

ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN TIPO K0 EN APARATO TRIAXIAL NO SATURADO

Barahona, C.

Investigador en el área de geotecnia de la Facultad de Ingeniería Civil (USFX), Destacamento 317, Ex Campus REFISUR, 573, Sucre, Bolivia. E-mail: christianbarahona07@outlook.com

Recibido: Aceptado: Publicado:

RESUMEN

Debido a que varios suelos naturales han sido depositados bajo deformación lateral nula, vale la pena realizar ensayos triaxiales sin deformaciones laterales conocidos como consolidación K0. En este caso el valor real de K0 no se conoce de antemano. Para medir este valor, se utiliza un software para controlar una celda triaxial de tipo Bishop y Wesley. El software puede operar tres controladores de volumen de presión digitales que miden y controlan el cambio de volumen y la presión del agua de poro, el esfuerzo radial y el esfuerzo o deformación axial.

Este artículo describe una muestra de prueba de consolidación K0 con deformación radial aproximadamente cero. Usando el transductor de deformación local LVDT, las deformaciones radiales se pueden medir mediante la conversión del volumen de la celda interna. Por lo tanto, la deformación radial se puede monitorear continuamente durante el proceso de consolidación. El hecho de que el cambio de volumen de la muestra de suelo siempre debe ser igual a la deformación vertical mantiene constante el área de la sección transversal promedio. En esta investigación se aplica una tasa constante de deformación axial y mediante una señal de retroalimentación del transductor de deformación local horizontal se controla la tensión radial para mantener la deformación radial cero. A partir de los resultados de varias pruebas triaxiales, se encuentra que el uso de una celda de un aparato triaxial es útil para investigar el valor real de K0 en la consolidación.

Palabras clave: consolidacion, no saturado, K0.

ABSTRACT

Triaxial experiments without lateral deformations, also known as K0 consolidation, are worthwhile because many natural soils were formed under conditions of zero lateral strain. The actual K0 value in this instance cannot be predicted in advance. A Bishop and Wesley stress route cell is controlled by software in order to measure this value. Three digital pressure volume controllers that measure and control volume change, pore water pressure, radial stress, and axial stress or strain can be operated by the application of software.

In this study, a K0 consolidation test sample with no radial strain is described. Radial deformations on the soil specimen can be precisely monitored using the horizontal LVDT local strain transducer. So, during the consolidation process, radial strain can be continuously measured. The average cross-sectional area is maintained constant by the guiding principle that the volume change of the soil

specimen must always be equal to the vertical deformation. A constant rate of axial deformation is used in this study, and the radial stress is controlled to maintain a zero-radial strain by the use of a feedback signal from the horizontal local strain transducer. The employment of a triaxial apparatus stress path cell is found to be effective for examining the genuine K_0 value in consolidation, according to the findings of various triaxial tests.

Key words: consolidation, unsaturated soil, K_0 .

INTRODUCCIÓN

Los suelos in situ tienen diferentes esfuerzos en direcciones verticales y horizontales.

Expresado por el coeficiente de presión del suelo en reposo, K_0 . K_0 es la relación entre el esfuerzo horizontal efectivo, σ'_h , y el esfuerzo vertical efectivo, σ'_v , en un suelo que existe bajo la condición sin deformación horizontal como se muestra en la ecuación.

$$K_0 = \frac{\sigma'_h}{\sigma'_v}$$

En la mayoría de los casos K_0 difiere de la unidad. Desde Bishop y Henkel (1962) han introducido la prueba triaxial K_0 , hay muchas investigaciones que utilizan esta técnica: Lewin (1971), Abdelhamid y Krizek (1976), Menzies et al. (1977), Vincenzo (1981), Atkinson et al. (1987), Germaine y Ladd (1988), Tatsuoka (1988), Sheahan et al. (1990), Thooft (1992), Zdravkovip y Jardine (2000). Algunas investigaciones muestran resultados de pruebas triaxiales controladas por computadora: Menzies (1988), Lo Presti et al (1995), Sheahan et al. (1990) y Peaje (1999). Este artículo también se centra en la control y medición de pruebas triaxiales de consolidación K_0 utilizando control por computadora. De igual manera, se describe la configuración completa de un triaxial modificado tipo Bishop y Wesley con sensores de tensión locales. El software especializado se utiliza para controlar las tensiones aplicadas y monitorear cambios de volumen y deformaciones.

Utilizando sensores de deformación locales, se pueden medir directamente las deformaciones verticales y horizontales en una muestra de suelo. Los detalles de la aplicación de estos sensores de tensión locales se describen claramente en Clayton y Khatrush (1986) y Clayton et al. (1989).

