

せん断パネル型制震ストッパー
設計計算例

平成26年4月

制震ストッパー技術委員会

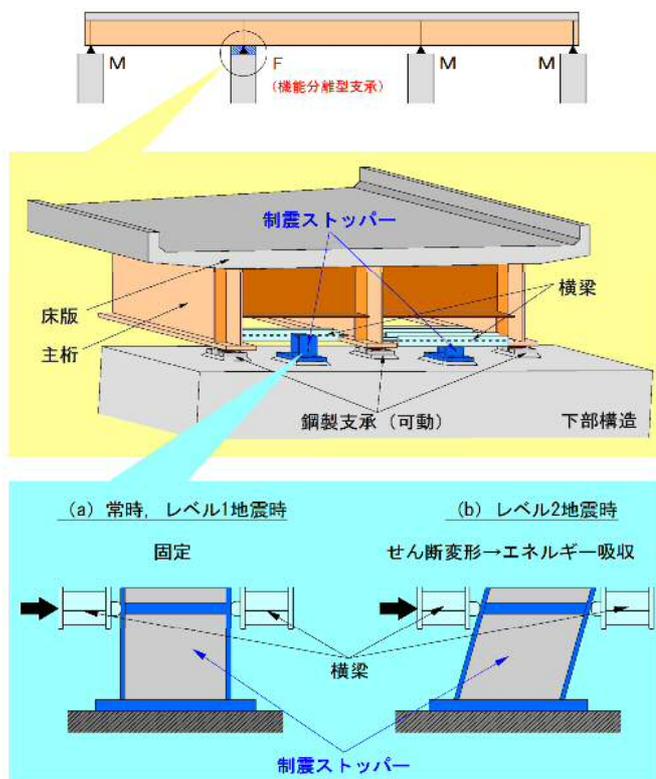
	Page
はじめに	1
1. 設計条件	2
2. 設計フロー	3
3. レベル1地震時反力の算出	4
4. 制震ストッパーの選定	5
5. 制震ストッパーの設置検討	6
6. 設計曲線の作成	9
7. 動的解析（時刻歴応答解析）	11
7.1 TDAPⅢの場合	12
7.1.1 解析モデルへの組み込み	12
7.1.2 固有値解析	14
7.1.3 自重解析	16
7.1.4 動的解析	17
7.2 DYNA2Eの場合	19
7.2.1 解析モデルへの組み込み	19
7.2.2 固有値解析	20
7.2.3 自重解析	23
7.2.4 動的解析	24
8. 解析結果の照査	26
9. 上部工側取り付け部の計算	31
9.1 横梁形式の場合	31
9.2 ブラケット形式の場合	34
10. 下部工側取り付け部の計算	38
10.1 現場溶接接合の場合	38
10.2 アンカーボルト接合の場合	39
10.3 下部工付きブラケットの場合	41
付録	
1. 設計曲線算出シート	46
2. 累積塑性変形倍率算出シート	47

はじめに

せん断パネル型制震ストッパー（以下、制震ストッパー）は、低降伏点鋼を用いたせん断降伏型の履歴型ダンパーです。制震ストッパーは、下図のように、橋梁の固定支承部分に設置し、可動支承と組み合わせて用います。鉛直荷重に対しては支承で支持し、制震ストッパーは水平荷重のみ支持する構造とします。また、制震ストッパーはベースプレートを下部構造に固定し、上部構造に設置した横梁で挟み込む設置方式を基本としています。

耐震設計における制震ストッパーの機能としては2種類あります。常時・レベル1地震時までは固定支承として機能し、レベル2地震時には低降伏点鋼板を使用したせん断パネルが塑性化し、制震部材としてエネルギーを吸収します。

本設計例では既設橋の耐震補強を例に、『制震ストッパーの標準寸法および設計曲線一覧』より制震ストッパーを選定し適用する設計計算を行います。



制震ストッパーのイメージ

※ 本設計例では最も基本的な適用方法を記述しています。

可動橋脚への設置や橋軸直角方向に設置する方法など本設計例以外の適用も可能です。

詳細は制震ストッパー技術委員会へお問い合わせください。

1. 設計条件

本設計例では制震ストッパーを2径間連続鋼桁橋（既設橋）であるA橋に設置した場合の設計計算を行います。新設橋の場合の設計計算も同様に行うことができます。設計例に使用した橋梁の概略図を図1-1に示します。

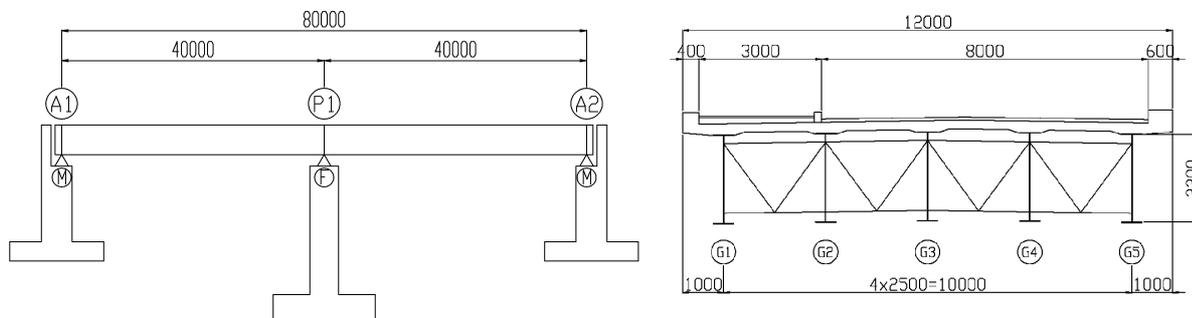


図1-1 A橋 概略図

1.1 諸元

橋梁形式 : 2径間連続鋼桁橋
 支間長 : 2 @ 40.0 m
 地域区分 : A地域 地域補正係数 $c_z = 1.00$
 地盤種別 : II種地盤
 設計方向 : 橋軸方向（橋直方向はバル2までサイドブロックにより固定）
 上部工重量 : 12,350 kN

1.2 耐震性能

制震ストッパーは、常時・レベル1地震時までは固定機能を有し、レベル2地震時にはせん断パネルが塑性化しエネルギーを吸収する減衰機能を有します。そのため、耐震性能は表1-1を満たす必要があります。

表1-1 制震ストッパーの耐震性能

	レベル1	レベル2
制震ストッパー	$Q_d \leq S_{L1}$	$\delta_{\max} \leq \delta_{pu}$ $\sum \eta_u / \sum \eta_d \geq 3.0$

Q_d : レベル1地震時の設計水平反力
 S_{L1} : 制震ストッパーのレベル1地震時耐力
 δ_{\max} : 最大水平変位
 δ_{pu} : 限界変位
 $\sum \eta_u$: 累積塑性変形倍率
 $\sum \eta_d$: 設計累積塑性変形倍率

2. 設計フロー

制震ストッパーの設計フローは図2-1のとおりです。動的解析部分の設計計算は吹き出し内の手順により行います。

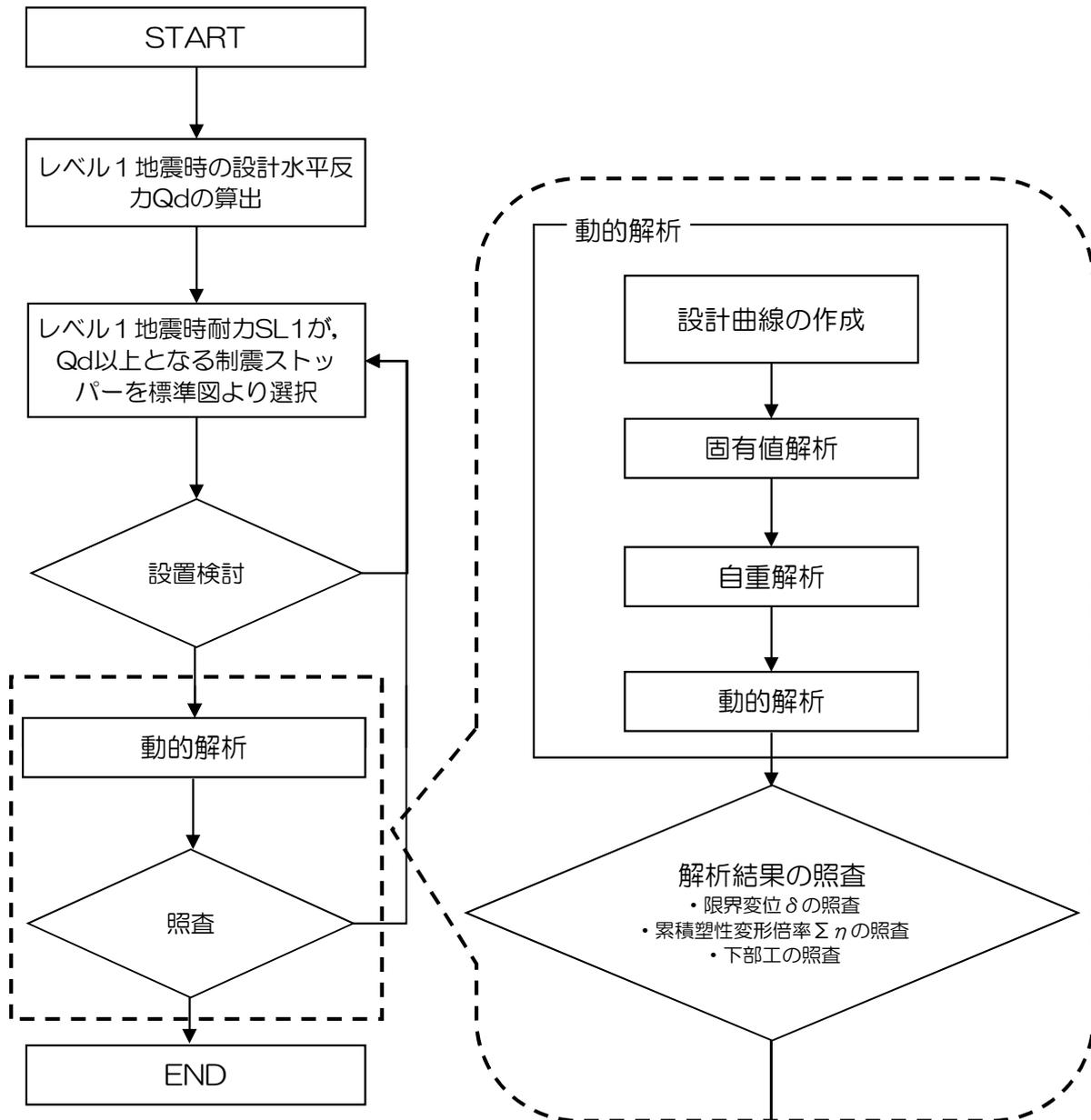


図2-1 制震ストッパーの設計フロー

3. レベル1地震時反力の算出

3.1 レベル1地震動の設計水平震度

図3-1（道路橋示方書V 耐震設計編）よりレベル1地震動の設計水平震度 k_{h0} を設定します。

$$k_{h0} = 0.25 \quad (\text{II種地盤より})$$

地域補正係数 c_z は1.1より

$$c_z = 1.00$$

表-6.3.1 レベル1地震動の設計水平震度の標準値 k_{h0}

地盤種別	固有周期 T (s) に対する k_{h0} の値		
I種	$T < 0.1$ $k_{h0} = 0.431 T^{1/3}$ ただし、 $k_{h0} \geq 0.16$	$0.1 \leq T \leq 1.1$ $k_{h0} = 0.20$	$1.1 < T$ $k_{h0} = 0.213 T^{-2/3}$
II種	$T < 0.2$ $k_{h0} = 0.427 T^{1/3}$ ただし、 $k_{h0} \geq 0.20$	$0.2 \leq T \leq 1.3$ $k_{h0} = 0.25$	$1.3 < T$ $k_{h0} = 0.298 T^{-2/3}$
III種	$T < 0.34$ $k_{h0} = 0.430 T^{1/3}$ ただし、 $k_{h0} \geq 0.24$	$0.34 \leq T \leq 1.5$ $k_{h0} = 0.30$	$1.5 < T$ $k_{h0} = 0.393 T^{-2/3}$

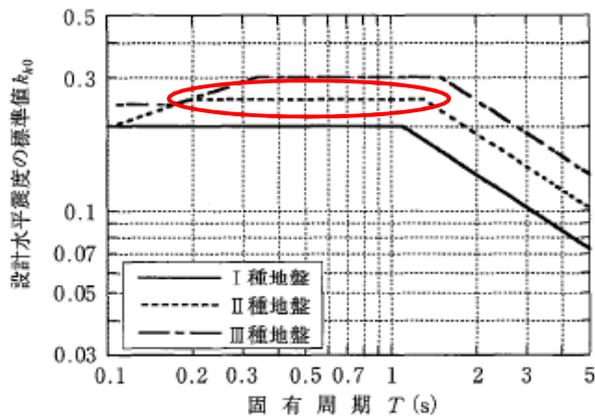


図-解6.3.1 レベル1地震動の設計水平震度の標準値 k_{h0}

※『道路橋示方書V（耐震設計編）（H24）6.3』より

図3-1 レベル1設計水平震度 k_{h0}

3.2 設計水平力

レベル1設計水平震度 K_{h0} より設計水平力 Q_d を求めます。

$$\text{上部工重量 } W = 12350 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{設計水平力 } Q_d &= W \times k_{h0} \times c_z \\ &= 12350 \times 0.25 \times 1.00 \\ &= 3088 \text{ kN} \end{aligned}$$

4. 制震ストッパーの選定

橋梁に設置できる制震ストッパーの個数と設計水平地震力より、制震ストッパーを選定します。『制震ストッパーの標準寸法および設計曲線一覧』（図4-2参照）より、レベル1地震時耐力 S_{L1} が設計水平地震力 Q_d 以上となる制震ストッパーを選定します。

4.1 ストッパー設置個数の決定

まず、制震ストッパーの個数を決定します。A橋において制震ストッパーは固定脚上、主桁間4箇所（図4-1参照）に設置します。ストッパーの個数は4個となります。

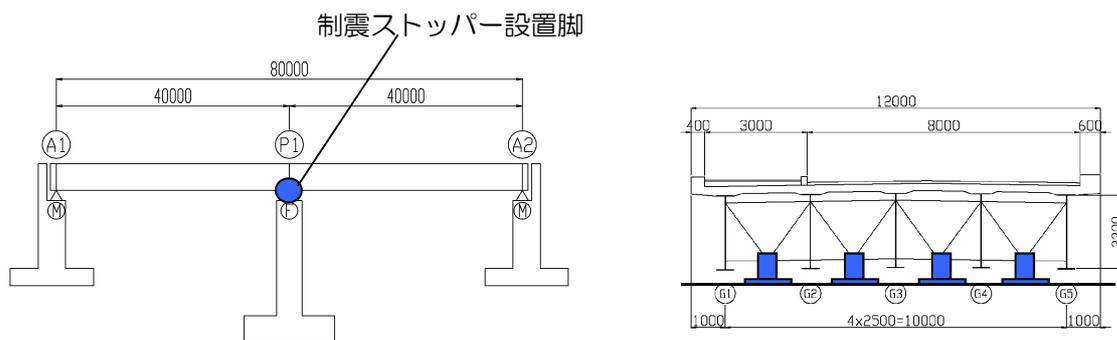


図4-1 制震ストッパーの設置箇所

4.2 制震ストッパー1個当たりの設計水平地震力の計算

制震ストッパー1個あたりの設計水平地震力 Q_d' を計算します。「3.2設計水平力」より、

$$Q_d' = Q_d / 4 = 3088 / 4 = 772 \text{ kN}$$

4.3 制震ストッパーの選定

図4-2より、レベル1地震時耐力 S_{L1} が設計水平地震力 Q_d' (=772kN) 以上となる制震ストッパーを選定します。A橋では、タイプ1000-M400 ($S_{L1}=1008.7\text{kN} \geq Q_d'$) を選定します。

設計反力	P_d (kN)	200	400	40	1000	
呼称		200-H200	400-H300	400-M2	1000-L300	1000-L350
寸法	ストッパー全幅 B_s (mm)	304	418	35	418	474
	荷重作用高さ H (mm)	314.5	442.5	382	460	520
	ストッパーかかり長 H_c (mm)	82.5	82.5	62	95	95
	ストッパー全高 H_b (mm)	377	505	44	555	615
	フランジ幅 B_f (mm)	200	280	23	280	320
	ベースプレート長さ L_b (mm)	324	438	37	438	494
	ベースプレート幅 B_b (mm)	300	380	33	380	420
	ベースプレート厚 t_b (mm)	32	50	50	60	60
	溶接サイズ s (mm)	6	7	7	12	13
	耐力・変位	L1地震時耐力 ($S_{wy} \times 1.5/1.7$) S_{L1} (kN)	206.3	481.4	401	825.3
せん断パネルせん断降伏耐力 S_{wy} (kN)		233.8	545.6	454	935.3	1143.2
フランジ全塑性耐力 S_{fu} (kN)		303.1	705.0	556	1123.2	1377.4
制震ストッパー限界耐力 S_{12} (kN)		448.8	1047.4	837	1710.2	2090.1
せん断パネルせん断降伏変位 δ_{wy} (mm)		0.338	0.507	0.42	0.507	0.591
フランジ全塑性変位 δ_{fu} (mm)		2.958	4.204	3.96	4.204	4.942
制震ストッパー限界変位 δ_{pu} (mm)		24	36	30	36	42
重量	W_b (kg)	54	139	94	176	234

※『制震ストッパーの標準寸法および設計曲線一覧』より引用

図4-2 制震ストッパーの選定とレベル1地震耐力

制震ストッパーのタイプの選定では、桁下空間及び桁遊間に余裕がある場合は、エネルギー吸収性能からパネルサイズの大きいモデル（Hタイプ）を採用することが望ましいです。

5. 制震ストッパーの設置検討

「4. 制震ストッパーの選定」で選定した制震ストッパーが橋梁に設置できるサイズであることを確認します。

具体的には以下の項目について確認します。

- ・ 設置空間は確保できているか（フレームもストッパーの角鋼の位置に設置可能か）？
- ・ アンカーボルトは下部工鉄筋を避けられる位置に設置できるか？
- ・ 『せん断パネル型制震ストッパー設計・施工要領』9. 3の手順で施工した場合、既設構造物と干渉しないか？

