

MATERIALES Y SISTEMAS DE CONSTRUCCION EN JAPON

Setsuo Nomura (1)

RESUMEN

Se presenta una idea general sobre los materiales de construcción y los sistemas de construcción más ampliamente utilizados en Japón, como son la estructura de madera, la estructura de acero, la estructura de concreto reforzado, la estructura de acero embebido en concreto reforzado y la estructura de bloques de concreto. También se introducen nuevas técnicas de un sistema de construcción y ensamblaje de miembros estructurales, en lo que respecta a edificios recientes de gran elevación contruidos con concreto reforzado, compuesto y una estructura mixta de miembros precolados.

PRODUCCION DE EDIFICIOS

Cantidad de Construcción de Edificios y Uso de los Edificios

La Tabla 1 muestra la cantidad anual de construcción de edificios de acuerdo con el uso de los mismos en Japón en 1987. El área total en pisos de los edificios usados para habitación, como es el caso de casas particulares y edificios de departamentos, representa cerca de la mitad del área total de pisos. La relación del uso área de pisos en edificios ha permanecido constante en los últimos diez años (de 1978 a 1987) a excepción hecha de los edificios de oficinas (de 4.4% a 7.1%) y escuelas (de 5.9% a 3.1%).

Cantidad de Construcción de Edificios y Sistema Estructural

La Tabla 2 muestra la cantidad de construcción de edificios de acuerdo con el sistema estructural en 1987 que incluye la cantidad de uso de área de piso, el área promedio de edificio y el costo promedio de la construcción. El orden en el uso del área de pisos es el siguiente: estructura de madera (36%), estructura de acero (32%), estructura de concreto reforzado (CR) (22%), estructura de acero embebido en concreto reforzado (ACR) (9.8%) y otras. Por otra parte, la Fig. 1 muestra el cambio en la relación experimentado en los últimos diez años y se dice que disminuye en estructura de madera y aumenta en las estructuras de acero, CR y ACR. En el futuro, estas últimas estructuras, especialmente la construcción compuesta que incluye varios miembros compuestos con sistema mixto serán las más populares.

MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Estructura de Madera

La estructura de madera hasta el momento es la más popular en las casas particulares y en las casas de departamentos de poca altura, no sólo porque comparativamente es una construcción barata sino debido a la familiaridad del material. La estructura de madera que se observa en Japón hoy en día es de los siguientes cuatro tipos. Uno de ellos es una estructura tradicional de madera como un templo, altar o cualquier tipo de casa particular tradicional. Se han hecho algunos esfuerzos para preservar las construcciones de madera japonesas tradicionales y para transmitir las técnicas tradicionales. La Fig. 2 muestra el bosquejo estructural de un templo de madera tradicional recientemente construido. Se usaron muchas técnicas estructurales para soportar la carga de la gravedad y para resistir la carga sísmica, como es un sistema de diafragma, paredes sísmicas, columna continua y reforzamientos no metálicos en cualquier unión y conexión (Figs. 2 y 3).

La segunda es un tipo de estructuras de madera convencionales con dos estilos distintos, según se muestra en la Fig. 4. Una de ellas es una casa estilo japonés compuesta de un marco estilo japonés y un techo con sistema reticulado con habitaciones estilo japonés. La otra es una casa estilo occidental compuesta por un marco estilo occidental y un techo de sistema reticulado con habitaciones estilo occidental y en la que con frecuencia también se incluyen habitaciones estilo japonés.

El tercer tipo es una estructura de madera para la prefabricación y la industrialización. Una de ellas es un sistema de construcción de marco de madera introducida por los estadounidenses y con frecuencia denominada en Japón como el sistema 2*4 (Fig. 5). La construcción de casas con este sistema está siendo ampliamente aceptada hoy en día. Las demás son distintos modelos de sistema de panel prefabricado autorizado oficialmente como un sistema de habitación industrial (Fig. 6).

El cuarto es un nuevo tipo de estructuras de madera. Uno de ellos es una estructura de vigas laminadas y pegadas para realizar construcciones comparativamente a gran escala, como es el caso de gimnasios y vestíbulos (Fig. 7). Las casas de construcción con troncos según se muestra en la Fig. 8 es una nueva tendencia en las villas y cabañas para la montaña o incluso para casas privadas, pero utiliza el mismo tipo de construcción que la tendencia "Azejura-Zukuri" un método de construcción de "Shosoin" construido hace cerca de 1,200 años.

Estructura de Acero

La estructura de acero se usa en muchos tipos de construcciones en Japón. Pero en el caso de casas de departamentos de gran elevación o estructuras de CR o ACR es mucho más usada que la estructura de acero debido a su rigidez a la fuerza lateral y a la vibración (Fig. 9). La Fig. 10 muestra una estructura de acero típica con apuntalamiento. Estos puntales están dispuestos en una dirección perpendicular al eje débil de la columna, para soportar a la mayor parte de la fuerza lateral en la dirección. En el caso de una estructura de marco puramente rígido, con frecuencia se usa una columna de tipo cajón para proporcionar el mismo módulo seccional.

La Fig. 11 muestra los distintos tipos de estructura de acero de poca elevación para casas prefabricadas. Por lo general se usan miembros de acero de bajo calibre para los marcos y en ocasiones también se adopta un sistema de cajas unitarias en la planta de ensamblaje.

En el punto de transporte de las partes estructurales, la estructura de acero y la estructura de madera son mejores para ser usadas en una planta de fabricación en

comparación con la estructura de concreto, con ellas se hace posible cubrir una gran parte del mercado y en consecuencia se puedan reducir los precios. La construcción de la estructura se clasifica en cuatro tipos.

1) Tipo panel

Las cargas vertical y lateral se soportan con paneles apuntalados (panel de unidad de acero enmarcado con un puntal integrado) o paneles revestidos (panel de unidad de marco de acero reforzados por una placa de membrana).

2) Tipo marco-panel

La carga vertical y con frecuencia una parte de la carga lateral están soportados por un marco de columna de vigas y toda o parte de la carga lateral está soportada por paneles apuntalados o paneles revestidos o puntales (Fig. 11-a).

3) Tipo marco rígido

En algunas ocasiones los puntales o los paneles apuntalados están dispuestos de tal manera para soportar parte de la carga lateral (Fig. 11-c).

4) Tipo de caja unitaria

La estructura es construye uniendo varios tipos de cajas unitarias (Fig. 11-b).

Estructura de Concreto Reforzado

La estructura de concreto reforzado (CR) se usa ampliamente en cualquier tipo de construcción al igual que la estructura de acero. Un marco rígido o un marco rígido con paredes sísmicos se usa para los edificios de cualquier altura. El de tipo pared (losa y pared con aberturas) por lo general se usa para edificios hasta de 5 pisos. En las construcciones de tipo medio o gran altura para departamentos (8-14 pisos) recientemente se desarrolló y se está utilizando rápidamente bajo el nombre de MGA (HFW por sus siglas en inglés) (Sistema de Muro de Gran Altura).

El sistema se caracteriza por columnas y vigas profundas cuyo espesor es el mismo que las columnas adyacentes en la dirección del tramo largo. En la dirección del tramo corto se usan muros bastante gruesos (20 cms.) sin vigas (Fig. 12). Las casas de departamentos de gran altura (8-14) hasta ahora se han construido con estructura SRC. En comparación con el ACR, el MGA es muy ventajoso, no sólo desde el punto de vista del trabajo de formación, sino por su mejor uso del espacio interior, puesto que las vigas y las columnas no aparecen en las habitaciones y también porque se reduce el costo de construcción de la estructura (cerca del 20% de ahorro).

