

## 例题② 钢筋混凝土梁的裂缝分析 (RCBEAM)

在本章节中给大家介绍如何使用 iDIANA 进行非线性解析的实例。关于 iDIANA 的基本操作，请参考例题①。

### 1. 分析模型

分析模型为下图所示的钢筋混凝土梁。其中，用四边形的两次平面应力单元 (CQ16M) 来模拟混凝土，用埋入式钢筋单元来模拟钢筋。混凝土裂缝的影响采用分散型裂缝模型 (多方向固定裂缝模型) 来模拟。

关于建模范围，由于左右对称采用 1/2 的模型。在距离梁中央 500mm 处施加 20000N 的竖向集中荷载。

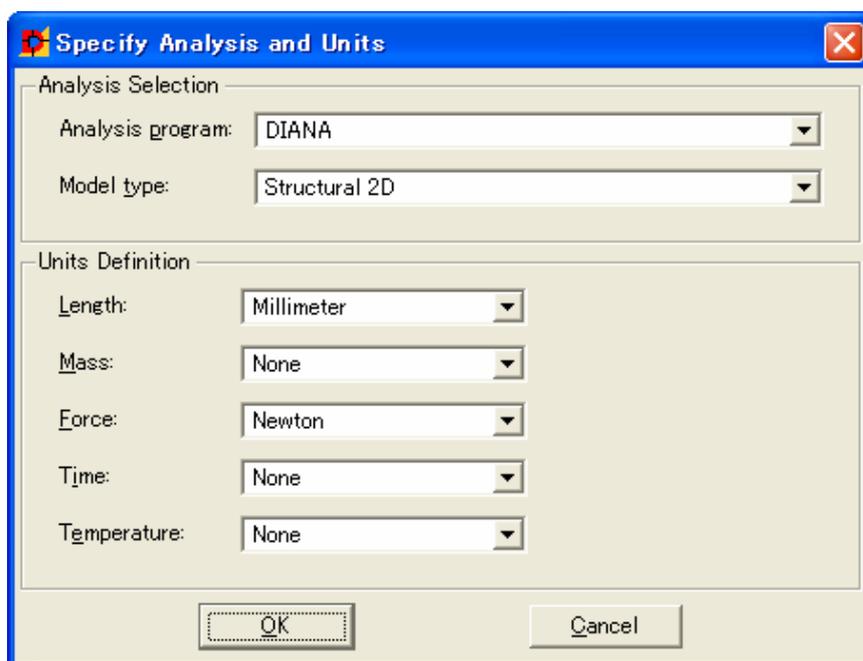


	混 凝 土	钢 筋
单元类型	8 节点四边形平面应力单元 (CQ16M)	埋入式钢筋单元 (Bar 类型)
材 料	<ul style="list-style-type: none"> <li>弹性模量 <math>E = 28000 \text{ N/mm}^2</math></li> <li>泊松比 <math>\nu = 0.2</math></li> <li>tension cut-off (Constant)</li> <li>拉伸强度 <math>f_{ct} = 2.5 \text{ N/mm}^2</math></li> <li>拉伸软化 (线性软化模型)</li> <li>裂缝应变的界限值 <math>\epsilon_{cr,ult} = 0.000311</math></li> <li>裂缝面的剪切刚度衰减系数 <math>\beta = 0.2</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>E = 210000 \text{ N/mm}^2</math></li> <li>屈服强度 <math>f_{sy} = 440 \text{ N/mm}^2</math></li> <li>(完全弹性)</li> </ul>
断 面	板厚 $t = 200 \text{ mm}$ (混凝土厚度)	横截面面积 $A = 622 \text{ mm}^2$
加 载	施加 20000N 的竖向集中荷载	

(注意) 作为 DIANA9.1 的培训讲座例题，本例题的分析条件全部是假定值。关于分析结果的妥当性另当别论，望谅解。

## 2. 模型建立的步骤 (FEMGEN)

- (1) 建立工作目录。  
(在这里假定为 C:\ work\rcbeam)
- (2) 启动 iDIANA, 从【File】—【Select Working Directory】中选择步骤(1)中已生成的工作目录。
- (3) 启动 FEMGEN。模型名称请输入 ‘rcbeam’。  
FEMGEN rcbeam



- (4) 接下来, 选定解析的类型和模型的使用单位。(本例题为平面应力问题)
 

<i>SPECIFY ANALYSIS TYPE</i> =>	Struct_2 d	(解析类型)
<i>SPECIFY UNITS</i> =>	Millimeter	(长度单位)
<i>SPECIFY UNITS</i> =>	None	(质量单位)
<i>SPECIFY UNITS</i> =>	Newton	(力单位)
<i>SPECIFY UNITS</i> =>	None	(时间单位)
<i>SPECIFY UNITS</i> =>	None	(温度单位)
- (5) 输入混凝土梁的几何形状坐标点。将 Point 名各自分别取名为 p1, p2, p3, p4。(由于 p1~p4 与缺省名相同, 因此省略的话也一样。)
 

```

            GEOMETRY POINT p1 0
            GEOMETRY POINT p2 2000 0
            GEOMETRY POINT p3 2000 450
            GEOMETRY POINT p4 0 450
            
```

显示整体模型。

EYE FRAME

再显示 Point 名。

LABEL GEOMETRY POINTS

(6) 线 LINE 的作成。将 LINE 名各自分别取名为 L1, L2, L3, L4。

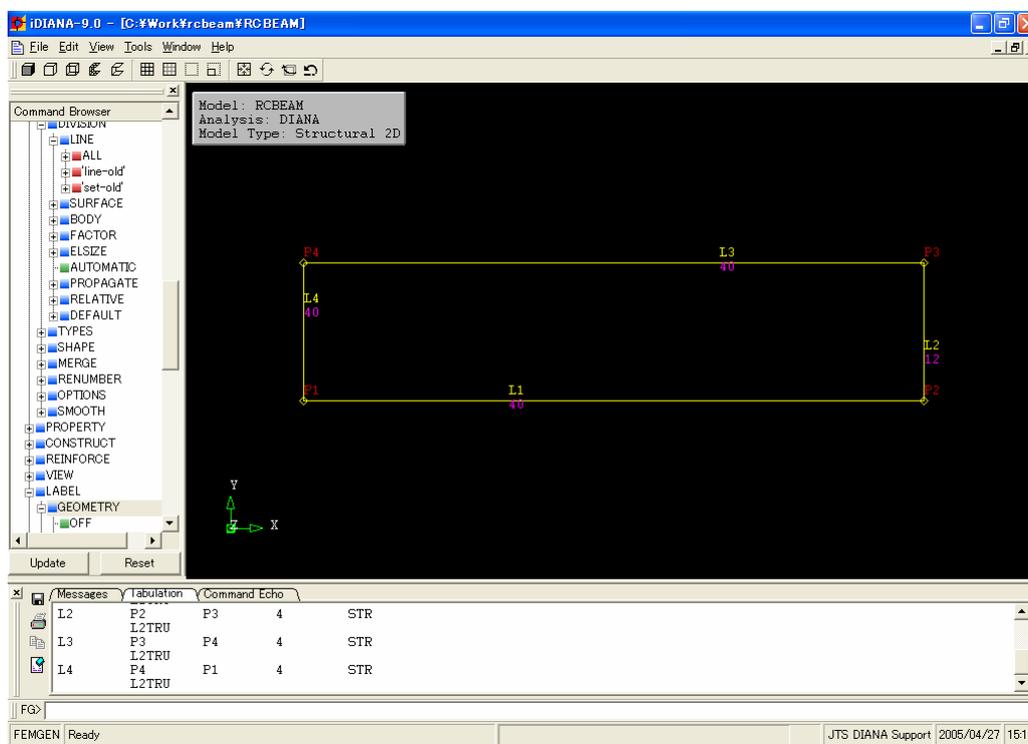
(由于 L1~L4 与缺省名相同, 所以省略的话也一样。)

