تئوری الاستیسیته و مدلسازی رفتار مواد

چن، وای– فا

www.ketab.ir

ترجمه:

دکتر محمود یحیایی

شماره ۲۸۰

سرشناسه: چن، وای-فا، ۱۹۳۶ - م. Chen, Wai-Fah
عنوان و نام پدیدآور: تئوری الاستیسیته و مدلسازی رفتار مواد/ مولف وای-فا چن؛ ترجمه محمود یحیایی.
مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، انتشارات، ۱۳۹۰.
مشخصات ظاهری: ۴۴۲ص.
فروست: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی؛ ۲۸۰.
شابک: ۸-۹۴-۸۷۰۳-۹۶۴-۹۷۸ ISBN: 978-964-8703-94-8
وضعیت فهرست نویسی: فیپا.
یادداشت: کتاب حاضر ترجمه جلد اول کتاب Constitutive equations for engineering materials, 2nd. ed , 1994 تحت عنوان Elasticity and modeling است.
موضوع: آنالیز ارتجاعی (مهندسی)
سازه، تجزیه و تحلیل
تحلیل خمیری
شناسه افزوده: یحیایی، محمود، ۱۳۴۰ - مترجم
شناسه افزوده: تکنولوژی اطلاعات -- جنبه‌های اقتصادی
رده‌بندی کنگره: ۱۳۹۰ چ۹ت TA۶۵۳/۹
رده‌بندی دیویی: ۶۲۴/۱
شماره کتابشناسی ملی: ۲۴۱۰۶۷۱

ناشر: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی press.kntu.ac.ir

عنوان: تئوری الاستیسیته و مدلسازی رفتار مواد
مؤلف: چن، وای- فا
مترجم: دکتر محمود یحیایی
ویرایش: دوم
نوبت چاپ: دوم
تاریخ انتشار: دی ۱۴۰۲
شمارگان: ۲۰۰ جلد
چاپ و صحافی: آرمانسا
قیمت: ۳۳۰,۰۰۰ تومان

تمام حقوق برای ناشر محفوظ است

خیابان میرداماد غربی- شماره ۴۷۰- انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - تلفن: ۸۸۸۸۱۰۵۲
میدان ونک - خیابان ولی‌عصر(عج) - بالاتر از چهارراه میرداماد - شماره ۲۶۲۶- مرکز پخش و فروش انتشارات
تلفن: ۸۸۷۷۲۲۷۷ رایانامه: press@kntu.ac.ir - تارنما (فروش برخط): press.kntu.ac.ir

www.ketab.ir

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل ۱	
بردارها و تانسورها	۱
۱-۱ مقدمه	۱
۱-۲ سیستم مختصات	۱
۱-۳ جبر بردارها	۲
۱-٤ ضرب عددی	۴
۱-۵ حاصلضرب برداری	۶
۱-٦ حاصلضرب سه بردار	۸
۱-۷ حوضه‌های برداری و عددی	۸
۱-۸ علائم اندیسی و قرارداد جمع کردن	۱۱
۱-۹ علامت δ_{ij} (دلتای کرونیکر)	۱۴
۱-۱۰ علامت ε_{ijk} تانسور تناوبی	۱۵
۱-۱۱ انتقال محورها	۲۱
۱-۱۲ تعریف تانسور کارتزین	۲۵
۱-۱۳ خاصیت تانسورها	۲۷
۱-۱٤ تانسورهای ایزوتروپیک	۳۰
۱-۱۵ قانون خارج قسمت	۳۱
۱-۱٦ مثال علائم اندیسی	۳۲
۱-۱۷ انتگرال سطح-حجم (قضیه انحراف)	۳۵

