

HALKA PLAKLI RİJİT SİLİNDİRİK TANKDAKİ SIVININ SİSMİK ANALİZİ

SEISMIC ANALYSIS OF LIQUID IN THE RIGID CYLINDRICAL TANK WITH THE BAFFLE

Abdullah Gedikli¹ ve M. Ertaç Ergüven²

SUMMARY

We present the effects of the rigid baffle on the seismic response of liquid in a rigid cylindrical tank. Baffle is referred as an additional structural element which supplies a kind of passive control on the effects of earthquake motion. Fluid motion is assumed to be irrotational, incompressible and inviscid. The method of superposition of modes has been implemented to compute the seismic response. Boundary Element Method is used to evaluate the natural modes of liquid in cylindrical tank. Linearized free surface conditions have been taken into consideration. The method is also applicable to operating transient loads that occur in plants.

ÖZET

Bu çalışmada, bir çeşit pasif kontrol aracı olan halka plak elemanın, rijit silindirik tankdaki sıvının dinamik davranışına etkisi araştırılmıştır. Halka plak elemanın bulunmadığı silindirik tankda farklı H/R oranları için tank tabanında oluşan kesme kuvveti ve devirme momenti hesaplanmıştır. $H/R=1$ oranındaki silindirik tankda, halka plağın $h/H=0.1$ ve $h/H=0.3$ konumlarında farklı iç yarıçaplar için de aynı büyüklükler hesaplanmıştır. Sonuçlar grafik olarak sunulmuştur. Sıvı elemanlar yöntemi, sıvının özfrekanslarını ve özfonksiyonlarını bulmak için kullanılmıştır. Sismik analiz için de modların süperpozisyonu yöntemi kullanılmıştır.

GİRİŞ

Rijit tanklardaki sıvının davranışı uzun yıllardan beri değişik yazarlar tarafından ele alınmıştır. Deprem etkisindeki yapılara kontrol sistemleri kurmak, bunları incelemek yakın tarihlerde başlamıştır [1]. Kontrol sistemleri, aktif ve pasif olmak üzere belli başlı iki kısma ayrılır. Aktif kontrol sistemlerinde, deprem etkisinde kalan yapıya dış yükler uygulanarak yapı ayakta tutulmaya çalışılırken, pasif kontrol sistemlerinde yapıya gelen deprem yüklerinin, Kütle-Sönümleyici-Yay sistemleri kullanılarak azaltulmasına çalışılır. Ancak bu çalışmada, halka plak elemanın R_t/R_d ve silindirik tankın H/R oranları uygun seçilerek, temelın maruz kalacağı deprem yüklerinin en küçük yapılması amaçlanmıştır. Uygun oran ya da uygun geometri belirlemek de bir çeşit pasif kontrol aracıdır. Konunun önemi, nükleer santrallerde ve petrol depolama tanklarında bu türden problemlerle karşılaşılmasından gelmektedir [2]. Bu yapılarda, yapılara gelen dinamik sıvı basınçlarının yanı sıra, yapının temelına etkileyen yüklerin bilinmesinde de fayda vardır [3]. Bu çalışmada, bir silindirik tankın

¹ Yk. Müh. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, 80626, Maslak, İstanbul

² Prof. Dr. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, 80626, Maslak, İstanbul

deprem süresince karşılaştığı tesirler yerine, bu tankın farklı H/R veya R_i/R_d oranları için deprem süresince karşılaştığı en büyük tesirler araştırılmıştır. Bundan, verilen bir deprem kaydı için en uygun oranların bulunması amaçlanmıştır.

Bazı yazarlar sıvıyı kütle-yay sistemi olarak modellerken [4,5], diğerleri de potansiyel problemlerinin çözümlerine yönelmişlerdir [6-15].

Sismik analiz için, 0.01 saniye aralıklı, Erzincan 1992 depremi $K-G$ bileşeni kayıtları kullanılmıştır.

