

平成18年1月16日

ARMD テクニカルニュース No. 10

はじめに

顧客様各位におかれましては、ますますご清栄のこととお慶び申し上げます。また、平素から米RBTS社のARMDをご愛用下さいまして、誠に有難う御座います。

さて、寒かった昨年2月にNews No. 9を、お出ししてから休刊気味でしたが、引き続きNews No. 10をここに刊行致します。今回はVersion upの通知も含んでおります。今後ともこのTechnical Newsをご愛読下さいますようお願い申し上げます。

(株)二樹エレクトロニクス
青葉事務所 蜂須賀 照憲

お知らせ No. 1

< V5.6 G1 へのバージョンアップ >

ARMDは現在V5.4 G2ですが、このたびV5.6 G1にバージョンアップいたしました。

アップの増分項目説明の英語版は、メディア配布資料の中に含まれていますが、この日本語版も同封します。またこれをHome Pageからもダウンロードできるようにしましたので、ご利用ください。この日本語版は杉村章二郎様に作成していただいたものです。

年間保守に入っておられるお客様だけにメディアと説明書を無償配布することになります。

今回のMemory Key (Dongle) のUpdateは、V5.4からのUpdateの場合は、行なう必要がありません。V5.3またはそれ以前のVersionからのUpdateの場合には、Memory Keyのアップデートが必要となります。配布しますV5.6 User's Manualと共に、ARMD Version5.6 Installationという4ページの説明書をよくお読みになってアップデートしてください。V5.3以前からの場合は、そんなに難しいことはありませんが、途上得られた旧文字列をメールなどでRBTSに知らせ、それによって新文字列を送り返してもらって、入れ込む作業になります。RBTSとは時差もほぼ反対なので最低1日待たないと新文字列が得られません。ご不便をおかけしますが、よろしくお願ひいたします。バージョンアップ作業とMemory Keyのアップデートは、早めに済ませていただきますようお願いいたします。旧バージョンのままにしておかれますと、いろいろと支障が出て参ります。RBTSとの交信の一例は、News No. 4のお知らせNo.1の中の、「Memory Keyの更新」を参照してください。

今回からNT, 2000, XPのPCではPrivilegeが必要です。事前にコントロールパネル→ユーザアカウントで確認してUpdateを進めてください。

今後行われるセミナーや質疑応答サービス、委託解析などは、新バージョンを基準に行いますことをご了承ください。

お知らせ No. 2

< ホームページの開設と e-mail address 新設 >

遅れ馳せながら、青葉事務所のホームページを昨年9月に開設しました。
<http://home.v09.itscom.net/rbtsniki/> です。ささやかなサイズですが今後大事に発展させていきたいと思っております。皆様からのご意見、ご感想などをお聞かせいただければ幸せです。いろいろの資料もダウンロードできますし、RBTSのホームページともリンクしておりますので、ご利用ください。このNews Seriesもダウンロードできるようになっております。

長年お使いいただいた、当事務所の e-mail address : rbtsniki@246.ne.jp は、プロバイダのサーバの都合であまり融通が利きませんので、この際 rbtsniki@v09.itscom.net を新設いたしました。今後はこの address でお願いいたします。旧 address は当分の間メールの受送信だけはできますが、縮小方向で参るつもりです。

以上、勝手を申しますがよろしくお願いいたします。

お知らせ No. 3

< Memory Key (Dongle) について >

3-1. くれぐれも紛失されませんように

毎度申しておりますが、Dongle は、ご利用承諾 (契約) 書に代わる大事なものですので、くれぐれも紛失されませんようにお願いします。紛失されますと、新たにシステムをご購入されないと得ることが出来ません。

3-2. USB Dongle

PCが進化して、Printer Port 用の Serial Port (RS232C) がなくなり、USB Port を使うようになって参りました。そんなことから、旧 Dongle を USB type に変更されるご用がありましたら、承っております。ただ、設定、送料、通関などで費用がかかります。申し訳ありませんが実費を申し受けさせていただきますようお願いいたします。この価格は他社よりも格段に安価にしております。

お知らせ No. 4

< 究極のころがり軸受特性解析システム >

ご承知の通り、EHL を考慮したころがり軸受解析の COBRAEHL は、ARMD に組み込まれていますが、慣性やジャイロ効果や超高速回転などあらゆる物理現象を考慮した究極のころがり軸受の高精度解析システム COBRAAHS (AHS=Advanced High Speed) があり、米では高く評価されています。これは高価なもので ARMD には含まれていません。COBRA Series は RBTS の提携会社の J. V. Poplawski & Associates の製品です。これについてはHPの<http://www.bearingspecialists.com/> をご覧ください。現在わが国でも、ある一社様をご購入の上、試用いただいております。

ARMD 以外の周辺のソフトウェアについても、何なりとご遠慮なく、弊社にお問合せください。

では、以下に ARMD の便利な利用法について杉村様に解説いただきますので、ご利用ください。

Tech News No.10

(有) 杉村プランニング 杉村回転機械研究所 杉村章二郎

今回は横振動計算モジュール ROTLAT 中にあるメニューの Static Deflection Calculations (静たわみ計算) を用いているいろいろな便利な計算を紹介します。回転軸以外にも ARMD が便利に使えることを利用してみてください。

