

DISEÑO SISMICO PARA EDIFICIOS DE JAPON DURANTE LOS ULTIMOS 100 AÑOS

Tatsuo Murota (I)

RESUMEN

Esta ponencia describe la historia del diseño sísmico para edificios del Japón, desde los últimos veinticinco años del siglo XIX. También presenta el mejoramiento del método del diseño sísmico, el establecimiento y revisión de los requerimientos de código y las prácticas de diseño relacionados con los hechos de grandes terremotos. Se incluye también un resumen de la regulación actual del diseño sísmico de Japón.

INTRODUCCION

Antes de que se inaugurara la Restauración Meiji, la transformación del sistema social del sistema feudal al sistema imperial que inició en 1868, los edificios del Japón eran de maderamen. El nuevo Gobierno de Meiji se esforzó por modernizar cada sistema social y económico al estilo occidental. En el curso de tales esfuerzos, se introdujo en Japón la construcción de mampostería como la estructura para los grandes edificios en lugar del maderamen.

En 1981, un cuarto de siglo después de la inauguración de la Restauración Meiji, en el área de Nagoya ocurrió el terremoto No-bi con una magnitud de 8.0, causando serios daños a los edificios de mampostería que fueron importados del Occidente. Después de este terremoto, se inició, en el Japón moderno, la investigación y desarrollo de la estructura resistente a terremotos.

Esta ponencia describe el desarrollo del diseño sísmico para los edificios de Japón después del terremoto No- bi relacionado con los eventos de peligros de terremotos que se definen en el Apéndice.

HISTORIA DEL DISEÑO SISMICO

Establecimiento de Universidades

La modernización de la economía que llevó a cabo el Gobierno Meiji incluyó la creación del sistema bancario, la reforma del sistema monetario, la construcción de faros y ferrocarriles, el mejoramiento de las instalaciones portuarias, la construcción de la red telegráfica, el mejoramiento del sistema de producción de seda, el aumento de industrias estratégicas, la construcción de la planta piloto para la producción en diversos campos, etc. Para realizar todas estas innovaciones, el Gobierno necesitó una gran cantidad de conocimiento técnico occidental. Con este fin, contrató expertos occidentales, incluyendo ingenieros de estructuras, cuya venida a Japón le representó un enorme gasto.

Los líderes del nuevo Gobierno Meiji, comprendieron el papel clave de la educación para adquirir la tecnología del Occidente y la necesidad de un sistema escolar moderno. En 1877 fue fundada la primera universidad de Japón con el nombre de Koka Daigakko que significa Instituto de Tecnología.

El Instituto incluía el Departamento de Construcción llamado "Zoka Gakka" en japonés. Fue entonces cuando empezó en Japón la educación de ingeniería de edificación moderna.

En 1889, en la ciudad de Yokohama ocurrió el temblor Yokohama con una magnitud de 5.5 o 5.6. Este temblor no fue tan fuerte que causara el colapso total de los edificios pero si colapsó un número de chimeneas de los edificios de mampostería y atemorizó a los expertos residentes occidentales.

El Dr. John Milne, maestro de mineralogía, invitado desde Inglaterra al Instituto de Tecnología, se preocupó mucho con este temblor e inició actividades para establecer una organización para la investigación de terremotos. Al cabo de un año estableció la Sociedad Sismológica de Japón.

En 1866, el Instituto de Tecnología fue incorporado a la Universidad Imperial de Tokio, de acuerdo con la reorganización del sistema educacional. En ese mismo año, fue establecido el Instituto de Arquitectura de Japón (AIJ).

El Gobierno creó, después de esto, nuevas universidades imperiales, la de Kyoto en 1897, la de Tohoku en 1907, la de Kyushu en 1910, la de Hokkaido en 1918.

También en 1918 a un número de escuelas privadas se les otorgó el estado universitario, aumentando así grandemente el número de graduados universitarios.

Terremoto de No-bi en 1891

El 28 de octubre de 1891 ocurrió el terremoto de No-bi con una magnitud de 8.0 cerca de la frontera de las Prefecturas de Aichi y Gifu. Este terremoto ha sido el más fuerte que Japón ha experimentado tierra adentro. El movimiento de tierra causado por este terremoto se sintió ampliamente en Japón hasta un punto de lejanía de 600 kms del epicentro. La abertura de la falla sísmica que apareció en la superficie terrestre tuvo, como máximo, 6 metros de altitud y 2 metros de ancho. Este terremoto causó más de 10,000 derrumbes. El número de edificaciones que sufrieron daños mayores o moderados sobrepasaron los 140,000 u 80,000, respectivamente. Murieron 7,273 personas.