GEOMETRY LINE STRAIGHT L1 P1 P2

GEOMETRY LINE STRAIGHT L2 P2 P3

GEOMETRY LINE STRAIGHT L3 P3 P4

GEOMETRY LINE STRAIGHT L4 P4 P1



再次显示画面内容。

DRAWING DISPLAY

显示 LINE 名。

LABEL GEOMETRY LINE

(7) 变更网格的分割数。线 LINE 分割数的默认值为 4。

```
MESHING DIVISION LINE L1 40      (线 L1 的分割数变更为 40)
MESHING DIVISION LINE L2 12      (线 L2 的分割数变更为 12)
MESHING DIVISION LINE L3 40      (线 L3 的分割数变更为 40)
MESHING DIVISION LINE L4 12      (线 L4 的分割数变更为 12)
```

确认分割数。

```
LABEL GEOMETRY DIVISIONS
```

(8) 面 SURFACE 的生成。指定四边并取名为 s1 来生成 SURFACE。

```
GEOMETRY SURFACE 4SIDES S1 L1 L2 L3 L4
```

(9) 指定单元类型。

```
MESHING TYPES S1 QU8 CQ16M
```

(10) 单元网格的生成。

```
MESHING GENERATE S1
```

确认” *413 new nodes and 120 new elements generated*” 显示在 DialogBox 里面吗?

显示单元网格。

```
VIEW MESH
```

显示节点号。

```
LABEL MESH NODES
```

对节点号进行重新编号。

```
MESHING RENUMBER GLOBAL
LABEL MESH NODES
```

通过以上操作，我们建立了混凝土部分的网格模型。下面，我们来建立埋入式钢筋单元模型。由于当前画面正在显示单元网格，利用下列操作转变为显示 GEOMETRY 状态。

```
VIEW GEOMETRY ALL
```

- (11) 输入埋入式钢筋的端点。在这之前，为了与混凝土的 POINT 名加以区别，需变更 POINT 名的命名方式。将钢筋的 POINT 名变更为以“R”开头。

```
CONSTRUCT NAME POINTS R

GEOMETRY POINT - 30 30
GEOMETRY POINT 2000 30
```

显示 R1 和 R2 这些 POINT 的生成情况。

```
LABEL GEOMETRY POINT
```

- (12) 输入埋入式钢筋单元。单元类型为 BAR 单元（钢筋杆单元）。定义的钢筋名为 RE1。由 RE1 组成的埋入式钢筋单元名为 BA1。

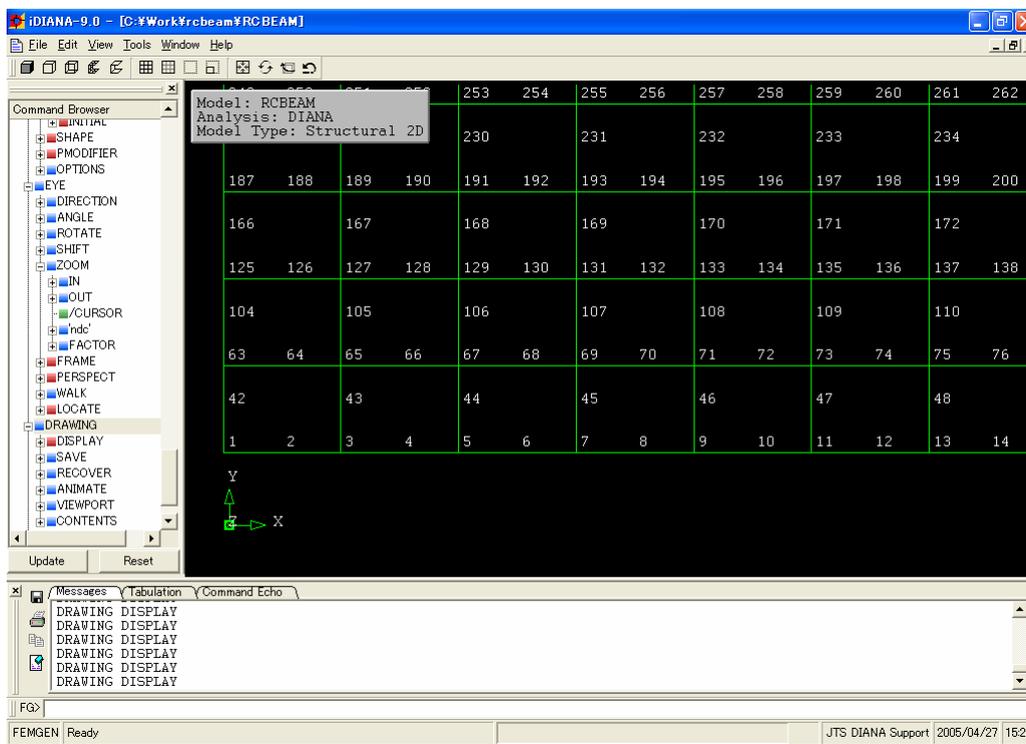
```
REINFORCE BAR SECTION RE1 R1 R2
REINFORCE BAR BA1 RE1
```

确认钢筋单元是否已经生成。

```
VIEW REINFORCE
LABEL REINFORCE BAR
```

确认完以后，返回到 GEOMETRY 显示状态。

```
VIEW GEOMETRY ALL
```



(13) 设定边界条件。确认支点 (300, 0) 的节点号码。显示节点号码, 并放大支点四周。

```
VIEW MESH
LABEL MESH NODES
EYE ZOOM (用鼠标来选择支点周围需放大的范围。)
```

支点在距离梁最左下端 300mm 的位置。每个单元的长度是 100mm [2000(LINE1 的长度)/40(LINE1 的分割数) × 2 (2 次单元) = 100mm]。因此, 支点 (300, 0) 是从最左下的单元数起第 3, 4 号单元之间的节点, 此节点号码为 7。显示节点号 7 的坐标值。

```
UTILITY TABULATE MESH NODES 7
```

```
NODE X Y Z
      7 300 0 0
```

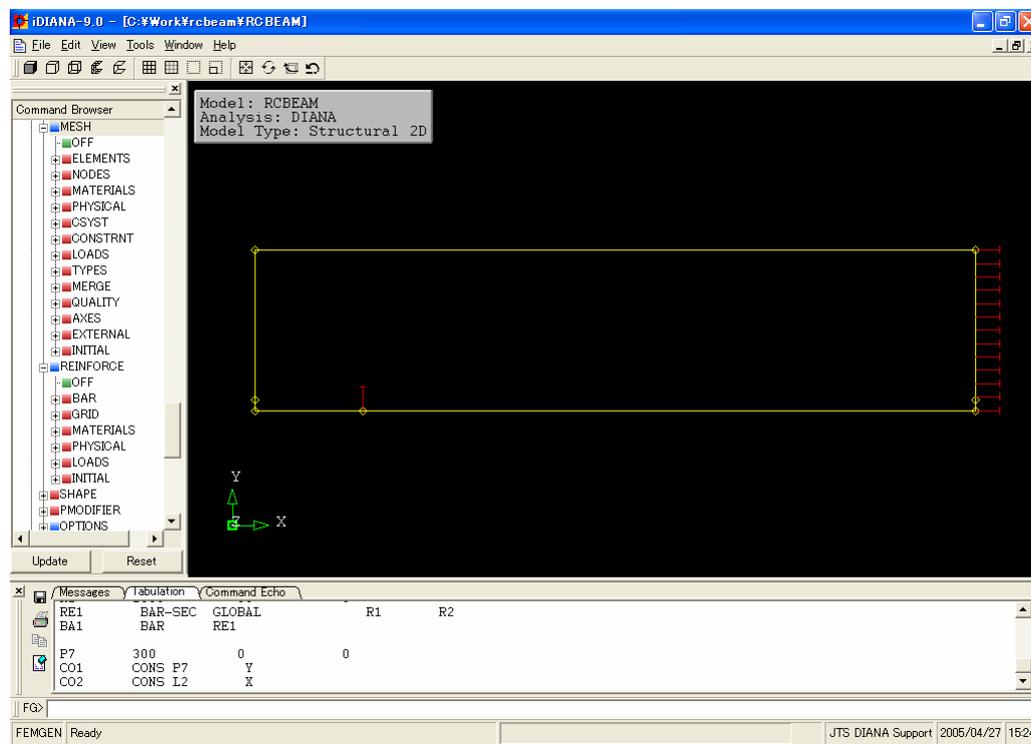
以上的坐标值显示在 DialogBox 里面了吗?

