

بهسازی سازه های فولادی با دیوارهای برشی فولادی

ایمان الیاسیان، کارشناس ارشد سازه

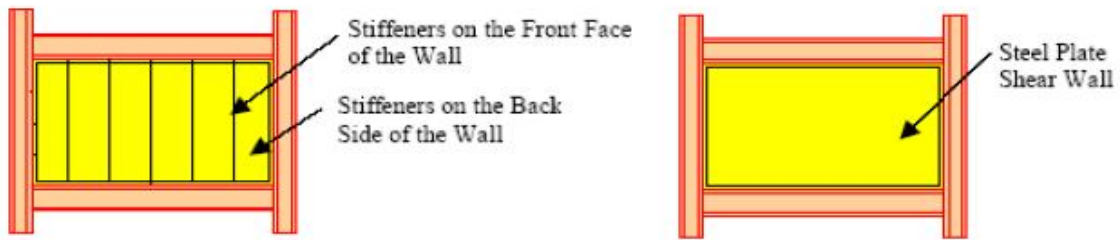
i.elyasian@gmail.com

در طراحی دیوار برشی فولادی شبیه به تیر ورق تئوریهای مختلف توسط محققان ارائه شده است که در زیر به برخی از آنها اشاره می گردد ۱- تئوری باسلر Basler در ۱۹۶۱ (جان ضخیم و بالهای تیر انعطاف پذیر) بنابراین نیروهای ناشی از کششی قطری پس از کمانش برش جان توسط بالها به دلیل انعطاف پذیر بودن تحمل می شود ۲- Takeucgi-1964 (ناحیه تسلیم) Fuji 1968-1971 (ناحیه تسلیم) ۴- Kumatso 1971 (ناحیه تسلیم) بایستی توجه داشت ناحیه تسلیم تئوری Takeucgi و Fuji Kumatso , باهم متفاوت هستند ۵- Chen and Ostapenko 1969 Porter (تشکیل مفصل پلاستیک) ۷- Hogland 1971 براین اصل استوار است که تنشهای غشایی در جهت عمود بر پانل جان وجود ندارد و برای تیورقهای طویل بدون سخت کننده های میانی صحیح می باشد تنشهای فشاری غشایی پس از کمانش افزایش نمی یابد ولی تنشهای غشایی کششی تا زمان مقاومت نهایی افزایش می یابد ۸- تئوری تسلیم Herzog 1974 تئوری تسلیم شنايدر و شرودر Steinhardt-Schroder 1971 تئوری کلارک و شارپ برای تیورقهای آلومینیمی با جان نازک رانه شده است و شامل میدان کششی تئوری باسلر و میدان کششی با زاویه ۴۵ درجه در کل جان گسترده شده

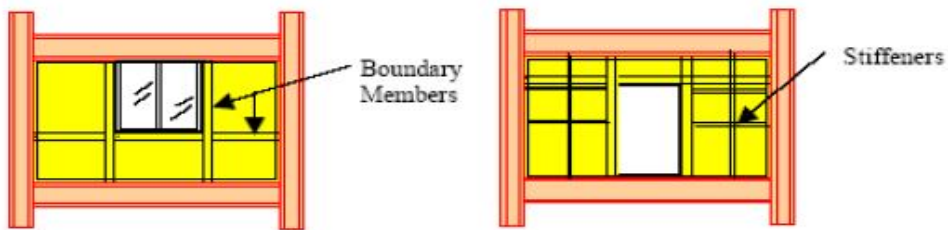
- شکست خمشی در پانلهای میانی و شکست برش در پانلهای کناری اتفاق می افتد.
- انواع از نظر باری
- دیوار تحت بار جانبی در جهت ضعیف
- دیوار تحت بار قائم ۳- دیوار تحت بار جانبی جهت قوی
- دیوار تحت بار جانبی در جهت قوی و بار قائم
- انواع دیوار بتن آرمه از نظر رفتاری
- Panel wall (دیوار محیطی متصل به قاب) Curtain wall (دیوار محیطی مهارشده به قاب)
- Partition wall - دیوار حائل Retaining wall - دیوار زیر زمینی basement wall
- دیوار برشی shear wall

مقاوم سازی سازه های فولادی عمدتاً به بهسازی و تقویت رفتار مهاربندها، اتصالات، اعضای کششی، دیوارهای برشی و ترکیب رفتار بتن و فولاد بر می گردد





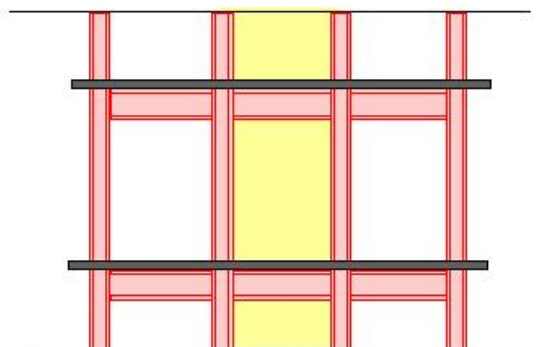
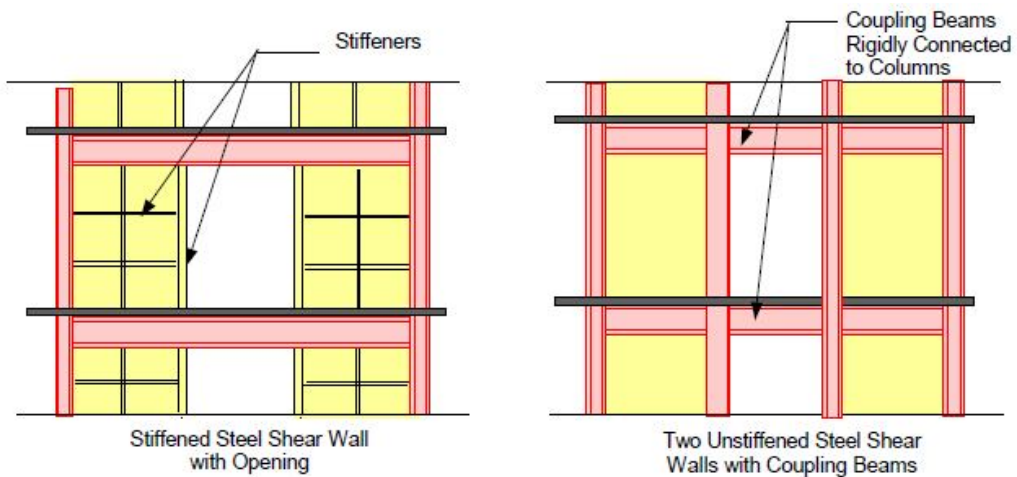
دیوار برشی فولادی با سخت کننده و بدون آن



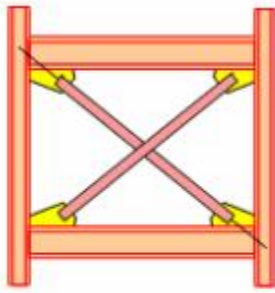
دیوار با سخت کننده و بازشو

دیوار با سخت کننده های دوطرفه

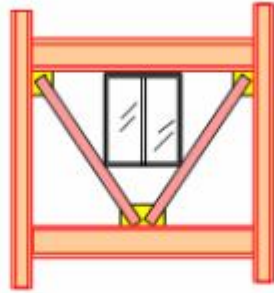
دیوار با سخت کننده و با بازشو



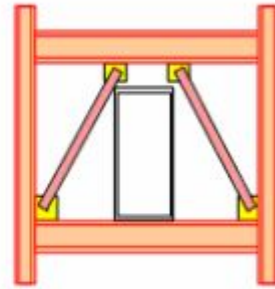
An Un-stiffened Steel Shear Wall with Coupling Beams on Both Sides



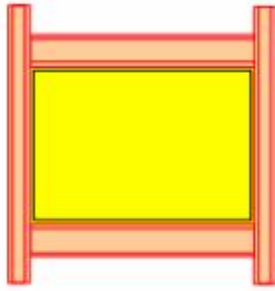
مهاربند ضربدری



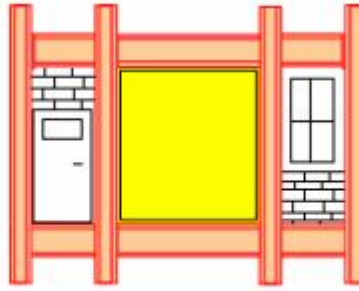
مهاربند V یا امکان تعبیه بازشو



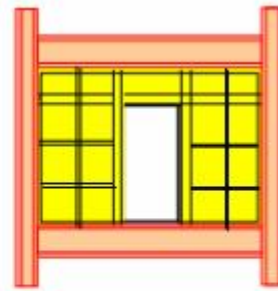
مهاربند EBF یا امکان تعبیه بازشو



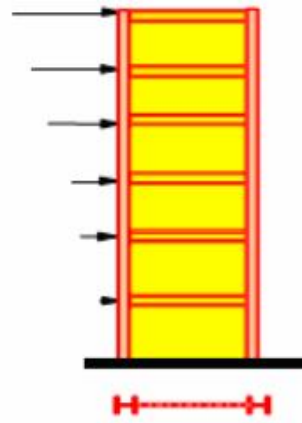
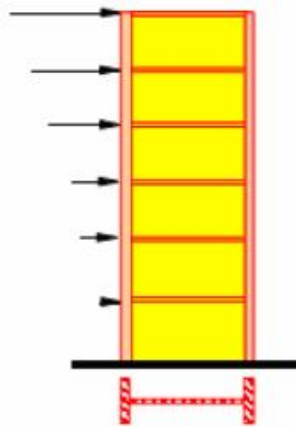
دیوار برشی فولادی سخت نشده بدون امکان تعبیه بازشو