5.1 ストッパーサイズの確認

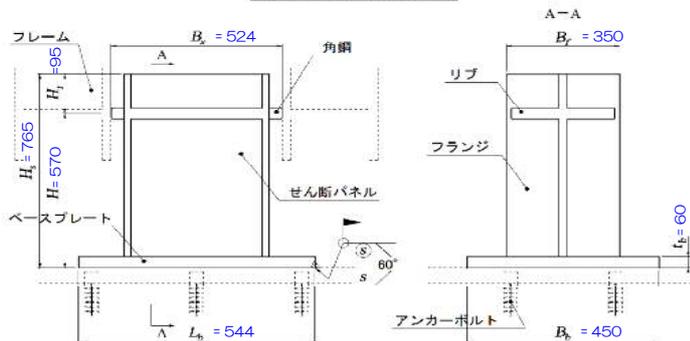
選定した制震ストッパーのサイズは『制震ストッパーの標準寸法および設計曲線一覧』（図5-1参照）より確認できます。

設計反力		200			40		
呼称	P _d (kN)	200-	400-	400-	1000-	1000-	1000-
		H200	H300	M2	H450	M400	L350
ストッパー全幅	B _s (mm)	304	418	35	418	524	474
荷重作用高さ	H (mm)	314.5	442.5	382	460	570	520
ストッパーかかり長	H _r (mm)	62.5	62.5	62	95	95	95
ストッパー全高	H _s (mm)	377	505	44	555	665	615
フランジ幅	B _f (mm)	200	280	23	280	350	320
ベースプレート長さ	L _b (mm)	324	438	37	438	544	494
ベースプレート幅	B _b (mm)	300	380	33	380	450	420
ベースプレート厚	t _b (mm)	32	50	50	60	60	60
溶接サイズ	s (mm)	6	7	7	12	12	13
耐力・変位							
11地震時耐力 (S _{wy} × 1.5/1.7)	S _{L1} (kN)	206.3	481.4	401	825.3	1083.2	1008.7
せん断パネルせん断降伏耐力	S _{wy} (kN)	233.8	545.6	454	935.3	1227.6	1143.2
フランジ全塑性耐力	S _{fu} (kN)	303.1	705.0	556	1123.2	1528.7	1391.3
制震ストッパー限界耐力	S ₁₂ (kN)	448.8	1047.4	837	1710.2	2284.8	2094.4
せん断パネルせん断降伏変位	δ _{wy} (mm)	0.338	0.507	0.42	0.507	0.760	0.675
フランジ全塑性変位	δ _{fu} (mm)	2.958	4.204	3.96	4.204	7.189	6.455
制震ストッパー限界変位	δ _{pu} (mm)	24	36	30	36	54	48
重量	W _s (kg)	54	139	94	176	343	276

選定した制震ストッパー

制震ストッパーのサイズ

制震ストッパーの寸法記号



※『制震ストッパーの標準寸法および設計曲線一覧』より引用

図5-1 選定した制震ストッパーのサイズ

図5-1は制震ストッパーのベースプレートを下部構造のベースプレートに現場溶接する方式ですが、制震ストッパーのベースプレートに直接アンカーボルトを取り付ける方式も可能です。

5.2 設置方法の検討

設置方法としては図5-2の形式が挙げられます。

	橋梁形式	下部工橋脚形式
構造図		
構造概要	せん断パネルは下部工に設置。水平力はせん断パネルを挟むフレームにより分担する。	せん断パネルは下部工に設けた模製ブラケットに設置。水平力は、上部工に設けたフレームで分担。
メリット	単純桁などの小水平力はコンパクトな橋梁で構成可能	桁下空間が低い場合に適用できる 上部工のアレームを小型化できる
デメリット	大水平力ではラーメンフレーム形式とする必要がある。	量産性に劣る

※『せん断パネル型制震ストッパー設計・施工要領』より引用

図5-2 制震ストッパーの設置方法

A橋では固定脚天端上において、制震ストッパー、フレームの設置空間が十分確保できるため、横梁形式を採用します。図5-3のように制震ストッパーを固定脚天端上に設置します。フレームは主桁ウェブに取り付け、制震ストッパーを横梁で挟み込みます。

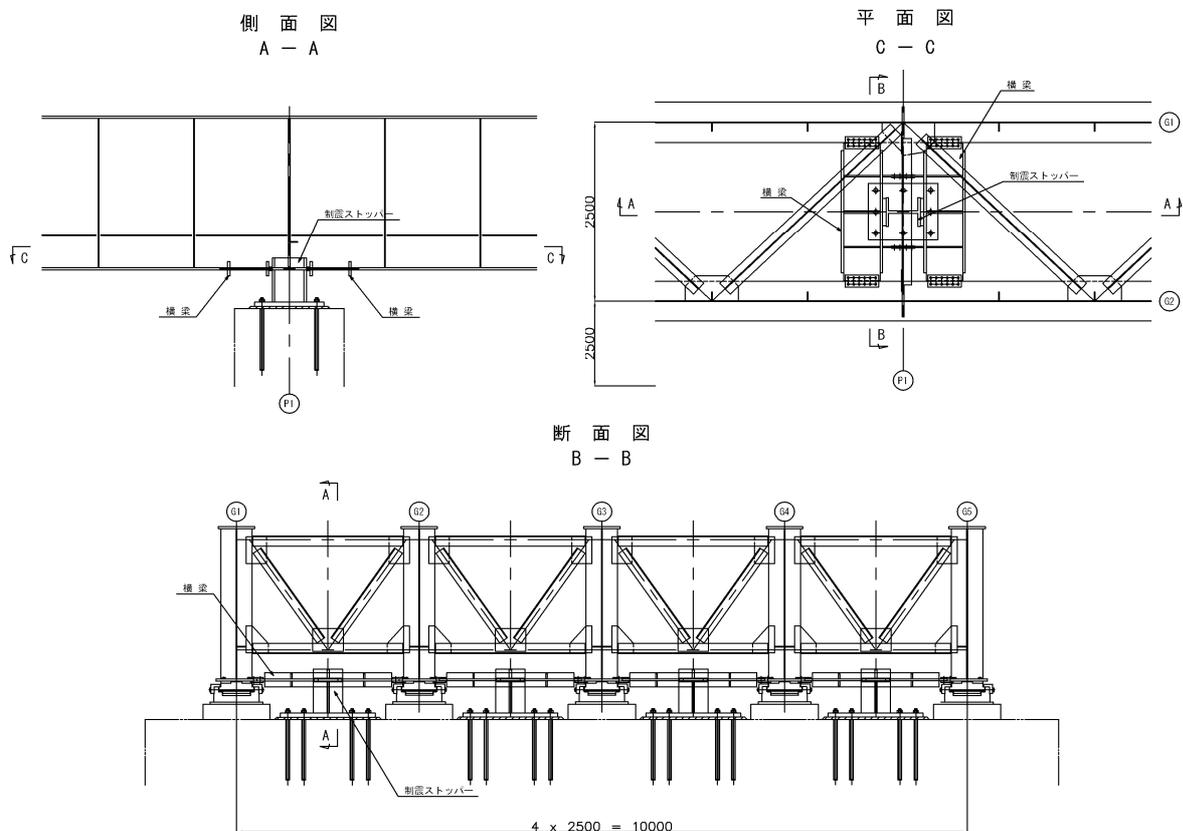
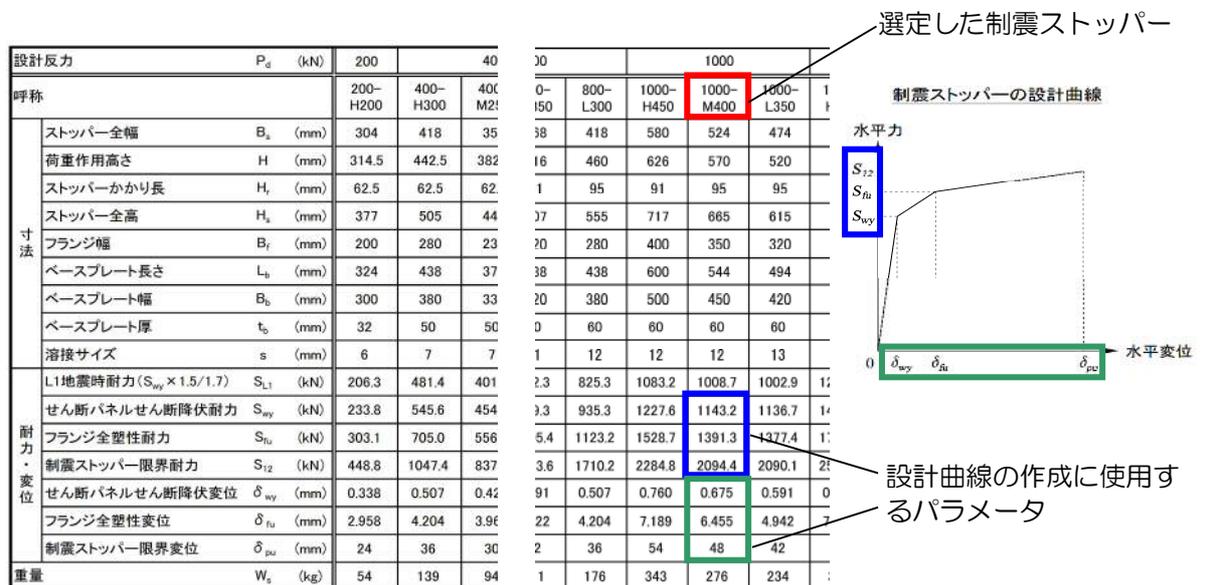


図5-3 A橋における制震ストッパーの設置箇所

6. 設計曲線の作成

制震ストッパーはせん断パネルのせん断降伏及びフランジ全塑性時を変曲点とする，トリリニア型の非線形ばねによりモデル化します．選定した制震ストッパーに対し，『制震ストッパーの標準寸法および設計曲線一覧』（図6-1）より，設計曲線を作成します．図6-1で示される耐力は制震ストッパー1個当たりの耐力となっています．



※ 『制震ストッパーの標準寸法および設計曲線一覧』より引用

図6-1 選択した制震ストッパーの設計パラメータ

※ 用語の説明

- せん断パネルせん断降伏耐力（変位）

制震ストッパーのせん断パネルであるLY材がせん断降伏するときの荷重集中点の水平力（変位）です。

- フランジ全塑性耐力（変位）

制震ストッパーのフランジ基部が全塑性するときの水平力（変位）です。

- 制震ストッパー限界耐力（変位）

制震ストッパーのせん断変形量12%のときの水平力（変位）です。「12%」は十分なエネルギー吸収性能を有する限界変形量として決定されています。

図6-1より、「4. 制震ストッパーの選定」において選定したタイプのストッパー1個当たりの変位，耐力は以下のとおりになります。

せん断パネルせん断降伏変位 (◆)	$\delta wy =$	0.675 mm
フランジ全塑性変位 (■)	$\delta fu =$	6.455 mm
制震ストッパー限界変位 (●)	$\delta pu =$	48.0 mm
せん断パネルせん断降伏耐力	$Swy =$	1143.2 kN
フランジ全塑性耐力	$Sfu =$	1391.3 kN
制震ストッパー限界耐力	$S12 =$	2094.4 kN

動的解析では制震ストッパーは1つのバネ要素でモデル化するため、 $n=4$ 個分の設計曲線が必要となります。設置個数である制震ストッパー4個当たりの設計曲線は、ストッパー1個当たりの耐力を4倍することで得られます。（※1つのストッパーを1つのバネ要素でモデル化することも可能です。）

制震ストッパー $n=4$ 個あたりの耐力

せん断パネルせん断降伏耐力 (◆)	$Swy =$	4572.8 kN
フランジ全塑性耐力 (■)	$Sfu =$	5565.2 kN
制震ストッパー限界耐力 (●)	$S12 =$	8377.6 kN

以上より、ストッパー $n=4$ 個分の設計曲線は図6-2のようになります。

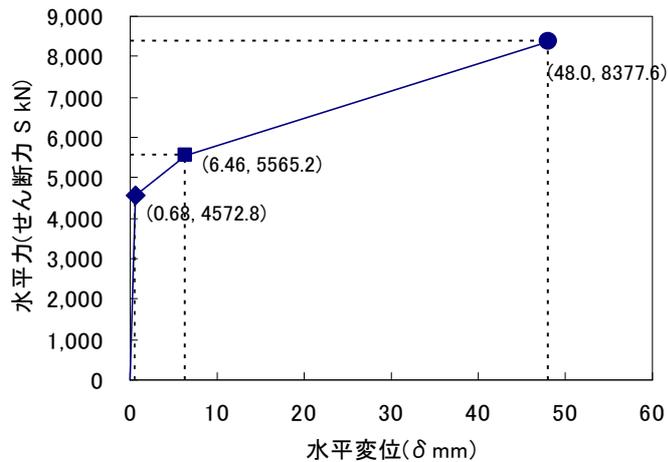


図6-2 A橋の動的解析に用いる制震ストッパーの設計曲線

7. 動的解析(時刻歴応答解析)

設計した制震ストッパーを動的解析モデルに組み込みます。制震ストッパーは固定沓部分に2重節点で入力します。要素は非線形バネ要素とします。非線形特性は「6. 設計曲線の作成」で作成した設計曲線のとおりです。

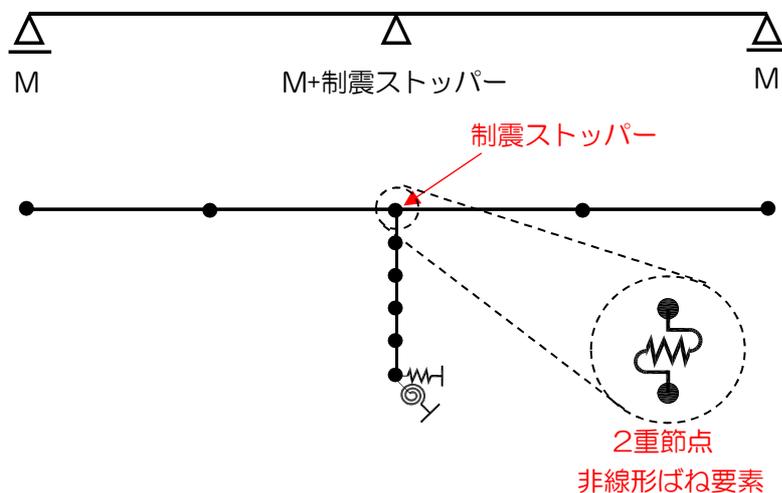


図7-1 解析モデルへの制震ストッパー要素の組み込み

解析に入力する要素特性、非線形特性データは設計曲線より算出できます。次頁よりT-DAPⅢ, DYNA2Eの場合についてその入力方法について例を示します。

7.1 TDAPⅢの場合

TDAPⅢでは、図 7-1-1 のプロジェクト管理に示す『構造入力』にてインプットデータの作成を行います。ストッパーのモデル化および材料特性や要素特性以外の入力方法については、通常行われている固有値解析と同様の為、本設計例では省略します。

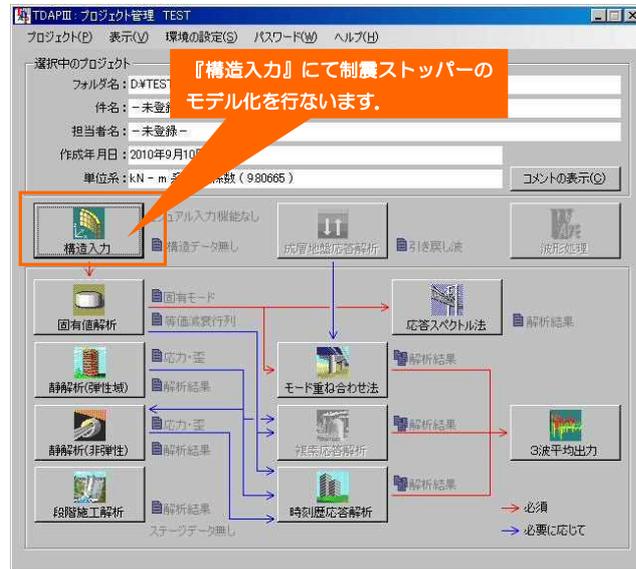


図 7-1-1 『構造入力』の選択 (TDAPⅢプロジェクト管理画面)

7.1.1 解析モデルへの組み込み

制震ストッパー (図-7.1.2) のモデル化はバネ要素 (SPRING) にて行います。構造入力ウィンドウ内の『要素』の『バネ系要素』、『バネ要素』を選択 (図 7-1-3 参照) します。そして、要素定義する節点番号ならびに自由度を入力します。制震ストッパーは、上部工と下部工の節点をバネ要素 (SPRING) で結合してモデル化します。

次はバネ要素の要素特性 (PSPRING) の入力です。構造入力ウィンドウ内の『要素特性』の『バネ系要素特性』を選択 (図 7-1-4 参照) します。要素特性は非線形材料特性番号、バネ定数および減衰比の入力を行います。ここでバネ定数は制震ストッパーの1次剛性 (= $Swy / \delta wy$) を入力します。この値は、付録の設計曲線算出シートで計算できます。また減衰比は0と設定します。これは、制震ストッパーの1次剛性が非常に高く、この1次剛性に比例した構造減衰と履歴減衰を見込んでしまうと過剰に減衰を見込んだ解析結果となってしまう危険側の解析となってしまうためです。

