

DISEÑO SISMICO DE VIVIENDAS EN ZONAS SISMICAS

Tsuneo Okada

RESUMEN

Con motivo de la inauguración del Simposio Internacional sobre Seguridad Sísmica de la Vivienda de Bajo Costo, el autor presenta su concepto sobre el mejoramiento de la seguridad sísmica de la vivienda en zonas de actividad sísmica. Inicialmente, se revisan los daños recientes ocasionados por los sismos en el mundo, y en seguida se describen el concepto y la metodología del diseño sísmico, y se señala la necesidad de la cooperación internacional en el campo de la ingeniería sísmica.

INTRODUCCION

Se ha reconocido con insistencia que la disminución de los daños ocasionados por los sismos es importante para proteger a la población de los desastres naturales, y este ha sido seleccionado como primer punto del programa de la Década Internacional para la Reducción de Desastres. Entre varios tipos de daños debidos a los sismos, los daños a los edificios, especialmente a las viviendas, tendrían efectos graves en la sociedad, porque implican tanto la pérdida de bases sociales como a la pérdida de vidas humanas.

El hecho de realizar el Seminario Internacional sobre Vivienda de Bajo Costo, de cuatro días de duración, con motivo del establecimiento del Centro Nacional de Prevención de Desastres en México, es reflejo de una planeación muy oportuna. Dado que la vivienda se ha desarrollado en cada país de acuerdo con su particular historia, clima, cultura, economía, tecnología, y otros aspectos, estos confieren una característica especial al tipo de vivienda y sistema de construcción de cada país. No obstante, también hay muchos temas comunes desde el punto de vista del auxilio en casos de desastre.

Por ejemplo, se han construido en todo el mundo muchas casas de departamentos cuyos sistemas estructurales son similares, y la reciente ingeniería sísmica va a tener éxito en el desarrollo de un nuevo concepto de diseño sísmico que podría aplicarse a varios tipos de sistemas estructurales. Esta es la razón por la cual la cooperación internacional es necesaria y ahora se vuelve posible.

En 1985 el Gobierno Japonés envió al equipo de expertos en cooperación internacional en materia de cooperación técnica a colaborar en la restauración de los daños sísmicos ocasionados por el temblor de 1985 en México. En vista del éxito de la cooperación, el gobierno japonés estableció la Ley relativa al Despacho en Caso de Desastres en 1987, y envió al equipo de cooperación formado por los expertos en ingeniería sísmica, así como a los equipos de rescate y médicos a la República de Armenia, URSS, en 1988 y 1989, y a la República de Filipinas en 1990. Además de tal cooperación urgente, también se ha llevado a cabo la cooperación de largo plazo para ayuda en casos de desastre. Aquí se revisan los daños recientes ocasionados por los sismos en todo el mundo, incluyendo los daños sísmicos que el autor investigó como miembro del Equipo Japonés de Expertos en Auxilio en Casos de Desastre, y se describen el concepto y la metodología del diseño sísmico, así como la necesidad y posibilidad de cooperación internacional en materia de auxilio en casos de desastre.

DAÑOS SISMICOS SEVEROS RECIENTES

Después del temblor de 1985 en México, hubo muchos sismos que ocasionaron un gran número de víctimas, por ejemplo, el temblor en Armenia-Spitak en 1988, el temblor en Loma Prieta en 1989, el temblor en Irán en 1990, y el temblor en Filipinas-Luzon en 1990. La mayoría de los daños fueron ocasionados por el colapso de edificios. Aquí se describen brevemente los daños ocasionados por los temblores.

1) *Temblor de 1985 en México*

En la ciudad de México, a una distancia de cerca de 400 km del epicentro, el movimiento sísmico extremadamente amplificado ocasionó el colapso de más de 1,000 edificios y la muerte de más de 10,000 personas. Se advirtió en todo el mundo que dicha amplificación del movimiento sísmico en condiciones de suelo blando es muy peligrosa. También se observaron grandes diferencias, al interior de la ciudad de México, en los factores de amplificación del movimiento sísmico de acuerdo con las

condiciones locales del suelo. En la ciudad de México se obtuvieron cuando menos ocho grupos de acelerogramas, que han sido muy útiles para las medidas preventivas de la resistencia sísmica después del temblor.

