

MICROZONIFICACION EN APLICACIONES DE INGENIERIA

Tadao Minami (*)

RESUMEN

En los recientes terremotos destructivos que han ocurrido en todo el mundo, se han observado los efectos de las condiciones del suelo local por el daño a las edificaciones; lo que nos proporciona fundamentos firmes de la necesidad de microzonificaciones. En Japón se introdujeron ejemplos de análisis de riesgo y microzonificaciones de edificaciones y un estudio de su practicabilidad. He llegado a la conclusión de que se requirió mucha labor y cálculos para obtener las estimaciones reales y detalladas aun en partes de regiones limitadas; todavía tenían algunas incertidumbres y desviaciones de los fenómenos reales. Aunque no podemos esperar mucha confianza en la exactitud y confiabilidad de los análisis de riesgo y microzonificación actualmente, proporcionan los medios para las medidas antisísmicas; el diseño antisísmico de nuevas edificaciones, inspección de capacidad antisísmica de edificaciones existentes, determinaciones de los daños de diferentes instalaciones, etc. Para nosotros es muy importante adoptar un método adecuado para la microzonificación con diferentes niveles de sofisticación para cada propósito definido.

INTRODUCCION

El daño a las edificaciones que produce un terremoto, en general disminuye con el aumento de las distancias desde el epicentro. Por otra parte, si vemos una distribución local del movimiento de la intensidad del movimiento de la tierra dentro de una región relativamente pequeña de los terremotos pasados, observamos que con frecuencia se desvía grandemente de la distribución normal; el hecho de la indicación de la formación de suelo de sitios diferentes proporciona una gran influencia en los movimientos de la tierra.

Por estas razones, muchos Gobiernos locales de Japón han utilizado los efectos de amplificación de los suelos de superficie con el propósito práctico de estimar los daños causados por el terremoto dentro de sus territorios a las edificaciones, a las instalaciones de ingeniería civil, a los sistemas de tráfico, a las redes de comunicaciones y líneas vitales de comunicación, etc. Recientemente, se hicieron esfuerzos para incluir los efectos fuente así como los efectos de atenuación de las ondas sísmicas y los efectos de amplificación de los suelos de superficie en su microzonificación.

También, la Dirección del comité mancomunado de IAEE (Asociación Internacional de Ingeniería Sísmica) y de LASPEI (Asociación Internacional para la Sismología y Física del Interior de la Tierra) han estudiado los efectos de la geología de superficie en fuertes movimientos de tierra. Han nominado dos campos de prueba internacionales, la Planicie Turca de California y el Valle Ashigara de Japón, y están planeando llevar a cabo un simposio internacional en marzo de 1992, en el que los participantes competirán en la predicción de fuertes movimientos de la tierra de suelos aluviales de pequeños registros medidos en las colinas rocosas circundantes. Se espera que se puedan desarrollar métodos poderosos para estimar los fuertes movimientos terrestres en sitios con geología completa de superficie, valles, cuencas, colinas, etc.

En las siguientes secciones, presentaré fundamentos generales y ejemplos recientes de la microzonificación en Japón. Finalmente, daré mis comentarios personales sobre la utilización y limitaciones de las microzonificaciones en las aplicaciones de ingeniería.

EFFECTOS DE CONDICIONES DE SUELO LOCAL EN FUERTES MOVIMIENTOS DE TIERRA

Las grandes ciudades de Japón han sido desarrolladas en suaves planicies aluviales en la costa o en cuencas de tierra adentro. Después de cada terremoto desastroso, han sido señaladas fuertes correlaciones entre el daño a las casas de madera y la profundidad de los suelos aluviales en la superficie de la tierra. En la Figura 1 se muestra el índice de daños de las casas de madera que se observó en el Gran Terremoto de Kanto, en comparación con la profundidad de los suelos aluviales de a) Tokio metropolitano y b) la ciudad de Yokohama. El índice de daños se define como el porcentaje de casas colapsadas en Tokio metropolitano y el de las casas colapsadas más la mitad de las casas fuertemente dañadas de la ciudad de Yokohama. Obviamente, el índice de daños aumenta cuanto más profundos son los suelos aluviales.

El Dr. K. Kanai midió los microtemblores en cientos de lugares del área donde fueron dañadas las casas de madera por los terremotos pasados y concluyó que los fuertes daños observados en los terrenos con períodos predominantes de cerca de 0.4 seg que se consideran que son el período natural promedio de las casas de madera. También mencionó que en la ocasión del terremoto de Kanto en 1923, se encontró daño relativamente fuerte enfrente de los pequeños valles de Tokio metropolitano. Existe el hecho que indica efectos dimensionales de 2- o 3- de paisaje local en fuertes movimientos de tierra.