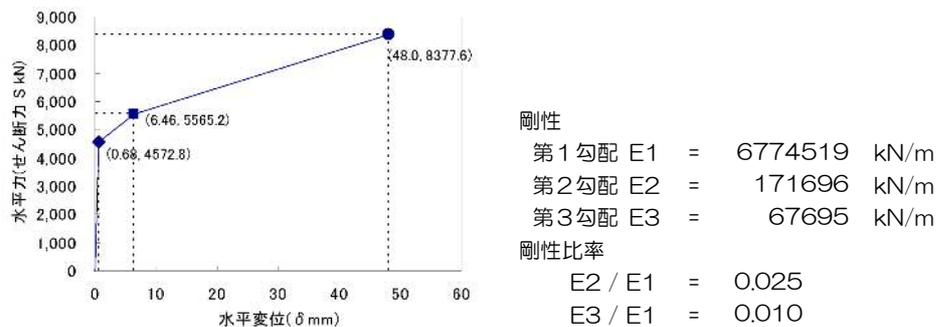


図-7.1.2 制震ストッパーの履歴曲線



図 7-1-3 バネ要素の入力

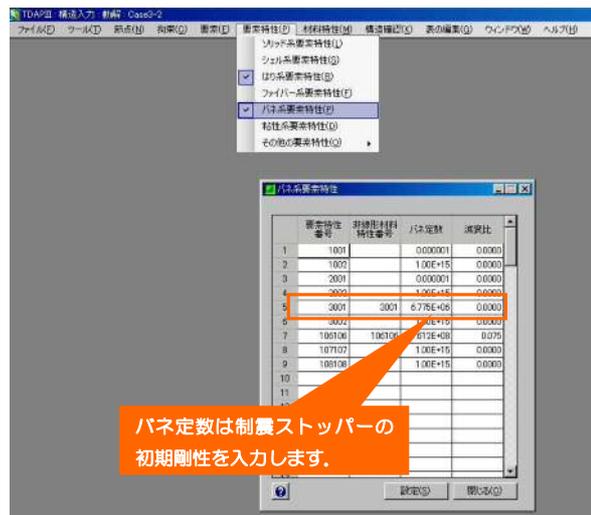


図 7-1-4 バネ要素の要素特性の入力

最後にバネ要素の非線形材料特性（MATNL1）の入力です。制震ストッパーはトリリニア型の非線形バネによりモデル化する必要があります。構造入力ウィンドウ内の『材料特性』の『非線形材料特性（その他）』を選択（図 7-1-5 参照）します。非線形特性の入力には、『第 1, 2 降伏点歪み』の入力および『剛性低下率 1, 2』の入力があります。ここでは、『第 1, 2 降伏点歪み』にはせん断パネルせん断降伏変位 δ_{wy} およびフランジ全塑性変位 δ_{fu} を、『剛性低下率 1, 2』にはせん断パネル降伏時の剛性変化率（2次剛性/初期剛性）、フランジ全塑性時の剛性変化率（3次剛性/初期剛性）を入力します。

第 1, 2 降伏点歪み、剛性低下率 1, 2 についても、1 次剛性と同様に設計曲線算出シートで算出できます。

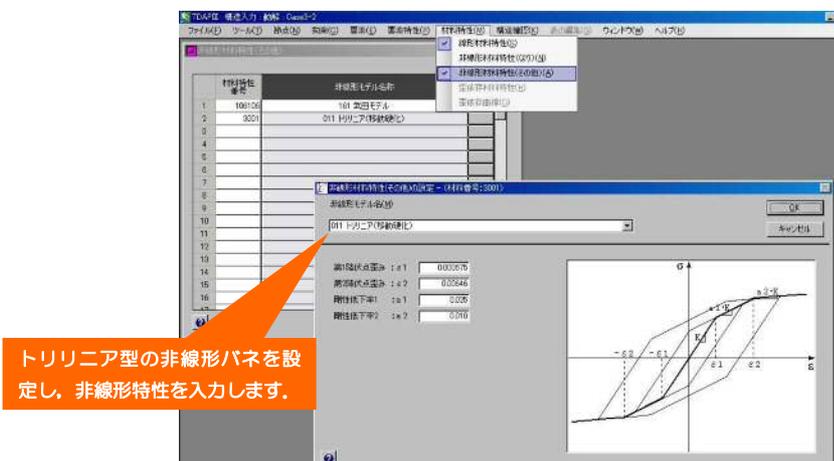


図-7.15 バネ要素の非線形材料特性の入力

7.1.2 固有値解析

固有値解析は、構造物の固有周期・振動モードの把握ならびに『時刻歴応答解析』時に入力するレリー減衰定数を算出するために行います。図 7-1-6 のプロジェクト管理に示す『固有値解析』にて解析をおこないます。

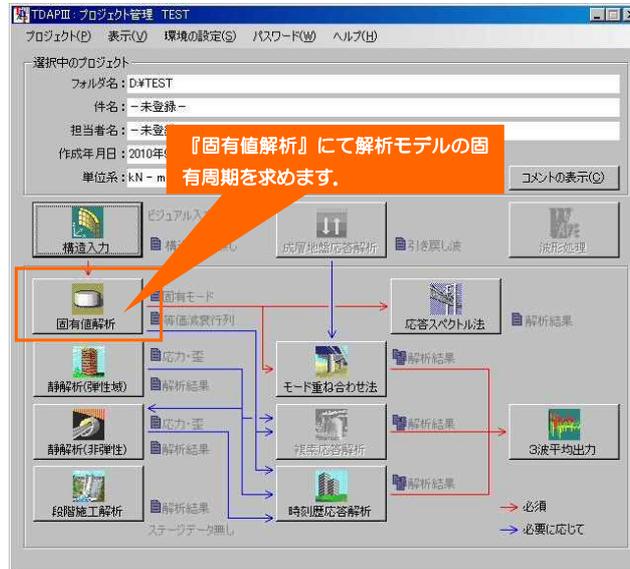


図 7-1-6 『固有値解析』の選択 (TDAP III プロジェクト管理画面)

1) 入力データ

入力データは 7.1.1 で作成した解析モデルを用います。固有値解析を行う際の制震ストッパーの材料特性、要素特性、非線形特性の入力データの入力方法は 7.1.1 で解説していますのでここでは省略いたします。

2) 固有値解析の実行

固有値解析は、動的解析で用いるレリー減衰定数を求めるために行います。固有周期、有効質量表を求める『固有値解析』と減衰率を求める『エネルギー比例減衰率』の計算を行ないます。

STEP 1

『固有値解析』は固有値解析ウィンドウ内の『解析実行』の『固有値解析の実行』を選択 (図 7-1-5 参照)。『エネルギー比例減衰率』は固有値解析ウィンドウ内の『解析実行』の『エネルギー比例減衰率の計算』を選択 (図 7-1-5 参照)。

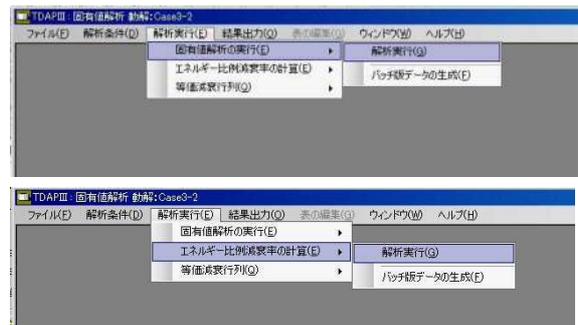


図 7-1-5 解析実行ウィンドウ

STEP 2

『結果出力』メニューより、『固有値解析』と『エネルギー比例減衰率』のモード次数を確認します (図 7-1-7 参照)。選択するモード次数は、X 方向の時刻歴応答解析を行う際には『有効質量比 X』が大きい順に 2 つ決定します。

モード形状は、固有値解析を行った際にモード形状図を出力し、図 7-1-8 のような振動モードになっていることを確認して下さい。なお、図 7-1-9 のような振動モード (有効質量比 Y が大きい) は選択してはいけなないので、注意して下さい。

リストの表示・印刷
ファイル(F) 印刷(P) 編集(E) ページ(G) オプション(O)

TMP III VER.3.02 PAGE 1

=====
固有値
=====

次数	固有振動数 (Hz)	固有周期 (sec)	励振係数						並進3方向 全有効質量 比(累積%)									
			(Tx)	(Ty)	(Tz)	(Rx)	(Ry)	(Rz)										
1	1.9072E+00	5.2438E-01	4.217E+01	1.059E-21	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	22.2
2	3.4727E+00	2.8786E-01	2.577E-24	-1.704E-11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	22.2
3	5.2248E+00	1.9138E-01	1.218E-18	2.547E+01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	30.3
4	6.0870E+00	1.6428E-01	1.627E-11	5.634E-12	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	30.3
5	6.0870E+00	1.6428E-01	3.848E+01	1.832E-18	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	48.7
6	1.1082E+01	9.0235E-02	2.464E+01	7.927E-24	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	56.2
7	1.8887E+01	5.9927E-02	3.553E-15	-3.390E-15	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	56.2

『有効質量比X』が大きいモード形状を確認し、2つを選択する。

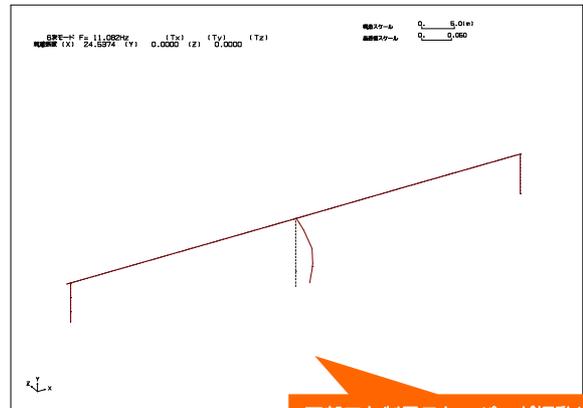
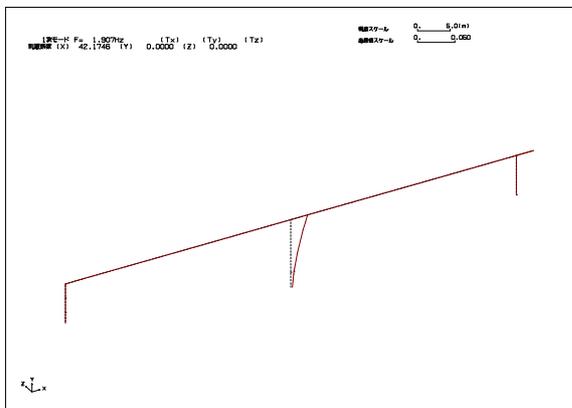
リストの表示・印刷
ファイル(F) 印刷(P) 編集(E) ページ(G) オプション(O)

TMP III VER.3.02

=====
エネルギー比例型減衰率
=====

次数	固有振動数 (Hz)	固有周期 (sec)	減衰率 (%)	要素特性番号別 エネルギー比率(X)									
				1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)		
1	1.907200E+00	5.243289E-01	8.508	0.043	0.384	0.384	0.043	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	3.472000E+00	2.878619E-01	2.002	24.989	24.989	24.989	24.989	0.009	0.009	0.009	0.009	0.000	0.000
3	5.224848E+00	1.913892E-01	2.551	22.143	27.348	27.348	22.143	0.008	0.008	0.008	0.000	0.000	0.000
4	6.088371E+00	1.642858E-01	3.851	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.533	0.533
5	6.088371E+00	1.642858E-01	3.851	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.533
6	1.108215E+01	9.023524E-02	9.622	0.106	0.798	0.798	0.106	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	1.888690E+01	5.992700E-02	2.909	7.322	42.678	42.678	7.322	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	2.625118E+01	3.809380E-02	3.472	8.250	22.231	22.231	8.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	2.938220E+01	3.405739E-02	3.603	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.758	3.758
10	2.938220E+01	3.405739E-02	3.603	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.758

図 7-1-7 レーリー減衰パラメータ設定ウィンドウ



下部工と制震ストッパーが振動しているモード (X方向の励振係数が大きいモード)

図 7-1-8 選択すべきモード形状例

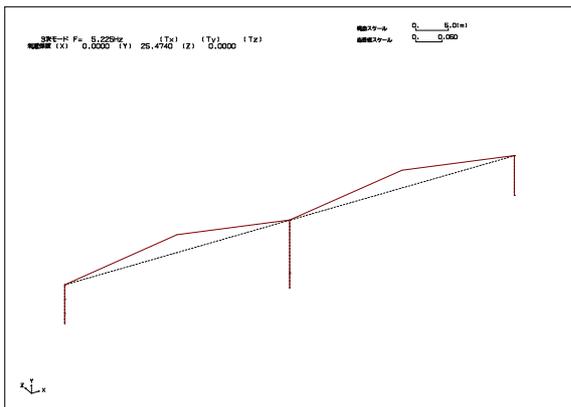


図 7-1-9 選択してはいけないモード形状例

7.1.3 自重解析

自重解析は、死荷重断面力を『動的解析』時に読み込む必要があるため行います。自重解析は『プロジェクト管理』にある『静解析』にて行ないます。

1) 入力データ

ストッパーのモデル化および材料特性や要素特性の入力方法は**固有値解析と同様**ですので、そちらを参照して下さい。自重解析を実行後、『時刻歴応答解析』のプロジェクトにある『解析条件』の『初期状態の指定』を選択し、静解析結果の断面力を読み込みます（図 7-1-10 参照）。

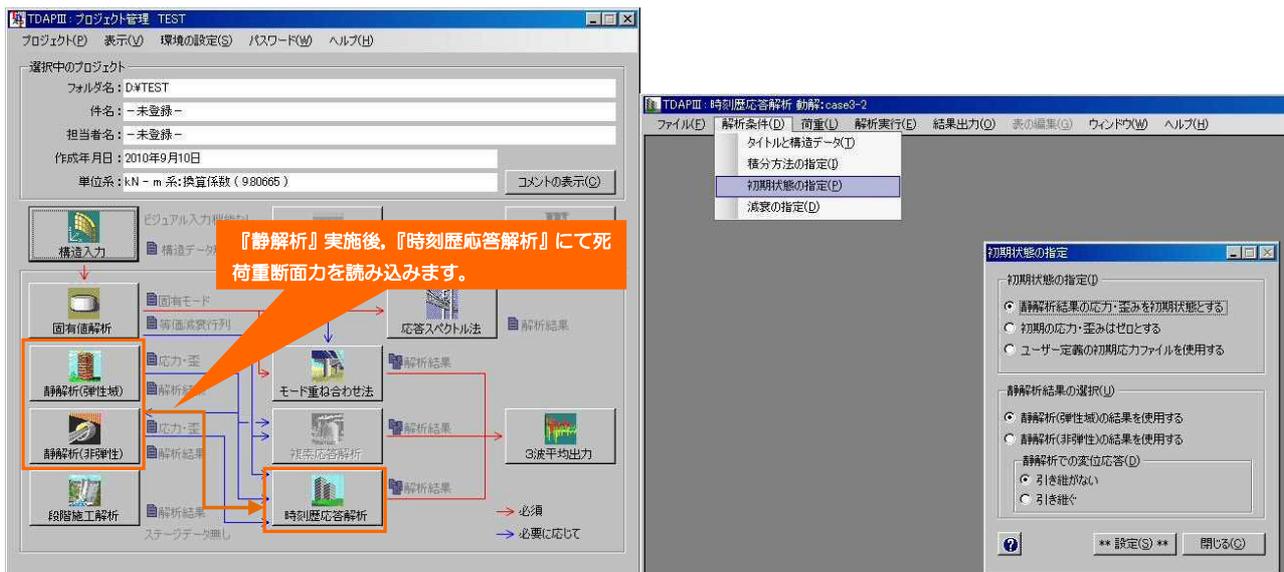


図 7-1-10 静的解析結果の読み込み

7.1.4 動的解析

1) 入力データ

(a) 材料特性

動的解析では、減衰種類として「要素別レーリー減衰」用いています。上部工・下部工・塑性ヒンジ・基礎・基礎ばね・支承のレーリー減衰（ α ：要素質量マトリックスにかかる係数， β ：要素剛性マトリックスにかかる係数）は、固有値解析で求めた値を入力します。ここで、制震ストッパーの要素別レーリー減衰定数を入力する際に、 β ：要素剛性マトリックスにかかる係数は0になるようにします。これは、制震ストッパーの1次剛性が非常に高く、この1次剛性に比例した構造減衰と履歴減衰を見込んでしまうと過剰に減衰を見込んだ解析結果となってしまう危険側の解析となってしまうからです。そこで、制震ストッパーの1次剛性に比例する構造減衰は無視し、履歴減衰のみを考慮します。

(b) レーリー減衰定数の決定

固有値解析は、動的解析で用いるレーリー減衰定数を求めるために行います。レーリー減衰定数を求めるために、2つの主たるモード次数を選定します。

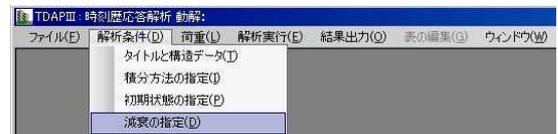


図 7-1-11 解析実行ウィンドウ

STEP 1

解析実行ウィンドウ内の『解析条件』の、『減衰の指定』を選択（図 7-1-11 参照）。

STEP 2

『全体 Rayleigh 減衰』のモード次数を入力（図 7-1-12 参照）。選択するモード次数は、『有効質量比 X』が大きい順に基準振動数と基準振動数に対応する減衰比を入力します。また、『グループ Rayleigh 減衰』のタブにて、制震ストッパーの剛性マトリックスにかかる減衰を0にするために β にマイナスの値を入力（図 7-1-13 参照）します。