Para las casas de poca altura y de departamentos, se han autorizado oficialmente varios tipos de sistemas de colado de concreto para casas-habitación como un sistema de habitación industrial (Fig. 13) (8).

1) Sistema de panel de pared nervada delgada (Fig. 13-a)

Este se desarrolló para sistemas de casas-habitación de bajo costo. El panel de la pared estándar (un piso de altura y un ancho de 90 cm. ó 180 cm.) consiste en una pared delgada (4 cms. de grueso), marco de nervadura (12 cms. de profundidad) y piezas transversales laterales. El sistema tiene dos tipos, uno con una viga de enlace en la parte superior del panel y el otro sin la viga de enlace. Se usan pernos largos de grado 4T para la conexión de los paneles y existen algunas variaciones de este sistema.

Este sistema de panel pertenece al de paneles de muro de tamaño medio y existen otros tipos del mismo estilo.

2) Sistema de panel de mayor tamaño (Fig. 13-b).

Uno de los sistemas de panel de mayor tamaño es el sistema con panel de concreto de peso ligero con aire clasificado para disminuir el peso de panel y obtener un buen aislamiento del calor. La resistencia a la compresión es de 10.5 Mpa y la densidad es de cerca de 1.3. La unión vertical es de cuña cizallada sin reforzamiento.

Los hoyos para revestimiento se instalan verticalmente a través de paneles en los muros para insertar el reforzamiento longitudinal para la flexión y después de

insertar el reforzamiento se procede a lechadear con mezcla. La unión de manguito empalmado se usa para reforzar la unión. Este sistema es uno de los que mejor se vende entre los sistemas de casas-habitación industrializadas.

En algunos otros sistemas de panel de mayor tamaño, se adoptan pernos para la conexión de los paneles.

3) Sistema de panel de menor tamaño con losa de unión (Fig. 13-c).

Este sistema está compuesto de paneles de concreto de peso ligero de menor tamaño (un piso de altura y ancho de 72 cm.) y viga de soporte del piso con miembros precolados. El sistema de concreto en sitio se adopta para la construcción de las losas, lo que es bueno para asegurar la rigidez en plano de la losa. El concreto en sitio se ejecuta del techo al piso en los pisos inferiores en una sola vez después de terminar de colocar todos los paneles de los muros. Se usan vigas de soporte temporal en lugar de postes de soporte no sólo con el propósito de realizar el trabajo de concreto antes mencionado sino por conveniencia del trabajo interior y en consecuencia reducir la duración del mismo.

Estructura ACR (Estructura de Acero Embebido en Concreto Reforzado).

La Estructura ACR es una estructura popular para edificios de mediana y gran altura. En Japón, de acuerdo con la combinación de S, CR y viga y columna de ACR, la estructura se denomina de acuerdo con la Tabla 3.

La Fig. 14 muestra la estructura mezclada en la que algunos pisos o partes de los mismos están compuestos por distintos sistemas estructurales. Así, la estructura ACR está cambiando para convertirse en una estructura más compleja adoptando un sistema de construcción de concreto precolado que se introduce en una sección posterior.

Estructura de Mampostería Reforzada

Esta estructura se usa principalmente para sistemas de casas-habitación de poca altura. Pero la cantidad de construcción es pequeña, según se muestra en la Tabla 2.

Recientemente, el bloque de relleno de concreto o la estructura de bloque de cerámica reforzada atraen cierta atención. En la Fig. 15-18 se muestran varias estructuras de mampostería reforzada.

TECNICAS RECIENTES DE CONSTRUCCION USADAS EN ESTRUCTURA DE CR, COMPUESTA Y MIXTA

La reciente escasez de trabajadores en la industria de la construcción y especialmente la falta de carpinteros es un serio problema en Japón, lo que origina que se esté utilizando una mayor cantidad de miembros precolados en el sistema de construcción de la estructura compuesta y mixta. Las compañías constructoras ahora están compitiendo entre sí para desarrollar sus propios métodos.

Con objeto de mostrar tantos ejemplos como sea posible y debido a las limitaciones de espacio, se omite la explicación de las siguientes figuras, de tal manera que si se desea mayor información o ejemplos, se sugiere que se consulten las referencias.

Variación de Miembros precolados, Uniones de barra, Losas de Piso compuestas Mitad precoladas y Uniones y Conexiones de Miembros

- Fig 19: Variación de miembros estructurales en estructura compuesta.
- Fig. 20: Uniones de barra
- Fig. 21: Sistemas de construcción de losa de piso compuesta mitad precoladas.
- Tabla 4: Clasificación de las conexiones
- Fig. 22: Conexiones de Viga-Columna
- Fig. 23: Conexiones de columna y columnas precoladas parciales
- Fig. 24: Conexiones de viga
- Fig. 25: Conexiones de muro

Sistema de Formado Sistemático

Fig. 26: Sistema de formado sistemático

Fig. 27: Sistema de costa volada

Aplicación a Edificios de Gran Altura

Fig. 28. Construcción de casas de departamentos de gran altura (CR)

Fig. 29: Construcción de casas de departamentos de gran altura (estructura mixta con columna tubular rellena de concreto).

Fig. 30: Construcción de oficinas de altura media (estructura mixta con miembros mixtos).

CONCLUSION

En lo que respecta a las estructuras para habitación, las más populares en Japón son la estructura de madera (convencional con el sistema de paneles prefabricados construcción con marco de madera estilo occidental), la estructura de acero (hasta de 5 pisos, estándar de poca altura para casas prefabricadas), la estructura de CR (sistema de concreto precolado para estructuras de casas-habitación de poca a gran altura) y la estructura compuesta para casas de departamento de gran altura. Debido a la falta de obreros calificados, en la industria de la construcción se inició una competencia para incrementar la productividad de la construcción por medio de un método de construcción mixta que incluye miembros precolados y de concreto precolados parciales.

REFERENCIAS

- 1) "Textbook for Building Materials" Architectural Institute of Japan, 1990.
- 2) "Textbook for Structure and Construction (Edición antigua)" Architectural Institute of Japan, 1978.
- 3) "Textbook for Structure and construction (Edición nueva)" Architectural Institute of Japan, 1985.
- 4) Osamu Kikuchi, "Reviving Traditional Wood Construction Techniques - Innovations to the Framework" US, Simposium Japonés sobre Materiales, Tecnología y Construcción con Madera, oct. 1988.
- 5) "Details of two-by-four (wood frame construction)" Shokokusha 1988.
- 6) "Structure of high-rise apartment house", JSSC Report No. 17. Jan. 1991.
- 7) "Technical Sheet on the efficiency of industrialized housing system", Japan Building Center.
- 8) Yasuhisa Sonobe, "State of the Art of Lowrise Precast Reinforced Concrete construction in Seismic Zones. Vol. 2, pp. 21-34. Oct. 1986.
- 9) Yasuyuki Fujiwara, "On the Project of HFW (Highrise Frame Wall)" Building Letter, oct. 1985. Japan Building Center.
- 10) "Building site is now under composite Construction", monthly magazine Sekou (construction). No. 303, Jan. 1991.
- 11) Yoshikazu Kanoh, "review of Japanese Precast Concrete Frame System Used as Building Structure", Procedimientos del Seminario sobre la Construcción sobre Concreto Precolado en Zonas Sísmicas. Vol. 2, pp. 35-54, oct. 1986.

