

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| 1 Geschlossene Lösungen für einfach gestützte Mindlinsche Platten | 1 |
| 1.1 Einführung | 1 |
| 1.2 Grundgleichungen | 1 |
| 1.3 Geschlossene Lösungen | 5 |
| 1.4 Plattensteifigkeiten | 8 |
| 1.4.1 Homogene isotrope Platten | 8 |
| 1.4.2 Sandwichplatten | 8 |
| 1.4.3 Steifigkeiten für Flächentragwerke aus Verbundmaterial | 10 |
| 1.4.4 Platten mit Hohlquerschnitt | 13 |
| 1.5 Programme | 15 |
| 1.5.1 Programm PLATES | 15 |
| 1.5.2 Eingabedaten für das Programm PLATES | 15 |
| 1.5.3 Verzeichnis der Variablennamen | 16 |
| 1.5.4 Programm RIGID | 23 |
| 1.5.5 Eingabedaten für das Programm RIGID | 23 |
| 1.6 Beispiele | 32 |
| 1.7 Literaturverzeichnis | |
| | |
| 2 Finite Streifenmethode für Mindlinsche Platten und axialsymmetrische Schalen | 36 |
| 2.1 Einführung | 36 |
| 2.2 Berechnung eines einfach gestützten Balkens mit Fourierreihen | 38 |
| 2.3 Finite Streifenmethode für rechteckige Mindlinsche Platten | 42 |
| 2.3.1 Grundgleichungen für Mindlinsche Platten | 42 |
| 2.3.2 Finite Streifenmethode für Mindlinsche Platten | 45 |
| 2.3.3 Numerische Integration | 49 |
| 2.3.4 Eine Familie von Mindlinschen finiten Streifen mit reduzierter Integration | 49 |
| 2.3.5 Beispiele | 52 |
| 2.3.5.1 Konvergenz mit einer gewissen Anzahl von Harmonischen | 52 |
| 2.3.5.2 Konvergenz mit einer bestimmten Anzahl von Streifen | 52 |
| 2.3.5.3 Verhalten dünner Platten | 52 |
| 2.3.5.4 Quadratische Platte mit lokalisierter Randlast | 56 |
| 2.3.5.5 Schlußfolgerungen | 58 |
| 2.4 Platten mit Hohlquerschnitten und gekrümmten Plattformen | 58 |
| 2.4.1 Grundgleichungen | 58 |
| 2.4.1.1 Verschiebungen | 58 |
| 2.4.1.2 Verzerrungen | 59 |
| 2.4.1.3 Spannungen | 60 |
| 2.4.1.4 Spannungsverzerrungsgesetz | 61 |
| 2.4.1.5 Potentielle Energie der Schale | 62 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 2.4.2 | Formulierung der finiten Streifenmethode für Platten mit gekrümmten Deckflächen | 62 |
| 2.4.3 | Zusammenfassen der Steifigkeitsmatrizen und Koordinatentransformation | 65 |
| 2.5 | Platten mit gekrümmten Deckflächen | 67 |
| 2.6 | Platten mit Hohlprofil und rechteckiger Plattform | 68 |
| 2.6.1 | Verschiebungsfeld | 68 |
| 2.6.2 | Verzerrungsfeld | 69 |
| 2.6.3 | Spannungen | 69 |
| 2.6.4 | Finite Streifenformulierung für Platten mit Hohlquerschnitt und rechteckiger Plattform | 69 |
| 2.7 | Axialsymmetrische Schalen | 70 |
| 2.7.1 | Mindlinsche finite Streifenmethode für axialsymmetrische Schalen unter beliebiger Belastung | 70 |
| 2.8 | Berechnung des äquivalenten Knotenkraftvektors | 73 |
| 2.9 | Mindlinsche Streifenelemente für Faltwerke und axialsymmetrische Schalen mit reduzierter Integration | 76 |
| 2.10 | Beispiele | 76 |
| 2.10.1 | Gelenkig gelagerte Platte mit gekrümmter Deckfläche | 76 |
| 2.10.2 | Gerade Brücke | 78 |
| 2.10.3 | Einfach gestützte Kastenbrücke | 78 |
| 2.10.4 | Kreisplatte mit exzentrischer Punktlast | 78 |
| 2.10.5 | Zylinderschale | 82 |
| 2.11 | Die Implementierung der finiten Streifenmethode auf dem Computer | 86 |
| 2.12 | Programm PBSTRIP zur Analyse von geraden oder gekrümmten Platten mit der finiten Streifenmethode | 88 |
| 2.12.1 | Hauptprogramm | 88 |
| 2.12.2 | Eingabedaten für Subroutine INPUT | 88 |
| 2.12.3 | Subroutine STIFFS für Steifigkeitsmatrizen | 92 |
| 2.12.4 | Von STIFFS aufgerufene Subroutinen | 94 |
| 2.12.4.1 | Subroutine MODPB | 94 |
| 2.12.4.2 | Subroutine GAUSSQ | 95 |
| 2.12.4.3 | Subroutine SFR1 | 95 |
| 2.12.4.4 | Subroutine JACOBI1 | 96 |
| 2.12.4.5 | Subroutine BMATFS | 97 |
| 2.12.4.6 | Subroutine DBE | 98 |
| 2.12.5 | Subroutine LOADFS | 98 |
| 2.12.6 | Subroutine STREFS | 100 |
| 2.12.7 | Subroutine ADD | 101 |
| 2.12.8 | Subroutine FRONT | 103 |
| 2.13 | Beispiele | 103 |
| 2.13.1 | Quadratische Platte | 103 |
| 2.13.2 | Kreisplatte | 107 |
| 2.14 | Aufbereiten der Eingabedaten für das Programm PBSTRIP | 110 |
| 2.15 | Verzeichnis der Variablennamen | 113 |
| 2.16 | Literaturverzeichnis | 114 |
| 3 | Mindlinsche finite Plattenelemente | |
| | Marguerre-Mindlinsche Schalenelemente | 117 |
| 3.1 | Einführung | 117 |
| 3.2 | Mindlinsche Plattentheorie | 117 |
| 3.2.1 | Mindlinsche Plattentheorie-Formulierung mit Verschiebungsansätzen | 117 |
| 3.2.2 | Alternative Formulierung | 120 |
| 3.2.3 | Geänderte Bezeichnungen | 121 |
| 3.3 | Mindlinsche Plattenelemente | 121 |
| 3.3.1 | Finite Elemente Formulierung | 121 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 3.3.2 | Isoparametrische Darstellung | 122 |
| 3.4 | Wünschenswerte Eigenschaften eines Mindlinschen Plattenelementes | 123 |
| 3.4.1 | Das Phänomen Locking | 123 |
| 3.4.2 | Reduzierte und selektive Integration | 124 |
| 3.5 | Das Heterosis Mindlin-Plattenelement | 128 |
| 3.5.1 | Vorbemerkungen | 128 |
| 3.5.2 | Hierarchische Formulierung des Heterosis-Elementes | 129 |
| 3.5.3 | Berechnung der Spannungsergebnisse | 131 |
| 3.6 | Das Programm MINDLIN | 132 |
| 3.6.1 | Einführung | 132 |
| 3.6.2 | Zusammenstellung der Variablennamen | 132 |
| 3.6.2.1 | Felder | 132 |
| 3.6.2.2 | Variablen | 133 |
| 3.6.3 | Hauptprogramm | 134 |
| 3.6.4 | Eingabemodul | 135 |
| 3.6.4.1 | Subroutine INPUT | 135 |
| 3.6.4.2 | Subroutinen NODEXY, RAZERO und IVZERO | 137 |
| 3.6.5 | Steifigkeitsmodul | 138 |
| 3.6.5.1 | Subroutine STIFPB | 138 |
| 3.6.5.2 | Hilfsroutinen GAUSSQ, SFR2, JACOB2, MODPB, BMATPB, BSAMP, BMOTPB, SFRM und SUBPB | 140 |
| 3.6.6 | Lastmodul | 147 |
| 3.6.6.1 | Subroutine LOADPB | 147 |
| 3.6.7 | Lösungsmodule | 148 |
