

第9章 強制変位による解析

目 次

9.1	概念の理解	9-1
9.1.1	強制変位解析の概念	9-1
9.2	チュートリアル	9-3
9.2.1	モデルの概要	9-3
9.2.2	作業環境の設定	9-4
9.2.3	材料及び断面の定義	9-6
9.2.4	節点及び要素の生成	9-7
9.2.5	境界条件の入力	9-9
9.2.6	荷重の入力	9-10
9.2.7	構造解析の実行	9-13
9.2.8	解析結果の確認	9-14
9.3	構造計算の解説	9-20
9.3.1	力学的概念の理解及び数値計算	9-20
9.4	練習問題	9-22

9.1 概念の理解

9.1.1 強制変位解析の概念

(1) 一般事項

強制変位 (Specified Displacements) とは、特定の節点において、ある自由度方向の変位量が既知である場合、その変位条件の下での構造的挙動を解析する手法である。

一般的に、次のような場合に強制変位による解析が適用される。

- 既存構造物に変形が生じており、精密な安全性評価が要求される場合
- 構造物全体モデルの解析結果として得られた変位を、詳細モデルの境界条件として与える場合
- 既存構造物に支点沈下が発生しており、その影響を考慮した解析を行う場合

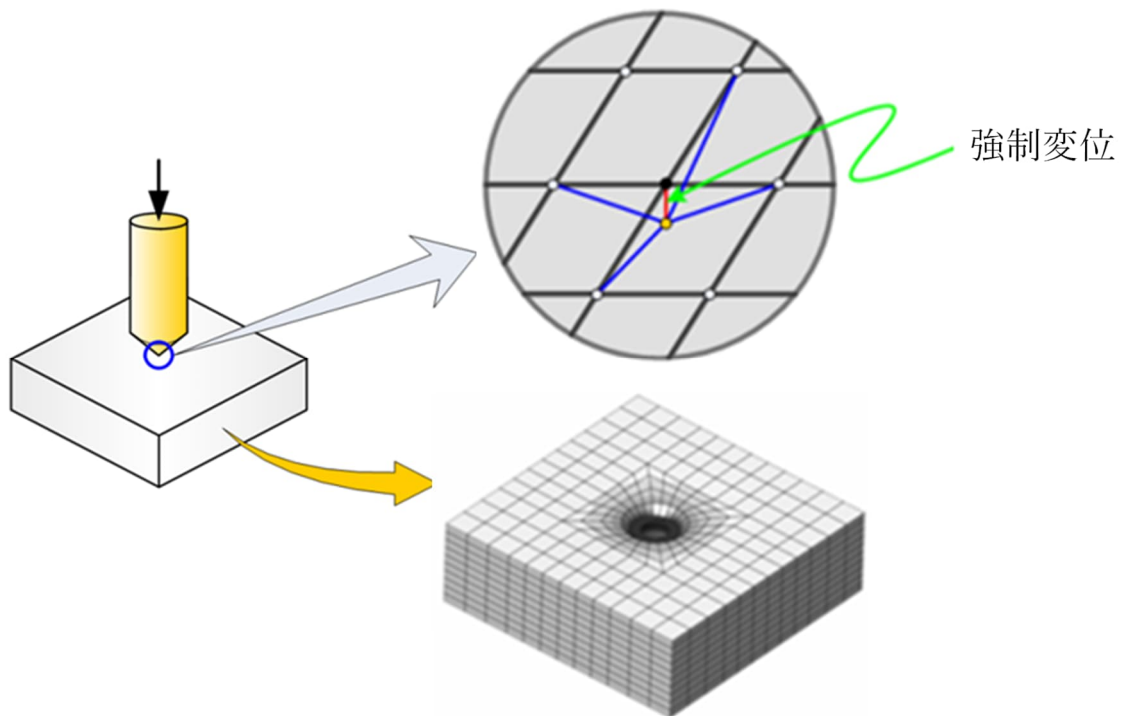


図 9.1 強制変位による解析の概念図

(2) 解析の概念

強制変位とは、特定の節点を強制的に移動させることを意味し、変位を荷重の代わりに与える解析と理解できる。すなわち、外力を与える代わりに所定の変位量を与え、その結果として発生する反力や内力を算定する手法である。

図 9.2 は 2 スパン連続梁の中央の支点到に沈下（強制変位）が発生する場合を示したものである。ここで、下向きの荷重および沈下を正（+），上向きの反力を正（+）とする符号規約を用いる。

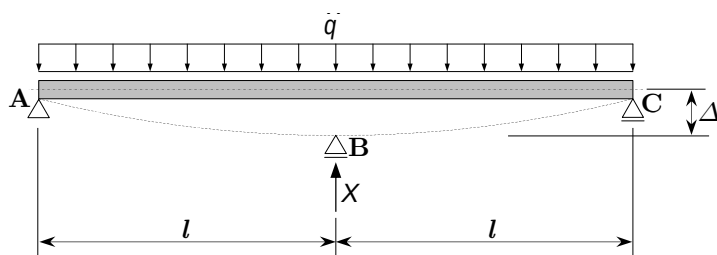


図 9.2 強制変位を持つ連続梁

ここで、ヤング係数 E ，断面二次モーメント I ，等分布荷重 q ，部材長さ L を以下のように与える。

$$E = 3 \times 10^7 \text{ kN/m}^2, I = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^4, q = 10, 0, -10 \text{ kN/m}, l = 4.5 \text{ m}$$

図 9.2 に示す構造において、支点 **B** に強制変位 Δ が与えられた場合、その変位は、等分布荷重 q によって生じる変位と、支点反力（集中荷重） X によって生じる変位の重ね合わせとして表すことができる。このとき、強制変位 Δ から等分布荷重による変位成分を差し引いた残りが、反力 X によって生じる変位に対応することから、次の関係式が成り立つ。

$$\Delta - \frac{5q(2l)^4}{384EI} = \frac{X(2l)^3}{48EI} \quad (9.1)$$

したがって、強制変位 Δ の値が与えられれば、支点 **B** に生じる反力 X を求めることができる。

図 9.3 は支点 **B** の沈下量比に対する反力比をグラフに表したものである。ここで、沈下比とは沈下量をスパン長さで除した無次元量であり、反力比とは支点沈下が生じない場合の反力を基準として、沈下がある場合の反力をその比で表したものである。

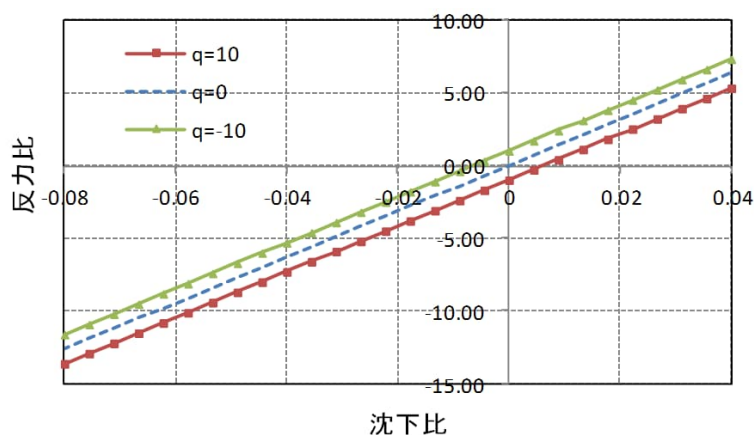


図 9.3 沈下比－反力比の関係

図 9.3 は 3 種類の垂直荷重 q (10 kN/m, 0 kN/m, -10 kN/m) における沈下比－反力比の関係を表したものである。垂直荷重 q が下向き (10 kN/m) である場合に X 値が小さいのは、荷重が下向きの場合 **B** 点の反力が小さくなることを意味する。また、荷重の方向が上向き (-10 kN/m) の場合に X 値が大きいのは、荷重を相殺しながら沈下を発生させるためである。

9.2 チュートリアル

9.2.1 モデルの概要

本チュートリアルでは2スパン連続梁において、梁要素（要素1,2）には等分布荷重が載荷され、2つの支点（節点2,3）には支点沈下が発生する際の支点反力、変形図、部材力を確認する。

特に、構造解析後の結果の分析において、支点沈下が発生する前と後の支点反力や各種の部材力の変化様相を確認する。

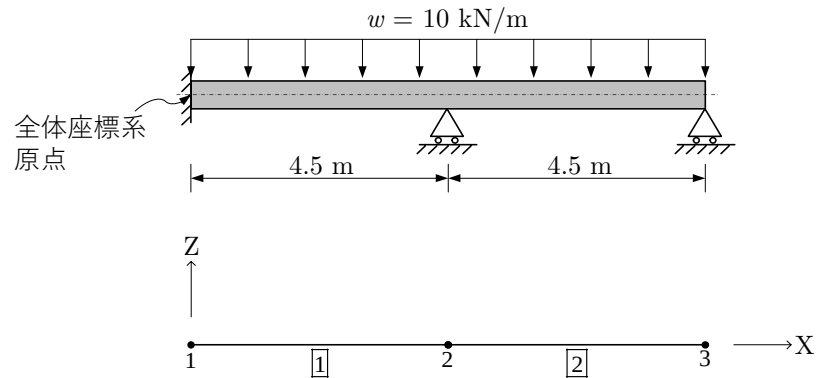


図 9.4 解析モデル

- 材料
 - ・ ヤング係数 $E = 30,000 \text{ N/mm}^2$
- 断面
 - ・ 断面二次モーメント $I_{yy} = 1.0 \times 10^9 \text{ mm}^4$
- 荷重
 - ・ 等分布荷重 $w = 10 \text{ kN/m}$
 - ・ 支点 2 の支点沈下量 $D_{st2} = 40 \text{ mm}$
 - ・ 支点 3 の支点沈下量 $D_{st3} = 25 \text{ mm}$

9.2.2 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開き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「強制変位」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 長さは「mm」、力(質量) は「N(kg)」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 9.5 ファイルの保存と単位系の設定

(2) 作業平面の設定

X-Z 平面の構造物を簡単にモデリングするため、**X-Z** 平面をユーザー座標系(UCS)**x-y** 平面に定義する。

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 は「**X-Z** 平面」を選択する。
- ② [**OK**] をクリックする。



図 9.6 作業平面の設定

9.2.3 材料及び断面の定義

構造部材の材料及断面を定義する。材料及び断面は、ユーザーが直接値を入力する。
「ユーザー定義」と「値入力」を選択し入力する。

メインメニュー：[材料/断面] > [材料特性] > [材料特性]

[追加...] をクリックする。

- ① 一般>名称に「**MAT**」と入力する。
- ② 弾性データ>タイプで「ユーザー定義」を選択する。
- ③ ユーザー定義>弾性係数に「**3e+4**」を入力する。
- ④ [OK] をクリックする。
- [断面] タブで，[追加...] をクリックする。
- ⑤ [値入力] タブをクリックする。
- ⑥ 名称に「**SECT**」と入力する。
- ⑦ 剛性欄の **Area** に「**1**」，**Iyy** に「**1e+9**」を入力する。
- ⑧ [OK] をクリックしたあと，[閉じる] をクリックする。

材料データ

一般
材料番号: 1 名称: MAT (1)

弾性データ
タイプ: ユーザー定義 (2)
規格: なし
種別:
コンクリート
規格:
種別:
材料のタイプ
☒ 等方性 ☐ 直交異方性
ユーザー定義
弾性係数: 3e+4 N/mm² (3)
ポアソン比: 0
線膨張係数: 0.0000e+00 1/[C]
単位体積重量: 0 N/mm³
☐ 単位体積質量: 0 N/mm³/g
コンクリート
弾性係数: 0.0000e+00 N/mm²
ポアソン比: 0
線膨張係数: 0.0000e+00 1/[C]
単位体積重量: 0 N/mm³
☐ 単位体積質量: 0 N/mm³/g
塑性データ
塑性材料名: NONE
ファイバー要素の材料
コンクリート: なし 鉄骨: なし
コアコンクリート(柱): なし
熱伝導
比熱: 0 kJ/N·[C]
熱伝導率: 0 kJ/mm·hr·[C]
減衰定数: 0
OK (4) 閉じる 適用(A)

(a) 材料の定義

断面データ

テーパ断面 合成 鋼製桁
規格/ユーザー 値入力 (5) SRC 組立材 PC
断面番号: 1 (6) I-H断面
名称: SECT (6)
☒ ビルトアップ断面
サイズ
H: 0.0000 mm
B1: 0.0000 mm
tw: 0.0000 mm
tf1: 0.0000 mm
B2: 0.0000 mm
tf2: 0.0000 mm
r1: 0.0000 mm
r2: 0.0000 mm
剛性 (7)
剛性計算
Area: 1.00000e+00 mm²
Asy: 0.00000e+00 mm²
Asz: 0.00000e+00 mm²
Ixx: 0.00000e+00 mm⁴
Iyy: 1.00000e+09 mm⁴
Izz: 0.00000e+00 mm⁴
Cyp: 0.0000 mm
Cym: 0.0000 mm
Czp: 0.0000 mm
Czm: 0.0000 mm
Qyb: 0.0000 mm²
Qzb: 0.0000 mm²
Peri:O: 0.00000e+00 mm
Peri:I: 0.00000e+00 mm
Cent:y: 0.0000 mm
Cent:z: 0.0000 mm
y1: 0.0000 mm
z1: 0.0000 mm
v2: 0.0000 mm
偏心: 中央-中央 ☒ せん断変形を考慮する。
偏心の変更 ...
断面性能表示... OK (8) 閉じる 適用(A)

(b) 断面の定義

図 9.7 材料の定義と断面の定義

9.2.4 節点及び要素の生成

(1) 節点の設定

ここからは入力単位系を変更し節点を生成する。

- ① ステータスバーで、力の単位を「**kN**」、長さの単位を「**m**」に変更する。
メインメニュー：[節点/要素] > 「一般」 > [生成▼] > [節点生成]
- ② 座標 (x, y, z) に「**0, 0, 0**」を入力する。
- ③ コピー>回数 に「**2**」, 距離 (dx, dy, dz) に「**4.5, 0, 0**」を入力する。
- ④ [適用] をクリックする。
- ⑤ [節点番号] と [自動フィット] オンにし, [正面] をクリックする。