También, se reportaron marcadas diferencias en el daño estructural dentro de una región relativamente pequeña en los terremotos recientes. En el terremoto de Michoacán de 1985, en el centro de la ciudad de México, que está situada a casi 400 kms del epicentro, sufrió fuertes daños en las edificaciones. El centro de la ciudad de México solía estar en un lago y ha sido llenado durante cientos de años, siendo famoso por sus suelos aluviales muy suaves (Zona III). No se observaron daños severos en las regiones cerriles de los alrededores (Zona I). Son obvias las grandes diferencias del movimiento de la tierra al compararlas con los registros del fuerte movimiento de tierra obtenido en la Zona Lacustre y en la Zona Cerril. El período predominante de amplitud y el tiempo de duración son mayores en los registros medidos de la Zona Lacustre que en la Zona Cerril.

Se pudieron detectar marcadas diferencias en los movimientos de la tierra por una serie de mediciones de microtemblores hechos en la línea este-oeste con una longitud de cerca de 30 kms a través del centro de la ciudad de México. Hablando de manera general, los períodos predominantes y las amplitudes de desplazamiento son de 10 y 100 veces más grandes en la parte media de la Zona Lacustre (No. 11-13) que en la Zona Cerril (No. 1-3-19).

La Figura 4 muestra la intensidad relativa del movimiento de la tierra en San Francisco durante el terremoto de San Francisco de 1906; sacudidas más violentas son observadas en Marina, Embarcadero, en el Mercado del Sur y en los distritos de la Misión. En ocasión del terremoto de Loma Prieta de 1989, los daños estructurales relativamente fuertes se observaron exactamente en las mismas cuatro áreas: El desastre del terremoto se repite cada vez en esa parte específica de terreno.

El distrito de Marina tiene una historia parecida a la de la Ciudad de México. Esta área todavía era una laguna en 1906. Se llenó para proveer el espacio para la Exposición Internacional Pacífico-Panamá de 1915 y después se volvió un área residencial. Varias casas departamentales de cuatro pisos con estructura de maderámen en el norte de Marina se colapsaron durante el terremoto de Loma Prieta de 1989. Una vez más, es obvia la marcada diferencia en el período predominante y de amplitud en los registros medidos en el lado norte.

EJEMPLOS DE MICROZONIFICACION Y ANALISIS DE RIESGOS EN TOKIO

Para incorporar las medidas administrativas para la mitigación del desastre por terremotos, los gobiernos locales de Japón han llevado a cabo análisis de riesgos y de microzonificación dentro de sus territorios durante los pasados 30 años. Las metodologías usadas en los análisis son algo similares en que: I) primero estiman la intensidad de los movimientos de la tierra referidos principalmente a los efectos de amplificación dimensional de las capas del suelo de superficie, después, II) realizan la determinación de los daños de las estructuras, sistemas de líneas vitales de comunicaciones, tráfico, vidas humanas, actividades socioeconómicas, etc., finalmente III) integran los índices de daños de los diferentes tipos de daños para obtener los mapas de riesgo total. Como un ejemplo de los esfuerzos realizados por los gobiernos locales de Japón, se ilustra un mapa de las aceleraciones de tierra

maximas estimadas en Tokio metropolitano en mallas de 500 mts. Este mapa fue hecho con los siguientes procedimientos:

- I) Un registro de fuerte movimiento de tierra medido en un terremoto similar al Gran Terremoto Kanto, esto es, componente N-S de los registros Hachinohe obtenidos en la ocasión del terremoto Tokachi-oki de 1968, fue transportado por la teoría de la propagación de ondas dimensionales en las olas incidentales de los movimientos de lechos de rocas de Hachihoe.
- II) Siendo modulados por una ley empírica de atenuación de ondas sísmicas, se consideran ondas incidentales en los lechos de rocas en diferentes lugares del área de Tokio.
- III) Después, calcularon las respuestas elásticas plásticas de la tierra con mallas típicas de cerca de 40 por la teoría de la propagación de la onda dimensional. Haciendo referencia a los espectros de respuesta del terremoto para estos movimientos de tierra, finalmente clasificaron los movimientos de tierra superficial en Tokio metropolitano en 22 tipos.

La intensidad de la sacudida de tierra es relativamente alta en la planicie aluvial del este y baja en las altas tierras occidentales, unas cuantas mallas en el oeste con extremadamente alta intensidad muestran la existencia de pequeños valles aluviales entre la tierra alta. Esto es consistente con la distribución de daños en los pasados terremotos destructivos.

Con base en los movimientos de tierra calculados, los análisis de respuesta elástica-plástica de las edificaciones se hicieron más extensamente para las casas de madera, las edificaciones de concreto reforzado y acero. La Figura 7 muestra el mapa de riesgos totales de las edificaciones. El daño debido a la posible licuación de arena y desprendimientos también se incluyó en los resultados finales. Se elaboraron mapas de riesgos similares para las conflagraciones, pérdidas de vidas humanas y evacuaciones.

