

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0067_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-60 計算機プログラム（解析コード）の概要
・FRAMEマネージャ

2021年2月

東北電力株式会社

目次

1.	はじめに.....	1
1.1	使用状況一覧.....	2
2.	解析コードの概要.....	3
3.	解析手法.....	4
3.1	一般事項.....	4
3.2	解析コードの特徴.....	4
3.3	解析理論.....	5
3.4	解析フローチャート.....	6
3.5	検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)	7

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）FRAMEマネージャについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-10-2-3-3	杭基礎構造防潮壁 鋼製扉の耐震性についての計算書	ver. 6. 0. 1
VI-3-別添 3-2-2-3	杭基礎構造防潮壁 鋼製扉の強度計算書	ver. 6. 0. 1

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	FRAME マネージャ
使用目的	2次元骨組構造解析（断面力算出）
開発機関	株式会社フォーラムエイト
開発時期	1996年
使用したバージョン	ver. 6.0.1
コードの概要	<p>FRAME マネージャ（以下「本解析コード」という。）は、平面骨組構造解析の汎用市販コードである。</p> <p>本解析コードの解析部分は微小変位理論に基づいており、格子点変位を未知量とする多元連立方程式を解くことによって所要の変位・断面力・反力を算出する。この連立方程式は、構造データから決定される剛性マトリックスと荷重データから決定される荷重ベクトルから構成される。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・単純はりモデルに対して本解析コードを用いて算出した断面力及び変位が構造力学公式集を用いて算出した断面力及び変位と一致することを確認している。 ・格子モデルに対して、本解析コードで算出した断面力及び変位が、日本原子力発電株式会社東海第二発電所の防潮堤（鋼製防護壁）の3次元骨組みモデルにて使用実績のある TDAPⅢ (ver3.08) で同様のモデルを解析した際に算出される断面力及び変位と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画に本解析コードを使用することの妥当性は、前述の検証の中で確認している。 ・本工事計画における構造に適用する要素、応力解析の使用目的に対し、使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

3. 解析手法

3.1 一般事項

本解析コードは、任意の骨組み構造に対して構造解析を行うプログラムである。

3.2 解析コードの特徴

・機能

本解析コードは以下の機能により構成される。

- ・面内解析・・・面内荷重（骨組み構造に平行な荷重）を解析する。
- ・面外解析・・・面外荷重（骨組み構造に垂直な荷重）を解析する。
- ・IL解析・・・移動荷重，固定荷重を影響線処理する。
- ・結果集計・・・面内解析，面外解析，IL解析の結果を集計し編集出力する。

・モデルの定義

実際の構造物をモデル化するために、本プログラムが用意している構造モデルの種類は以下のものがある。

- ・部材モデル（骨組み構造の部材断面及び接合方法の設定）
- ・格点モデル（骨組み構造の格点座標の設定）
- ・支点モデル（支持位置及び支持方法の設定）

モデル化された骨組み構造はウィンドウ上に描画され、モデルの格点番号・部材番号が表示される。作成したモデルのエラーチェックを視覚的に行うことが可能である。

・荷重の定義

対象構造物に作用する自重等の荷重をモデル化するために、本プログラムが用意している荷重の種類として、部材分布荷重，部材集中荷重，格点集中荷重，温度荷重，プレストレス荷重，支点強制変位がある。これらの荷重を基本ケースとして組み合わせ解析を行うことができる。

・解析結果の出力・図化

解析結果として以下を出力することができる。

a) 変形図・断面力図

変形図，断面力図は定義した荷重ケース若しくは別途定義した荷重の組み合わせごとに出力することが可能である。入力モデルや支点，荷重等の出力を始めとして，断面力，変位並びに反力等の作図結果を DXF ファイルに出力する補助機能を有する。本機能により出力されたファイルは汎用 CAD アプリケーションで読み込み，編集・出力が可能である。部材集中荷重の載荷位置や最大・最小部材力位置を抽出し，着目点を自動追加する任意の着目点の断面力・変位を出力する機能を有する。

b) 解析結果リスト

解析結果を成果品として保存することができる。保存するデータの種類として，テキストデータ（CSV形式，TXT形式），DOC形式データ（MS-WORD）等に対応する。

3.3 解析理論

本解析コードは構造解析システムとして微小変位理論に基づく変位法を用いている。
変位法について以下に示す。

- ① 構造物に外力が働いた場合に生じる変位を求める。
- ② ①で求めた変位を用いて断面力を算出する。

外力と変位の関係式

$$\{F\} = [K] \times \{U\}$$

$\{F\}$: 外力ベクトル (荷重ベクトル), $[K]$: 全体剛性マトリックス, $\{U\}$: 変位ベクトル

外力と全体剛性マトリックスの逆行列から変位ベクトルを求める。

$$\{U\} = [K]^{-1} \times \{F\}$$

$[K]^{-1}$: $[K]$ の逆行列

求めた変位ベクトルから要素座標系の変位ベクトルを求め、要素座標系の変位ベクトルと要素剛性マトリックスから断面力を求める。

$$\{f_e\} = [k_e] \times \{u_e\}$$

$\{f_e\}$: 要素断面力ベクトル, $[k_e]$: 要素剛性マトリックス, $\{u_e\}$: 要素座標系での変位ベクトル

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図 3-1 に示す。

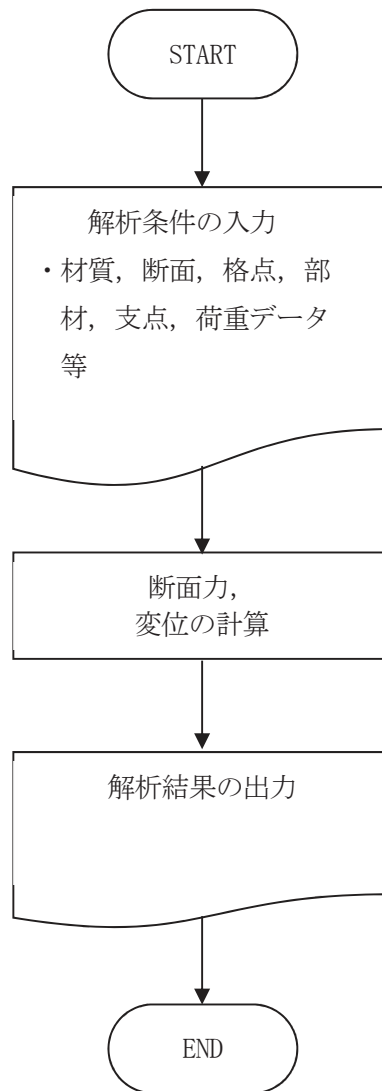


図3-1 解析フローチャート

3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)

(1) 単純梁モデルに対する比較検証

以下に示す断面諸元を持つ単純梁において図3-2に示すような荷重がそれぞれ作用した場合の支間中央部の断面力 (M, S) 及び変位 (δ) を図3-3及び図3-4に示す構造力学公式集を用いて算出し、プログラムの出力結果と比較する。

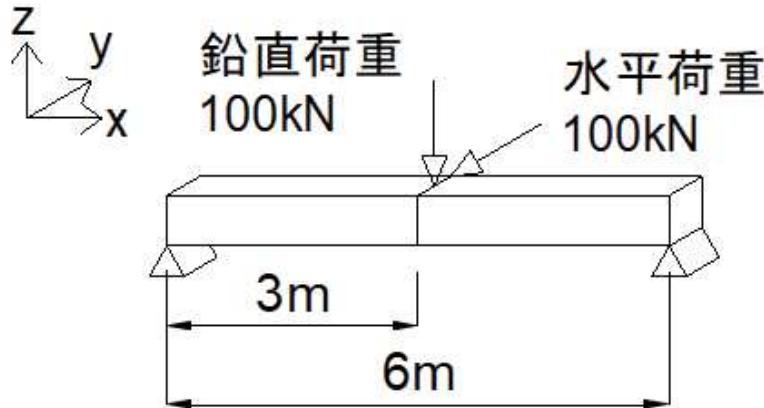


図3-2 単純梁モデル

表3-1 単純梁の断面諸元

項目	諸元値
支間長 (= l)	6 (m)
ヤング率 (= E)	200000000 (kN/m ²)
断面剛性 (= I _y)	0.0004 (m ⁴)
断面剛性 (= I _z)	0.0006 (m ⁴)
作用荷重 (= P)	100 (kN)

