

MODELACIÓN NUMÉRICA DE LA FALLA POR HUNDIMIENTO DE UNA ESTRUCTURA SUMERGIDA SOBRE UN SUELO FINO

Alejandro Alejandro Avila, Edgar G. Mendoza Baldwin y Rodolfo Silva Casarín

Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Escolar S/N, Edificio 5,
Ciudad Universitaria, Del. Coyoacán, Ciudad de México, México.
E-mail: AAlejandroA@iingen.unam.mx, EMendozaB@iingen.unam.mx, RSilvaC@iingen.unam.mx

Introducción

El aprovechamiento de los recursos de las zonas costeras es de vital importancia para el progreso de las civilizaciones. La obtención de alimento, el comercio y el transporte son de las principales actividades que se realizan en esa estrecha franja. Sin embargo, actualmente se desarrollan actividades predominantemente industriales como la extracción de petróleo, la obtención de energía a partir del viento y oleaje y el turismo.

No obstante, el asentamiento del hombre en las costas, ha provocado que la resiliencia de los ecosistemas se vea disminuida, por lo que los efectos de los fenómenos naturales se traducen en un deterioro y degradación, muchas veces irreversible. Es por ello que el desarrollo de estrategias de protección costera, desde diversas ópticas, es de vital importancia para dar seguridad y continuidad a las actividades costeras. Una alternativa cada vez utilizada en el mundo son los diques sumergidos o arrecifes artificiales que, como su nombre lo indica, buscan imitar varias de las funciones de los arrecifes coralinos, principalmente la de atenuar la energía del oleaje.

Estas estructuras pueden presentar diversos tipos de fallo que, desde un punto de vista funcional, pueden dividirse en dos grupos. El daño estructural, generado por la acción de oleaje superior o no a la condición de diseño pero que afecta la estabilidad de la estructura. El segundo, por inestabilidad de fondo, que puede ser causada por la licuefacción o fluidización del lecho debajo o circundante a la estructura. La licuefacción del suelo se presenta debido a que el oleaje mar transmite un estado de esfuerzos al fondo, mismo que provoca un reacomodo del suelo. En condiciones de suelo fino de baja permeabilidad (condiciones no drenadas), y dado que los sucesos de consolidación son cortos, la deformación del suelo comprime el agua que se encuentra en los poros y la presión aumenta. A esto se suma el efecto de la estructura, cuya impermeabilidad impide también el drenaje del agua. Mientras el oleaje continúa actuando, la presión de poro sigue aumentando hasta que los esfuerzos superan la resistencia de la masa de suelo y falla provocando la licuefacción. En estas condiciones el suelo pierde súbitamente su capacidad de carga y se comporta como fluido (Chávez, 2013).

Algunos casos reportados de falla por inestabilidad de fondo son: el dique vertical de bloques no unidos en el puerto de Valencia, España en 1926, el dique de bloques unidos en Argieres en 1934, diques en Nueva Orleans, E.U.A., en 2005 el huracán Katrina provocó falla en el suelo, y la rotura del muelle Prat de Barcelona, España, en 2007 por el desplazamiento de los cajones por licuefacción de fondo. Todos estos casos implicaron pérdidas económicas importantes asociadas a daños estructurales, a los trabajos de reconstrucción y al paro de labores.

Comprender mejor este tipo de fallas, motiva la realización de estudios basados en modelos físicos y numéricos que puedan representar la interacción entre las estructuras, el oleaje y el fondo marino.

Objetivo

Realizar un estudio analítico-experimental que permita la reproducción y el de la falla por inestabilidad de fondo de una estructura sumergida, desplantada sobre suelo fino. Comparar los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio con los calculados mediante la solución general de Hsu y Jeng, 1994 para el caso tridimensional de un estrato fino horizontal, hidráulicamente anisotrópico, no saturado y sometido a la acción de ondas progresivas.