MATERIALES Y MÉTODOS

En el Laboratorio de Mecánica de Suelos, se utilizó una celda triaxial hidráulica controlada por computadora para realizar la prueba de consolidación triaxial K_0 .

Las pruebas de laboratorio en muestras de suelo de arena limosa no saturada descritas en este documento, consisten en pruebas de compresión triaxial a succión constante, realizadas en muestras reconstituidas.

El material se sumergió preliminarmente en agua destilada durante 24 h, sometándose a varios ciclos de vacío. Las propiedades iniciales de las muestras naturales se resumen en la Tabla 1.

Por lo general, las etapas de ecualización requerían aproximadamente de 3 a 4 días para cada incremento de succión.

Los ensayos de compresión triaxial se realizaron mediante un sistema automatizado servo-controlado para suelos no saturados equipado con una celda triaxial de doble pared Bishop and Wesley modificada, fabricada por Megaris (Caserta, Italia). El prototipo de este aparato fue puesto en marcha por primera vez por Rojas

(2009) y se describe completamente en Rojas (2008).

El sistema, que se muestra esquemáticamente en la Fig. 1, ha sido diseñado específicamente para probar muestras cilíndricas de 38 mm de diámetro y 76 mm de alto.

El fluido celular es aire; por lo tanto, la celda exterior de Perspex está rodeada por un escudo cilíndrico de acero. La succión se controla aplicando, controlando y midiendo valores positivos independientes de las presiones del aire intersticial y del agua intersticial (técnica de traslación del eje). Las deformaciones axiales fueron medidas por medio de transductores LVDT externos, mientras que las deformaciones volumétricas se infirieron a partir de las deformaciones radiales medidas. El sistema utilizado para determinar las deformaciones radiales consta de un cilindro interior de aluminio lleno de agua, que rodea la muestra; cualquier variación en el nivel del agua está relacionada con la deformación de la muestra. Se utiliza una bureta de vidrio, llena de agua y mantenida a la misma presión de celda, para fijar una presión de referencia.

Luego, se usa un transductor de presión diferencial (precisión de $6,0 \times 10^{-3}$ kPa) para medir la diferencia de presión entre el agua contenida en la celda interna y la bureta de referencia.

El equipo adoptado para medir los cambios en el contenido de agua consta de dos buretas, una conectada al circuito de drenaje en la base del pedestal, debajo de la piedra porosa de alto valor de entrada de aire, la otra utilizada como nivel de referencia (Fig. 1). El agua que llena las buretas se mantiene a la misma presión de agua. En este caso, un transductor diferencial de presión se utiliza para medir la diferencia de nivel.

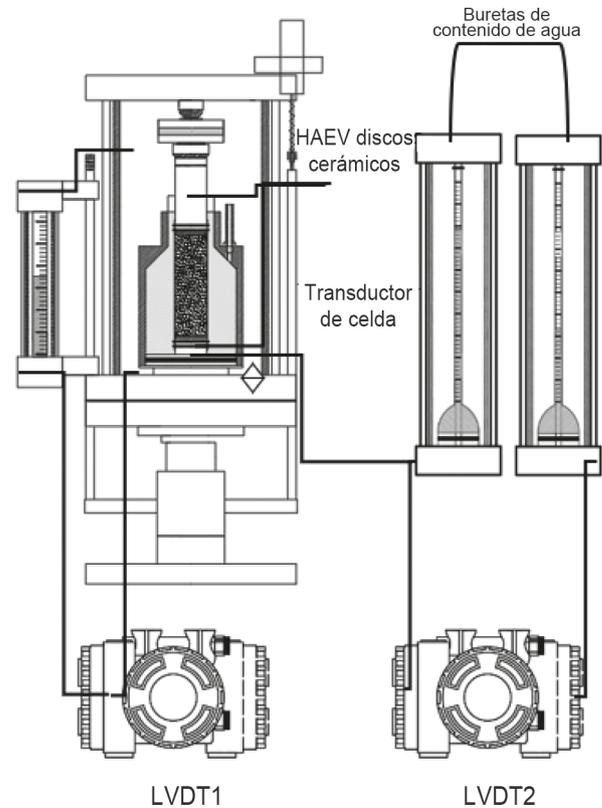


Fig. 1 Sistema de medición en el aparato triaxial (adaptado de Rojas 2009).

La Tabla 1 resume el contenido de agua inicial (w_0), la relación de vacíos (e_0) y el grado de saturación (S_{r0}) de todas las muestras.

