

第4章 アーチの解析

目 次

4.1	概念の理解	4-1
4.1.1	アーチ解析の概念	4-1
4.2	チュートリアル	4-3
4.2.1	モデルの概要	4-3
4.2.2	作業環境の設定	4-4
4.2.3	材料及び断面の定義	4-6
4.2.4	節点及び要素の生成	4-8
4.2.5	境界条件の入力	4-14
4.2.6	荷重の入力	4-16
4.2.7	構造解析の実行	4-20
4.2.8	解析結果の確認	4-21
4.3	構造計算の解説	4-24
4.3.1	力学的概念の理解及び数値計算	4-24
4.4	練習問題	4-26

4.1 概念の理解

4.1.1 アーチ解析の概念

(1) 一般事項

アーチ構造は、開口部の上部荷重を支持するため、石やレンガなど圧縮に強い材料を曲線状に配置した構造形式である。

アーチに鉛直荷重が作用すると、支点部には鉛直反力に加えて水平方向の反力が生じる。この水平反力により、梁構造と比較して曲げモーメントが大幅に低減され、部材断面には主として軸方向の圧縮力が発生する。

この特性により、アーチ構造は長支間構造に適しており、構造的合理性と景観性の両面から橋梁構造として広く用いられている。



(a) アーチ橋



(b) アーチの開口部

写真 4.1 アーチ構造物

アーチのスパン (l) に対する高さ (h) の比 (h/l) をスパンライズ比という。

スパンライズ比が小さい（扁平なアーチ）ほど、支点部に発生する水平反力が大きくなり、基礎や横方向支持構造に大きな力が作用する。一方、スパンライズ比が大きい場合、軸力によって効率的に荷重を支持できるが、同一スパンを確保するためにはアーチ高さが大きくなり、構造規模が増大する。

一般に、構造的合理性と経済性を考慮すると、スパンライズ比（アーチライズともいう）はおよそ 0.3 程度が適切であるとされている。

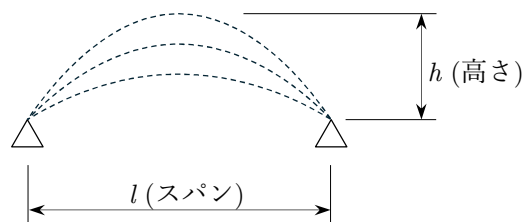


図 4.1 スパンライズ比 ($=h/l$)

(2) 解析の概念

図 4.2 は、アーチ中央部のキーストーン付近を取り出した模式図である。

アーチ断面に曲げモーメントが作用すると、下縁側に引張応力が発生するが、石造アーチのように引張強度をほとんど持たない構造では、この引張応力が生じると構造が不安定となる。

しかし、支点部に発生する水平反力 H_A によって生じる圧縮応力がこの引張応力を相殺すれば、断面内に引張応力は発生せず、アーチ構造は安定を保つことができる。

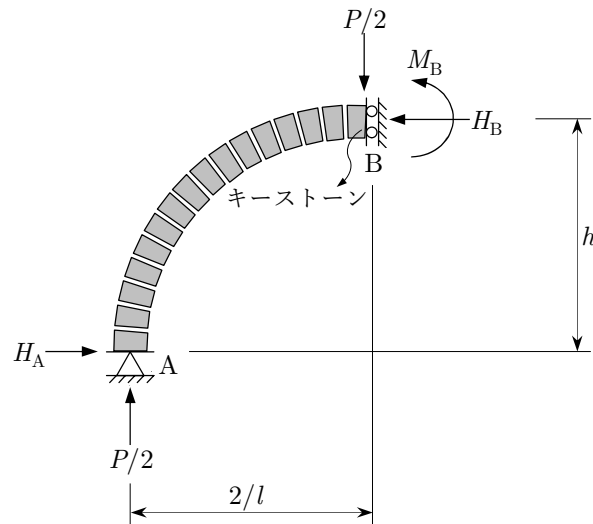


図 4.2 アーチ構造

アーチの A 端での横方向の反力 H_A はアーチが横に広がることを防ぐ役割をする。実際の構造では図 4.3 のようにバットレス (Buttress) や引張材のタイ (Tension-tie) が反力 H の役割をするように設計する。

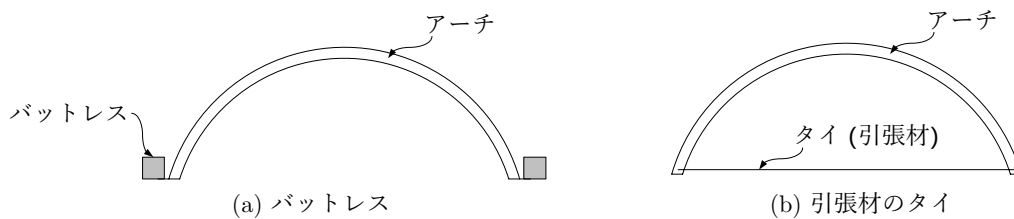


図 4.3 アーチ構造での横方向反力の支持

アーチの中央部 B 点でのモーメントの釣り合い条件は次のようになる。

$$\sum M = 0 ; \quad \frac{P}{2} \cdot \frac{L}{2} - H_A h - M_B = 0 \rightarrow M_B = \frac{PL}{4} - H_A h \quad (4.1)$$

式 (4.1) は、アーチ中央部 B 点におけるモーメントの釣り合い条件を表したものである。

式の左辺は外力によって発生する曲げモーメントを、右辺は水平反力 H_A とアーチ高さ h によって生じる抵抗モーメントを表している。

この関係から、荷重やスパンが大きくなるほど、それに抵抗するためには水平反力またはアーチ高さを増加させる必要があることが分かる。

なお、アーチ高さ h がゼロの場合、水平反力による抵抗モーメントは消失し、構造は単純梁と同等の挙動を示す。

4.2 チュートリアル

4.2.1 モデルの概要

アーチのライズ比が構造物の変位及び部材力に及ぼす影響を確認するため、アーチ高さ h とスパン l の比 h/l がそれぞれ $1/4$, $1/5$, $1/7$ となる 3 種類のアーチ構造物を解析する。

本モデルでは、材料、断面及び荷重条件は同一とし、アーチ高さのみを変化させる。

これにより、ライズ比の違いによって、アーチ構造の剛性、軸力の大きさ、および曲げモーメントの分布がどのように変化するかを比較し、アーチ構造における形状特性と力の流れの関係を確認する。

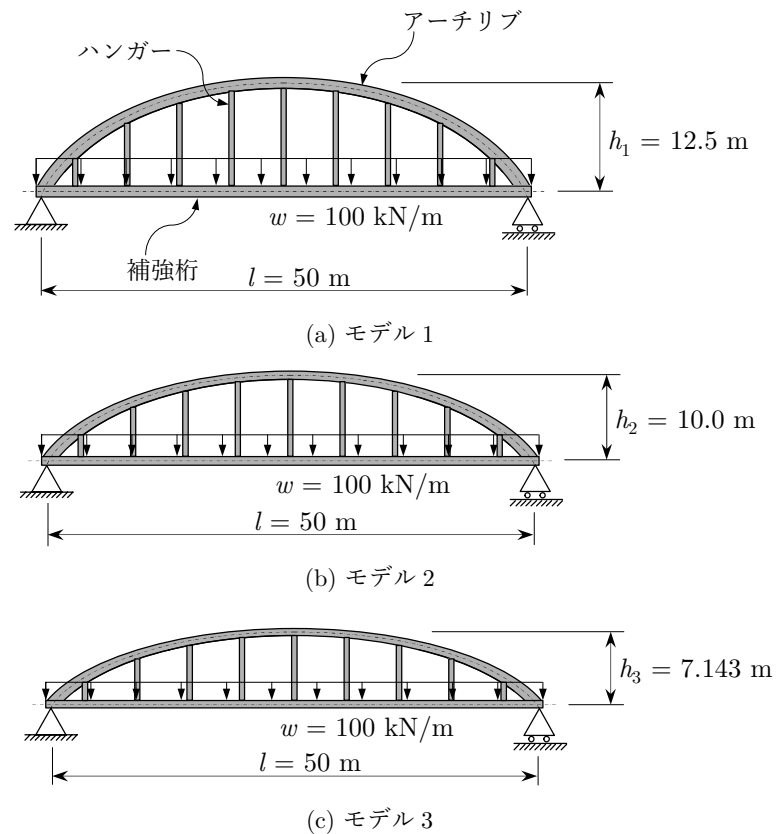


図 4.4 解析モデル

➤ 材料

鋼材：SM490

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

➤ 断面

- ・アーチリブ : ボックス断面； $1,000 \times 1,000 \times 20 \text{ mm}$
- ・補強桁 : ボックス断面； $1,000 \times 1,000 \times 20 \text{ mm}$
- ・ハンガー : H 形鋼； $H - 500 \times 200 \times 10 \times 16 \text{ mm}$

➤ 荷重

・等分布荷重 $w = 100 \text{ kN/m}$

4.2.2 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「アーチ」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。



図 4.5 ファイルの保存と単位系の設定

(2) 作業平面の設定

本チュートリアルの解析モデルは平面（X-Z 平面）構造であるため、構造形式を X-Z 平面内で挙動するように指定する。

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 4.6 作業平面の設定

4.2.3 材料及び断面の定義

(1) 材料の定義

SM490 の材料を定義する。

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。



Tip 材料断面データベース

データベースから材料や断面を選択すると，名称は自動生成される．必要に応じて，名称は任意に変更することもできる．



Tip 比重の入力

自重の自動計算機能を使用する場合は，比重を入力する．比重を入力しない場合，自重は考慮されない．



Tip [OK] ボタンと [適用] ボタン

[OK] をクリックするとダイアログボックスが閉じる．

複数の材料を定義する場合は [適用] をクリックして続けて入力する．



(a) 材料 & 断面



(b) 材料データ

図 4.7 材料の定義

(2) 断面の定義

構造解析モデルに使用される断面を定義する。

[断面] タブをクリックし、[追加...] をクリックする。

- ① 断面番号に「1」が入力されていることを確認し、名称に「リブ&桁」と入力する。
 - ② 断面形状リストから「ボックス断面」選択し、定義方法として「ユーザー」を選択する。
 - ③ H に「1」, B に「1」, tw に「0.02」, tf1 に「0.02」を入力する。
 - ④ [適用] をクリックする。
 - ⑤ 断面番号に「2」が入力されていることを確認する。
 - ⑥ 断面形状リストから「H-断面」を選択する。
 - ⑦ 定義方法として「規格」を選択し、「JIS」を選択する。
 - ⑧ 鋼材リストで「H 500×200×10/16」を選択する。
 - ⑨ [OK] をクリックする。
- [閉じる] をクリックする。

