

第2章 片持ち梁の解析

目 次

2.1	概念の理解	2-1
2.1.1	片持ち梁解析の概念	2-1
2.2	チュートリアル	2-3
2.2.1	モデルの概要	2-3
2.2.2	作業環境の設定	2-4
2.2.3	材料及び断面の定義	2-6
2.2.4	節点及び要素の生成	2-8
2.2.5	境界条件の入力	2-11
2.2.6	荷重の入力	2-12
2.2.7	構造解析の実行	2-15
2.2.8	解析結果の確認	2-17
2.3	構造計算の解説	2-22
2.3.1	力学的概念の理解及び数値計算	2-22
2.4	練習問題	2-24

2.1 概念の理解

2.1.1 片持ち梁解析の概念

片持ち梁は単純梁と同じ静定梁であるが、支持条件が異なり、一端が固定され他端が自由である点の特徴である。図 2.1 は全体座標系の X-Z 平面（2 次元空間）に存在する片持ち梁とそこに作用する荷重及び反力を表した図である。

図 2.1 のように、片持ち梁では、A 端は水平・垂直方向の移動及び回転に対し全て固定され、B 端は自由となる。

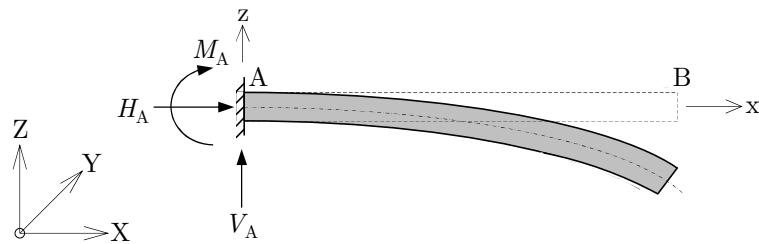


図 2.1 片持ち梁の概念図

力の釣り合い条件を適用し、片持ち梁の反力（図 2.1 の例では、 H_A 、 V_A 、 M_A ）が求められたら、部材内部の任意の位置（断面）で発生する断面力を算定する。部材の軸方向の任意の距離 x に位置する断面での断面力は、軸力 $N(x)$ 、せん断力 $Q(x)$ 、モーメント $M(x)$ の 3 種類で表せる。これら断面力は図 2.2 (b) のような自由体に力の釣り合い条件を適用することで求められる。

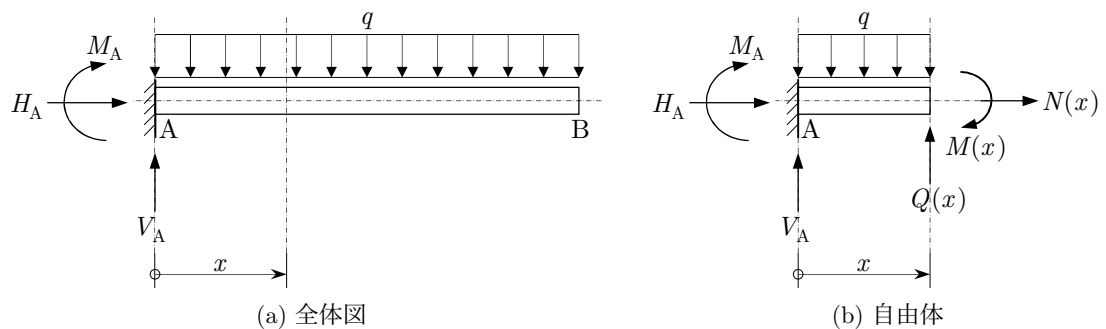


図 2.2 切断法による断面力算定

$$\sum H = 0 ; \quad H_A + N(x) = 0 \quad (2.1a)$$

$$\sum V = 0 ; \quad V_A + (-q)x + Q(x) = 0 \quad (2.1b)$$

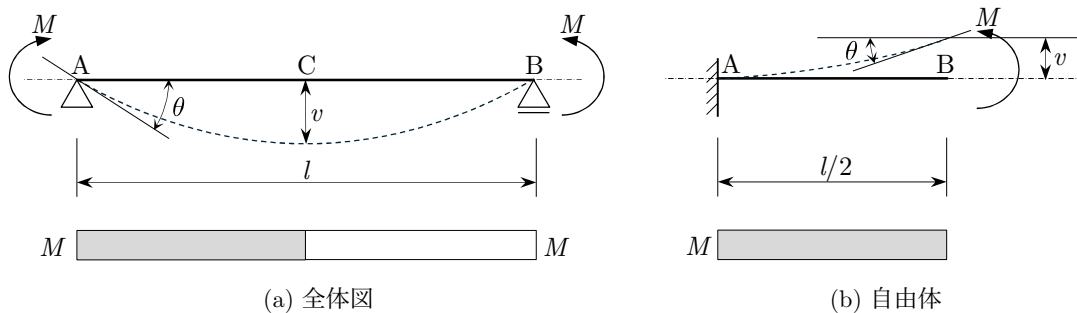
$$\sum M = 0 ; \quad M_A + V_A \cdot x - qx \cdot \frac{x}{2} + M(x) = 0 \quad (2.1c)$$

片持ち梁における荷重-せん断力-曲げモーメントの関係，および任意断面における変形-ひずみ-応力の関係は，支持条件に依存せず，単純梁の場合と同様に成り立つ．一方，たわみやたわみ角の分布は支持条件によって異なる．

ここでは，片持ち梁におけるたわみ，たわみ角および曲率の関係を直感的に理解するため，図 2.3 に示すように，スパン長さが l の単純梁と，スパン長さが $l/2$ の片持ち梁に一定の曲げモーメント M が作用する場合を考える．

曲げモーメントが一定であるため，ヤング係数および断面特性が一定であれば，曲率 $\kappa = M/EI$ も一定となり，梁は円弧状に変形する．このとき，単純梁の中央部分におけるたわみおよびたわみ角は，片持ち梁の端部におけるそれらと幾何学的に等しくなる．

これは，曲率分布図 (M/EI) における塗りつぶした部分の面積が等しいためである．



※たわみ角は時計回り（負勾配）を負，反時計回り（正勾配）を正とする．

図 2.3 単純梁と片持ち梁の比較

<単純梁のたわみ式>

$$\theta_A = \frac{M}{EI} \frac{l}{2} = \frac{M \cdot l}{2EI} \quad (2.2a)$$

$$v_C = \frac{M}{EI} \frac{l}{2} \frac{l}{4} = \frac{M l^2}{8EI} \quad (2.2b)$$

<片持ち梁のたわみ式>

$$\theta = \frac{M}{EI} \frac{l}{2} = \frac{M \cdot l}{2EI} \quad (2.3a)$$

$$v = \frac{M}{EI} \frac{l}{2} \frac{l}{4} = \frac{M l^2}{8EI} \quad (2.2b)$$

ここでは変形の大きさに着目するため，たわみ角およびたわみの符号は省略する．図に示すように，単純梁の中央より右側の変形形状は片持ち梁の変形形状と一致する．これは，単純梁の中央ではたわみに対する接線の勾配が 0 となり，この点が固定端と同等の境界条件を満たすためである．

2.2 チュートリアル

2.2.1 モデルの概要

次に示すように片持ち梁に荷重が作用する場合の反力，変位および部材力を CIVIL NX で確認し，数値計算の結果と比較する．

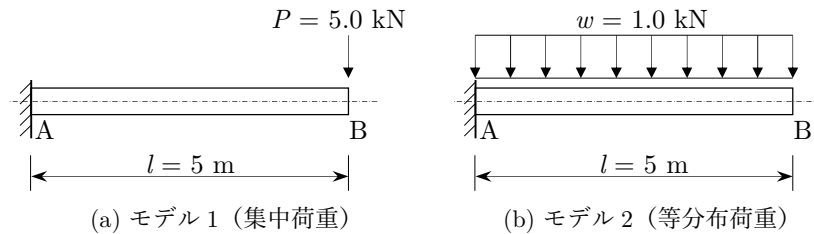


図 2.4 解析モデル

➤ 材料

鋼材：SM490

・ヤング係数 $E_s = 2.00 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$

➤ 断面

H 300 × 150 × 6.5 × 9 mm

・断面積 $A = 4.678 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

・断面二次モーメント $I = 7.210 \times 10^{-5} \text{ m}^4$

➤ 荷重

モデル 1

・集中荷重；鉛直下向き载荷 $P = 5.0 \text{ kN}$

モデル 2

・等分布荷重；鉛直下向き载荷 $w = 1.0 \text{ kN/m}$

2.2.2 作業環境の設定

(1) 単位系の設定

構造解析のモデリングを開始するため、新しいプロジェクトを作成しファイルを保存する。

メインメニュー：[≡ ファイル] > [新規プロジェクト]

メインメニュー：[≡ ファイル] > [保存]

① ファイル名に「片持ち梁」と入力し，「保存」をクリックする。

使用する単位系を設定する。

メインメニュー：[プロジェクト] > 「基本設定」 > [単位系]

② 長さで「m」，力(質量)で「kN(ton)」を選択する。

③ [OK] をクリックする。



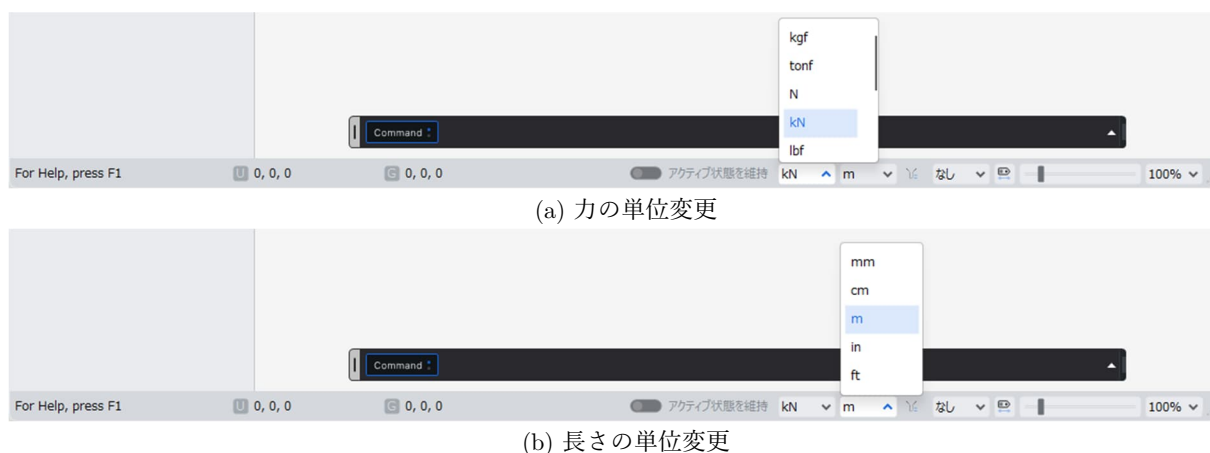
(a) ファイルの保存

(b) 単位系の設定

図 2.5 ファイルの保存および単位系の設定

Tip ステータスバーから単位系を変更する方法

単位系の設定は画面下のステータスバーでも簡単にできる。



(a) 力の単位変更

(b) 長さの単位変更

図 2.6 ステータスバーから単位変更

(2) 作業平面の設定

CIVIL NX は 3 次元構造物の解析を行うプログラムであり、各節点は 6 自由度 (D_x , D_y , D_z , R_x , R_y , R_z) を有する。

