

Kurt Marti · Detlef Gröger

Stochastische Strukturoptimierung von Stab- und Balkentragwerken

Mit 82 Abbildungen und 18 Tabellen



Springer

Inhaltsverzeichnis

Teil I Stabtragwerke

1	Einführung und Allgemeine Voraussetzungen	3
2	Ebene Stabtragwerke mit drehbaren Verbindungen	11
2.1	Die Elementsteifigkeitsmatrix	11
2.2	Die Gesamtsteifigkeitsmatrix	19
2.3	Bestimmung der Knotenverschiebungen und Lagerkräfte	24
2.4	Bestimmung der Spannungen in den Elementen	26
2.5	Entfernung von Stäben aus einem Tragwerk	29
2.6	Beispiele	30
2.6.1	Der Torbogen (portal frame)	30
2.6.2	Der Dreistab	36
3	Ebene Stabtragwerke mit starren Verbindungen	43
3.1	Die Elementsteifigkeitsmatrix	43
3.1.1	Beziehungen zwischen Momenten, Querkräften, Verdrehungen und Querverschiebungen	45
3.1.2	Herleitung und Struktur der Elementsteifigkeitsmatrix	52
3.2	Die Gesamtsteifigkeitsmatrix	57
3.3	Bestimmung der Knotenverschiebungen und Lagerkräfte	60
3.4	Bestimmung der Spannungen in den Elementen	63
3.4.1	Axialspannung und Biegespannung	63
3.4.2	Der Gesamtspannungsvektor	70
3.5	Beispiele	76
3.5.1	Aus zwei Teilbalken zusammengesetzter Balken	76
3.5.2	Der Torbogen (portal frame)	85
4	Räumliche Stabtragwerke	95
4.1	Die Elementsteifigkeitsmatrix	95
4.1.1	Globale und lokale Koordinaten	95
4.1.2	Beziehungen zwischen Momenten, Querkräften, Verdrehungen und Querverschiebungen	98
4.1.3	Herleitung und Struktur der Elementsteifigkeitsmatrix	110
4.2	Die Gesamtsteifigkeitsmatrix	118

4.3	Bestimmung der Knotenverschiebungen und Lagerkräfte	120
4.4	Bestimmung der Spannungen in den Elementen	122
4.5	Beispiel: In einer Ebene arbeitender Roboter	131

Teil II Stabtragwerke mit stochastischen Parametern

5	Zusammenfassung von Teil I	145
6	Zufällige Schwankungen in der Beschaffenheit der Stäbe ...	149
6.1	Formulierung der Problematik	149
6.2	Allgemeines Vorgehen	151
6.2.1	Tensorielle Produkte von Vektoren und Matrizen	151
6.2.2	Momente von Zufallsvektoren und -matrizen	153
6.2.3	Bestimmung der Verteilung eines Zufallsvektors aus seinen Momenten	155
6.2.4	Momente von gleich- oder dreiecksverteilten Zufallsvariablen	160
6.3	Zur Verteilung der Steifigkeitsfaktoren	162
7	Momente der inversen reduzierten Gesamtsteifigkeitsmatrix	169
7.1	Matrixnormen und Matrizenreihen	169
7.1.1	Vektor- und Matrixnormen	169
7.1.2	Konvergenz von Matrizenreihen	172
7.2	Potenzreihenentwicklung der inversen Steifigkeitsmatrix	174
7.2.1	Erste Methode: Geometrische Reihe	176
7.2.2	Zweite Methode: Taylorentwicklung	177
7.3	Erwartungswert der inversen Steifigkeitsmatrix	182
7.3.1	Grundlagen	182
7.3.2	Beispiele	188
7.3.3	Approximation der erwarteten inversen Steifigkeitsmatrix	198
7.4	Höhere Momente der inversen Steifigkeitsmatrix	203
7.4.1	Momente zweiter Ordnung, Kovarianzen	203
7.4.2	Momente n -ter Ordnung	206
8	Momente von Knotenverschiebungs-, Lagerkraft- und Spannungsvektor	209
8.1	Momente der Last-Lagerkraft-Matrix	209
8.1.1	Potenzreihenentwicklung der Last-Lagerkraft-Matrix ...	209
8.1.2	Momente n -ter Ordnung der Last-Lagerkraft-Matrix ...	211
8.2	Momente der Last-Spannungs-Matrix	212
8.2.1	Potenzreihenentwicklung der Last-Spannungs-Matrix ...	212
8.2.2	Momente n -ter Ordnung der Last-Spannungs-Matrix ...	214

8.3	Momente der Responsevariablen des Tragwerks	215
8.4	Beispiele	218
8.4.1	Tragwerke, in denen nur die Elastizitätsmodule der Stäbe stochastischen Schwankungen unterliegen	218
8.4.2	Ebener Dreistab mit drehbaren Verbindungen	219
8.4.3	Torbogen mit starren Verbindungen	220

Teil III Stochastische Strukturoptimierung von Stabtragwerken

9	Optimaler Entwurf (Design) von Tragwerken	227
9.1	Entwurfsziele und Entwurfsvariablen	227
9.2	Programme zur Entwurfsoptimierung	230
9.2.1	Robuste Optimalentwürfe (robust optimal design)	232
9.3	Zielfunktionen und Restriktionen	233
9.3.1	Kostenfunktionen	233
9.3.2	Vektorfunktionen zur Tragsicherheit	234
9.3.3	Skalare Funktionen zur Tragsicherheit	240
9.4	Abschätzung der Sicherheitswahrscheinlichkeiten	244
9.5	Spezielle Programme	249
9.6	Beispiel: Ebener Dreistab mit drehbaren Verbindungen	253
10	Sensitivitätsanalyse	257
10.1	Gradienten von Ziel- und Restriktionsfunktionen in den speziellen Programmen	257
10.1.1	Gradient der Gewichtsfunktion	257
10.1.2	Gradient der erwarteten Kostenfunktion	259
10.2	Approximationen des Gradienten der erwarteten Kostenfunktion	267
10.2.1	Quadratische Approximation	267
10.2.2	Approximation für eine Beispielklasse	272
10.2.3	Stochastische Approximation	279
11	Optimierungsverfahren	281
11.1	Deterministische Methoden	281
11.2	Stochastisches Gradientenverfahren	286
11.3	Beispiele	287
11.3.1	Ebener Dreistab mit drehbaren Verbindungen	287
11.3.2	Torbogen mit starren Verbindungen	294
	Literaturverzeichnis	299
	Sachverzeichnis	301