

Jacek Mierczyński

Proces upłynnienia nawodnionego gruntu

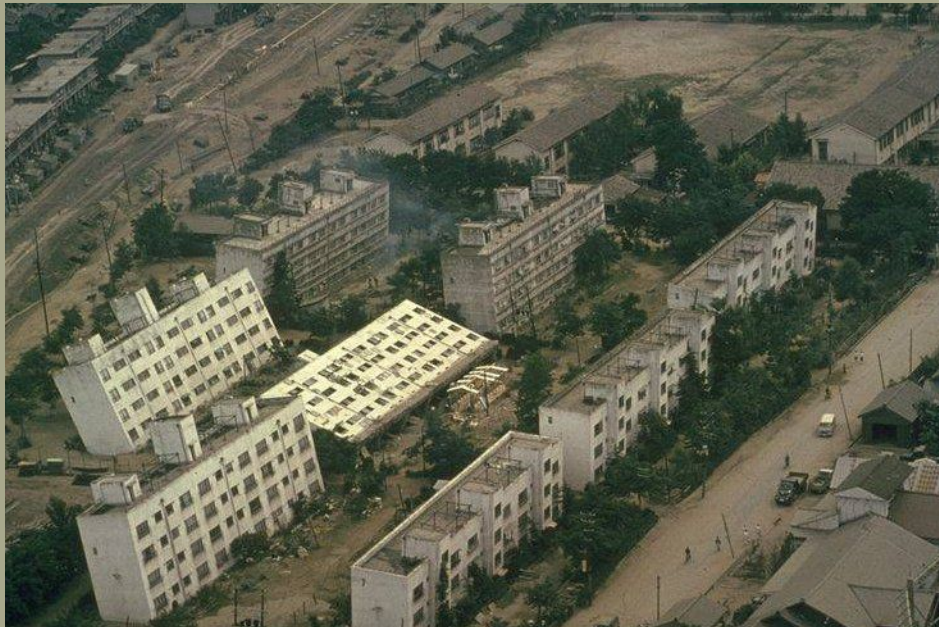
Instytut Budownictwa Wodnego PAN, Gdańsk

Upłynnienie: nagła utrata zdolności przenoszenia obciążeń przez nawodniony grunt niespoisty spowodowana zewnętrznym zaburzeniem (trzęsienie ziemi, sztorm, wybuch).

Przykłady skutków upłynnienia gruntu

(<http://www.ce.washington.edu/~liquefaction/>)

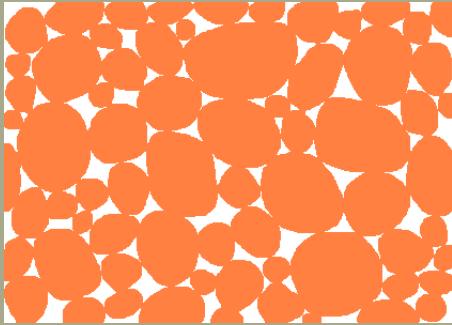
Osiadanie podłoża pod budynkami (Niigata, 1964)



Uszkodzenie nabrzeża portowego (Kobe, 1995)



Podstawowe wielkości opisujące szkielet gruntowy



$$V = V_s + V_p$$

gęstość właściwa:

$$\rho_s = m/V_s$$

gęstość objętościowa:

$$\rho_d = m/V$$

porowatość:

$$n = \frac{V_p}{V} = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s}$$

wskaźnik porowatości:

$$e = \frac{V_p}{V_s} = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d} = \frac{n}{1 - n}$$

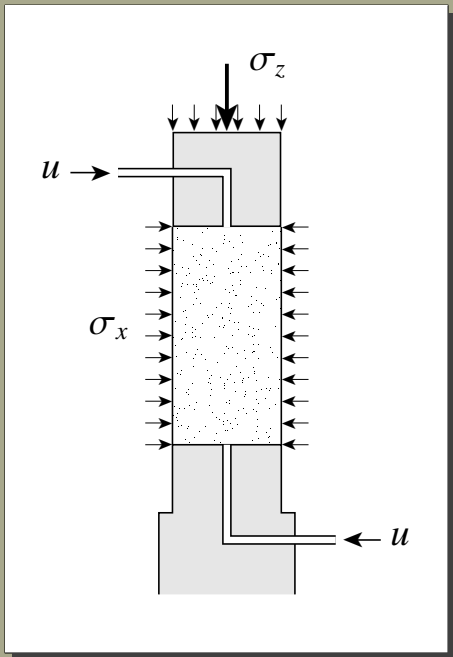
stopień zagęszczenia:

$$I_D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$$

Aparat trójosiowego ściskania



Próbka gruntu w aparacie trójosiowego ściskania:



Naprężenia efektywne:

$$\sigma'_x = \sigma_x - u$$

$$\sigma'_z = \sigma_z - u$$

Naprężenie średnie:

$$p' = (\sigma'_z + 2\sigma'_x)/3$$

„Dewiator” naprężenia:

$$q = \sigma'_z - \sigma'_x = \sigma_z - \sigma_x$$

$$\eta = \frac{q}{p'}$$

Badania w aparacie trójosiowego ściskania

Rodzaje obciążenia

- monotoniczne
- cykliczne

Warunki przepływu wody

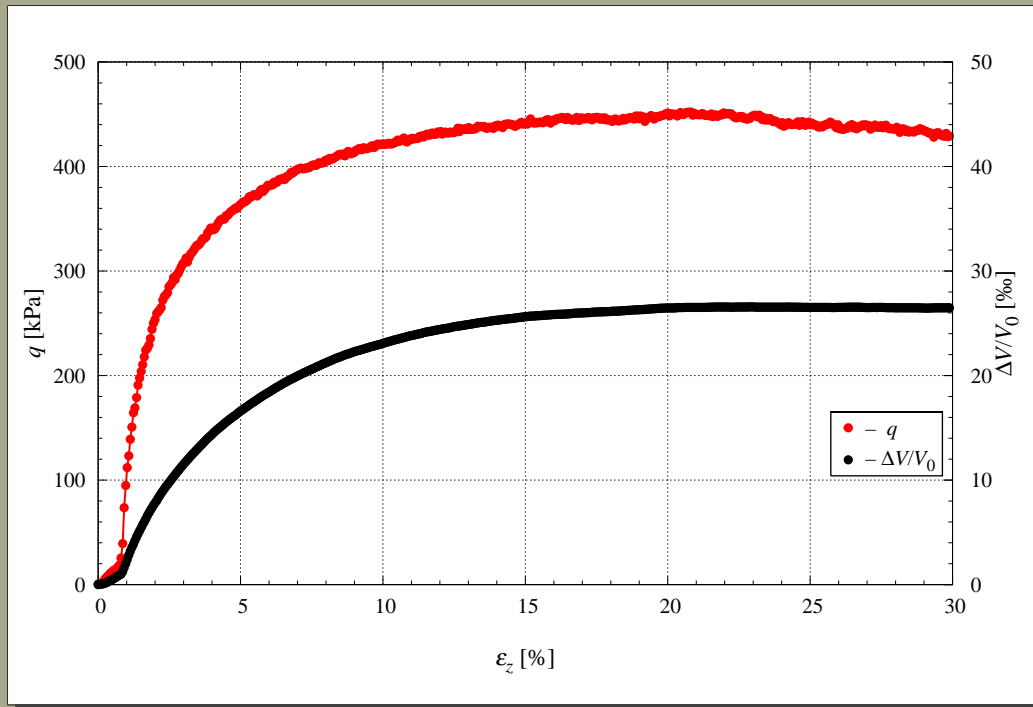
- grunt suchy lub nawodniony ze swobodnym przepływem wody przez pory
- grunt nawodniony bez możliwości przepływu wody przez pory

Mierzone wielkości

- odkształcenia
- zmiany ciśnienia wody w porach
- wytrzymałość na ścinanie
- liczba cykli obciążenia prowadzących do upłynnienia