本チュートリアルでは構造物を X-Z 平面内で挙動する 2 次元モデルとして扱うため、面外方向の自由度を拘束する必要がある。

具体的には、X-Z 平面内の挙動 (y 軸回りの曲げ) のみを考慮するため、全節点において面外変位 D_y および面外回転 R_x , R_z を拘束する。

CIVIL NX では、構造形式を指定することでこれらの自由度拘束を一括設定できる。

本チュートリアルでは、全体座標系 (Global Coordinate System, GCS) を基準として X-Z 平面内の挙動のみを許容するため、構造形式を「X-Z 平面」に設定する。

メインメニュー：[プロジェクト] > 「基本設定」 > [基本設定]

① 構造形式で「X-Z 平面」を選択する。

② [OK] をクリックする。



図 2.7 作業平面の設定

2.2.3 材料及び断面の定義

(1) 材料の定義

CIVIL NX のデータベースに内蔵されている SM490 を使用する。

メインメニュー：[材料/断面] > 「材料特性」 > [材料特性]

- ① [追加...] をクリックする。
- ② 弾性データ > タイプで「鉄骨」を選択する。
- ③ 弾性データ > 鉄骨 > 規格で「JIS-Civil(S)」，
> 種別で「SM490」を選択する。
- ④ [OK] をクリックする。



(a) 材料 & 断面（材料データ登録前）



(c) 材料 & 断面（材料データ登録後）



(b) 材料データ

図 2.8 材料の定義

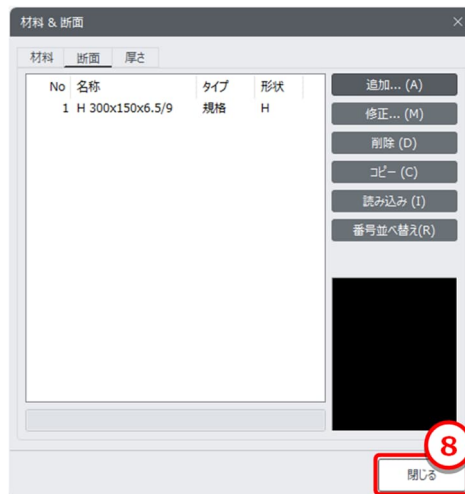
(2) 断面の定義

JIS 規格の H 形鋼 (H-300×150×6.5×9) を使用する。

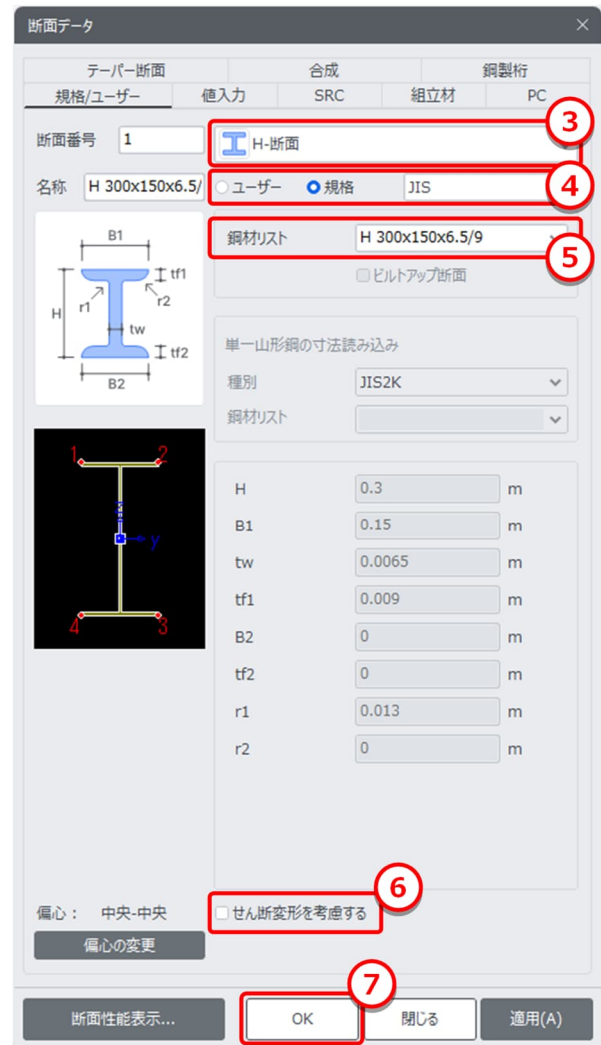
- ① 「材料 & 断面」ダイアログの「断面」タブをクリックする。
- ② 「追加...」をクリックする。
- ③ 断面形状リストから「H-断面」を選択する。
- ④ 断面の定義方法として「規格」を選択し、「JIS」を選択する。
- ⑤ 鋼材リストで「H-300×150×6.5/9」を選択する。
- ⑥ 「せん断変形を考慮する」をオフにする。
- ⑦ 「OK」をクリックする。
- ⑧ 「閉じる」をクリックする。



(a) 材料 & 断面（断面データ登録前）



(c) 材料 & 断面（断面データ登録後）



(b) 材料データ

図 2.9 断面の定義

Tip 「せん断変形を考慮する」機能

本機能は、断面のせん断変形の考慮の有無を設定するオプションである。一般に、構造力学の計算ではせん断変形は微小であるため無視されることが多いが、解析プログラムでは考慮することが可能である。

本章のチュートリアルでは、構造力学の理論計算結果との比較を行うため、「せん断変形を考慮する」のチェックをオフとし、条件を統一する。

2.2.4 節点及び要素の生成

(1) 節点の生成

要素を入力する位置に節点を作成する。

メインメニュー：[節点/要素] > 「一般」 > [生成▼] > [節点生成]

- ① 座標 (x, y, z) に「0, 0, 0」を入力する。
- ② コピー > 回数に「5」,
距離 (dx, dy, dz) に「1, 0, 0」を入力する。
- ③ [節点番号] をオンにする。
- ④ [適用] をクリックする。
- ⑤ [自動フィット] をオンにし, [正面] をクリックする。

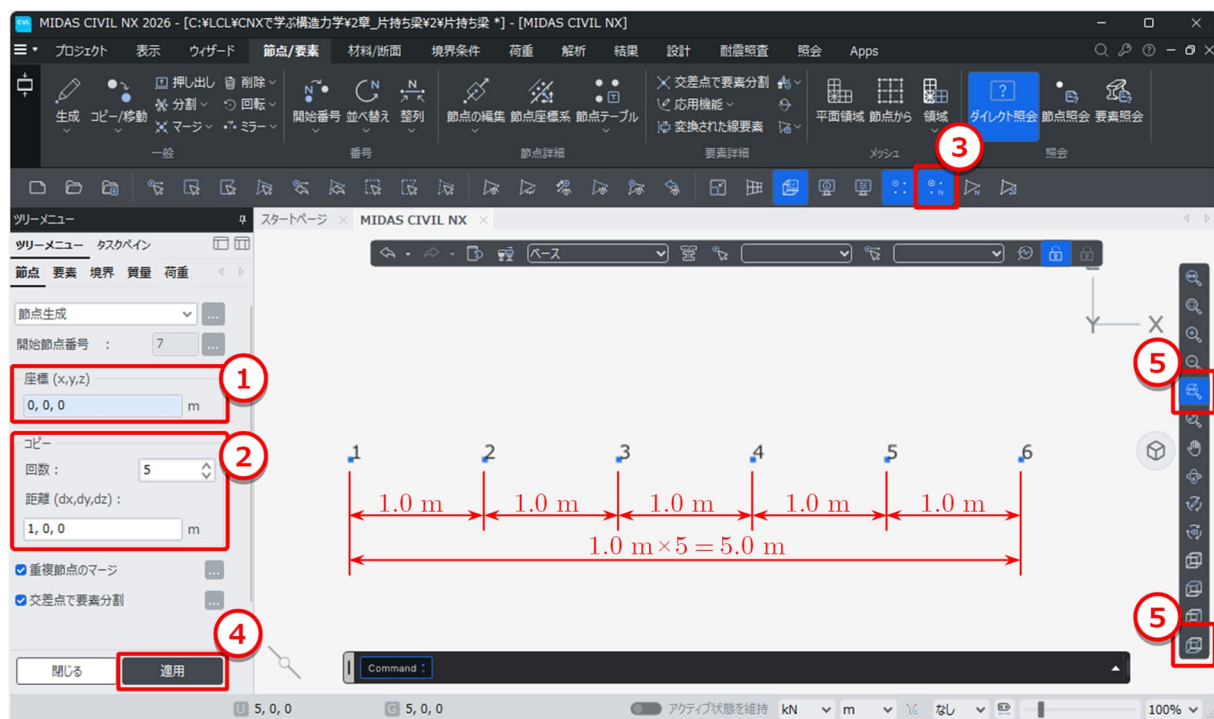


図 2.10 節点の生成

(2) 要素の生成

要素生成機能を利用し、既に作成した節点間に梁要素を生成する。

メインメニュー：[節点/要素] > 「一般」 > [生成▼] > [要素生成]

- ① 要素タイプで「一般梁/テーパ断面梁要素」を選択する。
- ② 材料>名称で「1: SM490」を選択する。
- ③ 断面>名称で「1: H 300×150×6.5/9」を選択する。
- ④ 構成節点>交差計算で「節点」と「要素」をオンにする。
- ⑤ 構成節点の入力ボックス内をクリックし、入力状態であることを確認する。
モデルビューで節点 1, 節点 6 の順にクリックする。
- ⑥ [隠線除去表示] をオンにする。