構造力学公式集により算出した断面力及び変位

荷重, たわみ曲線, せん断力図, 曲げモーメント図	反力 R_A, R_B , せん断力 Q	曲げモーメント M
1)	$R_A = R_B = \frac{P}{2}$ $Q_1 = \frac{P}{2}$ $Q_2 = -\frac{P}{2}$	$M_1 = \frac{P}{2} x$ $M_2 = \frac{P}{2} x'$ $M_{max} = \frac{Pl}{4}, [x = \frac{l}{2}]$

図3-3 せん断・曲げ算出式 (構造力学公式集P.134より引用)

たわみ w	たわみ角 θ	支点たわみ角 θ_A, θ_B
$w_1 = \frac{Pl^3}{48EI} \left\{ 3\frac{x}{l} - 4\left(\frac{x}{l}\right)^3 \right\}$ $w_2 = \frac{Pl^3}{48EI} \left\{ 3\frac{x'}{l} - 4\left(\frac{x'}{l}\right)^3 \right\}$ $w_{max} = \frac{Pl^3}{48EI}, \left[x = \frac{l}{2} \right]$	$\theta_1 = -\frac{Pl^2}{16EI} \left\{ 1 - 4\left(\frac{x}{l}\right)^2 \right\}$ $\theta_2 = \frac{Pl^2}{16EI} \left\{ 1 - 4\left(\frac{x'}{l}\right)^2 \right\}$	$\theta_A = -\frac{Pl^2}{16EI}$ $\theta_B = -\theta_A$

図3-4 たわみ算出式 (構造力学公式集P. 135より引用)

(a) 鉛直荷重

$$\begin{aligned}
 M &= P \times l/4 \\
 &= 100 \times 6/4 \\
 &= 150 \text{ (kNm)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= P/2 \\
 &= 100/2 \\
 &= \pm 50 \text{ (kN)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \delta &= P \times l^3 / (48 \times E \times I_y) \\
 &= 100 \times 6^3 / (48 \times 200000000 \times 0.0004) \\
 &= 0.005625 \text{ (m)} = 5.625 \text{ (mm)}
 \end{aligned}$$

(b) 水平荷重

$$\begin{aligned}
 M &= P \times l/4 \\
 &= 100 \times 6/4 \\
 &= 150 \text{ (kNm)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= P/2 \\
 &= 100/2 \\
 &= \pm 50 \text{ (kN)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \delta &= P \times l^3 / (48 \times E \times I_z) \\
 &= 100 \times 6^3 / (48 \times 200000000 \times 0.0006) \\
 &= 0.00375 \text{ (m)} = 3.75 \text{ (mm)}
 \end{aligned}$$

FRAMEマネージャにより算出した断面力及び変位

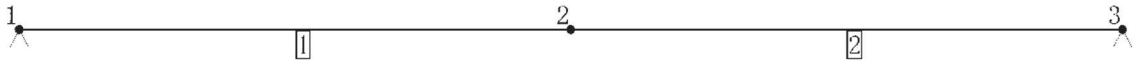
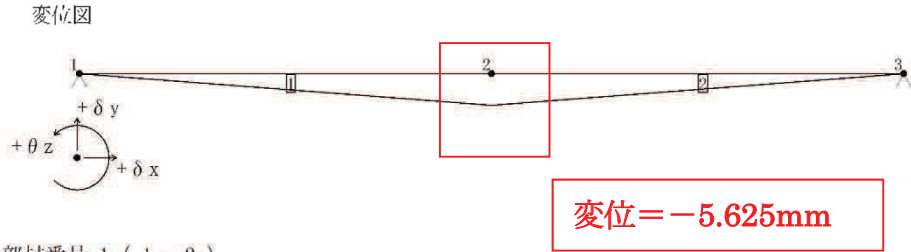


図3-5 単純梁 解析モデル

(a) 鉛直荷重載荷



部材番号 1 (1 - 2)

着目点	距離 (m)	水平変位 δx (mm)	鉛直変位 δy (mm)	回転変位 θz (mrad)
i	0.000	0.00000	0.00000	-2.81250
j	3.000	0.00000	-5.62500	0.00000
MAX	0.000	0.00000	0.00000	-2.81250
MIN	3.000	0.00000	-5.62500	0.00000

部材番号 2 (2 - 3)

着目点	距離 (m)	水平変位 δx (mm)	鉛直変位 δy (mm)	回転変位 θz (mrad)
i	0.000	0.00000	-5.62500	0.00000
j	3.000	0.00000	0.00000	2.81250
MAX	3.000	0.00000	0.00000	2.81250
MIN	0.000	0.00000	-5.62500	0.00000

断面力M z 図

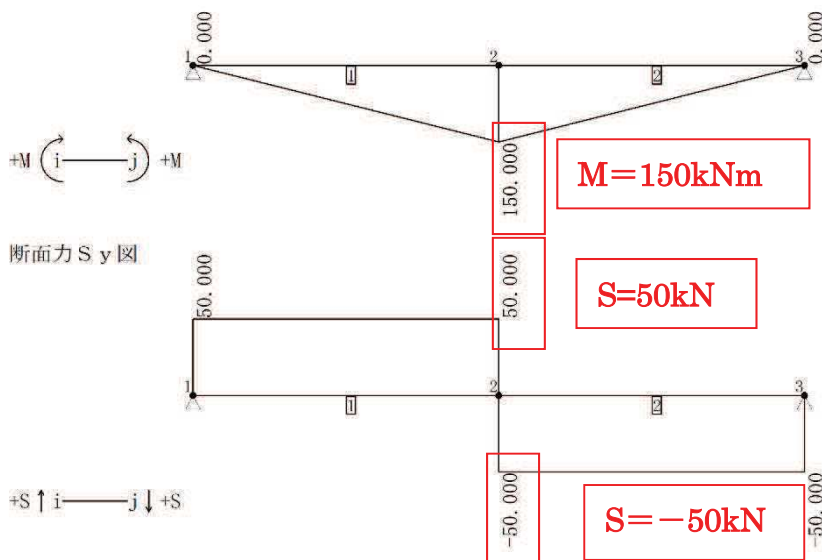
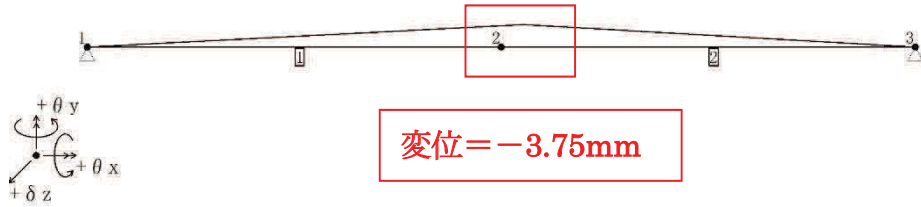


図3-6 FRAMEマネージャ解析結果 (鉛直荷重)

(b) 水平荷重載荷
変位図



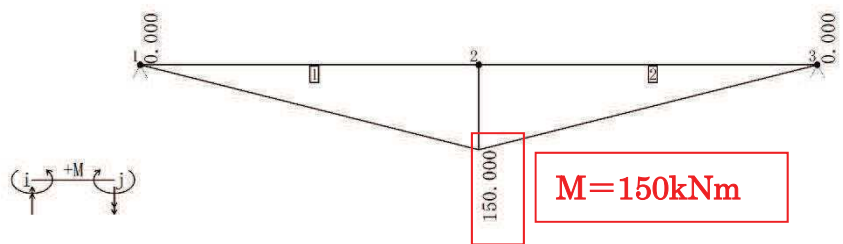
部材番号 1 (1 - 2)

着目点	距離 (m)	X軸回り変位 θ_x (mrad)	Y軸回り変位 θ_y (mrad)	Z軸方向変位 δ_z (mm)
i	0.000	0.00000	1.87500	0.00000
j	3.000	0.00000	0.00000	-3.75000
MAX	0.000	0.00000	1.87500	0.00000
MIN	3.000	0.00000	0.00000	-3.75000