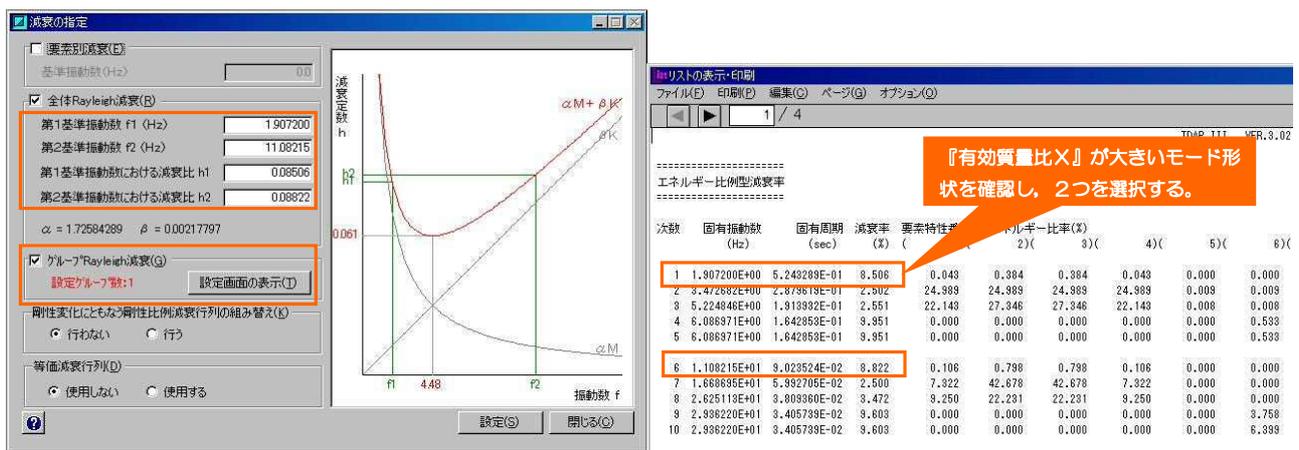


図 7-1-12 レーリー減衰定数の決定

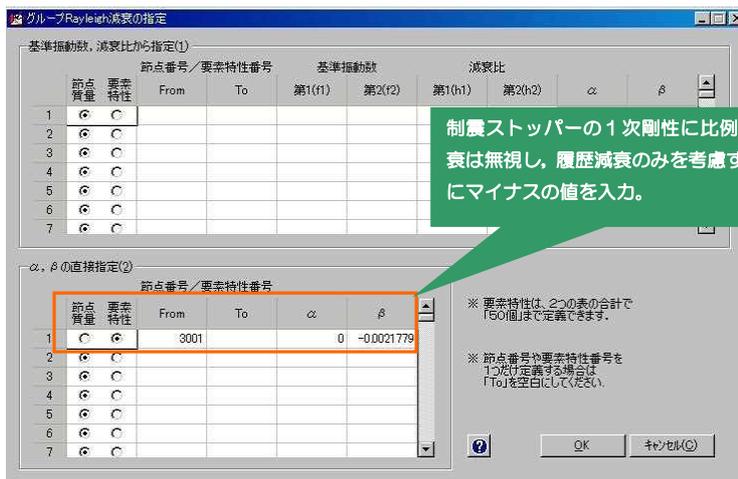


図 7-1-13 要素別レーリー減衰定数の決定

(c) 要素特性、非線形特性

制震ストッパーの要素特性、非線形特性の入力方法については、固有値解析、自重解析と同様ですので、そちらを参照下さい。

(d) 入力地震動【参考】

動的解析に用いる地震動は、道路橋示方書V耐震設計編（H14）P.289「2. 設計地震動に関する資料」に記載されている地震動の計6波（タイプI×3波、タイプII×3波）を用いています。

なお、平成 24 年版道路橋示方書に準拠する場合は、道路橋示方書V耐震設計編（H24）P.110「7.2. 動的解析に用いる地震動」解説に記載されている地震動の計6波（タイプI×3波、タイプII×3波）を用います。

7.2 DYNA2Eの場合

7.2.1 解析モデルへの組み込み

制震ストッパーのモデル化は非線形ばね要素（SPG要素）にて行います。
 SPG要素の要素特性、非線形特性はPSPG, SKCVにて定義されます。
 本設計例のモデルの場合の定義は下記となります。

<要素>

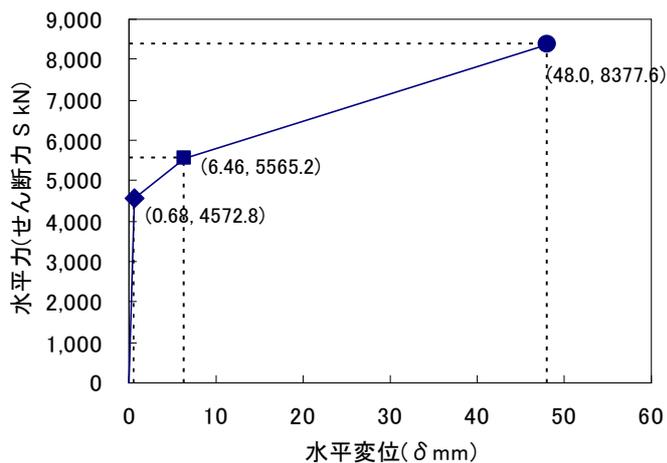
	要素番号	要素特性	材料特性	i端節点番号	j端節点番号	自由度	
+	自由度	非線形特性					
	SPG	3001	3001	99	3	101	1
+	1	3001					

<要素特性>

要素番号	初期剛性 = S_{wy} / δ_{wy}	Y軸まわりの 偏角	Y軸まわりの 偏角	
PSPG	3001	6.775E+03	0	0

<非線形特性 S- δ >

要素番号	履歴曲線の タイプ： ノーマルト リニア	せん断パネ ル降伏時の 水平力 S_{wy}	せん断パネ ル降伏時の 剛性変化率 (2次剛性/ 初期剛性)	フランジ全 塑性時の水 平力 S_{fu}	フランジ全 塑性時の剛 性変化率 (3次剛性/ 初期剛性)	
SKCV	3001	7	4572.8	0.0250	5565.2	0.0100



剛性

第1勾配 $E1 = 6774519$ kN/m
 第2勾配 $E2 = 171696$ kN/m
 第3勾配 $E3 = 67695$ kN/m

剛性比率

$E2 / E1 = 0.025$
 $E3 / E1 = 0.010$

7.2.2 固有値解析

固有値解析は、『動的解析』時に入力するレーリー減衰定数を算出するために行います。ストッパーのモデル化および材料特性や要素特性以外の入力方法については、通常行われている固有値解析と同様の為、本設計例では省略します。

以下に、固有値解析を行う際の制震ストッパーの材料特性、要素特性、非線形特性の入力データの入力方法、解析結果より求めるレーリー減衰定数設定時の注意事項について記載します。

1) 入力データ

(a) 材料特性

『MAT』で定義する材料データで入力する構造減衰は0と設定します。これは、制震ストッパーの1次剛性が非常に高く、この1次剛性に比例した構造減衰と履歴減衰を見込んでしまうと過剰に減衰を見込んだ解析結果となってしまう危険側の解析となってしまうためです。そこで、制震ストッパーの1次剛性に比例する構造減衰は無視し、履歴減衰のみを考慮します（図7-2-1参照）。

69	LMAS	2003	1	0.0	2	0.0↓				
70	LMAS	2004	1	4410.0	2	4410.0↓				
71	LMAS	2005	1	0.0	2	0.0↓				
72	*	1	--	2	--	3	--	4	--	
73	*材料特性↓									
74	**上部工↓									
75	***	材料No.	E	G	Dmp(減衰)	α	β ↓			
76	MAT	1	2.000E8	7.700E7	0.0250↓					
77	**下部工↓									
78	MAT	2	2.350E7	1.020E7	0.0750↓					
79	**塑性ヒンジ P1↓									
80	MAT	30			0.0750↓					
81	**基礎ばね↓									
82	MAT	50			0.1000↓					
83	**支承↓									
84	MAT	60			0.0001↓					
85	**せん断ダンバー (剛性比例分を消去) ↓									
86	MAT	99			0.0000↓					
87	*	1	--	2	--	3	--	4	--	

固有値解析では制震ストッパーの減衰定数は0

図7-2-1 インプットデータ例 (MAT)

(b) 要素特性、非線形特性

制震ストッパーは、上部工と下部工の節点をバネ要素 (SPG) で結合してモデル化します（図7-2-3 SPG部分参照）。また、この時のばね定数は、制震ストッパーの1次剛性を入力します。この値は、付録の設計曲線算出シートで計算できます。

非線形特性については、『SKCV』（非線形部分のスケルトン定義）で定義します。制震ストッパーの設計曲線はトリリニア曲線で表されます。入力データである第1折点のひずみ

(D_1)、応力 (P_1)、初期剛性に対する第1勾配率 (A_1)、第2折点のひずみ (D_2)、応力 (P_2)、初期剛性に対する第2勾配率 (A_2) についても、1次剛性と同等に設計曲線算出シートで算出できます（図7-2-2参照）。

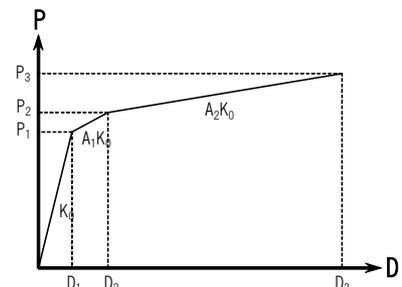


図7-2-2 制震ストッパーの設計曲線

177	SPG	2002	1002	60	11	2001	2↓
178	**P1↓						
179	SPG	3002	1002	60	3	101	2↓
180	**特性↓						
181	PSPG	1001	1.00E-6	0	0↓		
182	PSPG	1002	1.00E15	0	0↓		
183	*- 1 -- -- 2 -- -- 3 -- -- 4 -- -- 5 -- -- 6 -- -- 7 -- -- 8 -- -- 9 -- --10 -- ↓						
184	*制震ストッパー↓						
185	**P1↓						
186	SPG	3001	3001	99	3	101	1↓
187	+	1	3001↓				
188	PSPG	3001	6.775E6	0	0↓		
189	*PSPG	9011	1.000E12	0	0↓		
190	*- 1 -- -- 2 -- -- 3 -- -- 4 -- -- 5 -- -- 6 -- -- 7 -- -- 8 -- -- 9 -- --10 -- ↓						
191	*非線形特性↓						
192	**P1塑性ヒンジ M-θ↓						
193	SKCV	1000	131	15953	0.25410	62568.5	0.00059 0.4↓
194	**P1 制震ストッパー S-δ↓						
195	SKCV	3001	7	4572.8	0.02500	5565.2	0.01↓
196	**↓						
197	END↓						

図 7-2-3 インプットデータ例(PSPG, SKCV)

(c) コントロールデータ【参考】

以下に、固有値解析を行う際のコントロールデータの参考を示します（図 7-2-4 参照）。

1	*モード解析コントロールデータ↓								
2	*- 1 -- -- 2 -- -- 3 -- -- 4 -- -- 5 -- -- 6 -- -- 7 -- -- 8 -- -- 9 -- --10 -- ↓								
3	TITL	###	固有値解析	計算例橋_制震ストッパー	###↓				
4	METH	VECT↓							
5	TYPE	MODE	SUBS	MODE	STRA↓				
6	LDTL	固有値解析↓							
7	MODE	50	50	50	10	1.000E-6↓			
8	***計算例橋_制震ストッパー	平面モデル↓							
9	* input data↓								
10	*- 1 -- -- 2 -- -- 3 -- -- 4 -- -- 5 -- -- 6 -- -- 7 -- -- 8 -- -- 9 -- --10 -- ↓								

図 7-2-4 コントロールデータ例（固有値解析）

2) レーリー減衰定数の決定

固有値解析は、動的解析で用いるレーリー減衰定数を求めるために行います。レーリー減衰定数を求めるために、2つの主たるモード次数を選定します。

STEP 1

解析実行ウィンドウ内の『Tools』の、『レーリー減衰設定』を選択（図 7-2-5 参照）。

STEP 2

『ファイル』メニューより、解析結果を読み込み、『計算条件』タブのモード次数を入力（図 7-2-6 参照）。選択するモード次数は、『有効質量比 X』が大きい順に2つ決定します。

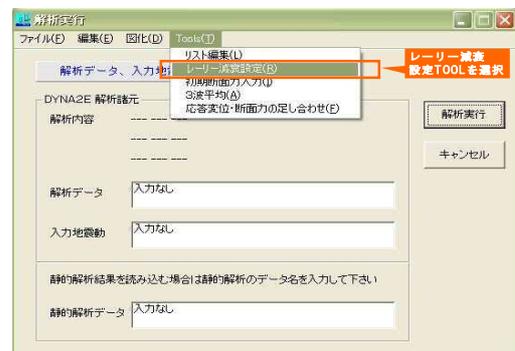


図 7-2-5 解析実行ウィンドウ

モード形状は、DYNA2E 付属の作図ソフト IRIS 等で作図をし、図 7-2-7 のような振動モードになっていることを確認して下さい。なお、図 7-2-8 のような振動モード（有効質量比 Y が大きい）は選択してはいけなないので、注意して下さい。

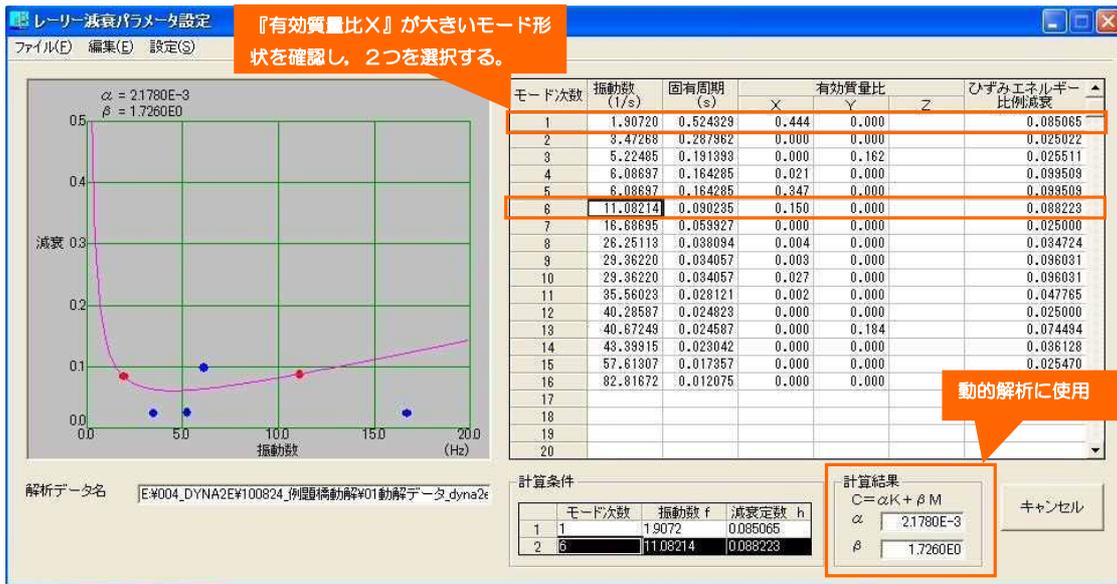
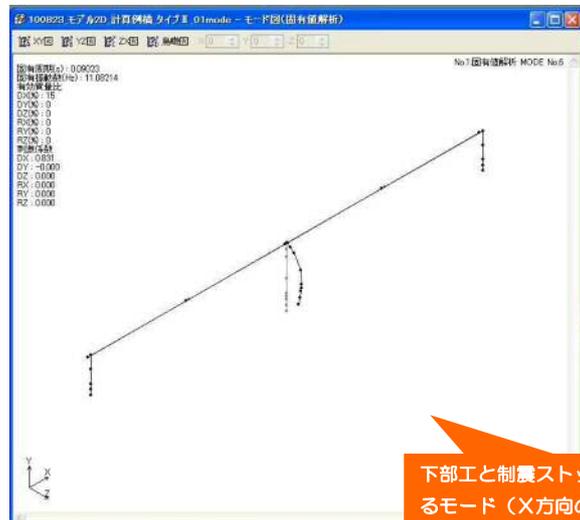
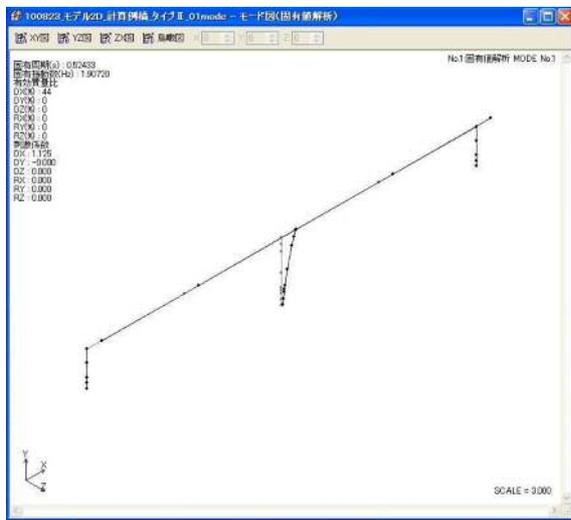


図 7-2-6 レーリー減衰パラメータ設定ウィンドウ



下部工と制震ストッパーが振動しているモード (X方向の刺激係数が大きいモード)

図 7-2-7 選択すべきモード形状例

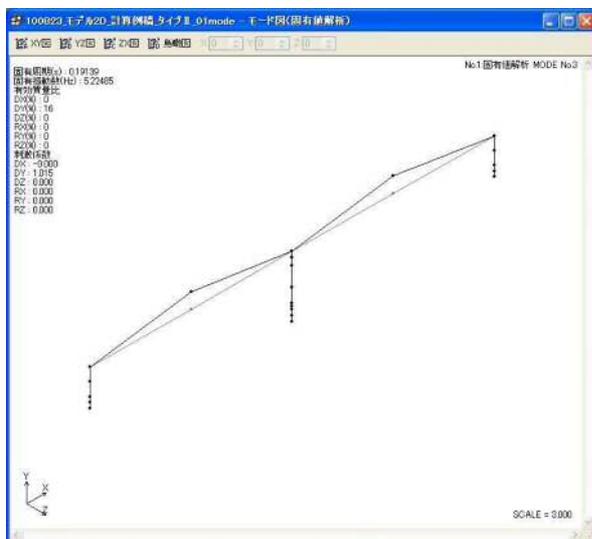


図 7-2-8 選択してはいけないモード形状例

7.2.3 自重解析

自重解析は、死荷重断面力を『動的解析』時に読み込む必要があるため行います。

1) 入力データ

ストッパーのモデル化および材料特性や要素特性の入力方法は**固有値解析と同様**ですので、そちらを参照して下さい。また、自重解析を実行すると、動的解析時に死荷重断面力を読み込むための静的ファイルが作成されます。静的ファイルの読み込み方法については、DYNA 2E の解析実行ウィンドウ上で行います（図 7-2-9 参照）。



