جزوه مقدماتی و پیشرفته آموزش نرم افزار کد باز OpenSees

Open System for Earthquake Engineering Simulation

منحنی پوش اور و تعیین سختی و تغییر مکان غیر خطی سازه در OpenSees

مجتبی اصغری سرخی
مرداد ۹۰
mojtaba808@yahoo.com

سازه های مختلف ، در هنگام اعمال یک بار دینامیکی بینهایت درجه آزادی دارند. روش های اجزاء محدود، این سیستم با درجات آزادی نامحدود را به مدلی با تعداد درجات آزادی محدود که رفتار فیزیکی مشابهی دارند تبدیل می کند. برای حل معادلات تعادل و سازگاری علاوه بر استفاده از روش های معادلات کلاسیک، استفاده از روش اجزای محدود امکانپذیر میباشد. در این روش برای مثال در حل یک قاب به جای حل تمام نقاط المان، المان به نقاط مجزایی تقسیم می شود و از طریق Shape Function برای نقاط بین آن ها نتایج اینترپوله می شود. از روش اجزای محدود در تحلیل غیر خطی یعنی زمانی که مصالح غیر خطی است با استفاده از روش افزایشی برای حل معادله $F = K\,\Delta$ استفاده می شود . OpenSees قادر است در سریعترین زمان و با ابزاری برای حصول همگرایی بیشتر انواع تحلیل های مانند این را انجام دهد.

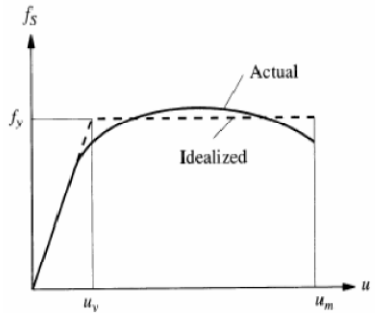
فهرست مطالب جزوه پیشرفته آموزش OpenSees :

- مروری بر قابلیت های انواع نرم افزارهای اجزای محدود
- آشنایی با OpenSees ،راهنمای نرم افزار Help ، امکانات نرم افزار OpenSees ، راه اندازی نرم افزار OpenSees
- بررسی عملکرد تحلیل در نرم افزار OpenSees
  - روش های نمایش و برنامه نویسی در OpenSees ، برنامه نویسی با زبان TCL
- نحوه مدل سازی و تعریف گره ها در OpenSees (از طریق ایمپرت مختصات گره ها از SAP)
- معرفی انواع مصالح UniaxialMaterial ، تعریف مقطع Section Command ، انواع المان ها Element Command
- خصوصیات هندسیGeometric Trans Formation
- بارگذاری های استاتیکی و دینامیکی خطی و غیر خطی Pattern Load

- دستورات مورد نیاز برای آنالیز سازه Analysis Objects
- تعیین فرکانس ارتعاشی سازه با استفاده از Eigen Command
- منحنی پوش اور و تعیین سختی و تغییر مکان غیر خطی سازه از الگوریتم نیوتن رافسون در OpenSees
- انواع خروجی ها در نرم افزار OpenSees
- نحوه لینک کردن نرم افزار OpenSees با Matlab
- آشنایی و نحوه کار با نرم افزار های Pre or Post processing
  - OPS (OpenSees Post Processing) ، OpenSees Navigator ، OpenSees PL و GID
- پیوست مثال (کد دستوری آنالیز پوش اور قاب پورتال) - حل با Opensees Tcl , Matlab

منحنی پوش اور و تعیین سختی و تغییر مکان غیر خطی سازه در OpenSees

برای ترسیم منحنی پوش اور یک سازه با اعمال بارگذاری جانبی از آنجا که با حل $F = K\,\Delta$ به تغییر مکان خطی میرسیم میبایست مقدار جابجایی غیر خطی Δ_N را بدست آوریم. بنابراین میبایست از روشی از تغییر مکان خطی به تغییر مکان غیر خطی Δ_N برسیم. برای تعیین Δ غیر خطی میبایست از روش افزایشی[۱] استفاده کرد که در Opensees می توان این روش را با کمک منحنی تنش کرنش مصالح به کار گرفت. ماتریس K سازه با استفاده از ماتریس نرمی و ماتریس سختی اعضا تعیین می شود.