在节点号 7 处建立 POINT。并将它取名为 P7。

```
GEOMETRY POINT AT-NODE P7 7
```

确认 P7 以后, 返回到 GEOMETRY 显示状态。

```
VIEW GEOMETRY ALL
```



对支点 (300, 0) 的 Y 轴方向和具有对称条件 (LINE2) 的 X 轴方向施加约束条件。各个约束条件分别取名为 C01, C02。

```
PROPERTY BOUNDARY CONSTRAINT C01 P7 Y
PROPERTY BOUNDARY CONSTRAINT C02 L2 X
```

确认约束条件的施加情况。

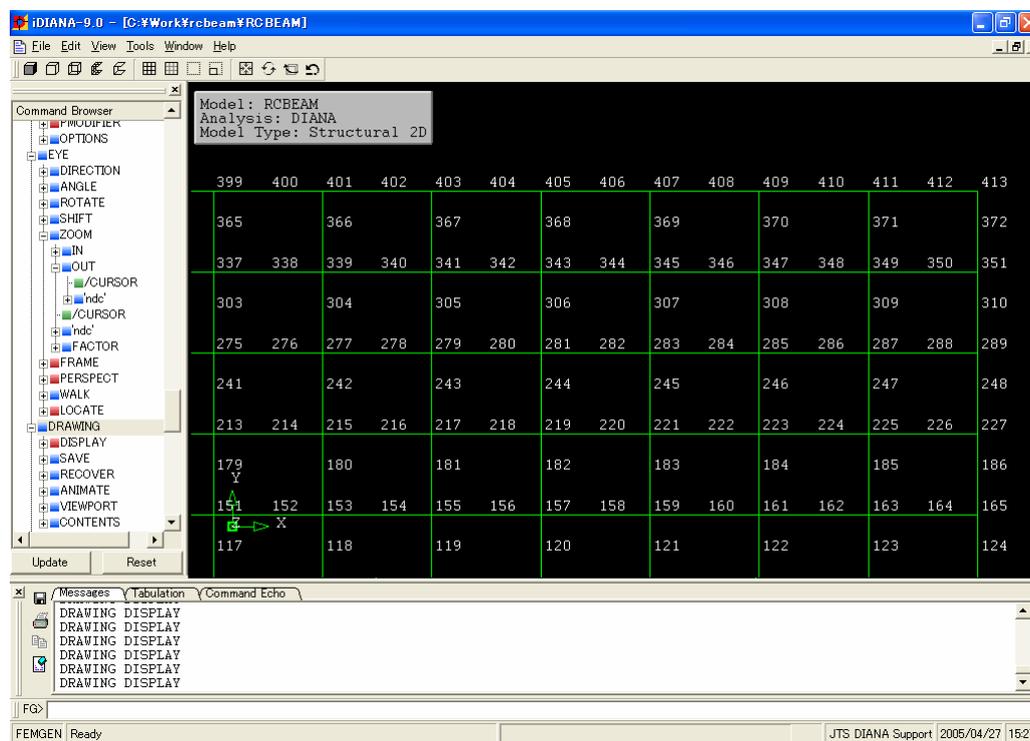
```
EYE FRAME
LABEL MESH CONSTRNT
```

(14) 设定加载条件，确认加载点 (1500, 450) 的节点号码并标出，放大加载点四周。

```
VIEW MESH
LABEL MESH NODES
EYE ZOOM (用鼠标选择节点周围的放大范围)
放大后可以看到，加载点的节点号码是 403。显示节点号码 403 的坐标值。
UTILITY TABULATE MESH NODES 403
```

```
NODE X Y Z
403 1500 450 0
```

以上的坐标值显示在 DialogBox 里面了吗？



在节点号 403 处建立新的 POINT，并将它取名为 P403。

```
GEOMETRY POINT AT-NODE P403 403
```

在屏幕上显示整个模型。

```
EYE FRAME
```

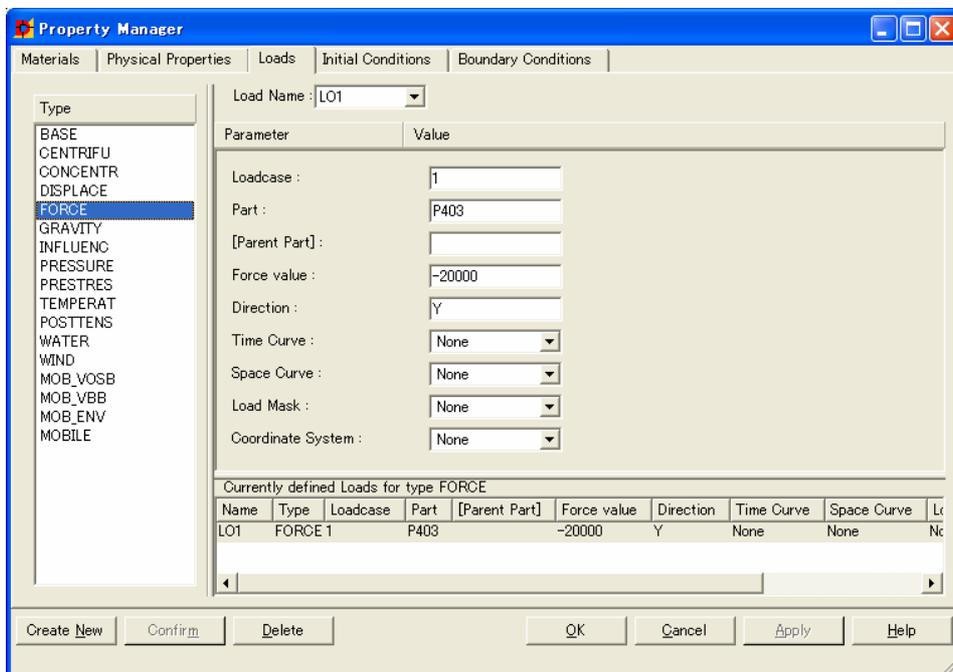
加载点 P403 (1500, 450) 的加载条件设定为在 Y 轴的负方向施加 20000N 的集中荷载。