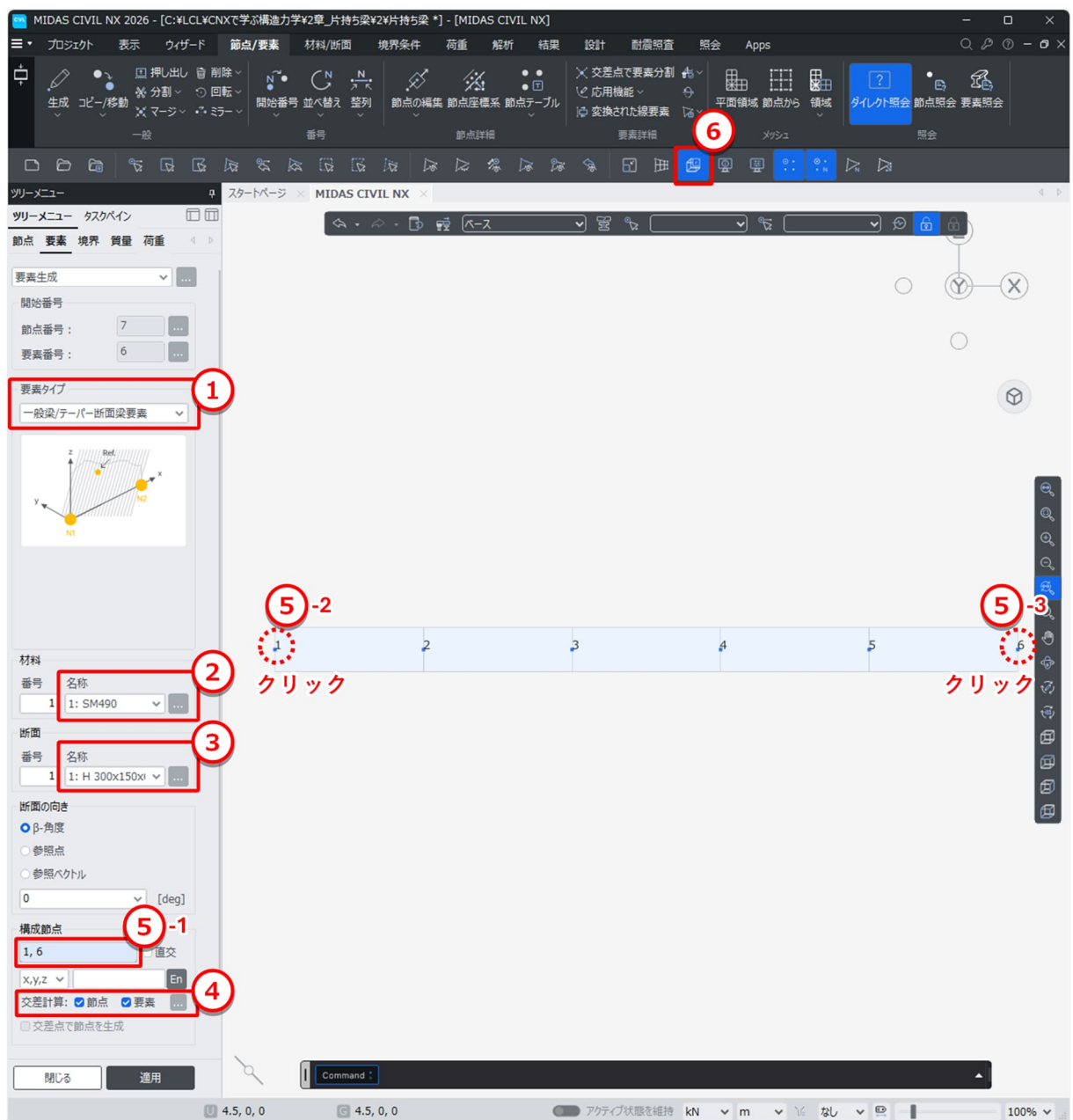


図 2.11 梁要素の生成

(3) 要素の複製

生成された部材と同一の材質、断面および長さの条件で要素を複製する。

メインメニュー：[節点/要素] > 「一般」 > [コピー/移動▼] > [要素コピー/移動]

① モードで「コピー」を選択する。

② コピー/移動で「等間隔」を選択し、 $>dx, dy, dz$ に「0, 0, 2」,
回数に「1」を入力する。

③ [ 全て選択] をクリックする。

④ [適用] をクリックする。

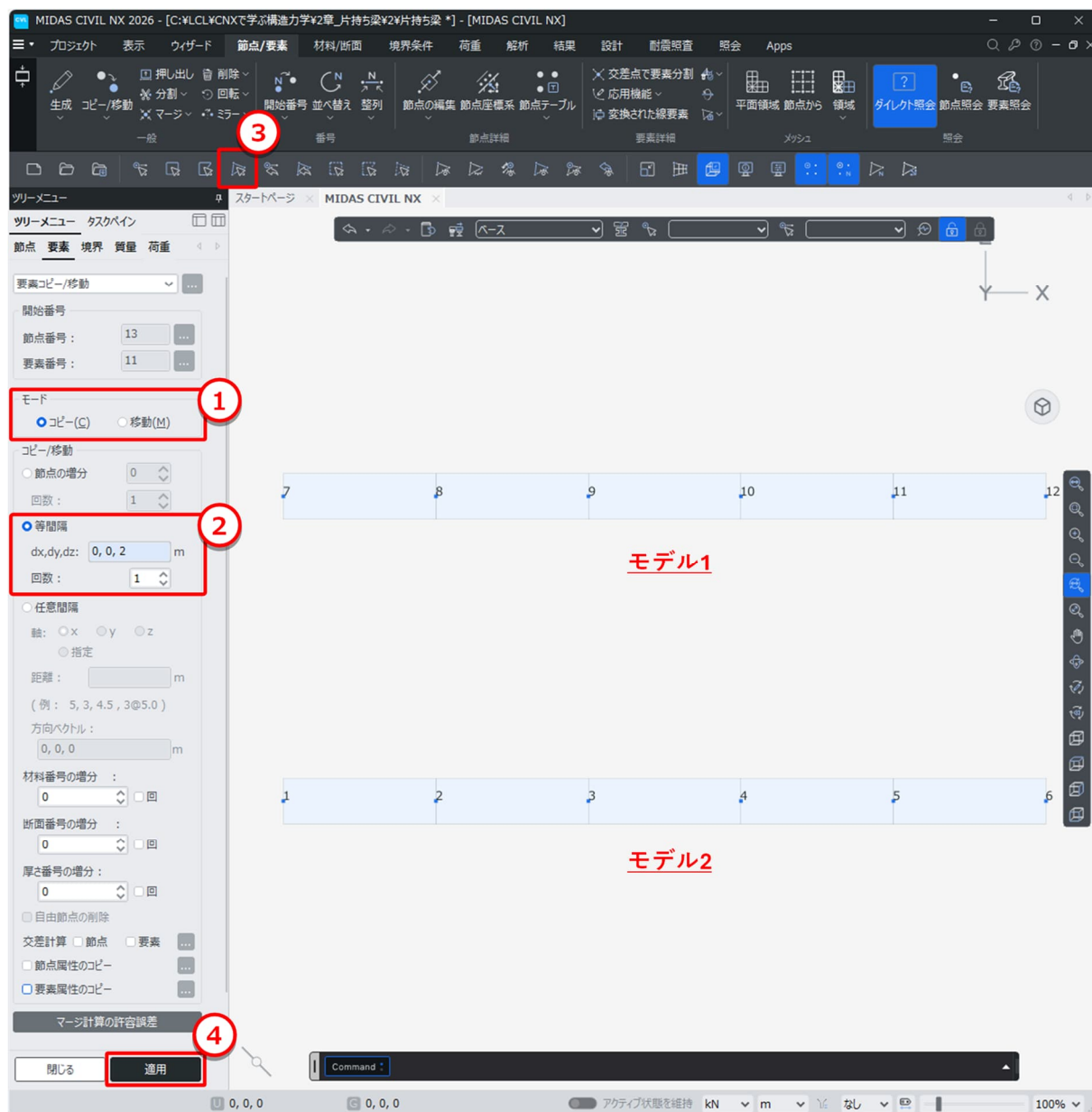


図 2.12 要素の複製

2.2.5 境界条件の入力

CIVIL NX は 3 次元構造解析プログラムであり、各節点では 6 自由度 ($D_x, D_y, D_z, R_x, R_y, R_z$) を考慮する。

自由度の拘束状態は、支持記号を構成する 6 つの三角形の色で確認できる。

(拘束：緑、自由：青)

本節では、支点条件として全自由度を拘束する。

メインメニュー：[境界条件] > 「支持」 > [支持条件]

- ① オプションで「追加」を選択する。
- ② 支持形式(節点座標系)で「D-All」と「R-All」をオンにする。
- ③ [ 単一選択] をオンにし、節点 1 と節点 7 を選択する。
- ④ [適用] をクリックする。

