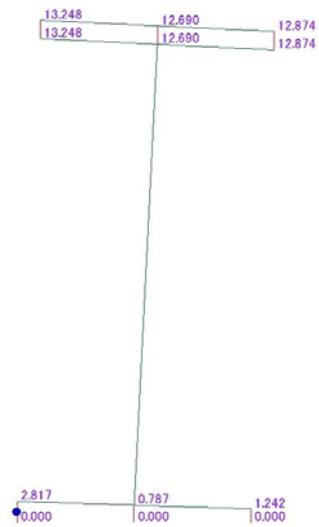


図 5.1.3 X-Z 変形図 (1.5mCLT 壁結果例 開口低減率 0.7) 単位: mm

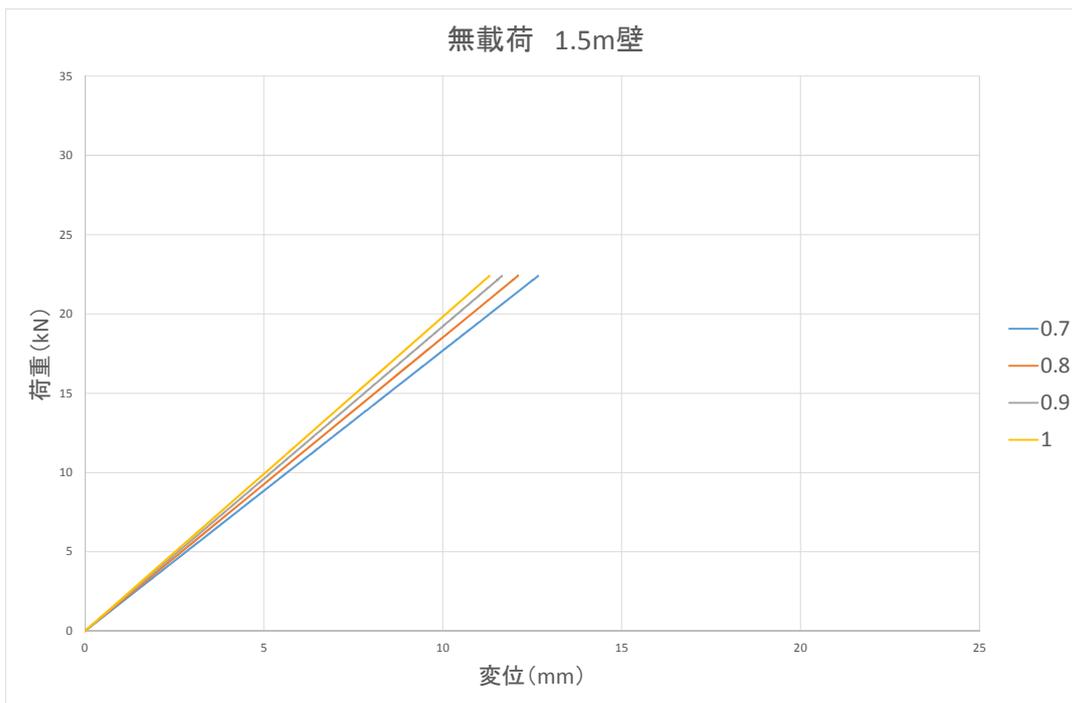


図 5.1.4 解析結果(1.5mCLT 壁)

③2.0m 壁解析モデル

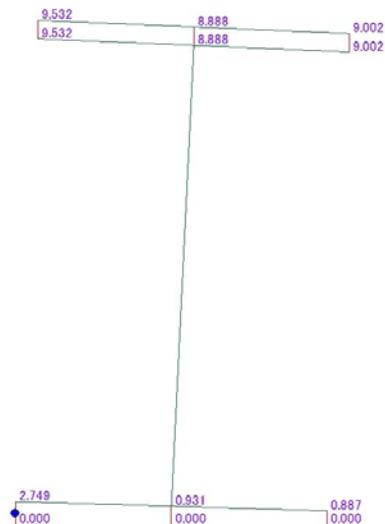


図 5.1.5 X-Z 変形図 (2.0mCLT 壁結果例 開口低減率 0.7) 単位 : mm

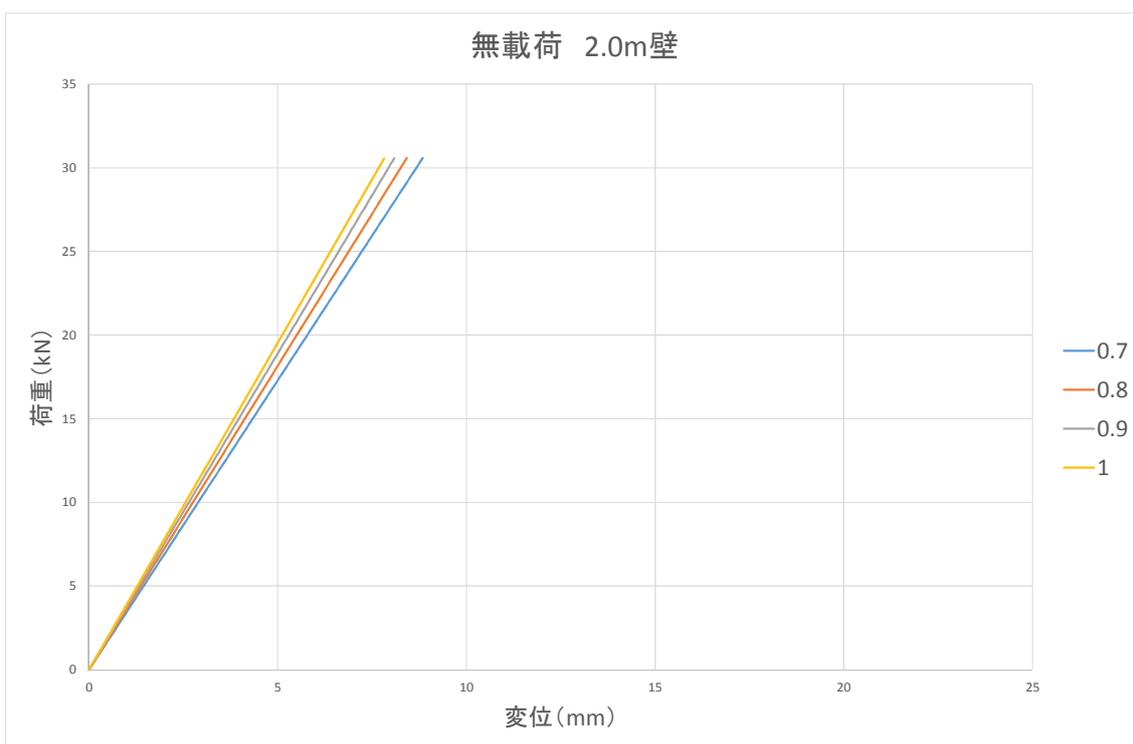


図 5.1.6 解析結果(2.0mCLT 壁)

表 5.1.1 無載荷 開口低減適用の解析結果比較 (1.0m 壁)

-	1.0m壁			
開口低減率	0.7	0.8	0.9	1.0
初期剛性 (kN/mm)	0.623	0.650	0.673	0.693
剛性低下率	0.101	0.062	0.028	-

表 5.1.2 無載荷 開口低減適用の解析結果比較 (1.5m 壁)

-	1.5m壁			
開口低減率	0.7	0.8	0.9	1.0
初期剛性 (kN/mm)	1.769	1.852	1.922	1.982
剛性低下率	0.108	0.066	0.030	-

表 5.1.3 無載荷 開口低減適用の解析結果比較 (2.0m 壁)

-	2.0m壁			
開口低減率	0.7	0.8	0.9	1.0
初期剛性 (kN/mm)	3.459	3.633	3.780	3.907
剛性低下率	0.115	0.070	0.033	-

2) 有載荷

鉛直荷重が載荷されているため、次のような挙動が確認できた。左から右に水平力を増分させると壁右下の圧縮力増加及び壁左下の鉛直荷重分の圧縮力の減少が起こる。その後、壁左下の圧縮力が壁の浮き上がりによりキャンセルされ圧縮力ゼロ、すなわち抑え荷重ゼロの状態になり、引き抜き力が発生し始める。その後、壁右下の圧縮力の増加及び壁左下の引き抜き力が増加していくが、壁右下の圧縮バネが一次降伏し、グラフの第一折れ点ができる。さらに荷重を増加させると壁左下の引きボルトが降伏し、第二折れ点となり金物が終局耐力を迎えた段階で解析終了となった。なお、1.5m、2.0m 壁で特にこのような挙動が顕著であり、1m 壁では壁の転倒が大きいため、圧縮降伏する第一折れ点を視覚的に判別しにくい。また開口低減率が 0.9~0.7 に変化していくと変形がわずかに大きくなり、剛性が低下していることがわかる。

①1.0m 壁解析モデル

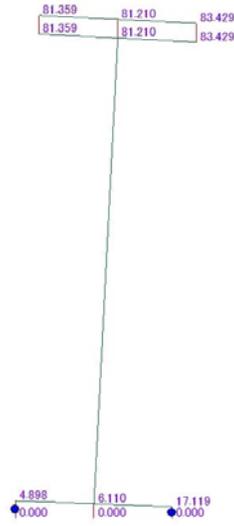


図 5.2.1 X-Z 変形図 (1.0mCLT 壁結果例 開口低減率 0.7) 単位 : mm

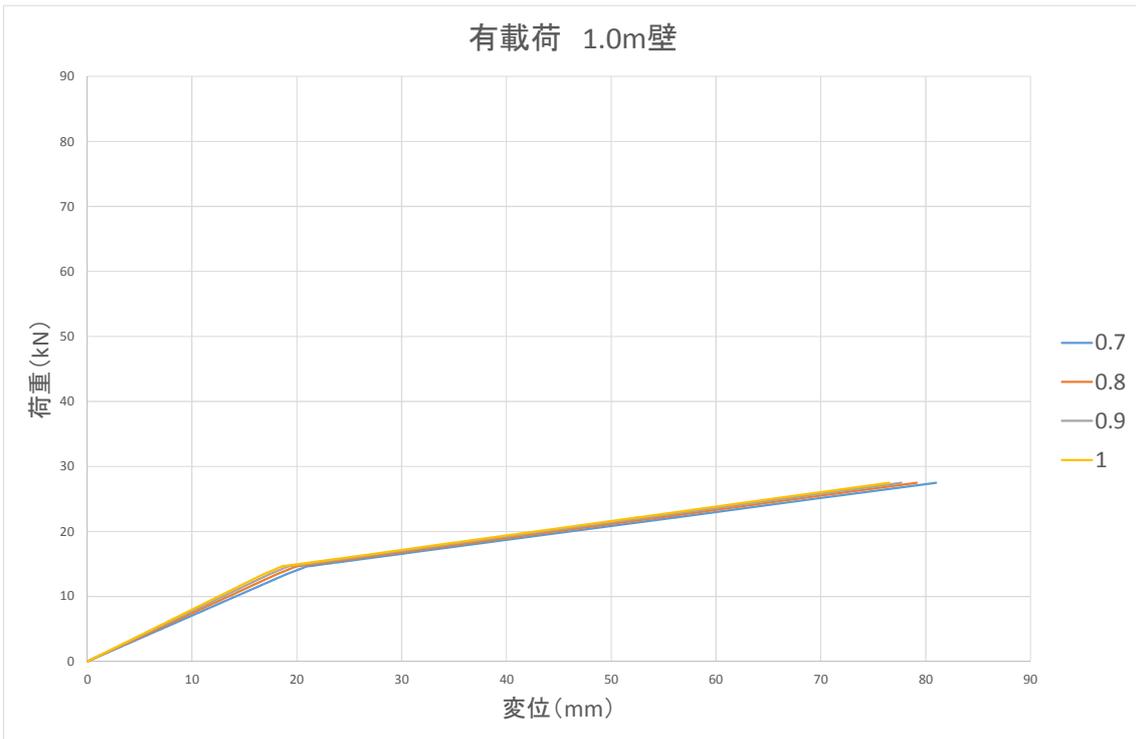


図 5.2.2 解析結果(1.0mCLT 壁)

