

7章 FEM 解析による壁面の検討

7-1 解析の目的

耐震診断にて、社団法人北海道建築技術協会による煉瓦造建物の耐震診断規準を行った。当該評価手法は建物壁量に対し、壁の長さと同隣接する開口の状況による個別の壁面の曲げ変形による耐力の低下を考慮した有効断面積にせん断耐力を乗じた総和で建物の保有水平耐力を算定し、想定される比較を行うものである。

組積造の場合、建物全体の耐震性能の評価のほか、地震時に壁体の面外方向に慣性力が作用することによる崩壊の危険性の判断が重要となる。煉瓦造建物の耐震診断規準においても壁体面外変形の検討は行う（前節参照）が、当該指針における壁面の面外変形については1G相当の面外力に対して壁体の応力度を単純化した部材モデルをもとに算定したものである。そのため、建物全体としてみた場合に局所的な発生応力を把握することは困難である。

本節では建物全体を対象とした有限要素解析（FEM 解析）を行うことにより、壁体に生じる局所的な応力の検討を行う。

7-2 解析条件

モデルは組積造壁面部分およびポーチ床面を板要素、ポーチ柱、ポーチ部分横架材を線材要素とする。主屋部分の2FおよびRF床レベルにおいては木造床を想定とした水平構面を設けるほか、2FおよびRF床レベルには荷重制御を目的とした線部材を設ける。木造床部分および小屋組みについては損傷が大きく、保存対象ではないため、モデル化しない。モデルの座標は長辺方向をX方向、短辺方向をY方向、高さ方向をZ方向とする。壁体の断面は調査結果に基づき、400mm、500mmとする。2F床（地震時積載荷重含む）および小屋部分の重量は(2)固定荷重および積載荷重の節に基づき、小屋組重量：411kN、2F床重量：770kNを、主屋壁面長さの合計62.988mで除し、小屋組重量：411kN/62.988m=5.93kN/m、2F床重量：770kN/62.988m=11.11kN/mを各階床レベルに設けた梁要素（線材要素）に等分布荷重として与えた。組積造部分の弾性係数は日本建築学会：組積造設計指針、煉瓦造のヤング率3000N/mm²～8000N/mm²を参照に、6000N/mm²と設定した。なお、本架構に用いられている石材のヤング率は類似の石材で8400N/mm²程度で、本架構に用いられた石材も同程度と推定される。解析は汎用有限要素解析ソフトMIDAS iGen 2023を用いた。

荷重ケースは固定荷重時（自重と床荷重を2段階に分けて載荷）のほか、壁体の面外変形を検討するため、1G相当の水平力を各要素に与えた場合（XY各方向）の3種類とした。境界条件は、1Fレベルにて、基礎幅と壁長さ、地盤の剛性を考慮した回転ばねを設定し、各壁体脚部の支点の一つをばね支点としたうえで、各壁体の脚部はばねを設定した支点の従属節点となるよう、剛体要素を配置した。2F床、RF床レベルは剛床が成立しない、いわゆる柔床として解析を行った。

境界条件は、1Fレベルにて、基礎幅と壁長さ、地盤の剛性を考慮した回転ばねを設定し、各壁体脚部の支点の一つをばね支点としたうえで、各壁体の脚部はばねを設定した支点の従属節点となるよう、剛体要素を配置した。2F床、RF床レベルはコンクリートおよび鉄骨補強により拘束されるものとし、各階床レベルで剛床を仮定する。間柱については壁体に比べて剛性が小さいことより、FEMにおいて間柱は考慮せず、目地が破損し崩壊に至ることがないように、崩落防止を間柱設置の目的とする。