Tabla 1. Propiedades de suelo utilizado

Origen de suelo	Sucre, Bolivia
USCS Símbolo clasificación	SM
Gravedad específica, G_s	2.67
Porcentaje de agua, %w	8.00%
Relación de vacíos inicial, e	0.52
Saturación inicial, S	40.80%

Para poder conocer el comportamiento del suelo condiciones de esfuerzo lateral cero. Se emplean pruebas que se conocen como consolidación K_0 . La prueba K_0 consolida una muestra de suelo saturado a deformación horizontal nula, manteniendo constante el área de la sección transversal.

La deformación horizontal de la muestra debe estar en el rango de $\pm 1 \mu\text{m}$. El cambio de volumen en el conducto de agua intersticial

debe ser siempre el mismo que el valor de la multiplicación de la deformación axial y el área de la sección transversal original. Es importante monitorear el exceso de presión de poro durante la prueba.

La Figura 2 muestra el diagrama de flujo del procedimiento de consolidación K_0 . En condiciones en las que el área de la muestra de suelo y la sección transversal se mantiene constante, se extrae un volumen de agua igual al cambio de volumen de la muestra a la misma velocidad de variación de deformación axial. Las válvulas de presión de poro de agua y presión de poro de aire, se mantienen abiertas para evitar exceso de presiones de poro.

La prueba se realiza con una tasa de deformación axial de 0,1 mm/hora. Durante este aumento de la deformación axial, la deformación horizontal se mide y se mantiene constante ajustando al esfuerzo radial. En caso de que aumente la deformación horizontal, la tensión radial también aumenta en intervalos de 2 kPa para mantener constante el área de la sección transversal de la muestra de suelo.

De manera opuesta, si la deformación horizontal disminuye, el esfuerzo radial disminuye a la misma velocidad de 2 kPa. La prueba se detendrá cuando se alcance el esfuerzo vertical efectiva objetivo, σ'_{v0} .

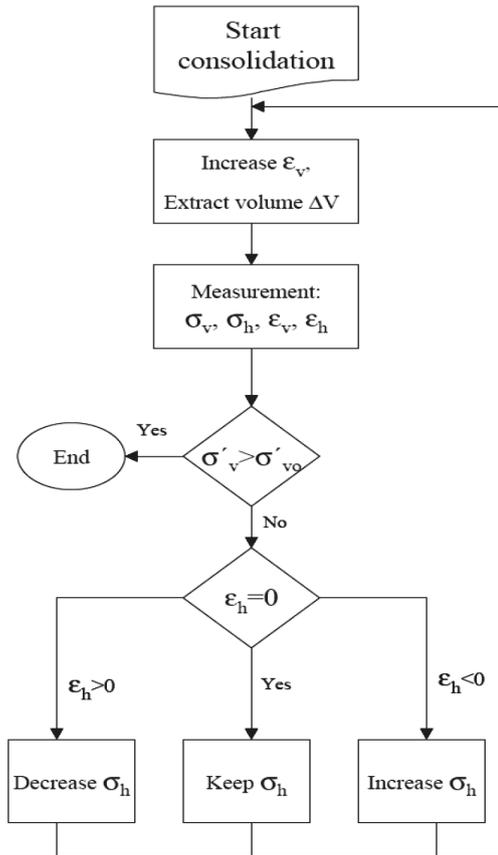


Fig. 2 Diagrama de flujo para ensayo K_0

RESULTADOS EXPERIMENTALES

La Figura 3 presenta el valor K_0 de la muestra reconstituida en condiciones de deformación constante, el valor de 0,601 se calcula a partir de la pendiente del gráfico σ'_h versus σ'_v . Utilizando la fórmula de Jaky, se calcula un ángulo de fricción drenado de 31°.