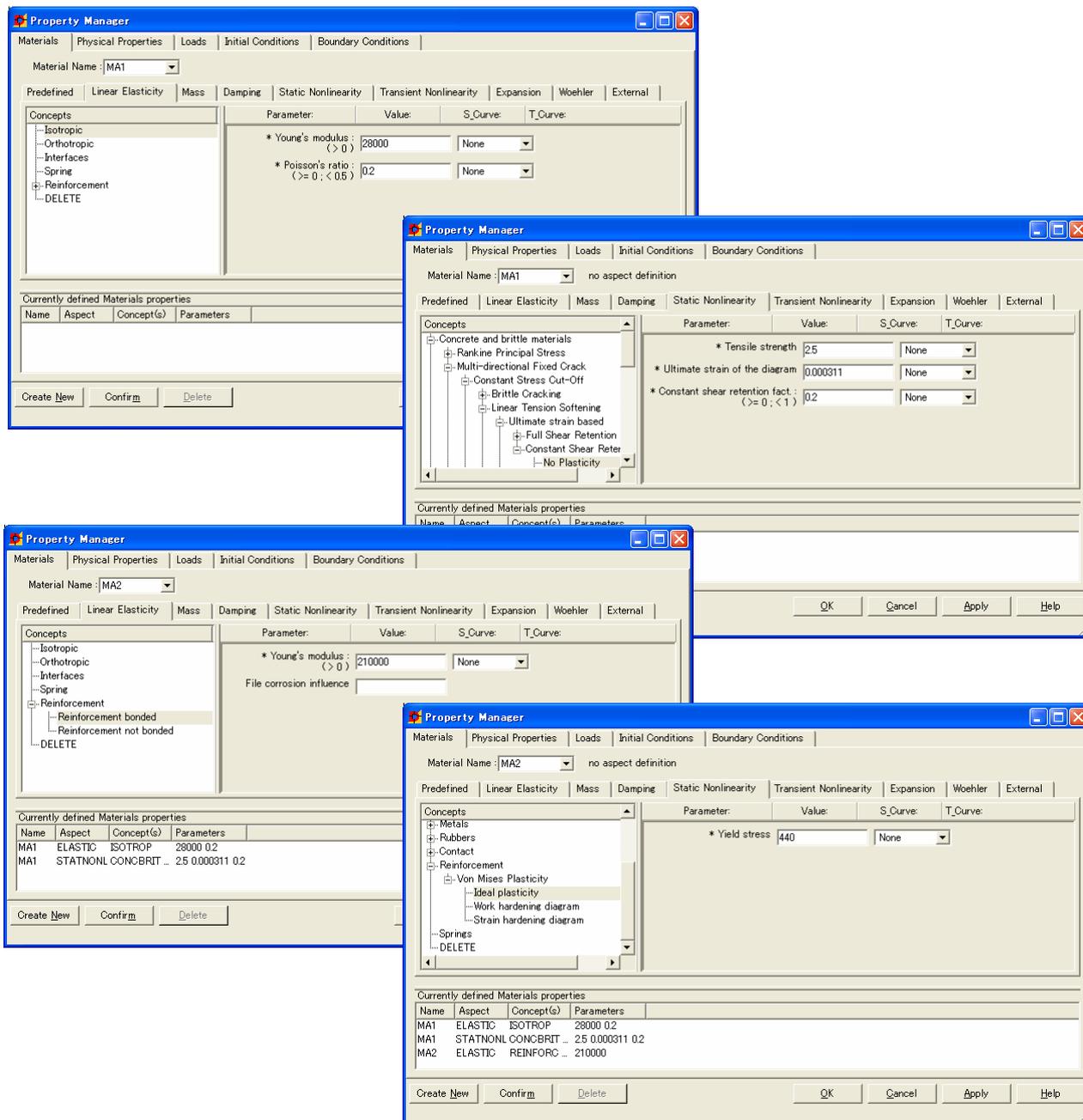
```
PROPERTY LOADS FORCE P403 -20000 Y
```

确认加载情况。

```
LABEL MESH LOADS
```

※ 利用 Property Manager 输入载荷的格式如下。





(15) 建立如上图显示的材料数据。混凝土材料取名为 MA1，埋入式钢筋材料取名为 MA2。

※ 用以下的命令也可以定义。

```
PROPERTY MATERIAL MA1 ELASTIC ISOTROP 28000 0.2
```

```
PROPERTY MATERIAL MA2 ELASTIC REINFORC BOND 210000
```

输入各种材料的非线性数据。

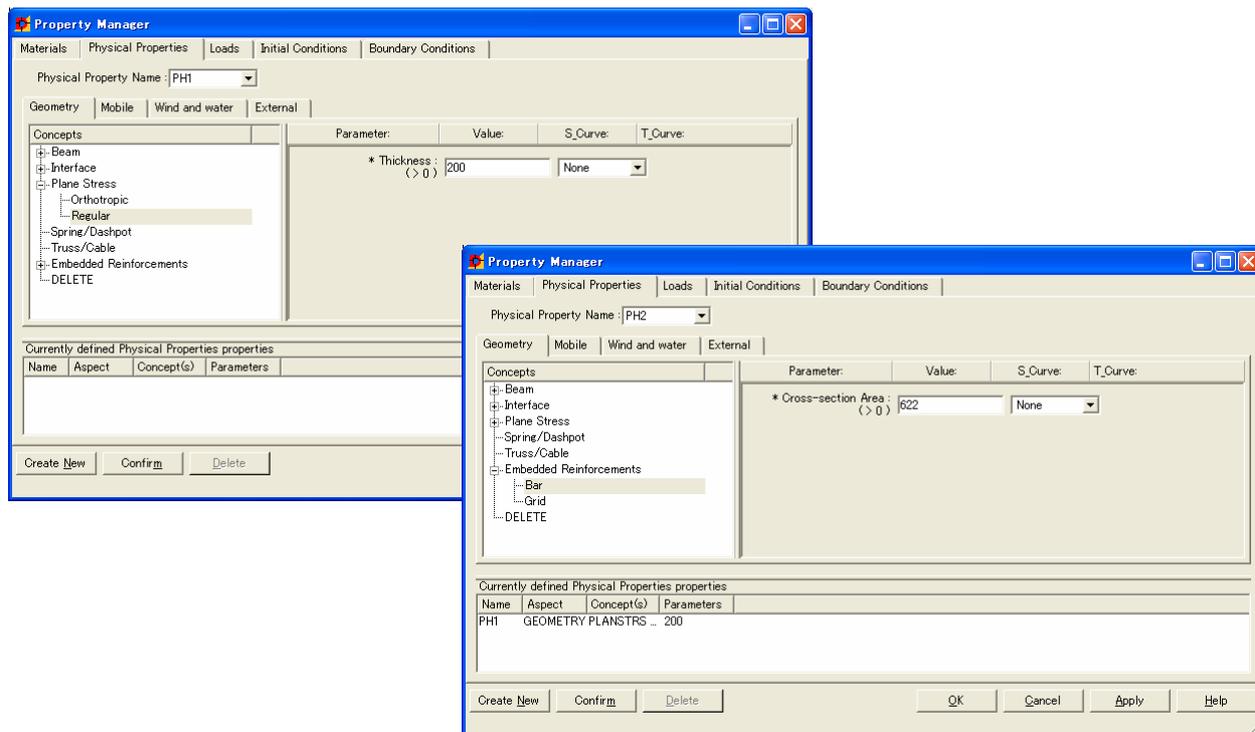
```
PROPERTY MATERIAL MA1 STATNONL CONCBRIT CRACK CONSTA
```

```
TENSIO1 UTIMATE TAUCRI1 NONE 2.5 0.000311 0.2
```

```
PROPERTY MATERIAL MA2 STATNONL REINFORC VMISES NONE 440
```

确认一下材料数据是否已经输入

```
UTILITY TABULATE MATERIALS
```



(16) 设置几何属性。混凝土的单元属性取名为 PH1, 埋入式钢筋单元属性取名为 PH2。

※用以下的命令也可以定义。

```
PROPERTY PHYSICAL PH1 GEOMETRY PLANSTRS THREGULAR 200
PROPERTY PHYSICAL PH2 GEOMETRY REINFORC BAR 622
```

确认几何数据是否已输入。

```
UTILITY TABULATE PHYSICAL
```

(17) 将设置的材料数据和几何数据附加到 Geometry(线, 面, 体) 上去。

```
PROPERTY ATTACH S1 MA1 PH1
PROPERTY ATTACH BA1 MA2 PH2
```

确认是否顺利附加完毕。

```
LABEL MESH MATERIAL
LABEL MESH PHYSICAL
```

(18) 生成 DIANA 数据文件。

```
UTILITY WRITE DIANA
YES
```

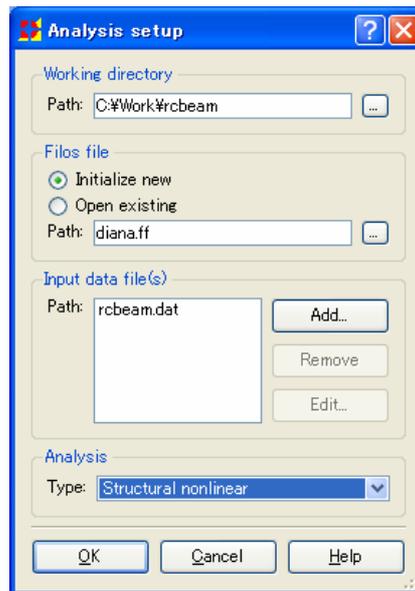
(19) 将到此为止的数据保存。

```
SAVE
CONFIRM SAVE => YES
ENTER MODEL DESCRIPTION => (如果不希望输入标题, 按回车键即可)
```