■基礎回転剛性について

水平荷重入力方向にフーチングの基礎回転剛性の検討を行う

□南北壁面

壁体直交方向の入力に対して地盤を支持地盤と同等の無限弾性体と仮定し、

RC規準(2018)附14記載の耐震壁の基礎回転の計算資料を基に基礎の回転剛性の算定を行う

基礎回転剛性	$k=8/\pi kI$	244805544.6×10^3	Nmm/rad
		244.81×10^3	kNm/rad

ここで	$k_s=C1C2E/B$	0.016 N/mm ³
-----	---------------	-------------------------

回転剛性計算に用いるkはRC規準に基づき、4k_s(推奨値3-5の平均)として求める

RC規準中、砂質地盤の計算例では5k_sを採用しているが、安全側とする

$k=4k_s$	0.062 N/mm ³
----------	-------------------------

L	1200 mm	底版幅
---	---------	-----

D	1700 mm
---	---------

B	10717 mm	壁長
---	----------	----

$I=L/B$	0.1119716
---------	-----------

$C1=(L+B)/2L$	4.97
---------------	------

$C2 = (3D+B)/(2D+B)$	1.12
----------------------	------

$E=N+25$	30
----------	----

N	5 近隣より仮定
---	----------

荷重入力方向に対して有効な断面維持モーメントは弱軸方向なので、

$I=BL^3/12$	1.543E+12 mm ⁴
-------------	---------------------------

□東西壁面

壁体直交方向の入力に対して地盤を支持地盤と同等の無限弾性体と仮定し、

RC規準(2018)附14記載の耐震壁の基礎回転の計算資料を基に基礎の回転剛性の算定を行う

基礎回転剛性	$k=8/\pi kI$	489354342.5×10^3	Nmm/rad
		489.35×10^3	kNm/rad

ここで	$k_s=C1C2E/B$	0.014 N/mm ³
-----	---------------	-------------------------

回転剛性計算に用いるkはRC規準に基づき、4k_s(推奨値3-5の平均)として求める

RC規準中、砂質地盤の計算例では5k_sを採用しているが、安全側とする

$k=4k_s$	0.056 N/mm ³
----------	-------------------------

L	1200 mm	底版幅
---	---------	-----

D	1700 mm
---	---------

B	23927 mm	壁長
---	----------	----

$I=L/B$	0.0501525
---------	-----------

$C1=(L+B)/2L$	10.47
---------------	-------

$C2 = (3D+B)/(2D+B)$	1.06
----------------------	------

$E=N+25$	30
----------	----

N	5 近隣より仮定
---	----------

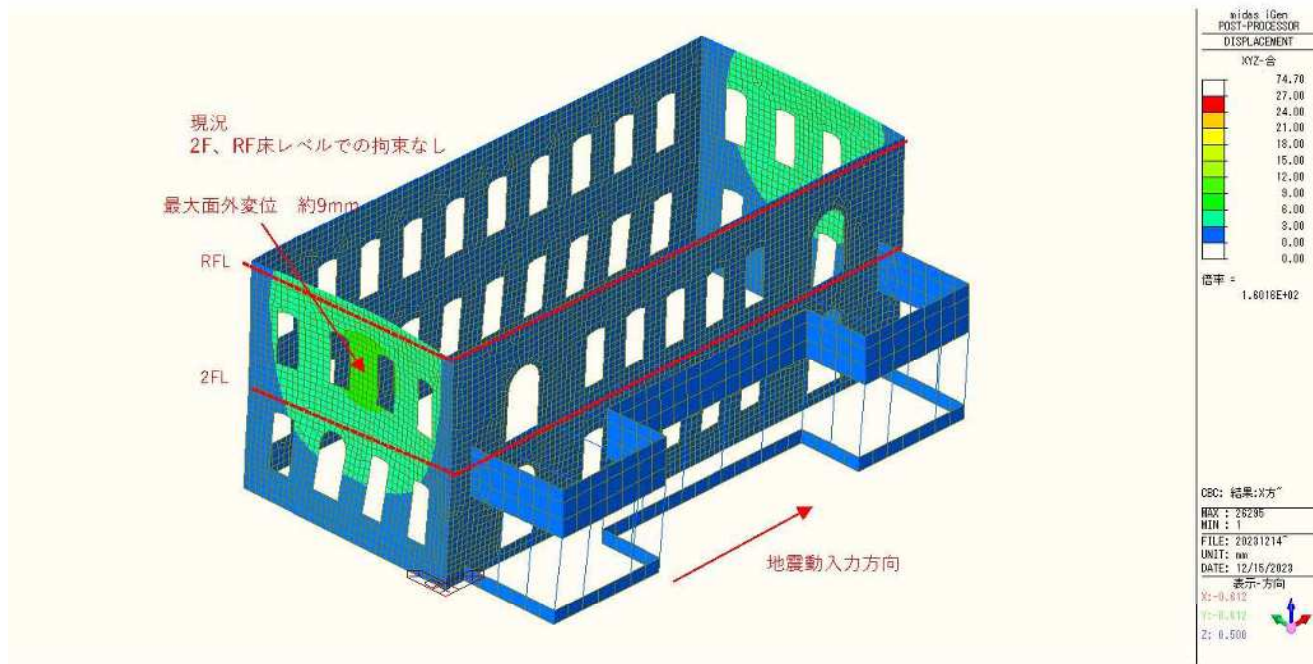
荷重入力方向に対して有効な断面維持モーメントは弱軸方向なので、

$I=BL^3/12$	3.445E+12 mm ⁴
-------------	---------------------------

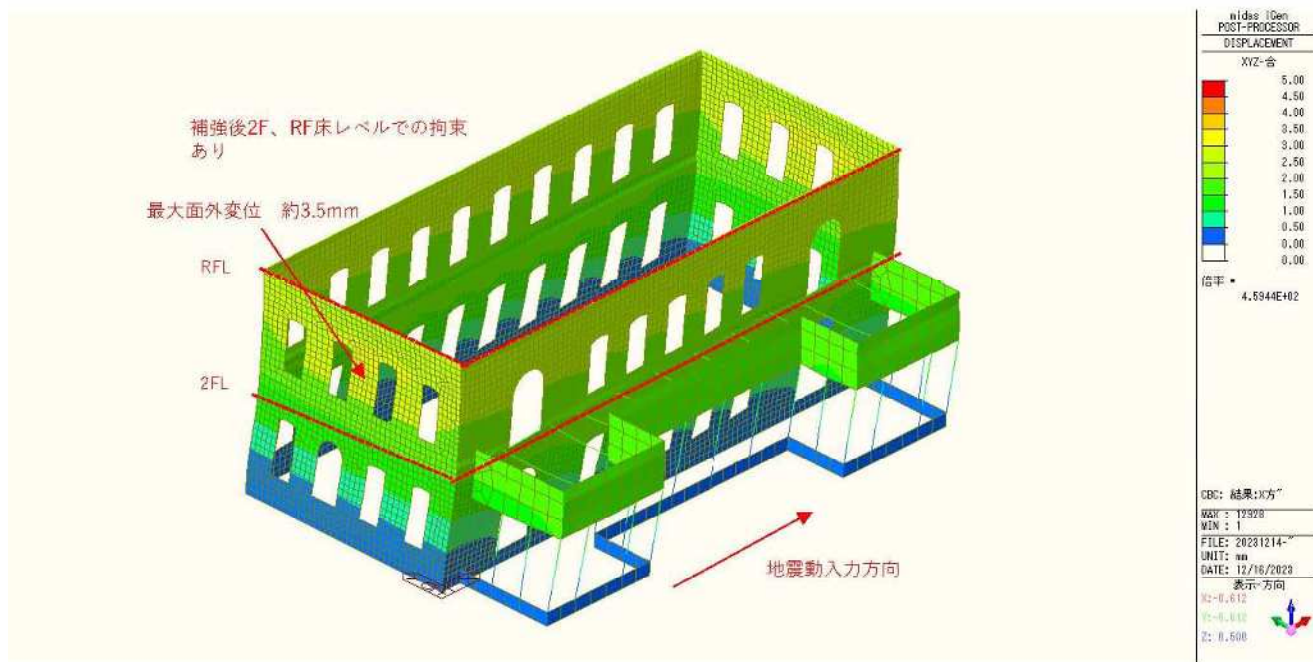
7-3 検討結果

図 7-1 に変形図、応力発生状況を示す。軸応力はプラス方向：引張、マイナス方向：圧縮を表す。応力算定において、赤色着色部分は引張り応力度またはせん断応力度が目地の強度 0.07N/mm² を超える部分（引張り応力検定比が 1.0 を超える部分）を示す。2F および RF 部分の水平構面の拘束効果により耐震診断時に比べて壁体の面外変形の増分が低減されており、壁面に作用する面外変形は補強前後で 1/3

程度に低減される。発生する応力も現況に比べて低減されているが鉛直方向の応力度（Sig-ZZ）が目地の引張強度0.07N/mm²を大きく上回るため、面外崩壊の恐れは高い。そのため、面外崩壊を抑えるために間柱 TP25 を各壁面に設け、石材を止付けることで面外崩落の危険性を低減させる計画とした。（現況の応力図については耐震診断報告書参照）

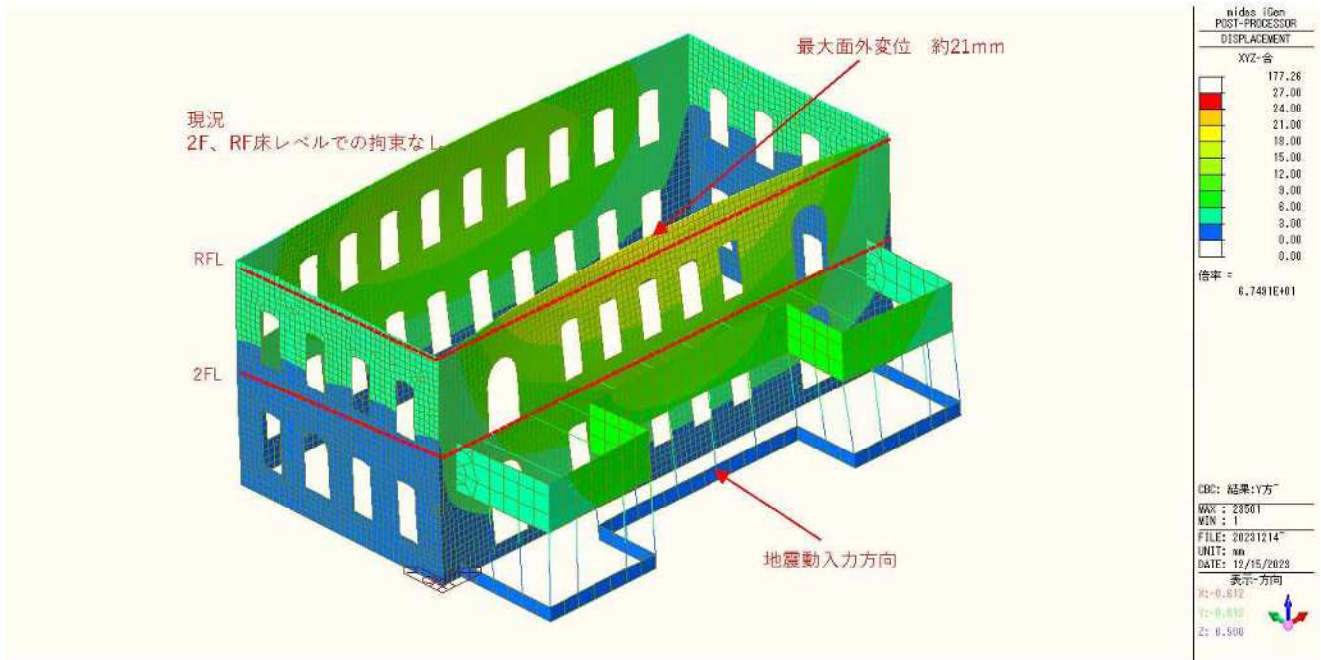


現況

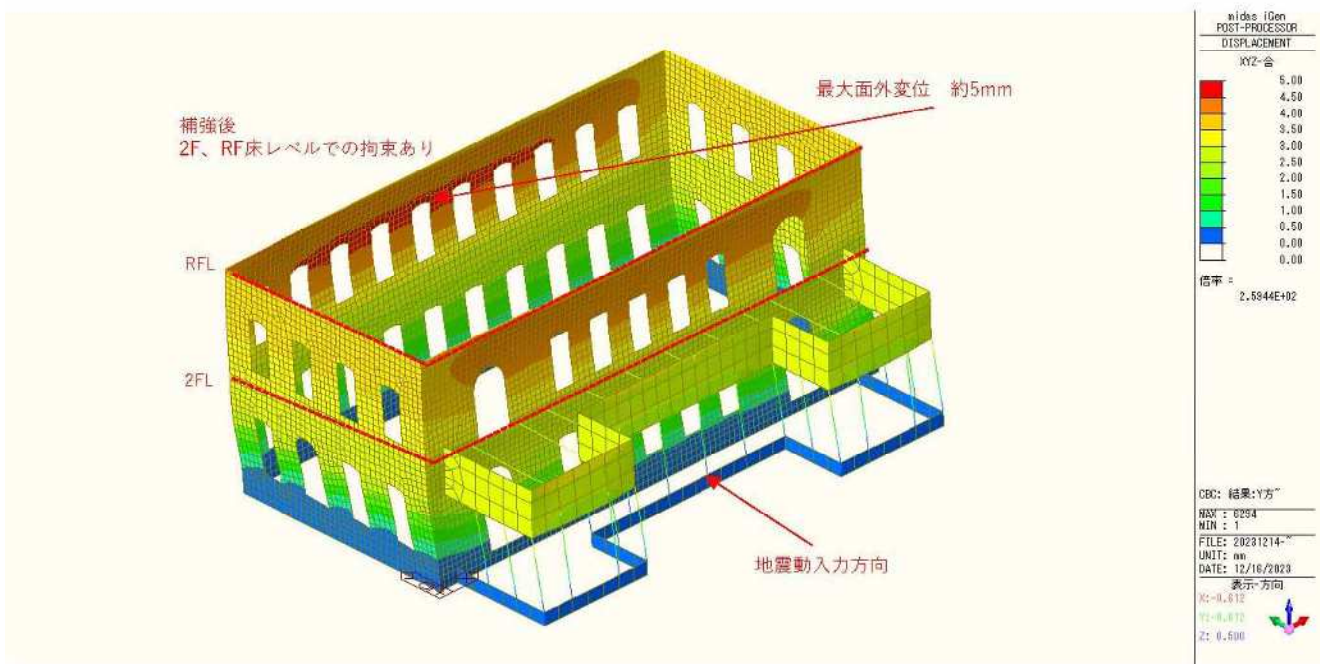


補強後

図 7-1a) 変形図 (X 方向：慣性力 1G)

