

2. 3 福山弘構造デザイン

1. 建築物の仕様一覧

事業名		函南の家新築工事の建築実証		
実施者 (担当者)		福山弘構造デザイン		
建築物の概要	用途	一戸建ての住宅		
	建設地	静岡県田方郡函南町		
	構造・工法	木造 (軸組工法、CLTスラブの上)		
	階数	1		
	高さ (m)	6.75		
	軒高 (m)	6.65		
	敷地面積 (㎡)	539.85		
	建築面積 (㎡)	71.91		
	延べ面積 (㎡)	61.84		
	階別面積	1階	61.84	
	2階			
	3階			
CLTの仕様	CLT採用部位		1階床	
	CLT使用量 (m ³)		18.1m ³ (建物使用量)	
	壁パネル	寸法		
		ラミナ構成		
		強度区分		
		樹種		
	床パネル	寸法	t90 (基本サイズ: 2.23x6.0), t120 (基本サイズ: 2.0x6.0)	
		ラミナ構成	3層3プライ、3層4プライ	
		強度区分	MX60	
		樹種	スギ	
屋根パネル	寸法			
	ラミナ構成			
	強度区分			
	樹種			
仕上	主な外部仕上	屋根		
		外壁		
		開口部		
	主な内部仕上	界壁		
		間仕切り壁		
		床		
		天井		
構造	構造計算ルート		4号 (軸組構造の仕様規定のみ)	
	接合方法		スクリュー	
	最大スパン		3.5m, 1.8m (片持ち部)	
	問題点・課題とその解決策			
耐火	防火上の地域区分		法22条地域	
	耐火建築物等の要件		なし	
	本建築物の耐火仕上仕様		屋根不燃・外壁準防火性能	
	問題点・課題とその解決策		特になし	
施工	遮音性確保に関する課題と解決策		特になし、専用住宅であるためCLT90mmのみで十分と判断	
	建て方における課題と解決策		一般的な住宅地で最大8mサイズのCLT板を取り扱うのは困難。施工者の施工調整上の工夫に助けられている。	
	劣化対策		特になし	
工程	設計期間		2016.7~2017.1 (7カ月)	
	施工期間		2016.2~2017.6 (5カ月) 予定	
	CLT躯体施工期間		2016.2	
	竣工 (予定) 年月日		2017.6.30	
体制	発注者		福山弘	
	設計者 (複数の場合はそれぞれ役割を記載)		福山弘構造デザイン (意匠統括)、喜多裕建築設計事務所 (設計協力)	
	構造設計者		福山弘構造デザイン	
	施工者		菊池建設株式会社	
	CLT供給者		銘建工業	
ラミナ供給者				

事業名： 函南の家新築工事の建築実証
 実施者または担当者： 福山弘構造デザイン

1. 実証した建築物の概要

用途	一戸建ての住宅		
建設地	静岡県田方郡函南町		
構造・工法	木造（軸組工法、CLT スラブの上）		
階数	1 階		
高さ（m）	6.75	軒高（m）	6.65
敷地面積（㎡）	539.85	建築面積（㎡）	71.91
階別面積	1 階	61.84	延べ面積（㎡） 61.84
	2 階	—	
	3 階	—	
CLT 採用部位	1 階床		
CLT 使用量（m ³ ）	18.1m ³ （建物使用量）		
CLT の仕様	（部位）	（寸法 / ラミナ構成 / 強度区分 / 樹種）	
	壁	—	
	床	90x2230x6000/3-3/Mx60/スギ, 120x2000x6000/3-4/Mx60/スギ	
	屋根	—	
設計期間	H28.7～H29.1（7 カ月）申請手続き期間含む		
施工期間	H29.2～H29.6（5 カ月）予定		
CLT 躯体施工期間	H29.2（3 日間）		
竣工（予定）年月日	H29.6.30		

2. 当該建築物における実証内容

傾斜地に建つ住宅のプラットフォームとしての CLT 利用のメリットを整理し、設計プロセスをまとめた。

CLT を使ったフラットスラブ状のプラットフォームを RC と独立鉄骨柱で構成する基礎の上に置くことで、施工上は下部構造の位置誤差を吸収し、かつ上部構造の施工を容易にするというメリットがある。また、温熱環境的にも床の1次的な断熱のフィルタを兼ねることができ、かつ躯体の下に空気が流れるため躯体の健全性を保つことができる。その他コストの上でも必要な部分のみ RC 打設を行い、傾斜地で困難な基礎の打設面積を削減することができるというメリットが整理された。その施工での問題点や設計上の工夫および解析手法を整理した。

