Kafes Sistemlerde Deformasyon Uzunluğu

Teorik, Simulatif ve Deneysel Inceleme

Betül Keçici
Halis Ateş
Berkay Soyluoğlu
Mustafa Ersin Bacaksız

Copyright © 2013 John Smith

This document is built upon on a LaTeX theme made by John Smith.

Licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License (the “License”). You may not use this file except in compliance with the License. You may obtain a copy of the License at http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0. Unless required by applicable law or agreed to in writing, software distributed under the License is distributed on an “as is” basis, without warranties or conditions of any kind, either express or implied. See the License for the specific language governing permissions and limitations under the License. *First printing, September, 2020*

CONTENTS

I	Kafes Sistemler

1 Teorik Bilgilendirme 6
1.1 Çubuklarda Şekil Değiştirme 6
1.2 Castigliano Teoremi 6

2 Deneysel Çalışmalar 10
2.1 Deneyin Amacı ve Metodolojisi 10
2.2 Malzemeler 10
2.3 Deney Kurulumu 10
2.4 Bulgular ve Tartışma 11

A Ekler 13
A.1 Kaynak Kodlari 13
A.1.1 Ornek 13
A.1.2 Deney 14

I

Kafes Sistemler

1 **Teorik Bilgilendirme** 6
1.1 Çubuklarda Şekil Değiştirme
1.2 Castigliano Teoremi

2 **Deneysel Çalışmalar** 10
2.1 Deneyin Amacı ve Metodolojisi
2.2 Malzemeler
2.3 Deney Kurulumu
2.4 Bulgular ve Tartışma

A **Ekler** 13
A.1 Kaynak Kodlari

BÖLÜM

BIR

TEORIK BILGILENDIRME

Bu Bölümün İçeriği

Çubuk şeklinde olan elemanların sadece uzunluğu (ekseni) doğrultusunda yüklenmesine eksenel yükleme denir. Eksenel yükleme bir eksen doğrultusunda olduğu için aynı zamanda tek eksenli yüklemedir. Bu yükleme çekme veya basma şeklinde olur. Çubuğun kesit alanı değişken olabilir. Bu tip çubuklara kademeli çubuklar denir. Şimdi amacımız, eksenel yüklemeye maruz çubuk şeklindeki elemanlarda toplam uzama veya kısalma miktarını hesaplamaktır.

1.1 Çubuklarda Şekil Değiştirme

Çubuğun uzaması

$$s = \frac{F(s)L}{AE} \tag{1.1}$$

ile ifade edilebilir. Burada E elastisite modülü, A ise kesit alanıdır. Burada yapılan iş ise şöyle ifade edilir:

$$W = \int_0^L F(s)\mathrm{d}s \tag{1.2}$$

Equation 1.1'deki kuvvet ifadesi Equation 1.2'ye yazılırsa

$$W = \int_0^{\Delta L} \frac{EA}{L} s\mathrm{d}s = \frac{1}{2}\frac{EA}{L}s^2\Big|_0^{\Delta L}$$

$$W = \frac{1}{2}\frac{EA}{L}\Delta L^2 = \frac{1}{2}\frac{F^2L}{EA}$$

elde edilir çünkü Equation 1.1'e göre

$$\Delta L = \frac{FL}{EA}$$

1.2 Castigliano Teoremi

Cubukta uzamanin kuvvete bagli sekil degistirmesi ve grafik uzerinde yapilan isin gorsellestirilmesi yukaridaki videoda gosterilmistir. Videonun izlenebilmesi icin *Foxit Reader* kullanilip *Safe Reading Mode* deaktif edilmelidir.

Uzama karakteristigi incelendigine gore simdi de denge enerji turunden incelenmelidir.

Castigliano'nun teoreminin iki temel şartı vardır:

Remark Doğrusal elastik malzeme davranışı (Hooke Yasası uygulanabilmelidir) ve sıcaklık değişikliklerinden kaynaklanan uzama olmaması.

Theorem 1.2.1 — Castigliano Teoremi. Castigliano'nun ikinci teoremi cismin gerilme enerjisinin P'ye kismi turevinin P yonundeki yer degistirmesini ifade eder.

$$w = \frac{\partial U}{\partial F} \tag{1.3}$$

$$\varphi = \frac{\partial U}{\partial M} \tag{1.4}$$

$$0 = \frac{\partial U}{\partial X} \tag{1.5}$$

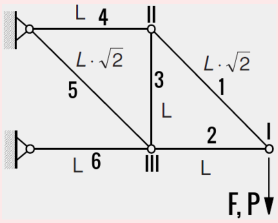
Equation 1.3'e gore kısmi türev, kuvvet uygulama noktasının kuvvet yönündeki yer değiştirme bileşenlerini verir. Equation 1.4'e gore harici bir momente dayanan kısmi türev, dönüş açısını verir. Equation 1.5'e gore statik olarak belirsiz bir değişkene dayanan kısmi türev her zaman sıfırdır. Burada w yer degistirmedir, U ise herhangi bir doğrusal elastik sistemin şekil değiştirme enerjisidir. Mafsallı çubuk sistemleri için (moment yok, sadece normal kuvvetler), şekil değiştirme enerjisi kesit boyutlarının bir fonksiyonudur.