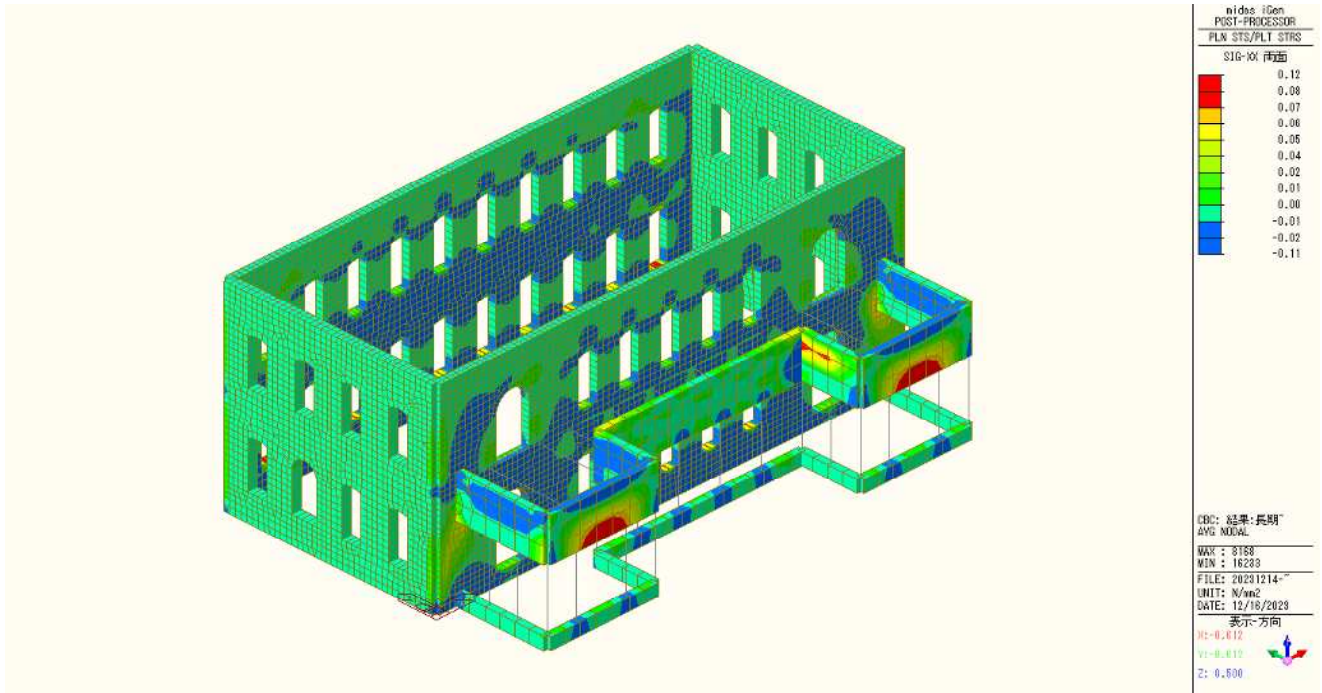


現況

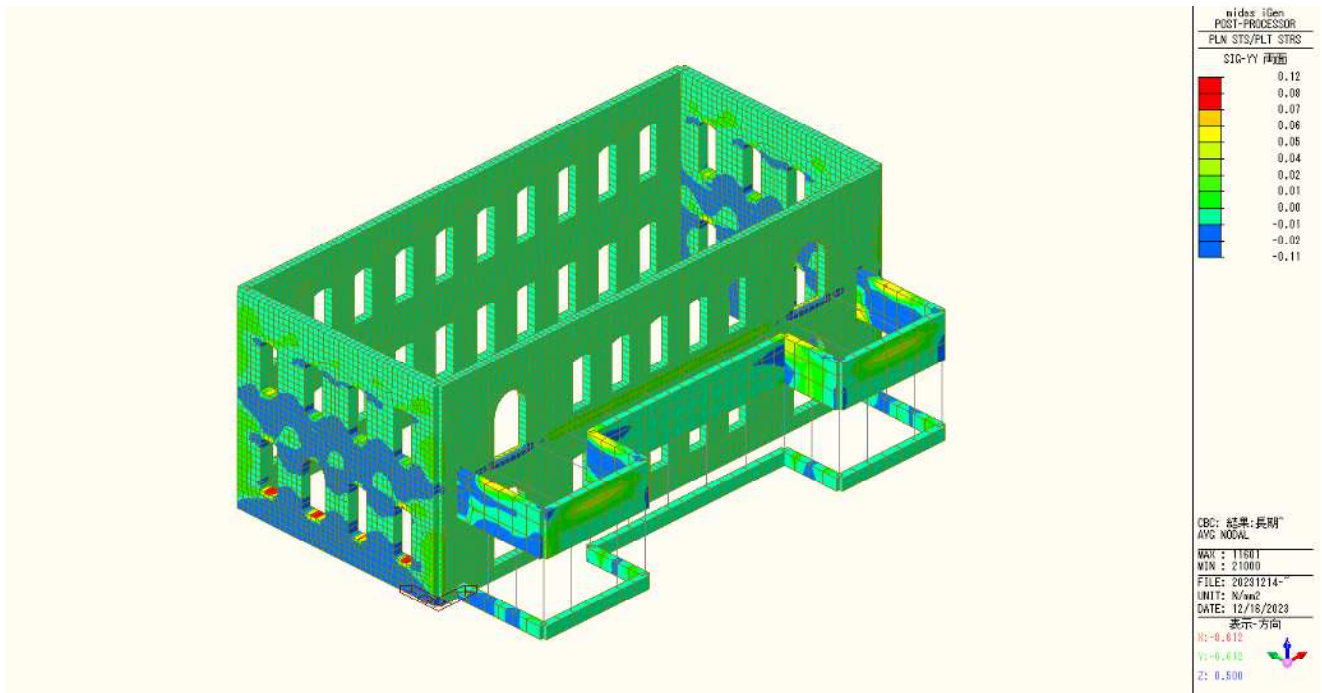


補強後

図 7-1b) 変形図 (Y 方向: 慣性力 1G)

