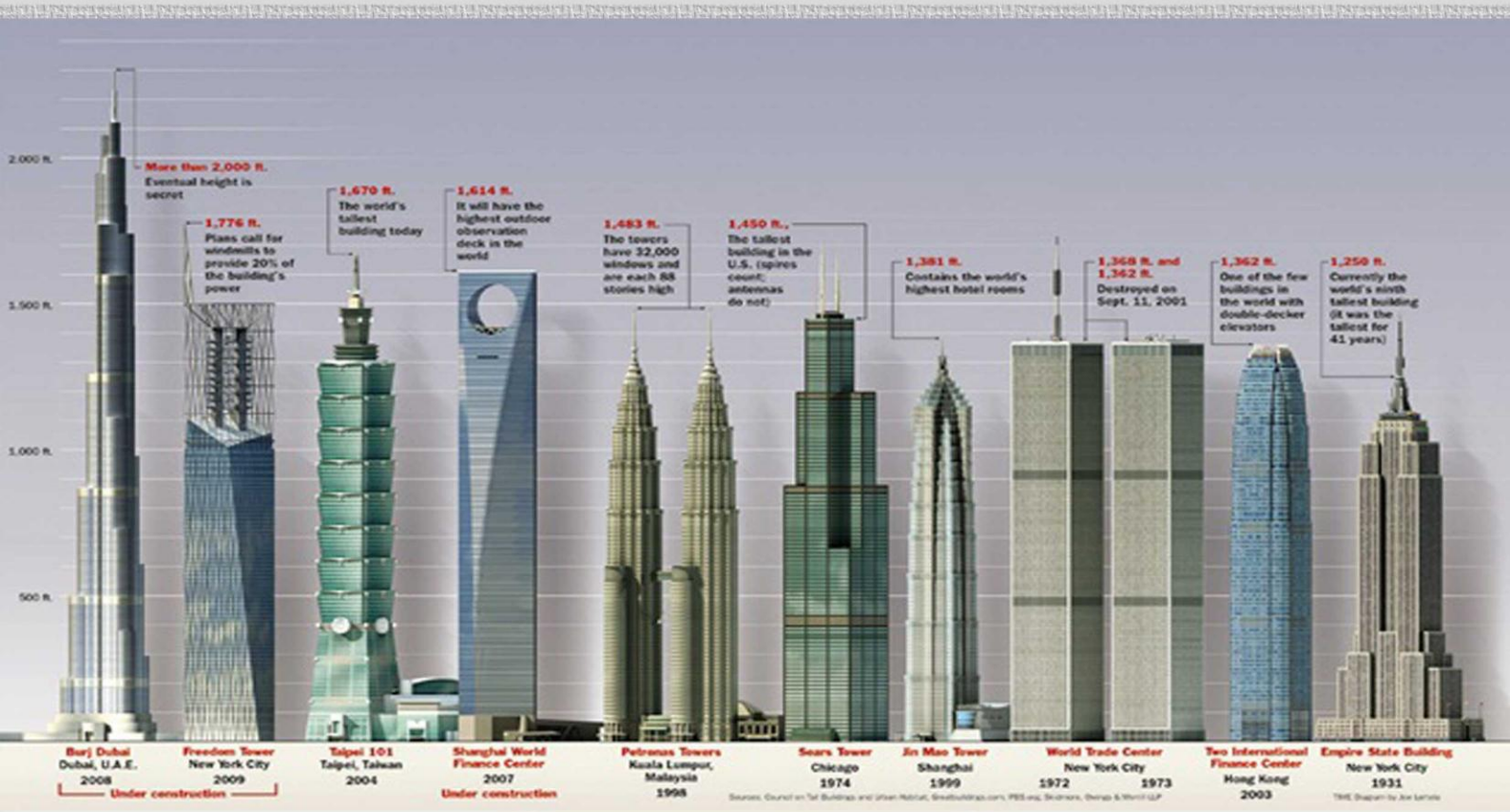
شماره ۵۱ کتاب

سیستم سازه ای سازه های بلند

مجموعه مقالات مصور



نویسنده:
ایمان الیاسیان

سازه	؟
زلزله	؟
آب	؟
خاک	؟
راه	؟

آذر ۱۳۹۲
ناشر : Civil808.com

سیستم سازه ای سازه های بلند

گرد آورنده:

ایمان الیاسیان، کارشناس ارشد سازه

iman.elyasian@gmail.com

ایبوک مصور رایگان

ایبوک شماره ۵۱ از انتشارات مجازی ۸۰۸

www.Civil808.com

توجه:

این ایبوک (کتاب الکترونیکی) ویژه وبسایت ۸۰۸ ارسال شده است و از طریق وبسایت ۸۰۸ منتشر شده است و تمام حقوق مربوط به نشر این جزوه بر عهده مولف و ناشر این مجموعه میباشد

پیشگفتار ناشر:

این ایبوک مجموعه ای از مقالاتی مرتبط با سازه های بلند است که با زحمت جناب مهندس ایمان الیاسیان گرد آوری شده و توسط ایشان برای وبسایت Civil808 ارسال شده است. از ویژگی های خوب این مقالات این است که عمدتا موضوعات مطرح شده به صورت مصور هستند طوریکه جنبه آموزشی آن را بیشتر نموده است. موضوعات مقالات مندرج در این ایبوک به ترتیب درج در ایبوک عبارت است از:

- **معرفی تصویری سیستم سازه های بلند (صفحه ۹)**
- **انواع سیستم های سازه ای سازه های بلند (صفحه ۸۶)**
- مثال موردی: بررسی برجهای دوقلوی پتروناس مالزی (صفحه ۱۲۰)

انتشارات مجازی ۸۰۸

آذر ماه ۱۳۹۲

مقدمه:

گروه آموزشی ۸۰۸ برای اولین بار اقدام به انتشار کتاب های تخصصی در مارکتینگ مجازی نموده است به نحویکه کتاب های تخصصی که حتی در دنیای چاپ فیزیکی هم تابحال نمونه های آن به چاپ نرسیده و در عین حال مخاطبان زیادی هم دارد را در غالب ایبوک منتشر نموده است که استقبال زیادی از این جزوات مقدماتی و پیشرفته شده است. کتاب های الکترونیکی تماما در غالب حرفه ای همراه با ویراستاری و صفحه آرایی حرفه ای منتشر می شود و حق مولف و ناشر از انتشار این کتاب از تبلیغاتی که درون این ایبوک ها منتشر می شود تامین خواهد شد دسته ای از ایبوک ها رایگان عرضه میشود و دسته ای دیگر که صورت پولی در فضای مجازی منتشر می شوند و همچنین درون دی وی دی های محصولات آموزشی ۸۰۸ عرضه می شوند.

برخی از مز ایای انتشارات مجازی:

- مزیت انتشار کتاب های الکترونیکی نسبت به انتشار حقیقی کتاب ها
- گسترش فرهنگ کتابخوانی الکترونیکی میان مهندسان
- سهولت دسترسی به انواع کتاب ها
- و رایگان بودن تعداد نسبتا زیادی از کتاب ها و همچنین مجله!

در این شیوه آموزش مجازی راه تامین هزینه های ما و مولفان ما درج تبلیغات اسپانسر های طلایی سایت است، پس اگر به دنبال حمایت این شیوه نشر مجازی هستید می توانیدبا ما در تماس باشید

گروه آموزشی ۸۰۸

انتشارات مجازی

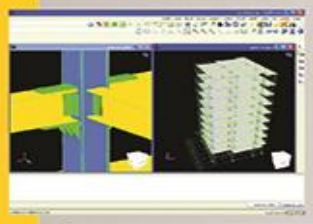
سیستم های سازه ای سازه های بلند

رایان سازه، پیشرو در تولید نرم افزارهای تخصصی عمران

سازه گستر

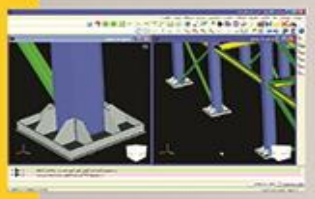
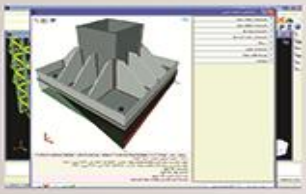
طراحی هوشمند اتصالات تیر به ستون :

- محاسبه ماکزیمم واکنش تکیه گاهی بر اساس ضوابط لرزه‌ای آخرین ویرایش مبحث ده
- محاسبه ماکزیمم واکنش تکیه گاهی بر اساس نتایج تحلیل ETABS و SAP2000
- طراحی اتوماتیک انواع مختلف اتصال خمشی و مفصلی
- نمایش هوشمند جزئیات کامل اتصالات در محیط گرافیکی سازه سه بعدی
- ارائه دفترچه محاسبات با ذکر دقیق جزئیات محاسبات و فرمولها



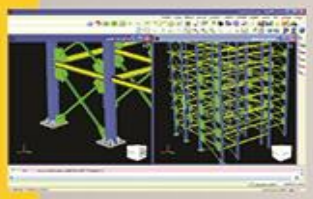
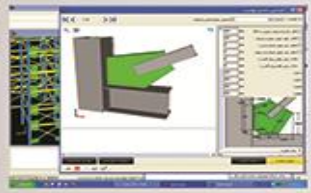
طراحی پیشرفته اتصالات صفحه ستون :

- محاسبه تنش زیر صفحه ستون از روش دقیق در خمش دو محوره و تک محوره
- امکان معرفی بولتها و سخت کننده ها در هر مختصات
- امکان طراحی صفحه ستون های کناری و گوشه
- نمایش جزئیات کامل صفحه ستون در محیط گرافیکی سازه سه بعدی
- ارائه دفترچه محاسبات با ذکر دقیق جزئیات محاسبات و فرمولها

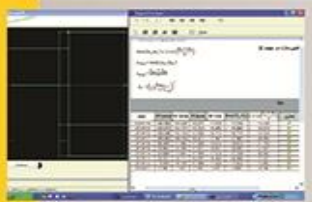
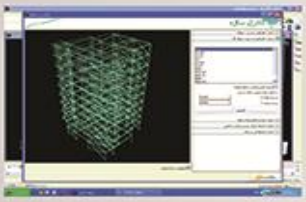
طراحی هوشمند اتصالات مهاربند :

- طراحی اتصالات مهاربند بر اساس ضوابط لرزه‌ای آخرین ویرایش مبحث ده
- طراحی انواع مختلف اتصالات مهاربند اعم از همگرا یا واگرا ، با شکل پذیری معمولی یا ویژه
- طراحی اتصالات مهاربند بر اساس نتایج تحلیل یا ظرفیت مقطع یا نیروی کاربر
- نمایش هوشمند جزئیات کامل اتصالات مهاربند در محیط گرافیکی سازه سه بعدی
- ارائه دفترچه محاسبات با ذکر دقیق جزئیات محاسبات و فرمولها

کنترل سازه بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰ :

- محاسبه شاخص پایداری
- کنترل بلند شدگی پای ستون (Uplift)
- کنترل تغییر مکان جانبی نسبی سازه
- کنترل نامنظمی در پلان سازه (Aj)
- ارائه فایل ورودی SAFE از نتایج تحلیل ETABS و SAP2000

ترسیم نقشه های سازه :

- ترسیم کل نقشه های سازه فلزی به همراه لیستوفر کامل پروژه
- ترسیم پلانهای تیرریزی ، نمای مهاربندها ، نمای ستونها و جزئیات کلیه اتصالات
- ترسیم نقشه شاپ کل قطعات اتصال تیر به ستون ، مهاربند و صفحه ستون
- ترسیم و ویرایش نقشه ها در محیط نرم افزار سازه نگار مستقل از AutoCAD با امکان ارسال خروجی با فرمت DWG

تهران-بزرگراه جلال آل احمد-غرب پل گیشا-شماره ۴۲ - طبقه دوم صندوق پستی: ۴۳۸ - ۱۴۴۵۵
تلفن: ۸۸۲۸۵۳۸۶ و ۸۸۲۷۸۳۰۶ و ۸۸۲۵۹۷۷۳ فکس: ۸۸۲۵۶۵۲۰
www.rayansazeh.com support@rayansazeh.com

مهندسان جوان

40%

ویژه خرید نرم افزارهای سازه۹۰ و سازه نگار

www.SAZE90.com/YEng

۰۳۱۱-۲۲۳ ۵۰۰۴ ۱۰صبح الی۱۸

گروه آموزشی تخصصی مهندسی زلزله

تنباکوچی

۰۹۱۲ ۸۸۸ ۴۲۷۹

برگزار کننده دوره های آموزشی تخصصی مهندسی زلزله:

- تحلیل غیرخطی و بهسازی لرزه ای سازه ها در Sap2000 و Etabs
- طراحی و تحلیل غیرخطی میراگر و جداساز لرزه ای
- مدلسازی و تحلیل غیرخطی در نرم افزار Perform
- مدلسازی و تحلیل غیرخطی در نرم افزار Opensees
- مدلسازی و تحلیل غیرخطی در نرم افزار Abaqus
- مدلسازی و تحلیل غیرخطی در نرم افزار Idarc
- طراحی دالهای پس کشیده
- تحلیل خطر و ریسک لرزه ای
- و ...

تخصص ما
طرح پیچیده ترین مطالب علمی با بیانی بسیار ساده است

تنباکوچی، نامی آشنا در مهندسی زلزله

www.tanbakoochi.com

لیست محصولات سازه ۸۰۸

۱-۱- پروژه های سوله با جرثقیل	۱-۴- مقالات کنگره های ملی و بین المللی عمران
۱-۲- سازه های بلند + دال های پس تنیده	۲-۴-کنفرانس های مقاوم سازی و بتن
۱-۳- اتصالات پیچی، ستون های صلیبی	۳-۴- کنفرانس های جهانی لاتین
۱-۴- دکل	۱-۵- دروس تخصصی سازه و زلزله
۱-۵- میراگر ها + BRB Braces	۲-۵- اجزای محدود
۱-۶- شمع + پارکینگ طبقاتی + تابلو بیلبورد	۴-۵- طراحی سازه فولادی
۱-۷- مخازن + دودکش + مساجد(گنبد)	۵-۵- طراحی حالت حدی فلزی
۱-۸- دیوار برشی فولادی وبتنی+ سازه کابلی+سازه چوبی	۶-۵- Steel Ebook & Articles
۱-۹- مدیریت پروژه	۷-۵- Concrete Ebook & Articles
۱-۱۰- سازه فضاکار +سقف خرپایی	۸-۵- Seismic Ebook & Articles
۱-۱۱- برج خنک کننده +سیلو	۹-۵- زلزله و بهسازی لرزه ای
۱-۱۲- طراحی انواع پل	۱۰-۵- فیلم مقاوم سازی
۱-۱۳- صنعتی سازی	۱۱-۵- نرم افزار های زلزله و تحلیل غیر خطی
۱-۱۴- نیروگاه ها + ایستگاه پمپ	۱-۶- نرم افزارهای CSI + Perform 3D v.4
۲-۱- نقشه های سازه و معماری	۲-۶- نرم افزارهای Autodesk
۲-۲- پروژه های خاص سازه ها	۳-۶- نرم افزار Tekla Structure
۲-۳- فولادی، بتنی و بنایی	۴-۶- نرم افزار Bently-Ram
۲-۴- نقشه های اتوکد سازه	۱-۷- سد ها + کانال ها
۳-۱- جزوات طراحی و محاسبات	۲-۷- Manhole + هیدرولیک
۳-۲- انواع سقف و دیوار	
۳-۳- آیین نامه های لاتین وفارسی	
۳-۴- اطلاعات بارگذاری راه پله ، آسانسور	
۳-۵- خاک و فونداسیون	

www.Saze808.com
فکس: ۶۶۵۲۴۷۲۹-۰۲۱
مدیر فروش: ۱۵۵۷۳۴۲-۰۹۳۷ جعفری
مرکز پیامک: ۳۰۰۰۹۹۰۰۶۶۶۸۰۸
صندوق پستی: ۵۵۶۱۶-۱۴۵۷۶
saze808@gmail.com

سیستم سازه های بلند

Structural Systems of Tall Buildings

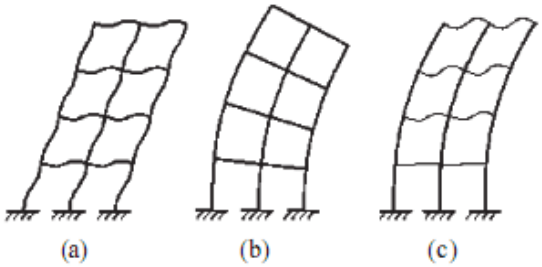
ایمان الیاسیان، کارشناس ارشد سازه iman.elyasian@gmail.com

درصورتی که ارتفاع یک ساختمان از حدی بلندتر گردد در این صورت صلبیت، پایداری وکنترل تغییر مکان جانبی آن براحتی تأمین نمی شود و در مورد سازه های بتنی تا ۲۰ طبقه و در مورد سازه های فولادی تا ۳۰طبقه سیستم قاب صلب اقتصادی بوده، بنابراین در سازه های بلند می بایست به دنبال سیستمهای جایگزین و ابداعی گشت یکی از سیستمهایی که در دهه های اخیر مورد نظر گرفته است سیستم لوله ای است مقدار مصالح مصرفی سازه ای به نصف تقلیل یافته و انعطاف پذیری در تقسیم فضاهای داخلی بوده و کاهش قابل توجه تغییر مکان جانبی می باشد و براثر تغییر شکلهای ناضی از برش و انعطاف پذیری تیرهای پیرامونی تأخیر برشی رخ می دهد که تا حدی کارایی سیستم را کاهش می دهد برای کاهش تأثیر تأخیربرشی بایستی سازه را در برابر تغییر مکان جانبی ناشی از برش کنترل نمود لذا سیستم ترکیبی مهاربند- لوله ای پیشنهاد می شود

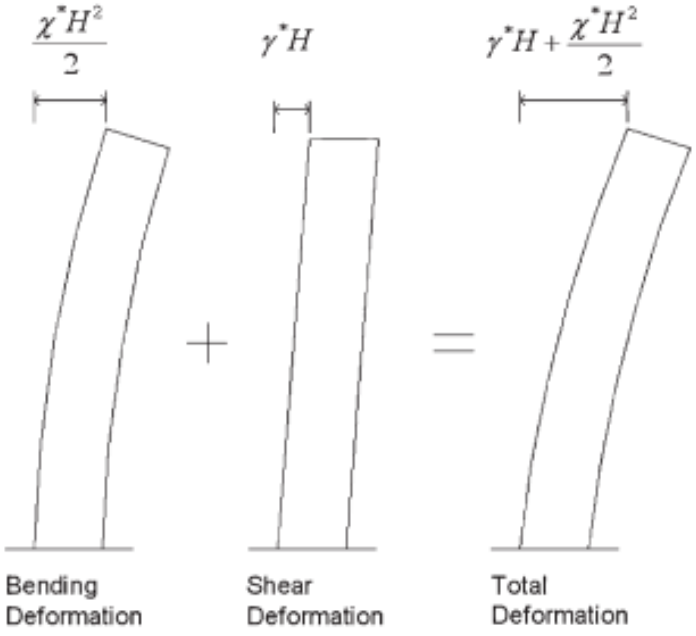
تغییر شکل ناشی از خمش طره : به این پدیده رانش وتری نیز می گویند ، قاب برای مقابله با لنگر واژگونی به صورت طره ای قائم عمل می کند و ۲۰ درصد کل تغییر شکلهای سازه بدین شکل صورت می گیرد و بواسطه تغیر شکلهای محوری براقر تغییر مکان جانبی ستونها کوتاه یا دراز می شوند

تغییر شکلهای ناشی از خمش تیرها و ستونها: این ژدیده به تأخیر برشی مرسوم است ، نیروهای برشی افقی و قائم که به ترتیب به ستونها و تیرها وارد می شوند منجربه لنگرخمشی می شوند با خم شدن اعضای قاب تغییر شکل می دهد که ۸۰ درصد تغییر شکلهای کل سازه که ۶۵ درصد ناضی از خمش تیرها و ۱۵ درصد ناشی از خمش ستونها است .تغییر شکل مل و واقعی سازه ترکیب ۲ تغییر شکل فوق الذکر است.

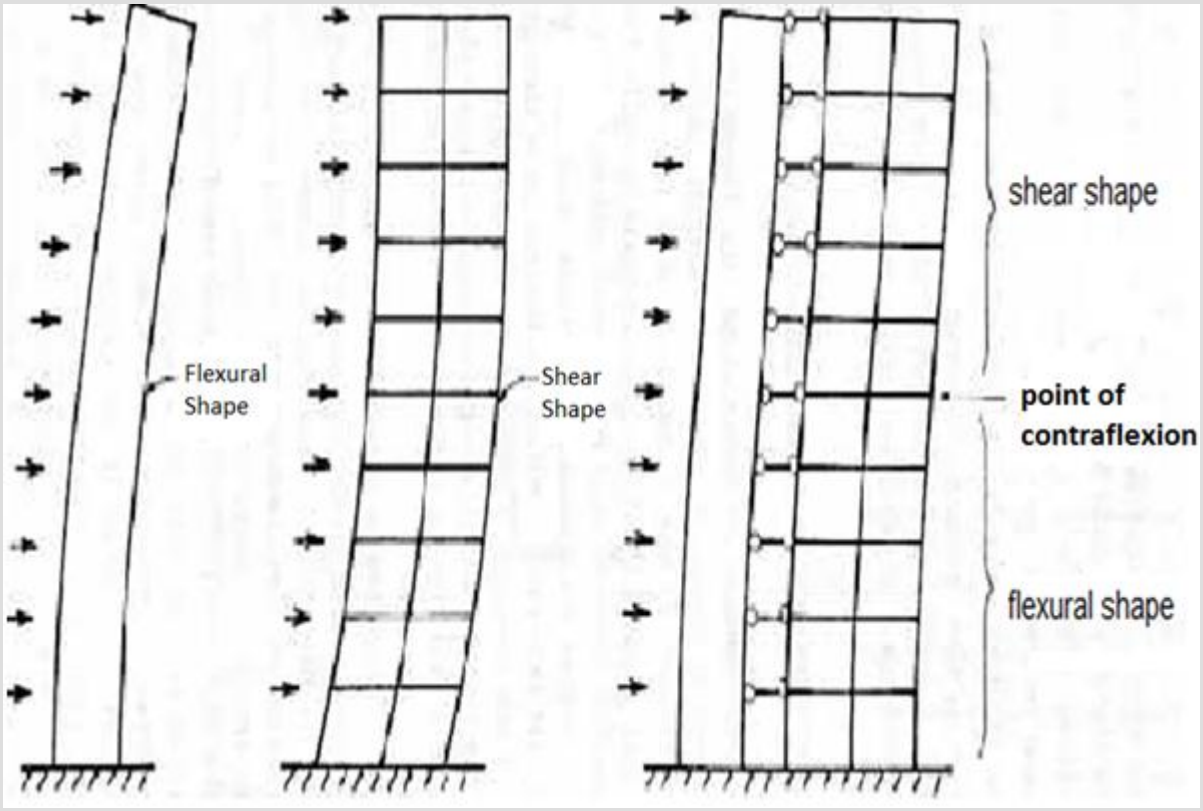
- سازه های داخلی
- سیستم های اندرکنش
- سیستم مهار بازویی
- سازه های خارجی
- سیستم های لوله ای
- سیستم با شبکه بندی قطری

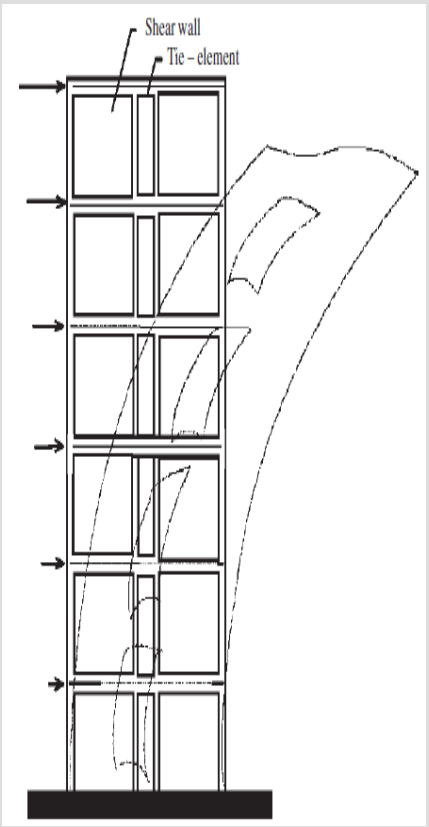


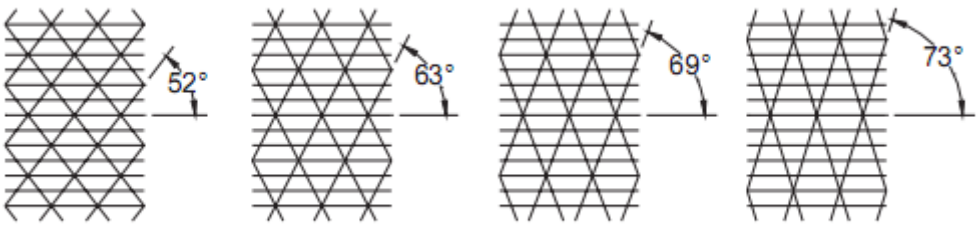
Characteristic deformations: (a) shear; (b) full-height bending of the framework as a whole; (c) full-height bending of the individual columns



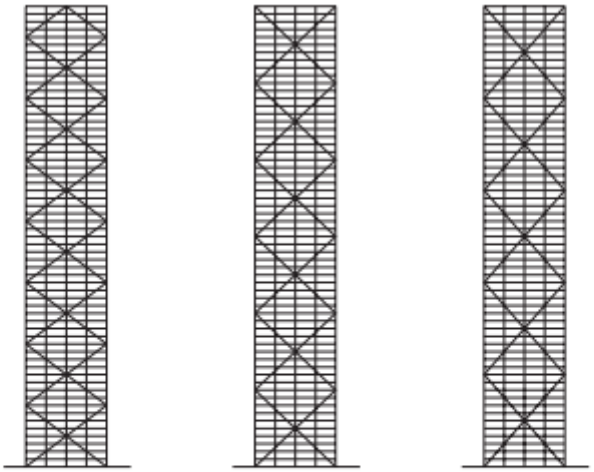
Uniform bending and shear deformation of tall buildings


Flexural Shape
Shear Shape
shear shape
point of contraflexion
flexural shape


Shear wall
Tie – element

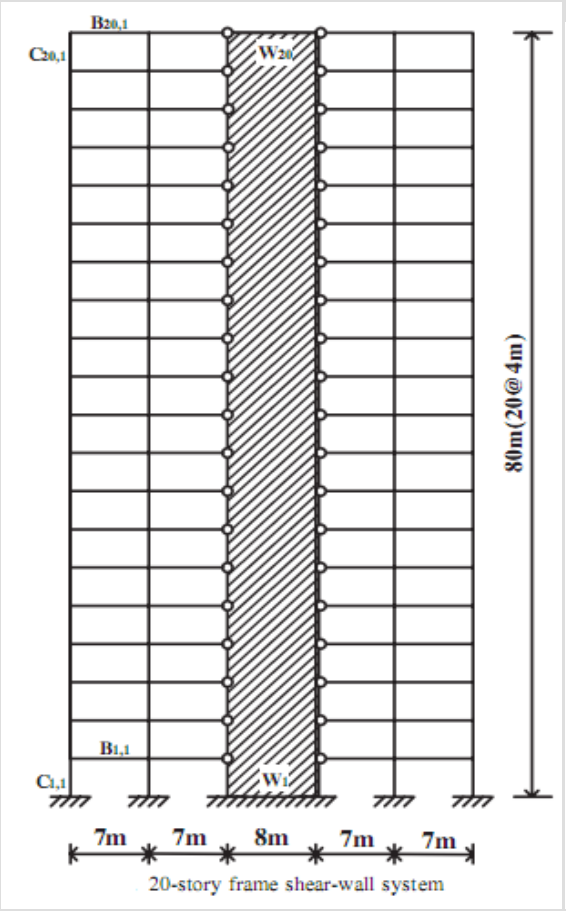


Diagrid structures with various diagonal angles

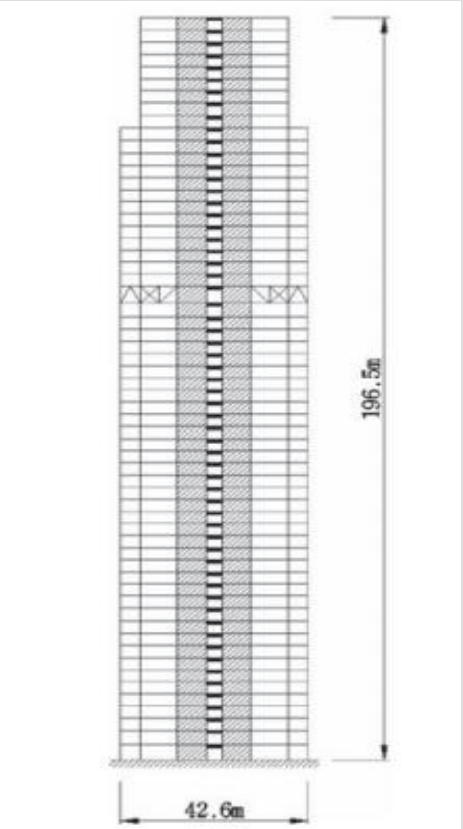


60-storey braced tubes with various module heights of 8, 10 and 12 storeys

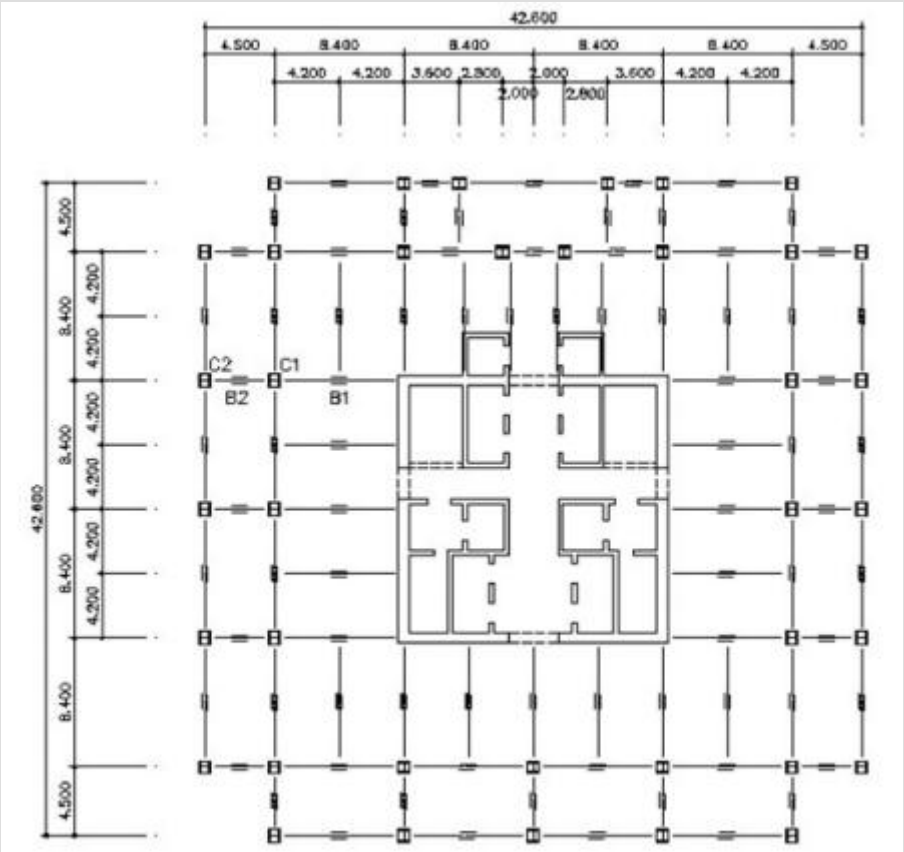
- قابهای محیطی
- قابهای محیطی دسته بندی شده
- قابهای محیطی مهاربندی شده



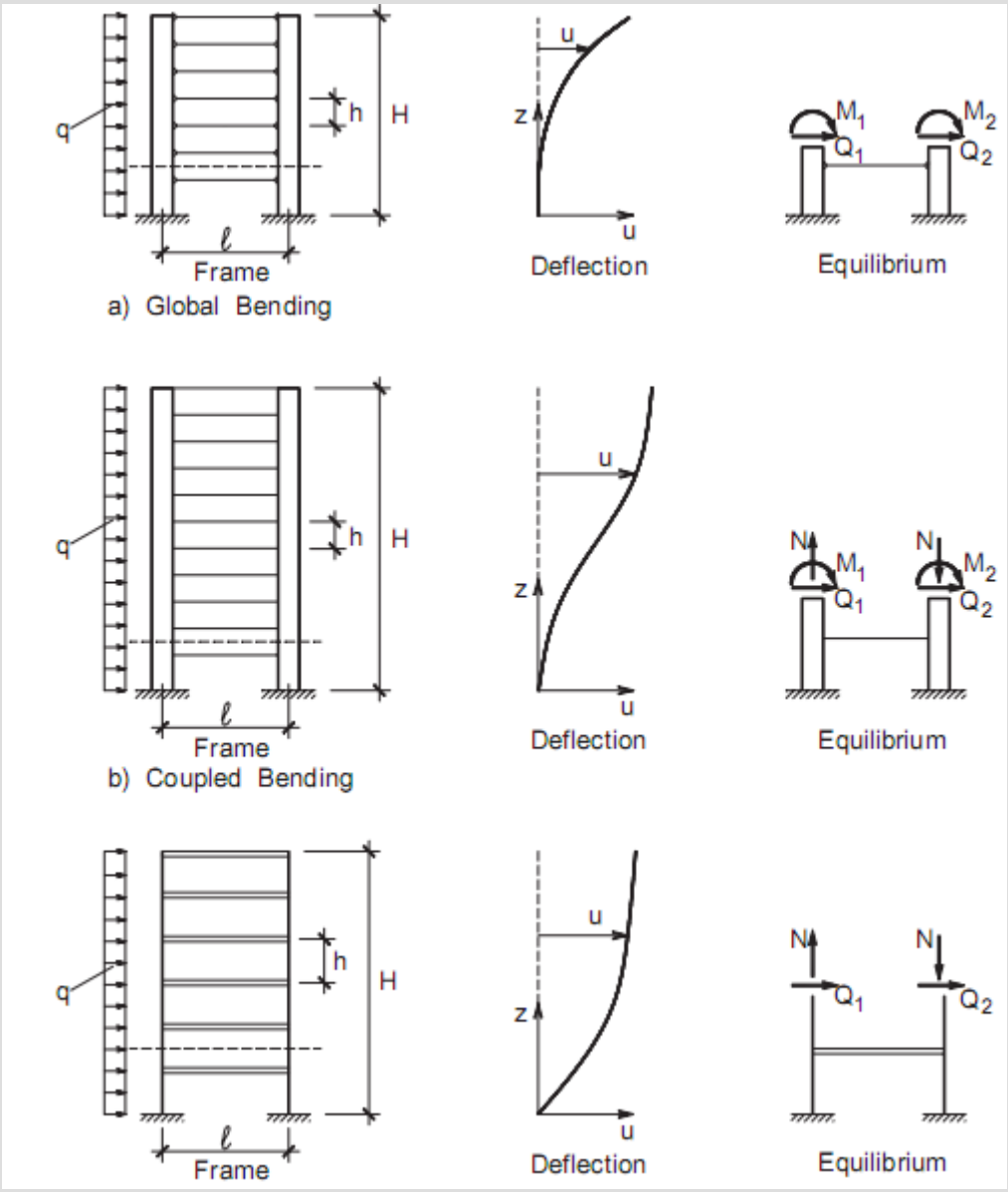
20-story frame shear-wall system



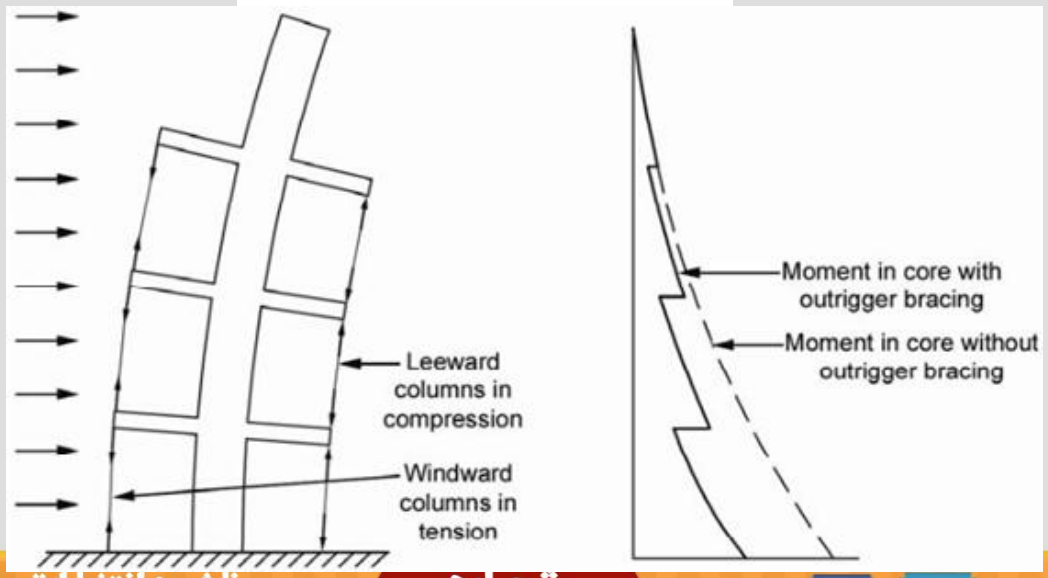
Section view of a 60-story example

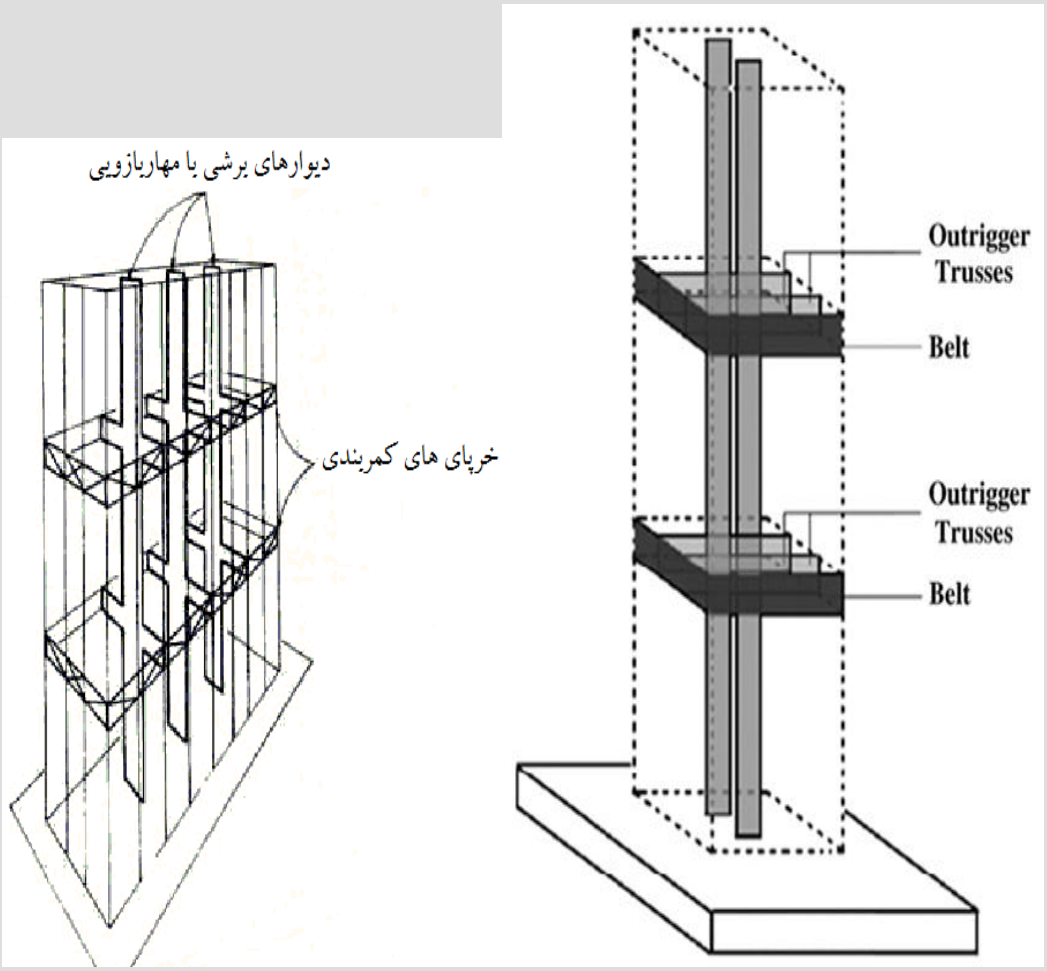


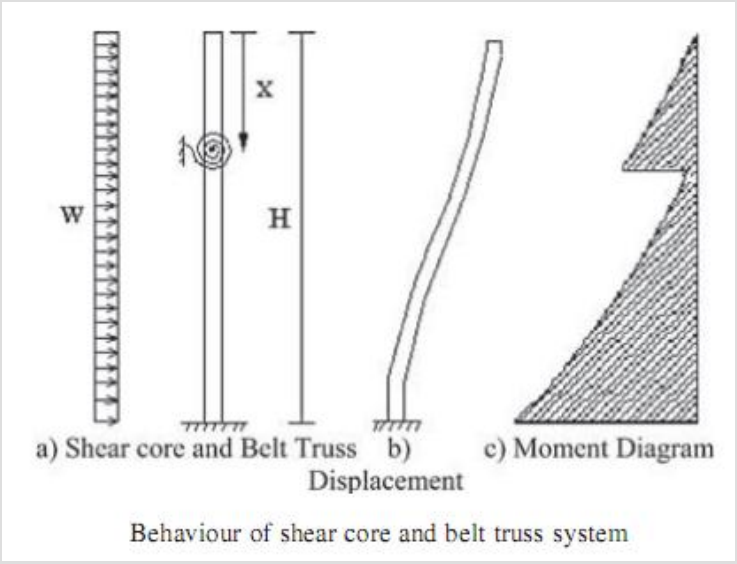
Typical floor plan for a 60-story example



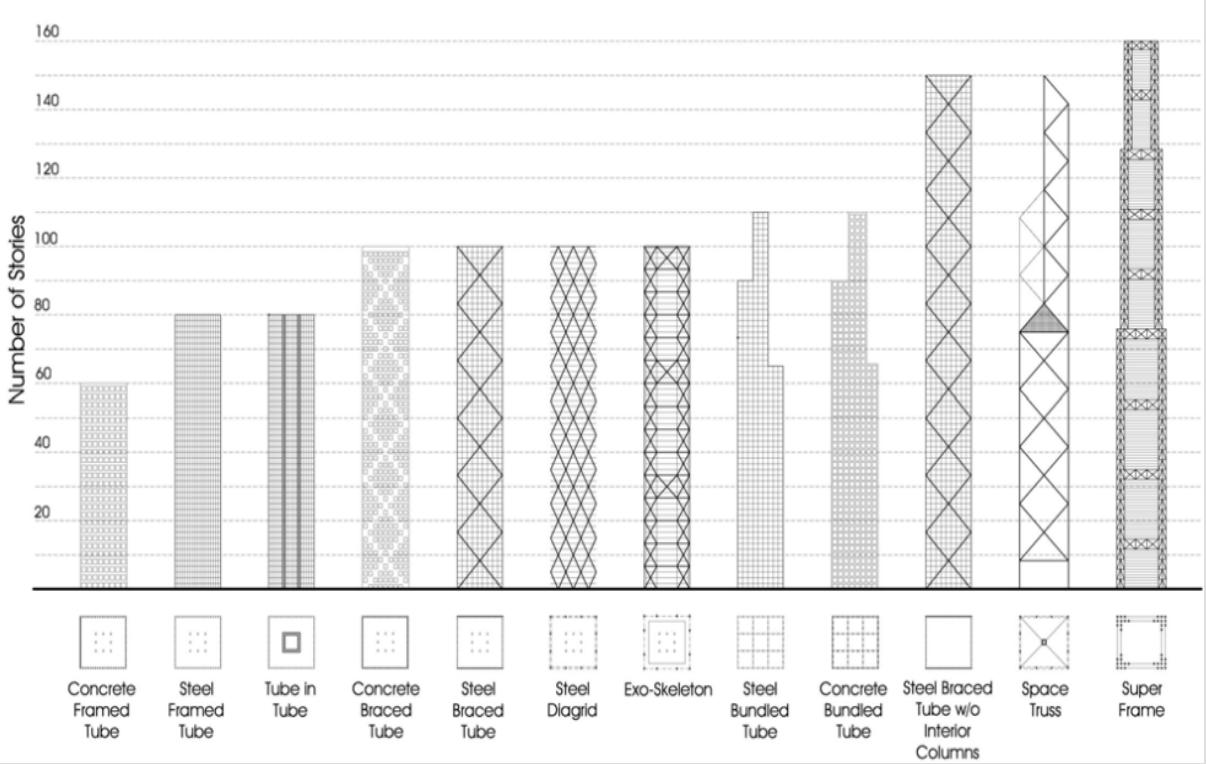
Frame deflections and columns bending







Behaviour of shear core and belt truss system



لوله قابی

لوله ای مهاربندی (Braced tube)

- افزایش صلبیت لوله
- عمل یکپارچه ستون های پیرامونی را در حمل بار ثقلی و بارهای افقی
- کاهش لنگی برش

لوله در لوله (Tube in Tube)

- اندرکنش هسته داخلی با لوله خارجی
- انتقال نیروها و کاهش اثر لنگی برش

لوله های دسته شده (Bundled tube)

- تقویت لوله قابی با دیافراگم های عرضی داخلی در هر دو جهت
- یکنواختی بیشتر تنش های قائم در قاب عرضی
- دسته بندی به هر شکلی و قطع در هر ترازی

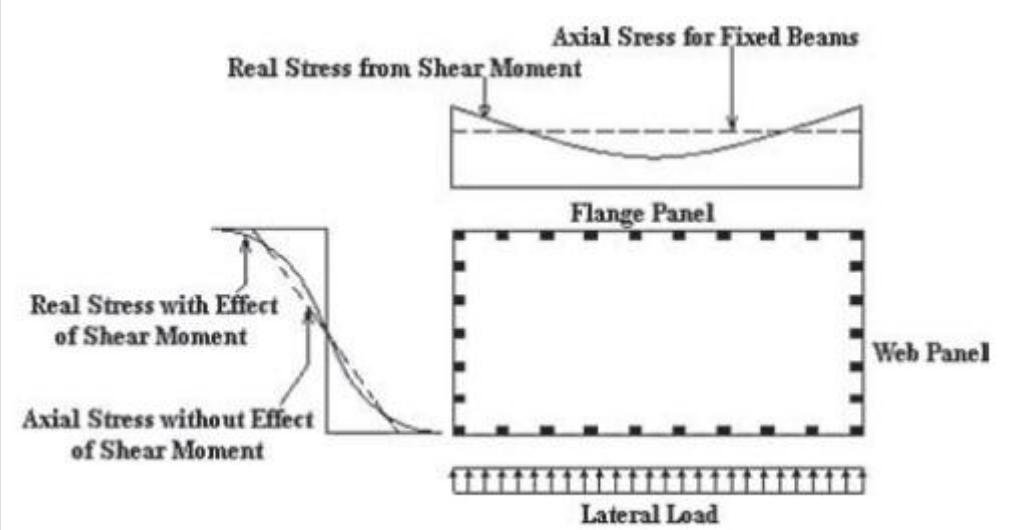
سیستم های با شبکه بندی قطری Diagrid Systems

I. تحمل برش از طریق نیروی محوری اعضای قطری

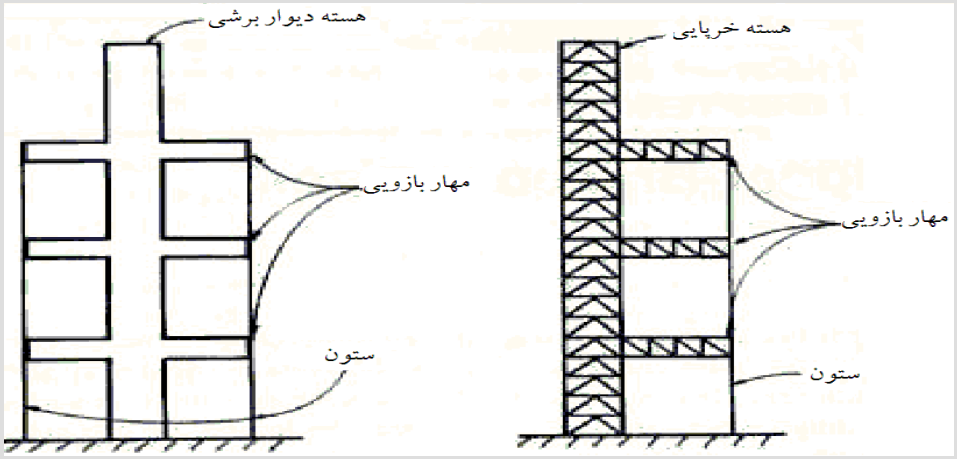
II. صلبیت خمشی و صلبیت برشی بالا

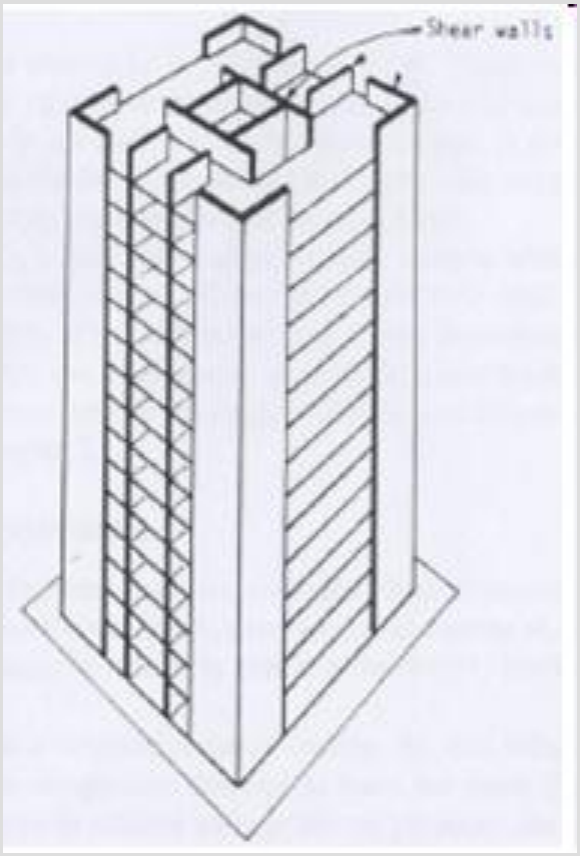
III. عمل بازتوزیع نیروها را پس از شکست برخی اعضا بدلیل نامعینی بالا

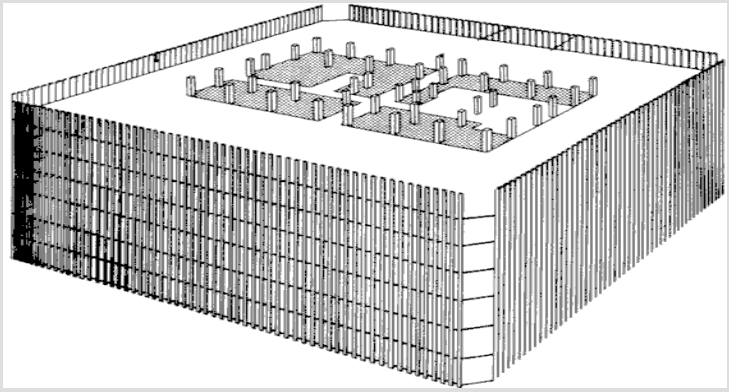
IV. حذف ستون های داخلی و خارجی

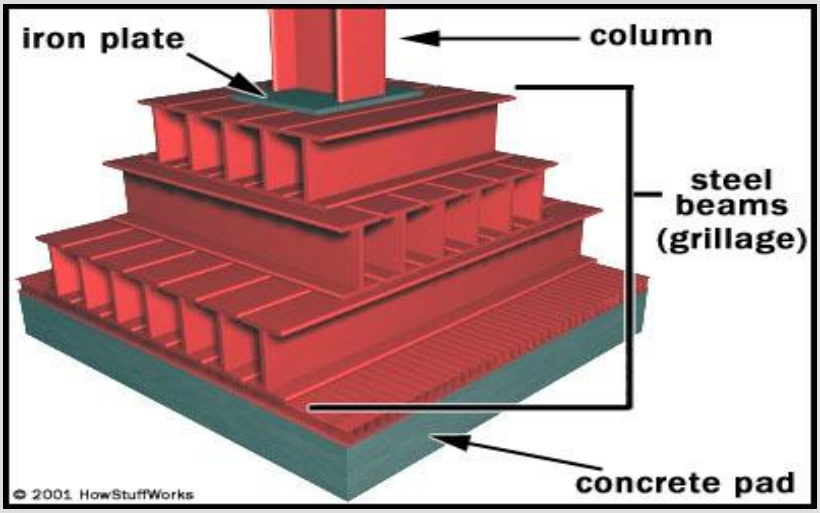


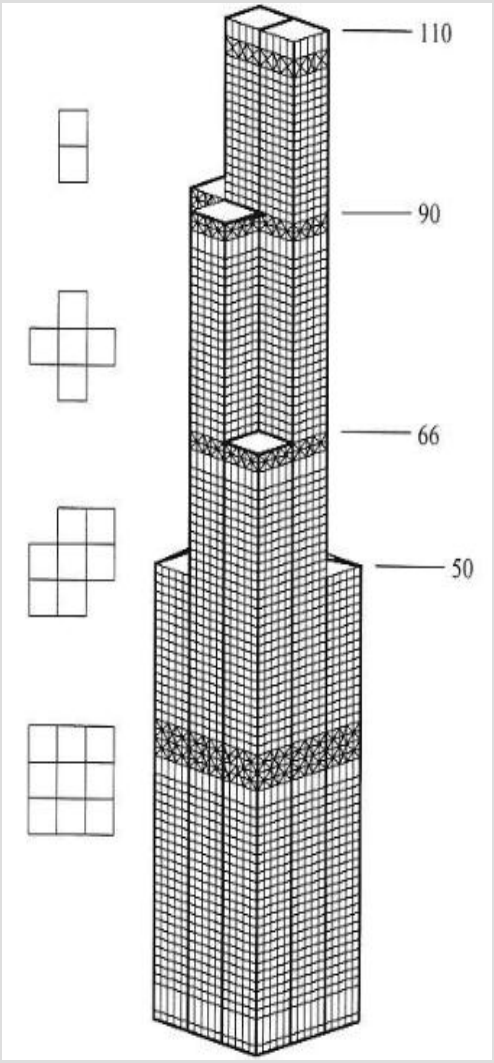
Axial stress distribution in framed tube

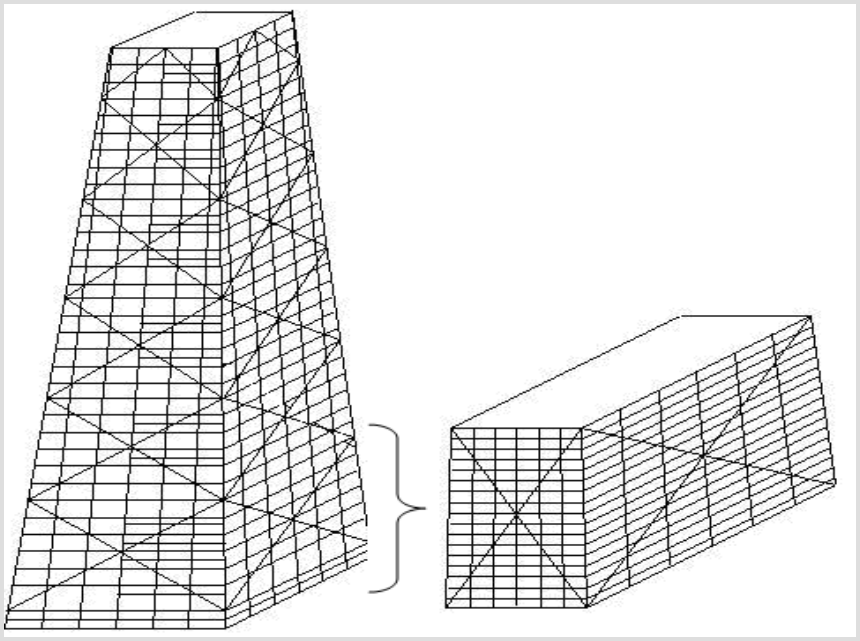



Shear walls




iron plate
column
steel beams (grillage)
concrete pad
© 2001 HowStuffWorks


110
90
66
50

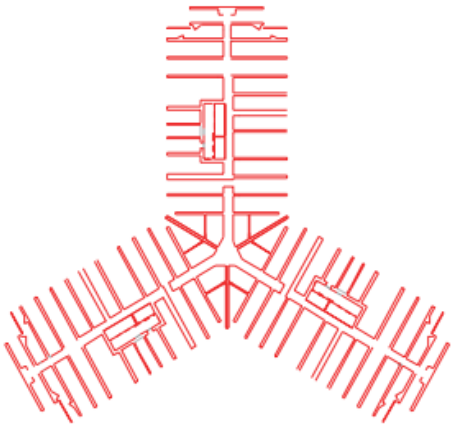


WORLD'S TALLEST TOWERS
600 m
500 m
400 m
300 m
200 m
100 m
0 m
Taipei 101
508 m
Petronas Towers
452 m

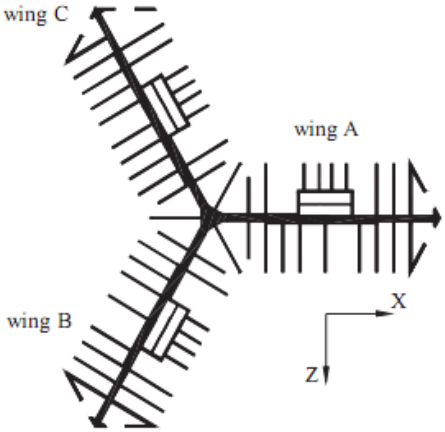
- ۸۲۸ متر ارتفاع
- ۲۰۰ طبقه
- بیش از هزار واحد آپارتمان
- ۴۹ طبقه اداری
- ٤ استخر
- یک کتابخانه مخصوص ساکنان برج
- علاوه بر این یک هتل با ۱٦۰ اتاق در طبقات پایینی برج با نام طراح مد ایتالیایی جورجیو آرمانی واقع شده است.