部材番号 2 (2 - 3)

着目点	距離 (m)	X軸回り変位 θ_x (mrad)	Y軸回り変位 θ_y (mrad)	Z軸方向変位 δ_z (mm)
i	0.000	0.00000	0.00000	-3.75000
j	3.000	0.00000	-1.87500	0.00000
MAX	3.000	0.00000	-1.87500	0.00000
MIN	0.000	0.00000	0.00000	-3.75000

断面力 M_y 図



断面力 S_z 図

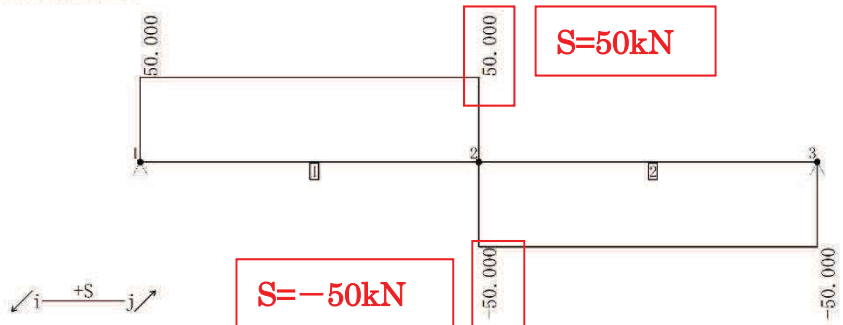


図3-7 FRAMEマネージャ解析結果 (水平荷重)

表3-2 計算例と解析結果の比較

		構造力学公式集	FRAMEマネージャ	比率
鉛直荷重	δ (mm)	-5.625	-5.625	100%
	M (kNm)	150	150	100%
	S (kN)	50	50	100%
水平荷重	δ (mm)	-3.75	-3.75	100%
	M (kNm)	150	150	100%
	S (kN)	50	50	100%

構造力学公式集を用いた計算結果と本解析コードの出力結果が一致していることを確認しており、断面力及び変位の算出が正しく実行できていることが確認できる。

(2) 格子モデルに対する比較検証

図3-8に示す格子モデルに図3-9及び図3-10に示す荷重がそれぞれ作用した場合の断面力 (M, S, N) 及び変位 (δ) をTDAPⅢと本解析コードで算出し比較する。

解析モデルの構造諸元を表3-3、境界条件を表3-4に示す。

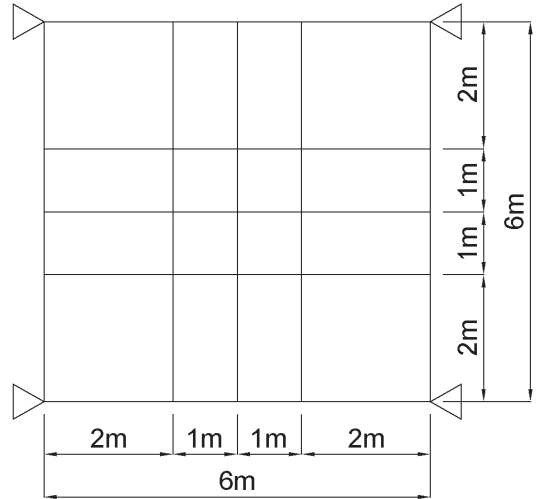
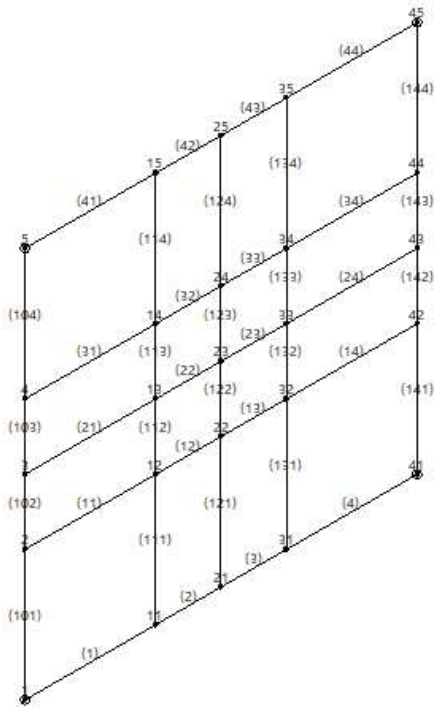


図3-8 比較検証モデル

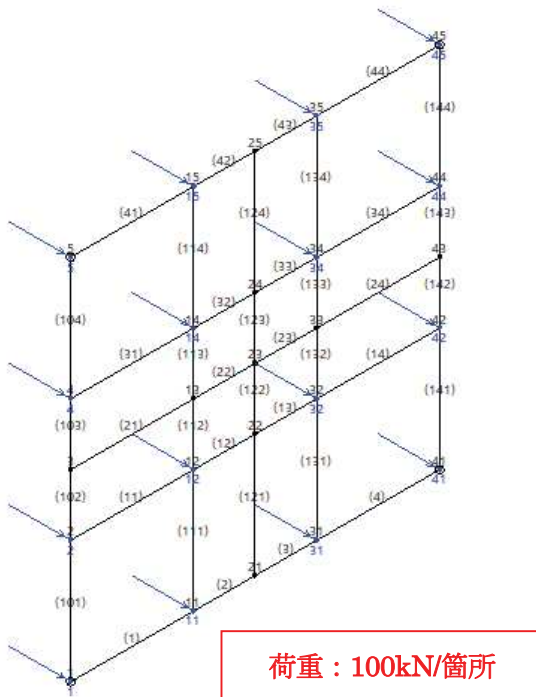


図3-9 水平荷重載荷

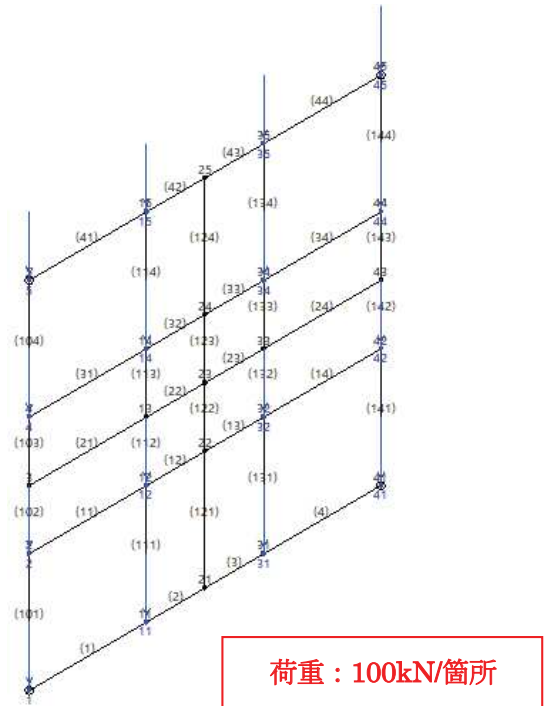


図3-10 鉛直荷重載荷

表3-3 解析モデル 構造諸元

項目		諸元値
支間長 (縦部材)		6 (m)
支間長 (横部材)		6 (m)
ヤング率 (=E)		200000000 (kN/m ²)
断面剛性 (=I _y =I _z)	縦部材	0.0002 (m ⁴)
	横部材	0.0002 (m ⁴)
作用荷重 (=P)		100 (kN/箇所)