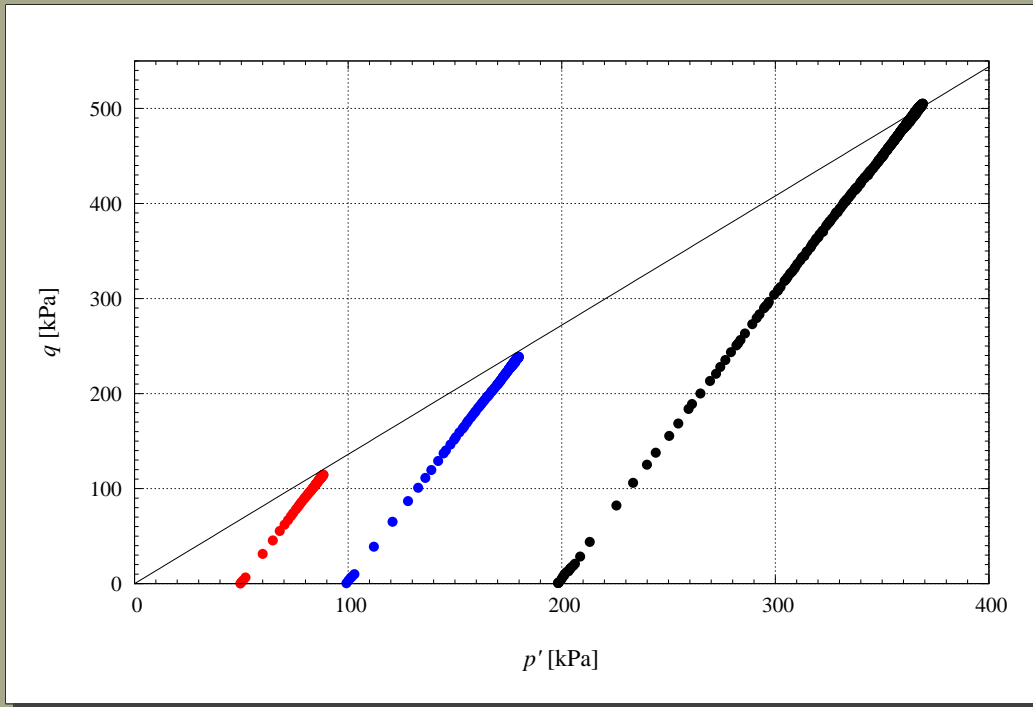
„Standardowe” ścinanie – badanie wytrzymałości gruntu

$$(\sigma_x = \text{const}, \quad \sigma_x \leq \sigma_z(t) \leq \sigma_z^{\text{max}})$$



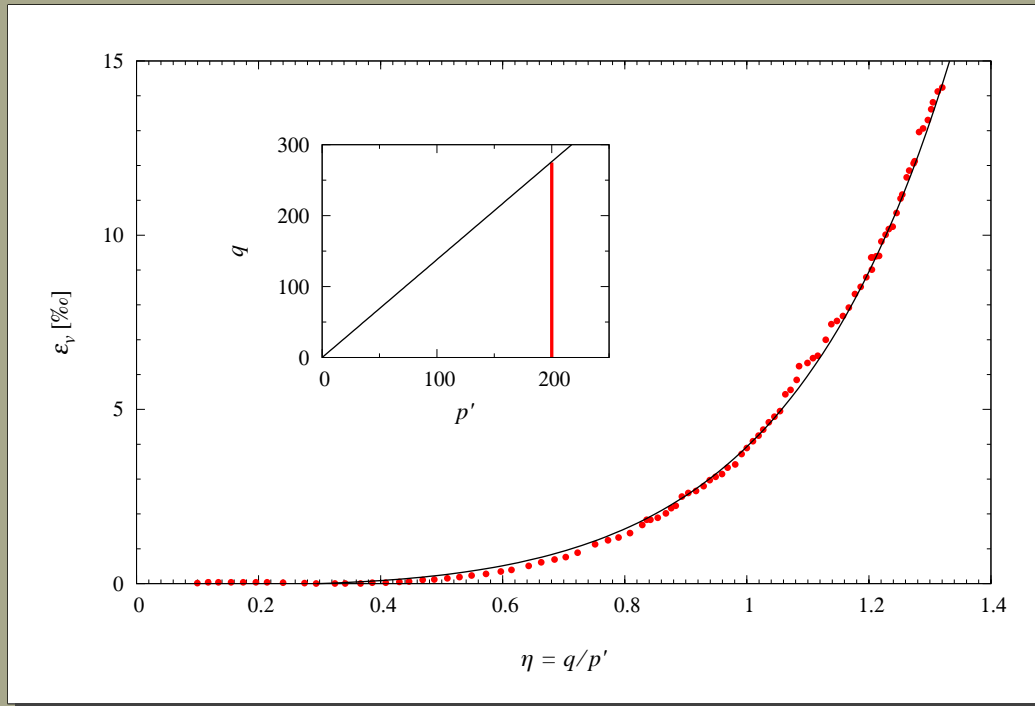
Warunek Coulomba-Mohra

$$(\sigma_z - \sigma_x) = (\sigma_z + \sigma_x) \sin \phi \quad \text{lub} \quad q = p' \cdot 6 \sin \phi / (3 - \sin \phi)$$