(a) ボックス断面の定義

(b) H 形断面の定義

図 4.8 断面の定義

4.2.4 節点及び要素の生成

(1) アーチウィザードによる生成

アーチウィザード機能で高さとしパン長さの比が 1:4 のモデル 1 のアーチリブを生成する。
梁要素は直線であるため、アーチを入力するためには曲線を複数の直線で分割する。

メインメニュー：[ウィザード] > 「基本モデル」 > [基本構造▼] > [アーチ]

- ① タイプで「放物線 1」を選択する。
- ② 境界条件で「なし」を選択する。
- ③ セグメントの数に「10」、支間に「50」、高さに「12.5」を入力する。
- ④ 材料は「1:SM490」を、断面は「1:リブ&桁」をそれぞれ選択する。
- ⑤ [挿入] タブをクリックする。
- ⑥ 挿入点に「0,0,0」を入力する。
- ⑦ 回転角度 α に「0」、 β に「0」、 γ に「0」を入力する。
- ⑧ [OK] をクリックする。
- ⑨ [自動フィット] をオンにし、[正面] をクリックする。

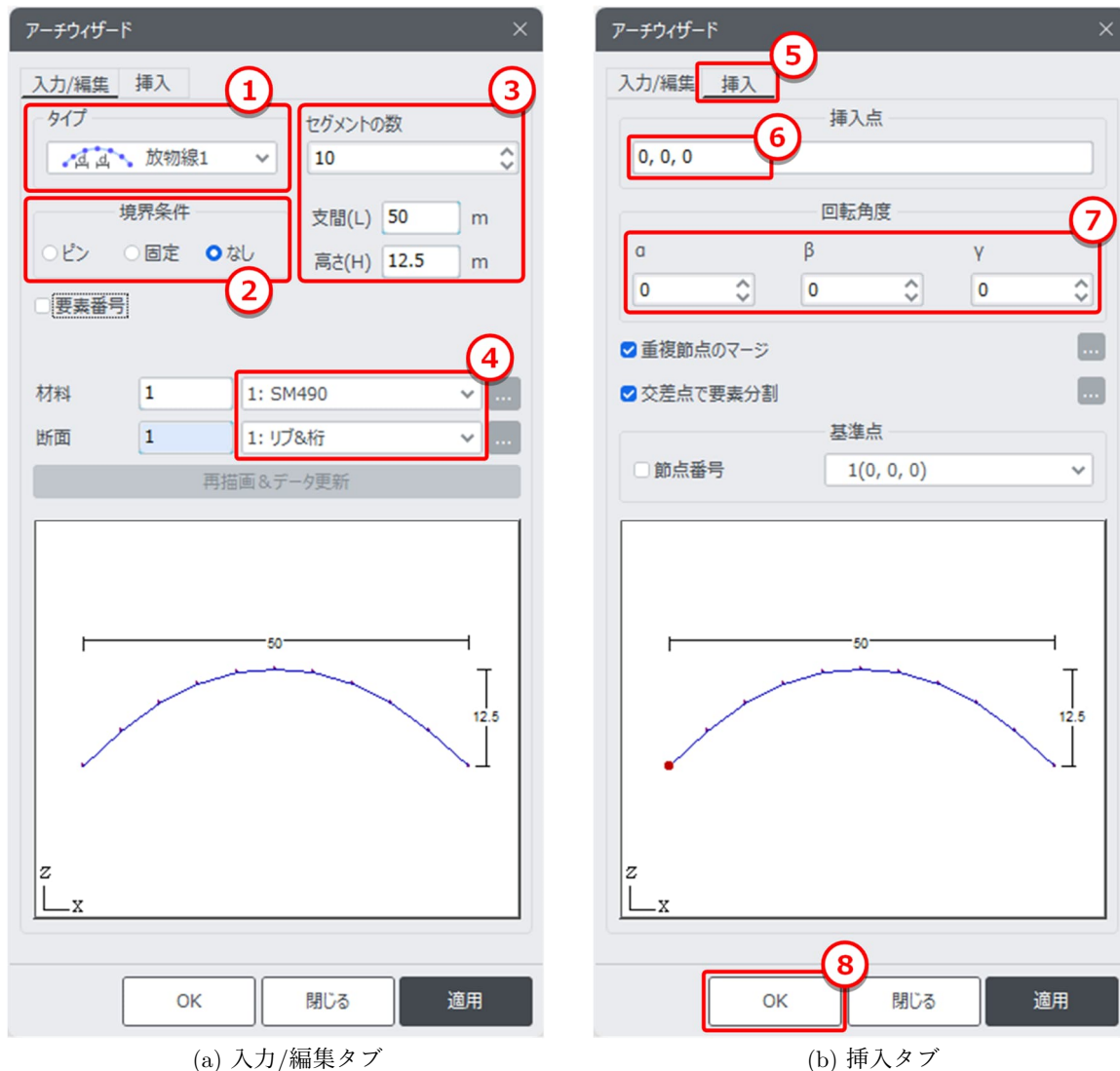


図 4.9 アーチウィザード

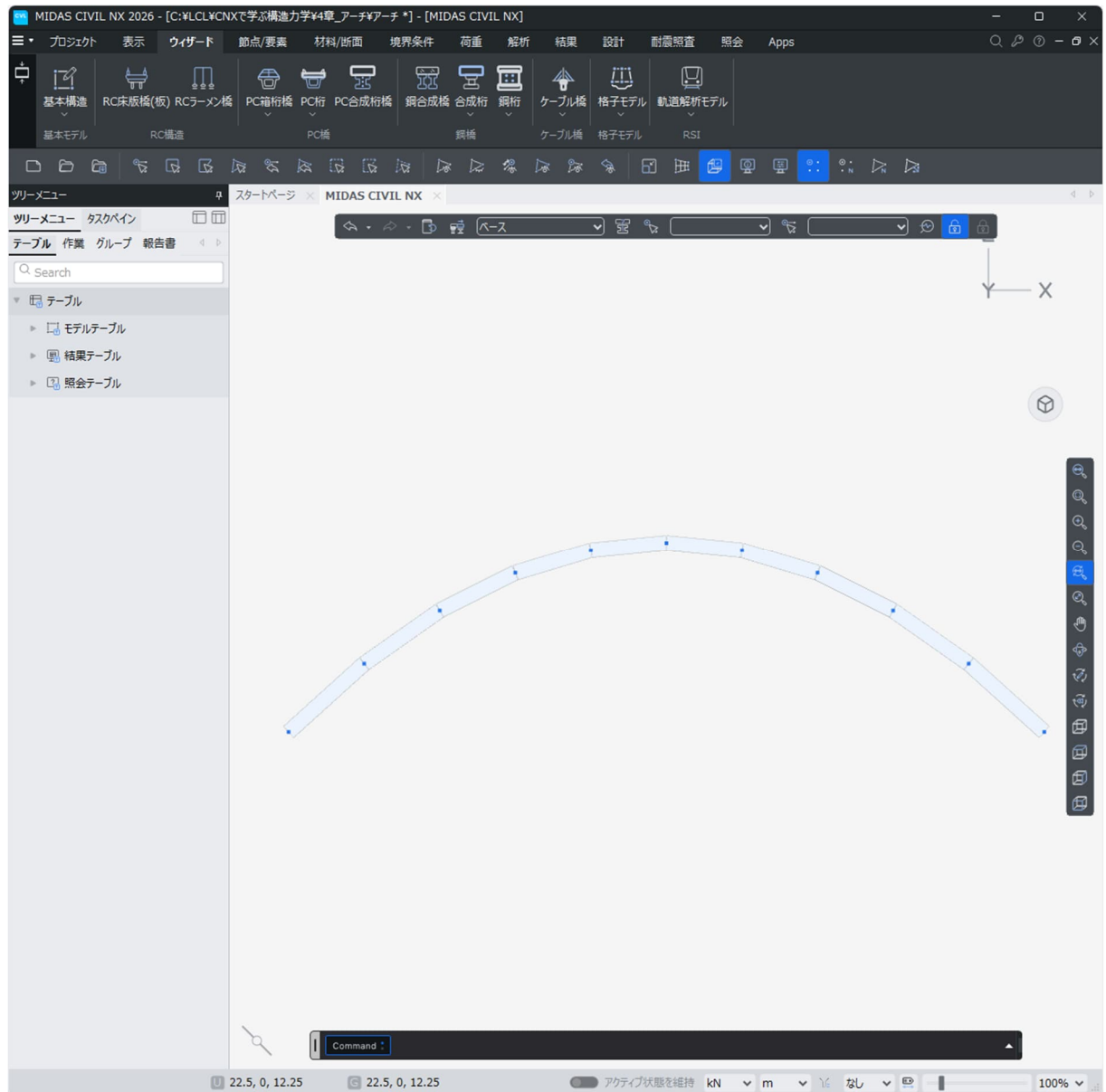


図 4.10 アーチリブの生成

(2) 押し出しによる要素生成

節点を線要素の拡張する押し出し機能を利用しハンガーを生成する.

