

# 損傷転がり軸受の 外輪はめあい面応力分布について

1030125

玉井 聡志

知能機械システム工学科  
トライボロジー研究室

指導教員：竹内 彰敏

# 目次

## 第1章 緒言

## 第2章 軸受損傷ならびに超音波法による診断法について

- 2.1 軸受損傷について
- 2.2 新軸受寿命式について
- 2.3 従来の方法
- 2.4 超音波法の測定原理
- 2.5 損傷試験実験機

## 第3章 解析結果

- 3.1 解析目的
- 3.2 解析における条件
- 3.3 解析結果及び考察

## 第4章 結言

参考文献

## 付録

解析手順

## 第 1 章 緒言

軸受とは機械の回転部品に使用され、その機械の性能を左右するほど重要な機械要素であり、軸受をしない機械は無いと言われるほど多くのものに用いられている。特にプラント工場で使われる産業機械では、軸受が故障しただけでもシステム全体が停止となり、その復旧には多大な費用が必要になることもある。それを未然に防ぐために企業は多大な保全費用を払っている。表 1-1 に保全にかかる費用を表わしている。また、図 1-1 より製造業の事業所における設備診断対象部位の首位は軸受であることがわかる。このように機械の安全な運転には、軸受の損傷状態を把握することは重要であることがわかる。さらに、軸受けの予寿命予測が可能となれば、軸受の最適な交換時期を特定することができるため、保全の費用を削減することができる。

予寿命予測として考えられるのは、一般的な寿命予測式である。しかし、軸受寿命は同じ軸受でもばらつきが大きいいため、実際の寿命予測は困難であり、設計段階の基準程度でしかなかった。新たな取り組みとして圧痕寸法、圧痕縁半径、摩耗粉の混入量、粒径分布などを含めた新たな軸受寿命式が考えられている。従来の方法では、圧痕の形状、個数の形状を検知する事は困難であったため、この式の確立ができなかった。しかし、本測定法では圧痕および異物の形状・個数まで検知できる可能性があり、新たな軸受寿命式に寄与できると考えている。

本研究では超音波法の信頼性を高めるために、数値解析により応力分布を求める事を行った。実際に実験をすることでも、内輪損傷によるはめ合い面の応力を求める事はできる。しかし、数値解析を行う事で損傷部だけでなく、軸受全体の応力分布や変位まで求めることができる。例えば、損傷部に玉が位置したとき隣の球の支持荷重はどのようになるか。また、超音波の照射領域内での支持荷重変動の限界まで検討する事が出来る。これらが明らかになれば、本研究の測定原理が証明されることになり、その信頼性を高める事につながる。

表 1 保全費の内訳

分類	売上高(億円)	従業員数	年間保全費(万円)	主要事業内容	設立後年数	保全方針	保全体制		対象主要設備		
							社内	社外			
社会資本	建物	官公庁	-	630	3,600	役所	30>	PM - BM	100%	EV・電気・空調設備	
		大学	-	18	1,400	国立大学	30>	PM中心	100%	EV・電気・空調設備	
		ホテル	-	220	3,000	ホテル	10~30	BM中心	20%	80%	EV・電気・計装・空調設備
	道路・橋	518	680	152億	道路・橋	10~30	PM - BM	20%	80%	電気・通信設備・特殊設備	
	ゴミ焼却施設	-	36	1億千	ゴミ焼却	30>	BM中心	10%	90%	ポンプ・配管・回転電気機器	
	下水処理施設	-	29	2,800	下水処理	30>	PM - BM	10%	90%	ポンプ・配管・回転電気機器	
民間産業施設	施設型産業	化学プラント	390	450	600	化学薬品製造	30>	PM - BM	90%	10%	ポンプ・配管・回転電気機器
		石炭精製	2,740	530	25億	石炭精製	30>	PM - BM	20%	80%	ポンプ・配管・回転電気機器
		ガス供給	190	647	5,000	ガス事業	30>	PM - BM	20%	80%	ポンプ・配管・回転電気機器
	加工組立業	化学製品	400	460	2,000	樹脂製品製造	30>	PM - BM	70%	30%	ポンプ・配管・回転電気機器
		製紙工場	2,630	2900	19億	紙製品製造	30>	PM - BM	20%	80%	ポンプ・配管・回転電気機器
		繊維工場	6,000	990	20億	繊維製品製造	30>	PM中心	80%	20%	ポンプ・配管・回転電気機器
		機械装置組立	990	1,688	5,300	クレーン製造	30>	PM - BM	80%	20%	電気・運搬設備・回転機器
		電子機器組立	5,000	5,370	2,000	電気・電子機器製造	30>	BM中心	90%	10%	電気・電子機器設備
		建機建造	2,300	960	8億	アルミ建機建造	30>	BM中心	20%	80%	回転機器・計装・運搬設備
食品加工	1,840	728	2億	冷凍食品製造	30>	BM中心	20%	80%	電気・運搬設備・回転機器		

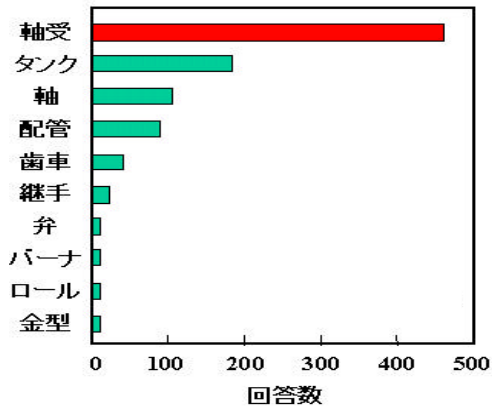


図 1-1 設備診断の対象部位

## 第2章 軸受損傷ならびに超音波法による診断法について

### 2.1 軸受損傷について

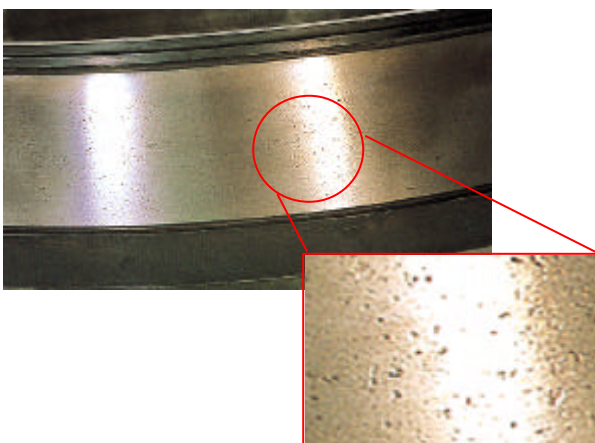
軸受寿命とは、内輪、外輪あるいは転動体が繰返し応力を受けて、そのいずれかに転がり疲れによって材料の損傷が生じたことをいう。前節でも述べた通り転がり軸受の寿命は、一般適に寿命式により概算されるが、あくまでそれは基準である。実際の運転状況において、転がり軸受は予想外に早く故障することがある。その原因は軸受けの選定誤り、取付け部の設計や加工上の不具合、回転速度や運転温度に対する検討の不十分、取付け時または運転中の異物の侵入、異常な荷重が作用したなどが考えられる。以下に代表的な損傷について表わす。

#### 1. 圧痕(図 2-1)

軸受の静止又は低速回転時に大きな荷重が加わり、軌道面と転動面の接触面の接触部分が塑性変形して、くぼみを生じたものを圧こんといい、また固形異物をかみ込んで転がり面などに小さいくぼみが生じたものも圧こんという。

#### 2. フレーキング(図 2-2)

軸受の軌道面又は転動面が、転がり疲れによってうろこ状にはがれる現象を言う。表面からわずかに内部に入った位置に繰返し最大せん断応力が作用し、材料の疲れ亀裂が生じてフレーキングとなる。表面から亀裂が発生する表面起点形フレーキングもある。



圧痕

図 2-1



フレーキング

図 2-2

## 2.2 新軸受寿命式について

軸受中への異物混入に伴う寿命の減少は、異物の噛み込みにより発生した軸受転走面上の圧痕周辺部での応力集中が原因とされる。応力集中程度 ( $q_g/q_0$ 、 $q_g$  : 応力集中がある場合の接触応力、 $q_0$  : 応力集中がない場合の接触応力) を基に、異物混入による寿命減少率、 $A_4$ 、を以下のように置いた

$$A_4 = \left[ \mathbf{x} \left\{ \frac{q_g - q_u}{q_0 - q_u} \right\}^{be} + (1 - \mathbf{x}) \right]^{-1/e}$$

ここに、

$$q_g / q_0 = \exp \left[ 4.09 \cdot (r/c)^{-0.2} \cdot q_0^{-0.2} \right]$$

である。ただし、軸受材料の塑性変形圧力  $q_y$  が  $q_g$  以下の場合には、上式の  $q_g$  は  $q_y$  となる。また、式中の  $q_u$  は疲労限、 $r$  は圧痕縁半径、 $c$  は圧痕寸法、 $\mathbf{x}$  は全接触面積中で接触応力が  $q_0$  を越える応力集中部の割合を表わしている。

$r$  圧痕縁半径、 $c$  圧痕寸法は現時点では、超音波法だけが検知できる方法であると考えている。

## 2.3 従来の方法

現在用いられている間接的診断方法として振動法と AE 法があげられる。振動法は最も普及している方法で、定期的に振動を測定することによって軸受の異常の有無を判別する。この方法の問題点は故障間近での損傷の検出が主であり、軽微な損傷が累積される劣化過程の把握には限界がある。特に、振動の減衰が顕著な肉厚のハウジング等では、微小な損傷の検出はさらに難しくなる。AE 法は取り扱いが比較的簡便な方法である。それは、各種物体が破壊するとき、あるいは破壊直前の応力集中時に発生する弾性波を検出する方法である。問題点は、しゅう動面の接触状態や軸受損傷の監視が試行され、大まかな運転状態の把握が可能になりつつある。しかし、S/N 比が低いうえにノイズの除去も難しいため、現段階での劣化過程の把握には、限界があるものと考えられる。上の表からも分かるように振動法、AE 法では圧痕や異物の形状、個数を診断できる可能性は低いとされている。

下の表からも分かるように圧痕、異物の個数・形状を検知できる事は従来の方法では困難である。よって従来の測定法では新たな軸受寿命式をたてることはできなかった。しかし、本測定法では圧痕、異物の個数・形状まで検知できる可能性があるため、新たな軸受寿命式の重要項である圧痕縁半径  $r$ 、圧痕寸法  $c$  等の値を求める事ができる。

表 2-1 診断法の評価

検出（診断）項目 等		振動法	AE法	超音波法
圧痕	個数（通過頻度）			○ <sup>+</sup>
	形状（影響時間）	×	×	○ <sup>+</sup>
	負荷変動（衝撃の程度）		○ <sup>+</sup>	○ <sup>+</sup>
異物	個数（噛み込み頻度）	-		○ <sup>+</sup>
	形状（影響時間）	×	×	○ <sup>+</sup>
	負荷変動（衝撃の程度）		○ <sup>+</sup>	○ <sup>+</sup>
圧痕と異物の情報の分離		-		
検出感度の信号対雑音比，S/N比			×	+

## 2.4 超音波法の測定原理

図 2-3 は右上に示したように乾燥下で接触している同種材からなる固体 1 と固体 2 があり、固体 1 の上面に取り付け探触子から固体内部に超音波パルスを入射したところを考える。

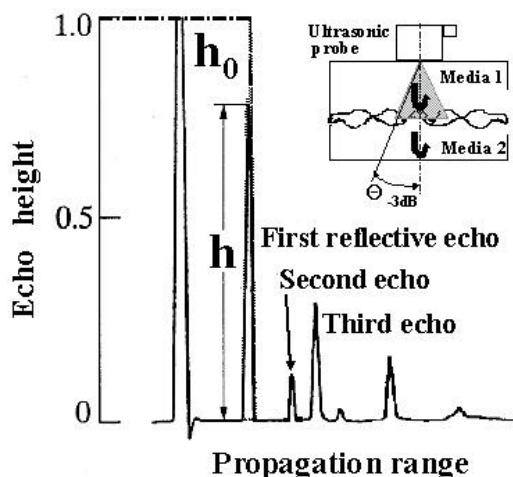


図 2-3 超音波法測定原理

本研究では、超音波の送受信を同一の探触子で行う、一探触子法を用いる。この探触子は、固体 1 に接触する前板版の背面に振動子が貼り付けてあって、振動子にパルス電圧を加えて素子を共振させ、超音波パルスを固体 1 に入射する。

このとき、入射された超音波は半径方向にも広がってゆくが、実際に有効な照射領域は音圧が音軸中心の  $1/2$  になる角度  $\theta_{-3dB} = \sin^{-1} [0.51 \lambda / D]$  (rad) を半頂角とする仮想的な円すい程度と考えて良よい。ここで、 $\lambda$  は固体内における超音波の波長、 $D$  は振動子の直径である。なお、照射領域内の複雑な音圧分布が反射特性に及ぼす影響を避けるためにも、振動子と接触面との距離を、近距離音場限界領域  $D^2/4$  以上にすることが望ましいとされている。

