
BADANIA SPECJALNE – PRÓBNE OBCIĄŻENIA NASYPAMI

6.1. Cel badań

Celem próbnych obciążeń podłoża nasypami doświadczalnymi jest wyznaczenie parametrów odkształceniowych przez rozwiązanie zadania odwrotnego. Ma to szczególne znaczenie w przypadku oceny parametrów gruntów organicznych, do których powszechnie stosowane w projektowaniu związki konstytutywne nie opisują należycie zależności „naprężenie-odkształcenie-czas”. Stosowanie natomiast skomplikowanych równań konstytutywnych w prostych rozwiązaniach technicznych utrudnia proces obliczeniowy.

Ze względu na nieliniowość zależności „naprężenie-odkształcenie-czas” oraz zmienność parametrów odkształceniowych w czasie celowe jest przeprowadzenie próbnego obciążenia podłoża nasypem i wyznaczenie parametrów uśrednionych przez wsteczną analizę procesu ściśliwości.

Próbne obciążenia wykonuje się na podstawie programu badań zawierającego cel i zakres tych badań z podziałem na poszczególne etapy. W celu zmniejszenia kosztów badania te zaleca się wykonywać na trasie projektowanych nasypów.

6.2. Metodyka badań

6.2.1. Lokalizacja nasypów

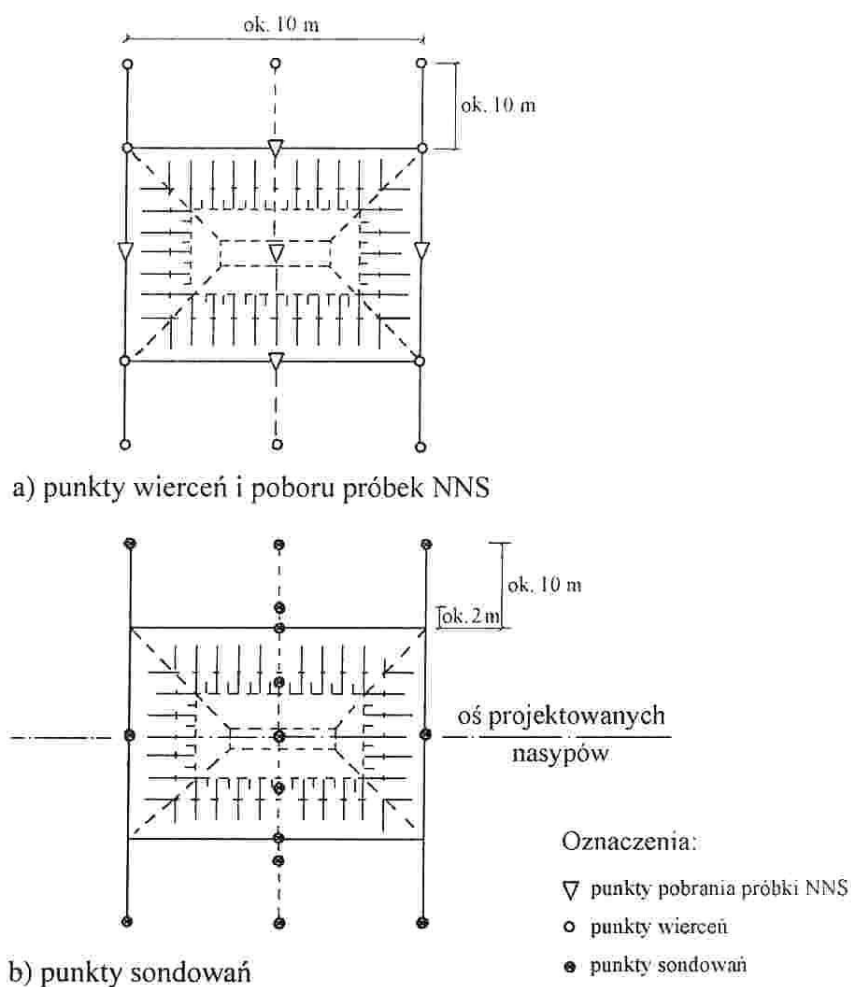
Wybór miejsca budowy nasypów doświadczalnych jest zawsze oparty na analizie dokumentacji geologicznej podłoża projektowanych budowli. W przypadku podłoża jednorodnego, o małej zmienności właściwości fizycznych i niewielkim zróżnicowaniu warstw ściśliwych projektuje się i wykonuje jeden nasyp doświadczalny jako reprezentatywny dla całego obszaru.