| 3.6.8 | Ausgabe- und Spannungsmodule | 148 |
| 3.6.8.1 | Subroutine OUTDIS | 148 |
| 3.6.8.2 | Subroutine OUTSTR | 149 |
| 3.6.8.3 | Subroutine BENDM | 151 |
| 3.6.8.4 | Subroutine STRPB | 151 |
| 3.6.8.5 | Subroutine GRADPB | 152 |
| 3.6.8.6 | Subroutine PRINC | 152 |
| 3.6.8.7 | Subroutine SHEAR | 153 |
| 3.6.8.8 | Subroutine AVERAG | 154 |
| 3.7 | Benutzeranweisungen für das Programm MINDLIN | 154 |
| 3.8 | Beispiele | 156 |
| 3.8.1 | Vorbemerkungen | 156 |
| 3.8.2 | Patch-Test | 156 |
| 3.8.3 | Quadratische Platte | 159 |
| 3.8.4 | Eingespannte, gleichförmig belastete Kreisplatte | 163 |
| 3.9 | Lagrange-Plattenelement mit extra Schubansätzen | 167 |
| 3.10 | Schwach gekrümmte Schalelemente | 171 |
| 3.10.1 | Grundgleichungen für die schwach gekrümmte Schale Marguerre-Mindlinsches Schalelement | 171 |
| 3.10.2 | Extra Membran- und Schubansätze | 176 |
| 3.10.3 | Das Programm QUAD9 | 177 |
| 3.10.4 | Beispiele | 217 |
| 3.10.4.1 | Patch-Test | 217 |
| 3.10.4.2 | Eingespanntes Kreissegment | 218 |
| 3.11 | Literaturverzeichnis | 220 |
| 3.12 | Anhang 1: Subroutine FRONT | 221 |
| 4 | Berechnung von elasto-plastischen und geometrisch nichtlinearen anisotropen Platten und Schalen | 226 |
| 4.1 | Einführung | 226 |
| 4.2 | Degenerierte isoparametrische Elemente | 229 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 4.2.1 | Allgemeines | 229 |
| 4.2.2 | Koordinatensysteme | 230 |
| 4.2.2.1 | Globales Koordinatensystem - $\{x_i\}$ | 230 |
| 4.2.2.2 | Koordinatensystem - $\{v_{ik}\}$ | 230 |
| 4.2.2.3 | Krummliniges Koordinatensystem - ξ, η, ζ | 232 |
| 4.2.2.4 | Lokales Koordinatensystem - $\{x'_i\}$ | 232 |
| 4.2.3 | Elementgeometrie | 233 |
| 4.2.4 | Verschiebungsfeld | 234 |
| 4.2.5 | Verzerrungen | 235 |
| 4.2.6 | Spannungen | 236 |
| 4.2.7 | Die Materialgleichungen | 237 |
| 4.2.7.1 | Das verallgemeinerte Hookesche Gesetz | 237 |
| 4.2.7.2 | Schubfaktoren | 239 |
| 4.2.8 | Quadratische Schalenelemente | 241 |
| 4.2.8.1 | 8-Knoten-Serendipity-Element | 241 |
| 4.2.8.2 | 9-Knoten-Lagrange-Element | 242 |
| 4.2.8.3 | Heterosis-Element | 242 |
| 4.2.8.4 | Hierarchische Formulierung | 243 |
| 4.2.9 | Numerische Integration | 244 |
| 4.2.9.1 | Reduzierte Integration | 244 |
| 4.2.9.2 | Selektive Integration | 245 |
| 4.2.10 | Geschichtetes Modell | 246 |
| 4.3 | Berücksichtigung des nichtlinearen Verhaltens | 249 |
| 4.3.1 | Allgemeine numerische Verfahren für die nichtlineare Analyse | 249 |
| 4.3.2 | Plastische Fließtheorie | 250 |
| 4.3.3 | Geometrische Nichtlinearität | 254 |
| 4.4 | Finite Elemente Programm PLASTOSHELL | 257 |
| 4.4.1 | Das Hauptprogramm PLSHELL | 259 |
| 4.4.2 | Subroutine ALGOR | 261 |
| 4.4.3 | Subroutine BGMAT | 262 |
| 4.4.4 | Subroutine CHECK1 | 264 |
| 4.4.5 | Subroutine CHECK2 | 265 |
