

CONSOLIDACIÓN SECUNDARIA BAJO UN TERRAPLÉN. PRECARGA PARA ACELERARLA

El tema del uso de sobrecargas para acelerar la consolidación secundaria y, por tanto, disminuir su afección a una obra de carreteras, surgió con motivo de una Investigación que se inició en 2010 sobre los suelos muy compresibles y muy potentes del delta del río Fraser, en Vancouver (Canadá). En muchas carreteras de la zona se usaban extensas sobrecargas para conseguir disminuir y acelerar la consolidación secundaria de posteriores obras que se ponían en servicio admitiendo la necesidad de un mantenimiento periódico de su rasante. Eran llamativas secciones con sobrecargas de apenas 3 m de altura en las que los asentos llegaban a ser del orden de magnitud de toda la sobrecarga.

El texto que sigue no es más que una sugerencia para la estimación de las sobrecargas. En algún momento, se toma cierta libertad en los planteamientos. por lo que sería bueno recibir comentarios al respecto.

1 FUNDAMENTOS

Los trabajos de Mesri (**Mesri et al, 1997**) conducen a decir que si en un terraplén de altura final **H** se añade una sobrecarga ΔH y se mantiene en obra hasta que se produzca la disipación de presiones intersticiales en el terreno, es posible disminuir la magnitud de la consolidación secundaria. Esta nueva consolidación secundaria se rige por un nuevo coeficiente de consolidación secundaria $C''\alpha$ que es una fracción del Coeficiente de consolidación secundaria $C\alpha$.

Mesri define un **Índice de Sobrecarga efectiva R'_s**

$$R'_s = \frac{\sigma'_{vs}}{\sigma'_{vf}} - 1$$

En el que σ'_{vs} es la presión efectiva antes de retirar la sobrecarga y σ'_{vf} la presión efectiva final.

En la Figura 1, para turbas, se obtiene la relación t_t/t_{pr} donde t_t es el tiempo en que reaparece la consolidación secundaria y t_{pr} es el tiempo de rebote "primario" después de la retirada de la sobrecarga.

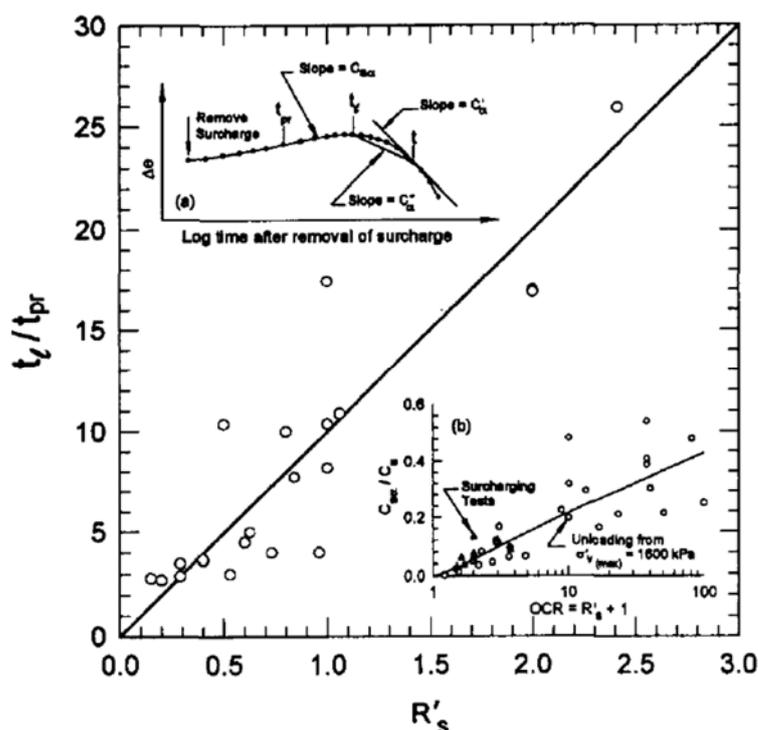


Figura 1 .- Tiempo en que reaparece la consolidación secundaria. Mesri et al 1997

