

CREACIÓN DE MODELOS A ESCALA DE SITUACIONES REALES EN DISTINTAS OBRAS PARA ESTUDIAR EL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DE MATERIALES GRANULARES Y COHESIVOS (II): PRESA DE HORMIGÓN Y EFECTOS SÍSMICOS EN SUELOS

ID2013/062

Nespereira, J. , Monterrubio. S., Yenes, M., Fernández, B., Alonso, J.A.

I. RESUMEN

En las asignaturas de Geotecnia y Mecánica de Suelos se presentan conceptos teóricos y modelos del terreno que pocas veces se pueden comprobar más allá de experimentos concretos en laboratorio. Estos modelos de la realidad tratan de asemejarse a obras concretas, en las que, por otra parte, lo que ocurre en el subsuelo permanece oculto, y por lo tanto habitualmente el comportamiento supuesto del terreno sólo puede comprobarse a través de medidas de auscultación, sin poder tener evidencias visuales que enfatizen la idoneidad de los conceptos e hipótesis teóricas.

La recreación de modelos físicos en urnas transparentes es una herramienta de gran utilidad para que el alumno de las asignaturas antes mencionadas pueda ver el comportamiento del terreno y comprobar cómo reacciona ante la aplicación de cargas en superficie, deformándose o incluso llegando a romper, cómo se reorganiza ante la acción de fuerzas dinámicas (simulación de sismos), y visualizando la circulación del agua a su través y las implicaciones que ello conlleva.

Para este proyecto se han montado en dos urnas de metacrilato, equipadas con varios piezómetros cada una de ellas, modelos que recrean el fenómeno de la licuefacción en terrenos arenosos ante una acción dinámica y la circulación de agua por debajo de una presa de fábrica.

II. TAREAS PREVIAS

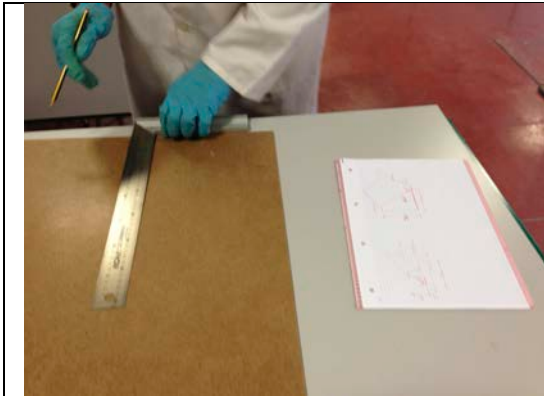
El punto de partida fue el muestreo de terrenos naturales granulares y cohesivos con los que luego construir los modelos a escala. Para ello, se realizó una visita de campo a un afloramiento localizado en Arroyo de la Encomienda (Valladolid), ya empleado anteriormente para el proyecto desarrollado también por los mismos autores. Ya en laboratorio, se prepararon los materiales siguiendo un proceso de secado, machacado con mazo de goma y selección por tamaños con la ayuda de tamices (terreno granular). Así, se obtuvo como material de trabajo:

- arcillas de la facies Dueñas, disgregadas hasta pasar por el tamiz 0,6 mm.
- arenas.

Para el desarrollo del proyecto resulta fundamental contar con urnas en las que poder emplazar los modelos, y que permitan visualizar en todo momento una sección vertical del terreno. Para el modelo de la licuefacción se compró una nueva urna, de dimensiones originales 350 mm x 350 mm x 300 mm, mientras que para el modelo de la presa se empleó una urna de 800 x 200 x 120 mm, adquirida para el proyecto ID2012/264.

Además del terreno, se fabricó una presa de hormigón en miniatura. Esta última precisó del diseño y construcción de un encofrado previo, en el que se hormigonó posteriormente para que, con el curado del hormigón en cámara húmeda durante 30 días, se pudiese concluir la construcción de esta pieza del modelo. Parte del proceso constructivo de esta pieza puede seguirse en la Fotografía 1, en la Fotografía 2, en la Fotografía 3 y en la Fotografía 4. Las dimensiones finales de la misma han sido:

- Base de apoyo rectangular, de 3 x 18,4 cm (planta).
- En sección transversal, base de rectangular de 3 x 1 cm.
- Cuerpo vertical, cuadrangular, de 3 x 18,4 cm.
- Cuerpo triangular, con pendiente 1H:3V. Base del triángulo 2 cm, altura 6 cm.



