

Teknillinen korkeakoulu

Mat-5.187 Epälineaarisen elementtimenetelmän perusteet (Mikkola/Ärölä)

12. harjoitus ke 16.4.2003 klo 10-12 U356

1. Tarkastellaan oppikirjan esimerkkiä 7.1 (s.400-401). Lausu verkon nopeus $\hat{\mathbf{v}}$ ja konvektionopeus \mathbf{c} materiaalinopeuden \mathbf{v} avulla. Esimerkissä annettu spatiaali- ja materiaalikoordinaattien välinen yhteys (E7.1.1) tulisi olla

$$\phi(\mathbf{X}) = \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 \\ \sin \theta_1 & \cos \theta_1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{Bmatrix}. \quad (1)$$

Tämä virhe johtaa diagonaalien ulkopuolisten termien etumerkkien vaihtumiseen esimerkissä esitetyissä matriiseissa.

2. Johda oppikirjan lauseke (6.4.33)

$$\mathbf{K}_{IJ}^{ext} = - \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 p N_I \left(N_{J,\xi} \begin{bmatrix} 0 & z,\eta & -y,\eta \\ -z,\eta & 0 & x,\eta \\ y,\eta & -x,\eta & 0 \end{bmatrix} - N_{J,\eta} \begin{bmatrix} 0 & z,\xi & -y,\xi \\ -z,\xi & 0 & x,\xi \\ y,\xi & -x,\xi & 0 \end{bmatrix} \right) d\xi d\eta \quad (2)$$

yhdeksi sivultaan paineen p kuormittaman kantaelementin *load stiffnessille* lähtien liikkeelle yhteydestä

$$\mathbf{f}_I^{ext} = - \int_{\Gamma} N_I p \mathbf{n} d\Gamma \quad (3)$$

ja muuntamalla nykytilan pintaintegraali Nansonin kaavaa käyttäen kantaelementtialueeseen.

3. Harjoituskierröksellä 11 tarkasteltu nelisolmuinen tasovenymätilaelementti on tuettu kuvan 1 mukaisesti ja sitä kuormittaa solmussa 3 voima $\mathbf{f}_3^{ext} = [150.0 \ 150.0]^T$. Ratkaise tasapainotehtävä implisiittistä aikaintegrointia käyttäen. Alkutilan solmukoordinaatit ovat

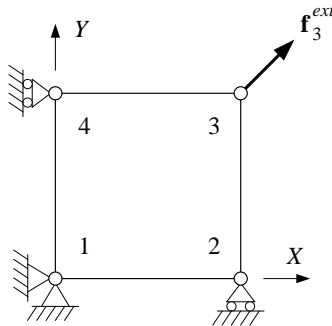
$$\mathbf{X}_e = \begin{bmatrix} \begin{Bmatrix} X_1 \\ Y_1 \end{Bmatrix} & \dots & \begin{Bmatrix} X_4 \\ Y_4 \end{Bmatrix} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Esitä solmun 3 voima-siirtymäkäyrä käyttäen laskennassa yhtä, kahta ja kahdeksaa aikaaskelta. Materiaalimalli on Neo-Hookealainen, jolle pätee

$$\sigma_{ij} = \frac{\mu_0}{J} (B_{ij} - \delta_{ij}) + \frac{\lambda_0}{J} (\ln J) \delta_{ij}, \quad (\mathbf{B} = \mathbf{F}\mathbf{F}^T), \quad (5)$$

$$C_{ijkl}^{\sigma T} = \lambda' \delta_{ij} \delta_{kl} + 2\mu' \delta_{ik} \delta_{jl}, \quad \lambda' = \frac{\lambda_0}{J}, \quad \mu' = \frac{\mu_0 - \lambda_0 \ln J}{J}, \quad (6)$$

missä $J = \det \mathbf{F}$ on Jacobin determinatti ja $\lambda_0 = \mu_0 = 100.0$ ovat materiaalivakioita.



Kuva 1: Tehtävässä (3) tarkasteltava nelisolmuinen elementti.