ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2005
Seria: BUDOWNICTWO z. 104 Nr kol. 1695

Elżbieta KOKOCIŃSKA – PAKIET*
Politechnika Opolska

OPIS POWIERZCHNI POŚLIZGU SKARPY I ZBOCZA

Streszczenie. Artykuł ma na celu zebranie podstawowych wiadomości, dotyczących powstawania powierzchni poślizgu w zboczach naturalnych i skarpach powstających w wyniku działalności człowieka w zależności od użytej metody obliczeniowej. Podaje zarówno podstawowe definicje poszczególnych elementów, jak również krótko opisuje sposoby badań terenowych i określania położenia powierzchni poślizgu za ich pomocą.

DESCRIPTION OF SLIP SURFACE FOR FILL SLOPE AND NATURAL SLOPE

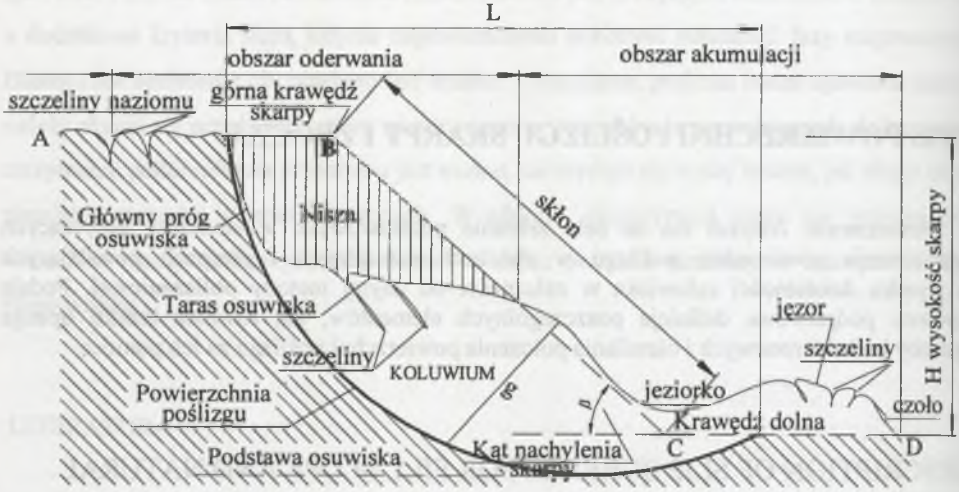
Summary. The aim of this paper was to collect the basic information about forming slip surfaces of natural slopes and of slopes, which were formed by a human activity by applying different calculating methods. In the article various fundamental definition of particular elements were given as well as short descriptions of outdoor researches on the basis of which the slip surfaces were determined.

1. Wstęp

Osuwisko jest najniebezpieczniejszym zjawiskiem geotechnicznym. W przypadku konstrukcji geotechnicznych dość dokładnie można określić przestrzeń deformacji i prognozować wartości ich w czasie. W przypadku osuwisk zagadnienie jest znacznie trudniejsze, ponieważ przestrzeń jest znacznie większa, a deformacje i przemieszczenia nieprzewidywalne. Na podstawie badań geologicznych i geotechnicznych nie ma praktycznych możliwości zdefiniowania granic obszaru, na którym zachodzi proces deformacji. Geodezyjne obserwacje przemieszczeń dopiero udzielają nam wiarygodnych informacji o zakresie zjawiska.

*Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Wojciech Anigacz, prof. Politechniki Opolskiej

Aby dokładnie zrozumieć problem, należy poznać podstawowe pojęcia dotyczące osuwisk. Oznaczenia poszczególnych elementów osuwającego się zbocza pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat oznaczeń elementów osuwiska [10]
Fig. 1. Designation scheme of slope failure elements [10]

Przyczyn osunięcia się zbocza jest wiele. Czasami pojedynczy czynnik, a zazwyczaj grupa przyczyn powodują osunięcie. Możemy wyróżnić wiele czynników wzbudzających osuwisko. Szczegółowo określa je Instrukcja ITB nr 304 [10].

W zależności od materiału budującego zbocze lub skarpę oraz sił powodujących osuwanie się materiału wyróżniamy następujące typy osuwisk: - obryw, - osyp, - osuwisko, - zsuw, - pełzanie, - spływ [10].

2. Powierzchnie poślizgu w różnych metodach obliczeniowych

Celem podstawowym w wyznaczaniu stateczności skarp i zboczy jest określenie właściwego modelu obliczeniowego. Tradycyjne sposoby oceny stateczności w stosowanych w praktyce metodach obliczeniowych polegają na określeniu usytuowania i kształtu powierzchni poślizgu oraz ocenie bilansu sił działających na masyw.

