

配管系耐震性能評価プログラム FLAP-Ⅱ 高圧ガス設備等耐震設計基準（簡易耐震性能評価）

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震以降、配管を含めた産業設備の耐震性能の重要性がより一段と高まってきている。現在、配管系に対しては、高圧ガス設備等耐震設計基準が適用されており、その改正の経緯は以下の通りである。

兵庫県南部地震の地震被害により高圧ガス設備の耐震設計方法の見直しが行われ、通商産業省告示第143号において、高圧ガス設備等耐震設計基準（通商産業省告示第515号）の一部が1997年3月に改正された。本基準の適用対象は新設設備であるが、配管系に対しては一部能力増強による改造といった場合にも、接続する既設配管を対象として耐震性能の見直しを行うよう行政指導が行われている。

このため、冷凍則⁽¹⁾、液化則⁽²⁾、コンビ則⁽³⁾、特定則⁽⁴⁾等が適用される事業所、工場では、高圧ガス設備等耐震設計基準に基づき、設備を適正に維持することや、本基準が適用されていない設備についても状況把握を行い必要に応じ補強等を行うことが要求されている。本基準を適用すると、配管系では、耐震設計対象として検討すべき項目が多く、配管設計、保全・工務担当の方々は短時間で適切な評価を得られる計算プログラムを求めている。

2011年12月20日に改正された高圧ガス設備等耐震設計基準の告示第236号においては、2003年に発生した十勝沖地震の長周期地震動による被害を踏まえ、主に第二設計地震動に関する耐震設計方法が改正され、2012年7月に高圧ガス設備等耐震設計指針（2012）が発行された。

本稿では、高圧ガス設備等耐震設計基準に対

応した配管系耐震性能評価プログラム FLAP-Ⅱの特徴、適用範囲及び簡易耐震性能評価機能を紹介する。

2. 特徴及び適用範囲

FLAP-Ⅱは、高圧ガス設備等耐震設計基準（経済産業省告示第250号、平成25年11月改正）に対応した配管系耐震性能評価プログラムであり、この告示の第17条に規定された配管支持の方法（簡易耐震性能評価）に対応している唯一の市販プログラムである。このプログラムは、重要度Ⅱ、Ⅲの配管系に標準的に適用される簡易耐震性能評価（許容スパン法）、ならびに既存配管系耐震診断法のガイド（平成27年3月 高圧ガス保安協会）における重要度Ⅱ、Ⅲの配管系に適用される簡易耐震定量評価に対応している。また、配管系の重要度Ⅰa、Ⅰに適用される応答解析法のひとつである修正震度法を用いた評価にも対応している。さらに、ASME B31.3（高圧ガスの配管に関する基準 KHKS0801）に準拠した熱応力解析を用いた評価も実施可能である。

表1に、FLAP-Ⅱの主な仕様の一覧を示す。データベースには、標準管部品の寸法、管材料物性値、継手諸元などを内蔵している。

3. 簡易耐震性能評価機能

FLAP-Ⅱの簡易耐震性能評価機能について紹介する。簡易耐震性能評価機能の相当配管スパン長の計算プログラムフローを図1に示す。

図2、図3にはFLAP-Ⅱのメインメニュー画面、データ入力ウィンドウを示す。FLAP-Ⅱのデータ入力ウィンドウは全てワークシート（表形式）になっている。以下に、主な入力ウィン