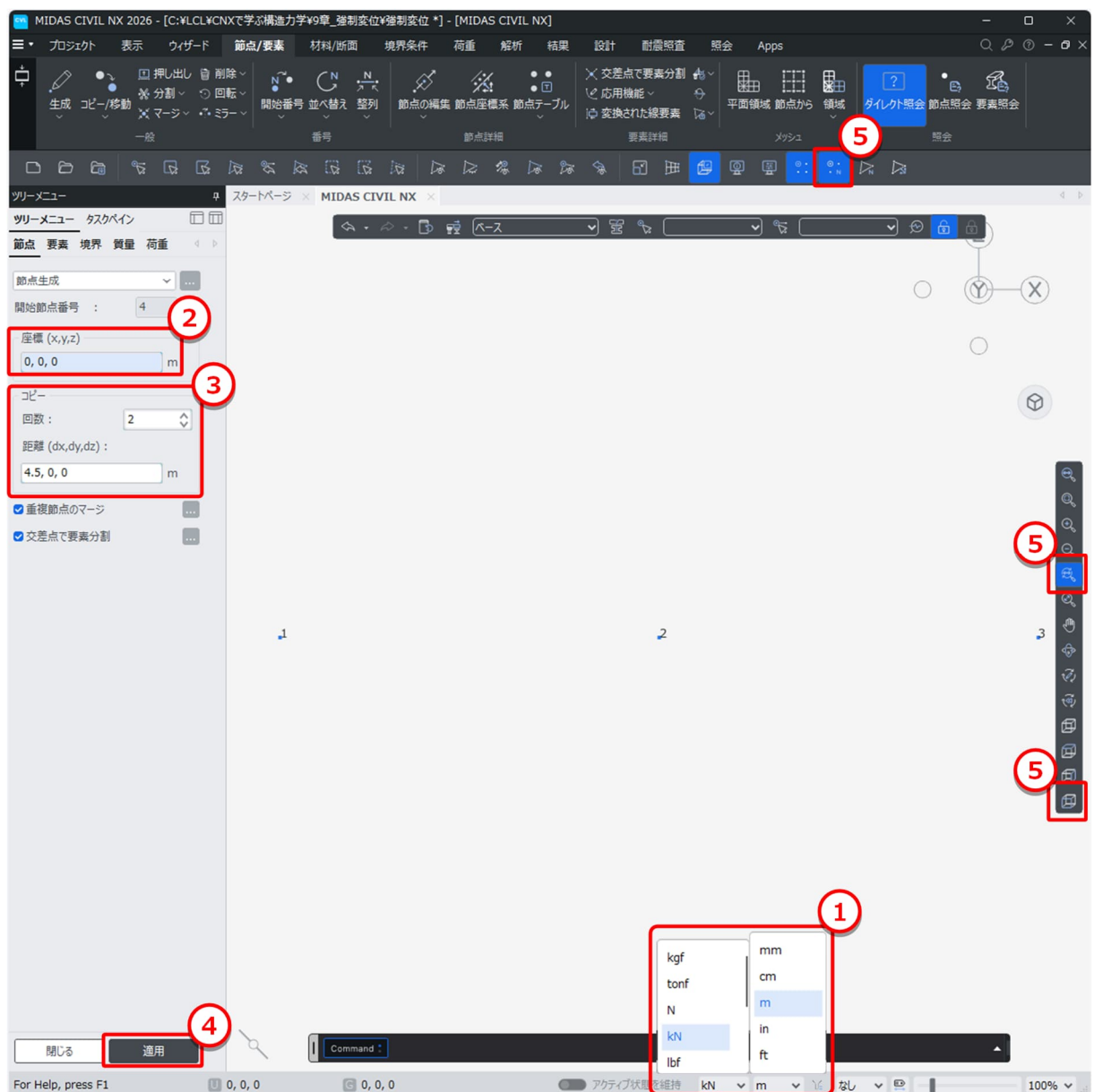


図 9.8 節点の生成

(2) 要素の生成

節点を連結し、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/テーパー断面梁要素」を選択する。
- ② 材料で「1: MAT」、断面で「1: SECT」を選択する。
- ③ 構成節点の入力ボックスをクリックし、モデルビューで節点 1 と節点 3 を順にクリックする。

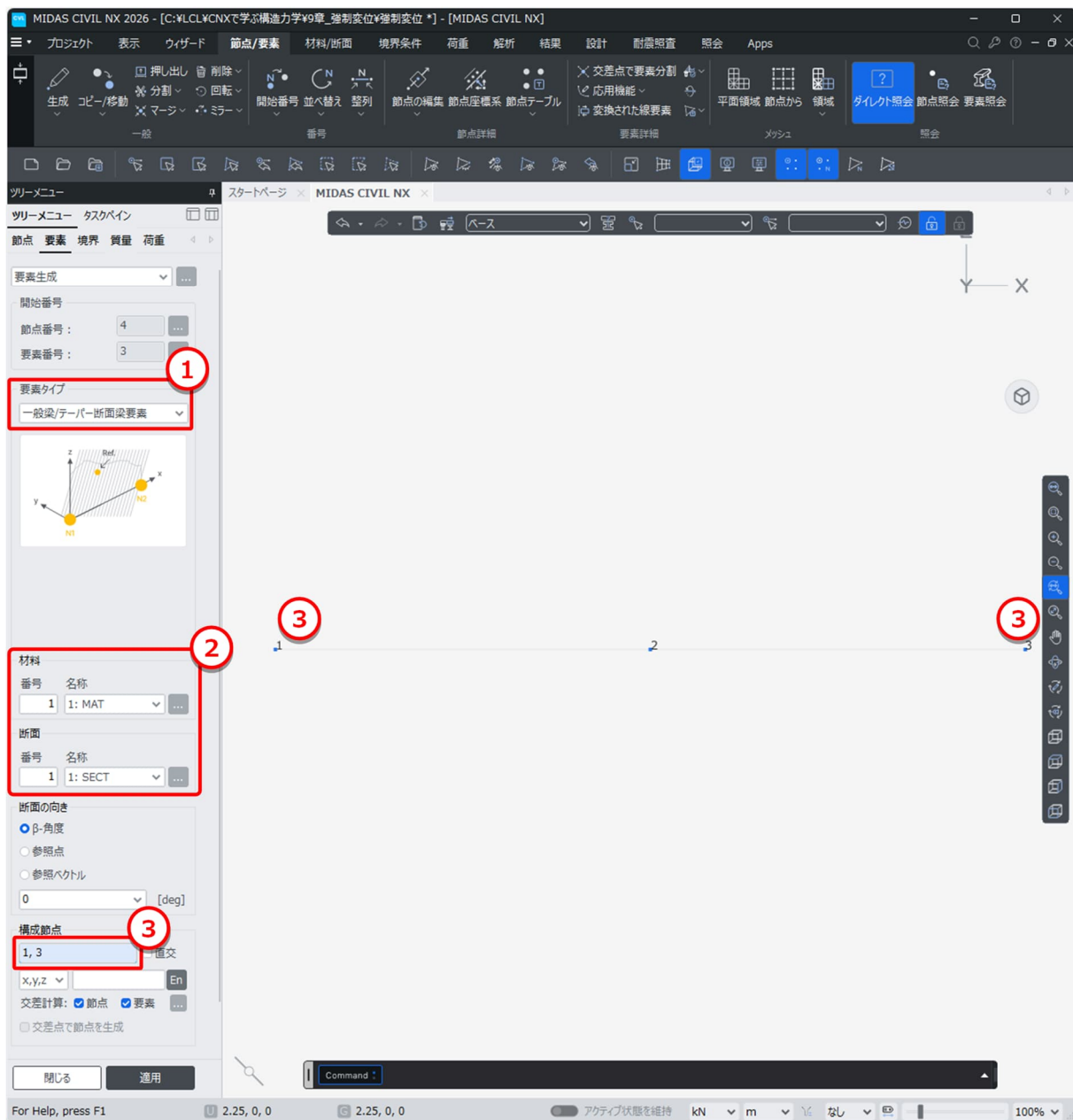


図 9.9 梁要素の生成

9.2.5 境界条件の入力

構造物の各支点に境界条件を入力する。節点 1 は固定端 (D_x , D_z , R_y 固定), 節点 2 と節点 3 はローラー (D_z 固定) である。

メインメニュー: [境界条件] > 「支持」 > [支持条件]

- ① 支持形式で「 D_x 」, 「 D_z 」, 「 R_y 」をオンにする。
- ② [ 単一選択] をオンにして, 節点 1 を選択する。
- ③ [適用] をクリックする。
- ④ 支持形式で「 D_x 」と「 R_y 」をオフにし, 「 D_z 」をオンにする。
- ⑤ [ 単一選択] をオンにして, 節点 2 と節点 3 を選択する。
- ⑥ [適用] をクリックする。