②1.5m 壁解析モデル

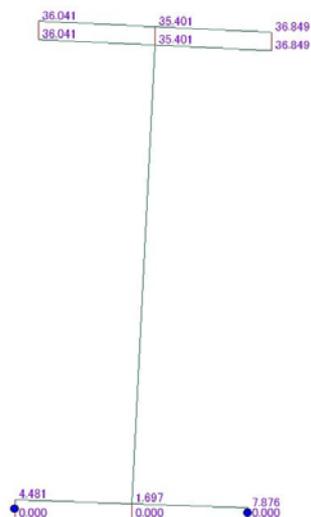


図 5.2.3 X-Z 変形図 (1.5mCLT 壁結果例 開口低減率 0.7) 単位 : mm

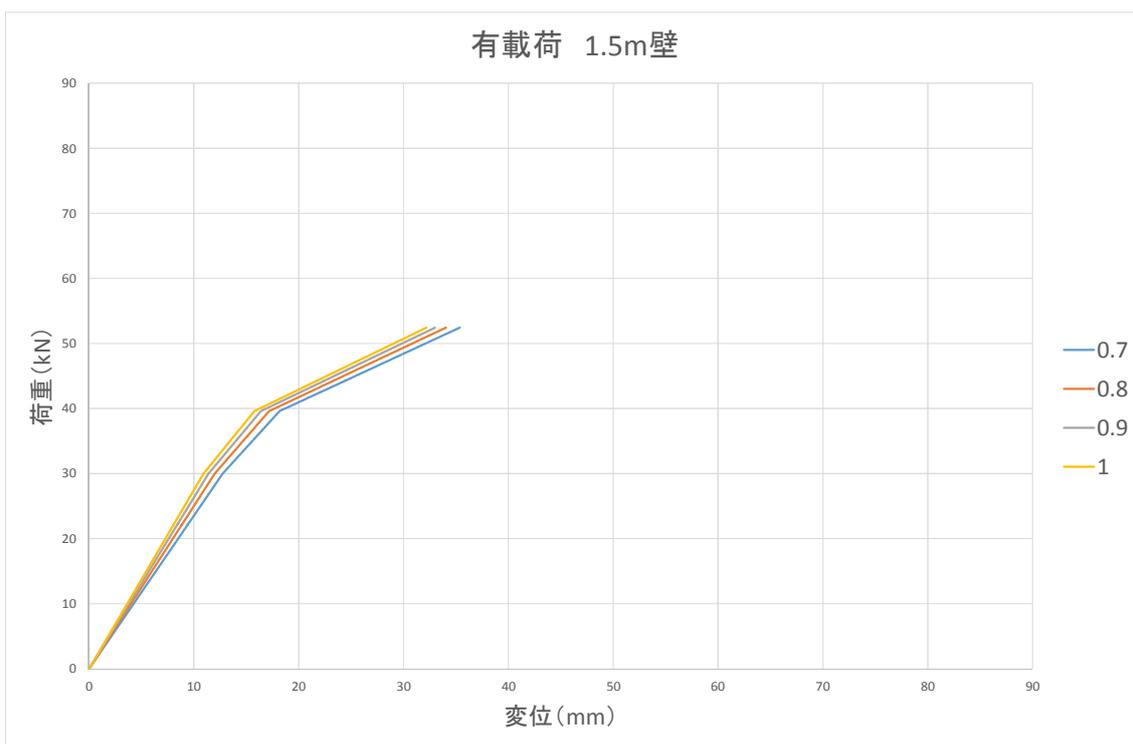


図 5.2.4 解析結果(1.5mCLT 壁)

③2.0m 壁解析モデル

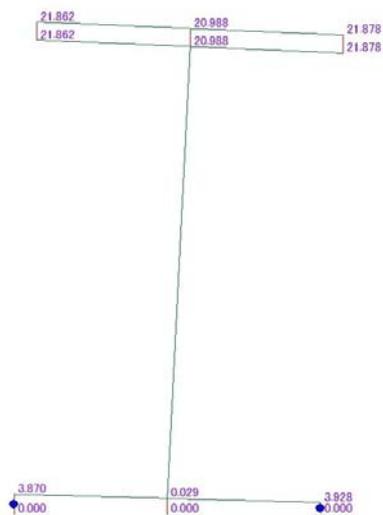


図 5.2.5 X-Z 変形図 (2.0mCLT 壁結果例 開口低減率 0.7) 単位 : mm

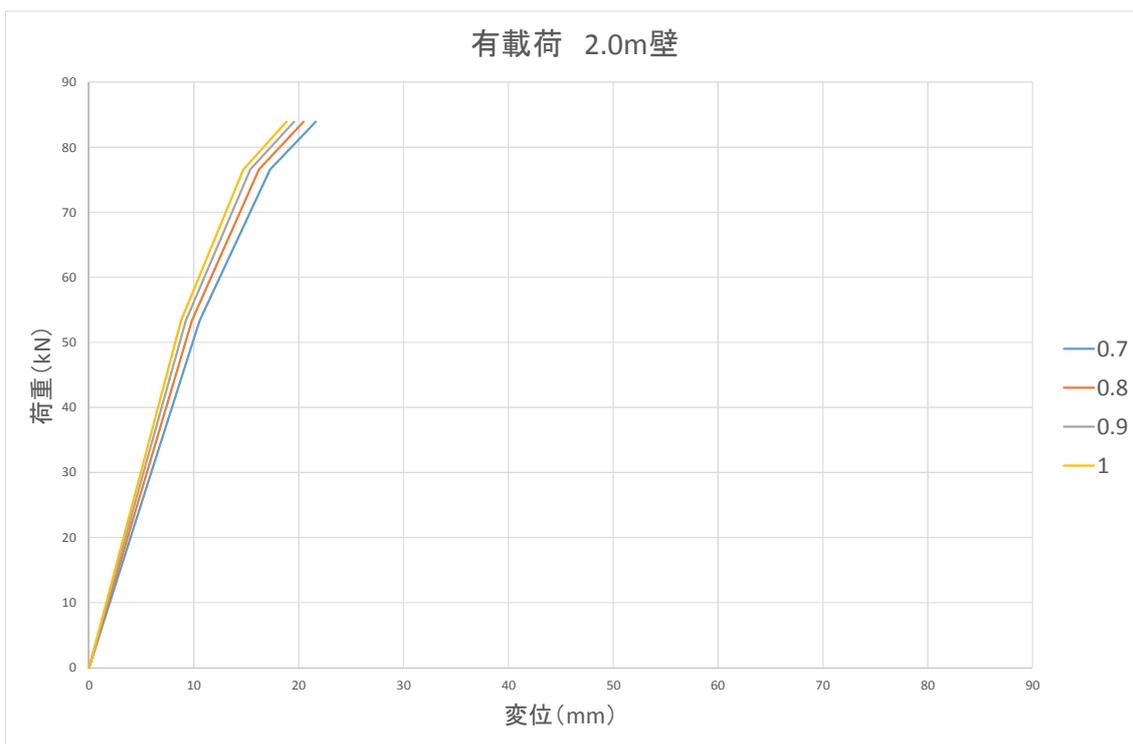


図 5.2.6 解析結果(2.0mCLT 壁)

表 5.2.1 有載荷 開口低減適用の解析結果比較 (1.0m 壁)

-	1.0m壁			
開口低減率	0.7	0.8	0.9	1.0
初期剛性 (kN/mm)	0.698	0.733	0.763	0.788
剛性低下率	0.114	0.070	0.032	-

表 5.2.2 有載荷 開口低減適用の解析結果比較 (1.5m 壁)

-	1.5m壁			
開口低減率	0.7	0.8	0.9	1.0
初期剛性 (kN/mm)	2.179	2.306	2.416	2.512
剛性低下率	0.133	0.082	0.038	-

表 5.2.3 有載荷 開口低減適用の解析結果比較 (2.0m 壁)

-	2.0m壁			
開口低減率	0.7	0.8	0.9	1.0
初期剛性 (kN/mm)	4.435	4.725	4.979	5.201
剛性低下率	0.147	0.092	0.043	-

(6) まとめ

鉛直荷重の有無について水平荷重増分解析を行ったが、開口低減率によって剛性がわずかに低下することは見られたが、開口低減率 1.0 と同一の降伏モードを示していた。実際の設計では CLT 壁には無載荷以上、長期圧縮座屈荷重以下の鉛直荷重が載荷されており、無載荷と有載荷の剛性低下率を勘案すると、開口低減率 0.9 程度の小開口であれば、概ね 3~4% 程度の剛性低下となり、開口低減率 0.8 程度の小開口であれば、概ね 6~9% 程度の剛性低下率に留まることが確認できた。

4.1.2 有開口シェルモデル解析結果とまとめ

(1) 検討方法

小開口を有する3層3プライの1mCLT壁パネルに鉛直荷重を載荷させた状態で水平荷重増分解析を行い、挙動の確認を行った。壁長さは1.0m、壁高さは3.0mとし、壁には集成梁があるものとする。壁の四隅には引きボルト接合をモデル化した非線形バネを設定し、CLT壁下部には土台があるものとし、その土台へのめり込み、並びにCLT壁上部には集成梁へのめり込み挙動も考慮したモデルとした。なお、載荷する鉛直荷重はMx60-3-3の高さ3mにおける長期圧縮座屈荷重80kN/mを用いた。

(2) 解析モデル

図2.1に示したように3.0m壁の中心に $\phi 250$ の開口を2か所設けたものをモデル化する。モデル形状は図2.2に示したように、設計施工マニュアルに示されるモデルと同様とし各種バネ特性については「開口低減率による壁の挙動比較報告」で使用したものと同一とし、メッシュ間隔は50mmとした。解析時間が膨大に掛かったが25mmのメッシュ間隔についても参考までに解析したが、応力分布に変化が見られなかったため、メッシュ間隔は50mmとした。

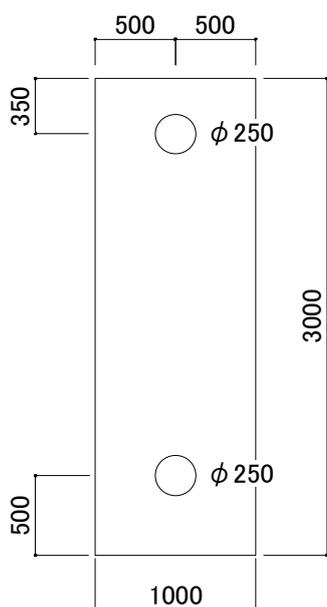


図 2.1 開口位置図

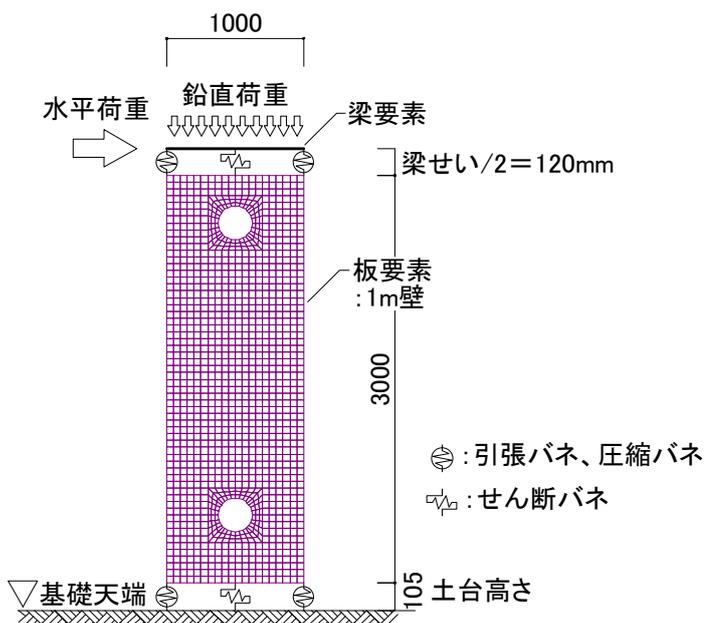


図 2.2 解析モデル図

(3) 増分解析結果

梁要素でC L T壁をモデル化したものと全く同様な挙動を示しており、壁右下の圧縮バネの降伏、その後、壁左下の引張バネが降伏し、引張バネが終局耐力を迎えて解析終了となった。有開口シェルモデルと無開口シェルモデルを比較すると、圧縮バネや引張バネが先行して降伏するため、両者の応力状態に大きな差は見られず、また開口廻りに引張破断を生じさせるような大きな主応力が発生しておらず、短期以下の応力度であった。また最小主応力も同様な傾向のため、割愛した。

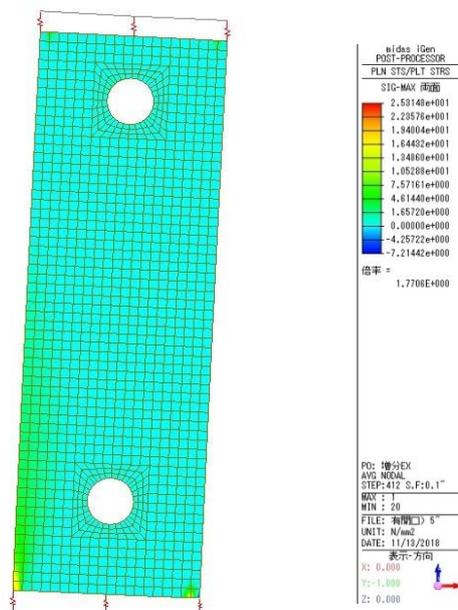


図 3.1 有開口 最大主応力図

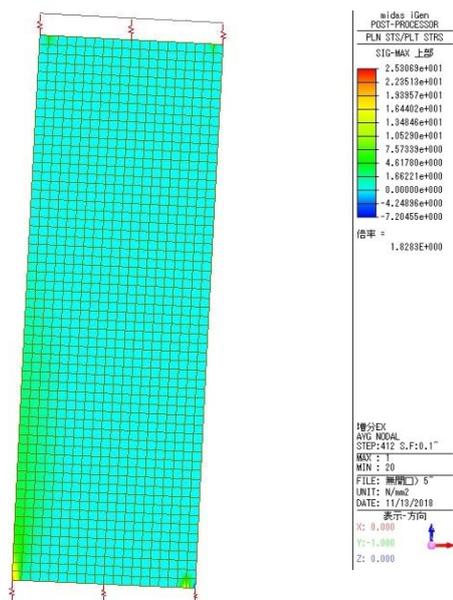


図 3.2 無開口 最大主応力図

(4) 静解析結果

1) 実験仕様に合わせた解析

増分解析では圧縮や引張バネが先行降伏したため、パネル自体の応力状態の予測として予備的に壁脚部をすべてピン拘束した 50mm メッシュモデルで静解析を行った。鉛直荷重は 80kN/m、水平荷重は 1 m 壁の実験時の荷重 28kN を載荷して静解析を行った。なお、壁上部の梁は荷重載荷用のため、ダミー部材とした。解析対象は図 4.1.2 に示した $\phi 150 \times 2$ 、 $\phi 250 \times 1$ 、 $\phi 250 \times 2$ 、無開口の 4 パターンとした。なお無開口のみは応力は無視し、頂部水平変位のみ出力することとした。

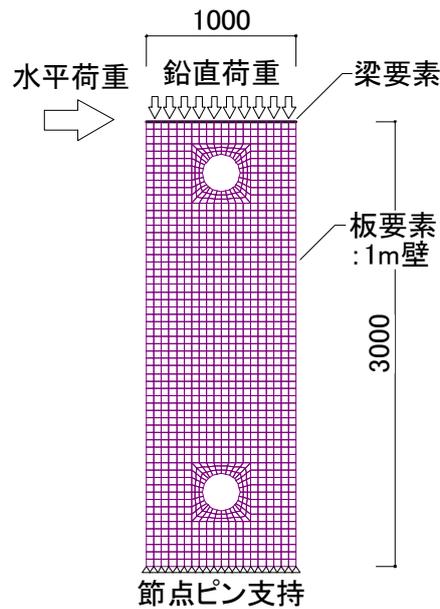


図 4.1.1 静解析用モデル図

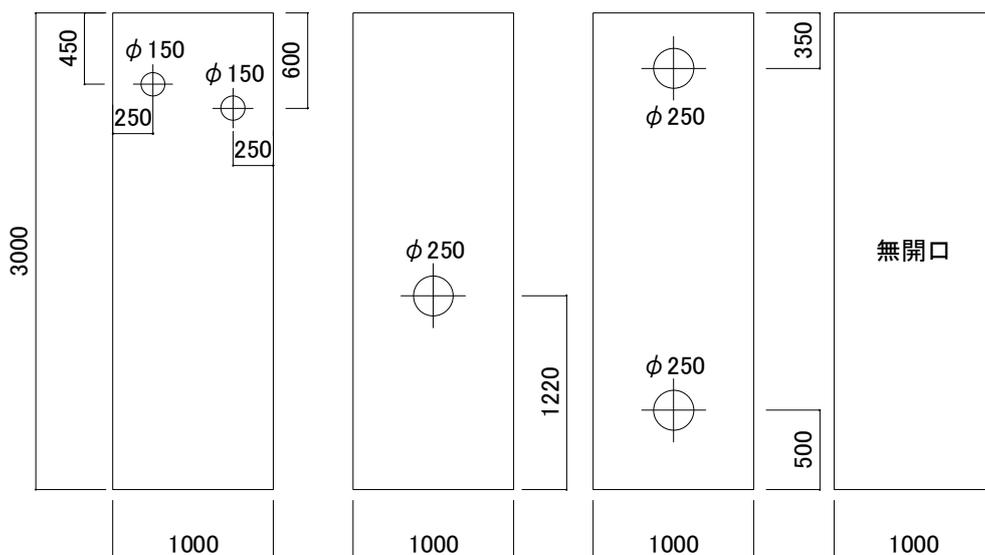


図 4.1.2 解析対象図

① φ150×2

最大主応力図を図 4.1.3 に最小主応力図を図 4.1.4 に示した。CLT パネル脚部をピン支持とし浮き上がりを拘束しているため、開口周辺に引張や圧縮応力が発生しているものの、短期以下の応力度であった。

開口廻りの応力精査

1) 左 φ150

引張 : $1.8 < 8 \times 2/3 = 5.33 \cdots \text{OK}$

圧縮 : $3.18 < 10.8 \times 2/3 = 7.2 \cdots \text{OK}$

2) 右 φ150

引張 : $2.29 < 8 \times 2/3 = 5.33 \cdots \text{OK}$

圧縮 : $5.3 < 10.8 \times 2/3 = 7.2 \cdots \text{OK}$

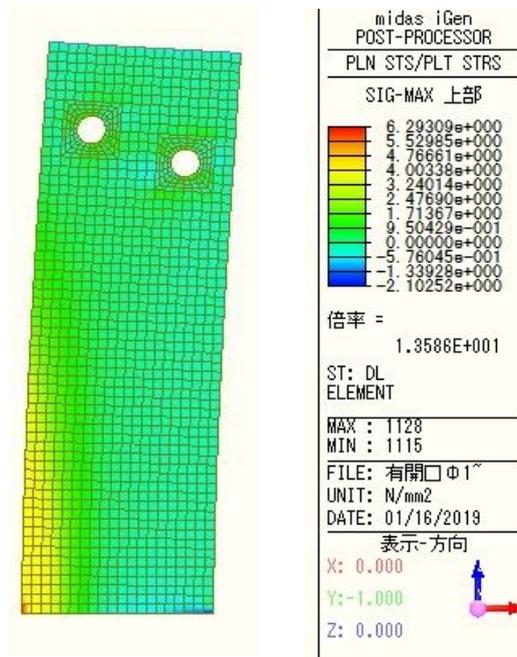


図 4.1.3 最大主応力図

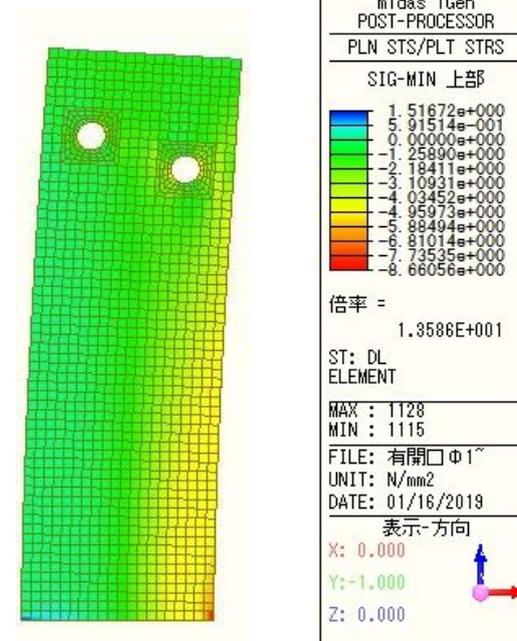


図 4.1.4 最小主応力図

② φ 250×1

最大主応力図を図 4.1.5 に最小主応力図を図 4.1.6 に示した。CLT パネル脚部をピン支持とし浮き上がりを拘束しているため、開口周辺に引張や圧縮応力が発生しているものの、短期以下の応力度であった。