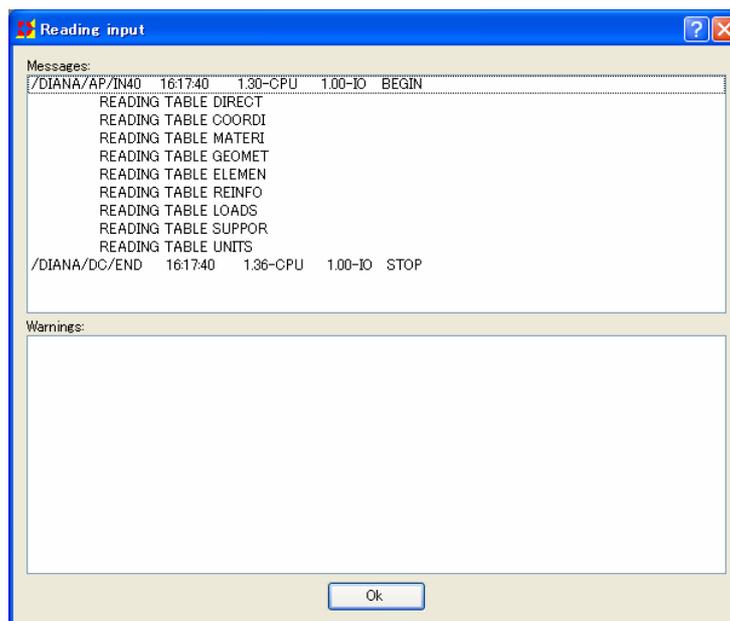
至此为止, 已经完成了非线性分析数据的输入任务。接下来, 介绍非线性分析的执行命令。

### 3. 非线性分析的执行 (DIANA\_W)

- (1) 建模完成以后, 接下来进行分析。在 iDIANA 的 INDEX 模式下, 从 iDIANA 的命令菜单点击 ‘Analysis’ 子菜单。
- (2) 选择 ‘RCBEAM’ 作为进行分析的对象 (工作目录和建模时一样为 C:\work\rcbeam)。启动 Analysis setup 窗口。
- (3) 在 ‘Analysis Type’ (解析类型) 栏, 选择非线性分析用的 ‘Structural nonlinear’ 项。



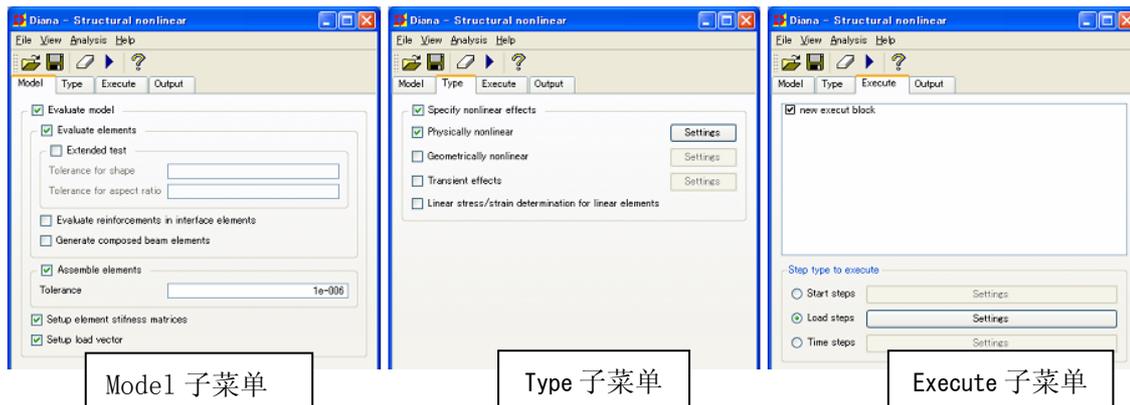
- (4) 点击 OK 按钮, 开始读入输入文件。



(5) 启动非线性分析用的 DIANA\_W 窗口。

完成数据的读入以后,启动 DIANA\_W 窗口。在这次选择的非线性分析中,出现以下四个实用命令子菜单。

- ① Model 子菜单 ; 非线性分析的初始条件设定 (自由度, 刚度矩阵, 荷载的生成等)
- ② Type 子菜单 ; 非线性分析的类型设定 (材料非线性, 几何非线性, 动力分析等)
- ③ Execute 子菜单 ; 非线性分析的执行命令设定 (载荷增量, 求解方法, 容许值等)
- ④ Output 子菜单 ; 结果输出命令的设定



(6) 设定分析参数和选项

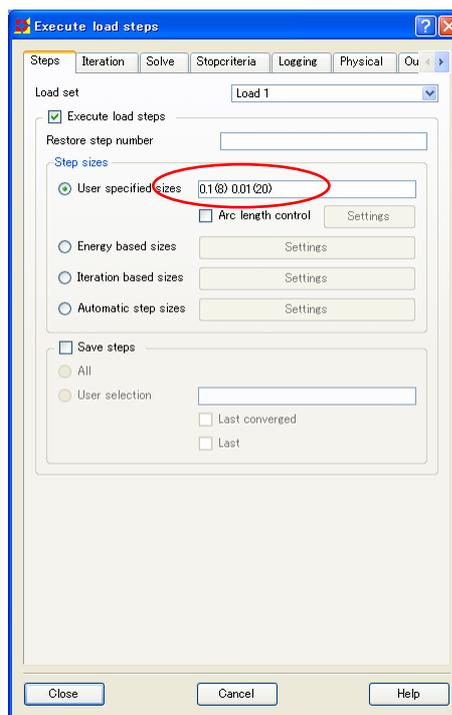
这里对 Model, Type 子菜单使用默认方式, 从 Execute 子菜单开始进行设定。

在 ‘Execute’ 子菜单里选择 ‘Load steps’ 。点击 ‘Setting’ 按钮后, 将出现如下所示的 ‘Execute Load Steps’ 窗口。

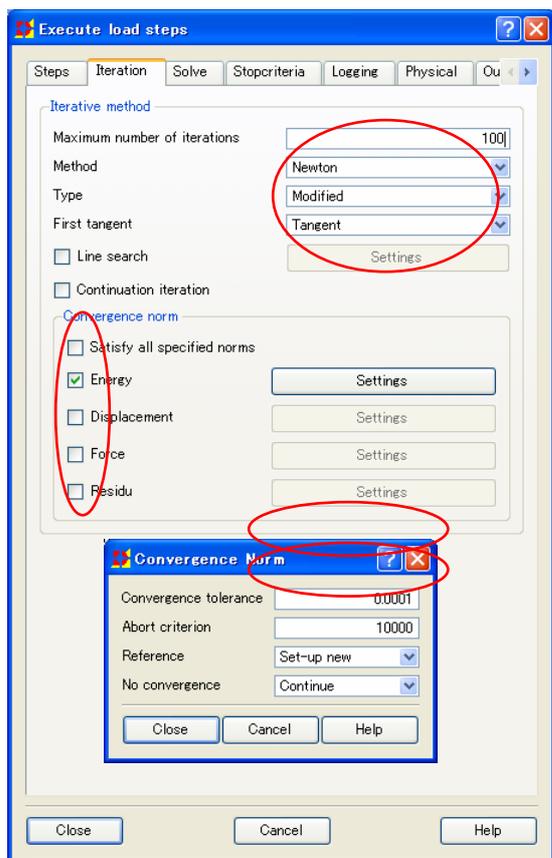
首先设定荷载增量以及荷载步数。选择 ‘Step sizes’ 的 ‘User specified sizes’, 并在输入框里设定荷载增量以及荷载步数。

在这里, 对于现在设定的荷载组 (Load 1), 用 8 个荷载步施加 0.1 倍的荷载增量后, 再用 20 个荷载步施加 0.01 倍的荷载增量 (合计施加 1.0 倍的荷载)。