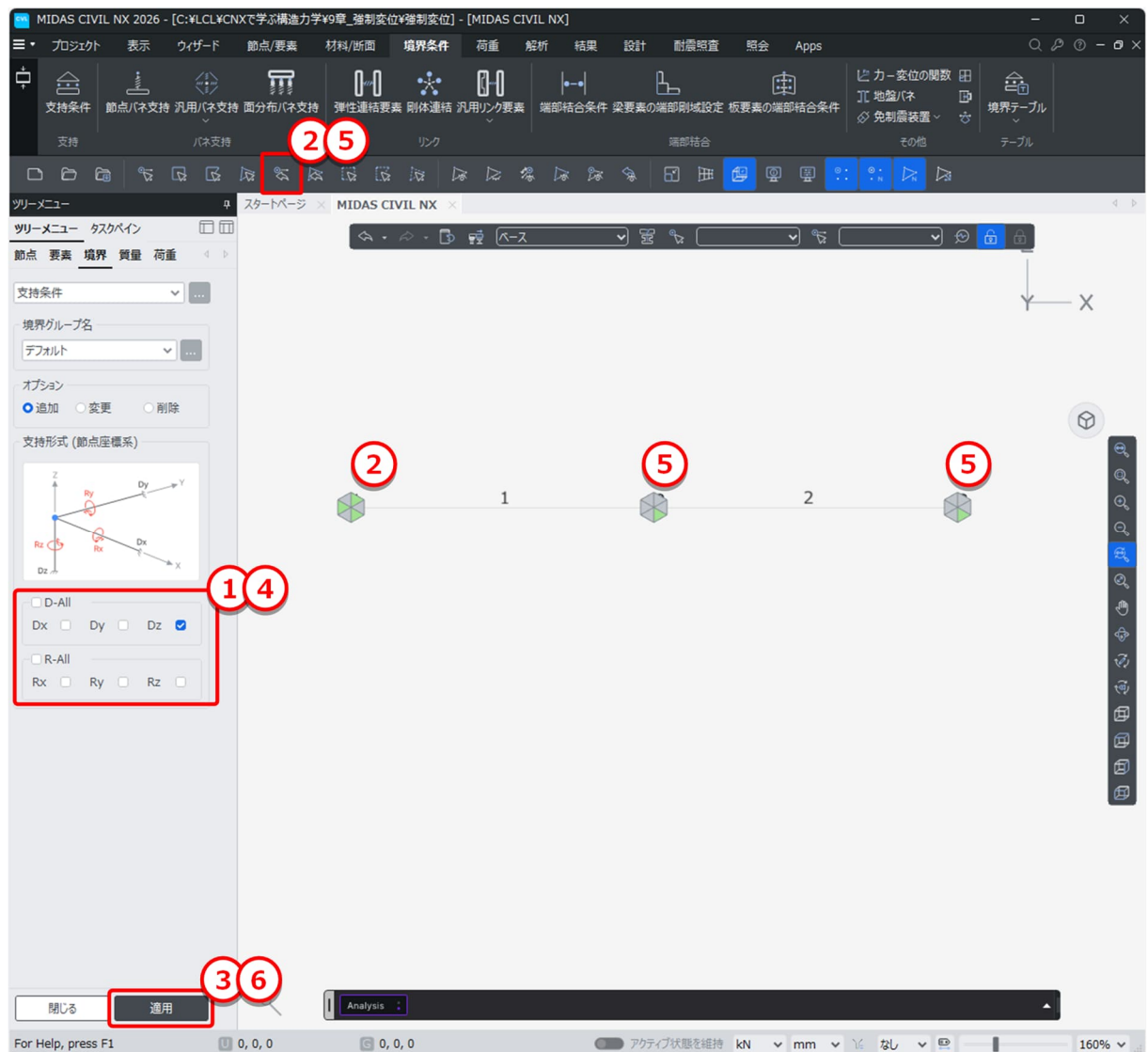


図 9.10 支持条件の入力

9.2.6 荷重の入力

(1) 荷重条件の定義

等分布荷重と支点沈下による強制変位を入力するため、まず荷重条件を定義する。

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「等分布荷重」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 名称で「支点沈下」と入力する。
- ⑤ タイプで「ユーザー定義荷重(USER)」を選択する。
- ⑥ [追加] をクリックする。
- ⑦ [閉じる] をクリックする。

静的荷重ケース

名称 : 支点沈下

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	等分布荷重	ユーザー定義荷重 (USER)	
2	支点沈下	ユーザー定義荷重 (USER)	

閉じる (C)

図 9.11 荷重条件の定義

(2) 等分布荷重の入力

梁要素に重力方向の等分布荷重 10 kN/m を載荷する。

- ① [要素番号] をオンにする。
- ② [ディスプレイ] をクリックする。
- ③ [荷重] タブで、「荷重値」のチェックをオンにし、[OK] をクリックする。

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

- ④ 荷重ケース名で「等分布荷重」を選択する。
- ⑤ 荷重タイプで「等分布荷重」を選択する。
- ⑥ 方向で「グローバル Z」を選択する。
- ⑦ 値入力で「相対値」を選択し、x1 に「0」、w に「-10」、x2 に「1」を入力する。
- ⑧ [単一選択] で要素 1 と要素 2 を選択する。
- ⑨ [適用] をクリックする。

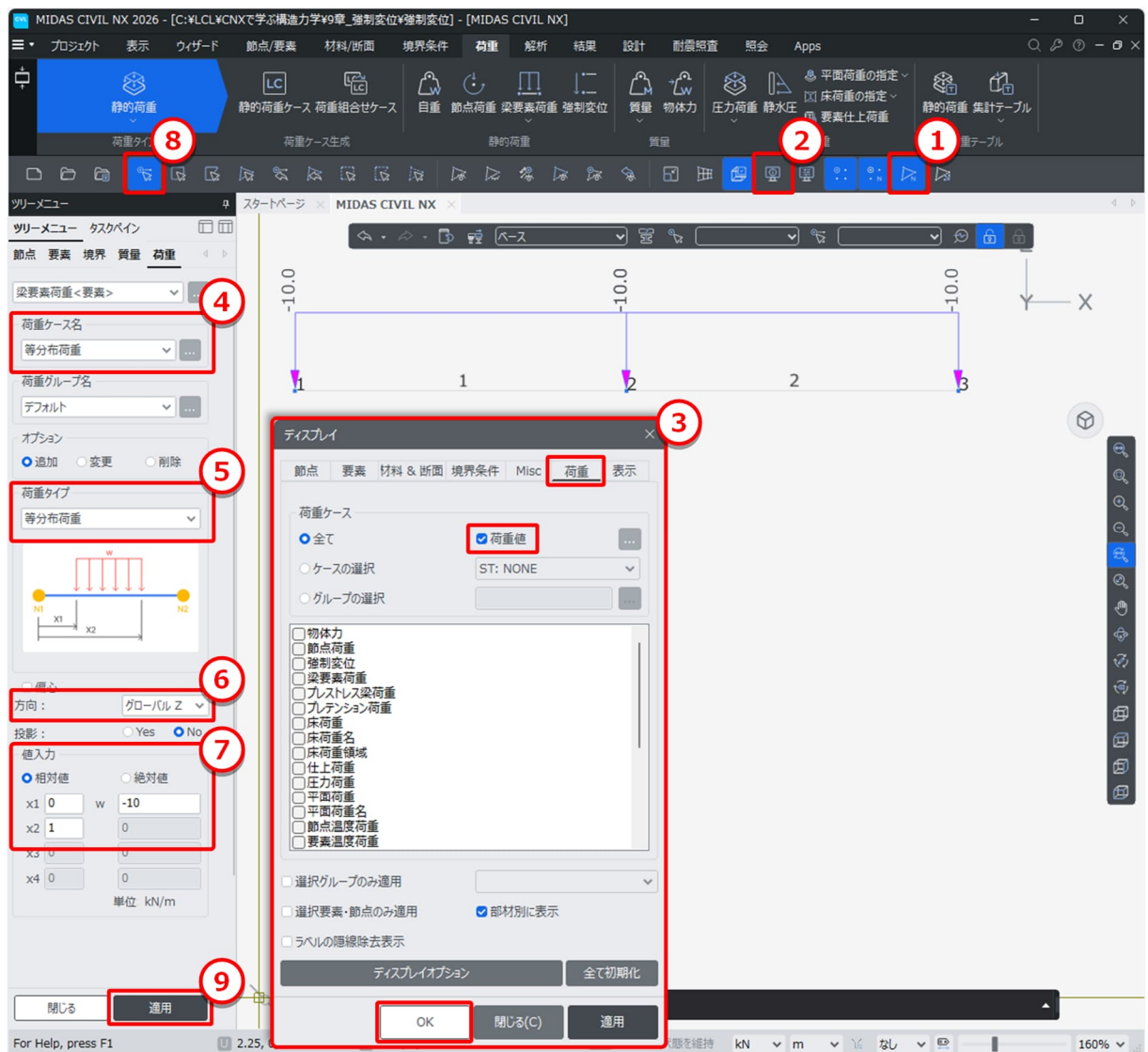


図 9.12 等分布荷重の入力

「強制変位」機能で支点沈下量を入力する。節点に特定の変位を強制的に与える強制変位機能によりモデルに支点沈下が適用できる。

- ①ステータスバーで、長さの単位を「mm」に変更する。
メインメニュー：[荷重] > 「静的荷重」 > [強制変位]
- ② 荷重ケース名で「支点沈下」を選択する。
- ③ 変位(ローカル方向) で「Dz」をオンにして、「-40」を入力する。
- ④ [ 単一選択] をオンにして、節点 2 を選択する。
- ⑤ [適用] をクリックする。
- ⑥ 変位(ローカル方向) の「Dz」のチェックをオンにして、「-25」を入力する。
- ⑦ [ 単一選択] をオンにして、節点 3 を選択する。
- ⑧ [適用] をクリックする。