開口廻りの応力精査

引張 : $2.39 < 8 \times 2/3 = 5.33 \dots \text{OK}$

圧縮 : $4.6 < 10.8 \times 2/3 = 7.2 \dots \text{OK}$

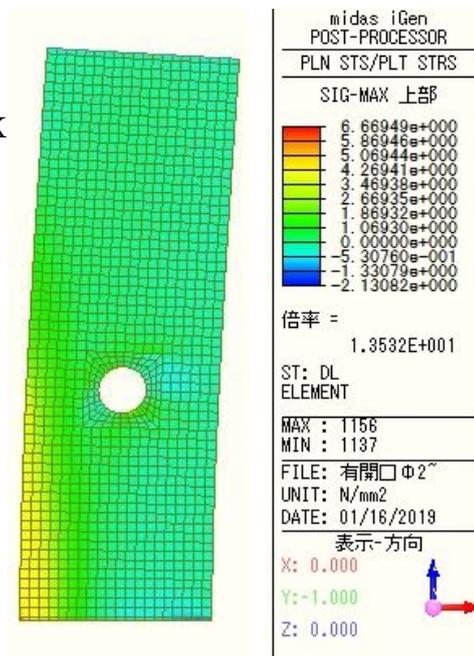


図 4.1.5 最大主応力図

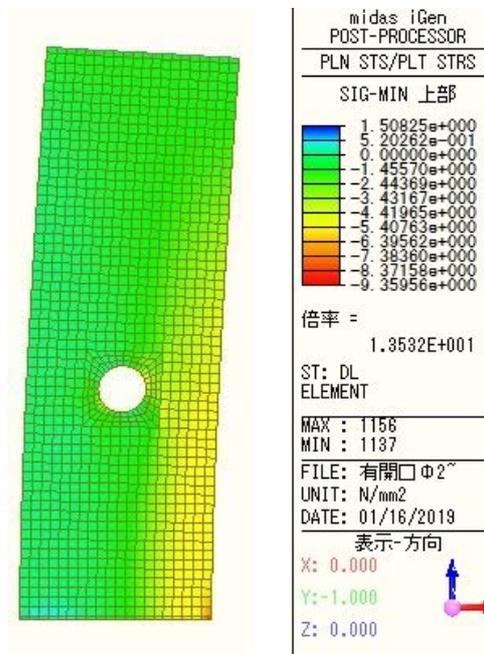


図 4.1.6 最小主応力図

③ φ250×2

最大主応力図を図 4.1.9 に最小主応力図を図 4.1.10 に示した。CLT パネル脚部をピン支持とし浮き上がりを拘束しているため、開口周辺に引張や圧縮応力が発生しているものの、短期以下の応力度であった。

開口廻りの応力精査

1) 小開口 (上側)

引張 : $2.19 < 8 \times 2/3 = 5.33 \cdots \text{OK}$

圧縮 : $4.49 < 10.8 \times 2/3 = 7.2 \cdots \text{OK}$

2) 小開口 (下側)

引張 : $2.11 < 8 \times 2/3 = 5.33 \cdots \text{OK}$

圧縮 : $5.32 < 10.8 \times 2/3 = 7.2 \cdots \text{OK}$

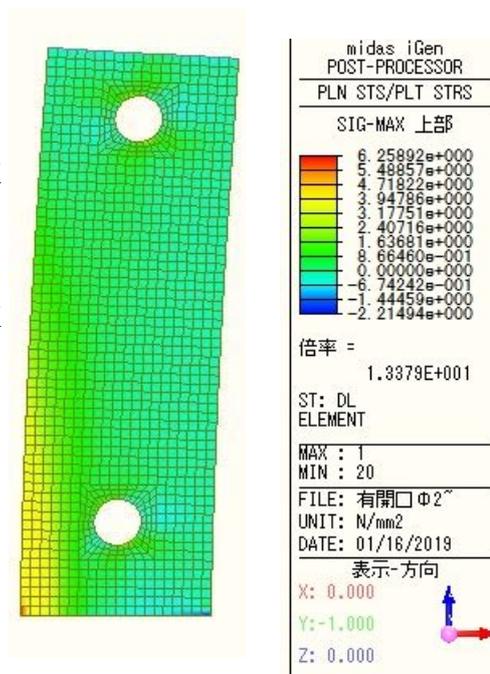


図 4.1.9 最大主応力図

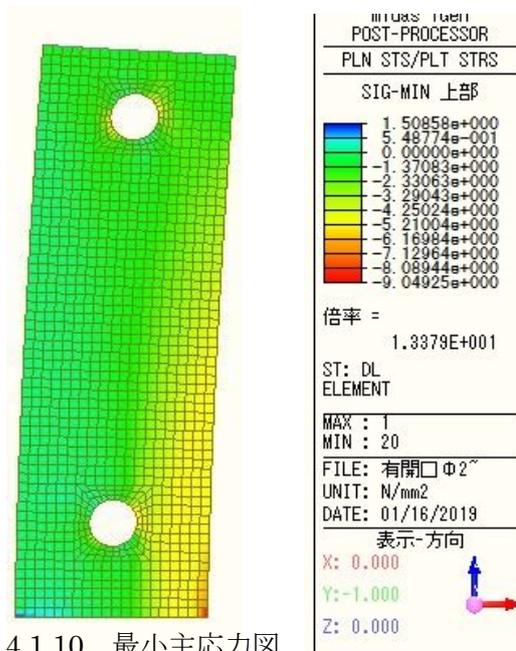


図 4.1.10 最小主応力図

参考までに図 4.1.11 に最大せん断応力分布を比較したものを示した。開口の高さ、大きさによって最大せん断応力が変化しており、開口廻りの最大せん断応力は主応力と同様な傾向を示していることがわかる。

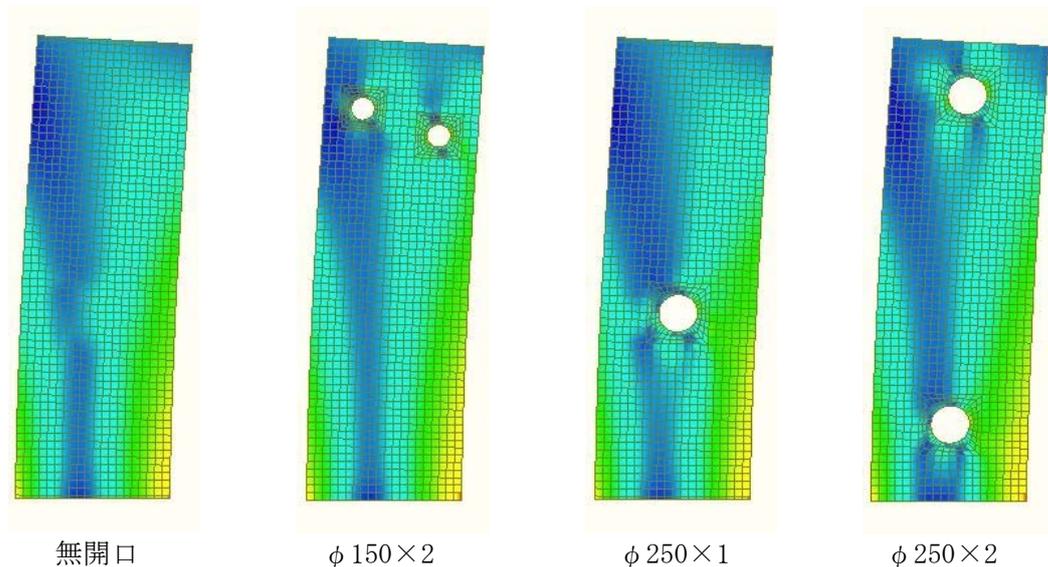


図 4.1.11 最大せん断応力図 (参考)

水平荷重 28kN 載荷したときの水平変位を表 4.1.1 に示したが、無開口と概ね同一の変形、剛性を示しているのがわかる。

表 4.1.1 28kN 時点の変位

28kN時点の変位				
-	$\phi 150 \times 2$	$\phi 250 \times 1$	$\phi 250 \times 2$	無開口
変位(mm)	10.653	10.704	10.835	10.397
剛性(kN/mm)	2.628	2.616	2.584	2.693

(2) $\phi 150 \times 2$ の開口位置を拡張した解析

図 4.2.1 に $\phi 150 \times 2$ の開口位置を変化させた5パターンを示した。開口位置の違いにより応力の違いが発生するか解析的に検討を行った。

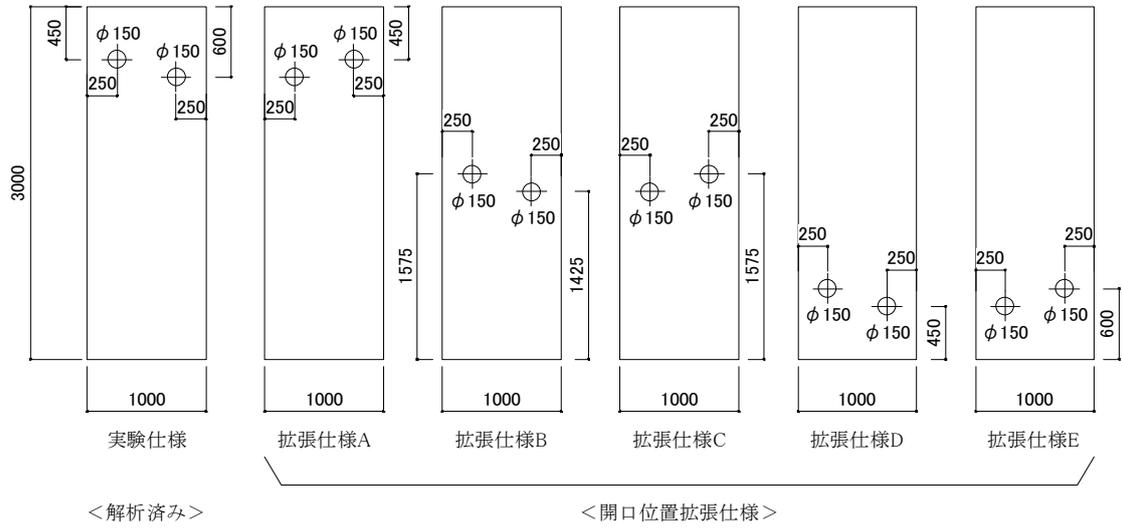


図 4.2.1 拡張仕様

1) 拡張仕様 A

最大主応力図を図 4.2.2 に最小主応力図を図 4.2.3 に示した。実験仕様の開口位置と対称となる仕様で、実験仕様と同様に開口廻りの応力は短期以下の応力度であった。