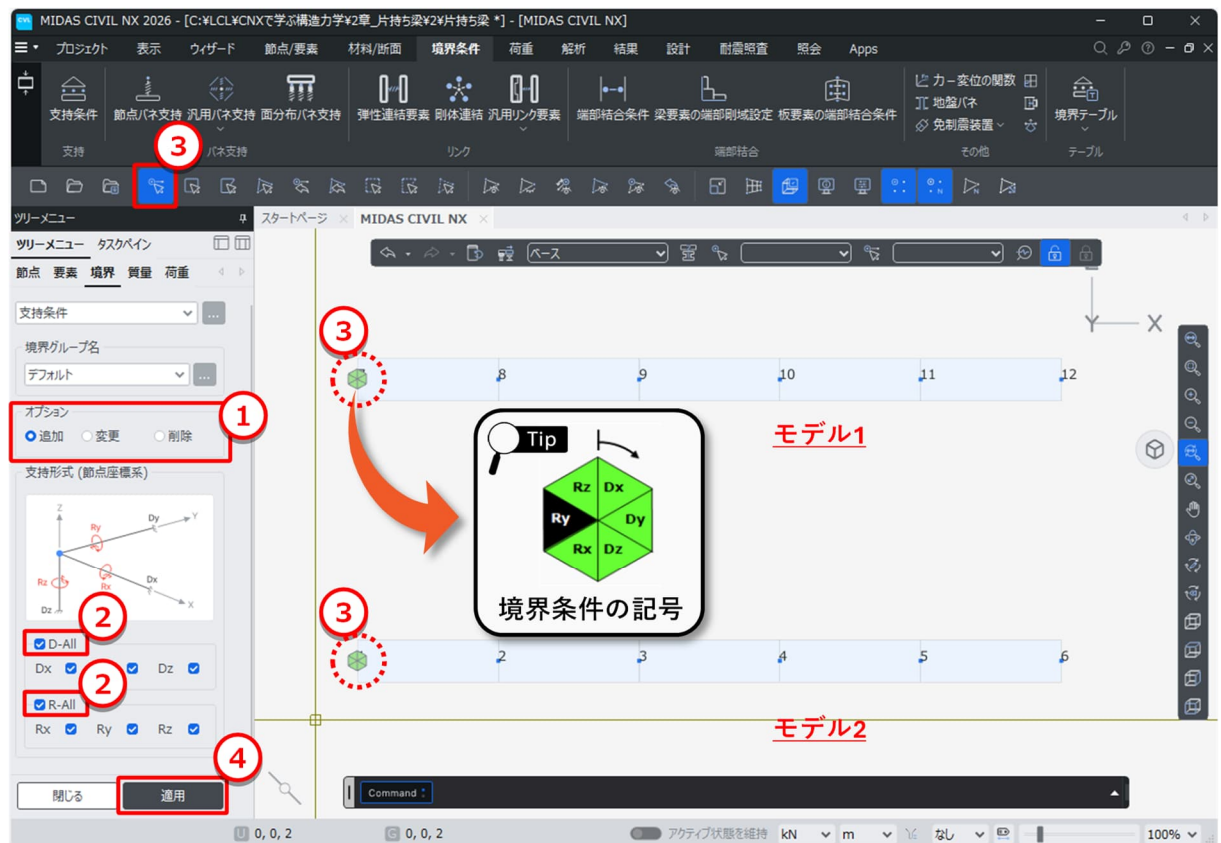


図 2.13 境界条件の入力

Tip グローバル設定と個別設定の関係（自由度）

基本設定で構造形式を「X-Z 平面」と設定すると、面外方向の自由度は自動的に拘束される。そのため、各節点では D_x, D_z, R_y の自由度のみを考慮すればよい。

支持条件は、これらの自由度に対して拘束を設定することで定義される。ピン支持では D_x, D_z を拘束し、ローラー支持では D_z のみを拘束する。

これは 2 次元解析として面内挙動のみを対象とするためである。

2.2.6 荷重の入力

(1) 荷重条件の定義

荷重を入力するため、あらかじめ設計・解析で考慮する作用の種類（荷重ケース）を定義する。

メインメニュー：[荷重/静的荷重] > 「荷重ケース生成」 > [静的荷重ケース]

- ① 名称に「梁荷重」と入力する。
- ② タイプで「ユーザー定義荷重(USER)」を選択する。
- ③ [追加] をクリックする。
- ④ [閉じる] をクリックする。

静的荷重ケース

名称 : 梁荷重

ケース : 全ての荷重ケース

タイプ : ユーザー定義荷重 (USER)

解説

No	名称	タイプ	解説
1	梁荷重	ユーザー定義荷重 (USER)	

閉じる (C)

図 2.14 静的荷重ケースの登録

(2) 集中荷重の入力

片持ち梁の端部（節点 12）に集中荷重 5 kN を入力する。

メインメニュー：[荷重/静的荷重] > 「静的荷重」 > [節点荷重]

- ① 荷重ケース名で「梁荷重」を選択する。
- ② オプションで「追加」を選択する。
- ③ 節点荷重の FZ に「-5」を入力する。
- ④ [ ウィンドウで選択] をオンにし、節点 12 を選択する。
- ⑤ [適用] をクリックする。

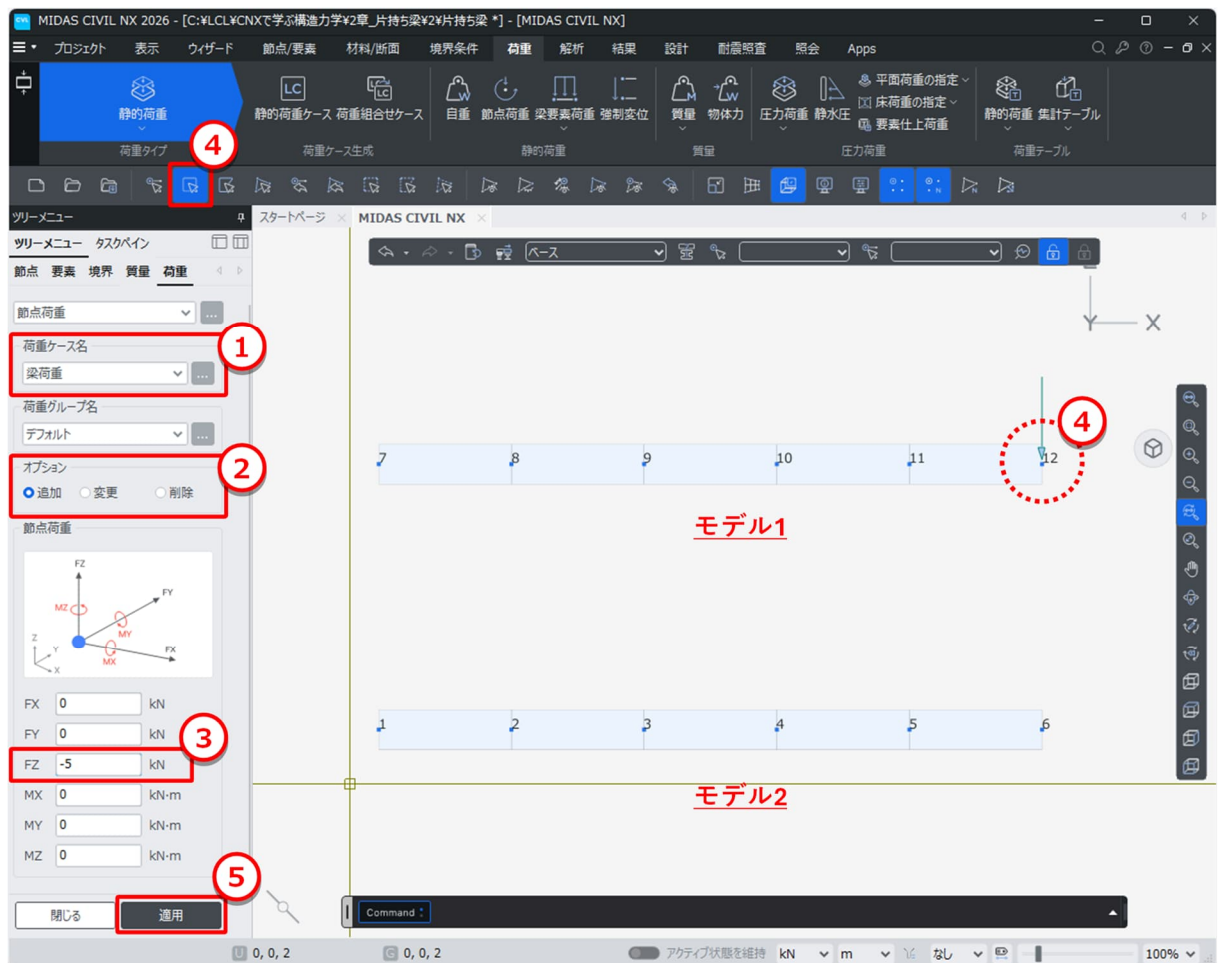


図 2.15 集中荷重の入力

(3) 分布荷重の入力

片持ち梁の上部に等分布荷重 1.0 kN/m を入力する。

メインメニュー：[荷重/静的荷重] > 「静的荷重」 > [梁要素荷重▼] > [要素]

- ① 荷重ケース名で「梁荷重」を選択する。
- ② 荷重タイプで「等分布荷重」を選択する。
- ③ 方向で「グローバル Z」を選択する。
- ④ 値入力の x1 に「0」, w に「-1」, x2 に「1」を入力する。
- ⑤ [ウィンドウで選択] をオンにし、要素 1～要素 6 を選択する。
- ⑥ [適用] をクリックする。
- ⑦ [閉じる] をクリックする。

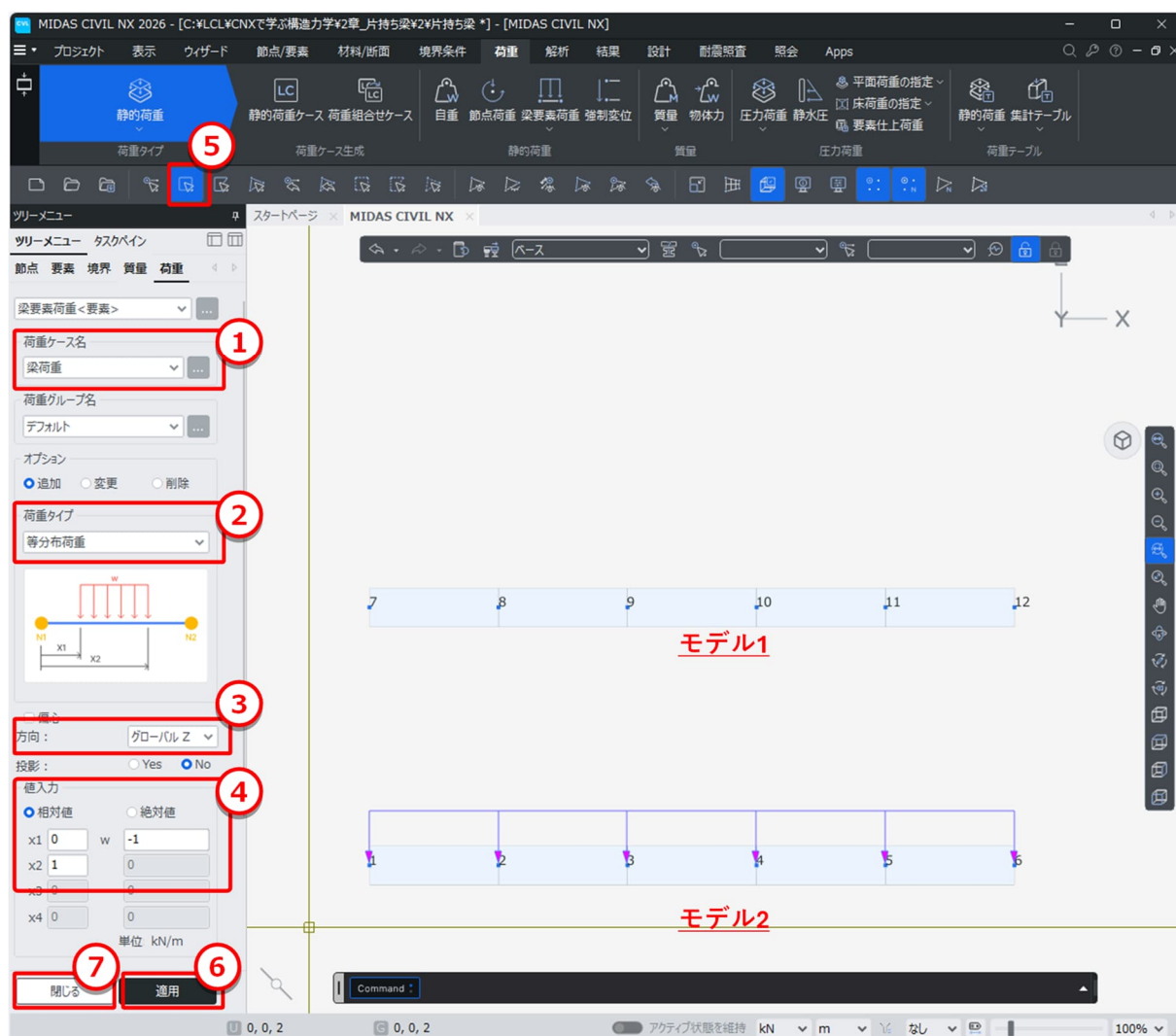


図 2.16 荷重の入力

2.2.7 構造解析の実行

(1) 入力データの確認

解析を実行する前にモデルに入力された内容を確認する。

メインメニュー：[表示] > 「ディスプレイ」 > [ディスプレイ▼] > [ディスプレイ]