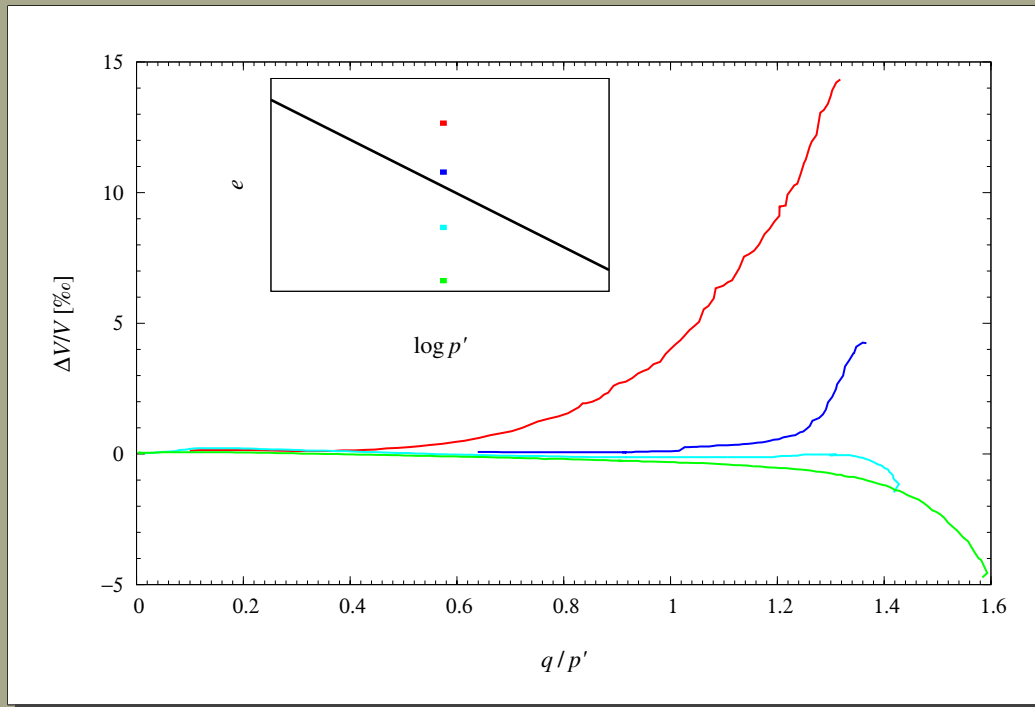
„Czyste” ścinanie

$$(p' = \text{const}, \quad \Delta\sigma'_x = -\Delta\sigma'_z/2)$$



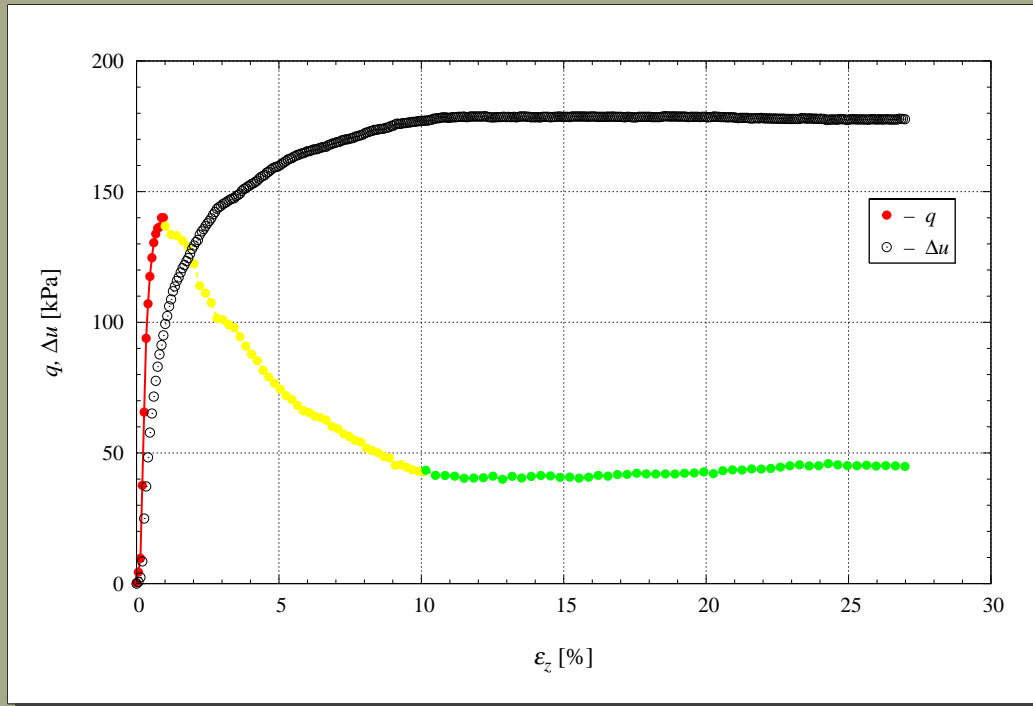
„Czyste” ścinanie

Wpływ początkowego stanu gruntu na zmianę objętości podczas ścinania