開口廻りの応力精査

1) 左 φ 150

引張 : $1.25 < 8 \times 2/3 = 5.33 \cdots \text{OK}$

圧縮 : $2.11 < 10.8 \times 2/3 = 7.2 \cdots \text{OK}$

2) 右 φ 150

引張 : $1.74 < 8 \times 2/3 = 5.33 \cdots \text{OK}$

圧縮 : $4.52 < 10.8 \times 2/3 = 7.2 \cdots \text{OK}$

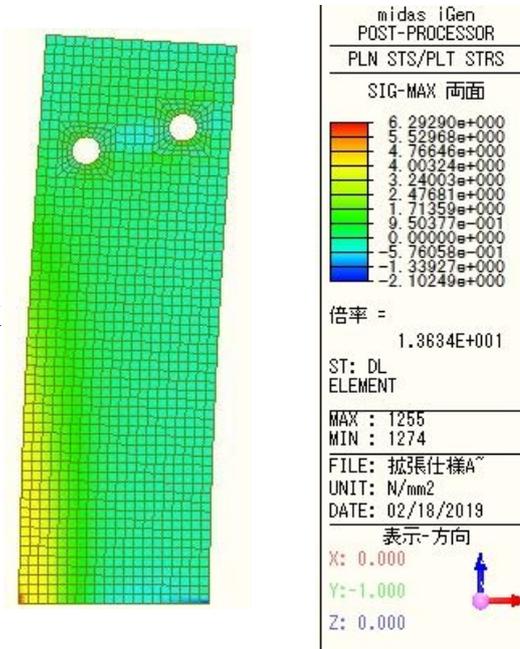


図 4.2.2 最大主応力図

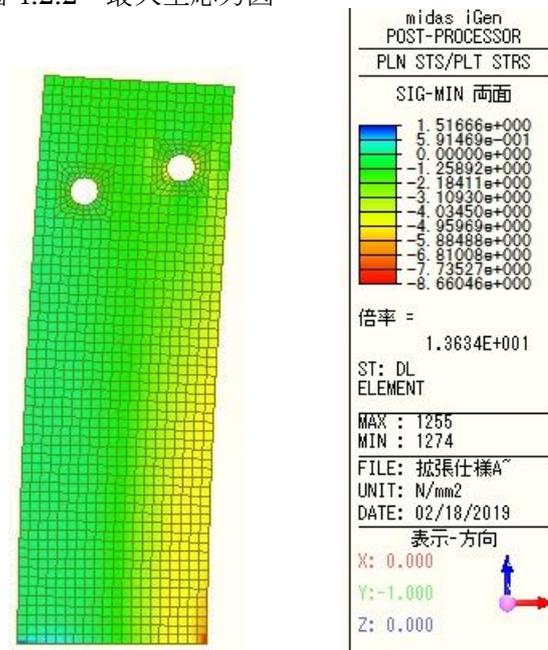


図 4.2.3 最小主応力図

2) 拡張仕様 B

最大主応力図を図 4.2.4 に最小主応力図を図 4.2.5 に示した。実験仕様の開口を中段に設けた仕様で、開口廻りの応力で短期をわずかに超える箇所があった。

開口廻りの応力精査

1) 左 φ 150

引張 : $2.61 < 8 \times 2/3 = 5.33 \cdots \text{OK}$

圧縮 : $1.95 < 10.8 \times 2/3 = 7.2 \cdots \text{OK}$

2) 右 φ 150

引張 : $2.72 < 8 \times 2/3 = 5.33 \cdots \text{OK}$

圧縮 : $7.96 > 10.8 \times 2/3 = 7.2 \cdots \text{NG}$

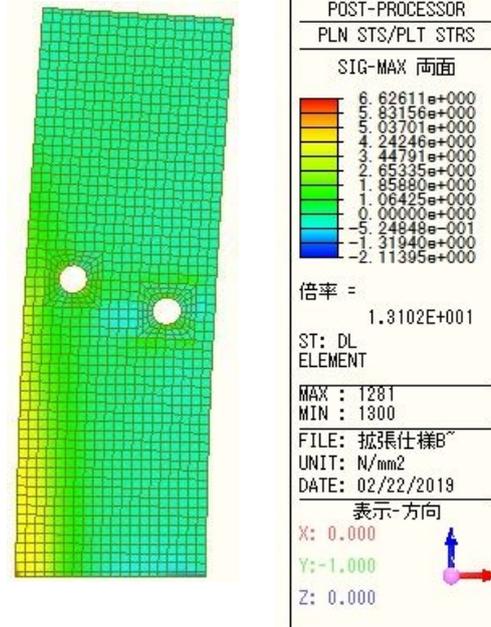


図 4.2.4 最大主応力図

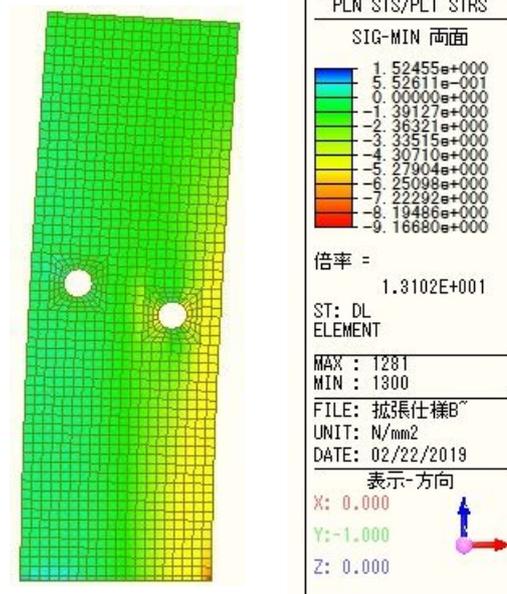


図 4.2.5 最小主応力図

3) 拡張仕様 C

最大主応力図を図 4.2.6 に最小主応力図を図 4.2.7 に示した。拡張仕様 B の対称仕様で、開口廻りの応力で短期をわずかに超える箇所があった。

開口廻りの応力精査

1) 左 φ 150

引張 : $2.61 < 8 \times 2/3 = 5.33 \cdots \text{OK}$

圧縮 : $1.53 < 10.8 \times 2/3 = 7.2 \cdots \text{OK}$

2) 右 φ 150

引張 : $2.58 < 8 \times 2/3 = 5.33 \cdots \text{OK}$

圧縮 : $7.48 > 10.8 \times 2/3 = 7.2 \cdots \text{NG}$

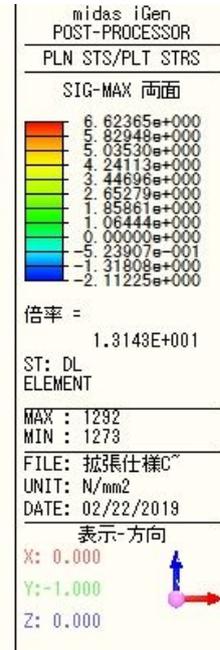
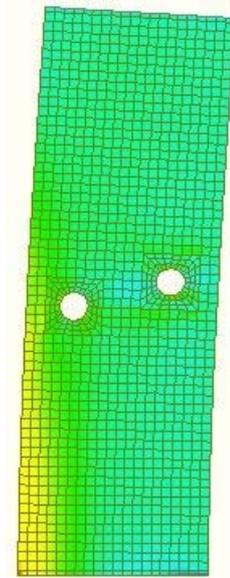


図 4.2.6 最大主応力図

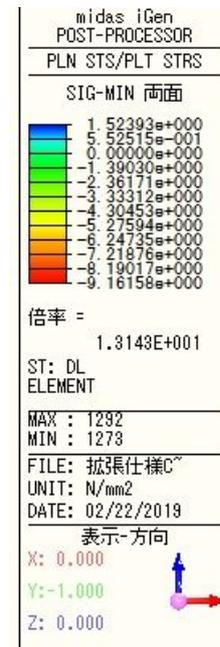
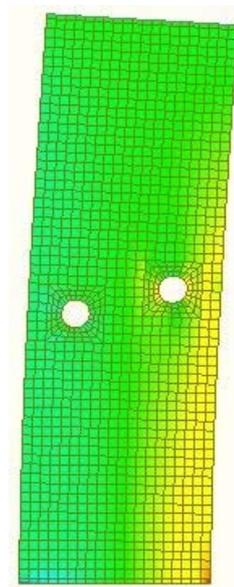


図 4.2.7 最小主応力図

4) 拡張仕様 D

最大主応力図を図 4.2.8 に最小主応力図を図 4.2.9 に示した。実験仕様の開口を下段に設けた仕様で、開口廻りの応力で短期に近いまたは短期を超える応力度の箇所があった。

開口廻りの応力精査

1) 左 φ 150

引張 : **5.26** < $8 \times 2/3 = 5.33 \dots$ OK

圧縮 : $2.46 < 10.8 \times 2/3 = 7.2 \dots$ OK

2) 右 φ 150

引張 : $3.16 < 8 \times 2/3 = 5.33 \dots$ OK

圧縮 : **10.79** > $10.8 \times 2/3 = 7.2 \dots$ NG

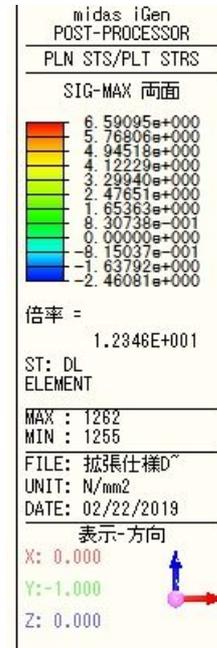
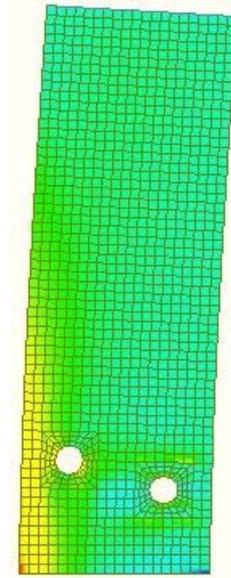


図 4.2.8 最大主応力図

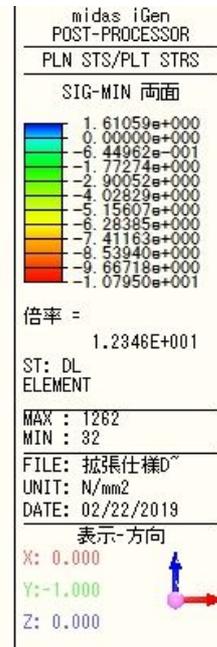
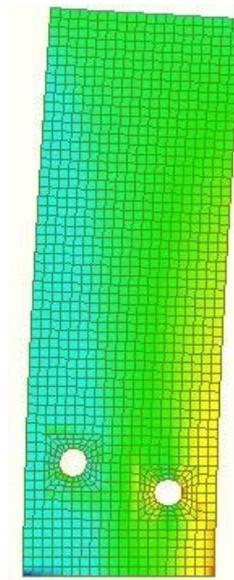


図 4.2.9 最小主応力図

5) 拡張仕様 E

最大主応力図を図 4.2.10 に最小主応力図を図 4.2.11 に示した。拡張仕様 D の対称仕様で、開口廻りの応力で短期に近いまたは短期を超える応力度の箇所があった。

開口廻りの応力精査

1) 左 φ 150

引張 : $5.46 > 8 \times 2/3 = 5.33 \dots \text{NG}$

圧縮 : $1.86 < 10.8 \times 2/3 = 7.2 \dots \text{OK}$

2) 右 φ 150

引張 : $3.35 < 8 \times 2/3 = 5.33 \dots \text{OK}$

圧縮 : $10.47 > 10.8 \times 2/3 = 7.2 \dots \text{NG}$

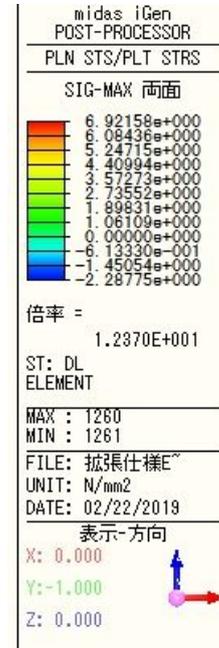
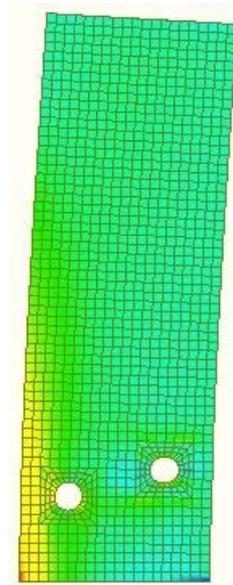