Definition 1.2.1 — Definition name. Castilliagno'nun ikinci teoremi Equation 1.3'e uygulanirsa yer degisimi su sekilde bulunur:

$$w = \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial F_i}{\partial P} \frac{F_i L_i}{A_i E_i} \tag{1.6}$$

Denklemde i sistemi oluşturan n çubuktan her birini ve P kiriş eklemine Δ yönünde uygulanan bir dış kuvveti temsil eder.

Exercise 1.1 I noktasindaki yer degistirme mesafesini F kuvvetine gore bulun.



.

Buradaki dugumlerdeki cekme ve basma gerilmeleri siradaki gibi bulunur:

$$S_1 = (F+P)\sin\frac{\pi}{4} \qquad S_3 = -S_1 \sin\frac{\pi}{4} \qquad S_5 = -\frac{S_3}{\sin\frac{\pi}{4}}$$

$$S_2 = -S_1 \cos\frac{\pi}{4} \qquad S_4 = S_1 \cos\frac{\pi}{4} \qquad S_6 = S_1 - S_5 \cos\frac{\pi}{4}$$

Bu denklemler subsection A.1.1 koduna yazilip cozduruldugunde Table 2.1'deki sonuca ulasilir. Tablo icerisinde ayriyeten simulasyon degerlerine de yer verilmistir.

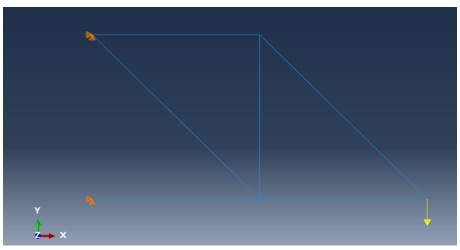
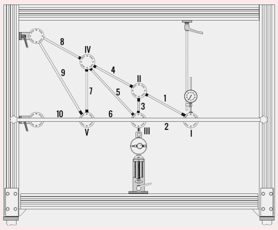


Figure 1.1: Abaqus ile yapilan ornek simulasyonu

Exercise 1.2 I noktasindaki yer degistirme mesafesini F kuvvetine gore bulun.



.

Buradaki dugumlerdeki cekme ve basma gerilmeleri siradaki gibi bulunur:

$$S_1 = P\sin(\theta_{1-2} \qquad S_3 = 0$$
$$S_2 = -S_1 \cos\theta_{1-2} \qquad S_4 = S_1$$
$$S_5 = \frac{F}{\sin\theta_{5-6}} \qquad S_7 = \frac{S_4 \cos\theta_{1-2} + S_5 \cos\theta_{5-6}}{\cos\theta_{1-2}}$$
$$S_6 = S_2 - S_5 \cos\theta_{5-6} \qquad S_8 = (S_8 - S_4)\sin\theta_{1-2} - S_5 \sin\theta_{5-6}$$
$$S_9 = -S_7 \sin\theta_{9-10} \qquad S_{10} = S_6 - S_9 \cos\theta_{9-10}$$

Bu denklemler subsection A.1.2 koduna yazilip cozduruldugunde Table 2.2'deki sonuca ulasilir. Tablo icerisinde ayriyeten simulasyon degerlerine de yer verilmistir.