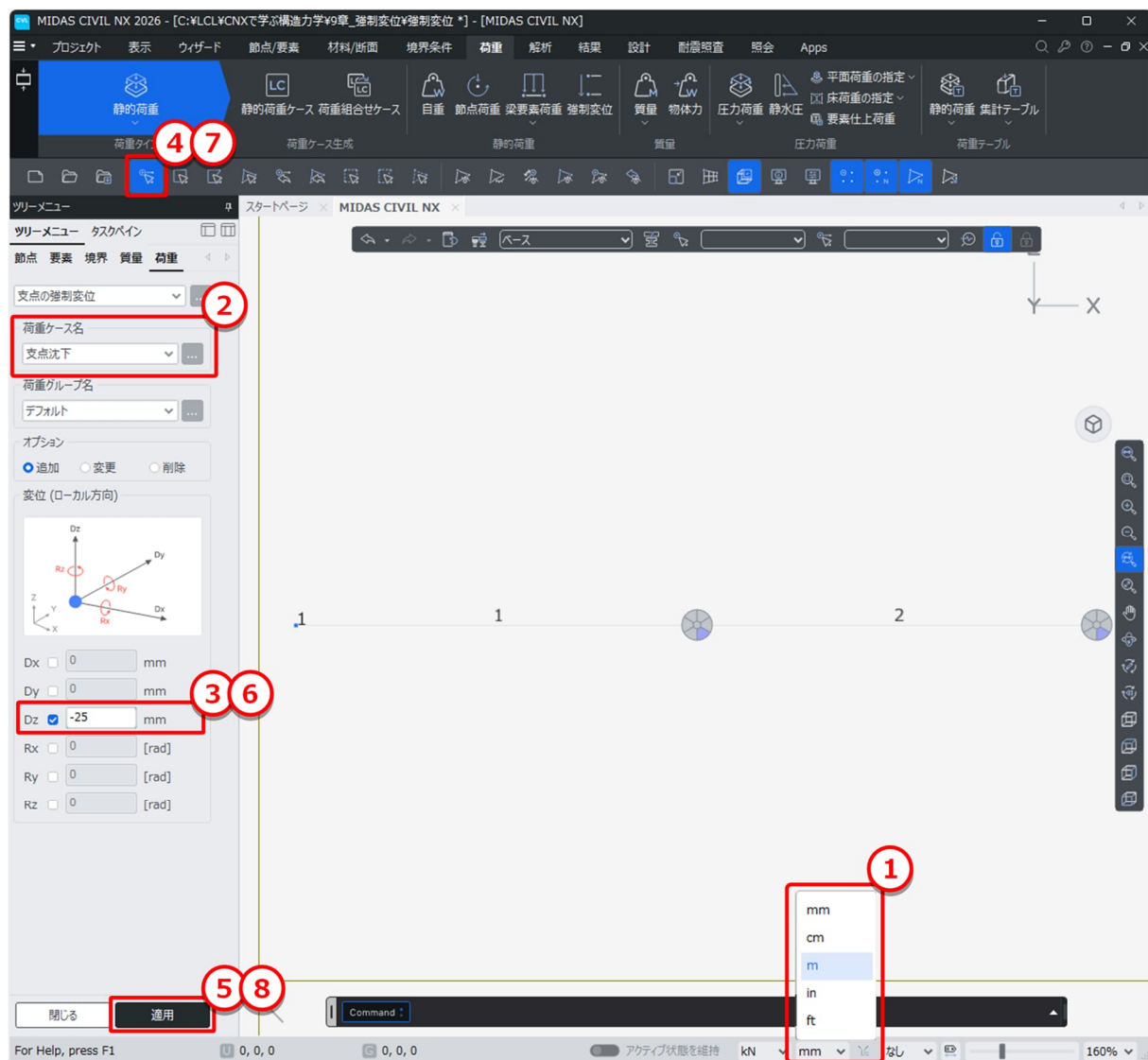


図 9.13 強制変位の入力

9.2.7 構造解析の実行

構造解析を実行する。

- ① [節点番号] と [要素番号] をオフにする。
メインメニュー：[解析] > 「解析実行」 > [解析実行]
- ② メッセージウィンドウで解析正常終了のメッセージを確認する。

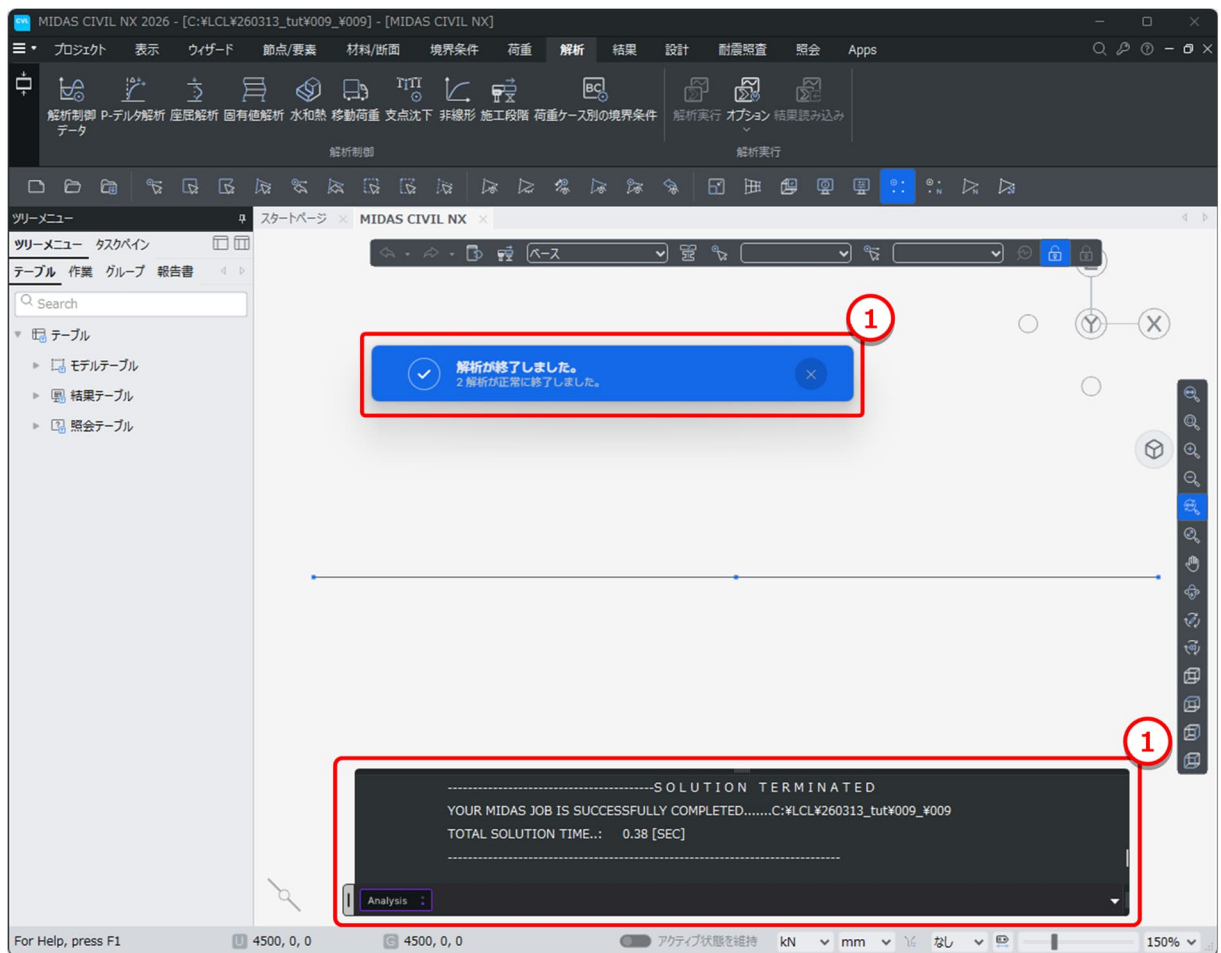


図 9.14 解析の正常終了のメッセージ

メッセージウィンドウに正常終了のメッセージが出力されずに、エラーや警告のメッセージが出力される場合には内容を確認した後、入力したデータに誤りがないか検討及び修正しもう一度解析を実行する。

9.2.8 解析結果の確認

(1) 荷重組合せ

入力された単位荷重条件を利用し荷重組合せを生成する。

→荷重組合せ：1.0 等分布荷重+1.0 支点沈下

メインメニュー：[結果/一般] > 「荷重組合せ」 > [荷重組合せ]

- ① 荷重組合せリスト>名称に「**LCB**」，解説に「等分布荷重+支点沈下」と入力する。
- ② 荷重ケースと係数>荷重ケースで「等分布荷重」を選択し，係数に「**1.0**」を入力する。
- ③ 荷重ケースと係数>荷重ケースで「支点沈下」を選択し，係数に「**1.0**」を入力する。
- ④ [閉じる] をクリックする。