1. 梁の計算

始めに簡単に梁の計算を復習しておきます。

(1) 梁の計算理論式 復習

変位から始まってそれぞれを1回微分することによってたわみ角から荷重までの関係式が得られることを思い出して下さい。逆に荷重から始まってそれぞれを積分することによって変位が計算できることです。

変位	v
たわみ角	$i = \frac{dv}{dx}$
モーメント	$\frac{M}{EI} = \frac{di}{dx} = \frac{d^2v}{dx^2}$
剪断力	$F = \frac{dM}{dx}$
分布荷重	$w = \frac{dF}{dx}$

一方、

$$\text{たわみの基礎式} \quad \frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI}$$

は応力とモーメント及び断面2次モーメントの関係式から求めることができます。

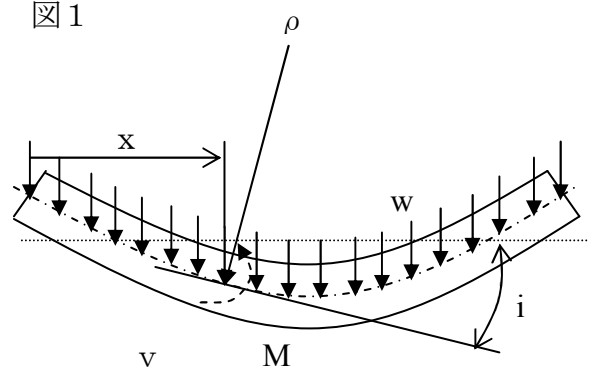
$$\text{梁の縦繊維に生ずる軸方向応力} \quad \sigma = E\varepsilon = E \frac{y}{\rho} = \frac{M}{I} y$$

$$\text{梁断面の中立軸に働くモーメント} \quad M = \int_A \sigma y dA = \frac{E}{\rho} \int_A y^2 dA = \frac{EI}{\rho}$$

$$\text{断面二次モーメント} \quad I = \int_A y^2 dA$$

さらに軸方向の曲げ応力と剪断応力も求められます。

図1



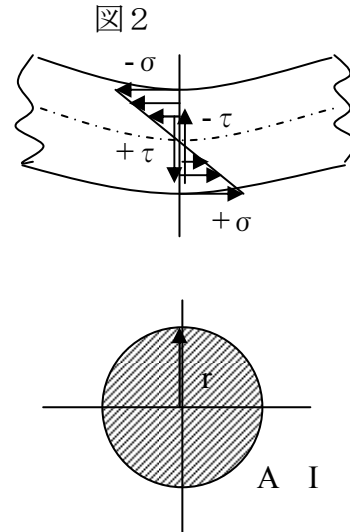
縦繊維に生ずる最大軸方向応力（円形断面）

$$\sigma = \frac{M}{I} r$$

垂直最大剪断応力（円形断面） $\tau = \frac{4}{3} \frac{F}{\pi r^2}$

ただし、上記で説明のない記号の意味は次の通りです。

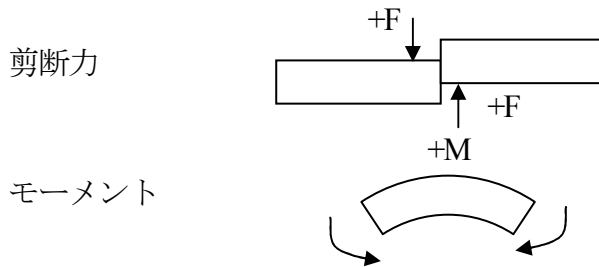
- x : 梁に沿った基準点からの距離
- I : 梁断面の断面 2 次モーメント
- E : 梁材料の縦弾性係数
- ρ : 梁の曲げ曲率
- ε : 梁の曲げ歪み
- y : 梁の中立軸からの軸直角方向変位
- A : 梁の断面積
- r : 梁の中立軸から外表面までの距離



ここで ARMD での記号の定義をしておきます。

正負の記号定義

図 3 符号定義



荷重	上向き	正	下向き	負	
反力	上向き	正	下向き	負	
slope (傾き)	水平位置から時計回りの傾き		正	反時計回り	負

梁の計算では

剪断力図、曲げモーメント図、たわみ線図、傾き図、最大縦繊維応力図、最大剪断応力図等が必要となりますが、ARMD でもこれらの線図が出力されます。以下の例題で見て下さい。

2. 梁計算例

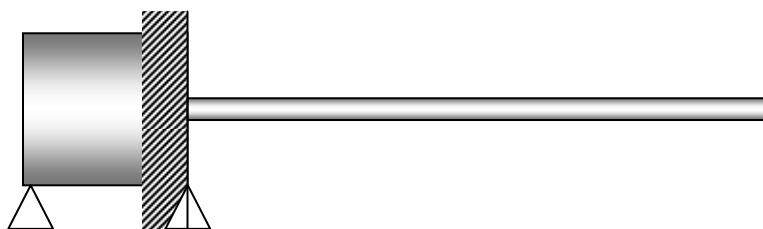
回転軸は軸受部での多点単純支持軸が通常ですから、ARMD は多点支持の単純支持梁りの計算用に作られています。しかし固定支持の梁に対しても工夫次第では適用可能です。例えば次の方法によって可能です。