- 12) S. Yoshizaki, S. Sugano, K. Yoshioka et al. "Existing Precast Frame Systems in Japan", Primera Reunión del Comité de Coordinación Técnica Conjunta US-Japón en los Sistemas Estructurales Precolados Sísmicos (JTCC-PRESS), San Diego, Calif. Nov. 1990.
 - 13) "River City 21 Building A", Panfleto Técnico, Mitsui Construction Company.
 - 14) T. Seguchi, I. Kawabata, K. Kuroha et al., "Design and Constuction of an Office Building Constructed with the Composite Layerd Construction System, Concrete Journal, Vol. 28, No. 12, pp. 35-45, Dec. 1990.
-
- (1) Profesor, Depto. de Arquitectura, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Ciencias de Tokio.

Table 1 Gross floor area and construction cost of buildings in Japan in 1987 [1]

Buildings use	Gross floor area ($\times 10^3 \text{ m}^2$)	Construction cost (million \$)
Dwelling only	123,703(52.1%)	118,000
Dwelling & industry	23,213(9.8%)	25,000
Office	18,782(7.1%)	22,400
Store	8,738(3.7%)	8,400
Factory & workshop	18,186(7.8%)	19,400
Storage	12,479(5.3%)	6,400
School	7,405(3.1%)	8,500
Hospital & clinic	3,996(1.7%)	5,800
Others	24,744(10.4%)	28,100
Total	237,228(100%)	233,000

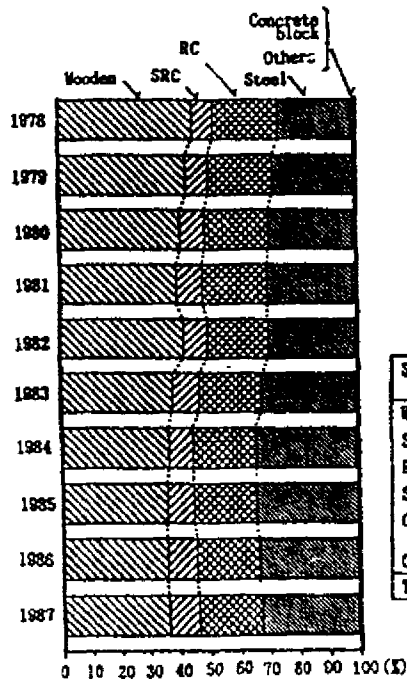


Fig.1 Change of gross floor area according to structure [1]

Table 2 Gross floor area,

Average floor area per a big. and
Average cost per m^2 according
to structure in 1987 [1]

Structure	Gross floor area ($\times 10^3 \text{ m}^2$)	Average floor area per a big. (m^2)	Average cost (\$/ m^2)
Wooden	85,081(35.9%)	111	846
SRC	23,163(9.8%)	3042	1480
RC	52,057(21.9%)	698	1210
Steel	76,087(32.1%)	274	838
Concrete block	493(0.2%)	69	777
Others	338(0.1%)	175	560
Total	237,228(100%)	-	-

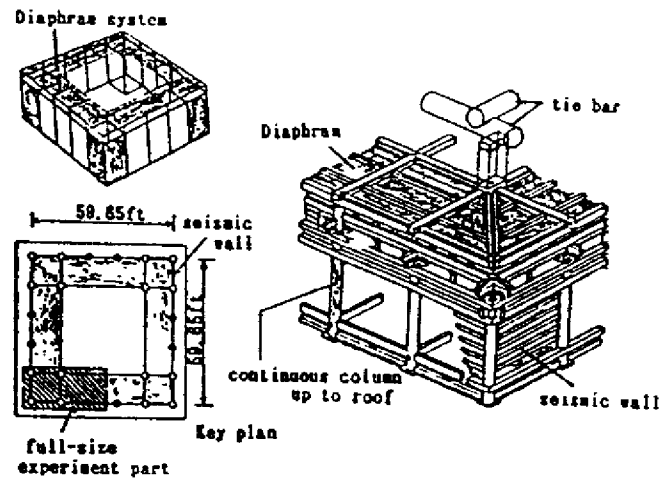


Fig.2 Structural outline of a traditional wooden temple hall recently constructed[4]

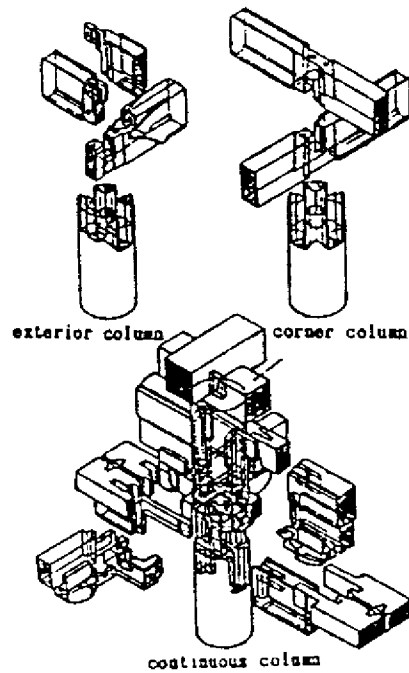


Fig.3 Beam-column connection with no metal reinforcement [4]

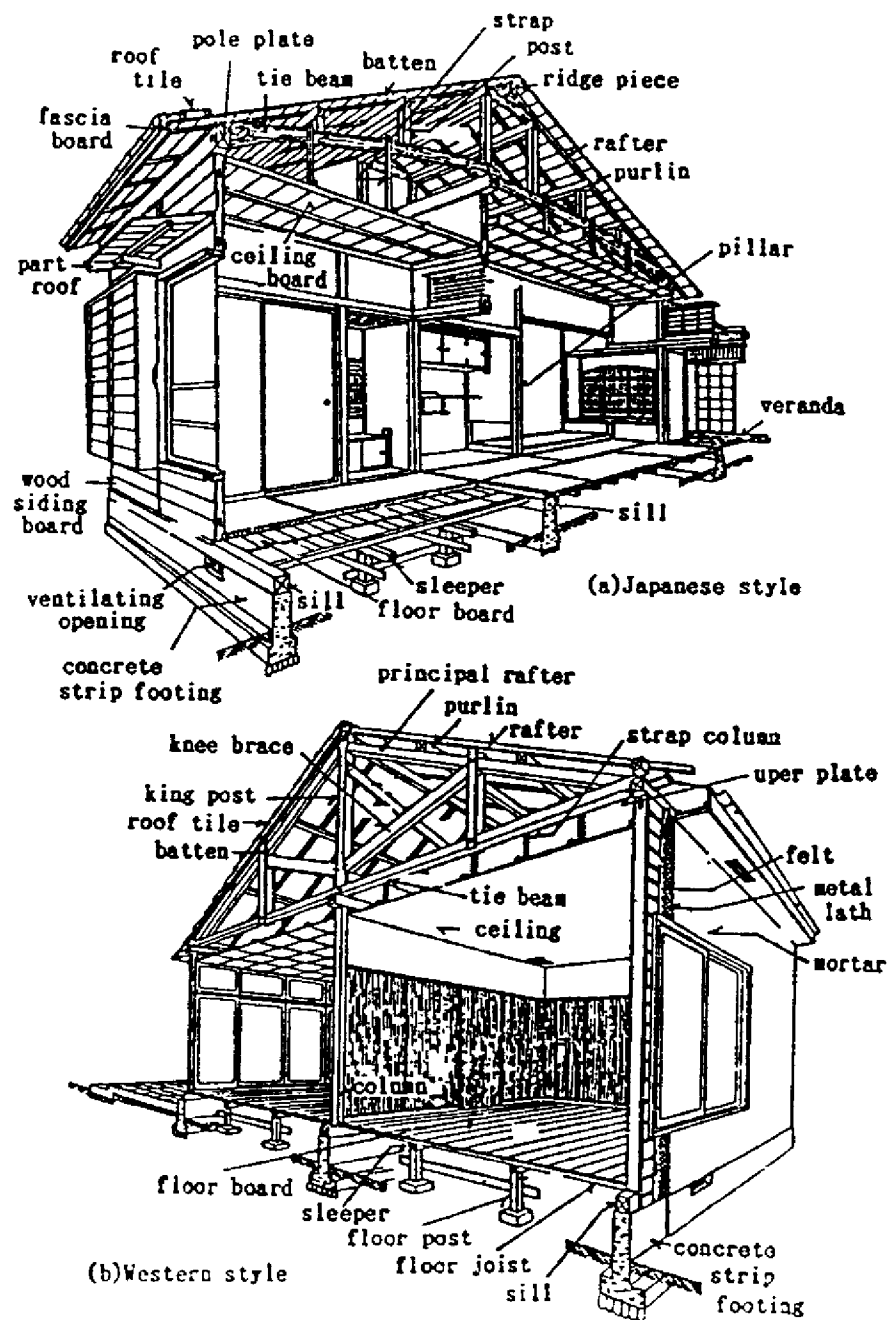


Fig.4 Conventional wooden house [2]

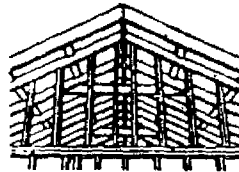
1. construction of footing and 1st floor 4. saw as ②, ③ for 2nd story



2. set up wall frame prefabricated at the 1st floor



5. set up roof truss



3. tie the top of wall frame



Fig. 5 Wood-frame [5]
construction (2×4 system)

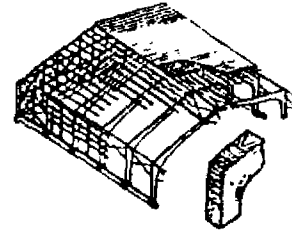


Fig. 7 Glued laminated
timber structure [3]

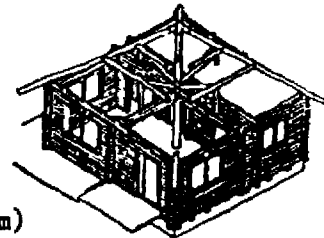


Fig. 8 Log house [3]
(Azekura-zukuri)

1. foundation work



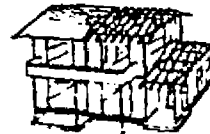
3. set up 2nd floor & 2nd story wall panel



2. set up 1st floor & 1st story wall panel

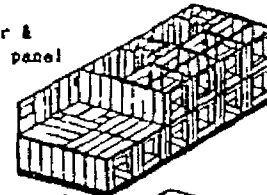
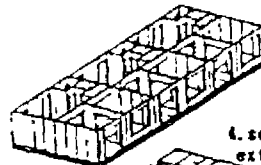


4. set up roof truss



(a) private house

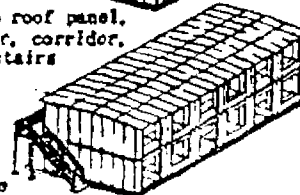
1. set up 1st floor panel after foundation work 3. set up 2nd floor & 2nd story wall panel



2. set up 1st story wall panel



4. set up roof panel, exterior, corridor, stairs



(b) apartment house

Fig. 6 Prefabricated panel system [7]

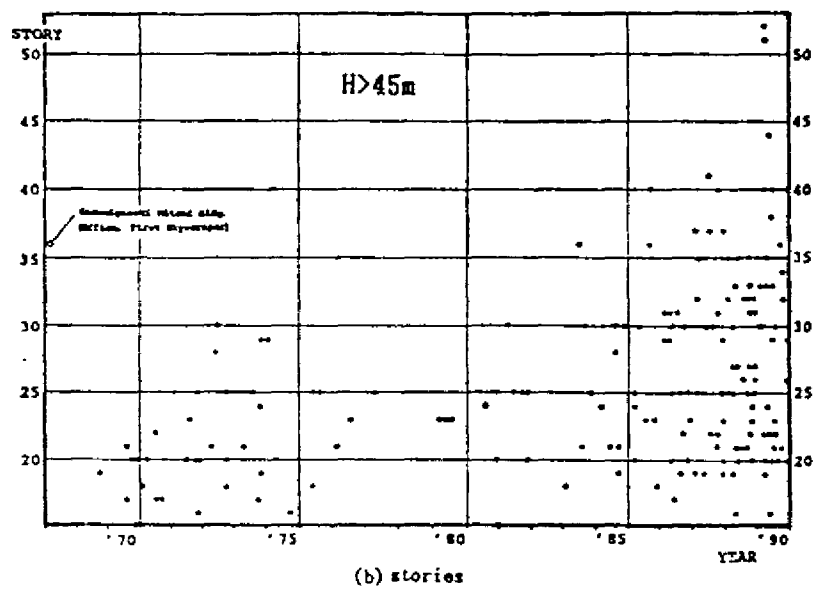
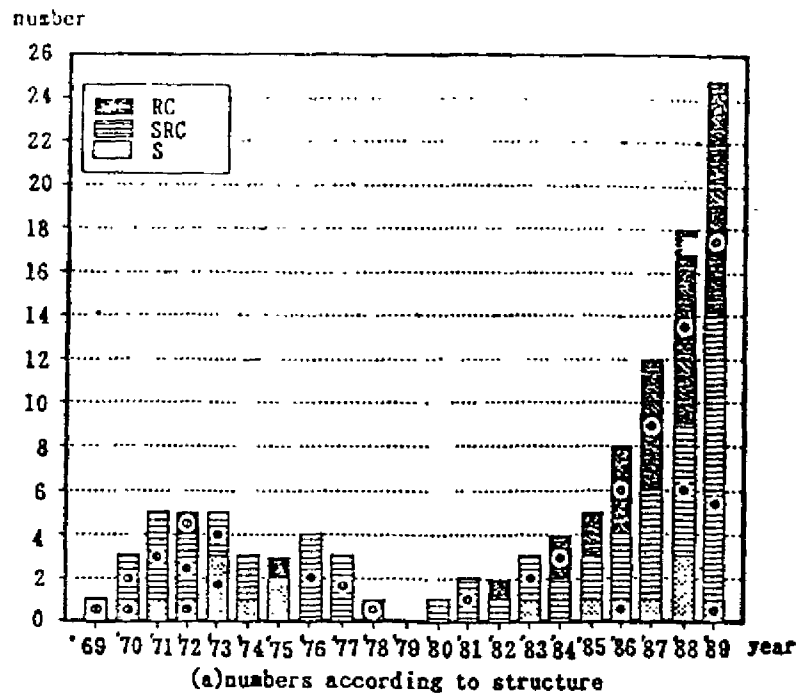


Fig.9 Construction of high-rise apartment house ($H > 45m$) [6]

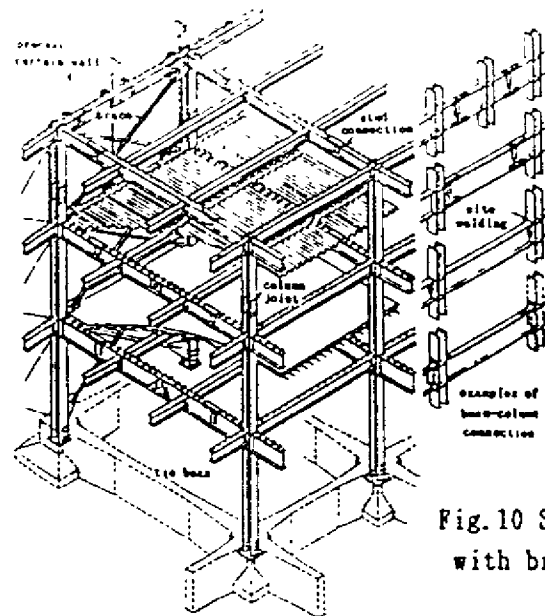


Fig.10 Steel structure with bracing in one direction [3]

