

Lutz Nasdala

FEM-Formelsammlung atik und Dynamik

Hintergrundinformationen, Tipps und Tricks

STUDIUM



VIEWEG»
TEUBNER

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Fragen. Fragen und nochmals Fragen.	1
1.2	Blick über den Tellerrand.	3
1.3	Weiterführende Literatur.	4
1.3.1	Matrizenschreibweise.	5
1.3.2	Tensorschreibweise.	7
1.4	Software-Anbieter.	8
1.5	Nichtlinearitäten.	9
1.5.1	Gleichgewichtspunkte.	9
1.5.2	Ursachen nichtlinearen Verhaltens.	10
2	Herleitung der FEM	12
2.1	Lineare FEM.	12
2.1.1	Direkte Methode/Freischneiden.	13
2.1.2	Galerkin Methode/Differentialgleichung.	13
2.1.3	Stationarität des^Gesamtpotentials.	14
2.1.4	Prinzip der virtuellen Arbeit.	15
2.2	Nichtlineare FEM.	16
2.2.1	Impulsbilanz.	16
2.2.2	Prinzip der virtuellen Arbeit.	16
2.2.3	Konsistente Linearisierung.	17
2.2.4	Raumdiskretisierung.	19
2.2.5	Zeitdiskretisierung.	25
3	Statische Analysen	26
3.1	Lösungsverfahren für nichtlineare Gleichungssysteme.	26
3.2	Klassifizierung singulärer Punkte.	29
3.3	Stabilitätsanalyse.	30
3.3.1	Lineare Stabilitätsanalyse.	30
3.3.2	Nichtlineare Stabilitätsanalyse.	32
3.3.3	Beispiel: Stabilitätsversagen einer Pendelstütze.	33
3.4	Dämpfung/Stabilisierung.	39
3.4.1	Ungedämpfte statische Analyse.	39
3.4.2	Ein kleiner Exkurs in die Welt der Dynamik.	40
3.4.3	Lokale/Stabilisierung.	41
3.4.4	Globale Stabilisierung.	43
3.4.5	Stabilisierungsenergie und Stabilisierungsleistung.	44

4	Dynamische Analysen	46
4.1	Lineare Dynamik	47
4.1.1	Berechnungsebenen	47
4.1.2	Eigenfrequenzanalyse	48
4.1.3	Transiente Analyse	55
4.1.4	Stationäre Analyse	62
4.1.5	Dämpfung	64
4.1.6	Geometrische Nichtlinearitäten bei transienter Analyse	77
4.1.7	Fußpunktanregung	88
4.1.8	Antwortspektrum-Analyse	92
4.1.9	Zwischenfallantwort-Analyse	97
4.1.10	Komplexe Eigenfrequenzanalyse	103
4.2	Nichtlineare Dynamik	109
4.2.1	Implizite Zeitintegration	109
4.2.2	Explizite Zeitintegration	111
4.2.3	Dämpfung	113
5	Elemente	114
5.1	Klassifizierung	114
5.2	Formulierungen	116
5.2.1	Verschiebungselemente	116
5.2.2	B-bar-Elemente	117
5.2.3	Gemischte/hybride Elemente	117
5.2.4	Reduziert integrierte Elemente	118
5.2.5	Elemente mit inkompatiblen Moden	120
5.3	Balkenelemente	121
5.3.1	Bernoulli-Balken	121
5.3.2	Timoshenko-Balken	123
5.3.3	Balkenelemente mit Verwölbungsfreiheitsgrad	127
5.4	Schalenelemente	132
5.5	Kontinuumsschalenelemente	140
5.6	Kontinuums-elemente	142
5.6.1	3 D-Volumenelemente	142
5.6.2	2D-Volumenelemente	143
5.6.3	Axialsymmetrische Volumenelemente	144
5.7	Spezielle Elemente	146
6	Materialmodelle	151
6.1	Rheologische Modelle	151
6.2	Lineare Elastizität	159
6.3	Hyperelastizität	162
6.4	Lineare Viskoelastizität	164
6.5	Plastizität	168
6.6	Schädigung und Versagen	178
6.7	Viskoelastoplastisches Softeningmodell	179

7	Kontakt	186
7.1	Optimierungsproblem mit Nebenbedingung	186
7.2	Kontaktformulierungen	187
7.2.1	Methode der Lagrangeschen Multiplikatoren	187
7.2.2	Penalty-Methode	189
7.2.3	Augmented Lagrange-Verfahren	191
7.2.4	Kombinierte Kontaktformulierungen	192
7.2.5	Reibkontakt . . . I.	193
7.3	Kontaktdiskretisierung	194
7.3.1	Reines Master-Slave-Konzept	194
7.3.2	Symmetrisches Master-Slave-Konzept	195
7.3.3	Flächenbasiertes Master-Slave-Konzept	196
7.3.4	Schalendicke	196
7.3.5	Geometrie- und Kontaktkorrektur	197
7.3.6	Presspassungen	198
7.3.7	Quadratische Elemente	199
7.3.8	Kleine Gleitwege	199
7.4	Dynamischer Kontakt	200
7.4.1	Lineare Dynamik	200
7.4.2	Implizite Zeitintegration	200
7.4.3	Explizite Zeitintegration	202
8	Tipps und Tricks	203
8.1	Es muss doch noch schneller gehen	203
8.1.1	Die Hardware-Keule	203
8.1.2	Gleichzeitige Analyse verschiedener Lastfälle	204
8.1.3	Substrukturtechnik	205
8.1.4	Submodelltechnik	208
8.1.5	Adaptive Vernetzungstechniken	209
8.1.6	Starrkörper	212
8.1.7	Symmetrien	213
8.1.8	Reduktion der Ausgabedatenmenge	214
8.2	Daran scheiden sich die Geister	215
8.2.1	Lineare oder quadratische Elemente	215
8.2.2	Tetraeder oder Hexaeder	216
8.2.3	Kleine oder große Dehnungen	217
8.3	Wie man richtig belastet	218
8.3.1	Einleitung von Einzellasten	218
8.3.2	Schraubenvorspannung	218
8.3.3	Trägheitsrandbedingungen	218
8.4	Nur nicht die Kontrolle verlieren	219
8.5	Top 10 der beliebtesten Fehler	220
	Literatur	221
	Verzeichnis	221
	Sachverzeichnis	223