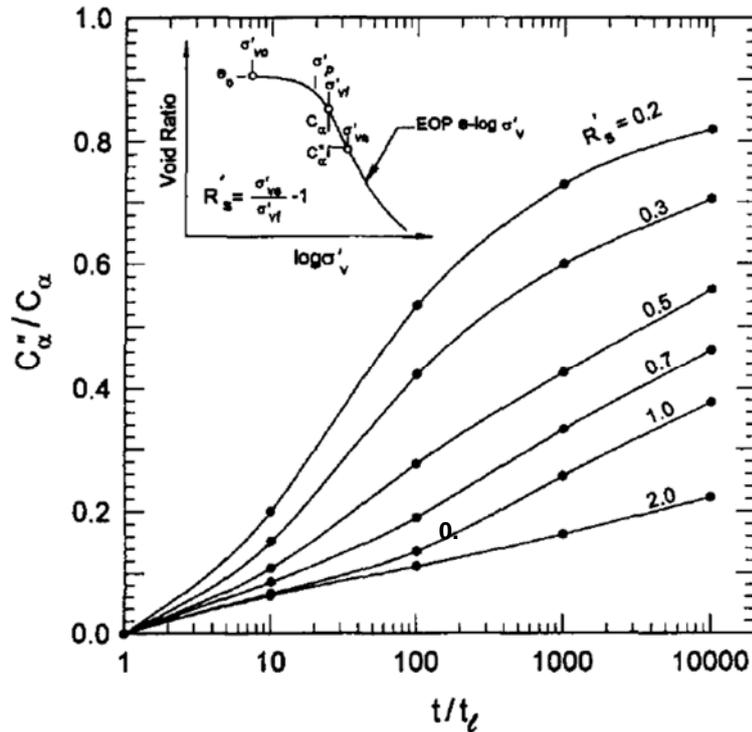


Figura 2.-Coeficiente de consolidación secundaria C''_{α} después de una sobrecarga en turbas. (Mesri et al 1997)

De la Figura 2 se obtiene el nuevo coeficiente de consolidación secundaria C''_{α} . Como puede verse, **la reducción es proporcional a la magnitud de la sobrecarga** con relación a la altura final (R'_s).

Para los suelos no orgánicos pueden citarse las experiencias de **Mesri y Feng** (1991) de donde se ha extraído la Figura 3. Si se comparan las curvas de las diversas arcillas experimentadas con las curvas de la Figura 2, se ve que la relación $C''_{\alpha} / C_{\alpha}$ en estos casos es menor. Es decir, que la reducción del asiento secundario es mayor que en el caso de la turba.