メインメニュー：[節点/要素] > 「一般」 > [押し出し]

- ① [縮小表示] と [節点番号] をオンにし, [アイソメ図] をクリックする.
- ② [ ウィンドウで選択] をオンにして, 節点 2~節点 10 を選択する.
- ③ 押出形式で「節点 -> 線要素」を選択する.
- ④ 要素属性>要素タイプで「梁要素」,
 >材料>名称で「1:SM490」,
 >断面>名称で「2:H500×200×10/16」を選択する.
 > β -角度に「90」を入力する.
- ⑤ 生成形式で「投影」を選択する.
- ⑥ 投影形式で「直線上に投影」を選択する.
- ⑦ 基準線の定義>P1 に「0,0,0」, P2 に「50,0,0」を入力する.
- ⑧ 方向で「垂直」を選択する.
- ⑨ [適用] をクリックする.
- ⑩ [自動フィット] をオンにする.

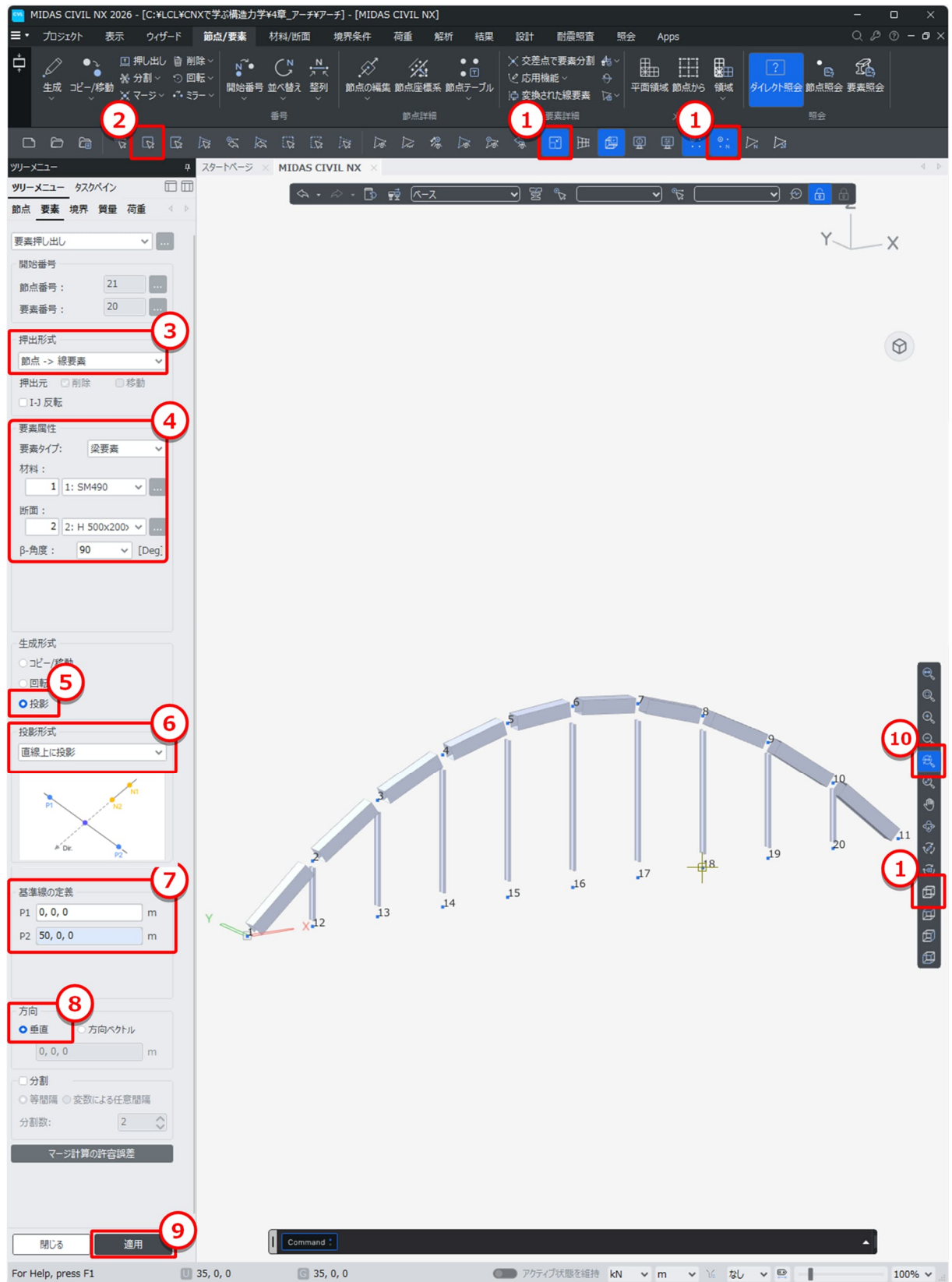


図 4.11 ハンガーの生成

Tip β - 角度

β 角度は、トラスや梁、柱などの線要素において、要素座標系の z 軸の向きを定義するパラメータである。

断面の向きは曲げ剛性やせん断剛性の方向に直接影響するため、非対称断面では β 角度の設定により部材の力学特性が変化する。

本チュートリアルでは、 β 角度に 90° を入力し、断面のウェブ方向が橋軸に対して直交するように設定する。

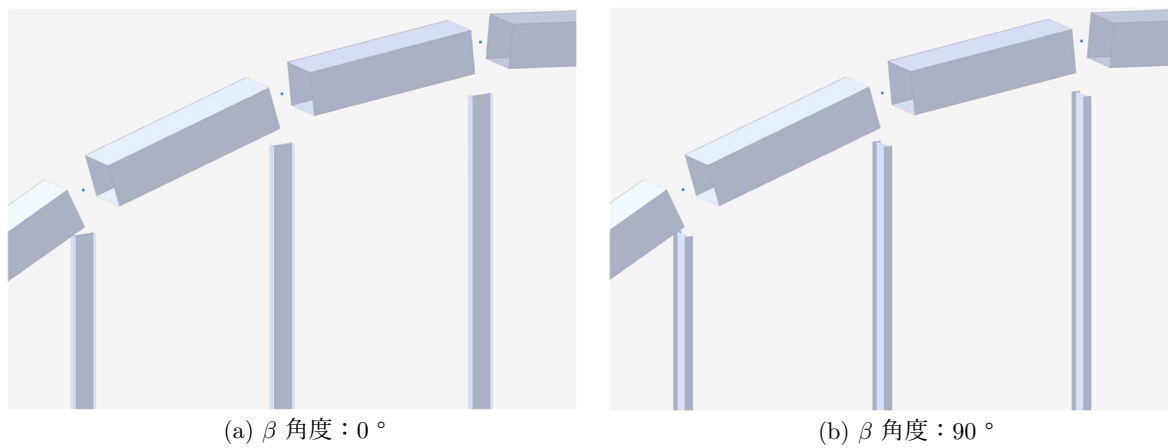


図 4.12 β 角度

(3) 要素生成

節点1と節点11の間に補強桁を入力する。

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

- ① [縮小表示] と [隠線除去表示] をオフにし、[正面] をクリックする。
- ② 要素タイプで「一般梁/テーパ断面梁要素」を選択する。
- ③ 材料で「1: SM490」を選択する。
- ④ 断面で「1: リブ&桁」を選択する。
- 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し、モデルビューで節点1、節点11の順にクリックする。

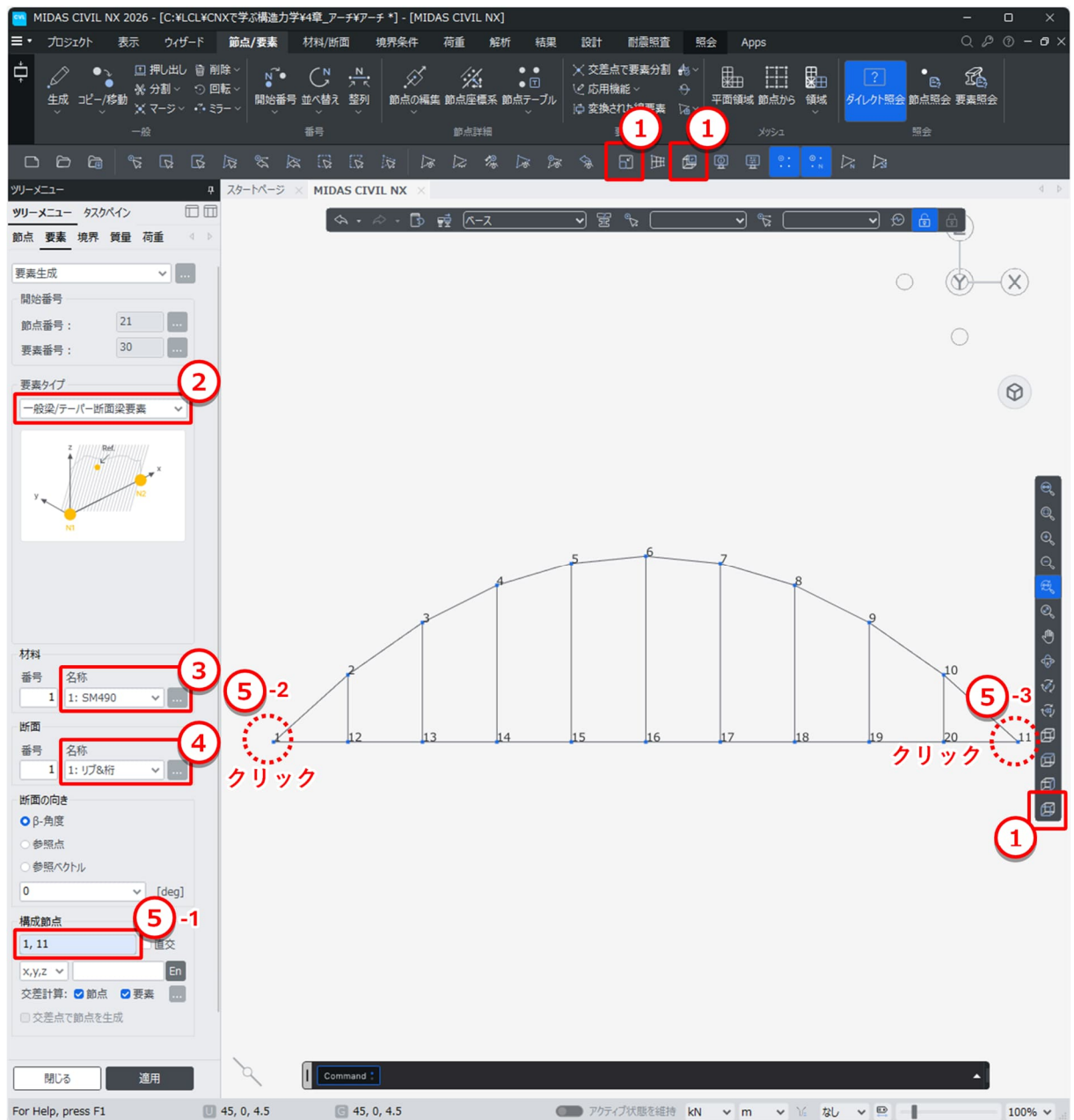


図 4.13 補強桁の入力

4.2.5 境界条件の入力

モデル1の左側の支点（節点1）には D_x 及び D_z 自由度を拘束することでピン支持条件を設定し、右側の支点（節点11）には D_z 自由度を拘束することでローラー支持条件を設定する。