3. 実施体制

【申請者】福山 弘 【協力者】福山弘構造デザイン（意匠・構造・統括）、喜多裕建築設計事務所（設計協力）、菊池建設株式会社（施工）、銘建工業（CLT 材料供給）

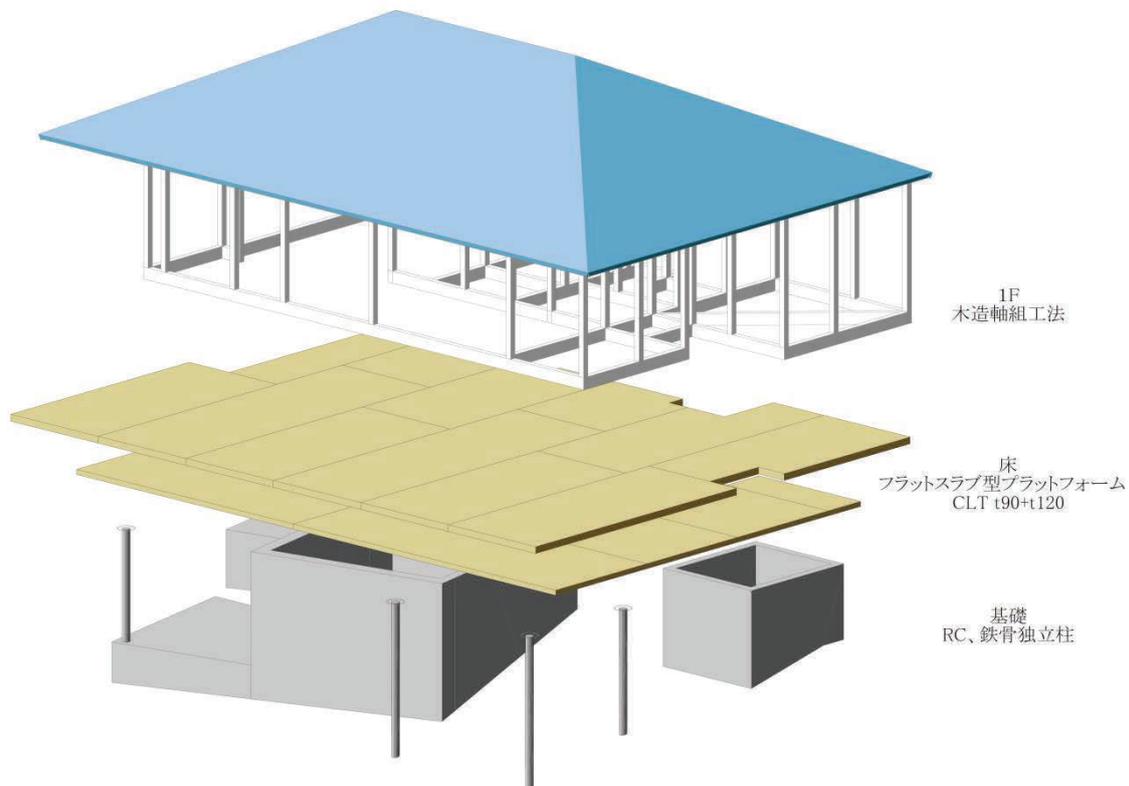
4. 実証方法と実施工程

福山弘構造デザインが構造・意匠・設計統括を行い、喜多裕建築設計事務所が設計協力を行った。施工は菊池建設。CLT は銘建工業の提供とする。

CLT 同士をさらに直交させて重ねて現場で貼り合わせることで独立柱で支えるフラットスラブ状の架構が可能となる。この構成について、表計算やフレームモデルを用いて詳細に解析を行い設計法を整理した。

鉄骨独立柱 - CLT 間接合については、熱橋防止と精度誤差解消のため先穴不要の小径の既製金物用スクリーを用い、集中応力によるめり込みでの変形が過度に増大しないよう、めり込み防止杭としての全ねじスクリーを併用した。RC 基礎にも土台を敷き込み、その上に CLT フラットスラブを下部の躯体に載せてビス止めするのみで成立させることで精度の吸収を可能にしている。上部の軸組もこの CLT で構成されたプラットフォームに敷土台をビス止めするところから始めればよいので、傾斜地での打設困難な RC 躯体の位置精度を容易に吸収できることが分かった。

確認申請上は平屋の4号建築物扱いであった。



<設計>

H28.7～10： 実施設計

H28.10 上旬： 建築許可申請（都市計画） H28.11 下旬： 建築許可発行

H28.12 下旬： 建築確認申請 H29.2 初旬： 建築確認発行

<施工>

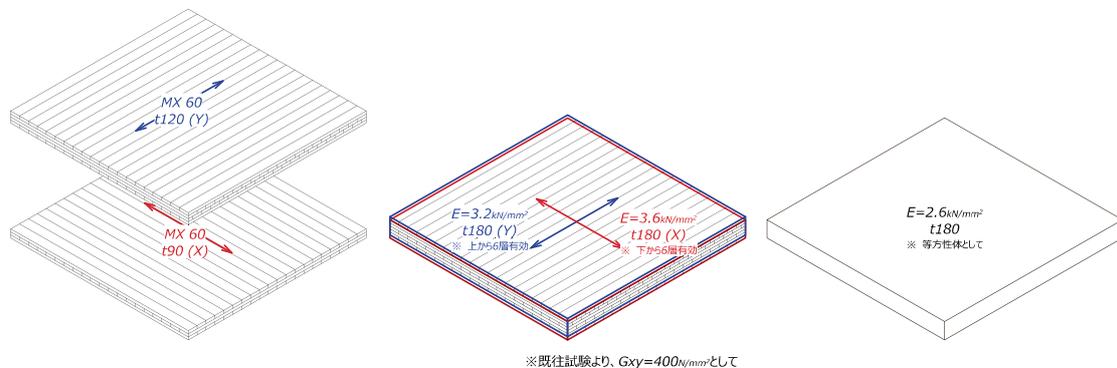
H29.2： 着工

H29.6： 竣工予定

5. 得られた実証データ等の詳細

本建物の CLT フラットスラブは MX60 の t90 と t120 を重ねて接着スクリーュー止めすることにより成立させている。応力は接着を考慮してもしなくても OK になるように、たわみは接着を考慮した場合で良いというクライテリアを設けて検証した。

重ね合せた部分が接着で一体になっていると仮定した場合に得られる性能は、CLT の層構成に基づき計算した場合、t90 の強軸を X 軸とみて、X 方向に有効な厚さを 180mm とし $E=3.6\text{kN/mm}^2$ 、同様に Y 方向に有効な厚さを 180mm とし $E=3.2\text{kN/mm}^2$ となった。これと併せて既往の実験研究の成果より $G_{xy}=400\text{N/mm}^2$ とすると、 $E=2.6\text{kN/mm}^2$ の等方性体と同様の变形性能であるという事が分かった。これを用いて複雑な床の形状についても応力変形状態を計算により予測できる。この手法自体は汎用性があるものと考えられ、今後実験により照査することが望ましい。