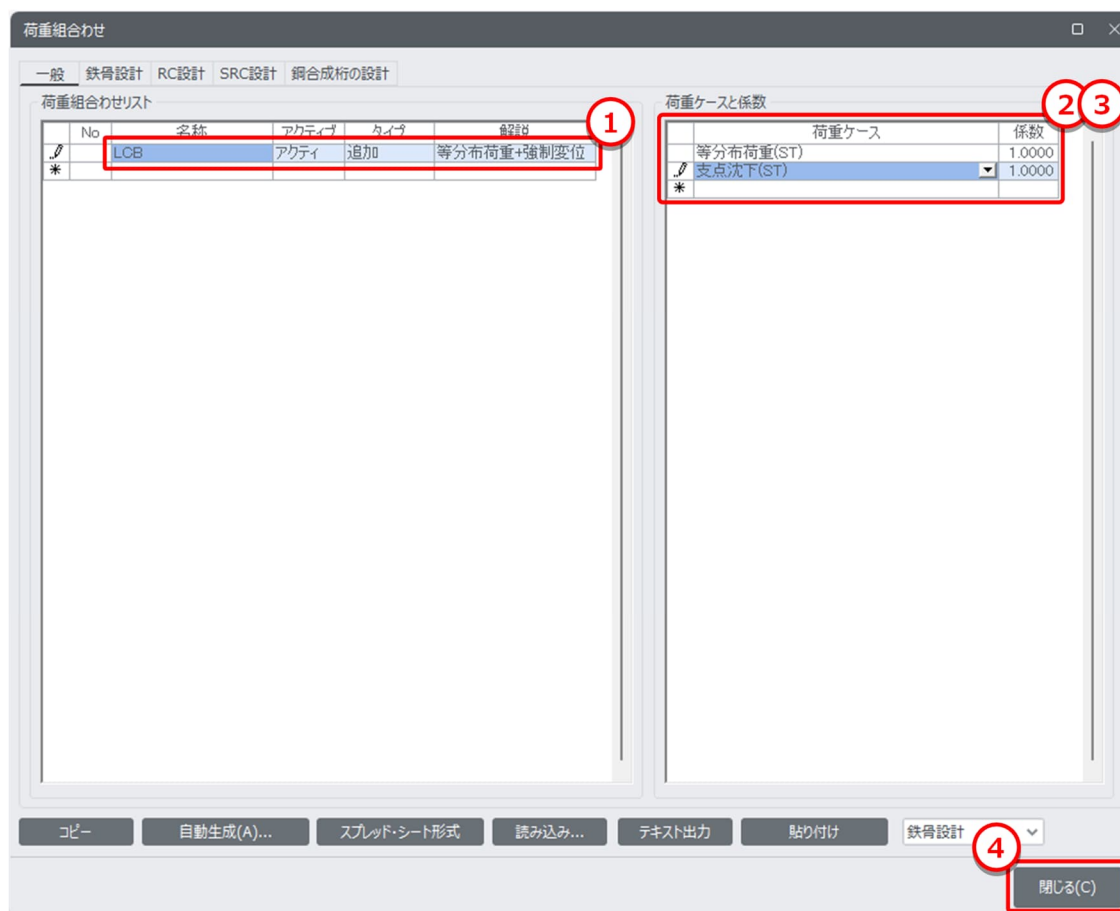


図 9.15 荷重組合せ

(2) 変位及び変形

構造物の変形図を確認する。

メインメニュー：[結果/一般] > 「結果表示」 > [変形▼] > [変形図]

- ① 荷重ケース/組合せで「CB: LCB」を選択する。
- ② 成分で「DXZ」を選択する。
- ③ 表示形式で「変形前」，「凡例」，「数値」をオンにする。
- ④ 変形の右側にある [...] をクリックする。
- ⑤ 変形図の倍率に「2」を入力し，「OK 時適用」をオンにする。
- ⑥ 変形の表示方法は「なめらか」を選択する。
- ⑦ [OK] をクリックする。
- ⑧ ステータスバーで，長さの単位を「mm」に変更する。

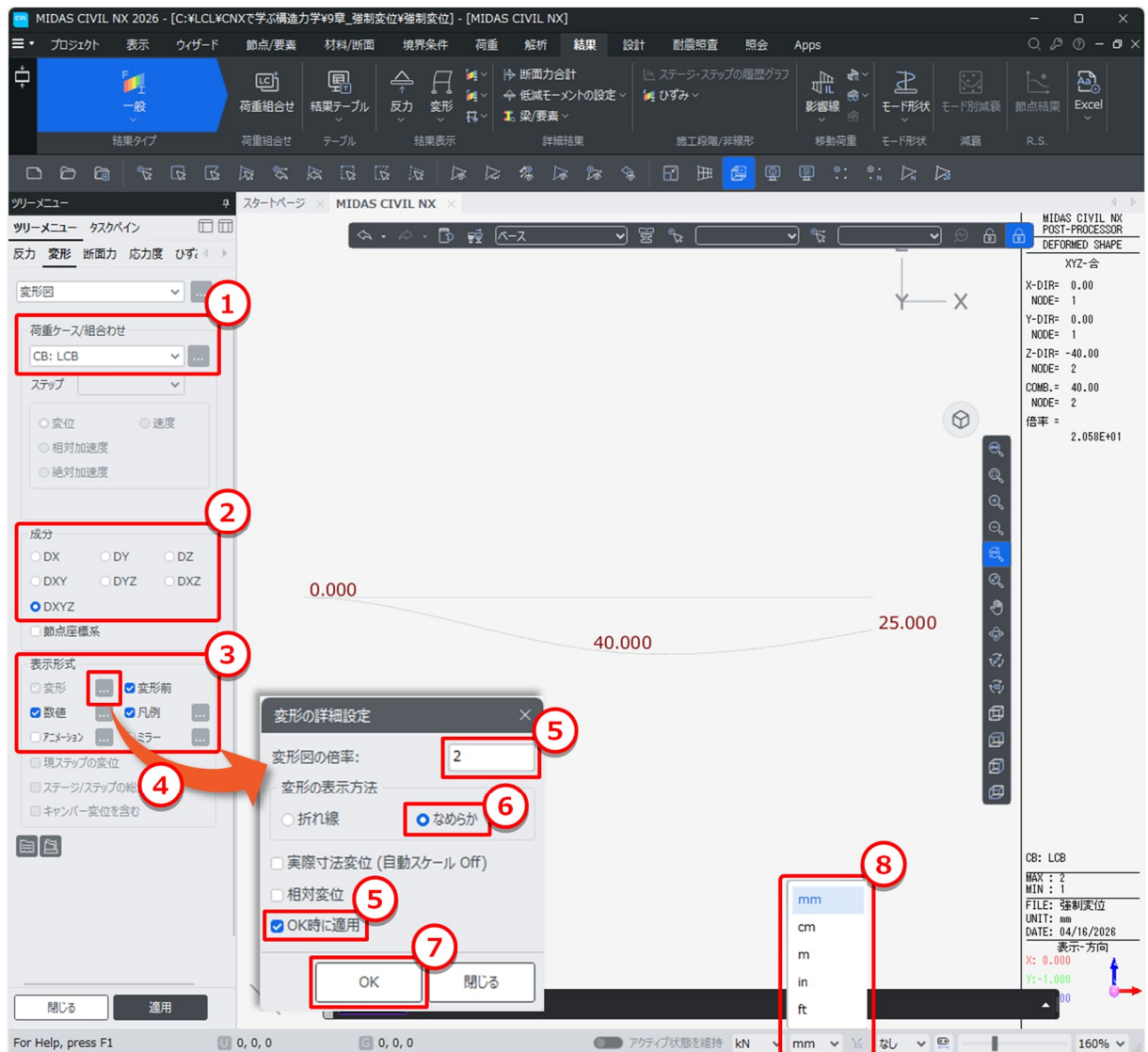


図 9.16 強制変位による変形

強制変位が与えられた節点 2 と節点 3 でそれぞれ 40 mm と 25 mm の変位が確認できる。

(3) 反力

支点沈下が発生する前（等分布荷重，支点沈下）と後（**LCB**）の反力の変化を確認する。

メインメニュー：[表示] > [ウィンドウ] > [ウィンドウ▼] > [新規ウィンドウ]

[正面] のトグルをオンにする。

メインメニュー：[表示] > [ウィンドウ] > [ウィンドウ▼] > [新規ウィンドウ] ↓

[正面] のトグルをオンにする。

メインメニュー：[表示] > [ウィンドウ] > [配置▼] > [水平に並べて表示]