Varsayımlar: Bu çalışmada aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır:

1. Sıvı serbest yüzeyinde oluşan hızlar ve yerdeğiştirmeler, gerek kinematik gerekse dinamik koşulların lineerleştirilmesine engel olmayacak kadar küçük olmalıdır.
2. Sıvı viskoz değildir ve sıkıştırılmaz.
3. Sıvı hareketi irrotasyondur.
4. Tank ve Halka Plak Eleman rijit yapılar olup Temel de rijittir.
5. Rijit tank ve halka plak eleman, deprem kayıtlarında verilen ivme ile hareket ederler.

TEMEL DENKLEMLER

Silindirik tank ve halka plak için en uygun koordinat sistemi silindirik (r^*, θ^*, z^*) koordinatlarıdır. Bununla birlikte tank tabanında kesme kuvveti ve devirme momentini doğrultularının tariflenmesi için tankın tabanına bir de dik koordinat sistemi yerleştirilmiştir. Buna göre silindirik koordinatlarla dik koordinatlar arasındaki ilişki $x^* = r^* \cos \theta^*$, $y^* = r^* \sin \theta^*$, $z^* = z^*$ şeklindedir.

Sıvının davranışını belirlemek için, birçok yazarın yaptığı gibi [6-15]; hız potansiyeli ifadesi kullanılabilir. Ancak bu çalışmada amaç, halka plaklı tanka etkiyen dinamik sıvı basıncını belirlemek ve daha sonra da bahsedilen kesme kuvveti ile devirme momentini hesaplamaktır. Gerekli hesaplara geçmeden önce, karşılaşılan büyüklükler elde edilen sonuçlar daha kolay yorumlanabilmesi için boyutsuzlandırılacaklardır. Boyutsuzlandırma için tankın yarıçapı R , yerçekimi sabiti g ve sıvının birim hacim kütlesi ρ kullanılırsa [4],

$$(1) \quad \Phi = \Phi^* / \sqrt{gR^3} \quad : \text{ Hız potansiyeli}$$

$$p = p^* / \rho g R \quad : \text{ Dinamik sıvı basıncı}$$

$$a = a^* / g \quad : \text{ Tankın } x \text{ doğrultusunda, } t \text{ anında sahip olduğu ivme}$$

$$r = r^* / R, \quad \theta = \theta^* \quad : \text{ Silindirik koordinatlarda radyal ve açısız bileşenler}$$

$$z = z^* / R \quad : \text{ Silindirik, ve dik koordinatlarda düşey bileşen}$$

$$t = t^* \sqrt{g / R} \quad : \text{ Zaman}$$

$$\eta = \eta^* / R \quad : \text{ Sıvı serbest yüzeyinin düşey yerdeğiştirmesi}$$

$$F_x = F_x^* / \rho g R^3 \quad : \text{ Tank tabanında } x \text{ doğrultusunda oluşan kesme kuvveti}$$

$$M_y = M_y^* / \rho g R^4 \quad : \text{ Tank tabanında } y \text{ doğrultusunda oluşan devirme momenti}$$

olur. Burada (*), boyutlu büyüklüğü ifade eder. Harmonik sınır değer problemi, hız potansiyeli kullanılarak aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$(2) \quad \Delta\Phi = 0 \quad \Omega' \text{ da ; yönetici denklem}$$

$$(3) \quad \frac{d\Phi}{dn} = 0 \quad \text{Rijit } S_r \text{ yüzeyinde sınır koşulu}$$

$$(4) \quad \frac{d\Phi}{dz} = \frac{d\eta}{dt} \quad \text{Sıvının serbest yüzeyi } S_f' \text{ de kinematik sınır koşulu}$$

$$(5) \quad \eta = \frac{\partial\Phi(r, \theta, 0, t)}{\partial t} + a(t)x \quad S_f' \text{ de dinamik sınır koşulu}$$

Başlangıç koşulları

$$(6) \quad \Phi(r, \theta, z, 0) = 0 \quad \Omega' \text{ da}$$

$$(7) \quad \frac{\partial\Phi(r, \theta, z, 0)}{\partial t} = 0 \quad \Omega' \text{ da}$$