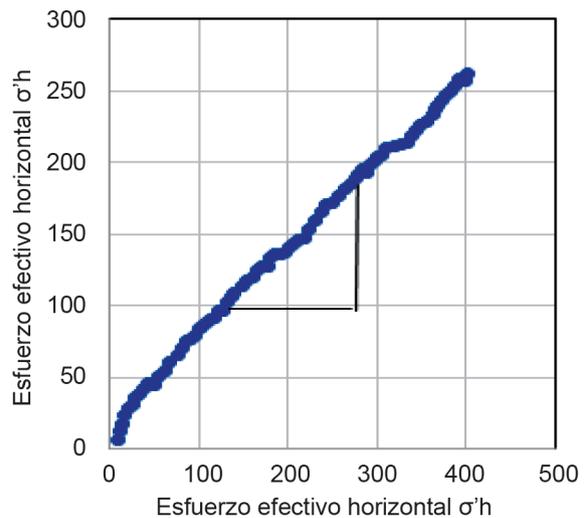


Fig. 3 Consolidación K_0 de muestra

CONCLUSIONES

El ensayo triaxial ofrece la posibilidad de realizar la prueba triaxial de consolidación K_0 de manera totalmente efectiva. El valor de K_0 se puede obtener a partir de la pendiente de la gráfica σ'_h versus σ'_v durante la prueba K_0 . Sin embargo, para este tipo de pruebas, se recomienda utilizar sensores de deformación locales, ya que existe la ventaja de monitorear las deformaciones directamente en la muestra.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdelhamid, M.S. and Krizek, R.J. 1976. At-rest lateral earth pressure of a consolidating clay. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, Vol. 102, No. GT7, 721-738.
- Atkinson, J.H., Richardson, D. and Robinson, P.J. 1987. Compression and extension of K_0 normally consolidated Kaolin clay. *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 13, No. 12, 1468-1482.
- Bishop, A.W. and Henkel, D.J. 1962. *The measurement of soil properties in the triaxial test*. London: Edward Arnold.
- Bishop, A.W. Wesley, L.D. 1975. A hydraulic triaxial apparatus for controlled stress path testing, *Géotechnique*, Vol. 25, No. 4, 657-670.
- Clayton, C.R., Khatrush, S.A., Bica, A.D.V. and Siddique, A. 1989. The use of Hall effect semiconductors in geotechnical instrumentation. *Geotechnical Testing Journal*, Vol.12, No.1, pp. 69-76.
- Clayton, C.R. and Khatrush, S.A. 1987, A new device for measuring local axial strains on triaxial specimens. *Géotechnique*, Vol. 36, No. 4, 593-597.
- Menzies, B.K. 1988. A computer controlled hydraulic triaxial testing system. *Advanced Triaxial Testing of Soil and Rock, ASTM STP 977*, 82-94.
- Menzies, B.K., Sutton, H. and Davies, R.E. 1977. A new system for automatically simulating K_0 consolidation and K_0 swelling in the conventional triaxial cell. *Géotechnique*, Vol. 27, No. 4, 593-596.
- Germaine, J.T. and Ladd, C.C. 1988. Triaxial testing of saturated cohesive soils. *Advanced Triaxial Testing of Soil and Rock, ASTM STP 977*, 421-459.
- Lewin, P.I. 1971. Use of servo mechanics for volume change measurement and K_0 consolidation. *Géotechnique*, Vol. 21 No. 3, 259-262.
- Lo Presti, D.C.F., Pallara, O. and Puci, I. 1995. A modified commercial triaxial testing system for small strain measurements: preliminary results on Pisa clay. *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 18, No. 1, 15-31.
- Rojas, J.C., 2008. Loading Rate Effect On The Mechanical Behaviour Of A Pyroclastic Soil. *Università degli Studi di Napoli Federico II, Napoli, Italy*.
- Scholey, G.K., Frost, J.D., Lo Presti, D.C.F. and Jamiolkowski, M. 1995. A review of instrumentation for measuring small strains during triaxial testing of soil specimens. *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 18, No. 2, 137-156.
- Sheahan, T.C., Germaine, J.T. and Ladd, C.C. 1990. Automated triaxial testing of soft clays: an upgraded commercial system. *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 13, No. 3, 153-163.
- Standards of Japanese Geotechnical Society for Laboratory Shear Test 1999. JGS.
- Tatsuoka, F. 1988. Some recent developments in triaxial testing systems for cohesionless soils. *Advanced Triaxial Testing of Soil and Rock, ASTM STP 977*, 7-67.
- Thooft, K. 1992. Triaxial tests with general stress paths for static and cyclic loading. *Proceedings of International conference in Geotechnics and computers*, 29-30 September, Paris.
- Toll, D.G. 1999. A data acquisition and control system for geotechnical testing. *Computing Developments in Civil and Structural Engineering*, Edinburgh: Civil-Comp Press, 237-242.
- Vincenzo, S. 1981. Behavior of an overconsolidated sensitive clay in drained K_0 -triaxial tests. *Laboratory Shear Strength of Soil, ASTM STP 740, American Society for Testing and Materials*, 619-630.
- Zdravkovi, L. and Jardine, J. 2000. Undrained anisotropy of K_0 - consolidated silt. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 37, 178-200.