1. Local modification of deficient components
2. Removal or partial mitigation of existing irregularities
3. Global stiffening
4. Global strengthening
5. Reduction of mass
6. Seismic isolation
7. Installation of supplemental energy dissipation devices

Overview of Tehran Tower



(A) Plan of building in the basement floors including primary and secondary walls

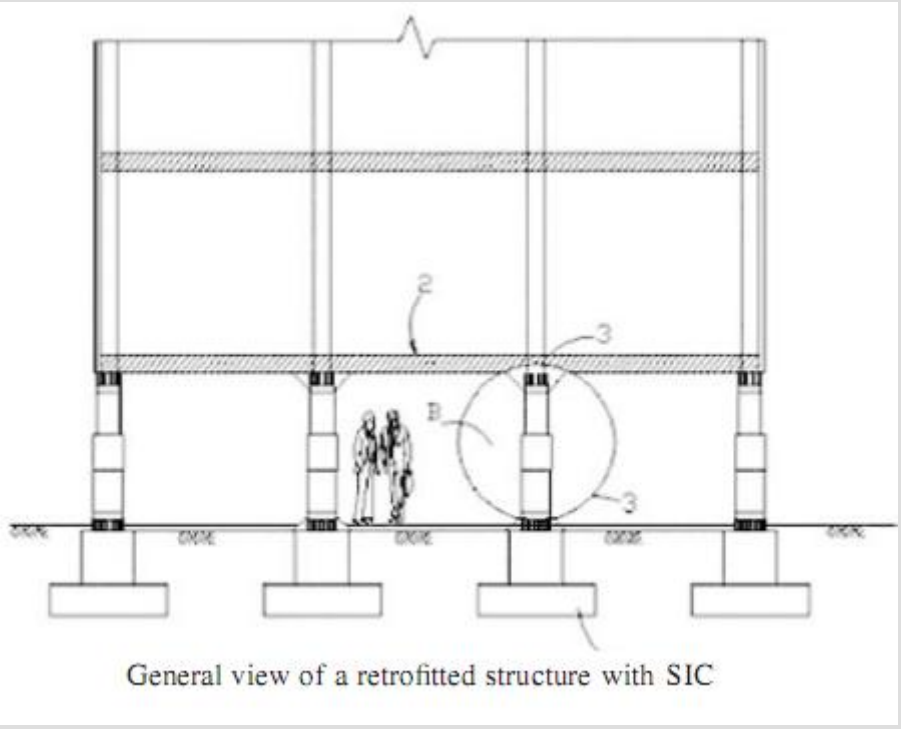


(B) Plan of building in the upper floors including primary and secondary walls

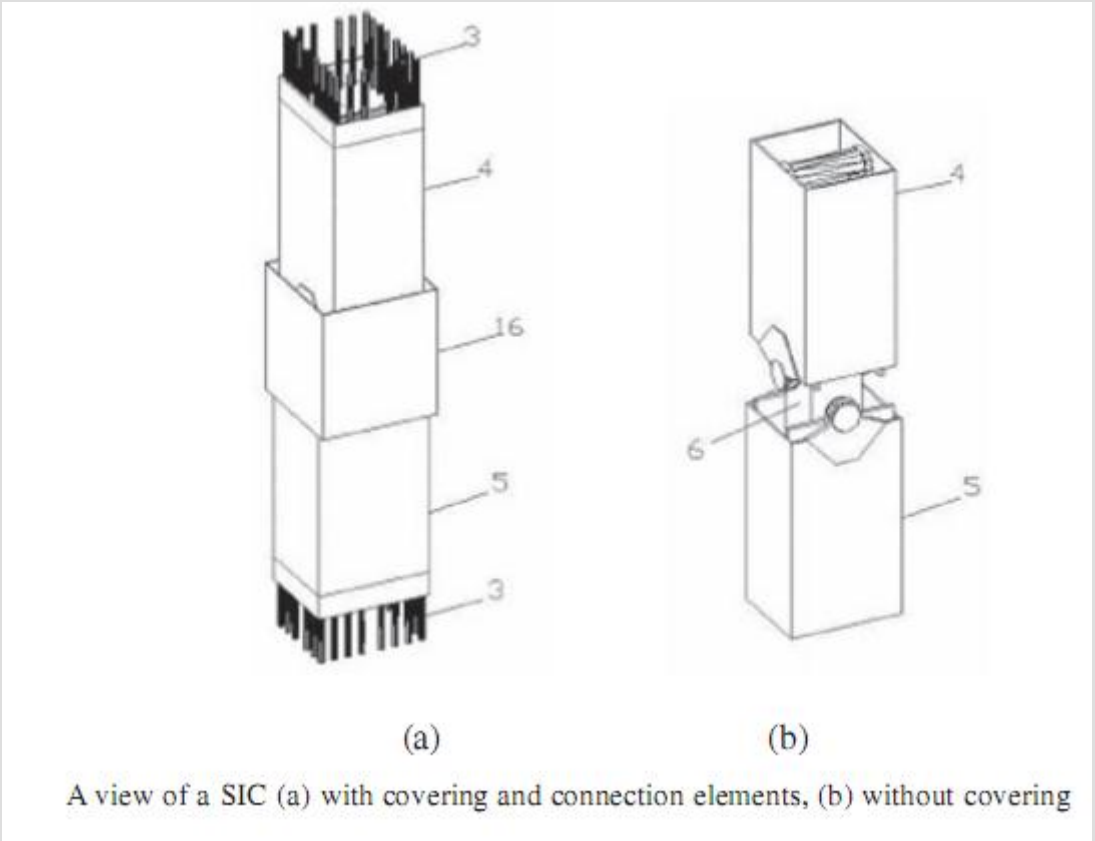
(C) The primary wall of wing-A at the 54th story

(D) The primary wall of wing-A at the ground floor

Plan of the structure

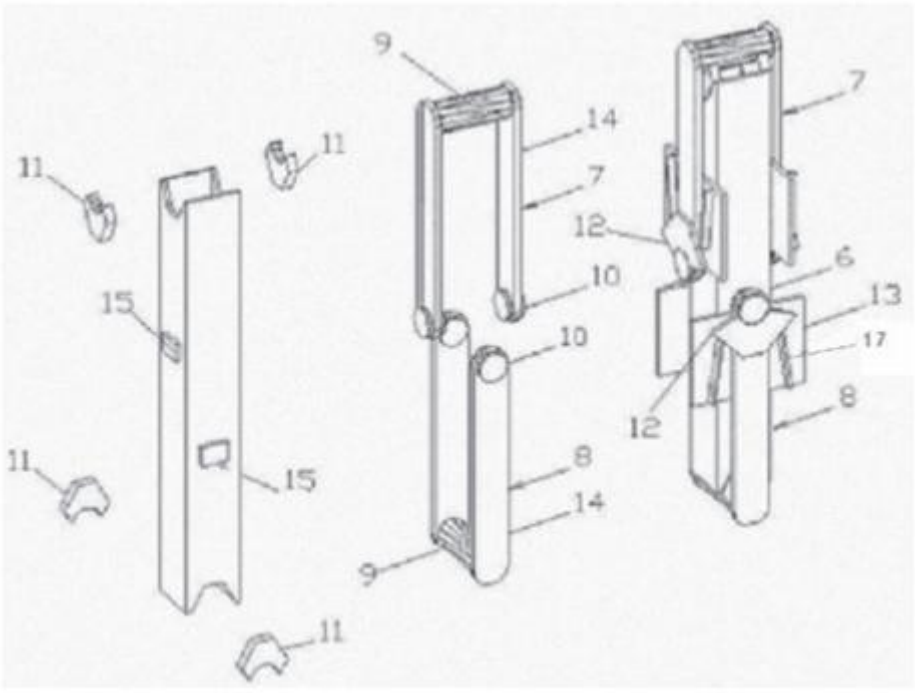


General view of a retrofitted structure with SIC

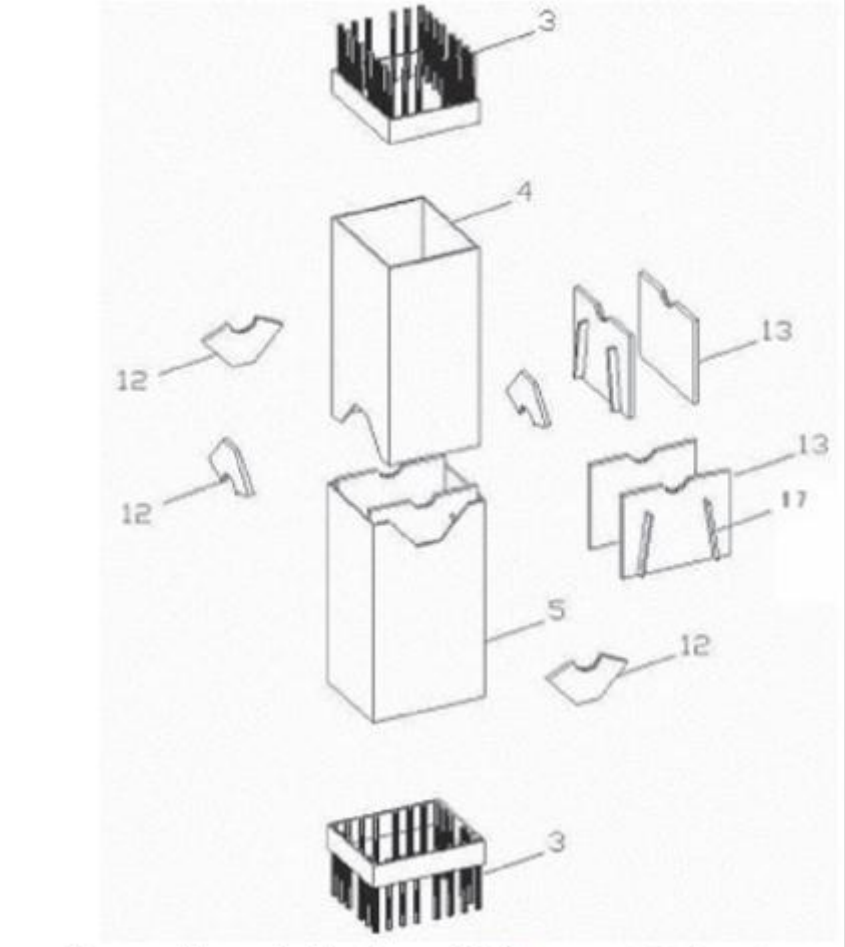


(a) (b)

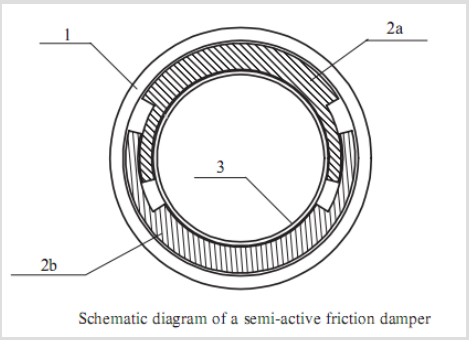
A view of a SIC (a) with covering and connection elements, (b) without covering



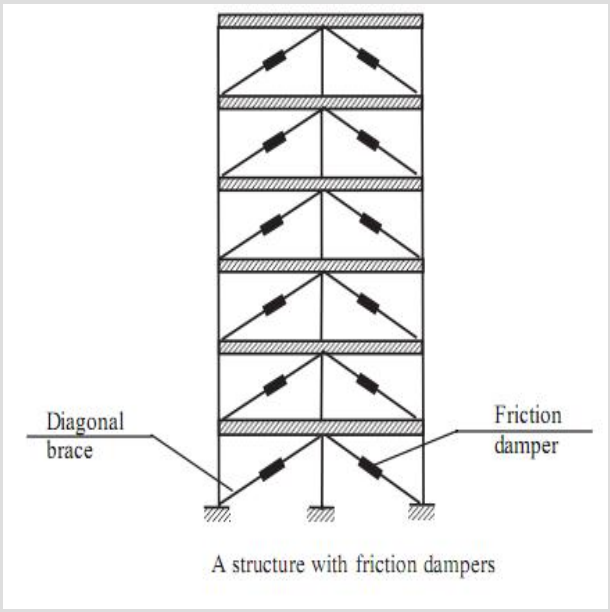
(a) (b) (c)



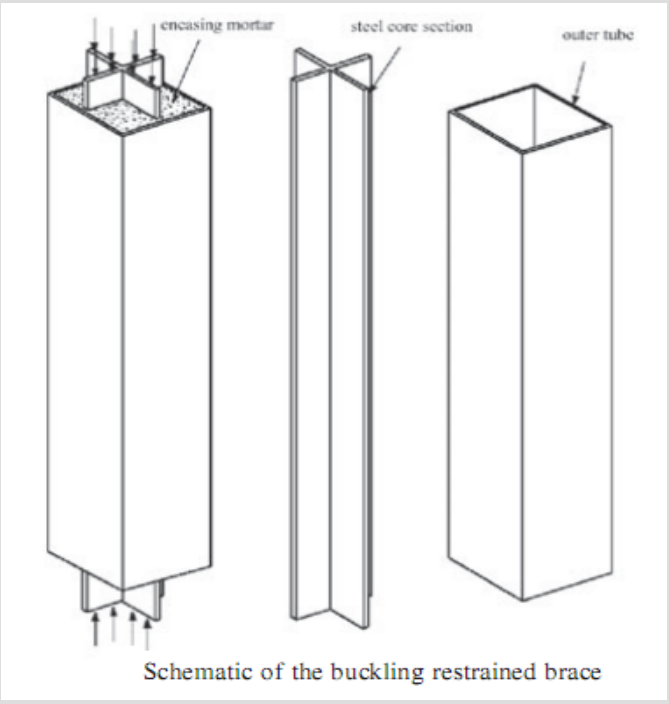
Upper and lower half-columns rigidly connected elements



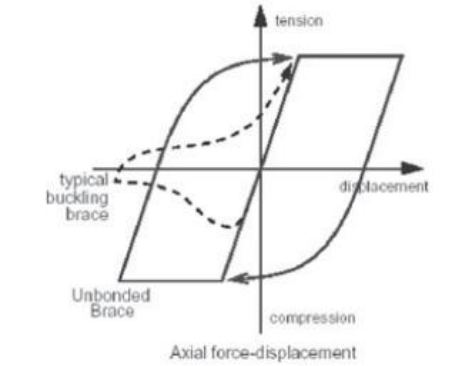
Schematic diagram of a semi-active friction damper



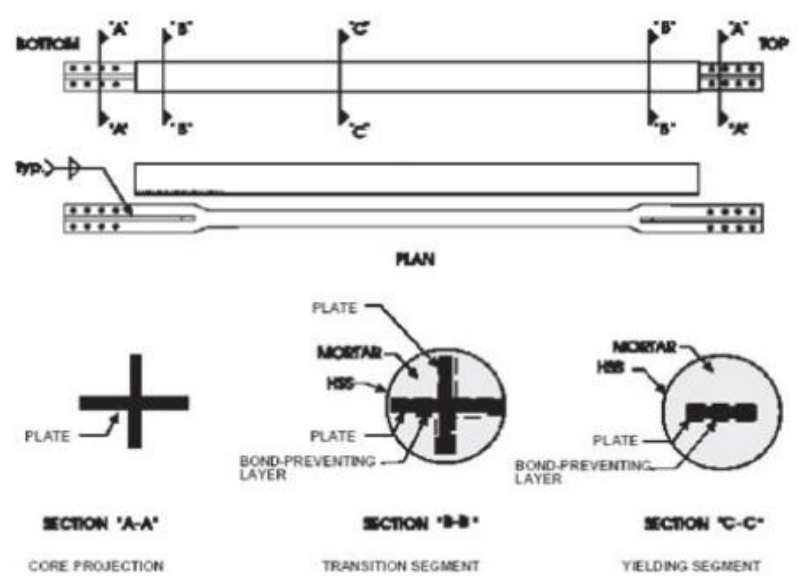
A structure with friction dampers



Schematic of the buckling restrained brace

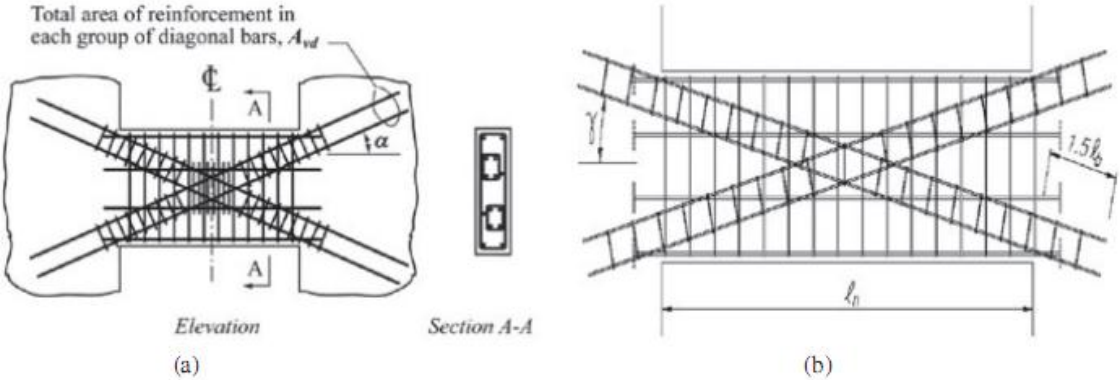


Behavior of OB and BRBF (Field and Ko, 2004)

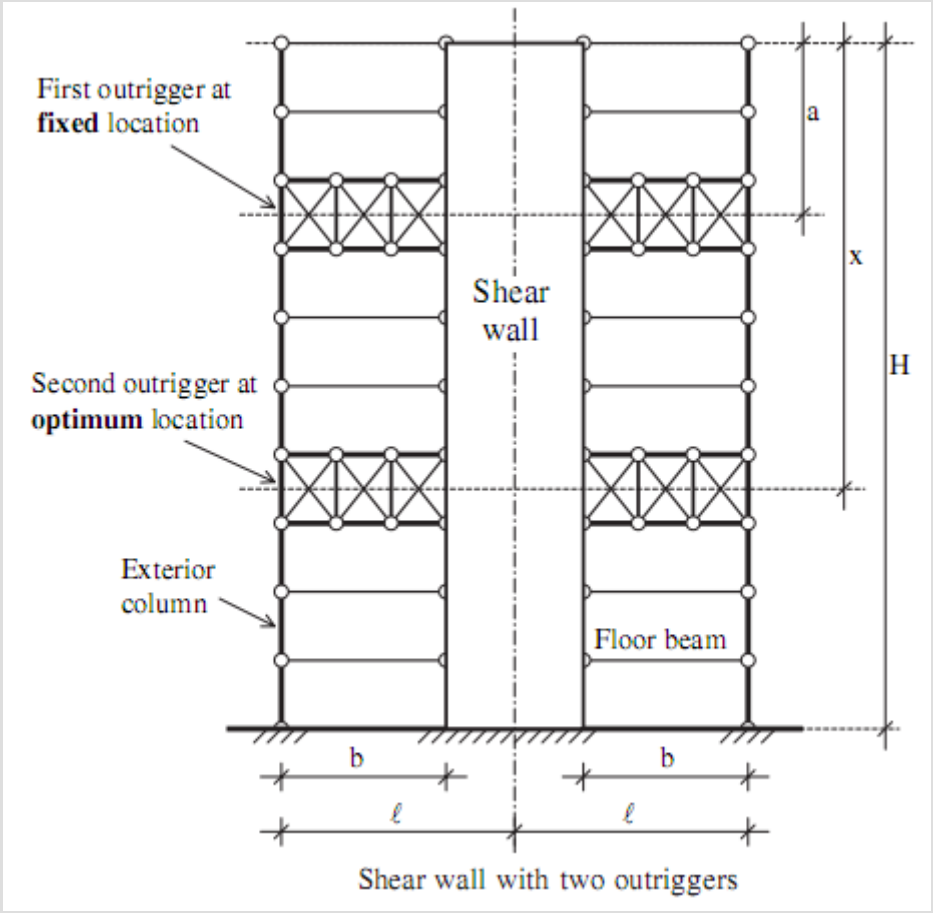


Details of a buckling restrained brace

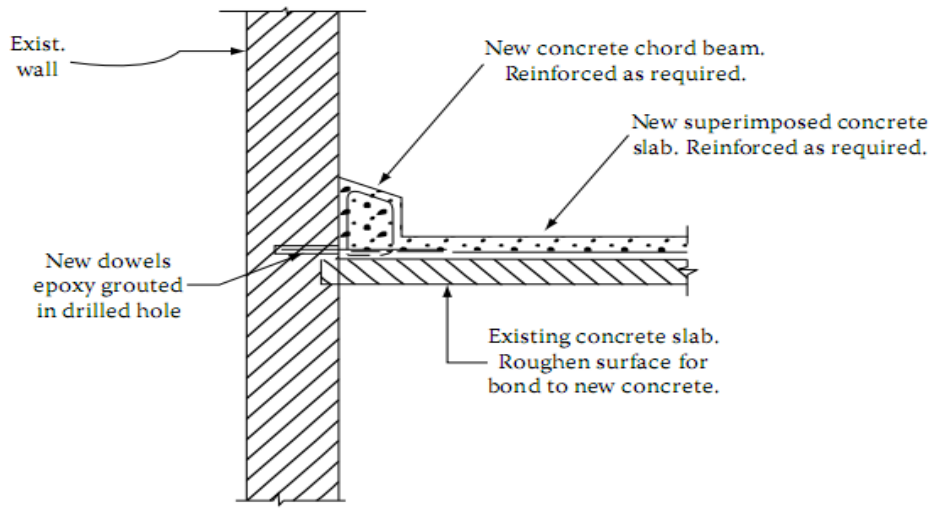
استفاده لز بادبندهاي كمانش نا پذير BRB



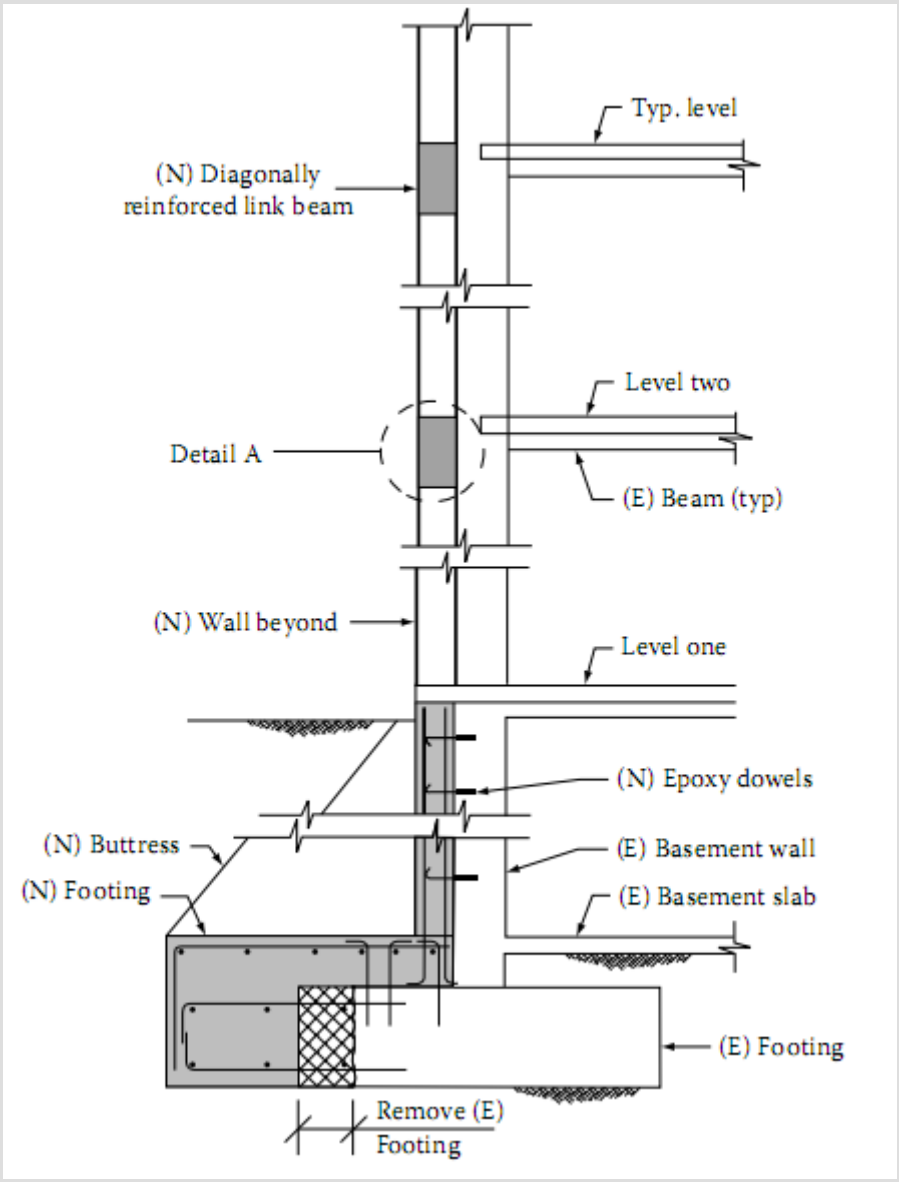
Reinforcement configuration of diagonally confined special reinforcement in deep coupling beams according to: (a) ACI 318-2002; (b) TSC-1998

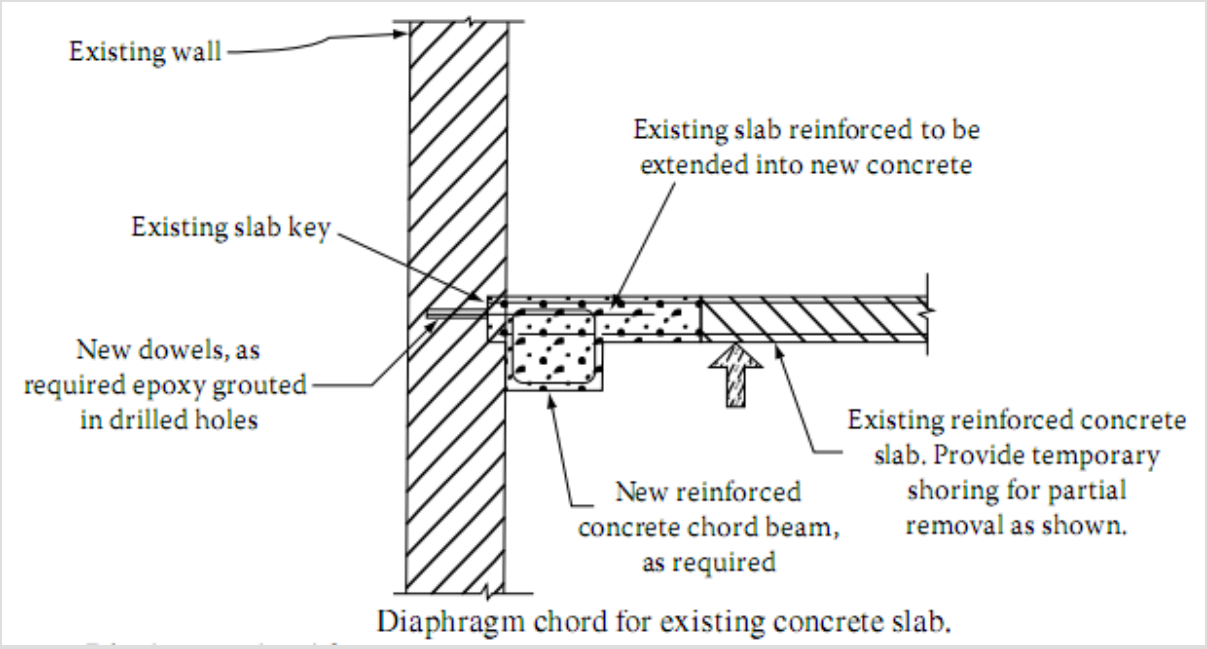


Shear wall with two outriggers

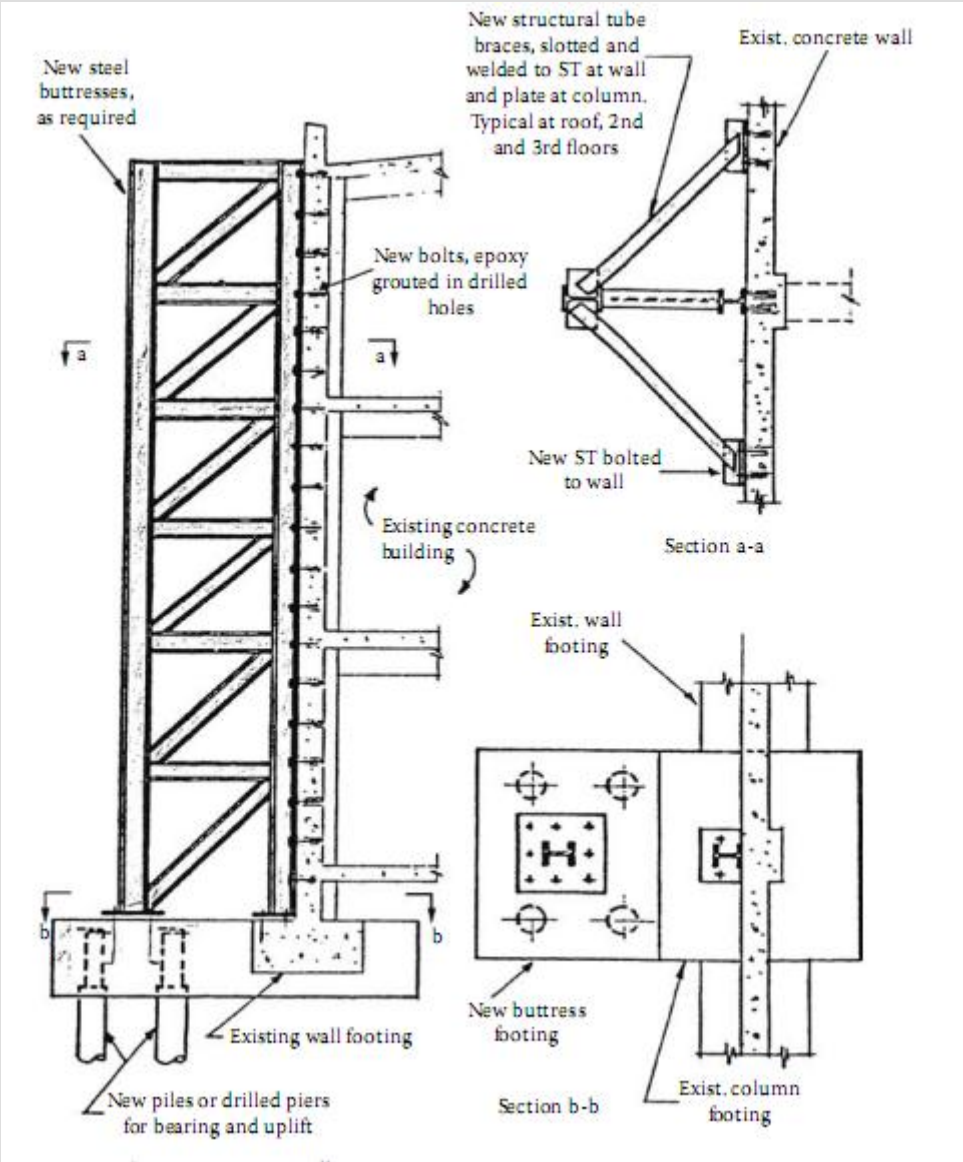


Superimposed diaphragm slab at an existing concrete wall

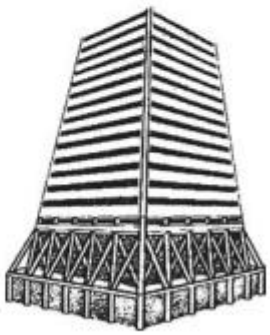




Diaphragm chord for existing concrete slab.


New steel buttresses, as required
New structural tube braces, slotted and welded to ST at wall and plate at column. Typical at roof, 2nd and 3rd floors
Exist. concrete wall
New bolts, epoxy grouted in drilled holes
a
a
New ST bolted to wall
Existing concrete building
Section a-a
Exist. wall footing
b
b
New buttress footing
Existing wall footing
New piles or drilled piers for bearing and uplift
Section b-b
Exist. column footing

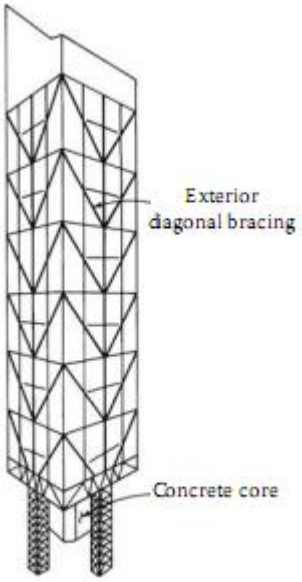
(a)



(b)

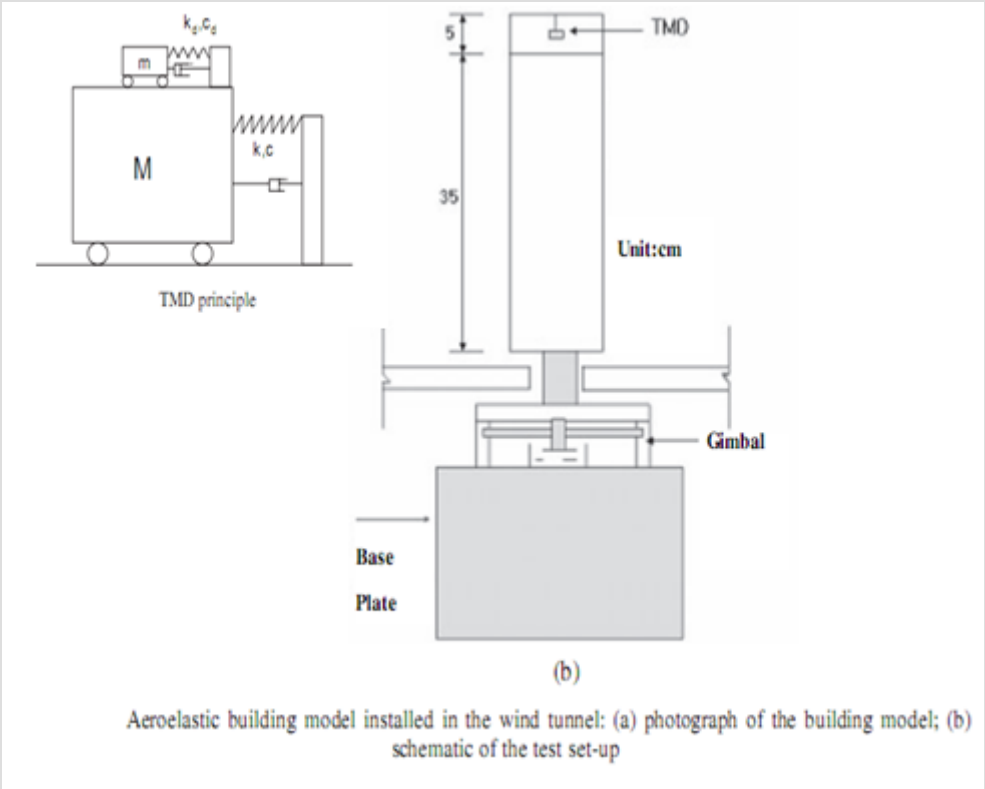
(a) Transamerica Tower, San Francisco, California. (b) Transamerica Tower, schematic.

(a)



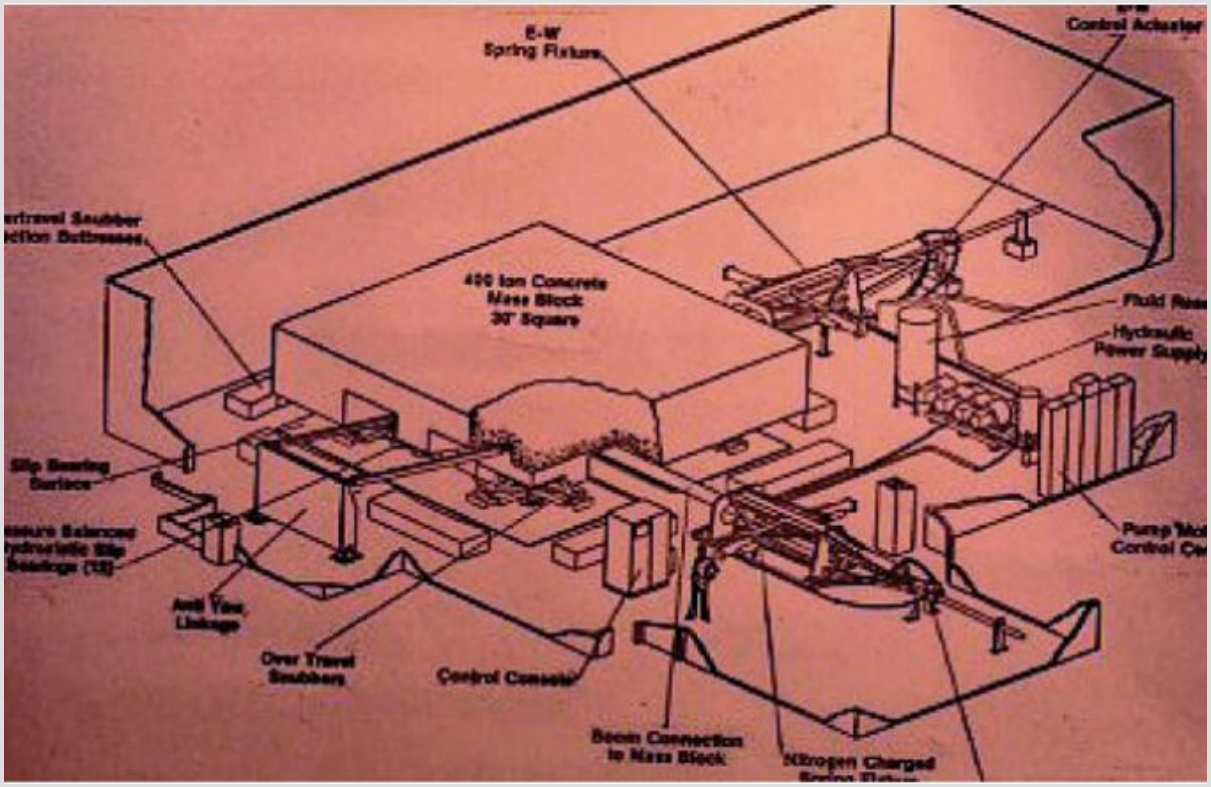
(b)

City Corp Building, New York City.

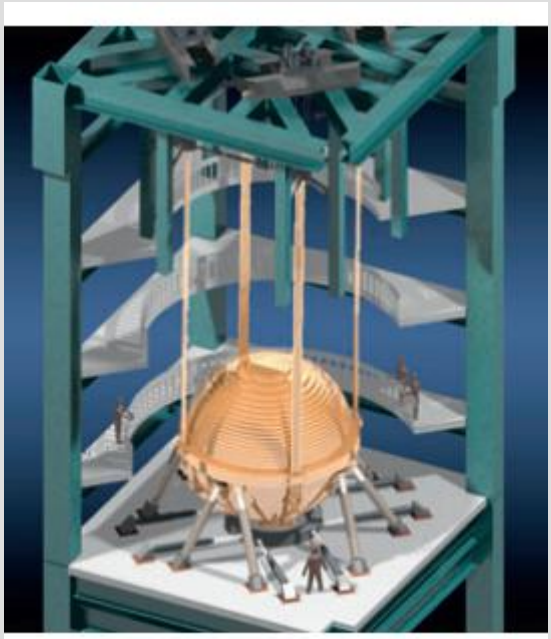


Aeroelastic building model installed in the wind tunnel: (a) photograph of the building model; (b) schematic of the test set-up

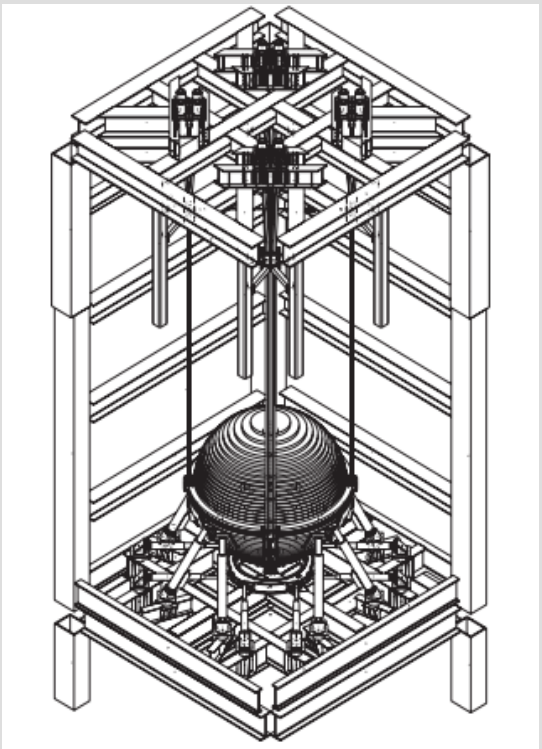
سسیتم میراگر جرم متوازن TMD



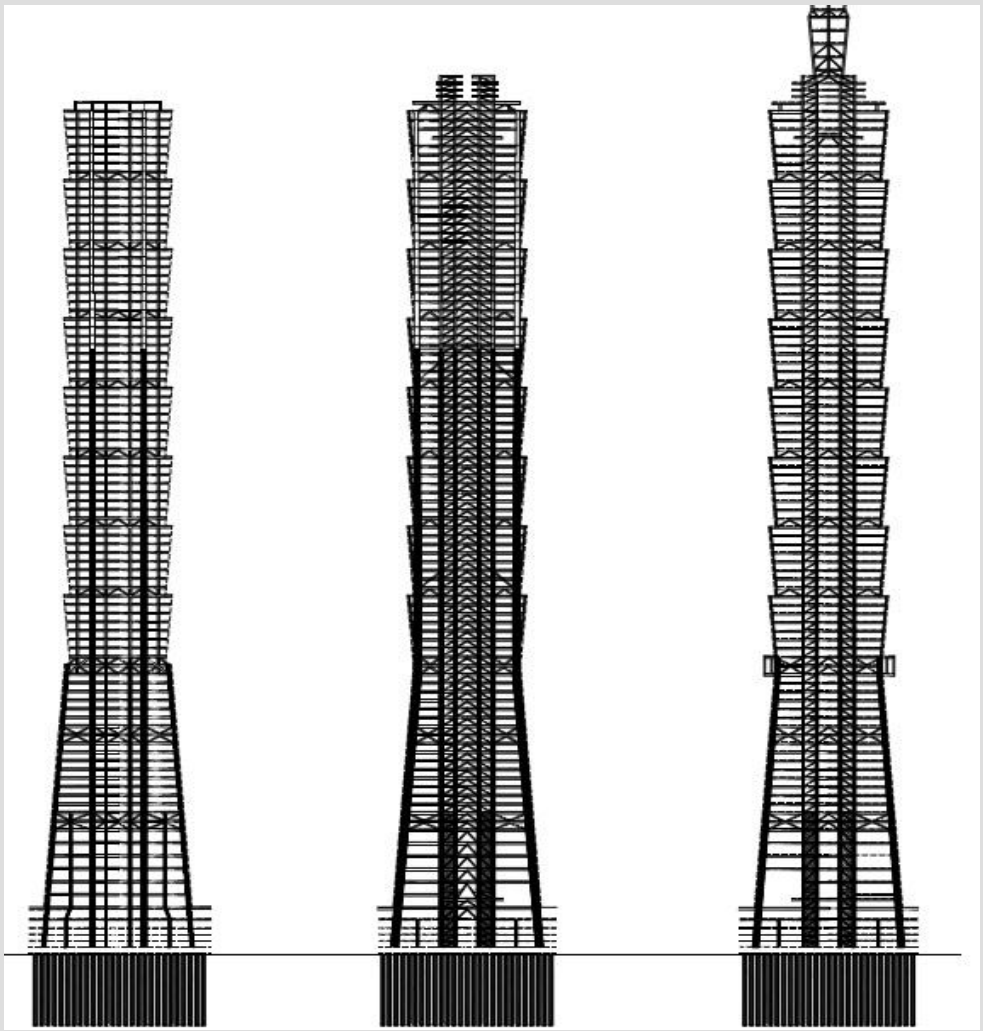
Tuned mass damper schematic, Citicorp Center. Image courtesy MTS Corporation

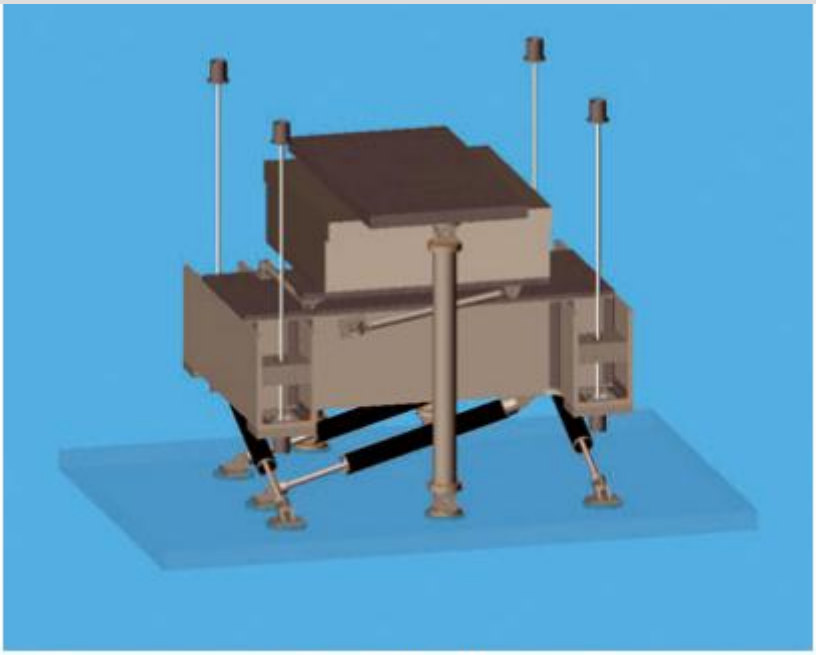


Taipei 101 TMD as an attraction

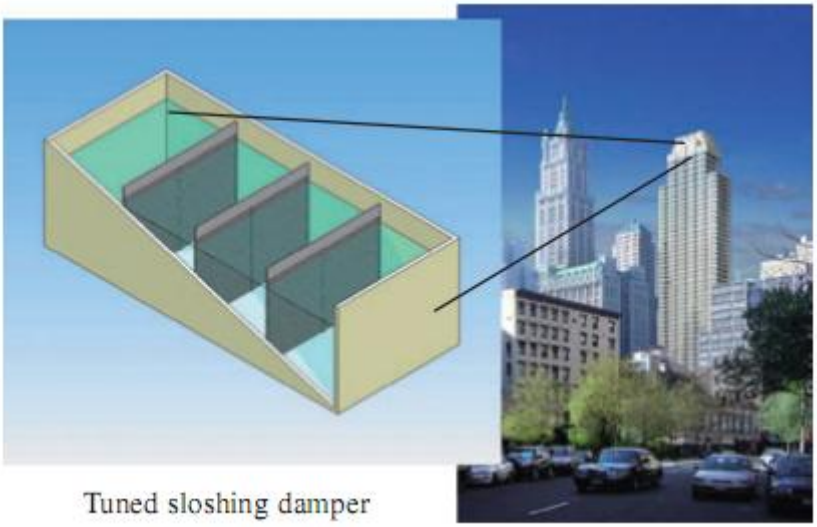


Schematic of Taipei 101 Simple Pendulum TMD

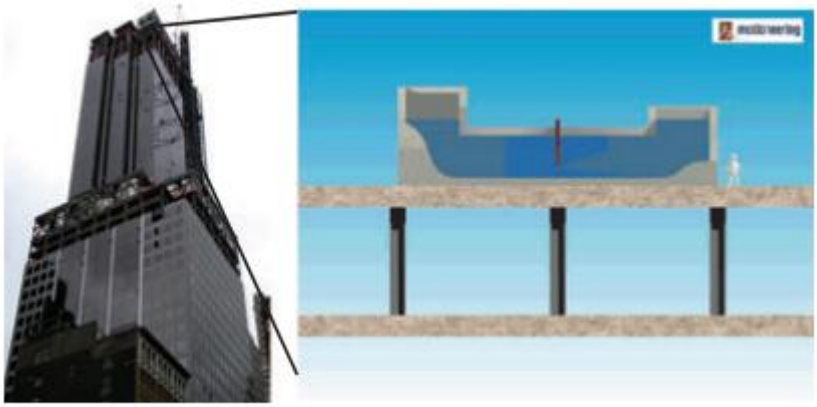




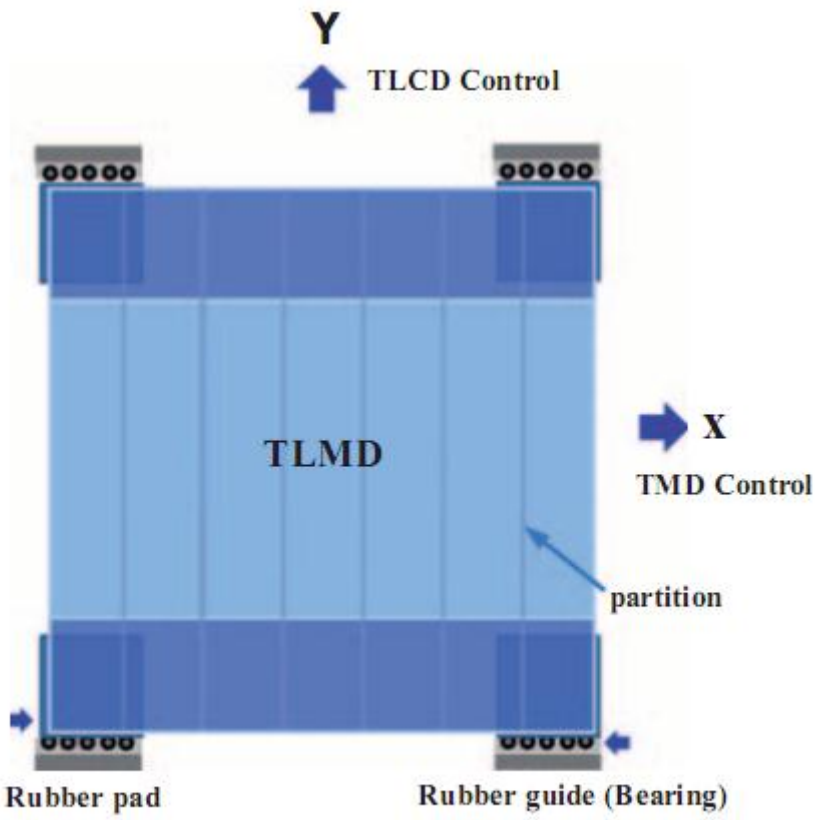
Compact compound pendulum TMD, Bloomberg Tower, New York



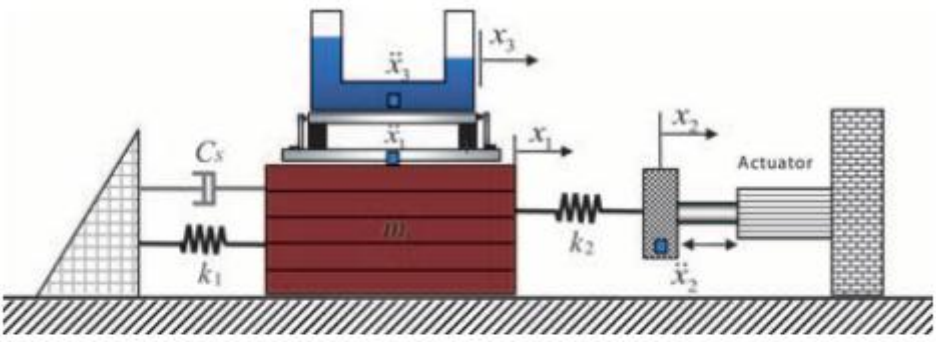
Tuned sloshing damper



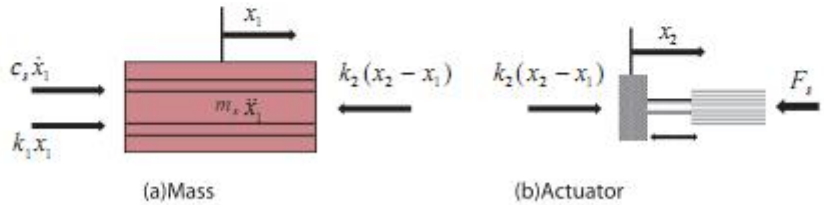
Tuned liquid column damper, Random House, New York



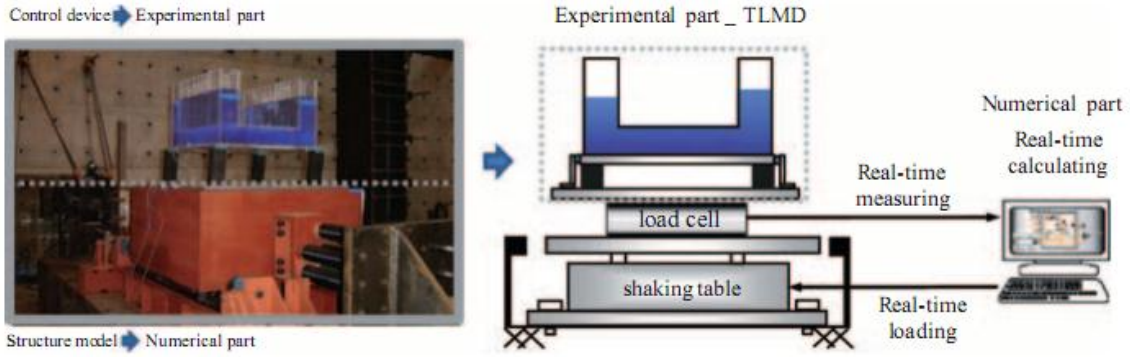
Concept of a TLMD



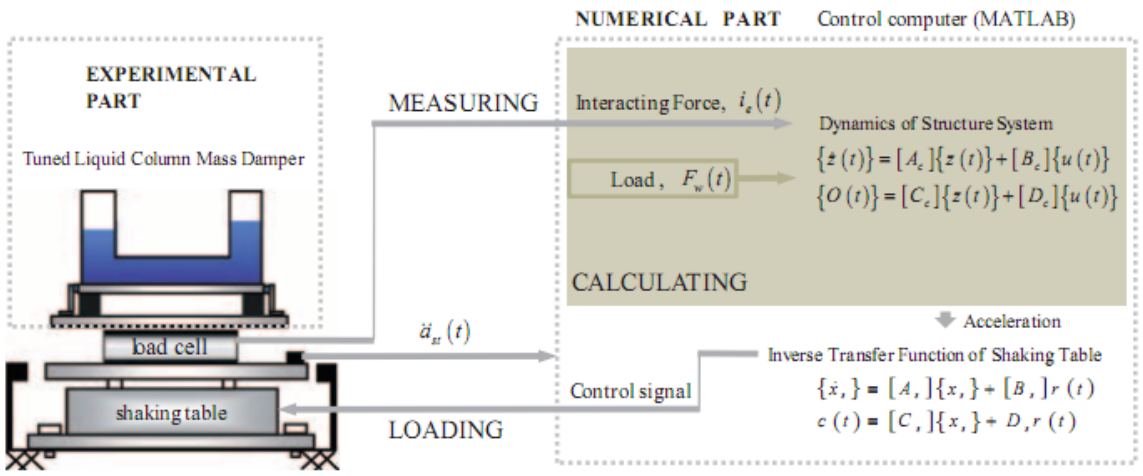
Conceptual view of experimental set-up



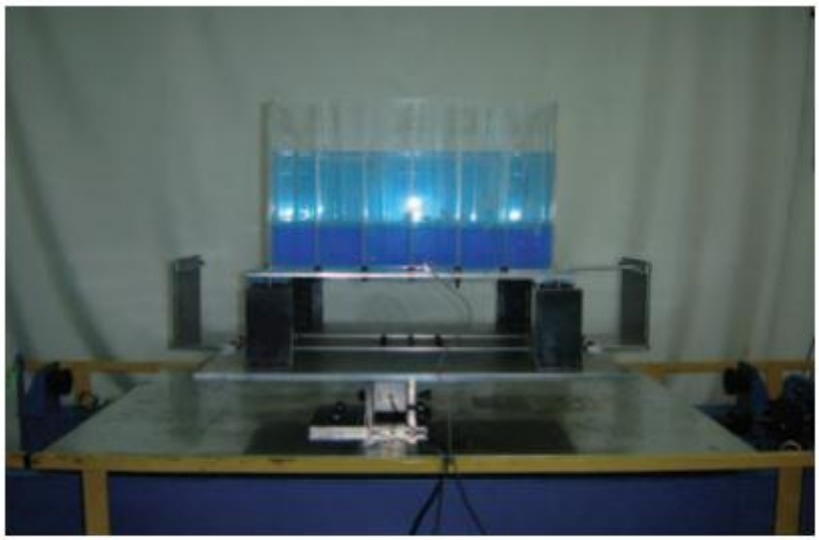
Free-body diagram of a building model. (a) Mass. (b) Actuator