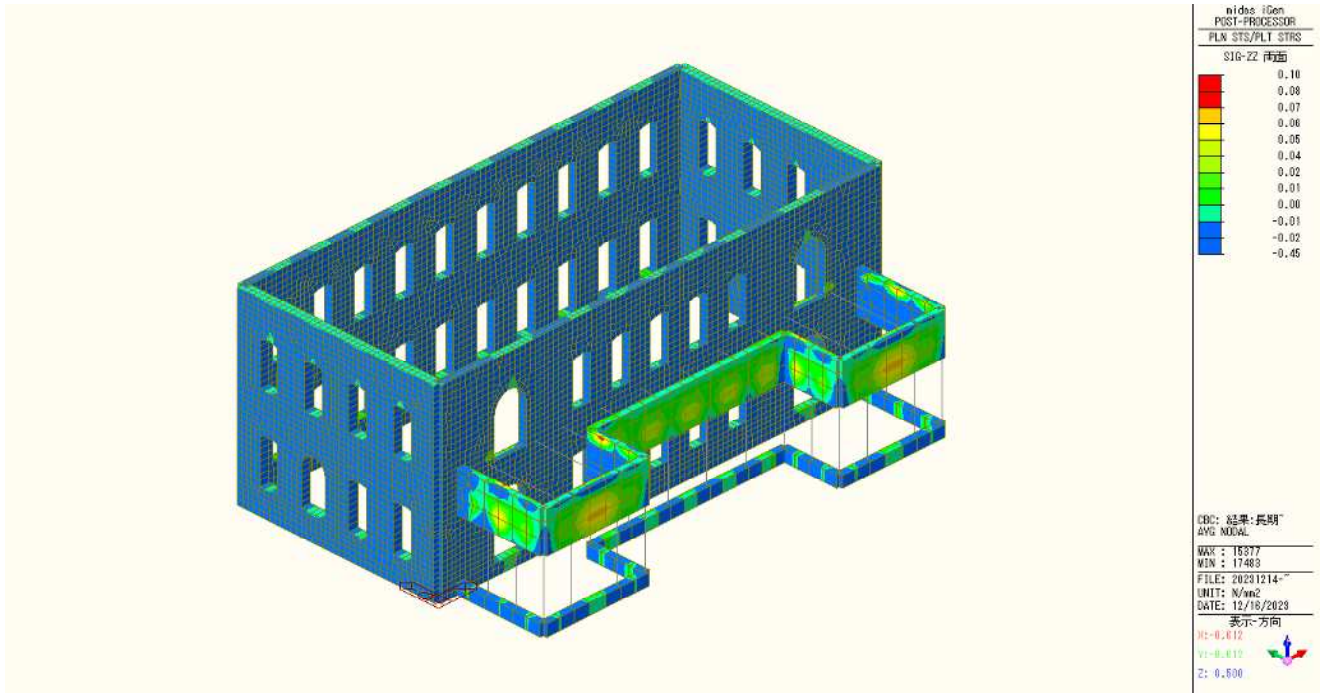


Sig-XX：全体座標 X 軸方向の垂直応力度

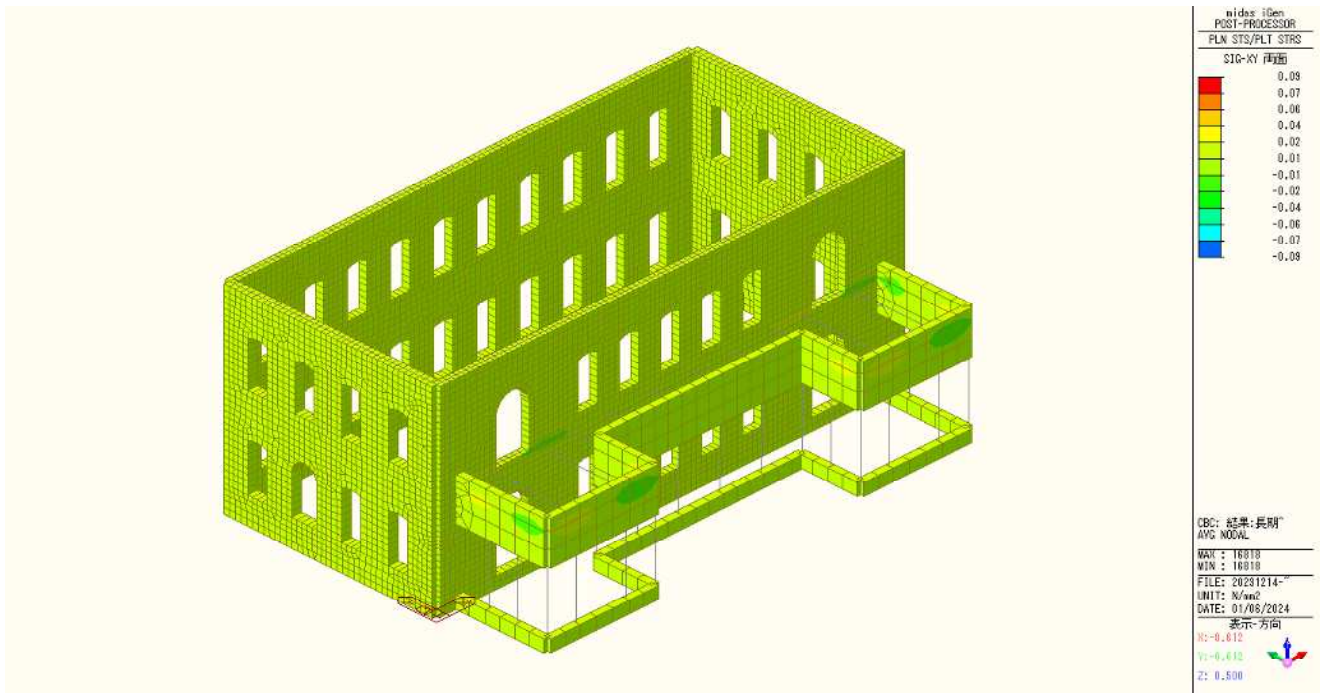


Sig-YY：全体座標 Y 軸方向の垂直応力度

図 7-1c) 応力図 (長期荷重時)

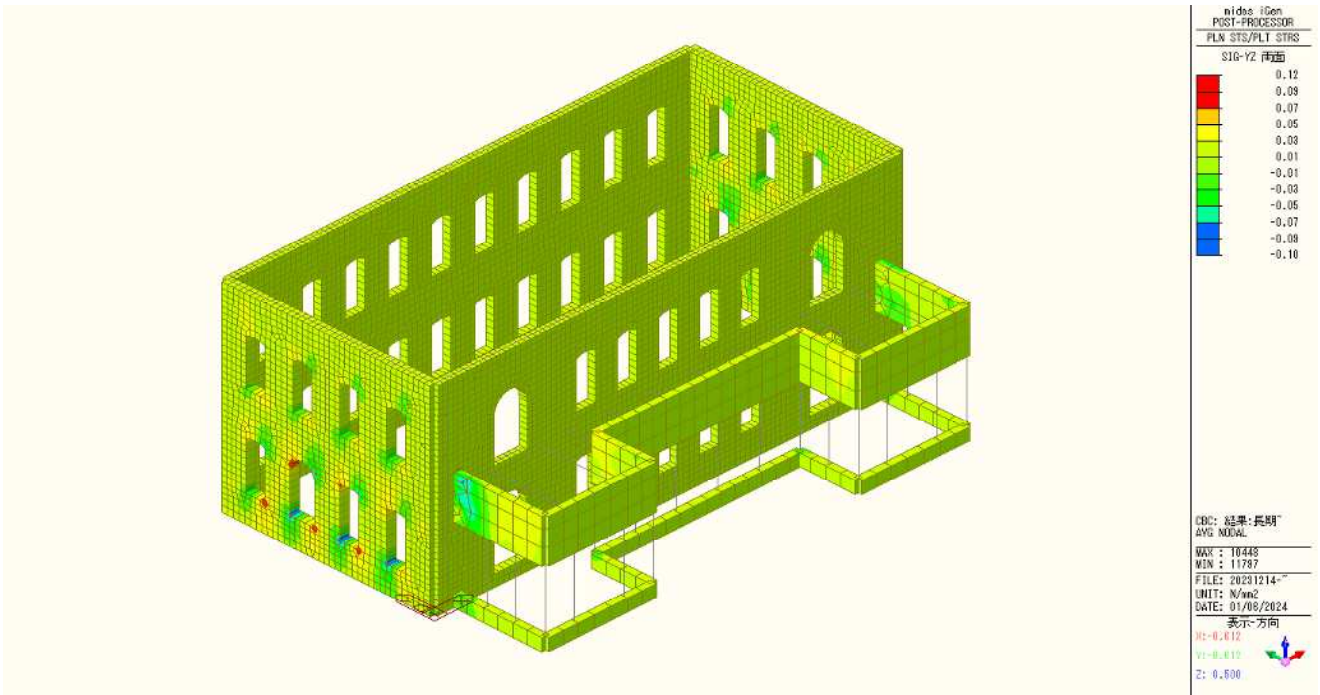


Sig-ZZ：全体座標 Z 軸方向の垂直応力度

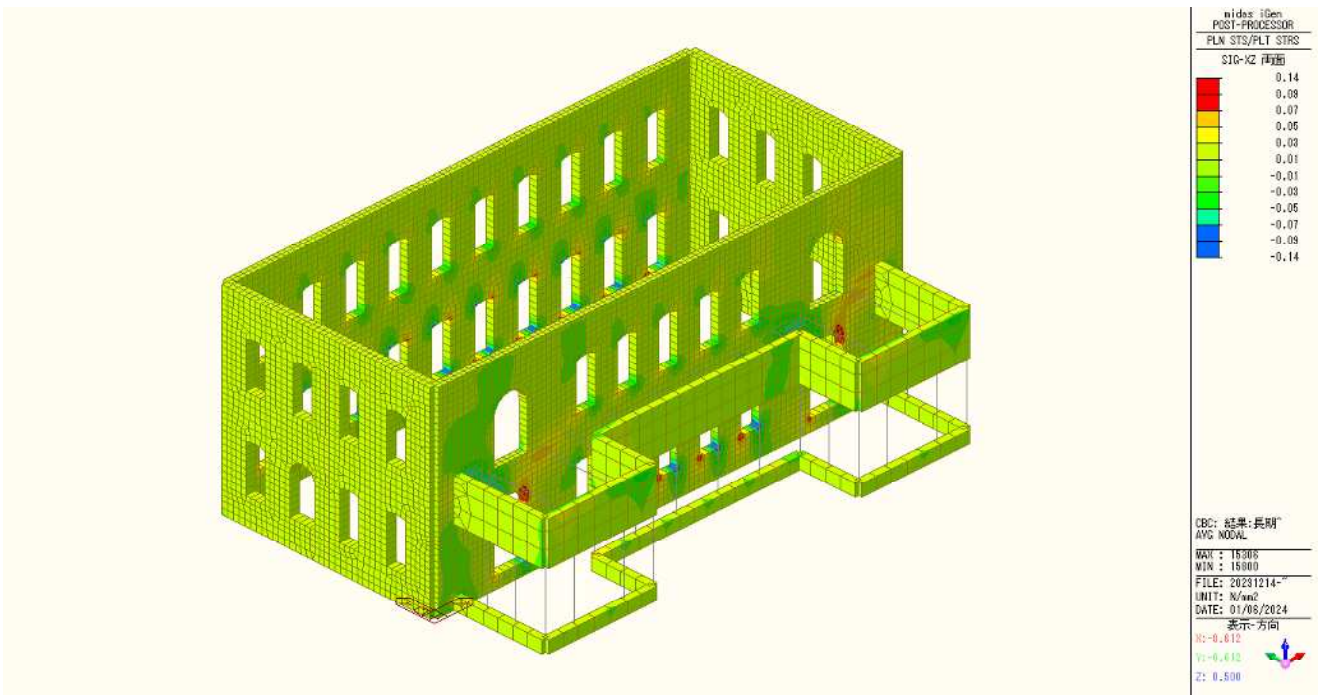


Sig-XY：全体座標 XY 平面のせん断応力度

図 7-1d) 応力図 (長期荷重時)