図 7-2-9 静的ファイルの読み込み（動的解析）

コントロールデータ【参考】

以下に、自重解析を行う際のコントロールデータの参考を示します（図 7-2-10 参照）。

```
1 *自重解析コントロールデータ↓
2 *- 1 --|-- 2 --|-- 3 --|-- 4 --|-- 5 --|-- 6 --|-- 7 --|-- 8 --|-- 9 --|--10 --|↓
3 TITL   ### 自重解析 計算例橋_制震ストッパー ###↓
4 METH   VECT↓
5 TYPE   STAT↓
6 STLD   1自重                               1       1       1↓
7        GRAV      2-9.80665↓
8 ENDL↓
9 ***計算例橋_制震ストッパー 平面モデル↓
10 * input data↓
11 *- 1 --|-- 2 --|-- 3 --|-- 4 --|-- 5 --|-- 6 --|-- 7 --|-- 8 --|-- 9 --|--10 --|↓
12 FRD   126↓
13 GRAV   9.80665↓
14 *- 1 --|-- 2 --|-- 3 --|-- 4 --|-- 5 --|-- 6 --|-- 7 --|-- 8 --|-- 9 --|--10 --|↓
15 *格点↓
16 **上部工↓
17 ****   Grd(節点)   X(m)   Y(m)   Z(m)↓
18 GRD    1           0.000   0.000   0.000↓
```

図 7-2-10 コントロールデータ例（自重解析）

7.2.4 動的解析

1) 入力データ

(a) 材料特性

動的解析では、減衰種類として「要素別レーリー減衰」用いています（図 7-2-12 コントロールデータ（動的解析）参照）。上部工・下部工・塑性ヒンジ・基礎・基礎ばね・支承のレーリー減衰（ α ：要素剛性マトリックスにかかる係数， β ：要素質量マトリックスにかかる係数）は、固有値解析で求めた値を入力します。ここで、制震ストッパーの要素別レーリー減衰定数を入力する際に、 α ：要素剛性マトリックスにかかる係数は0とします。これは、制震ストッパーの1次剛性が非常に高く、この1次剛性に比例した構造減衰と履歴減衰を見込んでしまうと過剰に減衰を見込んだ解析結果となってしまう危険側の解析となってしまいますからです。そこで、制震ストッパーの1次剛性に比例する構造減衰は無視し、履歴減衰のみを考慮します（図 7-2-11 参照）。

71	LMAS	2004	1	4410.0	2	4410.0↓													
72	LMAS	2005	1	0.0	2	0.0↓													
73	*- 1	-- 2	-- 3	-- 4	-- 5	-- 6	-- 7	-- 8	-- 9	-- 10	-- 11	-- 12	-- 13	-- 14	-- 15	-- 16	-- 17	-- 18	-- 19
74	*材料特性↓																		
75	**上部工↓																		
76	***	材料No.	E	G	Dmp(減衰)	α	β ↓												
77	MAT	1	2.000E8	7.700E7	0.02502	.178E-3	1.726E0												
78	**下部工↓																		
79	MAT	2	2.350E7	1.020E7	0.07502	.178E-3	1.726E0												
80	**塑性ヒンジ P1↓																		
81	MAT	30			0.07502	.178E-3	1.726E0												
82	**基礎ばね↓																		
83	MAT	50			0.10002	.178E-3	1.726E0												
84	**支承↓																		
85	MAT	60			0.00012	.178E-3	1.726E0												
86	**せん断ダンパー (剛性比例分を消去) ↓																		
87	MAT	99			0.0000	0	1.726E0												
88	*- 1	-- 2	-- 3	-- 4	-- 5	-- 6	-- 7	-- 8	-- 9	-- 10	-- 11	-- 12	-- 13	-- 14	-- 15	-- 16	-- 17	-- 18	-- 19
89	*要素↓																		
90	**上部工↓																		

固有値解析により算出した
レーリー減衰を入力
 $C = \alpha K + \beta M$

ストッパーの構造減衰は無視する

図 7-2-11 インプットデータ例(MAT)

(b) 要素特性、非線形特性

制震ストッパーの要素特性、非線形特性の入力方法については、固有値解析、自重解析と同様ですので、そちらを参照下さい。

(c) コントロールデータ、入力地震動【参考】

以下に、動的解析を行う際のコントロールデータの参考を示します（図 7-2-12 参照）。『PDMP』（レーリー減衰の定義）には、固有値解析で求めた値を入力します。

1	*非線形動的解析コントロールデータ↓																		
2	*- 1	-- 2	-- 3	-- 4	-- 5	-- 6	-- 7	-- 8	-- 9	-- 10	-- 11	-- 12	-- 13	-- 14	-- 15	-- 16	-- 17	-- 18	-- 19
3	TITL	###	動的解析	計算例橋_制震ストッパー	###														
4	METH	VECT↓																	
5	TYPE	DYNA	SUBS	DIRE	PRO2	EART	ACC	NEWM	UNIF↓										
6	+				ADDR↓														
7	NONL	FORC																	
8	PDMP	2.178E-3	1.726E0↓																
9	***計算例橋_制震ストッパー 平面モデル↓																		
10	* input data↓																		
11	*- 1	-- 2	-- 3	-- 4	-- 5	-- 6	-- 7	-- 8	-- 9	-- 10	-- 11	-- 12	-- 13	-- 14	-- 15	-- 16	-- 17	-- 18	-- 19
12	FRD					128↓													

図 7-2-12 コントロールデータ例(動的解析)

図 7-2-13 は、『DYLD』（応答解析の定義）と、『ACC』（地震加速度の定義）の入力例です。

動的解析に用いる地震動は、道路橋示方書 V 耐震設計編（H14） P.289 「2. 設計地震動に関する資料」に記載されている地震動の計 6 波（タイプ I × 3 波，タイプ II × 3 波）を用いています。

なお、平成 24 年版道路橋示方書に準拠する場合は、道路橋示方書 V 耐震設計編（H24） P.110 「7.2. 動的解析に用いる地震動」解説に記載されている地震動の計 6 波（タイプ I × 3 波，タイプ II × 3 波）を用います。

```

191 *- 1 --|-- 2 --|-- 3 --|-- 4 --|-- 5 --|-- 6 --|-- 7 --|-- 8 --|-- 9 --|--10 --|↓
192 *非線形特性↓
193 **P1 塑性ヒンジ M-θ ↓
194 SKCV 1000 131 15953 0.25410 62588.5 0.00059 0.4↓
195 **P1 制震ストッパー S-δ ↓
196 SKCV 3001 7 4572.8 0.02500 5585.2 0.01↓
197 ***↓
198 *- 1 --|-- 2 --|-- 3 --|-- 4 --|-- 5 --|-- 6 --|-- 7 --|-- 8 --|-- 9 --|--10 --|↓
199 LDTL 非線形動的解析 TYPE II -2-1↓
200 DYLD 1 0.001 40 4↓
201 ACC 1 SCAL 0.0100 100 FT30 1↓
202 *OUTPUT↓
203 MKGD 1 1 11 1↓
204 MKSC 9999 6 3001 1↓
205 PRNT MKGD↓
206 PRNT MKSC↓
207 END↓
208 [EOF]

```

図 7-2-13 コントロールデータ例(入力地震動)

8. 解析結果の照査

地震動毎に行った6ケースの解析結果について、『せん断パネル型制震ストッパー設計・施工要領』に記載されている、以下の項目について照査を行います。なお、橋脚や基礎の照査等は、通常の動的解析と同様に行うものとし本設計例では省略します。

8.4.2 制震ストッパーの照査

- (1) 動的解析により算出される応答変位が、制震ストッパーの限界変位 δ_{pu} 以下であることを照査する。
- (2) 動的解析により算出される応答変位が、桁遊間以下であることを照査する。
- (3) 制震ストッパーの累積塑性変形倍率 $\Sigma \eta_L$ が、動的解析から得られる設計累積塑性変形倍率 $\Sigma \eta_d$ に対して十分安全な値を保有することを照査する。

せん断パネル型制震ストッパー設計・施工指針 (P.12)

(a) 応答変位の照査

制震ストッパーの最大変位 δ_{max} が限界変位 δ_{pu} 以下となっているかを確認します。

限界変位 δ_{pu} は、制震ストッパーの性能一覧（カタログ『せん断パネル型制震ストッパー』）や制震ストッパーの標準寸法および設計曲線一覧に記載されています（表 8-1 参照）。共に、制震ストッパーのHP 上で閲覧可能です。

A橋の場合、使用している制震ストッパーの限界変位 δ_{pu} は 48mm となります。

最大変位 δ_{max} は、図 8-1 に示すように出力される応答履歴曲線より確認できます。

表 8-1 制震ストッパーの標準寸法および設計曲線一覧（抜粋）

設計反力	P_d (kN)	200			1000				
		200-H200	400-H300	400-M200	200-L300	1000-H450	1000-M400	1000-L350	1000-L300
呼称									
寸法	ストッパー全幅 B_s (mm)	304	418	35	38	418	580	524	474
	荷重作用高さ H (mm)	314.5	442.5	382	16	460	626	570	520
	ストッパーかかり長 H_r (mm)	62.5	62.5	62	1	95	91	95	95
	ストッパー全高 H_s (mm)	377	505	44	37	555	717	665	615
	フランジ幅 B_f (mm)	200	280	23	20	280	400	350	320
	ベースプレート長さ L_b (mm)	324	438	37	38	438	600	544	494
	ベースプレート幅 B_b (mm)	300	380	33	20	380	500	450	420
	ベースプレート厚 t_b (mm)	32	50	50	0	60	60	60	60
	溶接サイズ s (mm)	6	7	7	1	12	12	12	13
	耐力・変位	L1地震時耐力 ($S_{wy} \times 1.5/1.7$) S_{L1} (kN)	206.3	481.4	401	2.3	825.3	1083.2	1008.7
せん断パネルせん断降伏耐力 S_{wy} (kN)		233.8	545.6	454	3.3	935.3	1227.6	1143.2	1136.7
フランジ全塑性耐力 S_{fy} (kN)		303.1	705.0	556	5.4	1123.2	1528.7	1391.3	1377.4
制震ストッパー限界耐力 S_{12} (kN)		448.8	1047.4	837	3.6	1710.2	2284.8	2094.4	2090.1
せん断パネルせん断降伏変位 δ_{wy} (mm)		0.338	0.507	0.42	91	0.507	0.760	0.675	0.591
フランジ全塑性変位 δ_{fy} (mm)		2.958	4.204	3.96	22	4.204	7.189	6.455	4.942
制震ストッパー限界変位 δ_{pu} (mm)		24	36	30	2	36	54	48	42
重量	W_s (kg)	54	139	94	1	176	343	276	234

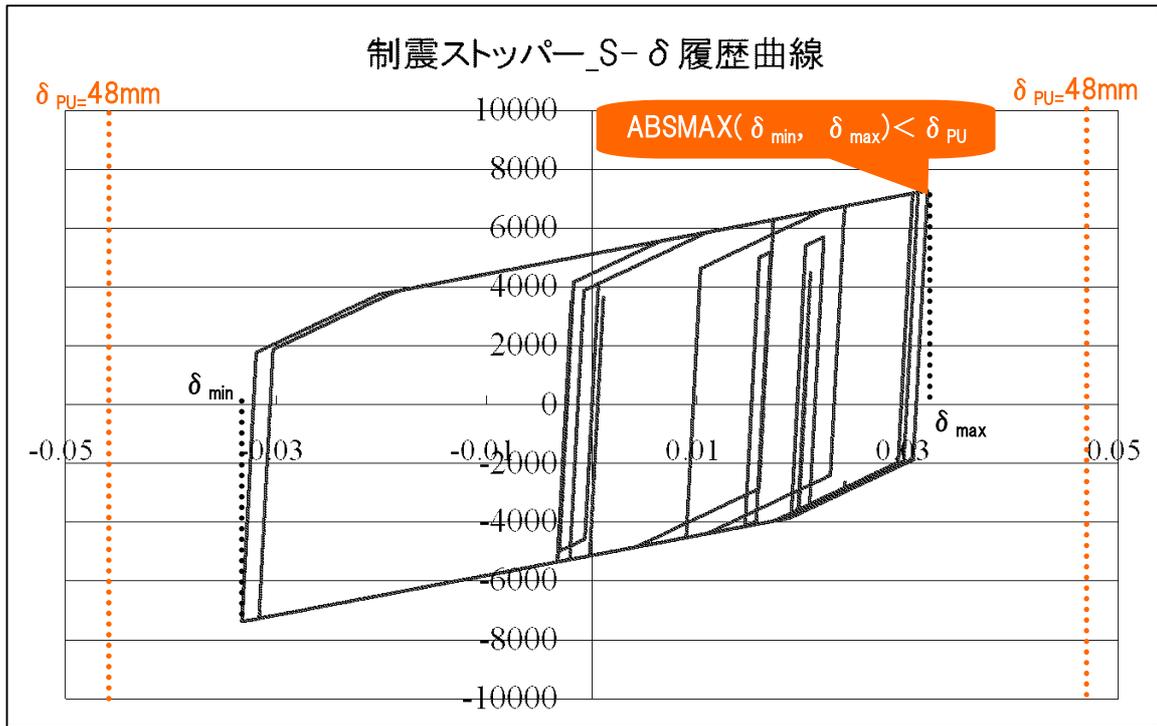


図 8-1 制震ストッパーの応答履歴曲線

(b) 桁遊間の照査

桁遊間の照査は、端支点位置の節点の最大相対変位量により確認します。出力されるリストの最大変位応答値で確認ができます。

(c) 累積塑性変形倍率の照査

累積塑性変形倍率 $\Sigma \eta_d$ は、荷重-変位関係における塑性変形の累積値のことで、制震ストッパーの吸収するエネルギー量の総和を弾性ひずみエネルギーで除して求めます。動的解析結果より次式によって算出することができます。

$$\text{設計累積塑性変形倍率} : \Sigma \eta_d = \Sigma W_i / W_y$$

W_i : i 番目の S- δ 関係から算定される塑性ひずみエネルギー

ΣW_i : 累積塑性ひずみエネルギー

$W_y = S_{wy} \cdot \delta_{wy}$: 弾性ひずみエネルギー

ここで、弾性ひずみエネルギー W_y については制震ストッパーの性能一覧（カタログ『せん断パネル型制震ストッパー』）や制震ストッパーの標準寸法および設計曲線一覧から算出することができます（表 8-2 参照）。

表 8-2 制震ストッパーの標準寸法および設計曲線一覧（抜粋）

設計反力		P_d (kN)			1000					
		200	400	400						
		H200	H300	M20	20	800-	1000-	1000-	1000-	1000-
					150	L300	H450	M400	L350	1000-
呼称										
寸法	ストッパー全幅 B_s (mm)	304	418	35	38	418	580	524	474	
	荷重作用高さ H (mm)	314.5	442.5	382	16	460	626	570	520	
	ストッパーかかり長 H_r (mm)	62.5	62.5	62	1	95	91	95	95	
	ストッパー全高 H_s (mm)	377	505	44	17	555	717	665	615	
	フランジ幅 B_f (mm)	200	280	23	20	280	400	350	320	
	ベースプレート長さ L_b (mm)	324	438	37	38	438	600	544	494	
	ベースプレート幅 B_b (mm)	300	380	33	20	380	500	450	420	
	ベースプレート厚 t_b (mm)	32	50	50	0	60	60	60	60	
	溶接サイズ s (mm)	6	7	7	1	12	12	12	13	
	耐力・変位	L1地震時耐力 ($S_{wy} \times 1.5/1.7$) S_{L1} (kN)	206.3	481.4	401	2.3	825.3	1083.2	1008.7	1002.9
せん断パネルせん断降伏耐力 S_{wy} (kN)		233.8	545.6	454	3.3	935.3	1227.6	1143.2	1136.7	1136.7
フランジ全塑性耐力 S_{fy} (kN)		303.1	705.0	556	5.4	1123.2	1528.7	1391.3	1377.4	1377.4
制震ストッパー限界耐力 S_{12} (kN)		448.8	1047.4	837	3.6	1710.2	2284.8	2094.4	2090.1	2090.1
せん断パネルせん断降伏変位 δ_{wy} (mm)		0.338	0.507	0.42	91	0.507	0.760	0.675	0.591	0.591
フランジ全塑性変位 δ_{fy} (mm)		2.958	4.204	3.96	22	4.204	7.189	6.455	4.942	4.942
制震ストッパー限界変位 δ_{pu} (mm)		24	36	30	2	36	54	48	42	42
重量	W_s (kg)	54	139	94	1	176	343	276	234	234

累積塑性ひずみエネルギー ΣW_i については、出力される時刻歴応答値リスト内の制震ストッパーの時刻歴の変位とせん断力から各ステップ毎の塑性ひずみエネルギーを算出し、それを合計値したものが ΣW_i となります。

W_i の具体的な算出方法については図 8-2 を参照下さい。TDAPⅢでは累積塑性ひずみエネルギー ΣW_i をひずみエネルギーとして出力することができます。出力した ΣW_i を W_y で除することで設計累積塑性変形倍率 $\Sigma \eta_d$ を算出することができます（図 8-3 参照）。