表3-4 解析モデル 境界条件

	x 方向	y 方向	z 方向
変形	拘束	拘束	拘束
回転	自由	自由	自由

TDAPⅢ により算出した断面力及び変位

(a) 水平荷重載荷

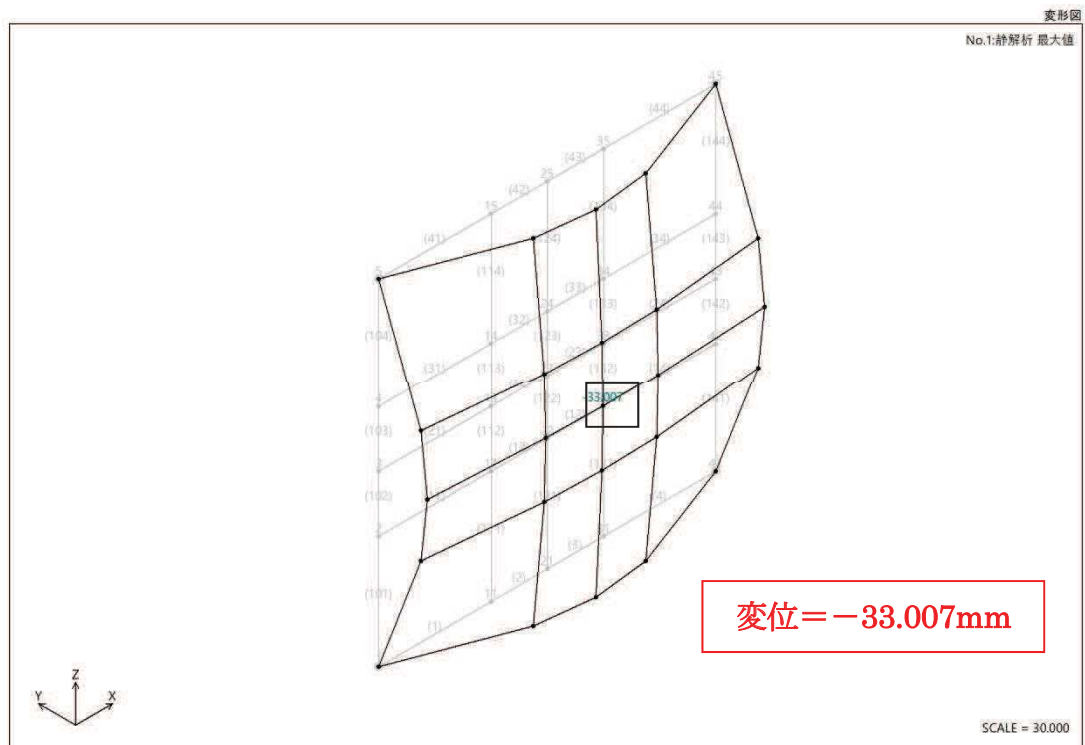


図3-11 TDAPⅢ 解析結果(変位/水平荷重)

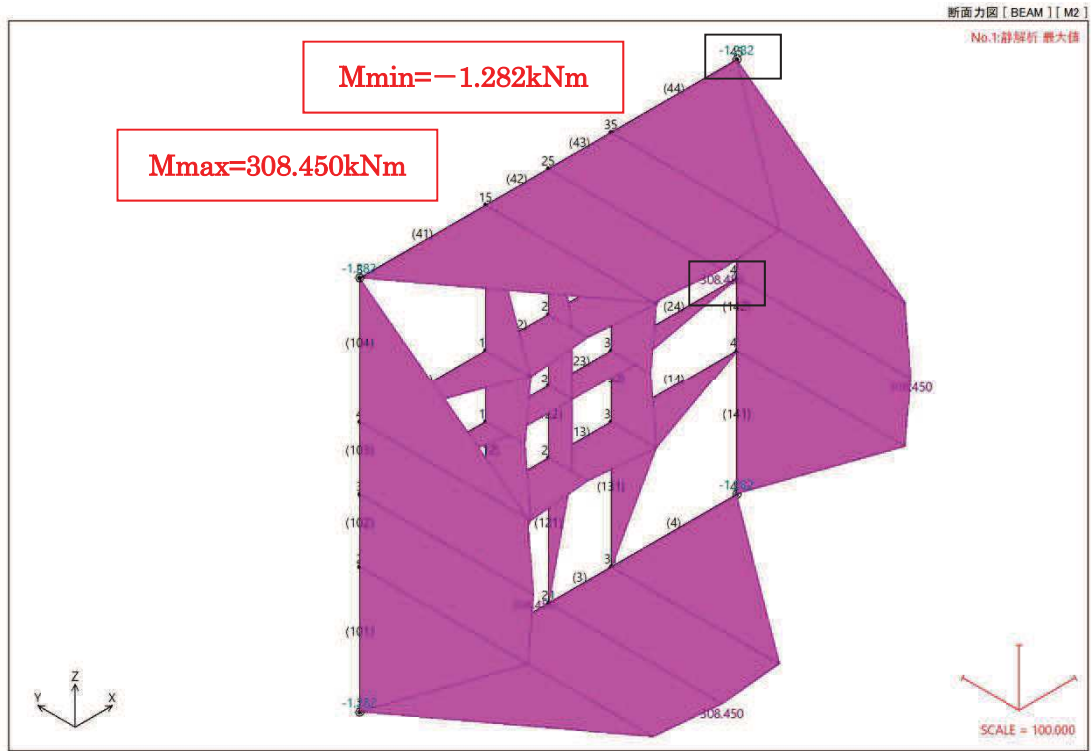


図3-12 TDAPIII 解析結果(曲げモーメント/水平荷重)

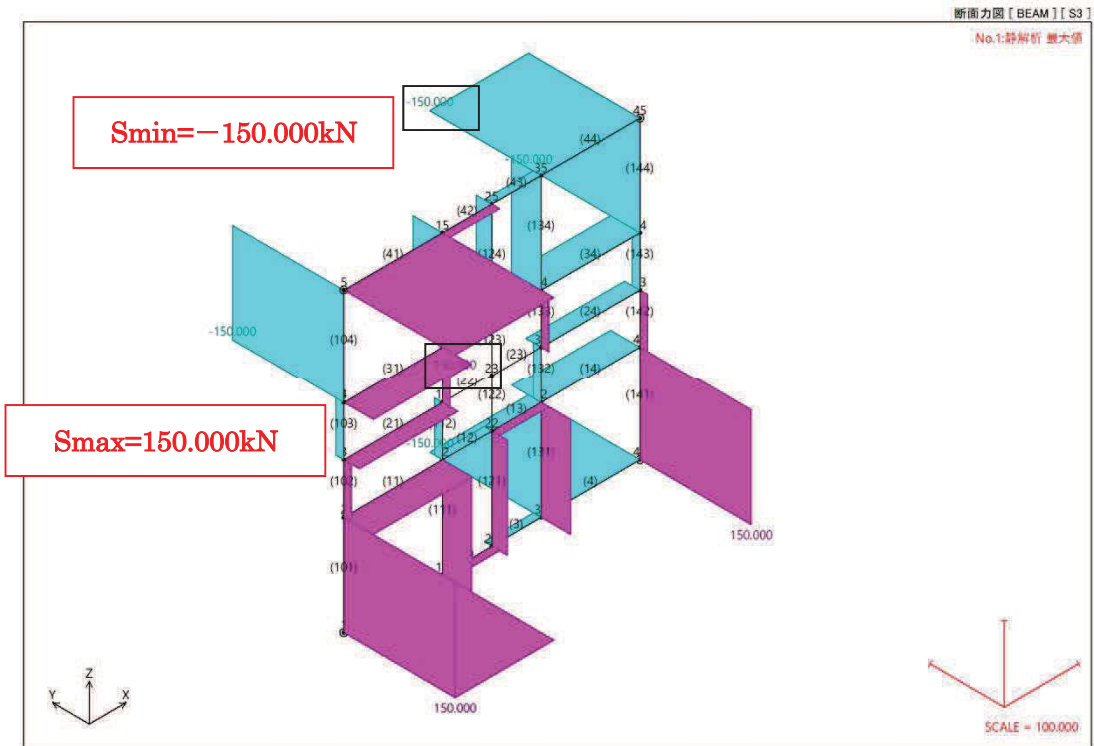


図3-13 TDAPIII 解析結果(せん断力/水平荷重)