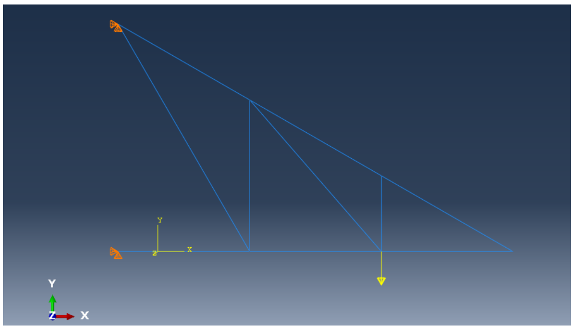


Figure 1.2: Abaqus ile yapilan deney simulasyonu

BÖLÜM

IKI

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

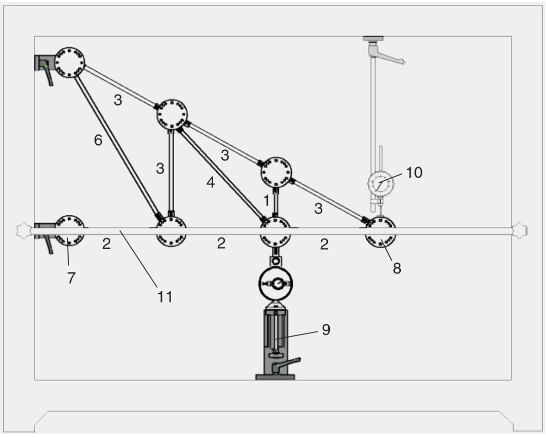
Bu Bölümün İçeriği

Deney, teorik analiz için bir öngörü yaratmayı amaçlamaktadır. Deney düzeneği, süreci, materyalleri okuyucuya tam bir anlayış kazandırmak için dahil edilmiştir, böylece aynı deneyi yapmak isteyen bir kişi bu bilgilerden yararlanarak deneyi yapabilir.

2.1 Deneyin Amacı ve Metodolojisi

Deneyde kafes sistemlerinde korunumlu yukler varliginda dugum noktalarindaki yer degistirmelerin analiz edilmesi incelenmesi arzulanmaktadir. Bunun icin Castiliagno Teoremi kullanilmistir ve simulasyona olusturmasi icin Abaqus programi ile desteklenmistir.

2.2 Malzemeler



- **1, 2, 3, 4, 6:** Çubuk
- **7:** Düğüm diski desteği
- **8:** Düğüm diski
- **9:** Dairesel kuvvet ölçer ve tutucuya sahip yükleme ünitesi
- **10:** Kadran
- **11:** Kafesin yan stabilitesi için travers

2.3 Deney Kurulumu

Elemanlar taban çerçevesine yerleştirilir ve sıkıştırma kolları ile sabitlenir. Merkezleme, profilin yuvalarından gerçekleştirilir. Kelepçeleme kolunu taban plakasından yukarıdan yuvadaki yuva somununa vidalayın. Sıkıştırma kolu fareyle vidalanamıyorsa, aşağıdaki şekilde ilerleyin:

- Aksın sıkma kolunu bir tornavida ile sıkıca aşağıya doğru çevirin.
- Tutma kolunu yukarı doğru çekerek, tutma kolu ile aks arasındaki bağlantıyı bırakın.
- Sıkma kolunun dingili tornavidayla çıkarılabilir.

- Kol bırakıldığında, bir kez daha aksa güvenli bir şekilde yerleşir.
- El kolu, sıkma veya serbest bırakma işlemine karşı durursa, yukarı çekip çevirerek farklı bir konuma getirilebilir.

Her iki desteği de çerçevenin dikey kısmına monte edin.

- Üst destek: 820 mm yükseklikte
- Alt destek: 370 mm yükseklikte

Bunu yapmak için, geçmeli kapağın bağlantı cıvatalarını parmaklarınızla birbirine bastırın ve geçmeli kapağı düğümün delikli plakaları arasına itin. Ardından bağlantı cıvatalarının çubuk açısına göre geçmesine izin verin. Daha uzun çubuk akslar, düğüm diskinin orta noktasından geçmelidir.

Remark Kararlı bir kafes oluşturmak için, her durumda düğüm diskinin kilitleme pimine bir düğüm çubuğu yerleştirilmelidir. Bu, düğüm diskini bir çubukla güvenli bir şekilde bağlar.

Çubuklar, dış çapı 16 mm ve kalınlığı 1.8 mm olan boru şeklindeki PVC'den yapılmıştır. Çubukların uçlarında, düğüm disklerine geçen özel geçmeli kapaklar vardır. Düğümler delikli dairesel disklerden oluşur. Her diskte $30°$ ve $45°$'lik ölçek bölümleri mümkün olacak şekilde 16 delik vardır. İki çubuk arasındaki en küçük açı aralığı $30°$'dir. Bu, bir düğüme en fazla 12 çubuğun bağlanmasını sağlar. Dış gerilmeler, kuvvet ölçüm birimi aracılığıyla kafes kirişe uygulanır ve destek reaksiyonları ölçülür. Çekirdek bir kuvvet ölçüm halkasıdır. Bu, dış kuvvetin etkisi altında elastik olarak deforme olur. Bu sapma, bir konum ölçüm mastarı ile ölçülür ve kuvvetin doğrudan ölçümüdür. Bir kuvvet üretebilmek için, ilgili test nesnesinin (başka bir deyişle kafes kiriş) önce ön gerilime sahip olması gerekir. Düğümlerle oynayarak bunu amaçlarız. Ön gerdirme, ince dişli bir mil ve bir el çarkı ile gerçekleştirilir. Kuvvet ölçme ünitesi, farklı açılara hareket ettirilebilmesi için herhangi bir noktada çerçeveye kelepçelenebilir. 200 N'ye kadar olan gerilme ve basınç kuvvetlerinin uygulanmasını ve ölçülmesini sağlar.