6. 本事業の成果

設計のプロセスおよび施工の課題と解決法を取りまとめることにより、他の事業者が CLT を用いて建築物を建築する際に活用できるツールとなる。フラットスラブ状架構の設計方法を提案的に整備した。温熱環境については竣工後にデータを得て広く公表し、継続的な計測を予定している。

■ 施工写真



25t レッカーによる CLT の吊上げ。前面道路通行止め



CLT の敷地内斜面への仮置き



レッカーアームの届かない縁端部はショベルカーを利用



基礎には土台を敷き、位置誤差を吸収。



鉄骨柱頭のビス止めおよび上面への上層位置の野書き



層の反りずれは支保工+当て木の仮ビス打ち



2層目を載せる



CLT 上の軸組まで

■ CLT フラットスラブプラットフォームの利点

改めて、当該建築物に関わる与条件および CLT を用いてプラットフォーム状の架構を構成することの利点を整理しておく。

<与条件>

- 1. 極端な傾斜地で、前面道路との高さの差は10m程度（基礎外周の平均高さ、敷地横断図（p.8）参照）2mを超える擁壁も存在する。付随的に以下のような問題を生じる。
 - i. RC基礎型枠施工が困難なため精度出しが困難。
 - ii. 重機が入りにくい。最小のコンボを斜面下からレッカーを用いて上げることしかできない。
- 2. 生コン工場から遠く、かつ高所搬送となりコンクリートの躯体コストが高い。通常の2倍程度（最終見積価格 ¥31,300/m³）
- 3. 海に近い山地で湿気やすい。
- 4. 既存躯体が存在する。

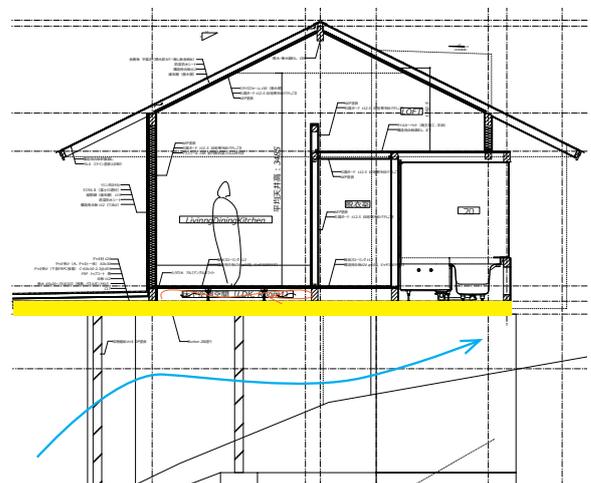
以上のような条件のもとで、RC 基礎躯体と上部軸組間に CLT フラットスラブプラットフォームを設けることで、以下のような利点を生み出すことができる。

<構造・施工上の利点>

- 1. RC基礎躯体を中央のみ、外周に鉄骨ピン柱を配することで、型枠・コンクリート打設量を極小化することができ、コストを大幅に削減できる。
- 2. CLTとRC基礎躯体の間に土台を配し、また鉄骨柱は下部からのビス止めとすることで（CLT下部接合詳細図（p.9）参照）、プラットフォームのレベルで基礎の位置誤差を完全に吸収できる。
- 3. 位置誤差が吸収される前提であれば、新設部と芯ずれする既存躯体の基礎部分を型枠およびウエイトとして利用することで型枠量を減らしてコストを削減し、安全上のリスクを低減することができる。

<計画・環境上の利点>

- 1. RC躯体部分を極小化することで、スラブ下部の通気を確保して湿気から守ることができる。
- 2. RCスラブや木造軸組などでは必要となる付加断熱を省略することができる。
- 3. スラブ上の空間を床下空調の空間として利用することで躯体の健全性をより保つことができる。
- 4. 特に仕上げを付加することなく、見上げにも意匠性を与える事ができる。



