

MEDIANTE EL MÉTODO DIRECTO DE ELEMENTOS DE CONTORNO (MEC)

S. Álvarez-Rubio ⁽¹⁾, J.J. Benito ⁽²⁾, E. Alarcón ⁽³⁾

(1) EUIT Industrial. UPM, (2) E.T.S.I. Industriales. UNED, (3) E.T.S.I. Industriales. UPM

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos de la aplicación del Método Directo de Elementos MEC a la estimación de funciones de transferencia, que reflejan la respuesta sísmica en emplazamientos situados en el valle sedimentario del Volvi, localizado al noroeste de la ciudad de Salónica en Grecia. Es un emplazamiento de gran interés en el estudio del efecto de sitio, debido a la amplia y detallada información que se tiene sobre su geología superficial y sobre las propiedades dinámicas de los materiales, así como de la estructura topográfica sub y superficial. El análisis del efecto de emplazamiento se ha llevado a cabo sobre modelos del valle diseñados, basados en la información anteriormente mencionada. Mediante el ensayo sobre estos modelos que presentan diferentes grados de complejidad en cuanto a su composición y geometría, se han analizado diversos aspectos del fenómeno local que tiene lugar en el emplazamiento.

Las características de esta aplicación han permitido validar la idoneidad del MEC para el cálculo de la respuesta espectral, en emplazamientos reales situados en medios caracterizados por condiciones locales complejas. Para ello se han comparado las estimaciones obtenidas, con resultados teóricos y empíricos publicados en la literatura. Como consecuencia de estos análisis, se han estimado valores de amplificación y de sus frecuencias asociadas que pueden ser aplicadas en la deducción de modelos de movimiento de este emplazamiento.

Una de las dificultades a la hora de la aplicación de las técnicas numéricas, para estimar el movimiento del suelo sobre estructuras en presencia de medios complejos y grandes dimensiones, es la potencia de cálculo que requiere la resolución del método. En este trabajo se han analizado modelos más simplificados con un proceso de cálculo menos costoso, y que sin embargo pueden servir para caracterizar globalmente el movimiento del suelo en el emplazamiento. También mediante este estudio de modelos equivalentes se pueden realizar estimaciones aproximativas de la respuesta sísmica en aquellas regiones donde la información geotécnica y topográfica es escasa.

Las simulaciones que se han llevado a cabo han sido producto de la incidencia de ondas normales SV de amplitud unidad pertenecientes al rango espectral de 0 a 5 Hz. Los factores de amplificación son los correspondientes a emplazamientos en suelo frente a aquellos situados en roca.

METODOLOGÍA

ECUACIÓN ELASTODINÁMICA

$$C_{jil}(x, \omega) u_i(x, \omega) + \int_{\partial D} T_{jil}(x, y, \omega) u_l(y, \omega) ds(y) = \int_{\partial D} U_{jil}(x, y, \omega) t_l(y, \omega) ds(y) \quad x \in D \quad y \in \partial D \quad i, j = 1, 2$$

RESOLUCIÓN NUMÉRICA MEC

$$\sum_{k=1}^K H_{ji}(l, k) u_i(k) = \sum_{k=1}^K G_{ji}(l, k) t_i(k)$$

Se obtienen los desplazamientos (u) y las tensiones (t) espectrales en el emplazamiento

RESPUESTA SÍSMICA ESTIMADA SOBRE LOS DISTINTOS MODELOS DEL VALLE ANALIZADOS

CONCLUSIONES

- Se han validado las estimaciones de la respuesta sísmica obtenida con el MEC, con aquellas derivadas de la aplicación de un método numérico híbrido de elementos finitos y espectrales (Faccioli et al., 1998)
- Se ha comparado la respuesta sísmica estimada sobre la superficie del valle mediante el MEC, con aquella extraída de la aplicación de técnicas instrumentales basadas en datos registrados sobre el mismo (Riepl et al., 1988). Se han ratificado los factores de amplificación del orden de 10 que se observan en los registros.
- En las simulaciones teóricas, se produce una distribución espacial de los picos de amplificación en el centro y en los bordes del valle, que es análoga a la descrita en los estudios empíricos, y que está correlacionada con los rasgos más significativos de la topografía subsuperficial.
- Se ha encontrado un modo de vibración en el entorno de 1 Hz que afecta uniformemente al centro del valle. En el resto del espectro, la respuesta sísmica presenta una gran variabilidad espacial a lo largo de toda la superficie, de tal forma que las frecuencias propias de las distintas capas de la estructura del valle quedan enmascaradas en una respuesta espectral promediada.
- Para el rango de frecuencias por encima de 1.5 Hz se ha obtenido que, en algunas zonas del valle, la componente vertical experimenta amplificaciones que no son despreciables respecto de las estimadas sobre la componente horizontal. Este efecto tiene incidencia en la aplicación de algunas técnicas experimentales para el estudio del efecto local.
- De la comparación de las respuestas obtenidas sobre los distintos modelos cabe resaltar las siguientes conclusiones:

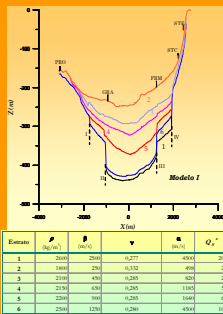
Se ha estimado un modo fundamental de vibración en el entorno de 1 Hz, común a todos los modelos analizados. En cuanto a las simulaciones realizadas sobre los modelos monocapa, éstos infravaloran las amplificaciones estimadas en el modelo multicapa. Además se ha observado una incidencia de las distintas simplificaciones realizadas sobre la geometría, en la variabilidad espacial de la respuesta.

Como consecuencia del análisis de las distintas respuestas obtenidas y las características de cada modelo, se ha puesto de manifiesto una relación directa entre la amplificación de la respuesta y la composición del material, corroborando así otros resultados conocidos en la literatura respecto del efecto de la geología en el movimiento del suelo. Por otro lado, los resultados apuntan hacia la influencia de la topografía subsuperficial en la variabilidad espacial del efecto local. En la literatura se ha hecho referencia a este efecto de la geometría, en resultados donde se encuentran discrepancias muy notables entre, el movimiento registrado en suelo y las estimaciones teóricas realizadas del mismo a partir de modelos que simplifican las condiciones geométricas locales del emplazamiento.

Mediante el análisis de modelos equivalentes (como el realizado en este trabajo), se ha puesto de manifiesto la utilidad de la técnica, en cuanto a la posibilidad de analizar la contribución de los distintos aspectos que componen las condiciones locales del suelo, a la respuesta sísmica en el emplazamiento.

REFERENCIAS

- Álvarez Rubio, S. (1999): "El Efecto local en el Movimiento Sísmico del Suelo. Fenomenología y Resultados Recientes". *Física de la Tierra*, Vol. 11, Universidad Complutense de Madrid.
- Faccioli, E.; Paolucci, R.; Vanini, M. (1998): *TRISEE 3D Site Effects and Soil-Foundation Interaction in Earthquake and Vibration Risk Evaluation*. Enviroments Comission, Directorate General XII for Science, Research and Development 1994-1998 Enviroments and Climate Programme-Climate and Natural Hazards Unit.
- Jongmans, D.; Ptilakis, K.; Demanet, D.; Raptakis, D.; Riepl, J.; Horrent, C.; Tsokas, G.; Lontzeditis, K.; Bard, P.Y. (1998): "EURO-SEISTEST: Determination of the Geological Structure of the Volvi Basin and Validation of the Basin Response". *Bull. Seism. Soc. Am.*, **88**, pp. 473-487.
- Riepl, J.; Bard, P.Y.; Hatzfeld, D.; Papaioannou, C.; Nechtschein, S. (1998): "Detailed Evaluation of Site-Response Estimation Methods Across and Along the Sedimentary Valley of Volvi". *Bull. Seism. Soc. Am.*, **88**, pp. 488-502.



COMPOSICIÓN DE LA MALLA DEL MODELO MULTICAPA (MODELO I)
Para las frecuencias bajas hasta 2.5 Hz la longitud máxima de los elementos es 20 m, mientras que para las frecuencias altas, hasta 5 Hz, es 10 m.
La malla está constituida por 30 tramos. El número total de elementos, en el caso de la simulación en altas frecuencias, es 5991. Para las bajas frecuencias este número es la mitad.

El sistema final de la resolución del método consta de aproximadamente 6000 ecuaciones lineales complejas para cada componente (horizontal y vertical).

COMPOSICIÓN DE LA MALLA DE LOS MODELOS MONOCAPA (MODELO II, III)
La longitud máxima de los elementos es 20 m para frecuencias bajas, y 10 m para frecuencias altas. La malla está constituida por 7 tramos, compuestos por un total de 2928 elementos.

El sistema final de la resolución del método consta de aproximadamente 3000 ecuaciones lineales complejas para cada componente (horizontal y vertical).