Los temblores secundarios principales consecuencia de este terremoto se presentaron durante los siguientes tres años: En enero de 1892, en septiembre de 1892 y en enero de 1894.

Hasta el momento en que ocurrió el terremoto de No-bi se habían construido en Japón un gran número de edificios de mampostería. Muchos de ellos que estaban situados en las Prefecturas de Aichi y Gifu y otra área cerca del epicentro, sufrieron serios daños. Debido a esta experiencia, los ingenieros de edificación pudieron saber que, en Japón, no era suficiente el comportamiento sísmico de los edificaciones de mampostería. Sin embargo, continuó la construcción de las mismas hasta 1923, el año en que ocurrió el Gran Terremoto de Kwantó.

Comité de Investigación para la Prevención de Peligros Sísmicos

Con el fin de prevenir que volviera a ocurrir un desastre del alcance del de No-bi, el Gobierno estableció, en 1892, el Comité de Investigación para la Prevención de Peligros Sísmicos. El Comité fue organizado por maestros de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Imperial de Tokio y, como asesor, el Prof. John Milne. Para buscar las contramedidas para los terremotos, el Comité inició la investigación de la propagación de las ondas sísmicas a partir del epicentro, las propiedades del movimiento terrestre de entrada a las edificaciones, los métodos para eliminar el movimiento terrestre de entrada, los métodos para construir las edificaciones resistentes a los terremotos, etc., además de examinar los desastres causados por terremotos. El Comité publicó 101 volúmenes de reportes de investigación realizados hasta 1923, el año en que tuvo lugar el Gran Terremoto de Kwantó, alentando y acelerando la investigación sobre ingeniería de terremotos y sismología. Después del Terremoto de No-Bi de 1891, continuaron ocurriendo terremotos en Japón, uno tras otro: el Terremoto de la Bahía Norte de Tokio y el Terremoto Shonai de 1894, el Terremoto Sanriku de 1896, etc. En 1895, el Comité emitió los (Lineamientos para el Diseño Sísmico de los Edificios de maderamen), incluyendo el construir diagonales de arriostramiento en las estructuras, construir fuertes cimientos y asegurar las juntas con afianzadores metálicos. Sin embargo, estas recomendaciones no fueron presentadas cuantitativamente sino cualitativamente, y, por lo tanto, los lineamientos no fueron tan efectivos como para que redujeran los daños sísmicos a las edificaciones de maderamen.

Introducción del Coeficiente Sísmico

En 1906, el Terremoto de San Francisco de 8.3 en la escala de Mercalli ocurrió en San Francisco, EUA. Algunos de los miembros del Comité, incluyendo al Prof. Riki Sano, visitaron dicha ciudad para investigar los daños.

En esa época, la mayoría de las edificaciones de San Francisco eran de maderamen o de mampostería. Los edificios de concreto reforzados eran muy pocos. Los resultados de la investigación del Prof. Sano fue que los edificios de concreto reforzado sufrieron menores daños en comparación con los otros tipos de construcción y también que eran resistentes a incendios. Con base en estos resultados, en el reporte recomendó que la estructura de concreto reforzado era

sistema estructural más apropiado para las edificaciones que se deben construir en un país que, como Japón, tiene tendencias a los temblores.

En 1914, publicó un libro titulado *Kaouku Taishin Kozo Ron*, teoría de la estructura de edificaciones resistente a los temblores. En este libro proponía el método llamado coeficiente sísmico para estimar los efectos sísmicos. De acuerdo con su propuesta, se presentan en la siguiente ecuación, los efectos sísmicos por la fuerza estática horizontal sísmica.

$$F = K \cdot W \quad (1)$$

donde

F : fuerza horizontal sísmica

W : peso de la edificación

K : coeficiente sísmico = (aceleración del
movimiento terrestre) / (aceleración de la gravedad)

Esta propuesta fue aplicada por el Prof. Sano y sus alumnos al diseño de varias edificaciones de concreto reforzado. El método del coeficiente sísmico fue desarrollado ulteriormente por el Prof. Tachu Naito de la Waseda University, en su libro publicado en 1922, titulado *Kakou Kenchiku Taishin Kozo Ron*, teoría de la estructura de edificación resistente a temblores.