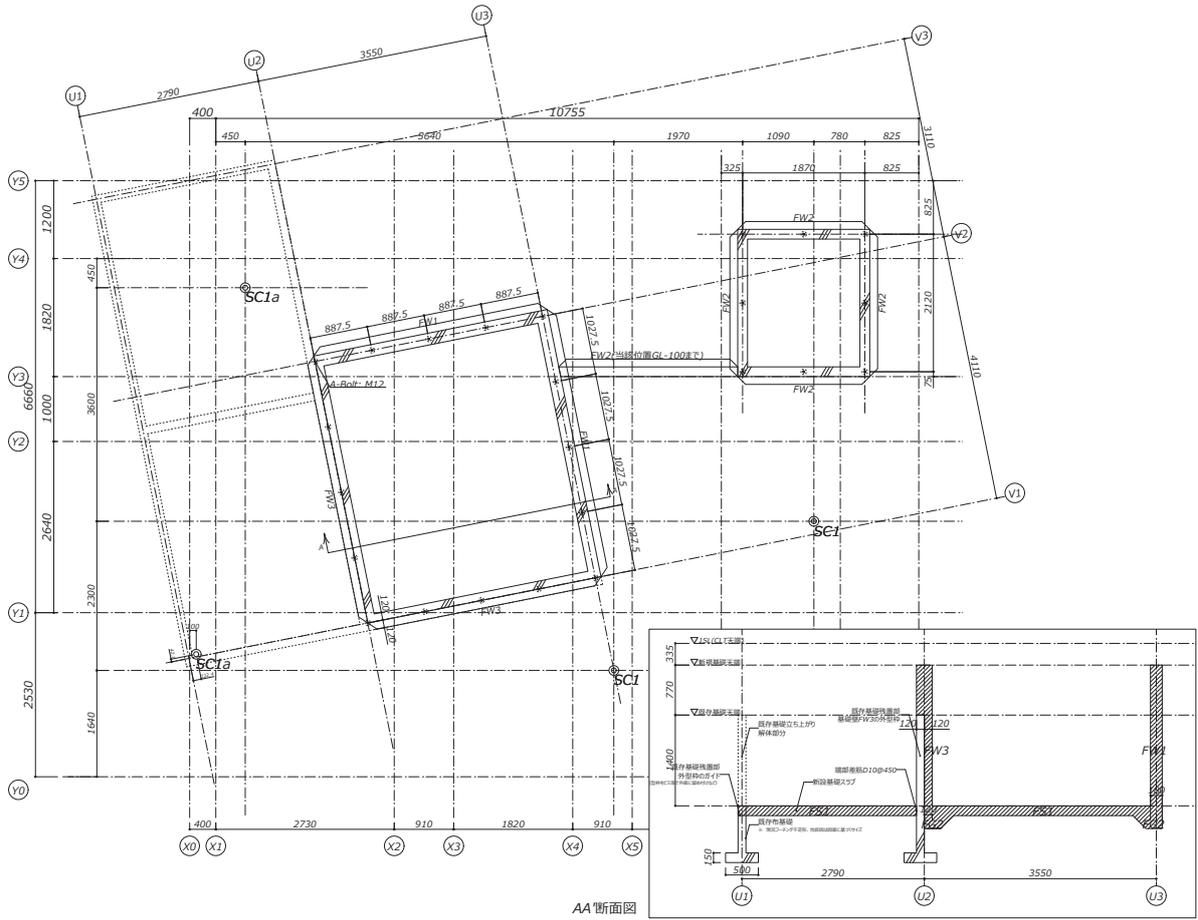


Fig. 基礎伏図

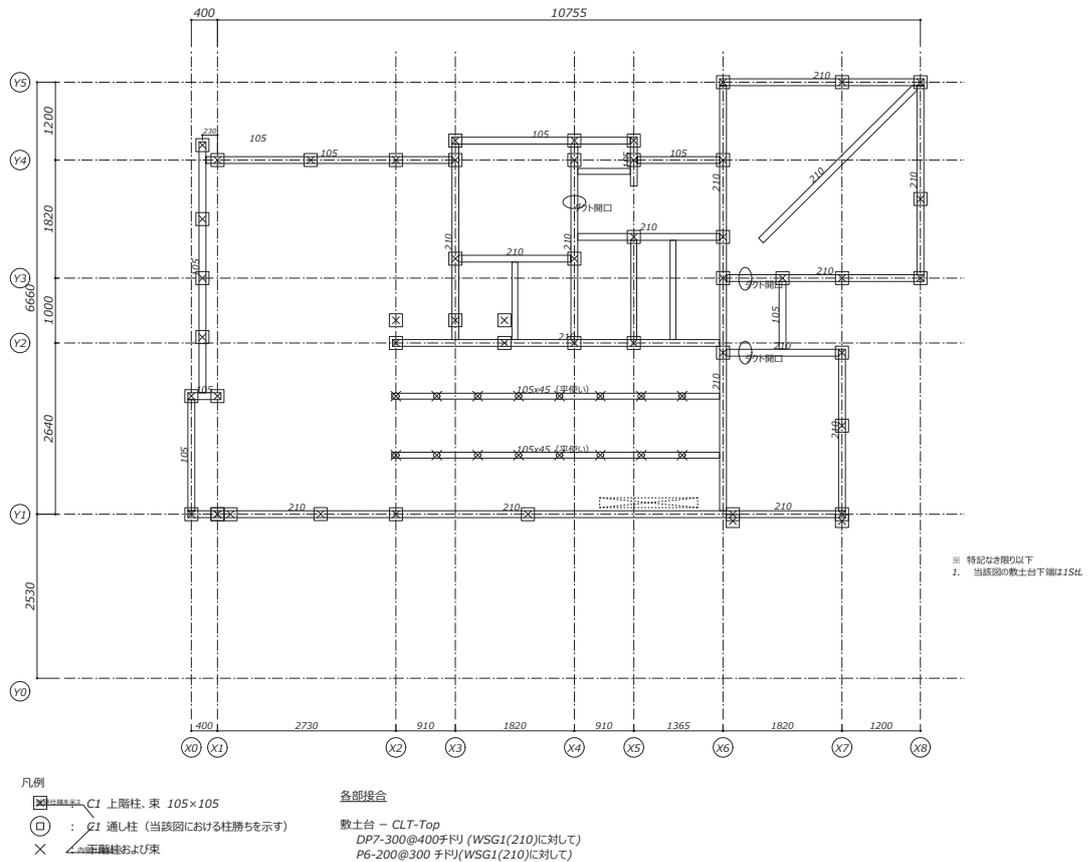


Fig. 敷土台伏図 (CLTの上)