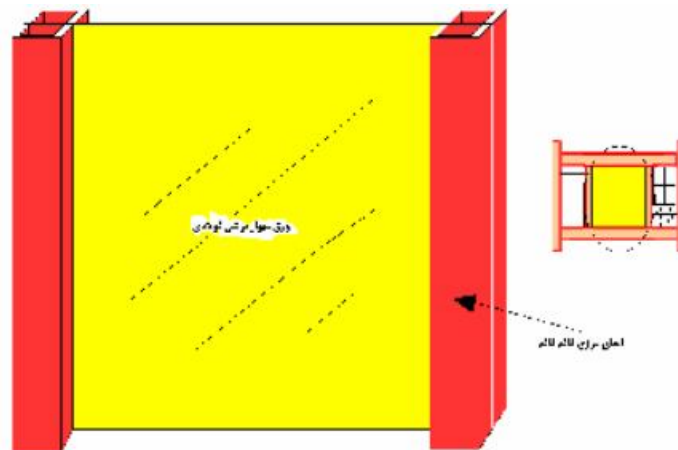
دیوار برشی فولادی سخت نشده یا امکان تعبیه بازشو

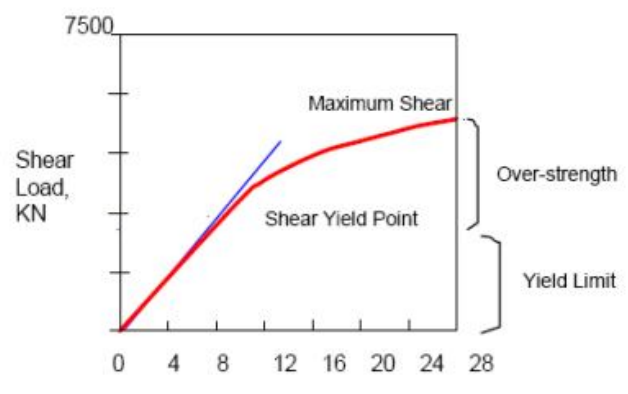
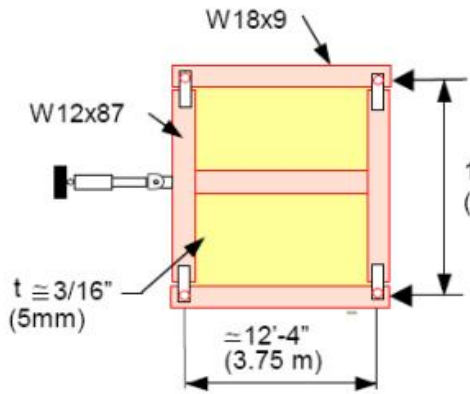


دیوار برشی فولادی سخت شده یا امکان تعبیه بازشو

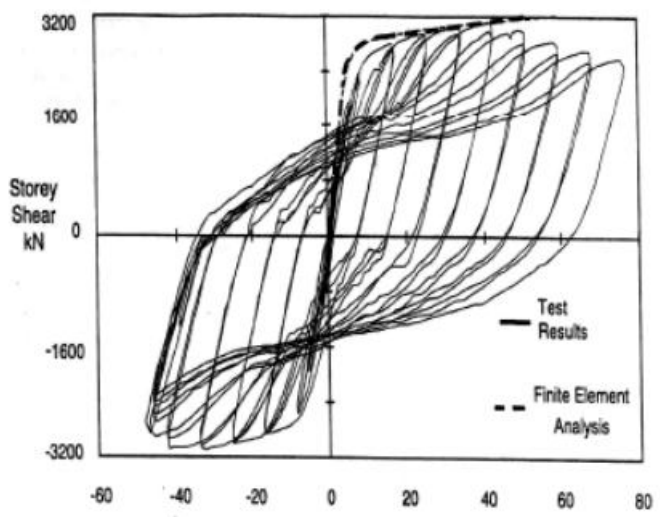
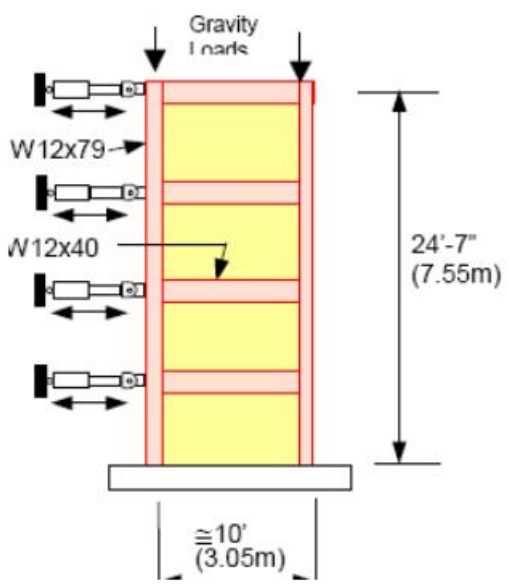
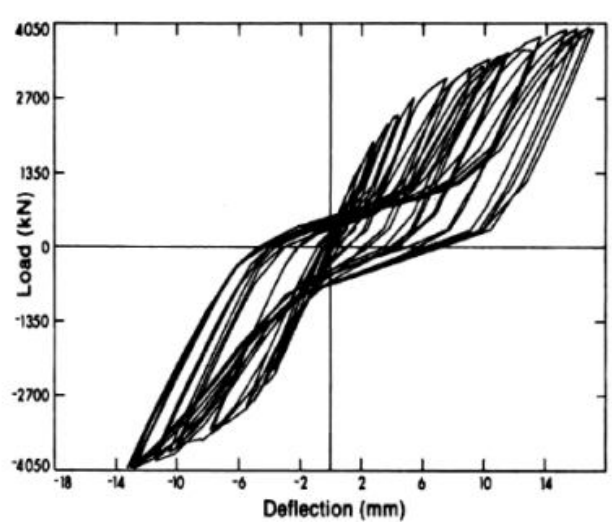
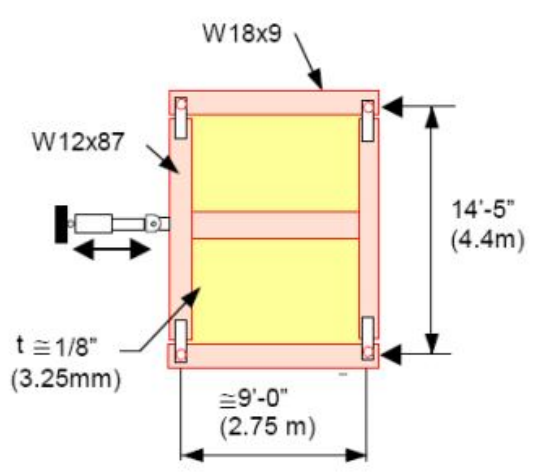


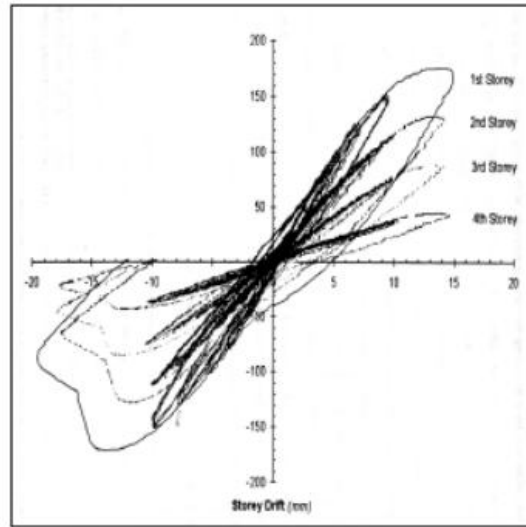
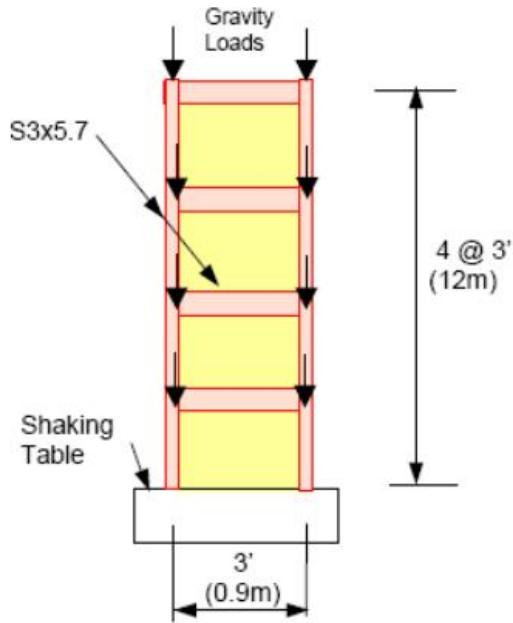
شباهت دیوار برشی با تیر ورق