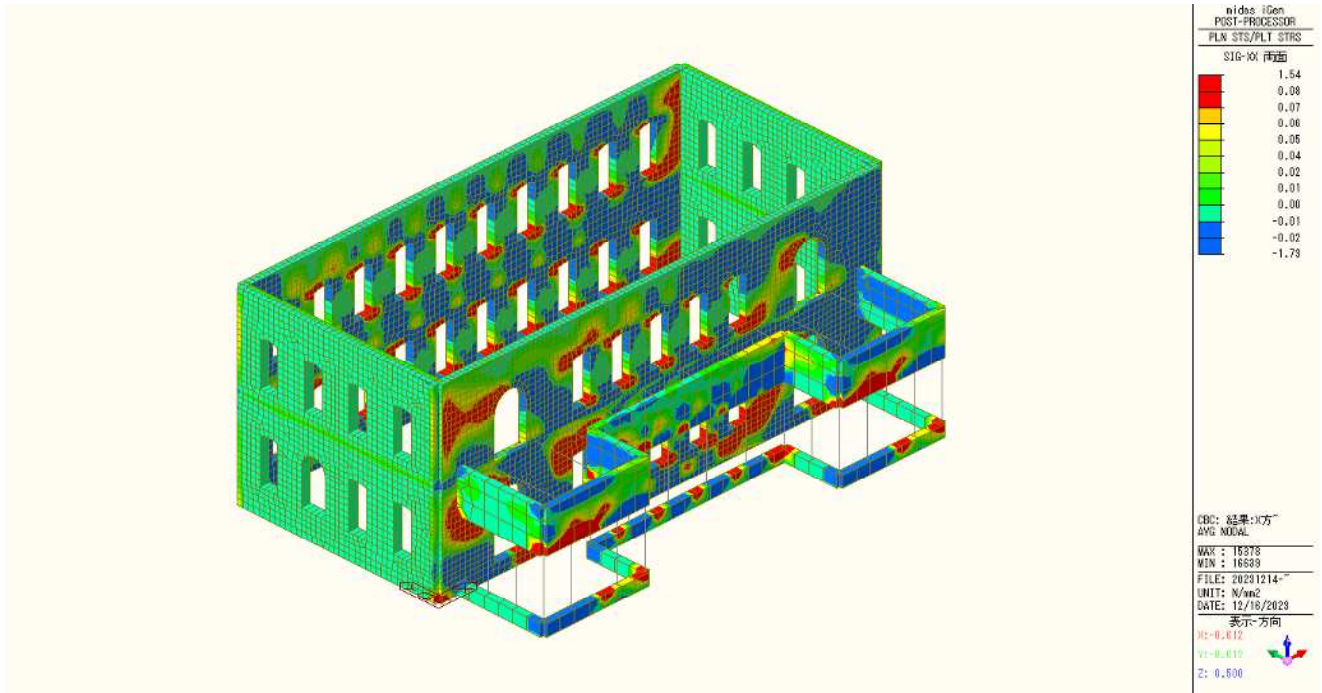


Sig-YZ：全体座標 YZ 平面のせん断応力度

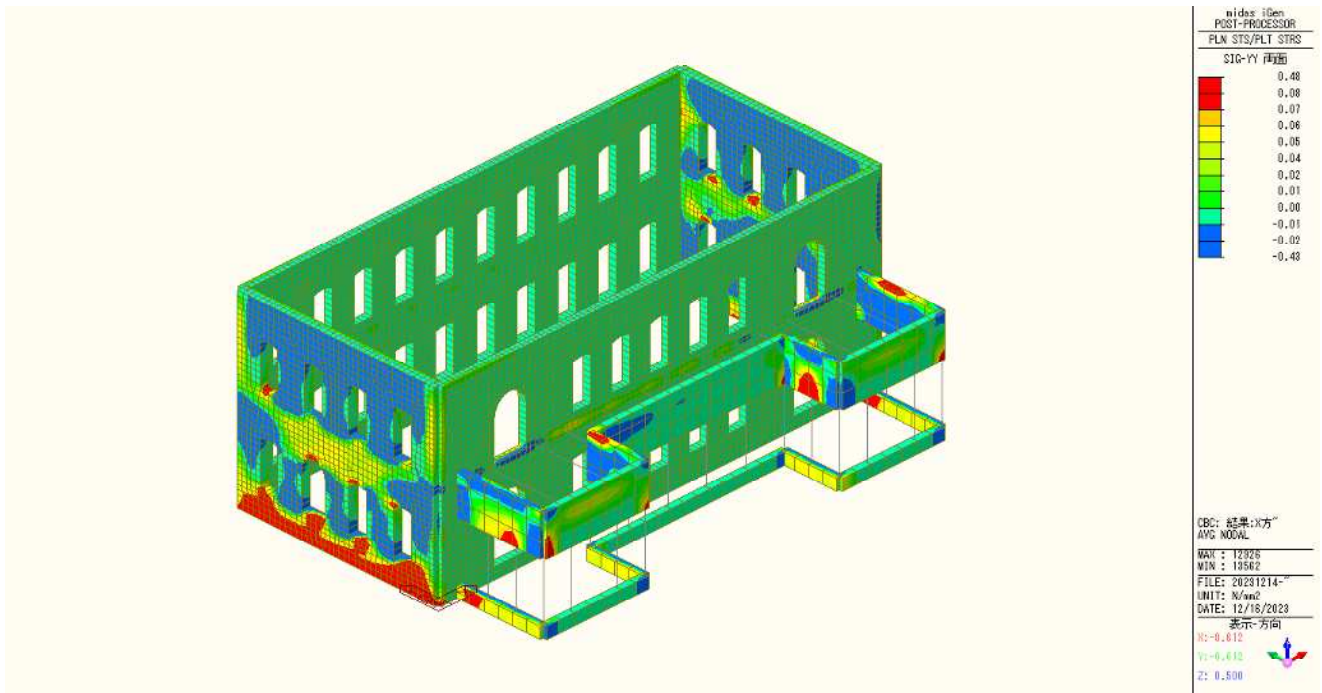


Sig-XZ：全体座標 XZ 平面のせん断応力度

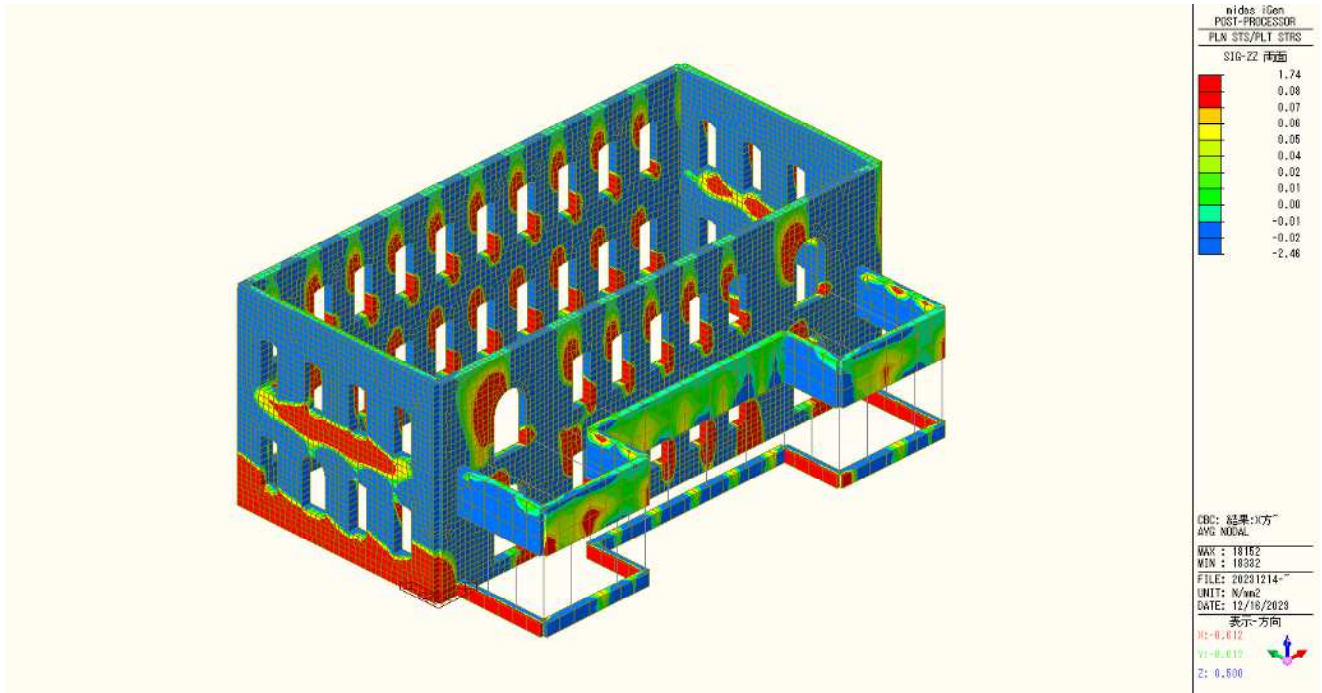
図 7-1e) 応力図 (長期荷重時)