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 」と「 D_z 」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 」をオフにする。
- ⑤ [ 単一選択] をオンにして、節点11を選択する。
- ⑥ [適用] をクリックする。

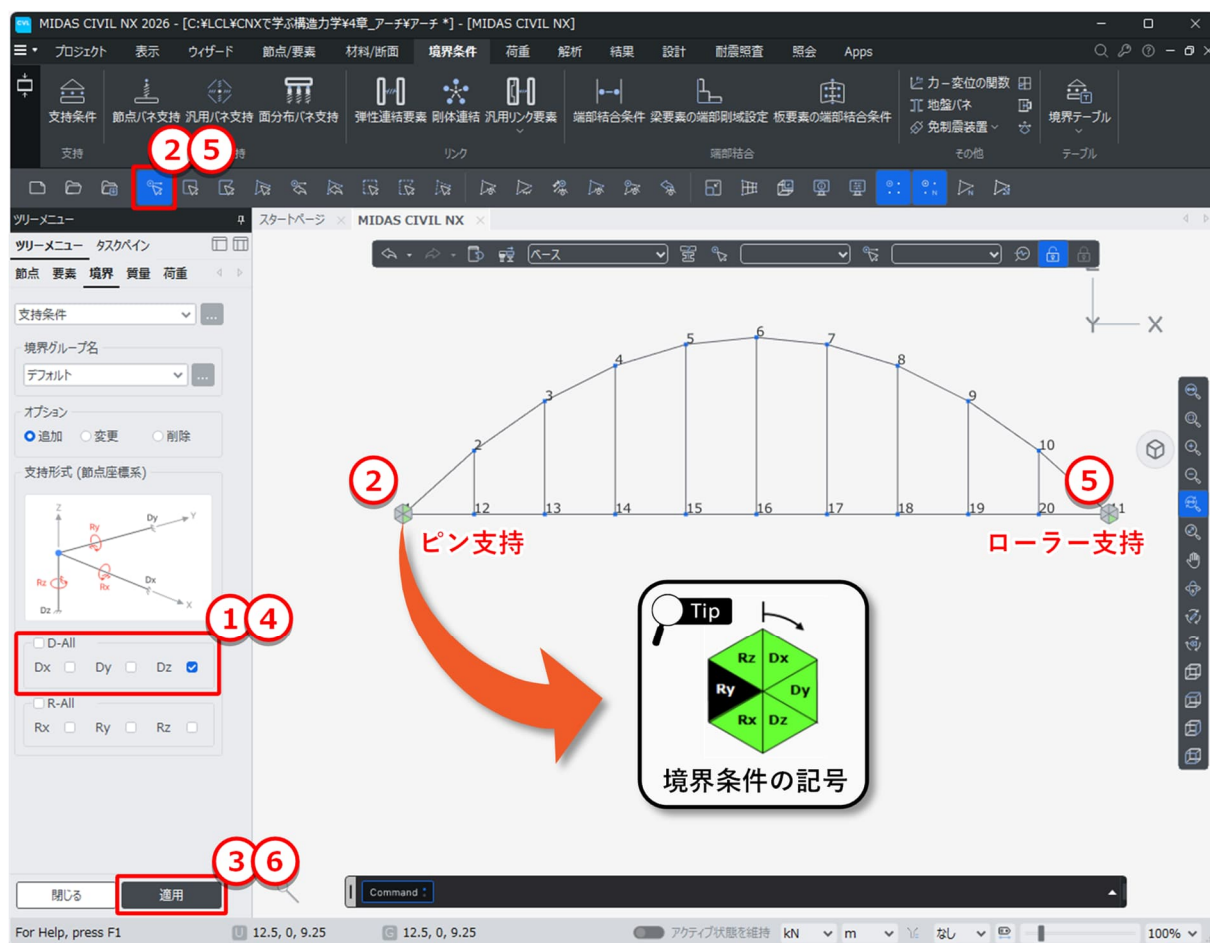


図 4.14 境界条件の入力

ハンガーの両端部にヒンジ（梁端部モーメントを解除）条件を入力する。

メインメニュー：[境界条件] > [端部結合] > [端部結合条件]

- ① [節点番号] をオフにし，[要素番号] をオンにする。
- ② [ ウィンドウで選択] をオンにして，要素 19～要素 11 を選択する。
(右下から左上へドラックすると交差する要素が選択できる。)
- ③ [ピン-ピン] をクリックする。
- ④ [適用] をクリックする。

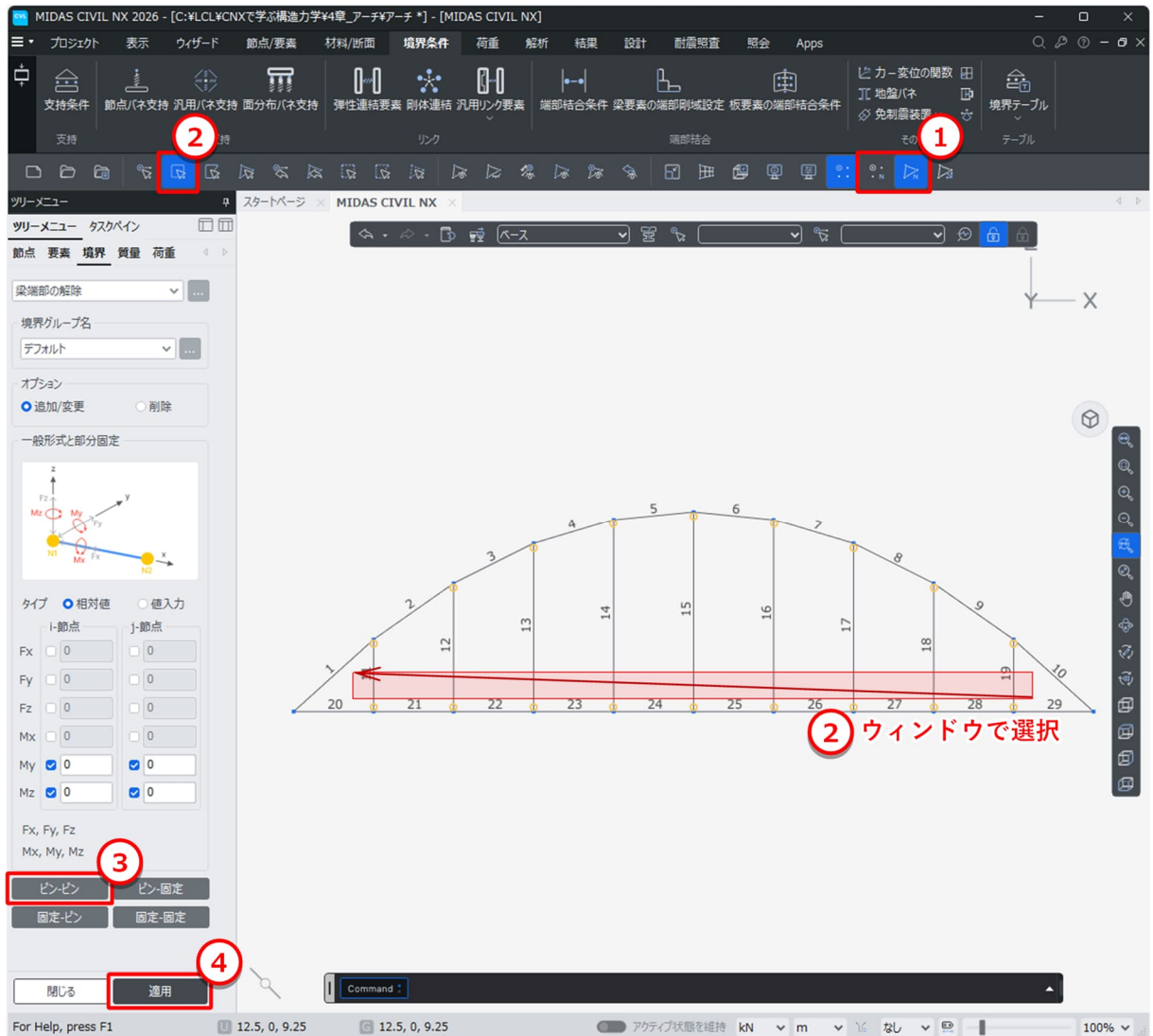


図 4.15 ハンガー端部のヒンジ条件の定義

4.2.6 荷重の入力

(1) 荷重条件の定義

荷重を入力するため、まず入力する荷重の種類（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 [閉じる] をクリックする。

静的荷重ケース

名称 : 等分布荷重

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

追加 (A)

修正 (M)

削除 (D)

No	名称	タイプ	解説
1	等分布荷重	ユーザー定義荷重 (USER)	

閉じる (C)

図 4.16 荷重条件の定義

(2) 荷重の入力

アーチの補強桁に等分布荷重 100 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「等分布荷重」を選択する。
- ② オプションで「追加」を選択する。
- ③ 荷重タイプで「等分布荷重」を選択する。
- ④ 方向で「グローバル Z」を選択する。
- ⑤ 値入力で「相対値」選択し、x1 に「0」、w に「-100」、x2 に「1」を入力する。
- ⑥ [ ウィンドウで選択] をオンにして、補強桁（要素 20～要素 29）を選択する。
(左上から右下へドラッグすると、ウィンドウ内に入る要素のみ選択できる。)
- ⑦ [適用] をクリックする。