図 4.2.10 最大主応力図

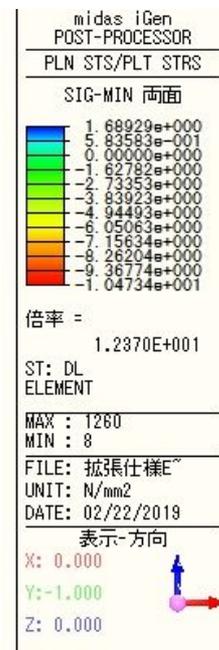
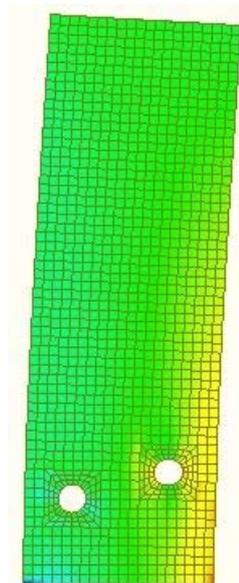


図 4.2.11 最小主応力図

開口廻りで短期許容応力度以下となった開口位置を重ねて表したものを図 4. 2. 12 に示した。赤色の点線範囲では最上部、最下部に $\phi 250$ を各 1 箇所、または中間部分に開口を設けた場合は中間部に 1 箇所、青色の点線範囲では $\phi 150$ の開口を 1 箇所設けても応力的には問題がなさそうであることが、実験と同様な加力条件の解析結果より推察される。

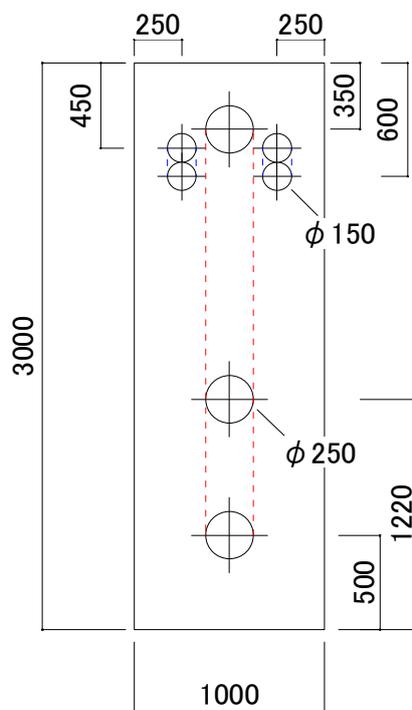
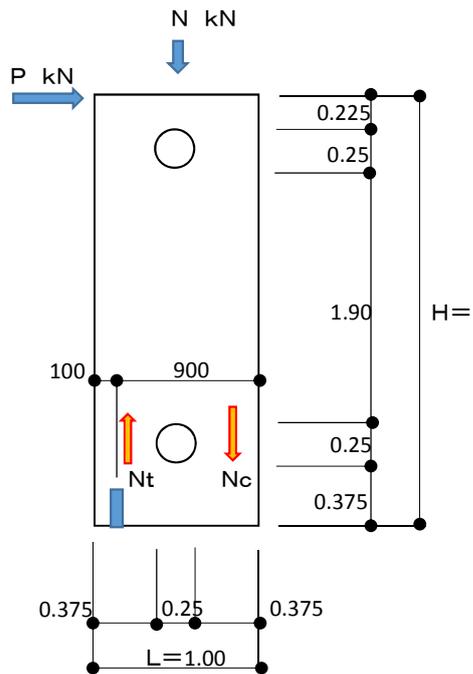


図 4. 2. 12 短期許容応力度以下の開口位置重ね合わせと開口可能範囲

(5) まとめ

250 ϕ の小開口を上下に設けた有開口 CLT 壁のシェルモデルについて鉛直荷重を載荷した状態で水平荷重増分解析を行ったが、開口の有無にかかわらず剛体変形をしており、圧縮バネや引張バネが先行降伏するモードであった。バネの先行降伏により開口周辺に大きな応力集中が見られないため、予備的に同荷重条件で CLT パネルの脚部をピン拘束して静解析を行った。なお、解析対象とした開口パターンは、実験を行ったものと同一とした。開口周辺に応力が発生するが、短期以下の応力度であり、水平変位も無開口と概ね同一であることから、金物が終局耐力を迎える水平荷重範囲（解析では 27.5kN であるが、実験に合わせ 28kN を載荷）であれば、小開口の影響が少ないことが確認できた。また $\phi 150$ の開口位置を拡張させた場合について解析的検討を行ったが、CLT 壁上段に $\phi 150 \times 2$ を設ける場合以外は、開口廻りの応力が短期許容応力度を超えてしまうため、上段に開口を設けるのみ可と考えた。また開口を設けても応力的に問題がなさそうな範囲が解析結果より推察できた。

4.2 柱脚金物終局耐力時の水平力による壁断面検定



$$T = (P \times H) / (L - 0.1) - N/2$$

$$P = (T + N/2) \times (L - 0.1) \quad (2) - 1式$$

(2) - 1式より

$$T = 85 \text{ kN (終局耐力)}$$

$$P = (85 + 80/2) \times (1.0 - 0.1) = 38 \text{ kN}$$

$$S60-3-3 \quad F_c = 10.8 \text{ N/mm}^2$$

$$F_t = 8.0 \text{ N/mm}^2$$

$$N_c = (37.5 \times 3.0) / (1.0 - 0.1) + 165 \text{ kN} \quad \sigma_c = 165000 / (375 \times 90) = 4.89 \text{ N/mm}^2$$

$$\leq 11 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK}$$

$$N_t = (37.5 \times 3.0) / (1.0 - 0.1) - 80 = 85 \text{ kN} \quad \sigma_t = 85000 / (375 \times 90) = 2.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\leq 8.0 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK}$$

以上より、W1は開口部分を除いた有効断面で構造上安全であることが判断される。

同様にW4も開口部分を除いた有効断面で構造上安全であることが判断される。

第5章 まとめ

5.1 検討結果の考察

5.1.1 定載荷水平加力試験結果と考察

試験においては、ルート1の許容せん断力 28kNより、 $28 \times 1.5 \times 1.5$ では 63kN、 $28 \times 1.5 \times 1.35$ では約 56.5kNの水平加力を行い脚部金物破壊までの観察を実施した。各試験体は、最大荷重になっても開口周辺に応力集中などによる亀裂などは発生していなかった。

クロス変位測定による有開口部分の変位からひずみを求め、せん断弾性係数 $G = 500 \text{ N/mm}^2$ を乗じてせん断応力度を参考に算定したが、無開口と比較した場合、有開口の試験体の値は大きくなりはしたが、各数値は、基準値 $F_s = 2.04 \text{ N/mm}^2$ に対して余裕がある値となっていた。

水平加力約 56kNで変形を無開口W1と比較した場合には、有開口W2、W3、W4ともに変形に大きな差はなく、ルート1のクライテリア 1/120 を超えることはないと確認された。

したがって、各有開口試験体は、ルート1においては耐力壁として評価が可能と思われる。

5.1.2 4点曲げ試験結果と考察

無開口W1の場合は、 $Q = 2A/3 \times F_s = (2 \times 1000 \times 90) / 3 \times 2.04 = 122.4 \text{ kN}$ より、載荷最大荷重は $P = 3 \times 122.4 = 367.2 \text{ kN}$ と想定できたが、試験体CLTの強度が 1.2 倍～2.0 倍あると考えられることから、載荷荷重は、 $P = 440 \sim 730 \text{ kN}$ でせん断破壊すると想定した。

しかし、無開口W1は、載荷荷重が 780.68kNでもせん断破壊せず、加力支点の局部的なめり込み破壊で終了し、そのためせん断強度は確認できなかった。試験の状況からは、パネル自体からパリパリと大きな異音が発生しており、破壊まではわずかだったと思われた。

有開口W4は、載荷荷重 745.17kNで破壊した。開口廻りで応力集中が生じ、せん断破壊したと考えられた。

4点曲げ試験結果から無開口壁W1のせん断応力度およびせん断弾性係数を参考に求めたが、 $\tau = 7.95 \text{ N/mm}^2$ 、 $G = 855.8 \text{ N/mm}^2$ となり、基準値と比較すると参考値ではあるが、せん断弾性係数は、基準値の 1.71 倍の値であった。試験体強度が基準より高かったと判断できた。

5.1.3 シェルモデルの解析結果と考察

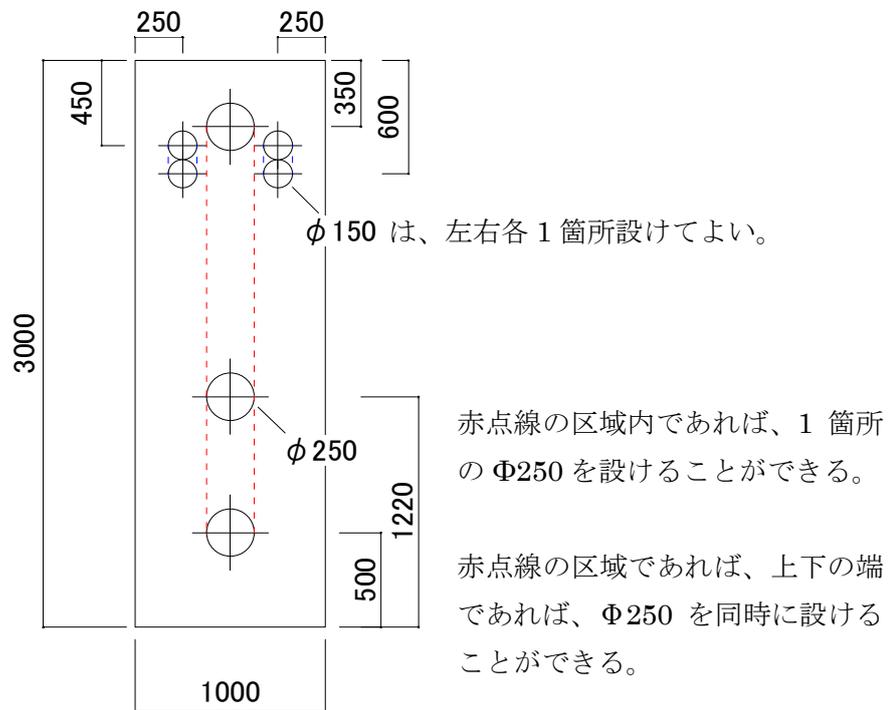
各有開口の試験体をモデルで解析した結果は、無開口W1に対して有開口壁W2、W3、W4は、変形、剛性が近似であった。断面検定では、中間及び下部に2つの $\Phi 150$ を設けた場合は、ルート1の許容せん断耐力の最大値 28kNの水平力で圧縮側がNGとなったが、他は、開口が設けられていても安全性が確認できた。

前記の結果から、開口の大きさ、数と位置を特定しておけば、有開口耐力壁としてルート1で採用することに問題はないと判断される。

5.2 有開口耐力壁の設計法の提案

前記の検討結果から有開口壁の試験体 CLT は、ルート 1 の許容せん断耐力の最大値 28k N/m の $1.5 \times 1.5 \sim 1.5 \times 1.3$ の範囲で、せん断応力度が $F_s = 2.04 \text{ N/mm}^2$ に対して余裕のある値であったことから、開口の大きさ、数、位置などの条件を設定することで、ルート 1 において有開口耐力壁を採用することは構造上の安全性に問題は生じないと判断される。

