

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МИКРОПЛИТ ЗЕМНОЙ
КОРЫ И МАКСИМАЛЬНО ВОЗМОЖНАЯ ЭНЕРГИЯ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Խաչիկյան Ա.Ս., Գազարյան Լ.Ս., Ներսիսյան Գ. Գ.

Երկրակեղևի սալերի լարվածային վիճակը և երկրաշարժի հնարավոր առավելագույն էներգիան

Դիտարկվում է երկրակեղևի սալի լարվածային վիճակից կախված նրա տարրեր մասերում առաջացող երկրաշարժի էներգիայի հնարավոր առավելագույն արժեքի որոշման խնդիրը: Սալի լարվածային վիճակը որոշվում է երկու երկրաշարժի մախապատրաստության օջախի անկայության ու բացակայության դեպքերում: Երկրաշարժի ընթացքում արտազատվող հնարավոր առավելագույն էներգիան որոշված է որպես այդ երկու լարվածային վիճակներում կուտակված առաձգական էներգիաների տարբերություն: Սալի լուծույթը առաջվում է վերջավոր տարրերի մեթոդով, երկրաշարժի առաջացման մի որոշակի մեխանիզմի համար: Առաջարկվող մեթոդիկան հնարավորություն է ընճեցնում սալի սալի տարրեր մասերի սեյսմիկ վտանգավորության համեմատական գնահատականը կախված նրա լարվածային վիճակից:

A.S. Khachikian, 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 микроплит 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 սկսվում է շարժման խոչընդոտի կամ կոշտության փոփոխության պատճառով առաջանում է լարումների կոնցենտրացիա: Երբ լարումները գերազանցում են ամրության 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՝ որված լարումների կամ տեղափոխությունների (արագությունների) տեսքով: Սալի մեխանիկական հատկությունները 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 (դեֆորմացիայի) խոչընդոտ, սալի տվյալ մասում տեղափոխությունների վրա դրված սահմանափակումների տեսքով: Լուծելով առաձգականության տեսության առաջացած նոր եզրային խնդիրը, կստանանք քալի լարվածային վիճակը խոչընդոտի անկայության դեպքում,

*) Աշխատանքը ստացել է Հայաստանի Ամերիկյան Դեմոկրատիկ օժանդակությամբ:

արտահայտված նրա կետերի U'' տեղափոխությունների միջոցով: Այնուհասակ է, որ դիտարկվող սալի U' և U'' տեղափոխություններով արտահայտված երկու տարրեր լարվածային վիճակներում կուտակված առածոգական էներգիաների տարրերությունը իրենից ներկայացնում է այն առածոգական էներգիան, որ կարող է անջատվել խոչընդոտն առաջացնող կապերի վերացման դեպքում: Ամբողջական սահմանը գերազանցող լարումների հավասար մակարդակը պահպանելու սլայմաններում դիտարկվող սալի տարրեր մասերում տեղակայված խոչընդոտների համար որոշելով անջատվող հնարավոր առավելագույն էներգիայի մեծությունը, կունենանք սալի լարվածային վիճակից կախված նրա տարրեր մասերի սլայմիկ վտանգավորության համեմատական բնութագիրը:

2. Շարադրվածը պարզարաններ մի զննական օրինակով: Ընդունենք, որ դիտարկվող սալը գտնվում է հարթ լարվածության պայմաններում և զբաղեցնում 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 մեթոդի էտապները:

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

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

Այստեղ տեղափոխությունների և լարումների համար օգտագործված են սովորական նշանակումները, c_1, c_2, a_1 - հաստատումներ 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 գծային ֆունկցիայի տեսքով՝

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

որտեղ $\alpha_i (i = 1, 2, \dots, 6)$ հաստատումներ են:

Լարումները և դեֆորմացիաները կլինեն համասեռ յուրաքանչյուր եռանկյուն տիրույթում՝

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

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

են նաև լարումներն ու դեֆորմացիաները (2-3) քանաձևերով, ինչպես նաև դեֆորմացիայի էներգիան՝

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

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

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

Այստեղ i, j խաչըղտը 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 նույն ձևով, ինչ որ նախորդ 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 նաև համապատասխան լարումները, դեֆորմացիաները և դեֆորմացիայի Q'' էներգիան խաչըղտի անկայության դեպքում:

Ընդունելով, որ տեղի ունեցող պրոցեսները լիովին առածգական են, նկատում ենք, որ խաչըղտի 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 անջատվող առածգական էներգիային:

2.3. Սալի լարվածային դաշտի անհամասեռության պատճառով արգելակված տիրույթի վրա լարումները կստացվեն տարբեր սալի տարրեր տեղամասերի համար: Արգելակված տիրույթի (խաչըղտի) չափերը որոշենք սալի տարրեր տեղամասերում քայքայման միատեսակ պայմանները ապահովելու պայմանից: Այդ նպատակով յուրաքանչյուր տեղամասում որոշենք խաչըղտի 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:

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

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

Ընդունենք, պարզության համար, որ արգելակված տիրույթում լարումները բաշխված են պարզ լարվածային վիճակների 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 հետևյալ անհավասարությունից՝

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

Ե - ը ընտրվում է ըստ անհրաժեշտ ճշտությունն ապահովելու պայմանի:

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

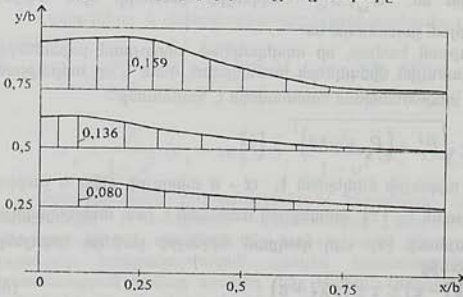
3. Քննարկենք համառոտ կերպով ստացվող արդյունքների իրականության հետ համապատասխանության հարցը: Խնդրի լուծման ընթացքում արված ընդունելությունները կարելի է պայմանականորեն բաժանել երեք խմբի:

Առաջին խումբ ընդունելությունները կապված են երկրակեղևի դիտարկվող սալի մեղանիկական հատկությունների և շրջակա սալերի հետ նրա փոխազդեցության որոշման հետ, որոնք անհրաժեշտ են սալի լարվածային վիճակը որոշելու համար: Շատ քիչ դեպքերում նման բավարար վտահեղի ինֆորմացիա գոյություն ունի իրական երկրակեղևի սալերի համար, չնայած կատարվող բազմաթիվ հետազոտությունների շնորհիվ [6-9] տվյալները արագ աճում են: Այս տեսակետից ստացված արդյունքների իրական լինելը որոշվում է նախնական տվյալների հավաստիությամբ:

Երկրորդ խումբ ընդունելությունները կապված են դրված եզրային խնդիրների լուծման հետ: Պարզ է, որ թվային հաշվման տարբեր մեթոդները, ինչպես և օգտագործված վերջավոր տարրերի մեթոդը, հնարավորություն են տալիս կառուցել բավարար ճշգրտությամբ լուծումներ: Սակայն կայող է վիճահարույց լինել խաչընդոտի շրջակայքում լարումների կոնցենտրացիայի հաշվառման և ամրության կոնկրետ տեսության կիրառելիության հարցը: Այստեղ ընդունված է, որ անջատվող էներգիայի առավելագույն հնարավոր արժեքի որոշման խնդիրը լիովին համապատասխանում է համասեռ լարվածային վիճակում խաչընդոտի առավելագույն դիմադրողականության պայմանին: Նկատի է առնվում նաև, որ առաջադրված նպատակի տեսակետից էական է ոչ թե անջատվող էներգիայի րացարձակ մեծությունը, այլ տարբեր տեղամասերում անջատվող էներգիայի համեմատական մեծությունը:

Երրորդ խումբ սահմանափակումները կապված են երկրաշարժի նախապատրաստության 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 ուսումնասիրվող տեղանքում երկրաշարժի նախապատրաստման հնարավոր այլ վարկածների դեպքում:

Վերոհիշյալ քննարկումից կարելի է եզրակացնել, որ ստացված արդյունքները հիմնականում կհամապատասխանեն իրականությանը, երբ իրական է սալի որոշված լարվածային վիճակը: Այդ դեպքում առաջարկված մեթոդիկայով կարելի է ստանալ սալի տարբեր տեղամասերի սեյսմիկ վտանգավորության համեմատական իրական բնութագիրը կախված սալի լարվածային վիճակից: Նշենք, որ նման եզրակացությունների կարելի է հանգել նաև դիտարկելով սալի ընդհանրացված հարթ լարվածային և եռաչափ լարվածային վիճակները:



Նկ.1 Սալի տեղամասերի հարաբերական սեյսմիկ վտանգավորության

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

Լայուրաները,

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

$$v = 0,25, c_2 = 5c_1;$$

$$c_2 / |\tau| = 0,25$$

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