A. 支持部に近接して軸受けを 2 個以上設置して、軸径を太くする。(図 4)

近似計算になりますが固定支持を実現できます。

A. 剛性の高い軸受による固定支持

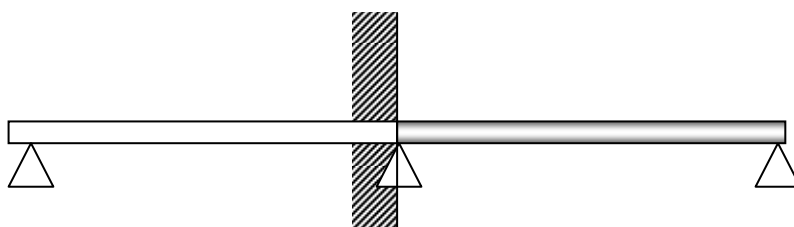
図4 固定支持例1



B. 梁の長さを2倍にして完全なミラー配置にする。(図5)

正確に固定支持が出来ます。

図5 固定支持例2



詳細計算は省略します。それぞれ試して下さい。

梁の計算を行ってみます。

2. 1 反力荷重

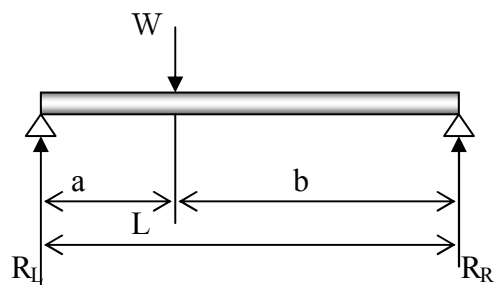
荷重が集中荷重のみの場合で軸の重量を無視する時は誤差が出ない範囲で軸を仮の細い軸を用いる必要があります

実軸として反力を求める場合は軸の質量も考慮されますので、通常の軸系計算と同じ解析を行います。2. 2 参照下さい。

例題1. 1 集中質量の反力荷重計算

手計算では

図6 単純支持軸



$$R_L = \frac{Pb}{L}$$

$$R_R = \frac{Pa}{L}$$

$$W=1000\text{N} \quad a=400\text{mm}, \quad b=600\text{mm} \quad L=1000 \text{ mm}$$

のとき

$$\text{公式から } R_L=1000 \times 600/1000=600 \text{ N}$$

$$R_R=1000 \times 400/1000=400 \text{ N}$$

となります。

ARMD で解析すると手順としては

- (1) 長さ 1000mm で直径 1mm の軸を想定して Element Information を入力します。
- (2) 次に Systems の Bearing Information で両端の Node に軸受位置を指定します。
- (3) 集中荷重を Options menu の External Forces で入力します。(図 7)

図 7 External Force 入力

	Station	Direction	Magnitude	Frequency	Phase Angle	Start Time	End Time
1	5	2	-1.0000E+003	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000

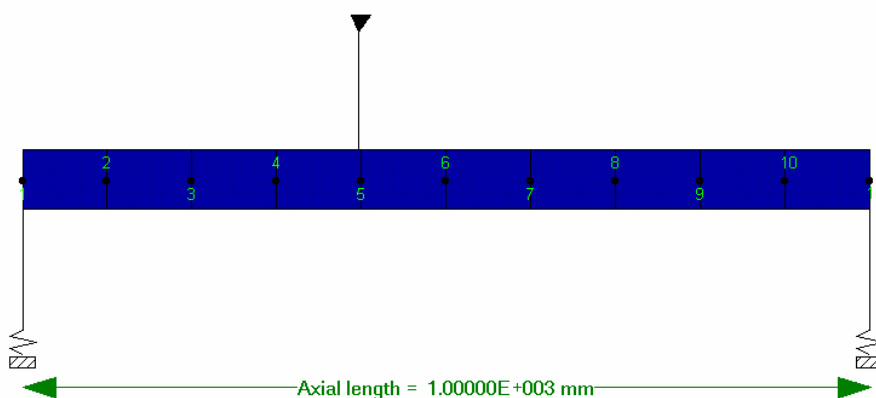
Direction は垂直方向で y 方向ですから 2 を入力します。荷重は下向き（負の方向）にかかりますから -1000N で入力します。Frequency、Phase Angle、Start Time、End Time は全て 0 のままで良いです。

形状は図 8 のような beam が入力されています。

Run で Static Deflections Calculations を選んで計算実行します。

図 8 Beam 入力図

D:\Project\Dounyu\1X1000 beam.R.OI
Beam deflection analysis
1mmX1000mm beam with simple support
10/13/05 22:34:03



解析結果は Text output から Computed Bearing REACTIONS として得られます。

表1 >>> Computed Bearing REACTIONS <<<

Bearing Number	Station Number	Force (N) X-Direction	Force (N) Y-Direction	Resultant (Newton)	Angle (Deg.) From +X Axis
----------------	----------------	-----------------------	-----------------------	--------------------	---------------------------