ドウの詳細について解説する。

- ・ [パイプ、マテリアルデータ]ウィンドウ (図 4、図 5) : 固有の認識番号 (ID) を付けて 1 組の口径、肉厚、保温材重量、内容物の比重などを入力する。[パイプ、マテリアルデータ] ウィンドウで、登録されている配管部品を利用することで属性を入力する手間を省くことができる。同図例では JIS G3454 の寸法に準拠した JIS 材を用いているが、ASME 材を選択することも可能である。また、よく使う管材質については、「よく使う材質・ダイアログ」に登録することもできる。
- ・ [座標データ]ウィンドウ (図 6) : 配管の要素種類 (直管、エルボ、ティーなど) と要素の寸法を入力するが、配管部品ごとに、あるいは、形状を指定すべき曲がり部などに認識すべき節点番号 (節点文字列) を付けて、要素種類と座標などを入力する。一つの配管要素は開始節点「From」と終端節点「To」とで構成されるが、連続する配管部品であれば、開始節点「From」は直前の配管部品の終端節点と同じであると見みなすので、入力省略が可能である。また、左上にある「Dlg (ダイアログ)」ボタンをクリックするか、F5 キーを押すか、あるいは、右クリックすることで、配管部品に関する入力ダイアログボックスを開くことができる。主な配管要素の記号には、直管「P」、曲管「C」、分岐管「T」、弁「V」、伸縮継手「B」、フランジ「F」、ダミーサポート (トラニオンサポート)「D」がある。曲管「C」では、ロングエルボを標準としているので、ロングエルボを除く曲率半径をもつエルボでは曲率半径を入力する。ただし、簡易耐震性能評価では曲率半径の違いで結果は変わらない。曲管「C」での相対座標値はエルボの前後の直管を見かけ上、延長して交わる点 (正接交点) までの値とな

る。

- ・ [拘束点データ]ウィンドウ (図 7) : 先に入力した節点番号 (節点文字列) に対して、配管の支持方法を入力する。X 方向、Y 方向、および Z 方向の 3 方向について、それぞれの支持がある場合には「1」を該当する列に入力する。また、左上にある「Dlg」ボタンをクリックするか、F5 キーを押すか、あるいは、右クリックすることで、拘束点データに関するダイアログボックスを開くことができる。拘束点とは、X 方向の地震の場合は X 軸方向を拘束している点、Y 方向の地震の場合は Y 軸方向を拘束している点、Z 方向の地震の場合は Z 軸方向を拘束している点を指す。したがって、例として、Y 方向しか拘束していない場合、Y 方向の地震の場合では拘束点であるが、X 方向と Z 方向の地震の場合では拘束点ではない。
- ・ [グループ化による地震時相対変位の作成]ウィンドウ (図 8) : 支持構造物 (塔槽類、支持架構) の支持点位置での応答変位を入力する。簡易耐震性能評価において、支持構造物の支持点位置での応答変位は地表面設計震度、支持構造物の支持点位置、および支持構造物の全高によって算出することができる。その詳細は、指針を参照願いたい。また、同じ支持構造物で支持される場合には配管系にとって有害な相対変位は生じないとするので、同じ支持構造物で支持されている場合には、その情報をグループとして入力する。また、地震方向とその方向の支持構造物の応答変位を入力する。

配管特性や座標データ、拘束点データ等は共通の入力データとして簡易耐震性能評価機能、詳細計算機能及び熱応力解析機能に用いることが可能である。

データ入力の順番は、[オプション]、[パイプ、マテリアルデータ]、[座標データ]、

[拘束点データ]、[サポートグループによる地震時相対変位の作成]、[荷重データ]とすることが多い。

メニューバーの[スケッチ] (図 9) で入力した配管形状の概略(スケッチ)を見ることができる。また、メニューバーの[チェック]で入力データのエラーの有無を確認することができる。なお、入力データの修正は入力作業のどの時点でもできる。FLAP-IIでは表計算と同様に、編集機能を使って追加、削除、変更などを簡単に行うことができる。

入力データを作成した後、メニューバー[ファイル]、[計算]を選択し、計算の実行ダイアログボックス(図 10)で計算条件を設定後、計算を行う。図 11、図 12 に計算結果を示す。計算結果のウィンドウでは結果の要約、およびXYZ 各方向のスパン評価の詳細を表示することができる。さらに、[印刷]を指定すれば入力データと結果を印刷することもできる。

配管スパン長さの計算には分布重量あるいは集中重量で補正した相当長を使用し、投影長さの計算にはその要素の投影長を使用している。

「組合せ番号」とは、入力した配管形状に沿った順序におけるスパンの番号を示している。したがって、例えば図 11 中の「組合せ番号 5」とは、5 番目のスパンで相当配管スパン長が最大であり、許容スパン長との比率が 0.536 (53.6%) であったことを示している。このように、最大値が示されるので、許容値を超えて