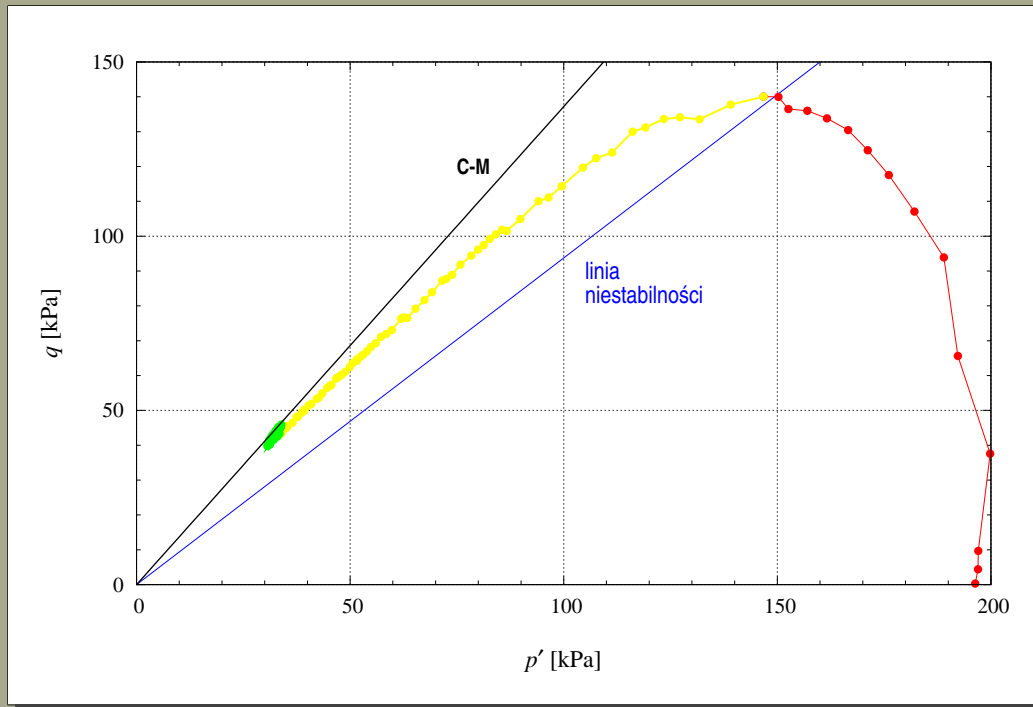
Ścinanie w warunkach bez odpływu wody z porów – statyczne upłynnienie

$(p'_0 = 200 \text{ kPa}, \quad \Delta\varepsilon_z/\Delta t = \text{const} \approx 10 \text{ \%}/\text{h})$