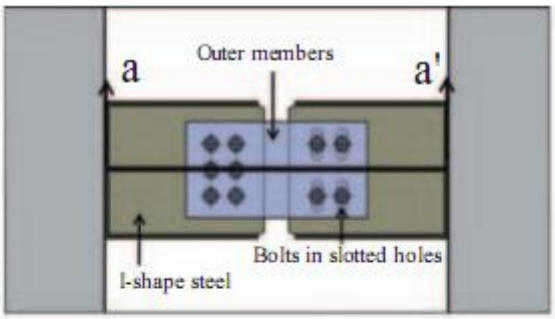
Conceptual view of the real-time hybrid shaking table testing



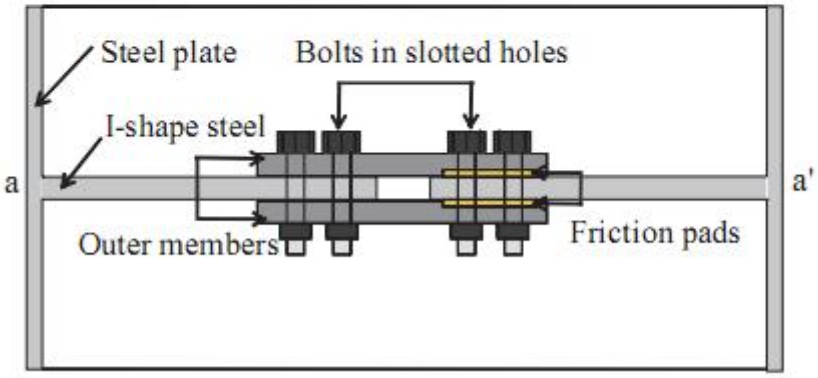
Design of the controller for the real-time hybrid shaking table testing



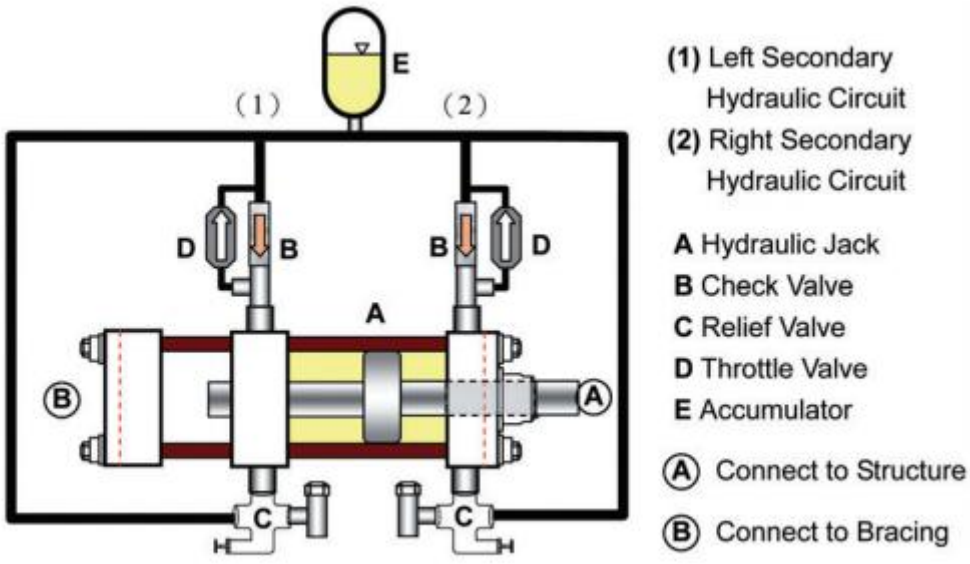
Photograph of the real-time hybrid shaking table testing



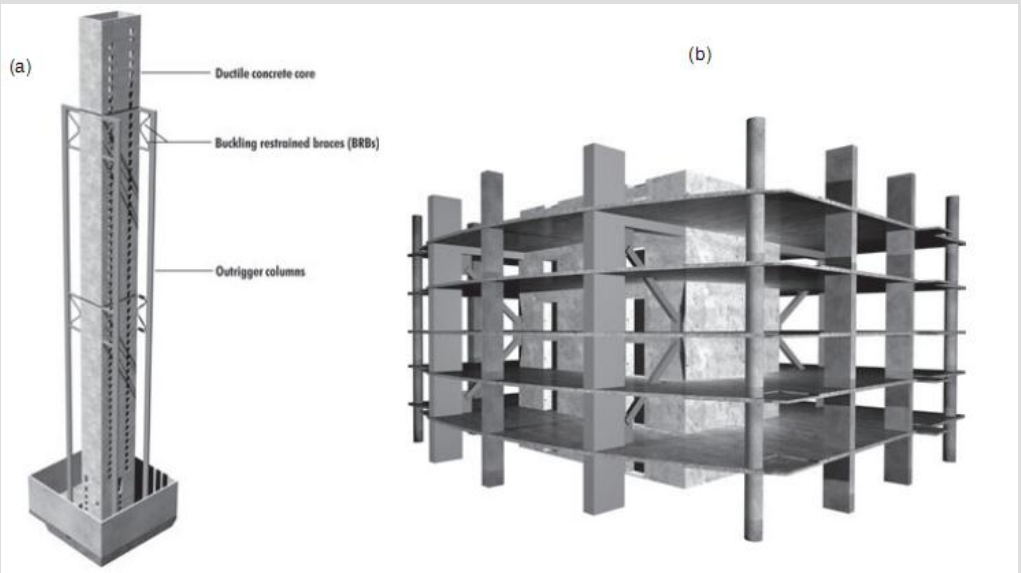
(a)



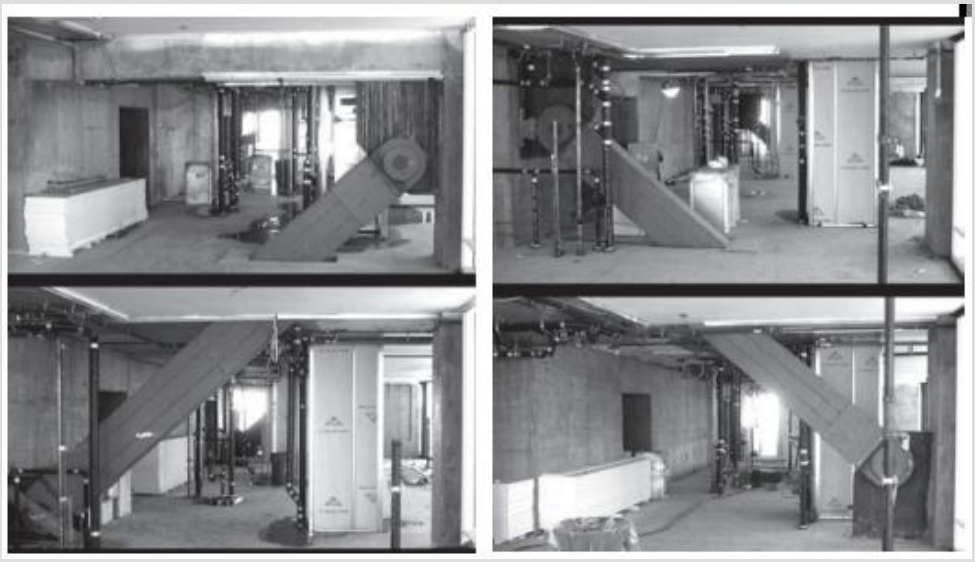
(b)

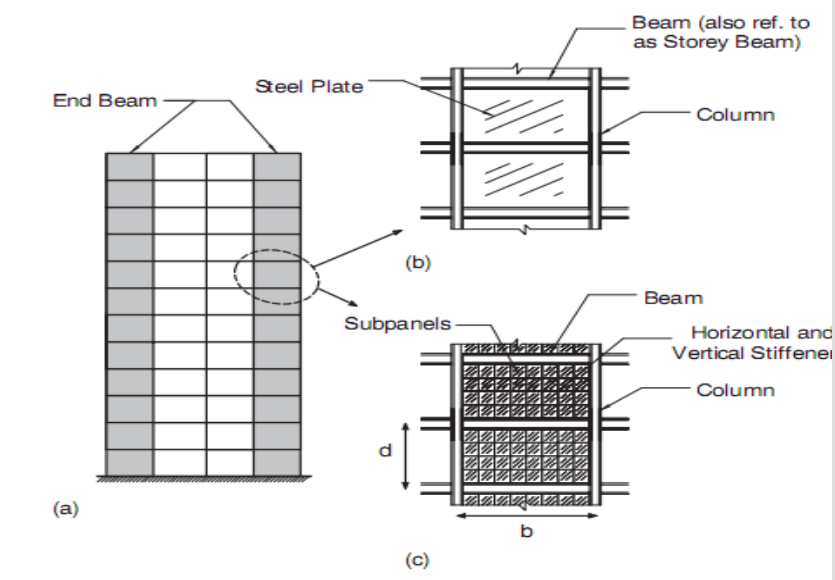


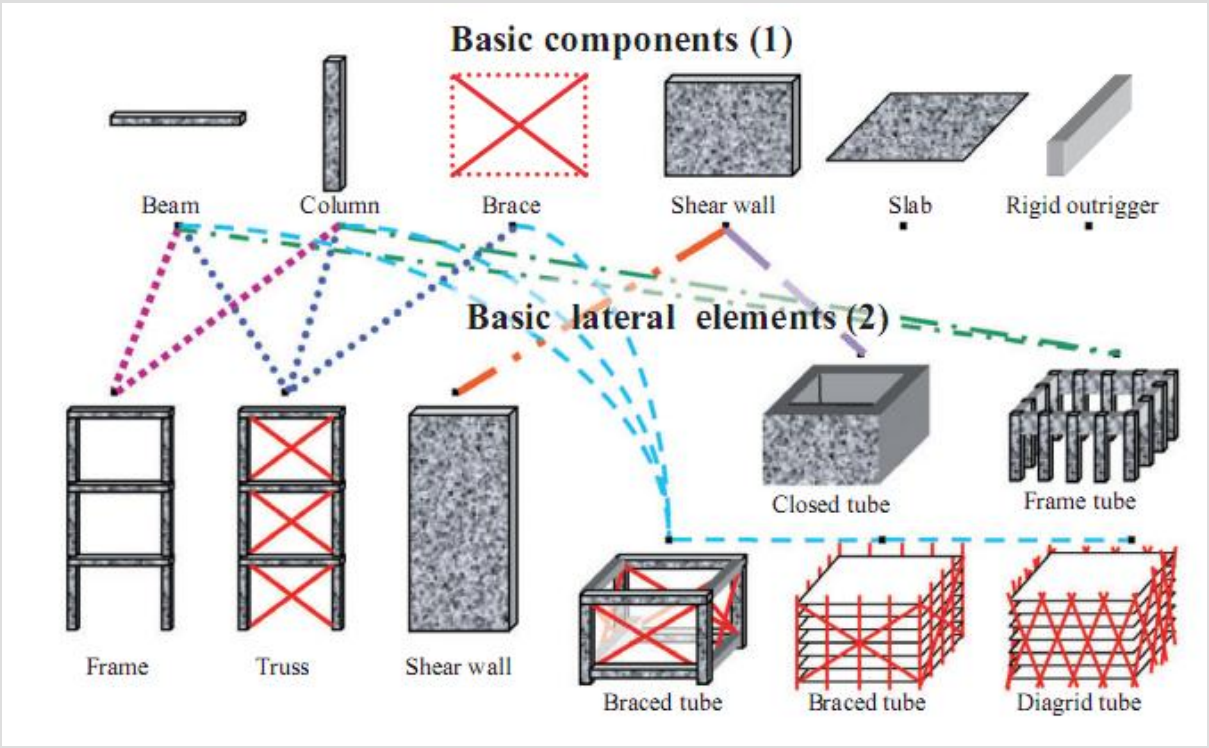
Conformation of VDHD

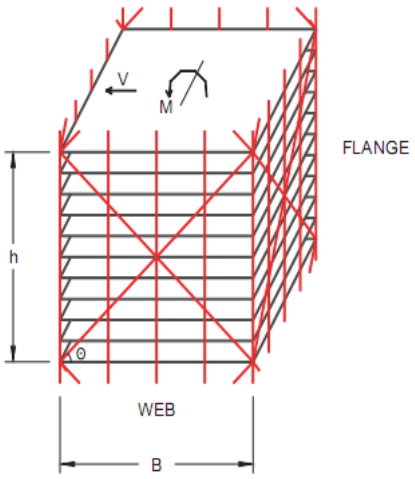


The structural system developed for One Rincon Hill incorporates a concrete ductile core wall system with four concrete outrigger columns connected by buckling restrained braces (a); close-up of One Rincon Hill's structural solution (b). Image courtesy Magnusson Klemencic Associates

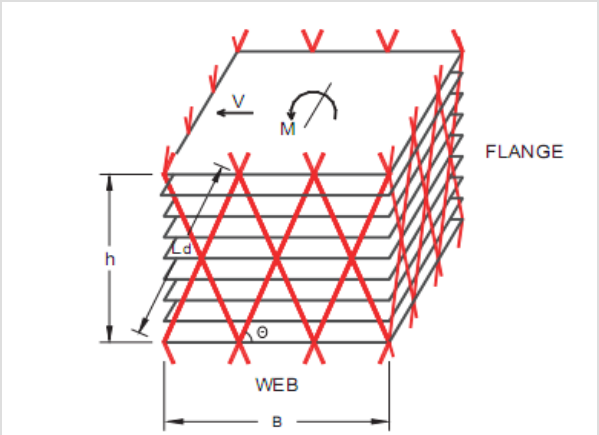



Beam (also ref. to as Storey Beam)
Steel Plate
End Beam
Column
(b)
Beam
Subpanels
Horizontal and
Vertical Stiffene
Column
d
(a)
b
(c)

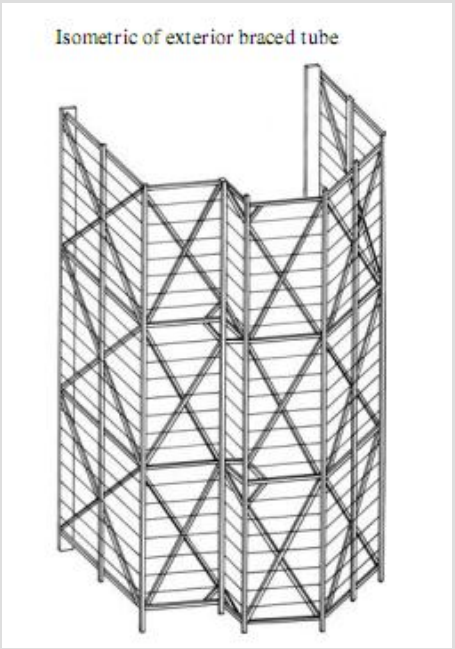

Basic components (1)
Beam
Column
Brace
Shear wall
Slab
Rigid outrigger
Basic lateral elements (2)
Closed tube
Frame tube
Frame
Truss
Shear wall
Braced tube
Braced tube
Diagrid tube

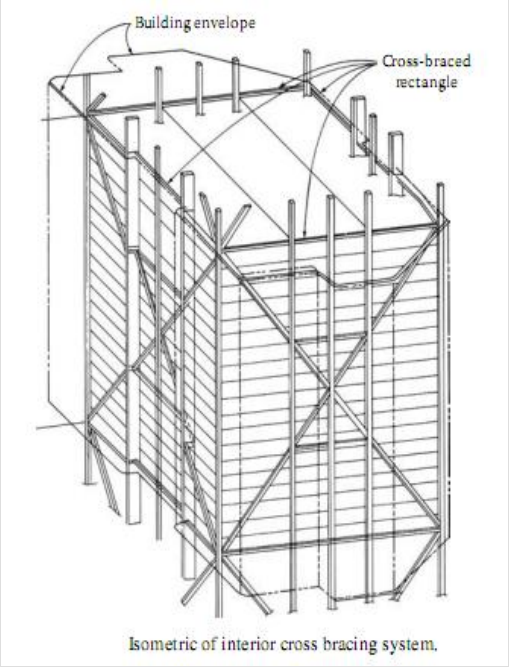


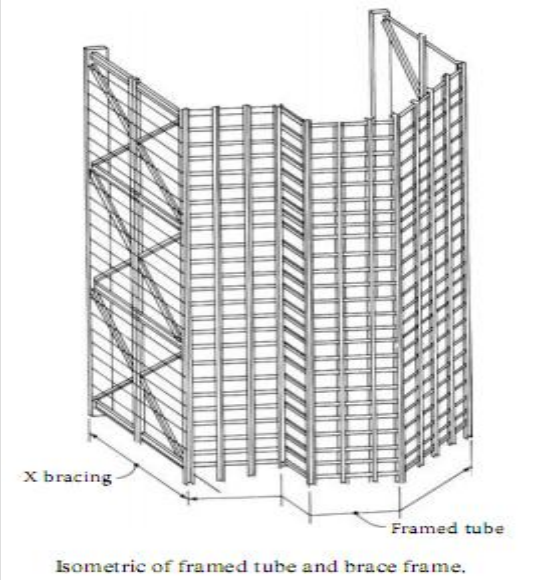
10-storey braced tube module

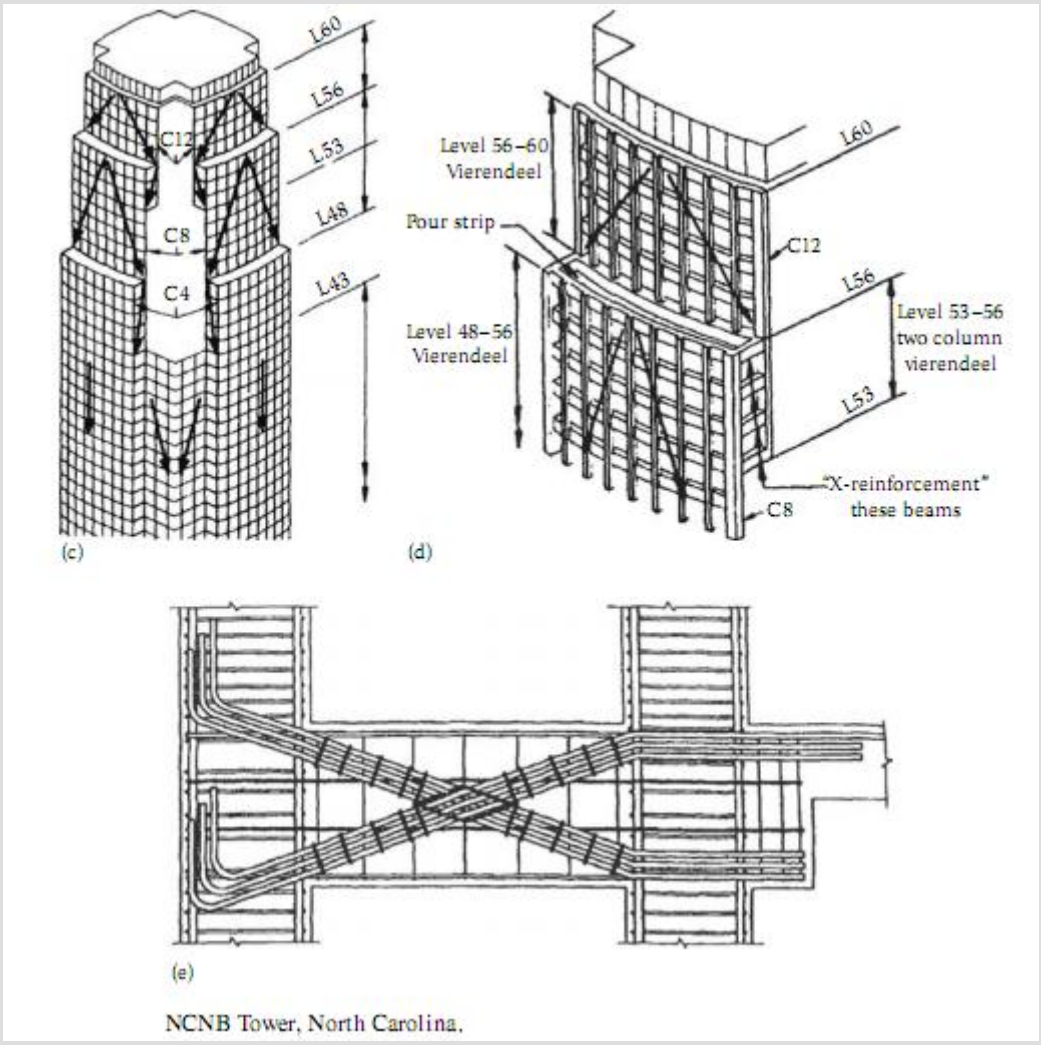


Eight-storey diagrid module with 69-degree diagonal angle

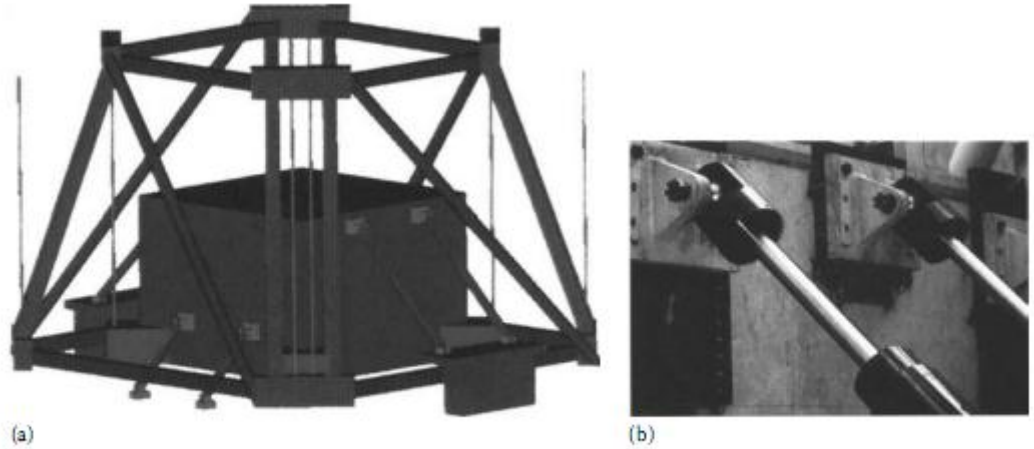




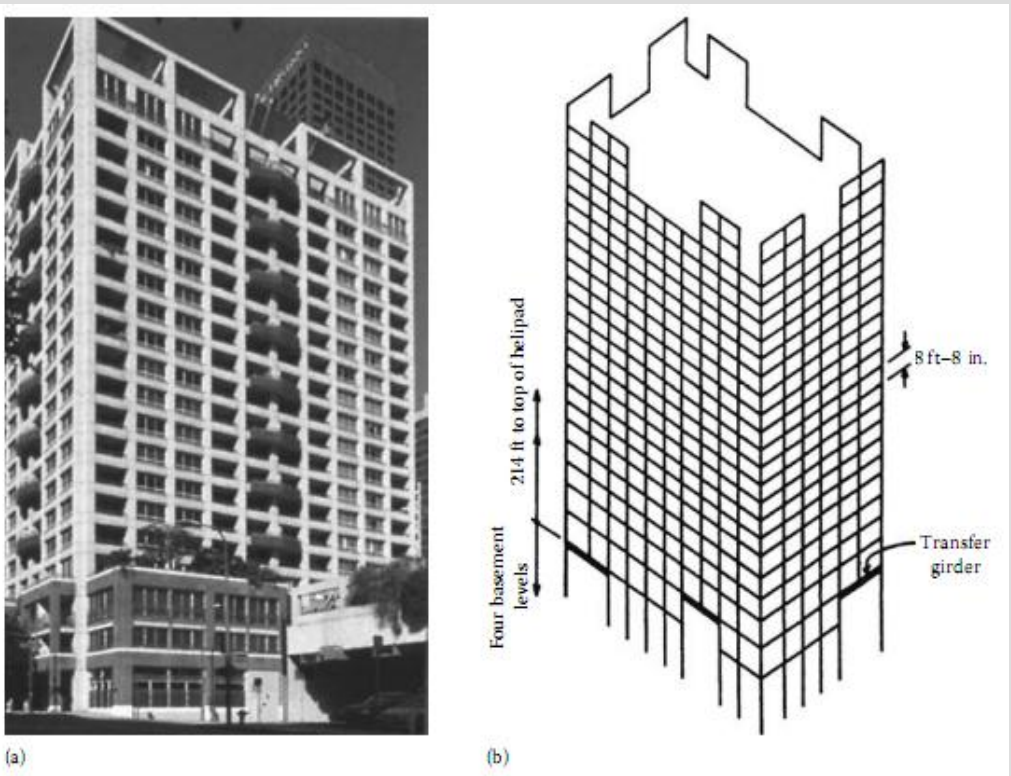




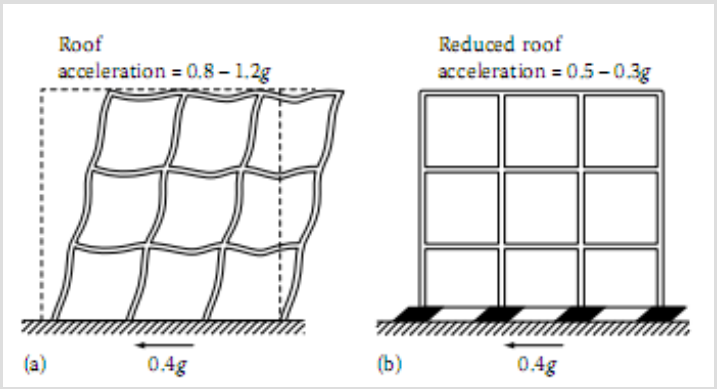
NCNB Tower, North Carolina.



(a) Simple pendulum damper, (b) Hydraulic dampers attached to mass block.

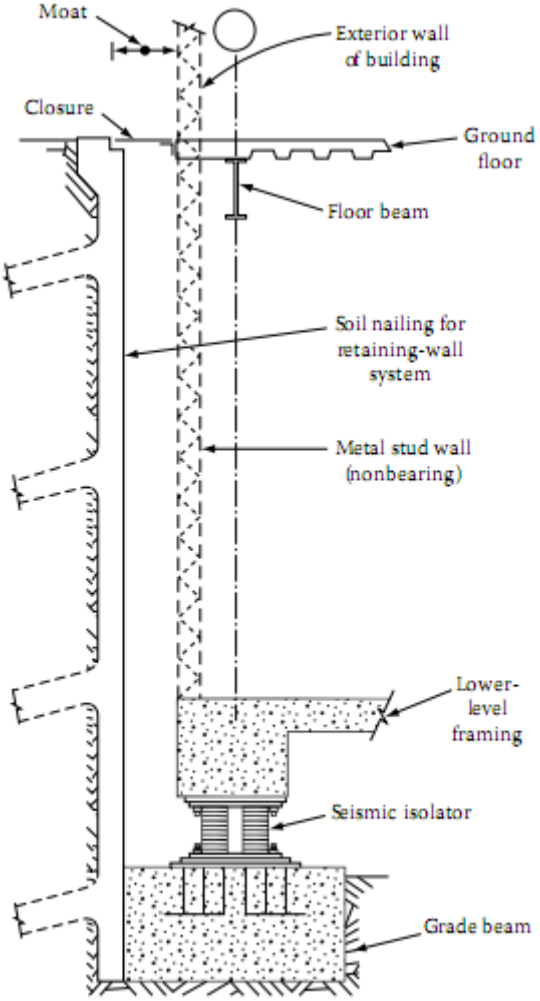


Museum Tower, Los Angeles: (a) building elevation; (b) lateral bracing system;

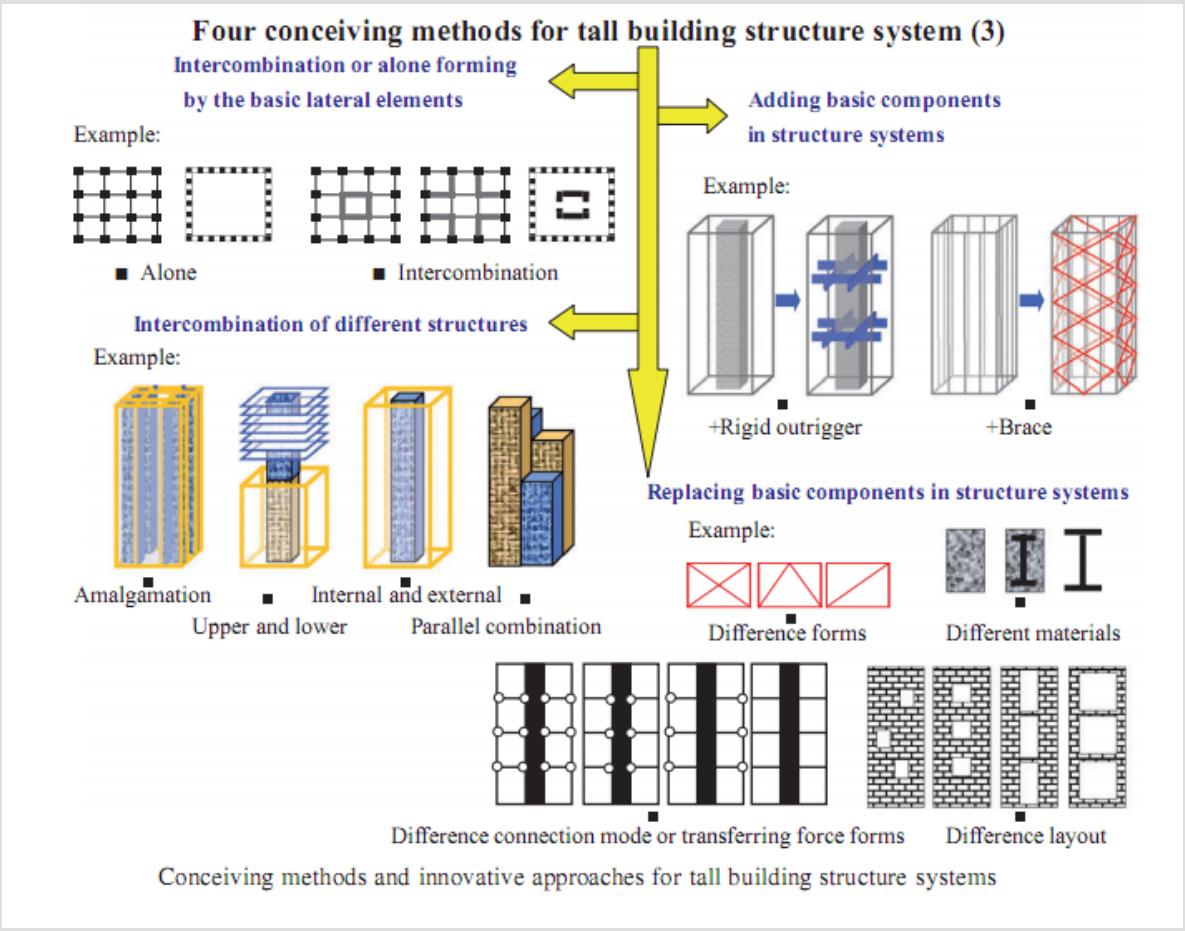


- A flexible mounting to increase the building period which, in turn, reduces seismic forces in the structure above,
- A damper or energy dissipater to reduce relative deflections between a building and the ground it rests upon,
- A mounting that is sufficiently rigid to control the building lateral deflection during minor earthquakes and windstorms,

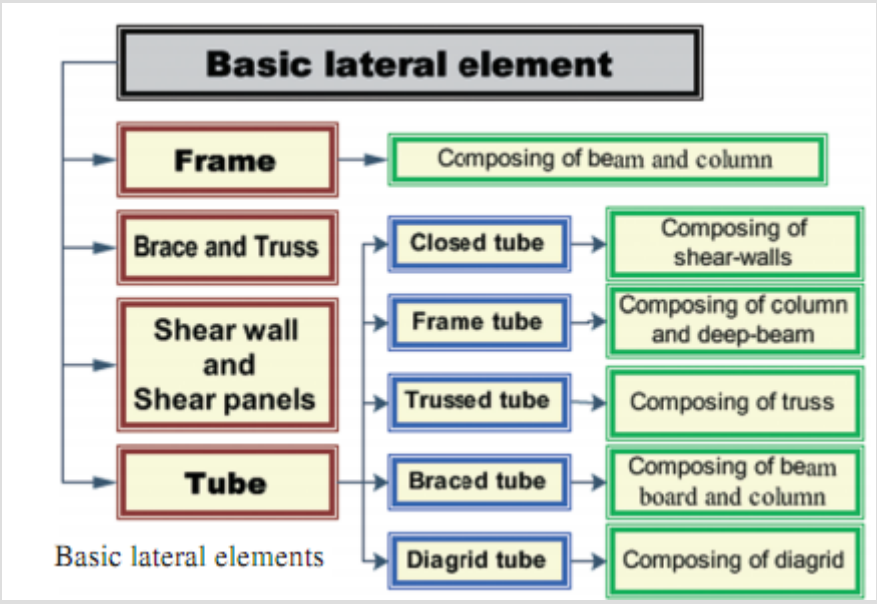
- Elastomeric bearings
- Rollers
- Sliding plates
- Cable suspension
- Sleeved piles
- Rocking foundations



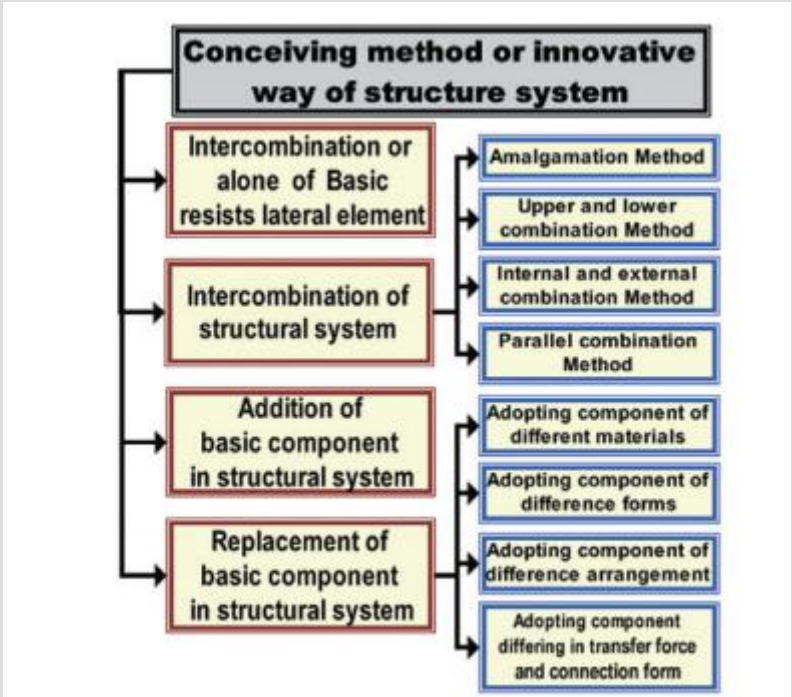
Moat around base-isolated building.



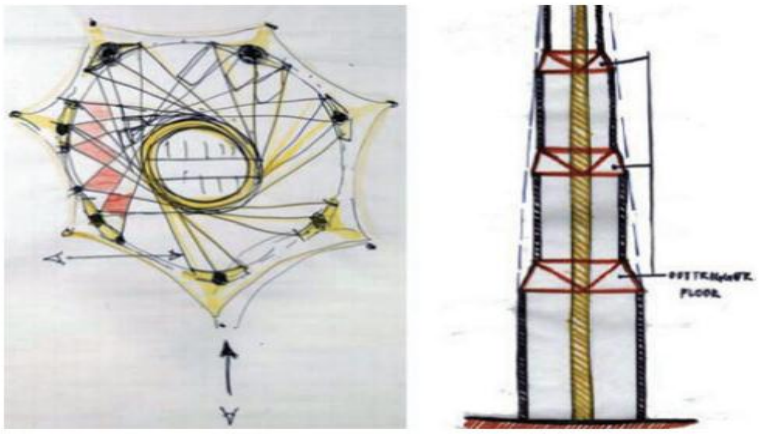
Conceiving methods and innovative approaches for tall building structure systems



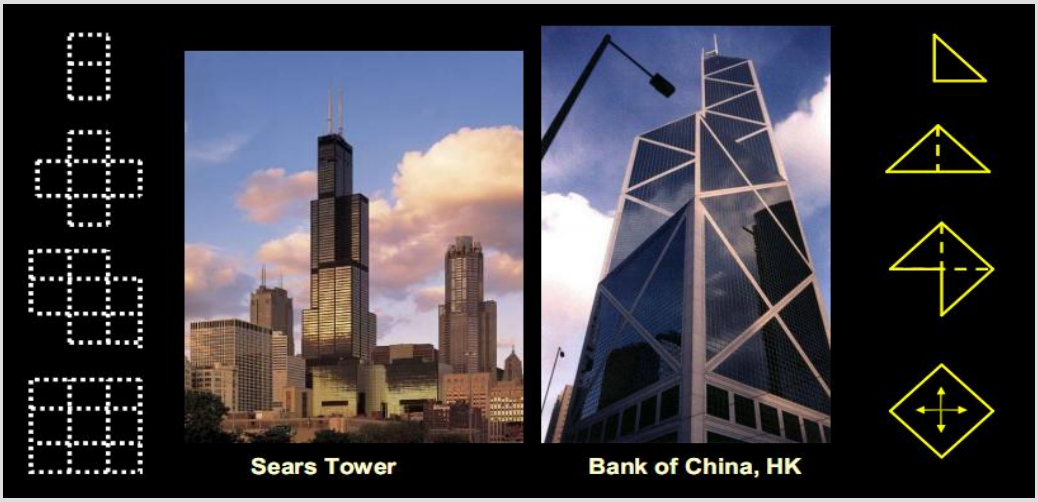
Basic lateral elements

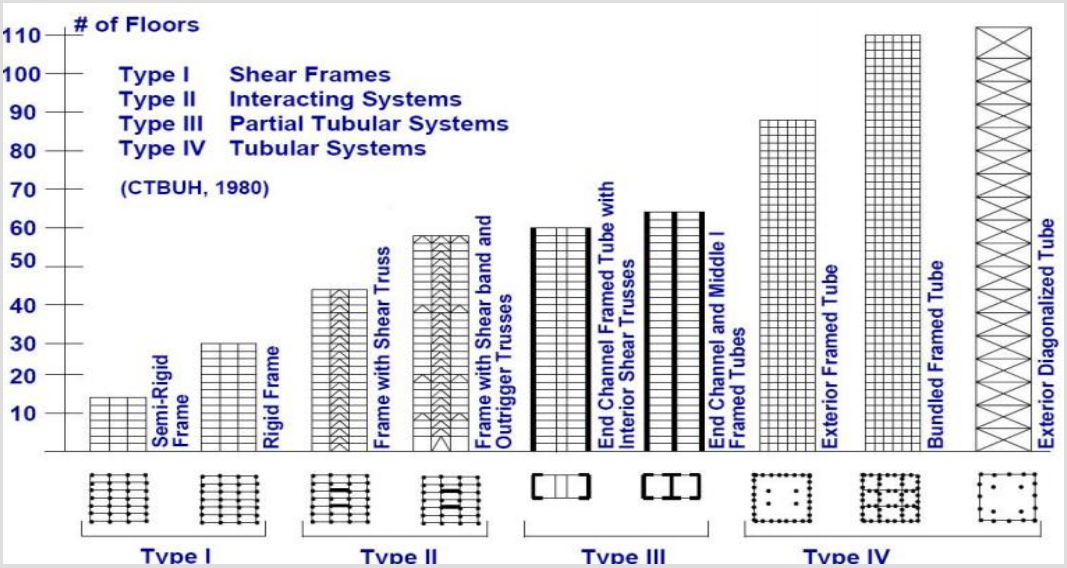


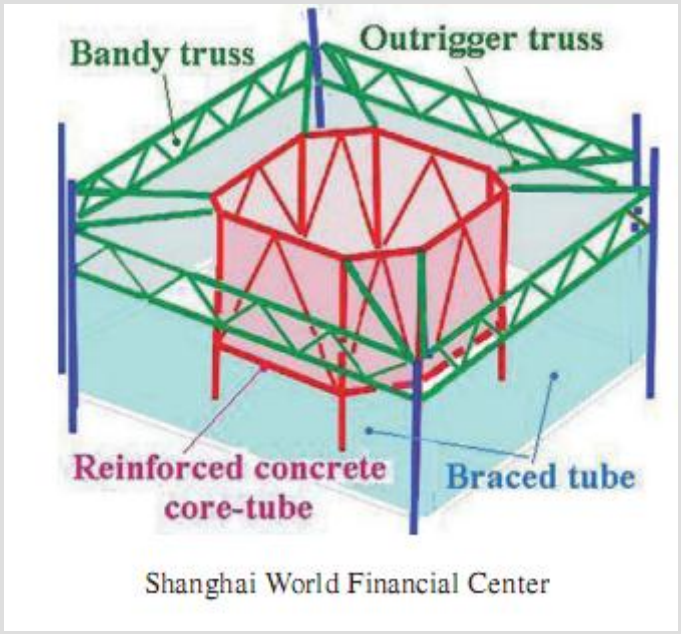
Conceiving method or innovative way of structure system



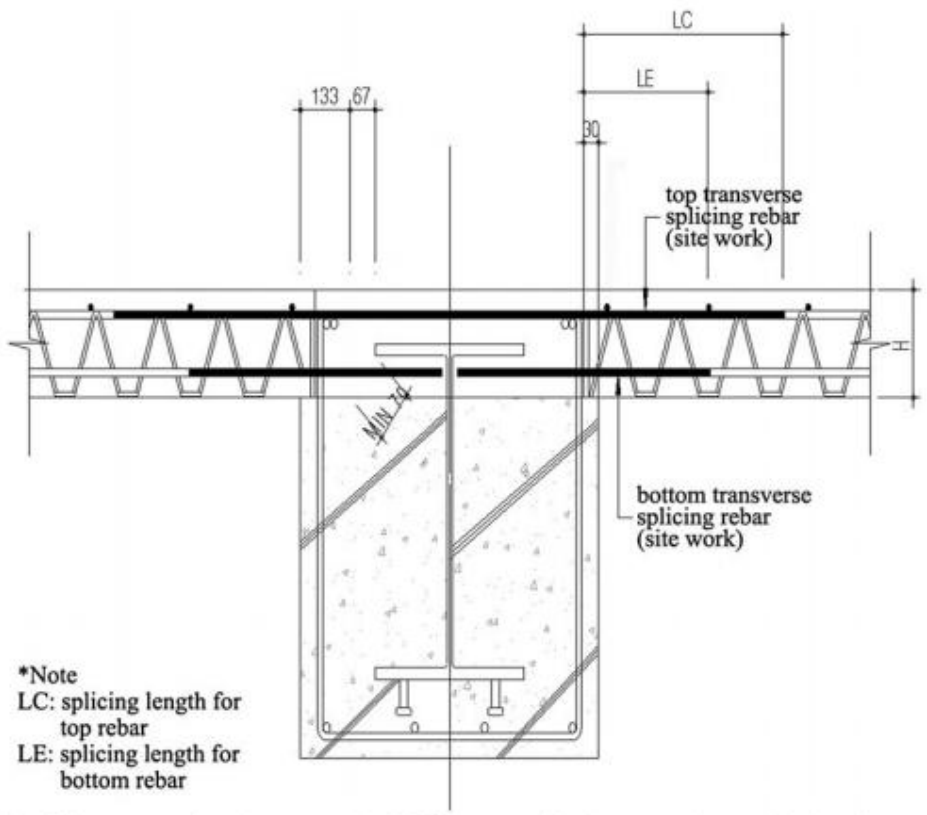
(a) Sketch showing the 7-W-shaped megacolumns (Source: architect Santiago Calatrava); (b) Sketch depicting the structural system (setback columns and outrigger floors) for the tower



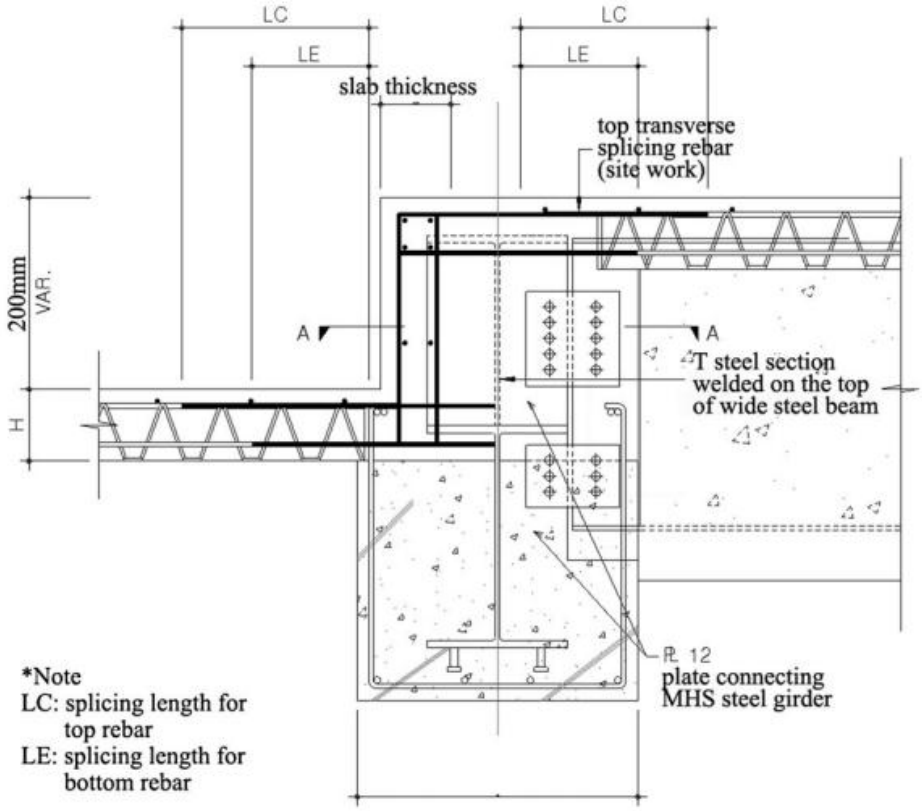




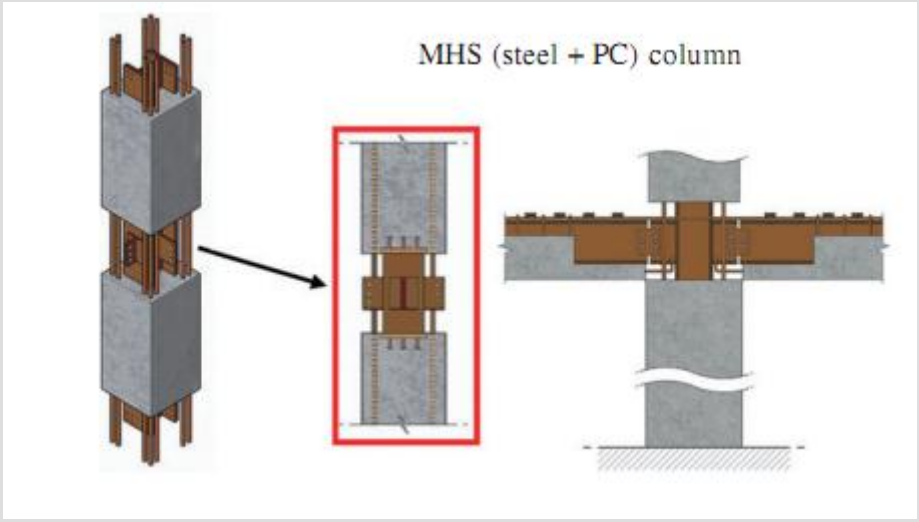
Shanghai World Financial Center



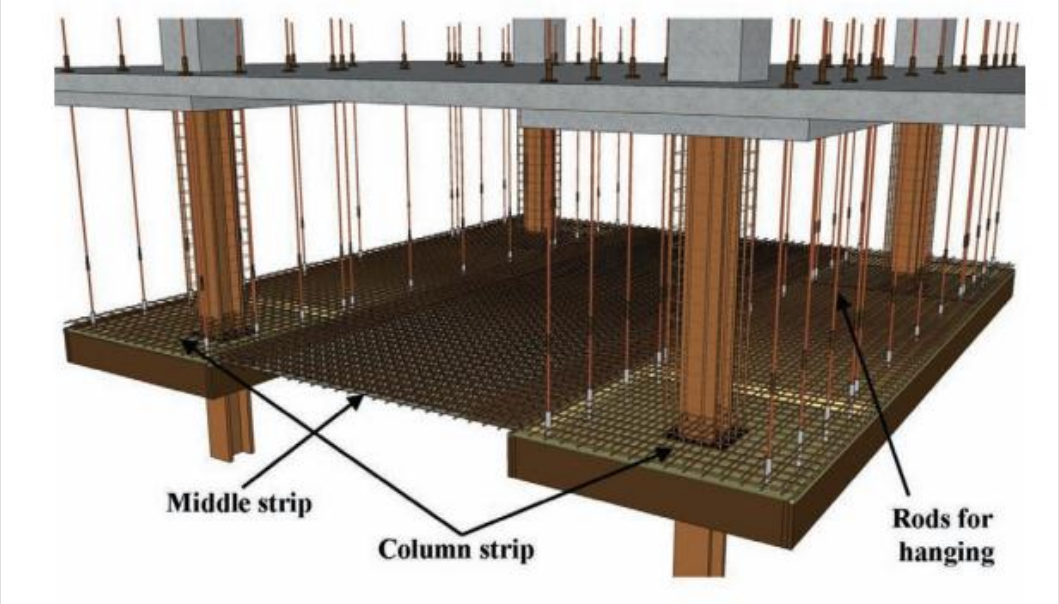
Details of the connection between the MHS composite beam and metal deck plate

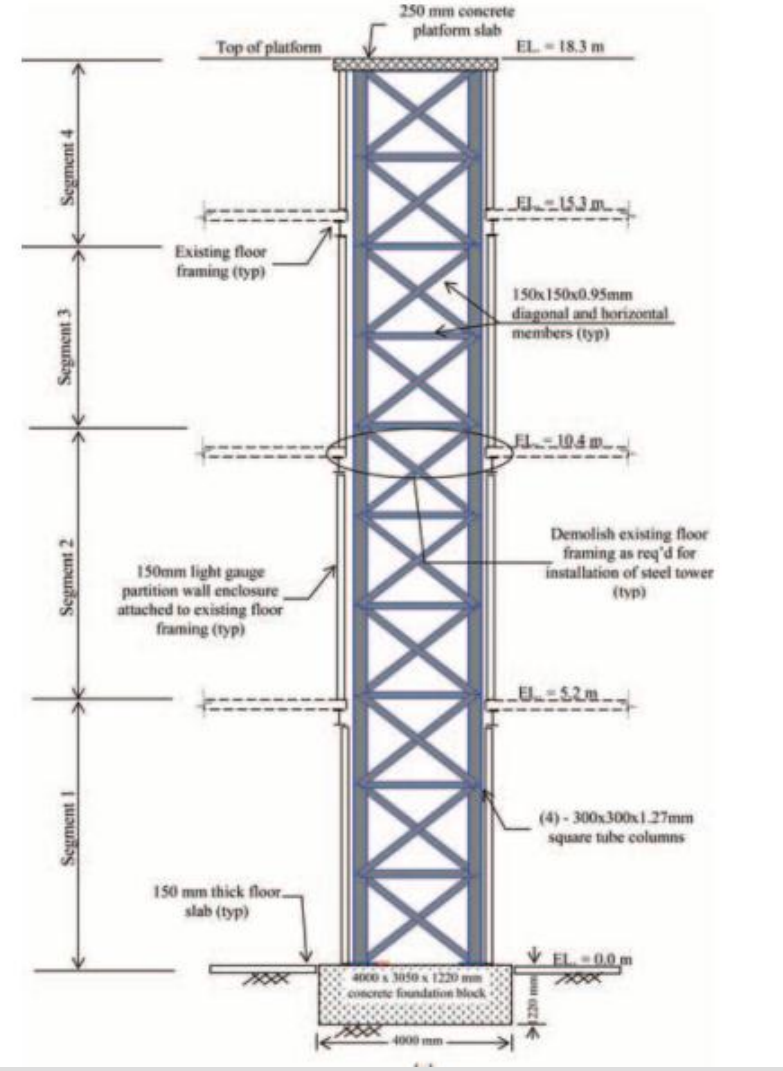


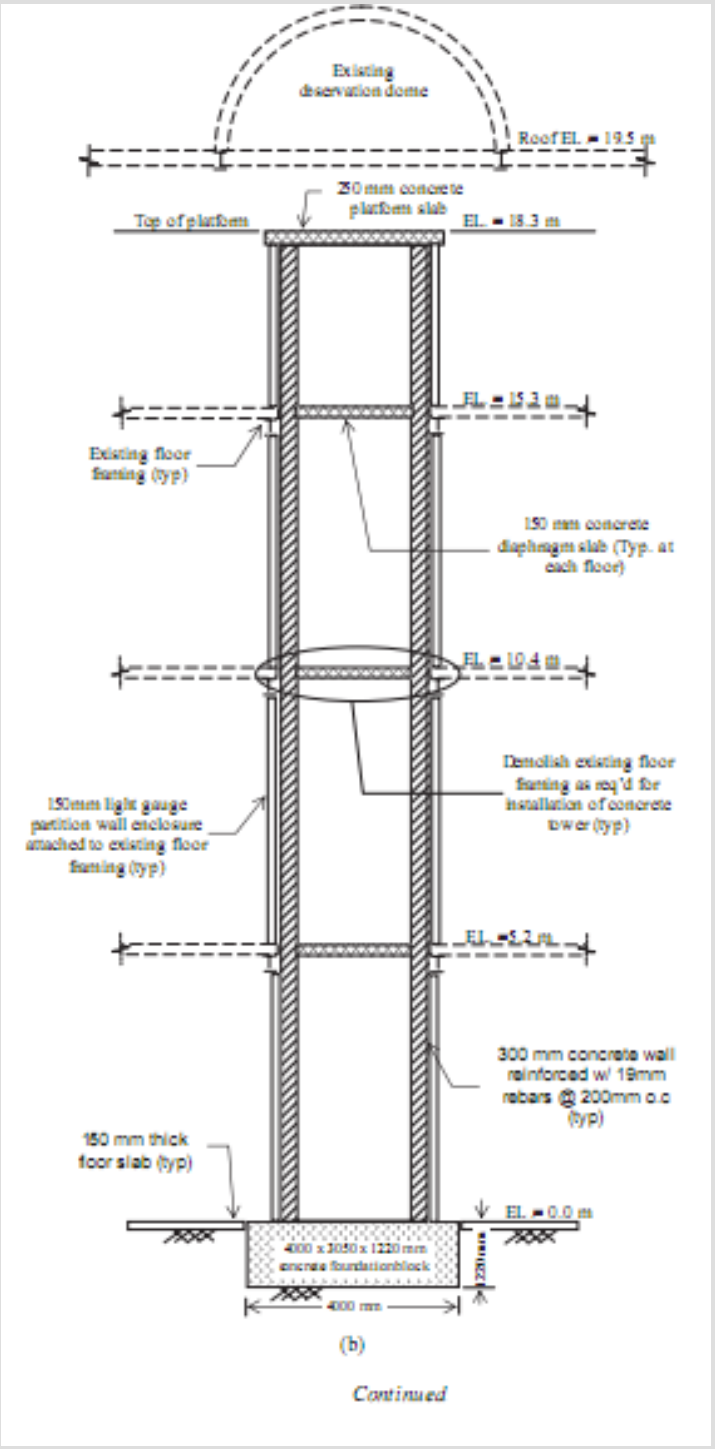
Details of the connection between two different levels