① ステータスバーから長さの単位を「m」に変更する。

② 上から一番目のモデルウィンドウをクリックする。

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

③ 荷重ケース/組合わせは「ST：等分布荷重」を選択する。

④ 反力成分は「FZ」を選択する。

⑤ 表示形式は「数値」のチェックをオンにする。

⑥ [適用] をクリックする。

⑦ 上から二番目のモデルウィンドウをクリックする。

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

⑧ 荷重ケース/組合わせは「ST：支点沈下」を選択する。

⑨ 反力成分は「FZ」を選択する。

⑩ 表示形式は数値のチェックをオンにする。

⑪ [適用] をクリックする。

⑫ モデルビュー:2 をクリックする。

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

⑬ 荷重ケース/組合わせは「CB：LCB」を選択する。

⑭ 反力成分は「FZ」を選択する。

⑮ 表示形式は数値のチェックをオンにする。

⑯ [適用] をクリックする。

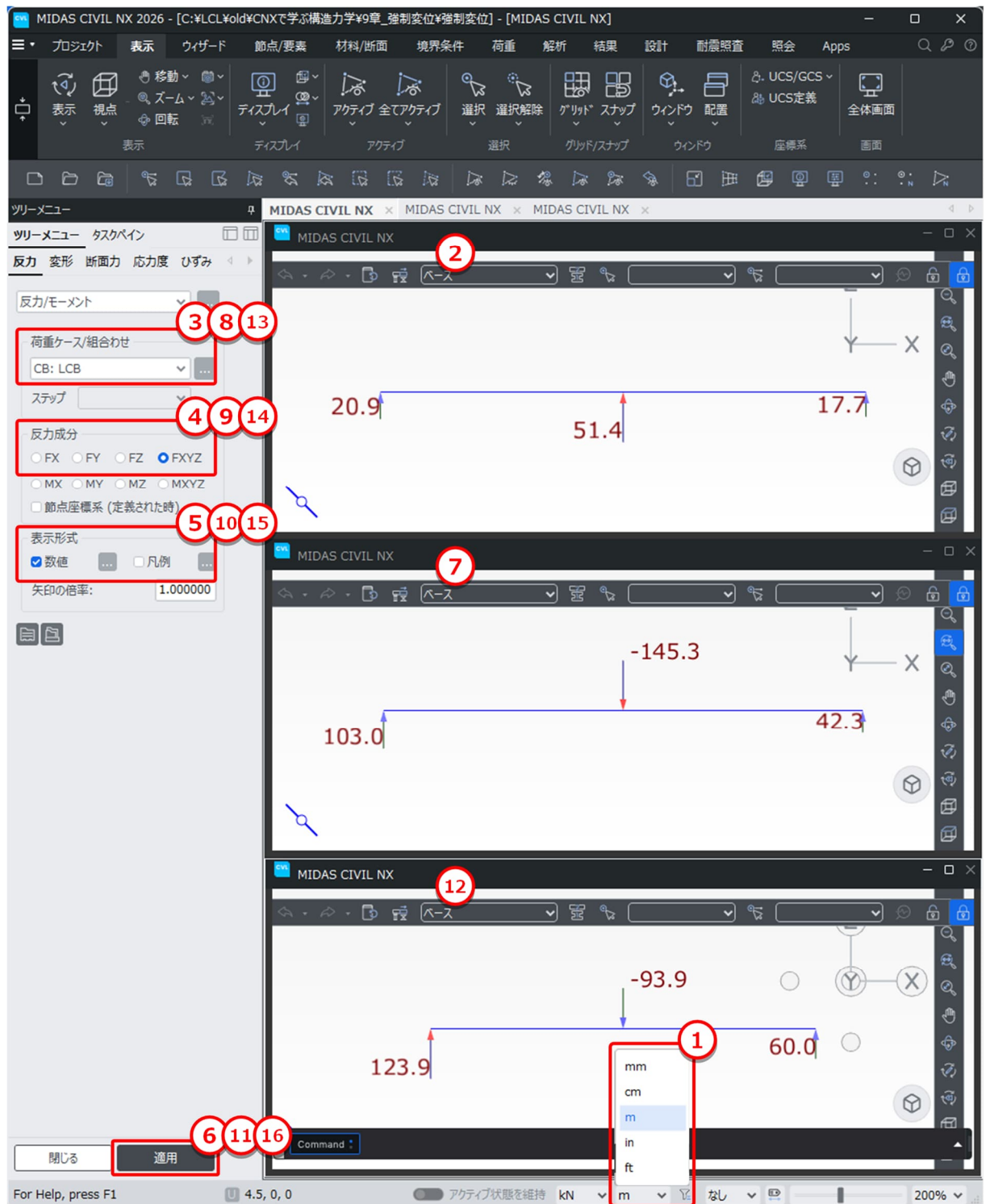


図 9.17 各荷重条件の反力の比較

等分布荷重条件による結果をみると、連続端（節点 2）で分担荷重より大きい反力が発生している。支点沈下の荷重条件では、沈下量が最も大きい節点 2 で負の反力が発生し、荷重組合せ（LCB）による結果では、それぞれの荷重条件により発生した反力の合計が出力されることが確認できる。

(4) 部材力

各荷重条件によるモーメントを比較する.

① 上から一番目のモデルビューをクリックする.

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].

② 荷重ケース/組合せ は「**ST**: 等分布荷重」を選択する.

③ 断面力成分 は「**My**」を選択する.

④ 表示形式 は「コンター図」及び「数値」のチェックをオンにする.

⑤ 数値を表示する断面 は「全て」を選択する.

⑥ [適用] をクリックする.

⑦ 上から二番目のモデルビューをクリックする.

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].

⑧ 荷重ケース/組合せ は「**ST**: 支点沈下」を選択する.

⑨ 断面力成分 は「**My**」を選択する.

⑩ 表示形式 は「コンター図」及び「数値」のチェックをオンにする.

⑪ 数値を表示する断面 は「全て」を選択する.

⑫ [適用] をクリックする.

⑬ 上から三番目のモデルビューをクリックする.

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].

⑭ 荷重ケース/組合せ は「**CB**: **LCB**」を選択する.

⑮ 断面力成分 は「**My**」を選択する.

⑯ 表示形式 は「コンター図」及び「数値」のチェックをオンにする.

⑰ 数値を表示する断面は「全て」を選択する.

⑱ [適用] をクリックする.