حالات مختلفی برای مدل کردن اثرات غیر خطی هندسی تعریف شده است که بر اساس حالت توسعه یافته ای از فرمول های مستقیم تعیین سختی در حالات مرتبه اول و دوم میباشد.رابطه تعیین سختی در آنالیز مرتبه دوم به طور کلی برابر زیر میباشد:

$$F_{Resistent} = \{dF\} - \{dR\} = [K]\{d\Delta\} \qquad (۱)$$

---

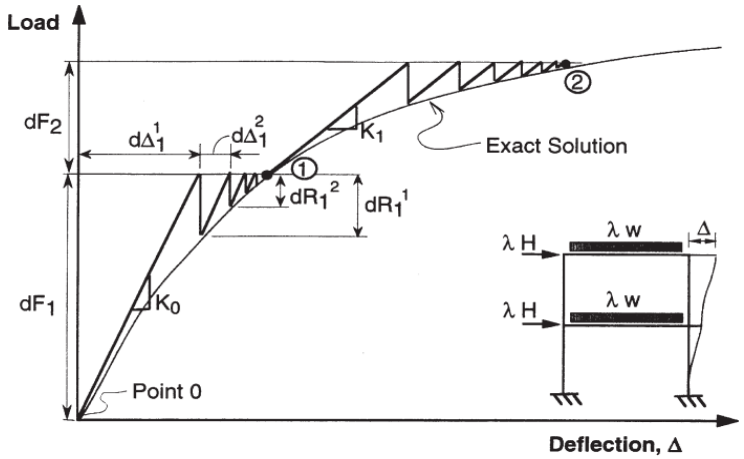
[۱] Incremental

جاییکه $\{dF\}$ بردار نیروهای گره ای افزایشی وارده ، $F_{Resistent}$ نیروهای مقاوم و $\{dR\}$ نیروهای گره ای نا متعادل است که از رابطه ۱۶-۲ تعیین می شود:

$$\{dR\} = \{dF_{applied}\} - \{dF_{int}\} = [K]\{d\Delta\} \qquad (۲)$$

K سختی تانژانت(مماسی) میباشد. Chen and Lui (1987) نشان داده اند که در رابطه ۱ مقدار K می تواند سختی سکانت باشد تا سختی تانژانت.

تفاوت آنالیز مرتبه اول و دوم در رابطه ۱ اینست که روابط ماتریس بر اساس نیروها و تغییر شکل های افزایشی و نیروهای نامتعادل بر اساس هندسه تغییرشکل یافته در پایان مرحله بارگذاری خطی میباشد. برای تعیین ماتریس سختی سازه مطابق شکل ۱ از روش نیوتن-رافسون تکرار شونده استفاده می شود که در نتیجه آن می توان بار نهایی پایداری سازه را تعیین کرد. در این روش حل معادله به بازه های کوچک تقسیم می شود که در آن برای تعیین سختی از مدول الاستیسیته تانژانت استفاده می شود.



شکل ۱-نمایش شماتیک روش تکرار شونده تعیین سختی در تعیین جابجایی نهایی سازه تحت بار وارده

در روش نیوتن- رافسون همانطور که در شکل ۱ مشاهده می شود برای تعیین معادله سختی رابطه ۱ حل معادله به بازه های کوچک تقسیم می شود که در اولین بازه سازه تحت نیروی افزایشی $\{dR_1\} = \{dF_1\}$ به میزان $\{d\Delta_1\}$ تغییر شکل می دهد که می تواند بر اساس رابطه سختی خطی K_0 تعیین شود.در انتهای مرحله i ام، مقدار نیروی نامتعادل $\{dR_i\}$ تعیین می شود و به همین ترتیب $\{d\Delta_i\}, K_i$ که K_i سختی تانژانت یا مماسی تعریف می شود.[3] .

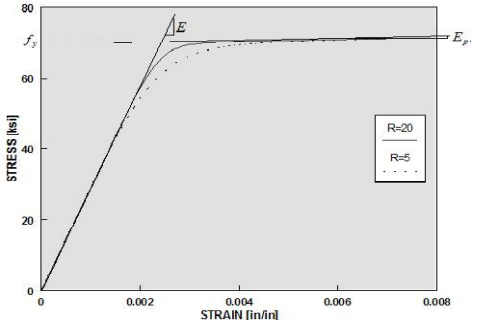
{dR}نیروی نا متعادل است در ابتدای تحلیل برابر با نیروی افزایشی وارده است(چرا که مقدار نیروی داخلی در شروع تحلیل برابر صفر میباشد).برای تعیین نیروی نامتعادل{dR} یا نیروی افزایشی مراحل آنالیز میبایست از بررسی کل سازه به بررسی جز به جز المان ها با درنظر گرفتن رفتار تنش کرنش مصالح برگردیم.

با استفاده از ماتریس انتقال از طریق ماتریس جابجایی کل سازه به جابجایی هر گره میرسیم و از تغییرشکل های هر گره با استفاده از کرنش بدست آمده در هر جزء المان و با استفاده از روابط مقاومت مصالح و روابط

Shape Factor اجزای محدود (برای مثال Shape Factor درجه سوم هرمیتی که اطلاعات هر نقطه را به بینهایت نقطه در طول المان مرتبط می سازد)، تغییرشکل های انتهایی گره ها را به هر جزء از المان مرتبط ساخته و می توان از روی کرنش های بوجود آمده در هر جزء المان $\varepsilon_L = \frac{\Delta}{L}, \varepsilon_\theta = \frac{y}{\rho}, \rho = \frac{EI}{M}$ با استفاده از منحنی تنش-کرنش مصالح $\varepsilon = E_T.\sigma$ که در حالت خطی به یک نحو و در حالت غیر خطی به نحو دیگری محاسبه می شود(تحلیل غیر خطی از اینجا وارد کار می شود) تنش های مقاوم بوجود آمده در اجزای المان ها را تعیین کرد.که این تنش همان $\{dR_i\}$ در پایان مرحله i ام میباشد.

$$\varepsilon_r = \varepsilon_p = \varepsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z))$$

مماس وارده برای مرحله بعد مدول الاستیسیته تانژانت یا مماسی در منحنی تنش-کرنش مصالح میباشد:



برتری نرم افزار های اجزای محدود Ansys , OpenSees نسبت به SAP , ETABS در تحلیل غیر خطی اینست که در Ansys , OpenSees این قابلیت وجود دارد که از روی معادله تنش کرنش مصالح تحت هر بارگذاری تحلیل غیر خطی انجام شود و به منحنی پوش اور سازه برسیم در حالیکه در نرم افزارهای تجاری برای تحلیل غیر خطی سازه ، با استفاده از رفتار مفاصل غیر خطی که از Fema تعریف می شود از روی رفتار غیرخطی عضو به رفتار غیر خطی سازه رسیده شود. [2].

حصول همگرایی بهتر در تحلیل پوش اور با استفاده از مفاهیم Iteration و Incrementation:

- تکرار تحلیل Iteration در هر بازه برای حصول همگرایی

با تعریف میزان تکرار Iteration و مقدار تلورانس مناسب می توان دقت حصول نتایج را افزایش داد.(معمولا حدود 1.0e-6) حصول دقت در نتایج و همگرایی Convergence حاصل از سه نوع است:

- مینیمم اختلاف تغییر شکل نهایی $\{\Delta_{i+1}\}$ با تغییر مکان $\{\Delta_i\}$در هر Step که به این نوع کنترل، مبنای تغییر مکان یا Displacement Control می نامند.
- مینیمم اختلاف نیروی وارده $\{F_i\}$با نیروی مقاوم در مقطع $\{F_{Ri}\}$که Load Control نامیده می شود.
- و ملاک مقایسه حاصلضرب اختلاف تغییر مکان در اختلاف نیرو که معیار انرژی نامیده می شود.

در سازه های معمولی به جهت اولویت اختلاف تغییر مکان معمولا از روش Displacement Control استفاده می شود که معمولا همگرایی بهتری را لحاظ می کند.

- تقسیم به زیر بازه ها درحالت Incrementation

از آنجا که ممکن است نیروهای نامتعادل $\{dR\}$آنقدر زیاد باشد که نرم افزار در تحلیل نیروهای زیاد ناتوان باشد، برای حصول همگرایی بهتر است نیروها را به چندین زیر بازه SubStep تقسیم و در چند گام به نرم افزار وارد کرد به این روش نموی یا Incrementation می نامند. به این ترتیب حصول نتایج از خطوط شکسته به شکل منحنی در خواهد آمد. تمام نرم افزار های اجزای محدود از این شیوه برای بارگذاری استفاده می کنند تا همگرایی بهتری حاصل شود.در هر کدام از این زیر بازه ها چندین بار تکرار Iteration انجام می شود و در هر تکرار یکبار معادله $F = K\,\Delta$ حل می شود. در بعضی از نرم افزار ها با توجه به مقدار نیروی نامتعادل و گرفتن حداقل و حداکثر تعداد زیر بازه ها از تقسیم زیربازه ها به صورت اتوماتیک استفاده می شود.(Opensees در حال حاضر در تحلیل استاتیکی چنین کاری انجام نمی دهد.)

نکته: برای حصول همگرایی بهتر تا آنجا که می شود بهتر است Incrementation را زیاد کرد تا Iteration، چون از ابتدا سیستم خطی است بهتر است از ابتدا نیروی نا متعادل شکسته و کوچکتر شود تا بعد با تکرار در زیر بازه ها به همگرایی بهتر رسیده شود.

برای آنالیز پوش اور ابتدا بار گذاری را بار افزایشی خطی تعریف می کنیم یعنی pattern Plain Linear

و برای تعریف حل معادله سختی به روش نیوتن-رافسون در نرم افزار کد باز مانند OpenSees با تعریف طول بازه حداقل برای انجام عملیات تکراری فوق خواهیم داشت:

test Norm…Incr 1.0e-6 Iteration number
Algorithm Newton

integrator LoadControl $\frac{1}{IncrementationSubstep}$

analysis Static
analyze Incrementation SubStep

.در هر بار حل معادله $F = K\,\Delta$ کل فراآیند فوق میبایست رخ دهد از این رو سرعت نرم افزاری مثل Opensees خود را نشان می دهد.

همانطور که توضیح داده شد سه روش برای کنترل مقدار خطا در همگرایی وجود دارد که عبارتند از:

Norm Displacement , Norm Unbalance , Energy Increment

برای مثال اگر از روی Displacement Control استفاده کنیم خواهیم داشت:

test NormDispIncr 1.0e-6 5

algorithm Newton

integrator LoadControl 0.01

analysis Static

analyze 100

یعنی مدول تانژانت سختی در هر مرحله از بارگذاری در بازه های تعریف شده آپدیت می شود. مقدار خطای همگرایی test NormDispIncr در مثال بالا 10^{-6} ،حداکثر مرتبه تکرار آنالیز برای حصول همگرایی 5 بار و تعداد زیر بازه برای شکستن نیروی نامتعادل به مقدار کوچکتر ۱۰۰ زیر بازه تعریف شده است.

سایر پارامتر های مربوطه در کد دستورات فوق در جزوه پیشرفته توضیح داده خواهد شد.

مراجع:

[1] Mazzoni S, McKenna F, and Fenves GL. Open System for Earthquake Engineering Simulation User Command- Language Manual. Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 2006,
[2] Bozorgnia Yousef, V.Bertero Vitelmo, EARTHQUAKE ENGINEERING ,From Engineering Seismology to Performance-Based Engineering.2004.
[3] Ziemian, R.D. (ed), Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures, 6th Ed.,John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ. 2010 .
[3] OpenSeesCommand Manual-2007.
[4] OpenSees Examples Primer-2004 .
[5] The OpenSees Quice Refrences,version 1.1, 2001.