1	1	0.00000E+00	6.00040E+02	6.00040E+02	9.00000E+01
---	---	-------------	-------------	-------------	-------------

2	11	0.00000E+00	4.00032E+02	4.00032E+02	9.00000E+01
---	----	-------------	-------------	-------------	-------------

Bearing 1 : station 1 の軸受の Force は y 方向に働いて 600.040N

Bearing 2 : station 2 の軸受の Force は y 方向に働いて 400.032N となっています。

Bearing 1 の 0.040N と Bearing 2 の 0.032N は軸自重の影響の誤差です。

beam の直径をもっと細く入力すれば、誤差は小さくなります。

直径を 0.1mm で入力すれば Bearing 1 は+0.009N、Bearing 2 は-0.003N となります。

お試し下さい。

(2) 梁の撓み、応力

例題2. 1 集中荷重の単純2点支持梁

軸形状 (梁形状) と荷重の入力で解析できます。入力は例題1と同じ要領です。

軸径は実際的な例として 50mm 太さの軸とします。

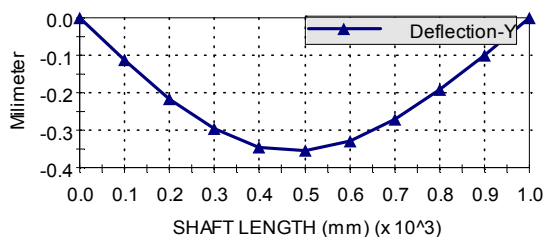
材料の縦弾性係数は ARMD の default 値 $E=199950 \text{ N/mm}^2$ を用います。

計算結果からのグラフ表示として梁の計算ではおなじみの以下の図を描かせることができます。

図9 梁計算出力図1

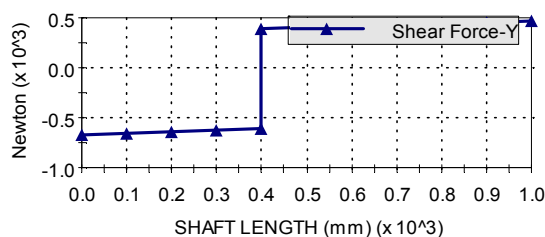
たわみ線図

D:\Project\Dounyu\50X1000 beam.DFG
10/27/05 21:20:44

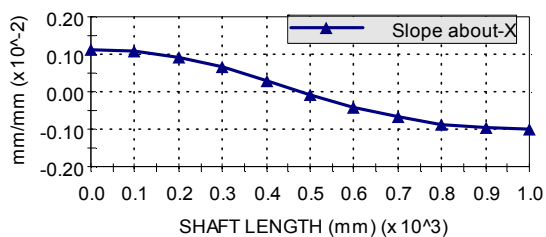


剪断力図

D:\Project\Dounyu\50X1000 beam.DFG
10/27/05 21:20:44

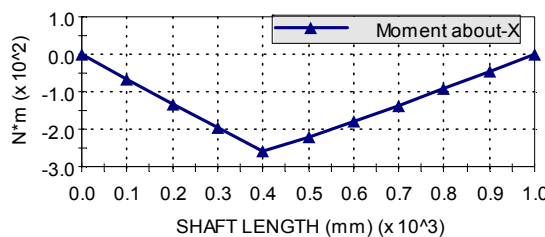


D:\Project\Dounyu\50X1000 beam.DFG
10/27/05 21:20:44



傾き線図

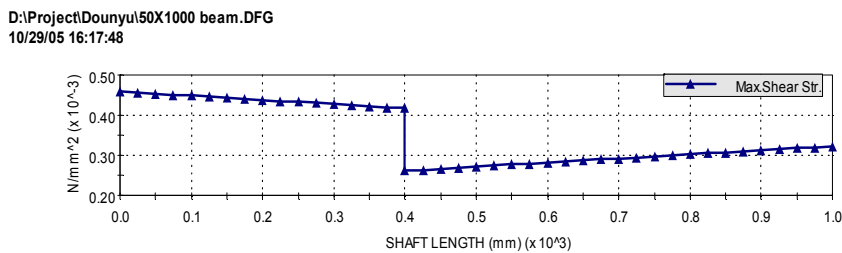
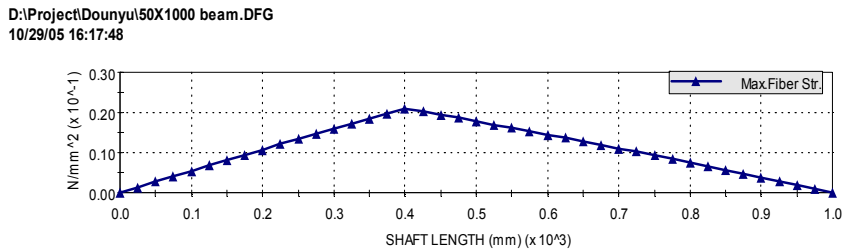
D:\Project\Dounyu\50X1000 beam.DFG
10/27/05 21:20:44



モーメント線図

図 1 0 梁計算出力図 2

最大縦繊維応力図(Fiber stress)



最大剪断応力図 (Shear stress)

text output data から次の値が読みとれます。(後出の output 参照)