Installation of metal deck plates


Middle strip
Column strip
Rods for hanging

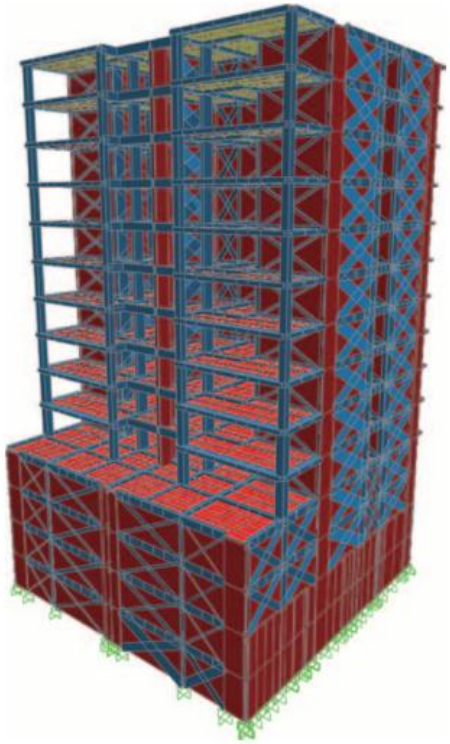

250 mm concrete platform slab
Top of platform
EL. = 18.3 m
Segment 4
Segment 3
Segment 2
Segment 1
El. = 15.3 m
Existing floor framing (typ)
150x150x0.95mm diagonal and horizontal members (typ)
El. = 10.4 m
Demolish existing floor framing as req'd for installation of steel tower (typ)
150mm light gauge partition wall enclosure attached to existing floor framing (typ)
El. = 5.2 m
(4) - 300x300x1.27mm square tube columns
150 mm thick floor slab (typ)
El. = 0.0 m
4000 x 3050 x 1220 mm concrete foundation block
1220 mm
4000 mm


Existing
observation dome
Roof EL = 19.5 m
250 mm concrete
platform slab
Top of platform
EL = 18.3 m
EL = 15.3 m
Existing floor
framing (typ)
150 mm concrete
diaphragm slab (Typ. at
each floor)
EL = 10.4 m
Demolish existing floor
framing as req'd for
installation of concrete
tower (typ)
150mm light gauge
partition wall enclosure
attached to existing floor
framing (typ)
EL = 5.2 m
300 mm concrete wall
reinforced w/ 19mm
rebars @ 200mm o.c
(typ)
150 mm thick
floor slab (typ)
EL = 0.0 m
4000 x 3050 x 1220 mm
concrete foundation block
1220mm
4000 mm

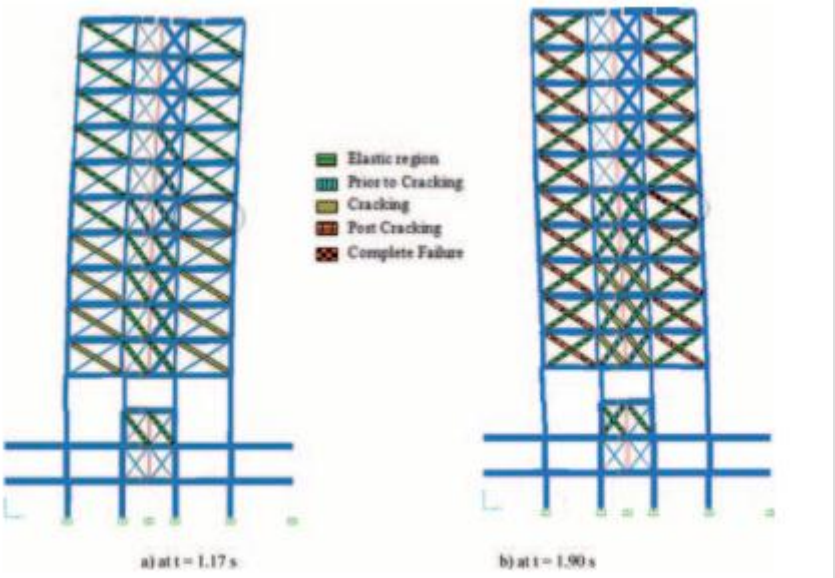
(b)

Continued

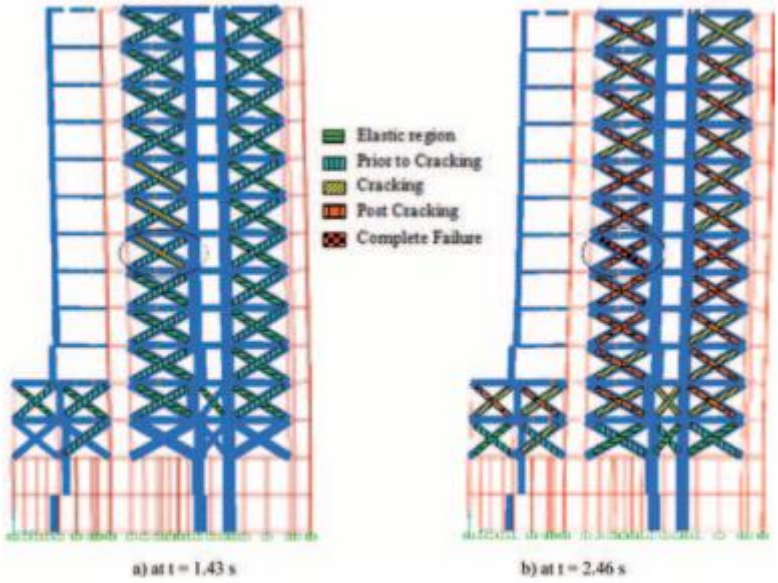
3-D modeling of the building without infill walls



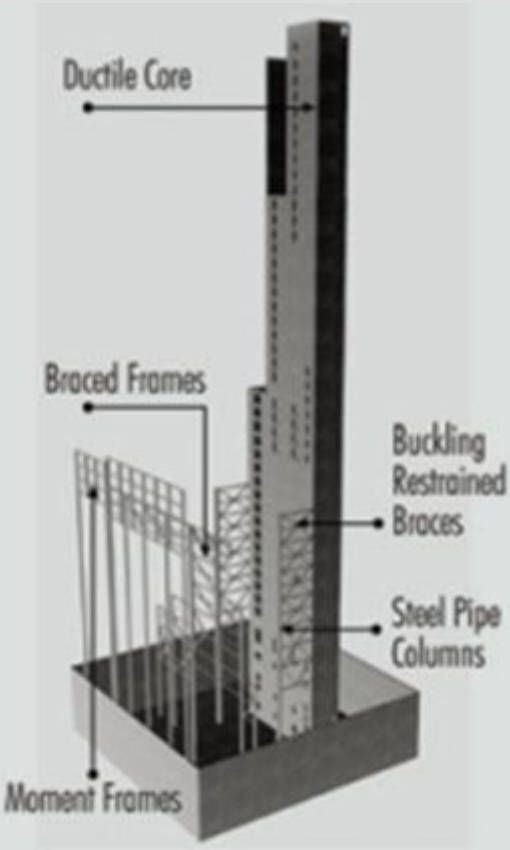
3-D modeling of the building with infill walls

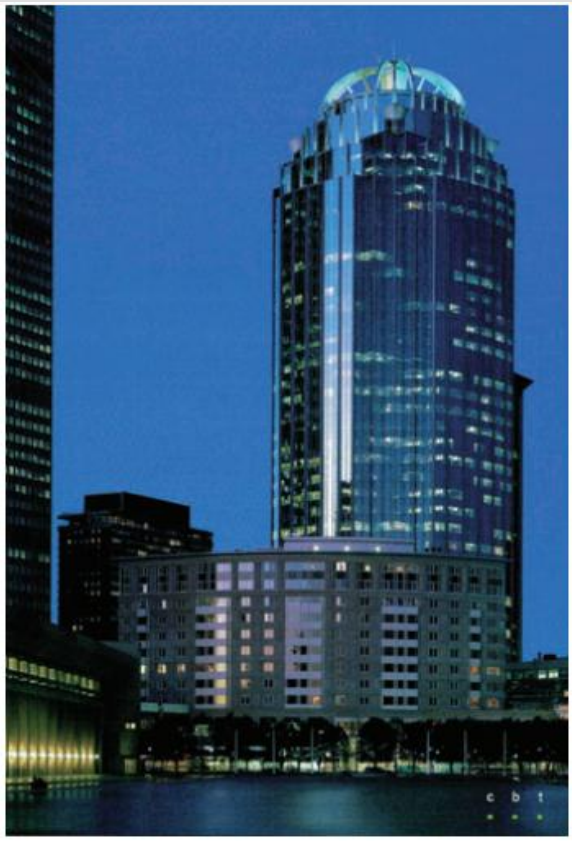


Deformation of equivalent compression struts on axis 1



Deformation of equivalent compression struts on axis 14


Ductile Core
Braced Frames
Buckling Restrained Braces
Steel Pipe Columns
Moment Frames

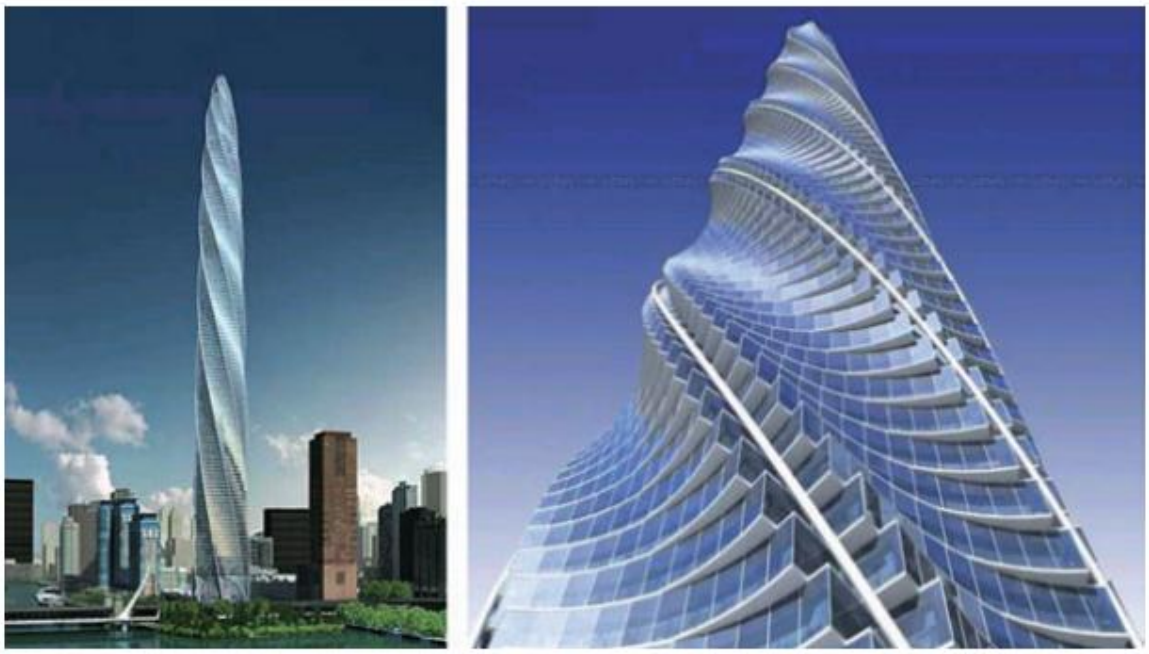


Park Gate development in Dubai, UAE

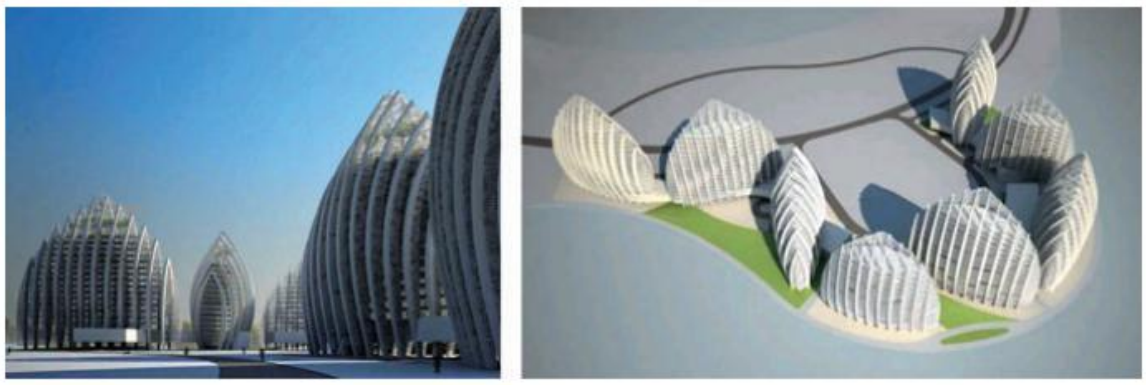
Park Avenue Tower, Dubai, UAE

30 Hudson Street, Jersey City, New Jersey

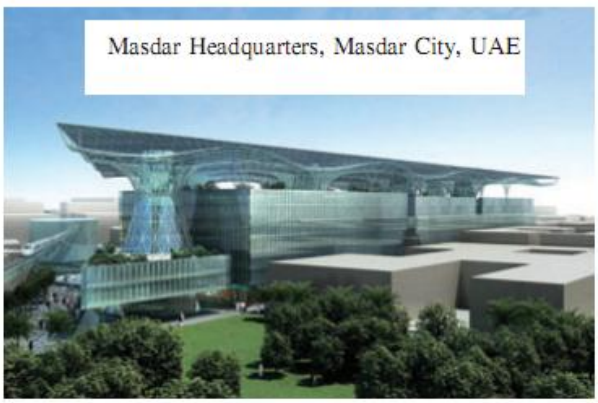
The Hearst Tower

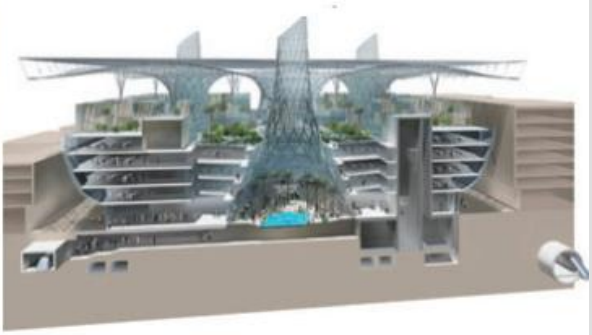


The 360-degree twisted Chicago Spire will be the USA's tallest building when completed (Source: Chicago Spire LLC)



Architect's rendering of the Malaysian towers emphasizing the structural 'fin-like' members (Source: Studio Nicoletti Associates)





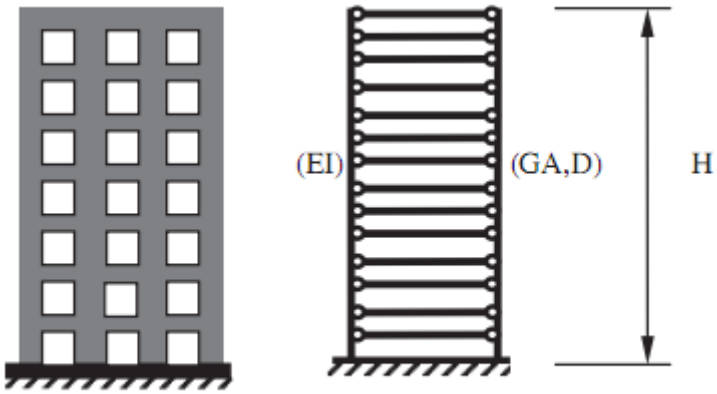
Masdar Headquarters, Masdar City, UAE

John Hancock Center, Chicago (source: Angel Valtiera)

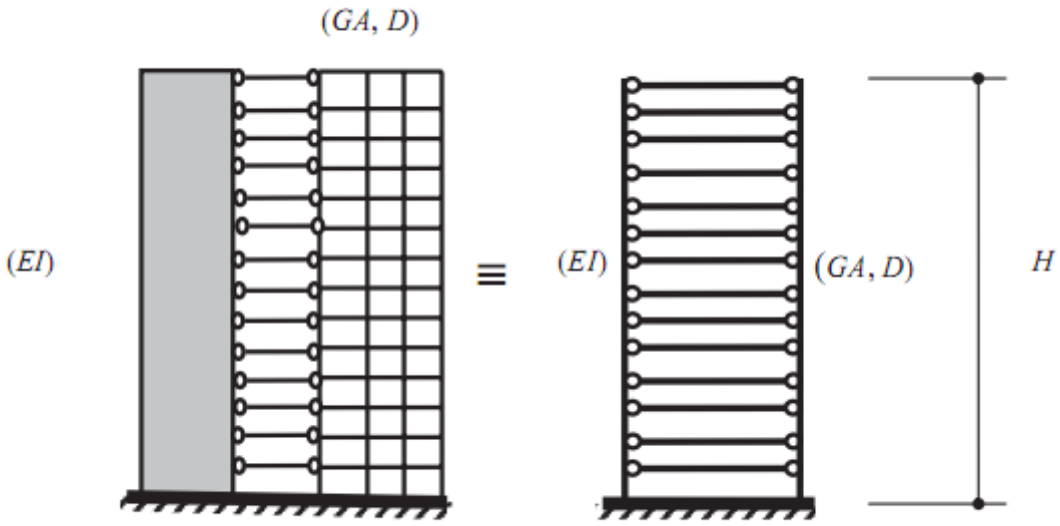
Hearst Headquarters, New York (source: Adam Gimpert)

Commerzbank Building in Frankfurt, Germany

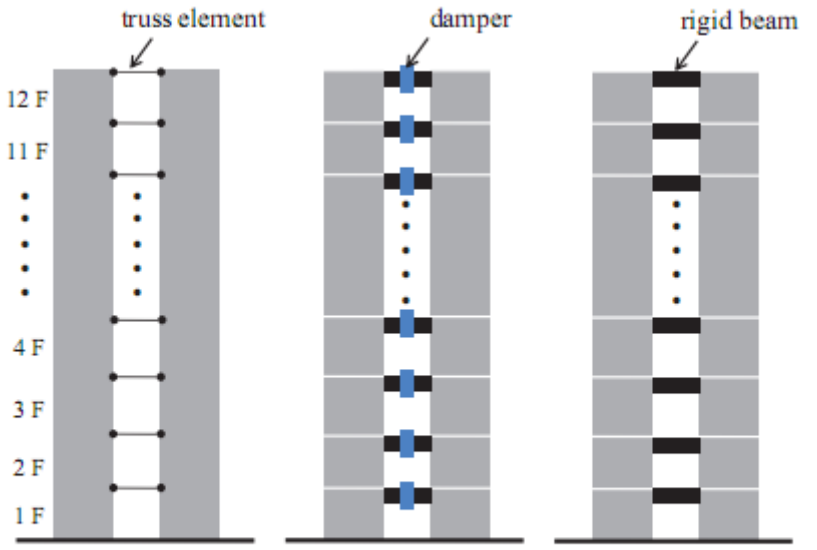
UCSD Library



Mathematical model of equivalent sandwich beam

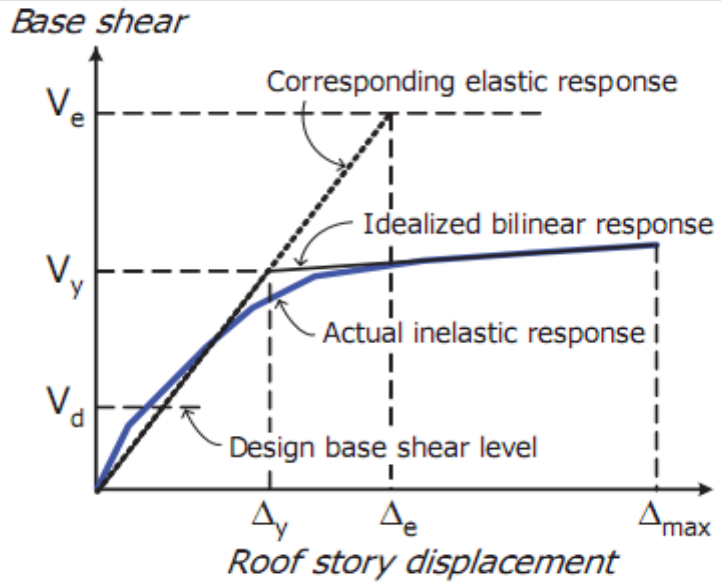


Mathematical model of equivalent sandwich beam

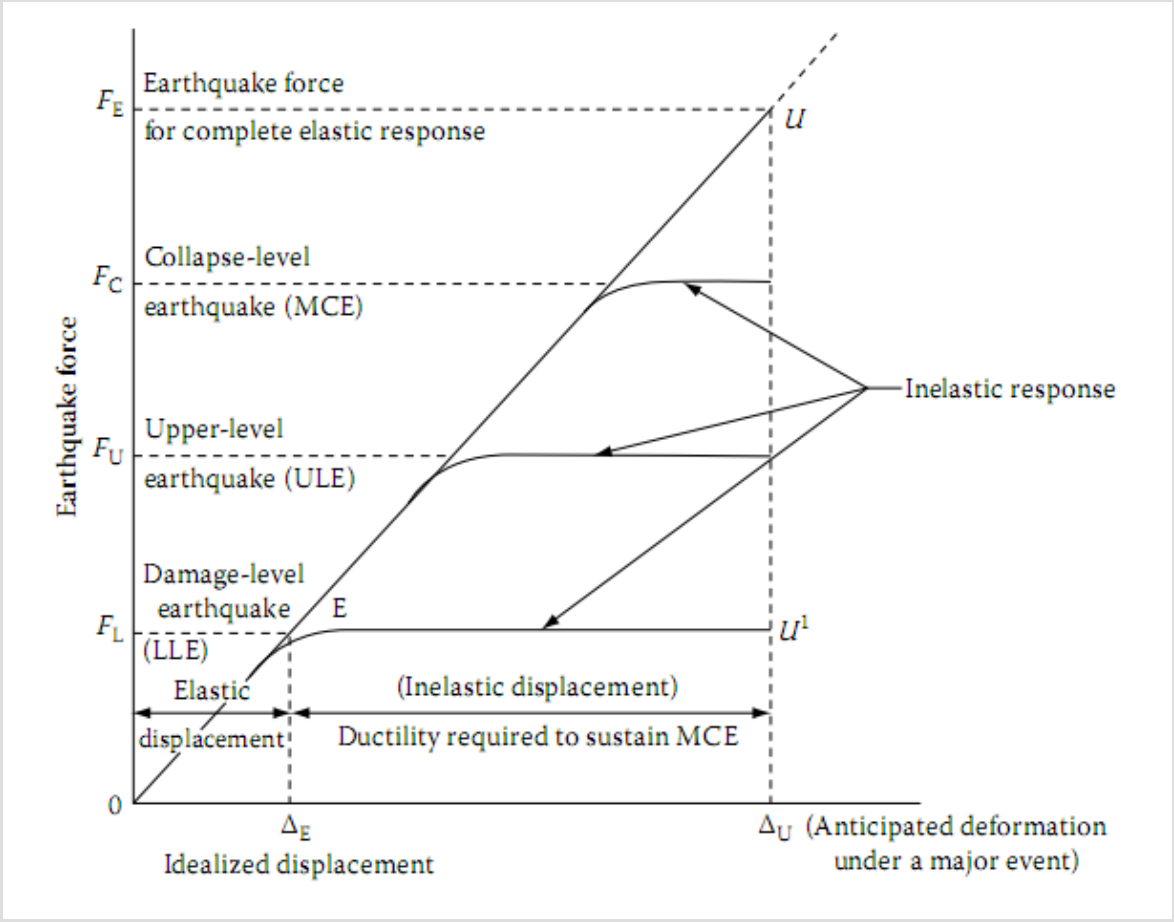


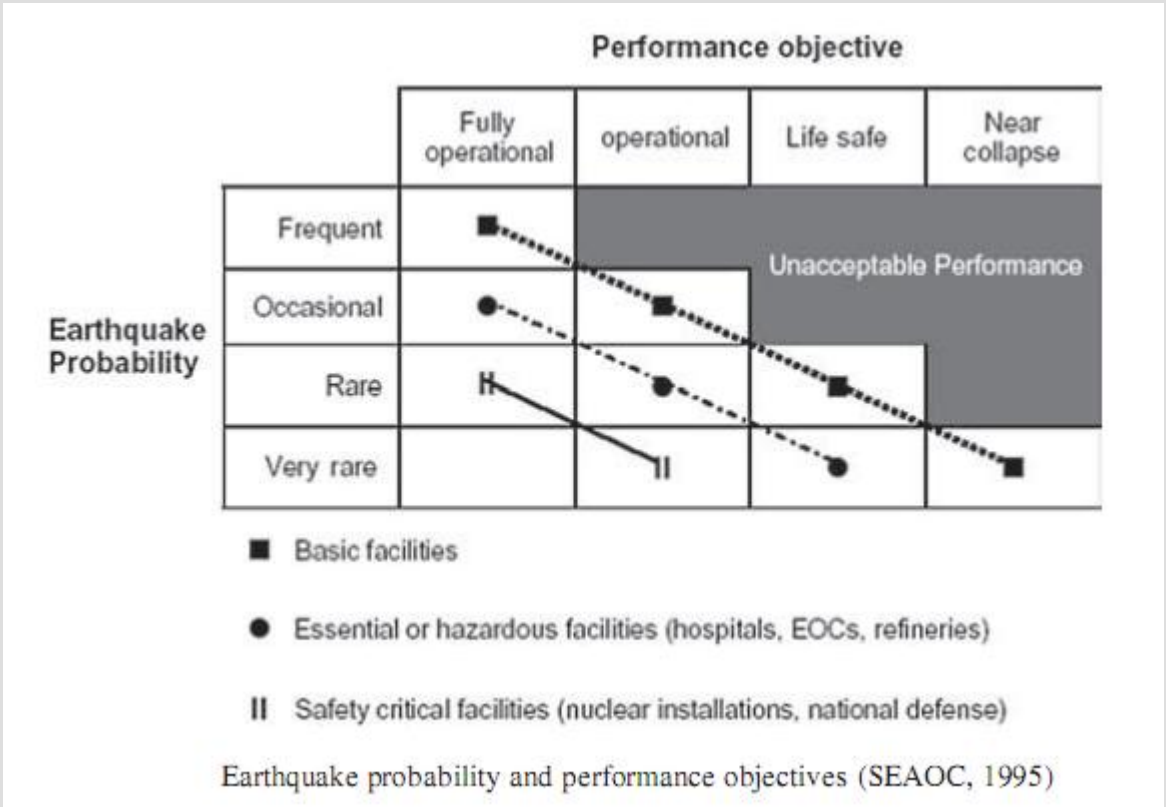
(a) Conventional wall, W1 (b) Wall with damper, W2 (c) Wall with rigid beam, W3

Analysis example of the shear wall governed by flexural

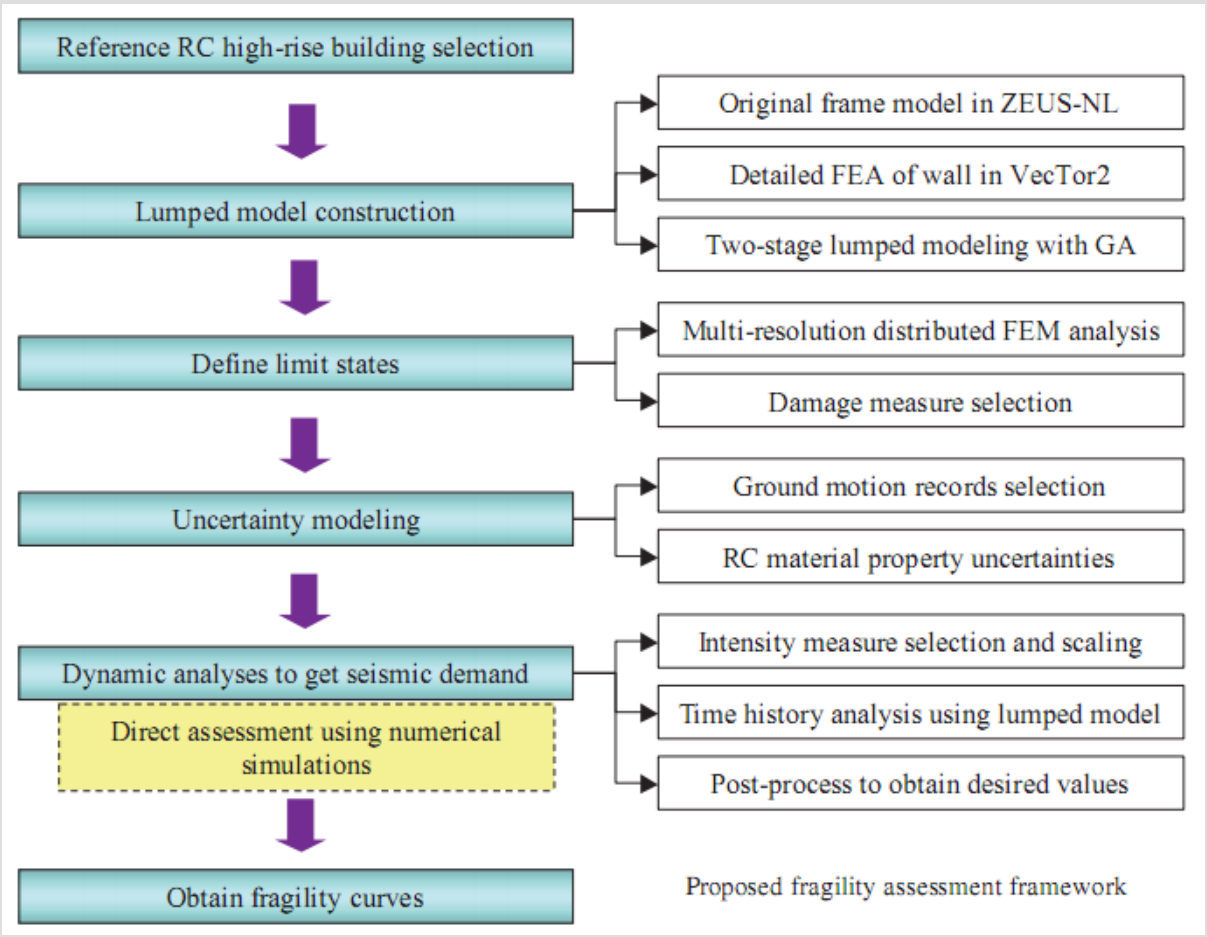


Idealized base shear–roof displacement relationship of a structure

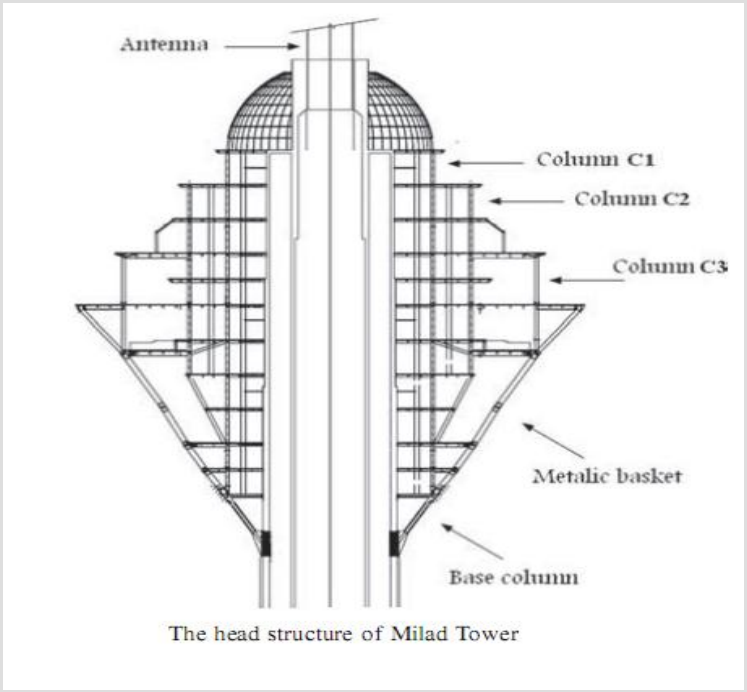




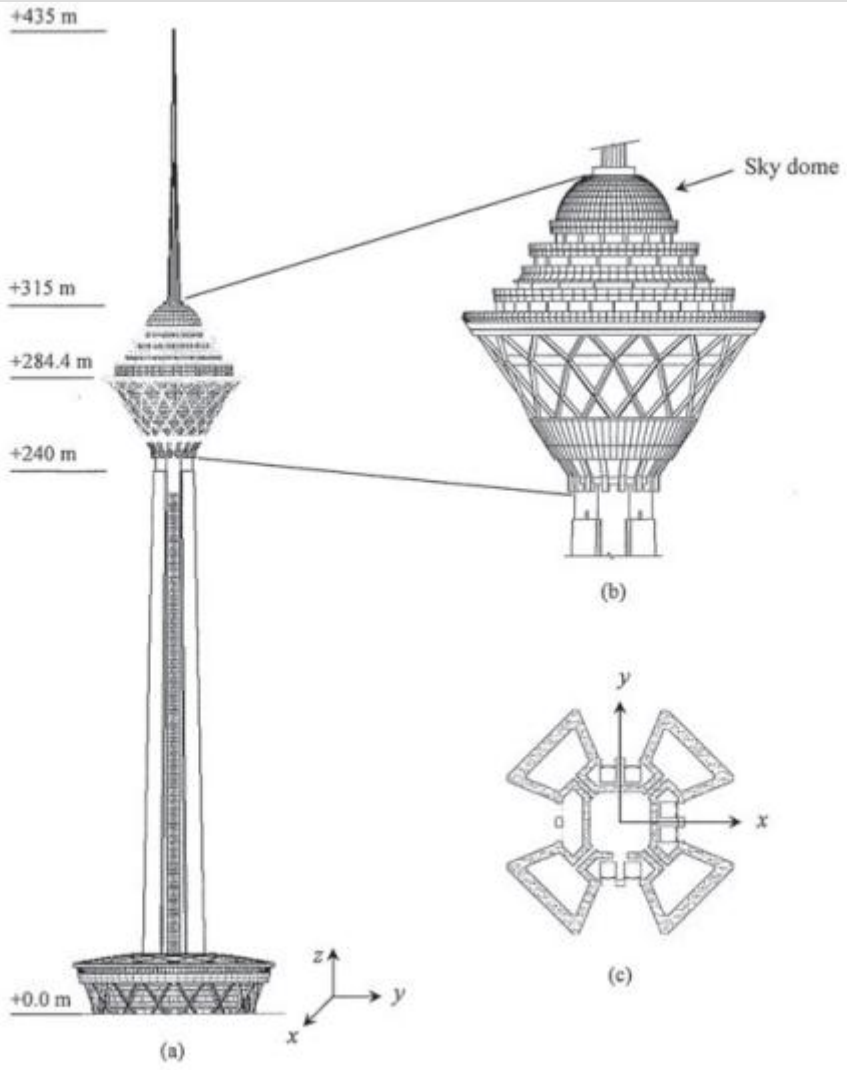
Earthquake probability and performance objectives (SEAOC, 1995)



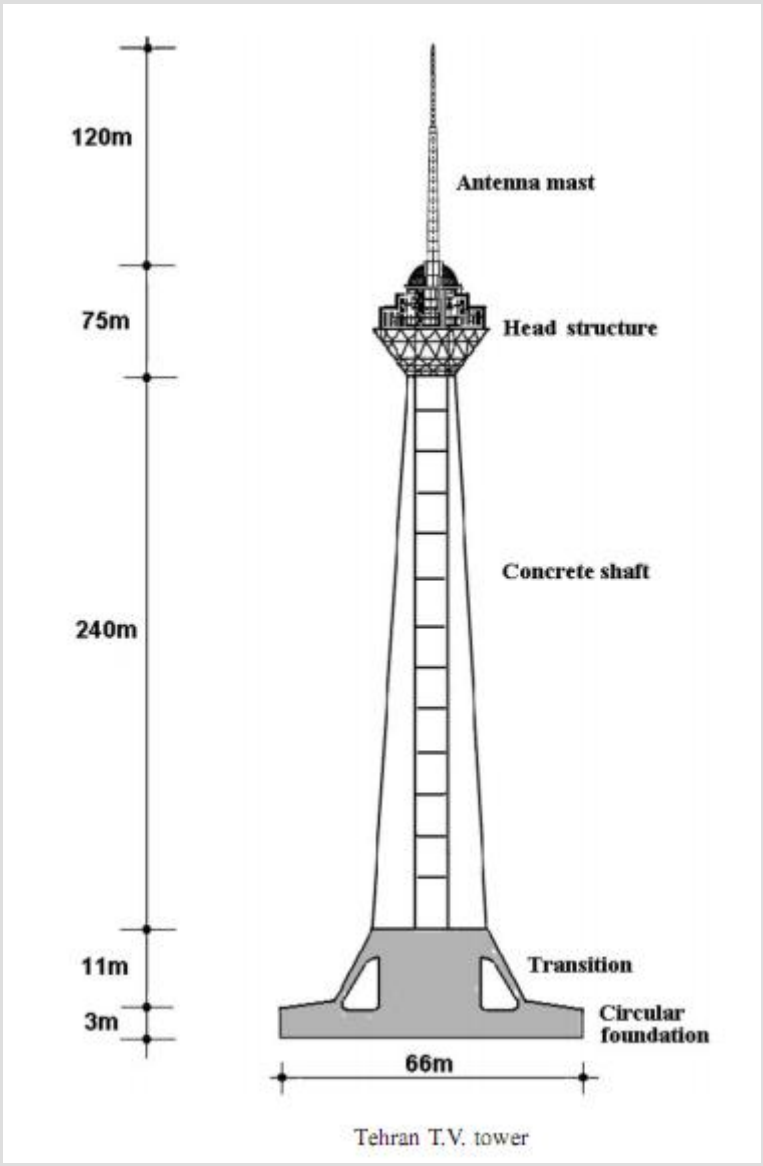
Proposed fragility assessment framework



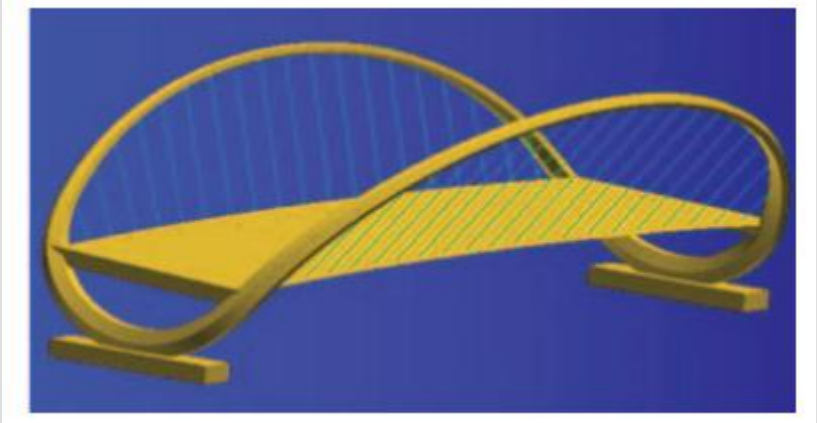
The head structure of Milad Tower

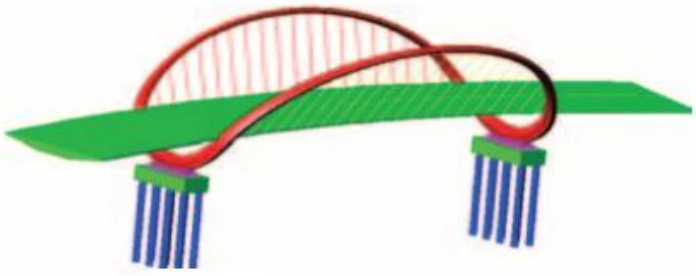


Milad Tower: (a) Configuration; (b) Head structure; (c) Shaft section at zero level



Tehran T.V. tower

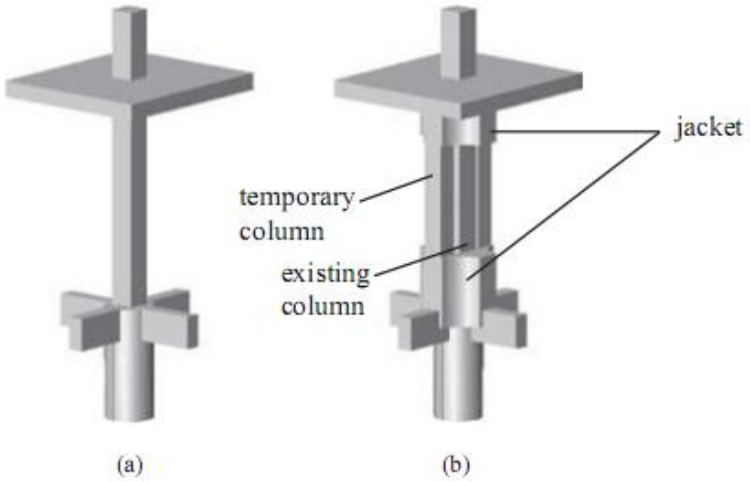




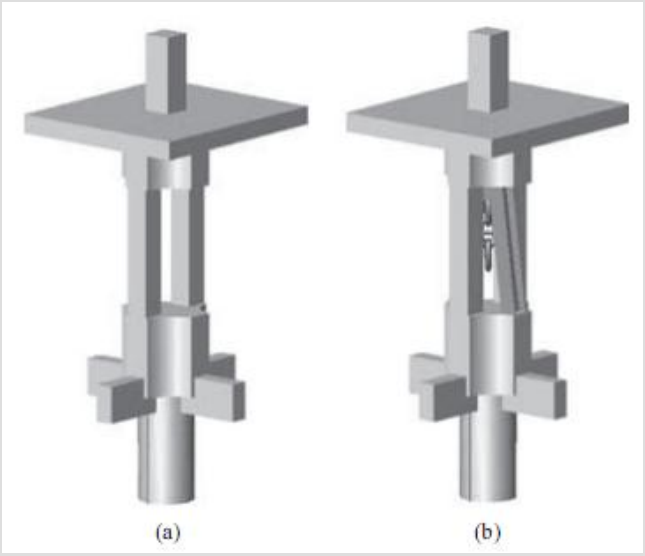
Effect drawing of BAB

Model of BAB: (a) Elevation of model; (b) Main section; (c) Longitudir

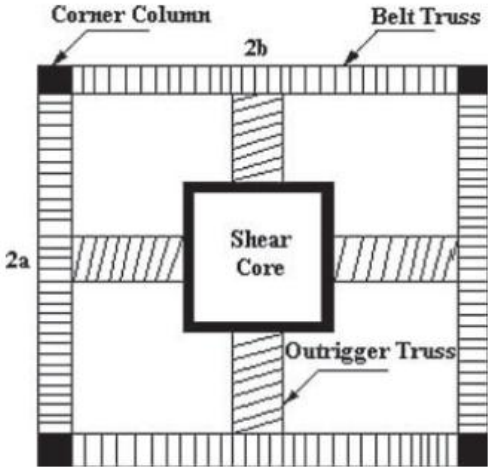
The middle part of the SIC (internal view)



General scheme of the existing column's preparation: (a) cutting and elimination of the column's middle zone; (b) making RC jackets at both ends of the column

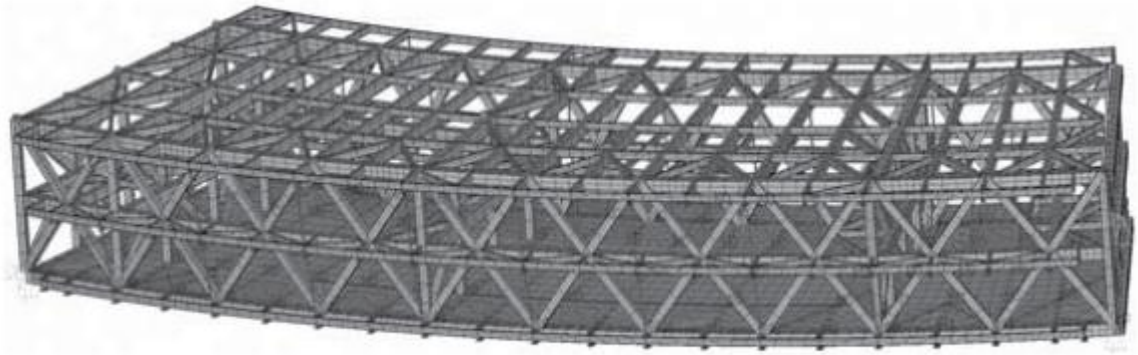


To the second step of the replacing procedure: (a) cutting the middle part of the existing column, (b) installation of the bottom V-shaped element

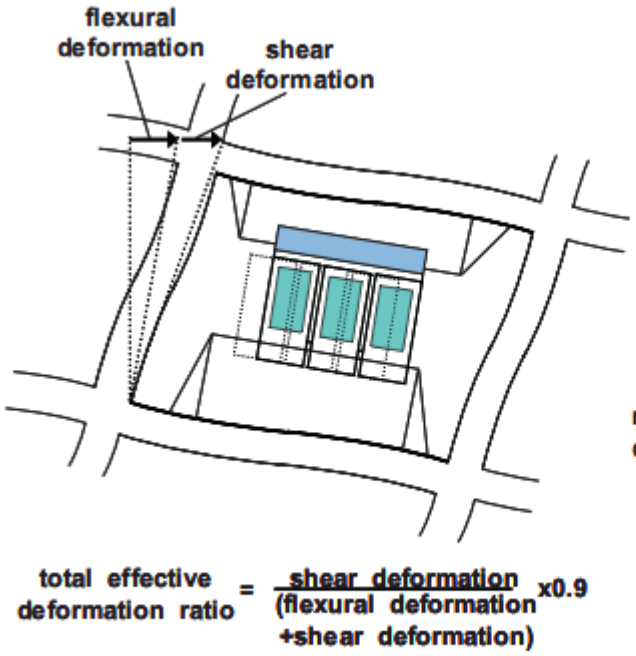


Schematic plan of combined system

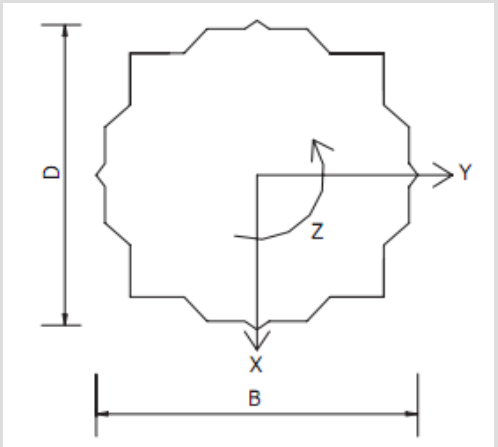
Hangzhou Citizen Center



Three-dimensional numerical model of the skybridge

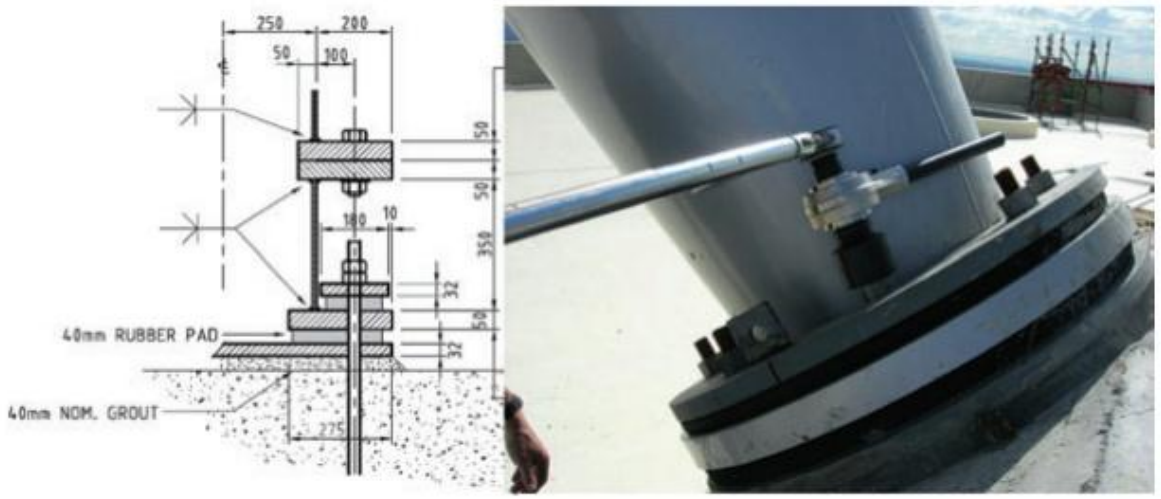


Overall flexural deformation, shear deformation and local supporting-member deformation

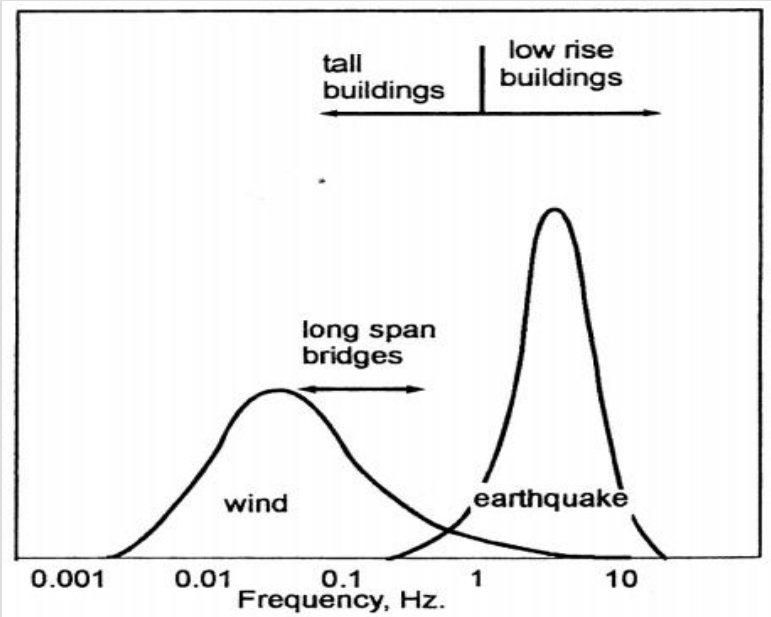


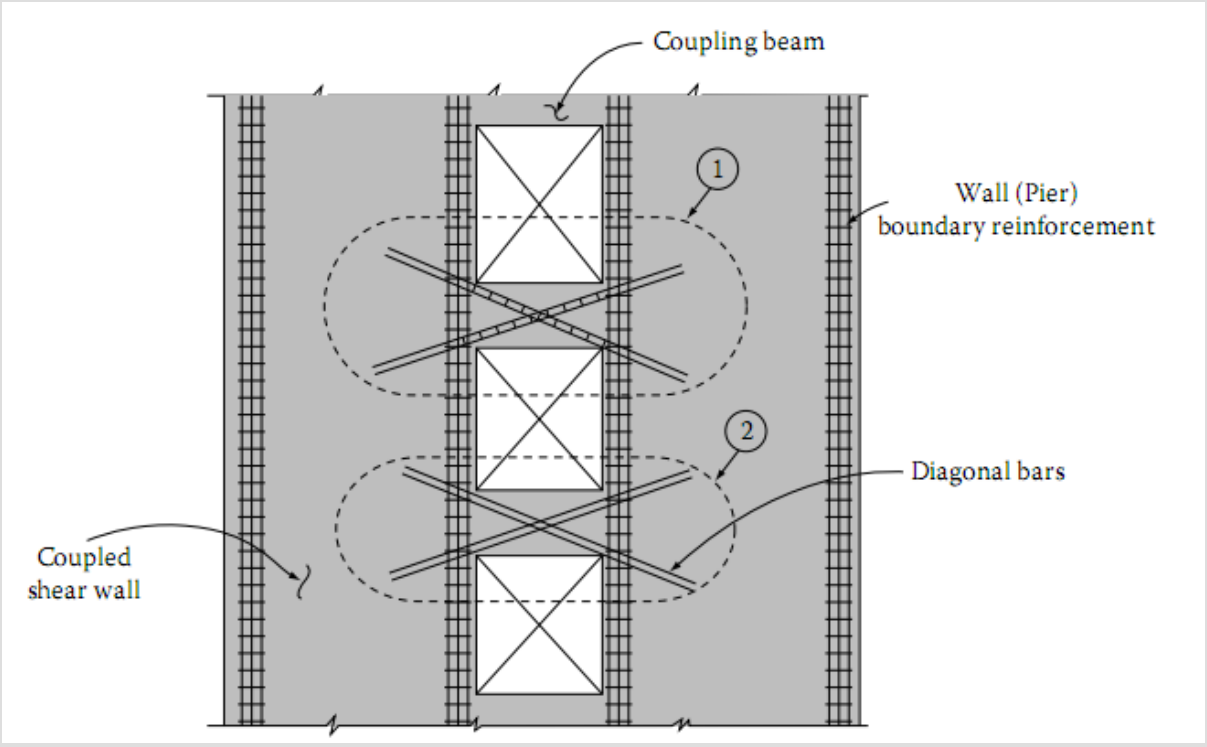
تكنولولوژي سيسنم قالب تونلي براي افزايش سرعت احداث سازه هاي بلند

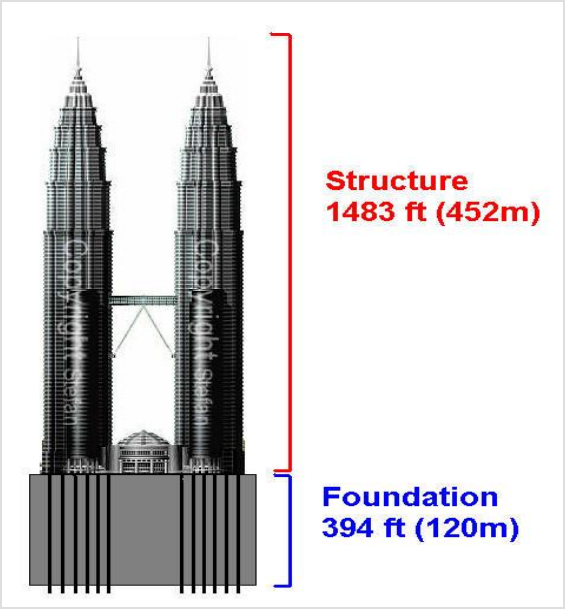
Riparian Building in Brisbane, Queensland (courtesy of Wallbridge & Gilbert)



Vibration isolation connection detail and installation (courtesy of Wallbridge & Gilbert)




Coupling beam
1
Wall (Pier)
boundary reinforcement
2
Diagonal bars
Coupled
shear wall



Petronas Towers – Kuala Lumpur

تعداد طبقات	۸۸
ارتفاع	۴۵۱.۹ متر از سطح خیابان
ارتفاع بدون قسمت راس	۳۷۸ متر
محل پل هوایی	طبقات ۴۱ و ۴۲
طول پل هوایی	۵۸.۴ متر
ارتفاع پل هوایی	۱۷۰ متر از سطح خیابان
ارتباط عمودی	۲۹ آسانسور سریع در هر برج
تعداد پله برقی	۱۰ عدد در هر برج
روکش فولاد ضد زنگ	۶۵۰۰۰ متر مربع
بتن	۱۶۰۰۰۰ متر مکعب در کل سازه
فولاد	۳۶۹۱۰ تن
پی	۴.۵ متر ضخامت و زیر هر برج با ۱۰۴ شمع ۶۰ تا ۱۱۵ متری حمایت شده

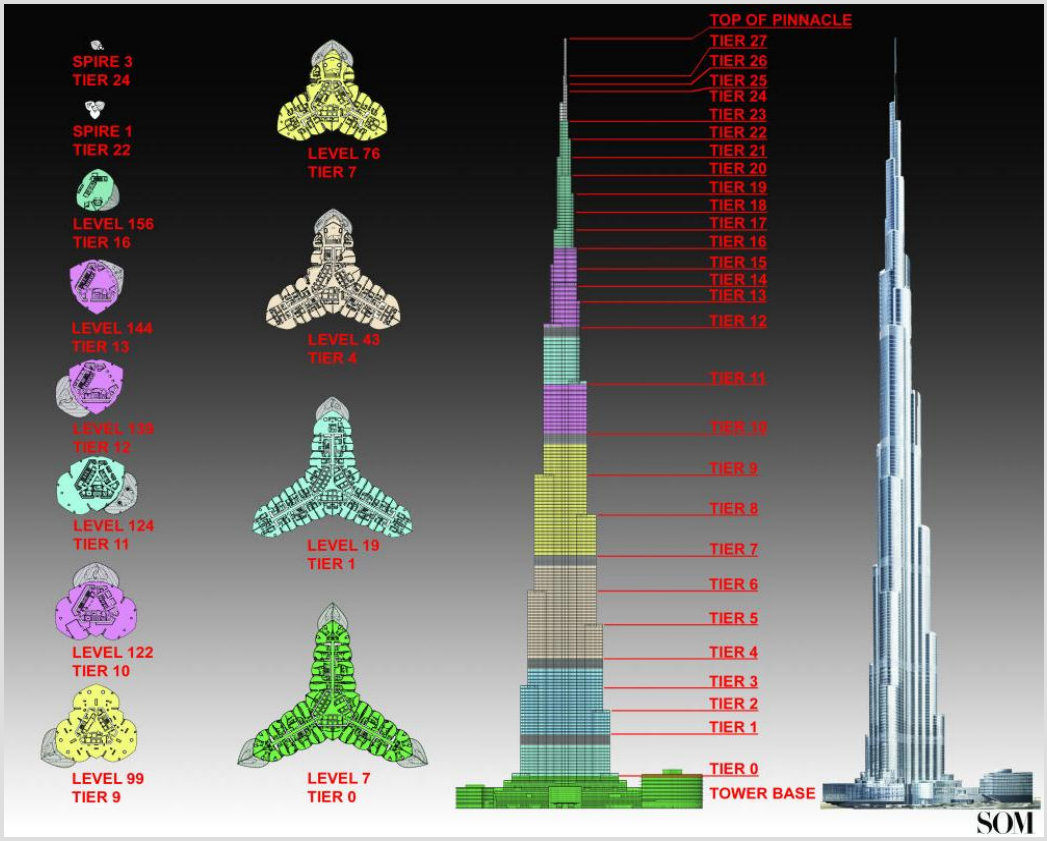
برج CN (Canadian national) تورنتو

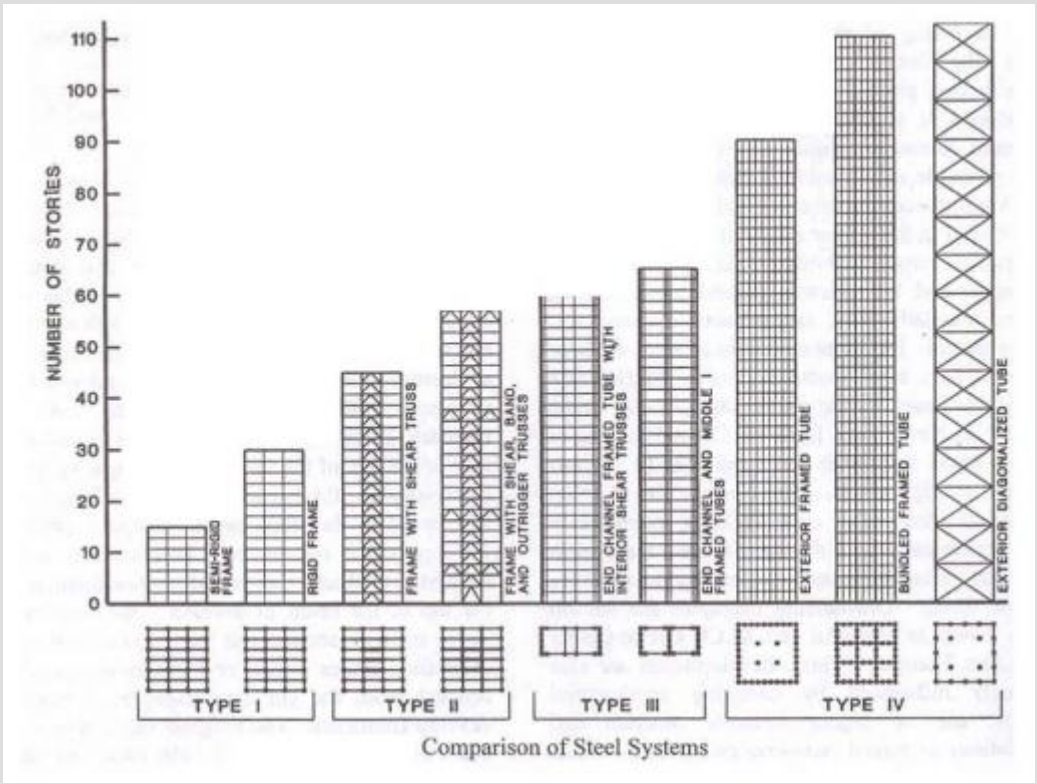
مشخصات برج مخابراتی :

ارتفاع	۵۵۳ متر
ارتفاع پوسته فضایی	۴۴۷ متر
برد مشاهده	۱۲۵ کیلو متر
زمان کل ساخت	۴۰ ماه
وزن کل برج	۱۱۷۹۱۰ تن
حجم بتن ریزی	۴۰۵۲۴متر مکعب
تسلیحات فولادی	۴۵۳۵ تن
حداکثر نوسان آنتن در باد ۱۹۰ (Km/h)	۱.۰۷ متر
حداکثر نوسان پوسته فضایی در باد ۱۹۰ (Km/h)	۴۶ سانتی متر

برج دوبی (خلیفه)

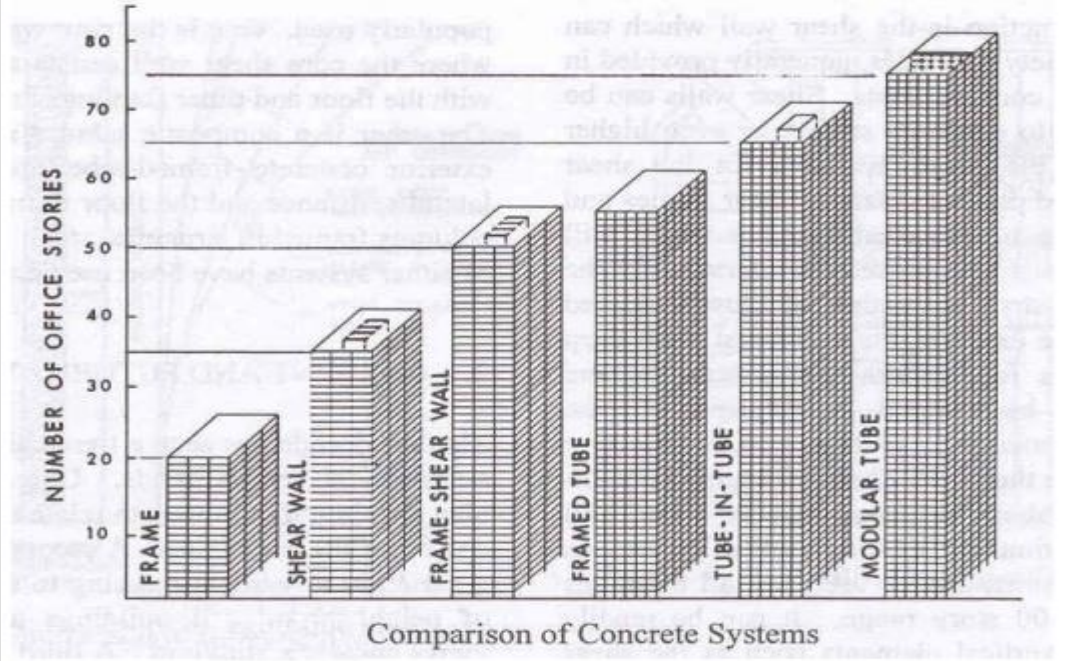
- ۸۲۸ متر ارتفاع
- ۲۰۰ طبقه
- بیش از هزار واحد آپارتمان
- ۴۹ طبقه اداری
- ٤ استخر
- یک کتابخانه مخصوص ساکنان برج
- علاوه بر این یک هتل با ۱٦۰ اتاق در طبقات پایینی برج با نام طراح مد ایتالیایی جورجیو آرمانی واقع شده است.





