Wpływ spękań na anizotropię prędkości fal sejsmicznych w wybranych masywach skalnych

PRACE NAUKOWE

UNIWERSYTETU ŚLĄSKIEGO W KATOWICACH

NR 2793

Iwona Stan-Kłeczek

Wpływ spękań na anizotropię prędkości fal sejsmicznych w wybranych masywach skalnych

Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego Katowice 2010

Redaktor serii: Nauki o Ziemi
Andrzej T. Jankowski

Recenzent
Kaja Pietsch

Publikacja będzie dostępna — po wyczerpaniu nakładu — w wersji internetowej:

Śląska Biblioteka Cyfrowa
www.sbc.org.pl

Spis treści

1. Wstęp 7

2. Historia badań skał spękanych i obecny stan wiedzy na ten temat . . 9

2.1. Charakterystyka głównych kierunków badań 9
2.2. Podstawowe pojęcia i definicje 10
2.3. Teorie oparte na założeniu losowej orientacji spękań 13
2.3.1. Teoria G. Kustera i M.N. Toksöza — brak wzajemnego oddziaływania spękań 13
2.3.2. Teoria R. O'Connela i B. Budiansky'ego uwzględniająca oddziaływanie spękań z efektywnym polem sprężystości 14
2.3.3. Modyfikacje metody samouzgodnionej. 17
2.3.4. Opracowanie teoretyczne H. Stillera i F.C. Wagnera 19
2.4. Teorie zakładające wyróżnioną orientację systemów spękań 20
2.4.1. Ośrodek transwersalnie izotropowy — teoria D.L. Andersona . 20
2.4.2. Ośrodek transwersalnie izotropowy — teoria O. Nishizawy . . 22
2.4.3. Prace teoretyczne S. Crampina 22
2.4.4. Wprowadzenie rachunku tensorowego — teoria M. Ody . . . 24
2.5. Przegląd ważniejszych prac doświadczalnych. 26
2.6. Podsumowanie 32

3. Rachunek tensorowy 35

3.1. Tensor spękań 35
3.1.1. Parametr gęstości spękań. 35
3.1.2. Definicja tensora spękań 36
3.2. Tensor prędkości 40
3.2.1. Definicja tensora prędkości 40
3.2.2. Wyznaczanie składowych tensora prędkości 41

4. Założenia i cel pracy 43

5. Budowa geologiczna badanych masywów 45
5.1. Wapienie dewońskie 46
5.2. Wapienie triasowe 48
5.3. Piaskowce kredowe 50
5.4. Piaskowce oligoceńskie 52
5.5. Diabazy permskie 55
5.6. Porfiry permskie 57
5.7. Bazalt paleogeński 59
5.8. Granit paleozoiczny 61

6. Metodyka badań 65
6.1. Pomiary bezpośrednie 65
6.2. Badania sejsmiczne 66
6.3. Analiza wektorowa 68
6.3.1. Analiza wektorowa jednoparametrowych danych kierunkowych . 69
6.3.2. Analiza wektorowa dwuparametrowych danych kierunkowych . 70

7. Opis aparatury pomiarowej 73

8. Analiza i dyskusja wyników badań 75
8.1. Interpretacja pomiarów terenowych 75
8.1.1. Opracowanie pomiarów spękań 75
8.1.2. Opracowanie wyników pomiarów sejsmicznych 77
8.2. Analiza związków między szczelinowatością a prędkością fal sejsmicznych 83
8.3. Obliczanie tensora spękań 84
8.4. Obliczanie tensora prędkości 85
8.5. Relacje między tensorami spękań a tensorami prędkości 87
8.6. Dynamiczne moduły sprężystości 93
8.7. Efektywny moduł Younga 101