Burada S , sıvı hacmi Ω' 'nin yüzeyini, r rijit yüzeyleri, f serbest yüzeyi ifade eder. Bu sınır değer probleminde, dinamik sıvı basıncı

$$(9) \quad p = -\frac{\partial\Phi}{\partial t} - a(t)\bar{x}$$

şeklinde yazılabilir. Kinematik koşul, serbest yüzeyde bulunan bir sıvı partikülünün her zaman serbest yüzeyde kalacağını ifade eder. Dinamik koşul ise, serbest yüzeyde basıncın sıfır olacağını ifade eder. Bu koşul düşük hızlarda hız teriminin ihmal edilmesiyle Bernoulli denkleminden elde edilebilir. (4) ve (5) denklemleri beraberce çözülrse

$$(10) \quad \frac{d\Phi}{dz} = \frac{\partial^2\Phi}{\partial t^2} + a'(t)x \quad S_f' \text{ de}$$

elde edilir. Silindirik tankdaki sıvının doğal frekanslarının hesaplanması için hız potansiyeli ifadesi

$$(11) \quad \Phi(r, \theta, z, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sin(\omega_m t) \phi_m(r, \theta, z)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $\phi_m(r, \theta, z)$ ve ω_m sırasıyla m .ci mod'a ait özfonksiyon ve özdeğerlerlerdir. Ancak bu durumda (10) ifadesindeki $a(t)$ terimi sıfır alınmalıdır. Böylece (11) ifadesi (10)'da yerine konursa

$$(12) \quad \frac{d\phi_m}{dz} = \omega_m^2 \phi_m$$

elde edilir. Özdeğer ve özfonksiyonların hesaplanmasından sonra sismik analize geçilebilir. Burada analiz modların süperpozisyonu yöntemi ile yapılacaktır. Bu amaçla hız potansiyeli ifadesi, özfonksiyonların bileşenleri cinsinden yazılabilir. Herbir

özfonksiyonun herhangi bir t anında, hız potansiyeline katılması miktarı zamana bağlı bir $\psi_m(t)$ fonksiyonu ile belirlenebilir. Bu durumda hız potansiyeli ifadesi

$$(13) \quad \Phi(r, \theta, z, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \psi_m(t) \phi_m(r, \theta, z)$$

şeklinde yazılabilir. (13) ve (12) denklemleri (10) ifadesinde yerlerine konursa

$$(14) \quad \sum_{m=1}^{\infty} (\psi_m'' + \omega_m^2 \psi_m) \phi_m = -a'(t) x \cdot S_f^{-1} de$$

Farklı modlara ait özfonksiyonlar ortogonal olduklarından (14) denkleminde

$$(15) \quad \psi_m''(t) + \omega_m^2 \psi_m(t) = -I_m a'(t)$$

elde edilir. Burada

$$(16) \quad I_m = \frac{\int_{S_f} x \phi_m dS}{\int_{S_f} \phi_m^2 dS}$$

dır. (15) denleminin (6) ve (7) ile verilen başlangıç koşullarını sağlayan çözümü

$$(17) \quad \psi_m(t) = -\frac{I_m}{\omega_m} \int_0^t a'(\tau) \sin(t - \tau) \omega_m^2 d\tau$$

şeklinde bir Duhamel integralidir.

Sınır Elemanlar Yöntemi ile Çözüm

Özfonksiyonlar, silindirik koordinatlara uygun olarak

$$(18) \quad \phi(r, \theta, z) = u(r, z) \cos k\theta$$

şeklinde yazılabilir. Burada k , açılal dalgı numarası olup, $k=1$ hali sıvının asimetric salınımına karşı gelir. Bu ifade (13) denkleminde yerine konup (2) denklemine gidilirse, ikinci Green özdeşliği kullanılarak

$$(19) \quad -\alpha_i u(p) = \oint \left\{ u \frac{\partial G}{\partial n} - G \frac{\partial u}{\partial n} \right\} r(s) ds$$

sınır integral denkleminde ulaşılır. Burada G , Laplace denkleminin bir temel çözümü olan asimetric serbest uzay Green fonksiyomudur. p potansiyeli yaratan kaynak noktadır ve α_i ise Cauchy integral sabiti olup

$$\alpha_i = \{1, p \text{ bölge içinde}; 1/2, p \text{ bölge sınırında}; 0, p \text{ bölge dışında}\}$$