いる場合にも判断がすぐにつく。

結果の要約では配管のサイズごとに最大の値を表示するので、一覧表にする場合にこの結果をコピー・ペーストして、報告書等に利用することができる。簡易耐震性能評価の結果ファイルは、テキストファイルや Microsoft エクセルに出力することもできる。

以上のように、FLAP-II を用いることで簡易耐震性能評価を効率的に実施できる。

4. おわりに

FLAP-II は、配管系の耐震性能評価プログラムとして簡易耐震性能評価機能を持つ唯一の市販プログラムであり、簡易耐震性能評価機能における入力データを詳細計算及び熱応力解析にも併用できる。

お問い合わせは、FLAP-II のウェブ (<https://www.chiyodacorp.com/jp/service/chas/flap2/>) または FLAP-II サポート係アドレス (flap2_support@chiyodacorp.com) を利用願いたい。

<注釈>

- (1) 冷凍保安規則
- (2) 液化石油ガス保安規則
- (3) コンビナート等保安規則
- (4) 特定検査規則

表 1 FLAP-Ⅱ仕様一覧

項目	機能	
入力	1	表形式のすぐわかる入力方法
	2	入力エラーのチェック
	3	標準管部品の寸法データベース内蔵
要素	1	直管
	2	曲がり管(溶接エルボー、マイター)
	3	分岐管(成形ティー等)
	4	ノズル・フレキシビリティ
	5	SIF(応力集中係数)自動、ユーザ入力
	6	伸縮継手(ヒンジ、ジンバル、ユニバーサル・タイプ等)
	7	フランジ継手
	8	スプリング・ハンガー
	9	非線形サポート(リミット・ストップ)/自重浮き上がり自動判定
	10	剛体要素(弁等)
	11	管・継手諸元データベース
	12	管材料物性値データベース
解析	1	内圧
	2	自重
	3	熱
	4	強制変位
	5	コールド・スプリング
	6	風荷重
	7	積雪荷重
	8	地震荷重 加速度応答/支持点ごとに異なる設計震度を指定可能 応答変位/支持構造体のグループ化が可能
	9	フランジ・レーティング・チェック
評価基準	1	ASME B31.1
	2	ASME B31.3 (高圧ガスの配管に関する基準 KHKS 0801)
	3	高圧ガス設備等耐震設計基準/レベル 1 耐震性能評価 (簡易耐震性能評価、及び詳細耐震性能評価) 高圧ガス設備等耐震設計基準/レベル 2 耐震性能評価

FLAP-Ⅱバージョン 2.9.6.3 動作環境:

(1) Windows 10 Professional 以上, バージョン 1809/1709, Microsoft Office 2016(*1)

(2) メモリーは 512Mbyte 以上を推奨

(3) ハードディスクは 80Mbyte 以上の空き容量を推奨

(4) HASP キーが必要(*2)

(5) XP 互換モードかつ管理者権限でインストール・起動、言語設定は日本語

(6) 日本語環境での使用(日本語以外の環境での使用はできません)

(*1) Windows 7 32bit、Windows 8 以前 (Windows VISTA、Windows XP 等) には対応していません。

(*2) ライセンスサーバー形式での使用はできません。現在ご使用頂いている旧バージョン 2.9.6.2 の HASP キーは、新バージョン 2.9.6.3 の HASP キーと同様にご使用頂けます。HASP キーの交換は、必要ありません。

FLAP-Ⅱバージョン 2.9.6.3 では Windows 7 64bit Professional, Service Pack 1(SP1), Microsoft Office 2013 による環境での起動確認も行っていますが、Windows 7 の FLAP-Ⅱのサポートは 2020 年 1 月 14 日までとさせていただきますので、何卒、ご了承のほどお願い申し上げます。