ただし、開口周辺の垂れ壁、腰壁からの影響のない位置とするなどの付帯ルールを設けることで、下図の位置に開口が配置できるとして有開口耐力壁の設計法を提案する。



CLT等新たな木質建築部材利用促進・定着委託事業のうち国による開発

資料 1 委員会議事録

議 事 要 旨 (案)

件名	有開口耐力壁開発委員会	2018年度 第1回	
日時	2018年7月24日(火) 10時00分～12時00分	場所	日本CLT協会 会議室
参加者	<p>【委員長】神谷 文夫/セイホク 【委員】五十田 博/京都大学、植松 武是/北海学園大学、[荒木 康弘]/国土技術政策総合研究所、野田 康信/森林総合研究所、鈴木 圭/日本住宅・木材技術センター、[岡部 実]/ベターリビング 【協力委員】☆梅森 浩/大成建設、大橋 修/三井ホーム、渡邊 須美樹/木構研、車田 慎介/銘建工業 【コンサルタント】中越 隆道/中越建築設計事務所、<富田 佐和子>[戸田 淳二]/中央設計 【行政】藤本 達之/林野庁 【事務局】河合 誠、[坂部 芳平]、小玉 陽史、伴 勝彦 ※敬称略、< >は代理出席者、[]は欠席者、☆は議事録作成者</p>		

(内容・決定事項)

1. 委員紹介

2. 趣旨説明

- ・事務局（伴氏）より、本委員会は林野庁の補助事業に採択された開発に対するものとして、資料18-1-2に示す目的、事業内容、スケジュール、報告書の作成等、その他補足的な内容に沿って進めて行くとの説明があった。
- ・今回の開発内容は計算ルート1～3全てに適用したい。
- ・ルート2、3については適用範囲をかなり絞り込む必要があると予測される。

3. 有開口耐力壁の計算合理化案の開発について

- ・コンサル（中越氏）より、資料18-1-3に沿って説明があり、その後質疑応答及び議論が行われた。
- ・CLTパネルに孔が空いたら何らかの耐力低下があるとの共通認識を持った。
- ・ルート2、3でも接合部が先行破壊することを前提に、CLTパネルのせん断耐力性能を超えない範囲で開口を設けることができるという理屈は成立つが、開口による影響を無視するとか低減すれば良いとできるようにするには、相当複雑な条件設定（仕様規定等）が必要になる。
- ・資料のP.1の1.①に鉛直荷重に対して開口の大きさ、位置に無関係に断面欠損部分を有効断面から除外することは合理性に欠けているとあるが、最新の規定では部位により座屈の影響の有無等を考慮して検討することとなっており、現在は合理的な検討方法となっている。
- ・実験を行うのは資料のP.1③（面内せん断実験）のみとする。
- ・実験では開口の条件（寸法、位置、箇所数等）によっては、ばらつきの範囲なのか開口の影響によるものなのか判断できない場合が想定される。また、実験可能な試験体数にも限りがある。
- ・従って基本的には解析で検討を行い、その結果が妥当なものかを確認することが実験の目的となるものと考えられる。
- ・資料のP.10～12に試験体リスト案を示してあり、これを叩き台として試験体形状等を決めて行きたい。
- ・設備用の孔と引きボルト用の孔とは別物として検討する。なお、引きボルト用の孔の影響を確認する実験ではその周囲に引きボルトによる応力が生じる状況にはしない。
- ・今回は引きボルトの孔が存在するパネルには設備用の孔は空けないことを前提に検討を行う。
- ・実際の設計では例えばワンルームタイプが並ぶ賃貸住宅では必要最低限の幅の耐力壁しか取れない方向があり、その耐力壁に換気用、吸気用、給水用、クーラースリーブ用等、5～6か所の孔が必要となるケースが多い。このような実状を踏まえて検討を進める必要がある。
- ・複数の孔が接近する場合はそれらを包含するような孔として考える等の対応が必要になる。
- ・小さい孔は大きい孔よりも耐力性能に与える影響は小さいため、それを考慮して加力順序を決めて行く予定。

- ・実験では水平加力時の長期鉛直荷重の影響を考慮する必要がある。即ち鉛直方向に一定の圧縮力をかけてせん断力を上げる実験で性状を確認すべき。
- ・タイロッド式の加力では、脚部金物の影響が生じにくくなる。また、圧縮ストラットから離れた位置の開口では長期鉛直荷重の影響を考慮したことにならないし、圧縮ストラットとの位置関係によっては逆に実際よりもかなり厳しい応力状態になることも想定される。
- ・今回の試験体は壁厚150mmであり4層程度迄を想定しているのでこれに見合う鉛直荷重で考えれば良い（それ程大きな荷重にはならない筈）。
- ・ルート2、3になると鉄骨梁を用いるケース等も想定される。今回検討できる範囲を考えると、ルート2、3でも構法を限定したものとする必要がある。
- ・資料のP.16に垂れ壁の支圧力と開口部側面の応力状態の把握をする旨を記載しているが、本日の議論を踏まえてこれは断念し、今回は垂れ壁の影響を受ける開口は設けないこととする。
- ・資料18-1-4のスケジュールは平成31年3月12日の開発完了日から後追いして組立てており、実験は9月中旬～10月末に北林産試で48体行う予定としているため、まずは北林産試で鉛直荷重をかけながら水平加力が可能か確認する。
- ・タイロッド式による実験とせざるを得ない場合は、それを前提にどうすれば実際の建物の中にある有開口耐力壁の耐力性状等を適切に評価できるのかを考える必要がある。今後今回の内容をスギ以外のCLTにも適用できるようにする場合等を考慮すると一般的な加力装置で実施可能な方法で対応できるようにしておく必要もある。
- ・実験スケジュール等に間に合う時期に本委員会をもう一度開くことは不可能なので、事務局が本日の議論の結果を整理して、実験方法等を含む開発内容案を再度作成し、Eメールのやり取りで委員間の合意を取る形を取ることとする。
- ・方針としては、取り敢えずルート1で必要な仕様規定を決めて、ルート2、3でもその知見がある程度参考とできるレベル迄を今年度の成果目標とする。
- ・今年度内でルート2、3迄を網羅した内容を一足飛びに完成させることは無理なので、今年度の結果を土台として来年度～再来年度に繋げて行けるように進めて行く。

以上

備考：配布資料

18-1-0 議事次第

18-1-1 委員名簿

18-1-2 林野庁提出仕様書

18-1-3 小開口付パネルの計算合理化案の開発

18-1-4 開発スケジュール案

次回 日程	2018年11月15日(木) 15時00分～17時00分	場所	日本 CLT 協会会議室
----------	---------------------------------	----	--------------

(一社)日本 CLT 協会

議 事 要 旨 (案)

件名	有開口耐力壁開発委員会	2018年度 第2回	
日時	2018年11月15日(木) 15時00分～17時00分	場所	日本CLT協会 会議室
参加者	<p>【委員長】神谷 文夫/セイホク 【委員】五十田 博/京都大学、植松 武是/北海学園大学、[荒木 康弘]/国土技術政策総合研究所、野田 康信/森林総合研究所、鈴木 圭/日本住宅・木材技術センター、岡部 実/バタリービング 【協力委員】梅森 浩/大成建設、[大橋 修]/三井ホーム、☆渡邊 須美樹/木構研、[車田 慎介]/銘建工業 【コンサルタント】中越 隆道/中越建築設計事務所、戸田 淳二/中央設計 【行政】福島 純/林野庁 【事務局】[河合 誠]、坂部 芳平、[小玉 陽史]、伴 勝彦 ※敬称略、< >は代理出席者、[]は欠席者、☆は議事録作成者</p>		
<p>(内容・決定事項)</p> <p>1.委員変更による紹介</p> <ul style="list-style-type: none"> ・林野庁 福島さん自己紹介 <p>2.第1回有開口委員会議事録(案)確認</p> <ul style="list-style-type: none"> ・誤字訂正：2/2、12行目「平成31年3月12日の開発完了日」⇒(を)削除して「平成31年3月12日の開発完了日から・・・」とする。 ・その他異議無く議事録は承認された。 <p>3.有開口耐力壁試験詳細、試験スケジュール</p> <ul style="list-style-type: none"> ・資料18-2-2、18-2-3、18-2-4、18-2-5、18-2-6、18-2-7、18-2-8について説明有り <p>○試験体の強度確認方法について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実際の運用として実験と同じ材料(CLT)が使われている保証方法はどのように検証するか？ということについて例えば応力レベルを計測して基準強度以下であることが確認できれば良いと思われるがどのように確認されますか。例えば、歪みゲージを試験体に貼って応力度を計測してはいかがでしょうか。特にCLTの基準強度は現状低く抑えられているので実際の製品は強度が2倍程度あるものもある。そのため実験結果で応力が基準強度を超えてしまえば検証できない。 ・試験場の計測チャンネル数に限りがありこれ以上チャンネルを増やすことが困難である可能性がある。 ・最近画像計測が比較的簡易にできるようになっているので採用する方向で検討する。 ・合わせて試験体図面にあるように斜め方向に変位計を取り付け対角線上の変位計測も必要である。使用する50mm変位計の精度について確認あり。 ・合わせて要素実験(圧縮試験)も行う。要素は各試験体から1体採取が良いと思われる。試験体の大きさは鈴木さんに連絡をもらう。試験場は北海学園大学でできそうなので段取りを組んでもらう。 ・設定されている荷重について軸力が80kN/mというのは実際の建物の荷重と考えてよいのか？今までの設計例等から導きだしていますが40kN/m程度は軸力としてかかっている。 <p>○試験体と治具の取り付けが偏心していないか？</p> <ul style="list-style-type: none"> ・荷重がかかった時、面外方向にハラミ出さないか？ また、治具と試験機(ジャッキ)との取り付けに偏心はないのか？試験場に確認する。 ・面外のハラミについては鉛直方向の変位を計測し確認する。計測は最初の1体のみで良い。 ・開口周りの変位についてクロス方向+鉛直方向(開口部周りの変位)を計測できるチャンネル数があるか試験場に確認する。できれば計測する。 			

○試験スケジュールについて

- ・試験スケジュールは12/3～7、12/10～14で行う。各委員は都合の良い時に参加することとする。

4. 有開口解析結果

- ・資料18-2-9、18-2-10について説明有り
- ・脚部引きボルトは実験2本、解析1本で相違がある。
- ・解析は引きボルトが降伏することで終了する設定になっている。
- ・開口低減率の定義はなんですか？「CLTを用いた建築物の設計施工マニュアル」P.81のRoです。そのためパネル巾が1m、1.5m、2mでは開口寸法は違っている。
- ・実験では水平方向に65kN加力しているが解析は27.5kNとなっている。その差に関しては今後精査する必要がある。FEM解析の特性もあるため。
- ・解析結果からは開口周りの応力は短期許容応力以内であることを確認している。

5.まとめ

- ・試験体形状は図面通りで良い。
- ・測定は画像解析を導入する。計測チャンネル数を試験場に確認する。
- ・治具と試験体及び試験機の偏心については試験場に確認する。
- ・上記確認後、試験方法に変更等がある場合は委員にメールにて確認をとることとする。