そのようにして入射された超音波のパルスが 1 と 2 との接触面に達すると一部はそのまま通り抜け、一部はそこで反射されてエコーを生ずる。一般に乾燥下の固体接触面は、固体どうしが直接接触している真実接触部と、それ以外の、気体の層が介在する部分とで構成されており、エコーの強度はその割合によって変わる。すなわち真実接触部の音響インピーダンスは固体内部とほとんど同じだから、固体 1 と 2 の材質が同じ場合、反射は事実上気体層の介在する部分で生ずることになり、超音波を透過させる真実接触部面積が大きいほど、エコーは弱くなる。この真実接触部の面積は過重に依存する。したがって、同一の接触面ならば、エコー強度を測定することによって、一定の照射範囲に加わっている荷重、すなわち接触圧力に関する情報を、オン・タイムで得る事ができる。



本測定法ではこの原理を利用する。

探触子が受信した超音波を検波回路により整流し、ローパスフィルターで平滑化すると、探傷器画面上に図 2-3 のような像が得られる。図の横軸が時間の経過を示し、一探触子法をとっているため、まず送信したパルスが、それからある時間を隔てて、いま述べた接触面からのエコーが現れるが、それは伝播距離が長くなるために照射領域が広がり、接触面以外からの反射などの影響を受けやすくなることから、ここでは第一のエコーのみを測定の対象とする。

先に述べたように、この方法によって、接触圧力の概略の値を測定することも原理上可能であるが、粗さなどの表面形状を考慮したキャリブレーションが、個々の接触面について必要となる。本研究の目的は運転異常の検出にあるので、接触圧力の推定は言及せず、探傷器画面上で観測されたエコーの高さ  $h$  の変動のみをとりあげる。なお、異常の検出は、エコー高さ  $h_0$  を用い  $H = [(1 - h/h_0) \times 100]$  として定義したエコー高さ比  $H$  の変動に注目して行う。

## 2.5 損傷試験実験機

実際に使われた軸受加速度寿命試験機を掲載する。実際の運転状況では、シャフトに荷重がかかりハウジングが固定されているが、この測定法ではハウジング上部から荷重を与えシャフトを固定している。どちらにおいても同様の結果となっている。

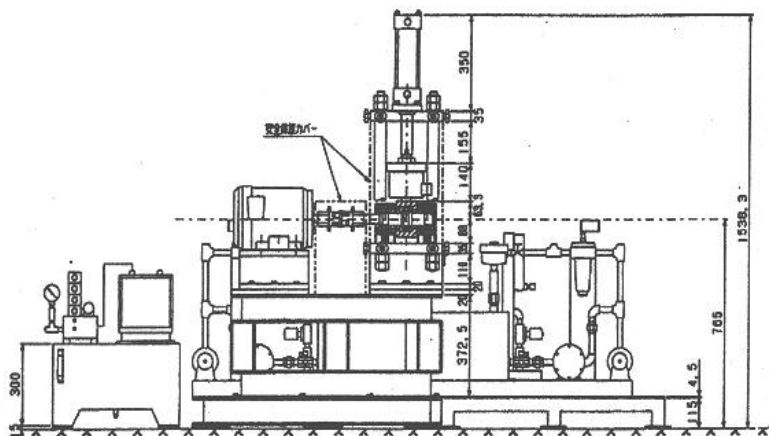


図 2-4 軸受加速度寿命試験機全体

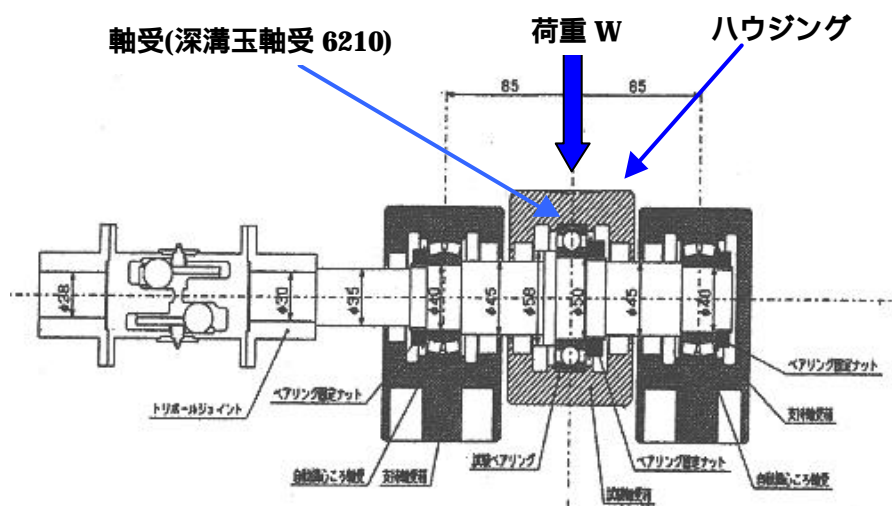


図 2-5 軸受加速度寿命試験機主要部

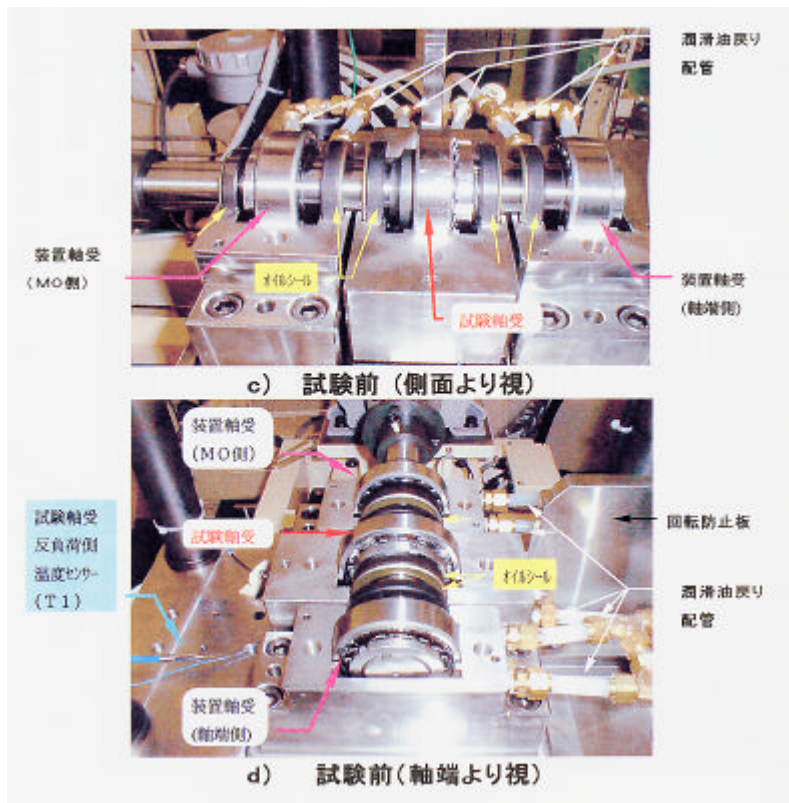


図 2-6 試験機内

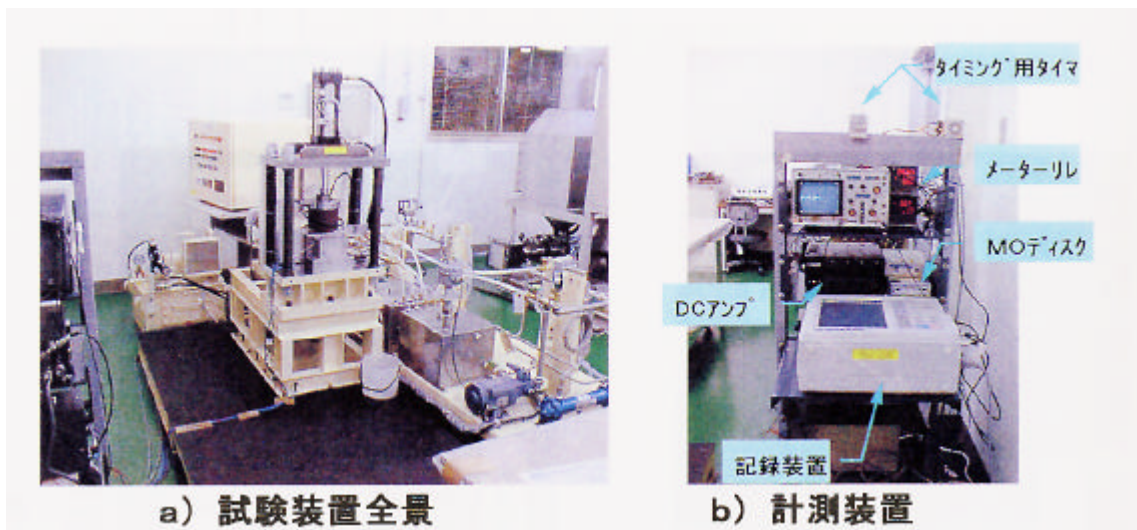


図 2-7 試験機全体

本研究室内においても軸受寿命試験を行える環境にした。図( )は実際の実験機を小型化したものである。実際の寿命試験機の軸受は深溝玉軸受 6210 を使用しているが、この試験機にはアンギュラ玉軸受外径 110mm 内径 60mm 型番号 7212 を使用している。これにより深溝玉軸受以外の実験も行えるようにした。図面を付録 A に掲載する。

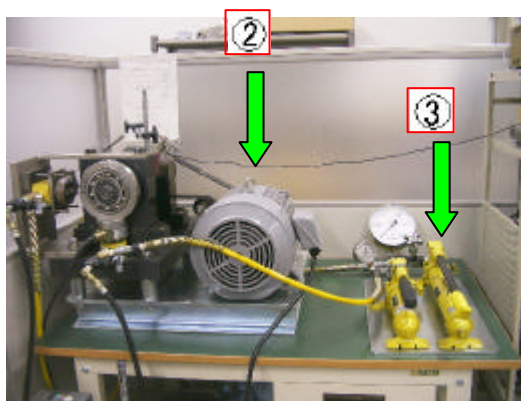


図 2-8-a 超音波法測定原理

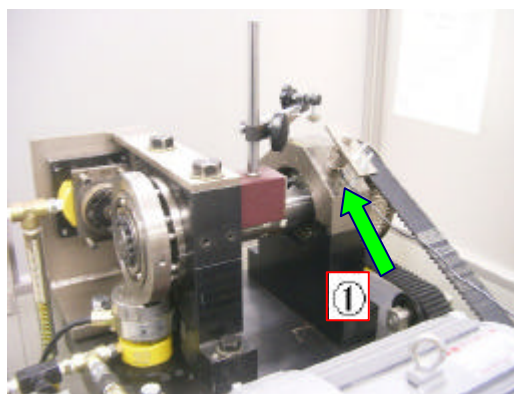


図 2-8-b 超音波法測定原理

探触子

メーカー：TOKIMEC

型番：10Z10N-M

モータ

メーカー：MITUBISHI

型番：SF-JR

油圧ポンプ

メーカー：ENERPAC

型番：P18, P-39N

## 第3章 解析結果および考察

### 3.1 解析目的

前節で述べたように、正常な軸受と損傷軸受とではエコー高さの波形に変化が生じていることが分かる。損傷の波形から見られる突発的なエコー高さ比の減少は、損傷により玉の支持荷重が低下し変化したものと経験的に判断できる。しかし、より確実に証明するために応力解析を行い、内輪損傷部に玉が位置するときハウジングと外輪とのはめあい面の応力は減少するのかを検証する。また損傷による周りの影響についても検証する。損傷部に位置したとき、隣の玉の影響はどのようになっているか。損傷により軸受全体の変位についても明らかにする。また、超音波照射領域内においてエコー高さ比の変動を測定の対象としているわけだが、探触子直下からどこまで離れた損傷なら変動を検知することができるかについて調べる。これが明らかになれば超音波法の限界を知る事ができる。

解析モデルの作成には Pro/ENGINEER を用いた。そのモデルを Pro/Mechanica の静的な構造解析により応力を求めた。

### 3.2 解析における条件

実験に使用した軸受は深溝玉軸受、型番号 6210 で行っている。それにあたり解析にも同じモデルを作成している。軸受の寸法を表 3-1 に示す。また保持器は省略した。

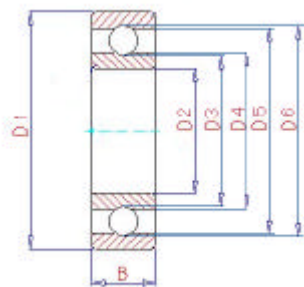


図 3-1 軸受概略

表 3-1 軸受寸法

D1=90
D2=50
D3=57.4
D4=62.5
D5=78.5
D6=82.6
B(ベアリング幅)=20
玉の直径=12.6
玉数=10 個
単位(mm)

実験機そのままをモデル化し解析することも可能であるが、解析を行う前にモデルの簡略化を行った。今回はハウジングと外輪とのはめ合い面の応力を知ることが目的なので、それに注目するモデルとした。基準寸法は変えずに外輪とハウジングとのはめあいに注目し、シャフトの形状を内輪と同径のものに、同じようにハウジングのはめ合い面を外輪と同径のものとした。これにより解析精度の向上と解析時間の短縮を計っている。