(b) 鉛直荷重載荷

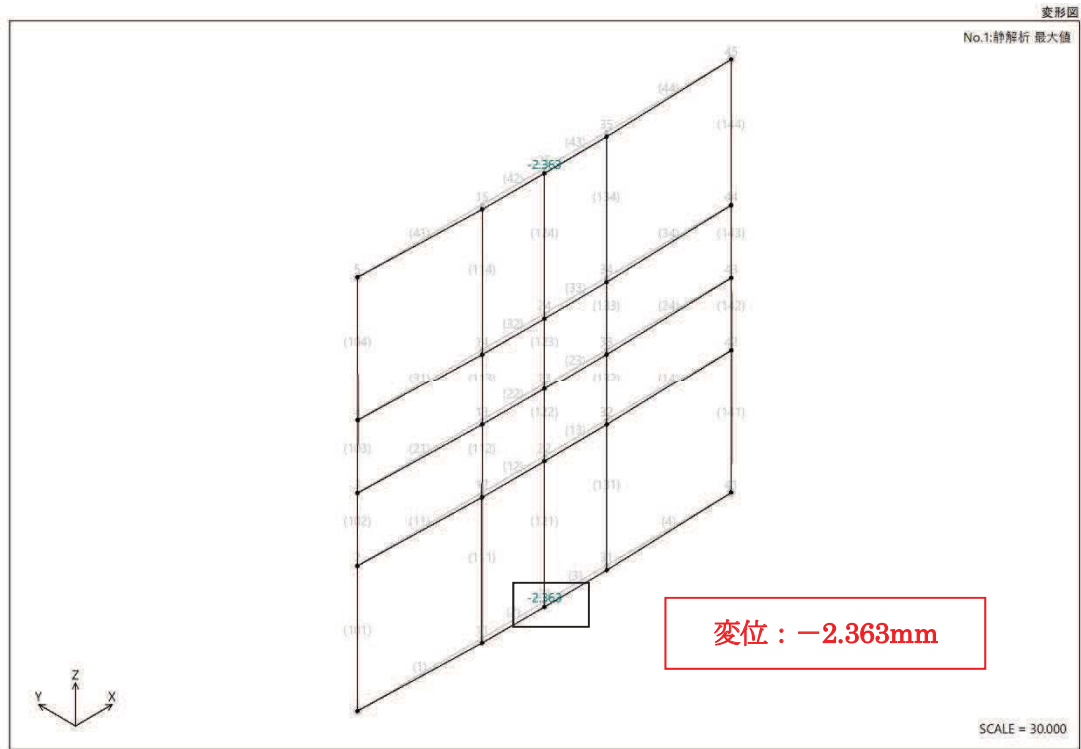


図3-14 TDAPIII 解析結果(変位/鉛直荷重)

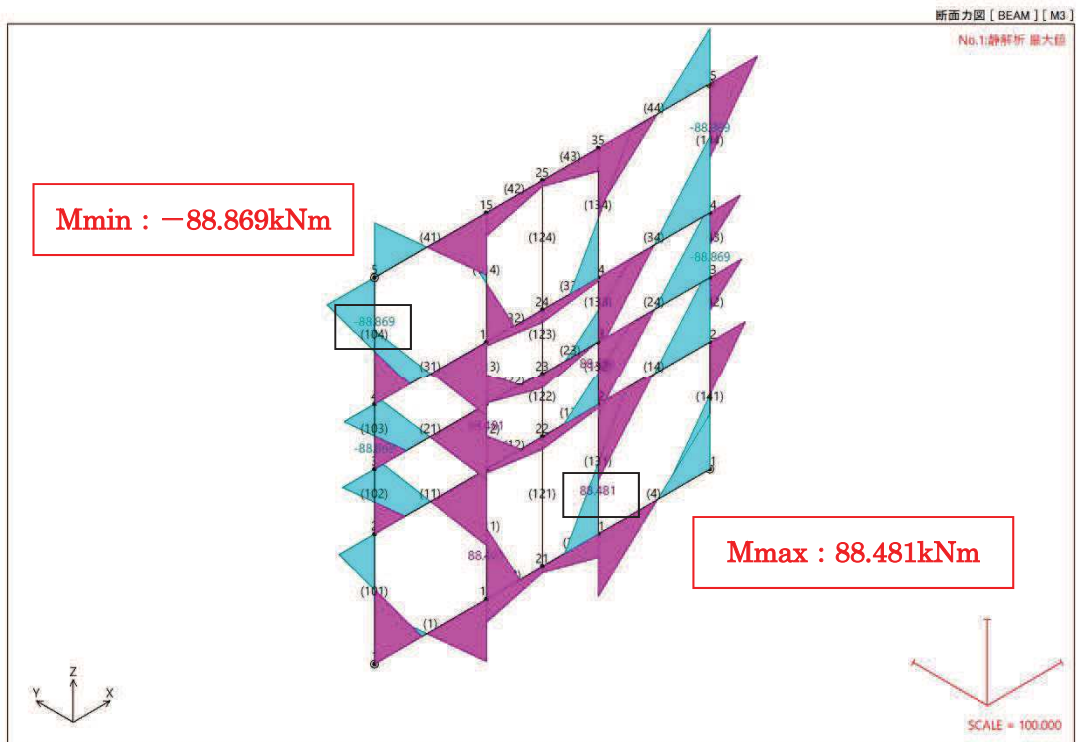


図3-15 TDAPIII 解析結果(曲げモーメント/鉛直荷重)

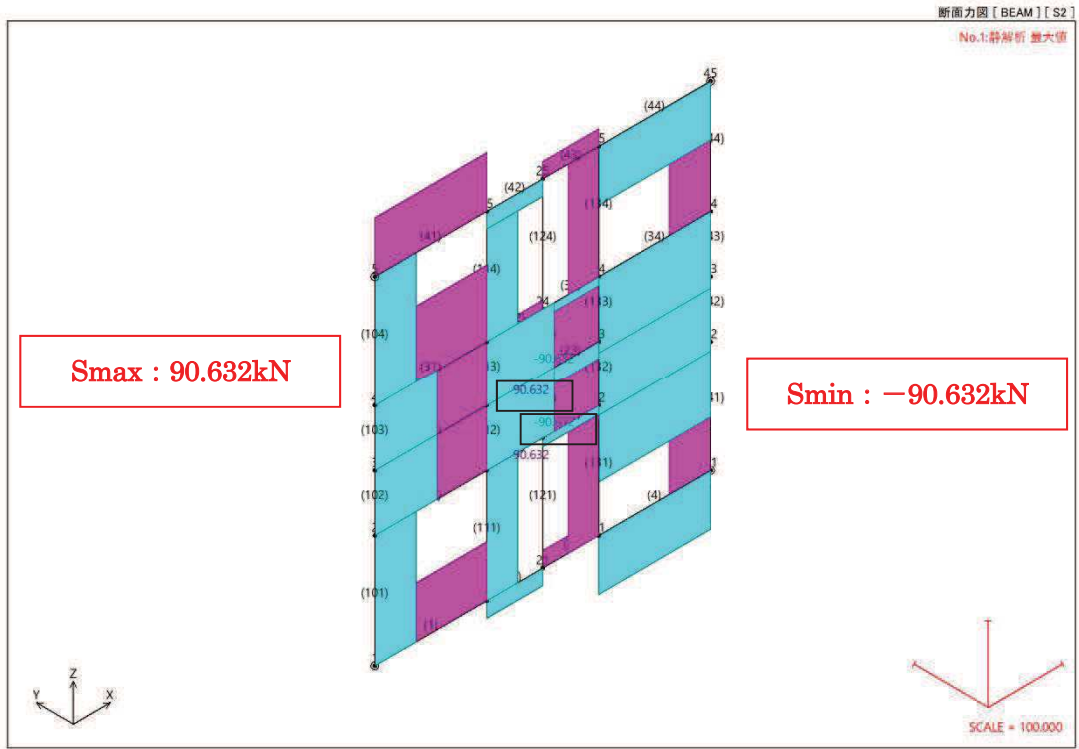


図3-16 TDAPIII 解析結果(せん断力／鉛直荷重)