在输入框内请输入 0.1(8) 0.01(20)。



(7) 设定收敛性计算手法



点击 ‘Iteration’ 菜单。

各荷载增量步的最大反复收敛性计算次数设定为 100 次。在求解法中使用 ‘Newton Modified’ (修正 Newton-Raphson 法)。

收敛性判断准则中使用 ‘Energy’ 判断准则。选择 ‘Convergence norm’ 里的 ‘Energy’，将作为默认值设定的 ‘Displacement’，‘Force’ 前面的打勾标记去掉。

设定收敛性判断的容许值。

点击 ‘Energy’ 后面的 ‘Setting’，启动 ‘Convergence Norm Settings’ 窗口。‘Convergence tolerance’ 中设定的默认值为 0.0001。

在这里，对于最大反复收敛性计算次数以内未达到收敛性判断容许值的情况，设定将不平衡力带入下一荷载增量步进行分析。在 ‘No convergence’ 里选择 ‘Continue’。

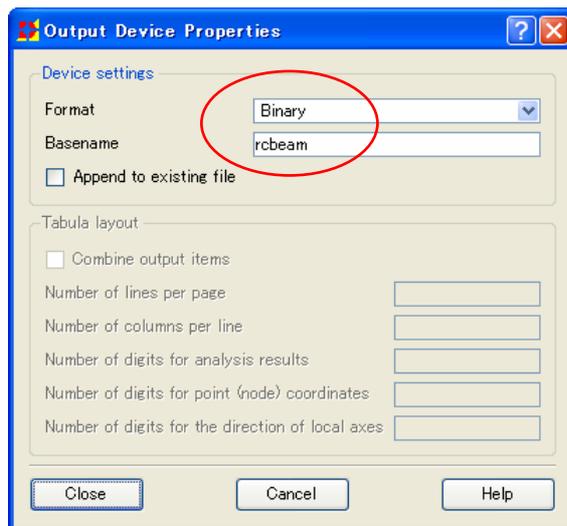
完成这些输入设定以后，关闭 ‘Convergence Norm’ 窗口和 ‘Execute Load Steps’ 窗口。

(8) 接下来设定输出数据。

选择 DIANA\_W 窗口的 ‘Output’ 实用命令子菜单。

这里将介绍如何把计算结果输出到 DIANA 后处理文件 FEMVIEW 的操作命令。将位于 ‘Output’ 子菜单的 ‘Device’ 设定为 ‘Femview’，并点击 ‘Properties’ 按钮。启动如右上图所示的 ‘Output Device Properties’ 窗口。

确认 ‘Format’ 后面选定 ‘Binary’，‘Basename’ 后面是这次分析用的模型名 ‘rcbeam’。另外，由于 FEMVIEW 结果文件名是可以任意设定的，所以如果需要变更 FEMVIEW 结果文件名时，可以在 Basename 输入框里输入新的文件名。



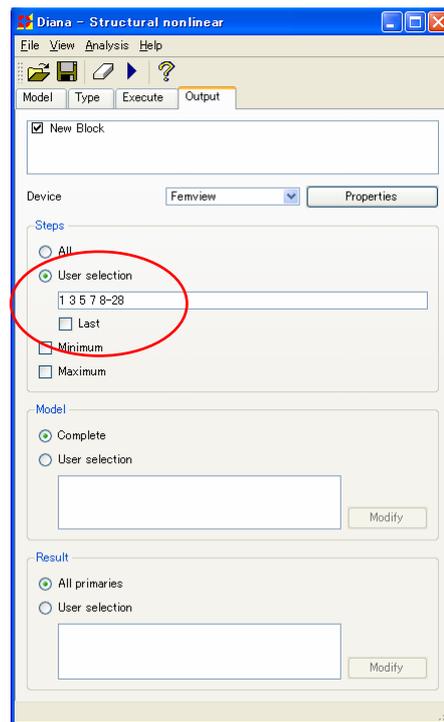
(9) 选择需要输出的荷载步。

从‘Output’子菜单中间的 Steps 框中选择‘User selection’。

在接下来的输入框中设定需要输出的荷载步。这里,我们设定输出,到7个荷载步为止的奇数荷载步,从8荷载步开始到第28荷载步的各个荷载步,以及最终荷载步的分析结果。

在输入框中输入 1 3 5 7 8-28 。

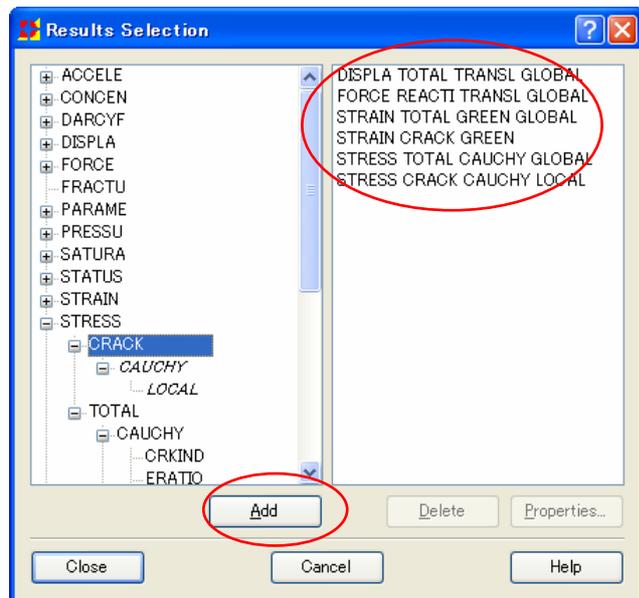
另外,在 Steps 框中选择‘Last’,会自动保存最终荷载步的分析结果。



(10) 选择输出结果。

在这里,选择输出位移,反力,应力,裂缝应力,裂缝应变,塑性应变。

选择位于‘Output’实用子菜单最下面的‘Results’框里的‘User selection’,点击‘Modify’按钮。



如左图所示,从左侧窗口选择输出结果项并点击‘Add’按钮。

(位移)

DISPLA TOTAL TRANSL GLOBAL

(反力)

FORCE REACTI TRANSL GLOBAL

(应变)

STRAIN TOTAL GREEN GLOBAL

(裂缝应变)

STRAIN CRACK GREEN

(应力)

STRESS TOTAL CAUCHY GLOBAL

(裂缝应力)

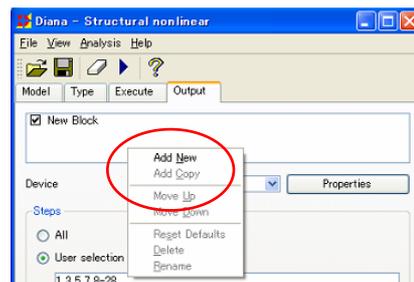
STRESS CRACK CAUCHY LOCAL

在这里,参考右边的窗口,选择所有需要输出的结果项。选择结束以后,点击 Close 按钮,关闭 Results selection 窗口。

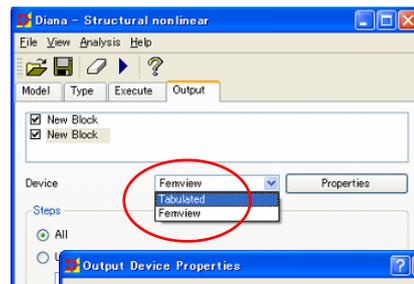
(11) 将分析结果输出到 Tabular 文件。

这里介绍如何将分析结果输出到 Tabular 文件。输出的结果为加载点的位移结果（节点号为 403）。

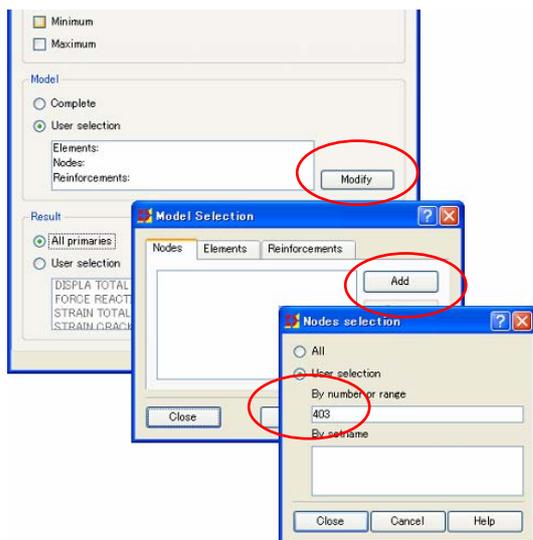
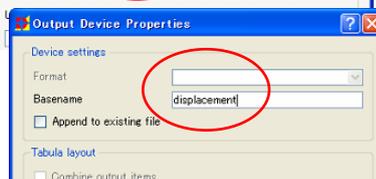
在‘Output’实用子菜单的上半部窗口中(如右上图的 A 框), 点击鼠标的右键。如右上图所示, 从出现的菜单中, 选择 ‘Add New’。