CONFIABILIDAD EN LAS MICROZONIFICACIONES

Fue verificada la confiabilidad y validez de la microzonificación con diferentes niveles de sofisticación para compararlas con la relación de daños de las casas de madera en la ciudad de Sendai durante el terremoto Miyagiken-oki de 1978.

Para construir los modelos de capas de suelo apropiado dentro de la ciudad de Sendai, primero fue recopilada la información sobre perforación, taladrado de pozo profundo y pruebas de penetración normal, así como pruebas de prospección sísmica y observaciones subterráneas del terremoto; después, se efectuaron extensas mediciones del microtemblor en más de 100 puntos para interpolar la información recopilada. Utilizando los modelos de la capa de suelo, el componente NS del registro del fuerte movimiento de tierra obtenido en la Universidad de Tohoku durante el terremoto de Miyagiken-oki primero fue transformado en ondas incidentales en el lecho rocoso y después modulado en movimientos de tierra en diferentes lugares de la ciudad de Sendai con la teoría de la propagación de una onda dimensional.

Como el método más convencional, la relación de daños sencillamente fue comparada con los tipos de suelo (I-IV) definidos en el Código Japonés de Edificaciones. Dependen esencialmente de la profundidad de los suelos aluviales (I: poco profundo, IV: profundo). Asignando valores particulares a las relaciones de daño promedio para cada tipo de suelo por una regla empírica apropiada. Existen fluctuaciones extremadamente grandes en las relaciones de daño observadas para un tipo particular de suelo; este método tan sencillo es inadecuado para propósitos prácticos.

Por otra parte, como una medida para la evaluación de los daños causados a las casas de madera, modificamos y redefinimos la intensidad espectral, que primero fue propuesta por Housner, debido al área encerrada por los espectros de respuesta de velocidad con relación de amortiguación del 5% entre los períodos de 0.1 y 1.5 segundos. Dado que no existe ninguna fórmula empírica entre los daños a las casas de madera y la intensidad espectral de los movimientos de tierra, el factor de correlación fue ajustado de tal manera que tenga la correlación máxima entre las relaciones de daños observado y estimado. Las relaciones entre las relaciones de

daños observados y de intensidades espectrales calculadas en diferentes áreas de la ciudad de Sendai tuvieron menos fluctuaciones.

Finalmente, debido al método más sofisticado de análisis de riesgos, las relaciones de daños de las casas de madera fueron estimadas por análisis de respuesta elástica-plástica. Haciendo referencia a la información existente sobre casas de madera de Japón, primero establecimos las propiedades dinámicas de las casas de madera (por ejemplo, períodos naturales, resistencia de empuje y reglas histeréticas) y su distribución estadística; después, la cantidad calculada de la deformación plástica (factores de ductilidad) para cada movimiento de tierra de la ciudad de Sendai; el daño total estimado para las casas de madera de cada región basado en las deformaciones plásticas calculadas, fue comparado con las relaciones de daños observados. Los resultados muestran menos fluctuaciones en relación entre las relaciones de daño estimado y el observado. Sin embargo, en promedio, las relaciones de daño fueron mayores en la estimación que en la observación; las razones debidas a incertidumbres en muchas suposiciones y métodos empleados en la estimación de los movimientos de tierra, el modelado estructural, los modelos estadísticos de las propiedades dinámicas de las casas de madera, medidas para el daño estructural de las respuestas calculadas, etc.

Se debe hacer notar que nuestro estudio de la ciudad de Sendai fue realizado unos cuantos años después de que ocurriera el terremoto de Miyagiken-oki de 1978; el mecanismo fuente del terremoto fue algo que determinaron únicamente los sismólogos, en la ciudad de Sendai estaban disponibles los registros del fuerte movimiento de tierra. Se hicieron investigaciones adicionales en exploraciones sísmicas y observaciones sísmicas después del terremoto. Se estudió extensamente el daño estructural a las casas de madera. Estos antecedentes nos brindaron una gran ventaja para hacer la microzonificación y los análisis de riesgos en el área objetivo. No obstante, las relaciones entre las relaciones de daño calculadas y observadas por los tres métodos usados en este estudio, mostraron diferentes niveles de discrepancia, que serían mucho más altos para futuros terremotos destructivos. También hay que hacer notar que se requirieron grandes esfuerzos para mejorar la exactitud de la estimación; las medidas del microtemblor de mallas densas, la construcción de los modelos de la capa de suelo fuera del área objetivo, el análisis de

respuesta del terreno en muchos puntos del área, el análisis de respuesta elástica-plástica de las casas de madera, etc.