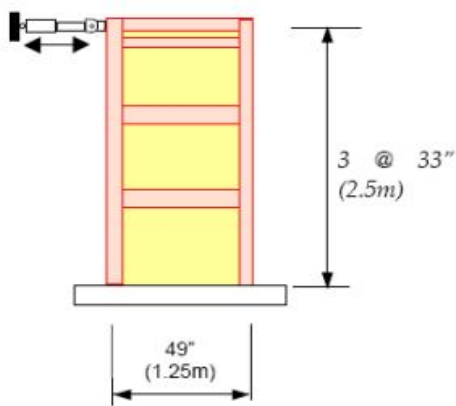
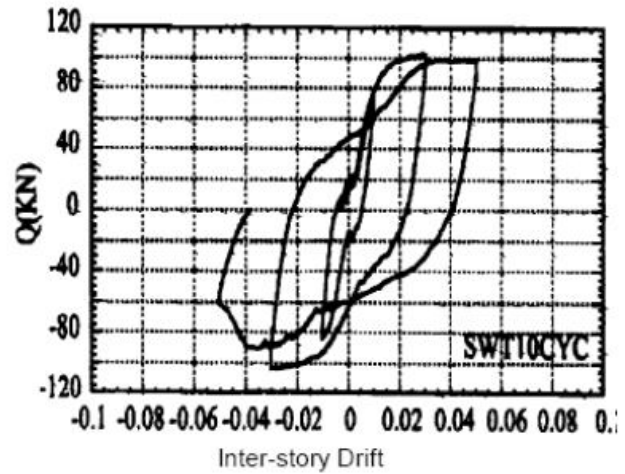
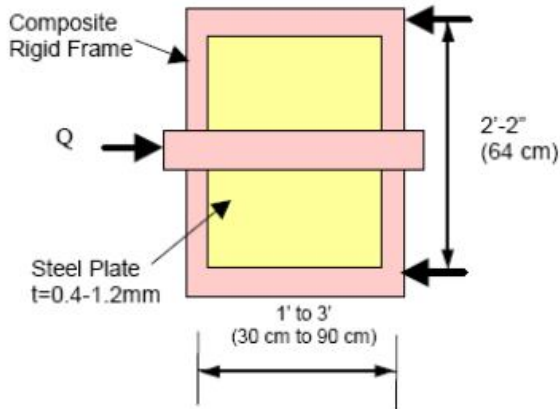


نتایج آزمایش دانشگاه آلبرتا

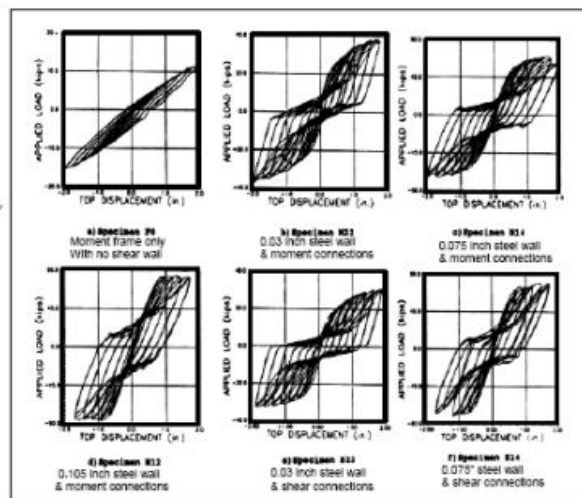




(Curves from: Lubell, 1997)

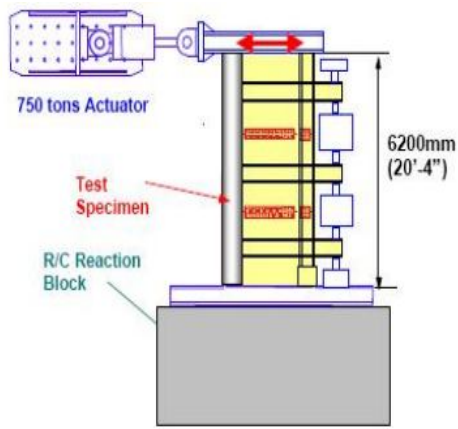


Test Specimen

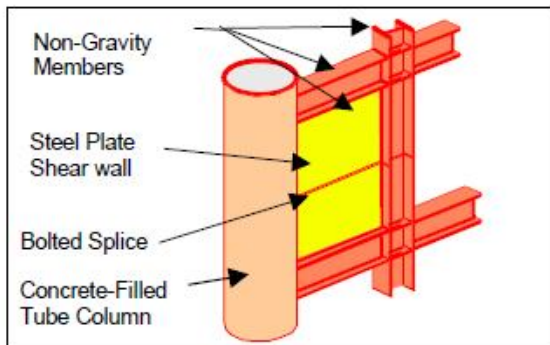
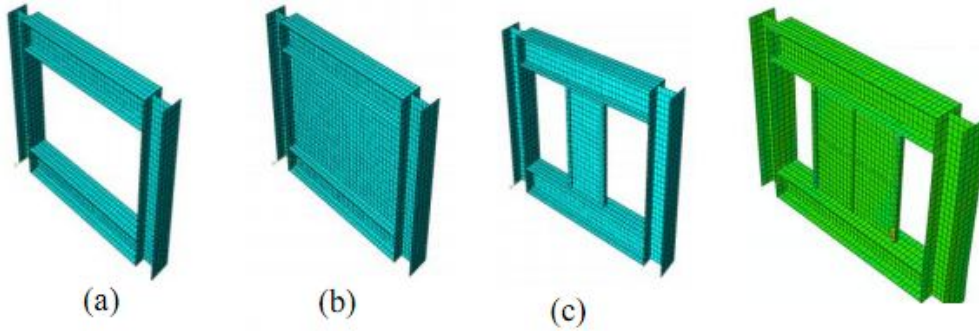


Load vs. Displacement

(Curves from Elgaaly and Cassese, 1993).



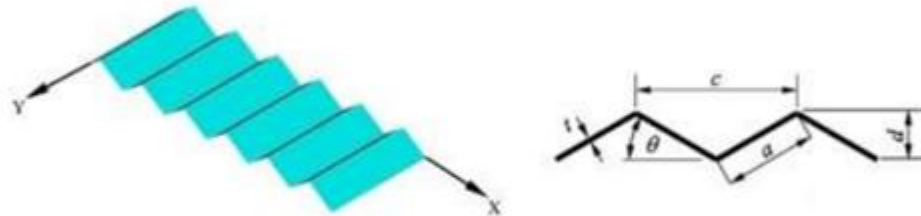
نمایی از یک دیوار برشی فولادی موج دار به همراه قاب پیرامونی



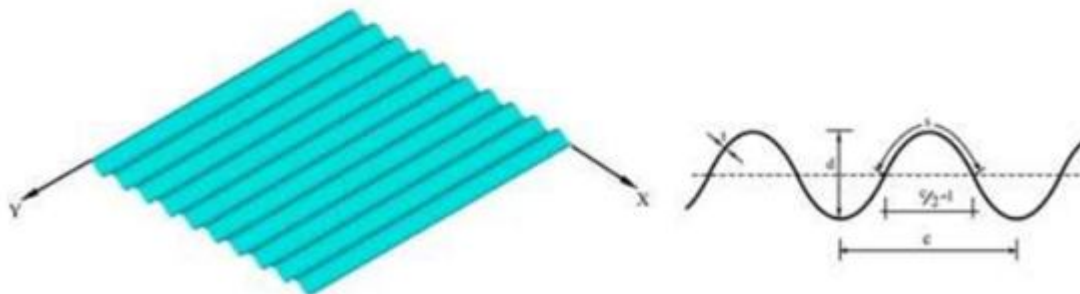
Components of the tested system and bolted splice



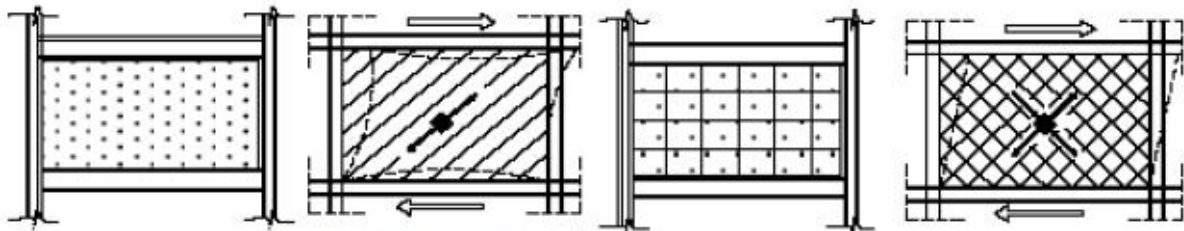
مشخصات هندسی ورق موجدار ذوزنقه ای



مشخصات هندسی ورق موجدار زیگزاگی



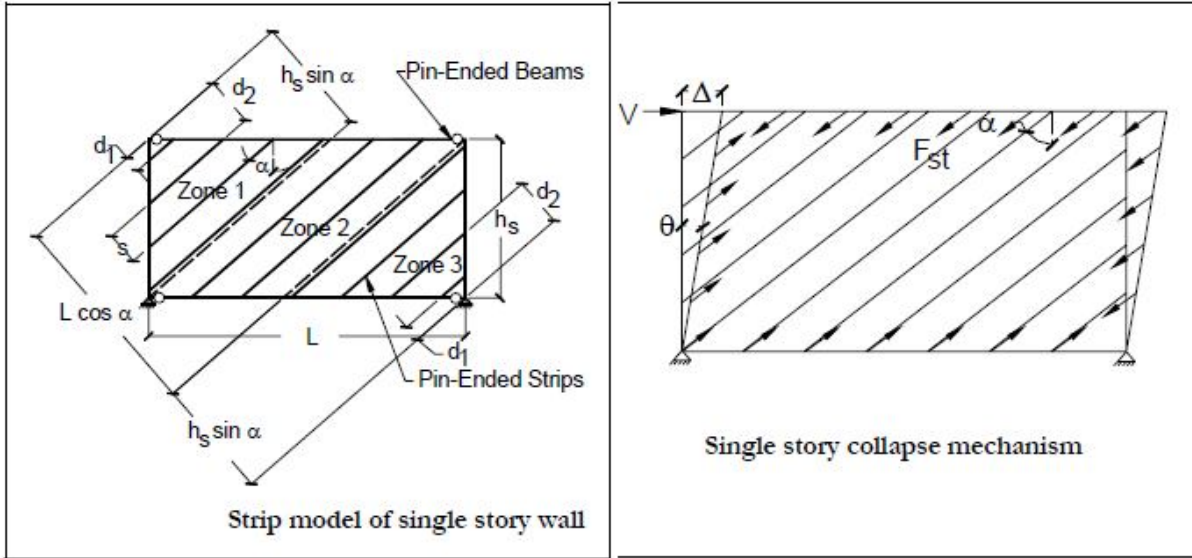
مشخصات هندسی ورق موجدار سینوسی



مکانیزم میدان کششی (پانل سخت نشده)

