

# ASPECTE SPECIFICE ÎN ANALIZA DINAMICĂ A CONSTRUCȚIILOR MASIVE DIN MATERIALE LOCALE

Ș.l. dr. ing. Sunai GELMAMBET

Universitatea "Ovidius" din Constanța, Facultatea de Construcții, Constanța, România

**REZUMAT.** Masivele de pământ sunt structuri deosebit de complexe din punct de vedere al modelării matematice datorită unor factori ca: diversitatea materialelor incorporate, cu proprietăți fizico-mecanice foarte variate, cu legi de comportare marcant neliniare, natura bifazică constituită din solid și apă a acestor materiale complică și mai mult problema. Evaluarea răspunsului seismic al construcțiilor masive din materiale locale și proiectarea antisismică a acestora, multa vreme s-a rezumat la aprecierea stabilității taluzurilor. În aceasta lucrare sunt prezentate aspectele specifice și influența asupra răspunsului seismic al construcțiilor masive din materiale locale.

**Cuvinte cheie:** aspecte specifice, analiza dinamică, construcții masive din materiale locale.

**ABSTRACT.** The massive earth structures are very complex in terms of mathematical modeling due to such factors as: the variety of material embedded with physical and mechanical properties very different, with laws of behavior markedly nonlinear, nature biphasic consisting of solid and water of these materials complicates further problem. Evaluation of seismic response of massive constructions made of local materials and seismic design of their long was limited to slope stability assessment. In this paper we present the specific issues and the influence on seismic response of massive constructions made of local materials.

**Keywords:** the specific issues, dynamic analysis, massive constructions made of local materials.

## 1. INTRODUCERE

Comportarea masivelor de pământ reclamă cunoștințe privind influența factorilor externi și interni asupra construcției, a elementelor componente care alcătuiesc structura pământului și interacțiunea dintre ele, a proprietăților sale fizico-chimice și mecanice. Deasemenea sunt necesare cunoștințe asupra modului de repartizare a eforturilor în masa structurii, asupra deformațiilor ce se produc sub acțiunea încărcărilor exterioare, influența acestor eforturi și deformații asupra construcțiilor.

Datorită faptului că pământul este un material dispers, neomogen, alcătuit din granule legate între ele prin legături care influențează în majoritatea cazurilor proprietățile fizice și mecanice. Acest mediu neomogen se supune legilor generale aplicabile și celorlalte corpuri, necesitând însă unele particularități și simplificări specifice. Datorită neomogenității și diverselor tipuri de pământuri este destul de dificilă realizarea unor modele matematice cu caracter general care să reflecte comportarea reală.

Studiul proprietăților pământurilor ca medii disperse, studiul comportării masivelor de pământ sub încărcări, a distribuției eforturilor și deformațiilor și a influenței pe care o are apa în pământuri are o impor-

tanță covârșitoare în problema stabilității construcțiilor ingineresti de pământ.

Masivele de pământ sunt întâlnite frecvent în construcțiile ingineresti, diguri, baraje, ramblee, halde.

Analiza stării de tesioni și deformații în aceste masive neafectate de apă utilizează modelele și metodele din mecanica pământurilor bazate pe relații constitutive liniare sau neliniare. Construcțiile masive de pământ afectate de prezența apei în pori au o comportare diferită.

Analiza structurii unui masiv de pământ presupune următoarele [10]:

- evaluarea siguranței structurii în raport cu o cedare totală sau parțială;
- analiza deformațiilor structurii în raport cu cele limită tolerabile pentru o funcționare și exploatare normală a structurii.

Pentru rezolvarea acestor probleme în prima etapă se concepe modelul general (modelul matematic general). În această etapă obiectivul principal îl constituie introducerea unor simplificări și schematizări, definirea unor mărimi fizice astfel încât modelul obținut să pastreze caracteristicile și interacțiunile esențiale ale fenomenelor. Această fază este caracterizată în modelul matematic general: ecuații matematice de diferite forme cum ar fi diferențiale, integrale, algebrice etc.

Cea de-a doua etapă este partea aplicativă a modelării (simulării). Din clasa fenomenelor analizate se studiază un exemplu concret pentru care pe lângă modelul matematic general se precizează: condițiile la limită și inițiale, funcțiile de stare ce urmează a fi determinate. În literatura de specialitate există rezolvări în sensul celor arătate mai sus.