Ley de Edificaciones Urbanas

El Gobierno Meiji había reconocido la necesidad de establecer un código de edificaciones desde 1870. Investigando los códigos de codificación de ciudades extranjeras, el Instituto de Arquitectura de Japón propuso desde 1880 varios números de códigos de codificación para que se aplicaran a las ciudades japonesas. Algunos Gobiernos locales promulgaron parte de ellos.

En 1919, después de la investigación a largo plazo, fue establecido el primer Código de codificación llamado (Ley de Edificaciones Urbanas) y al año siguiente fue promulgada. La Ley fue aplicada a las edificaciones de las seis ciudades grandes: Tokio, Osaka, Yokohama, Nagoya, Kioto y Kobe.

En la Regulación para la Ejecución de la Ley de Edificaciones Urbanas se establecieron 74 artículos de regulaciones relacionadas con el comportamiento estructural de las edificaciones. La regulación requería la confirmación de la seguridad estructural contra cargas verticales, esto es, carga muerta y carga viva por cálculo estructural. Pero no incluía ningún requerimiento respecto a los efectos de la nieve, viento y temblores.

El Gran Terremoto de Kwantó

En 1923 ocurrió el Gran Terremoto de Kwantó con una magnitud de 7.9, en la Bahía de Sagami, Prefectura de Kanagawa. El número de casos que sufrieron daños mayores o moderados en Yokohama, Tokio y áreas cercanas fue de 254,000 en total. Justamente después del terremoto de Tokio, surgieron incendios simultáneos en muchos lugares y se diseminaron ampliamente en el área urbana, quemando 447,000 casas. Hubo 142,000 personas muertas o desaparecidas por este terremoto. La mayoría de ellas murieron en incendios.

Por el terremoto sufrieron serios daños las edificaciones de mampostería. Además, llamó la atención de los ingenieros de estructuras que los edificios de pisos múltiples de concreto reforzado con acero, que habían sido diseñados para cumplir con el método utilizado en los EUA en esa época, también sufrieron serios daños. Por otra parte, los edificios de concreto reforzado que habían sido diseñados de acuerdo con la propuesta de Sano y de Naito, sufrieron daños muy ligeros. Esto fue prueba de lo apropiado de sus propuestas. Después de este terremoto, se establecieron los elementos de alta prioridad en el diseño sísmico para soportar alta resistencia al cizallamiento y rigidez de las edificaciones, diseminando el uso de muros de cizallamiento en los armazones de edificación. La estructura de concreto reforzado con acero, que es un sistema estructural de armazón de acero de origen japonés, más el concreto reforzado, fue inventado y desarrollado después del terremoto.

En 1924 el Gobierno suplementó un nuevo artículo en la Regulación para la Ejecución de la Ley de Edificaciones Urbanas. El artículo dice: "El coeficiente sísmico horizontal debe ser más de 0.1"; lo que significa que cada edificación debe ser diseñada y construída para que pueda resistir una fuerza lateral de cuando menos el 10 por ciento de su peso. Fue la primera regulación de diseño sísmico por ley del mundo (Cf. EUA en 1933). Muchos artículos de la Regulación para la Ejecución de la Ley también fueron complementados al mismo tiempo por la adición de regulaciones obligatorias para mejorar el comportamiento sísmico de las edificaciones.

En 1925, el Comité de Investigaciones para la Prevención de Peligros Sísmicos fue reorganizado en el Instituto de Investigaciones de Terremotos adjunto a la Universidad Imperial de Tokio.

Normas para el cálculo estructural

A pesar de la adopción de la Ley de Edificaciones Urbanas del coeficiente horizontal sísmico, los ingenieros de estructuras que pueden calcular los esfuerzos de la estructura causados por las fuerzas sísmicas fueron limitados a un número muy pequeño. El Instituto de Arquitectura de Japón organizó un comité especial para enseñar los métodos para el cálculo del esfuerzo sísmico. El Comité publicó en 1924 la (Norma de Cálculo de Resistencia). Aún así, todavía se deseaban métodos más prácticos y muchos investigadores trataron de desarrollarlos.