W gruntach niejednorodnych niezbędne jest wykonanie m.in. dwóch nasypów, zlokalizowanych na podłożu o skrajnych warunkach pod względem jego budowy i właściwości poszczególnych warstw.

Wymiary nasypów doświadczalnych w przekroju poprzecznym powinny być zbliżone do wymiarów projektowanych budowli. Długość nasypu w koronie wynosi minimum 40 m.

6.2.2. Rozpoznanie podłoża nasypów doświadczalnych

Celem dokładnego rozpoznania podłoża, tj. miąższości warstw ściśliwych, ich właściwości fizycznych i parametrów wytrzymałościowych, należy wykonać terenowe badania geotechniczne w minimum trzech przekrojach poprzecznych (rys. 6.1).



Rysunek 6.1. Lokalizacja punktów badawczych

Badania obejmują:

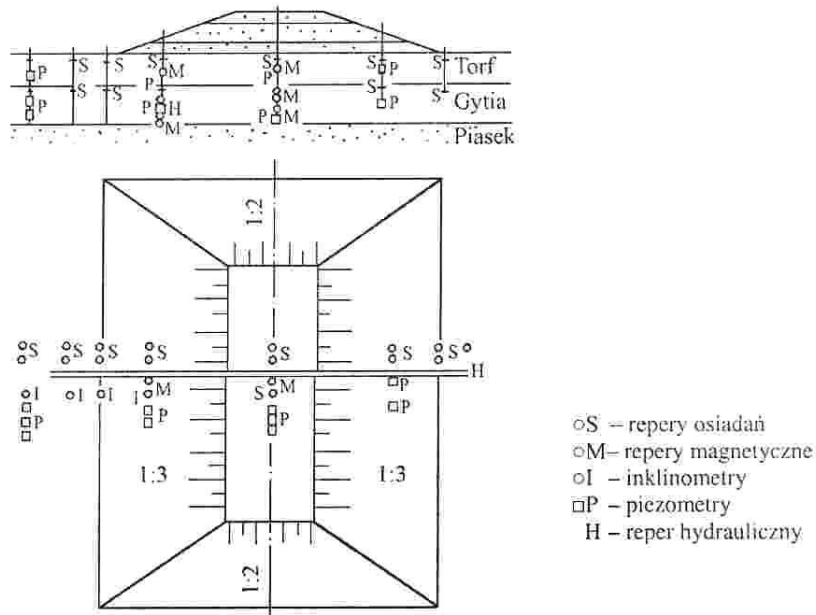
- małośrednicowe wiercenia celem określenia zalegania warstw słabych,
- pobieranie próbek NNS do laboratoryjnych badań właściwości fizycznych (ρ , ρ_{ds} , ρ_s , w_{10} , w_L , w_p) oraz mechanicznych (M , ϕ , c),
- ścinania obrotowe sondą PSO-1, w pionie co 0,5 m, celem określenia wytrzymałości gruntu na ścinanie,
- sondowania statyczne z pomiarem ciśnienia wody w porach w celu określenia stanu gruntu i rozkładu ciśnień wody w porach w podłożu.

Wyniki badań geotechnicznych podłoża nasypów doświadczalnych są przedstawiane graficznie na przekrojach poprzecznych, z naniesieniem właściwości fizycznych, parametrów wytrzymałościowych i rozkładu ciśnień wody w porach w poszczególnych pionach badawczych.