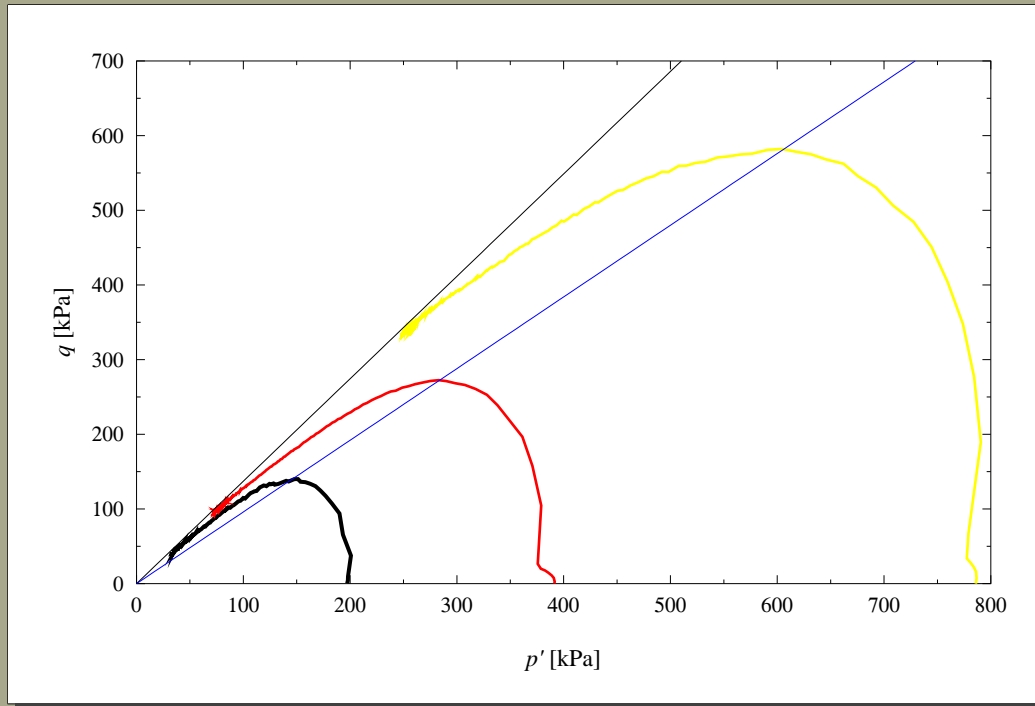
Ścinanie w warunkach bez odpływu wody z porów

Ścieżka naprężeń efektywnych



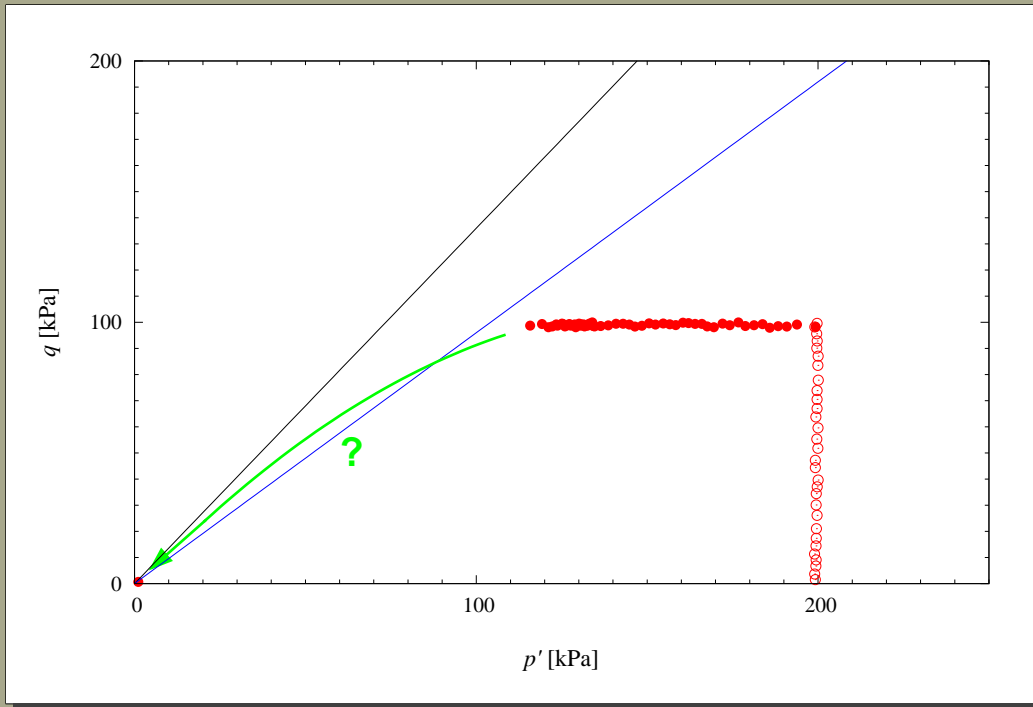
Ścinanie w warunkach bez odpływu wody z porów

Ścieżki naprężeń efektywnych odpowiadające różnym wartościom początkowym średniego naprężenia efektywnego



Odciążenie izotropowe w warunkach bez odpływu wody z porów

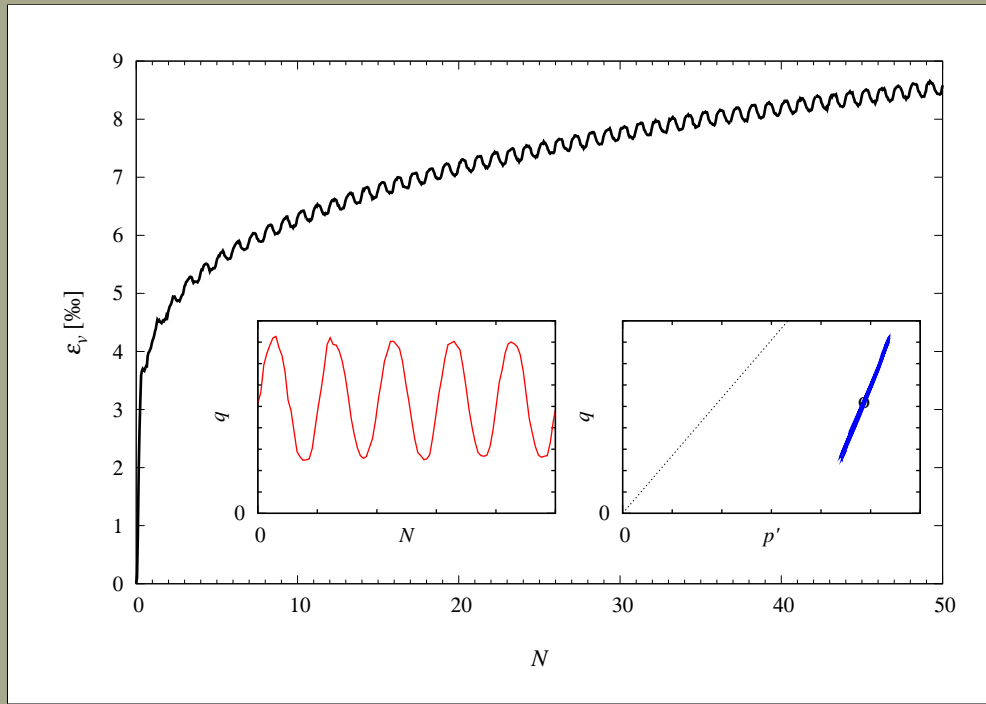
$$(q = \text{const}, \quad \Delta\sigma_x = \Delta\sigma_z)$$



Ścinanie cykliczne

Zagęszczanie gruntu suchego

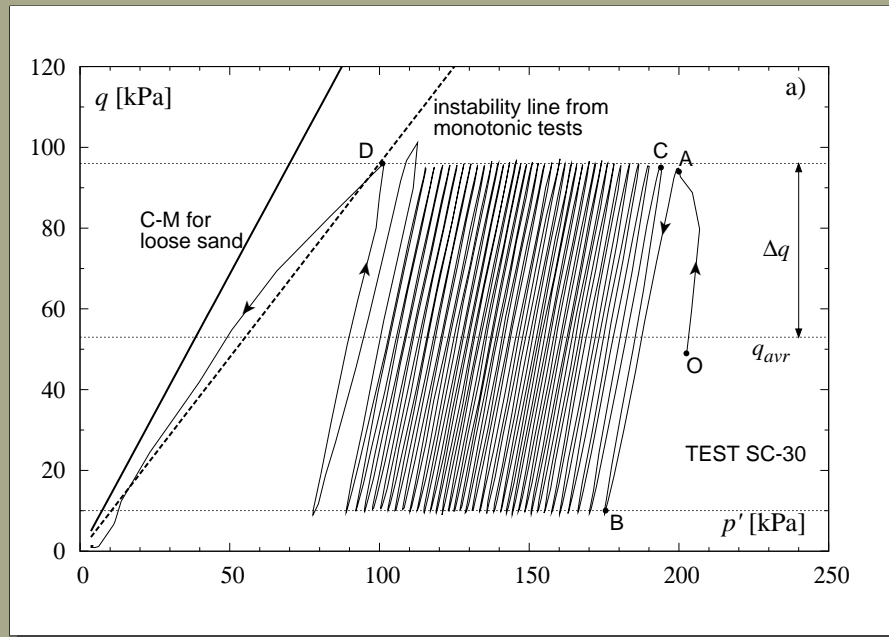
$$(\sigma_x = \text{const}, \quad \sigma_z = \sigma_z^0 + \Delta\sigma_z \cdot \sin \omega t)$$