El Gran Terremoto de Kwantó alentó las actividades de investigación sobre el comportamiento sísmico de las edificaciones. En 1926, comenzó el "Debate flexible vs. el rígido". El debate fue desarrollado en (KenchikuZasshi), una revista periódica publicada por AIJ que continuó hasta 1935. El punto del debate era sobre cuáles eran las estructuras más resistentes a los terremotos, las flexibles o las rígidas. Los profesores Riki Sano y Kiyoshi Muto apoyaron a la estructura rígida y, por la otra parte, Kenzabro Majima, ingeniero en estructuras de la Marina Japonesa respaldaba a la estructura flexible. Debido a la falta de conocimiento de la naturaleza del movimiento terrestre sísmico, el debate concluyó sin haber llegado a ninguna conclusión.

Después del terremoto, también comenzó una investigación sistemática del concreto y se introdujo el método de concreto proporcional por relación agua/cemento. En ese entonces, se desarrollaron rápidamente estudios sobre construcción con acero, especialmente en la tecnología de soldadura.

Los frutos de estas actividades de investigación fueron incorporadas en la Ley de Edificaciones Urbanas revisada de 1932.

En 1933, AIJ publicó la Norma de Cálculo Estructural para Estructuras de Concreto Reforzado, donde fue propuesto el método del valor "D" de Muto muy conocido, que es un método de cálculo práctico del esfuerzo sísmico desarrollado por el Prof. Koyoshi Muto de la Universidad Imperial de Tokio.

En 1941, AIJ publicó la Norma de Cálculo Estructural para Estructuras de Acero y además el Diseño Sísmico Esencial para las Estructuras de Edificaciones.

Segunda Guerra Mundial

En 1940 Japón fue sacudido por grandes terremotos, uno tras otro, el Terremoto Tottori de 1943, el de To-nankai de 1944, el de Mikawa de 1945, el de Nankai de 1946 y el de Fukui de 1948. Estos terremotos causaron serios daños en número, pero se observaron algunas evidencias de que los esfuerzos que hizo AIJ para la diseminación de la tecnología del diseño sísmico entraron en efecto gradualmente. Por ejemplo, en el terremoto de Fukui, cerca de 50 de las edificaciones de concreto reforzado que habían sido diseñadas para cumplir con la norma de AIJ estuvieron expuestas a un fuerte movimiento de la tierra. Solamente una de ellas, un edificio de siete pisos se colapsó y las demás no sufrieron daños.

Debido a la escasez de materiales de construcción durante la Segunda Guerra Mundial, el cumplimiento de la Ley de Edificaciones Urbanas se detuvo en 1943 y fue promulgada la Norma de Tiempos de Guerra en lugar de la ley. La Norma no solamente fue un resumen simplificado de la Ley, sino también una revisión detallada y extensa de la Ley para instar el uso de materiales efectivo y razonable.

Después de la guerra, en 1947, la Norma fue cambiada a la Norma Japonesa de Edificaciones 3001 después de haber revisado algunos artículos.

Las diferencias principales entre la Ley de Edificaciones Urbanas y la Norma Japonesa de Edificaciones 3001, fueron las siguientes:

1. Fueron estipuladas la carga de viento y de nieve, además de la carga muerta, viva y sísmica.
2. Fueron estipuladas las combinaciones de carga para las cuales se hizo el cálculo estructural.
3. Se introdujeron dos niveles de esfuerzos permisibles para cada material: uno para las combinaciones de cargas de baja probabilidad de ocurrencia y la otra, para aquéllas de alta probabilidad de ocurrencia.
4. El valor mínimo del coeficiente sísmico k fue elevado a 0.2

Es importante hacer notar que el coeficiente sísmico duplicado no significó duplicar la resistencia sísmica de las edificaciones, debido a que también fue duplicado el esfuerzo permisible de los materiales para terremotos.

Ley de Normas de Edificaciones

En 1948 fue promulgada la Ley de Edificaciones Urbanas otra vez, incorporando la Norma Japonesa de Edificaciones 3001. En 1950 fue abolida la Ley de Edificaciones Urbanas y promulgada la Ley de Normas de Edificaciones.

Las estipulaciones de la Ley de Normas de Edificaciones relacionadas con la seguridad estructural de las edificaciones fueron, substancialmente, las mismas que las de la Norma Japonesa de Edificaciones 3001. Las diferencias principales entre la Ley de Edificaciones Urbanas y la Ley de Normas de Edificaciones fue la aplicación de formalidades de la construcción de las edificaciones; en la Ley de Edificaciones Urbanas se adoptó el sistema de aviso y permiso", pero en la Ley de Normas de Edificaciones se requería, antes de extender el permiso, la "confirmación de los

funcionarios de edificaciones" del comportamiento de la edificación para cumplir con las estipulaciones de Código.