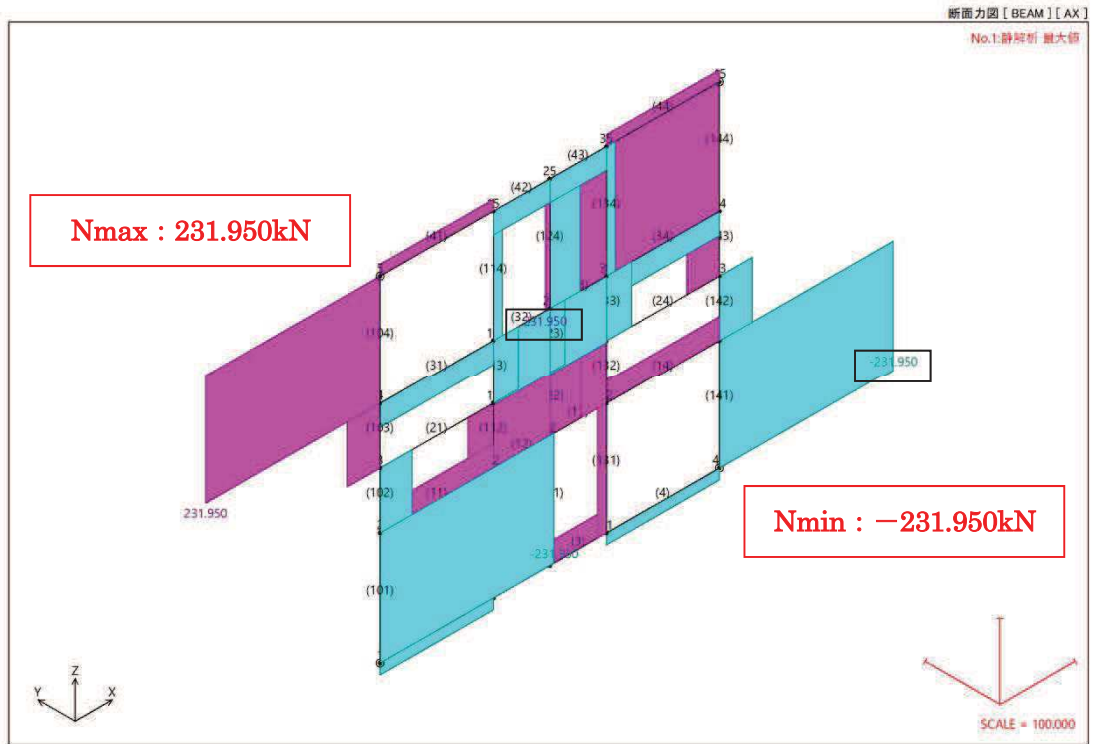
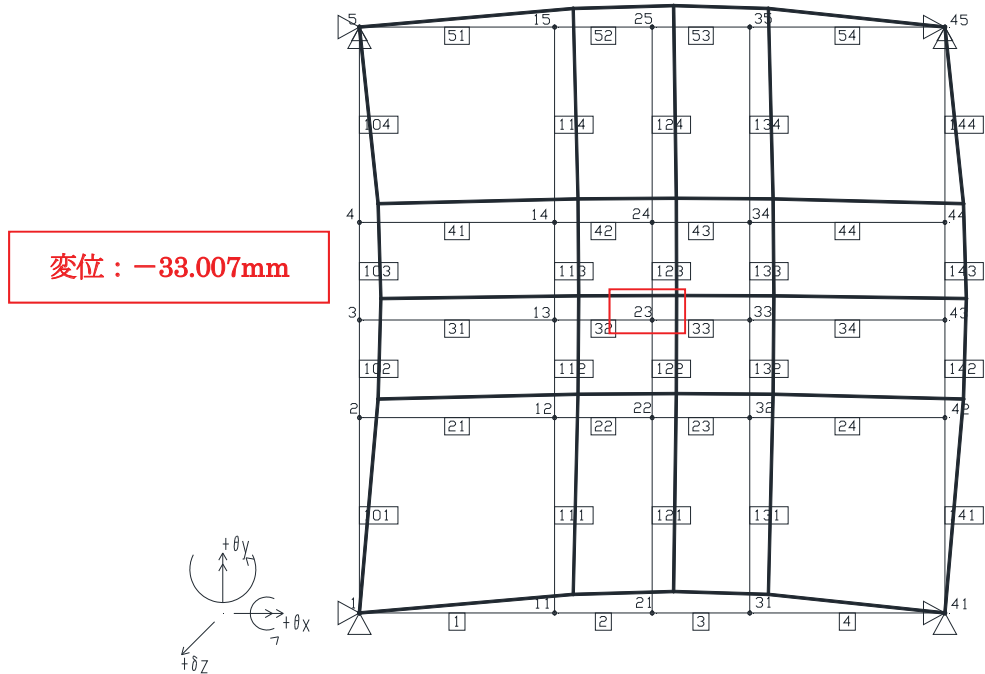


図3-17 TDAPIII 解析結果(軸力／鉛直荷重)

FRAMEマネージャにより算出した断面力及び変位

(a) 水平荷重載荷時



部材番号 22 (13 - 23)

着目点	距離 (m)	X 軸回り変位 θ_x (mrad)	Y 軸回り変位 θ_y (mrad)	Z 軸方向変位 δz (mm)
i	0.000	0.00000	1.06831	-32.47294
j	1.000	0.00000	0.00000	-33.00709
MAX	0.000	0.00000	1.06831	-32.47294
MIN	1.000	0.00000	0.00000	-33.00709

図3-18 FRAMEマネージャ 解析結果(変位/水平荷重)

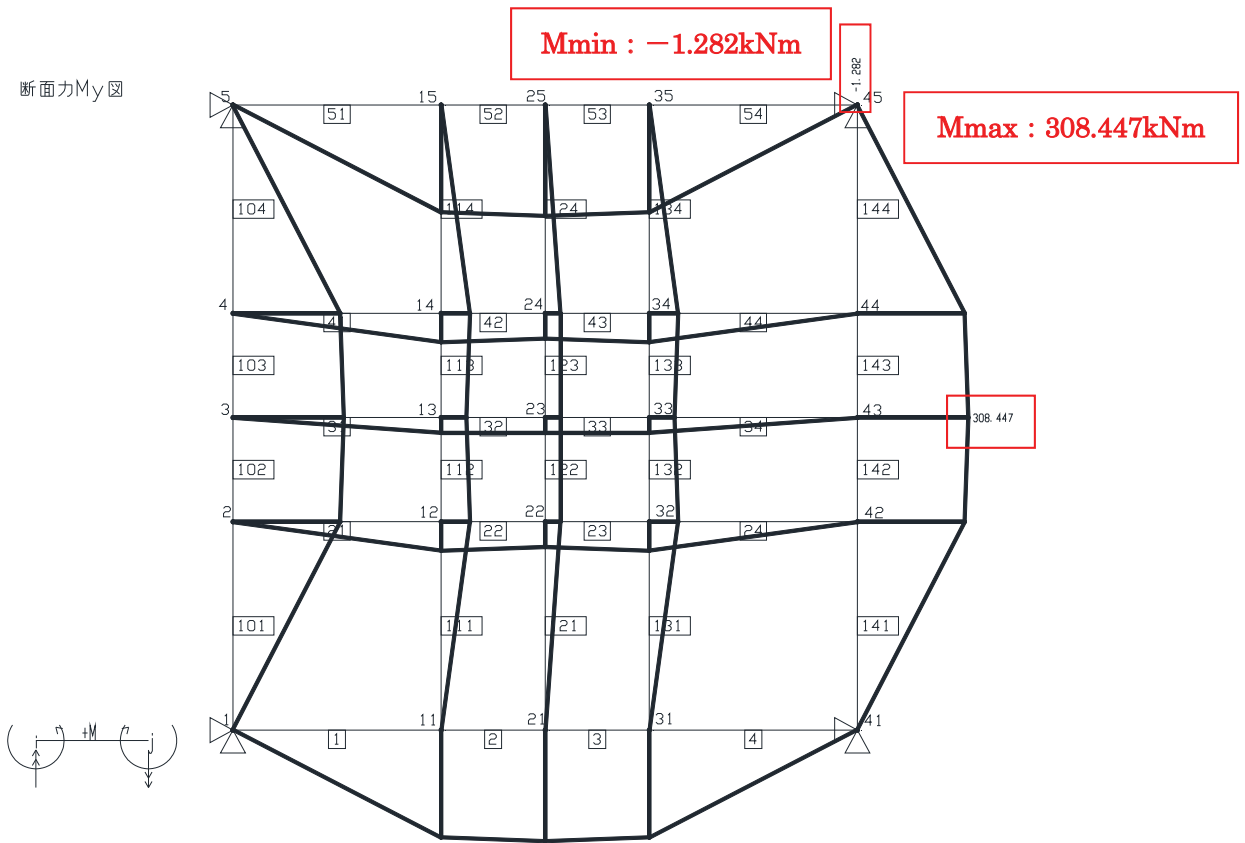


図3-19 FRAMEマネージャ 解析結果(曲げモーメント/水平荷重)