Remark **Dikkat:** Kirişi aşırı yüklemeyin.
Maks. izin verilen yük $\pm$ 200 N

2.4 Bulgular ve Tartışma

Malzemenin uniform olmamasi olusabilecek hatalara isaret ediyor. Ornegin elastisite modulu materyal boyunca esit kabulu yapilmistir ama bu gercegi yansitmamaktadir.

Ayrica aletleri okuma hatası gibi kullanıcı temelli hatalar bulunabilir.

Bunlarin disinda deney setinde dial gaugelerin uyguladigi kuvvet ve ve yukun asildigi aparatlarin olusturdugu agirliklar ihmal edilmistir. Bu da fiziki durumun gercekliginden uzak sonuclar vermesine yol acacaktir. Ornegin komparatorler cubukta deformasyonu arttirir ve aparatlar da agirliga etki edeceginden yer degistirme mesafesini arttiracaktir.

Son olarak teorinin getirdigi birkac kabulden oturu deneylerde farkliliklar gozukebilir. Bu kabuller su sekilde listelenebilir:

- Enerji kaybına rastlanmaması
- Malzemenin doğrusal elastik olması
- Uzamada sıcaklıktan etkilenmeme

Kuvvet Kodlayıcı		Yer değiştirme		
Kuvvet [N]	Uzaklık [0.01 mm]	Teorik [0.01mm]	Deneysel [0.01mm]	Simülasyon [0.01mm]
20	2	32.2		27.8
40	4	64.4		56.8
60	6	96.7		83.5
80	8	128.9		111.4
100	**10**	**161.1**	**209**	**139.2**
120	12	193.3		116.7
140	14	225.5		194.9
160	16	257.7		222.7
180	18	299		250.6
200	**20**	**322.2**	**350**	**278.4**

Table 2.1: Örnekteki yer değiştirme

Kuvvet Kodlayıcı		Yer değiştirme		
Kuvvet [N]	Uzaklık [0.01 mm]	Teorik [0.01mm]	Deneysel [0.01mm]	Simülasyon [0.01mm]
20	2	11.81		9.81
40	4	23.63		19.62
60	6	35.44		29.43
80	8	47.26		39.24
100	**10**	**59.07**		**49.05**
120	12	70.89		58.86
140	14	82.70		68.67
160	16	94.51		78.48
180	18	106.3		88.29
200	**20**	**118.14**		**98.1**

Table 2.2: Deneydeki yer değiştirme

APPENDIX

EKLER

A.1 Kaynak Kodlari

A.1.1 Ornek

```
clear;clc
L = [.26, .136, .136, .136, .26, .136];
E = 154e7;
A = 8.03e-5;

P = sym('P');
baz=[];
for F = 20:20:200
    S1(P) = (F + P)/sin(pi/4);
    S2(P) = -S1*cos(pi/4);
    S3(P) = -S1*sin(pi/4);
    S4(P) = S1*cos(pi/4);
    S5(P) = -S3/sin(pi/4);
    S6(P) = S2 - S5*cos(pi/4);

    foo = {S1, S2, S3, S4, S5, S6};

    sum=0;
    for i=1:length(foo)
        bar(P) = cell2sym(foo(i));
        sum=sum+ double(diff(bar, P))*double(bar(0))*L(i);
    end
    disp([F, sum/A/E*10^5]);
end
```

A.1.2 Deney

```
clear;clc
theta_56 = atan(2/sqrt(3));
theta_12 = atan(1/sqrt(3));
theta_90 = atan(sqrt(3));
L = [.136, .131, .006, .136, .233, .131, .136, .136, .356, .131];
E = 154e7;
A = 8.03e-5;

P = sym('P');
S1(P) = P/sin(theta_12);
S2(P) = -S1*cos(theta_12);
S3(P) = symfun(0,P);
S4(P) = S1;
for F = 20:20:200
    S5(P) = symfun(F/sin(theta_56),P);
    S6(P) = S2 - S5*cos(theta_56);
    S8(P) = (S4*cos(theta_12) + S5 * cos(theta_56)) / cos(theta_12);
    S7(P) = (S8-S4)*sin(theta_12) - S5 * sin(theta_56);
    S9(P) = -S7/sin(theta_90);
    S10(P) = S6 - S9*cos(theta_90);

    foo = {S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10};

    sum=0;
    for i=1:length(foo)
        bar(P) = cell2sym(foo(i));
        sum=sum+ double(diff(bar, P)) * double(bar(0)) * L(i);
    end
    disp([F, sum/A/E*10^5]);
end
```

INDEX

C

Castigliano Teoremi 7

D

Deney kurulumu 10

M

Malzemeler 10