

ANKASTRE MESNETLİ BETONARME DÖŞEMELERİN DEPREME GÖRE İNCELENMESİ

EARTHQUAKE ANALYSIS OF CLAMPED REINFORCED CONCRETE SLABS

Yusuf Ayvaz¹ ve Ahmet Durmuş²

SUMMARY

The main purpose of this study is to determine the effects of various parameters such as the aspect ratio, the flexural rigidity ratio and the boundary conditions on the linear response of reinforced concrete slabs with rigid boundary members to the vertical component of the Erzincan earthquake. A computer program is coded to analyze the dynamic out-of-plane response. The finite difference method is used for spatial integration and Newmark- β method is used for time integration. Graphs are presented that should help engineers in the design of reinforced concrete slabs for earthquake loading. It is concluded that, in general, the aspect ratio of a slab has a stronger influence on the maximum response than the flexural rigidity ratio, and the maximum response of the slab is sensitive to small changes in period.

ÖZET

Bu bildirinin temel amacı kenar oranları, iki doğrultudaki eğilme rijitliklerinin oranı ve sınır koşulu gibi farklı parametrelerin depremin düşey bileşeninin etkisindeki kenarları rijit betonarme döşemelerin doğrusal davranışları üzerindeki etkilerini incelemektir. Bu inceleme deprem etkisindeki döşemelerin genel hareket denklemini çözen bir bilgisayar programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Programda zamana bağlı olan terimlerin entegrasyonu için Newmark- β yöntemi, bağlı olmayanların entegrasyonu için ise sonlu farklar yöntemi kullanılmaktadır. Bu program yardımıyla gerçekleştirilen incelemelerden elde edilen değerlere bağlı olarak çizilen, betonarme döşemelerin projelendirilmesinde mühendislere yardımcı olabilecek, grafikler verilmekte ve çalışmanın sonunda, bu grafiklerin irdelenmesinden elde edilen başlıca sonuçlar sunulmaktadır.

GİRİŞ

Döşemelerin çok yaygın olarak kullanılan yapı elemanları olduğu ve kalınlıklarının genellikle diğer iki boyutu yanında küçük kaldığı bilinmektedir. Bununla beraber döşemeler narinliklerine göre (kalınlık/kısa kenar) ince ve kalın döşemeler olmak üzere iki sınıfta toplanmaktadır. Teknik literatürde narinliği 1/20 den küçük olanlar ince,

¹Yrd. Doç. Dr. K.T.Ü., Mühendislik- Mimarlık Fakültesi, Trabzon

²Prof. Dr. K.T.Ü., Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Trabzon

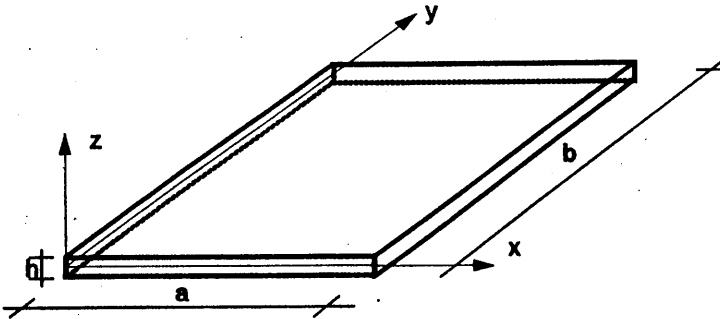
büyük olanlar ise kalın döşemeler olarak adlandırılmaktadır (Timoshenko ve diğ., 1959; Ugral, 1980). Pratik hayatta inşa edilen betonarme döşemeler genellikle ince döşeme sınıfına girmektedir. Bu tür plakların dinamik analizlerine ilişkin birçok çalışma mevcuttur (Caldersmith, 1984; Leissa, 1969; Leissa, 1973; Providakis, 1989; Warburton, 1954; Young, 1950).

Bu çalışmada kenar oranları, iki doğrultudaki eğilme rijitliklerinin oranı ve mesnet koşulu gibi değişik parametrelerin, depremin düşey bileşeni etkisindeki, betonarme ince döşemelerin doğrusal davranışları üzerindeki etkileri incelenmektedir. Bu inceleme, ince döşemelerin genel hareket denkleminde zamana bağlı terimlerin entegrasyonunda Newmark- β yöntemini, bağlı olmayanların entegrasyonunda ise sonlu farklar yöntemini kullanan ve doğruluğu kanıtlanmış olan bir bilgisayar programı (Ayvaz, 1992) yardımıyla gerçekleştirilmektedir. İncelemede adı geçen parametrelere bağlı olarak betonarme döşemelerin maksimum deplasman ve eğilme momentleri ile ilgili grafikler verilmekte ve çalışmanın sonunda bu grafiklerin irdelenmesinden elde edilen başlıca sonuçlar sunulmaktadır.