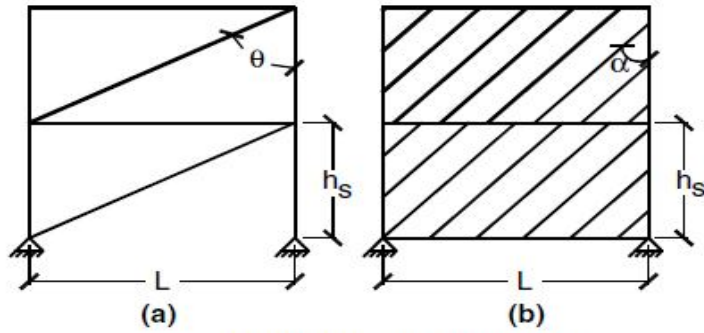
مکانیزم برشی خالص (پانل سخت شده)

مکانیزمهای میدان کششی و برشی خالص

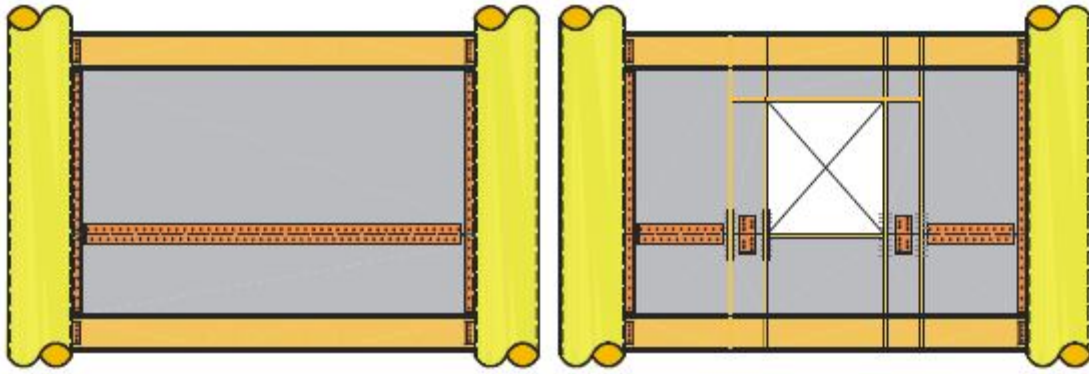


$$V = \frac{1}{2} F_y t L \sin(2\alpha) + \frac{4 M_{pc}}{h_s}$$

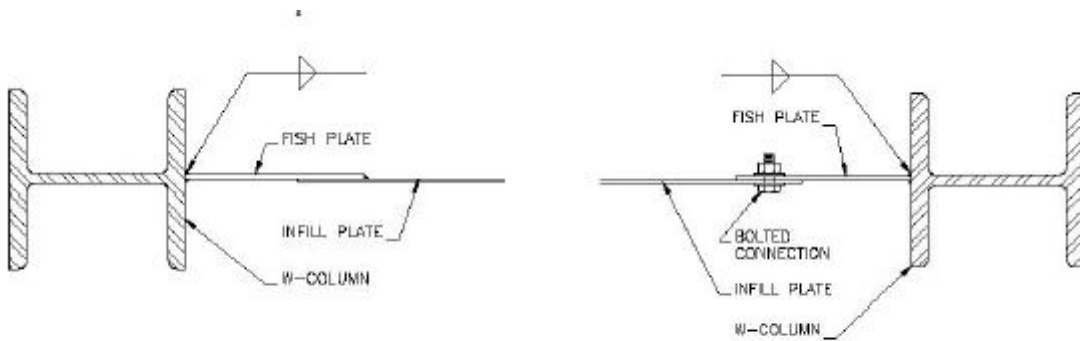
$$t = \frac{2A \sin \theta \sin 2\theta}{L \sin^2 2\alpha} \quad \tan^4 \alpha = \frac{1 + \frac{tL}{2A_c}}{1 + th_s \left(\frac{1}{A_b} + \frac{h_s^3}{360I_c L} \right)} \quad I_c \geq \frac{0.00307 th_s^4}{L}$$



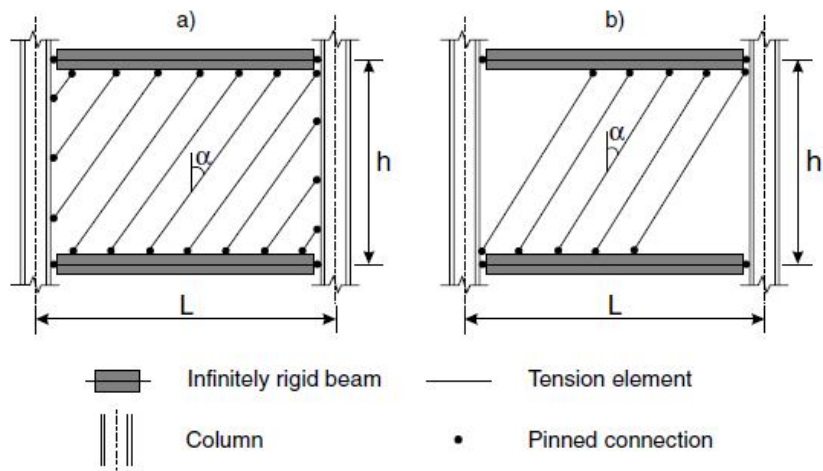
(a) Equivalent Story Brace Model
(b) The Strip Model



A typical SPSW bay with and without opening (after BPA Group)



Typical "fish plate" to boundary frame and infill plate to "fish plate" connections



Strip model representation of a typical steel panel developed by Thorburn et al. (1983) a) complete tension field b) partial tension field

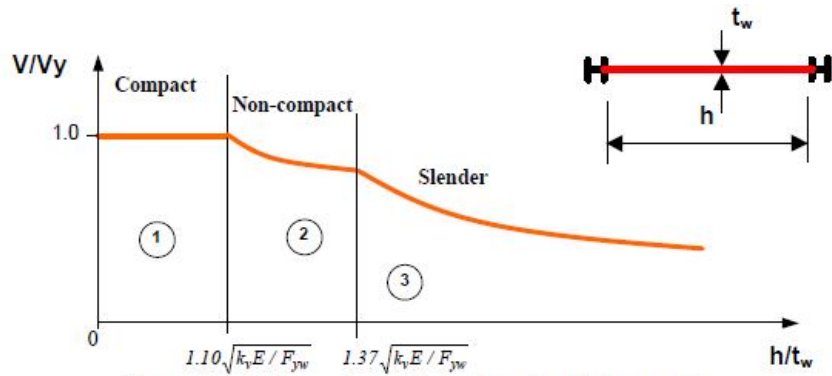
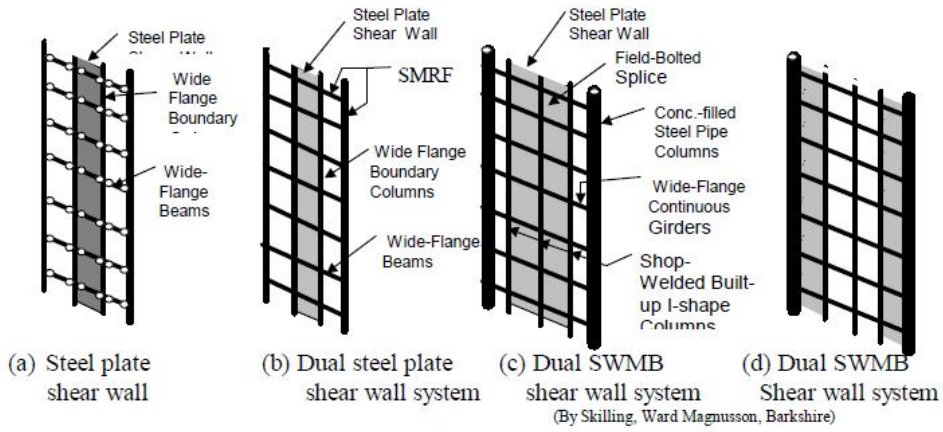
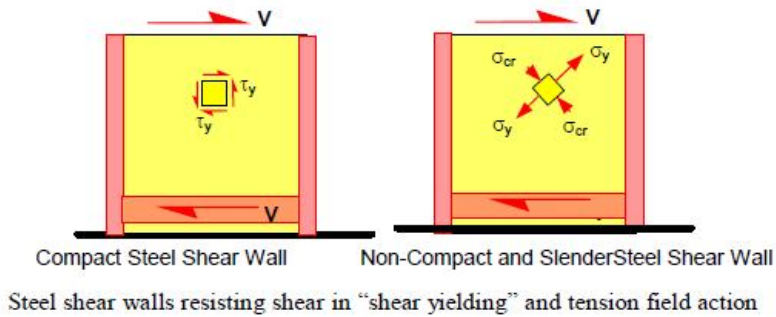


