

Ovális alaprajzú falazott boltozatok diszkrét elemes vizsgálata

SIMON JÓZSEF * - BAGI KATALIN**

Absztrakt

Az ovális alaprajzú kupolák a reneszánsz és a barokk idején élték virágkorukat. Mechanikai viselkedésük megismerése a műemlékvédelem és rekonstrukció szempontjából fontos feladat. Vizsgálatainkhoz a diszkrét elemek módszerét alkalmaztuk a módszer speciális képességei miatt, mellyel a blokkok szétválása, egymáson való megcsúszása és akár a teljes összeomlás folyamata is szimulálható. Vizsgálataink tárgyát képezte bármely, a gömbkupolától eltérő mechanikai viselkedés feltárása: például önsúly esetén a támaszerők eloszlásának, a különböző kialakítások összeomlási mechanizmusának, valamint a repedéskép kialakulásának vizsgálata. Ezen túlmenően vizsgáltuk még a kupolákat egyenlőtlen támaszsüllyedésekre, illetve féloldalas terhelésre is.

Abstract

Domes with oval plan were commonly used in the Renaissance and in the Baroque. It is important to know their mechanical behaviour for the preservation of these historic structures. In our study the discrete element method was applied due to the special characteristics of the method which can simulate the whole collapse procedure. In the analysis for dead load we were interested in exploring any difference between the mechanical behaviour of spherical domes and domes with oval plan: e.g. the distribution of the reaction forces, the collapse mechanisms of different geometries, crack propagation etc. Further investigations were carried out to study the domes in case of support yielding and antisymmetric load patterns.

1. Bevezető

Az ovális alaprajzú kupolák építészeti jelentőségéről és mechanikai modellezésének lehetőségeiről a Magyar Építőipar egy korábbi számában írtunk (Simon, 2012). Itt és most kifejezetten a diszkrét elemes módszerre vonatkozó megállapításokat szeretnénk csak kiemelni.

Ha a mikroszintű viselkedésnek, az esetleges mechanizmusok kialakulásának, repedések megnyílásának és az azzal járó feszültségátrendeződésnek vagy az egyes kövek megcsúszási lehetőségének megismerése a cél, akkor a kontinuummechanikai vizsgálatok nem alkalmazhatóak. Ez esetben részletesebb diszkontinuum modellek segítségével végezhetjük el az analízist. A végelemek módszerével ez a következőképpen tehető meg: a kontinuumot olyan rész-tartományokra osztjuk, amelyek éppen egy-egy adott építőelemnek felelnek meg, majd ezeket kapcsolati elemekkel kötjük össze. Ez a modellezés rendkívül körülményes és nehézkes, hisz minden egyes kapcsolatot külön kell definiálnunk, ezek nem szakadhatnak fel, új kapcsolatok nem keletkezhetnek a modellben, ha előre nem adtuk meg az adott helyen erre a lehetőséget. Ezzel szemben egy numerikus eljárást akkor tekinthetünk diszkrét elemes modellnek (Cundall és Hart, 1992), ha:

- egymástól egyértelműen elkülönülő elemekből épül fel,
- az elemek önálló elmozdulási szabadságfokokkal rendelkeznek oly módon, hogy a modell képes követni az elemek véges nagyságú eltolódásait és elfordulásait deformálható elemek esetén deformációt is), illetve
- az elemek között új kapcsolatok jöhetnek létre és meglévő kapcsolatok szűnhetnek meg.

A végeleemes módszerrel ellentétben a kapcsolatok bármely két, kölcsönhatásba kerülő elem között létrejöhetnek, a meglévő kapcsolatok felszakadhatnak, amit a diszkrét ele-

mes eljárások teljesen automatikusan, numerikusan kezelnek.

A diszkrét elemek módszerét kifejezetten diszkrét felépítésű szerkezetek és anyagok mechanikai viselkedésének vizsgálatára fejlesztették ki. Ilyen szerkezet lehet pl. bármilyen falazott, kövekből összeépített szerkezet – boltív, boltozat, falak, oszlopok –, anyag pedig bármilyen szemcse-halmaz – pl. talaj, silóban tárolt gabona stb. (Bagi, 2007). Az első diszkrét elemes modellt P.A. Cundall (Cundall, 1971) olyan töredezett sziklák által alkotott lejtők, rézsűk vizsgálatára fejlesztette ki, amelyeknél a tönkremeneteli mechanizmus a már létező törések mentén az elemek elválásával vagy megcsúszásával jön létre. Cundall a numerikus megoldáshoz a blokkok mozgásegyenleteinek időintegrálását választotta, így lehetősége nyílt az elemek aktuális helyének folyamatos követésével a nagy elmozdulások vizsgálatára is. A módszer használatának problémáját a számítógépek kapacitása jelentette. A 90-es években a számítógépek fejlődése lehetővé tette valós problémák vizsgálatát már egyszerű PC-ken is, így a módszer bevonult a mérnöki gyakorlatba. A mai napig számos diszkrét elemes szoftver jelenik meg, némelyik kizárólag kutatási célra, de egyre több változata már a mindennapi mérnöki, tervezői gyakorlatban is jól használható. A falazott szerkezetek diszkrét elemes modellezésének lehetőségeit Lemos (Lemos, 2007) foglalta össze részletesen.

2. Alkalmazott szoftver bemutatása

Vizsgálatainkhoz az Itasca cég 3DEC (Three-Dimensional Distinct Element Code) programját alkalmaztuk. A 3DEC szoftverben tetszőleges poliéder elemeket alkalmazhatunk, amelyek lehetnek merevek vagy deformálhatóak is. Utóbbi esetben az elemeket belső hálóval látjuk el, egyszerű végelemekre osztjuk, amelyek általában szimplexek, de elvileg magasabb fokú elemek alkalmazására is lehetőség van. A deformálható elemek mechanikai viselkedésének modellezésére a legkülönbözőbb anyagmodelleket használhatjuk: például lineárisan rugalmas, képlékeny, viszkoelasztikus vagy akár egyedileg definiált anyagmodell is. A 3DEC exp-

* doktorandusz, BME Hidak és Szerkezetek Tanszék

** egyetemi tanár, BME Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék