

Jost A. Studer · Jan Laue · Martin G. Koller

Bodendynamik

Grundlagen, Kennziffern, Probleme
und Lösungsansätze

3., völlig neu bearbeitete Auflage

Mit 221 Abbildungen und 29 Tabellen



Springer

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis	XIII
1 Einführung	1
1.1 Bodendynamische Problemstellungen	1
1.2 Unterschied zwischen Bodendynamik und klassischer Bodenmechanik	2
1.3 Elemente bodendynamischer Untersuchungen	4
1.4 Hinweis für den Gebrauch des Buches	5
2 Grundlagen der Schwingungslehre	6
2.1 Bewegungsdifferentialgleichung	6
2.2 Eigenschwingung	7
2.2.1 Ungedämpfter Einmassenschwinger	8
2.2.2 Gedämpfter Einmassenschwinger	10
2.3 Harmonische Anregung	11
2.3.1 Ungedämpfter Einmassenschwinger	12
2.3.2 Gedämpfter Einmassenschwinger	13
2.3.3 Gedämpfter Einmassenschwinger mit quadratischer Anregung	15
2.3.4 Zusammenfassung der wichtigsten Formeln	17
2.4 Schwingungsisolation	17
2.5 Stoßartige Belastung	19
2.5.1 Rechteckförmiger Stoß	20
2.5.2 Stoß-Antwortspektren	21
2.6 Allgemeine Belastung	21
2.7 Nichtlineare Systeme	24
2.8 Dämpfungsarten	27
3 Wellenausbreitung	29
3.1 Eindimensionale Wellenausbreitung	31
3.1.1 Schubträger	31
3.1.2 Allgemeine Wellengleichung	33
3.1.3 Anwendungsbeispiel	37

3.2 Wellenausbreitung im elastischen Raum	40
3.2.1 Herleitung der Bewegungsgleichung	40
3.2.2 Lösungen der dreidimensionalen Bewegungsgleichung	42
3.3 Wellenausbreitung im elastischen Halbraum	43
3.3.1 Rayleigh-Wellen	43
3.3.2 Wellen im geschichteten Halbraum	45
3.4 Wellenausbreitung in nicht idealen Verhältnissen	45
3.4.1 Einfluss der Schichtung auf das Wellenbild	45
3.4.2 Wellenausbreitung in Gemischen von Wasser und Festsubstanz	46
3.4.3 Wellenausbreitung in porösen, gesättigten Materialien	48
3.4.4 Einfluss des Grundwasserspiegels	49
3.4.5 Wellenausbreitungsgeschwindigkeit in wichtigen Böden und Gesteinsarten	50
4 Dynamische Bodenkennziffern	51
4.1 Bodenmodelle	51
4.1.1 Einflussparameter	52
4.1.2 Elastische und elasto-plastische Bodenmodelle	53
4.1.3 Deformationsverhalten - Bruchverhalten	57
4.2 Linear äquivalente Bodenkennziffern	58
4.2.1 Sand	62
4.2.2 Kies-Sand	67
4.2.3 Tonige Böden	70
4.2.4 Fels	77
4.2.5 Abschließende Bemerkungen	78
4.3 Festigkeitseigenschaften unter dynamischer Belastung	78
4.3.1 Übersicht	78
4.3.2 Entwicklung von Verformungen	79
4.4 Konzeption von Untersuchungsprogrammen	84
4.5 Feldmethoden	86
4.5.1 Reflexions-Seismik	91
4.5.2 Refraktions-Seismik	92
4.5.3 Hybridseismik	94
4.5.4 Oberflächenwellenbasierende Methoden	94
4.5.5 Crosshole-Seismik	97
4.5.6 Downhole- und Uphole-Seismik	99
4.5.7 Seismische Tomographie	101
4.5.8 Wasserkanone (Beispiel für dyn. Plattenversuch)	102
4.6 Laborversuche	103
4.6.1 Resonant-Column-Versuch	104
4.6.2 Ultraschallmessungen	106
4.6.3 Zyklischer Scherversuch	108
4.6.4 Zyklischer Triaxialversuch	109
4.6.5 Zyklischer Torsionsversuch	112