## 2. ASPECTE SPECIFICE ÎN EVALUAREA RĂSPUNSULUI SEISMIC

**Interacțiunea structură-teren de fundare.** Un efect important asupra solicitării dinamice, la care este supusă o structură în timpul acțiunii seismice, îl are elasticitatea terenului de fundare. Aceasta influențează mărimea perioadei naturale a structurii și repartiția forțelor seismice. În calculele seismice practice interacțiunea structură-teren de fundare se neglijează de obicei. Influența crește în cazul terenurilor slabe și ale structurilor cu o suprafață mare de contact între structură și terenul de fundare. Din acest motiv considerarea mai realistă a interacțiunii structură-teren de fundare se poate realiza doar pe baza modelului de analiză dinamică a acestui sistem considerat unitar.

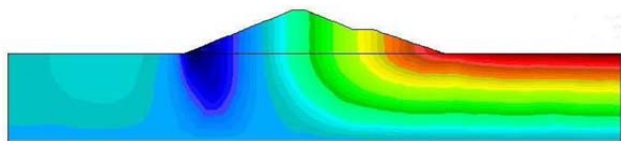


Fig. 2.1 Sistem unitar structură-teren de fundare.

**Fenomenul de excitare seismică asincronă (nesincronă).** Construcțiile masive din materiale locale se caracterizează prin legături întinse pe zone largi cu fundația (suprafața de contact structură-fundație).

Din acest motiv ca urmare a vitezelor finite de propagare a undelor seismice apar excitații diferite (decalate în timp sau defazate)

Asincronismul mișcării seismice se poate neglija atunci când raportul dintre lungimea secțiunii transversale a barajului și viteza de propagare a undelor (adică timpul necesar pentru propagarea undelor de la un capăt la altul al secțiunii) este mai mic decât 0,1-0,2 secunde. Atunci când se ține seama că masa construcției masive din materiale locale primește accelerații de excitație diferite, în conformitate cu distribuția reală a accelerațiilor în lungul conturului de fundație, excitația se numește nesincronă (asincronă).

În cazul când mișcarea seismică se consideră sincronă în lungul secțiunii analizate, ecuația de mișcare a sistemului rămâne neschimbată:

$$M \cdot \ddot{D}(t) + C \cdot \dot{D}(t) + K \cdot D(t) = P(t) \quad (2.1)$$

Termenul din partea dreaptă  $P(t)$  care simbolizează vectorul forțelor dinamice exterioare se va calcula cu relația obișnuită:

$$P(t) = -M_x \cdot a_x(t) - M_y \cdot a_y(t) \quad (2.2)$$

în care  $a_x(t)$  și  $a_y(t)$  sunt componentele accelerației seismice.

Defazajul se determină cu următoarea relație:

$$a_{a+k}(t) = a \cdot \left( t - \frac{d_k}{V} \right) \quad (2.3)$$

unde prin  $d_k$  s-a notat distanța la care se află nodul  $k$  de marginea secțiunii transversale și  $V$  este viteza de propagare a undelor.

**Interacțiunea structură-fluid.** Rezultatele unor măsurători și ale analizelor dinamice ne arată că influența lichidului din lacul de acumulare asupra răspunsului seismic al construcțiilor masive din materiale locale este semnificativă. Această influență se datorează tocmai faptului că o mare parte a construcției masive se află sub apă. Interacțiunea dinamică structură-fluid este importantă atunci când se ține seama de presiunea apei din pori și de posibilitatea apariției fenomenului de lichefiere

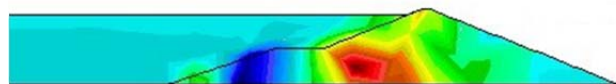


Fig. 2.2. Sistem unitar structura-fluid.

Ecuațiile de mișcare ale corpului barajului aflat în contact cu lichidul:

$$M \cdot \ddot{D} + C \cdot \dot{D} + K \cdot D + F_h(t) = R(t) \quad (2.4)$$

Mișcarea cu amplitudini mici a unui lichid compresibil este guvernată de ecuația:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = 0 \quad (2.5)$$

În schematizarea cea mai generală, analiza dinamică a construcțiilor masive din materiale locale este o problemă de interacțiune structură-fluid-teren de fundare

**Influența presiunii apei în pori indusă de încărcări.** Creșterea stării de eforturi într-un element de pământ duce de regulă la o mărire a presiunii apei din pori, ca urmare directă a tendinței de reducere a volumului porilor sub influența încărcării.

În pământuri cu umiditatea redusă sau în cazurile când viteza de creștere a încărcării este mică în raport cu posibilitatea de disipare a presiunii apei din pori suplimentare (în exces), această mărire poate fi neglijată. Situația în care creșterea presiunii apei din pori este maximă corespunde cazului în care pământul este complet saturat și drenarea este împiedicată.