| 4.4.6 | Subroutine CONVER | 268 |
| 4.4.7 | Subroutine DIMEN | 269 |
| 4.4.8 | Subroutine ECHO | 270 |
| 4.4.9 | Subroutine FLOWS | 270 |
| 4.4.10 | Subroutine FRAME | 271 |
| 4.4.11 | Subroutine FRONT | 272 |
| 4.4.12 | Subroutine FUNC | 272 |
| 4.4.13 | Subroutine GAUSSQ | 274 |
| 4.4.14 | Subroutine GEOME | 275 |
| 4.4.15 | Subroutine INCREM | 276 |
| 4.4.16 | Subroutine INPUT | 277 |
| 4.4.17 | Subroutine INVAR | 279 |
| 4.4.18 | Subroutine LDISP | 279 |
| 4.4.19 | Subroutine LOADS | 280 |
| 4.4.20 | Subroutine MATM | 282 |
| 4.4.21 | Subroutine MODAN | 284 |
| 4.4.22 | Subroutine NODEX | 286 |
| 4.4.23 | Subroutine OUTPUT | 287 |
| 4.4.24 | Subroutine PRES | 289 |
| 4.4.25 | Subroutine RESTR | 290 |
| 4.4.26 | Subroutine SFR1 | 293 |
| 4.4.27 | Subroutine SINGOP | 293 |
| 4.4.28 | Subroutine STIFF | 294 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.4.29 | Subroutine VECT | 296 |
| 4.4.30 | Subroutine WORKS | 297 |
| 4.4.31 | Subroutine RESTAR | 298 |
| 4.4.32 | Subroutine ZERO | 298 |
| 4.4.33 | Subroutine SHEARC | 299 |
| 4.5 | Numerische Beispiele | 300 |
| 4.5.1 | Eingespannte quadratische Platte | 300 |
| 4.5.2 | Eingespannte quadratische Schale | 301 |
| 4.5.3 | Zylindrische Schalen | 301 |
| 4.6 | Literaturverzeichnis | 306 |
| 5 | Tragfähigkeit von Platten und Schalen aus bewehrtem Beton mit geometrischen und physikalischen nichtlinearen Effekten | 309 |
| 5.1 | Einführung | 309 |
| 5.2 | Materialmodellierung | 311 |
| 5.2.1 | Druckverhalten des Betons | 311 |
| 5.2.1.1 | Das Fließkriterium | 311 |
| 5.2.1.2 | Das Fließgesetz | 314 |
| 5.2.1.3 | Das Verfestigungsgesetz | 315 |
| 5.2.1.4 | Die Bruchhypothese | 316 |
| 5.2.2 | Zugverhalten des Betons | 316 |
| 5.2.2.1 | Zugverfestigung | 317 |
| 5.2.2.2 | Schubmodul im gerissenen Zustand | 319 |
| 5.2.3 | Verhalten des Eisens unter Zug und Druck | 320 |
| 5.3 | Finite Elemente Lösung | 320 |
| 5.4 | Finite Elemente Programm CONSHELL | 325 |
| 5.4.1 | Hauptprogramm | 325 |
| 5.4.2 | Subroutine CONVRD | 328 |
| 5.4.3 | Subroutine FLOWS | 329 |
| 5.4.4 | Subroutine INVAR | 330 |
| 5.4.5 | Subroutine INVA2 | 330 |
| 5.4.6 | Subroutine MODUL | 331 |
| 5.4.7 | Subroutine PRIST | 332 |
| 5.4.8 | Subroutine RESI1 | 332 |
| 5.4.9 | Subroutine RESI2 | 334 |
| 5.4.10 | Subroutine RESI3 | 336 |
| 5.4.11 | Subroutine RESTR | 337 |
| 5.4.12 | Subroutine STIFF | 340 |
| 5.4.13 | Subroutine TRANS | 343 |
| 5.4.14 | Subroutinen INPUT, LOADS und OUTPUT | 343 |
| 5.4.15 | Subroutinen HARDEN und YLSUF | 350 |
| 5.5 | Numerische Beispiele | 351 |
| 5.5.1 | Quadratische Platte | 352 |
| 5.5.2 | Parabolische zylindrische Schale | 356 |
| 5.6 | Literaturverzeichnis | 361 |
| 5.7 | Anhang 2: Aufbereitung der Eingabedaten von PLASTOSHELL und CONSHELL | 364 |