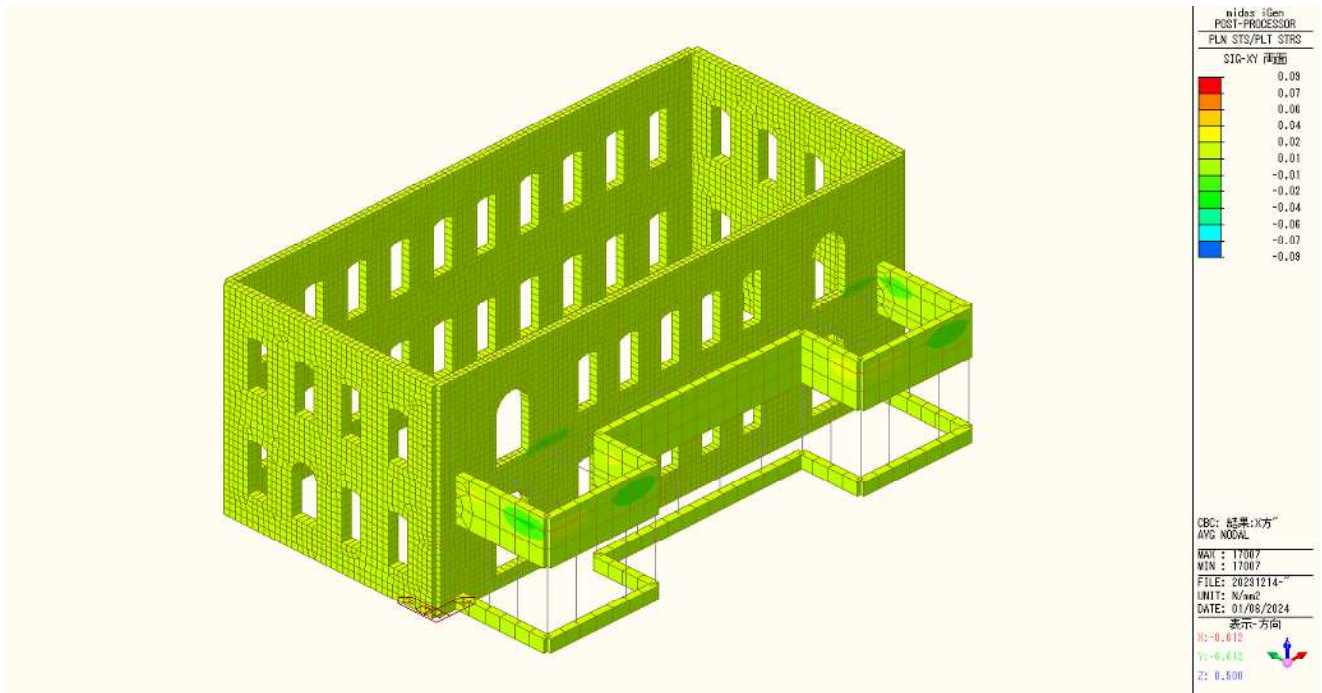
Sig-XX：全体座標 X 軸方向の垂直応力度



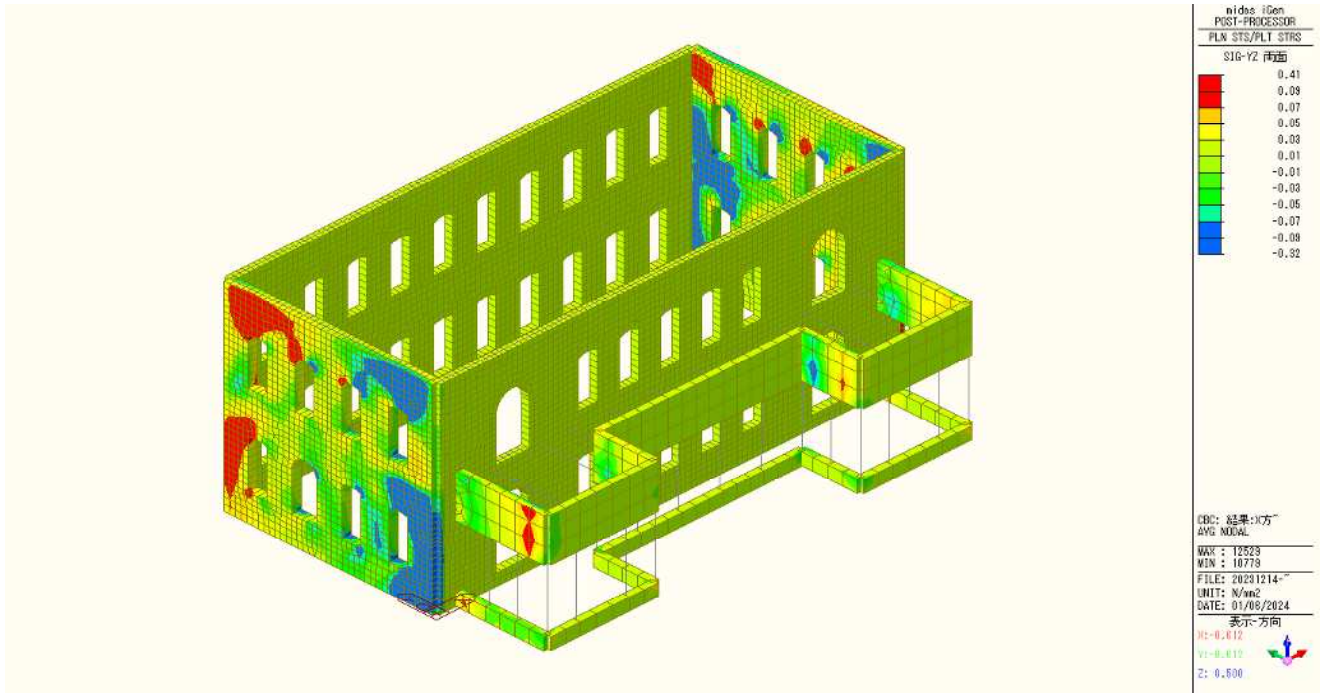
Sig-YY：全体座標 Y 軸方向の垂直応力度
 図 7-1f) 応力図 (X 方向：慣性力 1G)