Comparison of Steel Systems

- volume of materials
- energy consumption
- waste generation
- noise and vibration
- effects on existing buildings
- effects on underground services
- pollution to groundwater
- archaeological impact



Comparison of Concrete Systems

1. Load control method.
2. Displacement control method
3. Arc control method
4. Work control method.

Geometric effects:

1. Initial imperfections such as member camber and out of plumb erection of a frame.
2. The P-Δ effect, destabilizing moment equal to gravity load times the horizontal displacement it undergoes as a result of lateral displacement.
3. The P-δ effect, the influence of the axial on the flexural stiffness of the individual member.

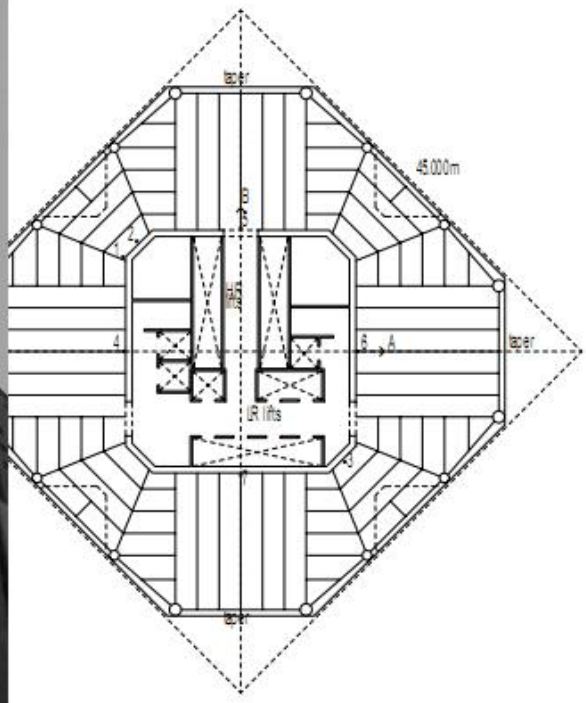
Material effect :

1. plastic deformation of the steel structures.
2. Cracking or creep of reinforced concrete structure.
3. Inelastic interaction of axial force, bending, shear and torsion.

Combined effects:

1. Plastic deformation plus P-Δ effect and/ or P-δ effects.
2. Connection deformation
3. Panel deformation
4. Contribution of secondary system to strength and stiffness.

Elevation and section through building at level 18



Eiffel Tower - Paris

Pisa, Italy

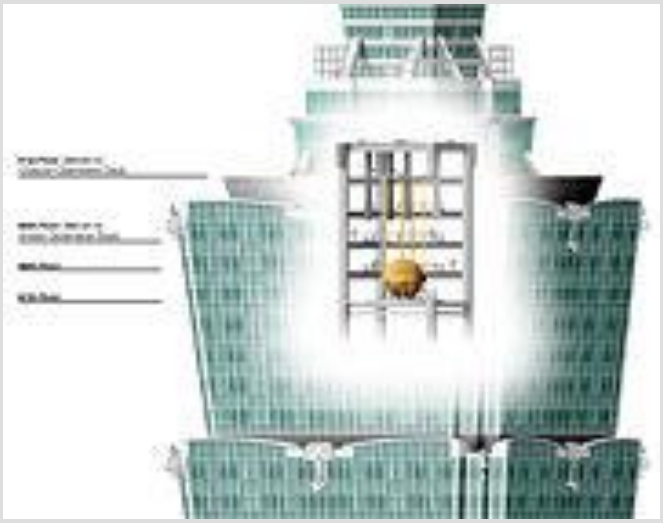
40 Wall St. vs. Chrysler

Empire State Building – New York

Sears Tower – Chicago

Turning Torso – Mälmo, Sweden

Taipei 101- China



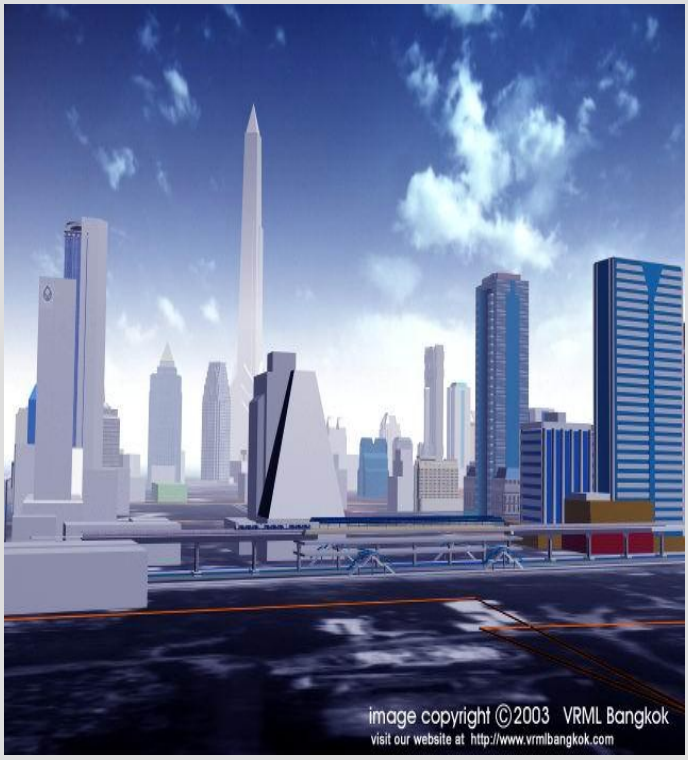
Twin Towers - Kuwait

Shanghai World Financial Center

Dancing Towers - Dubai

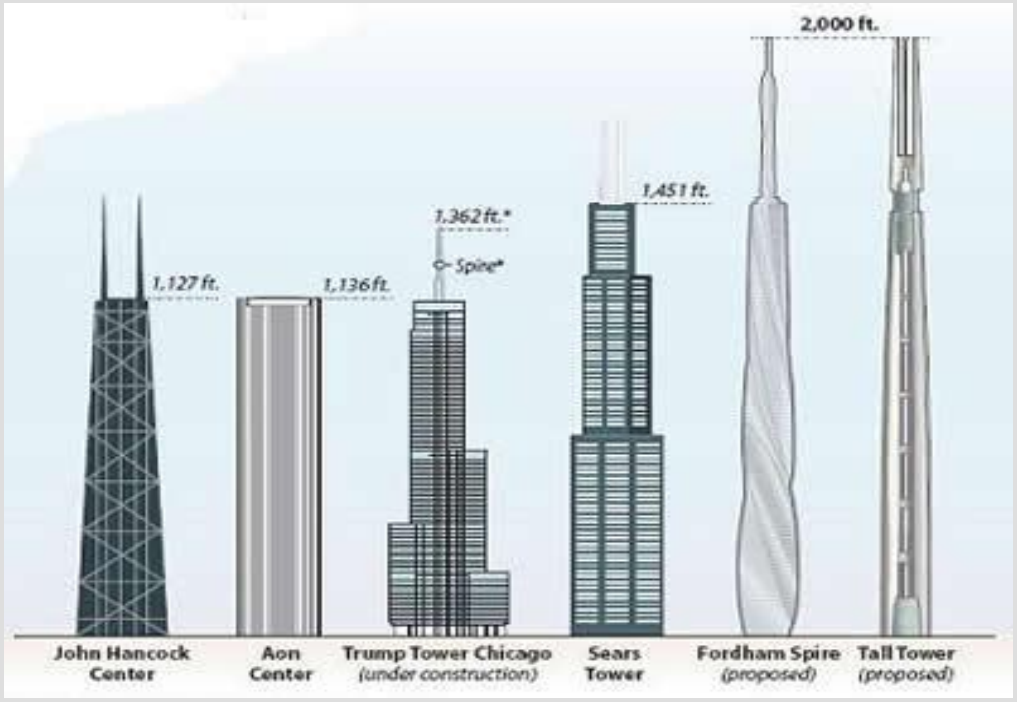
Moscow City Tower – Moscow

Freedom Tower – New York



Siam Tribute – Thailand

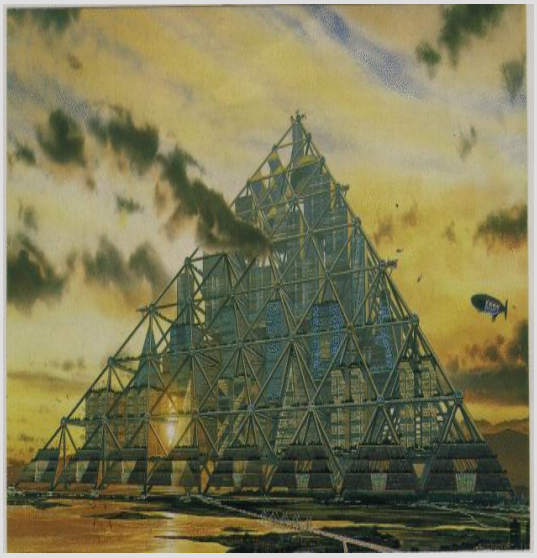
Chicago Spire



Burg Mubarak al-Kabir – Kuwait

Al burj – Dubai

Sky City – Tokyo, Japan



Shimzu Mega City Try-4000

Panama City

Bionic Tower

‘Sporefloater’ – Singapore

Park Towers - Dubai

Phase Tower – Paris

Burj al arab – Dubai

برجهاي دوقلو تجارت جهاني در نيويورك

منابع

۱-ایمان الیاسیان، سیستم های سازه ای ساختمان‌های بلند با رویکرد بررسی برجهای دوقلوی پتروناس مالزی، سایت Iransaze

۲- محمود گلابچی ، سیستمهای ساختمانی پیشرفته، دانشگاه تهران، دانشکده معماری و هنرهای زیبا

۳- محمود گلابچی، سازه های معاصر، دانشگاه تهران، دانشکده معماری و هنرهای زیبا

۴-حجت ا. . . عادلی، گانگ شولر، ولف ، سازه های ساختمان بلند، انشارارت دهخدا، ۱۳۷۶

۵- حسن حاجی کاظمی،سازه های ساختمان بلند

6- Bungale S . Taranath ,Reinforced Concrete Design of Tall Buildings, CRC Press ,Taylor and Francis Group 2010

۷- محمد رضا یمانیان،هانیه اخوت،محمد رضا اخوت، کنترل ارتعاش سازه های بلند مرتبه با استفاده از سیستم جرم میراگرمتوازن ، شماره ۵۹ ماهنامه بین المللی راه و ساختمان

۸- ایمان الیاسیان، انواع سیستم های سازه ای ساختمان‌های بلند ، سایت Iransaze

9-The Structural Design of Tall and Special Buildings 2008,2009,2010,2011,Wiley InterScience

۱۰- محمد مهدی اسماعیلی، بررسی رفتار سازه های لوله ای مهاربندی شده در ساختمانهای بلند تحت اثر نیروهای زلزله ،پایان نامه کارشناسی ارشد سازه،دانشگاه تربیت مدرس ۱۳۸۰

۱۱- سمینار دکتر عیسی سلاجقه ، سیستمهای سازه ای درسازه های بلند،دانشگاه شهید باهنر کرمان

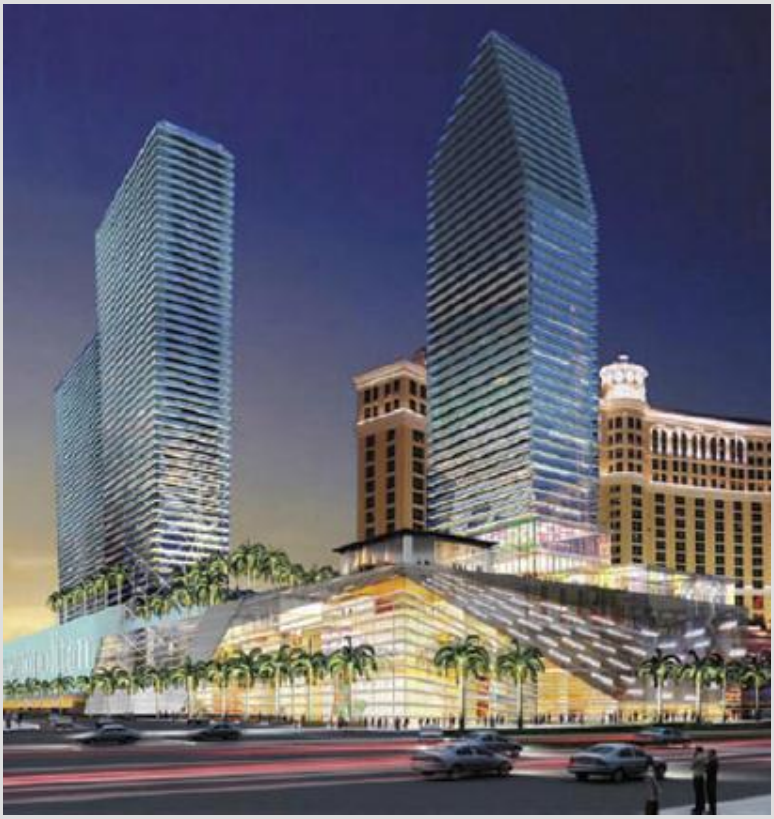
انواع سیستم های سازه ای ساختمان‌های بلند

High-rise Structural Systems

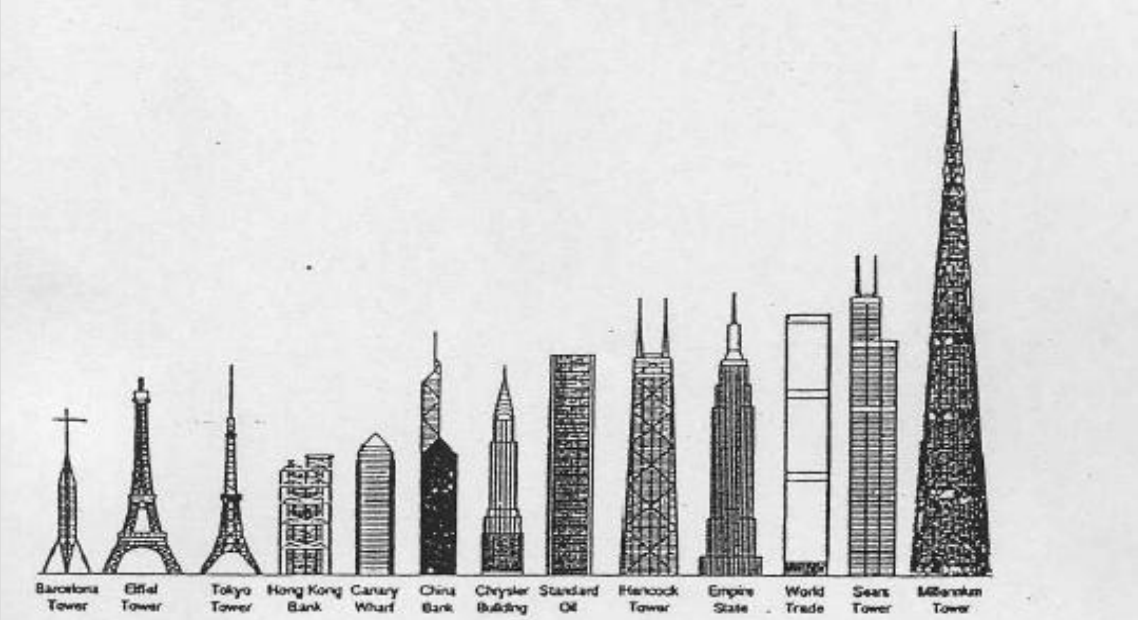
ایمان الیاسیان، کارشناس ارشد سازه iman.elyasian@gmail.com

زمانی یک سازه را می توان بلند نامید که ارتفاع آن باعث شود نیروهای جانبی ناشی از باد و زلزله بر طراحی آن تأثیر قابل توجهی گذارد و تاریخچه سازه های بلند به ساختمان آجری ۱۶ طبقه که در سال ۱۸۹۱ در شیکاگو آمریکا ساخته شد، باز می گردد . در همین زمان استفاده از مقاطع فولاد نورد شده آغاز گردید که منجربه ساخت سازه های بلند دیگری گردید، درسال ۱۹۷۳ برجهای دوقلو تجارت جهانی در نیویورک که در سال ۲۰۰۱ بر اثر تصادم هواپیما به آنها تخریب شدند، ساخته شده که ۱۱۰ طبقه با ارتفاع ۴۱۲ متر و برج سیرز در شیکاگو با ارتفاع ۴۴۲ متر و پتروناس در کوالالامپور مالزی با ارتفاع ۴۵۲ متر از جمله سازه های بلند دهه های اخیر می باشند وبه طور کلی در طراحی آنها اثر پی- دلتا و بار گذاری تدریجی(اثرتصاعدی کوتاه شدگی ها)، تنشهای اضافی ناشی از نشست نسبی، خزش، آبرفتگی و حرارت را بایستی لحاظ کرد.

ازجمله سیستمهای سازه های بلند قابهای صلب،قابهای مهاربندی شده،قابهای میانپر، دیوارهای برشی کوپل، ترکیب قاب و دیوار،هسته های دیوار برشی، قابهای محیطی دسته شده را می توان نام برد



معیار آسایش برای تأسیسات مکانیکی ، برقی وتهویه مناسب بکار رفته ، خزش ، آبرفتگی و اثرات حرارتی کنترل شده و در طراحی مجاز ۲۵٪ تقلیل در مجموع بارهای باد، زلزله و ثقلی ایجاد گردد که در ساختمانهای بلند ولاغر انعطاف پذیر در دینامیک سازه نحوه بارگذاری تأثیر زیادی دارد
اهمیت اثر نیروی جانبی با بالا رفتن ارتفاع ساختمان با سرعت زیادی افزایش می یابد. در ارتفاع معینی تغییر مکان جانبی ساختمان چنان زیاد می شود که ملاحظات سختی کنترل کننده طرح می گردند تا اینکه مقاومت مصالح سازه ای . درجه سختی اساسا بستگی به نوع سیستم سازه دارد . بعلاوه بازده هر سیستم خاصی مستقیما با مقدار مصالح مصرف شده ارتباط دارد.بنابراین از بهینه کردن سازه برای شرایط فضایی معینی باید با حداقل وزن حداکثر سختی حاصل شود .



ساختمانهای مرتفع

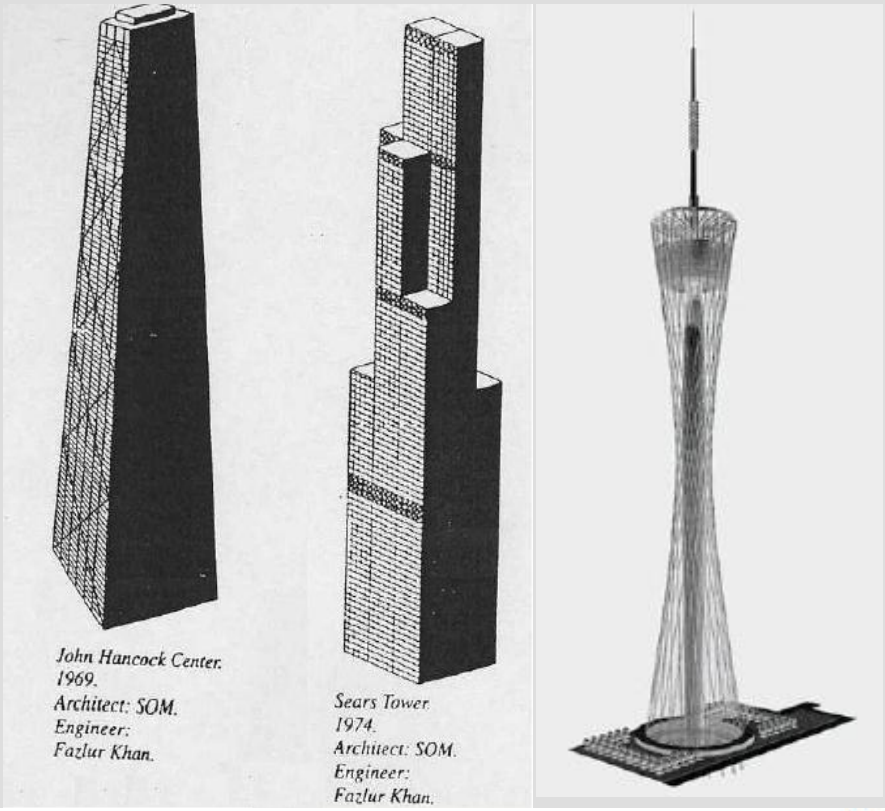
این عمل منجربه ابداع سیستم های سازه ای مناسب برای حدود ارتفاعات معین میگردد. بعضی از عواملی که در توسعه این سیستم های تازه نقش مهمی داشته اند عبارتند از:

* مصالح سازه ای با مقاومت زیاد.
* عمل مرکب بین عناصر سازه ای ساخته شده از دو یا چند نوع مصالح.
* روش های جدید اتصال قطعات.
* تخمین رفتار پیچیده سازه ها به وسیله ماشین های حسابگر الکترونیک(کامپیوتر).
* استفاده از مصالح ساختمانی سبک تر.
* روش های اجرایی جدید.

در بخش های زیر متداول ترین سیستم های سازه ای مورد بحث قرار می گیرند.در این بحث ها طرح های هندسی نمونه،رفتار سازه ها تحت بار گذاری،و بازده سیستم ها مورد تأکید می باشند.

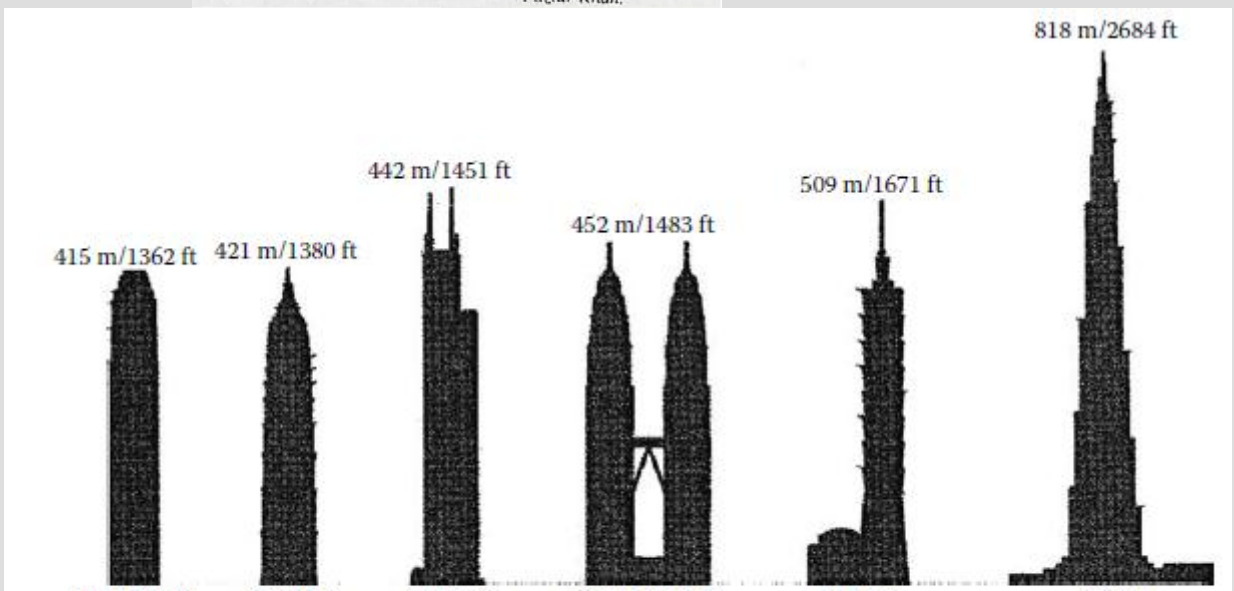
* سازه دیوار باربر
* سازه هسته برشی
* سازه تیر دیواری

سازه دیوار باربر

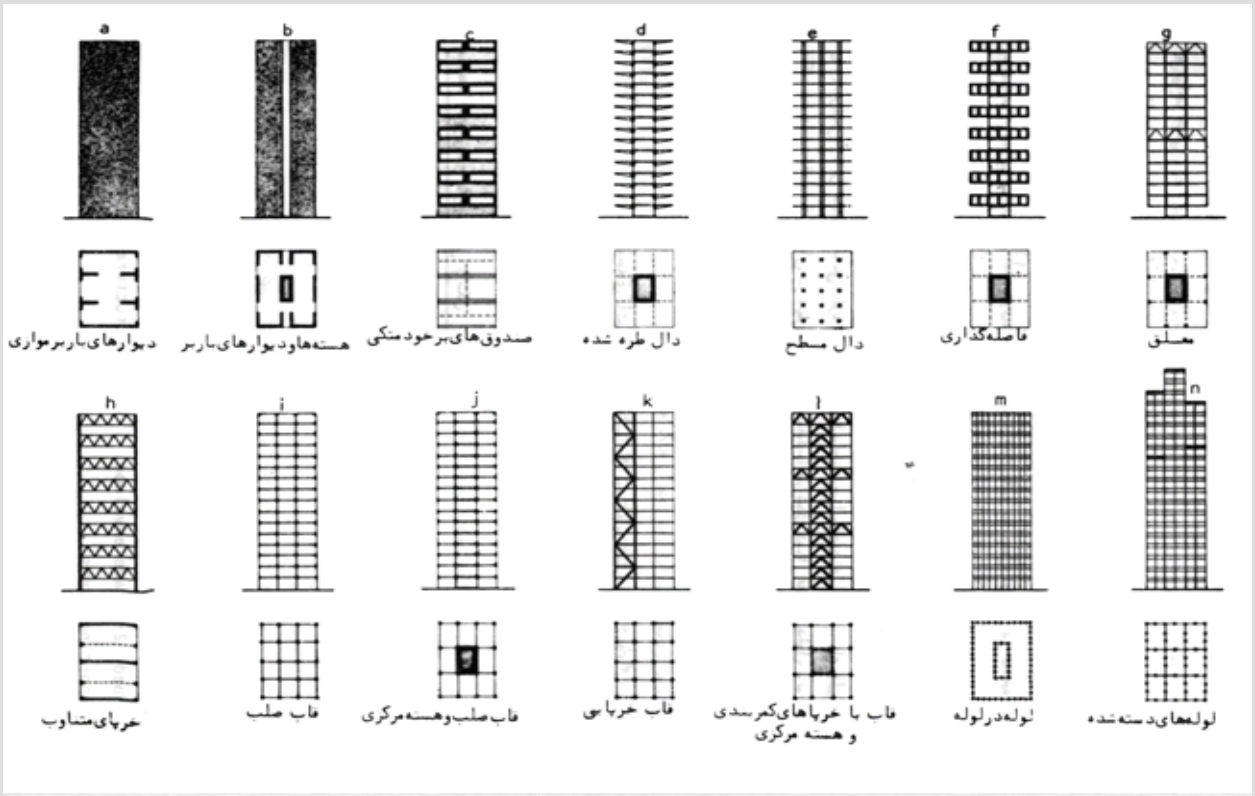


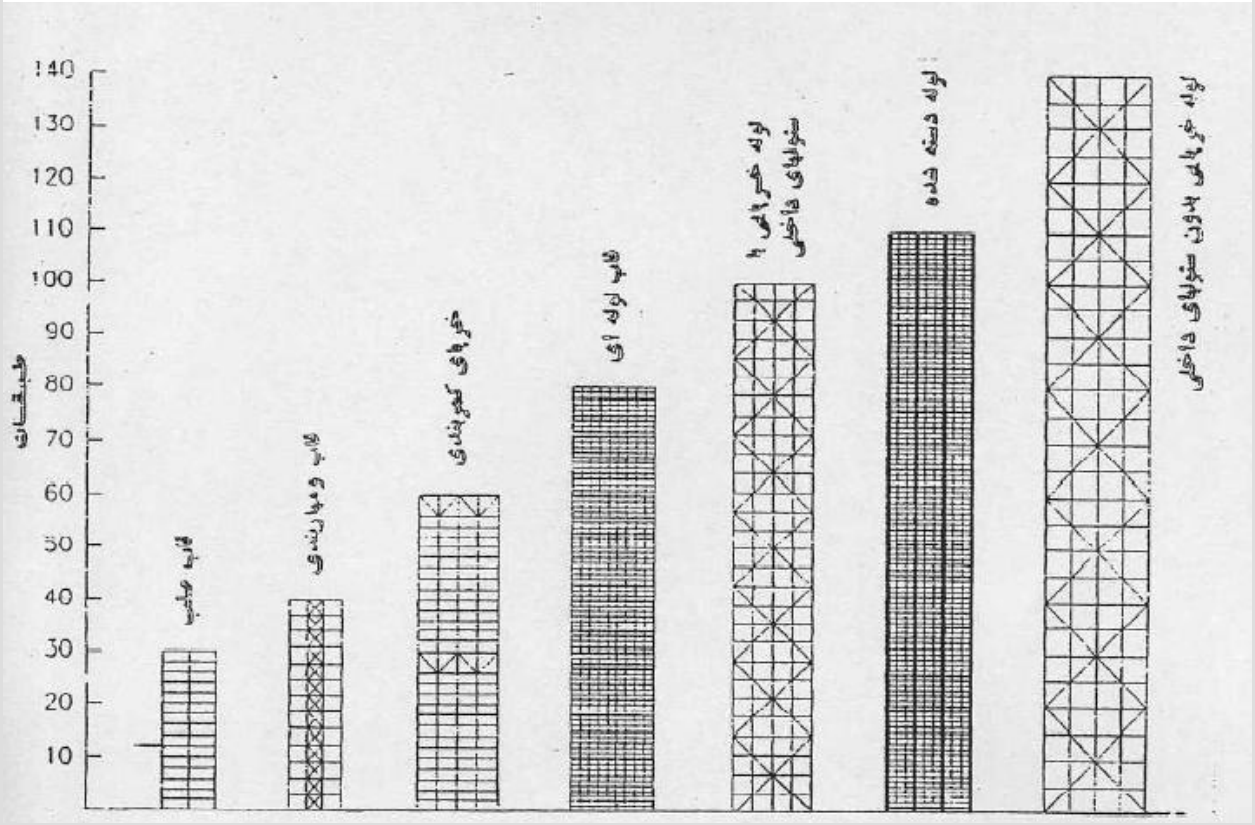
John Hancock Center.
1969.
Architect: SOM.
Engineer:
Fazlur Khan.

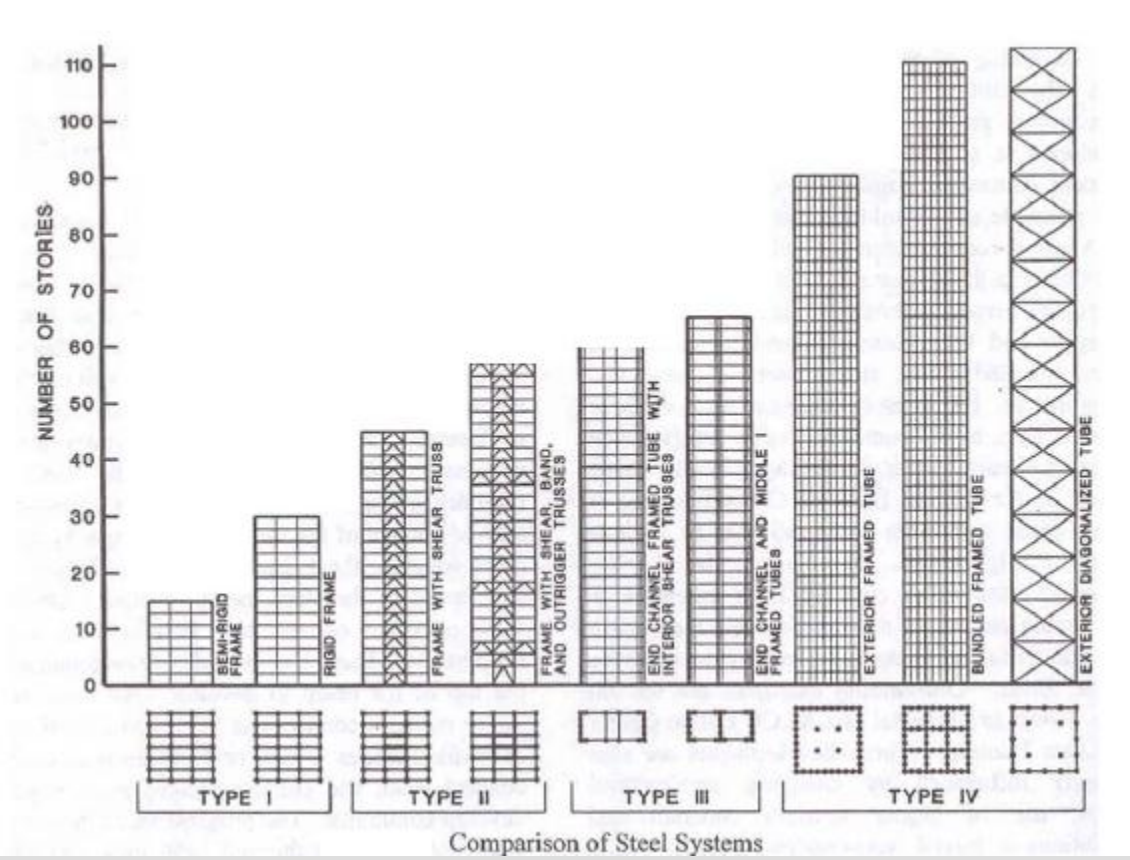
Sears Tower
1974.
Architect: SOM.
Engineer:
Fazlur Khan.



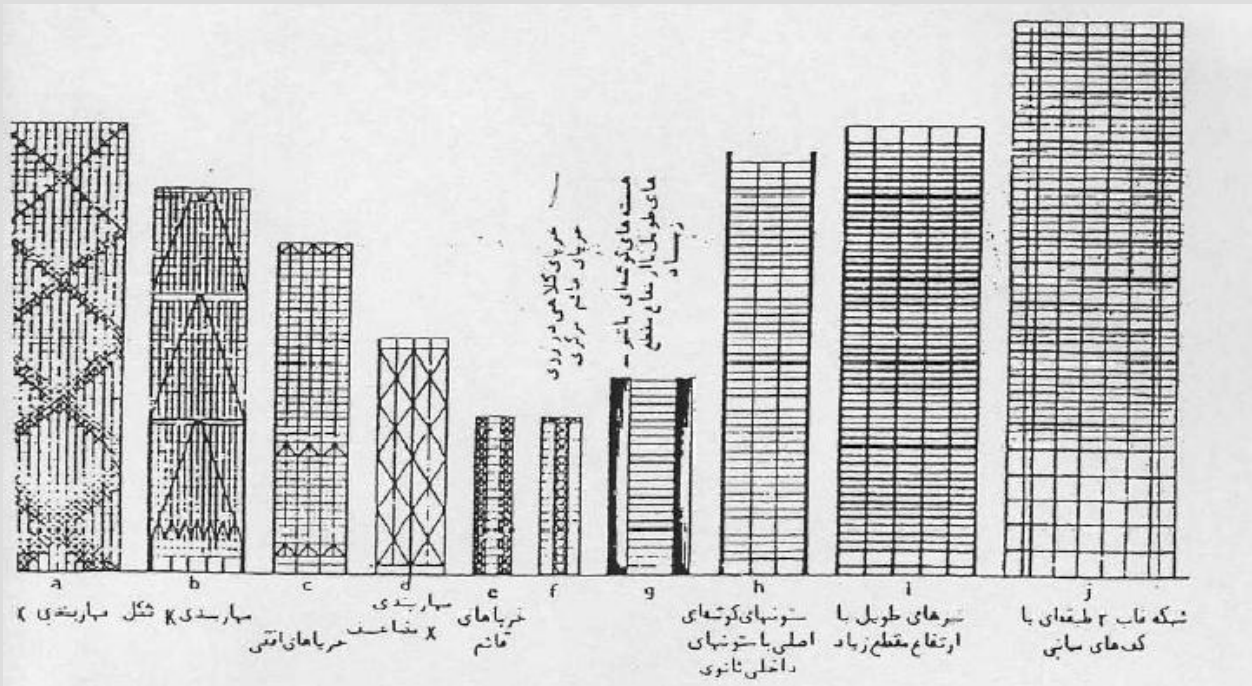
Comparative heights of several of the world's tallest buildings.

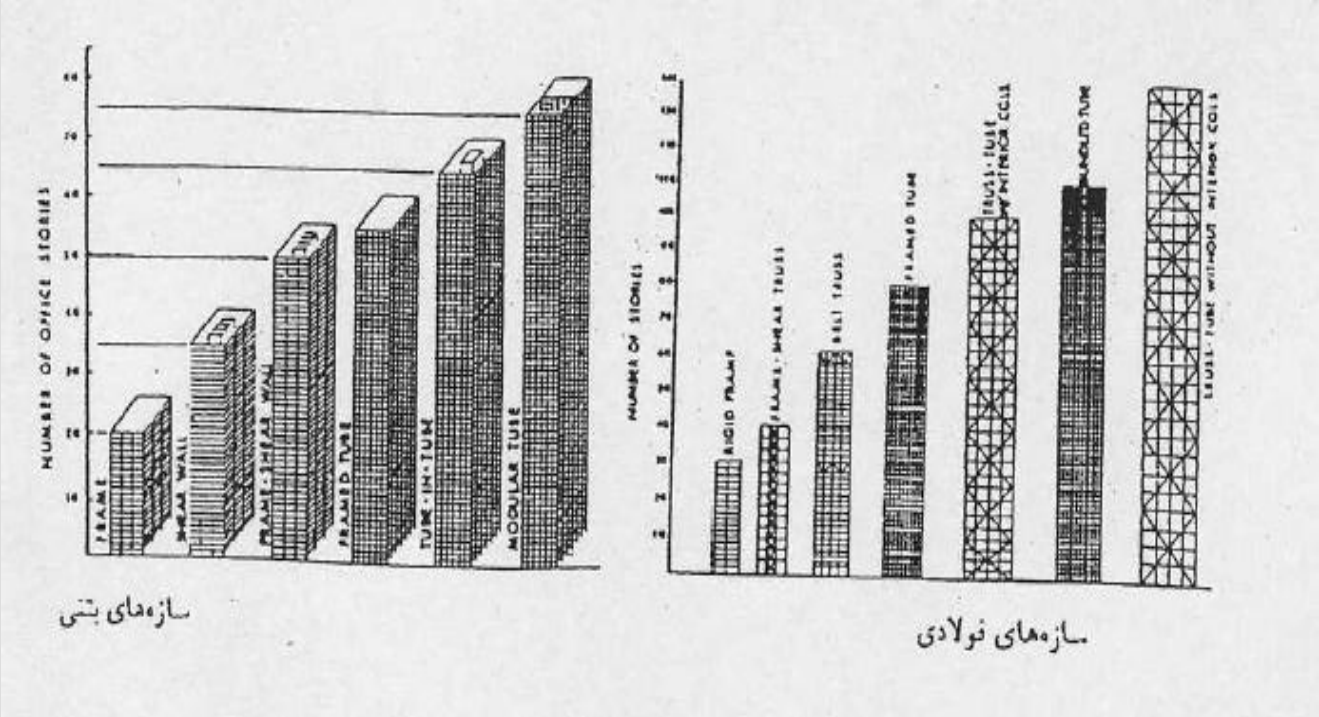

a
b
c
d
e
f
g
دیوارهای باربر موازی
هسته‌ها و دیوارهای باربر
صندوق‌های برخود متکی
دال طره شده
دال مسطح
فاصله‌گذاری
معلق
h
i
j
k
l
m
n
خرپای متساوی
قاب صلب
قاب صلب و هسته مرکزی
قاب خرپایی
قاب با خرپاهای کمربندی و هسته مرکزی
لوله در لوله
لوله‌های دسته شده


140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
طبقات
قاب صلب
قاب و مهاربندی
خرپاهای کمربندی
قاب لوله ای
لوله خرپایی با ستونهای داخلی
لوله دسته شده
لوله خرپایی بدون ستونهای داخلی



Comparison of Steel Systems





فرمهای سازه بلند

۱-هسته مرکزی باستونهای محیطی ۲- قابهای مهاربندی شده (مهاربند تک قطری، ضربدری، Kشکل، زانویی) ۳-قابهای صلب ۴- قابهای میان پر (دارای دیوار پرکننده) ۵-دیوار برشی ۶- دیوار برشی کوپل و با تیر همبند ۷- قاب-دیوار ۸-قابهای محیطی تو درتو ۹-قابهای محیطی دسته بندی شده هسته و پوسته ۱۰- قابهای محیطی مهاربندی شده ۱۱-سازه های با مهار زانویی ۱۲- سازه های معلق ۱۳-سازه های با هسته مرکزی ۱۴- سازه های فضایی ۱۵- سازه های پیوندی و مرکب

در آنالیز سازه های بلند یک بار آنالیز اولیه انجام داده پس از آن آنالیز ثانویه و نهایی را انجام داده و آنالیز اولیه و نهایی را با روشهایی با هم ترکیب می نماییم و بایستی ساهتمان تحمل برش جانبی و افقی راداشته و ستونهای فرعی با ستونهای اصلی در تحمل لنگرهای جانبی مشارکت داشته و لنگی برشی کاهش یابد وسازه در برابر لنگر ناشی از بارهای افقی مقاوم بوده و بار شاهتیرها با انتقال بخشی از بار ستونهای اصلی به فرعی کاهش یافته و تنشها یکنواخت گردد.

آنالیز و طراحی قابهای صلب

۱- تخمین نیروهای قائم به روش تقریبی در ستونها و شاه تیرها
۲- تخمین ابعاد اولیه ی اعضا براساس نیروهای قائم با درصدی افزایش به منظور وارد نمودن اثرات بارهای قائم
۳- جایگزینی تقریبی بارهای افقی بر مجموعه های خمشی و آنالیز اولیه نیروهای اعشای آنها
۴- کنترل جابجایی و اصلاح ابعاد اعضا در صورت لزوم
۵- کنترل مقاومت اعضا برای بدترین ترکیب بارگذاری قائم و افقی و اصلاح ابعاد آنها در صورت لزوم
۶- آنالیز کامپیوتری کل سازه برای کنترل دقیقتر مقاومت و جابجایی اعضا و انجام اصلاحات ابعاد در صورت نیاز و تأثیر بارقائم-تغییر مکان جانبی

۷- طراحی مفصل و دقیق اعضا و اتصالات

آنالیز و طراحی سازه های با مهارزانویی

۱-رفتار سازه الاستیک خطی است

۲-ستونها فقط تحت اثر نیروهای محوری قرار دارند

۳- مهارهای بازویی به صورت صلب به هسته وهسته به صورت صلب به فونداسیون متصل هستند

۴- خواص هندسی مقطع هسته، ستونها و مهار بازویی در راستای ارتفاع یکنواخت می باشد.

از لحاظ تاریخی سازه های ضخیم و سنگین ساخته شده از مصالح بنایی بوده اند.وزن زیاد و انعطاف ناپذیری آنها در طرح افقی باعث عدم استفاده مؤثر از آنها در ساختمان های بلند گردید.اما پیشرفت تکنولوژی جدید در استفاده از مصالح بنائی مهندسی ساخته شده و قطعات بتنی ساخته مفهوم دیوار باربر را برای ساختمان های با ارتفاع متوسط اقتصادی ساخته است.

این سیستم برای انواعی از ساختمان ها که در آنها تقسیمات مکرر فضا لازم است مانند آپارتمان ها و هتل ها قابل استفاده می باشد. روش دیوار باربر برای انواع طرح و شکل ساختمان ها مناسب است.نقشه های افقی این طرح ها از شکل های مستطیلی ساده تا شکل های دایره ای و مثلثی متغییر می باشند.

سازه های دیوار باربر عموماً شامل مجموعه ای از دیوارهای خطی می باشند.بر اساس نحوه قرار گرفتن این دیوارها در ساختمان آنها را می توان به سه گروه اصلی تقسیم نمود:

* سیستم دیوار عرضی که شامل دیوار های خطی در امتداد عمود بر طول ساختمان می باشد و در نتیجه مانع نما کاری نمای اصلی نمی گردد.

* سیستم دیوار طولی که شامل دیوارهای خطی موازی طول ساختمان می باشد این رو دیوار نمای اصلی را تشکیل می دهد.

* سیستم دو طرفه که شامل دیوارهای موازی عرض و طول ساختمان می باشد.

همچنین ممکن است ساختمان را بطور مشخصی به قسمت های سازه ای مختلف تقسیم کرد بطوریکه هر قسمت سیستم دیوار جداگانه ای را به کار ببرد.

ترتیب قرار گرفتن دیوارها که در اینجا بحث شد در مورد ساختمان های مستطیلی ممکن است به وضوح قابل بیان باشد،اما در مورد ساختمان های با تصاویر افقی پیچیده تر طبقه بندی کردن ممکن است تا حدودی مشکل باشد.

رفتار سازه دیوار بار بر تحت بار گذاری بستگی به مصالح مصرف شده و نحوه اثر متقابل صفحه افقی کف و صفحه قائم دیوار دارد.به عبارت دیگر این رفتار تابعی از درجه پیوستگی(اتصال) دیوارها به یکدیگر و به دال های کف می باشد.اتصال سازه کف به دیوارهای پیوسته را باید مفصلی تصور کرد.(با فرض هیچگونه سیستم اتصال خاصی بکار نرفته باشد)،در صورتی که در ساختمان های بتنی در محل ریخته شده ،دال هاو دیوارها بطور واقعی متصل و پیوسته هستند. واضح است که ساختمان بتنی در محل ریخته شده ،با توجه به رفتار سه بعدیش،خیلی سخت تر از ساختمان ساخته شده ار مصالح بنائی یا قطعات پیش ساخته مفصلی می باشد و این نکته بتن را برای ساختمان های بلندتر اقتصادی می سازد.

بارهای قائم با ایجاد خمش از سازه کف مستقیما به دیوارها انتقال می یابند.دهانه های متداول کف ها (یعنی

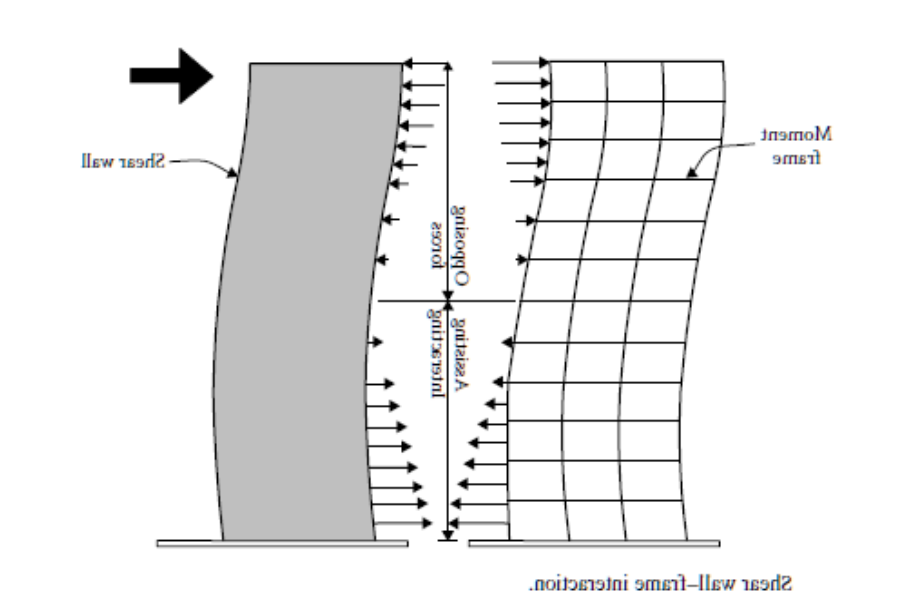
فاصله بین دیوارها) بسته به ظرفیت حمل بار وصلبیت جانبی سیستم کف و عوامل دیگر بین ۱۲ تا ۲۵ فوت متغیر می باشند.چون دیوار بارها را خیلی شبیه به یک ستون باریک و عریض مقاومت می کند پایداری آن در مقابل کمانش باید کنترل گردد.

تنش های فشاری در دیوار تابعی از دهانه کف،ارتفاع و نوع ساختمان ،و اندازه و ترتیب سوراخ های دیوار(برای در و پنجره و غیره)می باشد. سوراخ های دیوار باید روی یک محور قائم قرار داده شود تا از تمرکز و ترکیب تنش ها در اثر ترتیب متناوب پنجره ها اجتناب گردد.

کف هایی که بصورت خارج از مرکز به دیوارها متصل می باشند لنگرهای خمشی ایجاد می کنند که دیوار باید آنها را نیز مقاومت کند.

نیروهای افقی به وسیله سازه کف که مانند دیافراگمی افقی عمل می کند به دیوارهای برشی موازی امتداد نیرو توزیع می شود. ین دیوارهای برشی به دلیل صلبیت زیاد شان مانند تیرهای با عمق زیاد عمل می کنند و در مقابل برش،خمش و واژگونی مثل آن واکنش نشان می دهند.

در مقابل نیروی باد موازی با جهت کوتاه ساختمان،دیوارها در سیستم دیوار عرضی نه فقط بارهای وزن را تحمل می کنند بلکه در مقابل برش ناشی از باد نیز مقاومت می نمایند. از طرف دیگر سیستم دیوار طولی این دو وظیفه دیوارها را هم جدا می کند. دیوارهای طولی بارهای وزن را تحمل می نمایند و نیروهای باد را به صورت خمش موضعی به دیافراگم کف یا مستقیما به دیوارهای برشی واقع در وسط یا دو انتهای ساختمان منتقل می کنند.



در مورد اثر باد روی ضلع کوتاه ساختمان که اهمیت کمتری دارد، دیوارهای باربر در سیستم دیوار طولی اکنون به صورت دیوار های برشی نیز عمل می کنند. در سیستم دیوار عرضی دیوارهای برشی را ممکن است در امتداد کریدور مرکزی قرار داد. در ساختمان های بتنی در محل ریخته شده، پایداری در اثر رفتار یکپارچه سیستم کف-دیوار که مانند یک واحد صندوقی با خمش واکنش نشان می دهد تامین می گردد.

