

EKSPERYMENTALNA ANALIZA DYNAMICZNYCH WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH GRUNTÓW WĄTPLIWYCH NA PRZYKŁADZIE PIASKU PYLASTEGO

Autor: kpt. mgr inż. Kamil SOBCZYK

Promotor: płk dr hab. inż. Ryszard CHMIELEWSKI, prof. WAT

Promotor pomocniczy: płk rez. dr inż. Leopold KRUSZKA

Słowa kluczowe: dynamika gruntu; piasek pylasty; pręt Hopkinsona (SHPB); wysoka prędkość odkształcenia (HSR).

Wyznaczanie charakterystyk reakcji materiałów konstrukcyjnych, w tym budowlanych, na odkształcenia przy różnych prędkościach odkształcenia jest bardzo ważnym obszarem prowadzenia badań naukowych zarówno na potrzeby przemysłu militarnego, jak i cywilnego. Przykładem takiego materiału jest grunt, który w ostatnich latach znajduje się w stałym kręgu zainteresowania naukowców. W niniejszej pracy omówiłem badania gruntów przy różnych prędkościach odkształcenia, które mogą odzwierciedlać występujące oddziaływania na ten ośrodek stanowiący podłoże gruntowe lub warstwę ochronną. Oddziaływania te mogą być związane z katastrofami naturalnymi (np. osuwisko ziemne i skalne), z realizacją robót budowlanych (np. dynamiczne zagęszczanie gruntu, wbijanie pali fundamentowych) oraz z celową działalnością człowieka podczas działań terrorystycznych lub wojennych (np. atak raketowy, użycie ładunku wybuchowego). Podane przykłady oddziaływań dynamicznych generują prędkości odkształcenia gruntu w zakresie od 10^2 s^{-1} do 10^4 s^{-1} . Powstające zagrożenia w sytuacjach kryzysowych inicjują zapotrzebowanie na poznanie charakterystyk różnych typów gruntów (zarówno spoistych, jak i niespoistych) poddanych obciążeniu o wysokiej prędkości odkształcenia (HSR) w celu właściwego doboru rozwiązań projektowych oraz konstrukcyjnych dla obiektów budowlanych, dedykowanych elementów ochronnych i infrastruktury krytycznej.

Celowym więc jest ciągły rozwój w obszarze eksperymentalnych badań dynamicznych właściwości mechanicznych różnych materiałów, w tym również gruntów. Wykorzystałem w tym celu stanowisko badawcze oparte o technikę pręta Hopkinsona, do którego zalicza się zmodyfikowany (dzielony) pręt Hopkinsona. Dodatkowo w analizach doświadczalnych stosowałem laserowy analizator wielkości cząstek i aparat Proctora.

Przeprowadzona analiza literaturowa pozwoliła mi na zidentyfikowanie problemu naukowego dotyczącego realizacji procesu fizycznego eksperymentu dynamicznego prowadzonego na piasku pylastym jako reprezentatywnym przykładzie gruntów wątpliwych. Ten rodzaj gruntu jest często stosowany w robotach budowlanych w roli gruntu zasypowego. Cechuje się pospolitością występowania na tle rodzajowym podłoża gruntowego w Polsce. Standardowo podlega on klasyfikacji jako grunt niespoisty, lecz ze względu na występowanie

różnych poziomów zawartości frakcji drobnych (pyłowej i iłowej) wykazuje także pewne cechy gruntu spoistego.

Zaproponowałem autorską metodykę przygotowania próbki gruntu (badanego piasku pylastego) do analiz doświadczalnych na stanowisku SHPB z uwzględnieniem różnych wartości wilgotności gruntu. Opracowałem własne rozwiązanie dla procesu wstępnego zagęszczenia gruntu poprzez procedurę zagęszczenia wibracyjnego oraz sposób kalibracji wyrzutni pneumatycznej SHPB dla stosowanego typu pręta obciążającego – pocisku. Wdrożyłem również procedurę kompleksowej analizy skutków oddziaływania dynamicznego na piasek pylasty z uwzględnieniem zmian składu granulometrycznego tego gruntu w zależności od: zawartości frakcji drobnych (pyłowej i iłowej), przyjętej konfiguracji wariantów początkowego ciśnienia wyrzutni działającego na pręt obciążający – pocisk (w tym prędkości uderzenia pręta obciążającego – pocisku w pręt pomiarowy SHPB) oraz wilgotności tych próbek gruntu.

Podczas realizacji autorskiego Indywidualnego Planu Badawczego w zakresie dynamicznego zachowania wytypowanego przedstawiciela gruntów wątpliwych – piasku pylastego – opracowałem oryginalne rozwiązanie zdefiniowanego problemu naukowego. Przedstawiłem je w zbiorze pięciu powiązanych tematycznie artykułów naukowych. Publikacje te ukazały się w polskich i zagranicznych czasopismach naukowych, które znajdują się obecnie w wykazie MEiN. W zawartych w cyklu rozważaniach badawczych wykazałem, że dynamiczne właściwości mechaniczne trójfazowego gruntu wątpliwego, jakim jest badany piasek pylasty, mają charakter nieliniowy. Określiłem, że zależą one od jego wilgotności, składu granulometrycznego oraz od prędkości odkształcenia. W tej rozprawie doktorskiej udowodniłem zatem sformułowaną przeze mnie tezę badawczą: *Dynamiczne właściwości mechaniczne trójfazowego gruntu wątpliwego, na przykładzie piasku pylastego poddanego uderzeniu ściskającemu, mają charakter nieliniowy oraz zależą od wilgotności gruntu, jego składu granulometrycznego i są wrażliwe na prędkość odkształcenia.*

Uzyskane wyniki analiz wraz z opracowaną procedurą badawczą stanowią wartość dodaną do obszaru inżynierii uderzeniowej w zakresie dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport. Obejmują one proces przygotowania próbki gruntu, kalibrację stosowanego typu pręta obciążającego – pocisku i prętów pomiarowych w ramach stanowiska badawczego SHPB oraz szczegółową analizę uzyskanych wyników pomiarów na potrzeby wyznaczenia przebiegu wykresów dynamicznych właściwości mechanicznych gruntu. Elementem dodanym jest wdrożenie pomiaru zmiany składu granulometrycznego piasku pylastego w zakresie wzrostu zawartości frakcji drobnych w jego strukturze metodą dyfrakcji laserowej. Rezultaty badań umożliwiają określenie parametrów pochłaniania energii obciążenia dynamicznego poprzez warstwę ochronną gruntu. Umożliwia to określenie poziomu ochrony zarówno balistycznej oraz przeciwwybuchowej dla ukryć i schronów w zależności od rodzaju gruntu, jego wilgotności i grubości warstwy ochronnej.

**EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE DYNAMIC MECHANICAL
PROPERTIES OF DOUBTFUL SOILS (AMBIGUOUS EXPANSIVITY)
USING THE EXAMPLE OF SILTY SAND**

Author: kpt. mgr inż. Kamil SOBCZYK

Supervisor: płk dr hab. inż. Ryszard CHMIELEWSKI, prof. WAT

Assistant supervisor: płk rez. dr inż. Leopold KRUSZKA

Keywords: soil dynamics; silty sand; split Hopkinson pressure bar (SHPB), high strain rate (HSR).

Determining the response characteristics of structural materials, including construction materials, to strain at different strain rates is a very important area of scientific research for both military and civilian industries. An example of such a material is soil, which in recent years has been under the constant spotlight of researchers. I have discussed the study of soils at different strain rates, which may reflect the impacts occurring on this medium, which is the soil subsoil or protective layer. These impacts can be related to natural disasters (e.g., landslide and rockfall), construction works (e.g., dynamic soil compaction, driving foundation piles), and intentional human activity during terrorist or war activities (e.g., rocket attack, use of explosive device). The given examples of dynamic interactions generate soil strain rates in the range of 10^2 s^{-1} to do 10^4 s^{-1} . Emerging threats in emergency situations initiate the demand for understanding the characteristics of different types of soils (both cohesive and non – cohesive) subjected to high strain rate (HSR) loading in order to properly select design and construction solutions for civil structures, dedicated protective elements and critical infrastructure.

Therefore, it is expedient to constantly develop in the field of experimental studies of dynamic mechanical properties of various materials, including soils. For this purpose, I used a test stand based on the Hopkinson bar technique, which includes a modified /split/ Hopkinson pressure bar. In addition, in the experimental analyses, I used a laser diffraction particle size analyzer and a Proctor apparatus.

The conducted literature analysis allowed me to identify a scientific problem concerning the implementation of the physical process of a dynamic experiment conducted on silty sand as a representative example of doubtful soils (ambiguous expansivity). This type of soil is often used in construction work as backfill soil. It is characterised by its common occurrence in the generic background of the ground substrate in Poland. By default, it is classified as non – cohesive soil, but due to the presence of different levels of fine fractions (silt and clay) it also shows some cohesive soil characteristics.

I have proposed an original methodology for the preparation of a soil sample (tested silty sand) for experimental analyses on the SHPB test stand, taking into account different soil moisture values. I have developed my own solution for the process of pre – compaction of soil

through a vibratory compaction procedure and a way to calibrate the SHPB pneumatic launcher for the type of loading bar – projectile used. I have also implemented a procedure for a comprehensive analysis of the effects of dynamic impact on silty sand, taking into account changes in the granulometric composition of this soil depending on: the content of fine fractions (silt and clay fractions), the adopted configuration of variants of the initial launcher pressure acting on the loading bar – projectile (including the impact velocity of the loading bar – projectile on the SHPB) and the moisture content of these soil samples.

During the implementation of the author's Individual Research Plan (IPB) on the dynamic behaviour of a selected representative of doubtful soil (ambiguous expansivity) – silty sand – I developed an original solution to a defined scientific problem. I presented them in a collection of five thematically related scientific articles. These publications have appeared in Polish and foreign scientific journals currently listed by the Ministry of Science and Higher Education. In the research considerations included in the experimental cycle, I have shown that the dynamic mechanical properties of a three – phase doubtful soil (ambiguous expansivity), such as the silty sand under study, are non – linear in nature. I determined that they depend on its moisture content, granulometric composition and strain rate. In this dissertation, I have therefore proved the research thesis I formulated: *The dynamic mechanical properties of three – phase doubtful soil (ambiguous expansivity), using compression-impacted silty sand as an example, are non – linear and depend on soil moisture content, granulometric composition and are sensitive to strain rate.*

The analytical results obtained, together with the research procedure developed, add value to the field of impact engineering in the discipline of civil engineering, geodesy and transport. This includes the preparation of the soil sample, the calibration of the type of loading bar – projectile and measuring bars used within the SHPB test stand, as well as a detailed analysis of the measurement results obtained for the determination of the dynamic curves of the mechanical properties of the soil. An added element is the implementation of measuring the change in granulometric composition of silty sand in terms of the increase in the content of fine fractions in its structure by laser diffraction method. The results of the tests make it possible to determine the dynamic loading energy absorption parameters through the protective layer of soil. This makes it possible to determine the level of both ballistic and explosion protection for hides and shelters depending on the type of soil, its moisture content and the thickness of the protective layer.