9. Wnioski 105

Literatura 107

Summary 113

Резюме 114

1. Wstęp

Szczelinowatość skał skorupy ziemskiej jest jednym z głównych czynników determinujących właściwości fizyczne masywów skalnych. Losowo zorientowane spękania występują w masywach skalnych znacznie rzadziej niż zespoły spękań o wyróżnionej orientacji. Ukierunkowanie spękań może być związane z warunkami, w jakich powstawała skała, lub może być wynikiem procesów zachodzących w historii geologicznej masywu. Efektem uprzywilejowania pewnych kierunków jest anizotropia właściwości sprężystych masywu, w szczególności zaś anizotropia prędkości fal sejsmicznych, charakteryzująca się tym, że prędkość fal w kierunku prostopadłym do biegu spękań jest mniejsza niż w kierunku równoległym. Określenie zależności między anizotropią spękań a anizotropią prędkości fal sejsmicznych jest możliwe dzięki zastosowaniu rachunku tensorowego. Pozwala on uwzględnić zarówno geometrię, jak i orientację spękań przez wprowadzenie tensora spękań, którego składowe zależą od obu tych czynników. Rachunek tensorowy można zastosować również do opisu kierunkowych rozkładów prędkości fal sejsmicznych. Tensory prędkości, wyznaczone na podstawie pomiarów prędkości fal, odwzorowują anizotropię sejsmiczną i pozwalają obliczyć prędkość w dowolnie wybranym kierunku. W masywach spękanych tensory prędkości wykazują związek z tensorami spękań.

W Polsce dotychczasowe badania zależności między anizotropią spękań a anizotropią prędkości prowadzone były dla wapieni i dolomitów zalegających na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (I d z i a k, 1992b). We wszystkich badanych odsłonięciach azymutalne rozkłady prędkości charakteryzowały się występowaniem kierunków prędkości maksymalnych, zgodnych z kierunkami głównych systemów spękań wyznaczonymi w bezpośrednich pomiarach szczelinowatości. Analiza otrzymanych tensorów prędkości wykazywała wyraźny związek z tensorami spękań. Pozwoliło to na wyznaczenie modelu teoretycznego przez ustalenie zależności między parametrami obu tensorów.

Interesującym problemem byłoby zatem określenie związku między anizotropią prędkości fal sejsmicznych a szczelinowatością również dla innych typów skał osadowych i magmowych oraz wyznaczenie modelu teoretycznego. Celem niniejszej pracy było zbadanie związku między anizotropią prędkości fal sejsmicznych a szczelinowatością innych typów skał osadowych i magmowych.

Prowadzone badania mają istotne znaczenie dla oceny stabilności i jakości masywów skalnych podczas budowy tuneli, zapór lub fundamentowania obiektów przemysłowych. Pozwalają określić blocznośc złoża, co ma duże znaczenie w pracach budowlanych, ponieważ tylko nieliczne złoża dostarczają surowca o najwyższej jakości, jakim są bloki kamienne. W hydrogeologii rozpoznanie systemów spękań umożliwia określenie właściwości zbiornikowych skał i dróg przepływu wód podziemnych. Możliwe jest również wykorzystanie rozpoznanego masywu skalnego jako szczelnego składowiska odpadów przemysłowych, a dzięki poznaniu procesów rozwoju systemów spękań można będzie przewidzieć ewentualne trzęsienia ziemi.

Ze względu na tak duże znaczenie szczelinowatości zasadniczym zagadnieniem jest możliwość wyznaczenia parametrów spękań w masywach niedostępnych bezpośrednim obserwacjom geologicznym.

Iwona Stan-Kłeczek

The effect of cracks on the anisotropy of seismic wave velocity in chosen rock mass

S u m m a r y

Fracturing of the Earth crust is one of common features which influence on physical properties of rock mass. Random system of cracks rarely exist in rocks, much more popular is ordered crack system. It can be connected with conditions in which rocks were formed or can be result of processes which took place in geological history of rock mass.

Anisotropy of physical properties of rocks is the effect of privileged some directions, the anisotropy of seismic wave in particular. It is characterized by the wave velocity is smaller in direction perpendicular to crack plane than in parallel direction. The existence of relationship between anisotropy of seismic wave velocity and anisotropy of cracks is possible thanks to use of tensor calculus. It enable to take into consideration both geometry and fracture orientation by using crack tensor, which components depend on both of this factors. Tensor calculus can be also apply to describe the directional distribution of seismic velocity. Velocity tensors, determined on the basis of seismic velocity measurement, show seismic anisotropy and allow to calculate velocity in optionally chosen direction. In fractured rocks velocity tensors show relation with crack tensors. The aim of this paper was to study connection between the anisotropy of seismic wave velocity and fracturing in different rock types. The realized studies have important meaning for evaluation stability and quality of rock mass during building tunnels, dams or industrial objects. They allow also to determine deposit structure, which have large meaning for building activity, because only few deposits get high quality raw material, which are stone blocks. In hydrology recognition of crack systems permit to determination properties of reservoir rocks and ways of underground water flow.

