Száraz súrlódás és nem-folytonos dinamikai rendszerek

Antali Máté

BME Műszaki Mechanikai Tanszék

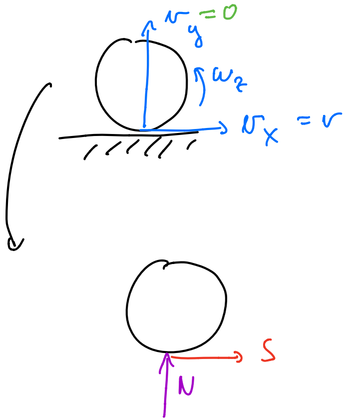
---

7. Térbeli száraz súrlódás

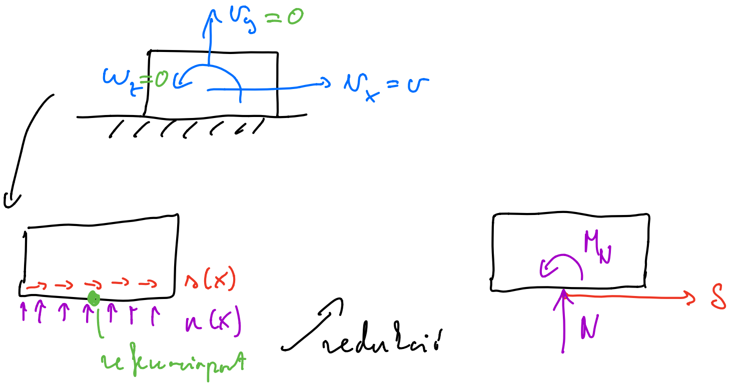
Az előadás-sorozat elkészülését az MTA/ELKH támogatta a Prémium Posztdoktori Kutatói Programban támogatott PPD2018-014/2018 számú pályázat keretében. Készült 2021-ben.

Síkban

nem önmeillő



önmeillő, nem gördül



3 DOF:

v_x: csúszás → S
ω_z: gördülés
} szabad: 2

v_y: elemelkedés → N } kötött: 1
($v_y = 0$)

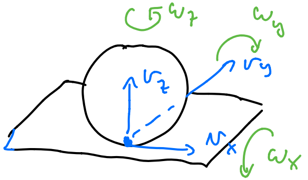
mindkét esetben
$f(S, N, v_x) = 0$
alakú modell

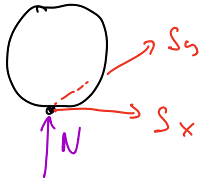
3 DOF:

v_x: csúszás → S } szabad: 1

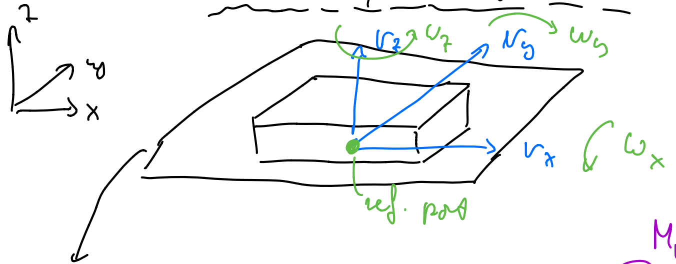
ω_z: felbillenés → M_N
v_y: elemelkedés → N
} kötött: 2

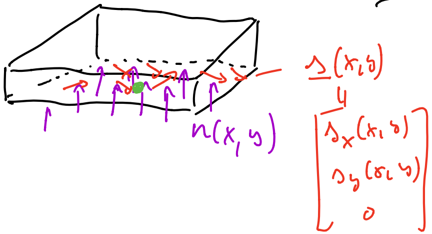
Torlen — nem ömeillő

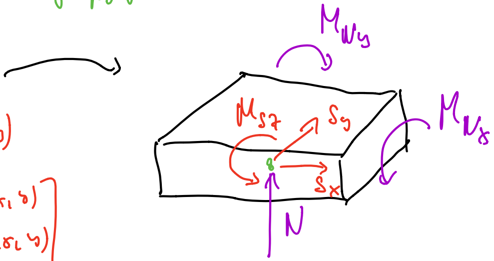




ömeillő, nem gördülő







6 DoF:

csúszás: $v_x, v_y \to S_x, S_y$
gördülés: ω_x, ω_y
„pörgés": ω_z

} 5 szabad

elemelkedés: $v_z \to N$ } 1 kötött

modellezés ? ?