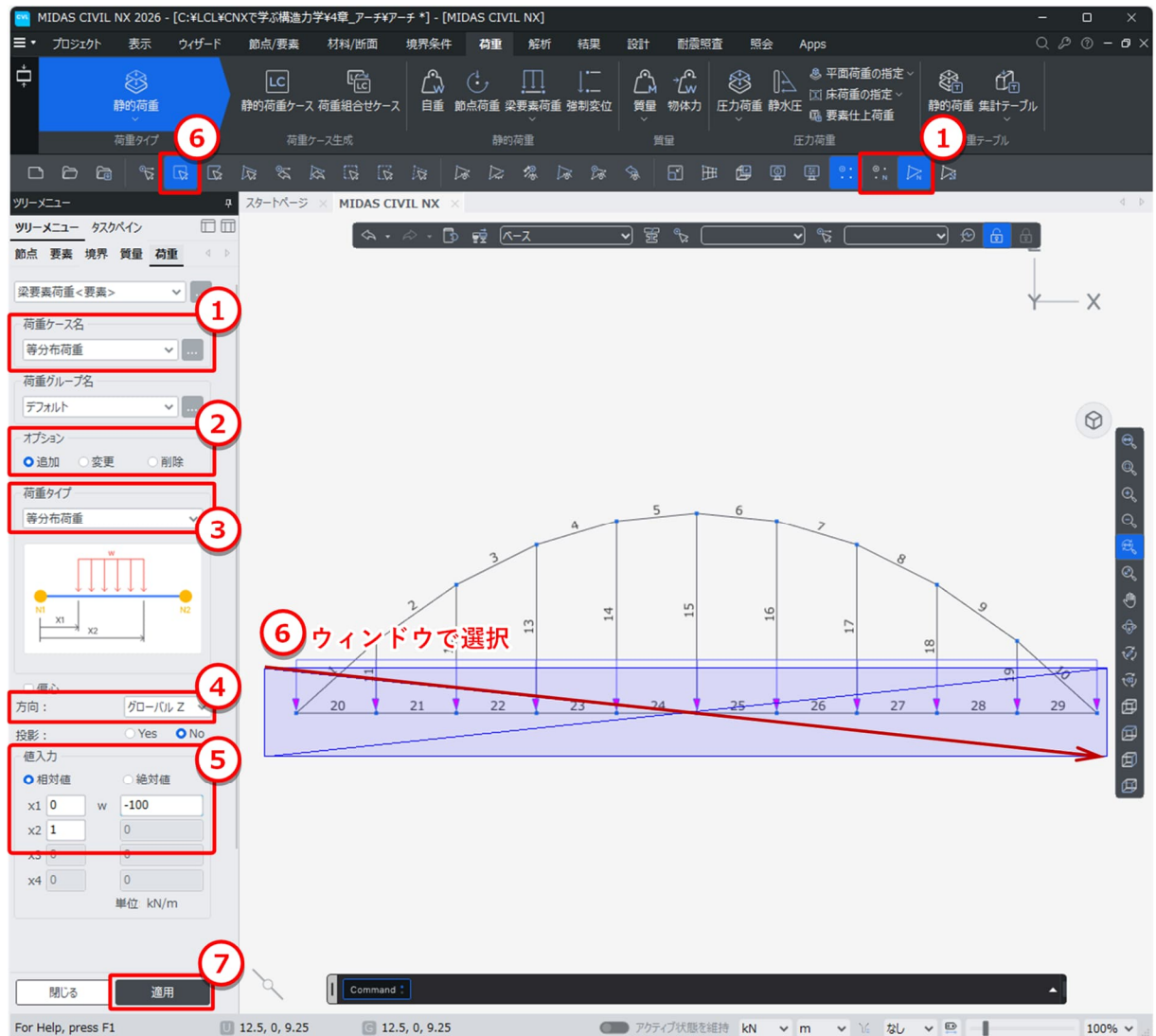


図 4.17 等分布荷重の入力

(3) 要素の複製

モデル 1 をコピーしモデル 2 とモデル 3 を生成する。この時、モデル 1 に入力されている荷重と境界条件を同時にコピーする。

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 移動/コピーで「等間隔」を選択し、dx, dy, dz に「0, 0, -15」，回数に「2」を入力する。
- ③ 「節点属性のコピー」と「要素属性のコピー」をオンにする。
- ④ 「要素番号」をオフにして，「 全て選択」をクリックする。
- ⑤ 「適用」をクリックする。

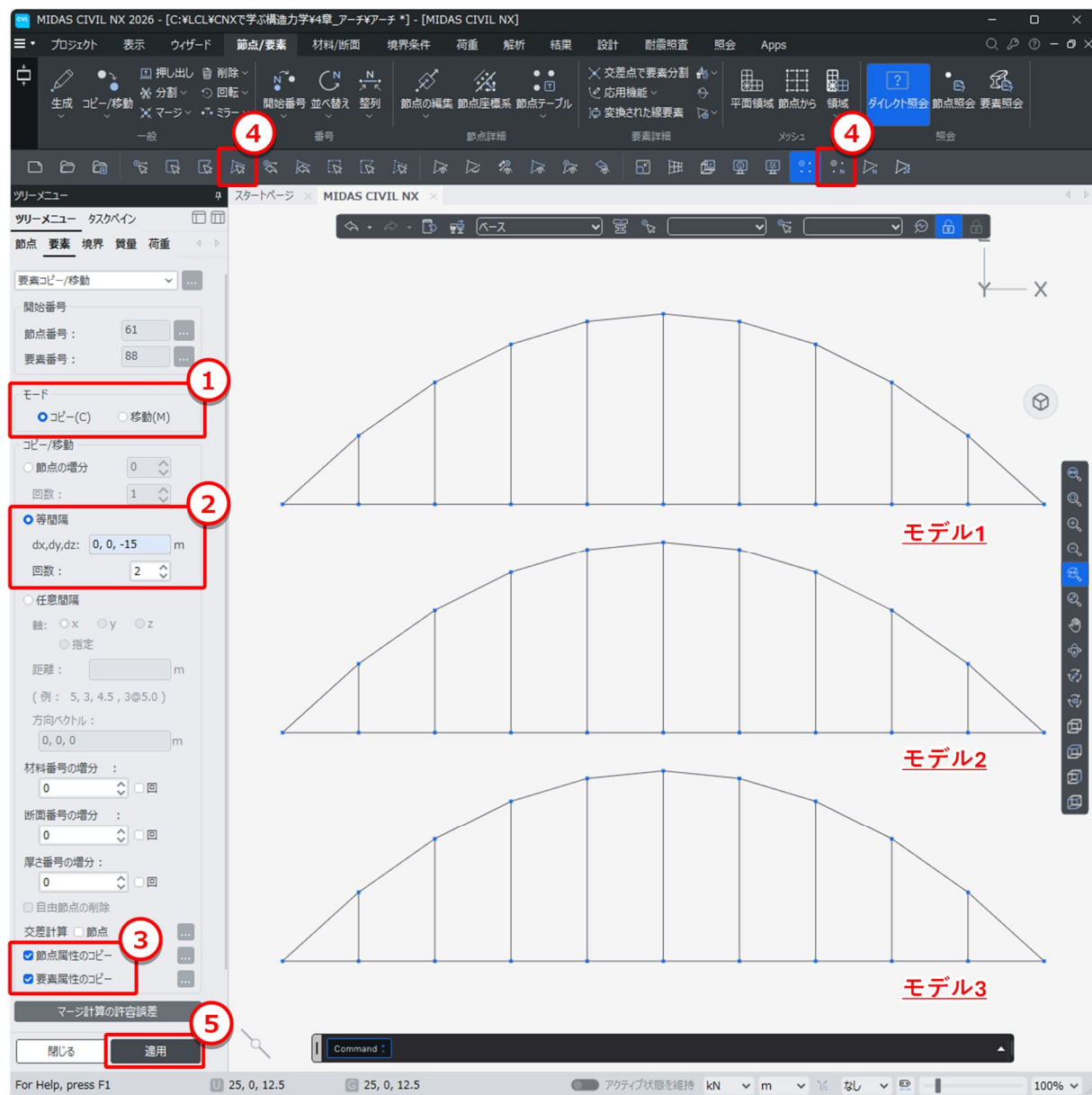


図 4.18 要素の複製

(4) モデルの修正

複製したアーチ（モデル2，モデル3）の高さを修正する。

メインメニュー：[節点/要素] > [節点詳細] > [節点の編集▼] > [スケール]

- ① [節点番号] をオンにする。
- ② 倍率>sfx に「1.0」，sfy に「1.0」，sfz に「4/5」を入力する。
- ③ 基準点で「指定」を選択し，「25,0,-15」を入力する。
- ④ 選択タイプで「画面から選択」を選択する。
- ⑤ [ ウィンドウで選択] をオンにして，節点 22～30 を選択する。
- ⑥ [適用] をクリックする。
- ⑦ 倍率>sfx に「1.0」，sfy に「1.0」，sfz に「4/7」を入力する。
- ⑧ 基準点で「指定」を選択し，「25,0,-30」を入力する。
- ⑨ 選択タイプで「画面から選択」を選択する。
- ⑩ [ ウィンドウで選択] をオンにして，節点 42～50 を選択する。
- ⑪ [適用] をクリックする。