It is also possible to make use of recognized rock complex as industrial waste lagoon. The knowledge about processes of crack system development can be precursor of earthquakes.

For reasons of large meaning of fracturing it is very important to determine crack parameters in inaccessible rocks for direct observations.

Ивона Стан-Клечек

Влияние трещин на анизотропию скорости сейсмических волн в избранных скальных массивах

Р е з ю м е

Трещиноватость скал земной коры является одним из главных факторов, предопределяющих физические свойства скальных массивов. Непреднамеренно ориентированные трещины выступают в скальных массивах значительно реже, чем группы трещин с определенной ориентацией. Направление трещин может быть связано с условиями, в которых возникала скала или может быть результатом процессов, происходящих в геологической истории массива.

Эффектом привилегированности отдельных направлений является анизотропия упругих особенностей массива, в частности анизотропия скорости сейсмических волн, характеризующаяся тем, что скорость волн в перпендикулярном направлении к ходу трещин меньше, чем в параллельном направлении. Определение зависимости между анизотропией трещин и анизотропией осуществимо благодаря применению тензорного исчисления. Оно создает возможность принятия во внимание как геометрии, так и ориентации трещин благодаря введению тензора трещин, составляющие которого зависят от этих двух факторов. Тензорное исчисление можно применять также для описания направляющих распределений скоростей сейсмических волн. Тензоры скорости, определенные на основании измерений скоростей волн, отражают сейсмическую анизотропию и позволяют рассчитать скорость в любом выбранном направлении. В массивах трещин тензоры скоростей проявляют связь с тензорами трещин. Целью настоящей работы было, таким образом, исследование связи между анизотропией скорости сейсмических волн и трещиноватостью для разных типов скал. Проведенные исследования имеют существенное значение для оценки стабильности и качества скальных массивов во время строительства туннелей, плотин или фундаментостроения промышленных объектов, дают возможность определения блочности месторождения, что имеет большое значение для строительной деятельности, поскольку только немногочисленные залежи поставляют сырье самого высокого качества, каковым являются каменные блоки. В гидрогеологии определение систем трещин дает возможность установить резервуарные свойства скал и путей течения подземных вод. Возможным является также использование открытого скального массива в качестве герметического

складирования промышленных отходов, а познание процессов развития систем трещин может стать предвестником землетрясений.

С точки зрения такого огромного значения трещиноватости основным вопросом является, следовательно, возможность установления параметров трещин в массивах, недоступных непосредственным геологическим наблюдениям.

Na okładce: fragment kamieniołomu piaskowca w Mucharzu, a także kamieniołom granitu w Strzelinie, fragment ściany kamieniołomu w Graczach oraz fragment ściany kamieniołomu w Niedźwiedziej Górze

Redaktor: Barbara Todos-Burny

Projektant okładki: Małgorzata Pleśniar

Redaktor techniczny: Barbara Arenhövel

Korektor: Mirosława Żłobińska

Copyright © 2010 by
Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego
Wszelkie prawa zastrzeżone

ISSN 0208-6336
ISBN 978-83-226-1964-3

Wydawca
Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego
ul. Bankowa 12B, 40-007 Katowice
www.wydawnictwo.us.edu.pl
e-mail: wydawus@us.edu.pl

Wydanie I. Ark. druk. 7,25. Ark. wyd. 8,0.
Papier offset. kl. III, 90 g Cena 10 zł

Łamanie: Pracownia Składu Komputerowego
Wydawnictwa Uniwersytetu Śląskiego
Druk i oprawa: PPHU TOTEM s.c., M. Rejnowski, J. Zamiara
ul. Jacewska 89, 88-100 Inowrocław