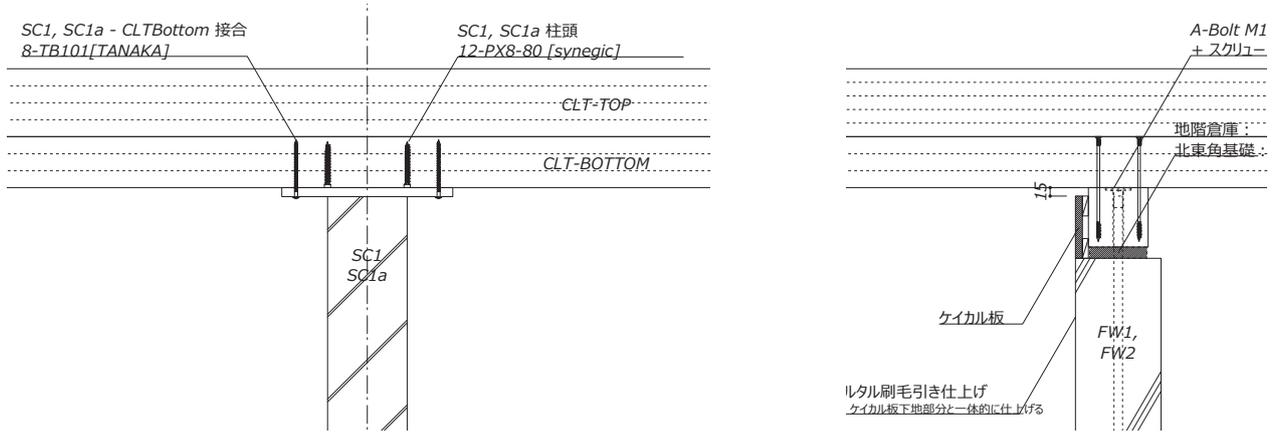


Fig. CLT - 基礎接合部詳細図

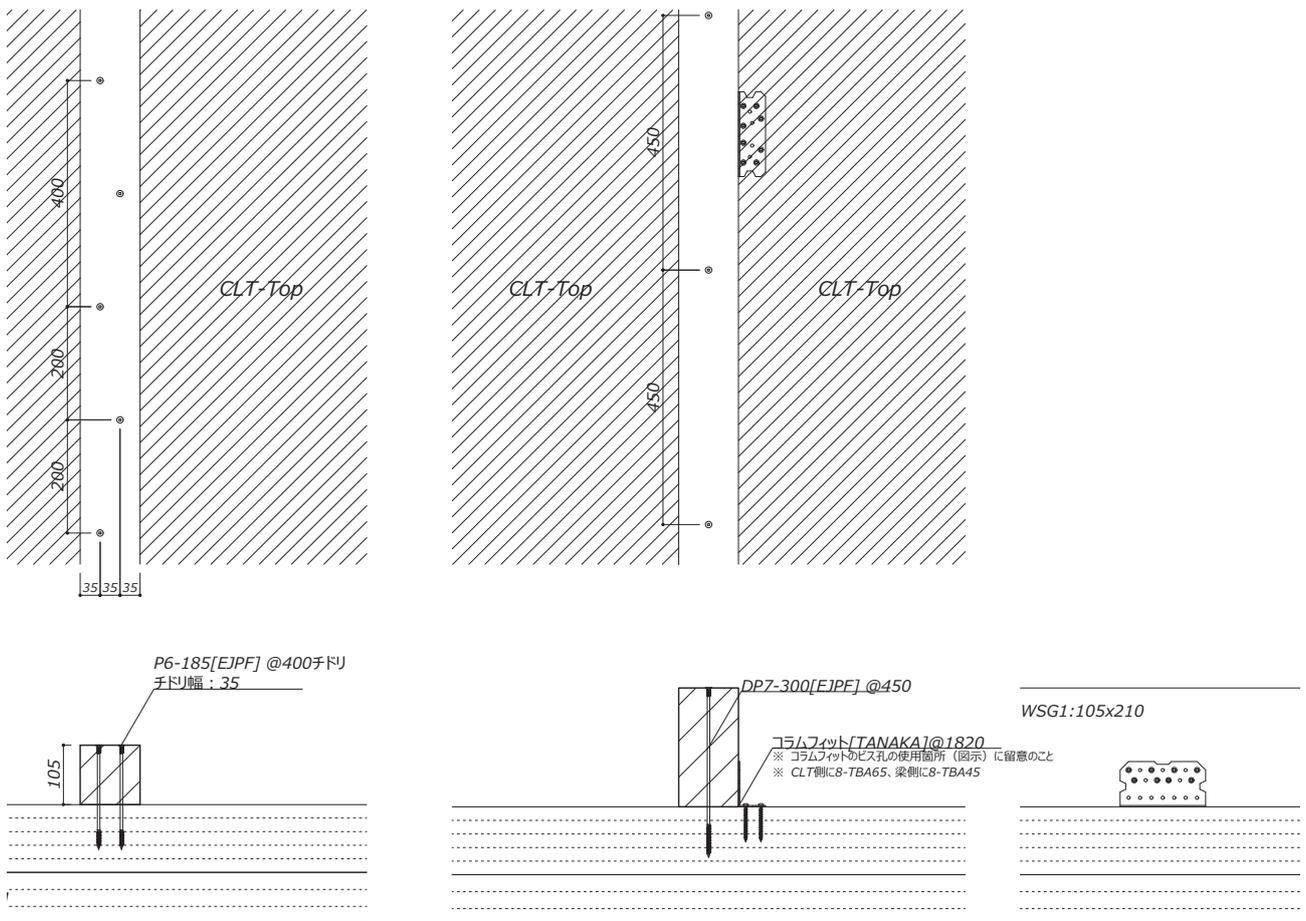


Fig. CLT - 敷土台接合部詳細図

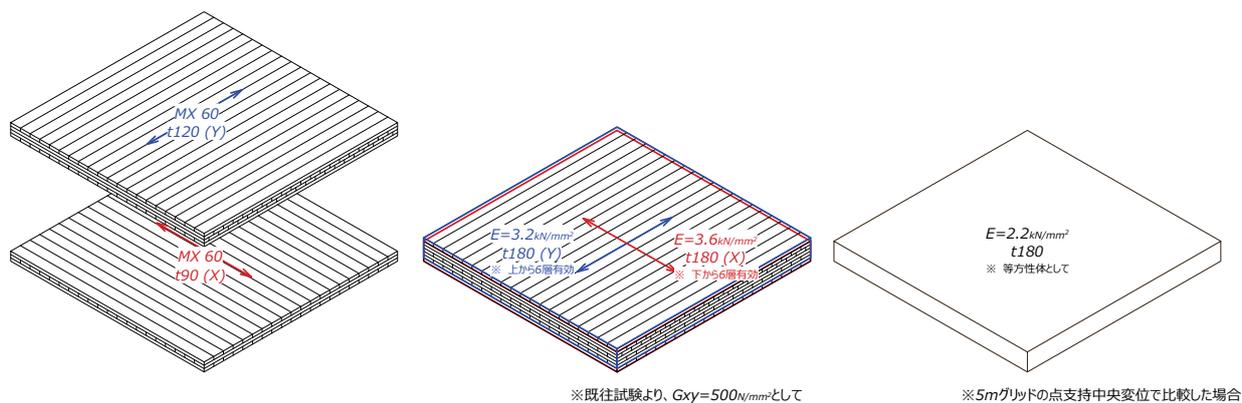
CLT フラットスラブの構造解析

CLT をさらに直交させて接着することによって、CLT の幅に制約されない真に 2 方向性の面を得ることが出来る。例えば今回の建物のように下に 3 層 3 プライ、上に 3 層 4 プライとした場合、合わせた厚さは 7 層分の 210mm となるが、下から 6 層目までで考えれば強軸は同一方向を向いており、逆に上から 6 層でも強軸は同一で、かつ下からとは直交した向きになる。t180 の CLT を直交両方向に得ている状態である。この複合 CLT 板について、解析的にどのような特性になるか、既往研究と併せて検討を行った。

十分な性能の接着剤を用いて接着ビス止めする場合、実性能は一体断面の CLT とみなしてよいだろう。この場合の各方向の曲げ性能については、CLT の曲げ剛性を計算する場合と同様、平面保持仮定に基づいて計算方向に繊維が通るラミナのみ考慮すればよい。計算を下表に示す。

t90 の下層の強軸たる X 方向 (y-y 軸曲げ) のヤング係数は $E=3.6\text{kN/mm}^2$ 、t120 の上層の強軸たる Y 方向 (x-x 軸曲げ) のヤング係数は $E=3.2\text{kN/mm}^2$ となった。一般流通の MX-60A である場合外から第 2 層は基本的に M30A のラミナとなるため、計算上の各方向のヤング率はそれぞれの計算方向の最外層が片側 M30A で構成されることになるため、あまり効率の良い数字とはならない。実際には $E=3\text{kN/m}^2$ となるラミナは極少数であるから、実勢としてのヤング率はこの数値より高いものと考えられる。