COMENTARIOS DE CONCLUSION Y DISCUSION

Es claro por las evidencias que tenemos de los terremotos destructivos recientes en todo el mundo, que son las condiciones del suelo local las que proporcionan grandes efectos en el daño a las edificaciones. Este hecho debe ser considerado en cada fase de las medidas antisísmicas para las edificaciones; el diseño antisísmico de nuevas edificaciones, la inspección de capacidad antisísmica de las edificaciones existentes, la estimación de daños por futuros terremotos destructivos.

En el Código de Construcción actual de Japón, se trata como los tipos de suelo I, II y III que dependen esencialmente de la profundidad de los suelos aluviales y reflejan el perfil de los espectros de diseño: No es fácil en la práctica, sinembargo, definir la profundidad de los suelos aluviales y encontrar la correlación con el perfil del espectro de respuesta en cada sitio de construcción en particular. En contraste, la clasificación más definida se encuentra en el Código de Construcción de la Ciudad de México, en el que, la zona cerril, la zona momentánea y la zona lacustre están claramente especificadas en un mapa.

Esto sugiere la posible aplicación del diseño antisísmico de edificaciones en el futuro; cada gobierno local provee sus propios mapas de microzonificación para fines de diseño y son ajustados por el código de construcción uniforme.

La guía de inspección japonesa para la capacidad antisísmica de los edificios existentes, sólo ofrece los medios para evaluar la capacidad antisísmica de edificios, pero no especifica la intensidad de los movimientos telúricos en diferentes tipos de suelo. Recientemente, el Gobierno de la ciudad de Kawasaki modificó la Guía y especificó las intensidades de los temblores en la ciudad de Kawasaki, con la finalidad, limitada de inspeccionar la capacidad antisísmica. Este tipo de movimientos se espera que se amplie a numerosas Gobierno locales del Japón en el futuro cercano.

Actualmente, la microzonificación y los análisis de riesgo es lo que adoptan más comúnmente los Gobiernos locales del Japón, en términos administrativos; planeación urbana y respuesta urgente inmediatamente después del temblor. Con objeto de tomar en consideración los efectos de las condiciones locales del suelo, el tamaño de las regiones para microzonificación no puede ser muy grande. Como

resulta clara a partir de nuestro estudio de factibilidad en análisis de riesgo y microzonificación en la ciudad de Sendai, es también cierto que se requiere de mucha mano de obra y automatización para lograr estimaciones realistas y detalladas en un área limitada; en alguna, medida, contienen datos inciertos y desviaciones fenómeno actual. Por lo tanto, hemos de evitar esperar demasiado o confiar demasiado en la exactitud y confiabilidad de la evaluación de daños a diversos tipos de instalaciones, en la actual etapa en que se encuentran el conocimiento y la técnica, en la que las ubicaciones exactas, la magnitud y otros parámetros fuente del siguiente terremoto que signifique un desastre, no pueden predecirse con precisión. Esto no niega la necesidad y la utilidad de la microzonificación.

Debe utilizarse como medida antisísmica para futuros terremotos destructivos; deben elegirse los métodos de microzonificación para cada propósito en particular y para las aplicaciones correspondientes.

REFERENCIAS

1. H. Kawasuni, "Correlations between Seismic Intensities and Soil Conditions in Tokyo", *Kenchiku-Zashi*, No. 773, 1951.
2. S. Omote y S. Miyamura, "Correlations between Damage Distribution and Soil Conditions in Yokihama and Nagoya", *Kenchiku- Zashi*, No. 773, 1951.
3. K. Kanai et al, "On Microtremors, X (Earthquake Damage to Wooden Houses)", *Bull. Earthquake Research Inst., Universidad de Tokio*, Vol. 44, Parte 2, pp. 645-696, 1966.
4. H. Kobayashi et al, "Report on Seismic Microzoning Studies of the Mexico Earthquake of september 19, 1985", *La Facultad de EStudios Superiores de Nagatsuta, Instituto Tecnológico de Tokio*, 1986.
5. H. Kameda edd., "Loma Prieta Earthquake of october 17, 1989; Reconnaissance Report", *Natural Disaster Science Report*, con el apoyo del Ministerio Japonés de Educación, Ciencia y Cultura, pp. 123-127, 1990 (en japonés).
6. "Earthquake Risk Maps in your Town", *Oficina de Planeación Urbana del Gobierno de Tokio*, 1984.
7. Y. Osawa et al, "Evaluation of the Damage to Wooden Houses Caused by the 1978 Off-Miyag prefecture Earthquake", *Natural Disaster Science*, Vol. 8, No. 1, pp. 1-27, 1986.

(*) Maestro, Instituto de Investigaciones Sísmicas, Universidad de Tokio.