După Skempton (1954) presiunea apei din pori în exces (suplimentară în raport cu cea hidrostatică sau hidrodinamică) pentru condiții de solicitare axial simetrică ( $\Delta\sigma_1 = \Delta\sigma_2$ ) în condiții de drenare împiedicată, este dată de relația:

$$\Delta u = B[\Delta\sigma_3 + A(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)] \quad (2.6)$$

în care  $B$  este un coeficient care variază între zero și unu, fiind zero la un pământ uscat și unu la un pământ saturat ( $S_r = 1$ ). Variația  $B$  cu  $S_r$  nu este liniară și trebuie stabilită pentru fiecare tip de pământ în parte.

Coeficientul  $A$  se poate determina prin încercări de compresiune triaxială și are valori tipice.

**Fenomenul de lichefiere.** Lichefierea este un fenomen care apare în pământurile necoezive sau slab coezive (domeniul corespunzător fracțiunilor granulometrice praf – pietrișuri) cu preponderență în cazul nisipurilor. Efectele lichefierii se resimt prin scăderea rezistenței la forfecare a pământurilor ce constituie teren de fundare pentru construcții conducând la cedarea generală a acestuia.

Principalii factori care condiționează stabilitatea la lichefiere:

- compoziția granulometrică;
- starea de îndesare;
- starea de eforturi și istoricul lor;
- starea de saturare și condițiile de drenare.



Fig. 2.3. Cedarea barajului inferior San Fernando, 1971, California, SUA.

**Fundarea construcțiilor masive pe terenuri slabe:**

- terenuri prăfoase afânate, terenuri loessoide, terenuri sensibile la umezire.
- terenuri de natură argiloasă, pământuri cu umflări și contracții mari.
- terenuri nisipoase, terenuri cu potențial lichefiabil.

Comportarea terenurilor slabe de fundare are manifestări specifice fiecărui tip de teren.

Există totuși anumite aspecte de comportare comune tuturor sau majorității acestor terenuri. O trăsătură comună o constituie marea lor deformabilitate.

Deformațiile considerabile întâlnite în cazul terenurilor slabe ridică încă o problemă care de obicei trece neobservată la celelalte terenuri de fundare: alungiri mari ale suprafeței de contact între teren și construcție ceea ce implică eforturi și deformații de întindere la care atât terenul cât și rambleele din materiale locale reacționează defavorabil.

### 3. TEORIA ELASTICITĂȚII ȘI PLASTICITĂȚII ÎN ANALIZA DINAMICĂ A CONSTRUCȚIILOR MASIVE DIN MATERIALE LOCALE

Principalele grupe de modele materiale semnalate în literatură sunt [3],[4]: modele linear elastice, modele neliniare, variabil elastice, biliniare, parabolice, hiperbolice, elasto-plastice, modele vâscoase, modele endocronice.

Din categoria modelelor variabil elastice cel mai cunoscut este modelul hiperbolic dezvoltat Duncan-Chang[3,4,5].

Din categoria modelelor elasto-plastice sunt modelul Tresca, Von Mises, Mohr-Coulomb, Drucker-Prager, Cam Clay [3,4].

Primul model fenomenologic al Teoriei Plasticității având atributele moderne este cunoscut sub denumirea ecuațiilor constitutive Prandtl-Reuss [Hill 1950]; acest model se afla la baza Teoriei Plasticității de tip incremental.

Teoria Plasticității a cunoscut o dezvoltare puternică în anii 1960 astfel încât au fost posibile noi modelări (constitutive) pentru materiale cu frecare internă și coeziune. Sunt puse în evidență noi atribute care definesc Teoria modernă a Plasticității:

- acceptarea legii neasociate a curgerii, astfel încât se poate lua în calcul fenomenul de dilatarea, propriu materialelor geotehnice (nisip, argilă ș.a).
- dezvoltarea teoriei vîsco-plasticității [Perzyna 1968], în cadrul căreia deformațiile plastice din teoria clasică sunt înlocuite cu deformațiile vîsco-plastice și se consideră că deformațiile post-elastice depind și de viteza de încărcare a materialului.

Analiza mediilor poroase saturate se poate face plecând de la ecuațiile consolidării ale lui Terzaghi (1943). Extinzând lucrările în teoria consolidării ale lui Terzaghi, Biot (1955, 1956, 1961) a definitivat modelul solidului deformabil granular alcătuit din geomateriale cu comportare liniar-elastică (faza solidă a mediului) prin interstițiile cărora curgerea unui fluid satisface legea lui Darcy (faza fluidă a mediului). Dezvoltarea Teoriei lui Biot a fost impulsionată de observațiile și încercările experimentale care atestă caracteristicile de neliniaritate ale pământurilor, deformații mari, structura anizotropă

prin fisurare ș.a. [Carter 1979; Prevost 1982,1983; Desai 1981, Zienkiewicz 1980].