6.2.3. Aparatura i urządzenia pomiarowe

Rodzaje i ilość terenowej aparatury pomiarowej są ściśle związane z celem i zakresem badań podłoża. Pełny zakres badań obejmuje (rys. 6.2):

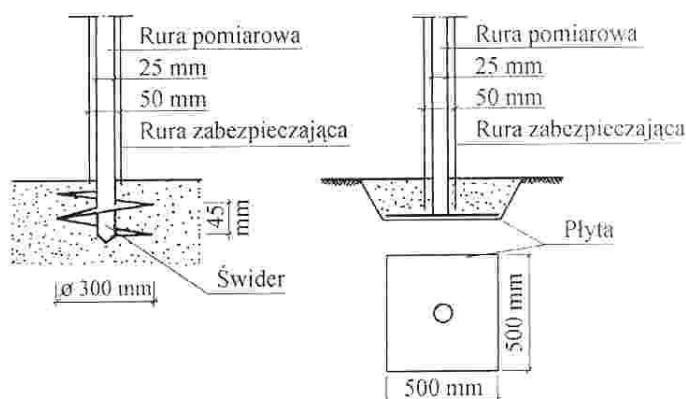
- pomiary przemieszczeń pionowych i poziomych poszczególnych warstw ściśliwych podłoża nasypu,
- pomiary zmian ciśnienia wody w porach,
- pomiary zmian wytrzymałości gruntów w podłożu.



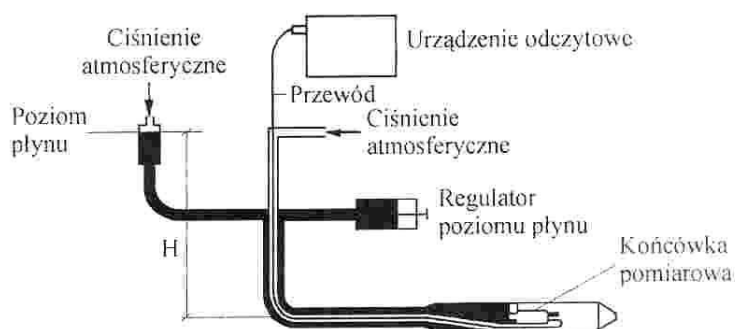
Rysunek 6.2. Lokalizacja aparatury pomiarowej

Zakres ten stosuje się każdorazowo w badaniach podłoża słabonośnego. W przypadku gruntów mniej odkształcalnych można zrezygnować z pomiarów przemieszczeń poziomych ze względu na trudność w zakupie inklinometrów i bardzo specjalistyczny charakter prac pomiarowych.

Do obserwacji pionowych osiadań podłoża obciążonego stosuje się powierzchniowe repery płytowe zainstalowane na głębokości 0,5 m p.p.t. oraz ślimakowe repery wgłębne zainstalowane na stykach poszczególnych warstw podłoża (rys. 6.3). Pomiar przemieszczeń pionowych w podstawie nasypu prowadzi się metodami hydraulicznymi (rys. 6.4).



Rysunek 6.3. Repery stosowane do pomiaru przemieszczeń pionowych



Rysunek 6.4. Reper hydrauliczny stosowany do pomiaru przemieszczeń pionowych podstawy nasypu

Kontrolę poprawnego działania ww. reperów zaleca się prowadzić na podstawie pomiarów reperów magnetycznych. Instaluje się je w tych samych profilach badawczych z co najmniej dwoma pierścieniami w każdej warstwie.

Do pomiaru przemieszczeń poziomych podłoża stosuje się inklinometry. Rury inklinometryczne powinny być zakotwione w warstwie nieodkształcalnej ze względu na konieczność każdorazowego dowiezywania się do punktu stałego.

Zmiany ciśnienia wody w porach określa się na podstawie wskazań piezometrów, które są instalowane w środku miąższości każdej warstwy. Konstrukcję piezometrów przedstawiono w rozdziale 2.2.

Do obserwacji wahań zwierciadła wody gruntowej instaluje się dwa piezometry otwarte, jeden z nich płytki, z filtrem na głębokości 1.0 m poniżej powierzchni terenu, drugi zaś głęboki, z filtrem poniżej podłoża ściśliwego. Obydwa piezometry powinny być zlokalizowane poza strefą wpływu nasypu na podłoże, tj. w odległości powyżej $5H$ (H – wysokość nasypu).

6.2.4. Technologia budowy nasypów

Nasypy doświadczalne wykonywane są z gruntu przewidzianego do budowy nasypów właściwych. Sypanie nasypów jest zwykle etapowe, w etapach wynikających z analizy stateczności podłoża. Taka technologia budowy pozwala uzyskać pełną informację zmienności parametrów odkształceniowych podłoża pod wzrastającym obciążeniem.

Każdy z etapów polega na usypaniu nasypu do dopuszczalnej wysokości określonej z analizy stateczności: w etapie pierwszym przy wytrzymałości na ścinanie τ_m określonej dla gruntu w stanie „in situ”, a w etapach następnych z uwzględnieniem wzrostu wytrzymałości wynikającego ze skonsolidowania gruntu.

Budowę nasypów doświadczalnych zaleca się rozpoczynać wiosną (kwiecień – maj) ze względu na konieczność częstych pomiarów bezpośrednio po zakończeniu sypania. Spadek temperatury poniżej zera utrudnia wykonanie pomiarów poniżej zwierciadła wody gruntowej. Czas obserwacji jednego etapu uwarunkowany jest analizą wyników pomiarów, średnio wynosi ok. 3 miesiące.

6.2.5. Wykonanie pomiarów

Obserwację przemieszczeń i zmian ciśnienia wody w porach w podłożu prowadzi się dla każdego z etapów z częstotliwością: codziennie w czasie wznoszenia nasypów i w ciągu 1 tygodnia po obciążeniu oraz jeden raz w tygodniu w ciągu 1 miesiąca, a po tym okresie raz na dwa tygodnie.

Pomiary pionowych przemieszczeń podłoża polegają na cyklicznym określaniu rzędnych reperów metodą niwelacji z dokładnością do 5 mm oraz poziomów osiadań poszczególnych warstw podłoża za pomocą czujnika magnetycznego.

Pomiaru przemieszczeń poziomych dokonuje się za pomocą elektronicznego urządzenia odczytowego i sondy określającej kąt odchylenia rury inklinometrycznej od pionu co 1 m głębokości.

Wartość ciśnień wody w porach w podłożu określa się z dokładnością do 0,1 kPa na podstawie wskazań urządzenia odczytowego piezometrów elektrycznych oraz z dokładnością do 1 cm słupa wody na podstawie wskazań urządzenia odczytowego piezometrów typu BAT.

6.3. Opracowanie i interpretacja wyników

W czasie trwania próbnego obciążenia wyniki pomiarów są zestawiane w tabelach. Z tej dokumentacji sporządza się w formie graficznej do każdej ściśliwej warstwy:

- krzywą ściśliwości (odkształcenie pionowe ε_1 – naprężenie efektywne σ^f),
- krzywą konsolidacji (przemieszczenie pionowe s – czas t),
- krzywą rozpraszania nadwyżki ciśnienia wody w porach (nadwyżka ciśnienia wody w porach Δu – czas t),
- charakterystykę materiałową (odkształcenie pionowe ε_1 – odkształcenie poziome ε_3).

Charakterystyki te są potrzebne do określenia wartości modułu odkształceniowego E , współczynnika Poissona ν oraz współczynnika konsolidacji c_v na podstawie wyników badań terenowych. Sposób interpretacji wyników badań przedstawiono na rysunku 6.5. Znajomość tych parametrów jest niezbędna do numerycznej analizy przebiegu odkształceń podłoża, a szczególnie do poprawnej oceny przemieszczeń poziomych decydujących o stateczności budowli.

W przypadku posadowienia budowli na podłożu ściśliwym o małej miąższości (do 5 m) lub o dużej podstawie (powyżej $2H_0$, H_0 – początkowa miąższość podłoża ściśliwego) analizę procesu konsolidacji można przeprowadzić w stanie jednowymiarowym. Do tego celu wykorzystuje się propozycję Asaoki (1978).