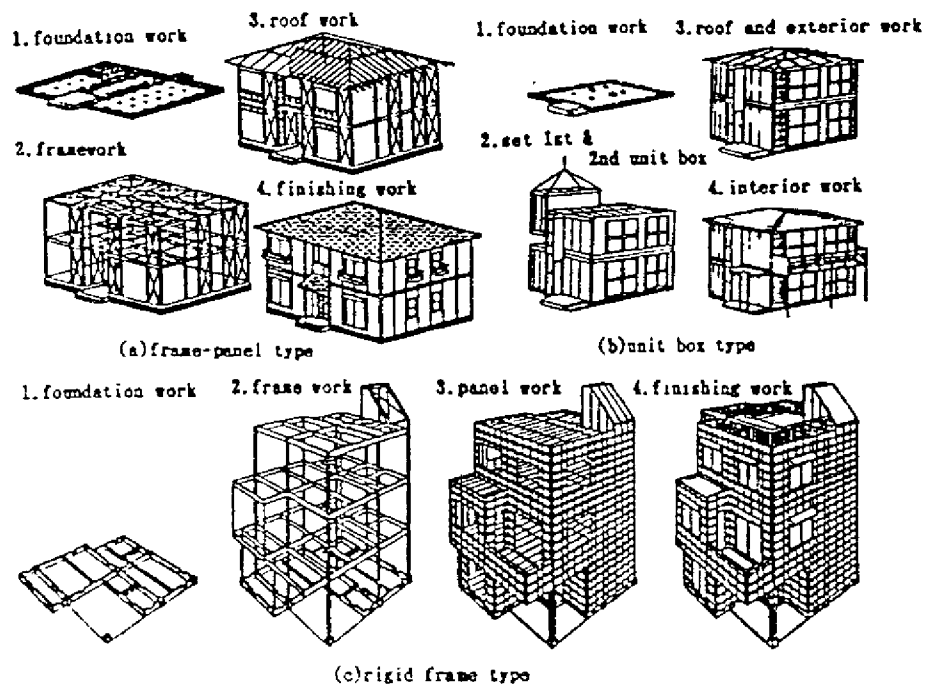


Fig.11 Low-rise steel structure for industrialized and prefabricated housing system [7]

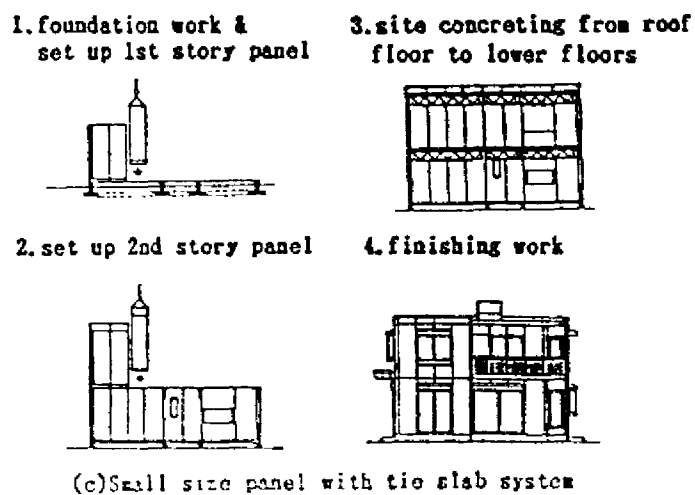
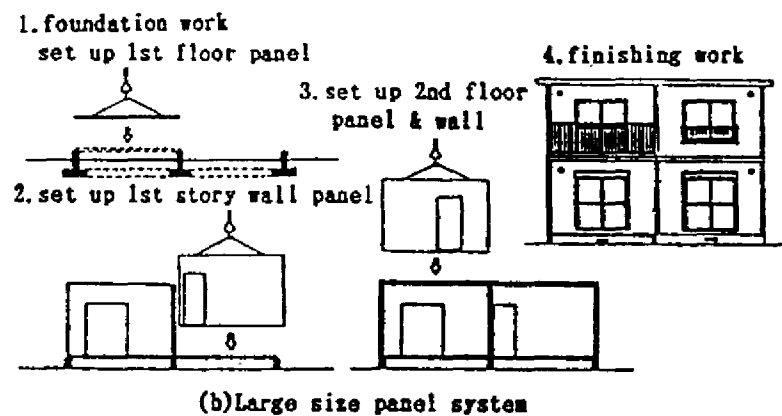
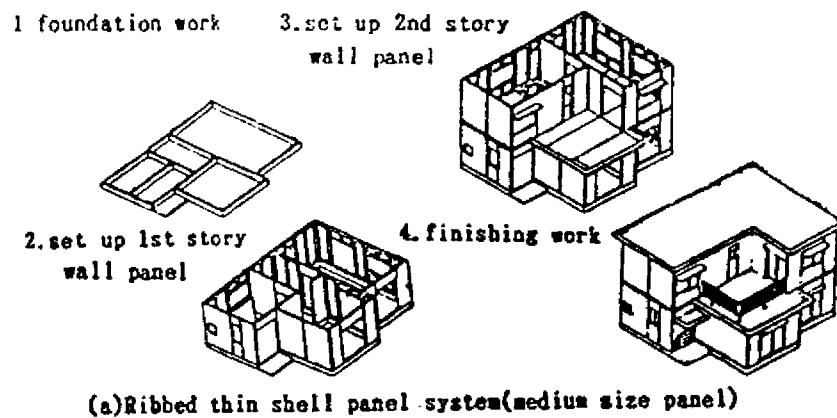


Fig.13 Low-rise precast concrete housing system [7]

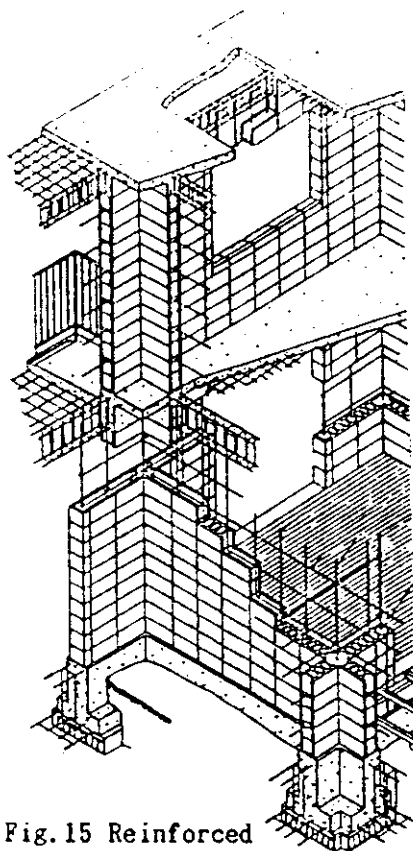


Fig.15 Reinforced
concrete block structure
[3]