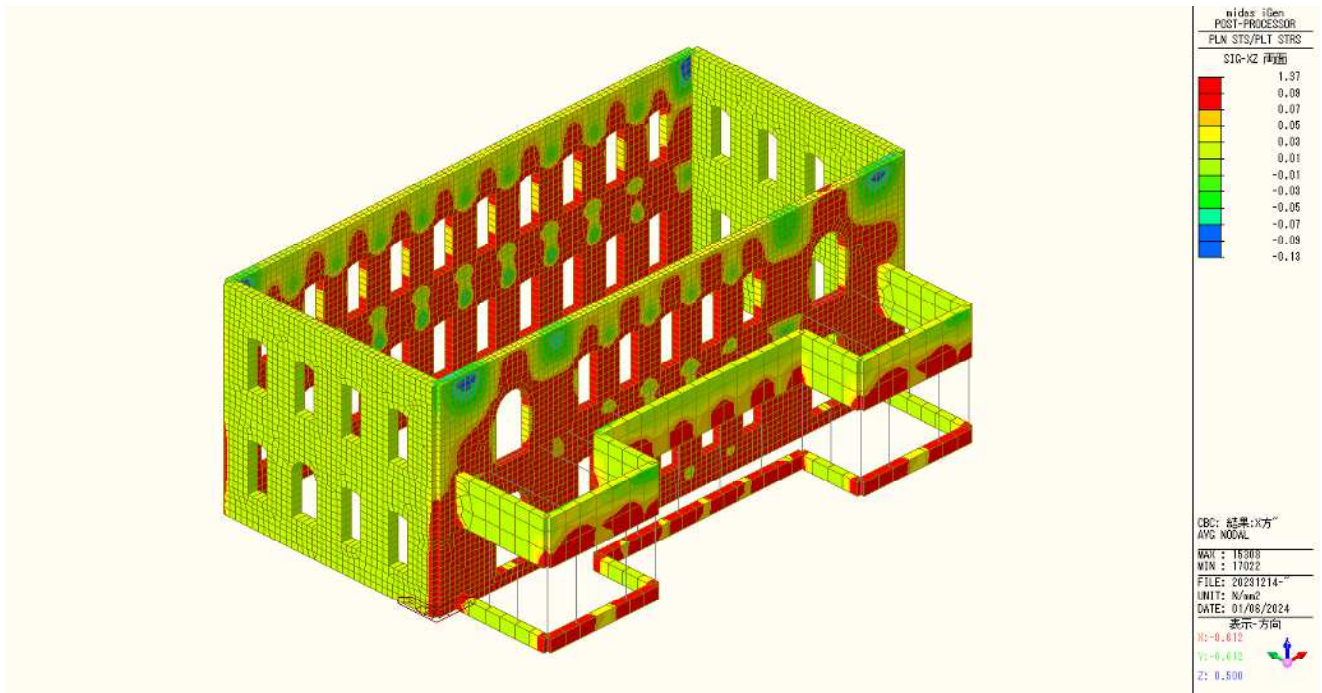
Sig-ZZ：全体座標 Z 軸方向の垂直応力度



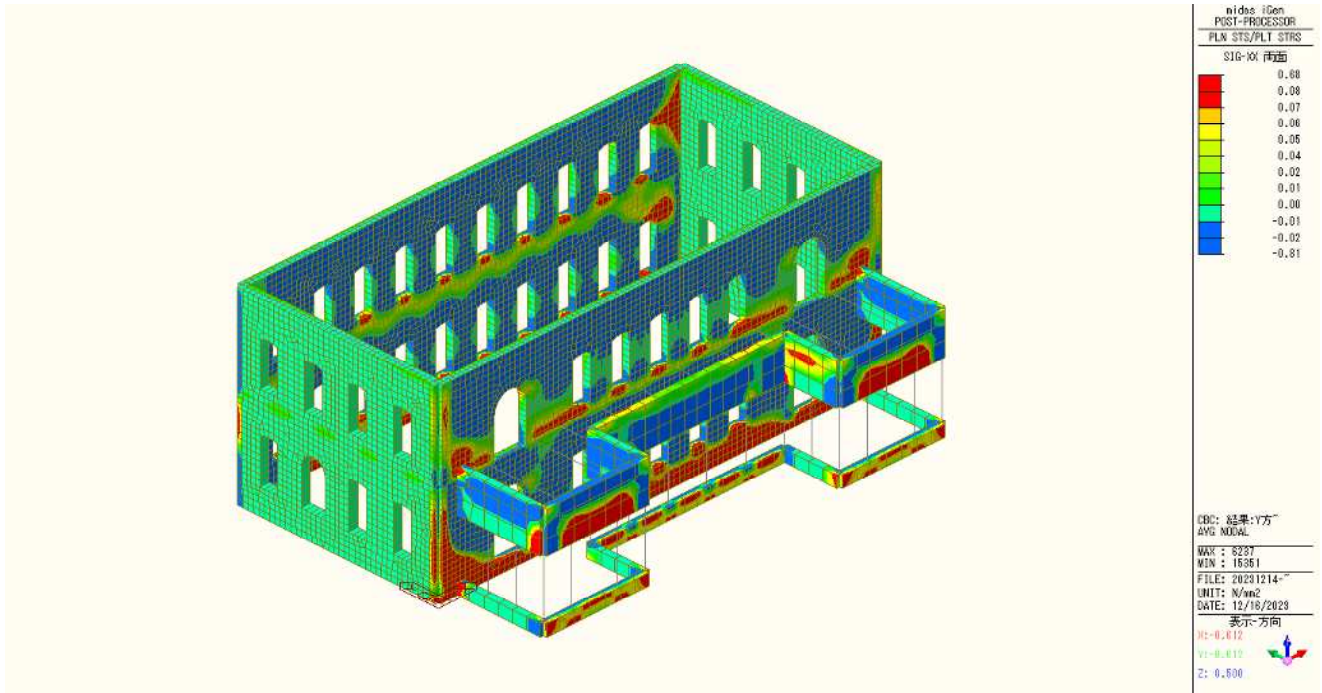
Sig-XY：全体座標 XY 平面のせん断応力度
図 7-1g) 応力図 (X 方向：慣性力 1G)



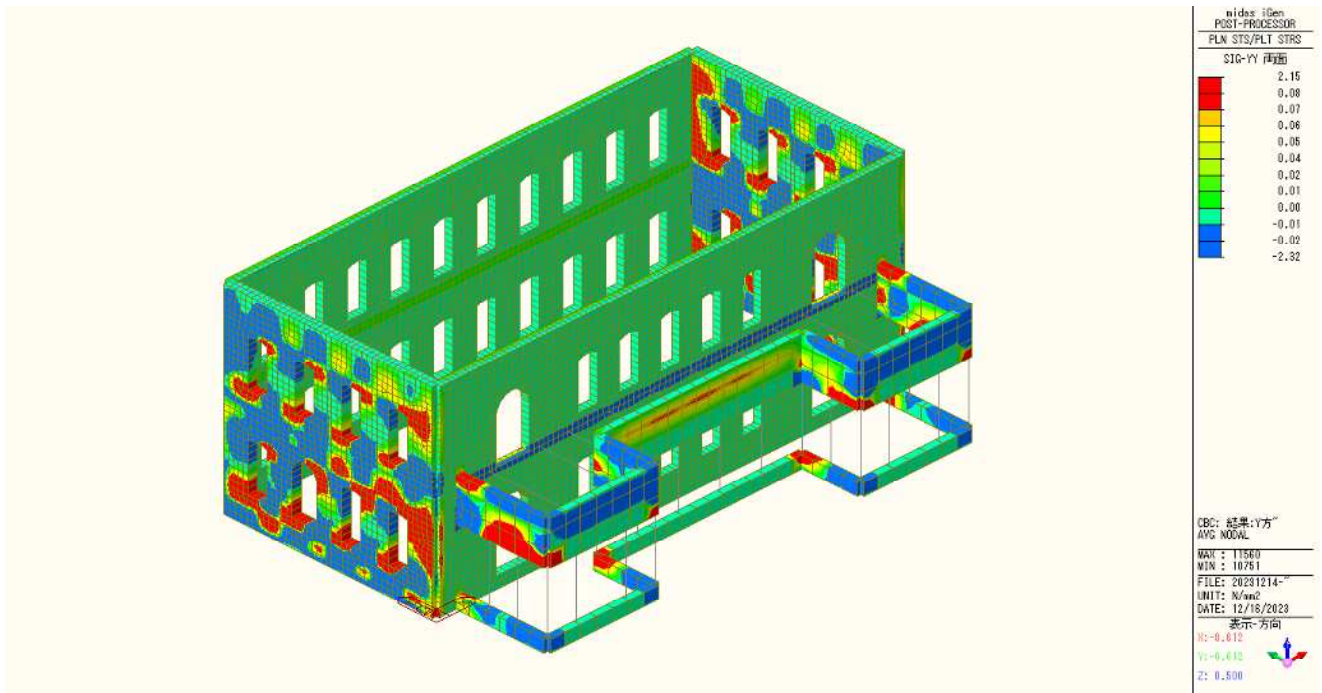
Sig-YZ：全体座標 YZ 平面のせん断応力度



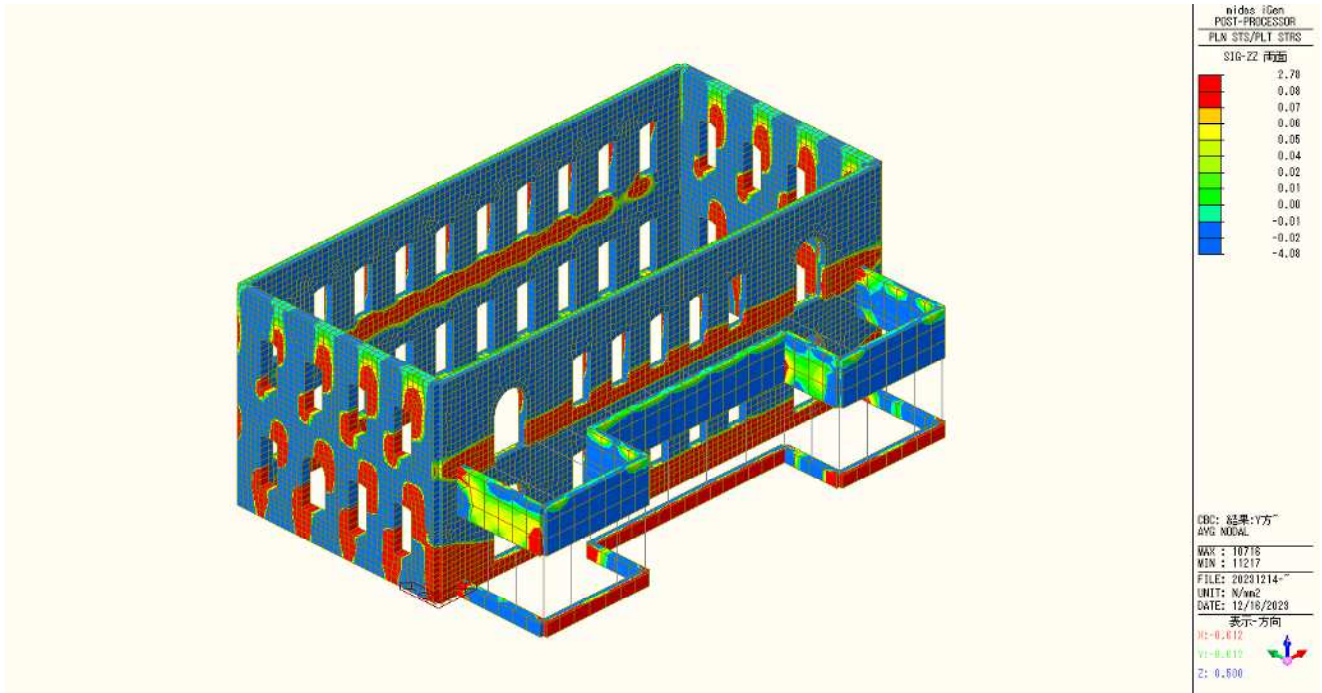
Sig-XZ：全体座標 XZ 平面のせん断応力度
 図 7-1h) 応力図 (X 方向：慣性力 1G)