Los registros mostraron que las características de la frecuencia del movimiento sísmico eran similares a las esperadas en las claves del diseño sísmico. No obstante, los niveles del movimiento estuvieron muy por encima del nivel del movimiento sísmico del diseño en las claves estimadas sobre la base de los acelerogramas de los temblores pasados. Por lo tanto, se revisaron de inmediato las claves sísmicas considerando tales características.

Respecto a la vivienda, los daños a los modernos y elevados edificios de departamentos, tales como Nonoalco-Tlatelolco, a los edificios de departamentos de baja altura, y a las viviendas unifamiliares de estructuras de mampostería de ladrillo con o sin bastidores de concreto reforzados, fueron notables y la falta de ductilidad fue señalada como una de las causas de los daños. Las casas de departamentos construidas con técnicas modernas de construcción tendrían la capacidad sísmica suficiente como resultado del mejoramiento de las claves sísmicas. Sin embargo, es necesario y muy importante tener más información acerca de la fuerza y ductilidad de las estructuras de mampostería de ladrillo con o sin bastidores reforzados de concreto para mejorar el desempeño sísmico de tales estructuras.

2) Temblor de 1988 en Armenia-Spitak

El temblor, que ocurrió en la parte norte de la República de Armenia, en la URSS, causó la muerte de más de 40,000 personas, y esta es la cifra más elevada de muertes ocasionadas por el colapso de estructuras de edificios de gran altura en este siglo. Desde el siglo once no había ocurrido en este distrito un temblor de una magnitud de 7.0. La razón de edificios dañados en la ciudad de Spitak, que tenía una población de alrededor de 20,000 habitantes, y estaba localizada exactamente arriba del hipocentro, fue de casi 100%, y la razón correspondiente a la ciudad de Leninakan, que tenía una población de 300,000 habitantes y se localizaba a 35 km de distancia del epicentro, se estimó en 80 por ciento.

Los métodos de diseño y construcción de las casas de departamentos que sufrieron los daños más severos fueron estandarizados en los siguientes cuatro tipos de estructuras:

- I) Estructuras de concreto reforzado pre-vaciadas de 9 pisos;
- II) Estructuras de mampostería reforzada de 4-5 pisos;
- III) Estructuras de panel de concreto reforzado pre-vaciado de 9 pisos;

- IV) Estructuras elevadas de concreto reforzado de 16 pisos.

La mayoría de las construcciones en el distrito dañado eran del tipo I) o II). La mayoría de las muertes fueron ocasionadas por el colapso de casas de departamentos, edificios de oficinas o escuelas con ese tipo de estructuras. Hubo unos cuantos edificios del tipo III) en el distrito dañado, y los daños fueron leves. Sólo había dos edificios del tipo IV) en el distrito dañado, y los daños fueron muy severos. Las principales razones de los daños fueron:

- 1) El nivel del movimiento sísmico supuesto en el diseño sísmico fue demasiado bajo. El valor máximo de la aceleración del diseño en la ciudad de Spitak se definió como 100 gals. No obstante, se estimó a través de la observación de los daños, que la máxima aceleración sísmica sería de más de 500 gals. La máxima aceleración sísmica observada en la ciudad de Gukasian, que se localiza a una distancia de alrededor de 50 km del epicentro, fue de 188 gals.
- 2) La calidad de construcción de las juntas en las estructuras de concreto reforzado pre-vaciadas era mala. Por lo tanto, la fuerza y ductilidad de las barras de refuerzo no contribuyó a aumentar la capacidad sísmica de las estructuras.
- 3) Las estructuras de mampostería reforzadas no tenían la fuerza y ductilidad suficientes.

En la ciudad de Yerevan, que es la capital de la República de Armenia, está situada a una distancia de cerca de 100 km del epicentro, y tiene una población de un millón de habitantes, hubo daños severos ocasionados por el sismo. Sin embargo, es muy importante reforzar los edificios, incluyendo los que están en construcción, porque en esta ciudad se construyeron muchos edificios con los mismos sistemas estructurales que los del distrito dañado. En este momento, ya se tomó la medida urgente y temporal de limitar a cuatro o menos el número de pisos de las construcciones en el distrito dañado.