بنابراین با فرض دیافراگم های کف بی نهایت صلب آنها مستقیماً به نسبت سختی نسبی شان بارهای باد را

مقاومت می کنند.اما اگر طرح دیوارها چنان باشد که نیروی برآیند باد از مرکز جرم دیوار های مقاوم عبور نکند،پیچش ایجاد می شود که باعث افزایش برش در بعضی از دیوار ها می گردد.

رفتار دیوار برشی در مقابل بار گذاری جانبی به مقدار زیاد بستگی به شکل آن در تصویر افقی یعنی اینرسی حاصله در مقابل خمش دارد.

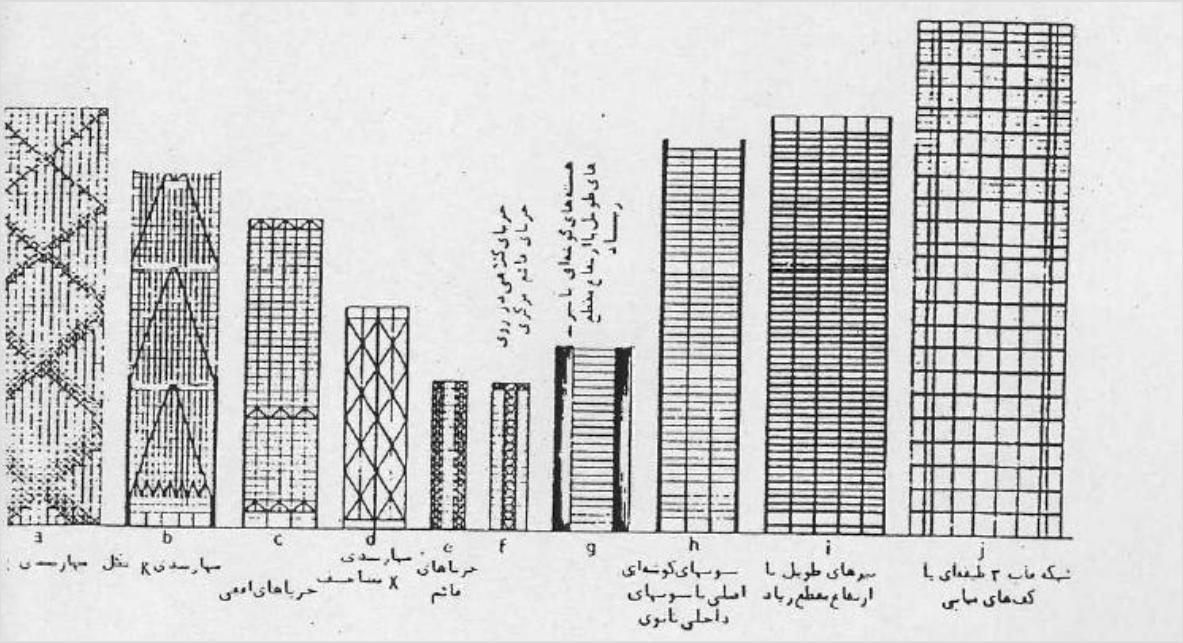
دیوارهای برشی به ندرت دیوارهای توپر می باشند زیرا غالبا در آنها سوراخ هایی برای پنجره و غیره تعبیه می شود که باعث ضعیف شدن آنها می گردد. تعداد، اندازه، و ترتیب قرار گرفتن این سوراخ ها ممکن است شدیداً در رفتار دیوار تأثیر داشته باشد.

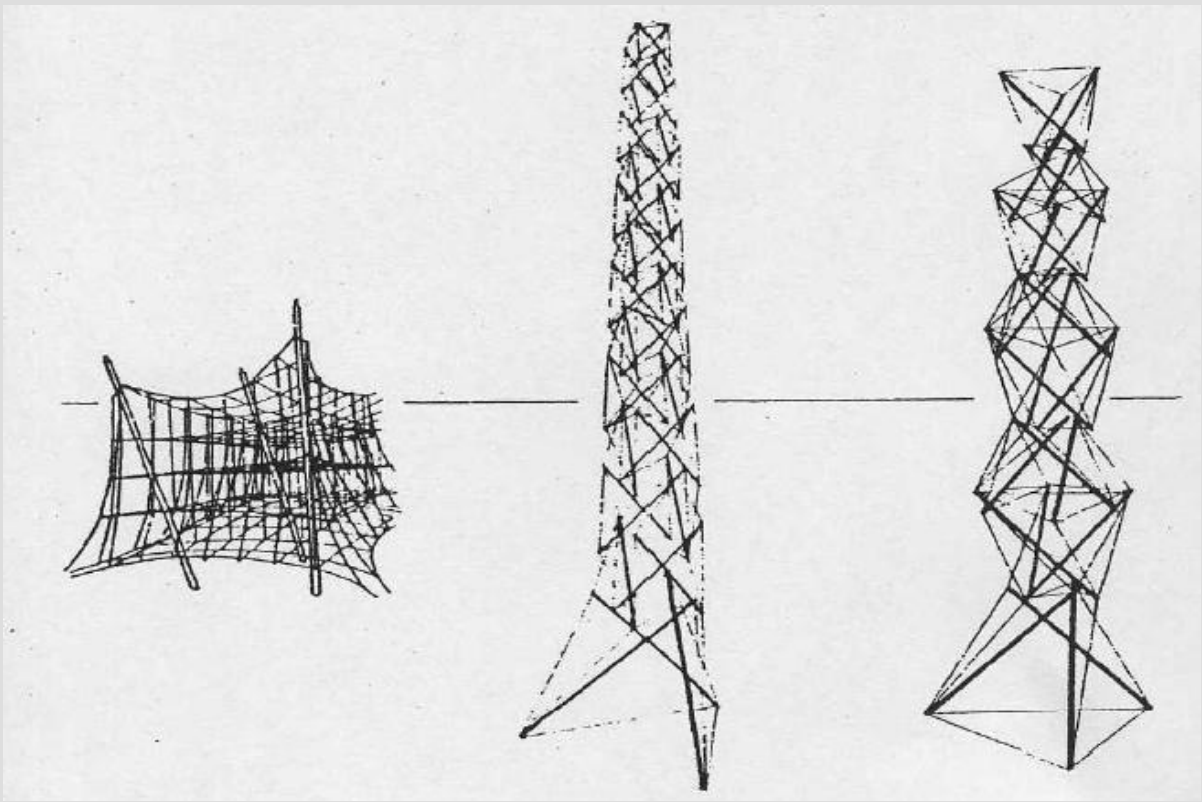
اگر دیوار فقط دارای سوراخ های پنجره کوچک باشد تحت بار گذاری جانبی مثل دیوار تو پر رفتار می کند. بارهای زیاد وزن چنان فشاری در دیوار تولید می کنند که دوران(خمش) ایجاد شده در اثر باد هرگز قادر به غلبه کردن آن در طرف رو به باد نمی باشد.

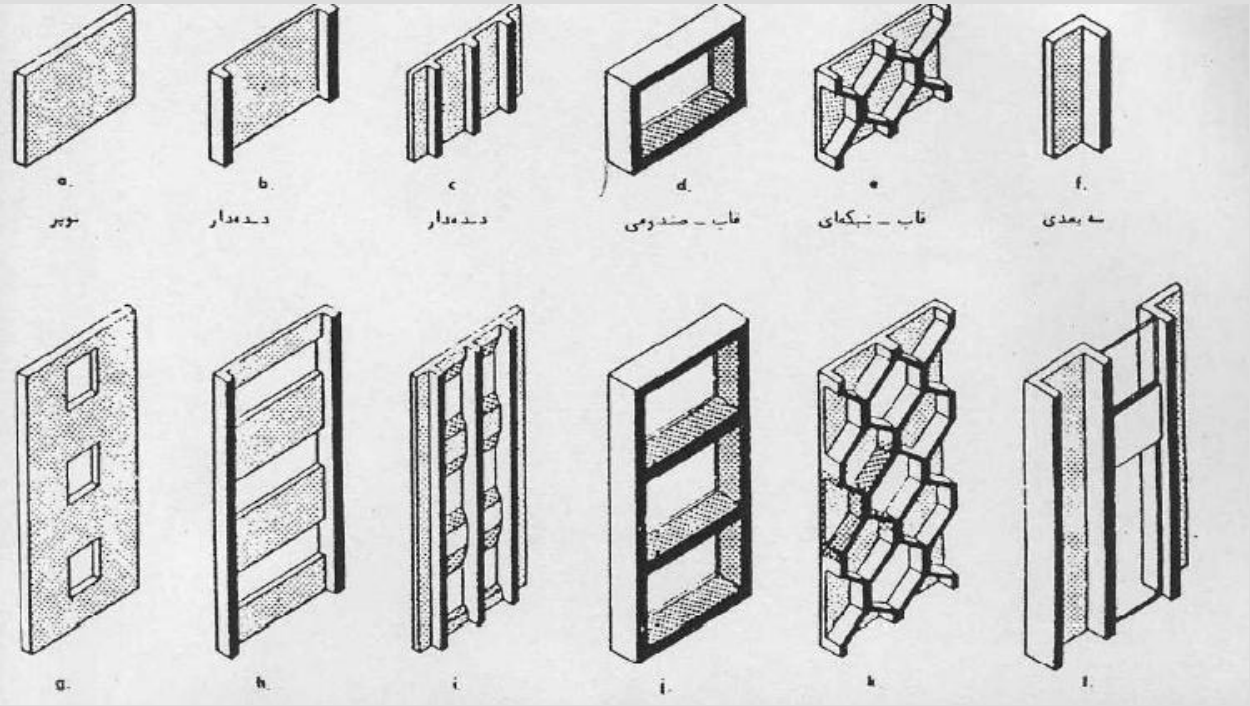
با قرار دادن سوراخ های در دریک دیوار برشی داخلی به طور متناوب بطوریکه در آن دیوار به صورت واحد هایی تکرار می شود. نتیجه مشابه ای به دست می آید. اما در منتهی الیه دیگر که در آن سوراخ ها به صورت شکافی دیوار را به دو واحد جدا تقسیم می کنند هر یک از واحد ها به صورت دیوار جداگانه عمل می نمایدو نصف بار را تحمل می کند.در چنین حالتی به دلیل بارهای وزن بالنسبه کم امکان اینکه در دیوار کشش ایجاد شود کاملاً وجود دارد. همچنین برای دیوار برشی داخلی در جایی که پیوستگی در عرض کریدور فقط بوسیله دال کف تامین می شود، با اطمینان می توان فرض نمود که دو قسمت دیوار به صورت جداگانه و انفرادی عمل می کنند ولی به علت وزن مرده بیشتر ممکن است در اثر باد کشش ایجاد نشود.

تعیین رفتار سیستم دیواری که بین حالت های منتهی الیه مورد بحث در بالا قرار دارد نسبتاً مشکل است. رفتار این سیستم های دیواری بستگی به مقدار صلبیت ایجاد شده بوسیله قسمت های فوقانی و تحتانی پنجره ها (یا درها) در مقابل برش قائم دارد. دیوار را ممکن است به صورت دو قطعه جدا تصور نمود که موقع مقاومت کردن بارهای جانبی تا حدودی روی یکدیگر اثر متقابل دارند.

در این بحث فرض شده است که دیوار های بار بر،تو پر و مسطح و در صفحه های قائم باشند. اما دیوارها ممکن است از شبکه ای از عناصر مورب یا اعضاء خطی ستونی در فواصل نزدیک تشکیل شده باشند.آنها همچنین ممکن است منحنی شکل یا تاب دار و در صفحه های مایل قرار گرفته باشند.


a
b
c
d
e
f
g
h
i
j
خرپاهای فضایی
X مضاعف
خرپاهای ماشه
سوپای کوشه‌ای اصلی یا سوپای داخلی تابوی
تیرهای طویل با ارتفاع معطع ریاد
شبکه های ۳ طبقه‌ای یا کف‌های سیایی





سازه هسته برشی

سیستم دیوار خطی بار بر برای ساختمان های آپارتمانی که در آنها وظایف و نحوه استفاده ساختمان ثابت است کاملاً مناسب می باشد. اما برای ساختمان های تجارتی و اداری حداکثر انعطاف پذیری در تقسیم بندی فضا لازم می باشد، از این رو در این ساختمان ها فضاهای باز و وسیع مطلوب است که بتوان آنها را به وسیله جدا کننده های متحرک تقسیم کرد. یک راه حل متداول این است که سیستم های قائم حمل و نقل و توزیع انرژی (مانند آسانسور، پله ها، و مجراهای عبور وسایل مکانیکی) را یک جا جمع کرده تا بسته به اندازه و وظیفه ساختمان تشکیل هسته یا هسته هایی بدهند. این هسته ها به عنوان سیستم های دیوار برشی مورد استفاده قرار می گیرند و پایداری جانبی لازم را برای ساختمان تأمین می کنند. به نظر می رسد که از لحاظ شکل و محل هسته در داخل ساختمان هیچگونه محدودیتی وجود نداشته باشد. خصوصیات سیستم های هسته ی به قرار زیر می باشند:

* شکل هسته

- هسته باز در مقابل هسته بسته
- هسته تنها در مقابل هسته توام با دیوارهای خطی

* تعداد هسته ها: هسته انفرادی در مقابل چندین هسته.
* محل هسته ها: داخلی در مقابل محیطی و در مقابل خارجی
* ترتیب قرار گرفتن هسته ها: متقارن در مقابل نا متقارن
* هندسه ساختمان به عنوان مولد شکل هسته: مولد مستقیم در مقابل مولد غیر مستقیم

هسته ها را می توان از فولاد ، بتن یا ترکیبی از هر دو ساخت. در هسته قابی فولادی برای رسیدن به پایداری جانبی مطلوب ممکن است از خر پای ویراندیل استفاده کرد.سیستم قاب ویراندیل نسبتا انعطاف پذیر است، از این رو فقط برای ساختمان های بالنسبه کوتاه به کار می رود. برای ساختمان های بلند تر در

قاب ویراندیل از مهار بندی قطری (به صورت خر پای قائم) استفاده می شود تا سختی لازم برای هسته به دست آید. مزیت هسته های قابی فو لادی در سوار کردن نسبتا سریع قطعات پیش ساخته می باشد.
از طرف دیگر هسته بتنی علاوه بر حمل بارها فضا را نیز محصور می کندو از لحاظ حفاظت در مقابل آتش هیچ گونه ملاحظه اضافی لازم نیست. فقدان شکل پذیری و قابلیت تغییر شکل پلاستیک بتن به عنوان یک ماده ساختمانی از لحاظ بار گذاری زلزله اشکال این نوع هسته ها می باشد.
هسته های برشی را می توان به صورت تیرهای بسیاری مجسم کرد که از زمین طره شده و بارهای جانبی را مقاومت می کنند. بنابراین تنش های خمشی و برشی تولید شده در هسته،با فرض اینکه تاب رفتار یک هسته تحت بارهای جانبی بستگی به شکل، درجه همگن بودن و صلبیت آن و جهت بار دارد. در هر طبقه سوراخ هایی در هسته وجود دارد و مقدار پیوستگی ایجاد شده به وسیله قسمت های فو قانی و تحتانی این سوراخ ها روی رفتار هسته اثر تعیین کننده دارد. هسته بخصوص تحت بار گذاری نا متقارن که پیچش ایجاد می کند ممکن است مانند یک مقطع باز عمل کند و قسمت بالای آن تاب بردارد. بنابراین در قسمت فوقانی هسته تنش های برشی پیچشی اضافی و در پای آن خمش جانبی و برش اضافی در بال ها تولید می شود.

سازه تیر دیواری

* سیستم های فاصله گذاری و خر پای متناوب :
* سیستم های مرکب از قاب و دیوار برشی:
* سیستم های دال مسطح:
* سیستم های مرکب از دیوار برشی و قاب توأم با خرپا های کمر بندی صلب:
* سیستم های لوله ای در سازه برج:

سیستم های فاصله گذاری و خر پای متناوب
در این بخش اساساً تیر های به ارتفاع طبقه که دهانه ها در جهت کو تاه ساختمان می پوشانید مورد نظر ما می باشد .
این تیرها که بر ردیف هائی از ستون ها در امتداد دیوارهای خارجی متکی می باشند ممکن است خرپاهای فولادی یا بتنی ، و یا دیوارهای بتنی تو پر باشند.
متداول ترین سازه های تیر دیواری سیستم های فاصله گذاری و خرپاهای متناوب می باشند. خرپاها یک طبقه در میان به کار برده می شوند. این خرپاها دال های کف را هم در تار فوقامی و هم در تار تحتانیشان نگه می دارند. فضای آزادی که در طبقات متناوب (یک در میان) ایجاد می شود برای بعضی از انواع ساختمان ها که در طرح ریزی فضاهای آنها انعطاف پذیری لازم است سودمند می باشد. ساختمان متشکل از خرپاهای متناوب از سیستم فا صله گذاری خیلی سخت تر می باشد. در اینجا خرپاها در تمام طبقات بکار می روند ولی بصورت متناوب قرار داده می شوند. با به کار بردن تیرهای دیواری به ارتفاع طبقه بطور متناوب، دال های کف فقط نصف فاصله بین خرپاها رامی پوشانند و فضاهای باز نسبتاً بزگی ایجاد می شود. این دال های کف از یک طرف روی تار فوقانی یک خرپا قرار دارند و از طرف دیگر از تار تحتانی خرپای بعدی که در طبقه بالا قرار دارد آویزان می شوند. طرز قرار گرفتن خرپاها در ارتفاع ساختمان تا حدودی

شبیه طرح آجر کاری دیوارها می باشد.
سیستم خرپاهای متناوب در موقع مقاومت بارهای افقی و قائم به نحو خیلی مؤثری عمل می کند. این روش در مورد ساختمان های بلند نسبت به قاب هایی که بطور معمولی مهار بندی شده اند در حدود ۴۰ در صد کمتر فولاد مصرف می کند و اتصالات کمتری در محل ساختمان لازم دارد. این سیستم تاکنون برای ساختمان های تا حدود ۳۰ طبقه به کار رفته است.
در سازه های تیر دیواری سیستم فاصله گذاری طبقاتی که دارای خرپا هستند، مانند قطعات صلب، فوق العاده سخت می باشند و به سختی تغییر شکل می دهند. .ولی طبقات باز (طبقاتی که دارای خرپا نمی باشند) فقط ازستون ها می توانند برای تحمل بار جانبی استفاده کنند.
تغییر شکل این ستون ها مشابه تغییر شکل ستون های یک قاب صلب معمولی می باشد.
در سیستم خرپای متناوب فرض می شود که دال های کف مانند دیافراگم های افقی بی نهایت سخت عمل کنند، از این رو همه نقاط واقع در روی هر یک از کف ها تغییر مکان افقی مساوی خواهند داشت. بنا براین قاب های خرپایی مجاور یکدیگر مجبورند که مشترکاً بصورت واحد عمل کنند. به عبارت دیگر از جمع تغییر شکل های جداگانه دو قاب مجاور بطور تقریبی حالت تغییر شکل یافته تمام سیستم بدست می آید. تغییر شکل ساختمان مشابه تغییر شکل یک تیر طره ای صلب می باشد.
منحنی تغییر شکل ساختمان نشان می دهد که لازم نیست ستون ها برای لنگرهای خمشی در امتداد جهت کوتاه ساختمان طرح کردند. بنابراین دال های کف که مانند دیافراگم های صلب عمل می کنند تمام برش ناشی از باد (یابه طور کلی بار های جانبی) را به خر پاها منتقل می کنند و این خرپاها به نوبه خود بارها را به صورت نیروهای محوری به ستون ها انتقال می دهند. چون خر پاها باید برش قائم را مقاومت کنند، هر گونه بازشدگی در تیر های دیواری در آنها تغییر شکل ایجاد می کند وباعث کاهش صلبیت تیرها می گردد. ستون های خارجی را می توان چرخاند به طوری که جان آنها عمود بر خرپا قرار بگیرد تا بدین وسیله از محور های قوی آنها برای مقاومت نیرو های بار در جهت طولی استفاده شود. سختی جانبی در جهت طول ساختمان را می توان به طرق مختلف از جمله اضافه کردن قطعات سازه ای پیش ساخته در بالاو پایین پنجره ها افزایش داد.

سیستم های مرکب از قاب و دیوار برشی

* ۱- سیستم های مرکب از قاب مفصلی و دیوار برشی:
* ۲- سیستم های مرکب از قاب مفصلی،قاب ویراندیل و دیوار برشی:
* ۳- سیستم های مرکب از قاب صلب و دیوار برشی:
* **تغییر شکل حالت برش قاب صلب:
* **تغییر شکل حالت خمش دیوار برشی:
* **تاثیر متقابل قاب و هسته برشی:

سیستم های قالب صلب خالص برای ساختمان های مرتفع تر از ۳۰طبقه عملی نمی باشد.در چنین مواردی یکی از انواع دیوار برشی نیز در قاب به کار برده می شود تا بارهای جانبی را مقاومت کند. دیوارهای برشی یا بتنی می باشند و یا از مهار بندی فولادی مشبک (خرپایی) تشکیل می گردند. این دیوارها ممکن است

هسته های داخلی، بسته مانندهسته های دور محوطه های آسانسورها و پله ها، یا دیوارهای موازی در داخل ساختمان، و یا خرپاهای نمایی قائم باشند.
شکل های گوناگون نقشه های افقی،راه حل های مختلف ممکن را برای طرح های افقی نشان می دهند.
سیستم های هسته ای در ارتباط با فرم ساختمان از نقطه نظرهای زیر طبقه بندی شوند.

* محل و موقعیت هسته ها
- هسته های نمایی خارجی
- هسته های داخلی :هسته هایی نمایی،هسته ها در داخل ساختمان
- هسته های خارجی از مرکز

* تعداد هسته ها
- هسته های منفرد
- هسته های شکافته
- هسته های چندتایی

* شکل هسته ها.
- شکل های بسته: مربعی ، مستطیلی، دایره ای و مثلثی.
- شکل های باز: X شکل، I شکل و ناودانی شکل.
- شکل هایی که از فرم ساخمان الهام می گیرند.

سیستم های مرکب از قاب و دیوار برشی بر اساس رفتارشان تحت بارگذاری جانبی دسته بندی می شوند که ممکن است یک از سه نوع زیر باشند.

۱- سیستم های مرکب از قاب مفصلی و دیوار برشی:

در این سیستم چون اتصالشان تیرهای قاب به ستون ها مفصلی می باشد، قاب فقط می تواند بارهای وزن را تحمل کند. دیوار برشی تمام بارهای جانبی را مقاومت می کند.

۲- سیستم های مرکب از قاب مفصلی،قاب ویراندیل و دیوار برشی:

نیروهای جانبی به وسیله دیوار برشی و قاب صلب(یعنی قاب ویراندیل) مشترکاً مقاومت می گردند.قاب های داخلی و قاب های نمایی طولی فقط بارهای وزن را تحمل می کنند.

۳- سیستم های مرکب از قاب صلب و دیوار برشی:

به کار بردن فقط دیوارهای برشی به منظور جذب بارهای جانبی برای ارتفاعات بیش از ۵۰۰ فوت غیر عملی می باشد.برای اینکه هسته ها به اندازه کافی قوی باشند باید ابعاد آنها خیلی بزرگ انتخاب شود که در این صورت دیگر برای دستگاه های حمل و نقل قائم و توزیع انرژی مناسب نخواهند بود.
به علاوه تغییر شکل آنها ممکن است چنان زیاد باشد که در دیوارهای جدا کننده و پنجره ها ترک ایجاد کند و یا حتی در ساکنین ساختمان واکنش های روانی ناگوار به وجود آورد.با به کار بردن قاب صلب که برای مقاومت نیروهای جانبی با دیوار برشی سهیم می شود بر صلبیت جانبی ساختمان به مقدار زیادی افزوده می گردد.تغییر شکل کل سیستم های متشکل از دیوار برشی و قاب صلب که روی یکدیگر اثر متقابل دارند با جمع کردن حالت های تغییر شکل جداگانه دیوار و قاب بدست می آید.

تغییر شکل حالت برش قاب صلب:

توجه کنید که شیب منحنی تغییر شکل در پای ساختمان در جایی که بیشترین برش اثر می کند حداکثر می باشد.

تغییر شکل حالت خمش دیوار برشی:

دیوار برشی ممکن است یک دیوار بتنی توپر یا یک خر پای فولادی قائم باشد.این دیوار برشی ممکن است یک هسته داخلی،دیوار های داخلی،دیوار های داخلی موازی و یا یک دیوار نمایی باشد. دیوار برشی مانند یک تیر طره ای قائم عمل می کند و مانند آن خم می شود. توجه کنید که شیب منحنی تغییر شکل در بالای ساختمان حداکثر می باشد و این دلالت بر این قسمت ساختمان دیوار برشی در ایجاد سختی کمترین سهم را دارد.

تاثیر متقابل قاب و هسته برشی:

برای یافتن اثر متقابل قاب و دیوار برشی تغییر شکل های دو حالت فوق را با هم جمع می کنیم که یک منحنی S کشیده حاصل می شود. به علت خصوصیات تغییر شکلی مختلف دیوار برشی و قاب، دیواربرشی به وسیله قاب در قسمت بالای ساختمان به عقب کشیده می شود و در قسمت پایین ساختمان به جلو رانده می شود. از این رو برش ناشی از باد (یا زلزله) در قسمت بالای ساختمان اساساً به وسیله قاب و در قسمت پایین ساختمان اساسا به وسیله دیوار برشی گرفته می شود.

سیستم های دال مسطح

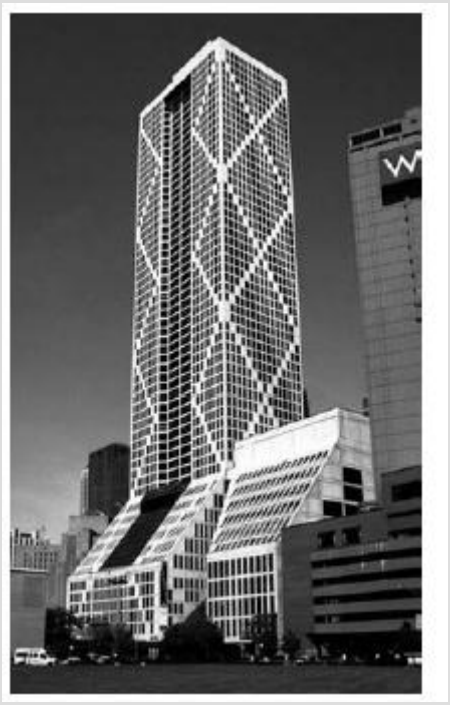
سیستم های دال مسطح شامل دال های بتنی کاملاً توپر و یا حجره ای (با حفره هائی در زیر آنها) می باشند که مستقیماً روی ستون ها تکیه دارند و از این رو در این سیستم احتیاج به قاب بندی کف نیست. این سیستم منجر به کمترین ارتفاع برای کف های ساختمان می گردد که یک برتری اقتصادی آشکار می باشد. در این سیستم ها به دلیل تمرکز زیاد برش در حوالی ستون ها غالبا یا از سر ستون ها استفاده می شود و یا بر ضخامت دال ها در نزدیکی ستون ها اضافه می گردد. دال هایی که ضخامت آنها در تمام طول دهانه ثابت است به نام صفحه های مسطح خوانده می شوند.سیستم های دال مسطح برای ساختمان های با نقشه افقی نا منظم قابل وفق و مناسب می باشند.

بعضی از اشکالات سیستم های دال مسطح از قرار زیر می باشند:

* بار مرده زیاد در هنگام مواجهه با شرایط نا مساعد فونداسیون نا مطلوب است.
* وقتی که نسبت عمق به دهانه دال ها کوچک باشد تغییر شکل آنها بیش از اندازه بنظر می رسد.
* دهانه های نسبتاً کوچک این سیستم ها (بین ۱۵ تا ۲۵ فوت و اگر پس کشیده شود تا ۳۵ فوت)کار برد آنها را برای انواعی از ساختمان ها با طرح جدا کننده های مکرر،مانند ساختمان های آپارتمانی ،محدود می کند.

سازه های دال مسطح بسته به نسبت ارتفاع به عرض ساختمان ممکن است به عنوان عناصر باربر فقط ستون داشته باشند، یا ممکن است علاوه بر ستون از دیوارهای برشی نیز برای ازدیاد سختی جانبی در آنها استفاده هد.فرض اینکه بارهای جانبی تماماً به وسیله هسته یا دیوار برشی با صلبیت بیشتر مقاومت شوند و اینکه دال ها و ستون ها در مقاومت جانبی سازها هیچ سهمی ندارند واقع بینانه نیست. شود.

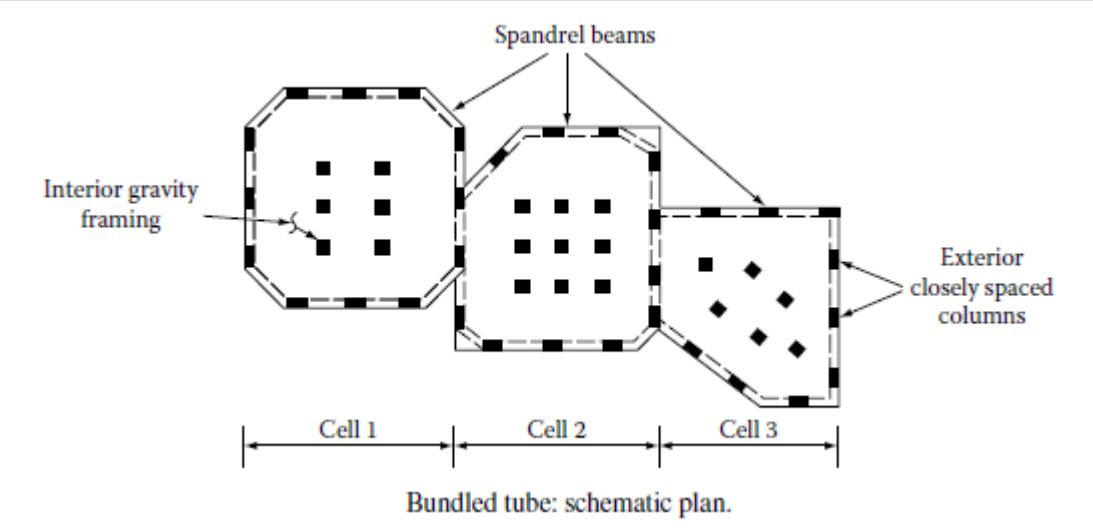
خصوصیت یکپارچگی سازه بتنی باعث می شود که تمام ساختمان در مقابل بارهای جانبی به صورت واحد واکنش نشان د
دال مسطح خودش با وجود اینکه نسبتاً انعطاف پذیری می باشد به دلیل پیوستگیش با دیوار های برشی و ستون ها بر مقاومت سیستم می افزاید. می توان چنین تصور نمود که قسمتی از دال به صورت تیر کم عمقی پیوسته به ستون ها عمل کند و در نتیجه سازه مانند یک قاب صلب رفتار نماید.
بنابراین رفتار سیستم سازه کلی مشابه رفتار سیستم مرکب از هسته و قاب می باشد . نیروهای جانبی در قسمت بالای سازه اساساً به وسیله عمل قاب و در قسمت پایین آن اساساً به وسیله سیستم دیوار برشی یا هسته مقاومت می شوند.



سیستم های لوله ای در سازه برج

در طرح سازه های بلند اخیرا ایده جدیدی ارائه شده است که موسوم به سیستم لوله ای می باشد. در حال حاضر در چهار مورد از پنج ساختمانی که بلندترین ساختمان های دنیا می باشند از این روش استفاده شده است. این ساختمان ها عبارتند از، ساختمان هنکاک برج سیرز و ساختمان استاندارد اویل در شیکاگو و ساختمان مرکز تجارت دنیا در نیویورک . بازده سازه ای سیستم های لوله ای به قدری زیاد می باشدکه در اکثر موارد مقدار مصالح سازه ای مصرف شده برای هر فوت مربع کف (یا سقف) قابل مقایسه با مقدار مصالح مصرف شده در ساختمان های قابی متداول به ارتفاع نصف می باشد. در طرح لوله ای فرض می شود که عناصر سازه ای پیرامونی ساختمان در مقابل بارهای جانبی همچون یک تیر با مقطع صندوقی (جعبه ای) تو خالی که از زمین طره شده است عمل کند. چون دیوارهای خارجی تمام یا بیشتر بار جانبی را تحمل می کنند، مهار بندی های قطری یا دیوارهای برشی داخلی پر هزینه حذف می گردند.
دیوارهای لوله از ستون هایی تشکیل می شوند که به فواصل کم در مجاورت یکدیگر در اطراف محیط

ساختمان قرار می گیرند و به یکدیگر با تیرهای با عمق زیاد که در بالا و پایین آنها سوراخ های پنجره قرار دارند متصل می شوند. این سازه نمایی همچون دیواری با سوراخ های متعدد به نظر می رسد. سختی دیوار نما را می توان با افزودن مهار بندی های مورب (قطری) که اثر خر پا مانند ایجاد می کنند زیاد تر نمود.
صلبیت لوله چنان زیاد است که در مقابل بارهای جانبی به صورت یک تیر طره ای عمل می کند. لوله خارجی می تواند به تنهایی تمام بارهای جانبی را تحمل کند یا اینکه با افزودن نوعی مهار بندی داخلی می توان لوله را بیشتر تقویت نمود و سخت تر کرد.
در زیر کار بردهای مختلف سیستم لوله ای که تا امروزه به کار رفته اند بررسی می گردند. این بخش به موضوع های زیر تقسیم می شود:



Bundled tube: schematic plan.

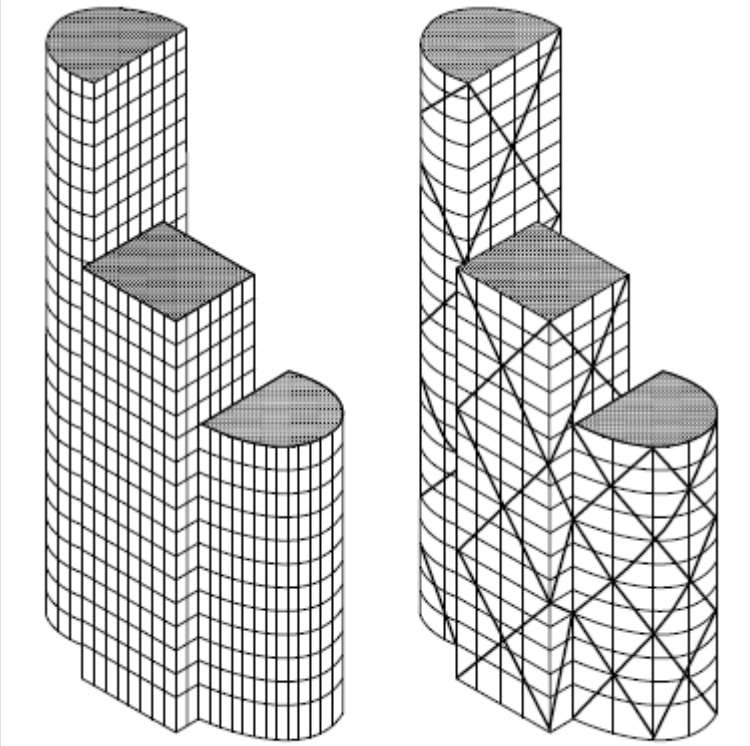
کاربردهای مختلف سیستم لوله ای

* سازه لوله توخالی در ساخت برج
- لوله قابی
- لوله خر پایی شامل
۱. لوله خرپایی مرکب از ستون و عناصر قطری
۲. لوله خر پایی مشبک
* برج با سازه لوله با مهار بند ی داخلی
- لوله با دیوارهای برشی موازی
- لوله در لوله
- لوله اصلاح شده شامل
۱. لوله قابی توأم با قاب های صلب
۲. لوله در نیم لوله
* لوله های دسته شده

سازه لوله توخالی در ساخت برج

* لوله قابی
* لوله خرپایی:

* لوله خرپایی مرکب از ستون و عناصر قطری :
* لوله خرپایی مشبک :



Schematics of bundled tubes.

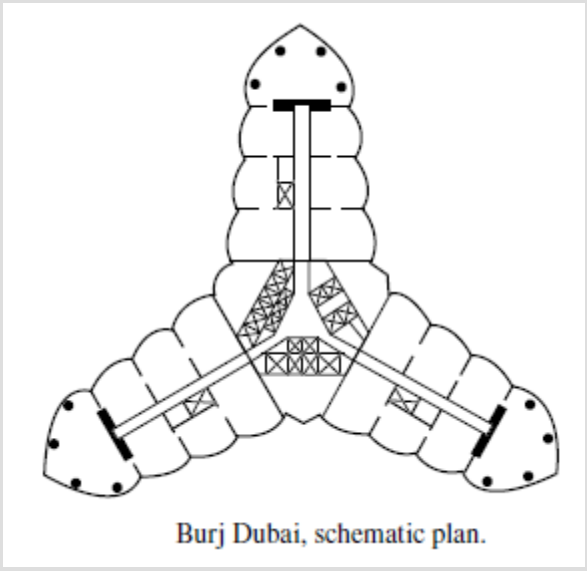
لوله قابی

کاربرد نخستین سیستم لوله ای قابی بود که برای اولین بار در ساختمان آپارتمانی ۴۳ طبقه دویت چست نات در شیکاگو (۱۹۶۱) به کار رفت. در این سیستم لوله ای دیوار های خارجی سا ختمان از شبکه ای از تیرهای نزدیک به هم تشکیل می شود که با اتصالات صلب به یکدیگر متصل می باشند(به صورت قاب ویراندیل) و این دیوارهای خارجی به توسط عمل لوله طره شده بدون استفاده از مهار بندی داخلی بارهای جانبی را تحمل می کنند. فرض می شود که ستون های داخلی فقط بارهای وزن را تحمل می نمایند و در سختی لوله خارجی سهمی ندارند. کف های سخت طبقات همچون دیافراگم نیروهای جانبی را به دیوارهای پیرامونی توزیع می کنند.

مثال های دیگری از ساختمان هایی که در آنها از لوله قابی تو خالی استفاده شده عبارتنداز: ساختمان ۸۳ طبقه استاندارد اویل در شیکاگو و ساختمان ۱۱۰ طبقه مرکز تجارت دنیا در نیویورک با وجود اینکه این ساختمان ها دارای هسته داخلی می باشند مانند لوله های تو خالی عمل می کنند زیرا هسته ها در آنها برای تحمل بارهای جانبی طرح نگردیده اند.

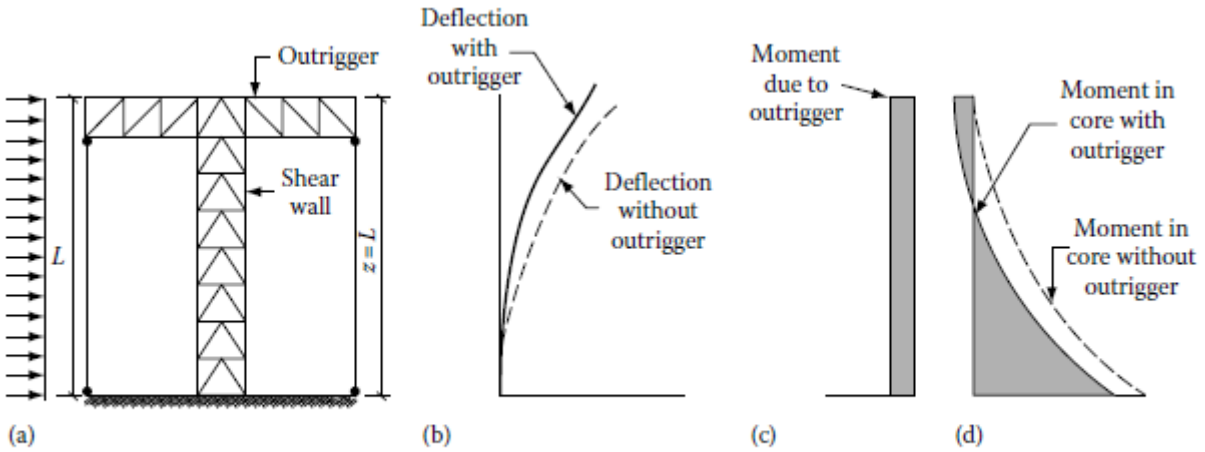
لوله ویراندیلی بطور منطقی از سازه قاب صلب معمولی نتیجه می شود و در حقیقت تکامل یافته آن می باشد. این سیستم دارای سختی جانبی و مقاومت پیچشی بالا می باشد و در عین حال از لحاظ تقسیم بندی فضای داخل آن انعطاف پذیر است.ستون ها و تیرها در شبکه به قدری نزدیک یکدیگر و با فاصله کم قرار داده می شوند که می توان از آنها به عنوان چهار چوب یا قاب پنجره ها استفاده نمود.

در طرح سیستم های لوله ای قابی ایده ال آن است که دیوارهای خارجی به صورت واحد و مشترک عمل کنند و در مقابل بارهای جانبی کاملا مانند یک تیر طره ای خم شوند. در چنین حالتی تمام ستون هایی که لوله را می سازند، مشابه تارهای یک تیر، تحت کشش یا فشار محوری مستقیم خواهند بود.
اما رفتار واقعی لوله در جایی ما بین رفتار تیر طره ای خالص قاب خالص قرار دارد. اضلاعی از لوله که موازی امتداد نیروهای جانبی می باشند، با توجه به انعطاف پذیری تیرها ، تمایل دارند که مانند قاب های صلب چند دهانه و مستقل عمل کنند. این انعطاف پذیری باعث می شود که در قاب تغییر شکل های ناشی از برش ایجاد شود که به نام لنگی برش خوانده می شود. بنابراین در ستون ها و تیرها خمش بوجود می آید.
اثر تغییر شکل برشی در روی عمل لوله منجر به توزیع غیر خطی فشار در امتداد پوش ستون ها می گردد، ستون هایی که در گوشه های ساختمان واقع شده اند مجبور می باشند سهم بیشتری از بار را نسبت به ستون های ما بین آنها تحمل کنند. تغییر شکل کل ساختمان دیگر شباهت به تغییر شکل تیر طره ای نخواهد داشت زیرا تغییر شکل حالت برش اهمیت بیشتری پیدا می کند.
مسئله برش شدیداً در روی کار آیی سیتم های لوله ای تأثیر می گذارد و تمام پیشرفت های بعدی در طرح لوله ای سعی بر بر طرف نمودن این اشکال دارد. چنین به نظر می رسد که روش لوله قابی برای ساختمان های فولادی تا ۸۰ طبقه و برای ساختمان های بتنی تا ۶۰ طبقه اقتصادی باشد.


Burj Dubai, schematic plan.

لوله خرپایی:

ضعف لوله قابی در انعطاف پذیری تیرهای آن قرار دارد. با اضافه نمودن عناصر مورب (قطری) به مقدار زیادی بر صلبیت لوله افزوده می گردد. در این صورت قسمت عمده برش به وسیله عناصر قطری جذب می شود نه به وسیله تیرهایی که در بالا و پایین آنها پنجره قرار دارد. اعضاء قطری مستقیماً بارهای جانبی را اساساً به صورت نیرو های محوری تحمل می کنند. این کاهش تغییر شکل برشی (ناشی از لنگی برش) رفتار خالص طره ای را تامین می کند.



Outrigger located at top, $z = L$.

لوله خرپایی مرکب از ستون و عناصر قطری :

در این سیستم از عناصر قطری در داخل شبکه مستطیلی تیرها و ستون ها استفاده می شود. عناصر قطری و تیرها با یکدیگر در مقابل بارهای جانبی صلبیت دیوار مانندی بوجود می آورند. این اعضاء قطری نه فقط قسمت اعظم بارهای جانبی را حمل می کنند بلکه همچون ستون های مایل عمل می نمایند و بار های وزن را نیز تحمل می کنند.

معمولاً کشش ایجاد شده در اثر بار های جانبی بر فشار تولید شده در اثر بارهای ورن غالب نمی آید. وظیفه دوگانه اعضاء قطری این سیستم را برای ساختمان های خیلی بلند (تا حدود ۱۰۰ طبقه برای ساختمان های فولادی) نسبتاً پر بارده می سازد. استفاده از عناصر قطری موجب می شود که بتوان فاصله ستون ها را خیلی بیشتر از فاصله ستون ها در لوله قابی اختیار کرد.

یک ویژگی اصلی این سیستم قابلیت آن در توزیع یکنواخت بارهای متمرکز در سراسر سازه می باشد. تیرها بارهای وزن بین ستون ها را حمل می نمایند و مانند مهارهایی از کشیده شدن کف ها جلوگیری می کنند. بدین طریق آنها بر کار آیی عناصر قطری به عنوان سیستم اصلی توزیع بار می افزایند.

روش جالبی برای ایجاد عناصر قطری در دیوارهای خارجی بتنی در پروژه تحصیلی یکی از دانشجویان انستیتوی تکنولوژی ایلی نوی پیشنهاد شده است. در آن عناصر قطری با پر نمودن سوراخ های پنجره در یک طرح مورب بوجود می آید.

لوله خرپایی مشبک :

در این سیستم ، لوله از عناصر مورب نزدیک بهم بدون هیچ ستون قائمی ساخته می شود. اعضاء مورب مانند ستون های مایل عمل می کنند، تمام بارهای وزن را حمل می نمایند و سازه را در مقابل بارهای جانبی سخت تر می سازند. عناصر مورب را ممکن است به وسیله تیرهای افقی به یکدیگر متصل کرد.

عناصر مورب در مقابل بار های جانبی فوق العاده پر بازده می باشند ولی در انتقال بارهای وزن به زمین نسبت به ستون های قائم بازده کمتری دارند. بعلاوه تعداد زیاد اتصالاتی که بین این عناصر مورب لازم می باشد و مشکلات مربوط به جزئیات پنجره ها سیستم خرپای مشبک را به طور کلی چندان عملی و قابل استفاده نمی سازد.

برج با سازه لوله با مهار بندی داخلی

* لوله با دیوارهای برشی موازی:
* لوله در لوله:
* لوله اصلاح شده :
* لوله های دسته شده:

لوله خارجی را ممکن است یا با افزودن عناصر قطری در صفحه های خارجی تقویت نمود و یا آن را از داخل با اضافه نمود دیوار های برشی یا هسته های داخلی تقویت کرد. در قسمت های زیر چند روش برای مهار بندی داخلی بررسی می گردند.

لوله با دیوارهای برشی موازی:

دیوار لوله ای خارجی را می توان با ترکیب نمودن دیوارهای برشی داخلی در نقشه افقی سازه تقویت کرد. دیوار های لوله خارجی را می توان مانند بال های یک تیر تشکیل شده از اعضاء متصل به هم از این تجسم نمود که در آن دیوارهای برشی جان تیر را تشکیل می دهند. تنشها در دیوارهای لوله خارجی اساساً محوری می باشند زیرا لنگی برش در این سیستم حداقل می باشد.

لوله در لوله:

با به کار بردن هسته نه فقط برای بارهای وزن بلکه همچنین برای تحمل بار های جانبی سختی سیستم لوله تو خالی به مقدار خیلی زیادی افزایش می یابد. سازه کف لوله های خارجی و داخلی را به یکدیگر متصل می کند و همگی در مقابل نیرو های جانبی به صورت واحد و مشترک عمل می نمایند.

واکنش یک سیستم لوله در لوله در مقابل بار های جانبی مشابه واکنش ساده مرکب از قاب صلب و دیوار برشی است. اما لوله قابی خارجی خیلی سخت تر از قاب صلب می باشد.

لوله خارجی بیشتر بار جانبی را در قسمت بالا ساختمان مقاومت می کند، در صورتی که هسته بیشتر بار را در قسمت پائین ساختمان تحمل می نماید.

روش لوله در لوله در ساختمان ۳۸ طبقه برانسویک در شیکاگو و ساختمان ۵۲ طبقه شماره ۱ میدان شل در هوستون به کار رفته است.

با به کار بردن یک سیستم سه لوله ای تو در تو ، طراحان یک ساختمان ۶۰ طبقه اداری در توکیو سیستم لوله در لوله را یک قدم به جلو بردند. در این سیستم لوله خارجی به تنهایی بارهای باد را تحمل می نماید، ولی هر سه لوله که بوسیله سیستم های کف(دیافراگم ها) به یکدیگر متصل شده اند در تحمل بارهای زلزله که عامل مهمی در ژاپن می باشد شرکت کرده و روی یکدیگر اثر متقابل دارند.

لوله اصلاح شده :

سیستم لوله ای در مورد ساختمان های با نقشه افقی دایره و تقریبا مربع بیشترین بازده را دارد. ساختمان هایی که از این شکل ها منحرف می شوند، در موقع استفاده از سیستم های لوله ای ملاحظات سازه ای ویژه ای را لازم دارند. دو مثال زیر چنین شرایطی را تشریح می کند.

لوله قابی توأم با قاب های صلب :

شکل شش ضلعی ساختمان ۴۰ طبقه اداری در شارلوت واقع در ایالت کارولاینای شمالی طراحان را وادار کرد تا روش لوله ای را اصلاح کنند، گوشه های تیز این ساختمان شش ضلعی لنگی برش زیادی را نشان داد که استفاده موثر از سیستم لوله ای را غیر ممکن می ساخت .

اضافه نمودن قاب های صلب در جهت عرض ساختمان موجب گردید که دیوارهای خارجی به یکدیگر متصل شوند، بدین ترتیب دیوارهای انتهایی در دو انتهای مثلثی شکل ساختمان به وسیله قاب های صلب تقویت گردیدند. با متصل کردن و بستن دیوار های پیرامونی به یکدیگر سیستم لوله ای موثری بدست آمد.

لوله در نیم لوله:

نقشه افقی نا منظم ساختمان ۳۲ طبقه بانک ملی و ستون پنسیلوانیا در پیتسبورگ موجب راه حل ویژه دیگری در طرح لوله ای گردید، در اغلب ساختمان های لوله ای عمل لوله ای به وسیله دیوار های خارجی ایجاد می گردد اما در این ساختمان، دو هشت ضلعی متقاطع یک لوله سازه ای در قسمت مرکزی ساختمان تشکیل می دهند.

دو قسمت انتهایی ساختمان به وسیله سیستم های قاب – دیواری ناودانی شکل تقویت می شوند. نیروهای جانبی (در اینجا باد) مشترکا به توسط لوله داخلی و دیوارهای انتهایی ناودانی شکل بسیار بزرگ مقاومت می گردند.

لوله های دسته شده:

آخرین پیشرفت در طرح روش لوله های دسته شده می باشد. این روش برای ساختمان سیرز در شیکاگو به کار برده شده که در حال حاضر بلندترین ساختمان دنیاست.

لوله قابی خارجی در این روش به وسیله دیافراگم های عرضی داخلی در هر دو جهت تقویت می گردد. بدین ترتیب مجموعه ای از لوله های حجره ای تشکیل می شود. هر یک از این لوله های مستقلاً قوی هستند، بنابراین ممکن است آنها را به هر شکلی دسته کرد و در هر ترازی قطع نمود.برتری دیگر سیستم لوله های دسته شده در محصور کردن سطوح بسیار وسیع طبقات قرار دارد .

دیافراگم های داخلی در موقع مقاومت نیروهای برشی مانند جان های یک تیره طره ای عظیم عمل می کنند و در نتیجه لنگی برش را به حداقل می رسانند. به علاوه این دیافراگم ها در تحمل خمش نیز سهیم می باشند.

دیافراگم هایی که موازی بارهای جانبی هستند(یعنی جان های تیر) برش را جذب می کنند و در نتیجه در نقاط تلاقی با دیوارهای عمود بر آنها (یعنی بال ها) نقاط شش حداکثر ایجاد می شود که نشان دهنده عمل جداگانه هر یک از لوله ها می باشد، به اختلاف توزیع تنش محوری با حالتی که هیچ تقویت کننده داخلی وجود ندارد یعنی فقط یک لوله تنها باشند توجه کنید. با وجود اینکه تا حدودی لنگی برش رخ می دهد، دیافراگم های قائم سعی بر توزیع یکنواخت تنش های محوری دارند. ولی انحراف از رفتار لوله ای ایده آل که با خطوط منقطع در شکل نشان داده شده به نظر نمی رسد که قابل ملاحظه باشد.

* ساختمان های مرکب یا پیوندی :
* ساختمان های مرکب لوله ای :
* پوشش دیواری صفحه ای:

ساختمان های مرکب یا پیوندی

در سازه پیوندی که از پیشرفت های اخیر به منظور ازدیاد سختی جانبی آسمان خراش های قابی می باشد بتن و فولاد مشترکاً به عنوان واحد سازه ای عمل می کنند. این ایده چندین سال است که در مورد اعضاء سازه ای مانند کف ها وستون ها به کار رفته است . اما طرح تمام ساختمان بصورت مرکب روش کاملا جدیدی به شمار می رود. در زیر دو راه حل متمایز به عنوان مثال هایی از کار برد این روش ارائه می شود.

ساختمان های مرکب لوله ای

در سیستمی که به وسیله شرکت اسکیدمور، اوبنگز و مریل طرح و تکمیل شده است قاب فولادی خارجی در مقابل تغییر شکل جانبی به وسیله دیوار پیرامونی مشبک (سوراخ دار) بتنی ریخته شده در محل تقویت می گردد. ساختمانی که بدین ترتیب بر پا می شود شباهت به لوله صلبی دارد که از زمین طره شده باشد. در این روش اجرای سریع و مقاومت زیاد (و در نتیجه انعطاف پذیری فضای داخل) ساختمان فولادی با محفوظ از آتش بودن، عایق بندی، صلب جانبی ، و قالب پذیری دیوار خارجی بتنی ترکیب می شود. این سیستم در ساختمان ۳۶ طبقه گیت وی- ۳ در شیکاگو، ساختمان ۵۰ طبقه برج شماره ۱ میدان شل در نیواورلئان و ساختمان ۲۴ طبقه سی-دی-سی در هستون که در آن قطعات پیش ساخته نما بعنوان قالب بندی بتن ریخته شده در محل به کار رفتند، مورد استفاده قرار گرفته است.

روش اجرای این سیستم بدین ترتیب است که ابتدا قاب فولادی به اندازه ۸ تا ۱۰ طبقه بالا آورده می شود. ستون های خارجی باید بارهای اجرایی را تحمل کنند. برای تأمین پایداری جانبی، قاب خارجی به طور موقت بوسیه کابل مهاربندی می شود. سپس فولادهای کف در محل قرار می گیرد و بتن کف ریخته می شود تا پایداری اسکلت فولادی تأمین گردد و بتوان کار داخل ساختمان را شروع کرد. بعد از اینکه شبکه های فولادی بتن مسلح و قالب های بتن در اطراف ستون ها و برای شاه تیرها در محل قرار داده شد، بتن ریخته می شود تا یک دیوار محیطی پیوسته مشبک (سوراخ دار) تشکیل گردد. این سلسله عملیات در هر ۸ تا ۱۰ طبقه ساختمان تکرار می شود.

اما اختلاف حرکت بین ستون های خارجی بتن – فولادی و ستون های داخلی فولادی مشکلی ایجاد می کند، برای اینکه کوتاه شدن نامساوی ستون ها در اثر رفتار ارتجاعی، انقباض و خزش برطرف شود .در جا گذاری شاه تیر ها باید تعدیلی صورت گیرد.

چون جدار لوله ای در این سیستم همه بارهای جانبی را مقاومت می کند، ستون ها شاه تیرهای تشکیل دهنده قاب های هسته تأسیسات ضروری «آسانسور، آب، برق، گاز و غیره) می توانند سبک تر باشند زیرا آنها فقط بارهای وزن را تحمل می کنند. همچنین کف قابل استفاده خالص در طبقات بالا در آنها سطح هسته را می توان کاهش داد افزایش می یابد.

شرکت رید و تاریکس در سانفرانسیسکو سیستم ساختمانی مرکب لوله ای دیگری ابداع کرده است. آنها از شاه تیرهای فولادی و ستون های فولادی لوله ای پر شده با بتن به عنوان سازه نما استفاده می کنند. در این مورد نیز پوش ساختمان سختی کافی برای حمل تمام بارهای جانبی را تأمین می نماید. در این سیستم از قطعات پیش ساخته ای استفاده می شود که هر یک شامل یک ستون لوله ای به ارتفاع دو طبقه و دو شاه تیر فولادی طره ای می باشد. این قطعات پیش ساخته در وسط دهانه شاه تیرها و در وسط ارتفاع ستون ها

به یکدیگر پیچ کرده می شود. از لحاظ بار گذاری جانبی این نقاط اتصال تحت کمترین تنش می باشد . پیوستگی طبیعی شاه تیرها در محل ستون ها که تنش ها بیشترین مقدار را دارند از بین نمی رود، شاه تیرها در ستون ها فرو می روند و فقط جان آنها به لوله متصل می شود. بدین ترتیب از تعداد اتصالات ساختمان که تحت تنش های زیاد می باشند به مقدار زیادی کاسته می شود.