表に公式から手計算で求めた値を追記します。

梁の自重を分布荷重として考慮した場合と無視した場合を示します。

ARMD の計算は当然軸の自重も入っています。

表 2

計算項目	ARMD 出力	手計算 (自重無視)	手計算 (自重考慮)
最大たわみ量	-0.3539mm	-0.3213mm	-0.3541mm
たわみ角度 (左端)	0.001144mm/mm	0.001043mm/mm	0.001146mm/mm
〃 (右端)	-0.001014mm/mm	-0.0009129mm/mm	-0.001016mm/mm
剪断力 (左端)	-675.4 N	-600 N	-675.8 N
〃 (右端)	475.1 N	400 N	475.8 N
最大モーメント	-258.1 Nm	-240.0 Nm	-258.9 Nm
最大曲げ応力 (Fiber stress)	0.02103 N/mm ²	0.01955 N/mm ²	0.02110 N/mm ²
最大剪断応力 (Shear stress)	0.00004587 N/mm ²	0.00004074 N/mm ²	0.00004589 N/mm ²

自重を無視した場合は集中荷重のみの結果となります。 ARMD の出力は自重も入っていますので、上表の手計算 (自重考慮) と比較下さい。 0.5%以下の精度では計算できています。ただしこれは Section の分割の仕方にも関係してきますし、最大たわみ点などは分割した section の中間に来てしまうと誤差は増えますので、実際の利用には注意する必要があります。

詳細 data は以下の出力値参照下さい。

表3 >>> COMPUTED DEFLECTIONS (Displ. & Rot.) at EACH SHAFT STATION <<<

[* Calculations Consider Housing Stiffness Not Bearings *]

Station Number	Axial Location (mm)	Horizontal X-Deflection (mm)	Vertical Y-Deflection (mm)	Rotations About - X (mm/mm)	Rotations About - Y (mm/mm)
1	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.14475E-03	0.00000E+00
2	1.00000E+02	0.00000E+00	-1.13137E-01	1.09031E-03	0.00000E+00
3	2.00000E+02	0.00000E+00	-2.15416E-01	9.28225E-04	0.00000E+00
4	3.00000E+02	0.00000E+00	-2.96196E-01	6.60953E-04	0.00000E+00
5	4.00000E+02	0.00000E+00	-3.45082E-01	2.90952E-04	0.00000E+00
6	5.00000E+02	0.00000E+00	-3.53926E-01	-9.78097E-05	0.00000E+00
7	6.00000E+02	0.00000E+00	-3.27122E-01	-4.21365E-04	0.00000E+00
8	7.00000E+02	0.00000E+00	-2.71316E-01	-6.77255E-04	0.00000E+00
9	8.00000E+02	0.00000E+00	-1.93395E-01	-8.63018E-04	0.00000E+00
10	9.00000E+02	0.00000E+00	-1.00496E-01	-9.76197E-04	0.00000E+00
11	1.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.01433E-03	0.00000E+00

この解析では軸受支持台に剛性が入力されているときは、その値も考慮されます。軸受油膜の剛性は無視されます（無限大で計算されます）。

表4 Beam deflection analysis

50mmX1000mm beam with simple support

Shaft Element FORCES, MOMENTS and STRESSES

ELEMENT #	Node	FORCE-X (Shear)	FORCE-Y (Shear)	MOMENT-X (N-m)	MOMENT-Y (N-m)	FIBER-STR. Max.KN/mm^2	SHEAR-STR. Max.KN/mm^2
1	1	0.000E+00	-6.754E+02	2.744E-05	0.000E+00	2.236E-09	4.587E-04
	2	0.000E+00	-6.603E+02	-6.679E+01	0.000E+00	5.442E-03	4.484E-04
2	2	0.000E+00	-6.603E+02	-6.679E+01	0.000E+00	5.442E-03	4.484E-04
	3	0.000E+00	-6.453E+02	-1.321E+02	0.000E+00	1.076E-02	4.382E-04
3	3	0.000E+00	-6.453E+02	-1.321E+02	0.000E+00	1.076E-02	4.382E-04
	4	0.000E+00	-6.302E+02	-1.958E+02	0.000E+00	1.596E-02	4.279E-04
4	4	0.000E+00	-6.302E+02	-1.958E+02	0.000E+00	1.596E-02	4.279E-04
	5	0.000E+00	-6.151E+02	-2.581E+02	0.000E+00	2.103E-02	4.177E-04
5	5	0.000E+00	3.849E+02	-2.581E+02	0.000E+00	2.103E-02	2.614E-04
	6	0.000E+00	4.000E+02	-2.189E+02	0.000E+00	1.783E-02	2.716E-04

6	6	0.000E+00	4.000E+02	-2.189E+02	0.000E+00	1.783E-02	2.716E-04
	7	0.000E+00	4.151E+02	-1.781E+02	0.000E+00	1.451E-02	2.819E-04
7	7	0.000E+00	4.151E+02	-1.781E+02	0.000E+00	1.451E-02	2.819E-04
	8	0.000E+00	4.302E+02	-1.358E+02	0.000E+00	1.107E-02	2.921E-04
8	8	0.000E+00	4.302E+02	-1.358E+02	0.000E+00	1.107E-02	2.921E-04
	9	0.000E+00	4.453E+02	-9.207E+01	0.000E+00	7.502E-03	3.024E-04
9	9	0.000E+00	4.453E+02	-9.207E+01	0.000E+00	7.502E-03	3.024E-04
	10	0.000E+00	4.603E+02	-4.679E+01	0.000E+00	3.813E-03	3.126E-04
10	10	0.000E+00	4.603E+02	-4.679E+01	0.000E+00	3.813E-03	3.126E-04
	11	0.000E+00	4.754E+02	-1.779E-05	0.000E+00	1.450E-09	3.228E-04