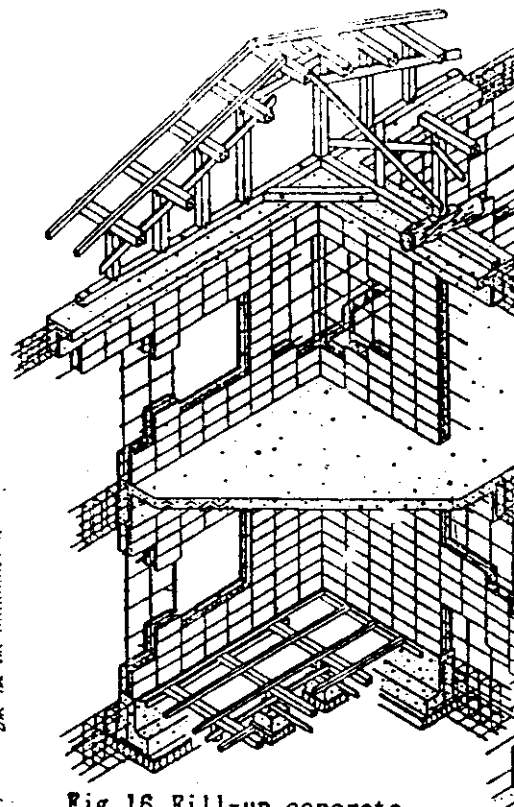


Fig.16 Fill-up concrete
block structure [3]

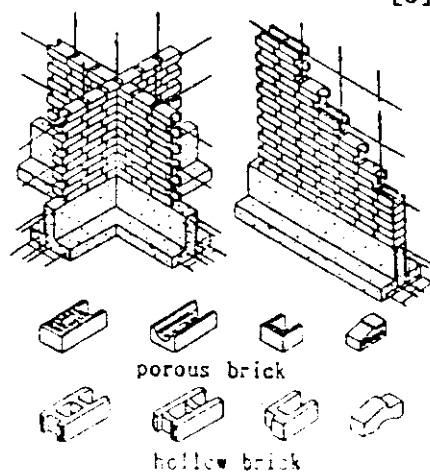


Fig.17 Reinforced brick structure
[3]

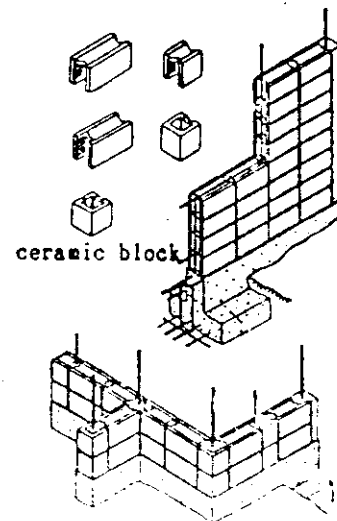


Fig.18 Reinforced ceramic
block structure [3]

	Cast in place concrete	Half PCa		PCa (precast concrete)
Column				
Beam				
Floor				
Wall				

Fig.19 Variation of structural members in composite structure [10]

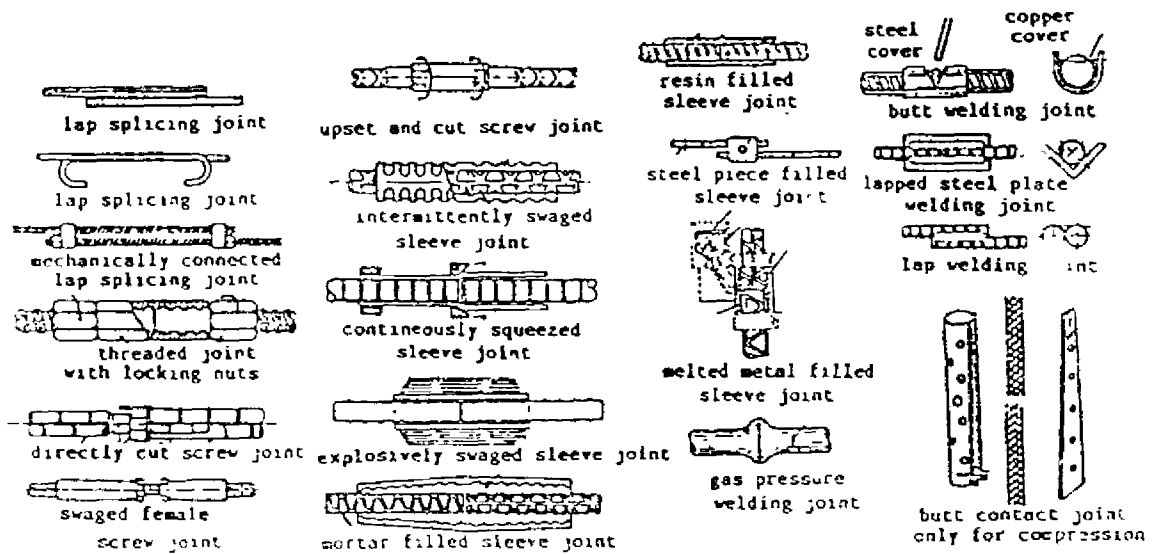
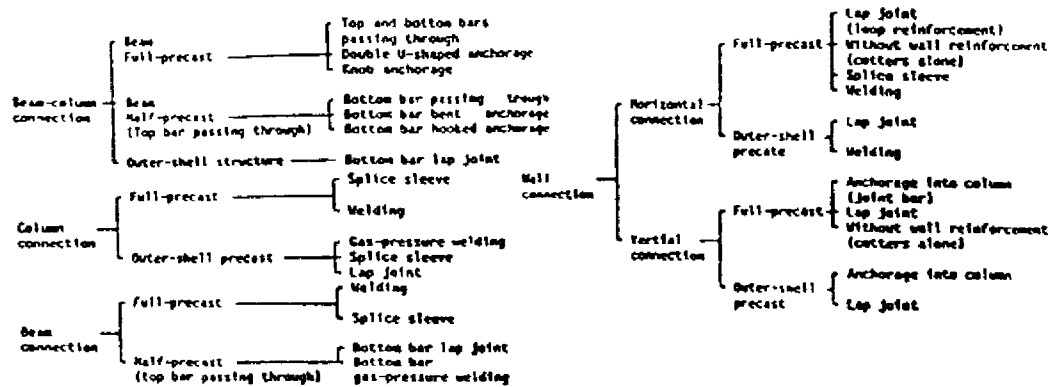


Fig.20 Rebar joint [11]

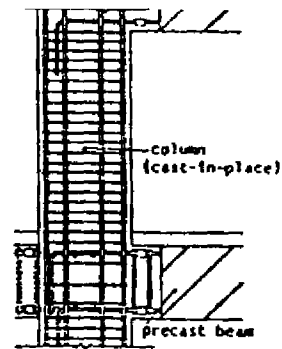
Table 4 Classification of connections [12]



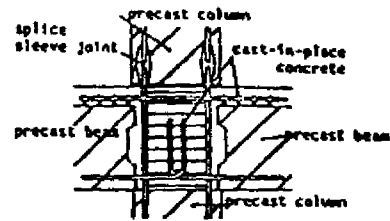
Name of system	Shape of cross section	RC or PS	In-plane shear transfer mechanism
OWEA	Cast-in-situ RC	RC	Truss bar + Rough surface
KAISER	PCa	RC	Truss bar + Rough surface
OWEA VOID	Cast-in-situ RC	RC	Truss bar + Rough surface
KAISER VOID	PCa	RC	Truss bar + Rough surface
PICOS	Cast-in-situ RC	RC	Cutter
SPANCRETE	Cast-in-situ RC	PS	Cutter
OTRASPA	Cast-in-situ RC	PS	Cutter
PC	Cast-in-situ RC	PS	Rough surface + Groove
K SPAN	Cast-in-situ RC	PS	Cutter
P.CS	Cast-in-situ RC	PS	Rough surface + Rib
FTT	Cast-in situ RC	PS	Rough surface + Joint