Figure 5.2. Three regions of behavior of steel shear walls



$$\tau_{cr} = \frac{K\pi^2 E}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2 \quad \text{قبل از کمانش}$$

$$K = \begin{cases} 5.35 + 4\left(\frac{b}{d}\right)^2 & \frac{d}{b} \geq 1 \\ 5.35\left(\frac{b}{d}\right)^2 + 4 & \frac{d}{b} \leq 1 \end{cases}$$

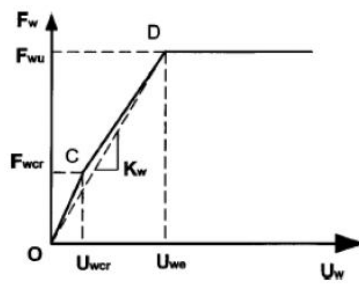
$$u_{wcr} = d \cdot \gamma_{cr}, \gamma_{cr} = \frac{\tau_{cr}}{G}, G = \frac{E}{2(1+\mu)}$$

$$U_{we} = \left(\frac{\tau_{cr}}{G} + \frac{2\sigma_{ty}}{E \sin 2\theta} \right) d \quad U_{wpb} = \frac{2\sigma_{ty} \cdot d}{E \sin 2\theta}$$

► قبل از کمانش ورق : $F_w = \frac{Gbt}{d} U_w$

► پس از کمانش ورق : $F_w = \left(\frac{Ebt}{4d} \right) U_w - \tau_{cr} (bt) \left(1 - \frac{E}{4G} \sin^2 2\theta \right)$

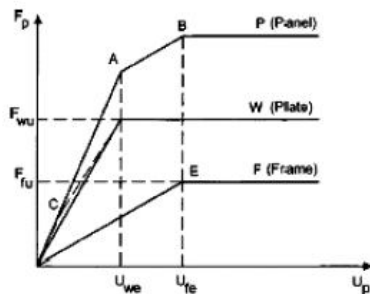
$$K_w = \frac{bt}{d} \frac{\tau_{cr} + \frac{1}{2} \sigma_{ty} \sin 2\theta}{\frac{\tau_{cr}}{G} + \frac{2\sigma_{ty}}{E \sin 2\theta}} \quad F_w = K_w U_w$$



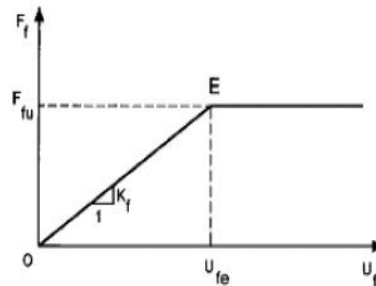
دیاگرام بار- تغییر مکان ورق فولادی

$$F_{fu} = \frac{4M_{fp}}{d} \quad U_{fu} = \frac{M_{fp} \cdot d^2}{6EI_f}$$

$$F_f = K_f U_f \quad k_f = \frac{24EI_f}{d^3}$$



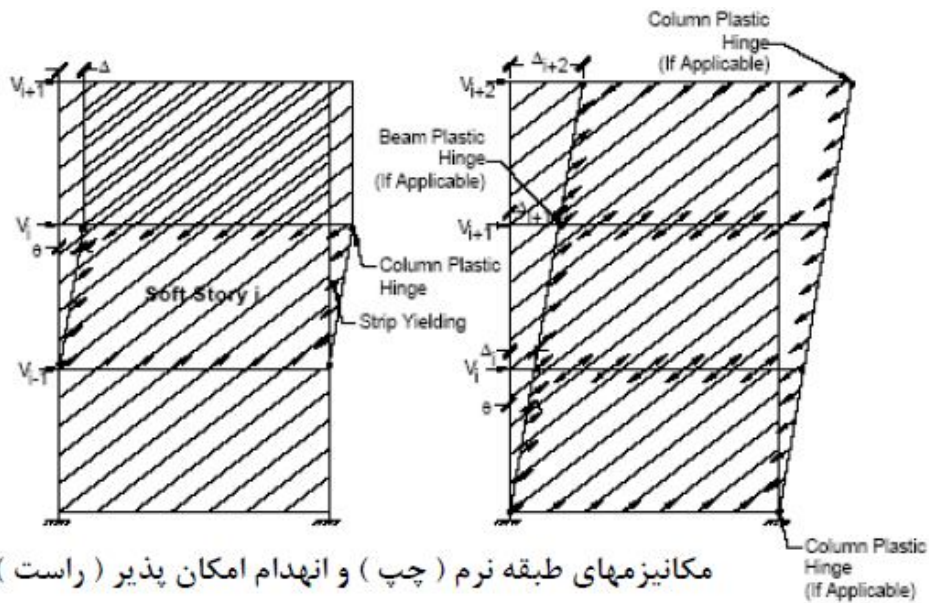
دیاگرام مربوط به ورق فولادی ، قاب و مجموع آنها



دیاگرام بار- تغییر مکان قاب

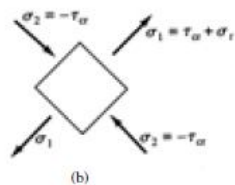
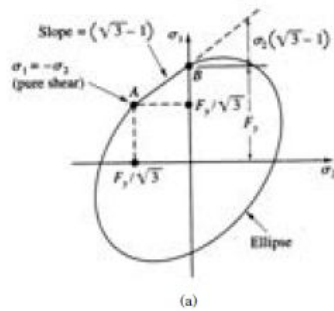
$$V = n_b F_{st} \sin(\alpha) \quad n_b = [L \cos(\alpha)] / s \quad F_{st} = F_y \cdot t \cdot s$$

$$t = \frac{2 V_s \Omega_s}{F_y L \sin(2\alpha)} \quad V = \frac{1}{2} F_y t L \sin(2\alpha)$$



$$V_n = 0.6 F_{yw} A_w \quad \text{for} \quad \frac{h}{t_w} \leq 1.10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_{yw}}}$$

$$V_n = 0.6 F_{yw} A_w \left(C_v + \frac{1 - C_v}{1.15 \sqrt{1 + (a/h)^2}} \right) \quad \text{for} \quad \frac{h}{t_w} > 1.10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_{yw}}}$$



$$\sin 2\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 + (a/h)^2}}$$

System Overstrength Factor, Ω_o	
Seismic Load Resisting System	Ω_o
All moment-frame systems meeting Part I requirements	3
Eccentrically Braced Frames (EBF) meeting Part I requirements	2 ^{1/2}
All other systems meeting Part I requirements	2

حالت های گسیختگی دیوار صفحه ای فولادی

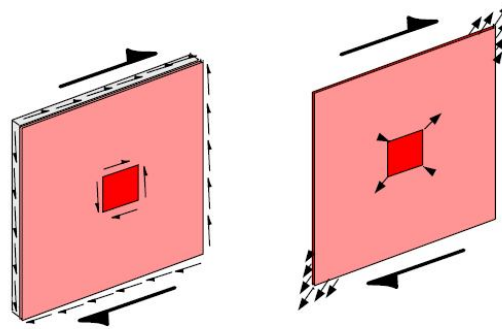
- ۱- لغزش پیچها (شکل پذیر)
- ۲- کمانش صفحه فولادی (شکل پذیر)
- ۳- تسلیم شدگی صفحه فولادی (شکل پذیر)
- ۴- شکست صفحه دیوار (ترد)
- ۵- شکست اتصالات دیوار فولادی با تیرها و ستونهای مرزی (ترد)

حالتهای گسیختگی تیرهای بالا و پایین

- تسلیم شدگی برشی تیرهای بالا و پایین (شکل پذیر)
- تغییر شکل مفصل پلاستیک در تیرهای بالا و پایین (شکل پذیر)
- کمانش موضعی در بالها یا جان تیرهای بالا و پایین
- شکست اتصالات خمشی تیرها در سیستمهای دو گانه (ترد)
- کمانش پیچشی کلی یا جانبی تیرها (ترد)
- شکست اتصالات برشی تیرها (ترد)

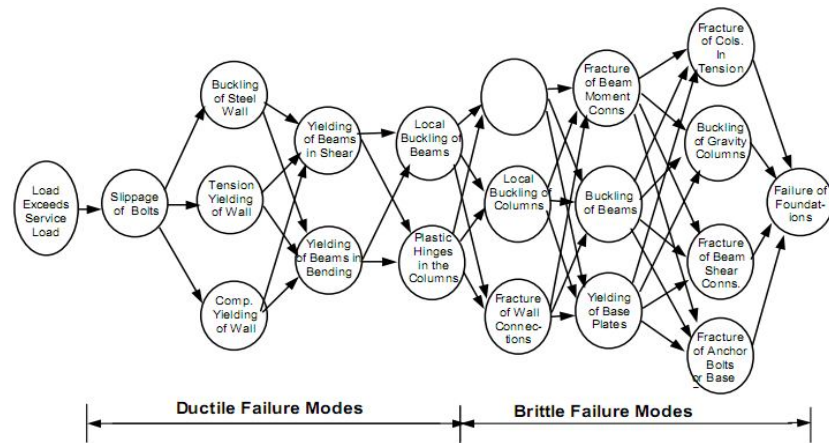
حالتهای گسیختگی ستونهای مرزی

- تغییر شکل پلاستیک در بالا و پایین ستونها (شکل پذیر)
- کمانش موضعی ستونهای مرزی
- کمانش کلی ستونهای مرزی
- شکست کششی ستونهای مرزی یا وصله های آنها (ترد)
- تسلیم شدگی صفحات کف ستونهای مرزی در اثر نیروهای بلند کننده (شکل پذیر)
- شکست پیچهای مهاریه صفحات کف در کف ستونها در اثر نیروهای بلند کننده (ترد)
- شکست صفحات کف ستون در خمش و یا اثر نیروهای بلند کننده (ترد)
- گسیختگی پی های دیوار (ترد)