せん断性能としては「CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル」に示される既往の研究成果からの値を丸めて安全側の数値として下表に示す程度の値を用いれば妥当であろう。



※既往試験より、 $G_{xy}=500\text{N/mm}^2$ として

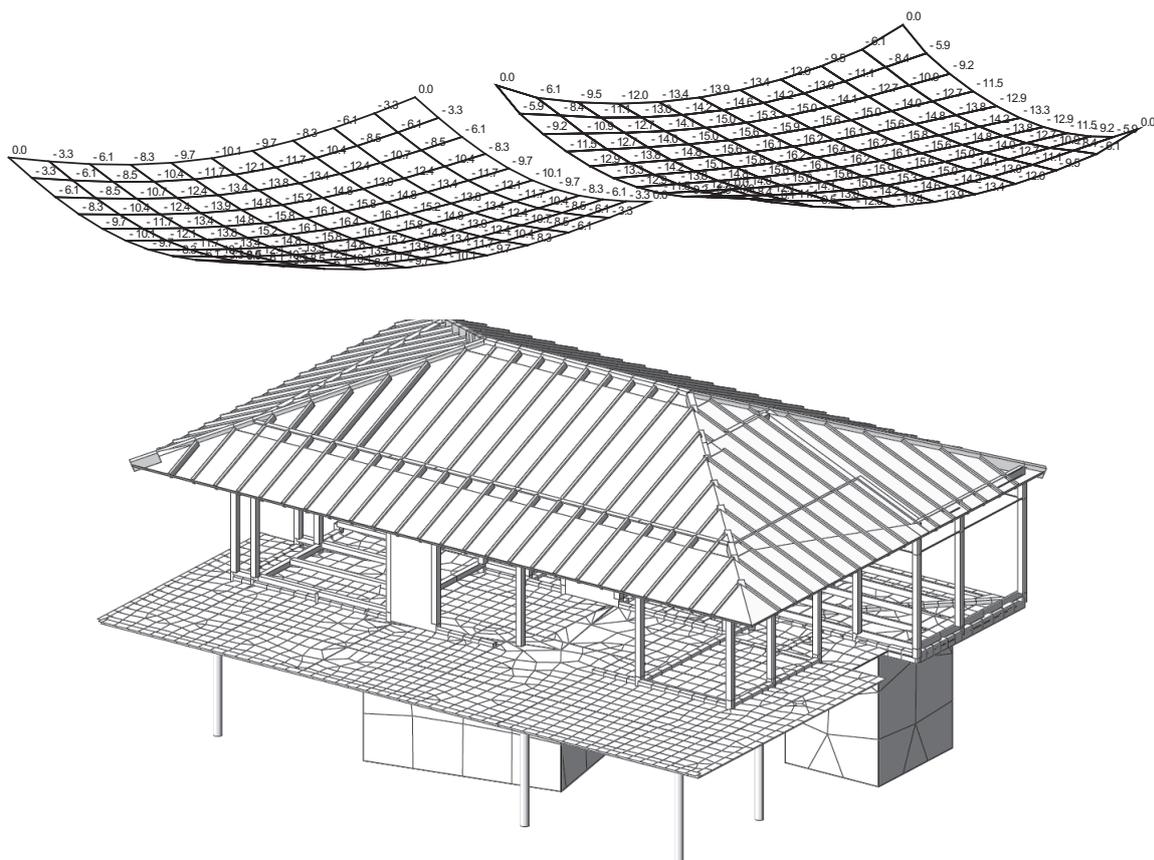
※5mグリッドの点支持中央変位と比較した場合

		E_i	h_i	b_i	A_i	h	h_{c-x}	ES_x	EI_x	$E_{c,nom}$	h_{c-x}	ES_x	EI_x	$E_{x,nom}$
		[kN/mm ²]	[mm]	[mm]	[mm ²]	[mm]	[mm]	[kN/mm]	[kNmm ² /mm]	[kN/mm ²]	[mm]	[kN/mm]	[kNmm ² /mm]	[kN/mm ²]
M60A	Y	6.0	30		30	0		0	0			-23760	797580	
M30A	X	3.0	30		30	30		-15300	657000			0	0	
M30A	X	3.0	30		30	60		-9900	279000			0	0	
M60A	Y	6.0	30	1	30	90	130	0	0	3.6	81	8640	117180	3.2
M60A	X	6.0	30		30	120		1800	18000			0	0	
M30A	Y	3.0	30		30	150		0	0			15120	641790	
M60A	X	6.0	30		30	180		23400	774000			0	0	
						210	$\Sigma=$	0.0	1728000		$\Sigma=$	0.0	1556550	