以上簡単な例を示しましたが、実際の梁では不静定梁で手計算では3モーメントの定理で解く必要が有ったりかなり困難を伴います。かといってFEMで解析するのは手間が掛かると言ったときにARMDでこの種の計算が簡単に出来ます。大いに利用すべきです。

3. 軸受 alignment の変化とたわみ

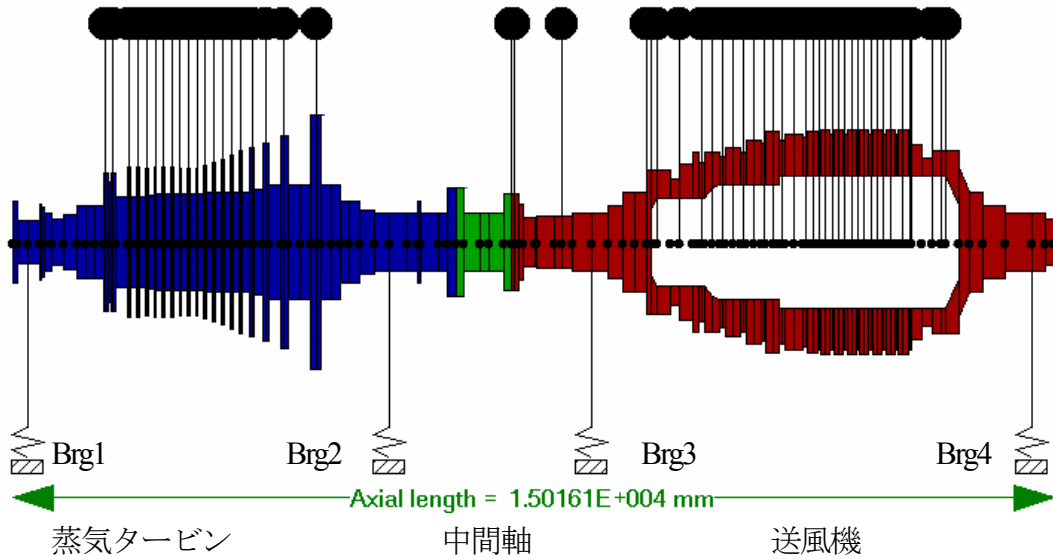
軸受支持点の変位すなわち alignment が変わると軸受荷重もかなり影響を受けます。実例で示します。

蒸気タービン+送風機をフランジ継手（固定継手）で連結した例で示します。全体の入力形状は図11の通りです。

図1 1 入力図

D:\Project\Dounyu\ST+BL.ROI

Train alignment analysis
SPC turbine and blower train model
11/3/05



3. 1 軸受位置が同じレベルの場合
 軸受位置で全て 0mm レベルとした場合を示します。

図1 2 たわみ線図

D:\Project\Dounyu\ST+BL.DFG
 11/03/05 10:02:24

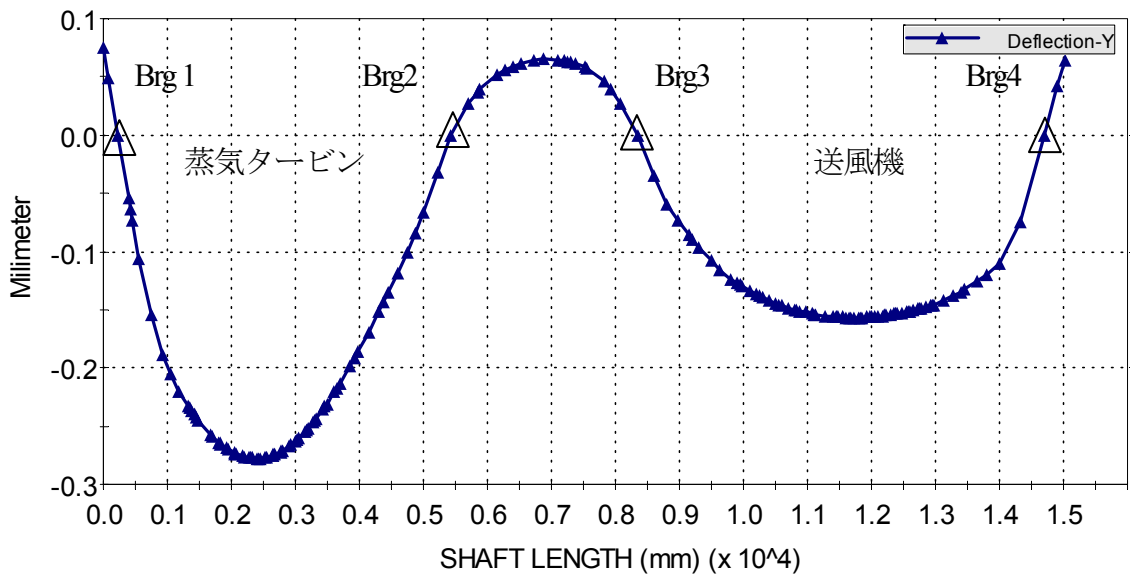


図 1 2 では全ての軸受位置でレベルは 0mm であることが分かります。
 蒸気タービン側の最大たわみは約 0.28mm で送風機側の最大たわみは約 0.16mm になっています。
 この時の軸受反力は text output から