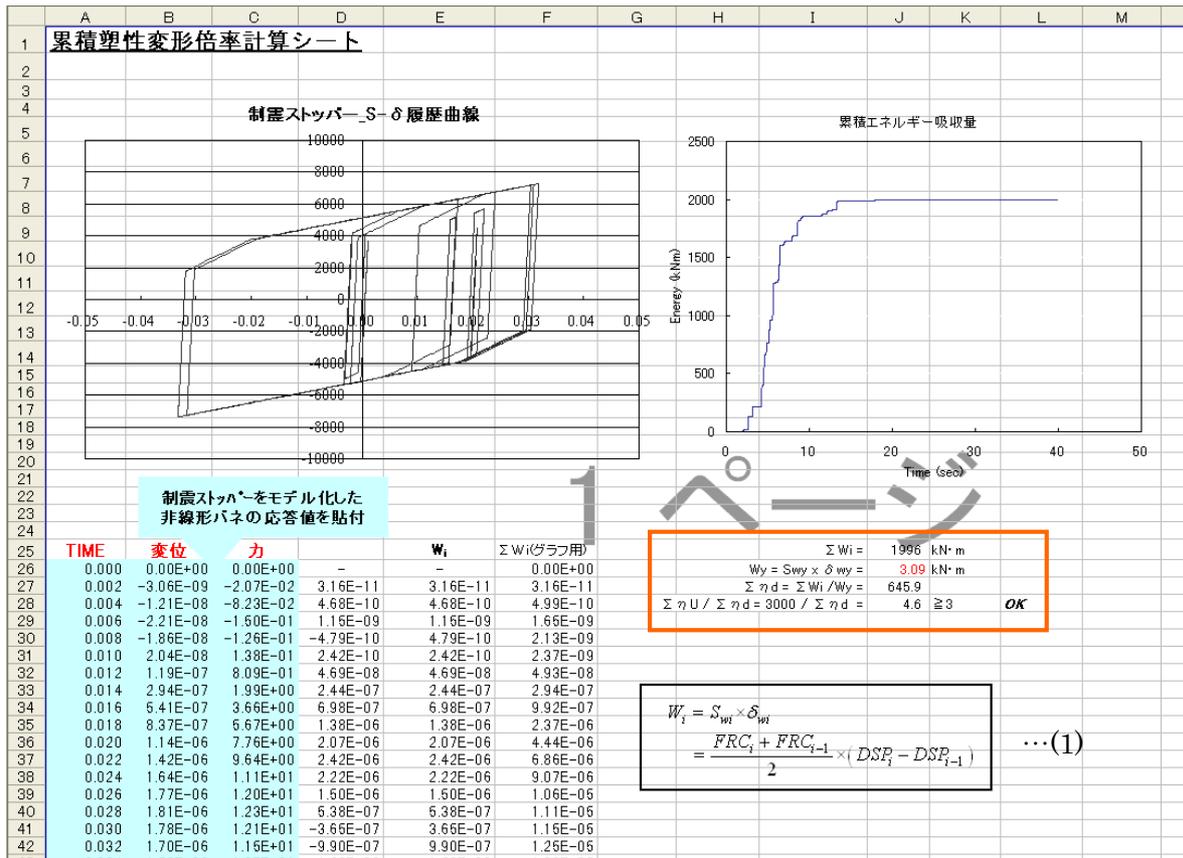
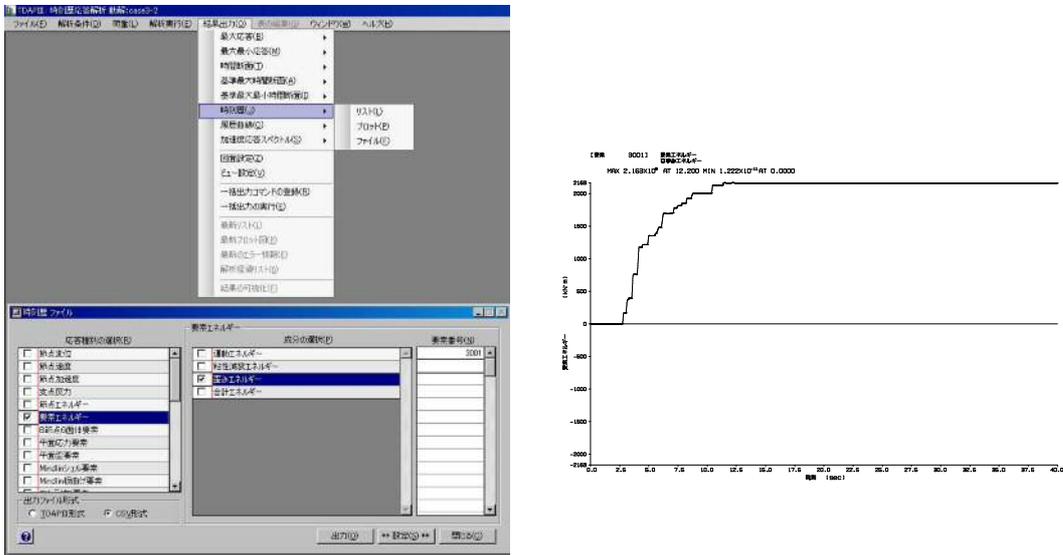


図 8-2 累積塑性変形倍率算出シート例



A 橋の場合、累積塑性ひずみエネルギー $\sum W_i$ は、図 8-2 の式(1)の和で、1996kNm となります。また、弾性塑性ひずみエネルギー W_y は、 $W_y = S_{xy} \times \delta = 4572.8\text{kN} \times 0.000675\text{m} = 3.09\text{kNm}$ となります。よって、累積塑性変形倍率 $\sum \eta_d$ は、 $\sum \eta_d = \sum W_i / W_y = 1996 / 3.09 = 646$ となります。

制震ストッパーの累積塑性変形倍率 $\sum \eta_U$ は、実験結果より 3000 以上有していることが確認されています。一般に制震ストッパーの累積塑性変形倍率が、設計累積塑性変形倍率の 3 倍程度の安全率を有しているか確認する。累積塑性変形倍率の照査は次式で行います。設計時には $\sum \eta_U = 3000$ とし、 $\sum \eta_d$ の照査を行います。

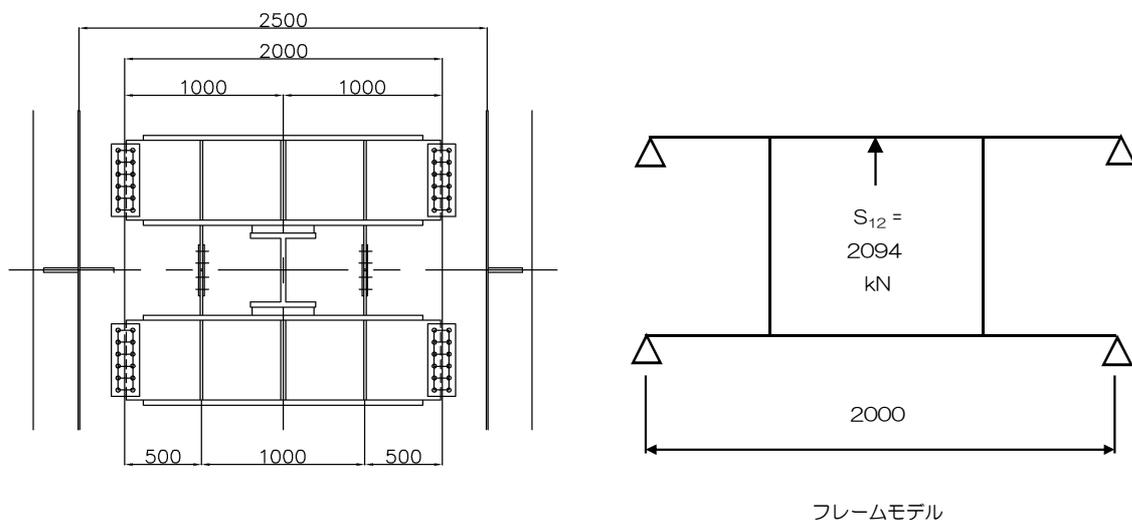
$$\sum \eta_U / \sum \eta_d \geq 3$$

※ 累積塑性変形倍率の照査は付録の「付録_02_累積塑性変形倍率算出_ver1.0.xls」を使用して算出することが可能です。

9. 上部工側取り付け部の計算

9.1 横梁形式の場合

制震ストッパーを主桁間に設置し、上部構造側の構造を横梁形式として設置した場合の取り付け部の計算を行います。



(1) 設計荷重

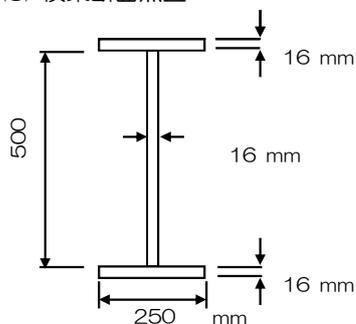
$$S_{12} = 2094 \text{ kN}$$

(2) 設計断面力

梁部の断面力はフレーム計算より

横梁	せん断力	S	=	1047	kN
	曲げモーメント	M	=	802	kNm

(3) 横梁断面照査



材質	SM490Y	A(mm ²)	y(mm)	Ay(mm ³)	Ay ² (mm ⁴)	Io(mm ⁴)
1	-FLG 250 × 16	4000	-258	-1032000	266256000	85333
1	-WEB 500 × 16	8000	0.0	0	0	166666667
1	-FLG 250 × 16	4000	258	1032000	266256000	85333
		16000		0	532512000	166837333

偏心量 $e = \frac{\sum Ay}{\sum A} = \frac{0}{16000} = 0.0 \text{ (mm)}$

断面二次モーメント $I = \sum Io + \sum Ayy - \sum A \cdot e^2 = 699349333 \text{ (mm}^4\text{)}$

上縁距離 $y_u = -266.0 \text{ (mm)}$

下縁距離 $y_l = 266.0 \text{ (mm)}$

断面係数 $Z_u = I / y_u = -2629133 \text{ (mm}^3\text{)}$

$Z_l = I / y_l = 2629133 \text{ (mm}^3\text{)}$

曲げ応力度

$$\begin{aligned} \sigma_c &= M / Z_u = 801900000 / -2629133 \\ &= -305 \text{ (N/mm}^2\text{)} \leq \sigma_{ca} = 355 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{OK} \\ \sigma_t &= M / Z_l = 801900000 / 2629133 \\ &= 305 \text{ (N/mm}^2\text{)} \leq \sigma_{ta} = 355 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

せん断応力度

$$\begin{aligned} \tau &= S / A_w = 1047000 / 8000 \\ &= 131 \text{ (N/mm}^2\text{)} \leq \tau_a = 204 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

合成応力度の照査

$$\begin{aligned} F &= (\sigma / \sigma_y)^2 + (\tau / \tau_y)^2 \\ &= (305 / 355)^2 + (131 / 204)^2 = 1.15 \leq 1.2 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

※応力度の照査は『せん断パネル型制震ストッパー設計・施工要領』に準じて基準降伏点に対して行います。

(4) 取り付けボルトの照査

ウェブ面取付ボルトの照査

取り付け部せん断力S

$$S = 557 \text{ (kN)}$$

必要ボルト本数

$$N_{req} = 556769 / (96000 \times 1.7) = 3.41 \rightarrow 6 \text{ 本}$$

母材の孔引き断面照査

$$\begin{aligned} A_w &= 8000 - 6 \times 27 \times 16 = 5408 \text{ (mm}^2\text{)} \\ \tau &= S / A_w = 556769 / 5408 = 103 \text{ (N/mm}^2\text{)} \\ &\leq \tau_a = 204 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

添接板の照査

$$\begin{aligned} 2 \text{ -SPL} &= 2 \times 470 \times 12 - 6 \times 27 \times 12 \\ &= 9336 \text{ (mm}^2\text{)} \geq A_w \end{aligned}$$

(5) 繋ぎ材の設計

繋ぎ材の軸力Nはフレーム計算より

$$N = 490 \text{ (kN)}$$

部材断面

$$1 \text{ -web } 280 \times 16$$

断面積

純断面積

断面2次モーメント

断面2次半径

横つなぎ間隔

細長比

材質 SM400

A = 4480 mm²

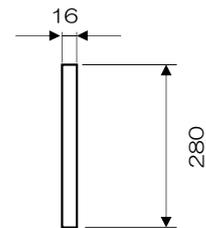
An = 3978 mm²

I = 29269333 mm⁴

r = 80.8 mm

l = 1000 mm

l/r = 12.4 < 200



純断面積

$$\begin{aligned} \text{SM400 } 280 \times 16 \quad A_g(\text{mm}^2) \quad \text{孔引き断面積}(\text{mm}^2) \\ 1 \text{ -web } 280 \times 16 \quad (4480 - (2 \times 27 \times 16)) \times 1.1 \\ = 3978 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

作用応力度

$$\begin{aligned} \sigma_t &= N / A_n \\ &= 490231 / 3978 \\ &= 123.2 \leq \sigma_{ta} = 235 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

ウェブ面取付ボルトの照査

継手部軸力 $N = 490 \text{ kN}$
 必要ボルト本数 $N_{req} = 490231 / (96000 \times 1.7) = 3.0 \rightarrow 4 \text{ 本}$
 (二面摩擦)

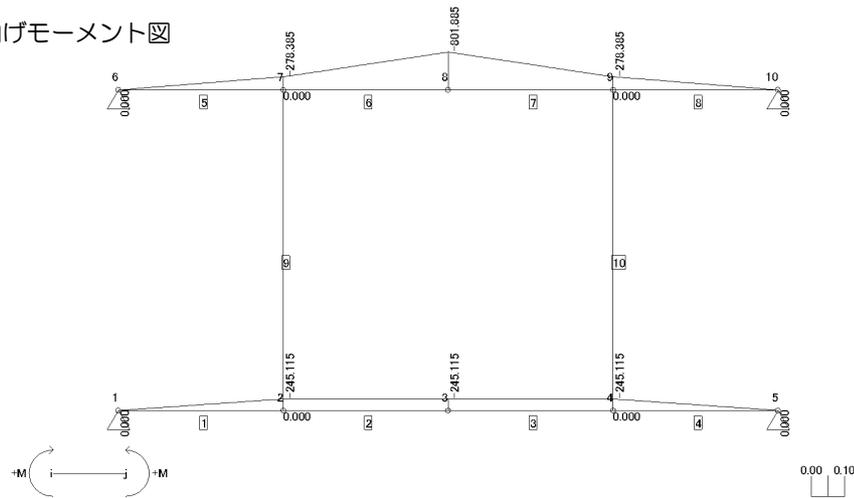
添接板

必要添接板断面積
 $AgR = N / \sigma_{ta} = 2086 \text{ mm}^2$

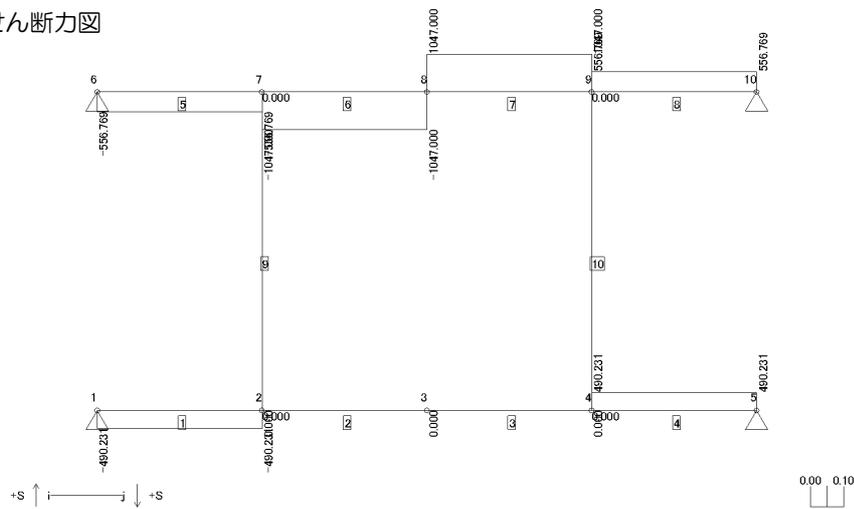
(SM400Y) $Ag_s(\text{mm}^2)$
 $2 - \text{SPL PL } 155 \times 9 - (2 \times 27 \times 9) \times 1.1 = 2534$
 $> AgR = 2086 \text{ mm}^2$

(6) フレーム解析断面力図

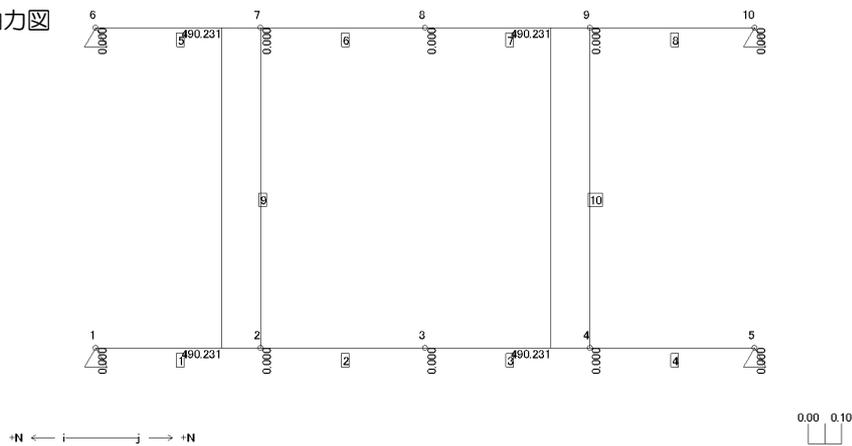
◆ 曲げモーメント図



◆ せん断力図

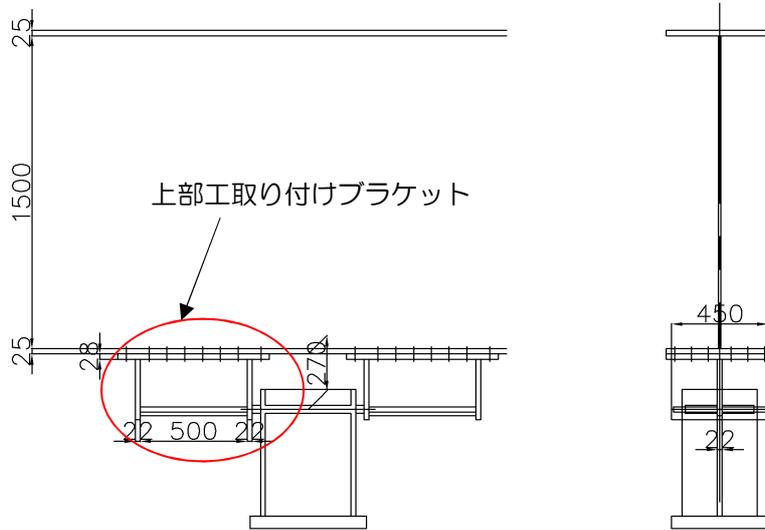


◆ 軸力図



9.2 ブラケット形式の場合

制震ストッパーを主桁直下に設置し、上部構造側の構造をブラケット形式として設置した場合の取り付け部の計算を行います。



(1) 上部工設置ブラケットの設計

$$S_{12} = 2094 \text{ kN}$$

$$L = 270 \text{ mm}$$

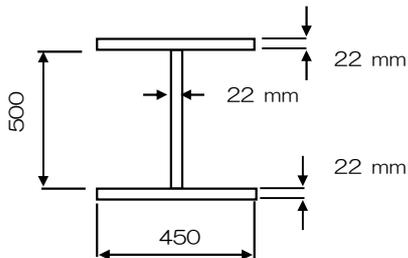
L: 主桁下面から水平力作用位置までの距離(mm)