- ① [荷重] タブをクリックする。
- ② 荷重ケース>「荷重値」をオンにする。
- ③ 荷重ケース>「ケースの選択」を選択し、「ST: 梁荷重」を選択する。
- ④ チェックリストの「節点荷重」と「梁要素荷重」をオンにする。
- ⑤ [適用] をクリックする。

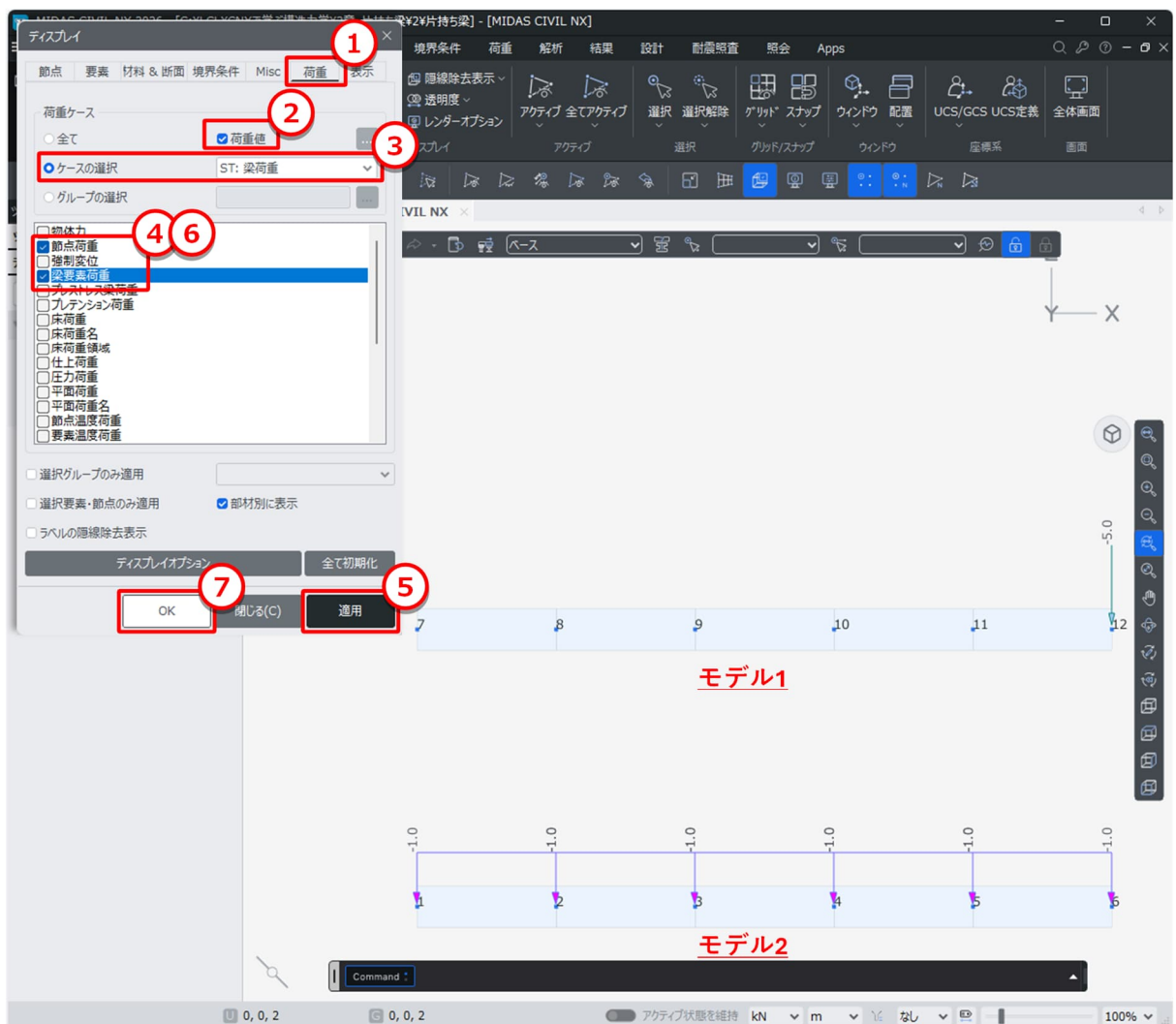


図 2.17 入力荷重の確認（モデルウィンドウに節点荷重と梁要素荷重を表示）

- ⑥ チェックリストの「節点荷重」と「梁要素荷重」をオフにする。
- ⑦ [OK] をクリックする。

(2) 構造解析の実行

解析用モデルの部材生成、荷重条件および境界条件の入力が終了したら、構造解析を実行する。

メインメニュー：[解析] > 「解析実行」 > [解析実行]

① メッセージウィンドウで解析が正常に終了したメッセージを確認する。

なお、解析は図中の [解析実行] ボタンまたは物理キーボードの [F5] でも実行できる。

また、入力情報に不備がある場合はメッセージウィンドウにエラー内容が表示される。

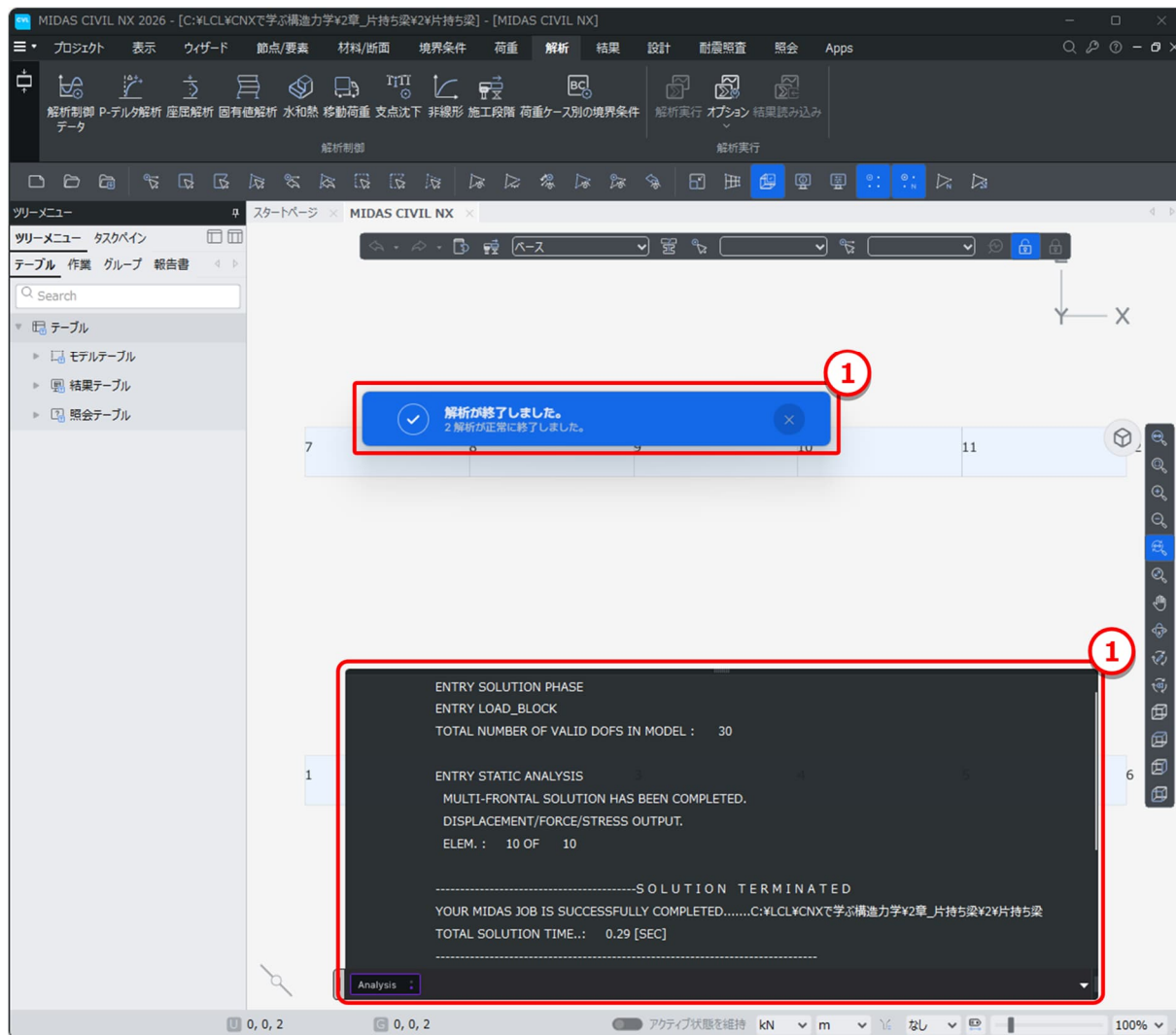


図 2.18 解析の正常終了のメッセージ

2.2.8 解析結果の確認

(1) 反力

CIVIL NX により計算された反力を確認し、数値計算による結果と比較する。

メインメニュー：[結果/一般] > [結果表示] > [反力▼] > [反力/モーメント]

- ① 荷重ケース/組合せで「ST: 梁荷重」を選択する。
- ② 反力成分で「FXYZ」を選択する。
- ③ 表示形式で「数値」と「凡例」をオンにする。
- ④ [適用] をクリックする。