在 ‘Device’ 中选择如右图所示的 ‘Tabulated’, 点击右边的 ‘Properties’ 按钮。



在启动的 ‘Output Device Properties’ 窗口的 ‘Basename’ 里, 输入任意的 Tabular 文件名, 例如 ‘Displacement’ (任意名)。

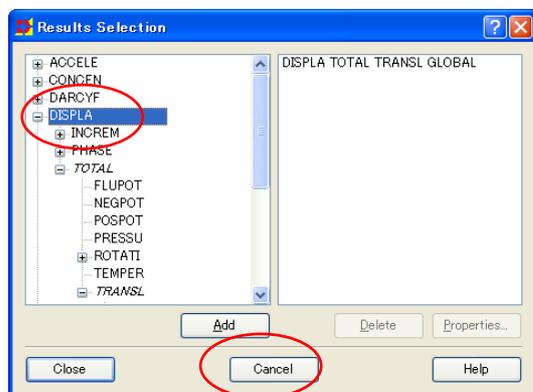


选择成为输出对象的节点编号 403 (加载点)。在位于 ‘Output’ 子菜单中间位置的 Model 框架中选择 ‘User Selection’, 并点击其右边的 ‘Modify’ 按钮。

在 ‘Model Selection’ 窗口的 ‘Nodes’ 菜单中点击 ‘Add’ 按钮, 并选择 ‘Nodes Selection’ 窗口中的 ‘User’, 在 ‘By number or range’ 的输入框中输入加载点的节点号 ‘403’。

关闭节点选择的所有窗口。

选择需用输出的变移项。在位于 ‘Output’ 子菜单下方的 ‘Results’ 框中选择 ‘User selection’ 并点击 ‘Modify’ 按钮。

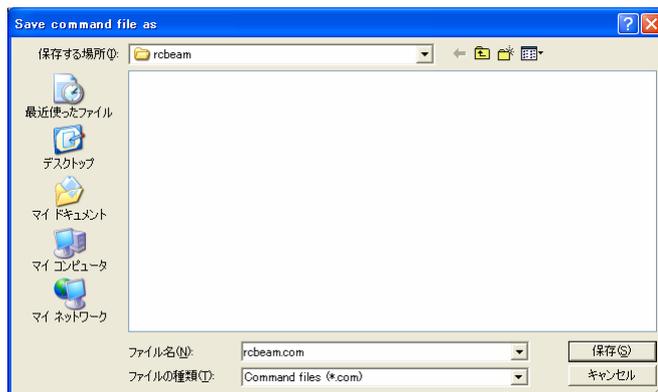


如左图所示, 在左侧窗口中选择 ‘DISPLA’, 并点击 ‘Add’ 按钮。点击 Close 按钮, 关闭这个窗口。

## (12) 保存命令文件。

为了下次能够再利用这次设定的命令, 需要将这些命令保存到命令数据文件里。

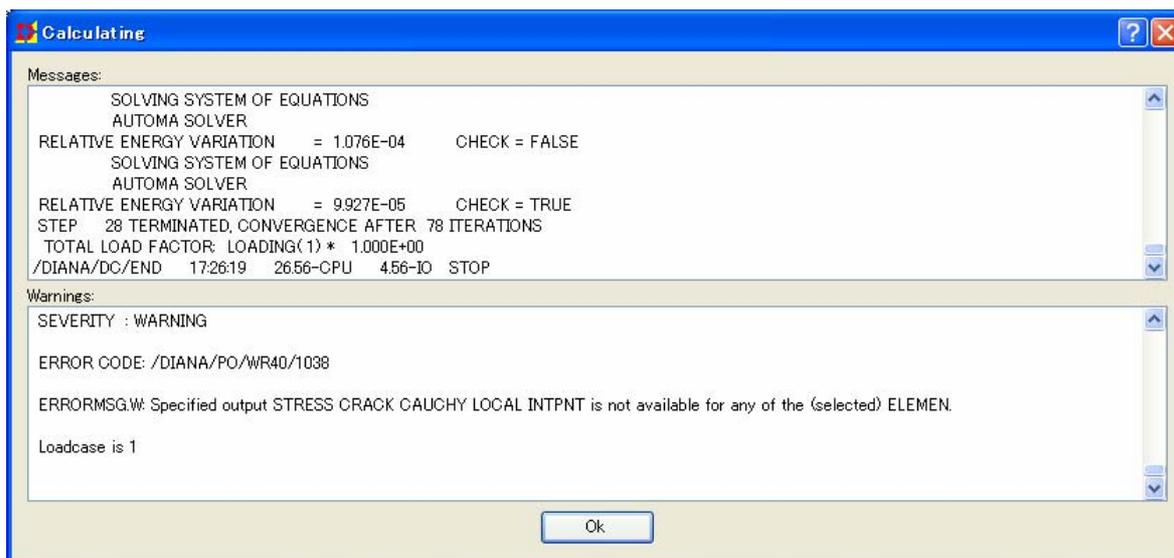
从任务栏的 File → 选择 Save Command file As..., 输入文件名 (例如 rcbeam.com)。



## (13) 进行 DIANA 分析。

由于已经完成了分析准备, 从任务栏的 Analysis → 选择 Run,

或者点击  来进行分析。



确认是否出现错误或警告信息。如果分析过程正常结束, 点击 OK, 关闭 Calculating 窗口。另外, 点击 Cancel 按钮关闭 Continuation Analysis Setup 窗口。

(上图出现的警告信息表示所要求输出的裂缝应变不能输出。由于施加的载荷比较小, 在此加载步还没有出现裂缝。所以该警告信息可以忽略)

如果出现错误信息, 则从出现错误信息的窗口, 上图所示的 'Warnings' 窗口, 以及 diana.out 文件确认错误信息, 对相关的数据进行修正后, 再次进行分析。

#### 4. 后处理 (FEMVIEW)

利用 iDIANA 的后处理功能 (FEMVIEW) 来显示分析结果。

- (1) 启动 FEMVIEW, 读入分析结果 (文件名假定为 RCBEAM)。

```
FEMVIEW RCBEAM
```

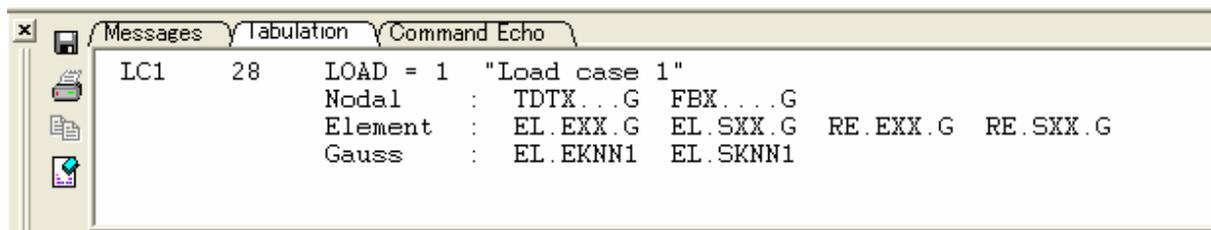
- (2) 显示分析模型的网格图。

```
VIEW MESH
```

- (3) 确认保存了怎样的分析结果。

```
UTILITY TABULATE LOADCASE
```

用一览表的形式显示荷载工况、荷载步号、以及所输出的分析结果 (用 enter 键来显示下一个荷载工况)。



- (4) 显示最终状态 (荷载工况 1 的第 28 荷载步) 的变形图。

```
RESULTS LOADCASES LC1 28
RESULTS NODAL TDTX...G RESTDT
PRESENT SHAPE
```