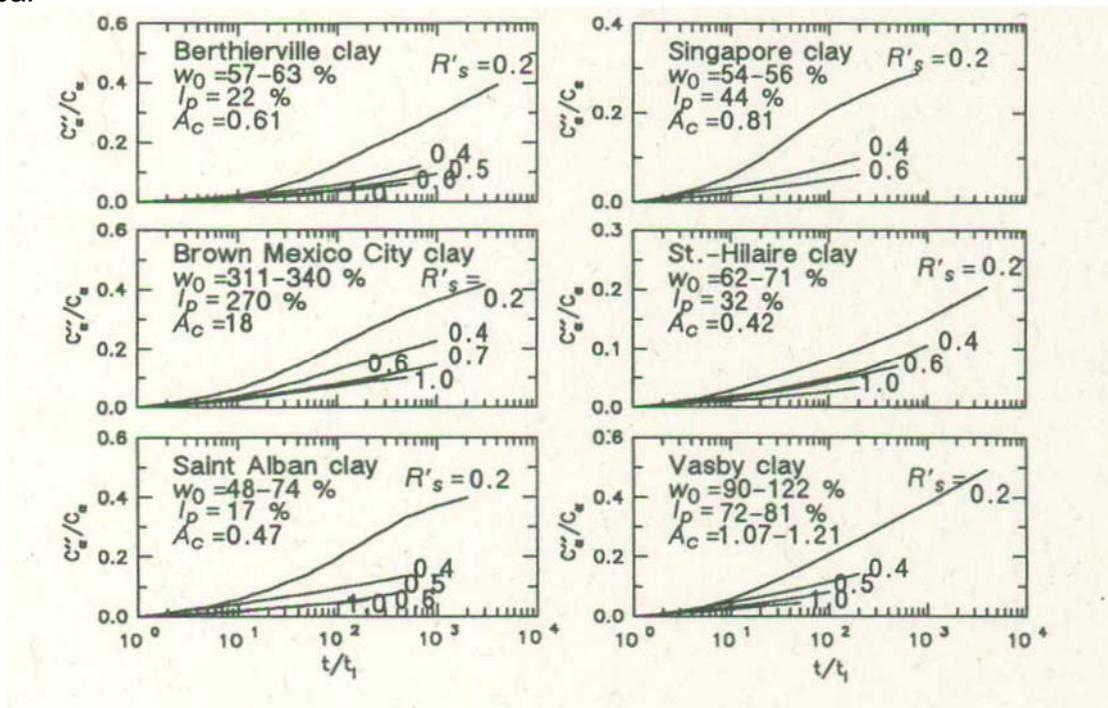


Figura 3.- Coeficiente de consolidación secundaria C''_{α} después de una sobrecarga en suelos arcillosos. (Mesri & Feng 1991)

2 CASO PRÁCTICO EN SUELOS ORGÁNICOS

Apliquémoslo de forma práctica a un caso para ver la importancia de esta precarga en la reducción de la consolidación secundaria

Nuestros datos de proyecto y de ensayos de laboratorio contrastados por las referencias bibliográficas son:

Incremento de presión efectiva vertical a una determinada profundidad debida al peso del terraplén de proyecto: $\sigma_{vf}'=60$ kPa (aproximadamente 3 m de altura).

Índice de Compresibilidad **Cc**= 2

Índice de poros **e₀**=1,8

Índice de Compresión relativo **C_{cr}**=**Cc**/(1+**e₀**)=0,71

Final de la consolidación primaria (EOP) **t_p**=6 semanas (este dato podría venir también de un terraplén de ensayo)

Calculamos el **C_α** a través de la expresión de **Mesri** para suelos orgánicos

$$\frac{C_{\alpha}}{C_c} = 0,05 \pm 0,01$$

Y obtenemos **C_α** = 0.05 x 2 = 0.1

Proyectamos la construcción de **una sobrecarga** de 1.5 metros, de forma que la presión efectiva vertical llegue hasta $\sigma_{vs}'=90$ kPa durante un tiempo **t_{sc}**. Descarguemos e imaginemos que el rebote primario se produce en **t_{pr}**=2 semanas.

El índice de **sobrecarga** resulta:

$$R_S = \frac{\sigma'_{vs}}{\sigma'_{vf}} - 1 = 0.5$$

Y de la Figura 1 obtenemos un tiempo **t_l** de aparición de la consolidación secundaria de 5 veces el rebote, es decir de 10 semanas después.

De la Figura 2 sacamos el nuevo Coeficiente de consolidación secundaria **C''_α** que debemos manejar para calcular el asiento al cabo de un tiempo t.

Para 5 años con relación a las 10 semanas, **t/t_l**=5x52/10=26, se obtiene un **C''_α/C_α**=0,18.

Con lo cual, el asiento por consolidación secundaria – con una potencia de suelos blandos de D metros - al cabo de 5 años, después de retirar la sobrecarga es

$$S_{\alpha (5 \text{ años})} = \frac{C_{\alpha}}{1 + e_0} \cdot D \cdot \log \frac{t}{t_l}$$

$$S''_{\alpha (5 \text{ años})} = \frac{C_c}{1 + e_0} \cdot \frac{C_{\alpha}}{C_c} \cdot \frac{C''_{\alpha}}{C_{\alpha}} D \cdot \log \frac{t}{t_l}$$

$$S''_{\alpha (5 \text{ años})} = 0.71 \cdot 0.05 \cdot 0.18 \cdot D \cdot \log \frac{260}{10} = 0.009 \cdot D \text{ m}$$

Si no se hubiera aplicado la sobrecarga, el asiento sería:

$$S_{\alpha (5 \text{ años})} = \frac{0.1}{1+1.8} \cdot D \cdot \log \frac{260}{6} = 0.058 \cdot D \text{ m}$$

Es decir seis veces mayor y hubiera empezado a las 6 semanas

3 CASO PRÁCTICO EN SUELOS POCO ORGÁNICOS

Supongamos los datos de proyecto y de ensayos de laboratorio siguientes:

Incremento de presión efectiva vertical a una determinada profundidad debida al peso del terraplén de proyecto: $\sigma_{vf}'=60$ kPa (aproximadamente 3 m de altura).