Fotografía 1. Replanteo del encofrado.



Fotografía 2. Vista en planta del encofrado.



Fotografía 3. Vista de perfil del encofrado.

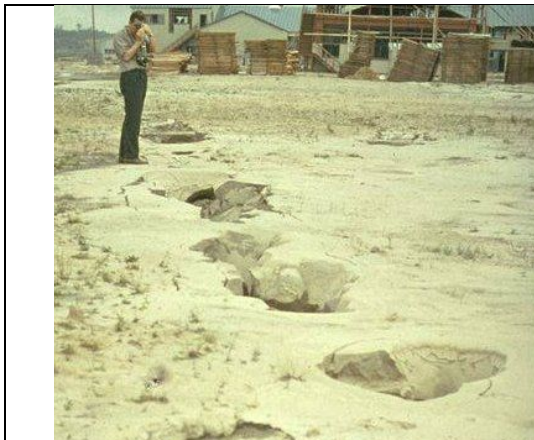


Fotografía 4. Presa de hormigón en miniatura.

III. EFECTO DE LOS SISMOS EN TERRENOS GRANULARES FINOS: LA LICUEFACCIÓN Y SUS EFECTOS

En zonas sísmicas, uno de los problemas geotécnicos más frecuentes y con importantes consecuencias en la estabilidad de las estructuras que en ellos se asientan es el de la licuefacción.

La licuefacción es el proceso de fluidificación de un suelo impulsado por una vibración cíclica (un sismo). La vibración provoca el reordenamiento de las partículas sólidas de suelos granulares finos y, por lo tanto, su densificación. Al densificarse, el terreno lo que hace es ocupar menos espacio, y por lo tanto, se reduce su volumen de huecos (Fotografía 5). En un terreno granular fino semisaturado y no muy denso, parte de los huecos están ocupados por agua y, por lo tanto, para reorganizarse, parte de esa agua debe migrar. Si las vibraciones son de una determinada frecuencia, al agua no le va a dar tiempo a migrar y dejar los huecos libres para las partículas sólidas y, consecuentemente, esa misma agua va a aumentar su presión hidrostática; la presión efectiva sobre el terreno disminuirá hasta que, cuando esta presión sea nula, se produzca la licuefacción del terreno. Este proceso se manifiesta con la salida de agua a la superficie y la pérdida de su capacidad de carga (Fotografía 6).



Fotografía 5. Colapso del terreno en la ciudad de Niagata como consecuencia de la licuefacción asociada al terremoto de 1964.



Fotografía 6. Fallo del cimiento de edificios en la ciudad de Niagata (terremoto de 1964).

Objetivo del modelo

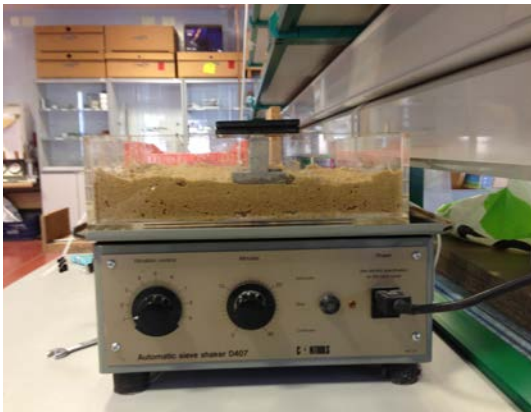
Este modelo pretende simular el proceso de licuefacción en terrenos granulares finos, que frecuentemente se da durante eventos sísmicos. En este contexto, los suelos susceptibles de licuefactarse pierden bruscamente resistencia al corte, y con ello su capacidad portante cae drásticamente. Cuando esto ocurre pueden dañarse gravemente los cimientos de las estructuras.

Construcción del modelo

El modelo se construye en una urna de metacrilato, dentro de la cual se introduce una capa de arenas (arenas medias, $0,2 < D < 0,6$) semisaturadas. Todo ello a su vez se sitúa sobre una mesa vibradora, empleada habitualmente para la realización de ensayos granulométricos. En la superficie de las arenas se coloca una zapata corrida de hormigón en miniatura, sobre la que se añade una carga adicional con pequeñas pesas rectangulares de 500 g cada una (Fotografía 7). Preferentemente, la zapata se ubicará en uno de los laterales de la urna para poder visualizar mejor sus movimientos.