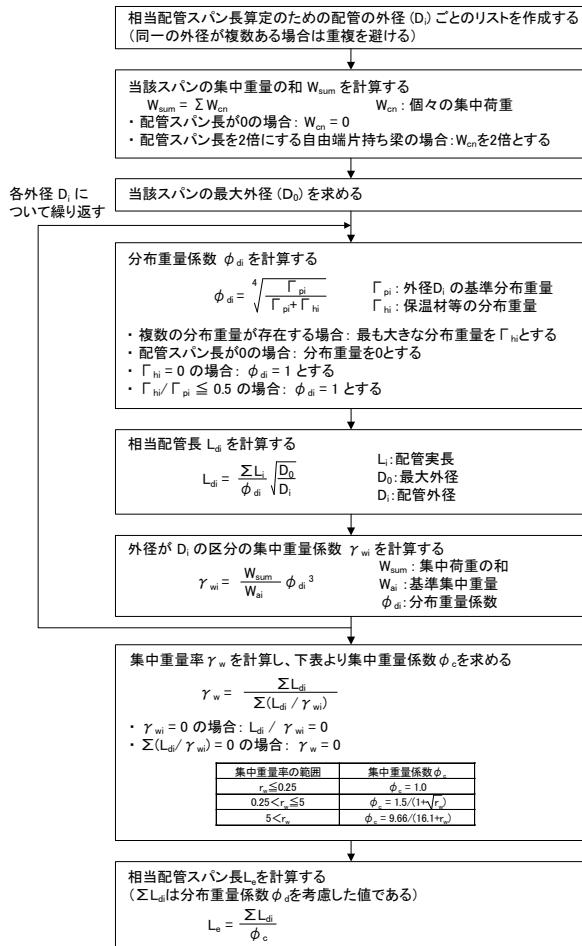


図1 FLAP-II 許容スパン法
相当配管スパン長 計算プログラムフロー

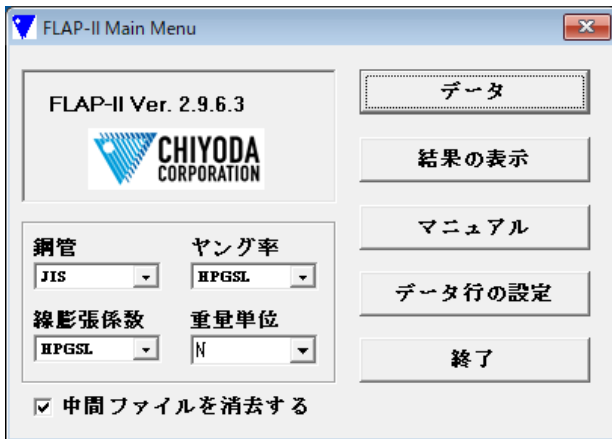


図2 メインメニュー画面

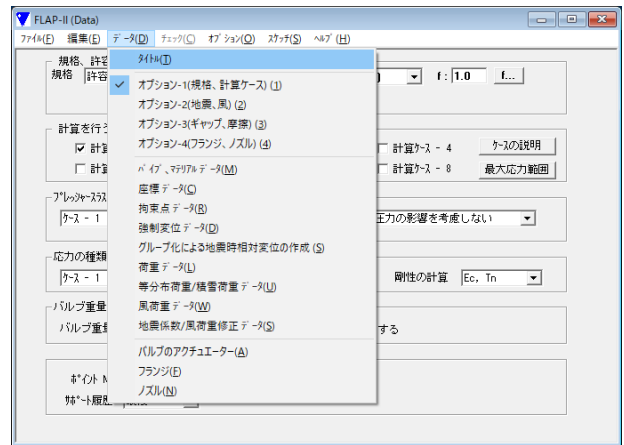


図3 データ入力ウインドウ



図4 パイプ、マテリアルデータウインドウ

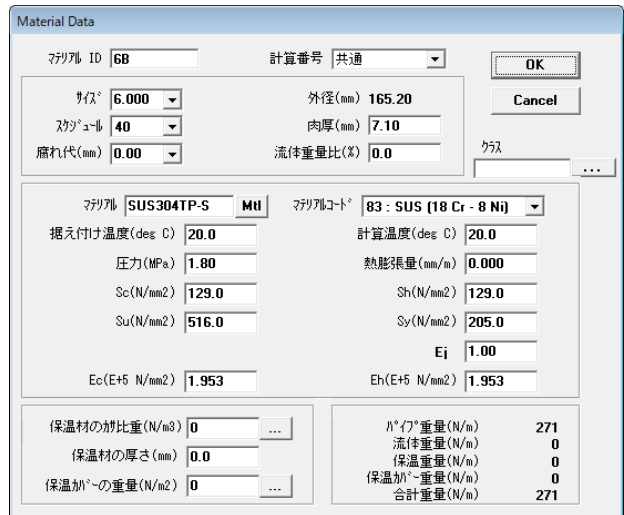


図5 パイプ、マテリアルデータウインドウ

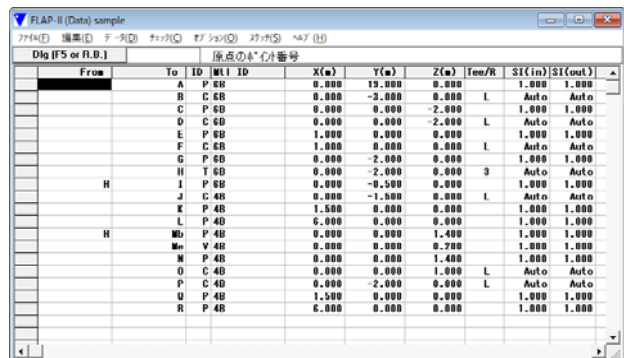


図6 座標データウインドウ

FLAP-III (Data) sample

Point	ID	Dx	Dy	Dz	Rx	Ry	Rz	FF X	FF Y	FF Z	Cap +X	Cap -X	Cap +Y
A	1	1	1	1	1	1	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C	1	1	0	0	0	0	0	0.20	0.20	0.00	0.00	0.00	593.00
E	0	1	1	0	0	0	0	0.00	0.20	0.20	0.00	0.00	593.00
G	1	0	1	0	0	0	0	0.20	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00
K	1	1	1	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
L	1	1	1	1	1	1	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
N	1	1	1	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
O	1	1	1	1	1	1	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
R	1	1	1	1	1	1	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

図7 拘束点データウインドウ

サポートグループによる地震時相対変位の作成

編集 強制変位データの作成 閉じる

Point	Grp	Dir	Dx(mm)	Dy(mm)	Dz(mm)	Rx(deg)	Ry(deg)	Rz(deg)
A	1	X	45.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
A	1	Z	0.00	0.00	45.40	0.00	0.00	0.00
C	1	X	41.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C	1	Z	0.00	0.00	41.00	0.00	0.00	0.00
E	1	X	41.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E	1	Z	0.00	0.00	41.00	0.00	0.00	0.00
G	1	X	37.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
G	1	Z	0.00	0.00	37.80	0.00	0.00	0.00
K	2	X	11.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	2	Z	0.00	0.00	11.70	0.00	0.00	0.00
L	2	X	11.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
L	2	Z	0.00	0.00	11.70	0.00	0.00	0.00
N	1	X	34.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
N	1	Z	0.00	0.00	34.50	0.00	0.00	0.00
Q	2	X	11.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q	2	Z	0.00	0.00	11.70	0.00	0.00	0.00
R	2	X	11.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
R	2	Z	0.00	0.00	11.70	0.00	0.00	0.00