Din punct de vedere al metodelor de rezolvare, în ultimii 30 de ani au fost facute progrese remarcabile în domeniul modelelor de calcul pentru pământuri, datorită în primul rând generalizării metodei elementului finit și a progresului tehnicii de calcul.

S-au efectuat o serie de simulări numerice pe baraje existente (Barajul Dopca și Barajul Sacele)

Analizele dinamice lineare și neliniare au fost realizate cu metoda elementelor finite, MEF (programul COSMOS 2.6).

S-a utilizat criteriul de curgere Drucker-Prager.

#### 4. CONCLUZII

Rezultatele analizelor neliniare se deosebesc substanțial de cele ale analizelor liniare.

Pentru efectuarea unor analize neliniare corecte este necesar:

- să se cunoască bine proprietățile materialelor;
- să se folosească relații tensiuni-deformații specifice, deduse pe baza încercărilor de laborator pentru fiecare tip de material;
- să se utilizeze conceptele teoriei plasticității.

Folosirea în calculele de stabilitate a eforturilor efective este preferabilă ori de câte ori presiunea apei din pori poate fi apreciată, atât suprafața critică de cedare este teoretic mai apropiată de cea reală, cât și parametrii rezistenței la forfecare utilizați reprezintă mai corect proprietățile materialului.

Este foarte important ca în analiza dinamică a construcțiilor masive să se țină cont de aspectele specifice prezentate.

Este foarte importantă realizarea unor modele matematice care să reflecte comportarea reală a construcției masive.

#### BIBLIOGRAFIE

- [11] Biot, M.A., *Mechanics of deformation and acoustic propagation in porous media*, J. Appl.Phys., 4, 1974.
- [12] Breaban V., Gelmambet S., *The influence of the water level variation in reservoirs upon the earth dams strain state*, Ovidius University Annals – CONSTANTZA year IX (2007) series: Civil Engineering, Volume 1, Proceedings of The Symposium CIVIL ENGINEERING 2007 - the 30-th anniversary of higher education in civil engineering in Constantza 2007, May, 3 - 5 ISSN 1584-5990.
- [13] Chen W.F., Liu X.L., *Limit analysis in soils mechanics*, Elsevier Science Publishers Company Inc.1990.
- [14] Chen W.F., Mizuno E., *Nonlinear analysis in soil mechanics*, Elsevier Science Publishers Company Inc.1990.
- [15] Desai CH.S., Christian J.T., *Numerical methods in geotechnical engineering*, McGraw-Hill, Inc.1977.
- [16] Duncan, J.M., Chang, C.Y., *Nonlinear analysis of stress and strain in soils*, Proc. ASCE, SM1, SM5, 1970.
- [17] Gelmambet S., *Analiza deformațiilor barajelor din materiale locale la variații bruște ale nivelului apei în lac* – Teză de doctorat, Universitatea Ovidius Constanta, decembrie 2006.
- [18] Gelmambet, S., *Dam-foundation seismic interaction analysis*, Simpozionul Concepții Moderne în ingineria Amenajărilor Hidrotehnice, 13 mai 2005, Timisoara, Buletinul Stiintific al Universitatii POLITEHNICA din Timisoara, Seria Hidrotehnica, Tomul 49 (63), Fascicola 1, pag.46-53, Editura Politehnica, Romania 2005.
- [19] Gelmambet, S., *Dam-reservoir seismic interaction analysis*, The XXXth National Conference of Solid Mechanics Mecsol 2006, 15-16 septembrie 2006, Constanta, Vol. 9 pag. 251-258.
- [20] Popovici, A., *Baraje pentru acumulări de apă*, Vol. II, Editura Tehnică București, 2002.
- [21] Zienkiewicz, O.C., Taylor R.L., *The finite element method*, fifth edition published by Butterworth-Heinemann 2000.

---

#### Despre autoare

Ș.l. univ. dr. ing. **Sunai GELMAMBET**

Universitatea „Ovidius” din Constanța, Facultatea de Construcții, Constanța, România

Șef lucrări la Facultatea de Construcții a Universității „Ovidius” din Constanța, Departamentul de Construcții, doctor în domeniul ingineriei civile, specializată în rezistența materialelor, teoria elasticității și plasticității, construcții masive din materiale locale. Domenii de interes: analiza structurilor, construcții masive din materiale locale, inginerie costieră.