RC : Reinforced concrete
PS : Prestressed concrete

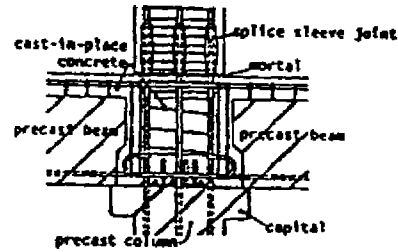
Fig. 21 Half PCa composite floor slab construction systems [12]



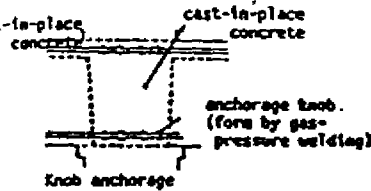
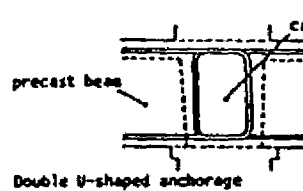
(a) welded joint



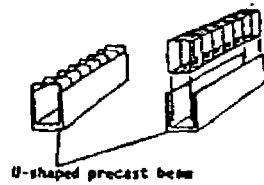
(b) bent anchorage



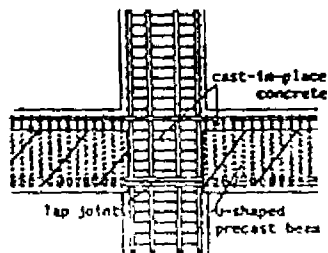
(c) hooked anchorage



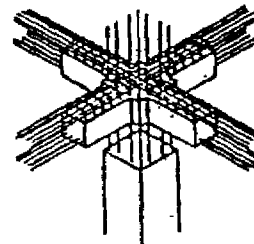
(d) double U-shaped and knob anchorages



U-shaped precast beam



(e) U-shaped precast beam



(f) prefabricated beam-column connection

Fig. 22 Beam-column connection [12]

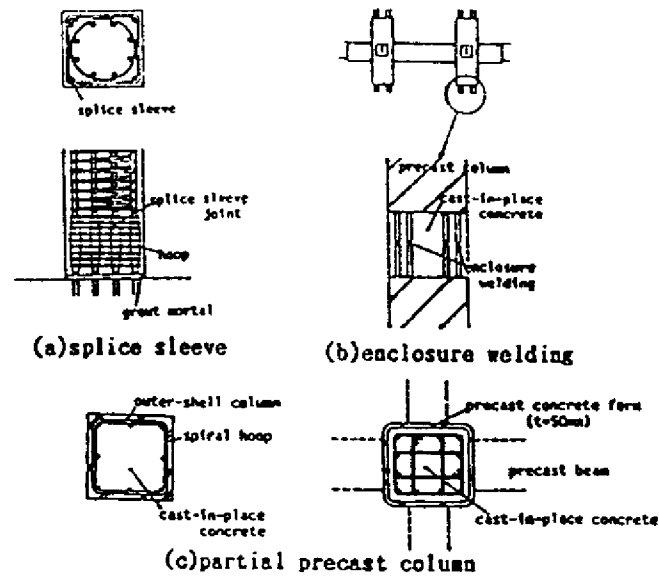


Fig. 23 Column connection and partial precast column [12]

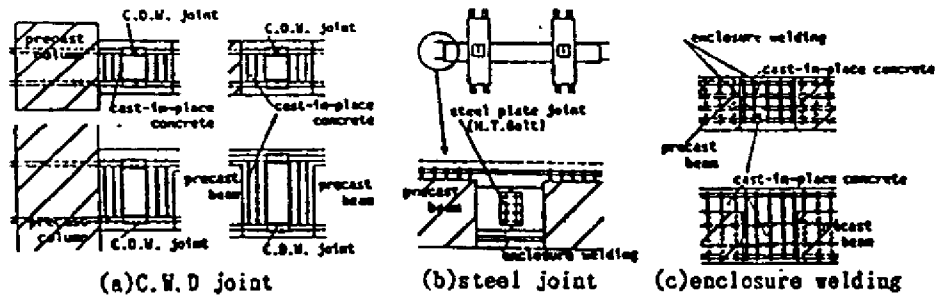


Fig. 24 Beam connection [12]

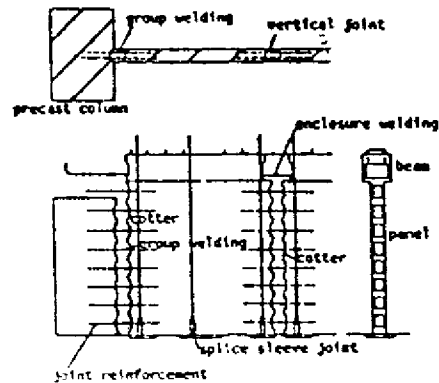


Fig. 25 wall connections [12]

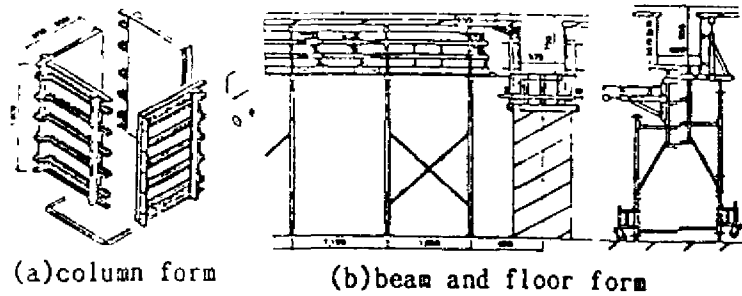


Fig.26 Systematic forming system [10]

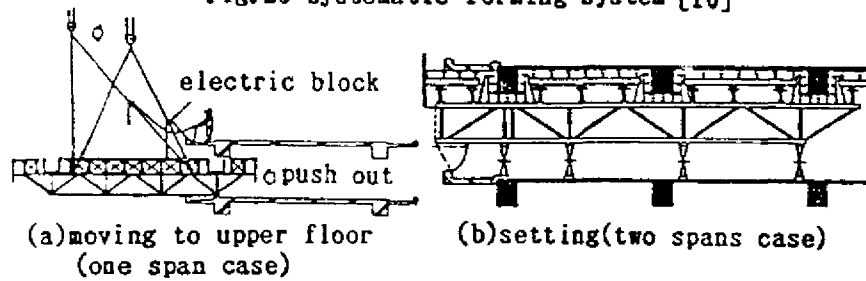


Fig.27 Flying shore system [10]