この表を簡易耐震性能評価で使用する

図8 グループ化による地震時相対変位の作成ウインドウ

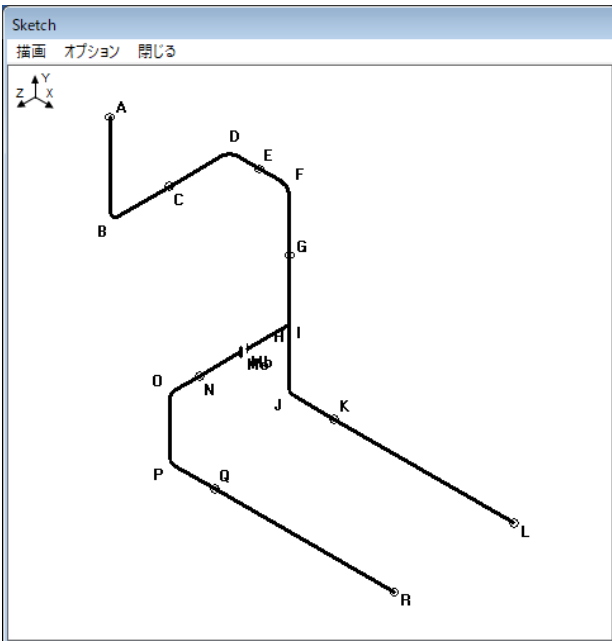


図9 スケッチ

計算の実行

以下がなければ次の計算を行います

許容スパン法による耐震性能評価

許容スパンの表

分岐部の外径が母管の外径の1/2 以下の場合の処理を行う

ダミー部の拘束条件を付け根に移行する

熱と自重の計算

図10 計算の実行ダイアログボックス

許容スパン法による耐震性能評価 (sample)

ファイル(F) 編集(E) スケッチ(S) フォント/カラー(C) ヘルプ(H)

結果の要約 合格

結果の要約 システム:

***** 計算ケース - 1 X方向 *****

各外径毎の許容スパンに対する最大比率

外径	相当配管スパン長(m)	許容スパン長(m)	比率	判定	組み合わせ番号
165.200	6.805	12.700	0.536	合格	5
114.300	3.000	10.700	0.280	合格	7

各外径毎の変位吸収能力に対する最大比率

外径	投影長(m)	相対変位量(mm)	変位吸収能力(mm)	比率	判定	組み合わせ番号
165.200	4.303	49.50	78.82	0.628	合格	3
114.300	3.000	46.20	55.38	0.834	合格	7

***** 計算ケース - 1 Y方向 *****

各外径毎の許容スパンに対する最大比率

外径	相当配管スパン長(m)	許容スパン長(m)	比率	判定	組み合わせ番号
165.200	9.176	12.700	0.723	合格	4
114.300	6.000	10.700	0.561	合格	6

***** 計算ケース - 1 Z方向 *****

各外径毎の許容スパンに対する最大比率

外径	相当配管スパン長(m)	許容スパン長(m)	比率	判定	組み合わせ番号
165.200	8.000	12.700	0.630	合格	1
114.300	6.000	10.700	0.561	合格	5

各外径毎の変位吸収能力に対する最大比率

外径	投影長(m)	相対変位量(mm)	変位吸収能力(mm)	比率	判定	組み合わせ番号
165.200	4.106	46.20	71.77	0.644	合格	4
114.300	3.500	46.20	75.37	0.613	合格	7

図11 計算結果 (要約)

許容スパン法による耐震性能評価 (sample)

ファイル(F) 編集(E) スケッチ(S) フォント/カラー(C) ヘルプ(H)

計算ケース - 1 X方向 合格

各外径毎の許容スパンに対する最大比率

外径	相当配管スパン長(m)	許容スパン長(m)	比率	判定	組み合わせ番号
165.200	6.805	12.700	0.536	合格	5
114.300	3.000	10.700	0.280	合格	7

各外径毎の変位吸収能力に対する最大比率

外径	投影長(m)	相対変位量(mm)	変位吸収能力(mm)	比率	判定	組み合わせ番号
165.200	4.303	49.50	78.82	0.628	合格	3
114.300	3.000	46.20	55.38	0.834	合格	7

組み合わせ番号: 1

From	To	外径(mm)	X(m)	Y(m)	Z(m)	集中荷重(N)	配管長(m)	付加荷重(N/m)	スパン長 Ldi(m)
A	B	165.20	0.000	-3.000	0.000	0.0	3.000	0.0	3.000
C	D	165.20	0.000	0.000	-2.000	0.0	2.000	0.0	2.000
合計						0.0			5.000

外径(mm) Γp(N/m) Γh(N/m) φd L(m) Ld(m) Ws(N) γs φc

165.20 289.7 0.0 1.0000 5.000 5.000 3010.0 0.0000 1.0000

配管スパンの評価 最大外径 = 165.200

相当配管スパン長 Le=(ΣLdi)/φc = 5.000 (m)

許容スパン長(圧縮ガスの表) La = 12.700 (m)

比率: 0.394

判定: 合格

図12 計算結果 (X方向)