اطلاعات جزوه پیشرفته آموزش OpenSees :

در این جزوه پس از مروری کلی قابلیت های متمایز کننده Opensees با سایر نرم افزار ها به شرح همراه با مثال کلیه دستورات متداول و کاربردی OpenSees از منوال نرم افزار پرداخته می شود. نحوه اجرا و برنامه نویسی با زبان TCL در TCL Editor اشاره می شود و برای تعریف گره ها در سازه های بلند و حجیم مثل سازه های فضاکار روش ساده تری از طریق ایمپورت مشخصات گره ها بسیار سریع و راحت از خروجی SAP ETABS , و انتقال مختصات گره ها به فایل متنی OpenSees معرفی می شود سپس به بررسی روابط سازگاری (penalty Aproach) از قبیل نحوه مقید کردن گره ها در اتصالات مهاربندی و اتصالات مفصلی تیر به ستون ، درنظر گرفتن سقف صلب یا تیر صلب به طور کامل اشاره می شود. انواع مصالح و المان های

خطی و غیر خطی برای آنالیز غیر الاستیک و مقاطع مورد استفاده معمول و ویژگی هریک مورد و تعریف مقاطع پرکاربرد به صورت تابع و استفاده سریع از آن بررسی قرار میگیرد و روش های آنالیز و تنظیمات مربوط به آنالیز های استاتیکی و دینامیکی خطی و غیر خطی در دستورات متنی Opensees به طور کامل اشاره می شود. سپس تئوری آنالیز نیوتن رافسون در تعیین منحنی پوش اور به طور کامل اشاره می شود و در انتها انواع نرم افزار های Pre&Post Processing (مثل Navigator , OSP,GID,OpenseesPL) که برای استفاده در کارهای دانشگاهی استفاده می شود معرفی می گردد و نحوه لینک کردن آنالیز در OpenSees با نرم افزار پرکاربرد Matlab شرح داده می شود و در انتها هم مثالی به پیوست به صورت گام به گام جهت تکمیل موارد توضیح داده شده از منوال نرم افزار مطرح شده و ضمن بیان کد های لازم برای نوشتن برنامه نحوه لینک کردن دستورات با برنامه matlab بیان می شود.

برای دریافت جزوه پیشرفته ۷۰ صفحه ای آموزش OpenSees به همراه:

- اطلاعات کامل از انواع نسخه های OpenSees , TCL Editor و نرم افزار های Pre & Post processing مثل OSP و Navigator و فیلم آموزشی لاتین کار با Navigator
- جزوات آموزشی لاتین و فارسی و مثال ها و منوال راهنمای لاتین OpenSees
- فیلم آموزشی لاتین از نرم افزار TCl Editor از Dr.Silvia Mazzoni
- انواع مثال های سازه ای از نرم افزار OpenSees و انواع مقاطع آماده با پسوند tcl برای استفاده در انواع دستورات
- + آخرین نسخه از سایر نرم افزار های اجزای محدود Perform3D v.5 و فیلم های لاتین آموزشی مرتبط با آنالیز پوش اور در نرم افزار های CSI و - Seismo Signal&Struct -IDRAC-DRAIN - EZ Frisk-Shake2000 , nonlin-Bispec
- و سایر نرم افزار های آکادمیک تحلیل غیر خطی و اجزای محدود و اطلاعات مرتبط با آنها

در 1DVD با عنوان آپدیت شده مجموعه ۵-۱۱ فعلی و به قیمت ۵۰ هزار تومان به وبسایت سازه ۸۰۸ مراجعه نمایید:

www.Saze808.com

برای کسب اطلاعات بیشتر به سازه ۸۰۸ ایمیل بزنید:

Saze808@gmail.com