Metodología experimental

El trabajo experimental se realizó en el canal de oleaje del Laboratorio de Costas y Puertos del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Para simular el suelo fino se creó una mezcla, a partir de diferentes ensayos previos, a base de agua y caolín comercial, en proporciones de 1.09 litros de agua por cada 2 kg de caolín. Esta mezcla se colocó sobre una charola a manera de falso fondo e instrumentada para analizar el comportamiento del suelo marino en el canal en términos de la presión de poro. A su vez, a lo largo del canal se colocaron 11 sensores de nivel, que permitieron registrar los cambios en el oleaje por el efecto de la estructura y el suelo.

La estructura sumergida se representó por medio de un bloque de cubos de concreto que se colocó sobre la mezcla de caolín y agua. Para mayores detalles se refiere al lector a Alejandro, 2016 donde se detalló la reproducción en laboratorio del hundimiento de la estructura por efecto de la falla del lecho marino.



Figura 1.- Ensayo de la estructura sumergida sobre el suelo fino en el canal de oleaje.

Modelo numérico

El análisis numérico se basó en la solución analítica propuesta por Hsu y Jeng, 1994 para estimar la presión de poro y los esfuerzos

efectivos en un suelo anisotrópico de grosor finito debidos a la acción del oleaje. A este modelo se agregó la presencia de la estructura y la cohesión del suelo fino. Otras variables consideradas en el modelo fueron las propiedades del suelo, las condiciones de los estados de mar propuestos en los ensayos, el peso de la estructura y las dimensiones del modelo presentado en el laboratorio (tanto en la charola que contenía el suelo, como la ubicación en donde se encontraba la estructura y el tirante de agua).

El modelo empleado es capaz de identificar los puntos en los que tanto la presión de poro como los esfuerzos efectivos incrementan y, al compararlos con la resistencia del suelo, detectar zonas, tanto en horizontal como vertical, donde falla la masa de suelo.

Resultados

A continuación se muestra, en la Figura 1, un resultado representativo de suelo fallado y profundidad de falla.

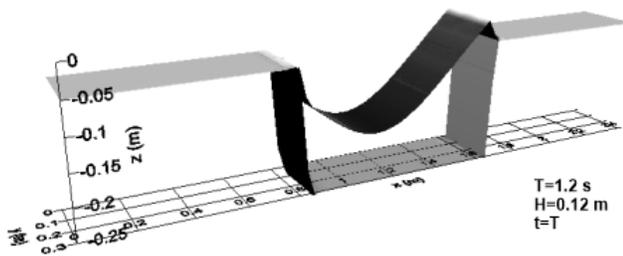


Figura 1.- Profundidad de la falla del suelo a lo largo del estrato poroso, $T=1.2s$, $H=0.12m$, $t=T$.

En este instante de tiempo, en donde la dirección del flujo es de izquierda a derecha, se puede observar que la mayor profundidad de falla es de aproximadamente 15 cm, esto coincide con lo que describe Gonzalez, 2016 quien muestra que, debido a la falla por licuefacción del suelo, todos los sensores de presión colocados en los primeros 15 cm charola, registraron un aumento súbito de presión, superando el esfuerzo normal principal permisible del suelo.

Los resultados del modelo permiten estudiar a detalle el efecto combinado de estructura sumergida y oleaje en el suelo, así como otro tipo de escenarios con el fin de encontrar las mejores estrategias para evitar este tipo de fallas en proyectos de ingeniería.

Referencias

- Alejandre, A. (2016). *Reproducción en laboratorio de la falla por hundimiento de estructuras cerca de la costa sobre suelos finos: Análisis del oleaje*. Tesis de Licenciatura, UNAM, México, 99 pp.
- Chávez, V. (2013). *Comportamiento de suelos marinos bajo la acción del oleaje*. Tesis de Maestría, Posgrado en Ingeniería, UNAM, México, 114 pp.
- González, G. (2016). *Reproducción en laboratorio de la falla por hundimiento de estructuras cerca de la costa sobre suelos finos: Análisis del comportamiento del suelo*. Tesis de Licenciatura, UNAM, México, 116 pp.
- Hsu, J. C., & Jeng D. S. (1994). *Wave-induced soil response in an unsaturated anisotropic seabed of finite thickness*. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, vol. 18, 787-807