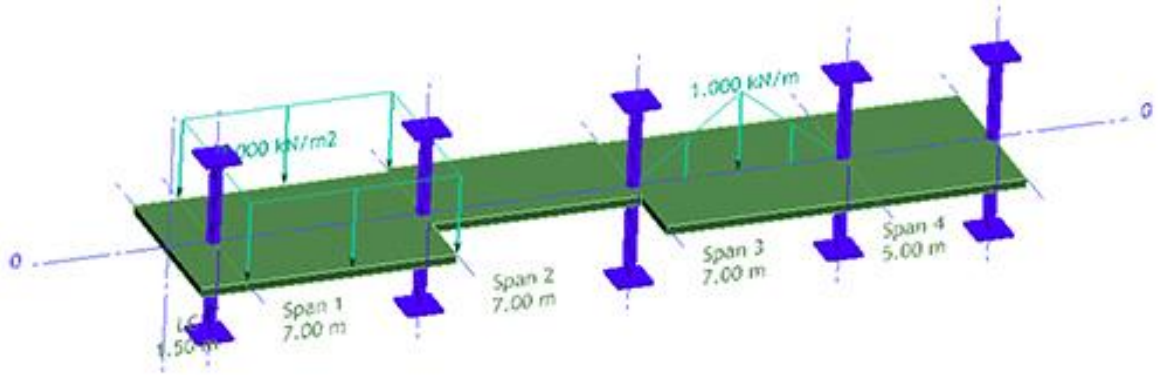
مفهوم روش قاب معادل برای تحلیل دال ۲ طرفه

روش قاب معادل یک ابزار جهت تحلیل دال ۲ طرفه به صورت یک قاب یک‌طرفه است. این روش به عنوان روش استاندارد توسط ACI از دهه ۷۰ میلادی مورد استفاده قرار گرفته است. لفظ "قاب معادل" به این معنی است که این روش متفاوت از روش تحلیل قاب‌های صلب معمول بوده که در آن اتصال تیر یا دال به ستون به صورت گیردار می‌باشد. در قاب معادل، تیر به وسیله یک عضو پیچشی به ستون متصل می‌شود. در این روش دوران انتهای تیر با ستون در قاب‌های صلب معمول برابر نیست.



این روش در حالتی که پلان نسبتاً منظم باشد نتیجه رضایت بخشی خواهد داشت، ولی جهت پلان‌های نامنظم استفاده از روش دقیق‌تری مثل اجزاء محدود ضروری است. کلیات این روش به طور خلاصه شامل مراحل زیر می‌باشد:

گام اول؛ در این روش دال در ۲ امتداد متعامد به صورت یک نوار یک‌طرفه تحت عنوان نوار طراحی مدل می‌شود. هر نوار طراحی که به صورت یک قاب معادل تحلیل می‌شود از ۳ بخش شامل ستون، عضو پیچشی و دال تشکیل شده است. عرض عضو پیچشی به اندازه عرض ستون یا عرض سر ستون، با ضخامت دال یا در صورت وجود کتیبه هم ضخامت کتیبه می‌باشد (شکل ۱ را ملاحظه بفرمایید). در صورتی که کتیبه و دال یکپارچه نباشند یا از ۲ مصالح متفاوت باشند، نبایستی ضخامت کتیبه در این مورد احتساب شود.

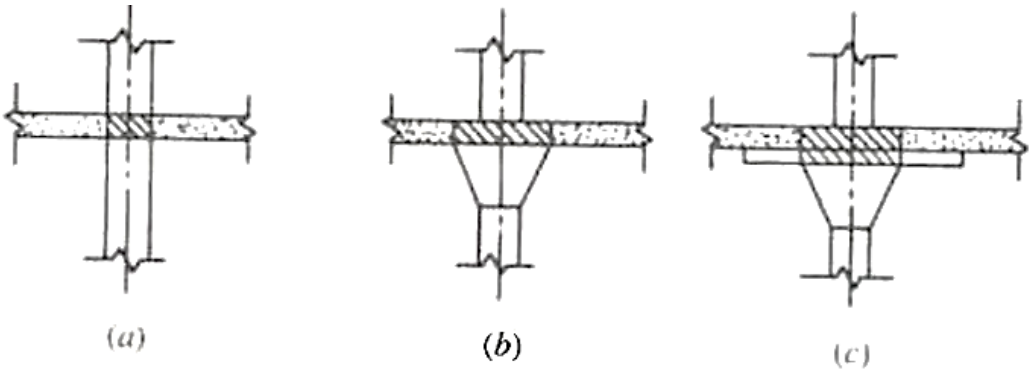


Figure 1 Effective cross section of torsional member (cross-hatched area)

(a) slab (b) slab with capital (c) slab with capital and drop panel (Leet & Bernal)

در تحلیل، ستون و عضو پیچشی به صورت یک المان یکپارچه در نظر گرفته می‌شوند که به آن ستون معادل می‌گوییم. سختی ستون معادل از ۲ روش قابل محاسبه می‌باشد، روش اول با استفاده از معکوس ماتریس نرمی و روش دوم، با در نظر داشتن استاتیک مسئله و با استفاده از ماتریس سختی کل. محاسبه سختی ستون معادل به کمک معکوس ماتریس نرمی با در نظر داشتن شرایط سینماتیکی در محل عضو پیچشی به سادگی قابل انجام می‌باشد. به این ترتیب؛

$$u = u_c + u_T \qquad \ldots (1)$$

$$\frac{1}{K_{ec}} = \frac{1}{K_c} + \frac{1}{K_T} \qquad \ldots (2)$$

در روابط فوق K_c سختی خمشی ستون در شرایط بدون انتقال جانبی بوده در صورتی که قاب در برابر انتقال جانبی مهار شده باشد. در تحلیل سازه تحت بارهای جانبی بایستی از سختی کاهش یافته استفاده شود. K_t سختی پیچشی عضو پیچشی بوده که مقدار آن وابسته به ضخامت دال و بُعد عمود بر راستای تحلیل می‌باشد.