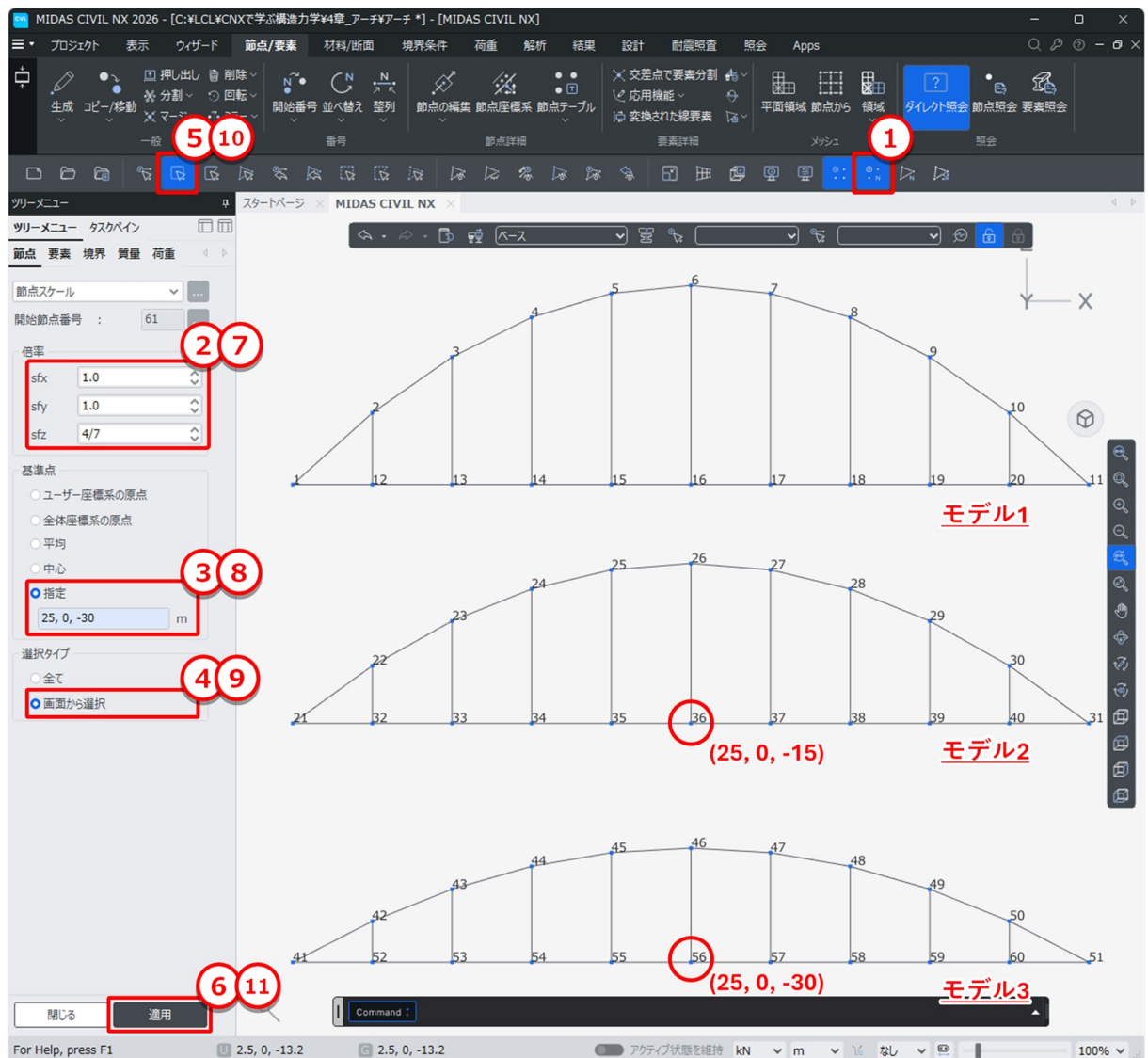


図 4.19 モデルの修正

4.2.7 構造解析の実行

構造解析モデリングが完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]