Después de 1950, el sistema de confirmación y la diseminación de la tecnología del diseño sísmico redujo en mucho el número de daños sísmicos mayores a las edificaciones.

Terremoto Niigata

En 1964 el terremoto Niigata sacudió la ciudad de Niigata. Un gran número de edificaciones se ladearon o cayeron debido a la licuación del suelo arenoso. Las medidas contra la licuación ha sido uno de los problemas más importantes a investigar después de que sucediera este terremoto.

Análisis dinámico de respuesta sísmica y edificaciones de muchos pisos.

La Ley de Edificaciones Urbanas establecida en 1919 limitó la altitud máxima de las edificaciones, hasta 31 metros o cerca de 100 pies. Desde entonces, cada Código japonés de edificaciones continúa manteniendo el límite de altitud.

El rápido avance económico de Japón de los años 60 atrajo la población a ciudades grandes y los precios de los terrenos se elevaron extremadamente. Tenía que investigarse la posibilidad de construir edificios de múltiples pisos con el fin de hacer un uso efectivo de la tierra. En 1959, fue organizado el equipo humano de proyectos encabezado por Koyoshi Muto e investigaron el comportamiento sísmico de un posible rascacielos de 24 pisos en Tokio. Usando computadoras analógicas, el equipo humano analizó la respuesta dinámica inducida por algunas ondas sísmicas observadas en California, EUA. Como resultado de dichos trabajos, Muto, que había sido uno de los líderes que habían apoyado la "estructura rígida" en el debate flexible vs. rígido, concluyó que los rascacielos podían ser construidos en Japón, si sus armazones estructurales se diseñaban para que fueran flexibles, ya que tenían períodos fundamentales más prolongados.

En 1963 fue revisada la Ley de Normas de Edificaciones para abolir la limitación de la altura de las edificaciones. El primer rascacielos de Japón fue terminado en Tokio en 1968.

Terremoto Frente a Tokachi de 1968

En 1968 ocurrió un gran terremoto con una magnitud de 7.9 en el Océano Pacífico frente a Tokachi. Causó daños mayores a 673 edificaciones y murieron 52 personas. Se le dio el nombre de Terremoto Frente a Tokachi de 1968.

Un gran número de edificios escolares de concreto reforzado sufrieron serios daños a pesar de que habían sido diseñados de acuerdo con las regulaciones sísmicas de la Ley de Normas de Edificaciones. Estos daños nos dieron la lección de que cuando la falla de cizallamiento precede a la elasticidad a la flexión de las columnas, el terremoto puede causar un colapso muy dúctil de la armazón estructural.

Con base en esta lección, AIJ revisó en 1971 la Norma del Cálculo Estructural para las Estructuras de Concreto Reforzado. La estipulación revisada dice que el refuerzo de cizallamiento de los miembros estructurales deben ser aumentados hasta el grado en que se pueda asegurar la elasticidad a la flexión de los miembros.

Proyecto Nacional de Investigación para el Diseño Sísmico de Estructuras

Con el fin de integrar los resultados de las actividades de investigaciones en ingeniería sísmica que se llevó a cabo durante los últimos 20 años y para iniciar la revisión razonable de las regulaciones para el diseño sísmico, el Ministerio de Construcción organizó en 1972 el proyecto nacional de investigación "Desarrollo del Método de Diseño Sísmico Avanzado para Estructuras".

El Instituto de Investigaciones de Edificaciones y el Instituto de Investigaciones de Obras Públicas se hicieron cargo de la implementación del proyecto. Muchos profesores universitarios y expertos de los sectores privados participaron en este proyecto. Se prestó el máximo de atención al comportamiento plástico de los miembros estructurales, juntas, muros de cizallamiento y arriostramientos de acero, cuando estuvieron sujetos a la carga sísmica.

En 1978, el Terremoto de la Prefectura Frente a Miyagi de 7.5 M, sacudió al área de Sendai y fue registrada la respuesta de aceleración igualada con la aceleración de la gravedad, en la parte superior de un edificio de nueve pisos de la ciudad de Sandai. Este terremoto aceleró la revisión del código de diseño sísmico actual.