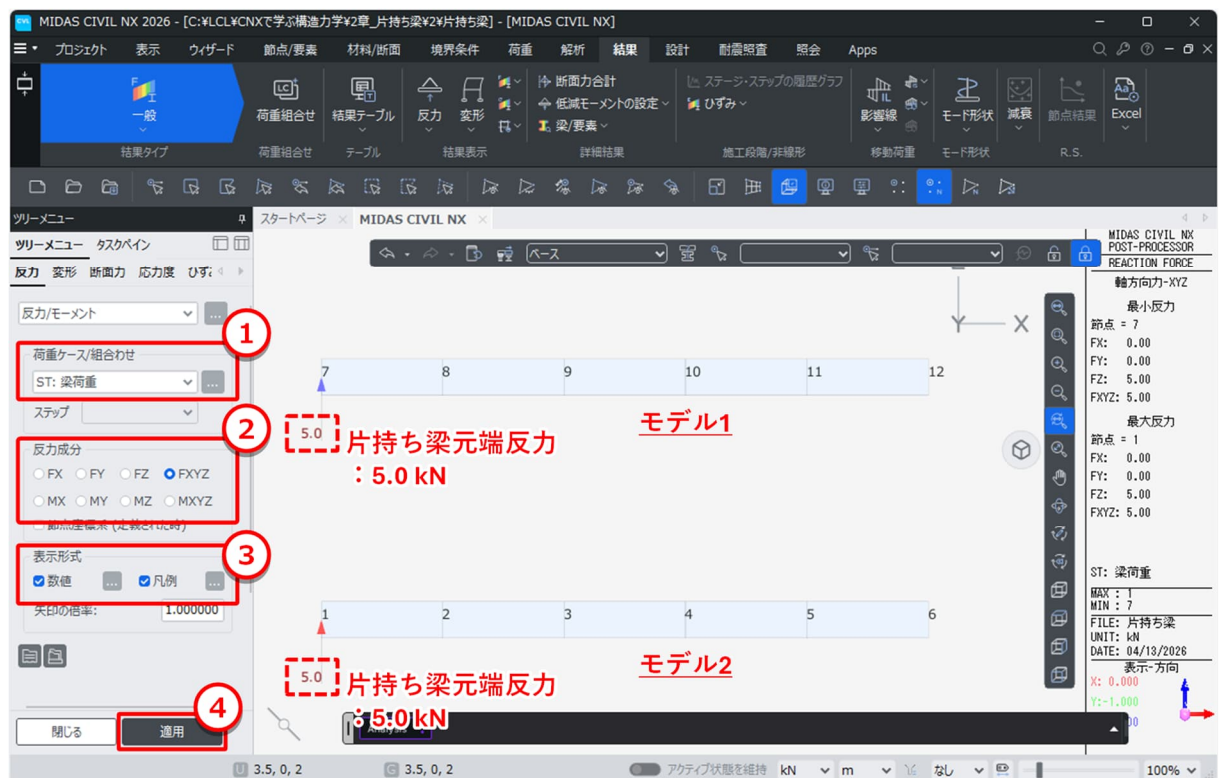


図 2.19 反力の結果

(2) 変位と変形

変形図を確認する。

メインメニュー [結果/一般] > 「結果表示」 > [変形▼] > [変位等高線]

- ① 荷重ケース/組合せで「ST：梁荷重」を選択する。
- ② 変位成分で「DXYZ」を選択する。
- ③ 表示形式で「コンター図」，「変形」，「数値」，「凡例」をオンにする。
- ④ [適用] をクリックする。
- ⑤ [節点番号] をオフにする。
- ⑥ ステータスバーで長さの単位を「mm」に変更する。

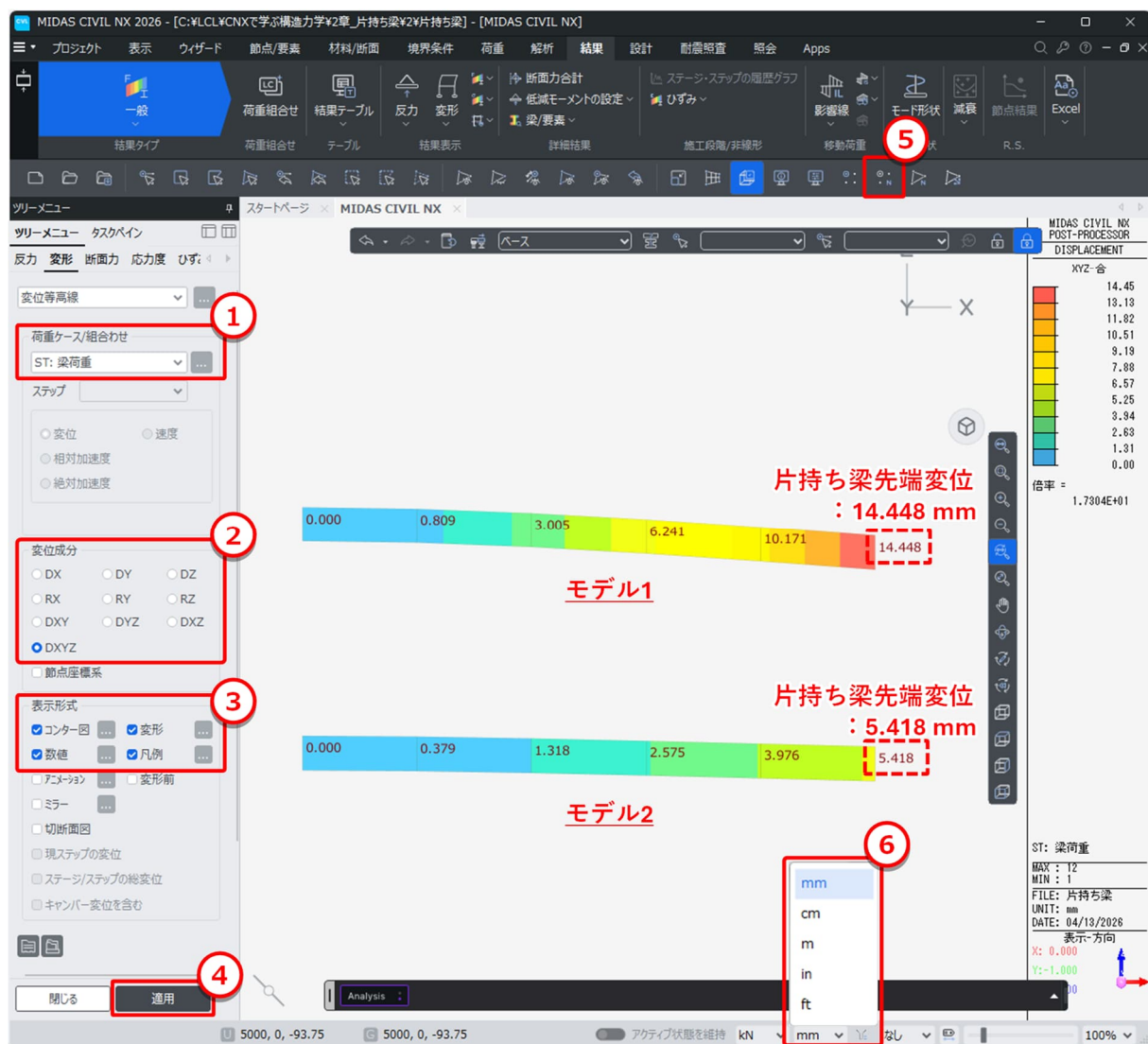


図 2.20 変位の結果

Tip 変位成分

D_{XY} , D_{YZ} , D_{XZ} はそれぞれ 2 方向の変位を合成した変位量を表す。

$$D_{XY} = \sqrt{D_X^2 + D_Y^2}, D_{YZ} = \sqrt{D_Y^2 + D_Z^2}, D_{XZ} = \sqrt{D_X^2 + D_Z^2}$$

D_{XYZ} は 3 方向の変位を合成した変位量を表す。

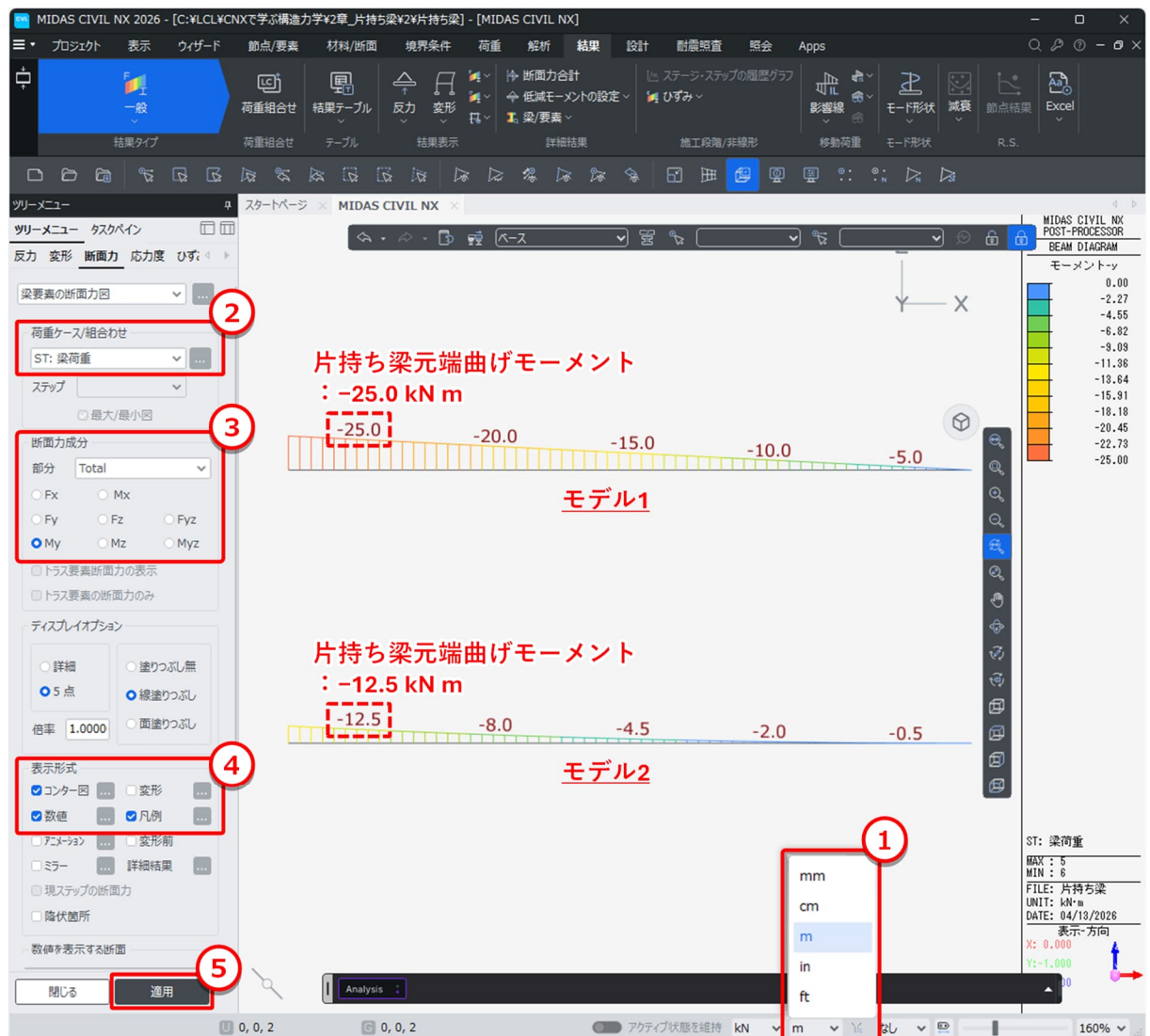
$$D_{XYZ} = \sqrt{D_X^2 + D_Y^2 + D_Z^2}$$