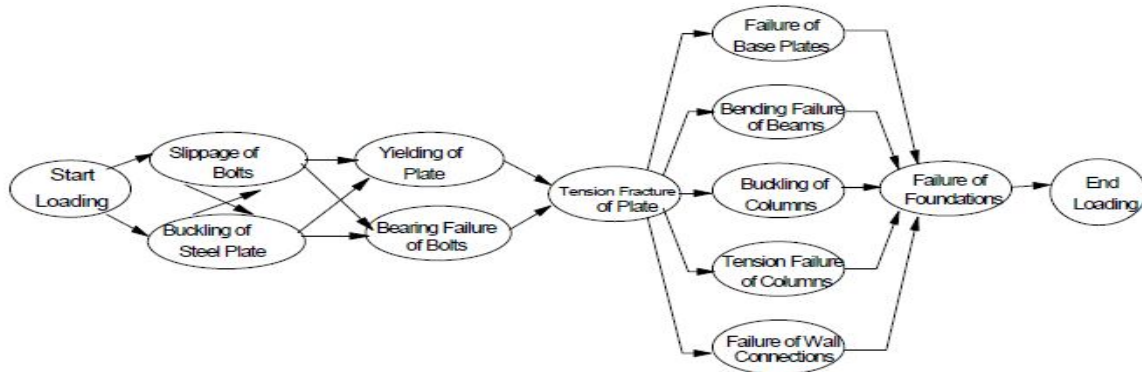


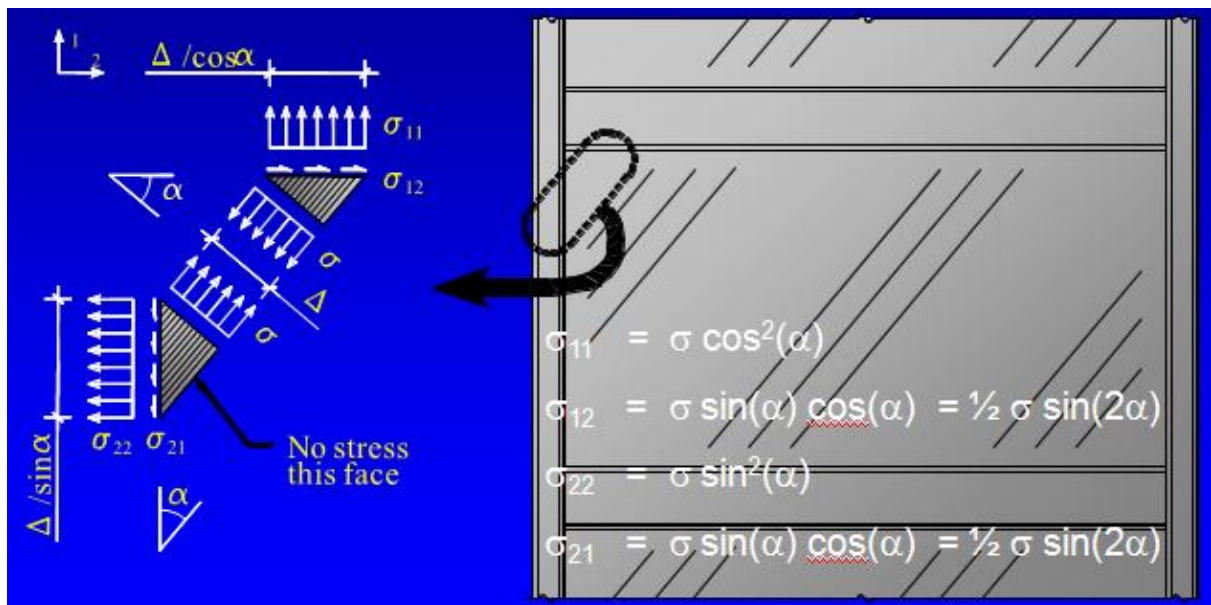
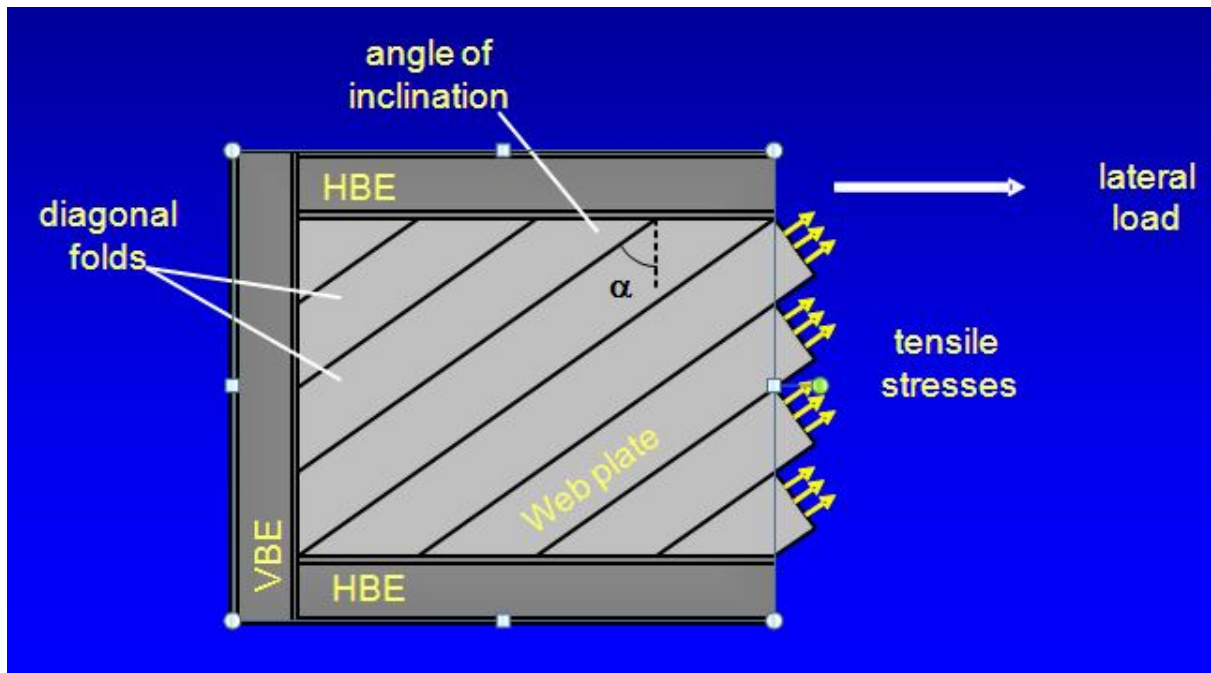
a. Shear Wall Elements Under Pure Shear

b. Shear Wall Elements Under Tension Field Action

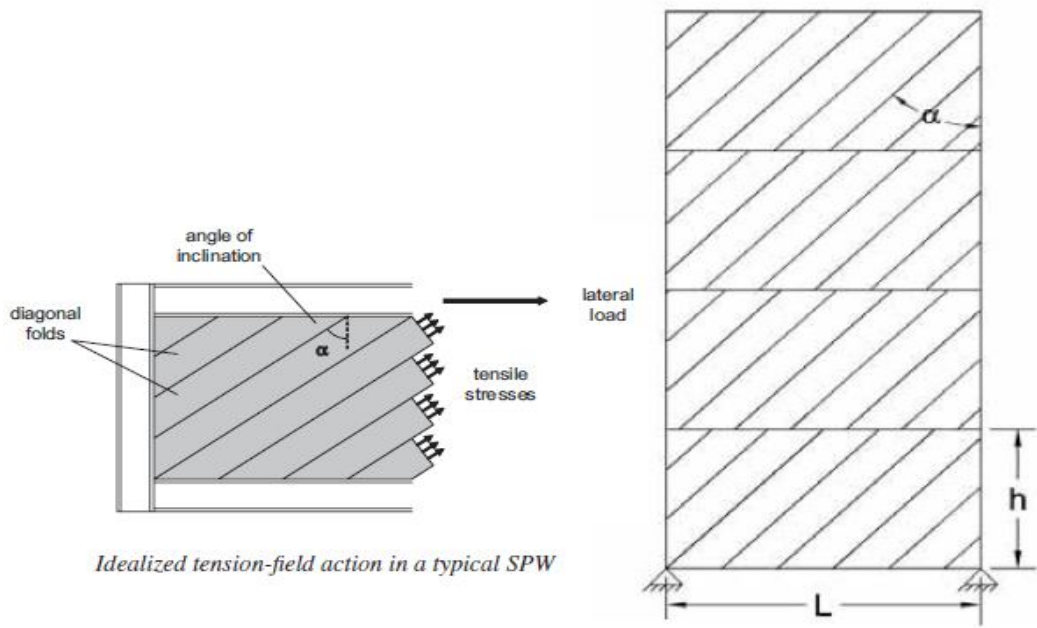


. Major failure modes of typical steel plate shear walls in the order of their desirability from left to right