En 1981, La Orden de Ejecución de la Ley de Normas de Edificaciones que incluía regulaciones para el diseño sísmico fueron revisadas con base en los resultados del proyecto nacional de investigación antes citado.

Cronología del desarrollo del diseño sísmico

La Tabla 1 presenta la cronología del desarrollo del diseño sísmico en Japón arriba citado.

RESUMEN DEL CODIGO DE DISEÑO SISMICO ACTUAL

El Código de diseño sísmico actual japonés requiere que I) las edificaciones que durante su uso se anticipe que estarán sujetas varias veces a terremotos moderados, resistan elásticamente los movimientos terrestres de los terremotos, y, II) que las edificaciones que durante su uso se anticipe que estarán sujetas menos de una vez a severos terremotos, no se colapsen ni dañen vidas humanas durante los movimientos de terremotos severos.

Para satisfacer las dos condiciones anteriores, generalmente se requiere que se sigan modalidades dobles de diseños resistentes a terremotos.

1. Diseño del esfuerzo permisible, verificación de excentricidad y requerimiento de rigidez y verificación de la nieve llevada por el viento a los pisos.
2. Diseño de resistencia al cizallamiento lateral final.

Cizallamiento sísmico lateral arriba del nivel del terreno

El cizallamiento sísmico lateral, Q_1 , del piso arriba del nivel del terreno será determinado de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Q_i = C_i \cdot W_i \quad (2)$$

donde

C_i = al coeficiente de cizallamiento sísmico lateral del piso i -th según sea determinado de acuerdo con Ec.(3), y

W_i = al peso de la edificación arriba el piso i -th.

El coeficiente de cizallamiento sísmico lateral del piso i -th, C_i , será determinado de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$C_i = Z \cdot R_t - A_i - C_o(3)$$

donde

Z = al coeficiente de zona de peligro sísmico.

R_t = al coeficiente espectral de diseño, que será determinado por el tipo del perfil del suelo y el período natural fundamental de las edificaciones.

A_i = al factor de distribución de cizallamiento lateral, que será determinado por el período natural fundamental y la distribución de las edificaciones, y

C_o = al coeficiente de cizallamiento normal, que no será menor de 0.2 y de 1.0 para los movimientos de terremotos moderados y para movimientos de terremotos severos, respectivamente.

El período natural fundamental de la edificación, T , determina el coeficiente espectral del diseño y el factor de distribución del cizallamiento lateral, será determinado de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$T = h (0.02 + 0.01) \quad (4)$$

donde

T = al período natural fundamental de la edificación en segundos.

h = a la altitud de la edificación en metros.

= a la relación de la altitud total de los pisos de la construcción de acero a la altitud de las edificaciones.

Resistencia de cizallamiento lateral final

La resistencia de cizallamiento lateral final de cada piso no será menor del cizallamiento lateral final necesario, Q_{un} , determinado de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Q_{un} = D_s \cdot F_{es} - Q_{ud}(5)$$

donde

Q_{ud} = al cizallamiento sísmico lateral para movimientos de terremotos severos establecido en la sección precedente.

D_s = al coeficiente estructural dado en la Tabla 2, y

F_{es} = al factor del perfil que será determinado como sigue:

$$F_{es} = F_e \cdot F_s \quad (6)$$

donde

En la Tabla 3, se da F_e como una función de excentricidad de rigidez R_e . F_s se da en la Tabla 4 como una función de variación de la rigidez lateral R_s junto con la altitud de la edificación.

COMENTARIOS FINALES

En esta ponencia se describe una historia breve del diseño sísmico de las edificaciones de Japón desde la Restauración Meiji. Las actividades de investigación de los últimos 100 años han mitigado asombrosamente los peligros sísmicos al reflejar los resultados de los códigos de las edificaciones. Sin embargo, actualmente, los diseñadores de estructuras pueden diseñar "edificaciones resistentes a terremotos" sin ninguna dificultad, pero, por otra parte, desconocen cuál será el comportamiento de la estructura en movimientos por terremotos severos.

Con el fin de reducir el riesgo de daños catastróficos en el evento de un terremoto mayor, debemos revisar el sistema de control de códigos actual en el diseño sísmico o en el sistema educacional de ingeniería de estructuras, forzando así al diseñador a que evalúe las características del comportamiento de las edificaciones y descubriendo puntos débiles posibles que sean susceptibles a daños serios.