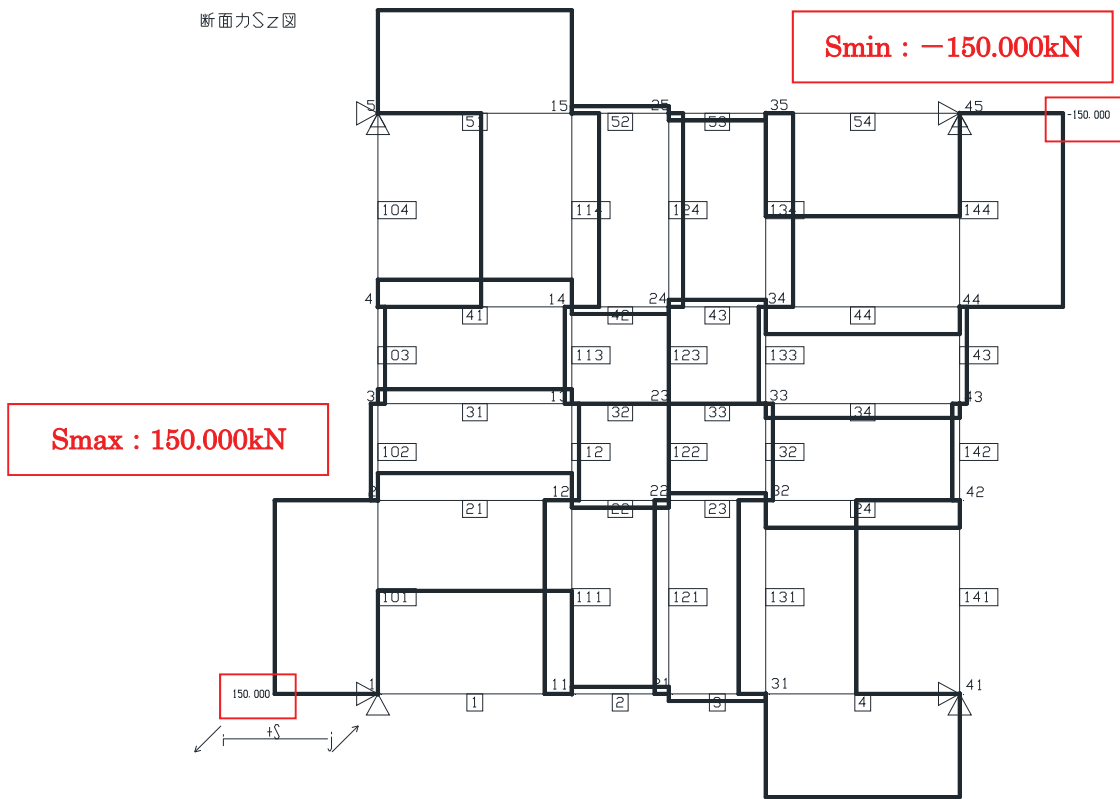
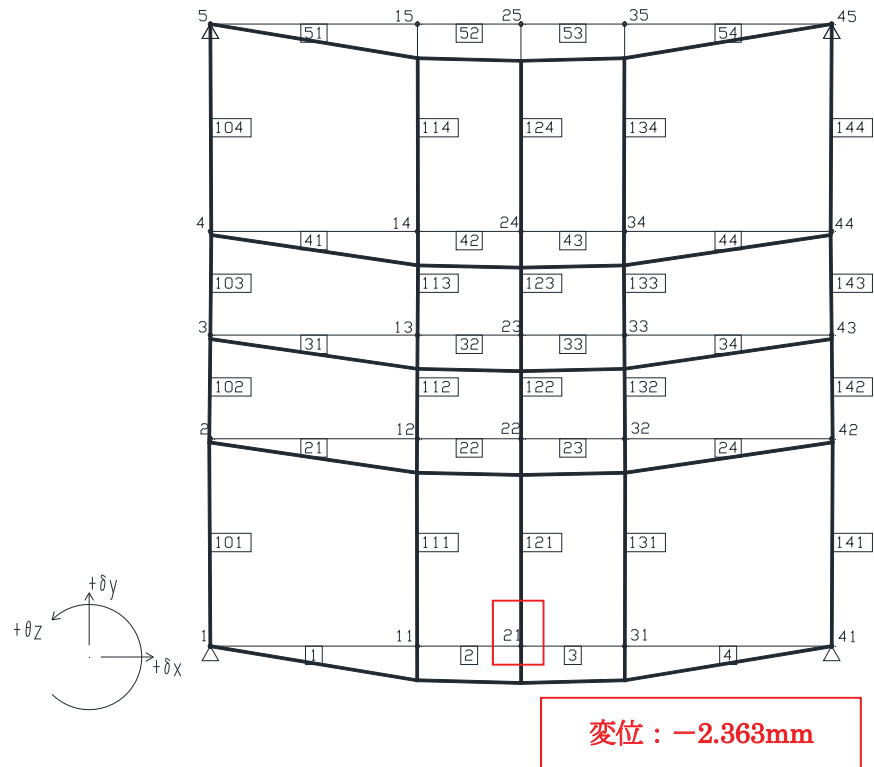


図3-20 FRAMEマネージャ 解析結果(せん断力/水平荷重)

(b) 鉛直荷重載荷時



部材番号 2 (11 - 21)

着目点	距離 (m)	水平変位 δx (mm)	鉛直変位 δy (mm)	回轉變位 θz (mrad)
i	0.000	-0.01380	-2.19236	-0.42501
j	1.000	0.00000	-2.36275	0.00000
MAX	0.000	-0.01380	-2.19236	-0.42501
MIN	1.000	0.00000	-2.36275	0.00000

図3-21 FRAMEマネージャ 解析結果(変位/鉛直荷重)

断面力Mz図

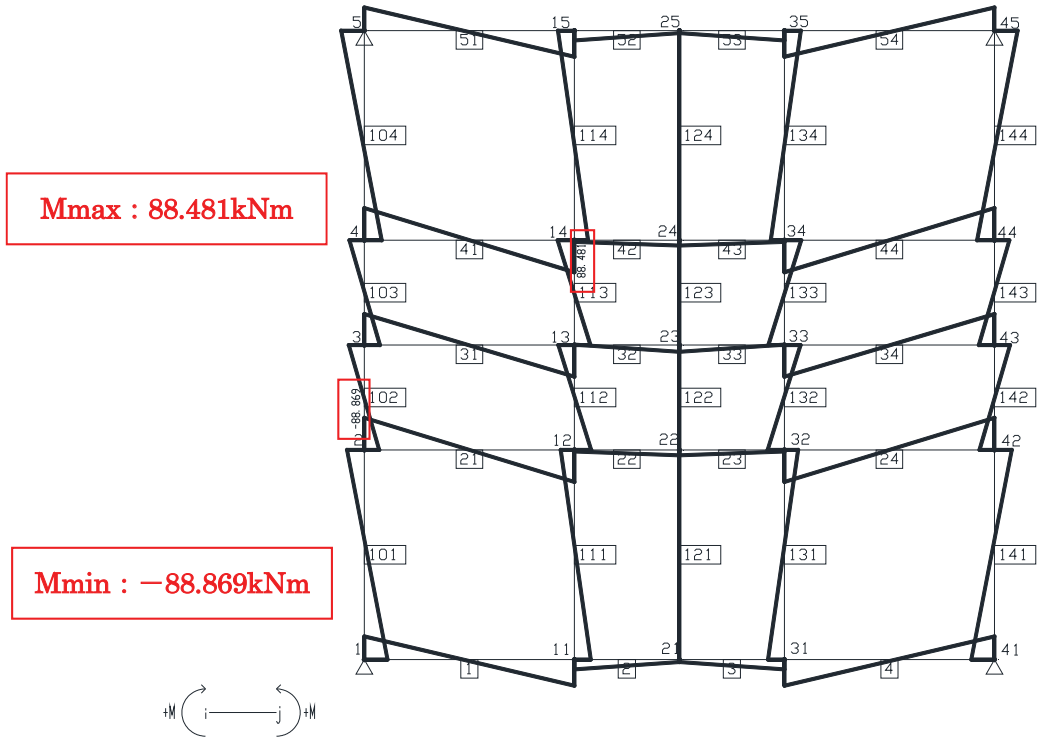


図3-22 FRAMEマネージャ 解析結果(曲げモーメント/鉛直荷重)