(2) 設計断面力

$$\text{せん断力} \quad S = 2094 \text{ kN}$$

$$\text{曲げモーメント} \quad M = 565 \text{ kNm}$$

(3) ブラケット断面照査



材質	SM490Y	A(mm ²)	y(mm)	Ay(mm ³)	Ay ² (mm ⁴)	lo(mm ⁴)
1 -FLG	450 × 22	9900	-261	-2583900	674397900	399300
1 -WEB	500 × 22	11000	0.0	0	0	229166667
1 -FLG	450 × 22	9900	261	2583900	674397900	399300
		30800		0	1348795800	229965267

$$\text{偏心量} \quad e = \frac{\sum Ay}{\sum A} = \frac{0}{30800} = 0.0 \text{ (mm)}$$

$$\text{断面2次モーメント} \quad I = \sum lo + \sum Ayy - \sum A \cdot e^2 = 1578761067 \text{ (mm}^4\text{)}$$

$$\text{上縁距離} \quad y_u = -272.0 \text{ (mm)}$$

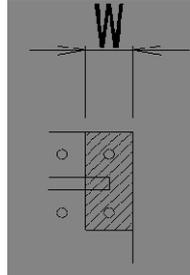
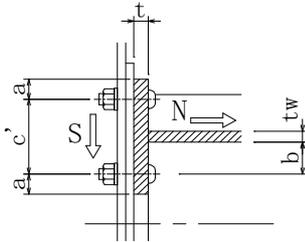
$$\text{下縁距離} \quad y_l = 272.0 \text{ (mm)}$$

$$\text{断面係数} \quad Z_u = I / y_u = -5804269 \text{ (mm}^3\text{)}$$

$$Z_l = I / y_l = 5804269 \text{ (mm}^3\text{)}$$

$$\begin{aligned}\Sigma(n \cdot y_i) &= 17016 \\ \Sigma n &= 48 \text{ 本} \\ e &= 17016 / 48 = 354.5 \\ \Sigma(n \cdot y_i^2) &= 1910268 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho t' &= (M / \Sigma y_i^2) \cdot y_i \\ &= 565488000 / 1910268 \times 314.5 \\ &= 93100 \text{ N}\end{aligned}$$



てこ反力係数の算出

σ_y : ボルト鋼材の降伏点	=	900	N/mm ²	
A_{se} : ねじ部の有効断面積	=	303	mm ²	
B_y : 降伏ボルト軸力	$\sigma_y \times A_{se} =$	273	kN	
P_b : ボルト1本あたりの作用力	=	93.1	kN	
B_o : 初期ボルト軸力	$0.75 \times B_y =$	205	kN	
w : 継手長	=	78	mm	
t : Tフランジ (ベースPL) の材厚	$\geq 1.0 d =$	28	mm	OK
tw : Tウェブ (フランジ) の材厚	=	22	mm	
d : ボルトの呼び径	=	22	mm	
d' : ボルトの孔径	$d + 2.5 =$	24.5	mm	
c' : Tフランジ方向のボルト中心間隔	=	107	mm	
b : ボルト中心からTウェブ表面までの距離	$(c' - tw) / 2 =$	43	mm	
a : ボルト中心からTフランジ端部までの距離	=	40	mm	

◎ $P_b \geq B_o$ の場合

$$\begin{aligned}p &= (0.7845 - 0.1278(w/120)) - [(-0.1991 + 0.3644(w/120)) + (0.013 - 0.0076(w/120)) t] (P_b/B_o) \\ &= 0.5818\end{aligned}$$

◎ $P_b < B_o$ の場合

$$\begin{aligned}p &= \frac{[(1.6949 - 4.4147(w/120) + 3.1598(w/120)^2)(t/d)^3 + (-8.231 + 21.1358(w/120) - 15.2549(w/120)^2)(t/d)^2 + (13.0538 - 33.4313(w/120) + 24.3475(w/120)^2)(t/d) + (-5.8936 + 16.4708(w/120) - 12.1872(w/120)^2)](P_b/B_o)^3 + [(-1.3371 + 2.5566(w/120) - 1.8194(w/120)^2)(t/d)^3 + (6.8885 - 12.3107(w/120))]}{1} \\ &= 0.0474\end{aligned}$$

$P_b < B_o$ であるため

$$p = 0.0474$$

てこ反力を考慮したボルト軸力の照査

$$\begin{aligned}B &= B_o (1 + p) \\ &= 205 \times (1 + 0.0474) = 215 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}B / A_{se} &\leq 0.9 \sigma_y \\ 215000 / 303 &\leq \sigma_a = 0.9 \times 900 \\ &= 710 \text{ N/mm}^2 \leq 810 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK}\end{aligned}$$

②摩擦接合に対する照査

引張力とせん断力が同時に作用する接合部として（社）日本鋼構造協会発行の「橋梁用高力ボルト引張接合設計指針」に基づき摩擦接合に関する照査をする

ボルト1本に作用する力 ρ_s

$$\begin{aligned} \rho_s &= S/n \\ &= 2094400 / 48 \\ &= 43633 \quad (\text{N}) < 1.7 \times \rho_a \times (n \cdot B_o - N) / (n \cdot B_o) \\ &= 1.7 \times 48000 \times (48 \times 205000 - 1221993) / (48 \times 205000) \\ &= 71466 \quad (\text{N}) \qquad \qquad \qquad \text{OK} \end{aligned}$$

S：作用せん断力 (N)

ρ_a ：摩擦接合用高力ボルト1本当たりの許容力 = 48000 N

T：接合部に作用する軸方向引張荷重 (N) = $\sum (n_i \cdot \rho_{ti})$

B_o ：ボルトの初期導入軸力 (N)

N：接合部に作用するボルト軸方向引張力 (N)

ここでは、 $N = \sum (n \cdot \rho_{ti})$ とする

③ベースプレート応力度の照査

ベースプレート材質：SM490Y $\sigma_a = 210 \text{ N/mm}^2$

$P_b < B_o$ であるため次式を用いて照査する。

ボルト中心位置でのTフランジ曲げ応力度

$$\sigma_{bf} = \frac{6 a ((p + 0.25) \times B_o / P_b - 0.25) \times P_b}{w_n t^2} = 216 \quad \text{N/mm}^2 \leq 357 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{OK}$$

ここに、 w_n ：継手長からボルト孔径を控除した長さ $78 - 24.5 = 54 \text{ mm}$

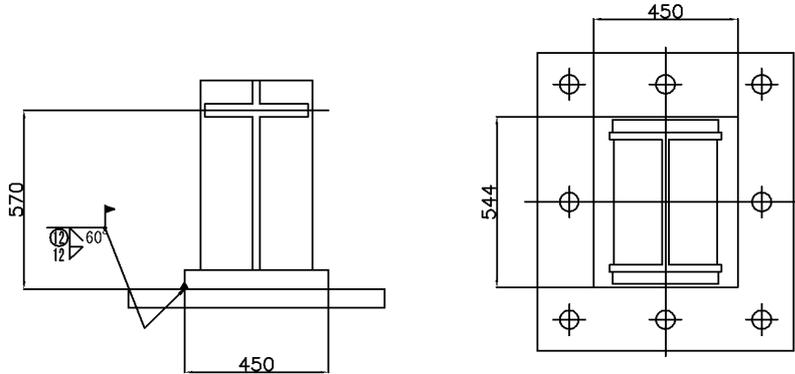
ウェブ結合位置でのTフランジ曲げ応力度

$$\sigma_{wf} = \frac{6 \times (a \times p \times B_o / P_b - b) \times P_b}{w t^2} = 355 \quad \text{N/mm}^2 \leq 357 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{OK}$$

10. 下部工側取り付け部の計算

10.1 現場溶接接合の場合

(1) ベースプレート溶接の照査



断面力

曲げモーメント $M = S_{12} \times H = 1194 \text{ kNm}$ $H = 0.570 \text{ m}$

せん断力 $S = S_{12} = 2094 \text{ kN}$

溶接は開先サイズ 12 mm の部分溶け込み溶接（開先角度は60°）

とすると $t_e = 20.78 \text{ mm}$

材質	SM490Y			A(mm ²)	y(mm)	Ay(mm ³)	Ayy(mm ⁴)	lo(mm ⁴)	
1	-FLG	450	×	20.78	9353	-282.39	-2641236	745864786	336711
2	-WEB	544	×	20.78	22614	0.0	0	0	557682892
1	-FLG	450	×	20.78	9353	282.39	2641236	745864786	336711
				41320		0	1491729572	558356314	

偏心量 $e = \Sigma Ay / \Sigma A = 0 / 41319.8 = 0.0 \text{ (mm)}$
 断面2次モーメント $I = \Sigma lo + \Sigma Ayy - \Sigma A \cdot e^2 = 2050085886 \text{ (mm}^4\text{)}$

上縁距離 $y_u = -292.8 \text{ (mm)}$

下縁距離 $y_l = 292.8 \text{ (mm)}$

断面係数 $Z_u = I / y_u = -7002027 \text{ (mm}^3\text{)}$

$Z_l = I / y_l = 7002027 \text{ (mm}^3\text{)}$

曲げ応力度

$\tau = M / Z_u = 1193808000 / -7002027$

$= -170 \text{ (N/mm}^2\text{)} \leq \sigma_y = 1.7 \times 120 = 204 \text{ (N/mm}^2\text{)} \text{ OK}$

$\tau = M / Z_l = 1193808000 / 7002027$

$= 170 \text{ (N/mm}^2\text{)} \leq \sigma_y = 1.7 \times 120 = 204 \text{ (N/mm}^2\text{)} \text{ OK}$

せん断応力度

$\tau = S / A_w = 2094400 / 22614$

$= 93 \text{ (N/mm}^2\text{)} \leq \tau_a = 1.7 \times 120 = 204 \text{ (N/mm}^2\text{)} \text{ OK}$

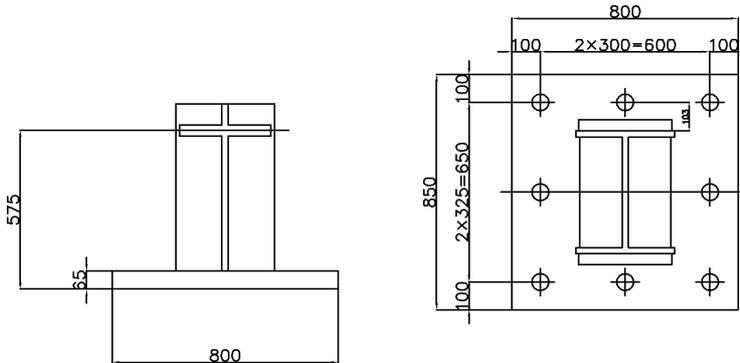
合成応力度の照査

$(\tau / \tau_a)^2 + (\sigma / \sigma_a)^2 =$

$(170 / 204)^2 + (93 / 204)^2 = 0.90 \leq 1.0 \text{ OK}$

10.2 アンカーボルト接合の場合

取り付けボルトは、アンカーボルトとしてS35CNの M64 (Φ65) を使用し、図のように配置する。このとき、ボルトの許容力としては、割増し係数1.7を考慮する。



断面力

$$\begin{aligned} \text{曲げモーメント } M &= S_{12} \times H = 1204 \text{ kNm} & H &= 0.575 \text{ m} \\ \text{せん断力 } S &= S_{12} = 2094 \text{ kN} \end{aligned}$$

(1) アンカーボルトの照査

アンカーボルトは M64 を $n = 8$ 本
断面積 $A_s = 2676.0 \text{ mm}^2$

アンカーボルト1本に作用するせん断応力度 τ

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{S}{A_s \times n} = \frac{2094400}{2676.0 \times 8} \\ &= 98 \text{ (N/mm}^2) < \tau_a = 1.7 \times 110 = 187 \text{ (N/mm}^2) \end{aligned}$$

ボルト群の中心軸に対する2次モーメントを求め、最遠ボルト位置の1本あたりの引張力 P_t を照査する。

	n (本)	ピッチ (mm)	y_i (mm)	$n \cdot y_i$	y_e (mm)	$n \cdot y_e^2$ (mm ²)
1列目	3	100	100	300	325	316875
2列目	2	325	425	850	0	0
3列目	3	325	750	2250	-325	316875
Σ	8			3400.0		633750

$$e = \frac{\sum(n \cdot y)}{\sum n} = \frac{3400.0}{8} = 425.00 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} P_t &= M / \sum(n \cdot y_e^2) \times e \\ &= 1204 \times 1000 \times 1000 / 633750 \times 325 = 618000 \text{ N/本} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{P_t}{A_s} = \frac{618000}{2676.0} \\ &= 231 \text{ (N/mm}^2) < \sigma_a = 1.7 \times 190 = 323 \text{ (N/mm}^2) \end{aligned}$$

合成応力度の照査

$$\begin{aligned} &(\sigma/\sigma_y)^2 + (\tau/\tau_y)^2 \\ &= (231 / 323)^2 + (98 / 187)^2 \\ &= 0.78 < 1.2 \end{aligned}$$

(2) ベースプレートの板厚照査

図の支圧板表面を固定点として、ベースプレートが張り出した片持ち梁としてベースプレートの板曲げに対する照査を行う。

Pt: ボルト引き抜き力	=	618 (kN)
n: ボルト本数	=	3 (本)
B: ベースプレート幅	=	800 (mm)
t: ベースプレート厚	=	65 (mm)
L: 片持ち梁の張り出し長	=	103 (mm)
M: 支圧板表面位置の曲げモーメント (Pt×n×L)	=	190962000 (Nmm)

				A(mm ²)	y(mm)	Ay(mm ³)	Ay(mm ⁴)	Io(mm ⁴)
1	BasePL	800	×	65	52000	0	0	18308333
					52000	0	0	18308333 (mm ⁴)

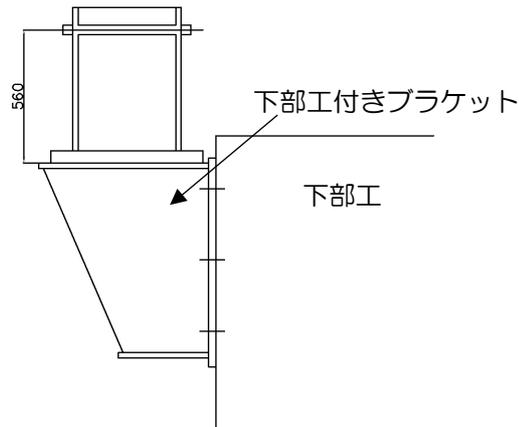
$$e = Ay / A = 0 / 52000 = 0 \text{ mm}$$

$$I = (Ay + Io) - A \cdot e^2 = 18308333 - 0 = 18308333 \text{ (mm}^4\text{)}$$

$$y_u = 32.5 \text{ mm} \quad y_l = -32.5 \text{ mm}$$

$$\sigma = \frac{M \times y_u}{I} = \frac{190962000 \times 32.5}{18308333} = 339 \text{ (N/mm}^2\text{)} < 355 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

10.3 下部工付ブラケット形式の場合



(1) 制震ストッパーと下部工ブラケットの取り付けボルトの照査

①ボルト引張力の照査

取付ボルトは高力ボルトとする。
ボルトの許容力は、割り増し係数1.7を考慮する。

使用ボルト S10T M22

ボルトの引張力の照査

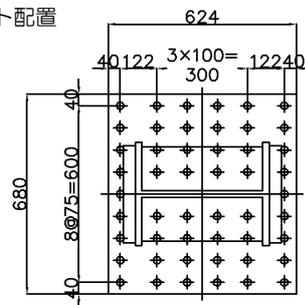
ベースプレートのボルト群の中立軸に対する2次モーメントを求め、最遠ボルト位置の1本当たりのボルト引張力 ρt を照査する。また、引張力によって生じるてこ反力を考慮するためにてこ反力係数を、(社)日本鋼構造協会発行の「橋梁用高力ボルト引張接合設計指針」により短縮め形式の高力ボルト引張接合として算出し、ボルト引張力 ρt に考慮する。

設計断面力

せん断力 $S = 2094 \text{ kN}$

曲げモーメント $M = S \times H = 1172864000 \text{ Nmm}$ $H = 560 \text{ mm}$

取り付けボルト配置



引張側からの配列	n (本)	ピッチ (mm)	y_i (mm)	$n \cdot y_i$	y_e (mm)	$n \cdot y_e^2$ (mm^2)	ρt_i	$n \cdot \rho t_i$
1列目	9	40	40	360	272.0	665856	184222	1657996
2列目	8	122	162	1296	150.0	180000	101593	812743
3列目	8	100	262	2096	50.0	20000	33864	270914
4列目	8	100	362	2896	-50.0	20000	0	0
5列目	8	100	462	3696	-150.0	180000	0	0
6列目	9	122	584	5256	-272.0	665856	0	0
合計	50	-	-	15600	-	1731712	-	2741653

引張側縁端からボルト中心軸までの距離: e (mm)

$$e = \sum (n \cdot y_i) / \sum n$$

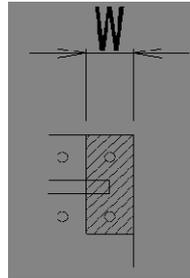
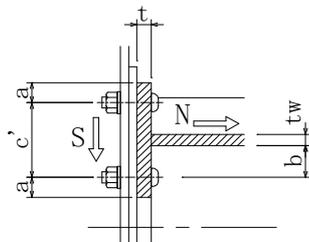
n : 各列のボルト本数

y_i : 引張側縁端から各ボルトまでの距離

y_e : ボルト中心軸から各列までの距離 y (mm) $y_e = e - y_i$

$$\begin{aligned}\Sigma(n \cdot y_i) &= 15600 \\ \Sigma n &= 50 \text{ 本} \\ e &= 15600 / 50 = 312.0 \\ \Sigma(n \cdot y_i^2) &= 1731712 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho t' &= (M / \Sigma y_i^2) \cdot y_i \\ &= 1172864000 / 1731712 \times 272 \\ &= 184222 \text{ N}\end{aligned}$$