Tabla 1 Cronología del desarrollo del diseño sísmico en Japón

Terremoto	Investigación y Desarrollo	Código de Edificación
	877 Instituto de Tecnología	
1880 Yoyohama	1880 Sociedad Sismológica de Japón	
	1886 Universidad Imperial de Tokio	
1891 No-bi	1892 Comité de Investigaciones para la Prevención de Peligros Sísmicos	
1906 San Francisco	1906 Investigación por miembros de SHPRC	
	1914 Método de coeficiente sísmico de Sano	1919 Ley de Edificación Urbana (UBL)
	1922 El método arriba citado reforzado por Naito	
1923 El Gran Kwanto	1925 Inst. de Inves. de Terremotos	1924 Introducción de k en UBL
	1926-1935 Debate flexible vs. rígido	

Terremoto	Código de Investigación y Diseminación	Código de Edificación
	1932 Método de valor D de Muto	1932 Introducción del Método de valor D en UBL
	1933 Norma de cálculo estructural para la estructura RC (AIJ)	
	1941 Norma de cálculo estructural para estructura de acero (AIJ)	
		1943 Norma de Tiempos de Guerra
		1947 Norma japonesa de edificaciones 3001
1948 Fukui		1948 UBL re- promulgada
	1959 Proyecto de edificaciones de pisos múltiples	1950 Ley de Normas de Edificaciones (BSL)
		1963 Abolido límite de altitud
1964 Niigata		
1968 Frente a Tokachi	1968 Terminado edificio de pisos múltiples	

1971 Norma de cálculo
estructural para
estructuras RC,
revisada (AIJ)

1972-1976 Proyecto
nacional sobre Método
de diseño sísmico
avanzado (MOC)

1978 Prefectura
Frente Miyagi

1981 BSL revisado

Tabla 2 Coeficiente estructural D_s para edificaciones de construcción de concreto reforzado

1. Comportamiento de los miembros
2. Tipo de armazón
3. (1) armazón de momento dúctil
4. (2) Otro armazón no listado en (1) ni en (3)
5. (3) Armazón con muros de cizallamiento o arrostramientos
6. A. Miembros de excelente ductilidad
7. B. Miembros de buena ductilidad
8. C. Miembros de regular ductilidad
9. D. Miembros de pobre ductilidad
10. Tabla 3 - Factor de perfil F_e por excentricidad de rigidez R_e
11. R_e
12. F_e
13. Menor de 0.15
14. Interpolación lineal
15. Más de 0.3

16. **Tabla 4 - Factor de perfil F_s por variación de rigidez lateral R_s**

17. **Más de 0.6**

18. **Interpolación lineal**

19. **Menos de 0.3**

Apéndice - Principales peligros sísmicos en Japón desde 1868

Año	Terremoto/magnitud	Area de epicentro
1872	Hamada 7.1 M	Shimane
1891	No-bi 8.0 M	Aichi/Gifu
1894	Bahía norte de Tokio 7.0M	Tokio/Yokohama
1894	Shonai 7.0M	Planicie Shonai, Yamagata
1896	Meiji Sanriku 8 1/2M	Prefectura frente a Iwate
1905	Geiyo 7 1/4 M	Hiroshima
1909	Anegawa 6.8 M	Anegawa, Shiga
1911	Cerca de la Isla Kikaijima 8.0 M	Isla Kikai-jima, Okinawa
1914	Akita Sempoku 7.1 M	Condado de Sempoku, Akita
1918	O-Machi 6.1M,6.5	O-machi, Nagano
1922	Bahía de Chiji-ishi 6.1, 6.5.	Shimabara, Nagasaki
1923	Gran Kwanto 7.9 M	Kanagawa
1925	Tajija Norte 6.8 M	Tajima Hyogo,
1927	Tango Norte 7.3 M	Kioto noroccidental