6 DOF:

csúszás: $v_x, v_y \to S_x, S_y$
pörgés: $\omega_z \to M_{sz}$

} 3 szabad

felbillenés: $\omega_x, \omega_y \to M_{wx}, M_{wy}$
elemelkedés: $v_z \to N$

} 3 kötött

Modellezés:

nem összeillő

feltevés: $\boxed{f(N, S_x, S_y, v_x, v_y) = 0 \quad \text{alaki modell}}$

↳ 2 kodimenziós sokaság (ezzel foglalkozunk)

összeillő, nem görbült

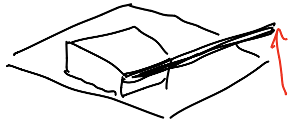
feltevés: $f(N, S_x, S_y, M_{Sz}, v_x, v_y, \omega_z) = 0$ alaki modell

↳ 3 kodimenziós sokaság (most nem elemezzük)

(DE: ha több test, és $\dfrac{|M_{Sz}|}{\sqrt{S_x^2 + S_y^2}} \approx d_{kontakt} \ll d_{tipik}$

modellben jellemző erőkar hossz

egyszerűsíthető

pl. 
)

komplikációk:

- lokális deformáció
  ↳ nem összeillő esetben: kúszás, gördülési ellenállás (akár mind az 5 DOF csatolt lesz)
- csúszó és tapadó területek a kontakt tartományban
- egy irányban összeillő (pl. kúp v. henger a síkon)

Térbeli Coulomb-modell:

$f(N, S_x, S_y, v_x, v_y) = 0$ alakú modell

explicit alak: (csúszás)

$$S_x(N, v_x, v_y)\,, \quad S_y(N, v_x, v_y)$$

- 1. feltevés: 2D-ben adja vissza az egyszerű Coulomb modellt

  $y=0$ sík
  $$S_x(N, v_x, 0) = -\mu N \frac{v_x}{|v_x|}$$
  $x=0$ sík
  $$S_y(N, 0, v_y) = -\mu N \frac{v_x}{|v_x|}$$

- 2. feltevés: IZOTROP

  iránytól független

$$\underline{S} = \begin{bmatrix} S_x \\ S_y \\ 0 \end{bmatrix} \quad \underline{v} = \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ 0 \end{bmatrix} \rightarrow \underline{S} \text{ és } \underline{v}$$

PÁRHUZAMOSAK

$\Downarrow$ Térbeli egyszerű Coulomb-modell:

$$\underline{S} = -\mu N \cdot \frac{\underline{v}}{|\underline{v}|}$$

$$\boxed{\begin{aligned} S_x &= -\mu N \cdot \frac{v_x}{\sqrt{v_x^2 + v_y^2}} \\ S_y &= -\mu N \cdot \frac{v_y}{\sqrt{v_x^2 + v_y^2}} \end{aligned}}$$

↳ ellenőrzés: $S = \sqrt{S_x^2 + S_y^2} = \mu N$

$$\frac{v_x}{\sqrt{v_x^2+v_y^2}} \quad , \quad \frac{v_y}{\sqrt{v_x^2+v_y^2}} \quad \to \text{ egységvektor komponensei}$$

$\to$ szakadás $\boxed{v_x = v_y = 0}$ $\to$ 2 kodimenziós szakadás

(n−2 dimenziós szakadási halmaz – Σ – az n dimenziós fázistérben)

<u>megj</u>: • Stribeck – modell

$$S_x = -\mu\left(\sqrt{v_x^2+v_y^2}\right) \cdot N \cdot \frac{v_x}{\sqrt{v_x^2+v_y^2}}$$

$S_y = \ldots$

• anizotróp súrlódás

$\hookrightarrow$ ha <u>ortotróp</u> (pl. csiszolt felület):

$$S_x = -\mu_x \cdot N \cdot \frac{v_x}{\sqrt{v_x^2+v_y^2}} \quad , \quad S_y = -\mu_y \cdot N \cdot \frac{v_y}{\sqrt{v_x^2+v_y^2}}$$