4.7 Vergleich von Feld- und Labordaten	114
4.8 Das Phänomen Bodenverflüssigung	117
4.8.1 Übersicht und Definition	117
4.8.2 Berechnung des Verflüssigungspotenzials	121
4.8.3 Granulare Böden	124
4.8.4 Tonige Böden	129
4.8.5 Mischböden	130
4.8.6 Feldversuche zur Bestimmung des Verflüssigungspotenzials	131
4.8.7 Laborversuche zur Bestimmung des Verflüssigungspotenzials	135
4.9 Zentrifugenmodellversuche zur Untersuchung des Systemverhaltens	139
5 Erschütterungen	142
5.1 Ausbreitung von Erschütterungen	142
5.1.1 Erschütterungsausbreitung bei Verkehrsträgern	144
5.1.2 Ausbreitung von Sprengerschüttungen	151
5.1.3 Ausbreitung von Erschütterungen infolge Maschinen in Industrieanlagen	152
5.2 Beurteilung der Erschütterungen	153
5.2.1 Schäden an Bauwerken	154
5.2.2 Belästigung des Menschen	158
5.2.3 Grenzwerte für Geräte	163
5.3 Erschütterungsreduktion	164
5.3.1 Bauliche Maßnahmen bei der Quelle	164
5.3.2 Bauliche Maßnahmen auf dem Übertragungsweg	166
5.3.3 Maßnahmen beim Empfänger	169
6 Dynamisch belastete Fundamente	171
6.1 Maschinenfundamente	171
6.1.1 Generelle Gesichtspunkte beim Entwurf	171
6.1.2 Modellbildung	172
6.1.2.1 Modellbildung für starre Fundamente	173
6.1.3 Lösungsmethoden für Fundamente auf dem elastischen Halbraum	175
6.1.3.1 Einmassenschwinger-Analogon	178
6.1.3.2 Lösungsmethode mit Impedanzfunktionen	181
6.1.3.3 Methoden zur Berechnung von Impedanzfunktionen	185
6.1.3.4 Dynamische Berechnung eines starren Fundamentes mittels Impedanzfunktion	186
6.1.3.5 Verfeinerte physikalische Modelle	189
6.1.4 Diagramme für die Berechnung von Maschinenfundamenten	191
6.1.4.1 Resonanzkurven für das Einmassenschwinger-Analogon	191
6.1.4.2 Impedanzfunktionen	196
6.1.5 Fundamentschwingungen auf realem Boden	206

6.1.6	Kriterien beim Entwurf eines Maschinenfundamentes	206
6.2	Bleibende Verformungen und Veränderungen der Tragfähigkeit	208
6.2.1	Allgemeines	208
6.2.2	Entscheidungskriterien unabhängig von der Gründungsart	210
6.2.3	Akkumulation von vertikalen Verformungen bei Flachfundamenten	212
6.2.4	Pfahlfundationen	216
6.2.5	Einfluss des Porenwasserdruckes	221
6.2.6	Abschließende Bemerkungen	223
7	Geotechnisches Erdbebeningenieurwesen	224
7.1	Erdbeben	224
7.1.1	Wirkung von Erdbeben	224
7.1.2	Grundlagen und Begriffe	225
7.2	Erdbebenerschütterung am Bauwerksstandort	236
7.2.1	Herd- und Wellenausbreitungseinflüsse	237
7.2.2	Einfluss der Baugrundeigenschaften	240
7.3	Vorgehenskonzepte zur Ermittlung von Erdbebenbemessungsgrößen	253
7.3.1	Seismotektonisches Modell	254
7.3.2	Deterministische Methoden: Konzept, Vor- und Nachteile	257
7.3.3	Probabilistische Methoden: Konzepte, Vor- und Nachteile	259
7.3.4	Ermittlung der Bemessungsgrößen a_{max} , Antwortspektrum, Dauer der Starkbebenphase	267
7.3.5	Zeitverläufe für nichtlineare Berechnungen	273
7.3.6	Durch menschliche Aktivitäten induzierte seismische Ereignisse	275
7.4	Dynamische Boden-Bauwerk-Interaktion	277
7.4.1	Wesen und Bedeutung der Boden-Bauwerk-Interaktion	277
7.4.2	Berechnungsmethoden	279
7.4.3	Einfaches Modell für die Berechnung der Boden-Bauwerk-Interaktion	281
7.5	Erdbebenbemessung von Fundationen und Stützkörpern	286
7.5.1	Grundsätze zur Standortwahl	286
7.5.2	Flachfundationen	287
7.5.3	Tieffundationen	287
7.5.4	Erdbebenbemessung von Stützwänden und Widerlagern von Brücken	289
7.5.5	Einfluss des Wassers	293
7.5.6	Deformationsberechnungen	293
7.6	Baugrundverbesserungen	293
7.7	Böschungsstabilität unter Erdbebenlasten	298
7.7.1	Berechnung der bleibenden Deformationen infolge von Trägheitskräften	299
7.8	Erdbebensicherheit von Erd- und Steinschüttämmen	304

7.8.1	Einleitung	304
7.8.2	Erdbebenverletzlichkeit von Erd- und Steinschüttböschungen und Maßnahmen zu deren Verringerung	306
7.8.3	Erdbebenbeschäden bei Erd- und Steinschüttböschungen	307
7.8.4	Wahl der Berechnungsmethode	308
7.8.5	Untersuchung des Verflüssigungspotenzials	309
7.8.6	Berechnung der bleibenden Deformationen infolge von Trägheitskräften	311
7.9	Mikrozonierung	311
7.9.1	Einführung	311
7.9.2	Durch den Baugrund verursachte Versagensarten	318
	Literaturverzeichnis	323
	Sachverzeichnis	337