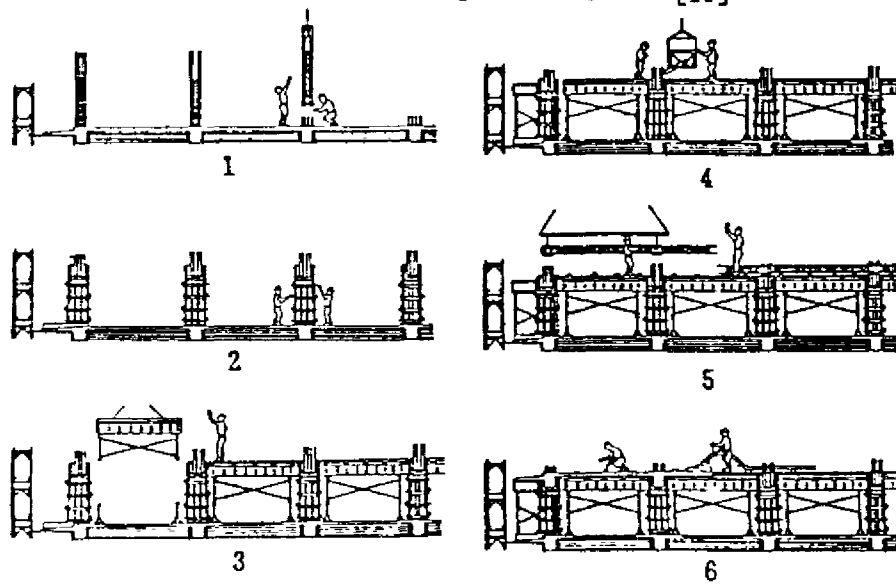
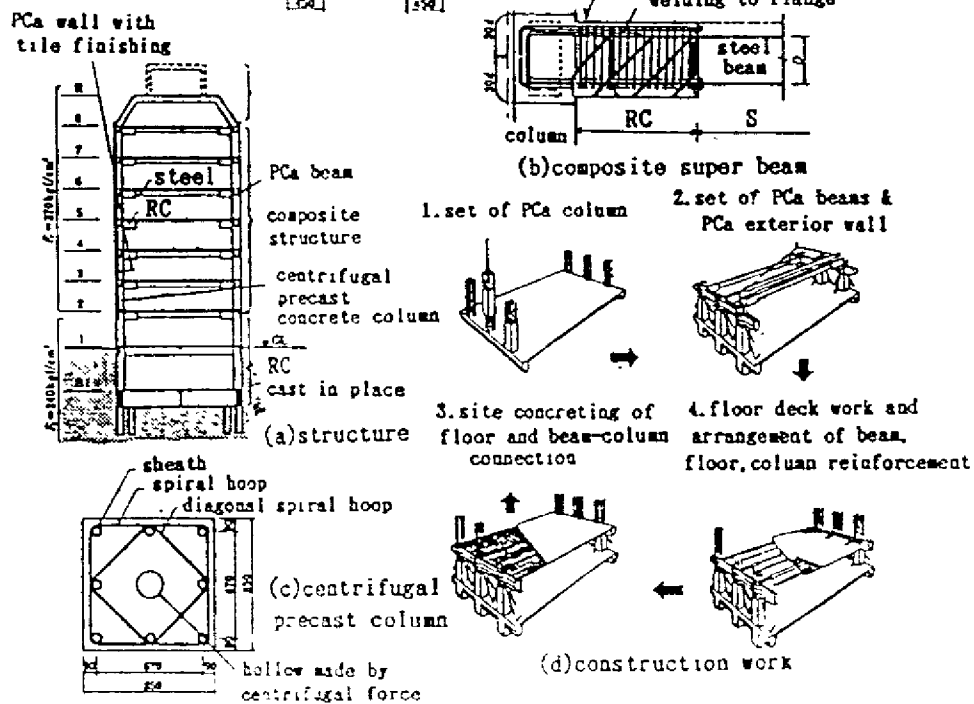
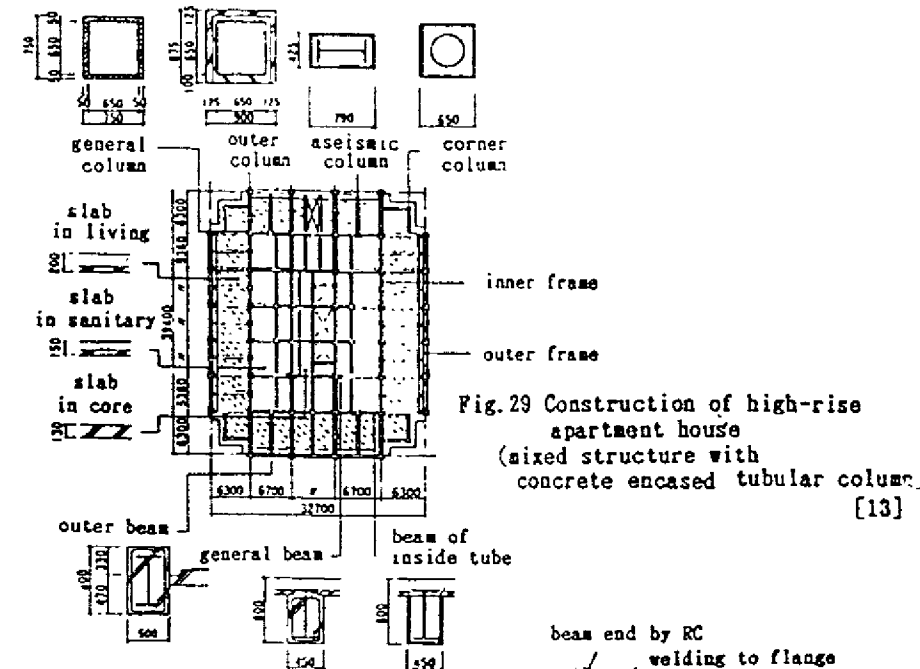
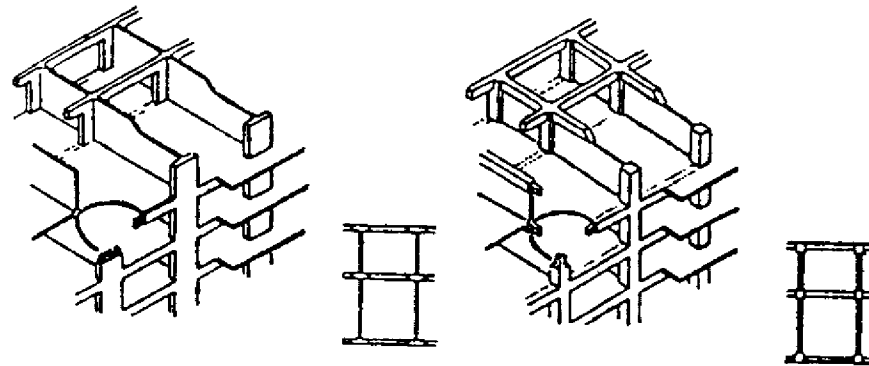


Fig.28 Construction of high-rise RC apartment house [10]





HFW system

conventional RC

Fig.12 HFW and conventional RC [9]

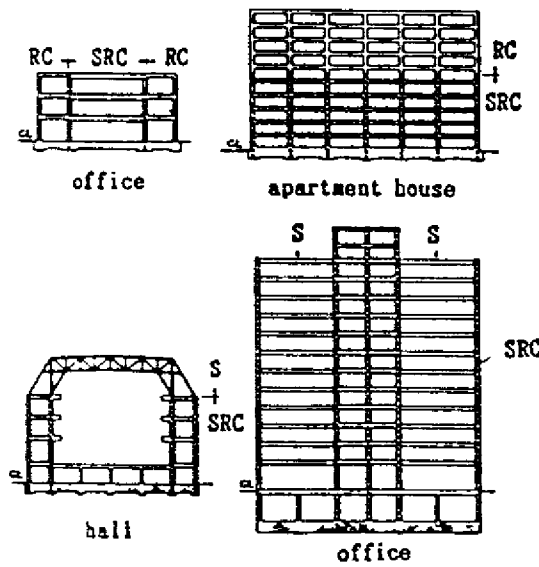


Table 3 Combinatoion of
beam and column [3]

beam column			
	RC structure	SRC* structure	Composite structure
	SRC structure	SRC structure	Composite structure
	Composite structure	SRC* structure	Steel structure

* not many

Fig.14 Mixed structure [3]