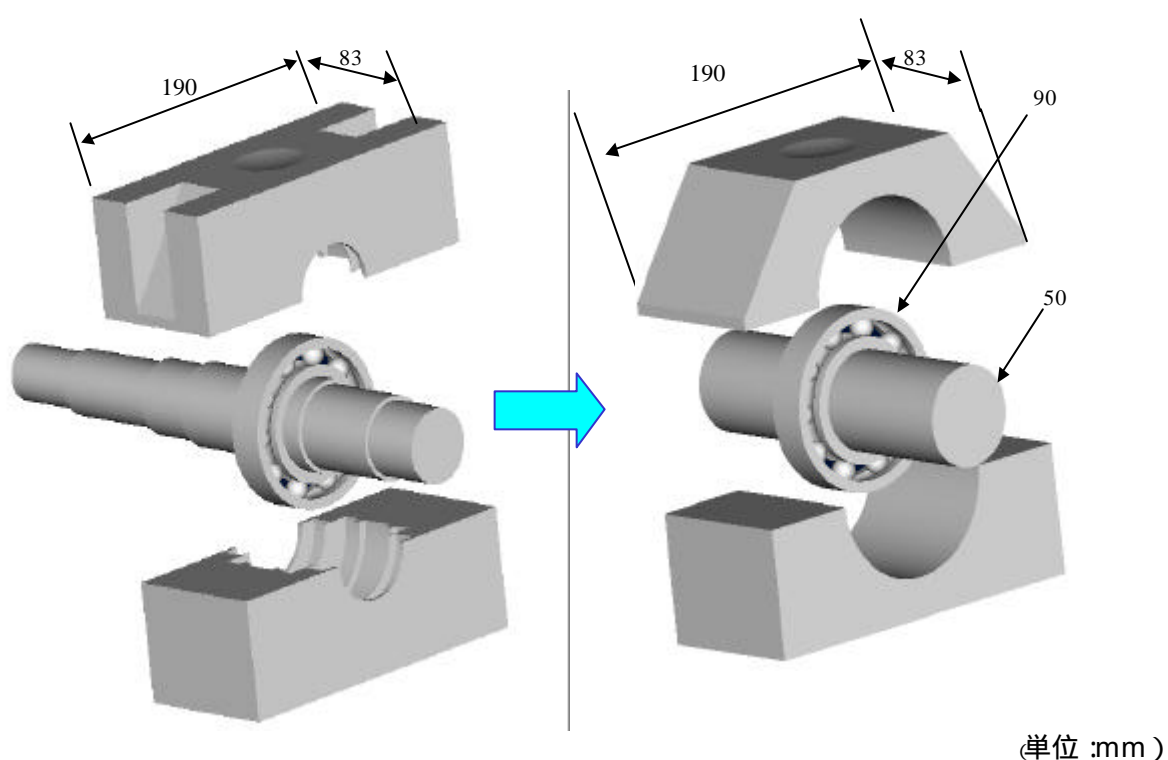


図 3-2 軸受簡略化モデル

解析には2つのモデルで行っている。ひとつは損傷の無い正常な軸受モデル、もうひとつは内輪に損傷を与えた損傷軸受モデルである。損傷の位置については図3-3で表わすように方向に36度の位置、つまり探触子音軸上の内輪に損傷を与えてある。損傷の形状については、図3-4で示すように直径0.5mm、深さ0.25mmの半球形状である。玉と損傷の位置関係は図3-5のようになる。

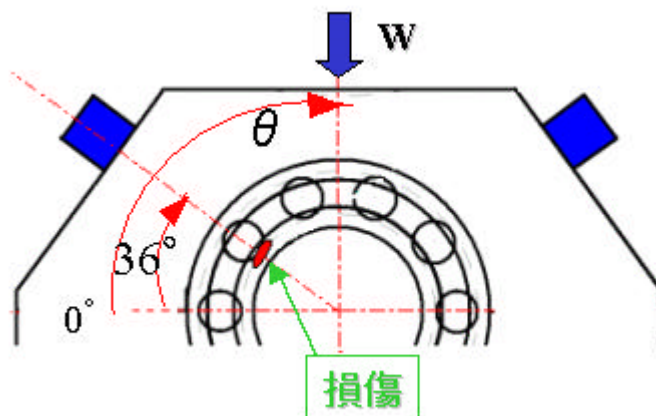


図3-3 損傷位置

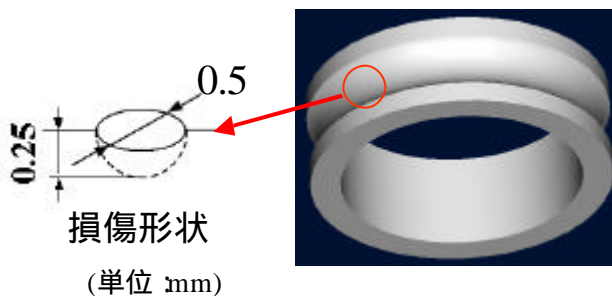


図3-4 内輪損傷の形状



図3-5 玉と損傷の位置関係

解析をする上での条件を紹介する。拘束条件はハウジング上面を垂直方向のみを移動可能、玉は X,Y 方向のみを移動可能とし、シャフトの両端を完全に固定とした。しかし、応力による変形は考慮している。荷重はハウジング上面より 20000N を与えた。

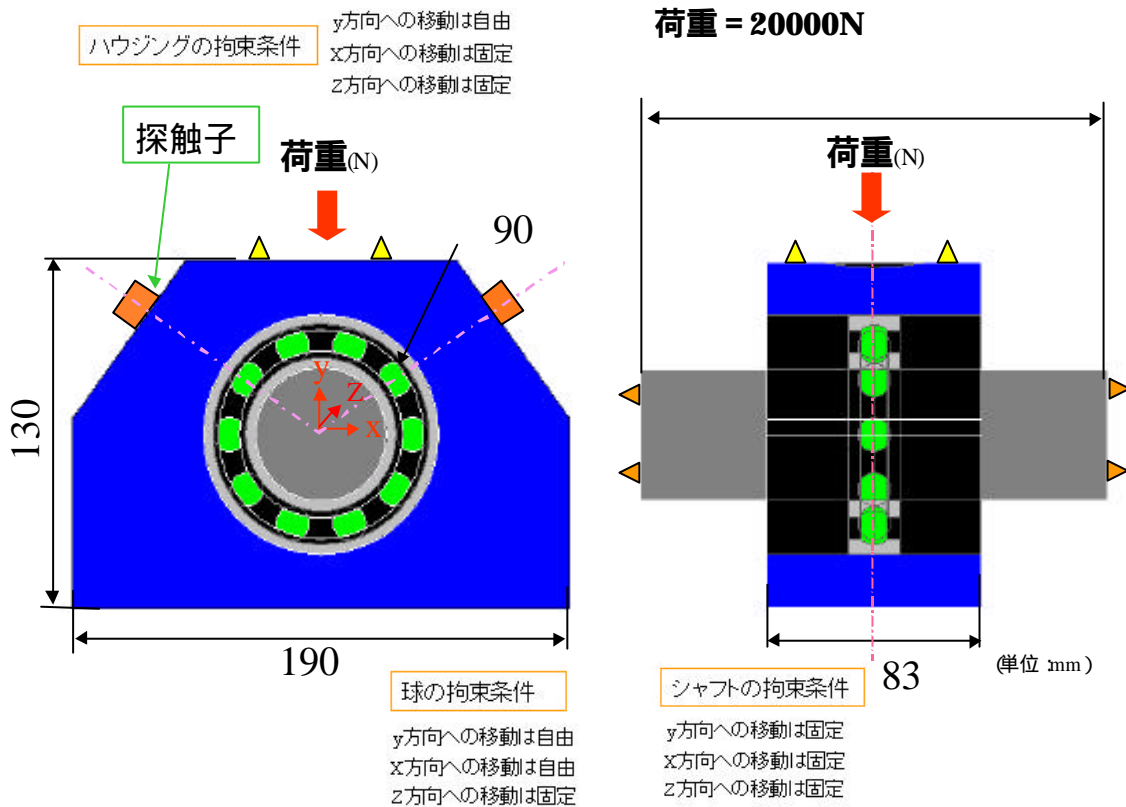


図 3-6

Steel の材料特性

密度	7.82708e-0.09	tonne/mm <sup>3</sup>
ポワソン比	0.27	
ヤング率	199948	N/mm <sup>2</sup>
熱膨張係数	1.17e-0.05	1/c



### 3.3 解析結果及び考察

玉と外輪との接触部、及び外輪とはめ合い面に注目した結果を表す。図 3-7 は正常な軸受、図 3-8 は内輪 36 度の位置に損傷を与えたものである。軸受玉の部分では高い圧縮応力がわかる。損傷部直上でははめ合い面の応力が低下していることが分かる。

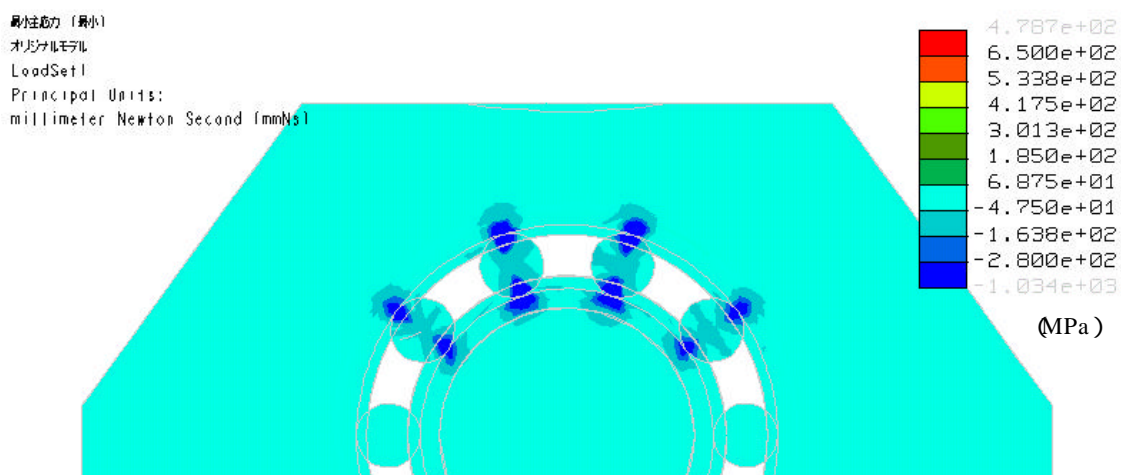


図 3-7 正常な軸受

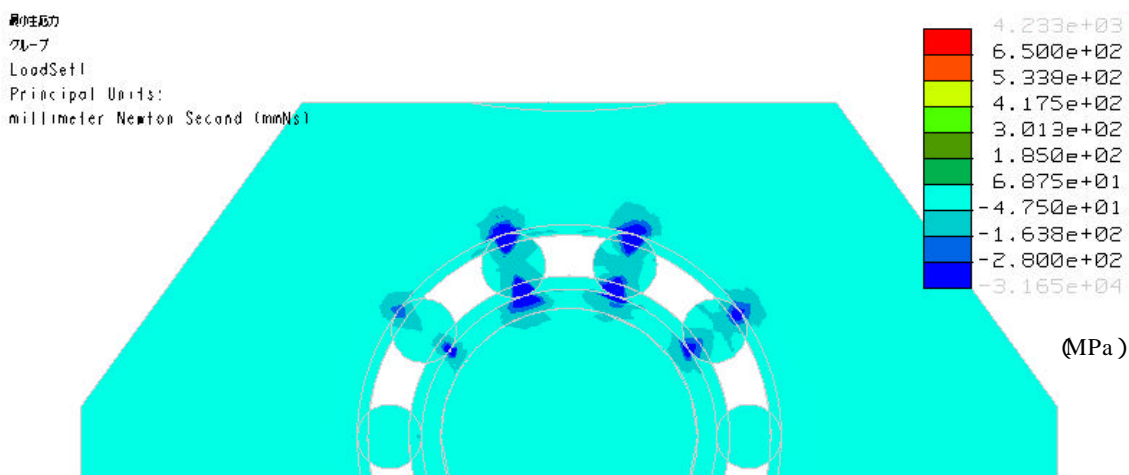


図 3-6 損傷軸受

ハウジング幅中央断面での応力分布を表わす。図 3-7 は正常な軸受の応力分布、図 3-8 が損傷軸受の応力分布を表わす。正常な軸受では中心より対称的な応力分布になっていることが分かる。一方、損傷軸受では損傷部直上では正常な軸受に比べ明らかに応力が低下していることが分かる。よって損傷部に位置したとき玉支持荷重が低下している事が確認できた。応力が低下しているという事は、損傷部直上において接触状態は疎な状態となる。よって超音波が透過し難くなり、透過の程度であるエコー高さ比の減少につながっていることも明らかになった。