1930	Izu Norte 7.3 M	Norte de península de
1931	Saitama Occidental	Prefectura de Saitama Occidental
1933	Sanriku 8.1 M	Frente a Sanriku, Prefectura de Iwate
1935	Cerca de Shizuoka 6.4 M	Cerca de la ciudad de Shizuoka
1936	Kawachi Yamato 6.4 M	Osaka/Nara
1939	Oga 6.8 M	Península Oga, Akita
1943	Tottori 7.2 M	Ciudad de Totori
1944	To-nankai 7.9 M	Frente a Tokaido
1945	Mikawa 6.8 M	Prefectura de Aichi del Sur
1946	Nankai 8.0 M	Frente a Tokaido
1948	Fukui 7.1 M	Prefectura de Fukui
1949	Imaichi 6.4 M	Imaichi
1952	Frente a Tokachi 8.2 M	Frente a Tokachi
1960	Chile 8.5 Ms	Frente a Chile
1962	Prefectura de Miyagi Norte 6.5 M	Prefecture de Miyagi Norte
1964	Niigata 7.5 M	Frente a Niigata

1968	Ebino 6.1 M	Ebino, Miyazaki
1968	Frente a Tokachi 1968 7.9 M	Prefectura del este frente a Aomori
1974	Frente a la Península de Izu 1974	Al final del sur de la Península de Izu

Año	Daños
1872	Daños mayores a edificaciones (MJB) 5000 más de 600 muertos
1891	MJB 140,000' daños moderados a edificios (MDB) 800,000; muertos 7273
1894	Gran número de MJB y MDB; muertos 31
1894	MJB 3858; MDB 2397; edificaciones quemadas (BB) 2148; muertos 726
1896	Ningún daño a edificaciones por el terremoto. Daños por Tsunami: muertos 21,959; edificaciones perdidas 10,000; daños a embarcaciones 7,000. Altitud máxima de olas 38.2 mts.
1905	Daños mayores a viviendas (MJH) 64; muertos 11
1909	MJH 978; muertos 41
1911	MJH 422; muertos 12

- 1914 MJH 640; muertos 94
- 1918 MJB 22; MDH + daños menores a viviendas (MIH) 2852. Dos terremotos en un día.
- 1922 MJH 195; daños mayores a edificaciones no residenciales (MJN) 459; muertos 26
- 1923 Gran incendio en Tokio después del terremoto. Muertos + desaparecidos 142,000; MJH + MDH 254,000. Viviendas quemadas (BH) 447,000. Altitud máxima de Olas del Tsunami después del terremoto 12 mts.
- 1925 Muertos 428; MJH 1295, BH 2,180
- 1927 Muertos 2,925; MJH 12,584
- 1930 Muertos 272; MJH 2,165
- 1931 Muertos 16; MJH 207
- 1933 Daños menores por el terremoto. Daños debido al tsunami: muertos + desaparecidos 3,064,
Viviendas desaparecidas 4,034
Viviendas colapsadas 1,817
Altitud máxima de olas 28.7 mts.

1935	Muertos 9, MJH 363, MJN 451
1936	Muertos 9; MJH + MDH 148 Licuación observada
1939	Muertos 27, MJH 479
1943	Muertos 1,083; MJH 7,485, MDH 6,158
1944	Muertos + desaparecidos 1,223; MJH 17,599; MDH 36,250; No. de viviendas desaparecidas por el tsunami (HLT) 3,129. Altitud máxima de olas 6-8 mts.
1945	Muertos 2,306; MJH 7.221; MDH 16,555; MJN 9.187
1946	Muertos 1,330; MJB 11,591; MDB 23,487; HLT 1,451; BH 2,598, Altitud máxima de olas 4-6 mts.
1948	Muertos 3,769; MJB 36,184; MDB 11,816; BB 3,851
1949	Muertos 10; MJH 290; MDH 2,994, MJN 618
1952	Muertos 28; desaparecidos 5; MJB 815; MDB 1,324

- 1960 El tsunami atacó a la costa japonesa causando: Muertos + desaparecidos 142; MJB 1,500; MDB 2,000
- 1962 Muertos 3; MJH 340, MDH 1,114
- 1964 Muertos 26; MJB 1,960; MDB 6,640. Licuación en la ciudad de Niigata
- 1968 Muertos 3; lesionados 42; MJB 368; MDB 636
- 1968 Muertos 52; lesionados 330; MJB 673; MDB 3,004
- 1974 Muertos + desaparecidos 38; lesionados 102; MJB 134; MDB 240; BB 5.

REFERENCIAS

(I) Director, Departamento de Ingeniería Estructural, Instituto de Investigación de Edificaciones, Ministerio de Construcción, Tatehara 1, Ciudad de Tsukuba, Prefectura Ibaraki, Japón 305.