پوشش دیواری صفحه ای

روی دیوارهای خارجی سازه های قابی فولادی معمولاً قطعات پیش ساخته دیواری متصل می گردد،این قطعات نا سازه ای می باشند و منحصراً برای حفاظت در مقابل محیط خارج ساختمان به کار می روند. میس فان در روهه یکی از اولین آرشیتکت هایی بود که از روکش (پوشش) فولادی در سازه نمای ساختمان های بلند استفاده کرد، در یک ساختمان آپارتمانی، او از صفحات فولادی رنگ شده به ضخامت ۵ —۱۶ اینچ برای پوشاندن بتن محافظ قاب فولادی در مقابل آتش سوزی اسفاده نمود. موقعی که پوشش فولادی به توسط بر آمدگی های میخ شکلی به بتن مسلح متصل می گردد، نه فقط در مقابل هوا ، قاب پنجره و نمایش معماری مطلوب بوجود می آورد بلکه سختی سازه ای نیز ایجاد می کند، در اغلب سازه های قاب صلب، قسمت اعظم مقاومت در مقابل تغییر مکان جانبی به وسیله شاه تیرها ایجاد می شود. اما عمل مرکب پوسته فولادی و قاب متشکل از فولاد و بتن مسلح مقاومت جانبی را به قدری زیاد می کند که شاه تیرهای داخلی سختی کمتری لازم دارند. به علاوه بدون افزایش وزن سازه، نوسان (تغییر مکان جانبی) ساختمان ۲۰ تا ۵۰ در صد کاهش می یابد. چون پوشش فولادی نسوز نمی باشد. آیین نامه ها استفاده از آن را برای تحمل بارهای وزن مجاز نمی دانند.

ساختمان های مرکب لوله ای

در سیستمی که به وسیله شرکت اسکیدمور، اوبنگز و مریل طرح و تکمیل شده است قاب فولادی خارجی در مقابل تغییر شکل جانبی به وسیله دیوار پیرامونی مشبک (سوراخ دار) بتنی ریخته شده در محل تقویت می گردد. ساختمانی که بدین ترتیب بر پا می شود شباهت به لوله صلبی دارد که از زمین طره شده باشد. در این روش اجرای سریع و مقاومت زیاد (و در نتیجه انعطاف پذیری فضای داخل) ساختمان فولادی با محفوظ از آتش بودن، عایق بندی، صلب جانبی ، و قالب پذیری دیوار خارجی بتنی ترکیب می شود. این سیستم در ساختمان ۳۶ طبقه گیت وی- ۳ در شیکاگو، ساختمان ۵۰ طبقه برج شماره ۱ میدان شل در نیواورلئان و ساختمان ۲۴ طبقه سی-دی-سی در هستون که در آن قطعات پیش ساخته نما بعنوان قالب بندی بتن ریخته شده در محل به کار رفتند، مورد استفاده قرار گرفته است.

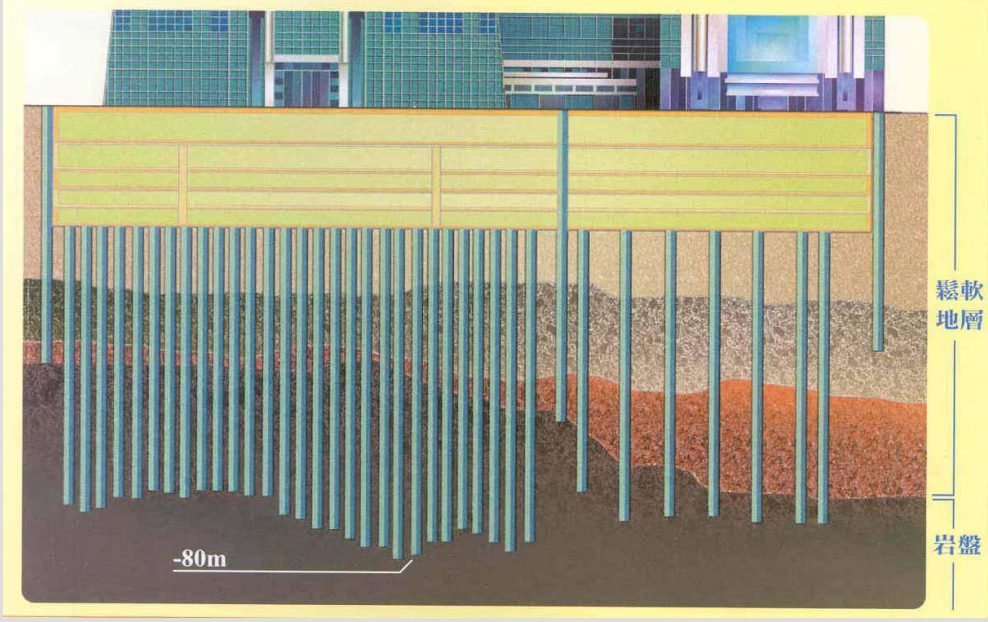
روش اجرای این سیستم بدین ترتیب است که ابتدا قاب فولادی به اندازه ۸ تا ۱۰ طبقه بالا آورده می شود. ستون های خارجی باید بارهای اجرایی را تحمل کنند. برای تأمین پایداری جانبی، قاب خارجی به طور موقت بوسیه کابل مهاربندی می شود. سپس فولادهای کف در محل قرار می گیرد و بتن کف ریخته می شود تا پایداری اسکلت فولادی تأمین گردد و بتوان کار داخل ساختمان را شروع کرد. بعد از اینکه شبکه های فولادی بتن مسلح و قالب های بتن در اطراف ستون ها و برای شاه تیرها در محل قرار داده شد، بتن ریخته می شود تا یک دیوار محیطی پیوسته مشبک (سوراخ دار) تشکیل گردد. این سلسله عملیات در هر ۸ تا ۱۰ طبقه ساختمان تکرار می شود.

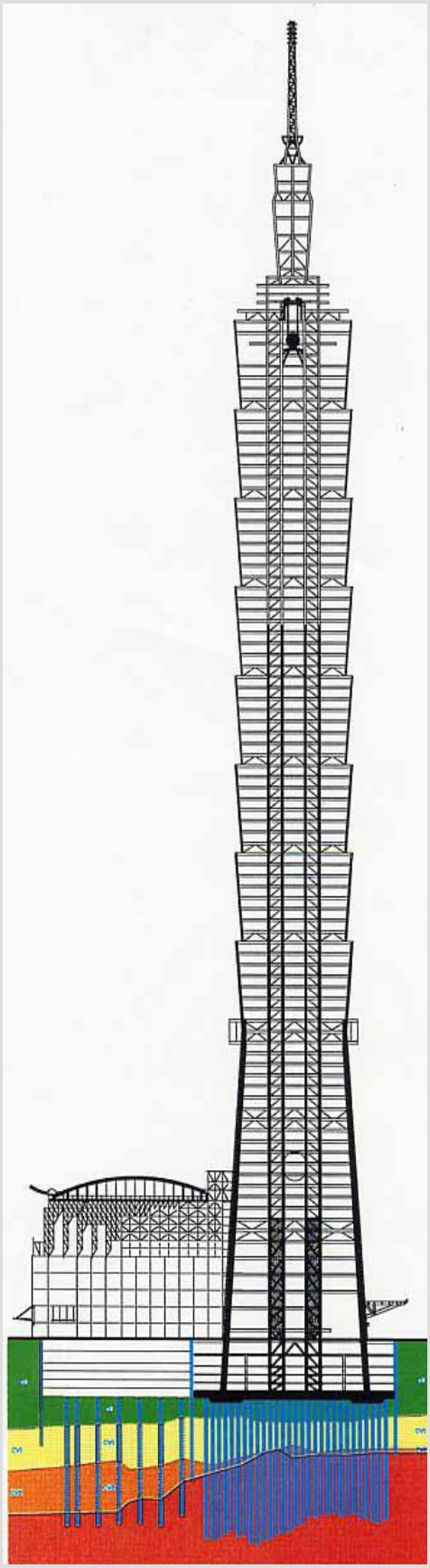
اما اختلاف حرکت بین ستون های خارجی بتن – فولادی و ستون های داخلی فولادی مشکلی ایجاد می کند، برای اینکه کوتاه شدن نامساوی ستون ها در اثر رفتار ارتجاعی، انقباض و خزش برطرف شود .در جا گذاری شاه تیر ها باید تعدیلی صورت گیرد.

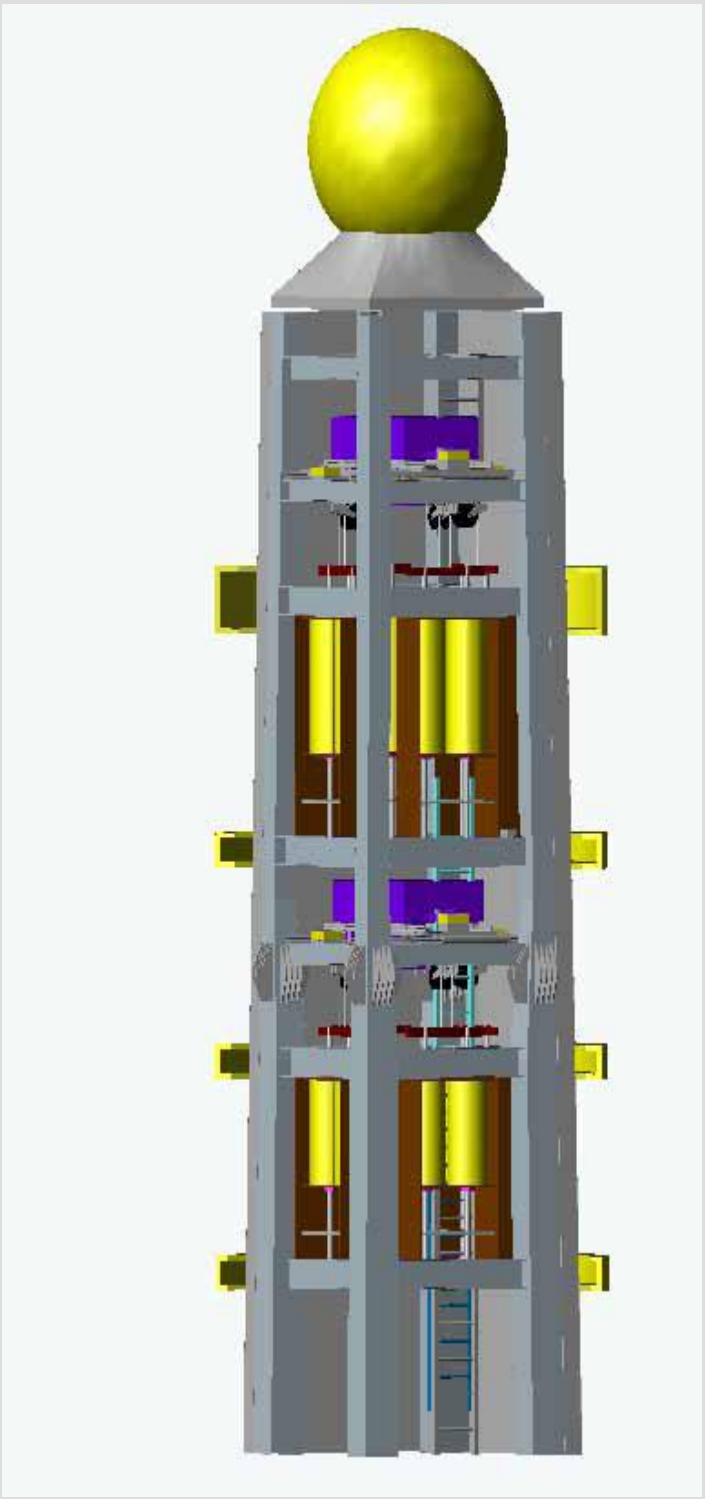
چون جدار لوله ای در این سیستم همه بارهای جانبی را مقاومت می کند، ستون ها شاه تیرهای تشکیل دهنده قاب های هسته تأسیسات ضروری «آسانسور، آب، برق، گاز و غیره) می توانند سبک تر باشند زیرا آنها فقط بارهای وزن را تحمل می کنند. همچنین کف قابل استفاده خالص در طبقات بالا در آنها سطح هسته را می توان کاهش داد افزایش می یابد.

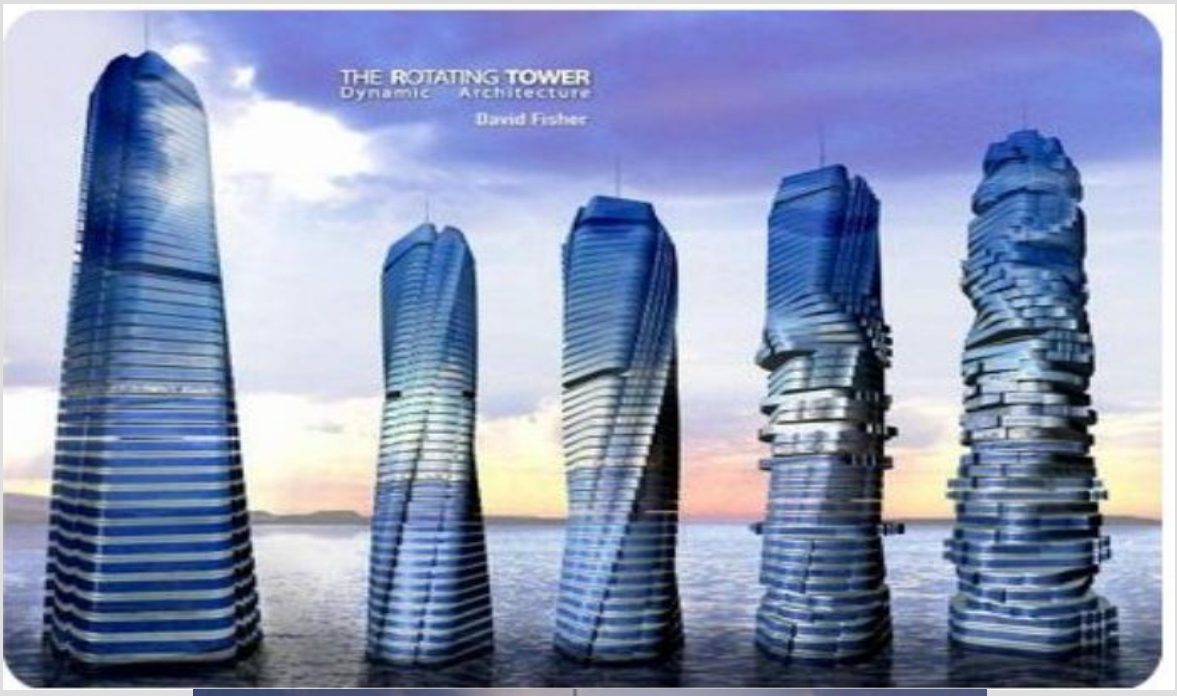
شرکت رید و تاریکس در سانفرانسیسکو سیستم ساختمانی مرکب لوله ای دیگری ابداع کرده است. آنها از شاه تیرهای فولادی و ستون های فولادی لوله ای پر شده با بتن به عنوان سازه نما استفاده می کنند. در این مورد نیز پوش ساختمان سختی کافی برای حمل تمام بارهای جانبی را تأمین می نماید. در این سیستم از قطعات پیش ساخته ای استفاده می شود که هر یک شامل یک ستون لوله ای به ارتفاع دو طبقه و دو شاه تیر فولادی طره ای می باشد. این قطعات پیش ساخته در وسط دهانه شاه تیرها و در وسط ارتفاع ستون ها به یکدیگر پیچ کرده می شود. از لحاظ بار گذاری جانبی این نقاط اتصال تحت کمترین تنش می باشد .

پیوستگی طبیعی شاه تیرها در محل ستون ها که تنش ها بیشترین مقدار را دارند از بین نمی رود، شاه تیرها در ستون ها فرو می روند و فقط جان آنها به لوله متصل می شود. بدین ترتیب از تعداد اتصالات ساختمان که تحت تنش های زیاد می باشند به مقدار زیادی کاسته می شود.

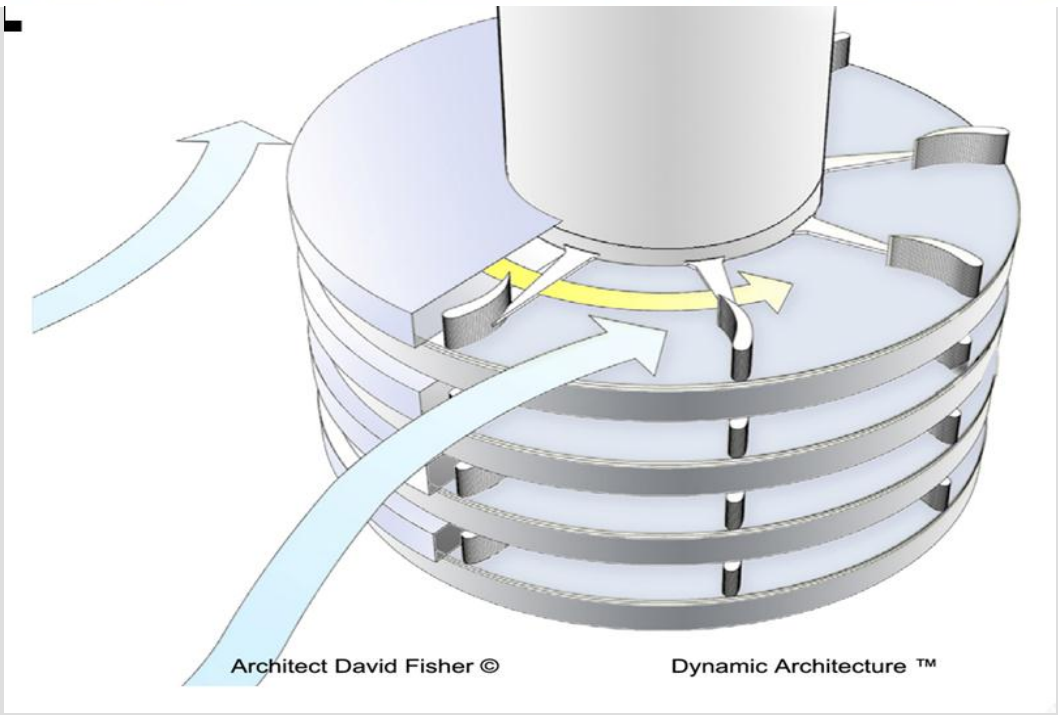


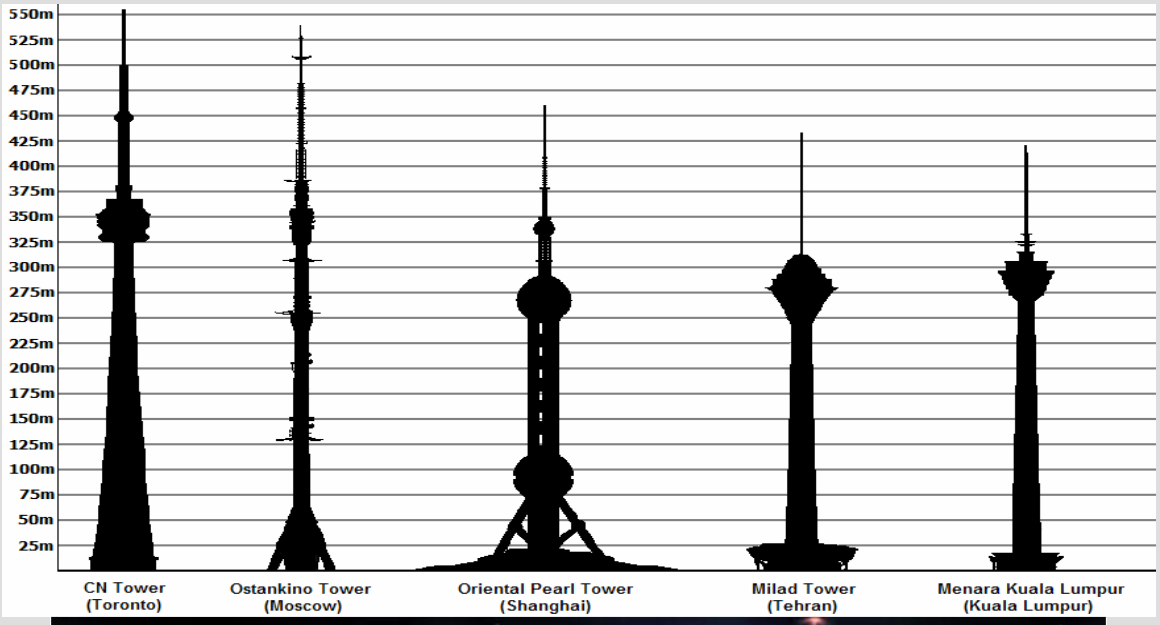


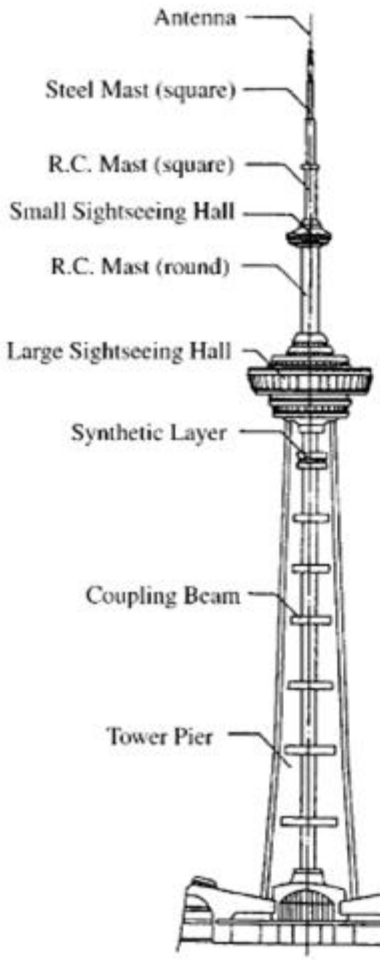



THE ROTATING TOWER
Dynamic Architecture
David Fisher

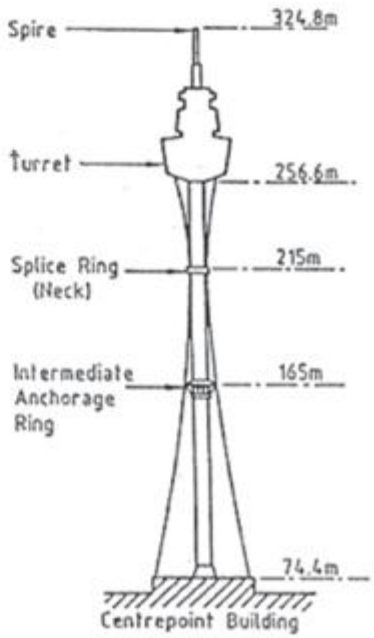
Architect David Fisher ©
Dynamic Architecture ™

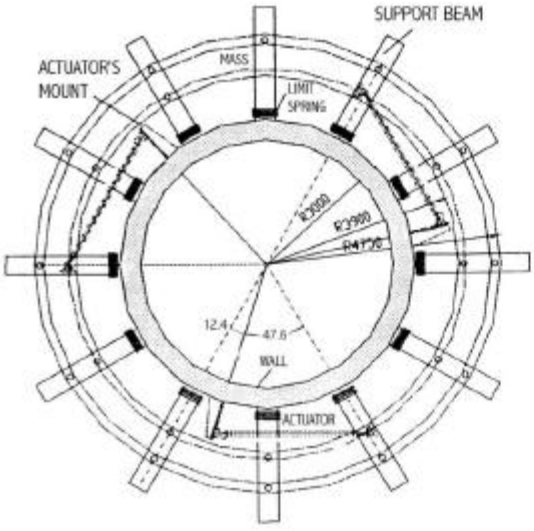

Architect David Fisher ©
Dynamic Architecture ™

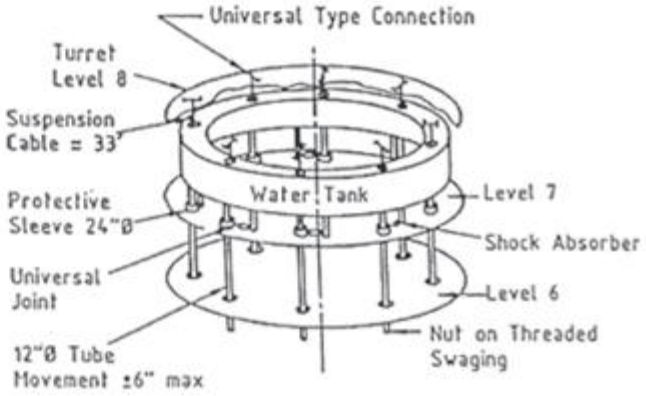

550m
525m
500m
475m
450m
425m
400m
375m
350m
325m
300m
275m
250m
225m
200m
175m
150m
125m
100m
75m
50m
25m
CN Tower (Toronto)
Ostankino Tower (Moscow)
Oriental Pearl Tower (Shanghai)
Milad Tower (Tehran)
Menara Kuala Lumpur (Kuala Lumpur)



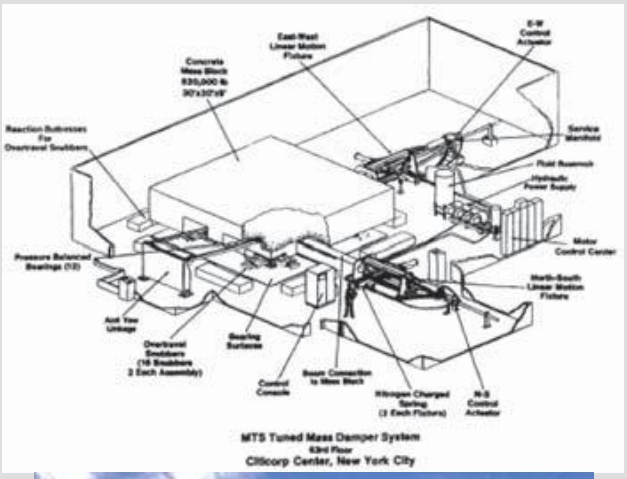
Nanjing Communication Tower.





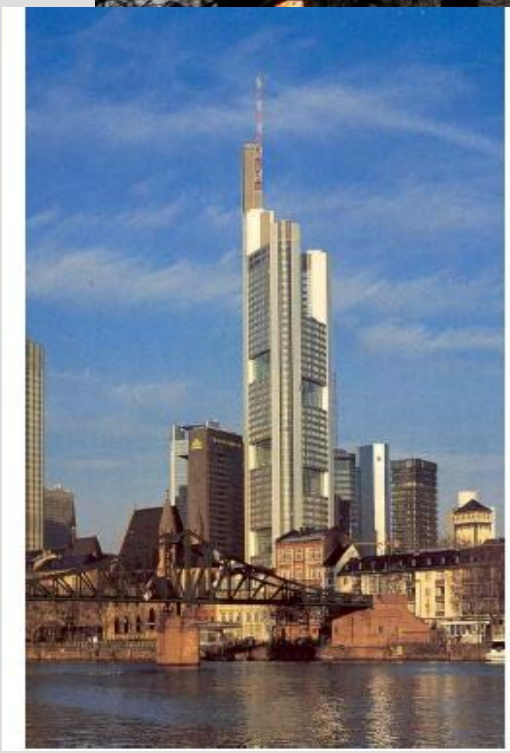


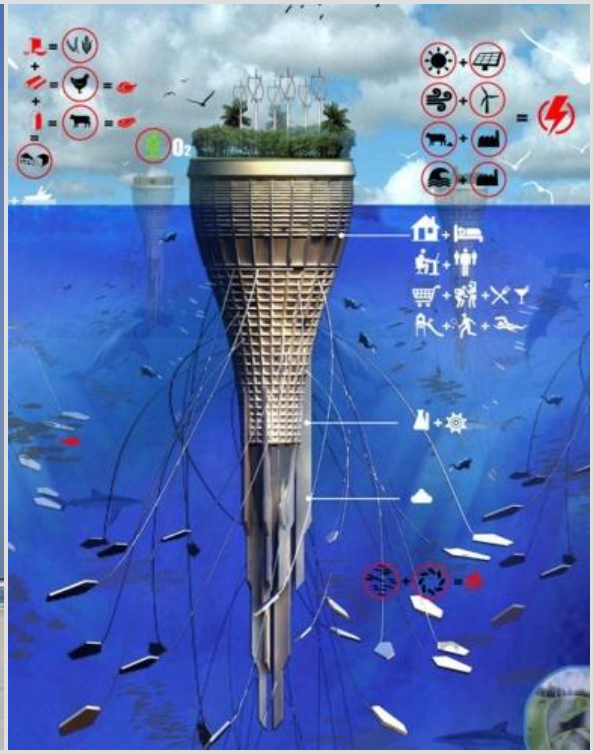
Water Tank TMD



Tehran Tower

Swiss Tower in London





برج العرب : این برج در دبی واقع شده است و ۳۲۱ متر ارتفاع و ۱ میلیون تن وزن دارد .
ساخت این برج در سال ۱۹۹۴ آغاز شد و در سال ۲۰۰۰ افتتاح شد .
این سازه دارای بلندترین دیوار پارچه ای جهان و بلندترین فضای داخلی خالی جهان است.
برق مصرفی این سازه به اندازهٔ مصرف یک شهر ۶۰۰۰ نفری است .
کل طراحی داخلی این سازه در ۲۴ ماه تکمیل شده است .
میانگین سنی طراحان این سازهٔ عظیم ۳۲ سال است .

منابع

۱-ایمان الیاسیان، سیستم های سازه ای ساختمان‌های بلند با رویکرد بررسی برجهای دوقلوی پتروناس مالزی، سایت Iransaze
۲- محمود گلابچی ، سیستمهای ساختمانی پیشرفته، دانشگاه تهران، دانشکده معماری و هنرهای زیبا
۳- محمود گلابچی، سازه های معاصر، دانشگاه تهران، دانشکده معماری و هنرهای زیبا
۴-حجت ا. . . عادلی، گانگ شولر، ولف ، سازه های ساختمان بلند، انشارارت دهخدا، ۱۳۷۶
۵- حسن حاجی کاظمی،سازه های ساختمان بلند
6- Bungale S . Taranath ,Reinforced Concrete Design of Tall Buildings, CRC Press ,Taylor and Francis Group 2010
۷- محمد رضا یمانیان،هانیه اخوت،محمد رضا اخوت، کنترل ارتعاش سازه های بلند مرتبه با استفاده از سیستم جرم میراگرمتوازن ، شماره ۵۹ ماهنامه بین المللی راه و ساختمان

سیستم های سازه ای ساختمان‌های بلند با رویکرد بررسی برجهای دوقلوی پتروناس مالزی

ایمان الیاسیان ، کارشناس ارشد سازه
Iman.elyasian@gmail.com

خلاصه

اهمیت اثر نیروی جانبی با بالا رفتن ارتفاع ساختمان با سرعت زیادی افزایش می یابد. در ارتفاع معینی تغییر مکان جانبی ساختمان چنان زیاد می شود که ملاحظات سختی کنترل کننده طرح می گردند تا اینکه مقاومت مصالح سازه ای ، درجه سختی اساسا بستگی به نوع سیستم سازه دارد . بعلاوه بازده هر سیستم خاصی مستقیما با مقدار مصالح مصرف شده ارتباط دارد.بنابراین از بهینه کردن سازه برای شرایط فضایی معینی باید با حداقل وزن حداکثر سختی حاصل شود . این عمل منجربه ابداع سیستم های سازه ای مناسب برای حدود ارتفاعات معین میگردد در این مقاله با اشاره مختصر به سیستمهای سازه ای ساختمان بلند به بررسی سیستم برجهای دوقاو پتروناس مالزی می پردازیم.

عواملی که در توسعه این سیستم های تازه نقش مهمی داشته اند عبارتند از

- مصالح سازه ای با مقاومت زیاد.
- عمل مرکب بین عناصر سازه ای ساخته شده از دو یا چند نوع مصالح.
- روش های جدید اتصال قطعات.
- تخمین رفتار پیچیده سازه ها به وسیله ماشین های حسابگر الکترونیک(کامپیو تر).
- استفاده از مصالح ساختمانی سبک تر.
- روش های اجرایی جدید.

انواع سیستم های سازه ای ساختمان‌های بلندHigh rise Structural Systems

عناصر سازه‌ای اساسی ساختمان عبارتند از: عناصر خطی (ستون و تیر)، عناصر سطحی (دیوار و دال) و عناصر فضایی (پوش نما یا هسته مرکزی

ترکیبی از این عناصر اساسی سازه استخوان‌بندی ساختمان را به وجود می آورد. راه‌حل‌های ممکن بی‌نهایت

زیادی را می‌توان در پیش چشم تجسم نمود که متداول‌ترین آنها عبارتند از:

۱. **دیوارهای باربر موازی :**این سیستم از عناصر صفحه‌ای قائم تشکیل شده است و اکثراً برای ساختمانهای آپارتمانی بکار می‌رود که در آنها فضاهای آزاد بزرگ لازم نیست و سیستم‌های مکانیکی سازه هسته‌ای را ایجاب نمی‌کند.

۲. **هسته‌ها و دیوارهای باربر نمایی :**عناصر صفحه‌ای قائم و حول سازه هسته دیوارهای خارجی را تشکیل می‌دهند. در این روش فضاهای داخلی باز ایجاد می‌شود که وسعت آنها بستگی به ظرفیت سازه کف در پوشاندن دهانه ها دارد.

۳. **صندوق‌های خود متکی :**صندوق‌ها واحدهای سه بعدی پیش ساخته‌ای هستند که وقتی در محل قرار می‌گیرند و به یکدیگر متصل می‌شوند به سازه با دیوار باربر شبیه می‌باشند.

۴. **دال طره شده :**در این سیستم کف‌ها به یک هسته مرکزی متکی می‌باشند و فضای بدون ستونی ایجاد می‌کنند.

۵. **دال مسطح :**این سیستم صفحه‌ای افقی بطور کلی شامل دال‌های بتنی کف با ضخامت یکنواخت می‌باشد که روی ستون‌ها قرار دارند. در این روش تیرهای با ارتفاع مقطع زیاد وجود ندارد و به حداقل ارتفاع طبقه می‌توان دست یافت .

۶. **سیستم فاصله‌گذاری :**سازه‌های قاب طره‌ای با ارتفاع طبقه، برای ایجاد فضای قابل استفاده در داخل و بالای قاب، یک طبقه درمیان بکار برده می‌شوند.

۷. **سیستم معلق :**در این سیستم با بکاربردن عناصر معلق بجای ستون ها برای حمل بارهای کف، استفاده مؤثر از مصالح نتیجه می‌گردد. در این سیستم کابل‌ها بارهای وزن را به خرپاهایی که از یک هسته مرکزی طره شده‌اند حمل می‌کنند.

۸. **خرپاهای متناوب :**خرپاهای به ارتفاع طبقه چنان قرار می‌گیرند که کف هر طبقه بصورت یک در میان روی قسمت تحتانی و یا فوقانی یک خرپا واقع می‌باشد.

۹. **قاب صلب :**عناصر خطی بوسیله اتصالات صلب به یکدیگر متصل می‌شوند و تشکیل صفحات قائم و افقی می‌دهند .ارتفاع طبقه و فاصله ستون‌ها از ملاحظات تعیین کننده طرح در این سیستم می‌باشند.

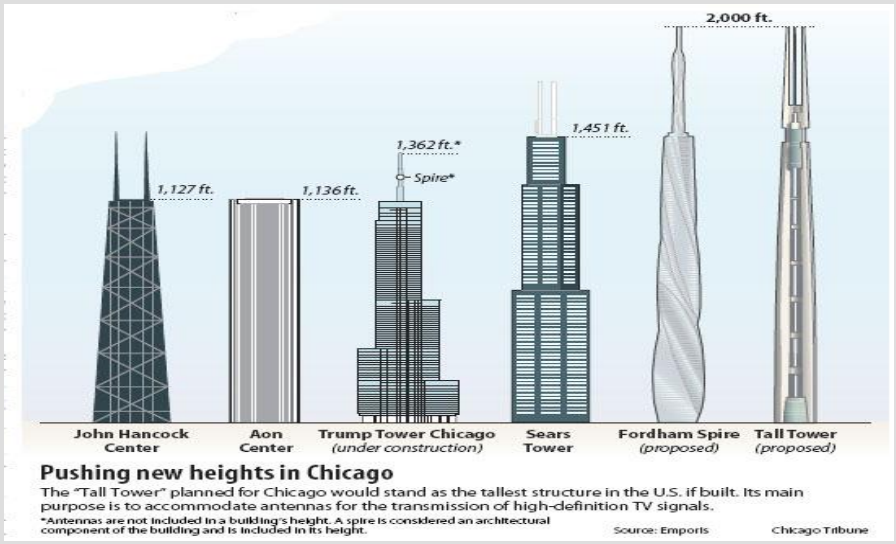
۱۰. **قاب و هسته مرکزی :**قاب صلب بارهای جانبی را اساساً بوسیله خمش تیرها و ستونها تحمل می‌کند. چنین سیستم‌های هسته‌ای، دستگاه‌های مکانیکی و حمل و نقل را در خود جای می‌دهند.

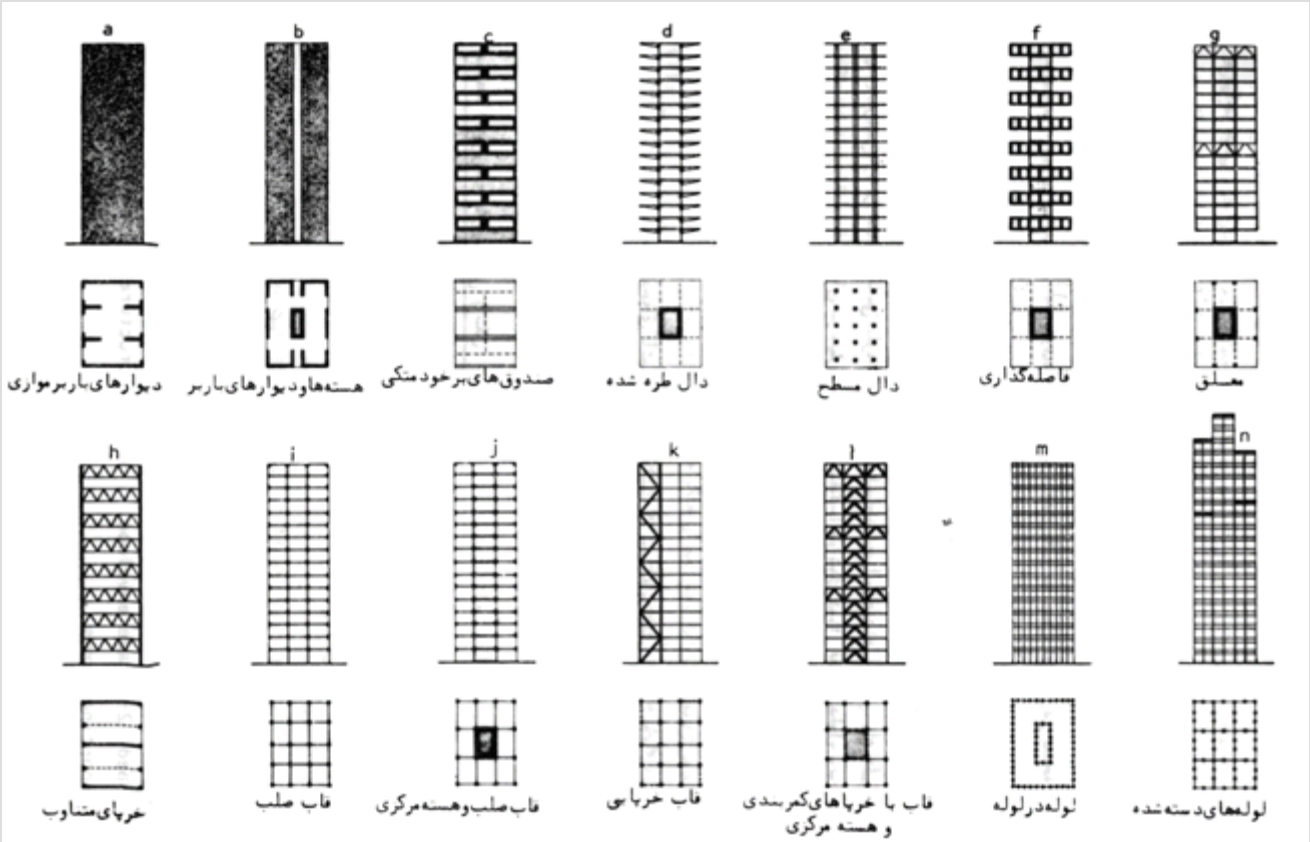
۱۱. **قاب خرپایی :**ترکیب نمودن یک قاب صلب با خرپاهای برشی قائم بر مقاومت و سختی سازه می‌افزاید. طرح این سازه ممکن است براساس استفاده از قاب برای مقاومت در مقابل بارهای وزن و مزایای قائم در برابر باد صورت گیرد.

۱۲. **قاب با خرپاهای کمربندی و هسته مرکزی :**خرپاهای کمربندی ستون‌های نما را به هسته مرکزی متصل می‌نمایند و بدین ترتیب عمل انفرادی قاب و هسته مرکزی را حذف می‌کنند.

۱۳. **لوله در لوله :**ستون‌ها و تیرهای خارجی ساختمان چنان مجاور هم قرار داده می‌شوند که نمای ساختمان ظاهراً شبیه دیواری با سوراخ‌های متعدد پنجره‌ای است. در این حالت هسته (لوله) داخلی با لوله نما در حمل بارها سهیم بوده و بر سختی آن می‌افزاید.

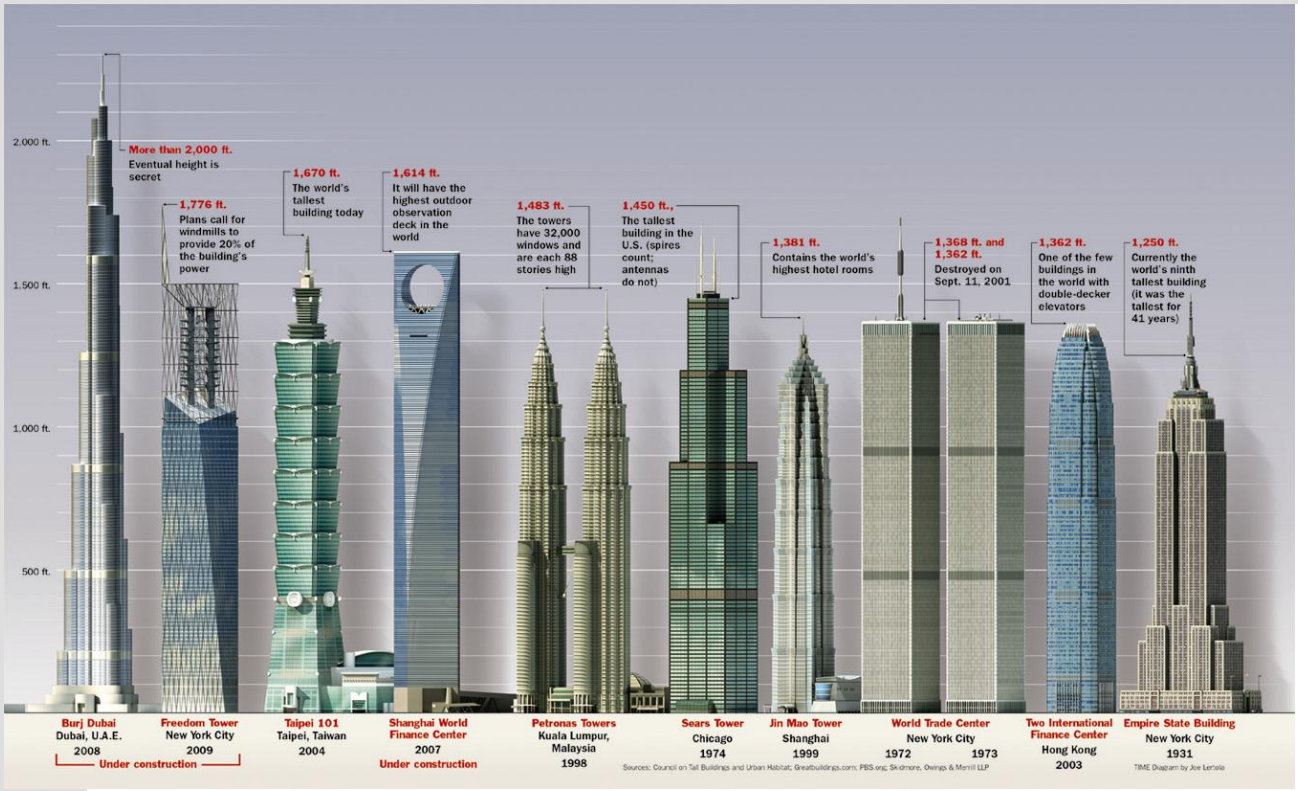
۱۴. **لوله‌های دسته شده :**سیستم لوله‌های دسته شده را می‌توان بصورت مجموعه‌ای از لوله‌های انفرادی تجسم کرد که تشکیل یک لوله چند واحدی را می‌دهند. بدین ترتیب آشکار است که بر سختی سازه افزوده می‌گردد. این سیستم بلندترین ارتفاع و بیشترین سطح کنار را امکان پذیر می‌سازد.





در بخش های زیر متداول ترین سیستم های سازه ای مورد بحث قرار می گیرند.در این بحث ها طرح های هندسی نمونه،رفتار سازه ها تحت بار گذاری،و بازده سیستم ها مورد تأکید می باشند.

- سازه دیوار باربر
- سازه هسته برشی
- سازه تیر دیواری



سازه دیوار باربر

از لحاظ تاریخی سازه های ضخیم و سنگین ساخته شده از مصالح بنایی بوده اند.وزن زیاد و انعطاف ناپذیری آنها در طرح افقی باعث عدم استفاده مؤثر از آنها در ساختمان های بلند گردید.اما پیشرفت تکنولوژی جدید در استفاده از مصالح بنائی مهندسی ساخته شده و قطعات بتنی ساخته مفهوم دیوار باربر را برای ساختمان های با ارتفاع متوسط اقتصادی ساخته است.

این سیستم برای انواعی از ساختمان ها که در آنها تقسیمات مکرر فضا لازم است مانند آپارتمان ها و هتل ها قابل استفاده می باشد. روش دیوار باربر برای انواع طرح و شکل ساختمان ها مناسب است.نقشه های افقی این طرح ها از شکل های مستطیلی ساده تا شکل های دایره ای و مثلثی متغییر می باشند.

سازه های دیوار باربر عموماً شامل مجموعه ای از دیوارهای خطی می باشند.بر اساس نحوه قرار گرفتن این دیوارها در ساختمان آنها را می توان به سه گروه اصلی تقسیم نمود:

- سیستم دیوار عرضی که شامل دیوار های خطی در امتداد عمود بر طول ساختمان می باشد و در نتیجه مانع نما کاری نمای اصلی نمی گردد.

- سیستم دیوار طولی که شامل دیوارهای خطی موازی طول ساختمان می باشد این رو دیوار نمای اصلی را تشکیل می دهد.
- سیستم دو طرفه که شامل دیوارهای موازی عرض و طول ساختمان می باشد.

همچنبن ممکن است ساختمان را بطور مشخصی به قسمت های سازه ای مختلف تقسیم کرد بطوریکه هر قسمت سیستم دیوار جداگانه ای را به کار ببرد.

ترتیب قرار گرفتن دیوارها که در اینجا بحث شد در مورد ساختمان های مستطیلی ممکن است به وضوح قابل بیان باشد،اما در مورد ساختمان های با تصاویر افقی پیچیده تر طبقه بندی کردن ممکن است تا حدودی مشکل باشد.

رفتار سازه دیوار بار بر تحت بار گذاری بستگی به مصالح مصرف شده و نحوه اثر متقابل صفحه افقی کف و صفحه قائم دیوار دارد.به عبارت دیگر این رفتار تابعی از درجه پیوستگی(اتصال) دیوارها به یکدیگر و به دال های کف می باشد.اتصال سازه کف به دیوارهای پیوسته را باید مفصلی تصور کرد.(با فرض هیچگونه سیستم اتصال خاصی بکار نرفته باشد)،در صورتی که در ساختمان های بتنی در محل ریخته شده ،دال هاو دیوارها بطور واقعی متصل و پیوسته هستند. واضح است که ساختمان بتنی در محل ریخته شده ،با توجه به رفتار سه بعدیش،خیلی سخت تر از ساختمان ساخته شده ار مصالح بنائی یا قطعات پیش ساخته مفصلی می باشد و این نکته بتن را برای ساختمان های بلندتر اقتصادی می سازد.

بارهای قائم با ایجاد خمش از سازه کف مستقیما به دیوارها انتقال می یابند.دهانه های متداول کف ها (یعنی فاصله بین دیوارها) بسته به ظرفیت حمل بار وصلبیت جانبی سیستم کف و عوامل دیگر بین ۱۲ تا ۲۵ فوت متغیر می باشند.چون دیوار بارها را خیلی شبیه به یک ستون باریک و عریض مقاومت می کند پایداری آن در مقابل کمانش باید کنترل گردد.

تنش های فشاری در دیوار تابعی از دهانه کف،ارتفاع و نوع ساختمان ،و اندازه و ترتیب سوراخ های دیوار(برای در و پنجره و غیره)می باشد. سوراخ های دیوار باید روی یک محور قائم قرار داده شود تا از تمرکز و ترکیب تنش ها در اثر ترتیب متناوب پنجره ها اجتناب گردد.

کف هایی که بصورت خارج از مرکز به دیوارها متصل می باشند لنگرهای خمشی ایجاد می کنند که دیوار باید آنها را نیز مقاومت کند.

نیروهای افقی به وسیله سازه کف که مانند دیافراگمی افقی عمل می کند به دیوارهای برشی موازی امتداد نیرو توزیع می شود. دیوارهای برشی به دلیل صلبیت زیاد شان مانند تیرهای با عمق زیاد عمل می کنند و در مقابل برش،خمش و واژگونی مثل آن واکنش نشان می دهند.

در مقابل نیروی باد موازی با جهت کوتاه ساختمان،دیوارها در سیستم دیوار عرضی نه فقط بارهای وزن را تحمل می کنند بلکه در مقابل برش ناشی از باد نیز مقاومت می نمایند. از طرف دیگر سیستم دیوار طولی این دو وظیفه دیوارها را هم جدا می کند. دیوارهای طولی بارهای وزن را تحمل می نمایند و نیروهای باد را به صورت خمش موضعی به دیافراگم کف یا مستقیما به دیوارهای برشی واقع در وسط یا دو انتهای ساختمان منتقل می کنند.

در مورد اثر باد روی ضلع کوتاه ساختمان که اهمیت کمتری دارد، دیوارهای باربر در سیستم دیوار طولی اکنون به صورت دیوار های برشی نیز عمل می کنند. در سیستم دیوار عرضی دیوارهای برشی را ممکن است در امتداد کریدور مرکزی قرار داد. در ساختمان های بتنی در محل ریخته شده، پایداری در اثر رفتار یکپارچه سیستم کف-دیوار که مانند یک واحد صندوقی با خمش واکنش نشان می دهد تامین می گردد.

بنابراین با فرض دیافراگم های کف بی نهایت صلب آنها مستقیماً به نسبت سختی نسبی شان بارهای باد را مقاومت می کنند.اما اگر طرح دیوارها چنان باشد که نیروی برآیند باد از مرکز جرم دیوار های مقاوم عبور نکند،پیچش ایجاد می شود که باعث افزایش برش در بعضی از دیوار ها می گردد.

رفتار دیوار برشی در مقابل بار گذاری جانبی به مقدار زیاد بستگی به شکل آن در تصویر افقی یعنی ایینرسی حاصله در مقابل خمش دارد.

دیوارهای برشی به ندرت دیوارهای توپر می باشند زیرا غالبا در آنها سوراخ هایی برای پنجره و غیره تعبیه می شود که باعث ضعیف شدن آنها می گردد. تعداد، اندازه، و ترتیب قرار گرفتن این سوراخ ها ممکن است شدیداً در رفتار دیوار تأثیر داشته باشد.

اگر دیوار فقط دارای سوراخ های پنجره کوچک باشد تحت بار گذاری جانبی مثل دیوار تو پر رفتار می کند. بارهای زیاد وزن چنان فشاری در دیوار تولید می کنند که دوران(خمش) ایجاد شده در اثر باد هرگز قادر به غلبه کردن آن در طرف رو به باد نمی باشد.

با قرار دادن سوراخ های در دریک دیوار برشی داخلی به طور متناوب بطوریکه در آن دیوار به صورت واحد هایی تکرار می شود. نتیجه مشابه ای به دست می آید. اما در منتهی الیه دیگر که در آن سوراخ ها به

صورت شکافی دیوار را به دو واحد جدا تقسیم می کنند هر یک از واحد ها به صورت دیوار جداگانه عمل می نمایدو نصف بار را تحمل می کند.در چنین حالتی به دلیل بارهای وزن بالنسبه کم امکان اینکه در دیوار کشش ایجاد شود کاملاً وجود دارد. همچنین برای دیوار برشی داخلی در جایی که پیوستگی در عرض کریدور فقط بوسیله دال کف تامین می شود، با اطمینان می توان فرض نمود که دو قسمت دیوار به صورت جداگانه و انفرادی عمل می کنند ولی به علت وزن مرده بیشتر ممکن است در اثر باد کشش ایجاد نشود.

تعیین رفتار سیستم دیواری که بین حالت های منتهی الیه مورد بحث در بالا قرار دارد نسبتاً مشکل است. رفتار این سیستم های دیواری بستگی به مقدار صلبیت ایجاد شده بوسیله قسمت های فوقانی و تحتانی پنجره ها (یا درها) در مقابل برش قائم دارد. دیوار را ممکن است به صورت دو قطعه جدا تصور نمود که موقع مقاومت کردن بارهای جانبی تا حدودی روی یکدیگر اثر متقابل دارند.

در این بحث فرض شده است که دیوار های بار بر،تو پر و مسطح و در صفحه های قائم باشند. اما دیوارها ممکن است از شبکه ای از عناصر مورب یا اعضاء خطی ستونی در فواصل نزدیک تشکیل شده باشند.آنها همچنین ممکن است منحنی شکل یا تاب دار و در صفحه های مایل قرار گرفته باشند.

سازه هسته برشی

سیستم دیوار خطی بار بر برای ساختمان های آپارتمانی که در آنها وظایف و نحوه استفاده ساختمان ثابت است کاملاً مناسب می باشد. اما برای ساختمان های تجارتی و اداری حداکثر انعطاف پذیری در تقسیم بندی فضا لازم می باشد، از این رو در این ساختمان ها فضاهای باز و وسیع مطلوب است که بتوان آنها را به وسیله جدا کننده های متحرک تقسیم کرد. یک راه حل متداول این است که سیستم های قائم حمل و نقل و توزیع انرژی (مانند آسانسور، پله ها، و مجراهای عبور وسایل مکانیکی) را یک جا جمع کرده تا بسته به اندازه و وظیفه ساختمان تشکیل هسته یا هسته هایی بدهند. این هسته ها به عنوان سیستم های دیوار برشی مورد استفاده قرار می گیرند و پایداری جانبی لازم را برای ساختمان تأمین می کنند. به نظر می رسد که از لحاظ شکل و محل هسته در داخل ساختمان هیچگونه محدودیتی وجود نداشته باشد. خصوصیات سیستم های هسته ی به قرار زیر می باشند:

- شکل هسته
  - هسته باز در مقابل هسته بسته
  - هسته تنها در مقابل هسته توام با دیوارهای خطی

- تعداد هسته ها: هسته انفرادی در مقابل چندین هسته.
- محل هسته ها: داخلی در مقابل محیطی و در مقابل خارجی
- ترتیب قرار گرفتن هسته ها: متقارن در مقابل نا متقارن
- هندسه ساختمان به عنوان مولد شکل هسته: مولد مستقیم در مقابل مولد غیر مستقیم

هسته ها را می توان از فولاد ، بتن یا ترکیبی از هر دو ساخت. در هسته قابی فولادی برای رسیدن به پایداری جانبی مطلوب ممکن است از خر پای ویراندیل استفاده کرد.سیستم قاب ویراندیل نسبتا انعطاف پذیر است، از این رو فقط برای ساختمان های بالنسبه کوتاه به کار می رود. برای ساختمان های بلند تر در قاب ویراندیل از مهار بندی قطری (به صورت خر پای قائم) استفاده می شود تا سختی لازم برای هسته به دست آید. مزیت هسته های قابی فو لادی در سوار کردن نسبتا سریع قطعات پیش ساخته می باشد.

از طرف دیگر هسته بتنی علاوه بر حمل بارها فضا را نیز محصور می کندو از لحاظ حفاظت در مقابل آتش هیچ گونه ملاحظه اضافی لازم نیست. فقدان شکل پذیری و قابلیت تغییر شکل پلاستیک بتن به عنوان یک ماده ساختمانی از لحاظ بار گذاری زلزله اشکال این نوع هسته ها می باشد.

هسته های برشی را می توان به صورت تیرهای بسیاری مجسم کرد که از زمین طره شده و بارهای جانبی را مقاومت می کنند. بنابراین تنش های خمشی و برشی تولید شده در هسته،با فرض اینکه تاب رفتار یک هسته تحت بارهای جانبی بستگی به شکل، درجه همگن بودن و صلبیت آن و جهت بار دارد. در هر طبقه سوراخ هایی در هسته وجود دارد و مقدار پیوستگی ایجاد شده به وسیله قسمت های فو قانی و تحتانی این سوراخ ها روی رفتار هسته اثر تعیین کننده دارد. هسته بخصوص تحت بار گذاری نا متقارن که پیچش ایجاد می کند ممکن است مانند یک مقطع باز عمل کند و قسمت بالای آن تاب بردارد. بنابراین در قسمت فوقانی هسته تنش های برشی پیچشی اضافی و در پای آن خمش جانبی و برش اضافی در بال ها تولید می شود.