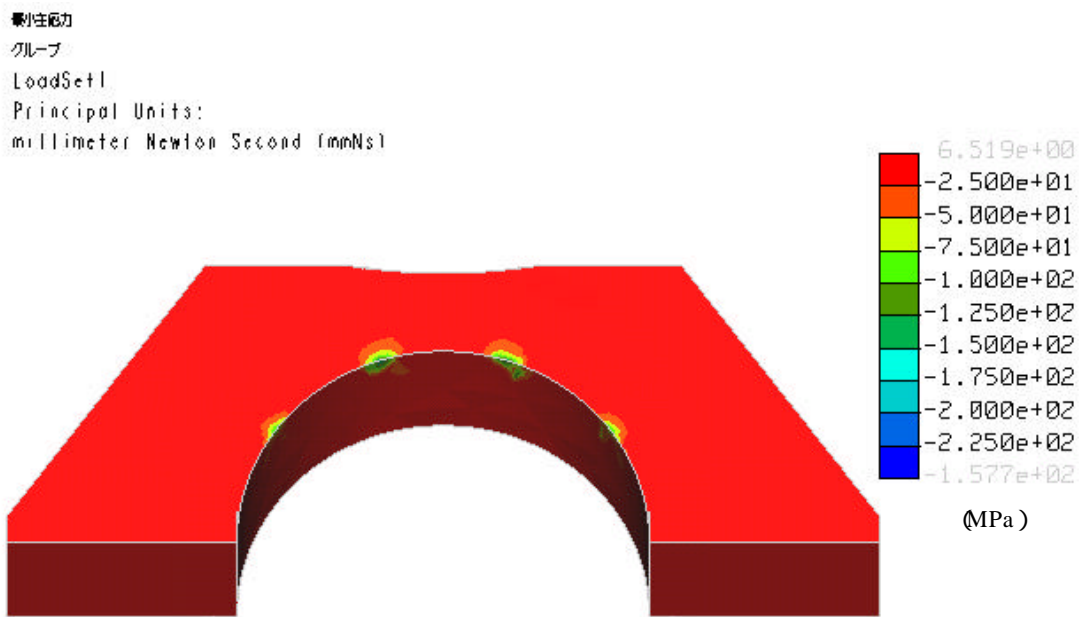


図 3-9 ハウジング断面中央での応力(正常な軸受)

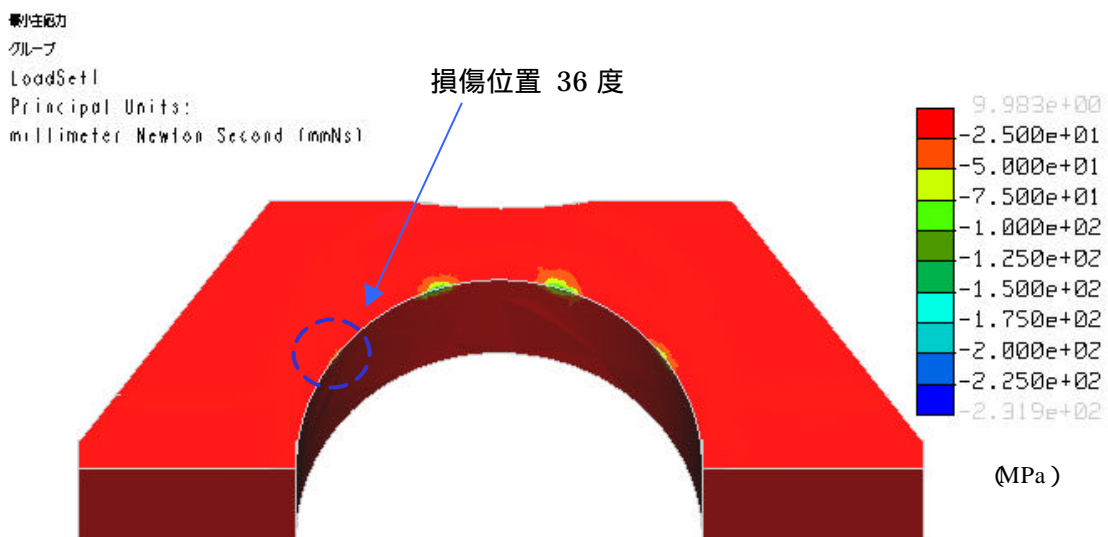


図 3-9 ハウジング断面中央での応力(損傷軸受)

ハウジング幅断面中央での円周上の応力値をグラフ化した。グラフはハウジング面において 方向に 0 度から 4 度ずつ 180 度まで点を取り、36 度損傷部に玉が位置したときの、その点の応力を求めている。

図からも分かるように損傷位置 36° においては、はめ合い面の応力が低下することは確かめることができた。また 36 度損傷における応力低下に伴い、荷重方向に近い隣の 72 度玉直上では応力が増加していることが分かる。これは 36 度の玉支持荷重が低下し、それを補うために応力が増加したと考えられる。

一方 108 度、144 度では応力が低下している事が分かる。これについてはつぎのハウジングおよび軸受全体の変位で説明する。

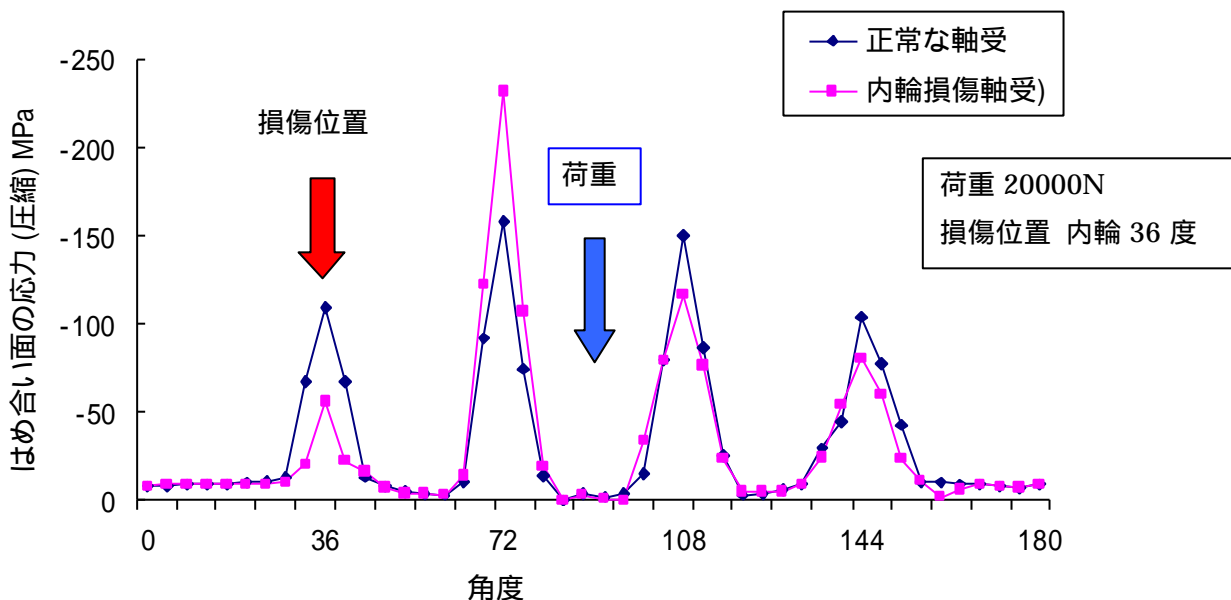
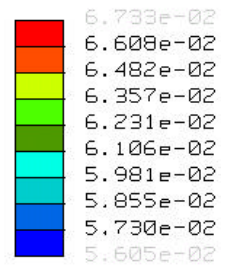


図 3-9 ハウジングはめあい面での応力

ハウジングの変位について説明する。図 3-10 はハウジングの XY 方向成分の変位を表わしたものである。結果の見方は赤に近づくほど変位が大きいことを表わしている。損傷部 36 度の次の玉位置である 72 度直上で高い変位が見られる。図 3-11 はハウジングの XY 方向の変形を表わしている。赤の線が静止時のハウジングを表わし、青の線が変形後を表わしている。わかりやすくするため、変形量を拡大してある。相対的な傾きが見られる。図 3-12 はハウジングの X 方向成分の変位を表わしたものである。損傷側の変位が少ないが、損傷のない側に高い変位が見られる

図 3-13 はハウジング X 方向の変形を表わしている。損傷の無い側に大きく変形していることがわかる。図 3-14 はハウジングの Y 方向成分の変位を表わす。損傷部 36 度の次の玉位置である 72 度の玉直上における変位が少なく、損傷の無い側の変位が大きい。図 3-15 はハウジング Y 方向の変形をあらわしている。これらの結果より、ハウジングと外輪との接触状態は疎な状態となることがわかる。

変位 XY  
グループ  
最大変位 +6.8244E-02  
LoadSet1  
Principal Units:  
millimeter Newton Second (mmNs)



(mm)

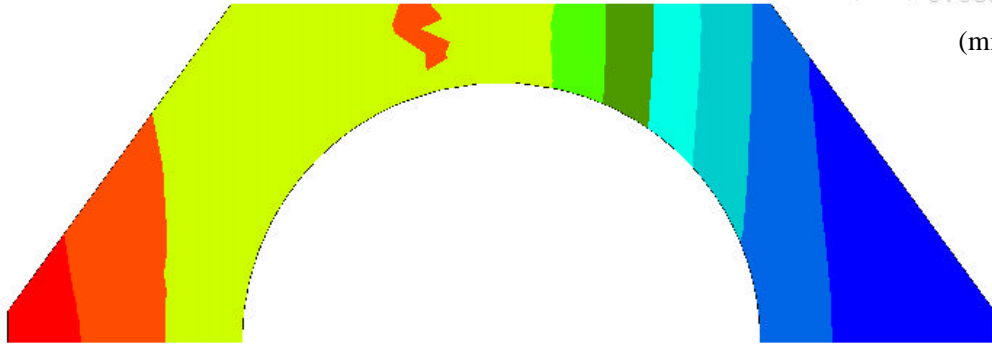


図 3-10 XY 方向の変位

変位 XY  
グループ  
最大変位 +6.8244E-02  
スケール 8.3524E+02  
LoadSet1  
Principal Units:  
millimeter Newton Second (mmNs)

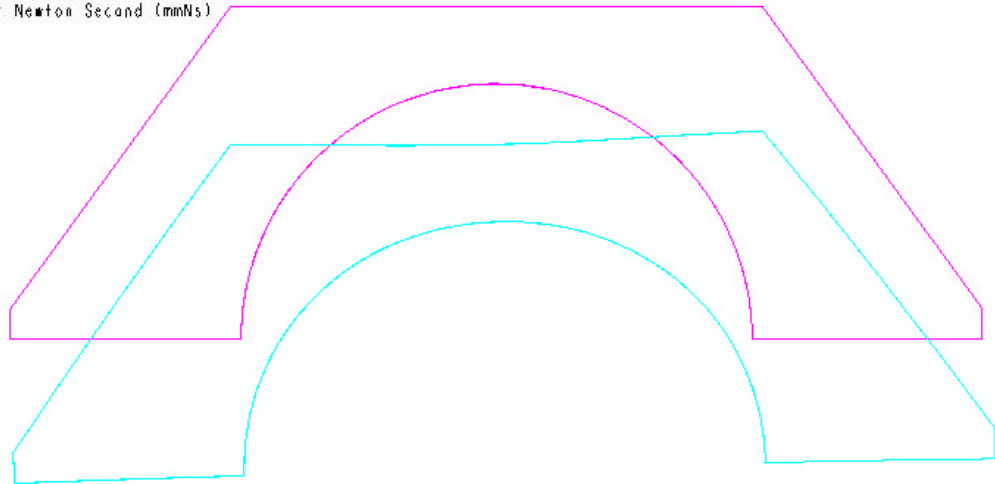
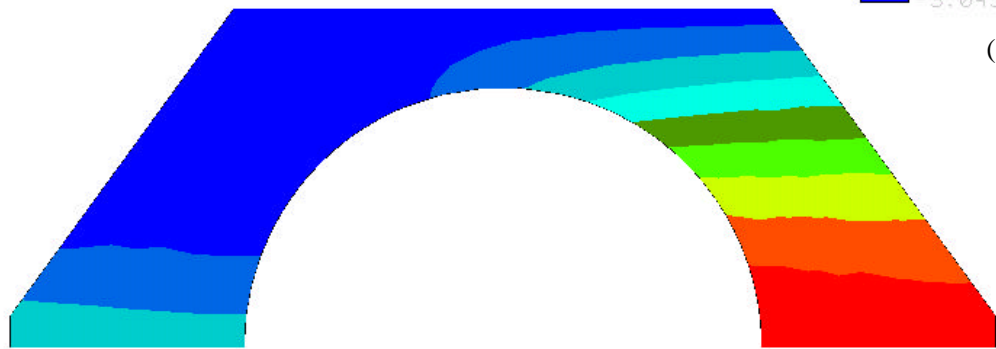
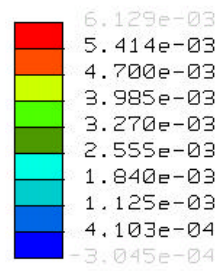


図 3-11 XY 方向の変形

変位 X  
グループ  
最大変位 +6.8244E-02  
LoadSet1  
Principal Units:  
millimeter Newton Second (mmNs)



(mm)

図 3-12 X方向の変位

変位 X  
グループ  
最大変位 +6.8244E-02  
スケール 8.3524E+02  
LoadSet1  
Principal Units:  
millimeter Newton Second (mmNs)