表 5

Total Shaft Weight (Kgs)————> 4.70185E+04
 Total Disc Weight (Kgs)————> 1.09914E+04
 OVER ALL Rotor Weight (Kgs)————> 5.80099E+04
 Total Shaft Length (mm)————> 1.50161E+04
 C. G Location from Station 1 (mm) —> 8.56329E+03

等の質量dataに続いて

>>> Computed Bearing REACTIONS <<<

Bearing Number	Station Number	Force (N) X-Direction	Force (N) Y-Direction	Resultant (Newton)	Angle (Deg) From +X Axis
1	3	0.00000E+00	7.37841E+04	7.37841E+04	9.00000E+01
2	78	0.00000E+00	1.32156E+05	1.32156E+05	9.00000E+01
3	98	0.00000E+00	1.88759E+05	1.88759E+05	9.00000E+01
4	171	0.00000E+00	1.74486E+05	1.74486E+05	9.00000E+01

として出力されます。

水平方向の荷重はありませんので X 方向は 0 で出力されます。軸受反力荷重は上向きですので +Y の方向に荷重が出力されます。合成荷重 (Resultant) は X 軸から 90° の方向に (つまり Y 軸の+方向に、Angle from+X Axis) 掛かることが分かります。

軸受反力荷重の全合計が 569185N ですから 58010kg となり、上表の OVER ALL Rotor weight 58009.9

kg に一致しています。

3. 2 送風機側に alignment 変化が起こったとき

送風機側が例として-0.8mm だけ alignment が下がった場合を解析します。

System menu で Bearings を開き Elevation に 3, 4 軸受部の変位を-0.8 と入力します。(図 1 3)

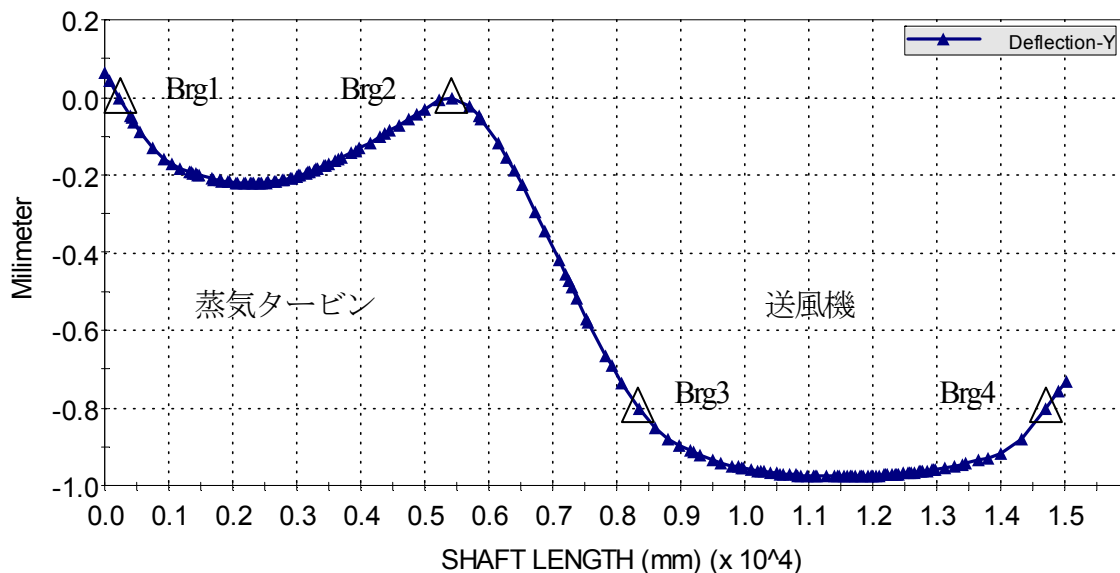
図 1 3 Alignment 入力図

	Station	DOF	Type	Auto	ND File	Elevation
1	3	2	0	<input type="checkbox"/>	Manual	0.000000E+000
2	78	2	0	<input type="checkbox"/>	Manual	0.000000E+000
3	98	2	3	<input type="checkbox"/>	Manual	-8.000000E-001
4	171	2	3	<input type="checkbox"/>	Manual	-8.000000E-001