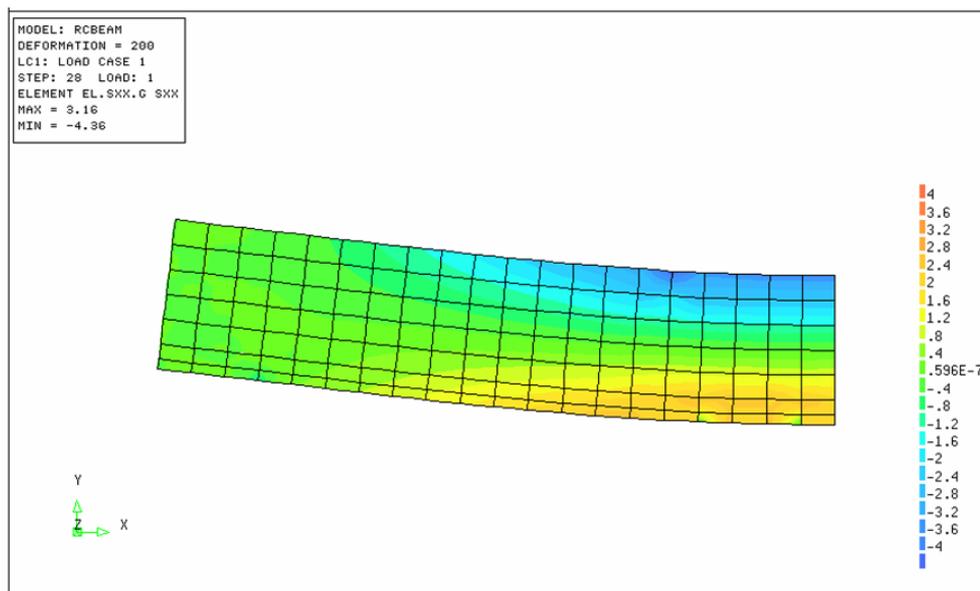
(注: PRESENT SHAPE 后可以指定变形显示倍数。例如: PRESENT SHAPE 300 表示将变形显示倍数设定为 300 倍。)

- (5) 变形结果的向量显示。

```
PRESENT VECTORS      (3 种颜色表示向量)
PRESENT OPTIONS VECTOR MODULATE 5  (将表示向量的颜色数改变为 5)
```

- (6) 显示 Y 方向的反力向量和反力的数值。

```
RESULTS NODAL FBX...G FBY
PRESENT VECTORS
PRESENT NUMERIC
```



(7) 显示单元的应力彩色云图。

```
RESULTS ELEMEN EL. SXX.G SXX
PRESENT CONTOUR LEVELS
```

变更显示范围（用 20 种颜色来显示 19 个分段）。

```
PRESENT CONTOUR FROM -4 TO 4 LEVELS 19
```

将变形图和应力彩色云图同时显示。

```
VIEW OPTIONS DEFORM USING TDTX...G RESTDT
```

(8) 接下来,用动画的形式来显示变形的情况。

首先,固定变形显示的放大倍率,设定变形彩色云图的显示范围。放大倍率设定为 200 倍,显示范围设定为 20 种颜色来显示 19 个分段。

```
VIEW OPTIONS DEFORM 200
PRESENT CONTOUR FROM -4 TO 4 LEVELS 19
```

读入全部荷载工况后,进行动画显示。

```
RESULTS LOADCASES ALL
DRAWING ANIMATE LOADCASE
```

把变形图返回到变形前的初始状态。

```
VIEW OPTIONS DEFORM OFF
```

(9) 显示裂缝应变的向量图。

```
RESULTS LOADCASE LC1 28
RESULTS GAUSSIAN EL. EKNN EKNN
PRESENT VECTOR
PRESENT DISC
```

(10) 绘制梁跨中的荷载倍率—变位曲线。

```
PRESENT GRAPHI PROMPT
```

选定图表 X 轴的显示内容。

```
SPECIFY X-AXIS => LOADCASE
X-AXIS ATTRIBUTE => ALL
```

Y 轴可以同时显示多项内容, 在这里只选定一个 (即, 整体变形)。

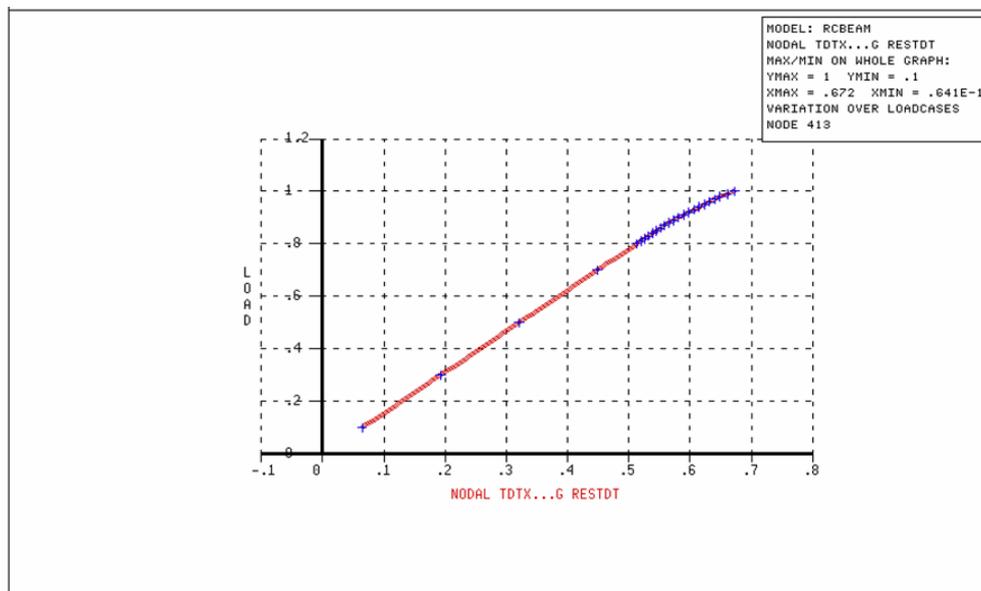
```
NUMBER OF Y-AXIS ATTRIBUTE => 1
Y-AXIS ATTRIBUTE => NODAL TDTX...G Restdt
```

输入加载点的节点号 403。

```
FOR WHITCH NODE(S) => 403
```

变更图表的 X 轴, Y 轴。

```
PRESENT OPTIONS GRAPH AXES SWAP
```



(11) 将荷载倍率—变位曲线保存到新的数据文件。

① 指定保存文件名

UTILITY TABULATE PRINTFILE OPEN (文件名)

※如果不填写文件，将使用缺省文件名“fgv1st.lst”。

② 按步骤(10)在屏幕上显示荷载倍率—变位曲线。

③ 关闭文件

UTILITY TABULATE PRINTFILE CLOSE

※如果不关闭文件，继续在屏幕上操作显示的其它荷载倍率—变位曲线也将保存进同一个文件。

※ 如果不关闭文件，而是中止FEMGV操作，保存的文件也将自动被关闭。

(12) 变形图的保存方法

① 指定保存文件的格式(例: Postscript 格式的彩色图形)

UTILITY SETUP PLOTTER FORMAT POSTSCRIPT COLOR

② 将图形保存到文件中

DRAWING SAVE PLOTFILE 文件名

③ 将步骤②保存的\*.ps文件打印出来。

另外，用同样的方法也可以保存到 Tiff, CGM 等其它格式的文件。并且可以很方便地将这些文件拷贝粘贴到 Microsoft Word 里去。

■ 详细情况参照 Pre and Postprocessing 用户使用手册的第 24.9.7 章 (DIANA 版本 9.1)。