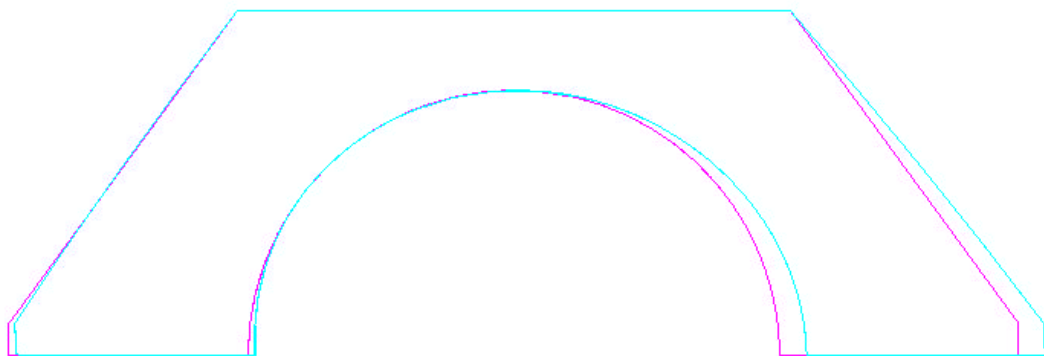


図 3-13 X方向の変形

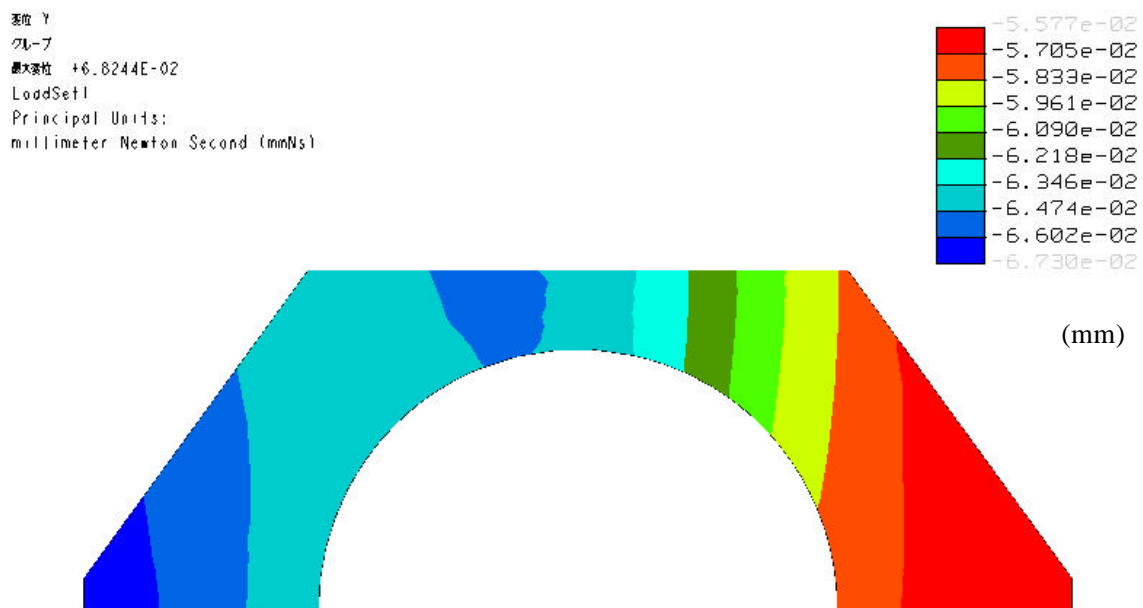


図 3-14 Y方向の変位

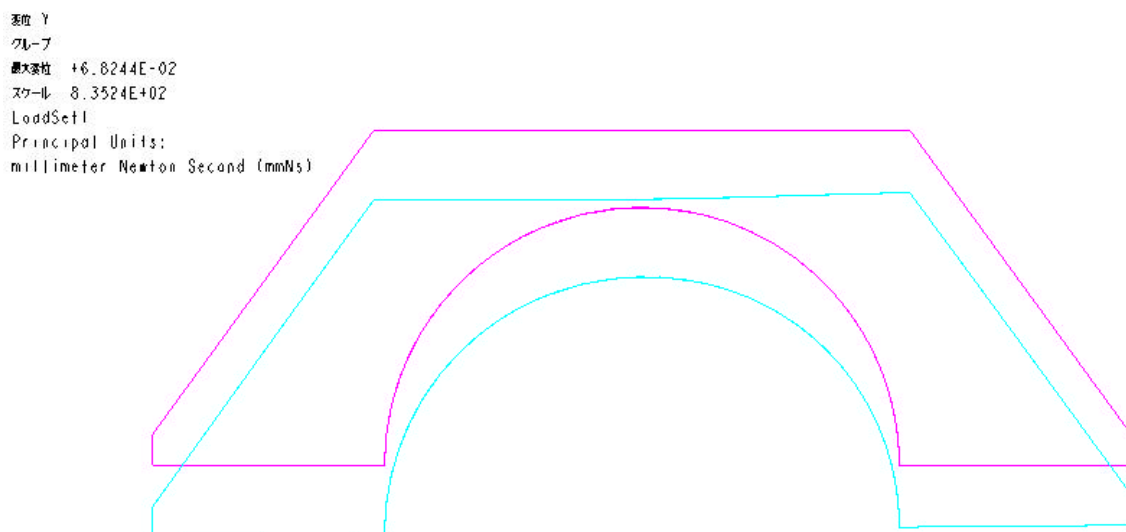


図 3-15 Y方向の変形

内輪損傷軸受において、荷重によるはめ合い面の応力分布の違いを表わす。  
 図 3-16 は正常な軸受、図 3-17 は内輪損傷軸受を表す。荷重は 5000N,10000N,20000N で行った。損傷の位置、形状は同じ条件である。  
 荷重による探触子直下のはめ合い面応力を表したものである。  
 以下の結果から、荷重の大きさに関わらず変化割合は等しいことが分かった。

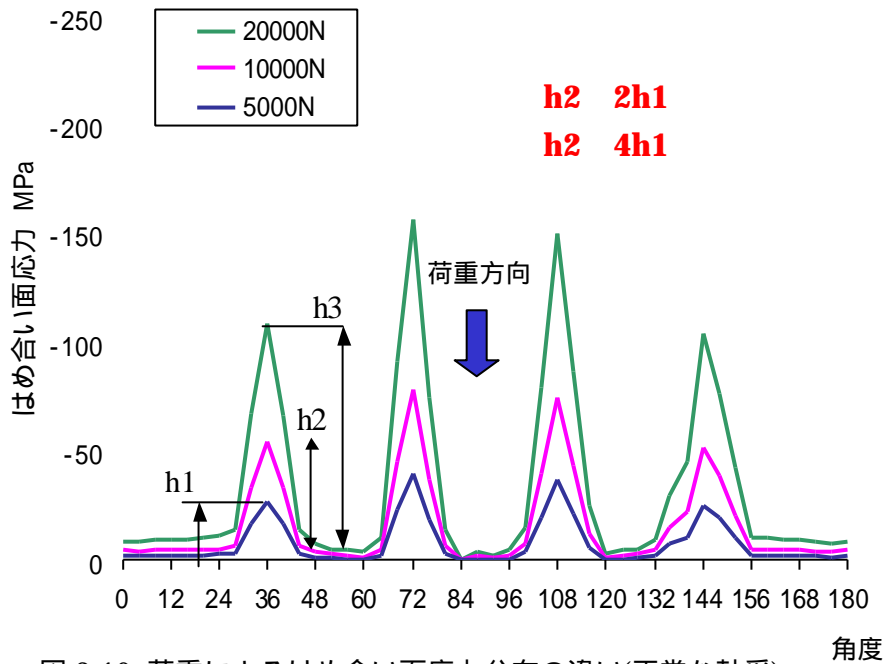


図 3-16 荷重によるはめ合い面応力分布の違い(正常な軸受)

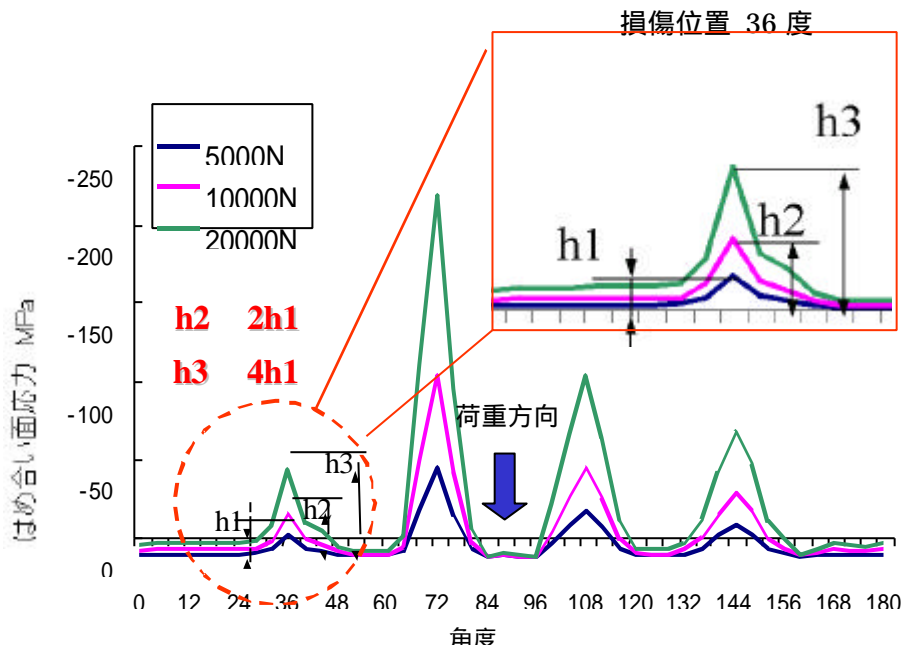


図 3-17 荷重によるはめ合い面応力分布の違い(損傷軸受)



各損傷位置での 36 度の位置(探触子音軸上)での応力の増加割合をとる。荷重 20000N での結果を表わす。正常な軸受音軸上の応力を A1 とし、損傷な軸受音軸上の応力を A2 とする。36 度付近で高い増加が見られる。つまり突発的なエコー高さ比の減少が確認できるのは、27 度から 45 度までの間と考えられる。

