

Capítulo 6

CONCLUSIONES Y NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

En esta tesina se ha realizado un estudio del asiento que experimenta un material granular sometido a corte cíclico. Para ello se ha desarrollado un estudio experimental en un equipo de columna resonante, el cual al disponer de un LVDT (transductor de desplazamientos verticales), nos ha permitido analizar la deformación vertical que experimenta una probeta de arena al someterse a una sollicitación cíclica de corte, para diferentes condiciones. Así pues, en primer lugar cabe destacar la utilidad del equipo de columna resonante para realizar un estudio de este tipo, además de su aplicación en la determinación de las propiedades dinámicas de los suelos, módulo de corte y factor de amortiguamiento, que es para lo que se utiliza normalmente.

El estudio experimental desarrollado nos ha permitido analizar la influencia de diferentes parámetros en la deformación vertical de una arena sometida a corte cíclico, como son: el número de ciclos, la amplitud de deformación de corte, la presión de confinamiento y la densidad relativa.

En primer lugar, el número de ciclos tiene una clara influencia en la deformación vertical, y con los ciclos de repetición de carga aumenta la deformación vertical, no siendo lineal esta relación. Se ha comprobado además que los primeros ciclos tienen una mayor influencia, de manera que por ejemplo, en los 1000 primeros ciclos se produce un asiento similar al de los 9000 ciclos siguientes.

Conclusiones

El análisis de la deformación de corte nos ha permitido detectar la existencia de un umbral de amplitud de deformación de corte a partir del cual se inicia la deformación vertical, no produciéndose asiento alguno si no se alcanza este umbral. Este umbral está entorno a una amplitud de deformación de corte de $10^{-2}\%$. Además, también se ha detectado un comportamiento no lineal a partir de cierta amplitud de deformación de corte que implica un aumento significativo de la deformación vertical. La amplitud a partir de la cual se inicia el comportamiento no lineal parece estar próxima a una amplitud de deformación de corte de $6 \cdot 10^{-2}\%$.

La amplitud de deformación de corte tiene por tanto una gran influencia en el asiento de arenas sometidas a corte cíclico, siendo el incremento de deformación vertical más marcado para valores más altos de la amplitud de deformación de corte.

Para el rango de deformaciones de corte ($10^{-2}\%$ - $7 \cdot 10^{-2}\%$) y de presiones de confinamiento (0.05 bar-0.2 bar) analizados en este estudio experimental, se puede afirmar que al aumentar el confinamiento disminuye la deformación vertical. Pero cabe señalar también que al aumentar el confinamiento, la influencia de éste en el asiento disminuye.

La densidad relativa inicial de la arena también juega un papel importantísimo en el asiento de una arena sometida a corte cíclico. En la medida que esta densidad es mayor el asiento resultante es menor.

Tanto la deformación de corte, como la presión de confinamiento y la densidad relativa son parámetros que también influyen en el valor del módulo de corte. La rigidez al corte disminuye con el aumento de la deformación de corte. Analizando las curvas módulo-deformación de corte se ha comprobado que al aumentar el confinamiento, el módulo disminuye para una deformación de corte cualquiera. Lo mismo ocurre al aumentar la densidad relativa, aunque el efecto del confinamiento es mucho mayor que el de la densidad. Esta influencia del confinamiento y la densidad en el módulo de corte influye indirectamente también en el asiento, pues cuanto mayor sea la rigidez al corte mayor será la tensión de corte a aplicar a un suelo para alcanzar una cierta deformación de corte, y cómo hemos visto la deformación de corte tiene gran importancia en el posible asiento. Así pues, al aumentar el confinamiento y la densidad relativa disminuye el potencial de asiento.

Una vez realizado el estudio experimental y analizados los parámetros que controlan la deformación vertical de una arena sometida a corte cíclico, se ha profundizado en el modelo endocrónico (Cuéllar *et al*, 1977). Para el caso de deformación de corte cíclica de tipo sinusoidal, que se corresponde con la sollicitación cíclica empleada en el estudio experimental, la teoría endocrónica de densificación proporciona la siguiente expresión:

$$\lambda = -\frac{1}{c_0 \alpha} \ln(1 + \alpha \gamma_0^q N)$$

donde γ_0 es la amplitud de deformación de corte y N el número de ciclos, mientras que c_0 , α y q son parámetros materiales.

Conclusiones

Tras la calibración de los parámetros mediante los resultados obtenidos del estudio experimental, se ha logrado un buen ajuste de las curvas asiento-nºciclos, pudiendo afirmar entonces que la teoría endocrónica proporciona una representación razonablemente buena del comportamiento experimental observado. Se han propuesto expresiones para α y q dependientes de la densidad relativa, y para c_0 dependiente de la densidad relativa, el confinamiento y la amplitud de deformación de corte, válidas para el material granular utilizado y en el rango de confinamientos y amplitudes de deformación de corte estudiados. Estas expresiones no son recomendables para aplicar en el modelo, son válidas para determinar parámetros en casos concretos.

Por tanto, se ha encontrado una ley que simula el asiento que experimenta una arena sometida a corte cíclico de pequeña amplitud, y que además satisface los requerimientos de la mecánica de los medios continuos para relaciones constitutivas.

Cabe señalar que aunque el equipo de columna resonante nos ha sido útil para realizar el estudio, la dificultad de fabricación de la probeta de arena en la célula de ensayo, hace que esté muy condicionado por el factor humano, y tal vez fuera positivo el diseño de un aparato que permitiera la fabricación de la probeta más fácilmente, sobretodo que facilitara el proceso de compactación y el proceso de colocación del cabezal sobre la probeta y posterior revestimiento de la membrana, ya que son procesos clave y de los que depende el buen desarrollo posterior del ensayo.

La posible no linealidad en el entorno de una amplitud de deformación de corte en torno a $6 \cdot 10^{-2}\%$, sugiere la realización de un estudio exhaustivo de este hecho y analizar el efecto de amplitudes algo mayores, en el entorno de $10^{-1}\%$ que aún siendo pequeñas pueden tener gran influencia en el asiento de un material granular. Pero el equipo de columna resonante no permite aplicar deformaciones de corte superiores a aproximadamente $7 \cdot 10^{-2}\%$, por lo que el estudio de deformaciones algo mayores requeriría la utilización de otro equipo, como por ejemplo el "torsional shear column".

El estudio experimental se ha realizado en condiciones secas, suponiendo que el comportamiento de un material granular seco es similar al de un material granular saturado y completamente drenado. Sería interesante pues realizar un estudio del comportamiento en condiciones no saturadas, analizando así el efecto de la succión en el asiento del material granular.

En esta tesina se ha estudiado el modelo endocrónico demostrándose que representa bien el comportamiento experimental observado. La aplicabilidad de este modelo constitutivo en el comportamiento de un material sometido a carga cíclica hace interesante su implementación en un programa de elementos finitos, y de esa forma poder realizar estudios de casos reales, que nos permitan analizar la afectación de un posible asiento en edificios y estructuras colindantes.