www.ketab.ir

۵-۵ مدل شکست پنج پارامتری ۲۸۸

۵-۵-۱ تقریب بیضی‌گون بخش انحرافی ۲۸۹

۵-۵-۲ تنش های متوسط در طول نصف‌النهارهای کششی و فشاری ۲۹۳

۵-۵-۳ خواص کلی سطح شکست ۲۹۴

۵-۵-٤ تعیین پارامترهای مدل ۲۹۵

۵-۵-۵ بررسی تجربی ۲۹۸

۵-٦ مدل های شکست الاستیک خطی برای بتن ۲۹۹

۵-٦-۱ کلیات ۲۹۹

۵-٦-۲ ترک خوردگی بتن و مدلسازی ترک خوردگی بتن ۳۰۰

۵-٦-۳ روابط تنش-کرنش برای بتن ترک نخورده ۳۰۷

۵-٦-۴ معیارهای شکست ۳۱۲

۵-٦-۵ روابط تنش- کرنش برای بتن ترک خورده ۳۱۵

۵-۷ اصطلاحات بیشتر برای مدلسازی بتن گسیخته ۳۲۳

۵-۷-۱ ضریب خرد شدگی ۳۲۴

۵-۷-۲ رفتار پس از شکست بتن گسیخته شده ۳۲۶

۵-۸ اثر متقابل بین بتن و فولاد (میلگردها) ۳۳۰

۵-۹ مثالهایی از کاربرد المان‌های محدود ۳۳۲

۵-۹-۱ تحلیل شکست الاستیک خطی تیرهای بتن مسلح ۳۳۳

۵-۹-۲ تحلیل یک استوانه جدار ضخیم تحت اثر فشار داخلی ۳۳۷

۵-۱۰ خلاصه ۳۴۳

مراجع ۳۴۶

www.ketab.ir

فصل ۶

۳۵۳

الاستیسیته غیرخطی و مدل های هیپوالاستیک بتن

۶-۱ مقدمه ۳۵۳

۶-۲ روشهای عمومی برای فرمولهای الاستیک غیرخطی تنش–کرنش ۳۵۴

۶-۲-۱ فرمول کلی تنش–کرنش نوع کاوشی ۳۵۵

۶-۲-۲ فرمول تنش–کرنش کلی نوع گرین (هیپرالاستیک) ۳۵۵

۶-۲-۳ فرمول تنش–کرنش افزایشی نوع هیپوالاستیک ۳۵۸

۶-۳ مدل های تنش و کرنش کل بر اساس تجزیه مدول سکانتی "G_s , K_s" ۳۶۰

۶-۳-۱ کلیات ۳۶۰

۶-۳-۲ مدول های سکانتی G_s و K_s بر اساس تنش‌ها و کرنش های هشت‌وجهی ۳۶۲

۶-۳-۳ روابط تنش و کرنش افزایشی ۳۶۵

۶-۳-۴ خلاصه و نتایج ۳۷۱

۶-۴ مدل کمی تنش–کرنش بر اساس مدول های سکانت K_s و G_s ۳۷۳

۶-۴-۱ تابع صحیح ۳۷۳

۶-۴-۲ فرمول رابطه تنش–کرنش ۳۷۴

۶-۵ مدل نهایی تنش–کرنش بر اساس مدول های سکانت E_s و υ_s غیرمزدوج با در نظر گرفتن رفتار نرم شدگی (رفتار خمیری) ۳۷۶

۶-۵-۱ کلیات ۳۷۶

۶-۵-۲ شاخص غیرخطی ۳۷۶

www.ketab.ir

۶-۵-۳ مدول سکانت یانگ، E_s ۳۷۹

۶-۵-٤ ضریب پواسون سکانت (υ_s) ۳۸۲

۶-۵-۵ نتیجه‌گیری ۳۸۴

۶-۶ مدل های کلی تنش–کرنش برای مواد کاوشی ۳۸۵

۶-۶-۱ روابط تنش–کرنش کلی از نوع درجه دوم ۳۸۶

۶-۶-۲ مدل ساختاری سکانت برای بتن تحت اثر بارهای فشاری یکنواخت ۳۸۸

۶-۷ مدل های افزایشی تنش–کرنش برای مصالح الاستیک خطی ایزوتروپیک ۳۹۰

۶-۷-۱ مدل های ایزوتروپیک با یک مدول متغیر مماسی(E_t) ۳۹۱

۶-۷-۲ مدل های ایزوتروپیک در مدول متغیر مماسی K_t و G_t ۳۹۳

۶-۷-۳ تعیین مدولهای مماسی تعمیم یافته $K_t(\sigma_{oct})$ و $G_t(\tau_{oct})$ ۳۹۵