Índice de Compresibilidad $C_c=0.8$

Índice de poros $e_0=1,1$

Índice de Compresión relativo $C_{cr}=C_c/(1+e_0)=0,38$

Final de la consolidación primaria (EOP) $t_p=6$ semanas, similar al anterior.

Calculamos el C_α a través de la expresión de Mesri para suelos arcillosos blandos

$$\frac{C_\alpha}{C_c} = 0,04 \pm 0,01$$

Y obtenemos $C_\alpha = 0.04 \times 0.8 = 0.032$

Proyectamos la construcción de una sobrecarga de 1.5 metros, de forma que la presión efectiva vertical llegue hasta $\sigma_{vs}'=90$ kPa durante un tiempo t_{sc} . Descarguemos e imaginemos que el rebote primario se produce en $t_{pr}=1-2$ semanas.

El índice de sobrecarga resulta:

$$R_S = \frac{\sigma'_{vs}}{\sigma'_{vf}} - 1 = 0.5$$

Y de la Figura 1 obtenemos un tiempo t_l de aparición de la consolidación secundaria de 5 veces el rebote, es decir de 10 semanas después.

De la Figura 2 sacamos el nuevo Coeficiente de consolidación secundaria C''_α que debemos manejar para calcular el asiento al cabo de un tiempo t .

Para 5 años con relación a las 10 semanas, $t/t_l=5 \times 52/10=26$, en cualquiera de los seis gráficos se obtiene un $C''_\alpha/C_\alpha=0,03$ aproximadamente.

Con lo cual, el asiento por consolidación secundaria – en una potencia de suelos blandos de D metros - al cabo de 5 años después de retirar la sobrecarga es

$$S_{\alpha (5 \text{ años})} = \frac{C_\alpha}{1 + e_0} \cdot D \cdot \log \frac{t}{t_l}$$

$$S_{\alpha (5 \text{ años})} = \frac{C_c}{1 + e_0} \cdot \frac{C_\alpha}{C_c} \cdot \frac{C''_\alpha}{C_\alpha} D \cdot \log \frac{t}{t_l}$$

$$S''_{\alpha (5 \text{ años})} = 0.38 \cdot 0.04 \cdot 0.03 \cdot D \cdot \log \frac{260}{10} = 0.0006 \cdot D \text{ m}$$

Si no se hubiera aplicado la sobrecarga, el asiento sería:

$$S_{\alpha (5 \text{ años})} = \frac{0.032}{1 + 1.1} \cdot D \cdot \log \frac{260}{6} = 0.022 \cdot D$$

Es decir, treinta veces mayor y hubiera empezado a las 6 semanas

4 BIBLIOGRAFIA

Crawford, B., & Morrison, K.I., (1996). "Case histories illustrate the importance of secondary-type consolidation settlements in the Fraser River delta". Can. Geotech. J. (33) 876-878

Mesri, G. (1973). "Coefficient of secondary compression". J. Soil Mech. & Found. Div., ASCE, 99 (SM1), 123-137

Mesri, G., Choi, Y.K. (1985). "Settlement analysis of embankments on soft clays". J. Geotech. Eng., ASCE, 111 (4), 441-464

Mesri, G., Feng, T.W. (1991). "Surcharging to reduce secondary settlements". Proc., Int. Conf. Geotech. Eng. For Coast. Devel.- Theory to Pract., The Japan Society Of Civil Engineers, Tokyo, Japan, 1, 359-364.

Mesri, G., Stark, T.D., Ajlouni, M.A, Chen., C.S. (1997). "Secondary compression of Peat with or without surcharging". J. Geotech. Geoenv. Eng., ASCE, 123 (5), 411-421

Román, F. (1977). "Los suelos orgánicos, su origen y propiedades". Sem. Ingeniería Geotécnica. ETS Ing. de Caminos C. y P. Univ. Polit. Valencia.

Román, F. (1986). "Secondary consolidation of some Spanish Soil", 5th Internauional IAEG Congress. Buenos Aires.

Román, F. (1987). "Distribución y propiedades geotécnicas de los suelos cuaternarios de las zonas marismales en el litoral levantino, entre Sollana y Gandía". Univ. Polit. Valencia. Tesis doctoral.

Román, F. (2020). "Consolidación secundaria. Cómo estimarla". www.geofrom.es.