3) Temblor de 1989 en Loma Prieta

Se reportaron daños extensos en el área de la Bahía de San Francisco, así como en la región epicentral. Los daños tales como el colapso del Puente de la Bahía y dos plataformas de dos pisos de concreto reforzado de una autopista, destacan entre los daños clasificados como de tipo urbano. Esto fue similar al caso del temblor de 1985 en México, porque los daños a las estructuras construidas sobre terreno blando fueron notables. Respecto a la vivienda, los daños a las casas unifamiliares de madera de 4 ó 5 pisos fueron ocasionados por la licuefacción del suelo, y las fallas en el primer piso fueron causadas por la vibración; los daños se concentraron en el primer piso porque éste tiene una estructura extremadamente débil y una baja rigidez en comparación con los otros pisos. Estos daños fueron notables en San Francisco.

4) Temblor de 1990 en Irán

El Gobierno de Irán informó que el colapso de las casas de mampostería ocasionó la muerte de más de 80,000 personas.

5) Temblor de 1990 en Filipinas-Luzon

El temblor, de una magnitud de 7.7 grados, ocurrió en la parte media de la Isla Luzon en la República de Filipinas, el 16 de julio de 1990. Los daños de los edificios altos de concreto reforzado, principalmente en la ciudad turística de Baguio, ocasionaron la muerte de casi 2,000 personas. Las fallas de la licuefacción en el suelo en la ciudad de Dagupan, que da al mar, ocasionaron la inclinación y el hundimiento

de los pilares del puente, como consecuencia de la licuefacción del suelo, y hubo una suspensión del tráfico ocasionada por los derrumbes. El deslizamiento de la falla con un desplazamiento de casi 5 metros a lo largo de 50 km aproximadamente, apareció en la superficie del terreno.

- I) Los edificios colapsados no tenían la ductilidad suficiente requerida por la clave del diseño sísmico.
- II) No se tomaron medidas para combatir la licuefacción del suelo.

Las anteriores son las principales razones de los daños.

Es muy difícil discutir cuantitativamente el movimiento sísmico, porque no se instaló ningún acelerómetro de movimientos fuertes en la Isla de Luzon. Es urgente instalar una red de observación de movimientos fuertes.

Se reportaron daños importantes a los edificios comerciales tales como hoteles y oficinas, edificios públicos, tales como escuelas, y redes de tráfico, tales como puentes. Por otro lado, no se aclararon los detalles de los daños a las casas. Los daños individuales a las casas no parecían ser muy severos, pero el número de casas con daños leves se estimó en varios cientos de miles. Por lo tanto, la cantidad de daños a viviendas sería enorme.

En la ciudad de Manila, que es la capital de la República de Filipinas, los daños no fueron tan severos debido a su larga distancia del epicentro. No obstante, es urgente aplicar medidas preventivas en las casas de departamentos altas de la ciudad, porque éstas también se diseñaron de acuerdo con las claves del diseño sísmico utilizadas en los edificios altos dañados por el temblor.

Concepto de Diseño Sísmico para Estructuras de Vivienda

Con las lecciones de los daños destructivos recientes de los temblores y con el desarrollo de la sismología y la ingeniería sísmica, recientemente se ha dado a conocer un concepto básico de diseño para las fuerzas sísmicas. Es necesario

introducir este concepto a una clave de diseño sísmico para los edificios de viviendas con el fin de proporcionar la suficiente seguridad sísmica a las casas de bajo costo.

1) Concepto de Diseño Sísmico

Un concepto básico de diseño para las fuerzas sísmicas es proporcionar a las estructuras la fuerza y ductilidad suficientes para que puedan sobrevivir a los temblores fuertes. El hecho de que debe proporcionarse una alta ductilidad a una estructura de poca fuerza, mientras que se requiere una gran fuerza en estructuras con baja ductilidad, es bien aceptado. Generalmente se introduce este concepto en diversas claves sísmicas. Por ejemplo, en México, el coeficiente de cortante de base, C_B , requerido en una estructura, se especifica como sigue:

$$C_B = C / Q$$

en donde,

- C: coeficiente de la fuerza sísmica (espectro de aceleración del diseño),
Q: coeficiente de ductilidad, dependiendo del tipo de estructura.

Este formato se basa en el concepto de que la fuerza de cortante de base puede reducirse dependiendo de la ductilidad de una estructura, y es común en un procedimiento de diseño cuando se diseña una estructura usando el análisis de respuesta sísmica no-lineal. Este concepto puede formularse como sigue:

Fuerza y Ductilidad Respuesta Sísmica

2) Procedimiento del Diseño de Estructuras de Vivienda

Las estructuras de vivienda pueden clasificarse de acuerdo con las tres categorías mencionadas a continuación:

- (1) Casas de departamentos construidas con un método moderno de diseño;

- (2) Casas individuales construidas con un método de diseño convencional característico del país;**
- (3) Casas de departamentos construidas con una combinación de los dos métodos de diseño anteriores.**

En general, los edificios asignados al tipo (1) son edificios medianos a altos de concreto reforzado o acero y los asignados al tipo (2) son edificios bajos construidos con ladrillos, madera, o adobe producidos cerca del lugar de la construcción. El concepto básico de diseño previamente mencionado puede aplicarse generalmente a estas diferentes estructuras. No obstante, debe enfatizarse que las siguientes estructuras, que son distintas, pueden ser aceptables dependiendo del tipo de estructura:

- (a) Procedimiento de diseño basado en el desempeño sísmico requerido;**
- (b) Procedimiento de diseño basado en las especificaciones estructurales.**

El procedimiento (a) especifica el desempeño sísmico requerido en una estructura y el desempeño debe confirmarse con base en, por ejemplo, los resultados obtenidos del análisis de las fuerzas laterales estáticas o dinámicas. El procedimiento (b), más que confirmar el desempeño a través del cálculo, especifica, por ejemplo, el tamaño de las columnas, la cantidad de muros, y los detalles de la construcción, etc.

El procedimiento (a) puede aplicarse a los edificios de tipo (1), independientemente del lugar de la construcción. La seguridad estructural puede evaluarse desde las fuerzas sísmicas del diseño determinadas a partir de la sismicidad en el lugar de la construcción considerado y los criterios de diseño determinados a partir de las características de la estructura, por ejemplo, las características de la vibración, la fuerza, y la ductilidad.

El procedimiento (b) puede aplicarse generalmente a los edificios del tipo (2). En este caso, los criterios del diseño deben ser iguales a los requeridos en los edificios del tipo (1). No obstante, puede ser difícil confirmar el desempeño sísmico a partir del análisis numérico y, en consecuencia, el que sea favorable para regular las

especificaciones estructurales que proporcionen suficiente seguridad sísmica en los edificios resultantes, siempre y cuando la estructura se diseñe de acuerdo con las especificaciones. Desde luego que se requiere investigar y discutir exhaustivamente las especificaciones estructurales reglamentarias. El procedimiento (b) se adopta para las casas de madera en Japón, que se asignan al tipo (2), donde se especifican los requisitos mínimos del área seccional de los muros en una unidad del área del piso y los detalles de los muros estructurales. Un procedimiento de diseño análogo se aplica en Japón a las estructuras de concreto reforzado con bastidor cuadrado en forma de caja y a las estructuras de mampostería reforzadas.

Puede aplicarse una combinación de los procedimientos (a) y (b) a las construcciones de tipo (3).

3) Cooperación Internacional sobre la Seguridad Sísmica de las Estructuras de Vivienda

Para desarrollar una clave sísmica para las estructuras de vivienda con base en el concepto básico prescrito, es necesario considerar tres puntos esenciales que se describen a continuación:

- (1) La estimación precisa de las características de los movimientos sísmicos y de las correspondientes fuerzas de diseño sísmico en el lugar de la construcción considerado,
- (2) Los criterios de diseño para evaluar la seguridad estructural, y
- (3) Las especificaciones estructurales para las estructuras características de cada país.

Debe señalarse que en cada país los esfuerzos deben dirigirse básicamente hacia los tres puntos mencionados anteriormente, considerando las condiciones culturales, económicas y de construcción, pero también el hecho de que la cooperación internacional en problemas comunes a varios países, el intercambio de información y las discusiones mutuas, pueden ser de gran ayuda para comprender mejor los problemas comunes y para el desarrollo de una clave para el diseño sísmico racional.

OBSERVACIONES FINALES

Recientemente se ha reconocido la importancia de la cooperación internacional en numerosos campos. Los desastres naturales pueden ocurrir en cualquier lugar y, desde este punto de vista, los proyectos de investigación cooperativa internacional pueden jugar una función importante para aliviar los desastres, especialmente en el campo de la ingeniería sísmica. El autor opina que los intercambios de información y las discusiones mutuas en este seminario pueden ser muy efectivos para el futuro alivio de los desastres.