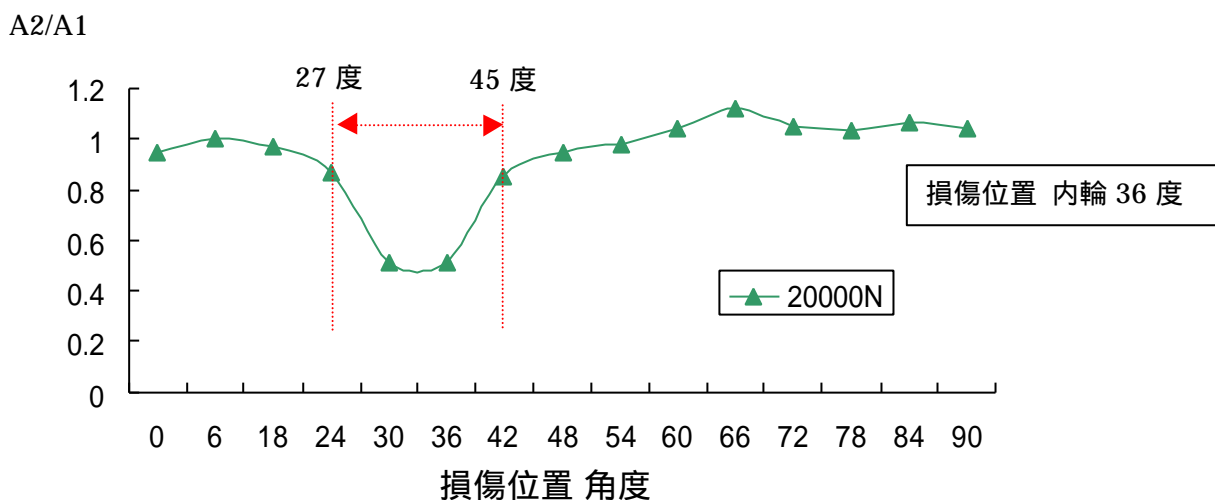


図 3-18 探触子音軸上での応力変化

荷重を 5000N,10000N,20000N で行っても探触子音軸上での増加の割合は同じであることがわかった。

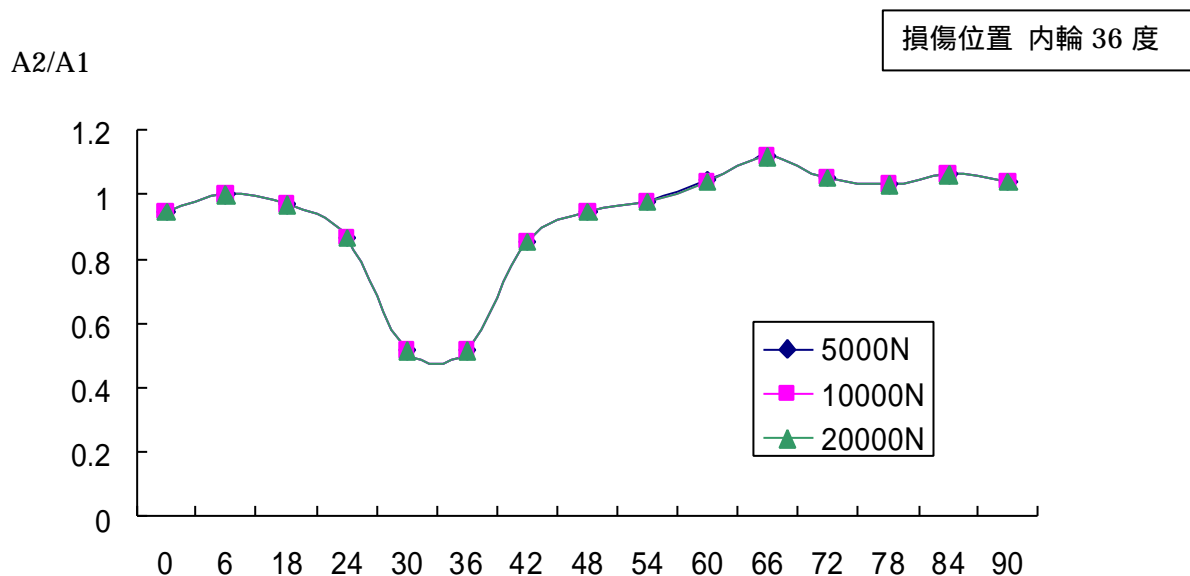


図 3-19 探触子音軸上での荷重による応力変化

内輪損傷におけるその他の部品の応力分布を表わす。損傷部との接触部に高い応力集中が生じている事が分かる。

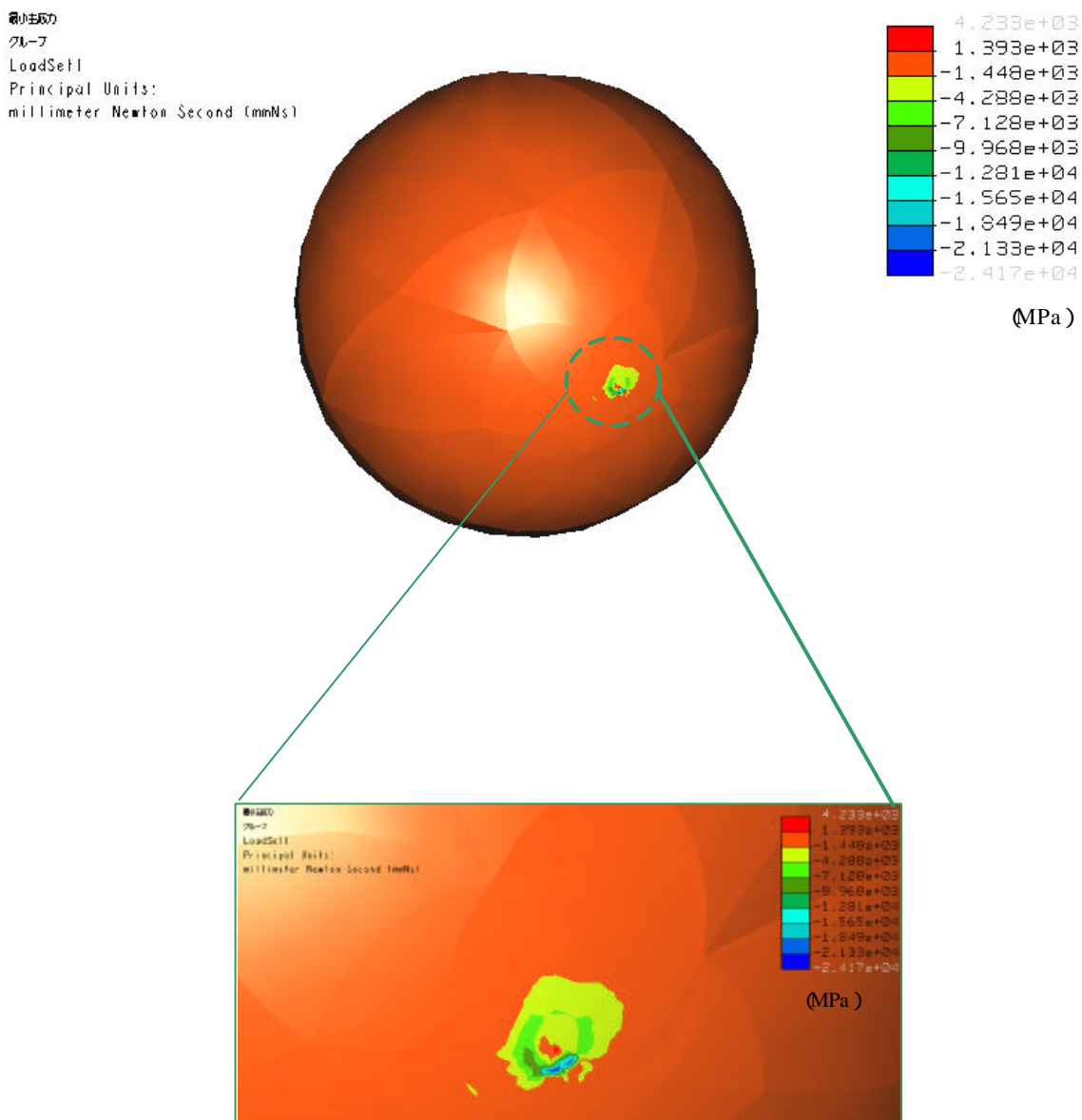


図 3-20 損傷部直上の玉の応力分

図 3-21 は 36 度の位置に損傷を与えた内輪けを取り出したものである。内輪損傷部においても高い応力集中が確認される。よって損傷部からの破損可能性が高い事が考えられる。

