

Dr.-Ing. Günter Müller / Dipl.-Ing. Clemens Groth

FEM für Praktiker – Band 1: Grundlagen

Basiswissen und Arbeitsbeispiele zur Finite-Element-Methode
mit dem FE-Programm ANSYS® Rev. 5.5

7. Auflage

Mit 433 Bildern, CD-ROM, Installationsanleitung
und zahlreichen Beispielen

expert  verlag®

Enthält:
1 CD-ROM



Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Teil I Anwendung der Finite-Element-Methode (FEM) in der Praxis | 1 |
| Lernziel | 1 |
| 1 Einsatz der FEM in der Produktentwicklung - Fallbeispiele | 2 |
| 1.1 Chancen der Produktentwicklung | 2 |
| 1.2 Einsatzgebiete der FEM | 4 |
| 1.3 Erfolgreicher Einsatz der FEM - Fallbeispiele | 4 |
| 2 Grundidee der Finite-Element-Methode | 29 |
| 2.1 Rechnerische Simulation | 29 |
| 2.2 Die Finite-Element-Methode | 30 |
| 2.3 Berechnung komplexer Geometrien mit FEM | 39 |
| 2.4 Weitere Anwendungsmöglichkeiten der FEM | 40 |
| 2.5 Entwicklungstrends | 47 |
| 3 Die Geschichte der Finite-Element-Methode | 50 |
| 4 Einführung von FEM | 55 |
| 4.1 Vorgehensweise, Anforderungen, Kosten | 55 |
| 4.2 Übersicht über FEM-Programme | 59 |
| 4.3 Auswahlkriterien für ein FEM-Programm | 60 |
| Literaturangaben | 63 |
| Teil II Einführung in die Theorie der FEM | 65 |
| Lernziel | 65 |
| 1 Ausführliche Beschreibung anhand eines einfachen nachvollziehbaren Beispiels | 66 |
| 1.1 Beschreibung des Beispiels | 66 |
| 1.2 Analytische Lösung | 67 |
| 1.3 Lösung nach der Finite-Element-Methode | 70 |
| 1.4 Steigerung der Genauigkeit der Ergebnisse | 85 |
| 1.5 Konvergenzbetrachtung | 106 |
| 2 Ergänzende Betrachtungen | 109 |
| 2.1 Prinzip vom Minimum der potentiellen Energie | 109 |
| 2.2 Ingenieurmäßige Deutung der Elementsteifigkeitsmatrix und der Gesamtsteifigkeitsmatrix | 111 |
| 2.3 Berücksichtigung von Elementbelastungen | 117 |
| 2.4 Beliebige Lage der Elemente | 122 |
| 3 Die Steifigkeitsmatrix des Balkenelementes | 130 |

| | | |
|-----------------|---|------------|
| 4 | Die Steifigkeitsmatrix des Scheibenelementes | 135 |
| 4.1 | Herleitung der Steifigkeitsmatrix für ein Element, das parallel zu den globalen Achsen ausgerichtet ist | 135 |
| 4.2 | Allgemeines (isoparametrisches) Element | 138 |
| 4.3 | Lösung des Beispiels aus 1.3 mit zwei Scheibenelementen | 144 |
| 5 | Einige Standardelemente für die Strukturmechanik | 148 |
| 5.1 | LINK1 (truss) | 149 |
| 5.2 | BEAM3 (beam) | 150 |
| 5.3 | SHELL63 (shell, plate option) | 151 |
| 5.4 | SHELL63 (shell) | 152 |
| 5.5 | PLANE42 (plane stress option) | 153 |
| 5.6 | PLANE42 (plane strain option) | 154 |
| 5.7 | PLANE42 (axisymmetric option) | 155 |
| 5.8 | SOLID45 (3-D solid) | 156 |
| 5.9 | Dreieck-, Tetraeder-, Prismaelemente | 157 |
| 5.10 | Elemente mit Zwischenknoten | 157 |
| 5.11 | Verbesserte Elemente ohne Kantenmittenknoten | 158 |
| 6 | FEM für nichtlineare Statik, Strukturdynamik, Temperaturfelder, elektrostatische Felder, Magnetfelder, Fluiddynamik | 159 |
| 6.1 | Nichtlineare Statik | 159 |
| 6.2 | Strukturdynamik | 161 |
| 6.3 | Temperaturfelder | 162 |
| 6.4 | Analoge Feldprobleme | 163 |
| 6.5 | Magnetfeld | 164 |
| 6.6 | Fluiddynamik | 165 |
| 6.7 | Gekoppelte Felder (Multiphysik) | 165 |
| 7 | Gleichungsauflösung | 167 |
| 7.1 | Direkte Verfahren | 167 |
| 7.2 | Iterative Verfahren | 173 |
| 7.3 | Reduktionsverfahren | 174 |
| | Literaturangaben | 176 |
| Teil III | Handhabung des ANSYS/ED-Programms | 177 |
| | Lernziel | 177 |
| 1 | Einführung | 177 |
| 2 | Fallbeispiele der Idealisierung | 179 |
| 3 | Möglichkeiten des ANSYS/ED-Programms | 186 |