ヤング係数	(X)	E_x	[kN/mm ²]	3.2
	(Y)	E_x	[kN/mm ²]	3.6
	(XY)	G_{xy}	[kN/mm ²]	0.50
せん断弾性係数	(XZ)	G_{xz}	[kN/mm ²]	0.02
	(YZ)	G_{yz}	[kN/mm ²]	0.02

計算や既往研究によってまとめた物性値を使って、そのまま直交異方性体としての物性値で板としての解析を行うことも考えられるが、データとして重くなることやが入力の実数が増える。さらにソフトウェアにも依存するが、絶対座標で要素の直交異方性を入力できず、個々の要素の主軸（第1第2点方向など）によって決める場合、板が不整形であると板ごとに主軸が異なることになる。例えば実際のモデル図（下図）のようにメッシュに不整形が多いと、処理は困難となる。

そこで、等価なたわみを起こす等方性体のヤング係数を調べ、そのヤング係数に基づいて決めたヤング係数の板とすれば、より容易に必要な情報について整理できる。またスタディとして比較もしやすいので、ここで下図のような5m角のコーナーのみをピン支持したモデルで同一の中央たわみとなる等方性体のヤング係数を求めた。実際には層間ローリングを伴うせん断たわみが占める割合が大きいのでスパン依存性が大きいですが、少なくとも5mという指標で比べた場合、 $E=2.2\text{kN/m}^2$ 、 $t=180$ （各方向に有効なCLTの厚さ）と同等となった。製材の1/3、CLTの1/2程度の数字であるが、先に述べたように実勢はこれより高いものと推察される。



■ クライテリアの考え方

CLTをさらに直交させて十分な性能の接着剤を用いて接着ビス止めする場合、接着の性能低下が起きない限り実性能は一体断面のCLTとみなしてよい。ただし法的には現場接着を考慮することは出来ないため、以下のような検討が妥当であろう。