Przebieg osiadania podłoża w czasie S_t określa równanie:

$$S_t = S_r (1 - \exp(-\lambda t)) \quad (6.1)$$

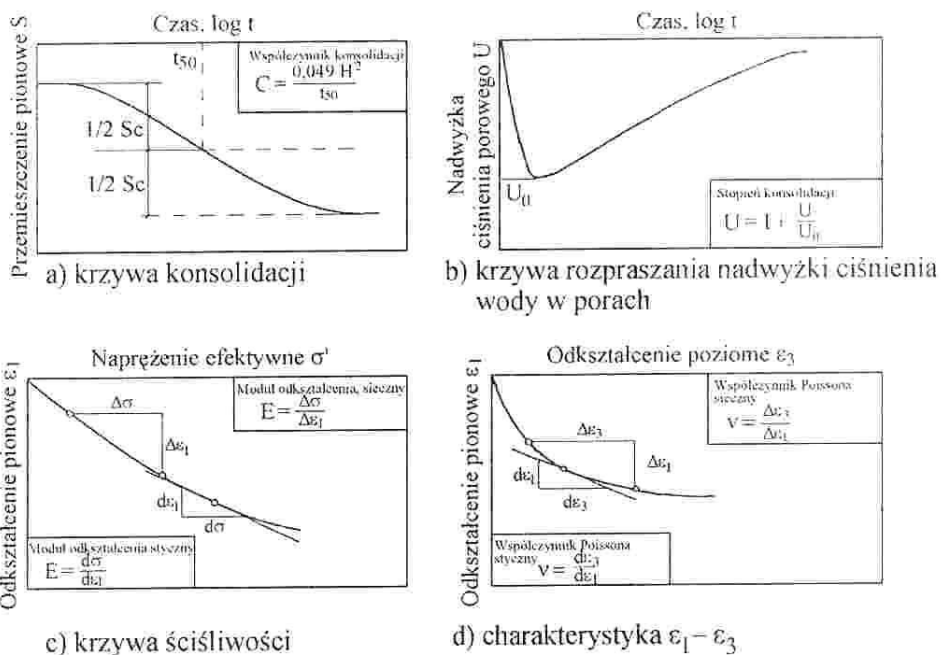
gdzie:

S_r – osiadanie końcowe [m],

$$\lambda = -\frac{\ln \beta_1}{\Delta t} \quad (6.2)$$

β_1 – parametr obserwacyjny [-],

t – przyrost czasu [doby].



Rysunek 6.5. Interpretacja wyników badań

Na podstawie wyników pomiarów pionowych osiadań podłoża w osi nasypu doświadczalnego wykreśla się we współrzędnych liniowych krzywą konsolidacji (rys. 6.6):

$$S_i = f(t_i) \tag{6.3}$$

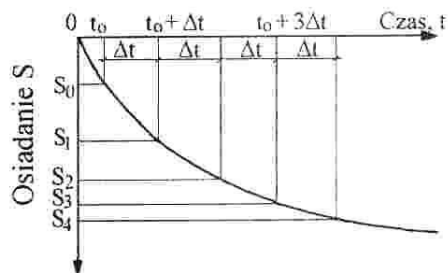
gdzie:

$$t_i = \{t_0 + \Delta t\}$$

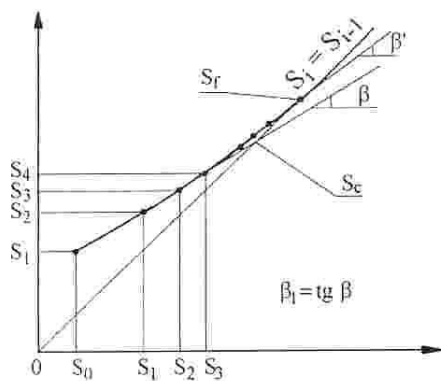
$$i = 1, 2, 3.$$

Uzyskane punkty służą do sporządzenia wykresu (rys. 6.7):

$$S_i = f(S_{i-1}) \tag{6.4}$$



Rysunek 6.6. Dyskretyzacja krzywej konsolidacji gruntu



Rysunek 6.7. Sposób wyznaczania parametrów według Asaoki (1978)

Zgodnie z równaniem konsolidacji jednowymiarowej Terzaghi'ego, punkty te układają się na linii prostej o nachyleniu $\beta_1 = \text{tg}\beta$. Prosta ta przecina dwusieczną oś współrzędnych w punkcie, w którym odcięta jest równa osiadaniu całkowitemu S_c , a parametr $\lambda = -[(\ln\beta_1)/\Delta t]$.

Uzyskane poprzez wsteczną analizę procesu ściśliwości parametry konsolidacyjne λ i S_c pozwalają na ocenę konsolidacji podłoża obciążonego budowlą.