

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МИКРОПЛИТ ЗЕМНОЙ КОРЫ И МАКСИМАЛЬНО ВОЗМОЖНАЯ ЭНЕРГИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Хачикян А.С., Казарян А.С., Нерсисян Г.Г.

Խաչիկյան Ա.Ս., Դազարյան Ա.Ս., Ներսիսյան Գ.Գ.

Երկրակեղևի սալերի լարվածային վիճակը և երկրաշարժի հնարավոր առավելագույն էներգիան

Դիտարկվում է երկրակեղևի սալի լարվածային վիճակից կախված նրա տարբեր մասերում առաջացող երկրաշարժի էներգիայի հնարավոր առավելագույն արժեքի որոշման խնդիրը։ Սալի լարվածային վիճակը որոշվում է երկու երկրաշարժի միասնաշարժաստության օջախի ասկայություն ու քայքայության դեպքերում։ Երկրաշարժի ընթացքում արտազատվող հնարավոր առավելագույն էներգիան որոշված է որպես այդ երկու լարվածային վիճակներում կուտակված առաձգական էներգիաների տարբերություն։ Խնդրի լուծումը թույլտվում է վերջավոր տարրերի մեթոդով, երկրաշարժի առաջացման մի որոշակի մեխանիզմի համար։ Առաջարկվող մեթոդիկան հնարավորություն է ընձեռնում տալ սալի տարբեր մասերի սեյսմիկ վտանգավորության համեմատական գնահատականը կախված նրա լարվածային վիճակից։

A.S. Khachikyan, L.S. Gazarian, G.G. Nersisyan

On the stressed state of earthcrust plates and earthquake's possible maximum energy

Рассматривается задача определения максимально возможного значения энергии землетрясения, возникающего в разных частях микроплит земной коры, в зависимости от их напряженного состояния. Напряженное состояние микроплиты определяется в двух случаях: при наличии и отсутствии очага подготовки землетрясения. Максимально возможное значение выделяющейся при землетрясении энергии определено как разность накопленных упругих энергий при этих двух напряженных состояниях. Решение задачи получено методом конечных элементов для одного определенного механизма возникновения землетрясения. Предложенная методика дает возможность получения оценки относительной сейсмической опасности разных частей плиты в зависимости от ее напряженного состояния.

1. Ըստ որոշ վարկածների [1,2,3] առաջարկվում է տեկտոնական երկրաշարժի առաջացման հետևյալ պարզեցված սխեման։ Հարակից սալերի ազդեցության հետևանքով դիտարկվող սալում լարումները աճում են։ Երբեմն սալի որևէ մասում սզատ շարժման խոչընդոտի կամ կոշտության փոփոխության պատճառով առաջանում է լարումների կոնցենտրացիա։ Երբ լարումները գերազանցում են տիրության սահմանը տեղի է ունենում հանկարծակի քայքայում՝ երկրաշարժ։ Կուտակված առաձգական էներգիան անջատվում է քայքայման ընթացքում։

Դիտարկենք երկրակեղևի մի հատված, որն իրենից ներկայացնում է մի այնպիսի սալ կամ սալերի համախումբ որ նրա եզրերին հայտնի է կից սալերի ազդեցությունը՝ տրված լարումների կամ տեղափոխությունների (արագությունների) տեսքով։ Սալի մեխանիկական իստիությունները համարում ենք հայտնի։ Այս պայմաններով լուծելով առաձգականության տեսության համապատասխան եզրային խնդիրը, կարող ենք որոշել սալի լարվածային վիճակը արտահայտված նրա կետերի U' տեղափոխություններով։

Հետևելով երկրաշարժի առաջացման նշված վարկածներին ընդունենք, որ դիտարկվող սալի որևէ մասում առաջացել է շարժման (դիֆորմացիայի) խոչընդոտ, սալի սվկալ մասում տեղափոխությունների վրա դրված սահմանափակումների տեսքով։ Լուծելով առաձգականության տեսության առաջացած մոդ եզրային խնդիրը, կստանանք սալի լարվածային վիճակը խոչընդոտի առկայության դեպքում,