W wielu przypadkach nieznane jest położenie potencjalnej powierzchni poślizgu. Często do oceny stateczności przyjmuje się pewien kształt powierzchni, np.: płaski, walcowy lub

łamany. Istniejące w przyrodzie osuwiska pokazują, że nie zawsze powierzchnie te pokrywają się z istniejącymi w rzeczywistości. Stosowane są różne procedury poszukiwania powierzchni poślizgu, których lokalizacja jest uzależniona od wielu czynników charakteryzujących zbocze. Czasami losowość zaistniałych przyczyn powoduje również przypadkowość kształtu i położenia powierzchni poślizgu. [6]

W praktyce inżynierskiej najszersze zastosowanie znalazły rozwiązania, opierające się na metodzie pasków. Są one podstawą większości metod polegających na poszukiwaniu potencjalnych powierzchni poślizgu. Metoda pasków jest często krytykowana ze względu na nieścisłości w założeniach oraz niejednoznaczność rozwiązań. Pomimo tych defektów jest najczęściej stosowaną metodą do obliczania stateczności skarp budowli ziemnych i skarp oraz zboczy naturalnych. Podstawą realizacji obliczeń jest ocena stateczności masywu osuwiska podzielonego na elementy pionowe, tzw. paski. Analizuje się warunki równowagi pasków w zasięgu strefy ograniczonej usytuowaniem powierzchni poślizgu. Celem końcowym jest ustalenie najniekorzystniejszego położenia powierzchni poślizgu.

Podstawowym elementem ustalania stateczności jest obliczenie współczynnika stateczności skarp i zboczy według wzoru:

$$F = \frac{\sum U_i}{\sum Z_i} \tag{1}$$

gdzie:

U_i – uogólniona suma sił utrzymujących wywołanych tarciem i spójnością materiału,

Z_i – uogólniona suma sił zsuwających, które wywołane są siłami grawitacyjnymi i siłami filtracji.

Wartość tego współczynnika w metodzie pasków jest determinowana kształtem i usytuowaniem powierzchni poślizgu oraz stosunkiem rzeczywistej wytrzymałości gruntu do wytrzymałości niezbędnej do wzbudzenia stanu równowagi granicznej w zasięgu powierzchni poślizgu. Przyjmuje się stałą wartość współczynnika dla całej powierzchni [3].

2.1. Powierzchnia poślizgu w metodzie Felleniusa (szwedzkiej)

W metodzie Felleniusa przyjmuje się kołowo-walcową powierzchnię poślizgu i dla niej określa się minimalną wartość współczynnika stateczności F_{min}. Współczynnik ten w metodzie szwedzkiej ustalany jest według następujących założeń: wypadkowe ΔW_i

w każdym pasku są równoległe do jego podstawy, co oznacza równoległość do sił oporów ścinania S_i, z czego wynika, że siły normalne do powierzchni określa się:

$$N_i = G_i \cdot \cos\alpha_i \tag{2}$$

gdzie:

N_i – siła normalna dla i-tego paska,

G_i – ciężar i-tego paska,

α_i – nachylenie podstawy i-tego paska do poziomu.

W wyniku przyjętych założeń współczynnik stateczności skarp przedstawiony jest w następującej zależności:

$$F_F = \frac{\sum_{i=1}^{n}[(G_i \cos\alpha_i - u_i l_i)tg\phi_i + c_i l_i]}{\sum_{i=1}^{n} G_i \sin\alpha_i} \tag{3}$$

gdzie:

ϕ_i – efektywny kąt tarcia wewnętrznego,

c_i – efektywna spójność gruntu,

l_i – poszczególne odcinki linii poślizgu odpowiadające ϕ_i i c_i,

u_i – wielkość ciśnienia wody w porach gruntu na rozpatrywanym fragmencie powierzchni poślizgu [3].

2.2. Powierzchnia poślizgu w metodzie Bishopa

W metodzie Bishopa zakładamy, że pomiędzy poszczególnymi elementami podziału masywu osuwiskowego występują tylko siły E_i, czyli wypadkowa wzajemnych oddziaływań ΔE_i jest również siłą poziomą. Wartość współczynnika stateczności określa się następująco:

$$F_B = \frac{\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{m_\alpha}[(G_i \cos\alpha_i - u_i l_i)tg\phi_i + c_i]}{\sum_{i=1}^{n} G_i \sin\alpha_i} \tag{4}$$

gdzie:

$$m_\alpha = \cos\alpha + \frac{(tg\phi_i \sin\alpha_i)}{F_B} \tag{5}$$

- pozostałe oznaczenia jak wyżej [3].