てこ反力係数の算出

σ_y : ボルト鋼材の降伏点	=	900	N/mm ²	
A_{se} : ねじ部の有効断面積	=	303	mm ²	
B_y : 降伏ボルト軸力	$\sigma_y \times A_{se} =$	273	kN	
P_b : ボルト1本あたりの作用力	=	184.2	kN	
B_o : 初期ボルト軸力	$0.75 \times B_y =$	205	kN	
w : 継手長	=	75	mm	
t : Tフランジ (ベースPL) の材厚	$\geq 1.0 d =$	50	mm	OK
t_w : Tウェブ (フランジ) の材厚	=	22	mm	
d : ボルトの呼び径	=	22	mm	
d' : ボルトの孔径	$d + 2.5 =$	24.5	mm	
c' : Tフランジ方向のボルト中心間隔	=	122	mm	
b : ボルト中心からTウェブ表面までの距離	$(c' - t_w) / 2 =$	50	mm	
a : ボルト中心からTフランジ端部までの距離	=	40	mm	

◎ $P_b \geq B_o$ の場合

$$\begin{aligned}p &= (0.7845 - 0.1278(w/120)) - [(-0.1991 + 0.3644(w/120)) + (0.013 - 0.0076(w/120)) t] (P_b/B_o) \\ &= 0.3082\end{aligned}$$

◎ $P_b < B_o$ の場合

$$\begin{aligned}p &= [(1.6949 - 4.4147(w/120) + 3.1598(w/120)^2)(t/d)^3 + (-8.231 + 21.1358(w/120) - 15.2549(w/120)^2)(t/d)^2 + (13.0538 - 33.4313(w/120) + 24.3475(w/120)^2)(t/d) + (-5.8936 + 16.4708(w/120) - 12.1872(w/120)^2)] (P_b/B_o)^3 + [(-1.3371 + 2.5566(w/120) - 1.8194(w/120)^2)(t/d)^3 + (6.8885 - 12.3107(w/120) \\ &= 0.0444\end{aligned}$$

$P_b < B_o$ であるため

$$p = 0.0444$$

てこ反力を考慮したボルト軸力の照査

$$\begin{aligned}B &= B_o (1 + p) \\ &= 205 \times (1 + 0.0444) = 214 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$B / A_{se} \leq 0.9 \sigma_y$$

$$214000 / 303$$

$$= 706 \text{ N/mm}^2 \leq$$

$$\sigma_a = 0.9 \times 900$$

$$= 810 \text{ N/mm}^2$$

OK

②摩擦接合に対する照査

引張力とせん断力が同時に作用する接合部として（社）日本鋼構造協会発行の「橋梁用高力ボルト引張接合設計指針」に基づき摩擦接合に関する照査をする

ボルト1本に作用する力 ρs

$$\begin{aligned} \rho s &= S/n \\ &= 2094400 / 50 \\ &= 41888 \quad (\text{N}) < 1.7 \times \rho a \times (n \cdot B_o - N) / (n \cdot B_o) \\ &= 1.7 \times 48000 \times (50 \times 205000 - 2741653) / (50 \times 205000) \\ &= 59774 \quad (\text{N}) \quad \text{OK} \end{aligned}$$

S：作用せん断力 (N)

ρa ：摩擦接合用高力ボルト1本当たりの許容力 = 48000 N

T：接合部に作用する軸方向引張荷重 (N) = $\sum (n_i \cdot \rho_{ti})$

B_o ：ボルトの初期導入軸力 (N)

N：接合部に作用するボルト軸方向引張力 (N)

ここでは、 $N = \sum (n \cdot \rho_{ti})$ とする

③ベースプレート応力度の照査

ベースプレート材質：SM490Y $\sigma_a = 210 \text{ N/mm}^2$

$P_b < B_o$ であるため次式を用いて照査する。

ボルト中心位置でのTフランジ曲げ応力度

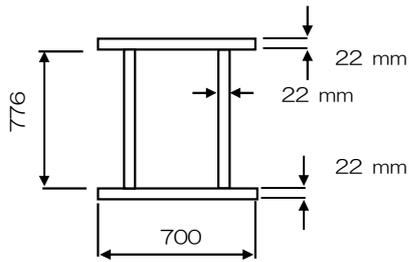
$$\sigma_{bf} = \frac{6 a (p + 0.25) \times B_o / P_b - 0.25) \times P_b}{w_n t^2} = 27 \quad \text{N/mm}^2 \leq 357 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{OK}$$

ここに、 w_n ：継手長からボルト孔径を控除した長さ $75 - 24.5 = 51 \text{ mm}$

ウェブ結合位置でのTフランジ曲げ応力度

$$\sigma_{wf} = \frac{6 \times (a \times p \times B_o / P_b - b) \times P_b}{w t^2} = 283 \quad \text{N/mm}^2 \leq 357 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{OK}$$

(2) 下部工付きブラケットの断面照査



設計断面力
 曲げモーメント $M = S_{12} \times H = 1969 \text{ kNm}$
 せん断力 $S = S_{12} = 2094 \text{ kN}$
 $H = 0.940 \text{ m}$

材質	SM490Y	A(mm ²)	y(mm)	Ay(mm ³)	Ay ² (mm ⁴)	lo(mm ⁴)
1 -FLG	700 × 22	15400	-399	-6144600	2451695400	621133
2 -WEB	776 × 22	34144	0.0	0	0	1713391445
1 -FLG	700 × 22	15400	399	6144600	2451695400	621133
		64944		0	4903390800	1714633711

偏心量 $e = \Sigma Ay / \Sigma A = 0 / 64944 = 0.0 \text{ (mm)}$
 断面2次モーメント $I = \Sigma lo + \Sigma Ayy - \Sigma A \cdot e^2 = 6618024511 \text{ (mm}^4\text{)}$

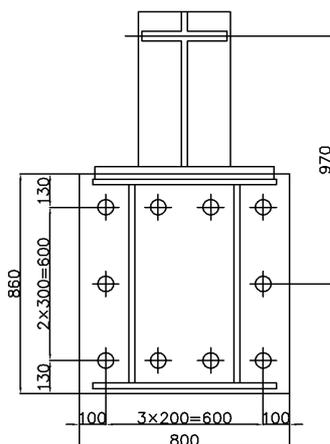
上縁距離 $y_u = -410.0 \text{ (mm)}$
 下縁距離 $y_l = 410.0 \text{ (mm)}$
 断面係数 $Z_u = I / y_u = -16141523 \text{ (mm}^3\text{)}$
 $Z_l = I / y_l = 16141523 \text{ (mm}^3\text{)}$

曲げ応力度
 $\sigma_c = M / Z_u = 1968700000 / -16141523 = -122 \text{ (N/mm}^2\text{)} \leq \sigma_{ca} = 355 \text{ (N/mm}^2\text{)} \text{ OK}$
 $\sigma_t = M / Z_l = 1968700000 / 16141523 = 122 \text{ (N/mm}^2\text{)} \leq \sigma_{ta} = 355 \text{ (N/mm}^2\text{)} \text{ OK}$

せん断応力度
 $\tau = S / Aw = 2094400 / 34144 = 61 \text{ (N/mm}^2\text{)} \leq \tau_a = 204 \text{ (N/mm}^2\text{)} \text{ OK}$

合成応力度の照査
 $F = (\sigma / \sigma_y)^2 + (\tau / \tau_y)^2 = (122 / 355)^2 + (61 / 204)^2 = 0.21 \leq 1.2 \text{ OK}$

(3) 下部工付きブラケットの取り付けボルトの照査



設計断面力

曲げモーメント $M = S_{12} \times H = 1969 \text{ kNm}$ $H = 0.940 \text{ m}$
 せん断力 $S = S_{12} = 2094 \text{ kN}$

取り付けボルトは、アンカーボルトとしてS35CNの M72 (Φ75) を使用し、図のように配置する。このとき、ボルトの許容力としては、割増し係数1.7を考慮する。
アンカーボルトの照査

アンカーボルトは M72 を $n = 10$ 本
 断面積 $A_s = 3459.8 \text{ mm}^2$

ボルト群の中心軸に対する2次モーメントを求め、最遠ボルト位置の1本あたりの引張力 P_t を照査する。

	n (本)	ピッチ (mm)	y_i (mm)	$n \cdot y_i$	y_e (mm)	$n \cdot y_e^2$ (mm^2)
1列目	4	130	130	520	300	360000
2列目	2	300	430	860	0	0
3列目	4	300	730	2920	-300	360000
Σ	10			4300.0		720000

$$e = \frac{\sum(n \cdot y)}{\sum n} = \frac{4300.0}{10} = 430.00 \text{ mm}$$

ボルトの引張力は水平力と曲げ作用分を合計して照査する。

$$\begin{aligned}
 P_t &= M / \sum(n \cdot y_e^2) \times e + S/n \\
 &= 1969 \times 1000 \times 1000 / 720000 \times 300 + 2094.4 \times 1000 / 10 \\
 &= 1029440 \text{ N/本}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \frac{P_t}{A_s} = \frac{1029440}{3459.8} \\
 &= 297.5 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \sigma_a = 1.7 \times 190 = 323 \text{ (N/mm}^2\text{)}
 \end{aligned}$$

付録 1

<せん断パネル型制震ストッパー設計曲線算出シート>

ver1.0

1) 設計条件

制震ストッパーの設計条件を以下のように設定する。
 上部工重量 $w = 12,350$ kN
 設計水平震度 $kh = 0.25$
 地域補正係数 $cz = 1.00$
 ストッパー設置数 $n = 4$ 個

赤字が入力するセルです。
 青字は入力した値に対し、自動的に値が算出されるセルです。

ストッパーのタイプを選択すると、レベル1地震時耐力、設計曲線が自動的に算出されます。

2) 制震ストッパーの選定とレベル1地震時耐力の照査

標準図より、タイプ **1000-M400** を選定し、ストッパー1個当たりのレベル1地震時耐力を照査する。

レベル1地震時の設計水平反力/個 $Q_d = kh \times cz \times w/n$
 $= 0.25 \times 1 \times 12350/4$
 $= 771.9$ kN

レベル1地震時耐力(設計曲線一覧表より) $S_{L1} = 1008.7$ kN

耐力の照査 $Q_d < S_{L1}$ **OK**

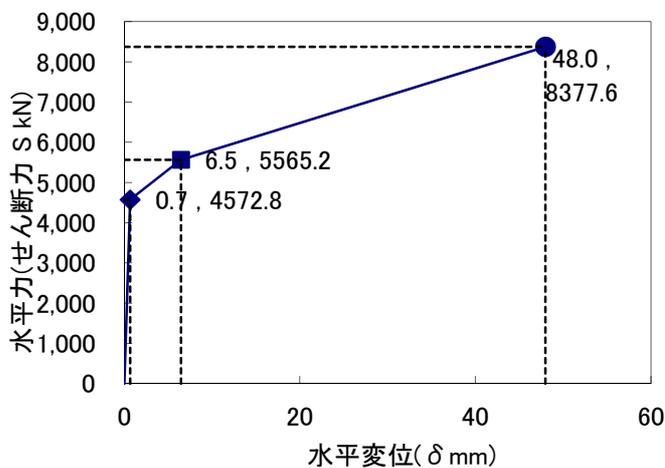
以上より、タイプ **1000-M400** を使用する。

3) 設計曲線(設計曲線一覧表より)

設計曲線一覧表より、1)において選択したタイプのストッパー1個当たりの耐力、変位は以下のとおりである。

せん断パネルせん断降伏変位 (◆)	$\delta_{wy} = 0.675$ mm	} × 4 =	$S_{wy} = 4572.8$ kN
フランジ全塑性変位 (■)	$\delta_{fu} = 6.455$ mm		
制震ストッパー限界変位 (●)	$\delta_{pu} = 48$ mm		
せん断パネルせん断降伏耐力 (◆)	$S_{wy} = 1143.2$ kN		
フランジ全塑性耐力 (■)	$S_{fu} = 1391.3$ kN		
制震ストッパー限界耐力 (●)	$S_{12} = 2094.4$ kN		
			$S_{12} = 8377.6$ kN

したがって、ストッパー $n = 4$ 個分の設計曲線は以下のようになる。



剛性

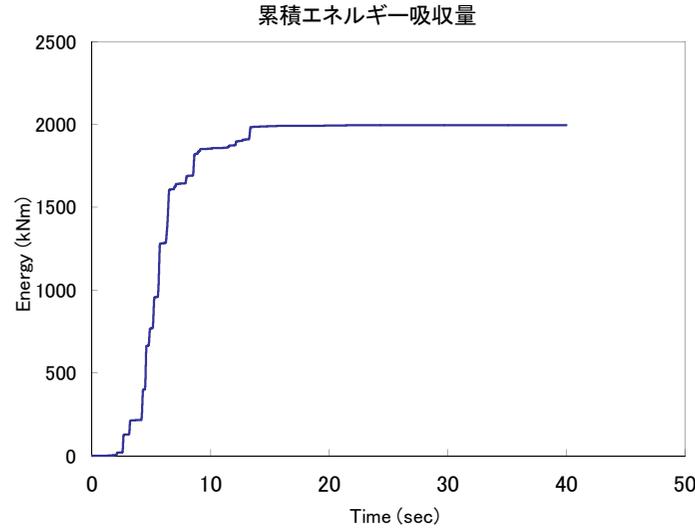
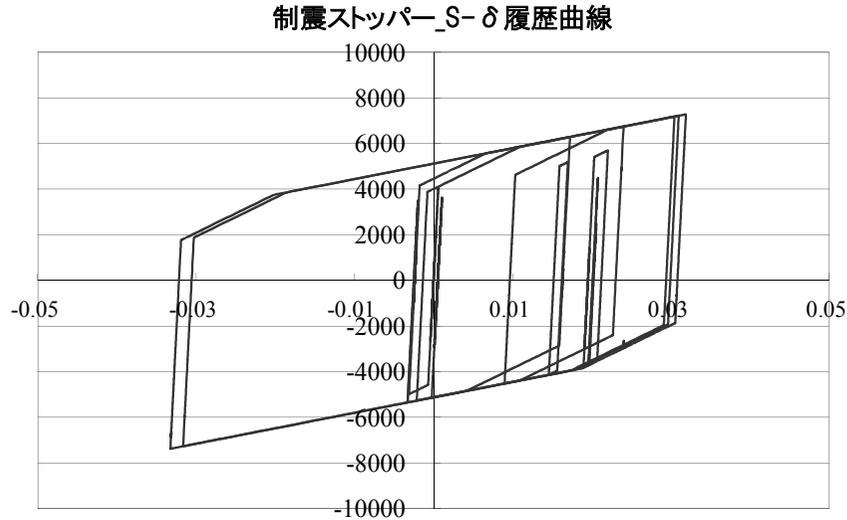
第1勾配 $E1 = 6774519$ kN/m
 第2勾配 $E2 = 171696$ kN/m
 第3勾配 $E3 = 67695$ kN/m

剛性比率

$E2 / E1 = 0.025$
 $E3 / E1 = 0.010$

【作業手順】

- ① 動解結果より応答値を入力
- ② (自動計算) $\sum W_i$ を算出
- ③ W_y を入力
- ③ 照査結果を確認



制震スッパ-をモデル化した
 非線形パネの応答値を貼付

TIME	変位	力		W_i	$\sum W_i$ (グラフ用)
0.000	0.00E+00	0.00E+00	-	-	0.00E+00
0.002	-3.06E-09	-2.07E-02	3.16E-11	3.16E-11	3.16E-11
0.004	-1.21E-08	-8.23E-02	4.68E-10	4.68E-10	4.99E-10
0.006	-2.21E-08	-1.50E-01	1.15E-09	1.15E-09	1.65E-09
0.008	-1.86E-08	-1.26E-01	-4.79E-10	4.79E-10	2.13E-09
0.010	2.04E-08	1.38E-01	2.42E-10	2.42E-10	2.37E-09
0.012	1.19E-07	8.09E-01	4.69E-08	4.69E-08	4.93E-08
0.014	2.94E-07	1.99E+00	2.44E-07	2.44E-07	2.94E-07
0.016	5.41E-07	3.66E+00	6.98E-07	6.98E-07	9.92E-07
0.018	8.37E-07	5.67E+00	1.38E-06	1.38E-06	2.37E-06
0.020	1.14E-06	7.76E+00	2.07E-06	2.07E-06	4.44E-06
0.022	1.42E-06	9.64E+00	2.42E-06	2.42E-06	6.86E-06
0.024	1.64E-06	1.11E+01	2.22E-06	2.22E-06	9.07E-06
0.026	1.77E-06	1.20E+01	1.50E-06	1.50E-06	1.06E-05
0.028	1.81E-06	1.23E+01	5.38E-07	5.38E-07	1.11E-05
0.030	1.78E-06	1.21E+01	-3.65E-07	3.65E-07	1.15E-05
0.032	1.70E-06	1.15E+01	-9.90E-07	9.90E-07	1.25E-05
0.034	1.58E-06	1.07E+01	-1.29E-06	1.29E-06	1.38E-05
0.036	1.45E-06	9.84E+00	-1.33E-06	1.33E-06	1.51E-05
0.038	1.32E-06	8.94E+00	-1.24E-06	1.24E-06	1.63E-05
0.040	1.19E-06	8.06E+00	-1.11E-06	1.11E-06	1.74E-05
0.042	1.06E-06	7.17E+00	-9.93E-07	9.93E-07	1.84E-05
0.044	9.25E-07	6.26E+00	-9.03E-07	9.03E-07	1.93E-05
0.046	7.82E-07	5.30E+00	-8.24E-07	8.24E-07	2.02E-05
0.048	6.28E-07	4.25E+00	-7.37E-07	7.37E-07	2.09E-05
0.050	4.57E-07	3.09E+00	-6.28E-07	6.28E-07	2.15E-05

$$\sum W_i = 1996 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$W_y = S_{wy} \times \delta_{wy} = 3.09 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\sum \eta d = \sum W_i / W_y = 645.9$$

$$\sum \eta U / \sum \eta d = 3000 / \sum \eta d = 4.6 \geq 3 \quad \text{OK}$$

$$W_i = S_{wi} \times \delta_{wi}$$

$$= \frac{FRC_i + FRC_{i-1}}{2} \times (DSP_i - DSP_{i-1})$$

赤字は別途入力が必要な箇所
 設計曲線より $S_{wy} \times \delta_{wy}$ を入力

※積分時間間隔によっては、左記のシートが
 そのままでは使用できない場合もありますので、
 計算内容については充分ご確認の上算出願います。