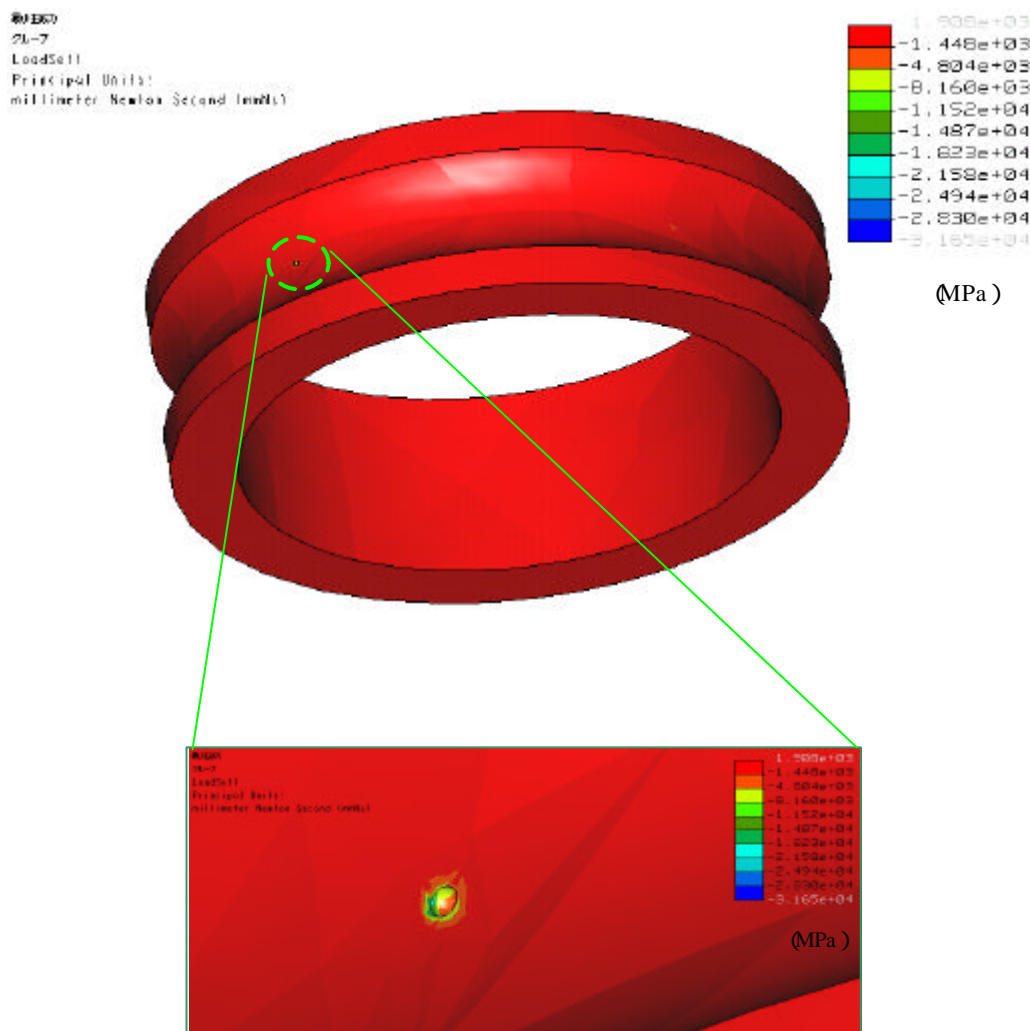


図 3-21 損傷における応力分布

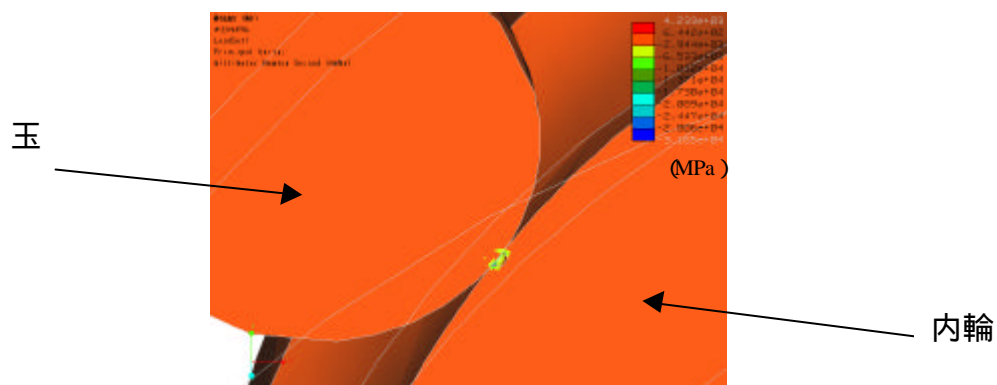


図 3-22 玉と内輪損傷位置との接触部

玉と損傷との接触部での応力集中において、その他の角度の場合についても同様なことがいえる。

### 内輪損傷 12 度

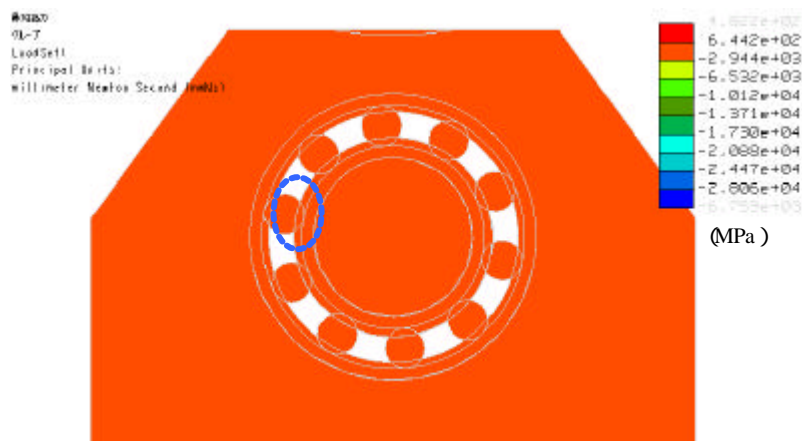


図 3-23 損傷における応力分布

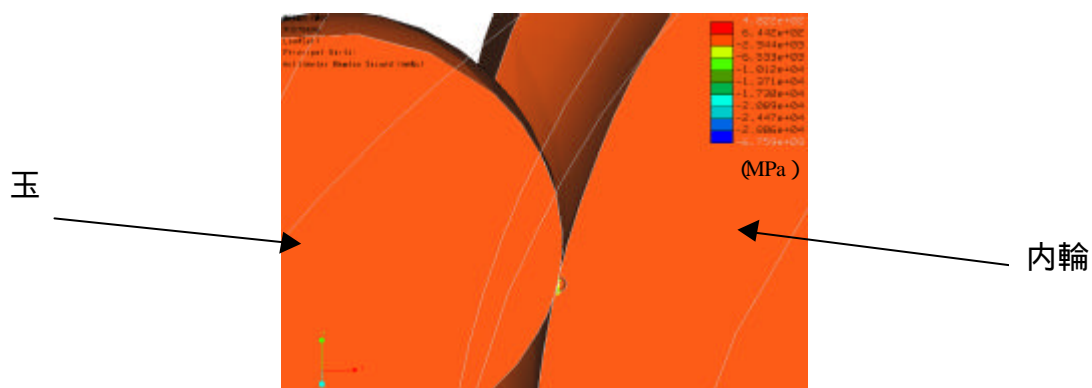


図 3-24 玉と内輪損傷位置との接触

# 内輪損傷度 78 度

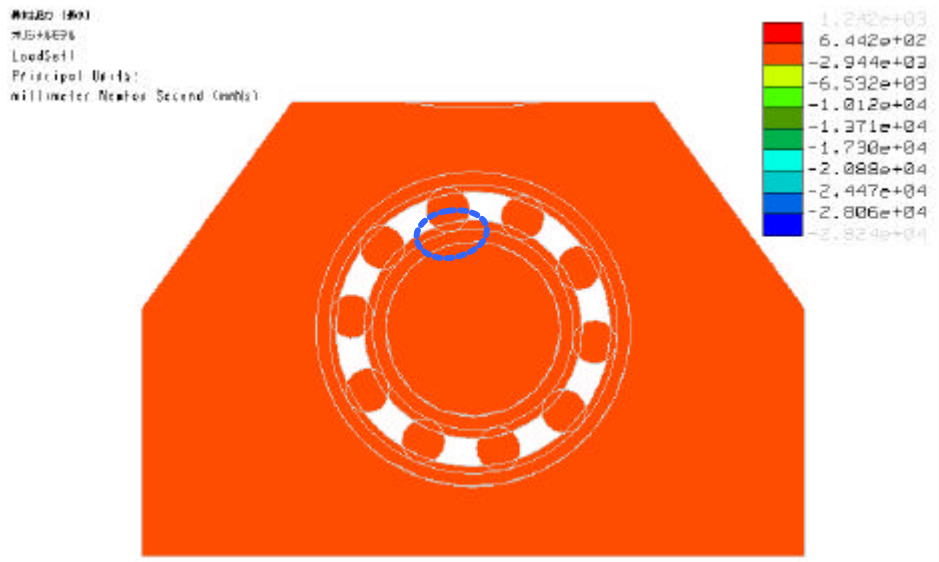


図 3-25 損傷における応力分布

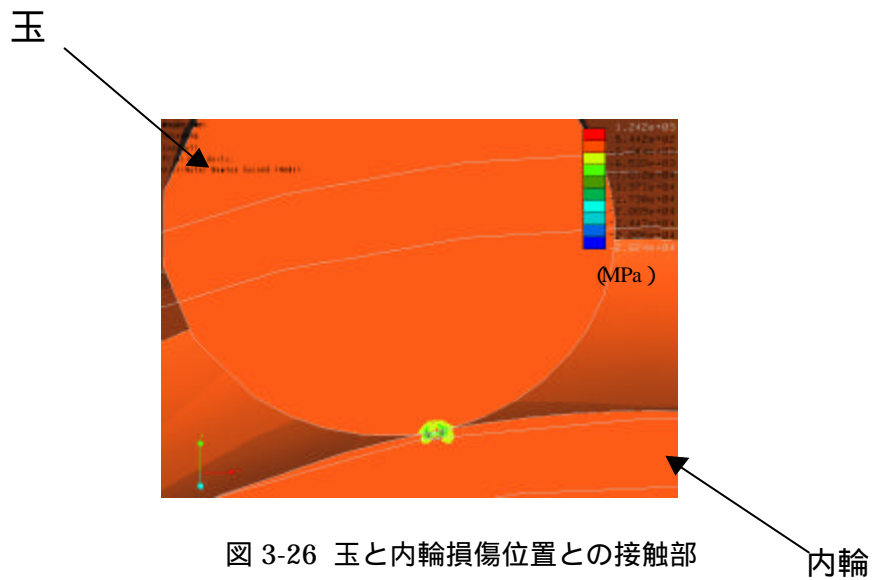


図 3-26 玉と内輪損傷位置との接触部

## 第4章 結言

これらの結果よりわかった事をまとめる。

- (1) 損傷により玉の支持荷重が低下し、はめ合い面の応力が減少する事が分かった。はめ合い面の応力が減少することにより接触状態が疎な状態になり、超音波が透過し難くなるためエコー高さ比が減少するという原理を確認する事が出来た。
- (2) 各損傷位置での、探触子音軸上はめあい面応力を求め正常値より変化量を求めた事で、本測定法での損傷を検知できる範囲が分かった。
- (3) 損傷により玉と内輪損傷部との接触部には、高い応力集中が生じている事が明らかになった。

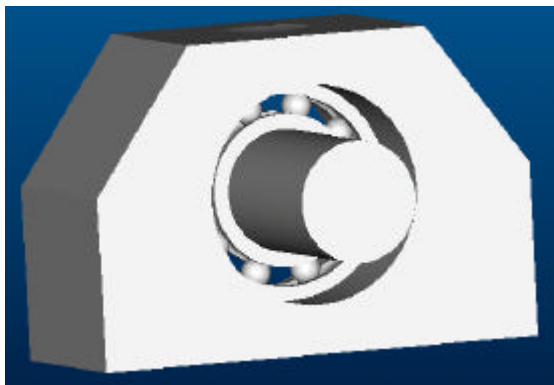
#### 参考文献

- 1) 竹内彰敏・木村好次・若林利明・石丸裕・森久和  
超音波法による転がり軸受の損傷評価の試み
- 2) ベアリングの取扱いと故障対策  
日本プラントメンテナンス協会

## 付録 1

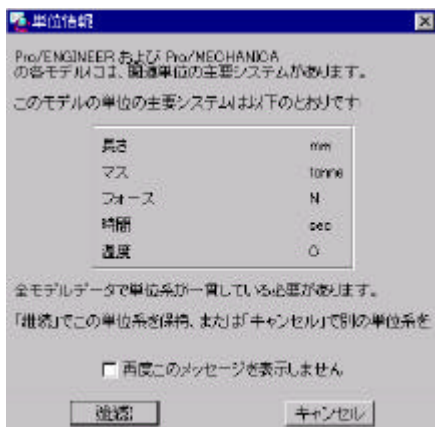
### 解析手順の紹介

Pro/ENGINEER で解析するモデルを作成する。



3次元モデルが完成したら、アプリケーション **Mechanica** を選択する。

この際、単位情報が表示されるので「ミリニュートン秒(mmNs)」であることを確認する。間違いがなければ“**継続**”を選択する。

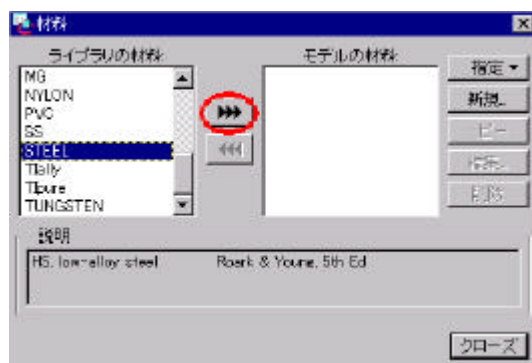


解析を行うために必要なことは「材料」、「荷重」、「拘束」の条件を与えることである。

材料を選定する

メニューマネージャー **Structure** **モデル** **材料** 図( )のウィンドウが開く

**STEEL** を選択し赤で囲んだ矢印をクリックする。





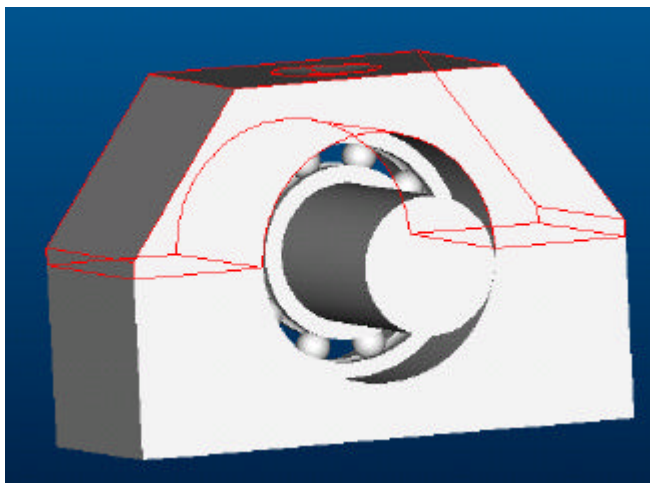
モデル材料の中に STEEL が加わる。図( )



指定 部品を選択する。



モデルをピックする。選択された箇所は赤くハイライトされる。



実行 ウィンドウが開く クローズ  
以下、同じ方法で全てのモデルに材料を選定する。

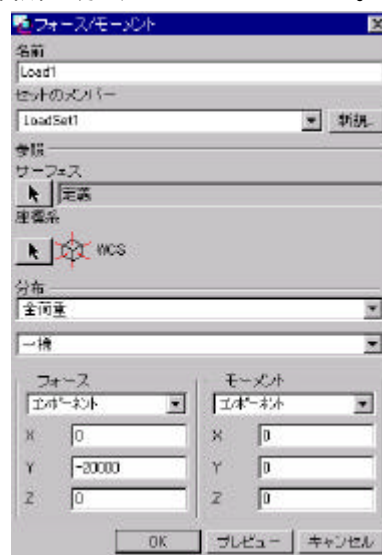
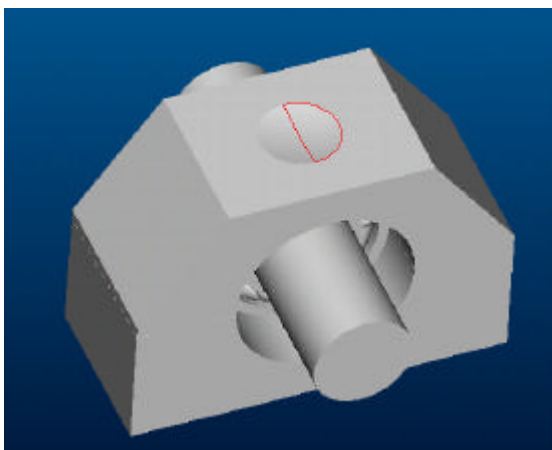
## 荷重の入力

メニューマネージャー    Structure    モデル    荷重    新規    サーフェス

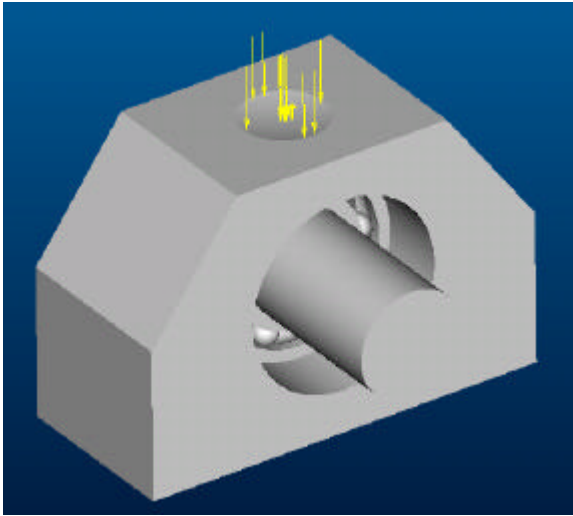
図( )のウィンドウが開く



必要であれば名前を変更する。    ウィンドウよりサーフェスの矢印をクリック  
モデルをピックする。図( )    選択された個所が赤くハイライトされる。



実行 図( )が表示されるので荷重を入力  
OK 図( )のように荷重が与えられる。



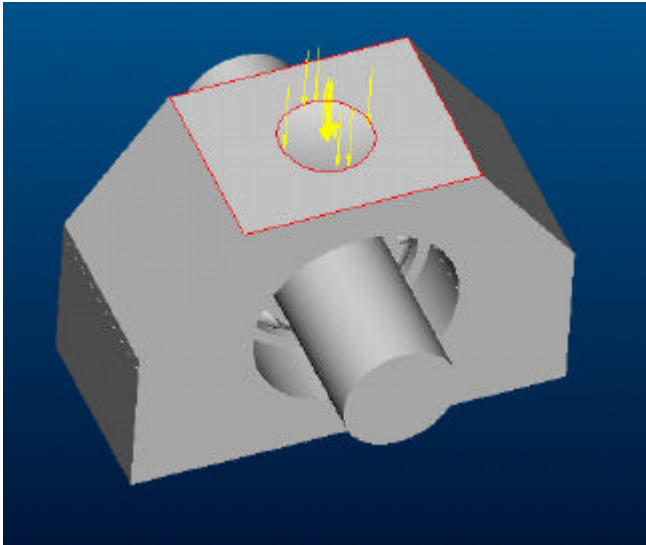
必要であれば、ウィンドウの座標系から座標を変更することができる。今回の解析は基本座標を使用したので変更はしていない。