(3) 部材力

片持ち梁に作用する曲げモーメントを確認する。

メインメニュー：[結果/一般] > [結果表示] > [断面力▼] > [梁要素の断面力図]

- ① ステータスバーで長さの単位を「m」に変更する。
- ② 荷重ケース/組合せで「ST: 梁荷重」を選択する。
- ③ 断面力の成分で「My」を選択する。
- ④ 表示形式で「コンター図」, 「数値」, 「凡例」をオンにする。
- ⑤ [適用] をクリックする。



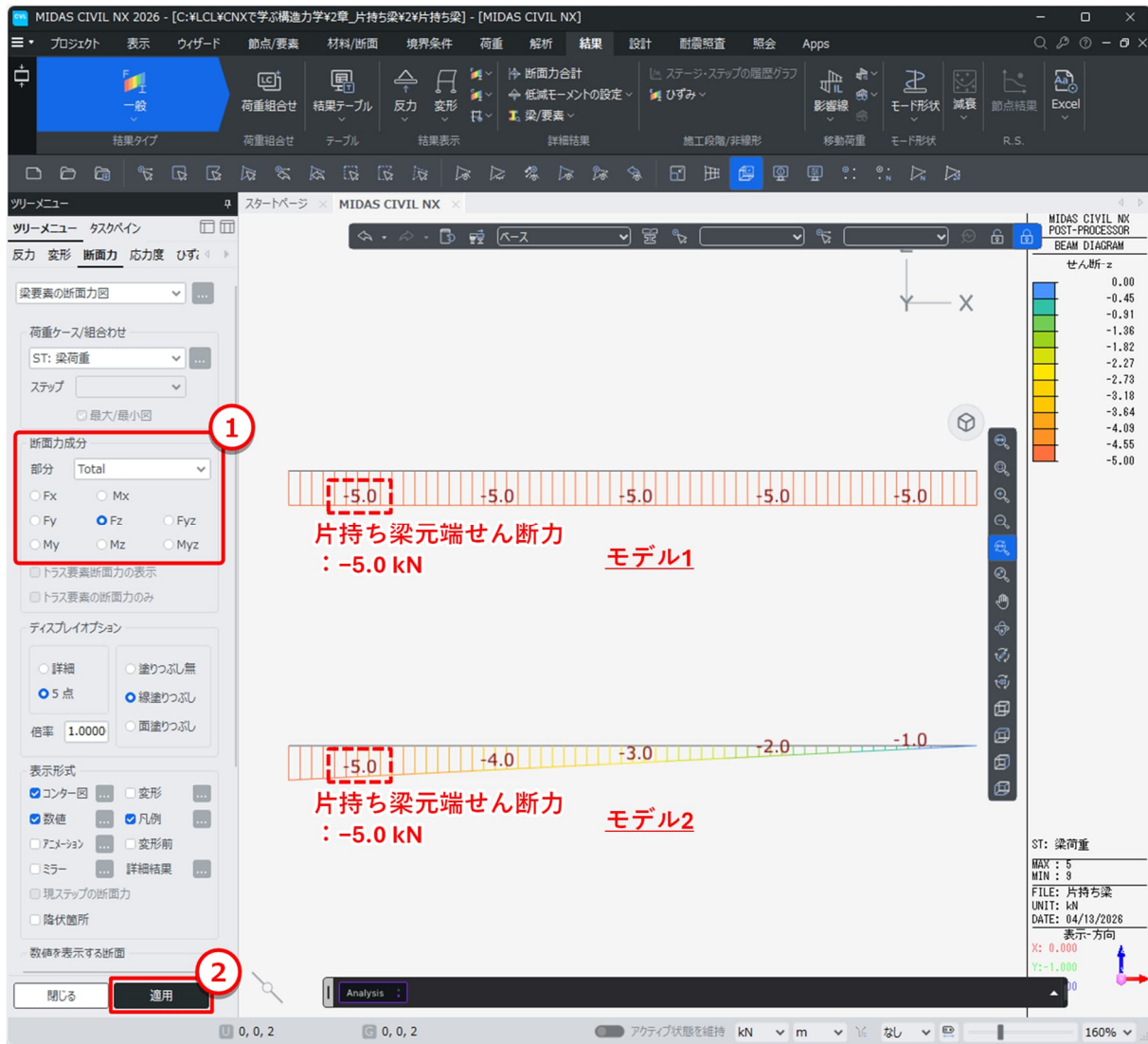
Tip 部材力の出力と要素座標系

部材力は要素座標系で出力される。

CIVIL NX では、線要素（梁、柱）の曲げモーメントは M_y , せん断力は F_z で出力される。

片持ち梁に作用するせん断力を確認する。

- ① 断面力成分で「Fz」を選択する。
- ② 「適用」をクリックする。



(4) 応力度

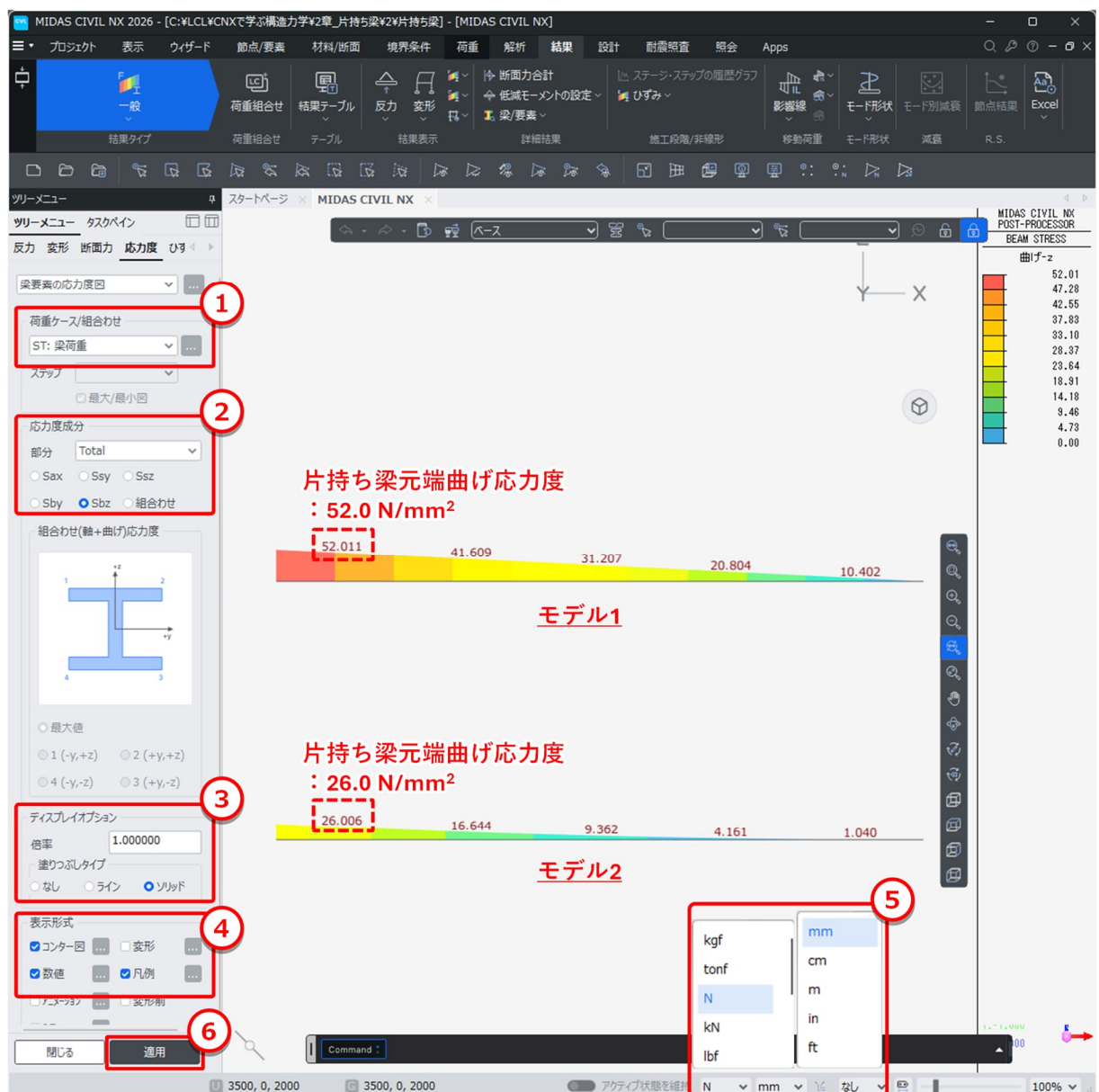
部材の応力度成分として、

- ・ S_{ax} は要素座標系の x 軸方向の軸応力度, (Stress axial x)
- ・ S_{sy} , S_{sz} はそれぞれ要素座標系 y, z 軸方向のせん断応力度, (Stress shear y,z)
- ・ S_{by} , S_{bz} はそれぞれ要素座標系 y, z 軸回りの曲げ応力度を表す. (Stress bending moment y,z)
- ・ 「組合わせ」は組合わせ応力度であり, S_{ax} , $\pm S_{by}$, $\pm S_{bz}$ の最大値または最小値を表示する.

部材の応力度を確認する. 曲げ応力度のみを確認する場合は, 「 S_{bz} 」を選択する.