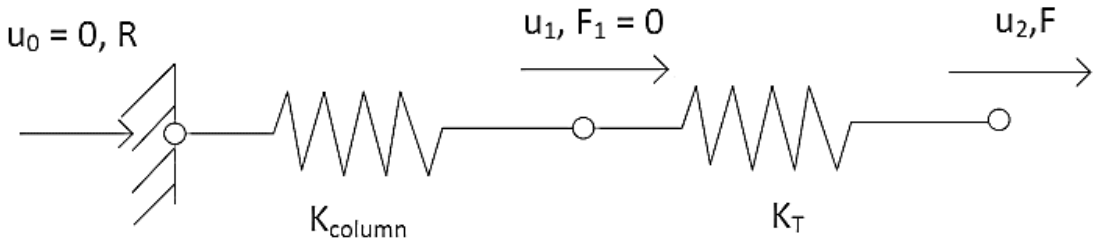


Figure 2. Schematic model of equivalent column

همچنین مقدار K_{ec} با در نظر داشتن اصول استاتیکی و از طریق ماتریس کلی سیستم که در شکل ۲ نمایش داده شده قابل محاسبه می‌باشد (Bathe,1996). معادله تعادل سیستم به شکل زیر نوشته می‌شود.

$$\begin{bmatrix} k_c + k_T & -k_T \\ -k_T & k_T \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ F \end{Bmatrix} \qquad \ldots (3)$$

که به صورت فشرده، بدین شکل قابل نوشتن می‌باشد. (معادله ۴ با معادله ۲ یکسان می‌باشد.)

$$K_{ec} u_2 = F \quad \text{where} \quad K_{ec} = \frac{k_c k_T}{k_c + k_T} \qquad \ldots (4)$$

گام دوم؛ ستون‌های معادل و دال به صورت یک قاب معادل مانند آنچه در شکل ۳ نمایش داده شده است، مونتاژ می‌شوند. ذکر این نکته ضروری است که همیشه سختی سیستم ستون-دال کمتر از حالتی است که دال به صورت یک تیر عریض یا به صورت صُلب مدل شده است. یک ضریب کاهش سختی رایج جهت اعمال به دال وجود دارد بدون آنکه نیازی به در نظر گرفتن عضو پیچشی باشد.

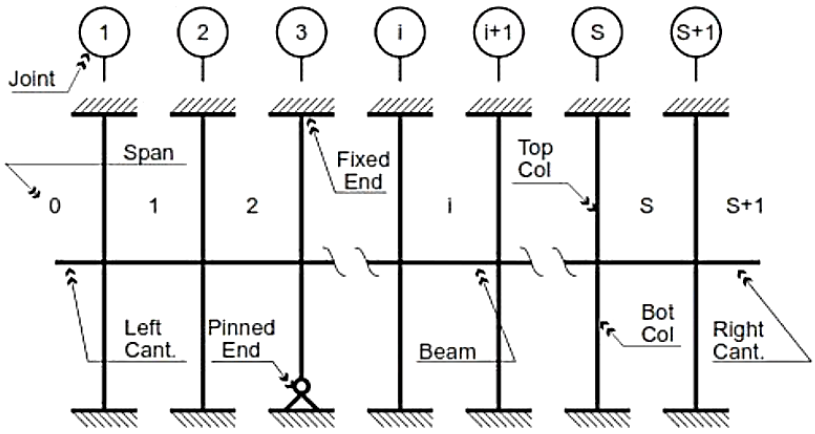


Figure 3 Equivalent frame (PTDATA, 2000)

گام سوم؛ بردارهای نیرو با توجه تمام بارهای خارجی اعمال شده به سیستم محاسبه می‌شوند. در دال‌های پیش تنیده بارهای معادل پیش تنیدگی نیز بایستی در نظر گرفته شوند.

گام چهارم؛ معادلات تعادل سیستم به کمک یکی از روش‌های شناخته شده تحلیل سازه مثل روش کلاسیک توزیع لنگر یا روش اجزاء محدود حل می‌شوند.

گام پنجم؛ جابجایی‌ها، نیروهای داخلی و تنش‌ها جهت ارضای آیین نامه طراحی بررسی می‌شوند.

Reference:

ACI 318-11, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary

K Leet, D Bernal, Reinforced Concrete Design, 3rd Edtition, 1997

Structural Data Incorporated, *PTDATA Theory Manual*, 2000

K J Bathe, *Finite Element Procedure*, Prentice-Hall, 1996

Author:

Adisorn Owatsiriwong, D.Eng.

adisorn@posteckprestressing.com