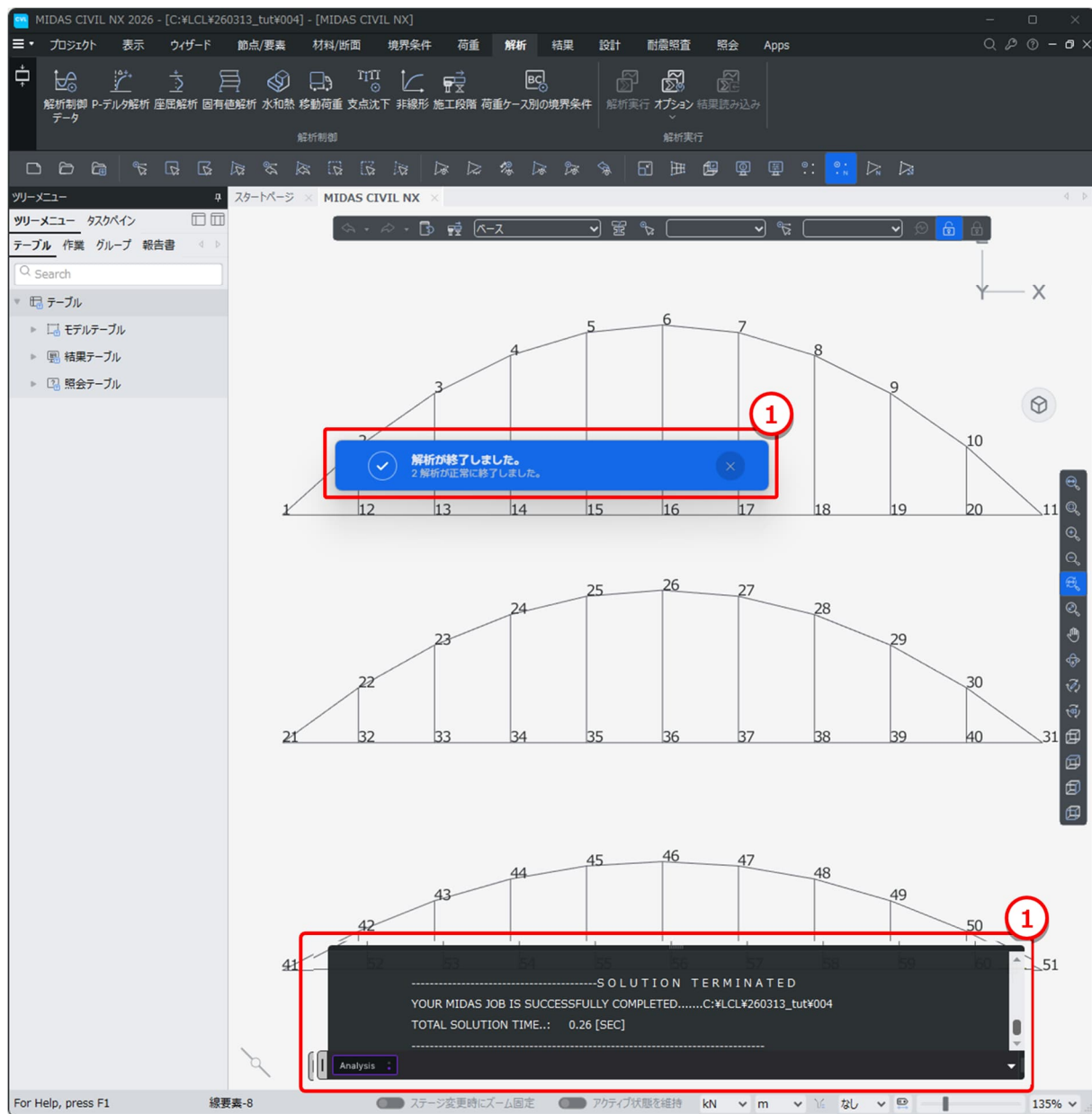


図 4.20 解析正常終了のメッセージ

4.2.8 解析結果の確認

(1) 変位及び変形

変形図を確認する。ここで、 $D_{XZ} = \sqrt{D_X^2 + D_Z^2}$ は X 方向および Z 方向の変位を合成した全変位量を表す。

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

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

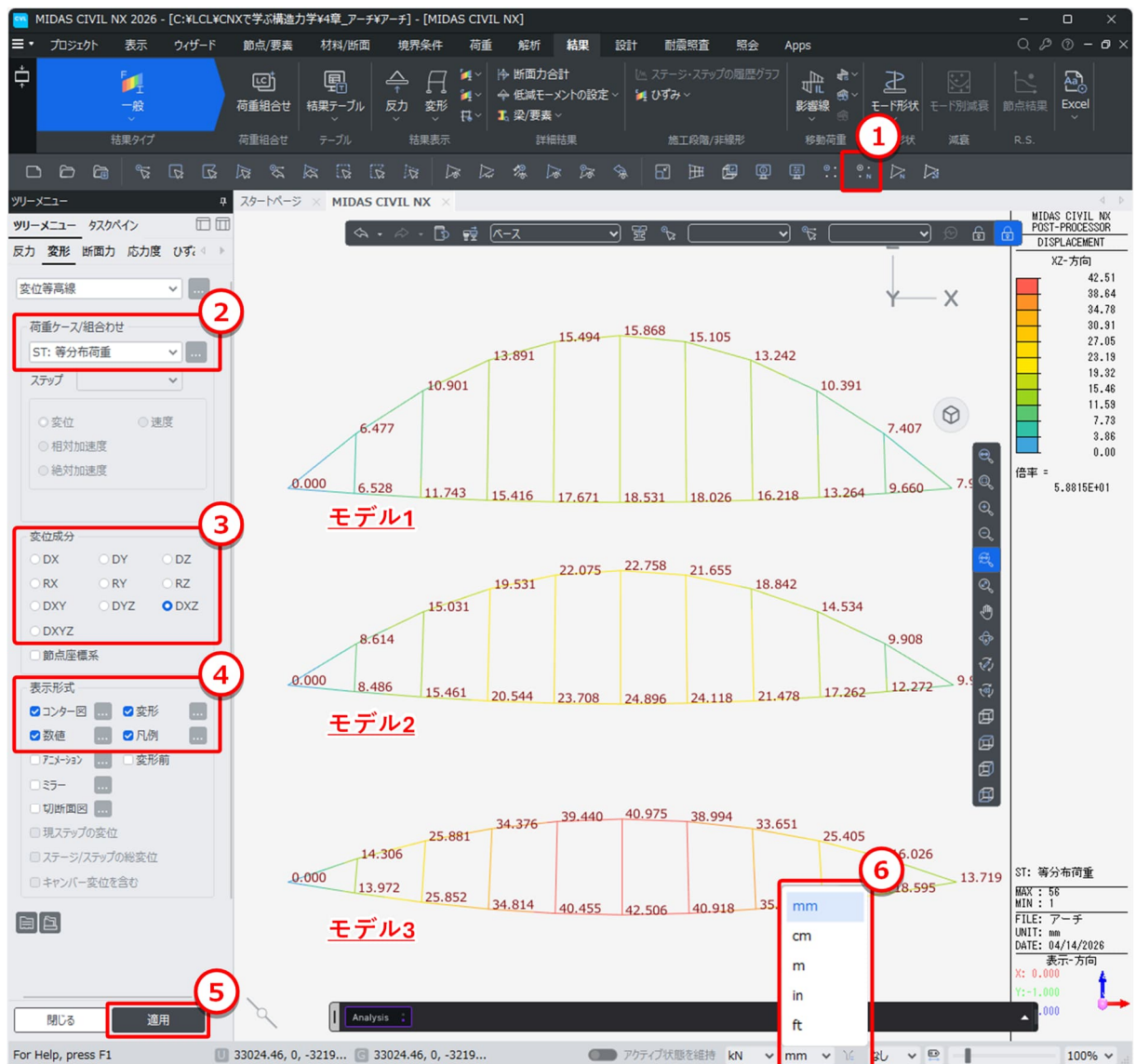


図 4.21 変形の結果

結果から、ライズ比が小さいほどたわみは大きくなる。

(2) 部材力

等分布荷重による軸力を確認する。

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 荷重ケース/組合せで「ST: 等分布荷重」を選択する。
- ② 断面力の成分で「Fx」を選択する。
- ③ 表示形式で「コンター図」, 「数値」, 「凡例」をオンにする。
- ④ [適用] をクリックする。

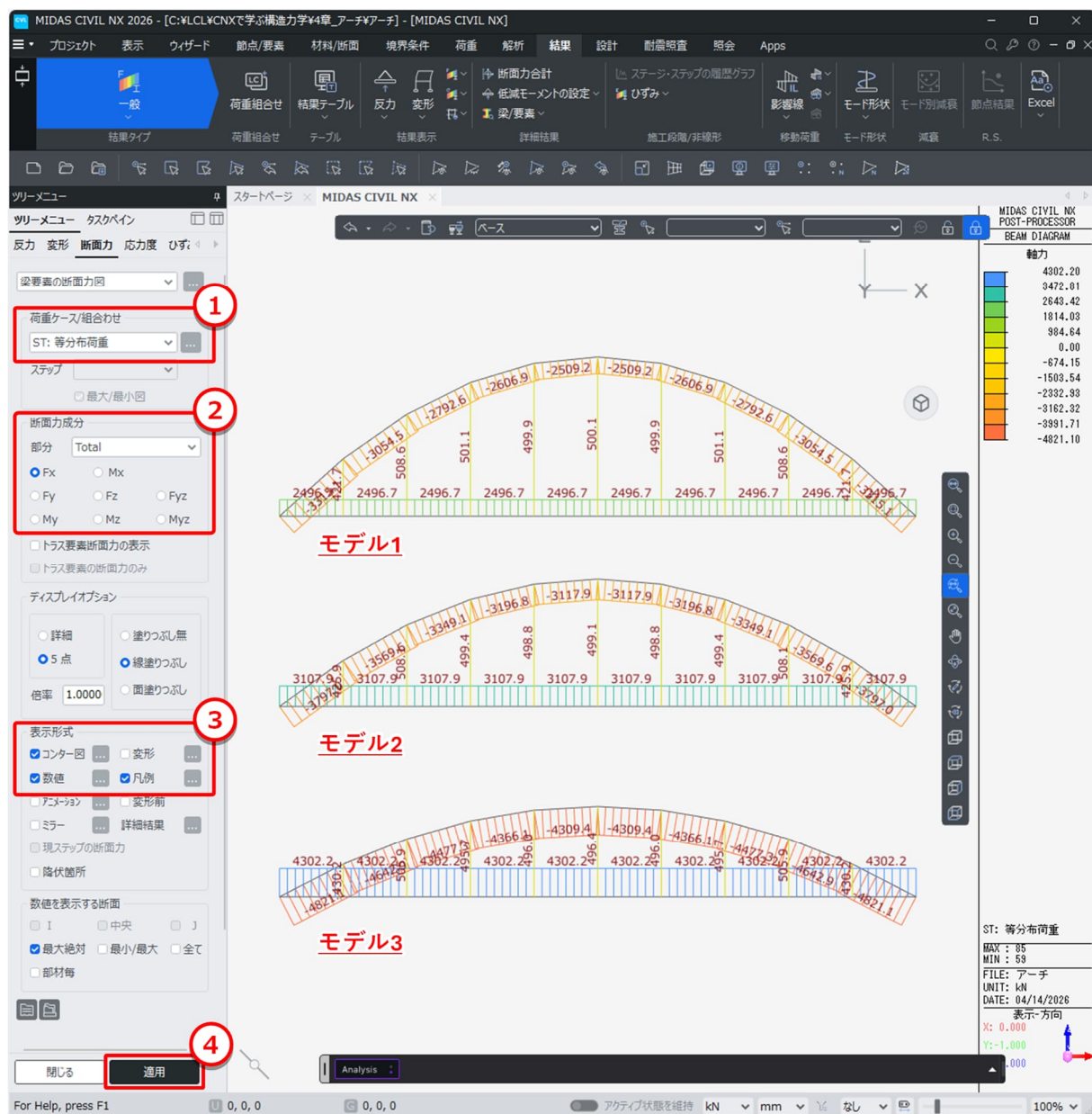


図 4.22 軸力の結果

結果から、ライズ比が小さいほど補強桁とアーチリブに生ずるアーチリブの圧縮軸力が大きくなることが分かる。

等分布荷重によ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単位を「m」に変更する。
- ② 断面力の成分で「My」を選択する。
- ③ [適用] をクリックする。