Döşemenin bulunduğu yapının dinamik özellikleri, temelinde hissettiği deprem hareketini filtreleyerek (soğrularak) döşemenin kenarlarında farklı hareketler meydana getirebilmektedir. Bu çalışmada sözkonusu filtreleme olayının ihmal edildiğini ve depremin düşey bileşeninin doğrudan döşemenin rijit varsayılan kenarlarına uygulandığını daima hatırdta tutmak gerekmektedir.

PROBLEMİN SONLU FARKLAR YÖNTEMİNE GÖRE FORMÜLASYONU

Bu bildiri de dikkate alınan döşeme boyutları ve eksen takımı Şekil 1 de verilmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi döşemenin x eksenini doğrultusundaki kısa ve y eksenini doğrultusundaki uzun kenarları sırasıyla a ve b sembolleriyle gösterilmektedir. Durum böyle olunca, D_x ve D_y sırasıyla x ve y eksenleri doğrultusundaki eğilme rijitliklerini göstermek üzere, $D_x \geq D_y$ olduğu kabul edilmektedir.



Şekil 1. İncelenen Döşeme ve Kullanılan Eksen Takımı

Bir deprem etkisindeki sönümsüz ortotrop bir döşemenin diferansiyel denklemi; $W(x, y, t)$ zamana bağlı deplasmanı, $\ddot{u}_g (= \frac{\partial^2 u_g}{\partial t^2})$ deprem ivmesini ve \bar{m} döşemenin birim alan kütleini göstermek üzere,

$$D_x \frac{\partial^4 W(x, y, t)}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^4 W(x, y, t)}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 W(x, y, t)}{\partial y^4} + \bar{m} \frac{\partial^2 W(x, y, t)}{\partial t^2} = -\bar{m} \frac{\partial^2 u_g}{\partial t^2} \quad (1)$$

şeklinde dir. Bu denklemdeki H, iki doğrultuda donatısı bulunan sabit kalınlıklı betonarme döşemelerde

$$H = \sqrt{D_x D_y} \quad (2)$$

bağıntısıyla belirlenebilmektedir (Szilard, 1974; Lekhnitskii, 1968). Eğer (1) bağıntısında mekana göre türevleri içeren terimler yerine uygun sonlu fark operatörleri kullanılır (Ayvaz, 1992) ve belirli bir sönüm kabul edilirse, $[M]$ döşemenin kütle matrisini, $[C]$ sönüm matrisini, $[K]$ rijitlik matrisini, $\{\ddot{W}\}$ ve $\{\dot{W}\}$ sırasıyla döşemenin ivme ve hız vektörlerini göstermek üzere, rölatif hareket denklemi

$$[M]\{\ddot{W}\} + [C]\{\dot{W}\} + [K]\{W\} = -[M]\{\ddot{u}_g\} \quad (3)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Bu denklemdeki sönüm matrisi $[C]$, kütle matrisiyle orantılı kabul edilerek, ξ_i ve w_i sırasıyla döşemenin i. moduna karşılık gelen sönüm oranını ve özel açısal frekansını göstermek üzere

$$[C] = 2\xi_i w_i [M] \quad (4)$$

bağıntısıyla belirlenmektedir (Humar, 1990). Betonarme döşemelerde sönüm oranı genellikle daha büyük olmakla beraber emniyetli tarafta kalmak amacıyla bu çalışmada döşeme birinci moduna ait sönüm oranı %2 olarak dikkate alınmaktadır.

Rijitlik matrisi, $[K]$, ise Δx , Δy sırasıyla sonlu farklar ağında x ve y doğrultusundaki dilim genişliklerini göstermek ve,

$$\begin{aligned} k_{13} &= \frac{D_y}{\Delta y^4}, \\ k_{22} &= \frac{2\sqrt{D_x D_y}}{\Delta x^2 \Delta y^2}, \\ k_{23} &= -\frac{4D_y}{\Delta y^4} - \frac{4\sqrt{D_x D_y}}{\Delta x^2 \Delta y^2}, \\ k_{31} &= \frac{D_x}{\Delta x^4}, \\ k_{32} &= -\frac{4D_x}{\Delta x^4} - \frac{4\sqrt{D_x D_y}}{\Delta x^2 \Delta y^2}, \\ k_{33} &= \frac{6D_x}{\Delta x^4} + \frac{6D_y}{\Delta y^4} + \frac{8\sqrt{D_x D_y}}{\Delta x^2 \Delta y^2}, \end{aligned}$$

olmak üzere,

$$\begin{bmatrix} & & k_{13} & & \\ & k_{22} & k_{23} & k_{22} & \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & k_{32} & k_{31} \\ & k_{22} & k_{23} & k_{22} & \\ & & k_{13} & & \end{bmatrix}$$

şeklindeki sonlu fark operatörü her bir sonlu fark noktasında merkezlenerek elde edilmektedir.

Döşeme rölatif hareket denkleminin (n+1). zaman adımındaki yazılımı

$$[M]\{\ddot{W}\}_{n+1} + [C]\{\dot{W}\}_{n+1} + [K]\{W\}_{n+1} = -[M]\{\ddot{u}_g\}_{n+1} \quad (5)$$

şeklinde. Bu denklemdeki hız (\dot{W}) ve ivme (\ddot{W}) değerleri, Δt zaman artımını, γ ve β keyfi sabitleri göstermek üzere

$$\dot{W}_{n+1} = \frac{\gamma}{\beta\Delta t}(W_{n+1} - W_n) + (1 - \frac{\gamma}{\beta})\dot{W}_n + ((1 - \gamma)\Delta t - \frac{\gamma}{\beta\Delta t}(\frac{1}{2} - \beta)\Delta t^2)\ddot{W}_n \quad (6)$$

$$\ddot{W}_{n+1} = \frac{1}{\beta\Delta t^2}(W_{n+1} - W_n - \Delta t\dot{W}_n - (\frac{1}{2} - \beta)\Delta t^2\ddot{W}_n) \quad (7)$$

bağıntılarıyla belirlenmektedir. Bunların vektör formları (5) denklemde yerine yazılırsa

$$\begin{aligned} & (\frac{1}{\beta\Delta t^2}[M] + [C]\frac{\gamma}{\beta\Delta t} + [K])\{W\}_{n+1} = \\ & -[M]\{\ddot{u}_g\}_{n+1} + [C](\frac{\gamma}{\beta\Delta t}\{W\}_n - (1 - \frac{\gamma}{\beta})\{\dot{W}\}_n \\ & - ((1 - \gamma)\Delta t - \frac{\gamma}{\beta\Delta t}(\frac{1}{2} - \beta)\Delta t^2)\{\ddot{W}\}_n) \\ & + \frac{1}{\beta\Delta t^2}[M](\{W\}_n + \Delta t\{\dot{W}\}_n + (\frac{1}{2} - \beta)\Delta t^2\{\ddot{W}\}_n) \end{aligned} \quad (8)$$

denklemini elde edilmektedir.

Sonlu fark noktalarındaki deplasmanları her bir zaman adımında belirlemek için (8), (7) ve (6) denklemleri ardışık olarak çözülmektedir. Bu çözümde, koşulsuz olarak kararlı olduğu için ($\gamma = \frac{1}{2}$ ve $\beta = \frac{1}{4}$ değerleri ile birlikte), ortalama ivme yöntemi kullanılmaktadır.

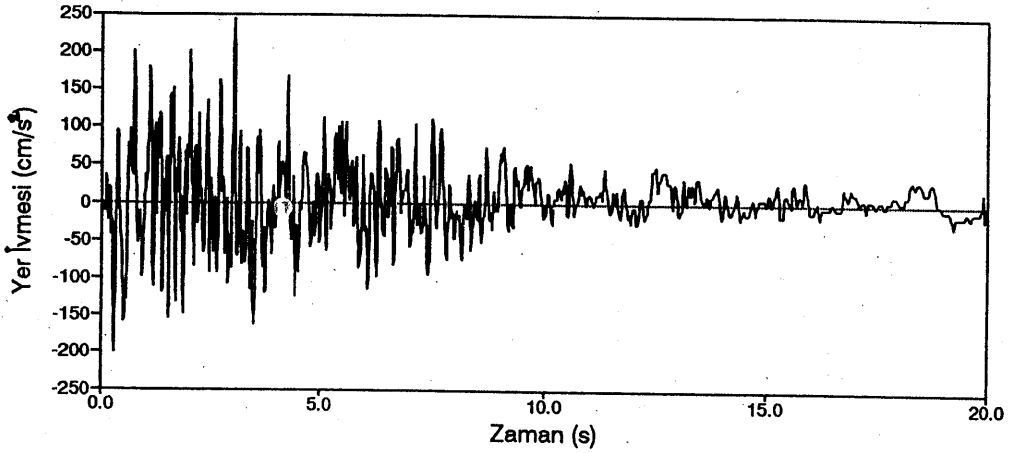
Bu şekilde sonlu fark noktalarındaki deplasmanlar belirlendikten sonra maksimum eğilme momentleri, eğilme momentlerini veren bağıntılarda uygun sonlu fark operatörleri kullanılarak (Ayvaz, 1992) hesaplanmaktadır.

SAYISAL UYGULAMALAR

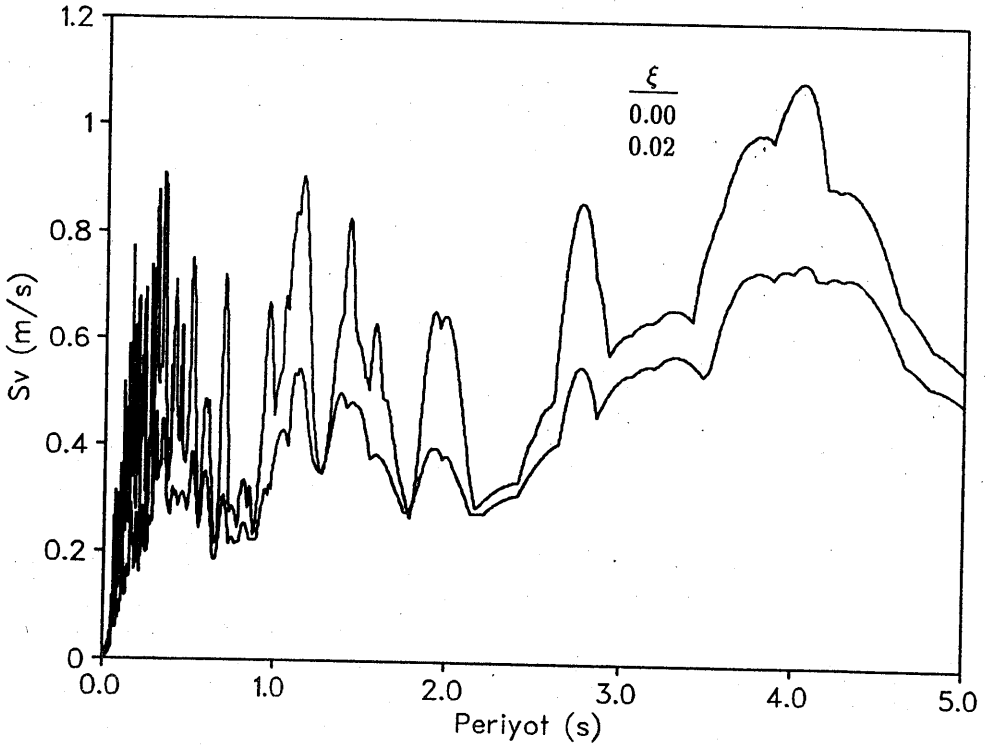
Diğer sayısal yöntemlerde olduğu gibi bu çalışmada kullanılan sonlu farklar yöntemiyle elde edilen sonuçlarda da bir hata payı bulunmaktadır. Büyüklüğü kullanılan sonlu farklar ağına ve zaman artımına bağlı olan bu hata payının mühendislikte kabul edilebilir olması yanında harcanan bilgisayar zamanının da uygun sınırlar içinde kalması bakımından 0,0025 s lik zaman artımı ile beraber kare döşemelerde 14x14 lük sonlu farklar ağı kullanılmıştır. Dikdörtgen döşemelerde ise uzun kenar doğrultusundaki dilim sayısı artırılarak dilim boyutları (Δx , Δy) kare döşemelerdekine eşit tutulmuştur. Kenar oranı değerleri 1;1,5;2;3;5 olarak, eğilme rijitlikleri oranı (D_x/D_y) ise, bu oran pratikte inşa edilen döşemelerde genellikle 3 den büyük olmadığından, 1;1,5;2;2,5;3 olarak seçilmiştir. Döşemelerin kısa kenar uzunluğu ise 3 m olarak sabit tutulmuştur.

Bu çalışmanın sayısal uygulamalarına konu olan döşemelerde birim alandaki kütle $611,6 N.s^2/m^3$ olarak belirlenmiştir. Bu belirlemede TS 500 de verilen deprem yükünü içeren yük kombinezonuna uygun olması bakımından sabit ve hareketli yüklerin toplamı dikkate alınmıştır.

Döşeme deplasmanlarının hesabında deprem ivmesi olarak 13 Mart 1992 Erzincan depremi düşey bileşenin (Durmuş, 1993) ilk 10 saniyelik kısmı kullanılmıştır. Bu deprem ivmesinin düşey bileşeni Şekil 2 de, bu bileşenin %0 ve %2 lik sonüm oranlarıyla elde edilen hız spektrumu Şekil 3 de verilmektedir.

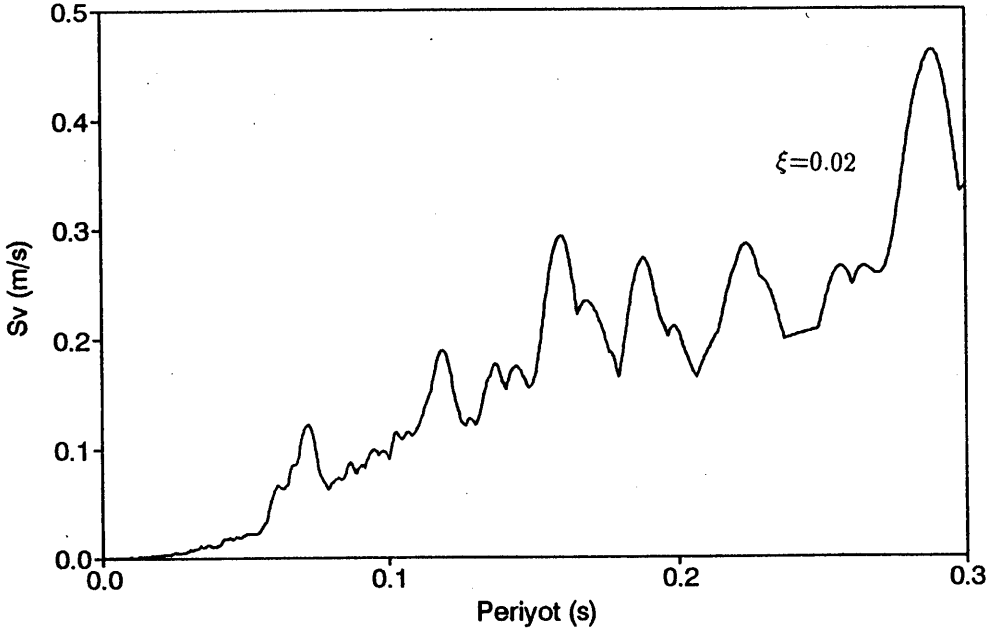


Şekil 2. Erzincan Depremi (13 Mart 1992) Düşey Bileşeni



Şekil 3. Erzincan Depremi (13 Mart 1992) Düşey Bileşeni Hız Spektrumu

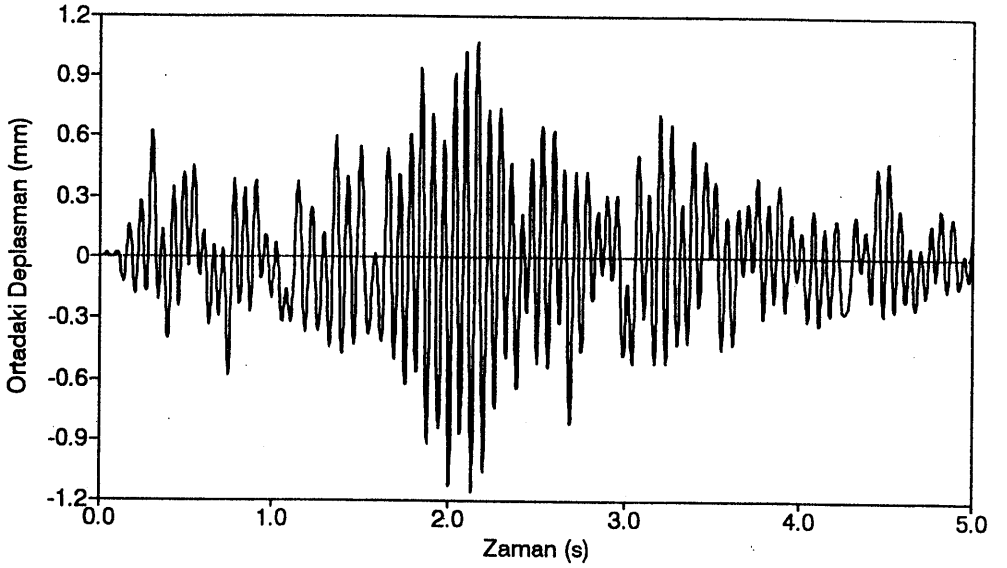
Bu şekilden periyodun 0,5 s ye kadar olan değerleri için hız spektrum eğrisinin değişimi net bir şekilde gözükmemektedir. Oysa bu çalışmaya konu olan döşeme periyotları bu bölgeye düşmekte ve bu bölgede periyotlardaki küçük değişimlere karşı spektrum hızlarında çok önemli değişiklikler meydana gelmektedir. Bu nedenle çalışmadan elde edilen deplasman ve eğilme momenti değişimlerinin kolayca değerlendirilebilmesi için sözkonusu spektrumun periyodun 0,3 s ye kadar olan bölgesindeki değişimi Şekil 4 de verilmektedir.



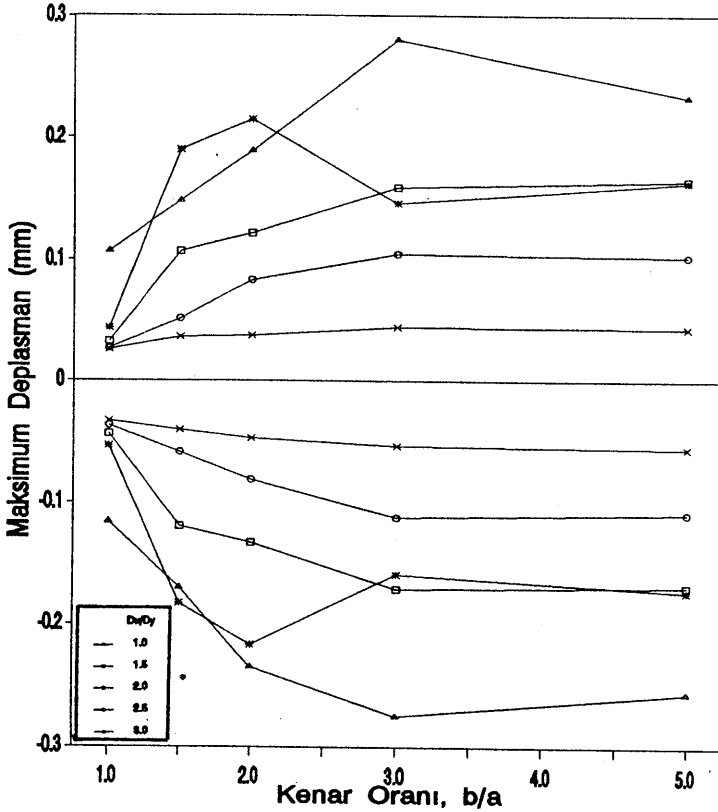
Şekil 4. Erzincan Depremi (13 Mart 1992) Düşey Bileşeni Ayrıntılı Hız Spektrumu

Daha önce belirtildiği gibi bu çalışmanın başlıca amacı depremin düşey bileşeni etkisindeki betonarme döşemelerin maksimum deplasman ve eğilme momentlerinin değişimini çeşitli parametrelere göre incelemektir. Ancak sözkonusu değerlerin zamana bağlı olarak değişimine basit bir örnek olması bakımından önce Şekil 5 de izotrop kare bir döşemenin orta noktasındaki deplasmanın değişimi, daha sonra Şekil 6 da maksimum deplasmanlar, Şekil 7 de ise x eksenine doğrultusunda döşeme ortasındaki maksimum eğilme momentlerinin kenar ve rijitlik oranlarına bağlı olarak değişimleri verilmektedir. Bu şekillerde pozitif ordinat değerleri deplasmanlar için deplasmanın eksen takımının pozitif yönünde olduğunu, momentler içinse üstte çekme meydana getirdiğini göstermektedir.

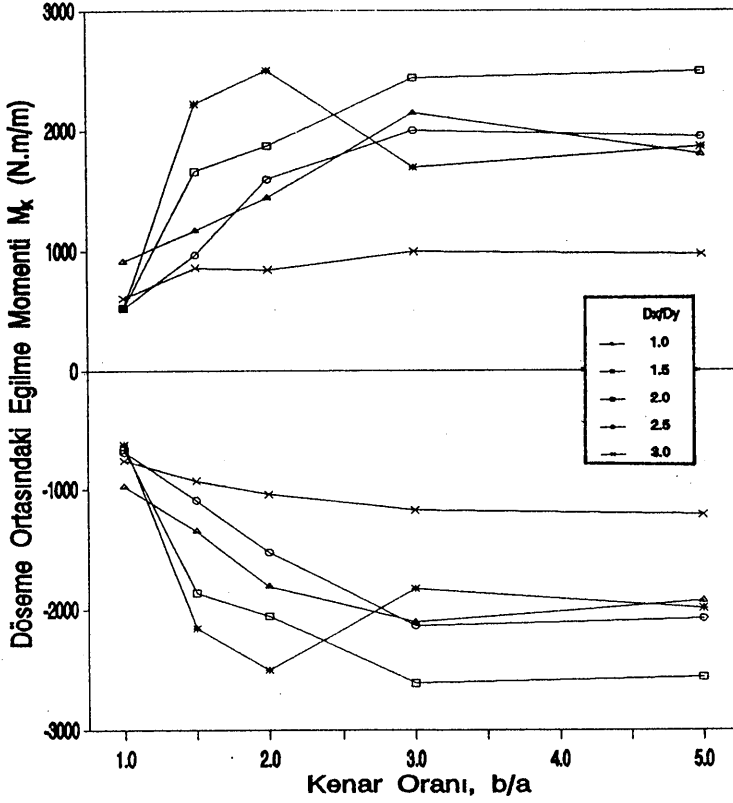
Burada Şekil 5 de deplasmanın ilk 5 s içindeki değişiminin verilmesiyle yetinildiğini, bundan sonra deplasmanın giderek azaldığını ve verilmemiş olmakla beraber eğilme momentinin zamanla değişiminin de şekil olarak deplasmanınkine son derece benzer olduğunu belirtmek uygun olmaktadır. Diğer taraftan bildiri hacmi çok sınırlı olduğundan döşeme ortasında y eksenine doğrultusunda ve mesnetlerdeki momentlerin maksimum değerlerinin sözkonusu parametrelere göre değişimleri de verilememektedir.



Şekil 5. Ankastre Mesnetli İzotrop Kare Bir Döşemenin Ortasındaki Deplasmanın Zamana Göre Değişimi



Şekil 6. Maksimum Deplasmanların Kenar ve Rijitlik Oranlarıyla Değişimi



Şekil 7. Maksimum Eğilme Momentinin (M_x) Kenar ve Rijitlik Oranlarıyla Değişimi

Şekil 6 ve 7 den:

- Döşeme davranışları periyottaki küçük değişikliklerden çok etkilendiğinden maksimum deplasmanlardaki değişim düzgün değildir.
- Maksimum deplasman genellikle önce kenar oranı arttıkça artmakta, daha sonra değişim genellikle çok az olmaktadır. Eğrilerdeki ani artış ve azalmalar döşeme periyodunun hız spektrumunun yükselen yada alçalan kısımlarına rastlamasından ileri gelmektedir. Örneğin, $D_x/D_y=1,5$ ve b/a nın 2 ve 3 değerleri için döşeme periyotları (Çizelge 1) hız spektrumunda alçalan bir kolun üzerinde bulunduğu (bkz. Şekil 4) bu değerlere karşılık gelen maksimum deplasman ve momentler azalmaktadır.
- Genellikle maksimum deplasmanlar kenar oranlarından çok rijitlik oranlarıyla değişmektedir. İstisnalar döşeme periyotlarındaki değişimlerin hız spektrumunda çok farklı değerlere karşılık gelmesinden oluşmaktadır.
- Döşeme ortasındaki maksimum M_x ilgili parametrelerle değişimi maksimum deplasmaninkine benzer kalmakta, ancak bu momentin rijitlik oranlarıyla değişimi deplasmaninkine göre daha az olmakta, kenar oranlarının davranış üzerindeki etkisi ise maksimum deplasman üzerindeki etkisinden çok farklı olmamaktadır.

- Bildiri hacminin sınırlandırılmış olmasından dolayı verilememiş olan döşeme ortasındaki maksimum M_y , M_x in aksine kenar oranından çok rijitlik oranından etkilenmekte, mesnet momentlerinin ilgili parametrelerle (b/a , D_x/D_y) değişimi de maksimum deplasmanların değişimine benzer kalmaktadır.

Çizelge 1. Ankastre Mesnetli Betonarme Döşeme Periyodunun Kenar ve Rijitlik Oranlarıyla Değişimi

$\frac{D_x}{D_y}$	$\frac{b}{a}$	Periyot, T (s)
1,0	1,0	0,062
	1,5	0,082
	2,0	0,090
	3,0	0,096
	5,0	0,098
1,5	1,0	0,055
	1,5	0,070
	2,0	0,075
	3,0	0,079
	5,0	0,080
2,0	1,0	0,051
	1,5	0,062
	2,0	0,066
	3,0	0,069
	5,0	0,070
2,5	1,0	0,047
	1,5	0,056
	2,0	0,059
	3,0	0,061
	5,0	0,062
3,0	1,0	0,044
	1,5	0,052
	2,0	0,055
	3,0	0,056
	5,0	0,057

SONUÇLAR

Bu bildiriden çıkartılabilen başlıca sonuçlar aşağıda verilmektedir.

- Betonarme döşemelerin periyotları genellikle depremden doğan hız spektrumunun yüksek frekans bölgesine rastlamaktadır. Bu bölgede sözkonusu spektrum çok düzensiz olduğundan döşemelerin maksimum deplasman ve eğilme momentleri periyotlarındaki küçük değişikliklerden, özellikle periyotların hız spektrumundaki alçalan yada yükselen kollardan birine rastlaması ve spektral değerlerin çok farklı olması halinde, önemli derecede etkilenmektedir.
- Deprem etkisindeki bir döşemenin maksimum deplasmanının kenar ve rijitlik

oranlarına bağılı olarak değişimi hız spektrum eğrisini yakından takip etmektedir.

- Kenar oranının maksimum deplasman ve eğilme momenti M_x in üzerindeki etkisi genellikle eğilme rijitliği oranı etkisinden daha fazla olmaktadır.

Özetle, bu çalışmaya konu olan betonarme döşemelerin maksimum deplasman ve eğilme momentleri genellikle kenar ve eğilme rijitliği oranları değiştikçe bunlara bağılı olarak özel periyotta meydana gelen küçük değişikliklerden önemli derecede etkilenmektedir. Genelde düzensizde olsalar, bu eğriler kenar ve rijitlik oranlarını ve bunlara bağılı olarak da döşeme periyotlarını dikkate almak suretiyle optimum projelendirmelerin yapılmasına katkıda bulunabilecekleri kanısındayız.

KAYNAKLAR

1. Ayvaz, Y., (1992), Deprem Etkisindeki Betonarme Döşemelerin Parametrik Analizi, Ph.D. Thesis, The Graduate School of Texas Tech University, Lubbock, TX, USA, (İngilizce).
2. Caldersmith, G. W. (1984) "Ortotrop Dikdörtgen Plakların Titreřimleri", ACUSTICA, Vol.56, pp.144-152, (İngilizce).
3. Durmuş A. (1993) "13 Mart 1992 Erzincan Depreminde Betonarme Yapıların Davranışlarının Deęerlendirilmesi", İnşaat Mühendisliğinde Geliřmeler, 1. Teknik Kongre, Cilt 1, ss.93-101, Gazi Maęusa, KKTC.
4. Humar, J. L., (1990), Yapı Dinamięi, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, USA, (İngilizce).
5. Leissa, A. W. (1969) "Plakların Titreřimi", NASA, sp.160, (İngilizce).
6. Leissa, A. W. (1973) "Dikdörtgen Plakların Serbest Titreřimi", Journal of Sound and Vibration, Vol.31, Nq.3, pp.257-294, (İngilizce).
7. Lekhnitskii, S. G. (1968), İzotrop Olmayan Plaklar, Gordon and Breach Science Publishers, Inc., New York, NY, USA, (İngilizce).
8. Provdakis, C. P. ve Beskos, D. E. (1989) "Sınır Elemanlarla Plakların Serbest ve Zorlanmış Titreřimleri", Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol.74, pp.231-250, (İngilizce).
9. Szilard, R., (1974), Plakların Teorisi ve Analizi, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, USA, (İngilizce).
10. Timoshenko, S. ve Woinowsky-Krieger, S., (1959), Plaklar ve Kabuklar Teorisi, 2nd ed., McGraw-Hill, Inc., New York, NY, USA (İngilizce).
11. TS 500, (1984), Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
12. Ugural, A. C., (1981), Plak ve Kabuklardaki Gerilmeler, McGraw-Hill, Inc., New York, NY, USA, (İngilizce).
13. Warburton, G. B. (1954) "Dikdörtgen Plakların Titreřimi", Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers, Ser.A, Vol.168, pp.371-384, (İngilizce).
14. Young, D. (1950) "Ritz Yöntemiyle Dikdörtgen Plakların Titreřimi", Journal of Applied Mechanics, ASME, Vol.17, No.4, pp.448-453, (İngilizce).