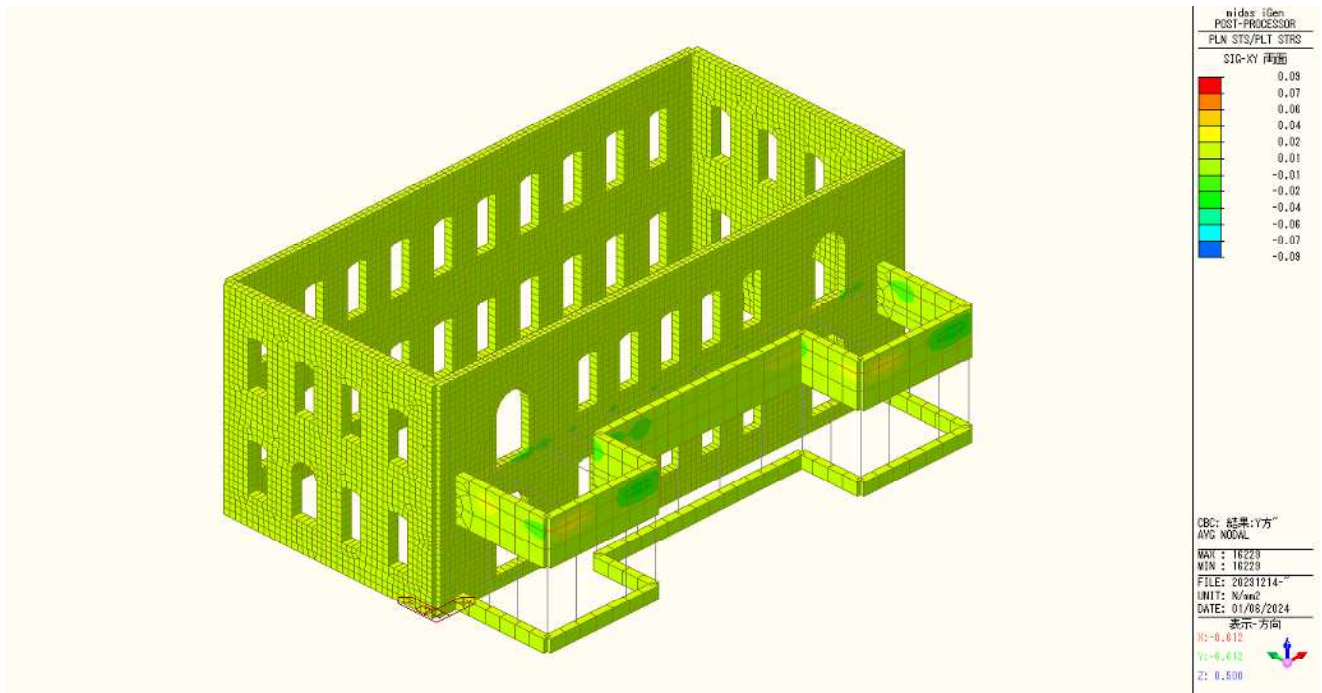
Sig-XX : 全体座標 X 軸方向の垂直応力度



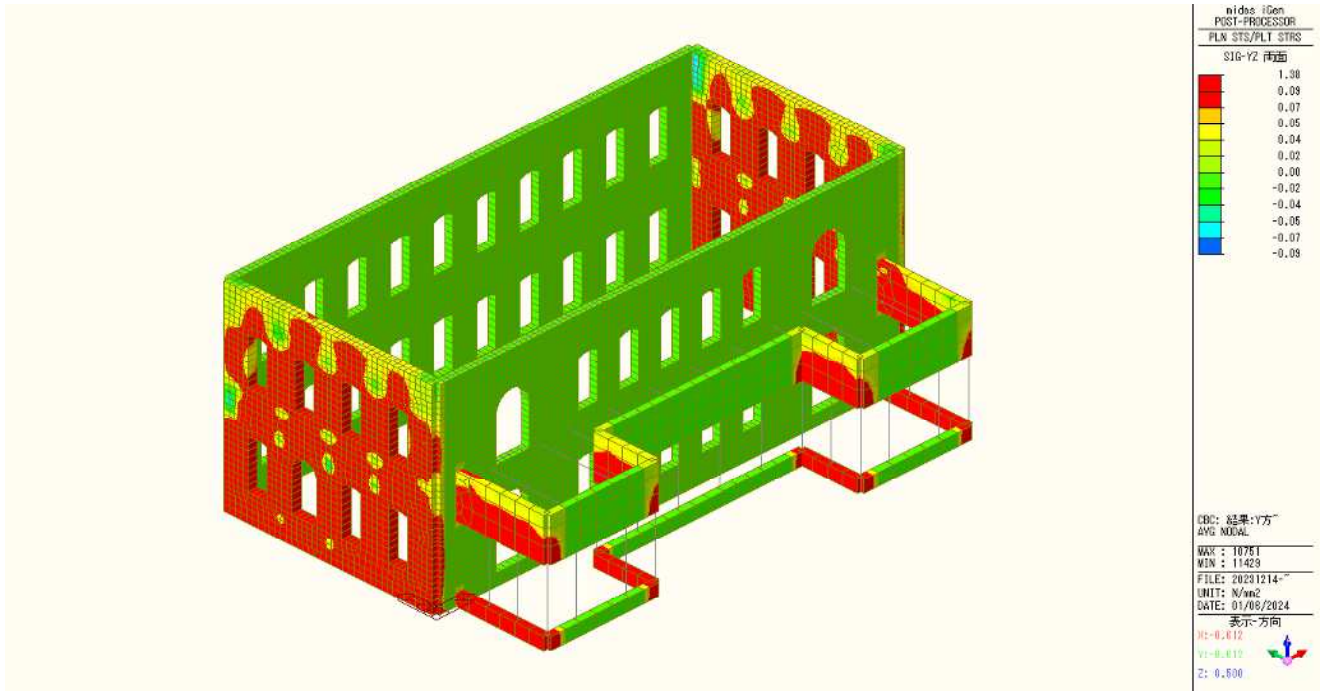
Sig-YY : 全体座標 Y 軸方向の垂直応力度
 図 7-1i) 応力図 (Y 方向: 慣性力 1G)



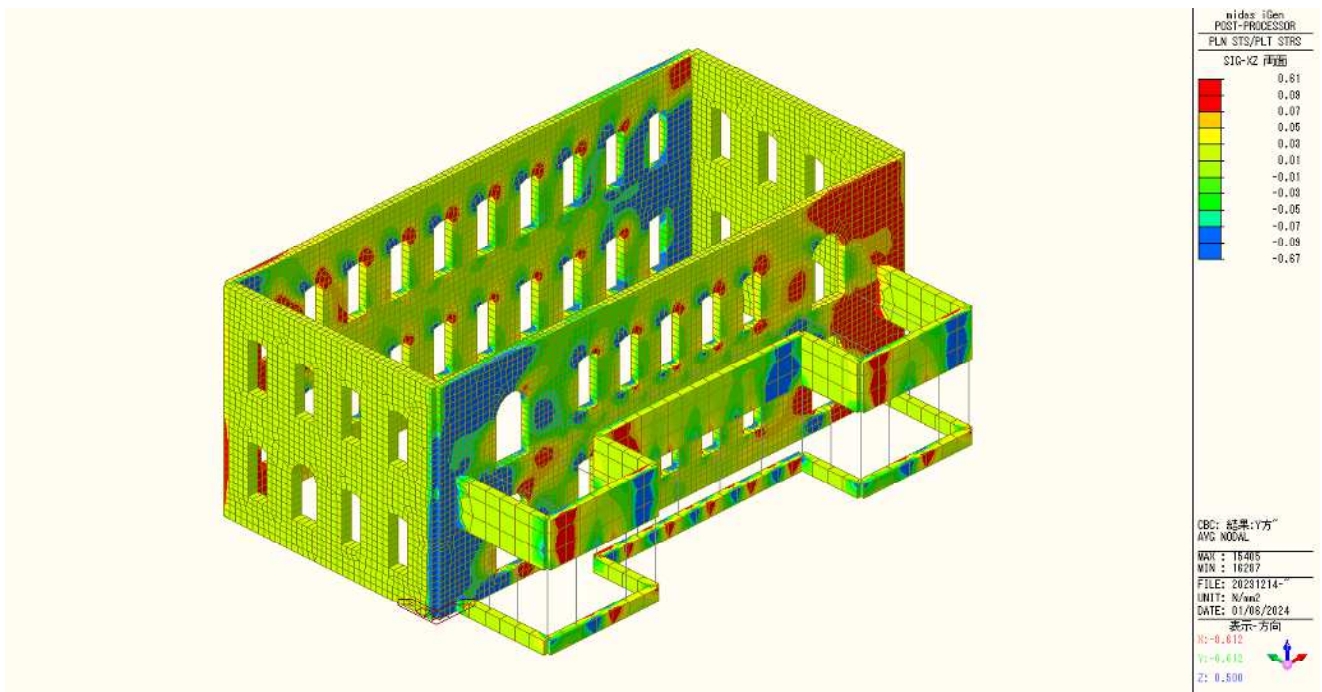
Sig-ZZ：全体座標 Z 軸方向の垂直応力度



Sig-XY：全体座標 XY 平面のせん断応力度
 図 7-1j) 応力図 (Y 方向：慣性力 1G)



Sig-YZ：全体座標 YZ 平面のせん断応力度



Sig-XZ：全体座標 XZ 平面のせん断応力度

図 7-1k) 応力図 (Y 方向：慣性力 1G)

間柱の断面算定結果を以降に示す。間柱は各方立壁に配置し、各石をアンカーボルトにて間柱と固定する。間柱は開口部分を含む有効負担幅を 2m と仮定し算定を行った。