応力の検討

- ・ 2枚のCLTが重なっているだけとみなしてもOK（単純梁、跳ね出し梁として軸置換した負担幅計算）
- ・ 接着により一体化していると考えてもOK

たわみの検討

- ・ 2枚のCLTが重なっているだけとみなしても1/250（法規準）OK
- ・ 接着により一体化していると考えて実用性を確認

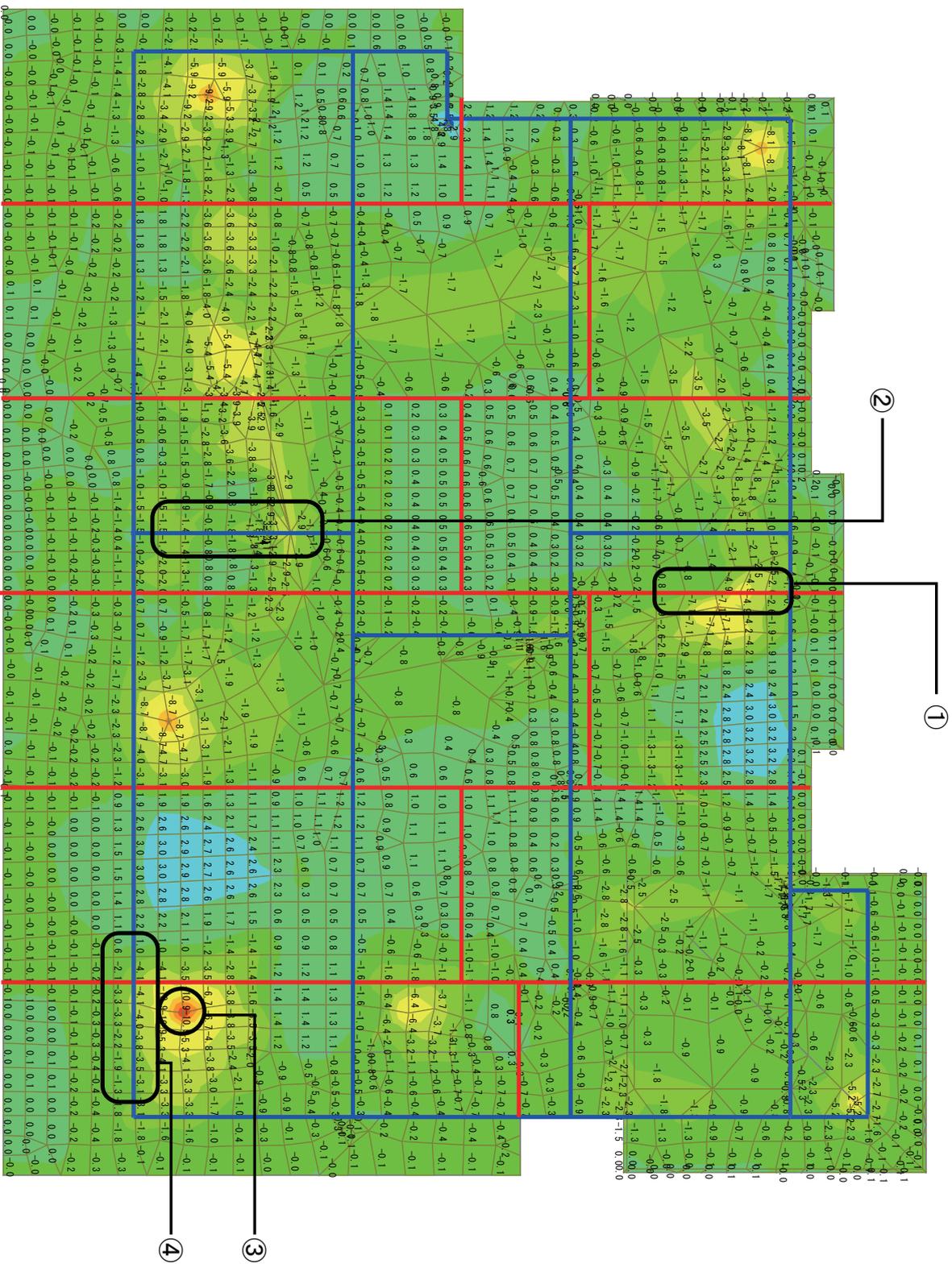


Fig. フラットスラブの板解析 (Myy、上下方向曲げ) と応力の検討

※ 応力の検討は積層された部分での最大応力のほか、継目位置での応力検討を行う必要がある

スムージング Myy 継ぎ目外側
 ①青枠下段 Myy-a=5.7kNm/m > 4.9kNm/m OK
 ②赤枠上段 Myy-a=4.88kNm/m > 3.1kNm/m OK
 ③二枚合わせ MvV-a=16.7kNm/m > 10.9kNm/m OK
 ④先端部分 MvV-a=4.88kNm/m > 3.3kNm/m OK

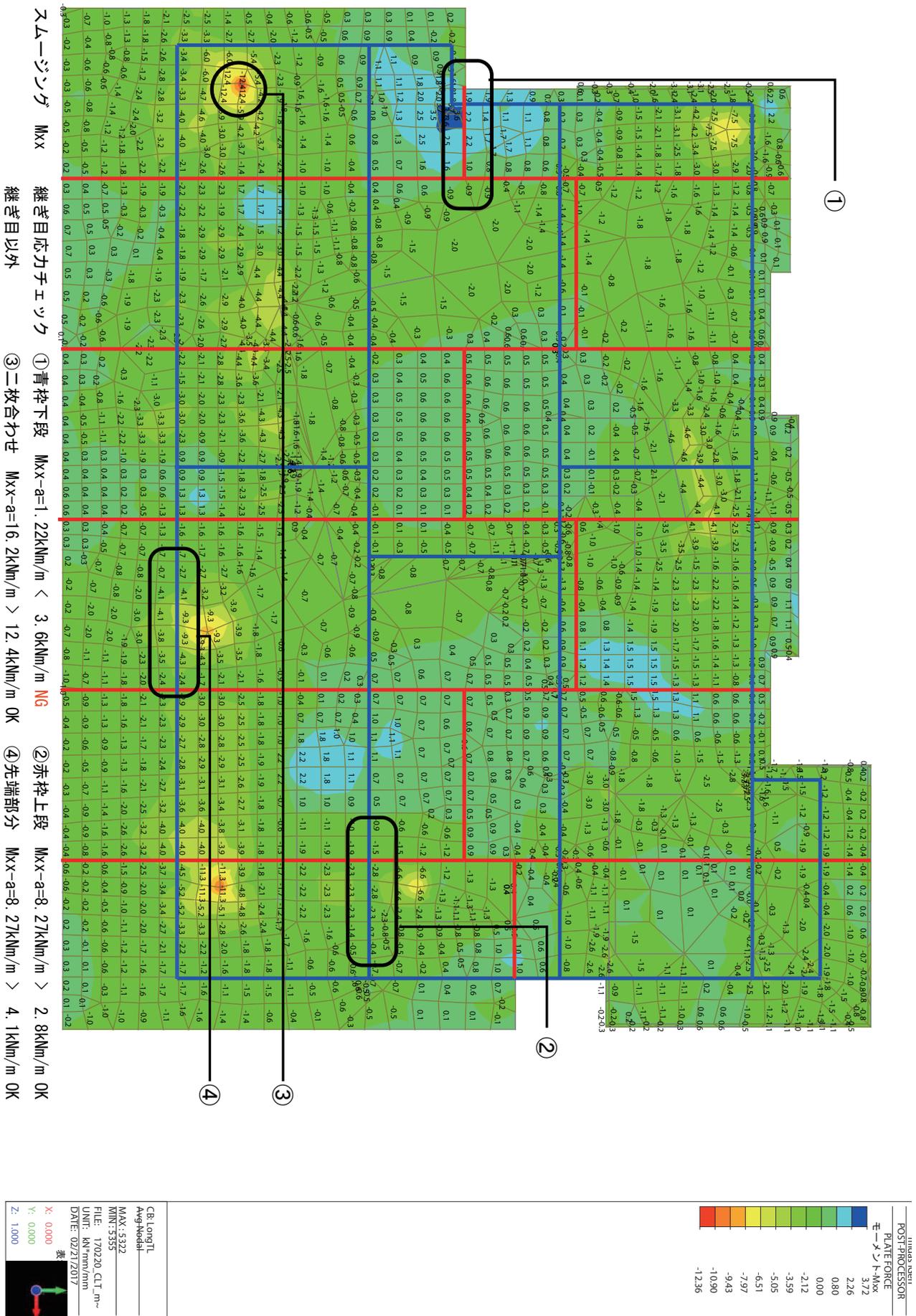


Fig. フラットスラブの板解析 (Mxx、左右方向曲げ) と応力の検討

※ 応力の検討は積層された部分での最大応力のほか、継ぎ目位置での応力検討を行う必要がある。