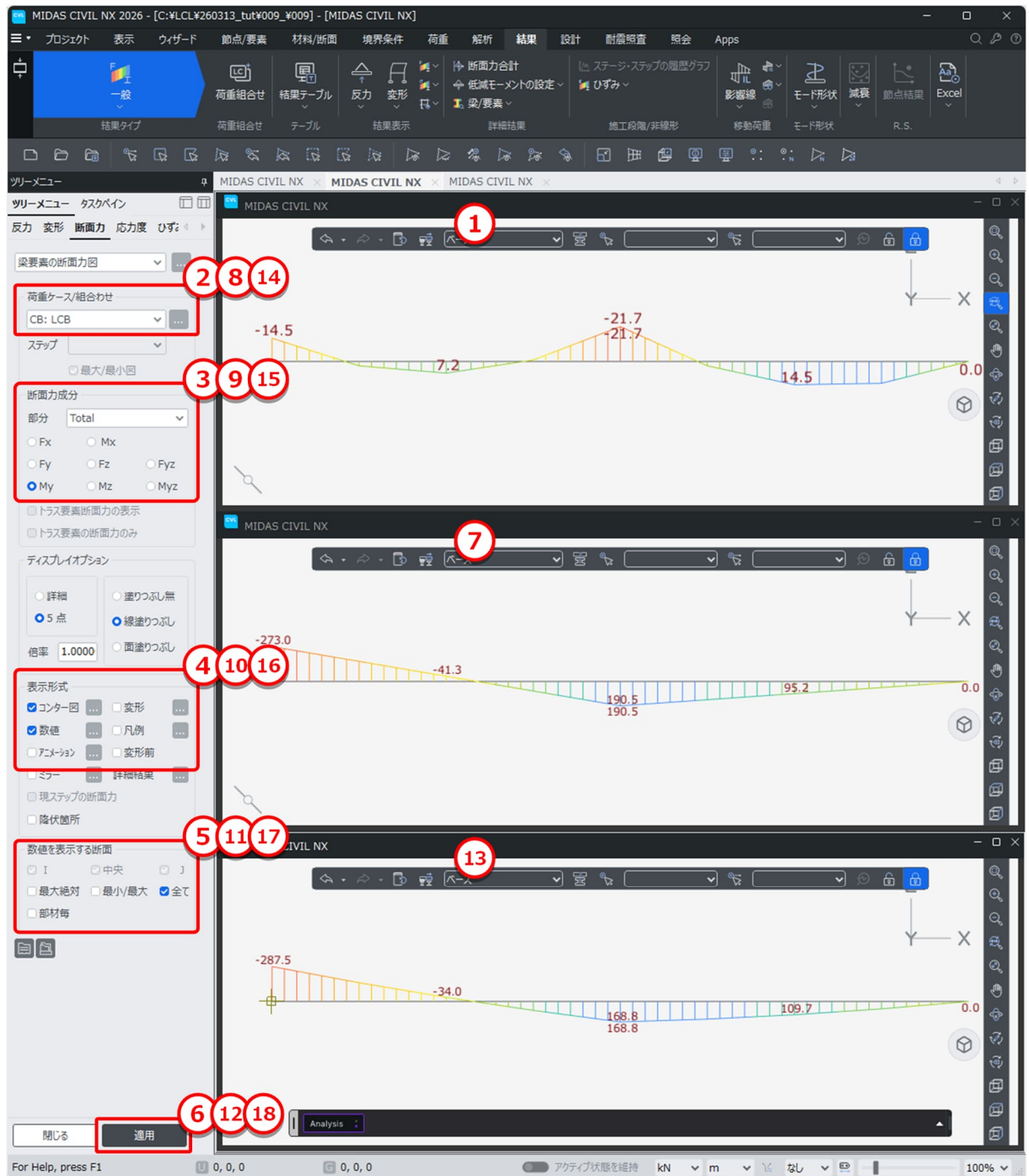


図 9.18 各荷重条件によるモーメントの比較

強制変位による解析はこのように支点に発生した沈下の影響を分析する場合に適用できる。また、構造物の特定部分の挙動や応力を把握するための局部詳細解析を行う場合、全体構造物のモデルの荷重や変形を詳細モデルに反映させる場合にも適用できる。

9.3 構造計算の解説

9.3.1 力学的概念の理解及び数値計算

支点沈下が発生した場合は，たわみ性法や変形法を適用し，次のような式として表せる．

$$fX + \delta = \Delta \quad (9.2)$$

$$\begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} \\ f_{21} & f_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \end{Bmatrix} \rightarrow \begin{cases} f_{11}X_1 + f_{12}X_2 + \delta_1 = \Delta_1 \\ f_{21}X_1 + f_{22}X_2 + \delta_2 = \Delta_2 \end{cases} \quad (9.3)$$

図 9.19 で f_{11} と f_{12} は B 点に単位荷重が作用する際の B 点と C 点での変位で， f_{21} と f_{22} は C 点に単位荷重が作用する際の B 点と C 点での変位である．また， δ_1 と δ_2 は B 点と C 点での支持条件が削除された状態で荷重が作用する場合の B 点と C 点での変位である．

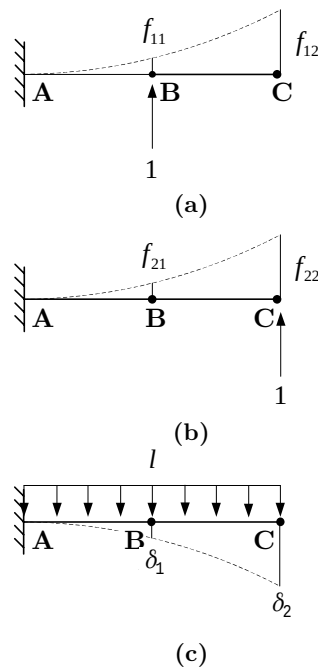


図 9.19 各荷重条件によるモーメントの比較

$$f_{11} = \frac{l^3}{3EI} = 1.013 \text{ mm}, f_{12} = f_{21} = \frac{5l^3}{3EI} = 2.531 \text{ mm}, f_{22} = \frac{8l^3}{3EI} = 8.100 \text{ mm}$$

$$\delta_1 = \frac{17l^4}{24EI} = -96.820 \text{ mm}, \delta_2 = \frac{2l^4}{EI} = -273.375 \text{ mm}$$

以上の結果を利用し，荷重と支点沈下が同時に発生する場合には次のような式として表せる．

$$\begin{bmatrix} 1.013 & 2.531 \\ 2.531 & 8.100 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -96.820 \\ -273.375 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -40 \\ -25 \end{Bmatrix} \quad (9.4)$$

左側の最初の項は未知数である支点反力 (X) が作用する際，支点の位置での上向きなたわみを意味し，次の項は実際の荷重により発生する際，支点の位置での下向きなたわみ (δ) を意味する．従って，左項は荷重によるたわみ (δ) と反力によるたわみ (δ) の合計を意味するため，支点沈下がないと右項はゼロになる．しかし，支点沈下発生すると右項は支点で実際発生したたわみ (Δ) になる．すなわち，ここで与えられた条件に対する解答は次のようになり，解析結果と一致する結果が得られることが分かる．

1. 荷重のみ作用し，支点沈下はない場合

$$\begin{bmatrix} 1.013 & 2.531 \\ 2.531 & 8.100 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -96.820 \\ -273.375 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$X_1 = 51.429 \text{ kN}$$

$$X_2 = 17.679 \text{ kN}$$

2. 支点沈下のみ発生し，荷重はない場合

$$\begin{bmatrix} 1.013 & 2.531 \\ 2.531 & 8.100 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -40 \\ -25 \end{Bmatrix}$$

$$X_1 = -145.326 \text{ kN}$$

$$X_2 = 42.428 \text{ kN}$$

3. 荷重と支点沈下が同時に発生する場合

$$X_1 = 51.429 - 145.326 = -93.898 \text{ kN}$$

$$X_2 = 17.679 + 42.428 = 60.007 \text{ kN}$$

以上の計算結果により，**CIVIL NX** の解析結果と一致する結果が得られることが確認できた。
なお，計算は表計算ソフトにより行い，小数点以下4桁で四捨五入した値である。

9.4 練習問題

1. 次の梁モデルにおける曲げモーメントを比較せよ.

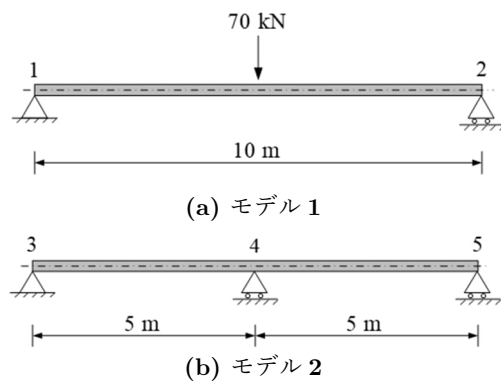


図 9.20 練習問題モデル

➤ 材料

鋼材：SM490

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

➤ 断面

- ・断面寸法 $B \times H = 400 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$
 ・断面積 $A = 2.4 \times 10^{-1} \text{ m}^2$
 ・断面二次モーメント $I_{yy} = 7.2 \times 10^{-3} \text{ m}^4$

➤ 荷重

(a) モデル 1

- ・梁中央に集中荷重（鉛直下向） $P = 70 \text{ kN}$

(b) モデル 2

- ・節点 4 に支点沈下 $D_{st} = 10 \text{ mm}$

2. 下図のような骨組みにおいて、右柱の下端で沈下が発生した場合のせん断力及び曲げモーメントを求めよ。

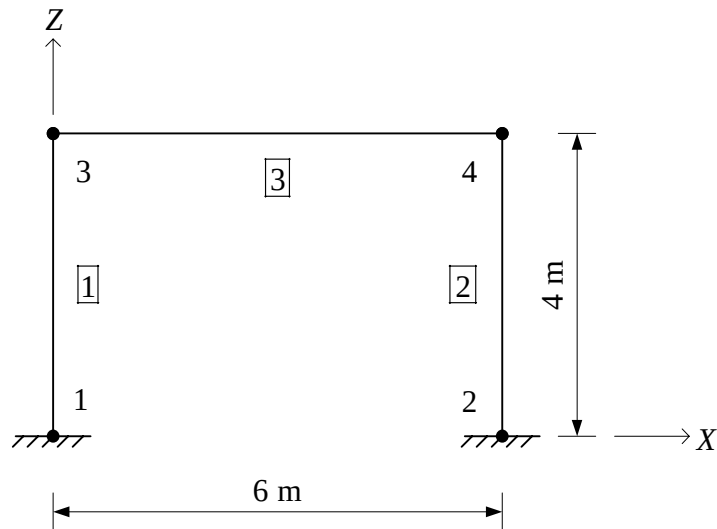


図 9.21 例題 1

➤ 材料

鋼材：SM490

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

➤ 断面

H 形鋼：H 400 × 400 × 13 × 21 [mm] (SM490)

・断面積..... $A = 2.187 \times 10^{-2} \text{ m}^2$

・断面二次モーメント..... $I_{yy} = 6.66 \times 10^{-4} \text{ m}^4$

➤ 荷重

・右側柱の脚部（節点 2）に支点沈下..... $D_{st} = 10 \text{ mm}$