سازه تیر دیواری

- سیستم های فاصله گذاری و خر پای متناوب :
- سیستم های مرکب از قاب و دیوار برشی:

- سیستم های دال مسطح:
- سیستم های مرکب از دیوار برشی و قاب توأم با خرپا های کمر بندی صلب:
- سیستم های لوله ای در سازه برج:

سیستم های فاصله گذاری و خر پای متناوب

در این بخش اساساً تیر های به ارتفاع طبقه که دهانه ها در جهت کو تاه ساختمان می پوشانید مورد نظر ما می باشد .

این تیرها که بر ردیف هائی از ستون ها در امتداد دیوارهای خارجی متکی می باشند ممکن است خرپاهای فولادی یا بتنی ، و یا دیوارهای بتنی تو پر باشند.

متداول ترین سازه های تیر دیواری سیستم های فاصله گذاری و خرپاهای متناوب می باشند. خرپاها یک طبقه در میان به کار برده می شوند. این خرپاها دال های کف را هم در تار فوقامی و هم در تار تحتانیشان نگه می دارند. فضای آزادی که در طبقات متناوب (یک در میان) ایجاد می شود برای بعضی از انواع ساختمان ها که در طرح ریزی فضاهای آنها انعطاف پذیری لازم است سودمند می باشد. ساختمان متشکل از خرپاهای متناوب از سیستم فا صله گذاری خیلی سخت تر می باشد. در اینجا خرپاها در تمام طبقات بکار می روند ولی بصورت متناوب قرار داده می شوند. با به کار بردن تیرهای دیواری به ارتفاع طبقه بطور متناوب، دال های کف فقط نصف فاصله بین خرپاها رامی پوشانند و فضاهای باز نسبتاً بزگی ایجاد می شود. این دال های کف از یک طرف روی تار فوقانی یک خرپا قرار دارند و از طرف دیگر از تار تحتانی خرپای بعدی که در طبقه بالا قرار دارد آویزان می شوند. طرز قرار گرفتن خرپاها در ارتفاع ساختمان تا حدودی شبیه طرح آجر کاری دیوارها می باشد.

سیستم خرپاهای متناوب در موقع مقاومت بارهای افقی و قائم به نحو خیلی مؤثری عمل می کند. این روش در مورد ساختمان های بلند نسبت به قاب هایی که بطور معمولی مهار بندی شده اند در حدود ۴۰ در صد کمتر فولاد مصرف می کند و اتصالات کمتری در محل ساختمان لازم دارد. این سیستم تاکنون برای ساختمان های تا حدود ۳۰ طبقه به کار رفته است. در سازه های تیر دیواری سیستم فاصله گذاری طبقاتی که دارای خرپا هستند، مانند قطعات صلب، فوق العاده سخت می باشند و به سختی تغییر شکل می دهند. .ولی طبقات باز (طبقاتی که دارای خرپا نمی باشند) فقط ازستون ها می توانند برای تحمل بار جانبی استفاده کنند.

تغییر شکل اژن ستون ها مشابه تغییر شکل ستون های یک قاب صلب معمولی می باشد.

در سیستم خرپای متناوب فرض می شود که دال های کف مانند دیافراگم های افقی بی نهایت سخت عمل کنند، از این رو همه نقاط واقع در روی هر یک از کف ها تغییر مکان افقی مساوی خواهند داشت. بنا براین قاب های خرپایی مجاور یکدیگر مجبورند که مشترکاً بصورت واحد عمل کنند. به عبارت دیگر از جمع تغییر شکل های جداگانه دو قاب مجاور بطور تقریبی حالت تغییر شکل یافته تمام سیستم بدست می آید. تغییر شکل ساختمان مشابه تغییر شکل یک تیر طره ای صلب می باشد.

منحنی تغییر شکل ساختمان نشان می دهد که لازم نیست ستون ها برای لنگرهای خمشی در امتداد جهت کوتاه ساختمان طرح کردند. بنابراین دال های کف که مانند دیافراگم های صلب عمل می کنند تمام برش ناشی از باد (یابه طور کلی بار های جانبی) را به خر پاها منتقل می کنند و این خرپاها به نوبه خود بارها را به صورت نیروهای محوری به ستون ها انتقال می دهند. چون خر پاها های دیواری در آنها تغییر شکل ایجاد می کند باید برش قائم را مقاومت کنند، هر گونه بازشدگی در تیر وباعث کاهش صلبیت تیرها می گردد.

ستون های خارجی را می توان چرخاند به طوری که جان آنها عمود بر خرپا قرار بگیرد تا بدین وسیله از محور های قوی آنها برای مقاومت نیرو های بار در جهت طولی استفاده شود. سختی جانبی در جهت طول ساختمان را می توان به طرق مختلف از جمله اضافه کردن قطعات سازه ای پیش ساخته در بالاو پایین پنجره ها افزایش داد.

سیستم های مرکب از قاب و دیوار برشی

۱- سیستم های مرکب از قاب مفصلی و دیوار برشی:

۲- سیستم های مرکب از قاب مفصلی،قاب ویراندیل و دیوار برشی:

۳- سیستم های مرکب از قاب صلب و دیوار برشی:

*تغییر شکل حالت برش قاب صلب:

*تغییر شکل حالت خمش دیوار برشی:

*تاثیر متقابل قاب و هسته برشی:

سیستم های قالب صلب خالص برای ساختمان های مرتفع تر از ۳۰طبقه عملی نمی باشد.در چنین مواردی یکی از انواع دیوار برشی نیز در قاب به کار برده می شود تا بارهای جانبی را مقاومت کند. دیوارهای برشی یا بتنی می باشند و یا از مهار بندی فولادی مشبک (خرپایی) تشکیل می گردند. این دیوارها ممکن است هسته های داخلی، بسته مانندهسته های دور محوطه های آسانسورها و پله ها، یا دیوارهای موازی در داخل ساختمان، و یا خرپاهای نمایی قائم باشند.

شکل های گوناگون نقشه های افقی،راه حل های مختلف ممکن را برای طرح های افقی نشان می دهند. سیستم های هسته ای در ارتباط با فرم ساختمان از نقطه نظرهای زیر طبقه بندی شوند.

- محل و موقعیت هسته ها
  - هسته های نمایی خارجی
  - هسته های داخلی :هسته هایی نمایی،هسته ها در داخل ساختمان
  - هسته های خارجی از مرکز
- تعداد هسته ها
  - هسته های منفرد
  - هسته های شکافته
  - هسته های چندتایی
- شکل هسته ها.
  - شکل های بسته: مربعی ، مستطیلی، دایره ای و مثلثی.
  - شکل های باز: x شکل، I شکل و ناودانی شکل.
  - شکل هایی که از فرم ساخمان الهام می گیرند.

سیستم های مرکب از قاب و دیوار برشی بر اساس رفتارشان تحت بارگذاری جانبی دسته بندی می شوند که ممکن است یک از سه نوع زیر باشند.

۱- سیستم های مرکب از قاب مفصلی و دیوار برشی:

در این سیستم چون اتصالشان تیرهای قاب به ستون ها مفصلی می باشد، قاب فقط می تواند بارهای وزن را تحمل کند. دیوار برشی تمام بارهای جانبی را مقاومت می کند.

۲- سیستم های مرکب از قاب مفصلی،قاب ویراندیل و دیوار برشی:

نیروهای جانبی به وسیله دیوار برشی و قاب صلب(یعنی قاب ویراندیل) مشترکاً مقاومت می گردند.قاب های داخلی و قاب های نمایی طولی فقط بارهای وزن را تحمل می کنند.

۳- سیستم های مرکب از قاب صلب و دیوار برشی:

به کار بردن فقط دیوارهای برشی به منظور جذب بارهای جانبی برای ارتفاعات بیش از ۵۰۰ فوت غیر عملی می باشد.برای اینکه هسته ها به اندازه کافی قوی باشند باید ابعاد آنها خیلی بزرگ انتخاب شود که در این صورت دیگر برای دستگاه های حمل و نقل قائم و توزیع انرژی مناسب نخواهند بود.

به علاوه تغییر شکل آنها ممکن است چنان زیاد باشد که در دیوارهای جدا کننده و پنجره ها ترک ایجاد کند و یا حتی در ساکنین ساختمان واکنش های روانی ناگوار به وجود آورد.با به کار بردن قاب صلب که برای مقاومت نیروهای جانبی با دیوار برشی سهیم می شود بر صلبیت جانبی ساختمان به مقدار زیادی افزوده می گردد.تغییر شکل کل سیستم های متشکل از دیوار برشی و قاب صلب که روی یکدیگر اثر متقابل دارند با جمع کردن حالت های تغییر شکل جداگانه دیوار و قاب بدست می آید.

تغییر شکل حالت برش قاب صلب:

توجه کنید که شیب منحنی تغییر شکل در پای ساختمان در جایی که بیشترین برش اثر می کند حداکثر می باشد.

تغییر شکل حالت خمش دیوار برشی:

دیوار برشی ممکن است یک دیوار بتنی توپر یا یک خر پای فولادی قائم باشد.این دیوار برشی ممکن است یک هسته داخلی،دیوار های داخلی،دیوار های داخلی موازی و یا یک دیوار نمایی باشد. دیوار برشی مانند

یک تیر طره ای قائم عمل می کند و مانند آن خم می شود. توجه کنید که شیب منحنی تغییر شکل در بالای ساختمان حداکثر می باشد و این دلالت بر این قسمت ساختمان دیوار برشی در ایجاد سختی کمترین سهم را دارد.

تاثیر متقابل قاب و هسته برشی:

برای یافتن اثر متقابل قاب و دیوار برشی تغییر شکل های دو حالت فوق را با هم جمع می کنیم که یک منحنی S کشیده حاصل می شود. به علت خصوصطات تغییر شکلی مختلف دیوار برشی و قاب، دیواربرشی به وسیله قاب در قسمت بالای ساختمان به عقب کشیده می شود و در قسمت پایین ساختمان به جلو رانده می شود. از این رو برش ناشی از باد (یا زلزله) در قسمت بالای ساختمان اساساً به وسیله قاب و در قسمت پایین ساختمان اساسا به وسیله دیوار برشی گرفته می شود.

سیستم های دال مسطح

سیستم های دال مسطح شامل دال های بتنی کاملاً توپر و یا حجره ای (با حفره هائی در زیر آنها) می باشند که مستقیماً روی ستون ها تکیه دارند و از این رو در این سیستم احتیاج به قاب بندی کف نیست. این سیستم منجر به کمترین ارتفاع برای کف های ساختمان می گردد که یک برتری اقتصادی آشکار می باشد. در این سیستم ها به دلیل تمرکز زیاد برش در حوالی ستون ها غالبا یا از سر ستون ها استفاده می شود و یا بر ضخامت دال ها در نزدیکی ستون ها اضافه می گردد. دال هایی که ضخامت آنها در تمام طول دهانه ثابت است به نام صفحه های مسطح خوانده می شوند.سیستم های دال مسطح برای ساختمان های با نقشه افقی نا منظم قابل وفق و مناسب می باشند.

بعضی از اشکالات سیستم های دال مسطح از قرار زیر می باشند:

- بار مرده زیاد در هنگام مواجهه با شرایط نا مساعد فونداسیون نا مطلوب است.
- وقتی که نسبت عمق به دهانه دال ها کوچک باشد تغییر شکل آنها بیش از اندازه بنظر می رسد.
- دهانه های نسبتاً کوچک این سیستم ها (بین ۱۵ تا ۲۵ فوت و اگر پس کشیده شود تا ۳۵ فوت)کار برد آنها را برای انواعی از ساختمان ها با طرح جدا کننده های مکرر،مانند ساختمان های آپارتمانی ،محدود می کند.

سازه های دال مسطح بسته به نسبت ارتفاع به عرض ساختمان ممکن است به عنوان عناصر باربر فقط ستون داشته باشند، یا ممکن است علاوه بر ستون از دیوارهای برشی نیز برای ازدیاد سختی جانبی در آنها استفاده هد.فرض اینکه بارهای جانبی تماماً به وسیله هسته یا دیوار برشی با صلبیت بیشتر مقاومت شوند و اینکه دال ها و ستون ها در مقاومت جانبی سازها هیچ سهمی ندارند واقع بینانه نیست.

خصوصیت یکپارچگی سازه بتنی باعث می شود که تمام ساختمان در مقابل بارهای جانبی به صورت واحد واکنش نشان د هد دال مسطح خودش با وجود اینکه نسبتاً انعطاف پذیری می باشد به دلیل پیوستگیش با دیوار های برشی و ستون ها بر مقاومت سیستم می افزاید. می توان چنین تصور نمود که قسمتی از دال به صورت تیر کم عمقی پیوسته به ستون ها عمل کند و در نتیجه سازه مانند یک قاب صلب رفتار نماید.

بنابراین رفتار سیستم سازه کلی مشابه رفتار سیستم مرکب از هسته و قاب می باشد . نیروهای جانبی در قسمت بالای سازه اساساً به وسیله عمل قاب و در قسمت پایین آن اساساً به وسیله سیستم دیوار برشی یا هسته مقاومت می شوند.

سیستم های لوله ای در سازه برج

در طرح سازه های بلند اخیرا ایده جدیدی ارائه شده است که موسوم به سیستم لوله ای می باشد. در حال حاضر در چهار مورد از پنج ساختمانی که بلندترین ساختمان های دنیا می باشند از این روش استفاده شده است. این ساختمان ها عبارتند از، ساختمان هنکاک برج سیرز و ساختمان استاندارد اویل در شیکاگو و ساختمان مرکز تجارت دنیا در نیویورک . بازده سازه ای سیستم های لوله ای به قدری زیاد می باشدکه در اکثر موارد مقدار مصالح سازه ای مصرف شده برای هر فوت مربع کف (یا سقف) قابل مقایسه با مقدار مصالح مصرف شده در ساختمان های قابی متداول به ارتفاع نصف می باشد.در طرح لوله ای فرض می شود که عناصر سازه ای پیرامونی ساختمان در مقابل بارهای جانبی همچون یک تیر با مقطع صندوقی (جعبه ای) تو خالی که از زمین طره شده است عمل کند. چون دیوارهای خارجی تمام یا بیشتر بار جانبی را تحمل می کنند، مهار بندی های قطری یا دیوارهای برشی داخلی پر هزینه حذف می گردند .

دیوارهای لوله از ستون هایی تشکیل می شوند که به فواصل کم در مجاورت یکدیگر در اطراف محیط ساختمان قرار می گیرند و به یکدیگر با تیرهای با عمق زیاد که در بالا و پایین آنها سوراخ های پنجره قرار دارند متصل می شوند. این سازه نمایی همچون دیواری با سوراخ های متعدد به نظر می رسد. سختی دیوار نما را می توان با افزودن مهار بندی های مورب (قطری) که اثر خر پا مانند ایجاد می کنند زیاد تر نمود . صلبیت لوله چنان زیاد است که در مقابل بارهای جانبی به صورت یک تیر طره ای عمل می کند. لوله

خارجی می تواند به تنهایی تمام بارهای جانبی را تحمل کند یا اینکه با افزودن نوعی مهار بندی داخلی می توان لوله را بیشتر تقویت نمود و سخت تر کرد .

در زیر کار بردهای مختلف سیستم لوله ای که تا امروزه به کار رفته اند بررسی می گردند. این بخش به موضوع های زیر تقسیم می شود :

- **سازه لوله توخالی در ساخت برج**
  - لوله قابی
  - لوله خر پایی شامل

۱. لوله خرپایی مرکب از ستون و عناصر قطری

۲. لوله خر پایی مشبک

- **برج با سازه لوله با مهار بند ی داخلی**
  - لوله با دیوارهای برشی موازی
  - لوله در لوله
  - لوله اصلاح شده شامل

۱. لوله قابی توأم با قاب های صلب

۲. لوله در نیم لوله

- لوله های دسته شده

سازه لوله توخالی در ساخت برج

- لوله قابی

- لوله خرپایی :
- لوله خرپایی مرکب از ستون و عناصر قطری :
- لوله خرپایی مشبک:

لوله قابی

کاربرد نخستین سیستم لوله ای قابی بود که برای اولین بار در ساختمان آپارتمانی ۴۳ طبقه دویت چست نات در شیکاگو (1961) به کار رفت. در این سطستم لوله ای دیوار های خارجی سا ختمان از شبکه ای از تیرهای نزدیک به هم تشکیل می شود که با اتصالات صلب به یکدیگر متصل می باشند(به صورت قاب ویراندیل (و این دیوارهای خارجی به توسط عمل لوله طره شده بدون استفاده از مهار بندی داخلی بارهای جانبی را تحمل می کنند. فرض می شود که ستون های داخلی فقط بارهای وزن را تحمل می نمایند و در سختی لوله خارجی سهمی ندارند. کف های سخت طبقات همچون دیافراگم نیروهای جانبی را به دیوارهای پیرامونی توزیع می کنند .

مثال های دیگری از ساختمان هایی که در آنها از لوله قابی تو خالی استفاده شده عبارتنداز :ساختمان ۸۳ طبقه استاندارد اویل در شیکاگو و ساختمان ۱۱۰ طبقه مرکز تجارت دنیا در نیویورک با وجود اینکه این ساختمان ها دارای هسته داخلی می باشند مانند لوله های تو خالی عمل می کنند زیرا هسته ها در آنها برای تحمل بارهای جانبی طرح نگردیده اند .

لوله ویراندیلی بطور منطقی از سازه قاب صلب معمولی نتیجه می شود و در حقیقت تکامل یافته آن می باشد. این سیستم دارای سختی جانبی و مقاومت پیچشی بالا می باشد و در عین حال از لحاظ تقسیم بندی فضای داخل آن انعطاف پذیر است.ستون ها و تیرها در شبکه به قدری نزدیک یکدیگر و با فاصله کم قرار داده می شوند که می توان از آنها به عنوان چهار چوب یا قاب پنجره ها استفاده نمود .

در طرح سیستم های لوله ای قابی ایده ال آن است که دیوارهای خارجی به صورت واحد و مشترک عمل کنند و در مقابل بارهای جانبی کاملا مانند یک تیر طره ای خم شوند .در چنین حالتی تمام ستون هایی که لوله را می سازند، مشابه تارهای یک تیر، تحت کشش یا فشار محوری مستقیم خواهند بود .

اما رفتار واقعی لوله در جایی ما بین رفتار تیر طره ای خالص قاب خالص قرار دارد. اضلاعی از لوله که موازی امتداد نیروهای جانبی می باشند، با توجه به انعطاف پذیری تیرها ، تمایل دارند که مانند قاب های صلب

چند دهانه و مستقل عمل کنند. این انعطاف پذیری باعث می شود که در قاب تغییر شکل های ناشی از برش ایجاد شود که به نام لنگی برش Shear Lagخوانده می شود. بنابراین در ستون ها و تیرها خمش بوجود می آید .

اثر تغییر شکل برشی در روی عمل لوله منجر به توزیع غیر خطی فشار در امتداد پوش ستون ها می گردد، ستون هایی که در گوشه های ساختمان واقع شده اند مجبور می باشند سهم بیشتری از بار را نسبت به ستون های ما بین آنها تحمل کنند. تغییر شکل کل ساختمان دیگر شباهت به تغییر شکل تیر طره ای نخواهد داشت زیرا تغییر شکل حالت برش اهمیت بیشتری پیدا می کند .

مسئله برش شدیداً در روی کار آیی سیتم های لوله ای تأثیر می گذارد و تمام پیشرفت های بعدی در طرح لوله ای سعی بر بر طرف نمودن این اشکال دارد. چنین به نظر می رسد که روش لوله قابی برای ساختمان های فولادی تا ۸۰ طبقه و برای ساختمان های بتنی تا ۶۰ طبقه اقتصادی باشد .

لوله خرپایی :

ضعف لوله قابی در انعطاف پذیری تیرهای آن قرار دارد .با اضافه نمودن عناصر مورب (قطری) به مقدار زیادی بر صلبیت لوله افزوده می گردد. در این صورت قسمت عمده برش به وسطله عناصر قطری جذب می شود نه به وسیله تیرهایی که در بالا و پایین آنها پنجره قرار دارد. اعضاء قطری مستقیماً بارهای جانبی را اساساً به صورت نیرو های محوری تحمل می کنند. این کاهش تغییر شکل برشی (ناشی از لنگی برش رفتار خالص طره ای را تامین می کند.)

لوله خرپایی مرکب از ستون و عناصر قطری :

در این سیستم از عناصر قطری در داخل شبکه مستطیلی تیرها و ستون ها استفاده می شود. عناصر قطری و تیرها با یکدیگر در مقابل بارهای جانبی صلبیت دیوار مانندی بوجود می آورند. این اعضاء قطری نه فقط قسمت اعظم بارهای جانبی را حمل می کنند بلکه همچون ستون های مایل عمل می نمایند و بار های وزن را نیز تحمل می کنند .

معمولاً کشش ایجاد شده در اثر بار های جانبی بر فشار تولید شده در اثر بارهای ورن غالب نمی آید. وظیفه دوگانه اعضاء قطری این سیستم را برای ساختمان های خیلی بلند (تا حدود ۱۰۰ طبقه برای ساختمان های فولادی) نسبتاً پر بارده می سازد .استفاده از عناصر قطری موجب می شود که بتوان فاصله ستون ها را خیلی بیشتر از فاصله ستون ها در لوله قابی اختیار کرد .

یک ویژگی اصلی این سیستم قابلیت آن در توزیع یکنواخت بارهای متمرکز در سراسر سازه می باشد .

تیرها بارهای وزن بین ستون ها را حمل می نمایند و مانند مهارهایی از کشیده شدن کف ها جلوگیری می کنند. بدین طریق آنها بر کار آیی عناصر قطری به عنوان سیستم اصلی توزیع بار می افزایند .

روش جالبی برای ایجاد عناصر قطری در دیوارهای خارجی بتنی در پروژه تحصیلی یکی از دانشجویان انستیتوی تکنولوژی ایلی نوی پیشنهاد شده است. در آن عناصر قطری با پر نمودن سوراخ های پنجره در یک طرح مورب بوجود می آید .

لوله خرپایی مشبک:

در این سیستم ، لوله از عناصر مورب نزدیک بهم بدون هیچ ستون قائمی ساخته می شود. اعضاء مورب مانند ستون های مایل عمل می کنند، تمام بارهای وزن را حمل می نمایند و سازه را در مقابل بارهای جانبی سخت تر می سازند. عناصر مورب را ممکن است به وسیله تیرهای افقی به یکدیگر متصل کرد .

عناصر مورب در مقابل بار های جانبی فوق العاده پر بازده می باشند ولی در انتقال بارهای وزن به زمین نسبت به ستون های قائم بازده کمتری دارند. بعلاوه تعداد زیاد اتصالاتی که بین این عناصر مورب لازم می باشد و مشکلات مربوط به جزئیات پنجره ها سیستم خرپای مشبک را به طور کلی چندان عملی و قابل استفاده نمی سازد.

برج با سازه لوله با مهار بندی داخلی

- لوله با دیوارهای برشی موازی :
- لوله در لوله :
- لوله اصلاح شده :
- لوله های دسته شده:

لوله خارجی را ممکن است یا با افزودن عناصر قطری در صفحه های خارجی تقویت نمود و یا آن را از داخل با اضافه نمود دیوار های برشی یا هسته های داخلی تقویت کرد. در قسمت های زیر چند روش برای مهار بندی داخلی بررسی می گردند .

لوله با دیوارهای برشی موازی :

دیوار لوله ای خارجی را می توان با ترکیب نمودن دیوارهای برشی داخلی در نقشه افقی سازه تقویت کرد. دیوار های لوله خارجی را می توان مانند بال های یک تیر تشکیل شده از اعضاء متصل به هم از این تجسم نمود که در آن دیوارهای برشی جان تیر را تشکیل می دهند. تنشها در دیوارهای لوله خارجی اساساً محوری می باشند زیرا لنگی برش در این سیستم حداقل می باشد.

لوله در لوله :

با به کار بردن هسته نه فقط برای بارهای وزن بلکه همچنین برای تحمل بار های جانبی سختی سیستم لوله تو خالی به مقدار خیلی زیادی افزایش می یابد. سازه کف لوله های خارجی و داخلی را به یکدیگر متصل می کند و همگی در مقابل نیرو های جانبی به صورت واحد و مشترک عمل می نمایند .

واکنش یک سیستم لوله در لوله در مقابل بار های جانبی مشابه واکنش ساده مرکب از قاب صلب و دیوار برشی است. اما لوله قابی خارجی خیلی سخت تر از قاب صلب می باشد .

لوله خارجی بیشتر بار جانبی را در قسمت بالا ساختمان مقاومت می کند، در صورتی که هسته بیشتر بار را در قسمت پائین ساختمان تحمل می نماید .

روش لوله در لوله در ساختمان ۳۸ طبقه برانسویک در شیکاگو و ساختمان ۵۲ طبقه شماره ۱ میدان شل در هوستون به کار رفته است .

با به کار بردن طک سیستم سه لوله ای تو در تو ، طراحان یک ساختمان ۶۰ طبقه اداری در توکیو سیستم لوله در لوله را طک قدم به جلو بردند. در این سیستم لوله خارجی به تنهایی بارهای باد را تحمل می نماید، ولی هر سه لوله که بوسیله سیستم های کف(دیافراگم ها) به یکدیگر متصل شده اند در تحمل بارهای زلزله که عامل مهمی در ژاپن می باشد شرکت کرده و روی یکدیگر اثر متقابل دارند .

لوله اصلاح شده :

سیستم لوله ای در مورد ساختمان های با نقشه افقی دایره و تقریبا مربع بیشترین بازده را دارد. ساختمان هایی که از این شکل ها منحرف می شوند، در موقع استفاده از سیستم های لوله ای ملاحظات سازه ای ویژه ای را لازم دارند. دو مثال زیر چنین شرایطی را تشریح می کند .

- لوله قابی توأم با قاب های صلب :

شکل شش ضلعی ساختمان ۴۰ طبقه اداری در شارلوت واقع در ایالت کارولینای شمالی طراحان را وادار کرد تا روش لوله ای را اصلاح کنند، گوشه های تیز اطن ساختمان شش ضلعی لنگی برش زیادی را نشان داد که استفاده موثر از سیستم لوله ای را غیر ممکن می ساخت .

اضافه نمودن قاب های صلب در جهت عرض ساختمان موجب گردید که دطوارهای خارجی به یکدیگر متصل شوند، بدین ترتیب دیوارهای انتهایی در دو انتهای مثلثی شکل ساختمان به وسیله قاب های صلب تقویت گردیدند. با متصل کردن و بستن دیوار های پیرامونی به یکدیگر سطستم لوله ای موثری بدست آمد .

- لوله در نیم لوله :

نقشه افقی نا منظم ساختمان ۳۲ طبقه بانک ملی و ستون پنسیلوانیا در پیتسبورگ موجب راه حل ویژه دیگری در طرح لوله ای گردید، در اغلب ساختمان های لوله ای عمل لوله ای به وسیله دیوار های خارجی ایجاد می گردد اما در این ساختمان، دو هشت ضلعی متقاطع یک لوله سازه ای در قسمت مرکزی ساختمان تشکیل می دهند .

دو قسمت انتهایی ساختمان به وسیله سیستم های قاب – دیواری ناودانی شکل تقویت می شوند. نیروهای جانبی (در اینجا باد) مشترکا به توسط لوله داخلی و دیوارهای انتهایی ناودانی شکل بسیار بزرگ مقاومت می گردند .

لوله های دسته شده :

آخرین پیشرفت در طرح روش لوله های دسته شده می باشد. این روش برای ساختمان سیرز در شیکاگو به کار برده شده که در حال حاضر یکی از بلندترین ساختمان دنیاست .

لوله قابی خارجی در این روش به وسیله دیافراگم های عرضی داخلی در هر دو جهت تقویت می گردد. بدین ترتیب مجموعه ای از لوله های حجره ای تشکیل می شود. هر یک از این لوله های مستقلاً قوی هستند،

بنابراین ممکن است آنها را به هر شکلی دسته کرد و در هر ترازی قطع نمود.برتری دیگر سیستم لوله های دسته شده در محصور کردن سطوح بسیار وسیع طبقات قرار دارد .

دیافراگم های داخلی در موقع مقاومت نیروهای برشی مانند جان های یک تیره طره ای عظیم عمل می کنند و در نتیجه لنگی برش را به حداقل می رسانند. به علاوه این دیافراگم ها در تحمل خمش نیز سهیم می باشند .

دیافراگم هایی که موازی بارهای جانبی هستند(یعنی جان های تیر) برش را جذب می کنند و در نتیجه در نقاط تلاقی با دیوارهای عمود بر آنها (یعنی بال ها) نقاط شش حداکثر ایجاد می شود که نشان دهنده عمل جداگانه هر یک از لوله ها می باشد، به اختلاف توزیع تنش محوری با حالتی که هیچ تقویت کننده داخلی وجود ندارد یعنی فقط یک لوله تنها باشند توجه کنید. با وجود اینکه تا حدودی لنگی برش رخ می دهد، دیافراگم های قائم سعی بر توزیع یکنواخت تنش های محوری دارند.

- ساختمان های مرکب یا پیوندی :
- ساختمان های مرکب لوله ای :
- پوشش دیواری صفحه ای :

ساختمان های مرکب یا پیوندی

در سازه پیوندی که از پیشرفت های اخیر به منظور ازدیاد سختی جانبی آسمان خراش های قابی می باشد بتن و فولاد مشترکاً به عنوان واحد سازه ای عمل می کنند. این ایده چندین سال است که در مورد اعضاء سازه ای مانند کف ها وستون ها به کار رفته است . اما طرح تمام ساختمان بصورت مرکب روش کاملا جدیدی به شمار می رود. در زیر دو راه حل متمایز به عنوان مثال هایی از کار برد این روش ارائه می شود.

ساختمان های مرکب لوله ای

در سطستمی که به وسطله شرکت اسکیدمور، اوبنگز و مریل طرح و تکمیل شده است قاب فولادی خارجی در مقابل تغییر شکل جانبی به وسیله دیوار پیرامونی مشبک (سوراخ دار بتنی ریخته شده در محل تقویت می گردد. ساختمانی که بدین ترتیب بر پا می شود شباهت به لوله صلبی دارد که از زمین طره شده باشد. در این روش اجرای سریع و مقاومت زیاد (و در نتیجه انعطاف پذیری فضای داخل) ساختمان فولادی با

محفوظ از آتش بودن، عایق بندی، صلب جانبی ، و قالب پذیری دیوار خارجی بتنی ترکیب می شود. این سیستم در ساختمان ۳۶ طبقه گیت وی- ۳ در شیکاگو، ساختمان ۵۰ طبقه برج شماره ۱ میدان شل در نیواورلئان و ساختمان ۲۴ طبقه سی-دی-سی در هستون که در آن قطعات پیش ساخته نما بعنوان قالب بندی بتن ریخته شده در محل به کار رفتند، مورد استفاده قرار گرفته است .

روش اجرای این سیستم بدین ترتیب است که ابتدا قاب فولادی به اندازه 8 تا ۱۰ طبقه بالا آورده می شود. ستون های خارجی باید بارهای اجرایی را تحمل کنند. برای تأمین پایداری جانبی، قاب خارجی به طور موقت بوسیله کابل مهاربندی می شود. سپس فولادهای کف در محل قرار می گیرد و بتن کف ریخته می شود تا پایداری اسکلت فولادی تأمین گردد و بتوان کار داخل ساختمان را شروع کرد. بعد از اینکه شبکه های فولادی بتن مسلح و قالب های بتن در اطراف ستون ها و برای شاه تیرها در محل قرار داده شد، بتن ریخته می شود تا یک دیوار محیطی پیوسته مشبک (سوراخ دار) تشکیل گردد. این سلسله عملیات در هر ۸ تا ۱۰ طبقه ساختمان تکرار می شود.

اما اختلاف حرکت بین ستون های خارجی بتن – فولادی و ستون های داخلی فولادی مشکلی ایجاد می کند، برای اینکه کوتاه شدن نامساوی ستون ها در اثر رفتار ارتجاعی، انقباض و خزش برطرف شود .در جا گذاری شاه تیر ها باید تعدیلی صورت گیرد .

چون جدار لوله ای در این سیستم همه بارهای جانبی را مقاومت می کند، ستون ها شاه تیرهای تشکیل دهنده قاب های هسته تأسیسات ضروری» آسانسور، آب، برق، گاز و غیره) می توانند سبک تر باشند زیرا آنها فقط بارهای وزن را تحمل می کنند. همچنین کف قابل استفاده خالص در طبقات بالا در آنها سطح هسته را می توان کاهش داد افزایش می یابد .

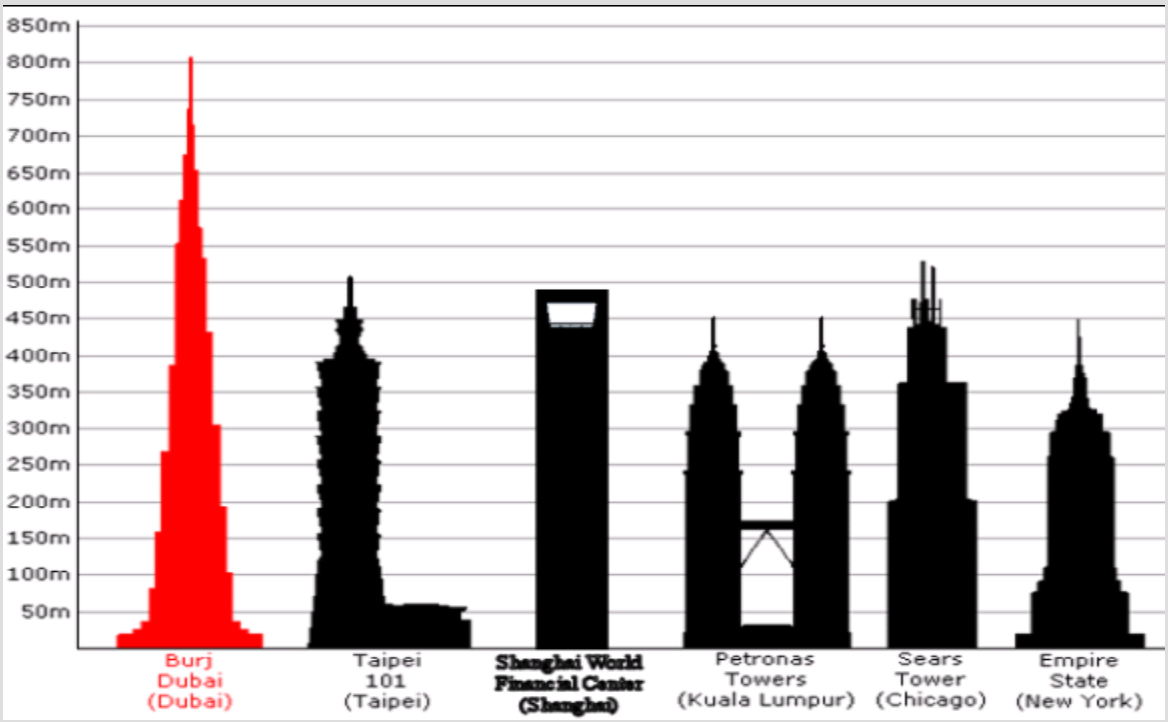
شرکت رید و تاریکس در سانفرانسیسکو سیستم ساختمانی مرکب لوله ای دیگری ابداع کرده است. آنها از شاه تیرهای فولادی و ستون های فولادی لوله ای پر شده با بتن به عنوان سازه نما استفاده می کنند. در این مورد نیز پوش ساختمان سختی کافی برای حمل تمام بارهای جانبی را تأمین می نماید. در این سیستم از قطعات پیش ساخته ای استفاده می شود که هر یک شامل یک ستون لوله ای به ارتفاع دو طبقه و دو شاه تیر فولادی طره ای می باشد. این قطعات پیش ساخته در وسط دهانه شاه تیرها و در وسط ارتفاع ستون ها به یکدیگر پیچ کرده می شود. از لحاظ بار گذاری جانبی این نقاط اتصال تحت کمترین تنش می باشد . پیوستگی طبیعی شاه تیرها در محل ستون ها که تنش ها بیشترین مقدار را دارند از بین نمی رود،

شاه تیرها در ستون ها فرو می روند و فقط جان آنها به لوله متصل می شود. بدین ترتیب از تعداد اتصالات ساختمان که تحت تنش های زیاد می باشند به مقدار زیادی کاسته می شود.

پوشش دیواری صفحه ای

روی دیوارهای خارجی سازه های قابی فولادی معمولاً قطعات پیش ساخته دیواری متصل می گردد،این قطعات نا سازه ای می باشند و منحصراً برای حفاظت در مقابل محیط خارج ساختمان به کار می روند.

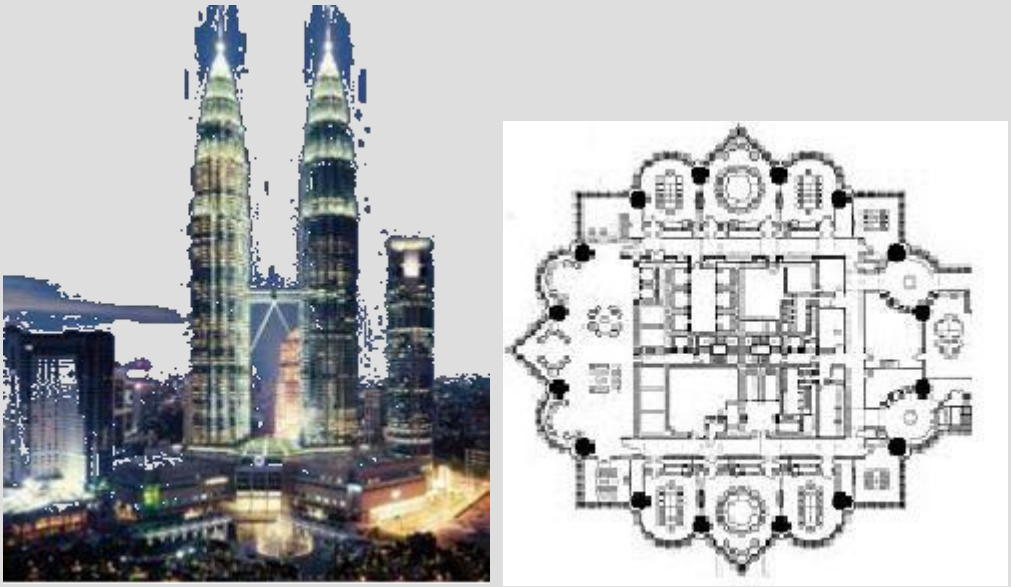
میس فان در روهه یکی از اولین آرشیتکت هایی بود که از روکش (پوشش فولادی در سازه نمای ساختمان های بلند استفاده کرد)، در یک ساختمان آپارتمانی، او از صفحات فولادی رنگ شده به ضخامت ۵ –۱۶ اینچ برای پوشاندن بتن محافظ قاب فولادی در مقابل آتش سوزی اسفاده نمود. موقعی که پوشش فولادی به توسط بر آمدگی های میخ شکلی به بتن مسلح متصل می گردد، نه فقط در مقابل هوا ، قاب پنجره و نمایش معماری مطلوب بوجود می آورد بلکه سختی سازه ای نیز ایجاد می کند، در اغلب سازه های قاب صلب، قسمت اعظم مقاومت در مقابل تغییر مکان جانبی به وسیله شاه تیرها ایجاد می شود. اما عمل مرکب پوسته فولادی و قاب متشکل از فولاد و بتن مسلح مقاومت جانبی را به قدری زیاد می کند که شاه تیرهای داخلی سختی کمتری لازم دارند. به علاوه بدون افزایش وزن سازه، نوسان (تغییر مکان جانبی) ساختمان ۲۰ تا ۵۰ در صد کاهش می یابد. چون پوشش فولادی نسوز نمی باشد. آیین نامه ها استفاده از آن را برای تحمل بارهای وزن مجاز نمی دانند.



برجهای دوقلوی پتروناس مالزی

کشور مالزی در جنوب شرقی آسیا و در نیم کره جنوبی زمین قرار دارد. این کشور توریستی در پی ایجاد جاذبه های جدید توریستی می باشد. برج های دوقلوی پتروناس مالزی در کووالامپور با هزینه ای بالغ بر ۱.۶ میلیار دلار و با ارتفاع ۱۴۸۳ فوت (۴۵۲متر) در ۸۸ طبقه،توسط گورنتون تاماستی و رانهیل برسکوتو که طراحی و ساخته شده است در راستای بحث صنعت گردشگری این کشور ایجاد گردیده است. مصالح ساختمانی آن فولاد، بتن و کامپوزیت می باشد.

نمای ساختمان آلومونیوم و فولاد زنگ نزن است.تا سال ۱۹۹۸ برج های بلند دنیا همیشه در آمریکا ساخته می شد ولی در آن سال این رکورد توسط برجهای پتروناس شکسته شد و راه را برای برجهای آسیایی باز کرد،این برجها حدود ۳۳ فوت از برج سیرز بلندتر است،البته بالاترین فضای مسکونی در برج سیرز هنوز ۲۰۰ فوت بالاتر از بالاترین طبقه برج های پتروناس می باشد.برجهای پتروناس ترکیبی از شکوفایی اقتصادی و معماری مذهبی می باشد.که شامل زیربنایی به مساحت ۸۰۰۰ میلیون فوت مربع،جهت مغازه ها و تسهیلات سرگرمی و پارکینگی با ۴۵۰۰ اتوموبیل ظرفیت و موزه نفت و تالار سمفونی و مسجد و مرکز کنفرانسهای چندرسانه ای می باشد.هر طبقه یک ستاره هشت ضلعی را تشکیل می دهد ،که الهام گرفته از طرح های اسلامی سنتی مالزی است که نماد اتحاد هماهنگی عقلانیت و پایداری می باشد.برج شماره ۱ در اختیار شرکت نفتی پتروناس مالزی و برج شماره ۲ در اختیار شرکت های دیگر است.



شکل ۱ تصویر برج ا ز دور و برش طبقات آن

مجموعا ۳۶۹۱۰ تن فولاد در ساخت برجها بکار رفته است. آسانسورهای برج بصورت دوتایی در هر مجموعه ۲۹ عدد است،بطوری که می توان در ۹۰ ثانیه به نوک هر برج رسید.روی هم هردو برج ۳۲۰۰۰ پنجره دارند که شستن هر برج حدود یک ماه طول میکشد.پتروناس از سیستم کامپوزیت ستونهای پیرامونی و هسته داخلی استفاده می کند.قابهای سازه ای برای ۴۵۲ متر (۱۴۸۳ فوت) ارتفاع برج پتروناس ازستونهای غول پیکری که از آنها به نام مگاستون نام برده شده با بتنی به مقاومت ۸۰ مگاپاسکال به همراه تیرهایی که مانند حلقه ستونها را در بر می گیرند به همراه هسته بتنی با مقاومت بالا تشکیل شده است.

هسته و قاب ها به همراه هم سختی جانبی کافی برای یک ساختمان بلند این چنینی را فراهم می کند.این سیستم چون قبلا در هیچ ساختمان بلند دیگری استفاده نشده فضای بدون ستون داخلی را ایجاد می کند.دلیل استفاده از بتن در ساخت این ساختمان ها را می توان اینگونه بیان کرد که،در مالزی اکثرا پیمانکاران محلی در کار کردن با بتن بسیار واردتر از کارکردن با فولاد هستند،همچنین بتن پایداری بهتری در برابر تعدیل نوسانات ناشی از باد دارد و کمترین لرزشها را ایجاد می کند.ابعاد هسته داخلی ۷۵ در ۷۵ فوت است.برجهای دوقلوی پتروناس در طبقات ۴۱و ۴۲ توسط یک پل هوایی (SKYBRIDGE) ۵۸.۴ متری به هم متصل شده اند.شاید یکی از بزرگترین مشکلات در ساخت برجها نیز همین پل هوایی بود که باید روی زمین ساخته می شد و به محل خود،بالا کشیده شده و نصب می شد و پس از انتقال باید در محل خود نصب می شد. این پل ارتباط دو ساختمان را با هم فراهم می کند،البته مشکل دیگر نوسانات ناشی از ساختمان ها است که باید در طراحی پل در نظر گرفته می شد. فونداسیون برجها با ضخامت ۴.۵ متر شامل ۱۳۲۰۰ مترمکعب بتن مسلح با مقاومت ۶۰ مگاپاسکال به همراه ۱۰۴ شمع با ارتفاع های متغییر ۶۰ تا ۱۱۵ متر می باشد.

شکل ۲ پل معلق بین دو برج

این برج نماد شهر کوالالامپور، دفتر مرکزی شرکت ملی نفت و گاز پتروناس و تا همین اواخر بلندترین برج جهان می باشد. این دو برج زرد رنگ چون دو راکت متصل به هم بر فراز آسمان کوالالامپور قد کشیده‌اند و تمثیلی تمام عیار از رشد شهابی کوالالامپور، معبری کوچک به کلان‌شهری فضایی، را رقم می‌زنند.

شکل ۳ نمایی از پشت برجها

معمار آرژانتینی، سزار پلی، این برجها را با الهام و بهره‌گیری از تلفیق نمادهای جشن‌های سنتی و هنر اسلامی خلق کرده است. بنای ستاره‌ای هشت وجهی از کاشی‌های دوره اسلامی می‌ایند، پنج قسمت بنا از پنج رکن اسلام حکایت دارند و تاج برجها نیز مناره‌های مساجد را به یاد می‌آورند.

این برج‌های دوقلو با احتساب آنتن بالای آن‌ها، ۴۵۲ متر ارتفاع دارند. تعداد طبقات هر برج ۸۸ طبقه است و جمعا ۷۸ آسانسور در این دو ساختمان فعال هستند. این دو برج از زیر توسط مرکز خرید سوریا به هم متصل هستند، همچنین پلی طبقات ۴۱ و ۴۲ این دو برج را به هم متصل می‌کند. ارتفاع این پل از سطح زمین ۱۷۵ متر و طول آن ۵۶ متر است.

کار ساخت این برجها از سال ۱۹۹۵ شروع شد و در زمانی کوتاه در سال ۱۹۹۸ به اتمام رسید. دولت مالزی ساخت این برجها را به عنوان نماد پیشرفت اقتصادی این کشور در دستور کار خود قرار داد. امروزه برج‌های دوقلو پتروناس به یکی از نمادهای اصلی کوالالامپور و مالزی تبدیل شده اند.

معمار این بنا سزار پلی است. شایان ذکر است به دلیل نزدیکی این برجها به مرکز نمایشگاههای مالزی (KLCC) این برجها نیز به اشتباه به برجهای KLCC معرفند به شکلی که در سرتاسر جاده‌های مالزی، تابلویی که شما را به سمت این برجها هدایت می‌کند و عکسی از برجها را نیز داراست به این برجها با همان نام KLCCاشاره مینماید.

این برجها توسط ژاپنی ها و کره‌ای ها - هر کدام یکی از برجها - طی مسابقه‌ای برای تکمیل پروژه ساخته شده اند و سپس دو برج با پلی به هم متصل شده اند. این برجها جزو بلند ترین برجهای دوقلوی دنیا به شمار می‌روند.

در طبقه پایین برجها مجتمع خرید بزرگ سوریا قرار دارد. البته به توریستها خرید از این مجتمع به دلیل گرانی برخی اجناس در آن توصیه نمی‌شود. در طبقه پایین KLCC آکواریم زیبایی قرار دارد که در آن شما از دالان شیشه‌ای زیر آب کوسه‌ها و سفره ماهی های غول پیکر را از نزدیک خواهید دید. نمایندگی شرکت سونی و اغلب مارکهای لباس شاید از مراکز دیدنی این برج باشند. در طبقه بالای فروشگاههای برج سینما و فروشگاه کتاب بزرگی قرار دارد. موزه آثار هنری این برجها نیز شایان توجه است.

شکل ۴ تصویر برج در آب ساحل

هسته و قاب ها به همراه هم سختی جانبی کافی برای یک ساختمان بلند این چنینی را فراهم می کند.این سیستم چون قبلا در هیچ ساختمان بلند دیگری استفاده نشده فضای بدون ستون داخلی را ایجاد می کند.دلیل استفاده از بتن در ساخت این ساختمان ها را می توان اینگونه بیان کرد که،در مالزی اکثرا پیمانکاران محلی در کار کردن با بتن بسیار واردتر از کارکردن با فولاد هستند،همچنین بتن پایداری بهتری در برابر تعدیل نوسانات ناشی از باد دارد و کمترین لرزشها را ایجاد می کند.ابعاد هسته داخلی ۷۵ در ۷۵ فوت است.

هر یک از برجهای دوقلو بوسیله یک حلقه از ۱۶ ستون با بتن با مقاومت بالا که به هسته داخلی باپلان ستاره شکل بوسیله تیرهای قوسی شکل ساخته شده از بتن متصل شده اند و قطر هر ستون ۲.۴ متر در

پای ساخته بوده که در طول طبقات در ارتفاع تغییر می کند و هر چه به سمت مرکز برج پیش می رویم نیمرخ ستونها افزایش می یابد ودر مرکز برج یک حلقه بتنی به ابعاد ۲۳ در ۲۳ متر مربع داریم و تیرهای کمربند خرپایی ستونهای هسته مرکزی تا طبقه ۳۸ و ۴۰ را در برگرفته اند تا سختی بیشتر تأمین نماید و هسته و سیستم قابهای لوله ای فولادی در محل احداث برجها از بتن پرمقاومت ساخته شده اند که ۱۲ برابرکوچکتر از ستونهای محیطی و تیرهای حلقه اطراف می باشد و هسته دو دیوار ۲ دیوار مجازی شمالی و جنوبی ، غربی و شرقی ایجاد می کند .سازه فولادی از تیرهای دهانه بلند که با دالهای (عرشه های) فولادی پر شده با بتن حمایت شده وچشمه هر دهانه و کنسولها با ستونهای محیطی از قابهای فولادی بسته شده اند.

طراحی سازه ای پل ارتباطی بین دو برج کار بسیار مشکل و با سازگاری بین جابجایی متغیر هر برج صورت گرفت که برای حل معضل یک راه حل ساده و روشن استفاده از ستونکهای Vشکل معکوس برای حمایت دهانه پل با دونقطه اتصال بود و برای پذیرش جابجایی از طبقه ۲۹ با زاویه ۶۳ درجه نسبت به افق تا طبقه ۴۱ ازیک تیر مایل استفاده گردید واتصال به صورت مفصلی از یاتاقانهای کروی شکل با پینهای دورانی ضورت گرفت واز یک وسیله اندازه گیری و هماهنگی جابجایی استفاده گردید به گونه ای که دور شدن یا نزدیک شدن حرکت برجها با تغییر زاویه ستونک تنظیم می گردد و مجرای غبور پل ارتباطی نمای شیشه ای دارد و این ستونک به دلیل اتصال مفصلی قابلیت تحمل حرکات پیچشی القایی از دو برج ۲ قلو رانیز دارد مه با جداگرهای لرزه ای نیز به هم متصل شده اند و قابلیت تغییر شکل و باقی ماندن در محل خود را نیز دارند.

بتن پرمقاومت مورد مصرف در هسته داخلی ،ستونهای محیطی ،حلقه تیرهای پیوندی و کمربند خرپایی منجر به اقتصادی شدن طرح از لحاظ ابعاد و فضای اشغالی گردیده که بتن مذکور سبک هم بوده و نوعی بتن توانمند محسوب شده و در بخش هسته مرکزی ضد حریق بوده ودر جداره خارجی برج مقاوم و مستهلک کننده انرژی باد بوده و باسختی مناسب پاسخ سازه را دربرابر نیروی جانبی باد کاهش می دهد و استفاده از یترها و تابلیه فولادی سرعت اجرا و انعطاف پذیری سازه را مطابق طرح افزایش می دهد و امکان ایجاد بازشو وتغییرات داخلی را برای ساکنان آن در آینده فراهم می سازد و احداث سیستم قاب لوله فولادی با تکنولوژی جدید با تکتیک پیش ساختگی ورش برپایی نوین بدون استفاده از جرثقیل سرعت اجرا رادو چندان نموده و تابلیه های فولادی به گونه ای هستند که نیاز به رنگ پاشی ضد آتش یا لایه بتن سبک برای کاهش خسارت حریق ندارند. برجها و پایه آنها از فولاد زنگ نزن اکستروژنی از یک لایه به ضخامت ۲۰ میلیمتر شیشه سبز کم رنگ پوشانده شده است. و پرده های خورشیدی و پانلهای دیوار یک ربان نقره ای شکل اطراف ساختمان ایجاد کرده اند و هر دو نوع پوشش بازتاب کننده خورشیدی از یک لایه آلومینیم و رنگ کربنی خای PVF2 تهیه شده اند

در این فناوری از کنترل خودکارو ارتباطاتی پیشرفته برای کاهش مصرف انرژی واستفاده مناسب بهینه با قابلیت شبکه برای هر طبقه برج در سیستم روشنایی و تهویه مطبوع استفاده شده است و هدف اصلی کنترل تردد قائم و حفظ انرژی با تهویه مناسب هوا وسیستم هشدار آتش با برنامه های ایمنی بوده است.

برای این منظور سیستم کنترل ساختمان Building control system و سیستم امنیتی ساختمان Building Security System از یک شبکه محلی Local area Networkاستفاده نموده اند که بوسیله یک دفتر ارتباطات از راه دور مرکزی Central Telecommunication Officeکنترل و هدایت می گردند.

سیستم هشدار حریق Fire Alarm System داری سنسورها و تشخیص دهنده های حساس به دود آتش و سیستم پایش جریان آب پاش وامکان تلفن و ارتباط با آتشنشانی و پرسنل آنرادارد ودارای یک اتاق فرمان آتش مرکزی Central Fire Command Center مجهز به مانیتور و سایر تجهیزات آتش نشانی (اطفای حریق و هشدار آن) می باشد و پانلهای خورشیدی می توانند ۱۵٪ انرژی جذب نمایند وآسانسورهای برق آسای آن بیست و شش مسافر در بازه زمانی بین ۳.۵ تا ۷ ثانیه جابجا می کنند

منبع تأمین مصالح ساختمانی، نیروی کار ، متخصصان و فناوری ۶۰٪ بومی مالزی بوده و شرکتهای مشاور مختلفی از کانادا، آمریکا،ژاپن، کره جنوبی ، استرالیا و سنگاپور دراین طرح مشارکت داشتند و بتن پرمقاومت ، چوب،سنگ گرانیت ،شیشه مصرفی از مالزی تأمین شده و فولادزنگ نزن در کارخانه آمریکایی در کشور مالزی تولید گردیده است.

به گفته معمار آرژانتینی، سزار پلیدر این فناوری نوین احداث برجهای دو قلو

۱- به تکنولوژی دست بالا high Tec و سیستمهای هوشمند مانندسیستمهای حمل و نقل ،کنترلهای خودکار و به حداقل رساندم مصرف انرژی دست پیدا کرده ایم

۲- به مواد نوین چون فولادزنگ نزن حساس نسبت به شرایط آب و هوایی

۳- طراحی پلان برگرفته از الگوها هندسی ساده فرهنگ اسلامی مالزی را تشریح می کند

۴- پل ارتباطی بین دو برج سمبل راه عبوری بین شهر کوالالامپور است

۵- منظور از سیستم لوله ای نرم ترکیب ستونهای قائم قوی با بتن پرمقاومت و تیرهای افقی انعطاف پذیر سازه ای می باشد(فلسفه ستون قوی و تیر ضعیف)

۶- و عناصر و جزئیات معماری این دوبرج با مواد نوین برگرفته از اسالت معماری داخلی مالزی است.

۷- پنجره هاو شیشه های رفلکس باقابلیت جذب انؤژی خورشیدی

ارزیابی فنی شامل بررسی عملکردسازه ای، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی شرایط عملکردی ، انخاب مصالح و سطوح مختلف فناوری و تکنولوژی که خود شامل بررسی عمرسازه در ستیت مختلف و مشکلات تعمیرات و جنله های طراحی می باشد.

مردم مالزی تصور می کنند هزینه اجرای جنین پروژه ای بر دوش مردم مالزی بلاخص شهر کوالالاکپور است در صورتی که بنیانهای مالی سرمایه گذار و حامی مالی مختلفی در آن نقش داشتند و خیابانها و ساختمانهای اطراف دو برج را نیز تحت تأثیز گذاشتند و این دو برج در اصل نماد فرهنگ و هنر در مالزی است

مراجع:

۱-گانگ شولر، ولف، عادلی، حجت الله، سازه های ساختمان بلند، انشارارت دهخدا، ۱۳۷۶

۲- حسن حاجی کاظمی، سازه های ساختمان بلند
۳- ایمان الیاسیان، اجرا و مقاوم سازی سازه های خاص، انجمن ملی مقاوم سازی ایران ۱۳۸۹
4-Petronas Towers, Kuala Lumpur, Malaysia Report for construction