

# تحلیل فروریزش دینامیکی ستونهای جدارنازک با مقطع مربعی تحت ضربه محوری

سعید فعلی<sup>۱</sup> و افشین شکری<sup>۲</sup>

گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۷/۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۱۰/۲۰)

## چکیده

در این مقاله، مدل‌های ارائه شده قبلی برای تحلیل فراریند فرو ریزش ستون ها با مقطع مربعی تحت بار ضربه ای اصلاح گردیده است. برای این منظور، اتلاف انرژی ناشی از کوتاه شدگی اولیه دیواره‌های مقطع و اثرات اینرسی لایه های چین خورده قبلی در نظر گرفته شده است. نیروی لهیدگی متوسط محاسبه شده با این روش همخوانی مناسبی با نتایج تجربی داشته و نسبت به مدل های تحلیلی قبلی نتایج بهتری را پیش بینی نموده است. بر اساس نتایج این مقاله مشخص شده که سرعت و جرم ضربه زننده که در مدل های تحلیلی قبلی برای محاسبه نیروی متوسط لهیدگی از آن صرف نظر شده، تأثیر بسزایی در نیروی فرو ریزش مقطع و میزان جذب انرژی آن دارد.

**واژه‌های کلیدی:** مقاطع مربعی، ضربه محوری، فروریزش، لهیدگی محوری

## Dynamic Progressive Buckling of Square Tubes under Axial Impact Loading

S. Feli and A. Shokri

Mech. Eng. Dep't., School of Eng. Razi Univ.

### ABSTRACT

In this paper, previous analytical models for analyzing dynamical progressive buckling of square tubes under axial loading have been modified. In the improved model, the dissipated energy due to shortening of tube walls and the effects of inertia of previous folding layers are considered. The mean crushing force, which is predicted by the analytical model, has acceptable consistency with the results of experimental tests and in most cases their accuracy is higher. Based on the results of this paper, it is observed that the impact velocity and the mass of striker (neglected in previous analytical models) are important in mean crush force and in absorb energy of a square tube.

**Keywords:** Square Tubes, Axial Impact, Buckling, Axial Crushing

۱- استادیار (نویسنده پاسخگو): felisaeid@gmail.com

۲- کارشناس ارشد





Ä / d / † B † | i A • Y Ä , u A e j A ] ( € 2 ) - ] Y Ä •  
 ± • , / i Z S 1/4 y † Ä e j Ä j € C E ^ Ä f m e j M Y  
 Ä | † B † | † B † A • / Ä ~ Ä E , v • ( B † f † Ö a  
 É Z | / Ä Z Ä » Z 1/4 Z 1/4 Z 1/4 Z 1/4 { € } ~ m † Ä »  
 | / Ä Y / q i ° O E / Z / Y / f / † c Z v • , Y / E f / € Y  
 c Z v " 1/2 M Ä { • Y Ä r é Ä € - z m { É Y , u € »  
 • S i / É 3 { • Ä / i y , f z É Z Ä E Ö } Z Ä i † • Z †  
 • { / i e e e Ä M i Ä E / k É 3 | / Ä Z / e Z Ä S 1/4 y  
 q i ° O E Ö y { É ] € » Z † z Y † z • Ä E † | i A •  
 Ä f { É f € / z m É 3 { • Ä / i y Z Ä Ä E Ö E Ä  
 S / 1/4 Ä E Ö A | † e Z † E 3 | Ä Z e ( Ä , u € »  
 . { € E 3 • Ä Ö i f † B † A ~ q v » c Z v " •  
 - 3/4 / q • Ä B Ö i q Ä O E e f € - z m Ä E • M i € S  
 • Z / A e j Ä E Ö Z Ä j Ä | Ä j e " j Z Ä { • Ä y  
 S Ä Z ^ † Ä Ä E { • Ä j e j e » - Ä | † Ä Z † •  
 [ ~ / r d / , Ä / Ä , u e e { { Ä E » c Z v " Ä —  
 E C E ^ Ä f m e j Y € Z Ä Y Ä i Ä ( Z € Ä Y E f € † Y  
 • Ä | / Ä Z / e Z Ä " † b / † j E » S Ä Z | Ä j € "  
 Ä d Y € i e Ä » S 1/4 y Z q i E Ä E - S Z Ä Ö v Ä •  
 • Y | † Y f € / - z m Ä Ä , u e Ä • Ä E C E ^ Ä f m e † Y  
 d / † Ä i f € / - z m Ä Ä Y , u e Z a Z Ä E Ä E †  
 Ä ] € d Y € Ä E C E Ä i f € Y Ä Ä , u e j Ä E »  
 • { É Z / E C E / Ä Y r é Ä d Y € Ä Ä / † Ä f † Ä | Ä † •  
 Ä Ö i ° C E E e Ä j Ä Z 1/2 » Y Ä Ä , Y u e 1/2 Z a  
 • { Ä | / Ä j e / e . m Ä E Ä { Z E † † Ä i y E | ]  
 Ä / i 1 Ä Z m j ] , i e j { • Ä y Ä B Ö i » q i { C E e  
 - 3/4 i / Ä / E Z Ä E Ä Ä Ö • Ä y S j ä | Ä j € "  
 3/4 i / Ä Z Ä Ä E Z E e j Ä e Ä j Ä Y Ä y • Ä y  
 E / Ä Y / Ä j e € e Ä Ä { E E Ä { Z E † † Y Ä y  
 Ä / i 1 Ä Z m j ] Z E 3 { • Ä j e q Ä E Ö i ° C E e  
 • { É / , É 3 { • Ä y Ä Z Ä E Ö Ä Ä | Ä j € "  
 q i ° O E { E C E Ä f m e j Ä d † Ä | Ä f S € e †  
 É Z / Ä / Ä E Ä Y Ä f m e j M E € j • Ä y Ä E Ö € Ä  
 | / Ä j e / e 3 { • Ä y Ä Z Ä E Ö A | [ ~ n E f € † Y ( E — Z i i • Ä Ä E Ä Z a Z 1/4 E Y e j Ö y e Y  
 Ä / , u e e a E 3 | / i Ä E i ä i " 4 q ° • { { Ä ]  
 Ä j Ä ] Ä » Ä Z Z 1/4 E y i Ä Ä , u e e a Ä u Ä Y  
 . d † Ä | Ä { 1/2 Z E E 3 • Ä y Ä Z Ä E Ö E

É Z Ä Ä E Ö / E Ä Y Ä e j u e Ä Ä | [ ~ n E f € † Y  
 , Ä / , u e e » Ä Ä | [ ~ / r é f € 1/4 Ä Ä • Ä y i q  
 . d / † Ä | / Ä ^ / † Ä / E Ö Ä Ä | [ ~ n E , É f € † Y  
 Ä • Y Ä y E Ä Z / e Z Ä " É j e Ö y e { Ä Ä S Z " Y  
 • { Ä / [ ] Z / Ä f † € Ä E Ä f m e e { Ä Z ~ - É Z Ä  
 Ä | / E H e j Z Ä j e e Ä S M E , É « v e E Z Ä E . | »  
 • , / E • Ä e j Ä E i Ä S j a | i E z f e Ä -  
 . | † Z Ä f † E j e i E e Z E e e f Z Ä y Ä z 1/4 Ä

E , i , m e » 2

E f e Ä e j i Ä Ä ^ † Z Y Ä e j , i , E Z Ä e { | »  
 1 Z / 1/4 j Y - - / n p Ä e j e » Z 1/2 , Ä e S Y 1 € Ö  
 • { d / † Ä | / Ä { Z " E f / e j Ä Ö Ä 1/4 d † Ä | †  
 1/2 Z B / E y Ä e f € - z m 1/2 Y Ä i » † Z % » Ä Ä E Y  
 • Z Z E f e / Ö m e / 1/2 { Y Y E Ä Z Ä } Z Ä E Z a  
 3/4 i / q Ä / Ä % , / E e / S Ä E Ä e E e • Z Ä € i †  
 . d † Ä | Ä ^ † Z Y Ä e j • Ä y  
 Ö E { Ä | S Ä E i » E Ä Z Ä E e † • € |  
 Ö » Z / • c • Ä Ä Ä { Z Z f , S • Z † E y e m - »  
 € / e e j o , 1/2 E r Ä E y E j E ; Y | Z q i f † Ö a  
 € • // Ä Ä // [ ~ // E f € / E j Y Ä E / » Ä f S € 3  
 c Z ^ / † Z Z Ä E — Z E ) N e • Y Ä Z E 3 { • Ä y e  
 : Z d † e j e j m € »

$$E_I \quad M_0 \frac{a}{h} \frac{b}{h} \quad 2 S \quad 4_3 \frac{H^2}{b} \frac{1}{h} \quad (1)$$

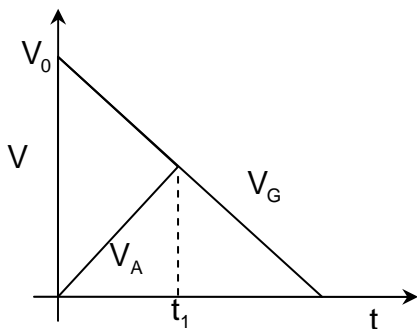
E Z / Ä Ö Ä / t r † { É f e Ö y Ä 1/4 q » Z Ä  
 • { Ä / d / † B † - e j Y / † B † Z / Ä Ä E Ö i f † Ö a  
 1 q ° / e ] Z / Ä » E Z Z e B { % , E • Ä e j Y Ä Ä  
 2 q ° / • H , I\_3 1.148 , I\_1 0.555 , { { € 3 } , e  
 1/2 Y i } { É Ä h , t ü / † Z † Ä E 3 | / k Ä y i / †  
 É Z / Ä Ä Ä Y Ä » E e " É ° i e Z † Z Ä d y € †  
 Ö i f / † B † Z M\_0 13 - 5 | † Z } , d † Y Z Ä • Y Ä E {  
 . d † M\_0 \frac{1}{4} h^2 € j Ä e j - »  
 [ 6 j Z d † e j , i e j ]

$$E_{II} \quad M_0 \frac{a}{h} S \frac{H^2}{h} \quad 2 S \quad S \frac{0}{h} \frac{1}{h} \quad (2)$$



d Y € A S A Z A | / A } € Y € E 3 | i M A Y , u € »  
 Z f | t , A / € v Z | e | E B E Y , - € Y E f Z A m  
 1/2 | / A Z / A e / A e 1/4 • E | Y A E / k E A Z € / E | ° E  
 • A € @ i f / † O Z / A 3 O A A | E B A 1/4 e Z y " •  
 • { A { • A / † Z A t d u Z : | / A E / E € n 3 ° A }  
 A / n † { , d / E Z † Z v i p A S A Z € / Z 1 ° <  
 3/4 i / A • v † † A ^ † Z ( M ) c Z v i p A S A Z -  
 € E • A A } - € 1 E f Z A A A | A } € Y € Y { A 1/4 € G

$$H' = \frac{3}{2} V_G - V_A \frac{dt}{dt} = \frac{1}{2} \frac{V_0^2}{4N_0} - \frac{N_0}{m} \frac{Gg}{4m} \quad (10)$$



E O A A | A } € d Y € E i o y e ( A ) 1/4 <  
 1/2 Z » u € A < A Z 1/4 • Y

E • Z Z € | E € | M A Y , u € A | { ~ n E f € i Y  
 A / u € E Y € Z v • p A - S A Z v / † A t d / † Y  
 • { @ i f / † E o A / E A € | € " Z 1/4 € | Z € }  
 A / , u € A | { ~ n E f € 1/2 M Y E 3 | < A Z p A -  
 : | E M d † { A ( E\_C ) E 3 | i M A Y

$$E_C = N_0 \cdot H \ddot{Y} = E_C \frac{m V_0^2}{8M_R \cdot 2 \frac{Gg}{2N_0}} \quad (11)$$

• { - / - E 3 | / A Z E A E | { ~ n E f € 1/2 M Y } Y •  
 E f € E 1/4 M A E Y A E A E 1/2 Z O A Y " © E  
 3/4 i / A / E O E { E 3 | / i M A Y , u € A | { ~ m  
 A / E 2 O | i c Z / † { Y | / { e Y | / A E Y { • A y  
 . { A } € "

A } € / € G m A 3/4 i A } | Z m g (3) A ~ ] Y A -  
 d Y € ( B ) A / ~ } Y € i 3 Y € Z O E Z p † A } A i •  
 : Z d † € E Y € i A q A O E O A } .

$$V_A \frac{dY}{dt} \Big|_A = \frac{N_0}{m} \frac{Gg}{4m} \ddot{t} \quad (4)$$

c • A A | ] - 6 1 ° < a | Z A } A A } € " € A • { Z }  
 : d † € E A ~ ] Y •

$$V_G \frac{d^2Y}{dt^2} = 4N_0 \cdot \quad (5)$$

• { A | A } € Y € { A E E 3 μ Y € 5 } f A Y • Y € 3 Y  
 : Z d † € E Y € i M A Y , u € O y

$$V_G \frac{dY}{dt} \Big|_G = \frac{4N_0}{G} t V_0 \quad (6)$$

. | A E Z A | A } € i d A Y € † 1/2 M A -

A | { ~ n E f € A ^ † Z Z 1 2

- A } € Y € A t d † E i Z » E 3 | i M A Y , u € Z E Z a  
 - 3/4 i / E E O Z A | , / - € E Z v A d h € A A | A i •  
 • X { Z " Z | t e y e d A Y | i A } € € E Z E E { • A y  
 A A 3 | / i M A Y , u € Z 1/4 E Z 6 } Z A A ~ ] A {  
 : | E M d † { A € E • A •

$$V_G(t) - V_A(t) = \ddot{Y} \left( \frac{V_0}{4N_0} - \frac{N_0}{m} \frac{Gg}{4m} \right) \quad (7)$$

• E ° E { E 3 | i M A Y , u € Z 1/2 Z } • Y Y Z | Z u  
 1/2 Z / A / A | / A } € E E Y € 6 } Z A A ~ ] A {  
 | / < E | E 3 | i M A Y , u € A Y € • { A } • d A Y € /  
 : { { € E A ^ † Z v »

$$V_G(t) - V_A(t) = \ddot{Y} \frac{N_0}{m} \left( \frac{V_0}{4N_0} - \frac{N_0}{m} \frac{Gg}{4m} \right) = \frac{V_0}{4M_R} \frac{1}{1} \frac{Gg}{N_0} \quad (8)$$

A } € / € / A n t , , - € 1/4 E d h ^ M\_R , 1/2 M A -  
 : Z d † € } A } € Z } G , A | A i •

$$M_R = \frac{0.5 \omega H h}{G} \quad (9)$$

. | < Z } 1/2 M | i A Z E Z ' i q A -  
 E E O A A | A } € Y € Y € i M A Y 1/4 i  
 μ A / † / A E / 1/2 Z O E Z A p ^ ^ Y E 3 { • A } q



$$\frac{P_m}{M_0} = \frac{4}{h} \frac{H}{C} \frac{S}{H} \frac{G^2 g^2}{4N_0} \frac{1}{2M_0} \frac{2 \omega Ch G}{G^2 g^2} \frac{1}{4N_0} \quad (26)$$

$$f(H) = \frac{A_1}{H^2} \frac{A_2}{\sqrt{H}} \frac{A_3}{A_4 H A_5^2} A_6 \quad (20)$$

$$\frac{P_m}{M_0} = \frac{4 \mathcal{C}}{H^2} \frac{7 \frac{I_3}{b} \frac{S}{2h}}{V_0^2 G (\omega h)^2} \frac{1}{M_0 (G \frac{2 \omega h H}{4N_0} \frac{G^2 g^2}{4N_0})^2} \quad (27)$$

$$f(H) = \frac{A_1}{H^2} \frac{A_2}{A_4 H} \frac{A_3}{A_5^2} \quad (28)$$

$$\frac{P_m}{M_0} = \frac{28 \frac{1}{h} \frac{b}{4S} \frac{C}{H} \frac{7 \frac{I_3}{b} \frac{S}{2h} \frac{S}{4\mathcal{C}}}{G \omega h V_0^2} \frac{1}{2M_0} \frac{2 \omega Ch G}{G^2 g^2} \frac{1}{4N_0} \quad (22)$$

$$\frac{1}{b} 2 \sqrt{\frac{I_1}{I_3}} \frac{1}{\sqrt{hH}} \quad (24)$$

$$\frac{P_m^d}{P_m} = 1 \frac{S H \cdot P}{\mathcal{C} \cdot 1} \quad (29)$$

$$f(H) = \frac{A_1}{H^2} \frac{A_2}{\sqrt{H}} \frac{A_3}{A_4 H A_5^2} A_6 \quad (25)$$

$$\frac{P_m^d}{P_m} = \frac{1}{0.33V/C} \frac{c \cdot \hat{A} \cdot \hat{\Lambda} \cdot \hat{\lambda}}{0.25V/C} \frac{\hat{A}}{0.39V/C} \frac{H}{0.44V/C} \quad (30)$$

$$\frac{1}{b} 2 \sqrt{\frac{I_1}{I_3}} \frac{1}{\sqrt{hH}} \quad (24)$$

[5] | < ZH S z i w e j 5 3  
 É Y É A Ê Ä ^ † D V A ] • Y Ä Y Ê C E j w e e z  
 É Â / Á B Y Á Á 3 • Á 1/2 • Z † f e z 1/2 • Z Z A A » • Y  
 , / 0.33V/C c • Á / Á \ ] l e e e — Z % 6 6 Á € S  
 • { / 0.25V/C Á / 0.39V/C , H 0.44V/C  
 Ä | / Ä ] e v e v † j v v • { Ä d † x f s e e e z  
 - • Z z • x | / e z à e e e 3 { • Ä j ä e e e y € ]  
 [6] | < ZH E ] € »