| | | |
|------|--|-----|
| 4 | Ablauf einer ANSYS/ED-Analyse | 192 |
| 4.1 | Installation des ANSYS/ED-Programms | 192 |
| 4.2 | Aufruf des ANSYS/ED-Programms | 192 |
| 4.3 | Anwendung des ANSYS/ED-Programms | 192 |
| 4.4 | Berechnung großer Strukturen | 216 |
| 5 | Handhabung des ANSYS/ED-Programms | 217 |
| 5.1 | Strukturanalysen | 217 |
| 5.2 | Temperaturfeldanalysen | 247 |
| 5.3 | Magnetfeldberechnungen | 251 |
| 5.4 | Berechnung elektrischer Felder | 252 |
| 5.5 | Fluidanalysen | 253 |
| 5.6 | Analyse gekoppelter Felder | 255 |
| 5.7 | Preprocessing und Modellgenerierung | 258 |
| 5.8 | Belastung und Lösungsphase (solution) | 352 |
| 5.9 | Postprocessing | 377 |
| 5.10 | Grafik | 400 |
| 5.11 | Selektieren | 423 |
| 5.12 | ANSYS Parametersprache (ANSYS parametric design language, APDL) | 426 |
| 6 | Aus der Erfahrung | 435 |
| 6.1 | Preprocessing | 435 |
| 6.2 | Lösungsabschnitt | 442 |
| 6.3 | Postprocessing | 444 |
| | Literaturangaben | 450 |
| | Teil IV Beispiele | 451 |
| | Lernziel | 451 |
| | Einführungsbeispiele | |
| | Beispiel 0 Das ANSYS-Menüsystem | 453 |
| | Beispiel 1 2-D Einarbeitung (Strukturmechanik) | 462 |
| | Beispiel 2 3-D Einarbeitung (Strukturmechanik) | 483 |
| | Grundlagenbeispiele | |
| | Beispiel 3 Zugstab aus Teil II (Theorie der Strukturmechanik) | 501 |
| | Beispiel 4 Scheibe mit Loch (Vernetzungstechnik) | 517 |
| | Beispiel 5 Kragbalken (Elementauswahl in der Strukturmechanik) | 533 |
| | Beispiel 6 Winkelhalterung (Geometriemodellierung) | 544 |
| | Beispiel 7 Schalentragwerk (Postprocessing) | 552 |
| | Beispiele zu besonderen Möglichkeiten des ANSYS/ED-Programms | |
| | Beispiel 8 Submodelltechnik (Gekerbter Zugstab) | 562 |
| | Beispiel 9 Kontaktelemente, Hyperelastizität (Gummidichtung) | 571 |
| | Beispiel 10 Viskoelastizität (Pendelstütze aus Kunststoff) | 587 |
| | Beispiel 11 Modalanalyse (Stimmgabel) | 597 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Beispiel 12 | Schwingung einer Fahrzeugachse (Reduzierte Transiente Dynamik, Frequenzganganalyse) | 603 |
| Beispiel 13 | Temperaturfeld (3-D Einarbeitung) | 612 |
| Beispiel 14 | Magnetfeld (3-D Einarbeitung) | 625 |
| Beispiel 15 | Fluidodynamik (3-D Einarbeitung) | 639 |
| Beispiel 16 | Elektrisches Feld (Koaxialkabel) | 657 |
| Beispiel 17 | Temperatur-Struktur-Kontakt (Rohr auf ebener Unterlage) | 672 |

Beispiele aus der Technik

| | | |
|-------------|--|-----|
| Beispiel 18 | Tellerfeder (Geometrische Nichtlinearität) | 678 |
| Beispiel 19 | Dickwandiger Druckbehälter (Rotationssymmetrie, Plastizität) | 691 |
| Beispiel 20 | Betonträger (Betonmaterial) | 712 |
| Beispiel 21 | Rotorwelle mit Zahnrad (Modalanalyse mit Kreiselwirkung) | 717 |
| Beispiel 22 | Seilbruch an einer Schrägseilbrücke (Transiente Dynamik) | 722 |
| Beispiel 23 | Entlastungsnut (Optimierung) | 732 |
| Beispiel 24 | Plattenfedermembran (Optimierung) | 742 |
| Beispiel 25 | Kühlturm (Schalenelemente, APDL) | 752 |
| Beispiel 26 | Lötbügel (Kopplung von elektrischem Feld, Wärmeübertragung und Strukturmechanik) | 764 |

| | |
|----------------------------|-----|
| Literaturangaben | 774 |
|----------------------------|-----|

Anhänge

| | | |
|----------|--|-----|
| Anhang A | ANSYS/ED Revision 5.5 Installationsanleitung | 775 |
| Anhang B | Standardelemente des ANSYS/ED-Programms | 786 |
| Anhang C | Maßeinheiten und Umrechnungsfaktoren | 818 |
| Anhang D | Englisch-deutsche Fachbegriffe | 825 |

| | |
|-------------------------------|------------|
| Sachregister | 837 |
|-------------------------------|------------|