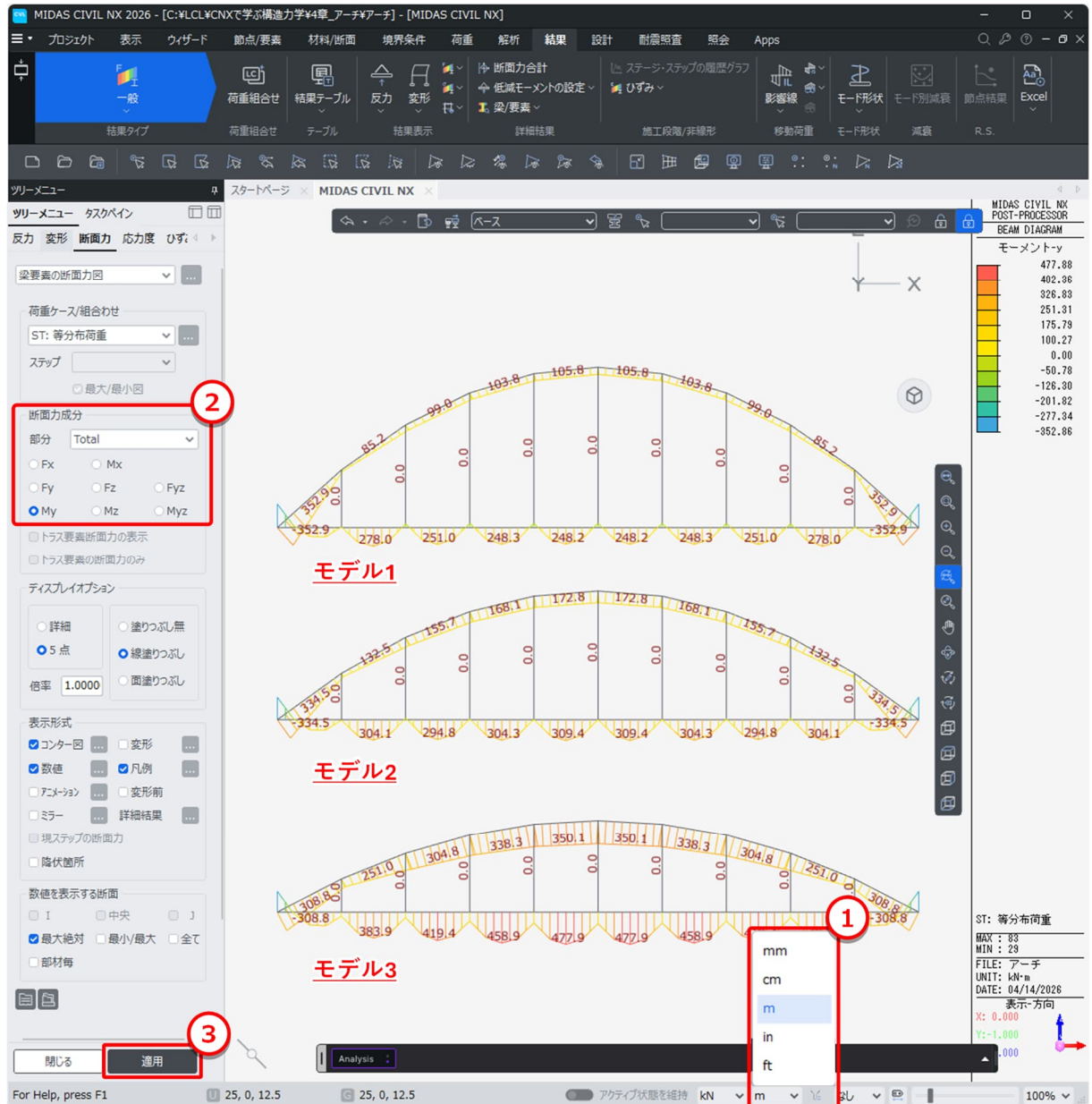


図 4.23 モーメントの結果

結果から、ライズ比が小さいほど曲げモーメントは大きくなる。

これは、ライズ比の変化によりアーチの軸力分布およびハンガーを介した荷重分布が変化し、補強桁に作用する外力条件が変わるためである。

4.3 構造計算の解説

4.3.1 力学的概念の理解及び数値計算

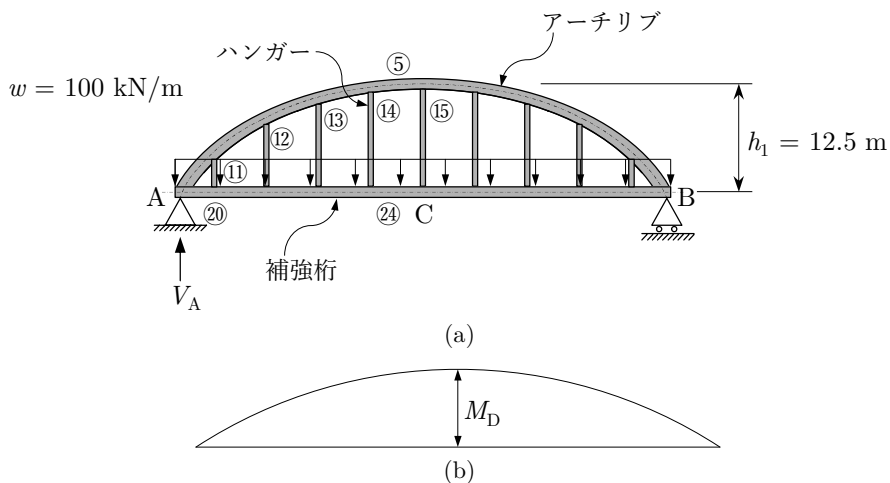


図 4.24 解析モデル

モデル 1 はアーチ形状を有するが、全体の荷重伝達の観点では、単純梁におけるモーメント分布と対応づけて理解することができる。

すなわち、単純梁では曲げモーメントとして抵抗される外力が、アーチ構造では上弦材（アーチリブ）の圧縮力と下弦材（補強桁）の引張力、およびそれらの鉛直距離によって抵抗される。

アーチ構造では、中央部に作用する曲げモーメントは、上弦材（アーチリブ部）と下弦材（桁部）に生じる軸力と、それらの間隔（アーチ高さ）によって抵抗される。

したがって、中央部のモーメントをアーチ高さで除した値は、理論的に上弦材および下弦材に生じる軸力と対応する。

次の表は図 4.24 に示す部材番号と各部材が受ける軸力（ N ），せん断力（ Q ），モーメント（ M ）などをまとめたものである。

表 4.1 断面力一覧

部材番号	N [kN]	Q [kN]	M [kN m]
②④	2496.743	—	-64.784
⑤	-2509.24	—	105.495
②⑩	—	310.204	—
①①	433.461	—	—
①②	505.076	—	—
①③	501.131	—	—
①④	500.052	—	—
①⑤	500.150	—	—

アーチ中央部における曲げモーメントと部材力との関係を検討するため、等分布荷重を受ける単純梁を想定する。このとき、中央点 C における曲げモーメント M_C および支点 A における反力 V_A は、それぞれ次式で与えられる。

$$M_C = \frac{wl^2}{8} = \frac{100 \times 50^2}{8} = 31,250 \text{ kN m} \quad (4.2)$$

$$V_A = \frac{wl}{2} = \frac{100 \times 50}{2} = 2,500 \text{ kN} \quad (4.3)$$

アーチ構造では、中央部の曲げモーメント M_C は、上弦材と下弦材に生じる軸力対によって抵抗される。したがって、曲げモーメント M_C をアーチ中央部の高さで除すことにより、対応する軸力を次のように評価できる。

$$N = \frac{M_C}{h} = \frac{31,250}{12.5} = 2,500 \text{ kN} \quad (4.4)$$

このようにして得られた軸力が、解析結果における部材番号 24 および 5 の軸力と完全には一致しない理由は、これらの部材が純粋な軸力のみならず、曲げモーメントも同時に負担しているためである。

そこで、部材番号 24 (桁) および部材番号 5 (アーチリブ) に作用する曲げモーメントの影響を考慮すると、部材番号 24 に生じる軸力とほぼ同等の値が得られることが確認できる。

$$N = \frac{M_C - M_5 - M_{24}}{h} = 2,496.743 \text{ kN} \quad (4.5)$$

また、上弦材である 5 番部材に生じる軸力を水平方向成分に分解して評価しても、同様の軸力が得られる。

さらに、支点 A における反力は、部材番号 20 のせん断力と、ハンガー部材 (部材 11～15) に生じる軸力の和として算定できる。この値は、等分布荷重を受ける単純梁における支点反力と一致することが確認できる。

$$V_A = Q_{20} + N_{11} + N_{12} + N_{13} + N_{14} + \frac{N_{15}}{2} = 2,500 \text{ kN} \quad (4.6)$$

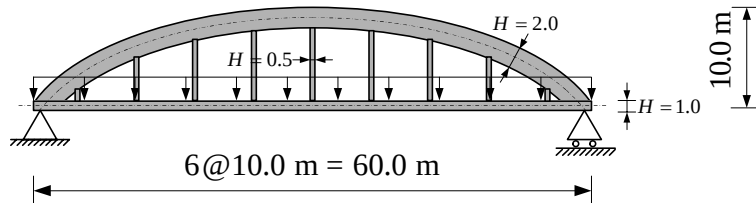
以上より、アーチ構造は主として圧縮力を通じて荷重を伝達し、単純梁の曲げモーメント図に対応した形で外力を支持する構造形式であることが分かる。

4.4 練習問題

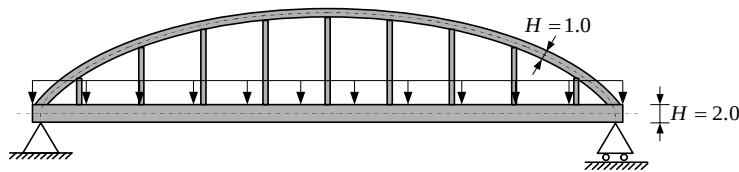
(1) 問題

下図のアーチ構造について、アーチリブと補強桁の剛性の違いが、構造物の変位、軸力及び曲げモーメントに及ぼす影響を比較せよ。

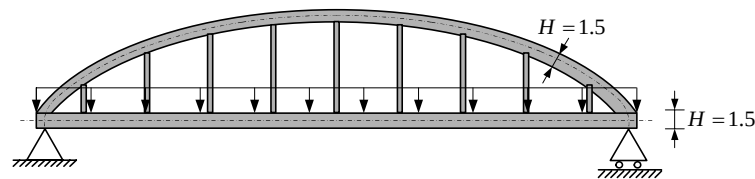
$$\omega = 100.0 \text{ kN/m}$$



(a) モデル A



(b) モデル B



(c) モデル C

図 4.25 解析モデル

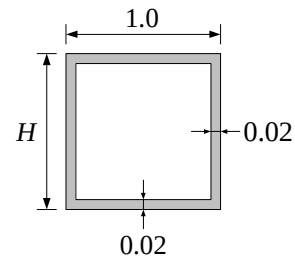


図 4.26 断面

➤ 材料（すべてのモデルに共通とする。）

鋼材：SM490

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

➤ 断面

モデル A

- ・アーチリブ : $\square 2,000 \times 2,000 \times 20 \text{ [mm]}$
- ・補強桁 : $\square 1,000 \times 1,000 \times 20 \text{ [mm]}$
- ・ハンガー : $H - 500 \times 200 \times 10 \times 16 \text{ [mm]}$

モデル B

- ・アーチリブ : $\square 1,000 \times 1,000 \times 20 \text{ [mm]}$
- ・補強桁 : $\square 2,000 \times 2,000 \times 20 \text{ [mm]}$
- ・ハンガー : $H - 500 \times 200 \times 10 \times 16 \text{ [mm]}$

モデル C

- ・アーチリブ : $\square 1,500 \times 1,500 \times 20 \text{ [mm]}$
- ・補強桁 : $\square 1,500 \times 1,500 \times 20 \text{ [mm]}$
- ・ハンガー : $H 500 \times 200 \times 10 \times 16 \text{ [mm]}$

(2) 解説

本問題では、アーチリブと補強桁の断面剛性を変化させ、剛性配分の違いが変位、軸力および曲げモーメントに及ぼす影響を比較する。

モデル A は、アーチリブの剛性が補強桁より大きいモデルである。この場合、鉛直荷重はハンガーを介してアーチリブへ伝達されやすく、アーチリブの圧縮軸力による荷重負担が相対的に大きくなる傾向を示す。一方、補強桁の剛性は小さいため、補強桁単独で鉛直荷重に抵抗する割合は相対的に小さくなる。

モデル B は、補強桁の剛性がアーチリブより大きいモデルである。この場合、補強桁が梁として鉛直荷重に抵抗する割合が相対的に大きくなり、補強桁に生じる曲げモーメントの影響が大きくなる傾向を示す。一方、アーチリブへの荷重分担はモデル A とは異なり、アーチリブの軸力および曲げモーメントの分布も変化する。

モデル C は、アーチリブと補強桁の剛性が同程度のモデルである。このため、モデル A およびモデル B と比較して、アーチリブと補強桁の荷重分担が極端に偏りにくいモデルであると考えられる。

以上より、アーチ構造では、アーチリブと補強桁の剛性配分によって、荷重の伝達経路、変位性状、軸力分布および曲げモーメント分布が変化する。アーチリブの剛性が大きい場合にはアーチ作用による荷重負担が大きくなり、補強桁の剛性が大きい場合には梁としての抵抗が相対的に大きくなる。したがって、アーチリブと補強桁の剛性配分は、アーチ構造の力学的挙動を支配する重要な要因である。

表 4.2

項目	モデル A	モデル B	モデル C
アーチリブの剛性	大	小	中
補強桁の剛性	小	大	中
主な抵抗傾向	アーチ作用が卓越しやすい	補強桁の梁作用が卓越しやすい	荷重分担が偏りにくい
軸力分布	アーチリブ圧縮力の影響が大きい傾向	補強桁側の負担が相対的に増える傾向	両者の中間的傾向
曲げモーメント分布	補強桁曲げが抑制されやすい	補強桁曲げが大きくなりやすい	両者の中間的傾向