断面力Sy図

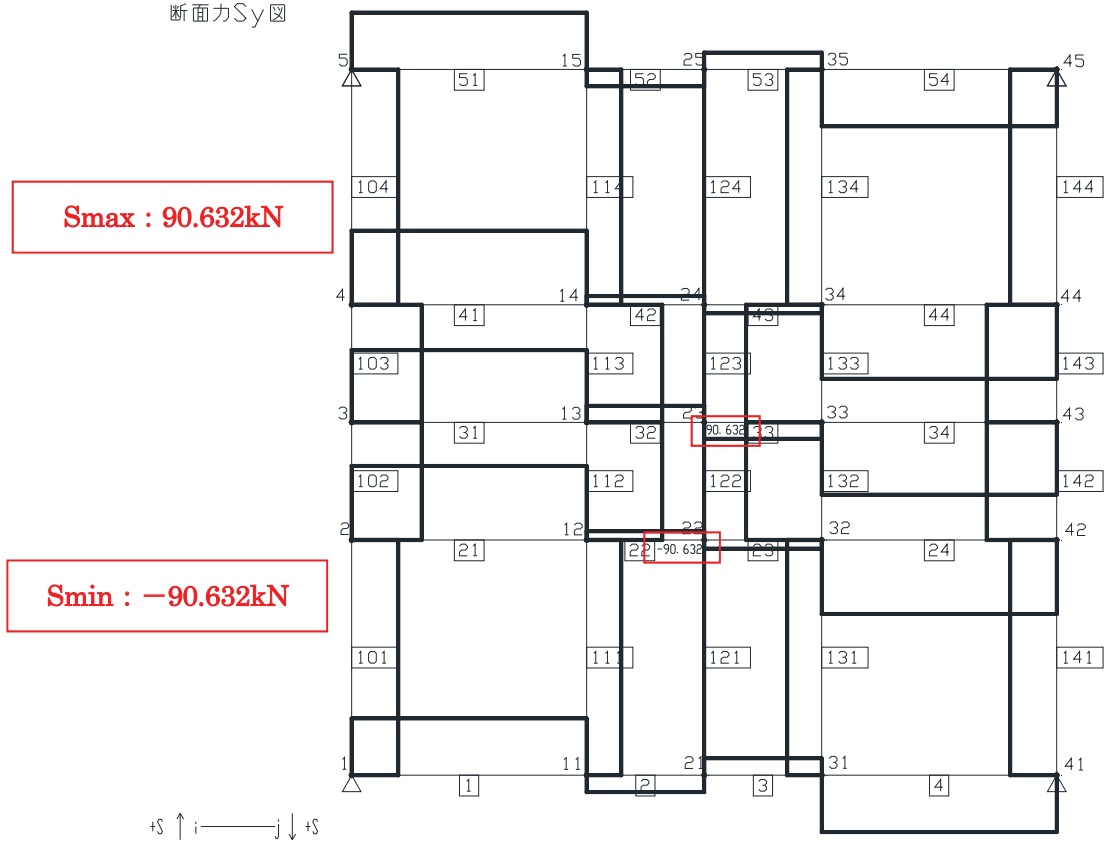


図3-23 FRAMEマネージャ 解析結果(せん断力/鉛直荷重)

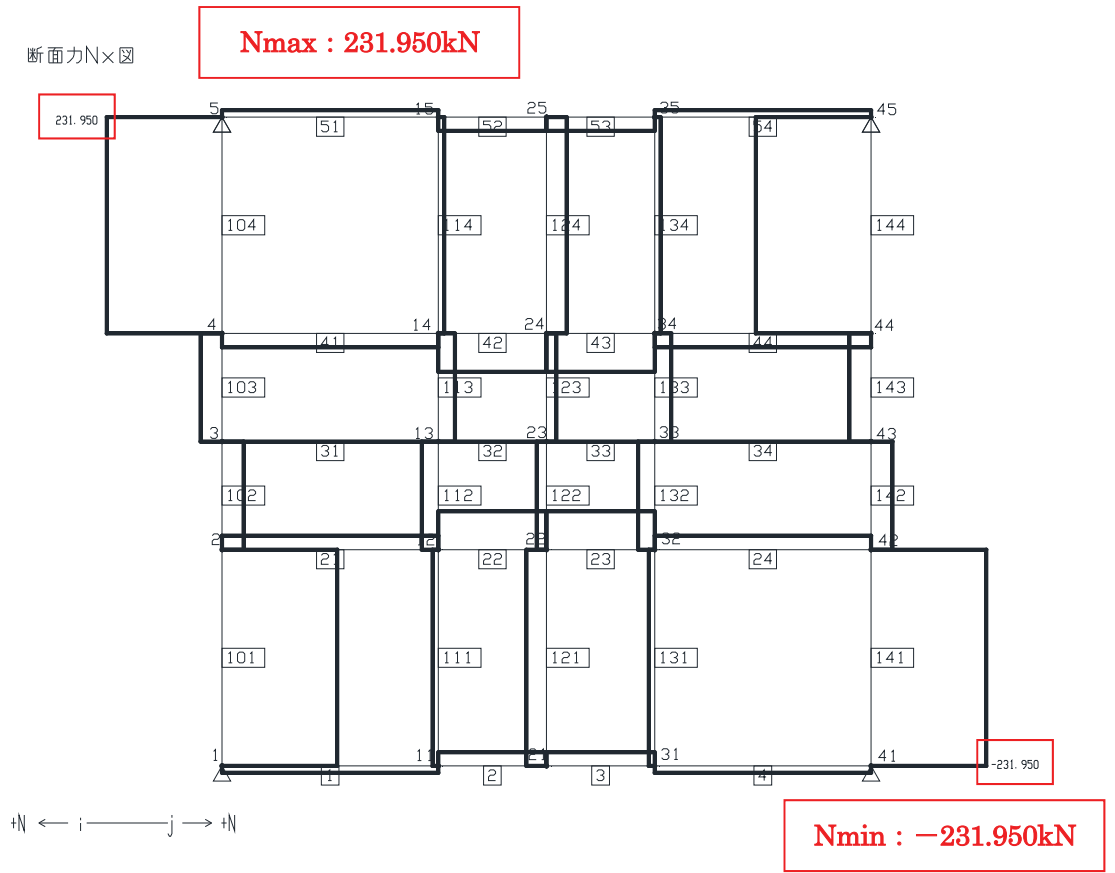


図3-24 FRAMEマネージャ 解析結果(軸力/鉛直荷重)

表3-5 TDAPⅢとFRAMEマネージャの解析結果の比較

		TDAPⅢ	FRAMEマネージャ	比率	
水平荷重	δ (mm)	-33.007	-33.007	100%	
	M (kNm)	Max	308.450	308.447	99.999%
		Min	-1.282	-1.282	100%
	S (kN)	Max	150.000	150.000	100%
		Min	-150.000	-150.000	100%
鉛直荷重	δ (mm)	-2.363	-2.363	100%	
	M (kNm)	Max	88.481	88.481	100%
		Min	-88.869	-88.869	100%
	S (kN)	Max	90.632	90.632	100%
		Min	-90.632	-90.632	100%
	N (kN)	Max	231.950	231.950	100%
		Min	-231.950	-231.950	100%

TDAPⅢとFRAMEマネージャの解析結果が良く一致していることを確認しており、断面力及び変位の算出が正しく実行できていることが確認できる。

(3) 使用内容に対する妥当性

杭基礎構造防潮壁（鋼製扉）の設計に本解析コードによって算出した断面力及び変位を使用することは、次のとおり、本解析の適用範囲に対して検証されており、妥当である。

- ・検証内容のとおり、構造力学公式集によって算出した断面力及び変位との比較検証、TDAPⅢによって算出した断面力及び変位との比較検証を行っていることから、解析の目的に照らして使用することは妥当である。