結果のたわみ線図を図 1 4 に示します。

図 1 4 たわみ線図

D:\Project\Dounyu\ST+BL.DFG
11/03/05 10:55:00



この時の軸受反力は Text output から

表 6 >>> Computed Bearing REACTIONS <<<

.....					
Bearing Station Number	Force (N)	Force (N)	Resultant (Newton)	Angle (Deg.)	From +X Axis
Number	X-Direction	Y-Direction			
1	3	0.00000E+00	6.48465E+04	6.48465E+04	9.00000E+01
2	78	0.00000E+00	1.71440E+05	1.71440E+05	9.00000E+01
3	98	0.00000E+00	1.52091E+05	1.52091E+05	9.00000E+01
4	171	0.00000E+00	1.81837E+05	1.81837E+05	9.00000E+01

となります。この結果から

NO. 2 の蒸気タービン軸受が 171440N と alignment が 0 mm の場合の 132156 に比べて約 30% 軸受荷重が増加して、送風機側 NO. 3 軸受は 188759N から 152091N へと約 20% 軸受荷重が減少していることが分かります。

この場合は軸受の荷重がそれほど大幅には変わっていませんので、問題ないようには思えます。この例では蒸気タービンと送風機の間には中間軸を入れてたわみ性を持たせているので、alignment の変化を吸収できているようです。

一般には軸受支持台が運転中に熱伸びで変位した場合には alignment が変わりその値によっては軸受荷重が大きく変化して

- (1) 軸受面圧が過大となって焼損する

(2) 軸受面圧が過小となって軸受が不安定になり不安定振動の原因となる等の現象が発生します。従って alignment が変わった場合の軸受反力を正しく解析して対応する必要があります。そのためには ARMD の Static Deflection 計算が有効に利用できる例です。

4. 実機 alignment 芯だし線図

さらに軸系のたわみ線図を基に初期据え付け alignment 線図が作られます。例えば上記の例で蒸気タービンと送風機の中の継手の接続はそれぞれの軸継手部のフランジが同一レベルで面が並行になるように据え付ければ継手に無理がかから無いように据え付けることができます (例では蒸気タービンと中間軸の接続部を基準にしています)。そのためにそれぞれのロータを単独状態で静たわみ計算を行い、軸端部でのたわみ角度 (slope) と変位を計算することによって実現できます。詳細は省略しますが、一例を以下に示します。図 1 6 参照下さい。

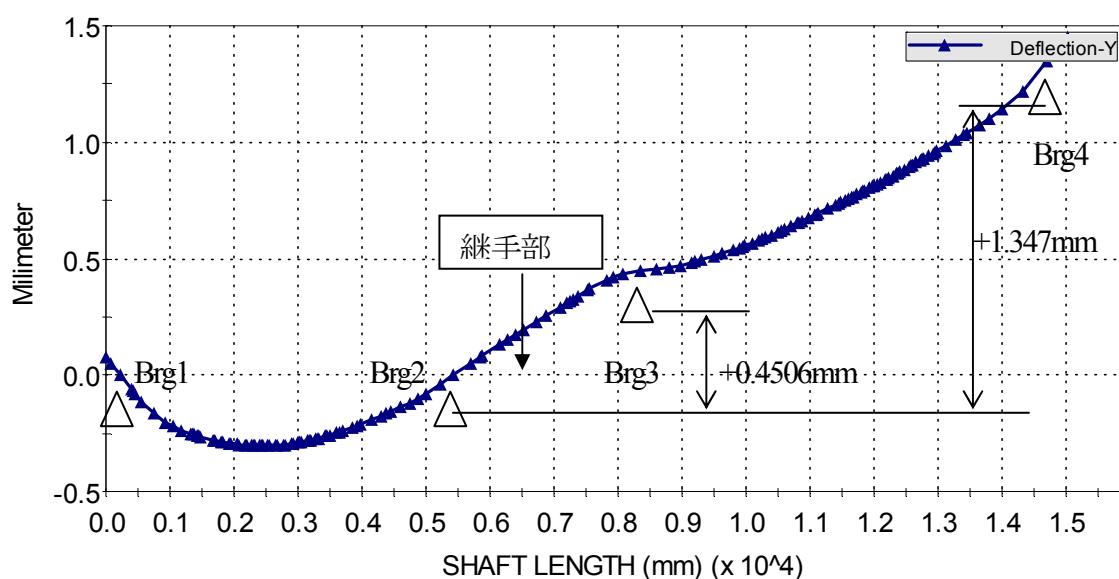
図 1 5 Alignment 入力図

	Station	DOF	Type	Auto	ND File	Elevation
1	3	2	0	<input type="checkbox"/>	Manual	0.000000E+000
2	78	2	0	<input type="checkbox"/>	Manual	0.000000E+000
3	98	2	3	<input type="checkbox"/>	Manual	4.506000E-001
4	171	2	3	<input type="checkbox"/>	Manual	1.347000E+000

NO. 3 軸受は+0.4506mm、NO. 4 軸受は+1.347mm 上方にあげて据え付けると、タービン部との継ぎ手にモーメント剪断力が掛からずに理想的な据え付け alignment が出来ることが分かります。勿論通常は定格運転時にこの状態になるように据え付けることとなりますので、据え付け状態ではその他の要素も考慮する必要があります。いずれにしてもそのために Static Deflection Calculations が有効に使えますので、工夫してご利用下さい。

図 1 6

D:\Project\Dounyu\ST+BL.DFG
11/03/05 15:24:44



以上