#### 拘束条件の入力

メニューマネージャー    Structure    モデル    拘束条件    新規    サーフェス



拘束条件ウィンドウが表示される。図( ) ウィンドウ内のサーフェス矢印をクリック。モデルをピック 選択された箇所が赤くハイライトされる。

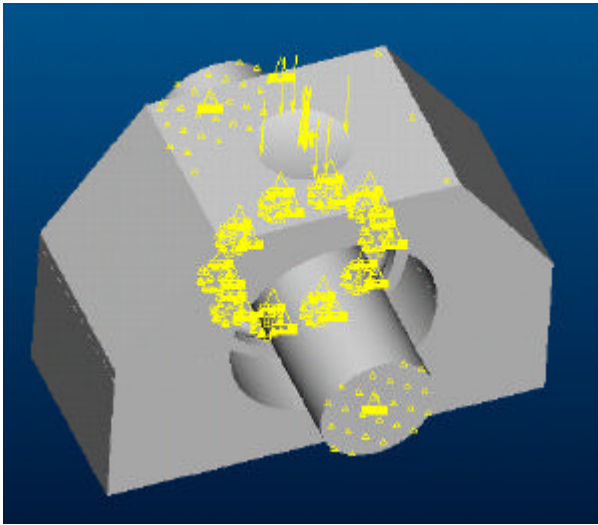


実行 拘束条件ウィンドウが現れる 拘束条件の入力



OK

以下、同じ方法で拘束条件を入力する。



これで、材料・荷重・拘束条件が設定される。

#### メジャーの使用方法

メジャーを使うことである点における解析結果を見ることができる。その際、その点(データポイント)を Pro/ENGINEER で作成しておく。

メニューマネージャー Structure モデル メジャー 情報のウィンドウが現れる。 OK メジャーの定義のウィンドウが現れる



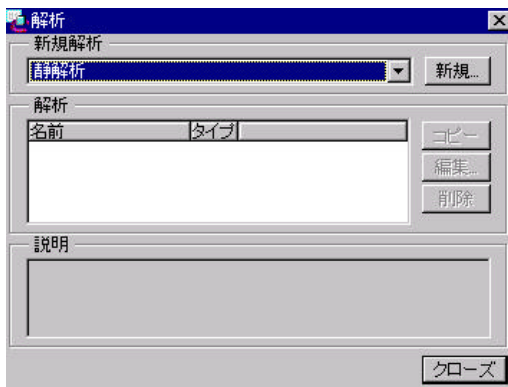
必要であれば名前を変更する。 ウィンドウ中の“量”、“コンポーネント”を選定す

る。今回は、「量：応力」、「コンポーネント：最小値」とする。

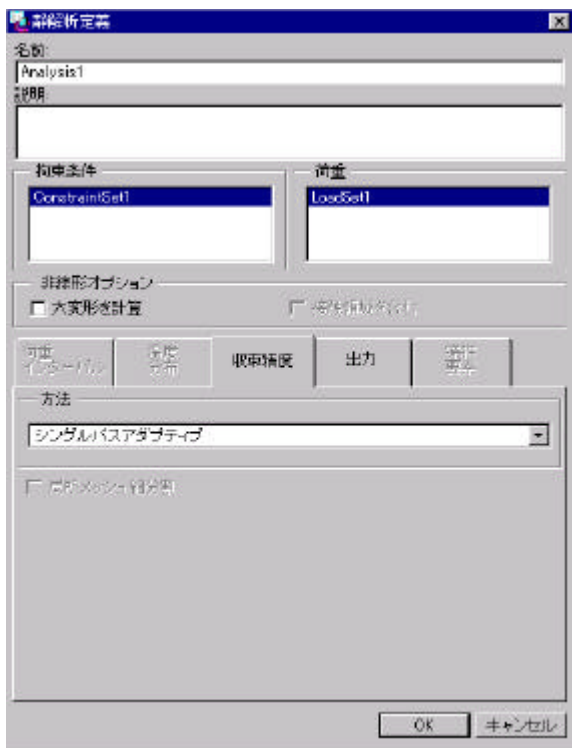
エンティティ 選択/レビューをクリック      モデルからデータ点を選択する。  
選択したらウィンドウ画面が再び現れる      アクセプト

### 解析条件の定義

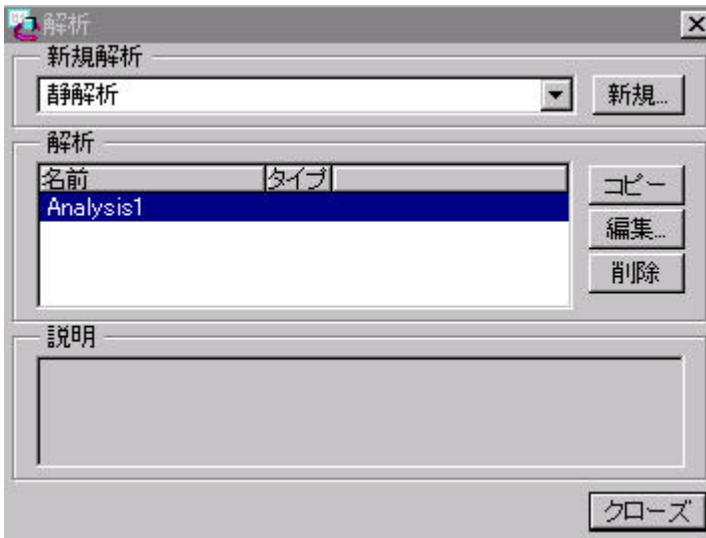
メニューマネージャー    Structure    解析    ウィンドウが現れる



今回は静解析を行う    ウィンドウ中の新規をクリック



必要であれば名前の変更を行う    作成した拘束条件のセットの名前を選択する    作成した荷重セットの名前を選択する    OK    ウィンドウが現れる。    クローズ

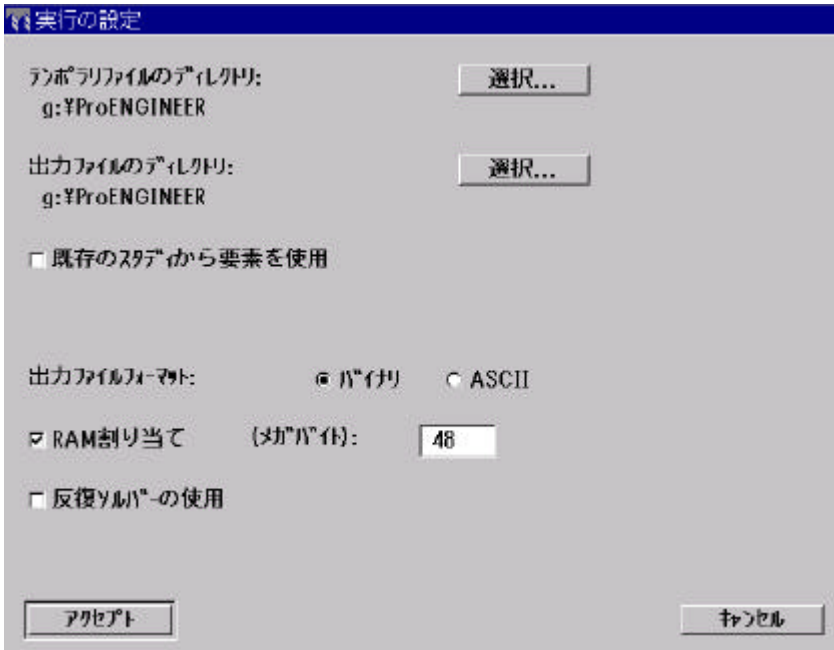


解析をする

メニューマネージャー Structure 解析 ウィンドウが現れる

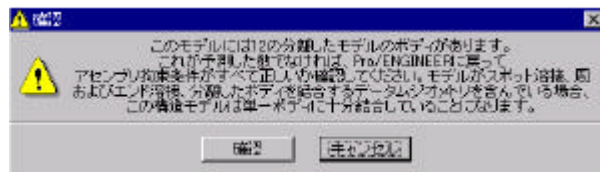
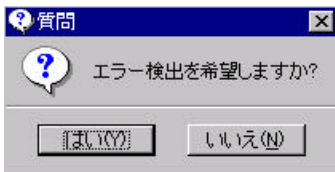


設定 ウィンドウが現れる テンポラリファイルのディレクトリと出力ファイルのディレクトリを選択する。(解析結果を保存する場所を選択する) アクセプト



実行の設定ウィンドウに戻る 開始

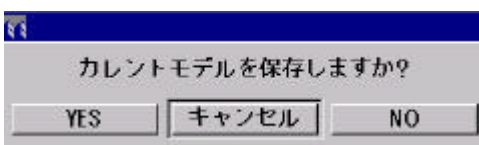
質問ウィンドウが現れる はい 確認ウィンドウが現れる。内容を確認し合っていれば  
確認をクリック



これで計算が始まる。実行ウィンドウ中のサマリーをクリック。サマリーに計算過程の  
状況は表示される。 サマリーに『Run Completed』が表示されたら解析成功である。『Run  
Completed with Fatal Error』が表示されたら解析失敗である。3次元モデル、拘束条件  
等を見直す必要がある。

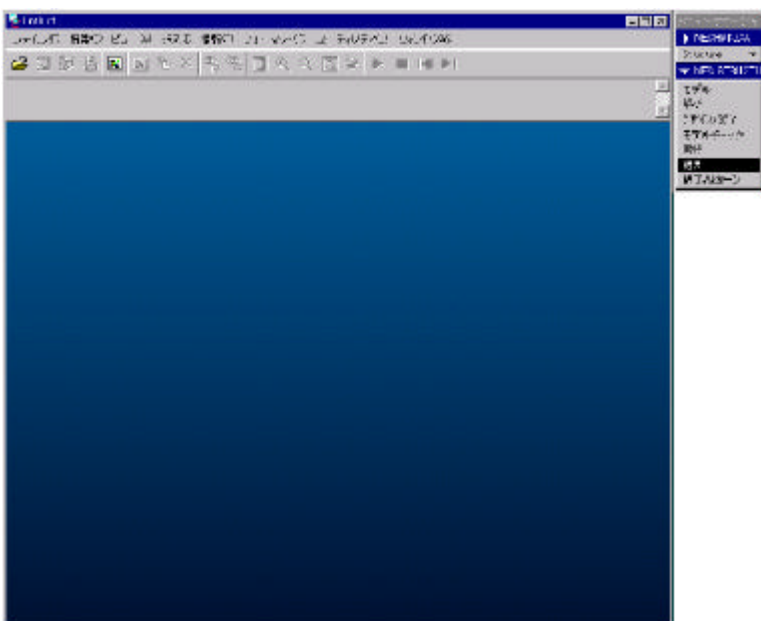
結果の表示

メニューマネージャー Structure 結果 図( )のウィンドウが現れる。 YES





結果表示のウィンドウに移る



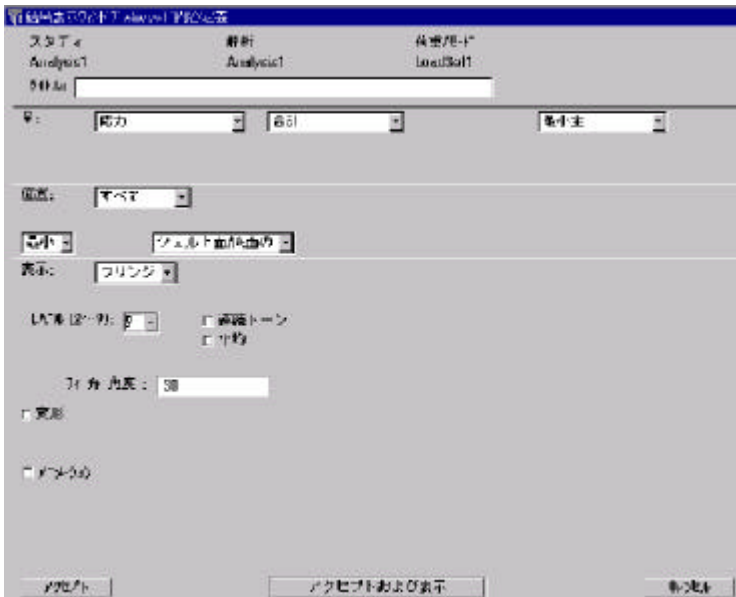
挿入 結果表示ウィンドウ ウィンドウが現れる。 必要であれば名前を変更する。



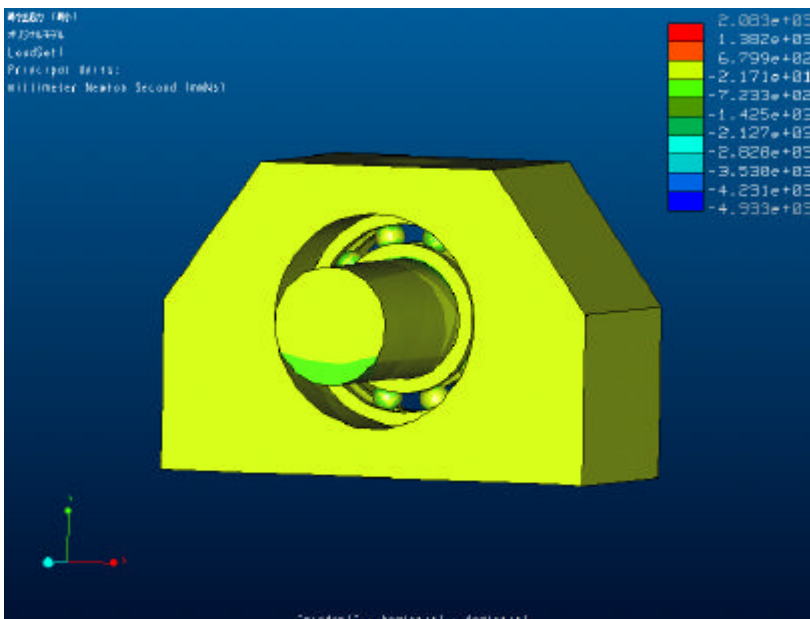
デザインスタディのウィンドウが現れる。



解析したモデルを選択する。



内容を定義したら “ アクセプトおよび表示 ” をクリックする。



解析結果が表示される。

メジャーの解析結果は、解析を行ったフォルダ内の “.rpt ” ファイルを notepad で開くと結果を見ることができる。