メインメニュー: [結果/一般] > [結果表示] > [応力度▼] > [梁要素の応力度図]

- ① 荷重ケース/組合わせで「ST: 梁荷重」を選択する.
- ② 応力度成分で「Sbz」を選択する.
- ③ ディスプレイオプション>塗りつぶしタイプで「ソリッド」を選択する.
- ④ 表示形式で「コンター図」, 「数値」, 「凡例」をオンにする.
- ⑤ ステータスバーで力の単位を「N」, 長さの単位を「mm」に変更する.
- ⑥ [適用] をクリックする.



2.3 構造計算の解説

2.3.1 力学的概念の理解及び数値計算

(1) 変位

先端に集中荷重が作用するモデル 1 および等分布荷重が作用するモデル 2 について、変位の計算結果を次に示す。CIVIL NX の解析結果と一致することを確認する。

なお、せん断変形は無視する。

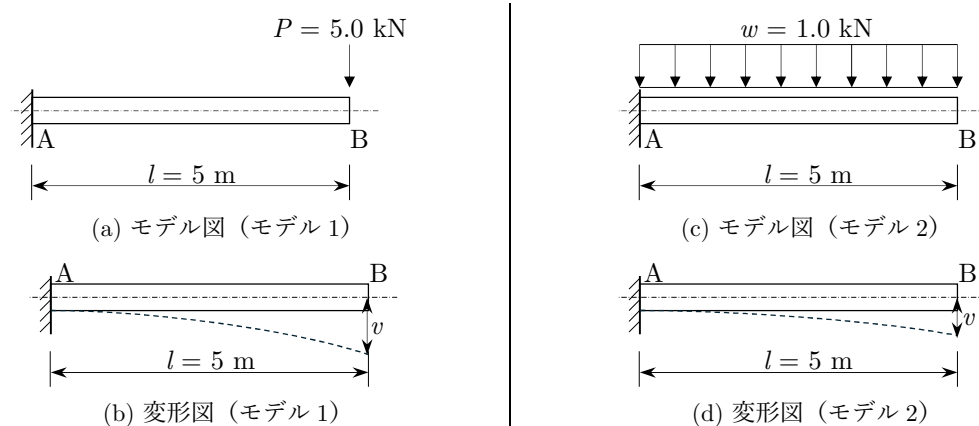


図 2.24 解析モデル図

<モデル 1 の計算過程>

単位を N, mm 系に換算する。

$$P = 5.0 \text{ kN} = 5.0 \times 10^3 \text{ N}$$

$$l = 5 \text{ m} = 5 \times 10^3 \text{ mm}$$

$$E_s = 2.00 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$I_y = 7.210 \times 10^7 \text{ mm}^4$$

片持ち梁先端のたわみ量を算定する。

$$\delta = \frac{Pl^3}{3EI} = 14.448 \text{ mm}$$

<モデル 2 の計算過程>

単位を N, mm 系に換算する。

$$w = 1.0 \text{ kN/m} = 1.0 \text{ N/mm}$$

$$l = 5 \text{ m} = 5 \times 10^3 \text{ mm}$$

$$E_c = 2.00 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$I_y = 7.210 \times 10^7 \text{ mm}^4$$

片持ち梁先端のたわみ量を算定する。

$$\delta = \frac{wl^4}{8EI} = 5.418 \text{ mm}$$

(2) 断面力

モデル1 およびモデル2 の断面力の計算結果は次に示す。CIVIL NX の計算結果と一致することを確認する。

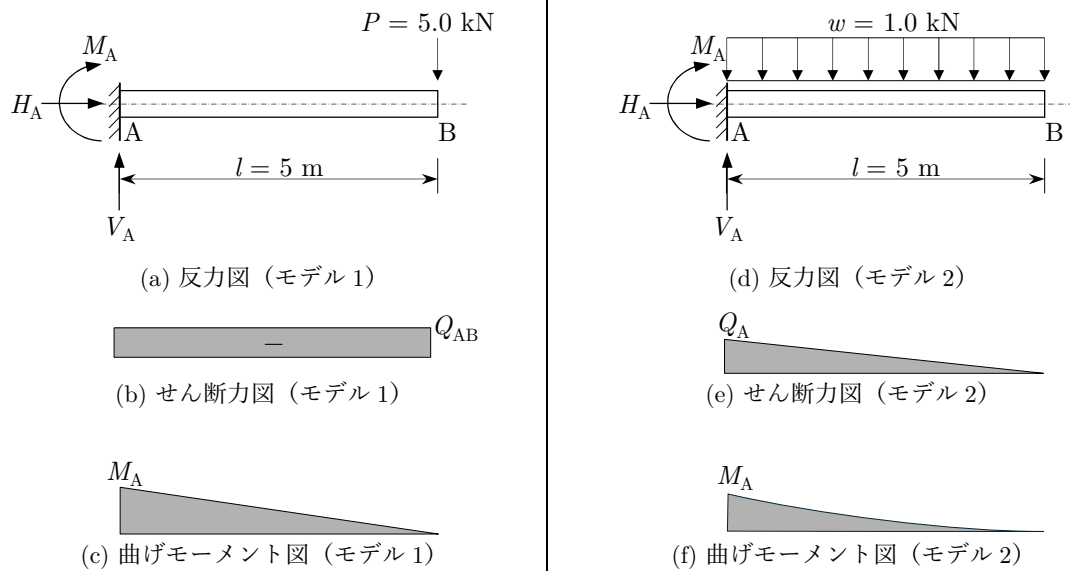


図 2.25 計算結果

<モデル1 の計算過程>

断面力と反力の単位は kN, m 系で算定する.

$$P = 5.0 \text{ kN}$$

$$l = 5 \text{ m}$$

元端部に作用する鉛直反力を算定する.

$$V_A = P = 5.0 \text{ kN}$$

元端部に生じるせん断力を算定する.

$$Q_A = P = 5.0 \text{ kN}$$

元端部に生じる曲げモーメントを算定する.

$$M_C = P l = 5.0 \times 5 = 25 \text{ kN m}$$

<モデル2 の計算過程>

断面力と反力の単位は kN, m 系で算定する.

$$w = 1.0 \text{ kN/m}$$

$$l = 5 \text{ m}$$

元端部に作用する鉛直反力を算定する.

$$V_A = w l = 1.0 \times 5 = 5.0 \text{ kN}$$

元端部に生じるせん断力を算定する.

$$Q_A = w l = 1.0 \times 5 = 5.0 \text{ kN}$$

元端部に生じる曲げモーメントを算定する.

$$M_C = \frac{w l^2}{8} = \frac{1.0 \times 10^2}{8} = 12.5 \text{ kN m}$$

2.4 練習問題

(1) 問題

下図に示す片持ち梁について、反力，せん断力，曲げモーメントを求めよ。
ただし，せん断変形は無視するものとする。

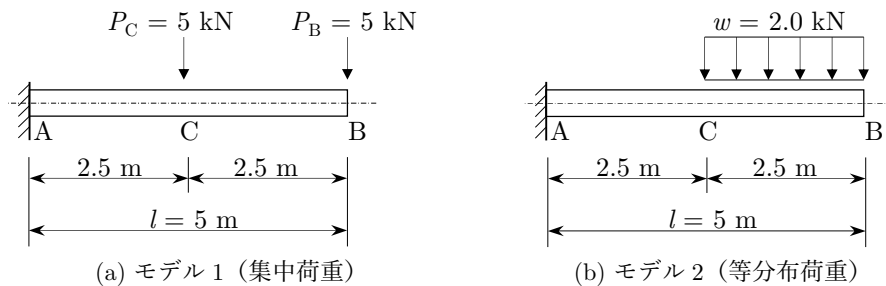


図 2.26 練習問題

➤ 材料

鋼材：SM490

・ヤング係数..... $E_s = 2.00 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

➤ 断面

H 400 × 200 × 8 × 13 mm

・断面積..... $A = 8,412 \text{ mm}^2$

・断面二次モーメント $I_y = 2.37 \times 10^{-4} \text{ m}^4$

➤ 荷重

モデル 1

・集中荷重；鉛直下向き载荷 $P_B = P_C = 5.0 \text{ kN}$

モデル 2

・等分布荷重；鉛直下向き载荷..... $w = 2.0 \text{ kN/m}$

(2) 解答

モデル1の解答を以下に示す.

➤ 反力

$$V_A = 10.0 \text{ kN}, \quad M_A = -37.5 \text{ kN m}$$

➤ せん断力

$$Q(x) = \begin{cases} -10 & 0 \leq x \leq 2.5 \\ -5 & 2.5 < x \leq 5.0 \end{cases} \quad [\text{kN}]$$

➤ 曲げモーメント

$$M(x) = \begin{cases} 37.5 + 10x & 0 \leq x < 2.5 \\ -25 + 5x & 2.5 < x \leq 5.0 \end{cases} \quad [\text{kN m}]$$

➤ たわみ

$$v(x) = \begin{cases} \frac{1}{EI} \left(18.75x^2 - \frac{5x^3}{3} \right) & 0 \leq x \leq 2.5 \\ \frac{1}{EI} \left(-\frac{5x^3}{6} + 12.5x^2 + \frac{187.5x}{8} - \frac{156.25}{8} \right) & 2.5 < x \leq 5.0 \end{cases}$$

$$v_{\max} = v(5.0) = 0.005769 \text{ m} = 5.679 \text{ mm}$$

モデル2の解答を以下に示す.

➤ 反力

$$V_A = 5.0 \text{ kN}, \quad M_A = -18.75 \text{ kN m}$$

➤ せん断力

$$Q(x) = \begin{cases} -5 & 0 \leq x \leq 2.5 \\ -10 + 2x & 2.5 < x \leq 5.0 \end{cases} \quad [\text{kN}]$$

➤ 曲げモーメント

$$M(x) = \begin{cases} -18.75 + 5x & 0 \leq x < 2.5 \\ -25 + 10x - x^2 & 2.5 < x \leq 5.0 \end{cases} \quad [\text{kN m}]$$

➤ たわみ

$$v(x) = \begin{cases} \frac{1}{EI} \left(\frac{75}{8}x^2 - \frac{5}{6}x^3 \right) & 0 \leq x \leq 2.5 \\ \frac{1}{EI} \left(\frac{x^4}{12} - \frac{5}{3}x^3 + \frac{25}{2}x^2 - \frac{125}{24}x + \frac{625}{192} \right) & 2.5 < x \leq 5.0 \end{cases}$$

$$v_{\max} = v(5.0) = 0.002816 \text{ m} = 2.816 \text{ mm}$$