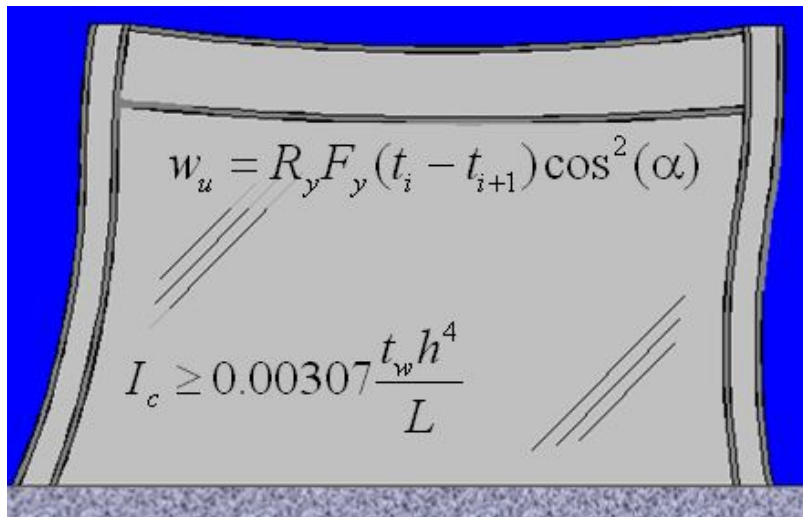


$$\tan^4 \alpha = \frac{1 + \frac{t_w L}{2A_c}}{1 + t_w h \left[\frac{1}{A_b} + \frac{h^3}{360I_c L} \right]}$$

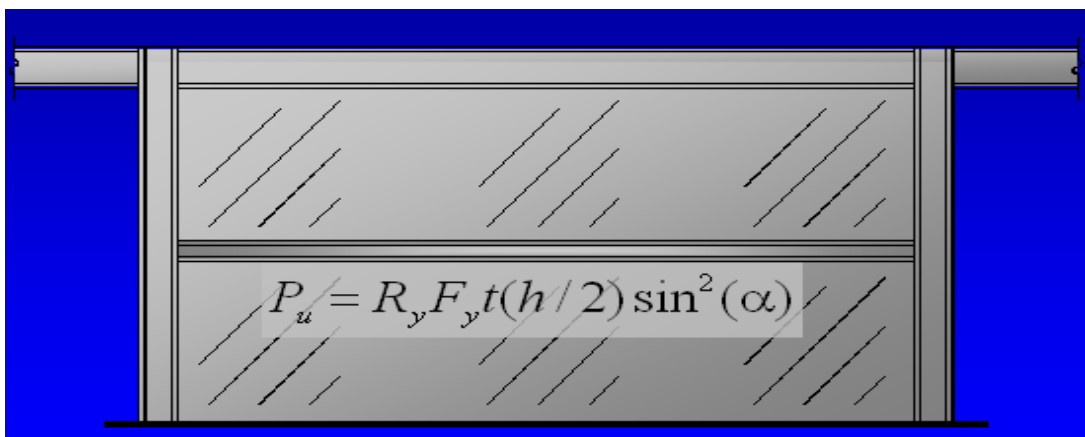


Idealized tension-field action in a typical SPW

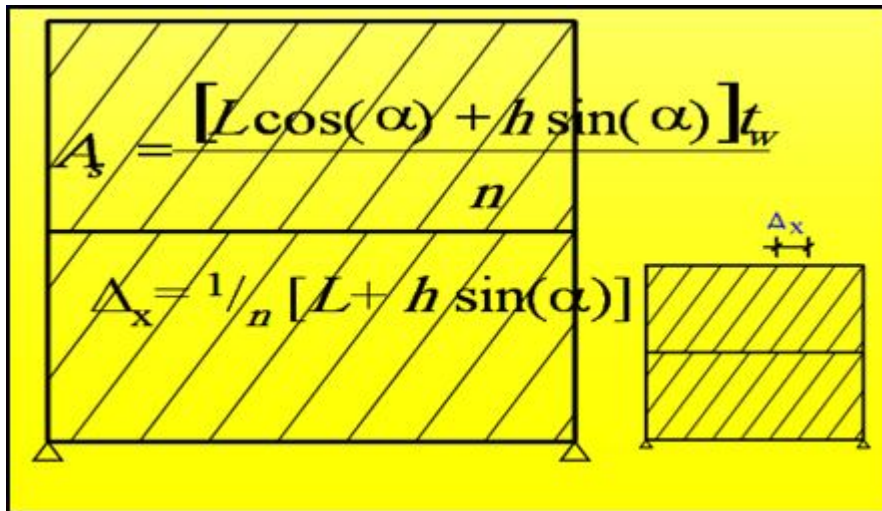
Strip model representation of a SPW



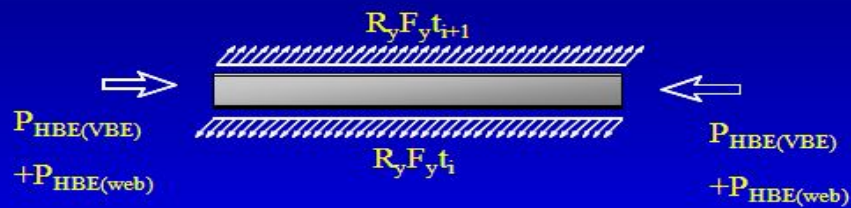
Horizontal Strut



Tension-Strip Model



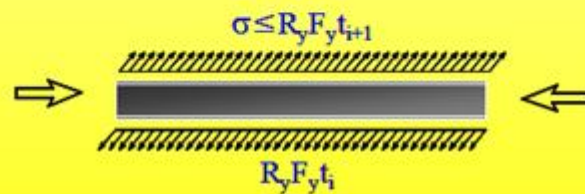
HBE Design Axial Forces



$$P_{HBE(web)} = \frac{1}{2} R_y F_y [t_i \sin(2\alpha_i) - t_{i+1} \sin(2\alpha_{i+1})] L_{cf}$$

$$P_{HBE(VBE)} = \sum \frac{1}{2} h_c R_y F_y \sin^2(\alpha) t_w$$

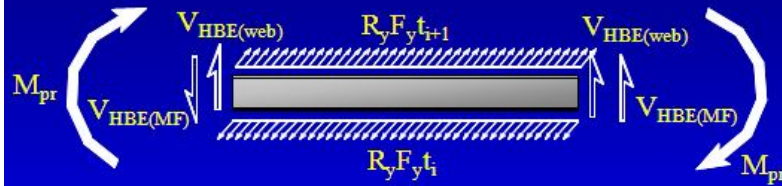
HBE to VBE Design Axial Forces



$$R_{u(horiz)} \geq P_{HBE(VBE)} + \Omega_o P_{collector}$$

$$R_{u(horiz)} \geq P_{HBE(VBE)} + P_{HBE(web)}$$

HBE Design Flexural Forces

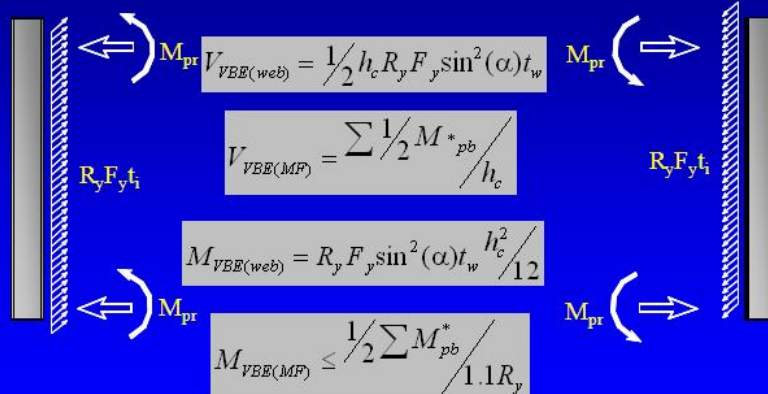


$$M_u = R_y F_y \left[t_i \cos^2(\alpha_i) - t_{i+1} \cos^2(\alpha_{i+1}) \right] \frac{L_h^2}{8} \quad (\text{at midspan})$$

$$V_{HBE(web)} = R_y F_y \left[t_i \cos^2(\alpha_i) - t_{i+1} \cos^2(\alpha_{i+1}) \right] \frac{L_h}{2}$$

$$V_{HBE(MF)} = \frac{2M_{pr}}{L_h}$$

VBE Design Flexural Forces



$$V_{VBE(web)} = \frac{1}{2} h_c R_y F_y \sin^2(\alpha) t_w$$

$$V_{VBE(MF)} = \frac{\sum \frac{1}{2} M_{pb}^*}{h_c}$$

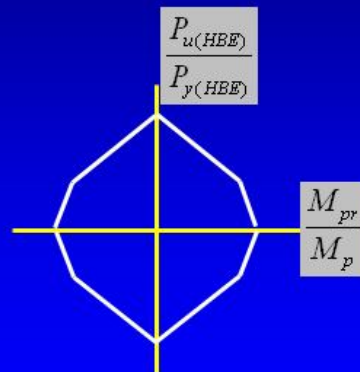
$$M_{VBE(web)} = R_y F_y \sin^2(\alpha) t_w \frac{h_c^2}{12}$$

$$M_{VBE(MF)} \leq \frac{1}{2} \frac{\sum M_{pb}^*}{1.1 R_y}$$

Flexural strength in the presence of high axial force.

$$M_{pr} \leq [1.1 R_y F_y Z] \left[1 - \frac{1}{2} \frac{P_{u(HBE)}}{P_{y(HBE)}} \right]$$

$$M_{pr} \leq \frac{9}{8} [1.1 R_y F_y Z] \left[1 - \frac{P_{u(HBE)}}{P_{y(HBE)}} \right]$$



Flanges

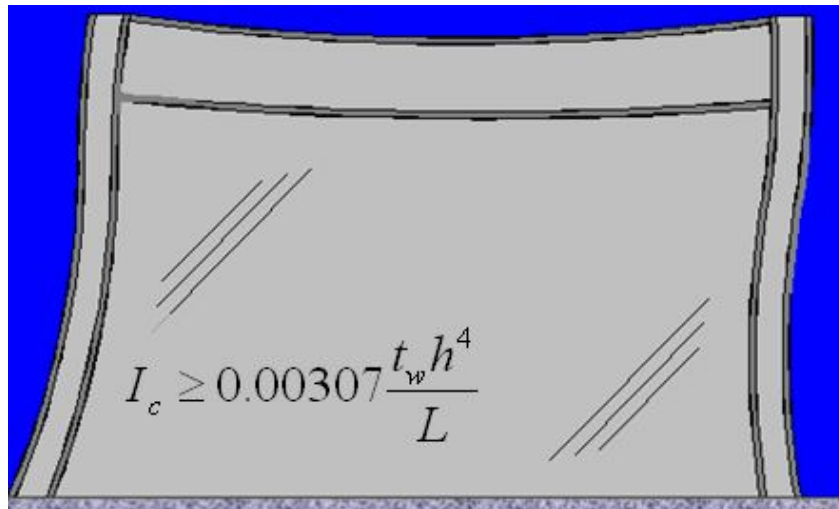
$$\frac{b_f}{2t_f} \leq 0.30 \sqrt{\frac{E_s}{F_y}}$$

Web

$$\frac{P_u}{\phi P_y} \leq 0.125 \quad \frac{h}{t_w} \leq 3.14 \sqrt{\frac{E_s}{F_y}} \left[1 - 1.54 \frac{P_u}{\phi P_y} \right]$$

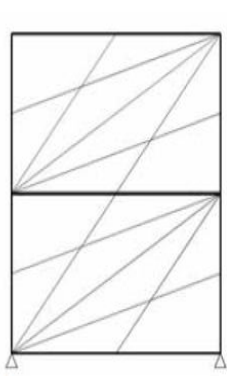
$$\frac{P_u}{\phi P_y} > 0.125 \quad \frac{h}{t_w} \leq 1.12 \sqrt{\frac{E_s}{F_y}} \left[2.33 - \frac{P_u}{\phi P_y} \right] > 1.49 \sqrt{\frac{E_s}{F_y}}$$

$$R_v = 0.6 F_y d_c t_p \left[1 + \frac{3b_{cf} t_{cf}^2}{d_b d_c t_p} \right] \left[1.9 - \frac{1.2 P_u}{P_y} \right]$$

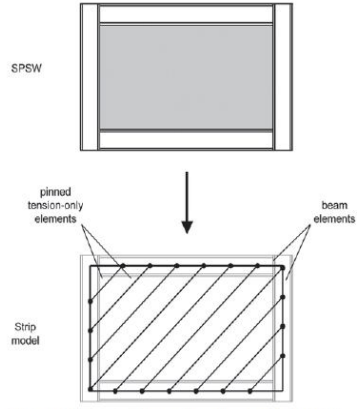


$$\frac{V_{yp \text{ perf}}}{V_{yp}} = \frac{K_{\text{perf}}}{K_{\text{panel}}} = \left[1 - \frac{D}{d} \right]$$

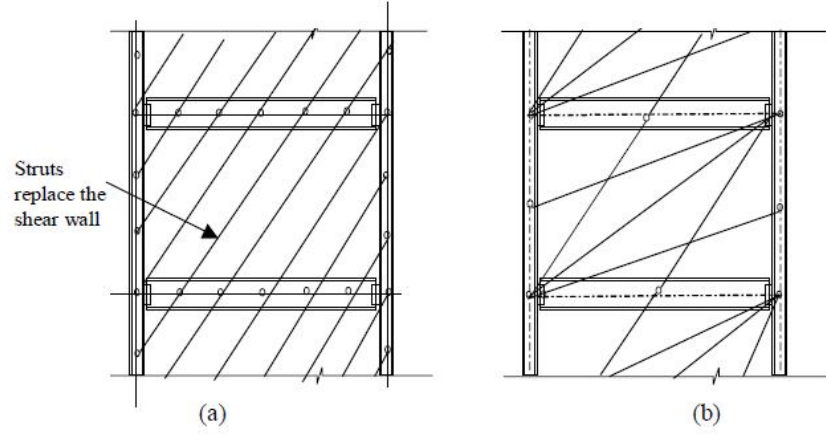
$$\frac{K_{\text{perf}}}{K_{\text{panel}}} = \frac{1 - \frac{\pi}{4} \left(\frac{D}{S_{\text{diag}}} \right)}{1 - \frac{\pi}{4} \left(\frac{D}{S_{\text{diag}}} \right) \left(1 - \frac{N_r D \sin \theta}{H_{\text{panel}}} \right)} \quad \frac{D}{S_{\text{diag}}} \leq \left(1 - Y_t \frac{F_y}{F_u} \right)$$



Rezai's tension-strip model (Rezai, 1999)



Strip model for static (linear and nonlinear) analysis of SPW

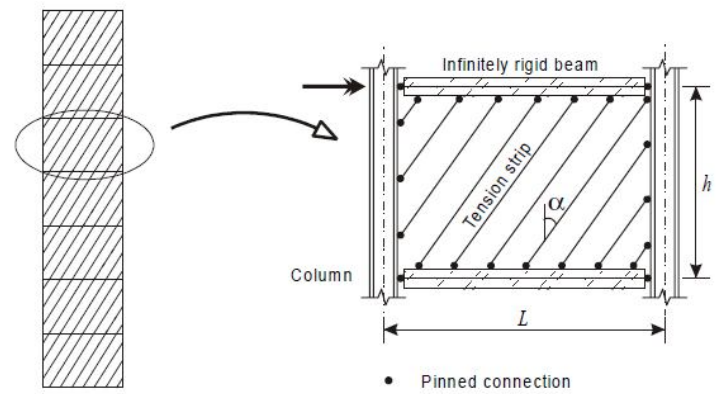


Two proposed strut models: (a) Thorburn et al. (1983) and (b) Rezaii et al. (2000)

$$V = \frac{1}{2} F_y t_w L \sin 2\alpha + \frac{4M_p}{h}$$

$$0.70h \left(\frac{t_w}{2LI_c} \right)^{0.25} \leq 2.5 \quad I_c \geq \frac{0.00307t_w h^4}{L} \quad t_{wi} = \frac{2V_i}{F_y L \sin(2\alpha_i)}$$

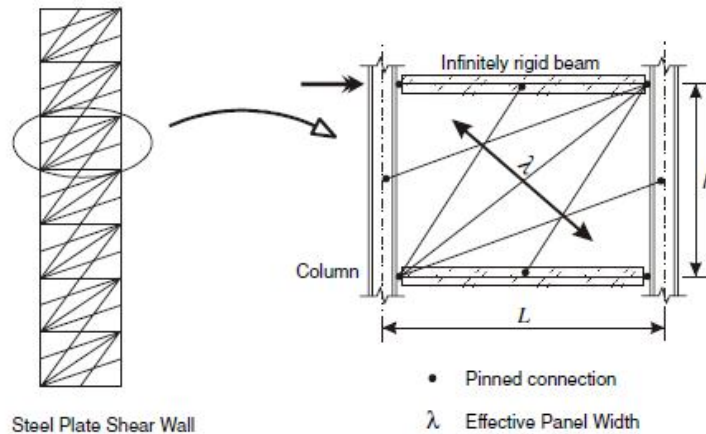
$$\frac{s}{t_w} \leq 3.82 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad j = 2.5(h/a)^2 - 2 \geq 0.5 \quad I_{st} \geq at_w^3 j \quad \frac{\min(L, h)}{t_w} \leq 25 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$



Steel Plate Shear Wall

- Pinned connection
- α Angle of inclination of tension strips

Parallel strip model representation of a typical steel plate shear wall panel



Proposed strip model simulating post-buckling behaviour of a thin steel plate, UBC Model (1999)

منابع

دکتر جواد واتقی امیری، دکتر مرتضی حسینعلی بیگی، ایمان محمدپور نیک بین، دیوارهای برشی فولادی (عمکرد، تحلیل و طراحی) انتشارات دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل ۱۳۹۰
 دکتر مجتبی ازهری، دکتر سید رسول میر قادری، طراحی سازه های فولادی-جلد چهارم، مباحث طراحی لرزه ای انتشارات ارکان دانش
 علی فاخر، تئوری ورق و پوسته

Rafael Sabelli, Design of Seismic-Resistant Steel Building Structures
 Rafael Sabelli Michel Braneau Steel plate shear walls, American institute of steel construction
 Abolhassan Astaneh Asl ,Seismic Behavior and Design of Composite Steel Plate Shear Walls
 A.W.Irwin Design of Shear wall Buildings,Ciria
 Jeffrey Berman,Plastic Analysis and Design of Steel Plate Shear Walls
 Jeffrey W. BERMAN¹ and Michel BRUNEAU, PLASTIC DESIGN AND TESTING OF LIGHT-GAUGE STEEL PLATE SHEAR WALLS, 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 1-6, 2004 Paper No. 3323
 Mahmoud REZAI, Carlos E. VENTURA, Helmut PRION, SIMPLIFIED AND DETAILED FINITE ELEMENT MODELS OF STEEL PLATE SHEAR WALLS, 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004, Paper No. 2804
 Mahmoud REZAI, Carlos E VENTURA ,Helmut G L PRION, NUMERICAL INVESTIGATION OF THIN UNSTIFFENED STEEL PLATE SHEAR WALLS,12WCEE,2000
 JEFFREY W. BERMAN and MICHEL BRUNEAU, Steel Plate Shear Walls Are Not Plate Girders ENGINEERING JOURNAL / THIRD QUARTER / 2004 / 95
 A. ASTANEH-ASL STEEL PLATE SHEAR WALLS, Proceedings, U.S.-Japan Partnership for Advanced Steel Structures, U.S.-Japan Workshop on Seismic Fracture issues in Steel Structures, February 2000, San Francisco.