*) Աշխատանքը ստացել է Հայաստանի Ամերիկյան Համալսարանի օժանդակությամբ

արտահայտված նրա կետերի U'' տեղափոխությունների միջոցով: Ալմենայտ I , որ
 դիտարկվող սալի U' և U'' տեղափոխություններով արտահայտված երկու
 տարրեր լարվածային վիճակներում կուտակված առաձգական էներգիաների
 տարբերությունը իրենից ներկայացնում է այն առաձգական էներգիան, որ կարող է
 անջատվել խոչընդոտան առաջացնող կասկերի վերացման դեպքում: Ամրության
 սահմանը գերազանցող լարումների հավասար մակարդակը պլոսպանկու
 սյայմաններում դիտարկվող սալի տարրեր մասերում տեղակայված խոչընդոտների
 համար որոշելով անջատվող հնարավոր առավելագույն էներգիայի մեծությունը,
 կունենանք սալի լարվածային վիճակից կախված նրա տարրեր մասերի սեյսմիկ
 վտանգավորության համեմատական բնութագիրը:

2. Շարադրվածը պարզուրաններ մի գնմական օրինակով: Ընդունենք, որ
 դիտարկվող սալը գտնվում է հարթ լարվածության պայմաններում և զրադեցնում է
 $0 \leq x \leq a$, $0 \leq y \leq b$ տիրույթը: Պարզության համար ընդունենք, որ սալը
 իզոտրոպ է և համասեռ ըստ մեխանիկական հատկությունների: Հարակից սալերի
 ազդեցությունը ներկայացվում է եզրային պայմանների միջոցով: Հաջորդաբար
 իրականացնենք առաջարկված մերոդի և տասկները:

2.1. Որոշենք լարումները դիտարկվող սալում ապագա օջախը ներկայացնող
 խոչընդոտի բացակայության պայմաններում: Ընդունենք, որ հարակից սալերի
 ազդեցությունը ներկայացվում է հետևյալ եզրային պայմաններով.

$$\begin{aligned} u &= v = 0, & y &= b, & 0 \leq x \leq a \\ \tau &= 0, & y &= 0, & 0 \leq x \leq a \\ \sigma_y &= c_2(a-x)/(a-a_1), & y &= 0, & a_1 \leq x \leq a \\ \sigma_y &= c_2, & y &= 0, & 0 \leq x \leq a_1 \\ \tau &= 0, & 0 \leq y \leq b, & \begin{cases} x=0 \\ x=a \end{cases} \\ \sigma_x &= c_1, & 0 \leq y \leq b, & \begin{cases} x=0 \\ x=a \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

Այստեղ տեղափոխությունների և լարումների համար օգտագործված են
 սովորական նշանակումները, c_1 , c_2 , a_1 - հաստատուններ են:

Դիտարկվող սալում լարումները որոշենք վերջավոր տարրերի մեթոդով: Սալի
 զբաղեցրած տիրույթը բաժանենք $2m \times n$ ուղղանկյուն եռանկյունների: Հետևելով
 վերջավոր տարրերի մեթոդին [4] ներկայացնում ենք տեղափոխությունները
 յուրաքանչյուր տարրի տիրույթում զծային ֆունկցիայի տեսքով՝

$$u = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y, \quad v = \alpha_4 + \alpha_5 x + \alpha_6 y \quad (2)$$

որտեղ α_i ($i = 1, 2, \dots, 6$) հաստատուններ են:

Լարումները և դեֆորմացիաները կլինեն համասեռ յուրաքանչյուր եռանկյուն
 տիրույթում՝

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{\partial u}{\partial x}, & \varepsilon_y &= \frac{\partial v}{\partial y}, & \gamma_{xy} &= \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \\ \sigma_x &= \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_x - \nu \varepsilon_y), & \sigma_y &= \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_y - \nu \varepsilon_x), & \tau &= \frac{E}{2(1+\nu)}\gamma_{xy} \end{aligned} \quad (3)$$

Օգտագործելով դեֆորմացիաների էներգիայի մինիմումի պայմանը և
 բավարարելով (1) եզրային պայմաններին վերջավոր տարրերի մեթոդին
 համապատասխան, ստանում ենք հանգույցային կետերի տեղափոխությունների
 նկատմամբ հանրահաշվական զծային հավասարումների համակարգ, որ
 համառոտության համար այստեղ չենք բերում: Համակարգը լուծվում է քվային
 եղանակով և աղյուսիսով որոշվում են սալի կետերի տեղափոխությունները: Որոշվում

ին մաս լարումներն ու ղեֆորմացիաները (2-3) քանաձևերով, ինչպես մաս ղեֆորմացիայի էներգիան՝

$$Q' = \frac{1}{2} \int_{\Omega} (\varepsilon_x \sigma_x + \varepsilon_y \sigma_y + \gamma_{xy} \tau) dx dy \quad (4)$$

2.2 Սալի լարվածային դաշտը երկրաչափի հնարավոր ապագա օջախը ներկայացնող խաչնդոտի (լարումների կոնցենտրացիայի աղբյուրի) առկայության դեպքում որոշելու համար խաչնդոտը ներկայացնենք սալի կամայական տեղամասում տեղափոխությունների վրա դրված սահմանափակումների տեսքով՝

$$u = v = 0, \quad \text{երբ} \quad \begin{aligned} p \leq i \leq p+l, & \quad p+l \leq m \\ q \leq i \leq q+k, & \quad q+k \leq n \end{aligned} \quad (5)$$

Այստեղ i, j խաչնդոտը ներկայացնող տիրույթին պատկանող վերջավոր տարրերի կոորդինատներն են, p, q, l, k դրական ամբողջ թվեր են, որոնք որոշում են այդ տիրույթի դիրքը և չափերը: Տիրույթի չափերի որոշման եղանակը բերվում է ստորև:

Վարվելով մույն ձևով, ինչ որ մախարդ դեպքում, միայն բավարարելով (1) և (5) եզրային պայմաններին, կազմում ենք հավասարումների համակարգ հանգույցային կետերի տեղափոխությունների նկատմամբ: Թվային եղանակով լուծելով այդ համակարգը, կստանանք սալի կետերի u'', v'' տեղափոխությունները, ինչպես մաս համապատասխան լարումները, ղեֆորմացիաները և ղեֆորմացիայի Q'' էներգիան խաչնդոտի առկայության դեպքում:

Ընդունելով, որ սնդի ունեցող պրոցեսները լիովին առածգական են, նկատում ենք, որ խաչնդոտի տիրույթի վրա լրացուցիչ կապերի վերացման դեպքում հանգում ենք առաջին խնդրի պայմաններին: Վերջինս թույլ է տալիս եզրակացնելու, որ $\Delta Q = |Q' - Q''|$ տարբերությունը հավասար է կապերի վերացման դեպքում անփափուկ առածգական էներգիային:

2.3. Սալի լարվածային դաշտի անհամասեռության պատճառով արգելակված տիրույթի վրա լարումները կստացվեն տարբեր սալի տարբեր տեղամասերի համար: Արգելակված տիրույթի (խաչնդոտի) չափերը որոշենք սալի տարբեր տեղամասերում քայքայման միատեսակ պայմանները ապահովելու պայմանից: Այդ նպատակով յուրաքանչյուր տեղամասում որոշենք խաչնդոտի այն չափերը, որի դեպքում ըստ ամրության հաշվարկային ընտրված տեսության գործող էֆֆեկտիվ լարումները հավասարվում են տվյալ տեղամասում ապարների համար հայտնի ամրության սահմանին:

Հաշվենք արգելակված տիրույթի վրա ազդող ուժերի գլխավոր վեկտորը և գլխավոր մոմենտը տիրույթի երկրաչափական կենտրոնի նկատմամբ:

$$P_x = \int_{\omega} \sigma_{xx} ds, \quad P_y = \int_{\omega} \sigma_{yy} ds, \quad M = \int_{\omega} [(x - x_0) \sigma_{yx} - (y - y_0) \sigma_{xx}] ds$$

Ինտեգրումը կատարվում է տիրույթի եզրով, իսկ x_0, y_0 - ն տիրույթի կենտրոնի կոորդինատներն են, σ_{xx}, σ_{yy} - տիրույթի կոնտուրի վրա ազդող համապատասխան ուղղության լարումներն են:

Ընդունենք, պարզության համար, որ արգելակված տիրույթում լարումները բաշխված են պարզ լարվածային փիճակների համադրման ձևով և որ ամրության սահմանը $[\tau]$ սալի բոլոր տեղամասերում հաստատուն է, կունենանք

$$\tau = \frac{1}{S} \sqrt{P_x^2 + (P_y + \alpha M)^2} \leq [\tau]$$

որտեղ S արգելակված տիրույթի մակերեսն է, α - ն տիրույթի ձևից և չափից կախված հայտնի հաստատուն է, $[\tau]$ ամրության սահմանն է ըստ առավելագույն շոշափող լարումների պայմանի [5]: Այդ դեպքում տիրույթի չափերը կորոշենք եետևյալ անհավասարությունից՝

$$[\tau](1 - \varepsilon) \leq \tau \leq [\tau](1 + \varepsilon) \quad (6)$$

Ճ - ր ընտրվում է ըստ անկումաձևա ճշտությունն ասլախովելու պայմանի:

Այսպիսով սալի բոլոր տեղամասերում որոշվում են ամրության միատեսակ պայմաններ ապահովող տվյալների չափերը, և այդ չափերի դեպքում հաշվվում է կապերի վերացման դեպքում անջատվող առաձգական էներգիան: Դիտարկվող օրինակի համար կատարված հաշվարկների արդյունքը ցույց է տրված գրաֆիկի տևաքով (ճկ. 1): Կարելի է նկատել, որ առավել փառնգալիոր է սալի կոշտ ամրակցված եզրի շրջակայքը:

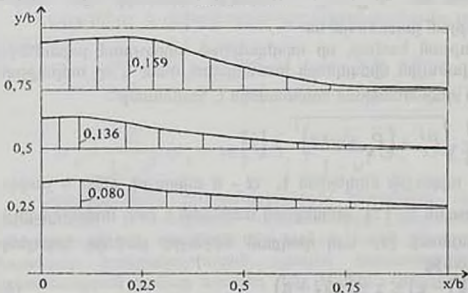
3. Քննարկենք համառոտ կերպով ստացվող արդյունքների իրականության հետ համապատասխանության հարցը: Լոնդրի լուծման ընթացքում արված ընդունելությունները կարելի է պայմանականորեն բաժանել երեք խմբի:

Առաջին խումբ ընդունելությունները կապված են երկրակեղևի դիտարկվող սալի մեղանդիկական հատկությունների: և շրջակա սալերի հետ նրա փոխազդեցության որոշման հետ, որոնք անհրաժեշտ են սալի լարվածային վիճակը որոշելու համար: Շատ քիչ դեպքերում նման լավարար փաստիելի ինֆորմացիա գոյություն ունի իրական երկրակեղևի սալերի համար, չնայած կատարվող լազմաքիվ հետազոտությունների շնորհիվ [6-9] տվյալները արագ աճում են: Այս տեսակետից ստացված արդյունքների իրական լինելը որոշվում է ճախնական սովյալների հավաստիությանը:

Երկրորդ խումբ ընդունելությունները կապված են դրված եզրային խնդիրների լուծման հետ: Պարզ է, որ րվային հաշվված սարքեր մեքողները, ինչպես և օգտագործված վերջավոր տարրերի մեքողը, հնարավորություն են տալիս կառուցել բավարար ճշգրտությամբ լուծումներ: Սակայն կարող է վիճահարույց լինել լաղընդոսի շրջակայքում լարումների կոնցենտրացիայի հաշվառման և ամրության կոնկրետ տեսության կիրառելության հարցը: Այստեղ ընդունված է, որ անջատվող էներգիայի առավելագույն հնարավոր արժեքի որոշման խնդիրը լուծին համապատասխանում է համասեռ լարվածային վիճակում լաղընդոսի առավելագույն դիմադրողականության պայմանին: Նկատի է առնվում նաև, որ առաջադրված նպատակի տեսակետից էական է ոչ թե անջատվող էներգիայի բացարձակ մեծությունը, այլ սարքեր տեղամասերում անջատվող էներգիայի համեմատական մեծությունը:

Երրորդ խումբ սահմանափակումները կապված են երկրաչաքի մախապատաստության և ընթացքի ընտրված վարկածի հետ: Արդյունքները, այդպիսով, վերաբերվում են միայն ըստ տվյալ վարկածի սեղի ունեցող պրոցեսին և իրականության հետ առնչվում են այնքանով, որքանով որ դիտարկվող վարկածը համապատասխանում է իրականությանը տվյալ տեղանքում: Ըստ երևույթին նման հաշվարկներ կարող են կատարվել նաև ռսումնասիրվող տեղանքում երկրաչաքի մախապատաստման հնարավոր այլ վարկածների դեպքում:

Արոհիչյալ քննարկումից կարելի է եզրակացնել, որ ստացված արդյունքները իմնականում կհամապատասխանեն լրականությանը, երբ իրական է սալի որոշված լարվածային վիճակը: Այդ դեպքում առաջարկված մեքողիկայով կարելի է, ստանալ սալի տարրեր տեղամասերի սեյսմիկ փառնգալիություն համեմատական իրական ընտրագիրը կախված սալի լարվածային վիճակից: Նշենք, որ նման եզրակացությունների կարելի է հանգել նաև դիտարկելով սալի ընդհանրացված հարյր լարվածային և եռաչափ լարվածային վիճակները:



Նկ. 1 Սալի տեղամասերի հարաբերական սեյսմիկ փառնգալիություն

$$\frac{\Delta Q}{\Delta Q_{min}} - 1$$

Լայնություններ,

$$a = 2b, a_1 = \frac{2}{3}a$$

$$v = 0.25; c_2 = 5c_1;$$

$$c_2/\tau = 0.25$$

1. Теркот Д., Шуберт Дж. Геодинамика. Геологические приложения физики сплошных сред. В 2-х частях.-М.: Мир., 1985. 730 с.
2. Добровольский И.П. Теория подготовки тектонического землетрясения.-М.: Ин-т физики Земли АН СССР, 1991. 224 с.
3. Григорян С.С. О механизме возникновения землетрясений и содержании эмпирических закономерностей сейсмологии.-ДАН СССР, 1988, т.299, №5, с.1094-1101.
4. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике.-М.: Мир, 1975. 542 с.
5. Физические свойства горных пород и минералов при высоких давлениях и температурах.-М.: Наука, 1978. 224 с.
6. Современная динамика литосферы континентов (методы изучения).-М.: Недра, 1989. 278 с.
7. Поля напряжений и деформаций в литосфере.-М.: Наука, 1987. 254 с.
8. Поля напряжений и деформаций в земной коре.-М.: Наука, 1987. 184 с.

Институт механики НАН Армении

Поступила в редакцию
4.03.1996