Ścinanie cykliczne

Upłynnienie gruntu nawodnionego

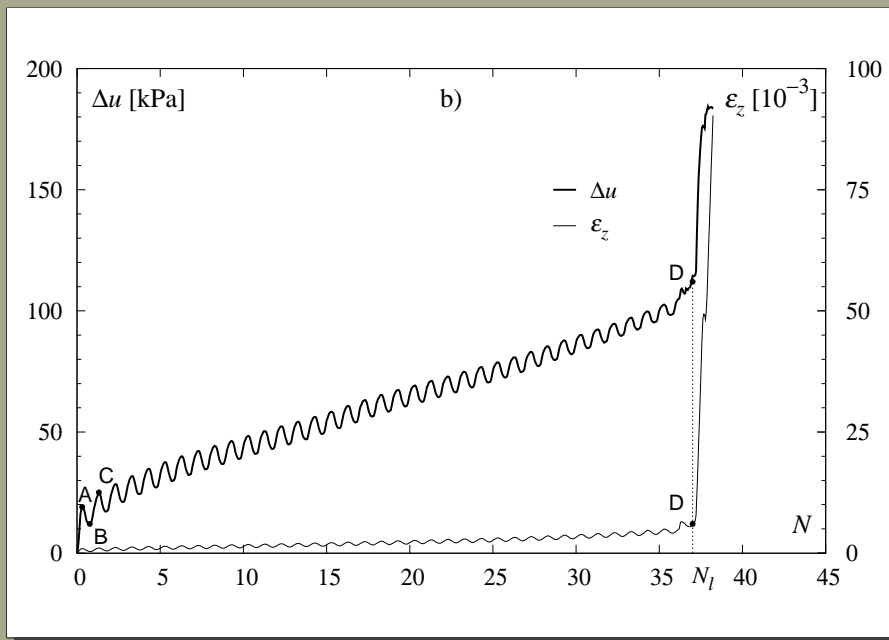
Ścieżka naprężeń efektywnych



Ścinanie cykliczne

Upłynnienie gruntu nawodnionego

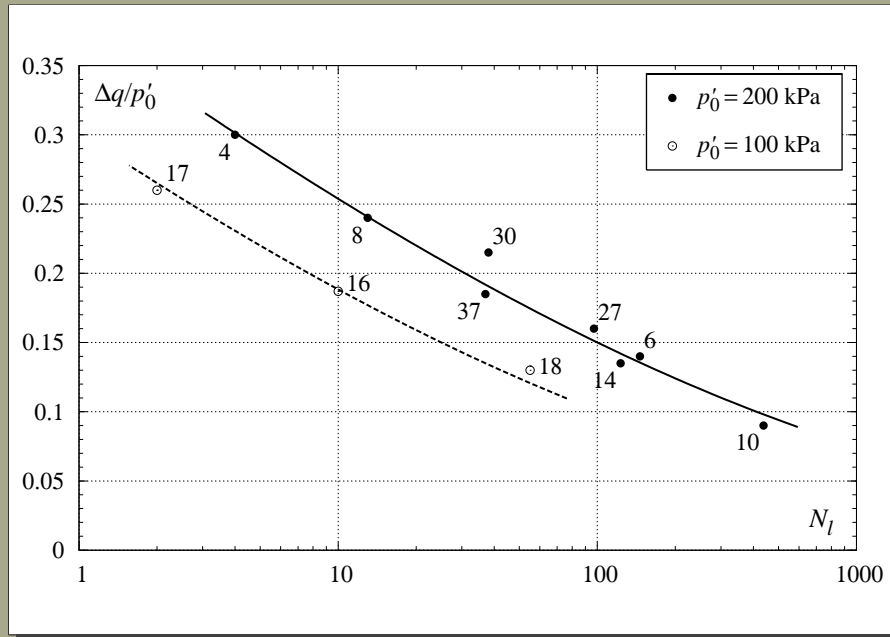
Generacja ciśnienia wody w porach



Ścinanie cykliczne

Upłynnienie gruntu nawodnionego

Wpływ amplitudy obciążenia na liczbę cykli, po których następuje upłynnienie gruntu



Przykłady zagadnień związanych z modelowaniem zjawiska upłynnienia

- opis deformacji gruntu suchego poddanego różnym stanom obciążenia (monotonicznego i cyklicznego)

$$\varepsilon_v = \varepsilon_v(q, p')$$

- opis zmian ciśnienia wody w porach i upłynnienia gruntu nawodnionego obciążanego w warunkach bez odpływu wody z porów

$$\varepsilon_v(q, p') = n\varepsilon_w(u), \quad \implies \quad u = u(q, p'), \quad p' = p'(u)$$

- opis własności gruntu w stanie upłynnienia