備考：配布資料

- 18-2-0 議事次第
- 18-2-1 第1回有開口委員会議事録(案)
- 18-2-2 開口位置設定根拠
- 18-2-3 試験の進め方
- 18-2-4 CLT試験体加工図
- 18-2-5 治具図
- 18-2-6 金物図
- 18-2-7 測定機器位置図
- 18-2-8 試験スケジュール
- 18-2-9 開口低減率解析結果
- 18-2-10 有開口シェルモデル解析結果林野庁提出仕様書

次回 日程	2019年1月24日(木) 10時00分～12時00分	場所	日本CLT協会会議室
----------	--------------------------------	----	------------

(一社)日本CLT協会

議 事 要 旨 (案)

件名	有開口耐力壁開発委員会	2018年度 第3回	
日時	2019年1月24日(木) 10時00分～12時00分	場所	日本CLT協会 会議室
参加者	<p>【委員長】神谷 文夫/セイホク 【委員】五十田 博/京都大学、[植松 武是]/北海学園大学、荒木 康弘/国土技術政策総合研究所、野田 康信/森林総合研究所、鈴木 圭/日本住宅・木材技術センター、岡部 実/ベターリビング 【協力委員】梅森 浩/大成建設、☆大橋 修/三井ホーム、渡邊 須美樹/木構研、[車田 慎介]/銘建工業 【コンサルタント】中越 隆道/中越建築設計事務所、戸田 淳二/中央設計 【行政】福島 純/林野庁 【事務局】坂部 芳平、河合 誠、[小玉 陽史]、伴 勝彦 ※敬称略、< >は代理出席者、[]は欠席者、☆は議事録作成者</p>		

(内容・決定事項)

1.第2回有開口委員会議事録(案)の確認

- ・有開口耐力壁試験における設定荷重は、許容応力度から算定した最大軸力80kN/mとする。設計例等では40kN/mの軸力がかかっている。という記述は適切でないため削除する。

2.開口付壁の面内せん断試験結果概要報告

- ・最大加力は耐力壁に両側から合計12枚の垂れ壁・腰壁が取り付けとした場合とし、告示611号に基づき算出した短期許容せん断耐力を1.5倍し、さらに安全率1.5倍を乗じた65kNとする。加力は65kNの1/4、1/2、1倍の正負サイクルとし、0.8Pmaxまで押し切ることを目標として加力することとした。また壁軸力は、80kNを保つよう手動で調整した。
- ・壁面のひずみ計測は、ひずみゲージによると、幅はぎや節などの影響で正確な応力状態を計測ができないことが考えられたためひずみゲージを代えて画像計測を計画していたが、試験場が画像計測に対応できる状況でなかったため全て通常の変位計による計測とした。
- ・無開口壁(W1)の最大荷重は、3体平均で120kNと目標値の65kNに対しかなり大きい数値であった。破壊形態は、いずれの試験体においても脚部の浮き上がりによる接合部の破壊であった。
- ・上下にφ250穴を1か所ずつ開けた壁(W2)の試験体のうちNo.2は外層ラミナが早期(70kN時)に割裂が発生した。この試験体を含めた3体の最大荷重の平均値は、112kN。
- ・上部2-φ150穴を開けた壁(W3)の試験体のうちNo.2は60kN程度で脚部接合部に割裂が生じ、全ての試験体のうち唯一、目標値の65kNを下回る結果となった。
- ・中央φ250穴を1か所開けた壁(W4)は、前述の壁脚部接合部の割裂破壊が生ずるも各試験体とも目標値65kNを上回る結果であった。
- ・W2~W4全ての仕様、全ての試験体において開口周辺で亀裂等の損傷は全く発生していない。
- ・接合部の破壊の原因は試験中に生じた曲げ引張力がラミナの破壊応力レベルを超えていたことによるが、接合部が破壊する以前に開口周囲に損傷が生じていないことから今回の開口仕様は構造上の欠点にはならないと言える。
- ・柱脚金物固定式とタイロッド固定式では、開口周囲に生じる応力状態が異なるため、固定方法により扱いが難しいが、今後実施予定の要素試験により無開口壁からの耐力低下率が明らかになればその評価の整理も可能といえる。
- ・今後斜めクロスに設置した変位計の結果を整理し、FEM解析と検証することにより開口周囲の応力状況を詳細に把握することが可能となる見込み。

3.4点曲げ試験について

- ・W1およびW4仕様について4点曲げ試験を行う。
- ・加力点、支持点のめり込み対策の検討を要す。

- ・目標最大荷重は、W1で185kN、W4で140kNとする。
- ・試験は富山県農林水産総合技術センターで実施予定。

4.有開口シェルモデル解析結果

- ・実験仕様のW1~W4について壁脚部を接点ピン支持として解析を実施したところ、全てのケースにおいて開口周囲の応力は短期許容応力度以下となっている。
- ・28kN時の水平変位を解析値と実験値で比較すると概ね一致することが確認された。

5.圧縮試験

- ・植松委員が準備を進めているが、試験装置等に調整を要するため現段階で日程は確定できない状況。

6.その他（今年度事業の成果と今後について）

- ・有開口耐力壁の試験においては、想定荷重を十分上回る強度が確認され、試験後の全ての試験体において開口周囲には損傷は確認されなかった。

また試験仕様W1-3（開口無し）、W2-1（開口有り）について28kN時の真の変形角変形角を比較するとW1-3で1/344rad、W2-1で1/301rad（見かけの変形角においては、W1-3で1/244、W2-1で1/237）と開口有りの方が剛性は若干低下するが許容範囲内と評価できる。

以上のことから、現段階では、実験仕様の壁パネルと同サイズ（以下）の開口が同様の位置に配置された壁パネルに限り、特段の低減係数など乗ずることなく無開口壁と同様に構造上扱うことが可能であるとして、有開口耐力壁の設計法を作成することとする。

- ・将来的には小開口のサイズバリエーション増加や自由な配置に対応していくことが望まれる。これに対して、例えば計算ルート1に限定した上で適正な安全率や荷重上限値などを設定するなどにより実現は十分可能であり、今後の課題として検討する。

以上

備考：配布資料

18-3-0 議事次第

18-3-1 第2回有開口委員会議事録(案)

18-3-2 開口付壁の面内試験結果概要報告ほか

18-3-3 有開口シェルモデル解析結果

次回 日程	2019年2月25日（月） 10時00分～12時00分	場所	日本 CLT 協会会議室
----------	--------------------------------	----	--------------

(一社)日本 CLT 協会

議 事 要 旨 (案)

件名	有開口耐力壁開発委員会	2018年度 第4回	
日時	2019年2月25日(月) 10時00分～12時00分	場所	日本 CLT 協会 会議室
参加者	<p>【委員長】神谷 文夫/セイホク 【委員】五十田 博/京都大学、植松 武是/北海学園大学、荒木 康弘/国土技術政策総合研究所、野田 康信/森林総合研究所、鈴木 圭/日本住宅・木材技術センター、[岡部 実]/ベターリビング 【協力委員】梅森 浩/大成建設、☆大橋 修/三井ホーム、[渡邊 須美樹]/木構研、☆車田 慎介/銘建工業 【コンサルタント】中越 隆道/中越建築設計事務所、戸田 淳二/中央設計 【行政】猪島 明久、福島 純/林野庁 【事務局】坂部 芳平、[河合 誠]、小玉 陽史、伴 勝彦 ※敬称略、< >は代理出席者、[]は欠席者、☆は議事録作成者</p>		

(内容・決定事項)

○第3回有開口委員会議事録(案)の確認

- ・2ページ目の富山の実験の目標はせん断強度を測定する事である。
- ・6.その他の現段階では実験仕様の～可能であるというところは最終的には要素実験の結果を確認して検討する必要がある。「今後の試験結果を確認して実現可能か検討する」に訂正する。
- ・実験仕様の壁パネルと同サイズ(以下)の開口は開口の大きさが同サイズ以下という事で良いか。
→その通り。

○有開口面内試験の解析について

- ・孔の径が1000幅に対して最大どの程度の開口率となるのか。
→φ250のため、25%となる。
- ・W1,W2の表裏に貼っているNo.10,11とNo.22,23のひずみゲージの値は平均化して良いのではないか。そうするとW1=0.9、W2=0.95程度となり、それほど悪くない数値となる。
- ・荷重とひずみの関係が分かるグラフはないか。水平力に対するひずみの動きがどのような挙動になっているか知りたい。
→グラフを作成する予定。
- ・荷重が56kN程度で止まっている理由は？
→先方の実験装置に対する経験が少なかったの、タイムラグ等が生じたかもしれない。
→そういうところも含めてグラフがあると良い。
- ・せん断応力度と言っているところはどこになるか？
→対角のところ
→開口のある部分も含めて同じように扱っているので、開口の影響のある部分についてはせん断弾性係数500N/mm²を乗じるだけでは参考値にしかないかもしれない。

○有開口シェルモデルの解析について

- ・解析上でせん断応力度をアウトプットする事は出来ないか
→コッター図は算出可能であるがその中で最も高い値を確認する事は難しいかもしれない。
- ・実験が片持ち状態で実施していると思われるが、逆対象曲げを考慮すると曲げ応力度分布が変わるので応力状態が変わる事も考慮した方が良い。
- ・実際の建物上では垂壁と床と緊結されていることで逆対象曲げの状態になっている可能性はあると思われる。
- ・垂壁が取付いた際の架構は今回確認していないので今後検証する必要がある。
→どのような検証になるか。数値を明確に確認する事は難しいのでは。
→45°の影響面積など数値化する必要があるが、そのようなルールにしてしまうと開口がほぼ空けられなくなるため、垂壁の直線上にない等のルールを決められればと思っている。

- ・最終的に事業報告書内で提案する必要があるので、何かしら成果物が欲しい。
- ・実際の性能を考慮するとこの程度の孔は運用上問題ないと思っているが、根拠となる資料を整えておくとよい。
例えば、ルート1で接合部の性能が規定されているので、それらに対して必要有効断面積を算出して開口の空けられる位置を決めてしまえばよい。

○圧縮試験結果報告

- ・結果として高い値が出ていた。既往の実験結果と比べてもそれほどばらつきもなく良い結果だったと思われる。
 - ・この実験結果は今回の事業の中でどのように取り扱うか。要素実験で確認した応力度と設計応力度の比の分だけ低減した値で検証する方法が良いのか。
- 試験で実際にその破壊が生じているのであればその理論も検討する必要があるが、実験は接合部で破壊しているので単純に比率分低減すれば良いというものでもない。あくまで参考程度で良いのではないか。

○4点曲げ試験について

- ・パネリードが開口部のせん断補強になる可能性があるので、影響が出るかもしれない。
- ・開口がない試験体も実施するのか。 →実施する。
- ・試験状況の動画を撮影しておいてほしい。 →実施する。

○今後のスケジュール、その他

- ・委員会は本日で終了。最終的に本事業の内容をマニュアルに反映させることとなる。
- ・期限はあるのか。 →明確な期限はない。来年度となる予定。
- ・CLT 関連林野庁事業成果報告会があるので時間があれば参加して欲しい。

備考：配布資料

- 資料 18-4-0 議事次第
- 資料 18-4-1 第2回有開口委員会議事録（案）
- 資料 18-4-2 有開口面内試験解析
- 資料 18-4-3 有開口シェルモデル解析
- 資料 18-4-4 圧縮試験結果
- 資料 18-4-5 4点曲げ試験装置図

次回 日程		場所	
----------	--	----	--

(一社)日本 CLT 協会