De manera opcional, se puede colocar sobre el terreno un smartphone en el que esté instalada la aplicación Seismograph que permite registrar las vibraciones de los distintos eventos sísmicos para su posterior comparación.

Con el modelo físico ya preparado, es el momento de generar la acción dinámica que simula un terremoto: lo recomendable es simular al menos tres eventos de magnitud creciente, para que el alumno efectúe observaciones acerca del comportamiento del terreno y del agua en cada caso (Fotografía 8). El último evento debe tener una magnitud tal que provoque la licuefacción. Como se muestra en la Fotografía 9, con el paso del tiempo la zapata se hunde al no poder soportar la carga impuesta por las pesas; éstas, a su vez, se hunden poco a poco en el terreno.



Fotografía 7. Modelo físico sobre una mesa vibradora. Se simula un terreno granular semisaturado sobre el que existe una estructura cimentada.



Fotografía 8. Inicio del proceso de licuefacción debido a un evento sísmico (vibración de la mesa). Se observa como poco a poco la zapata se va hundiendo en la capa de arenas.



Fotografía 9. Zapata corrida y pesas de 500 g parcialmente hundidas por la pérdida de capacidad portante durante el evento sísmico. El agua aflora en superficie.

IV. CIRCULACIÓN DE AGUA POR DEBAJO DE UNA PRESA DE FÁBRICA

La permeabilidad y las filtraciones son de vital importancia en la construcción de una presa. La construcción de un tapiz impermeable es una de las medidas que se lleva a cabo cuando es preciso minorar tanto las filtraciones como los riesgos de erosión interna (esto último en el caso de presas de materiales sueltos). Este tapiz modifica la red de flujo, haciendo que los gradientes hidráulicos disminuyan y se reduzca la velocidad del flujo bajo la presa.

Objetivo del modelo

Este modelo pretende servir para mostrar a los alumnos del grado en Ingeniería Civil la existencia de subpresiones en una presa y la validez de los métodos gráficos de resolución de la ecuación de Laplace –redes de flujo- para calcular la filtración por debajo de estructuras de contención.

Construcción del modelo

En el interior de una urna de metacrilato con una dimensión en planta muy superior a la otra, se dispone un lecho de arenas semisaturadas de unos 4 cm de espesor. Sobre éste, y en una zona próxima a uno de los bordes, se coloca la presa de hormigón en miniatura. Para conseguir que ésta constituya una barrera lo más impermeable posible, en las zonas de contacto presa-borde de la urna se añade un poco de plastilina para terminar de sellar estas áreas.

A continuación, comienza a llenarse la urna del lado de lo que sería el vaso del embalse que se simula, hasta que se crea una diferencia de cota piezométrica entre ambos lados de la presa de unos 4,5 cm. Durante este proceso, y aunque no está entre los objetivos principales del modelo, se puede observar la fuerte erosión causada por el vertido de agua en la zona aguas arriba de la cerrada. Dado que la permeabilidad del terreno de apoyo es muy

elevada, en poco tiempo las alturas piezométricas aguas arriba y aguas abajo se igualan (apenas dos minutos)(Fotografía 10).

A continuación, se retira el agua embalsada y se deja de nuevo el lecho arenoso semisaturado, lo que permite la colocación de un tapiz arcilloso –simulado con plastilina o sencillamente con una capa de arcillas-. Para su colocación, primero se moldea y extiende la plastilina en una superficie lisa, y posteriormente se deposita suavemente sobre la arena fina del interior de la urna, en la parte más próxima a la propia cerrada (Fotografía 11). Se debe prestar especial atención al sellado del contacto entre el manto y la presa. En este segundo caso, el tapiz genera un gradiente hidráulico más paulatino, menor, y por lo tanto, la velocidad del flujo de un lado a otro de la presa es mucho más lento.

Durante la prueba, en todo momento se cuenta con un panel de piezómetros que, al estar conectados al modelo, permite controlar cómo va variando la presión de agua en distintos puntos del terreno (Fotografía 12).



Fotografía 10. Llenado del vaso de la presa, sin presencia de tapiz impermeable.



Fotografía 11. Llenado del vaso de la presa, con tapiz impermeable aguas arriba.



Fotografía 12. Modelo de presa de fábrica con tapiz de material impermeable aguas arriba. Al fondo de la imagen, panel para el control de las presiones de agua.