



Marc

Erkennen und Debuggen von singulären Modellen

Singularity Ratio

Die Singularity Ratio (R) ist ein Maß für die Konditionierung eines linearen Gleichungssystems.

Die Singularity Ratio (R) ist mit der Konditionierungszahl (C), welche das Verhältnis zwischen dem höchsten und niedrigsten Eigenwert des Systems kennzeichnet, über die Beziehung

$$1/R \leq C$$

verknüpft.

Damit sind C bzw. R ein Maß für den Genauigkeitsverlust bei der Lösung des Gleichungssystems und der Zerlegung der Systemmatrix.

Bei Verwendung eines Direct Solvers in Marc ist die Singularity Ratio definiert als

$$R = \min [K_{kk}^{(k)} / K_{kk}^{(k-1)}]$$

Darin bezeichnet K die Diagonalterme der Steifigkeitsmatrix.

In diesem Fall wird die Singularity Ratio für jede Iteration im out- und log-file ausgegeben:

```
start of matrix solution
singularity ratio 3.4185E-12
end of matrix solution
```

Es sind drei Fälle zu unterscheiden:

1. alle $K_{kk}^{(k)}$ und $K_{kk}^{(k-1)}$ sind positiv.
2. mindestens ein $K_{kk}^{(k)}$ ist "null".
3. mindestens ein $K_{kk}^{(k)}$ ist negativ.



Marc

Erkennen und Debuggen von singulären Modellen

Fall 1 kennzeichnet eine positiv-definite Matrix. Falls alle Terme der Hauptdiagonalen positiv sind, ist die Singularity Ratio ein Maß für den Genauigkeitsverlust bei der sog. Crout LU-Faktorisierung.

Die Singularity Ratio sollte deshalb nicht kleiner als $1.0E-08$ sein. Wenn die Singularity Ratio sehr klein wird spricht man von einem schlecht konditionierten System. Dies wird durch große Steifigkeitsunterschiede verursacht.

Fall 2 weist auf eine singuläre, nicht positiv-definite Matrix hin.

Im out-file findet sich folgende Meldung:

Error: non-positive definite system at node 15 degree of freedom 2

Dies wird verursacht durch mögliche Starrkörperverschiebungen im Modell aufgrund ungenügender Festhaltungen, beispielsweise weil Contactbodies vollständig separieren.

Fall 3 weist ebenfalls auf eine singuläre, nicht positiv-definite Matrix hin. Das kann in einem ansonsten gut konditionierten System auf ein lokales oder eventuell sogar globales Beulen hinweisen. Die Meldung kann ebenfalls darauf hinweisen, dass die Struktur bis an die Grenze der Tragfähigkeit (Limit Load) belastet ist, weil beispielsweise Querschnitte vollständig durchplastifiziert sind.

Eine sehr kleine Singularity Ratio wird oftmals auch durch Fehler in der Modellierung hervorgerufen.

Dazu gehören Vernetzungsfehler durch sehr stark verzerrte Elemente, falsche Anbindung unterschiedlicher Elementklassen (Shell/Solid oder Solid/Beam), ein unterbrochenes FE-Mesh, wo eigentlich eine kontinuierliches Mesh geplant ist, nicht durchgeführtes SWEEP in Mentat u.a.m.

Fehlerhafte Materialeingaben sind eine weitere Ursache, z.B. Definition von Materialkonstanten für hyperelastisches Material, die im auftretenden Deformationsbereich zu negativen Materialsteifigkeiten führen.

Große Steifigkeitsunterschiede auf der Geometriekarte für Balkenelemente oder sehr hohe Unterschiede in den Materialsteifigkeiten verschiedener Materialien im Modell sind eine weitere mögliche Ursache.

In Kontaktanalysen, in denen die Reibung nicht aktiviert ist, kann es ebenfalls zu unerwünschten und unerwarteten Starrkörperverschiebungen oder Starrkörperrotationen kommen, die die Ursache für ein singuläres System ebenso wie unzureichende Festhaltungen sind. Letzteres gilt insbesondere auch für Load Controlled Rigid Bodies, bei denen eine ausreichende Lagerung gerne vergessen wird.