Ponieważ m_α zależy od F_B, w uproszczonej metodzie Bishopa obliczenia wykonujemy metodą kolejnych przybliżeń, a do określania wartości m_α stosujemy nomogramy. Metoda Bishopa zastosowana w obliczeniach określa płytsze położenie powierzchni poślizgu niż metoda Felleniusa. Przyjmuje się jej kształt jako walcowo-cylindryczny.

2.3. Pozostałe metody pasków

Zestawienie założeń oraz przyjmowanych powierzchni poślizgu dla wymienionych metod oraz kilku pozostałych ze względu na ograniczenia liczby stron artykułu podano w tabeli 1.

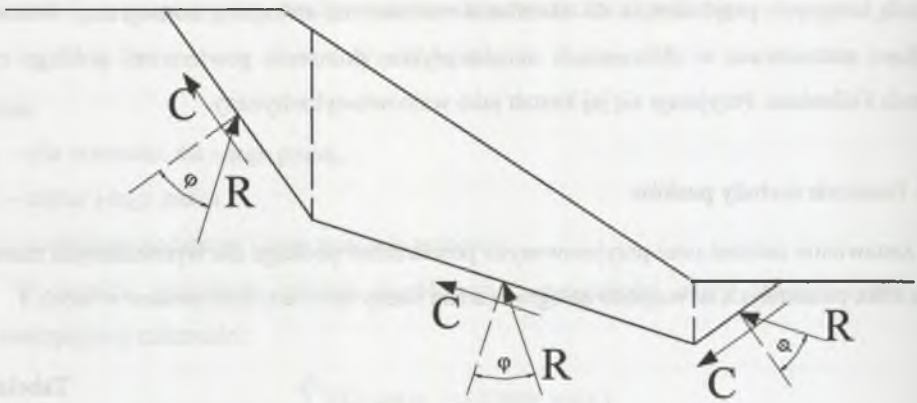
Tabela 1

Podstawowe charakterystyki metody pasków z uwzględnieniem powierzchni poślizgu

Lp.	Metoda	Warunki równowagi			Siły międzypaskowe	Powierzchnia poślizgu
		Σ X	Σ Y	Σ M		
1	Fellenius	---	---	Tak	brak	walcowa
2	Bishop	---	---	Tak	poziome i pionowe	walcowo - cylindryczna
3	Nonveiller	---	---	Tak	poziome	dowolna
4	Janbu	tak	tak	---	nachylone	dowolna
5	Korpus inżynierów USA	tak	tak	---	nachylone	dowolna
6	Lowe i Karafiath	tak	tak	---	nachylone	dowolna
7	Spencer	tak	tak	Tak	nachylone	dowolna
8	Sarma	tak	tak	Tak	nachylone	dowolna
9	Morgenstern - Price	tak	tak	Tak	nachylone	dowolna
10	Baker - Garber	tak	tak	Tak	nachylone	dowolna

2.4. Metoda dużych brył

Powierzchnia poślizgu składa się z kilku (najczęściej 2 lub 3) płaszczyzn przecinających się, czyli widoczna w przekroju linia poślizgu jest łamaną. Sprawdzenie stateczności wykonuje się analitycznie bądź graficznie, tylko zamiast pasków przyjmuje się całe bryły. Wzdłuż linii poślizgu działa siła spójności oraz siła wynikająca z oporów tarcia odchylona od siły normalnej o kąt φ [2].



Rys. 2. Przykład powierzchni poślizgu i sił działających w metodzie dużych brył [2]
Fig. 2. The example of slip surfaces and forces acting on them in big blocks method [2]

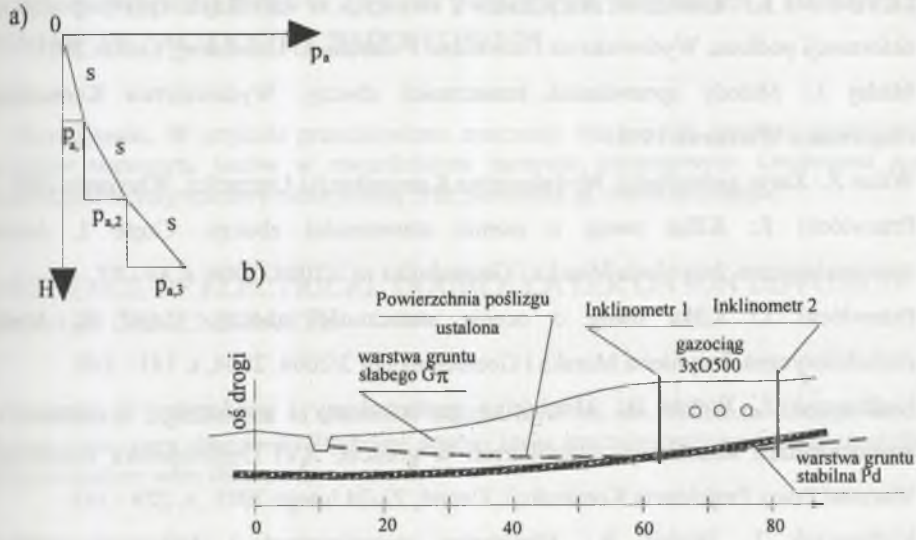
2.5. Metody pomiarów

Metodami wykonywania pomiarów, w celu określenia możliwości powstania i potencjalnego położenia powierzchni poślizgu są:

- metoda niwelacji o podwyższonej dokładności (precyzyjnej) – opiera się na pomiarze przemieszczeń pionowych. Jest to jedna z najtańszych metod o dokładności rzędu nawet dziesiętnych części milimetra,
- metoda tachimetryczna – opiera się na wyznaczaniu jednoczesnym współrzędnych XYH. Jedynym ograniczeniem jest widoczność lustra,
- metoda GPS – posługuje się układem współrzędnych geograficznych, czyli jest niezależna od układu geodezyjnego odniesienia, Można taki pomiar zautomatyzować, ale jest to, niestety, metoda bardzo kosztowna. Jest ona też za mało dokładna dla niektórych rodzajów budowli geotechnicznych (wysokość mierzy 3x mniej dokładnie niż B i L),
- metoda inklinometryczna – pomiar przemieszczeń poziomych na różnych głębokościach. Dzieli się na geodezyjną (pomiar kształtu otworu w górotworze), geotechniczną (pomiar deformacji podłoża gruntowego) i budowlaną (pomiar deformacji elementów konstrukcji). Problemem jest jedynie ustalenie układu odniesienia,

- metoda piezometru zamkniętego – do pomiaru ciśnienia wody w porach gruntu, gdy nasyp np. posadowiony jest na gruntach bardzo ściśliwych [8,9].

Wszystkie przedstawione metody opisują zewnętrzny wygląd zbocza przed, w trakcie czy po zaistnieniu poślizgu pod wpływem różnych czynników. Tylko jedna metoda – metoda inklinometryczna może określić głębokość położenia i kształt powierzchni poślizgu. Zasadę pomiaru i przykład zastosowania inklinometrów pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Metoda inklinometryczna: a) zasada pomiaru, b) wykorzystanie pomiaru do ustalenia powierzchni poślizgu [8]
Fig. 3. The inclinometer method: a) principle measurement, b) using of measurements to locate slip surface [8]

3. Podsumowanie

Badania geotechniczne i geodezyjne oraz metody obliczeń mają na celu określenie położenia powierzchni poślizgu, wzdłuż której nastąpi przemieszczenie wzajemne warstw, a co za tym idzie poznanie zasięgu przebiegu procesu, jakim jest osuwisko. Oprócz znanych powierzchni poślizgu w osuwiskach już zaistniałych, przebiegających po powierzchniach osłabień w gruncie, nie jesteśmy w stanie bez odpowiednich pomiarów wyznaczyć powierzchni, po których mogą nastąpić przemieszczenia.

LITERATURA

1. Czyżewski K., Wolski W., Wójcicki S., Żbikowski A.: Zapory ziemne, Arkady, Warszawa 1973.
2. Derski W., Izbicki R., Kisiel I., Mróz Z.: Mechanika skał i gruntów, PWN, Warszawa1982.
3. Litwinowicz L.: Stateczność skarp budowli ziemnych w warunkach wpływu poziomych deformacji podłoża, Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 2003.
4. Madej J.: Metody sprawdzania stateczności zboczy, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1981.
5. Wiłun Z.: Zarys geotechniki, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2000.
6. Przewłócki J.: Kilka uwag o ocenie stateczności zboczy. Część I, Analiza deterministyczna, Inżynieria Morska i Geotechnika nr 2/2004, 2004, s. 89 - 97.
7. Przewłócki J.: Kilka uwag o ocenie stateczności zboczy. Część II, Analiza probabilistyczna, Inżynieria Morska i Geotechnika nr 3/2004, 2004, s. 141 - 149.
8. Nadborczyk J., Wolski B.: Monitoring geotechniczny i geodezyjny w naprawach i wzmocnieniach konstrukcji zagłębionych w gruncie, XVI Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń, 21-24 lutego 2001 , s. 229 - 245.
9. Nadborczyk J., Wolski B.: Monitoring przemieszczeń i deformacji obiektów geotechnicznych, XX Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Wisła – Ustroń, 01-04 marca 2005, s.131 - 145.
10. Instrukcja ITB nr 304: Posadowienie obiektów budowlanych w sąsiedztwie skarp i zboczy, Warszawa 1991.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Leszek Litwinowicz