۶-۸ مدل ارتوتروپیک افزایشی دو محوره برای بارگذاری یکنواخت ۴۰۰

۶-۸-۱ منحنی‌های تنش–کرنش دو محوری ۴۰۰

۶-۸-۲ روابط تنش–کرنش ارتوتروپیک افزایشی ۴۰۳

۶-۹ مدل اورتوتروپیک افزایشی برای بارگذاری سیکلی ۴۰۶

۶-۹-۱ مقدمه ۴۰۶

۶-۹-۲ فرم روابط ساختاری افزایشی ۴۰۷

۶-۹-۳ کرنش تک محوری معادل ۴۰۸

۶-۱۰ مثال هایی از کاربردهای روش اجزا محدود ۴۱۰

۶-۱۰-۱ آنالیز یک مخزن تحت فشار بتنی پیش تنیده ۴۱۰

۶-۱۰-۲ آنالیز یک پانل برشی بتن مسلح تحت بار یکنواخت و سیکلی ۴۱۳

www.ketab.ir

۶-۱۰-۳ آنالیز یک آزمایش بیرون کشیدن ۴۱۶
مراجع ۴۲۳

www.ketab.ir

مقدمه

در حل یک مسئله مکانیک جامدات در هر لحظه از زمان معادلات ذیل باید ارضاء شوند:

۱- معادلات تعادل یا حرکت

۲- شرایط هندسی یا سازگاری کرنش ها و تغییر مکانها

۳- قوانین ساختاری مواد یا روابط تنش-کرنش

از دیدگاه تعادل یا حرکت تنش ها در داخل یک جسم با نیروهای حجمی و نیروهای وارد بر سطح آن جسم باید با هم مرتبط شوند. سه معادلهٔ تعادل وجود دارد که با شش مؤلفهٔ تانسور تنش برای یک محیط پیوسته باهم مرتبط اند. در مسائل خطی این معادلات شامل کرنش ها و تغییر مکان ها نمی شوند اما در مسائل غیرخطی اغلب این مؤلفه های سازگاری وجود دارند. در مسائل دینامیکی معادلات تعادل یا معادلات حرکت جایگزین شده و شامل مشتق دوم تغییر مکان ها می شوند. این اولین مجموعه یا دستگاه معادلات است.

از شرایط سازگاری یا سینماتیکی، می توان کرنش های داخل جسم را با تغییرمکان های آن مرتبط نمود. شش معادلهٔ سینماتیکی وجود دارد که شش مؤلفهٔ تانسور کرنش را در قالب سه مؤلفهٔ تغییرمکان تعریف می کنند. این معادلات را روابط کرنش-تغییرمکان می نامند و دومین دستگاه معادلات را تشکیل می دهند.

طبعاً هر دو معادلات تعادل و معادلات سینماتیک مستقل از مواد تشکیل دهندهٔ یک جسم می باشند. اثرات مواد در دستگاه معادلات سومی تعریف می شود که به آنها معادلات ساختاری می گویند. این معادلات روابط بین تنش ها و کرنش ها را تعریف می کنند. اگر این معادلات خطی باشند بعنوان قوانین هوک معروفند.

این شش مؤلفهٔ تنش، شش مؤلفهٔ کرنش و سه مؤلفهٔ تغییرمکان با سه معادلهٔ تعادل، شش معادلهٔ سینماتیک و شش معادلهٔ ساختاری با یکدیگر مرتبط می شوند. این پانزده کمیت مجهول از پانزده معادلهٔ فوق الاشاره تعیین می شوند.

همانطورکه همهٔ مهندسین عمران می دانند موادی نظیر فولاد، بتن، چوب، خاک و سنگ دارای رفتار الاستیک خطی در همهٔ محدودهٔ بارگذاری نمی باشند و در حقیقت رفتار واقعی این مواد پیچیده بوده و تحت شرایط مختلف رفتار متفاوتی دارند. لذا برای کاربردهای مختلف باید

www.ketab.ir

فرضیاتی را در نظر گرفت تا مدل ریاضی مناسبی را بوجود آورد. هیچ مدل ریاضی واحدی را نمی توان برای تعریف این رفتار پیچیده آنها بدست آورد. هریک از مدلهای رفتاری مواد دربرگیرنده پدیده های معینی است که پارامترهای کم اهمیت تر را ندیده می گیرد. برای مثال قانون هوک در مهندسی سازه و ژئوتکنیک برای تعریف رفتار کلی سازه و خاک تحت بارگذاری کوتاه مدت بطور وسیعی استفاده می شود، اما نمی تواند رفتار یک سازه یا اندرکنش سازه-خاک را در شرایط مقاومت نهائی پیش بینی نماید زیرا تغییرشکل های پلاستیک در این سطح از بارگذاری حاکم می شود در حالیکه تغییرشکل های الاستیک از اهمیت کمتری برخوردار است. کتاب حاضر می تواند در مهندسی سازه و ژئوتکنیک و مواد در سطح کارشناسی ارشد و دکترا در مهندسی عمران و مکانیک مواد مورد استفاده قرار گیرد.

www.ketab.ir