şeklinde tanımlanır. Harmonik sınır değeri probleminin sayısal çözümü için, Sınır Elemanlar Yöntemi kullanılabilir. Bu amaçla, (18) denklemleri kullanılarak sıvı dolu bölgenin $r-z$ düzlemindeki kesitinin sınırı, yani meridyeni, doğru parçalarına ayrıştırılabilir. Herbir parça üzerinde hız potansiyelinin ve onun normal türevinin

sabit kaldığı varsayılabilir. Bu eleman sabit eleman olarak bilinir. Ancak bu büyüklüklerin eleman üzerinde sabit kalmadığı, doğrusal, kübik ya da daha üst mertebelerden değiştiği elemanlar kullanmakta mümkün olmakla beraber, sabit eleman bizim hesaplamalarımız için yeterlidir.

Uygun sayısal işlemlerden sonra (19) ifadesinden

$$(20) \quad H_{pj} u_j = G_{pj} q_j$$

denklem takımına ulaşılabilir. Burada u_j ve q_j sırasıyla, $j.ci$ eleman üzerinde hız potansiyeli ve onun normal türevidir. Sınır integralleri 10 pivotlu Gauss kuadratürleri kullanılarak hesaplanmıştır. Matrislerin elemanları

$$(21) \quad H_{pj} = \int_{\Gamma_j} \frac{\partial^2 G(p,s)}{\partial n(s)} r(s) ds$$

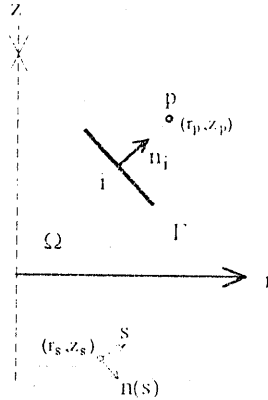
$$(22) \quad G_{pj} = \int_{\Gamma_j} G(p,s) r(s) ds$$

şeklinindedir. p kaynak noktası bölgenin dışına taşımırsa, bu integraller tekillikten kurtulur ve Cauchy integral sabiti α_j yok olur. Ancak bu durumda denklem takımının stabilitesi bir miktar bozulur. Bundan dolayı p noktasının bölgeden uzaklığı seçilirken dikkatli olunmalı, hatta doğru sonuca gidebilek için farklı uzaklıklar denenmelidir.

Asimetrik serbest uzay Green fonksiyonu

$$(23) \quad G(p,s) = \frac{4}{r_{ps}} \left\{ \left(\frac{2}{\kappa^2} - 1 \right) K(\kappa) - \frac{2}{\kappa^2} E(\kappa) \right\}$$

ve onun dışnormal doğrultusuna göre türevi



Şekil.1 Sınır üzerinde bir sabit eleman, p kaynak noktası, n ise dışnormaldir.

$$(24) \quad \frac{\partial G(p,s)}{\partial n(s)} = \frac{4}{r_{ps}} \left\{ \left[r_p \left(\frac{2}{\kappa^2} - 1 \right) - r_s \right] n_r(s) + (z_p - z_s) n_z(s) \right\}$$

$$\left[\frac{\left(\frac{2}{\kappa^2} - 1 \right)}{1 - \kappa^2} E(\kappa) - \frac{2}{\kappa^2} K(\kappa^2) \right] - \frac{1}{2} G(p,s) n_r(s)$$

olur. Burada $\kappa = 4r_p r_s / r_{ps}^2$, $r_{ps}^2 = (r_p + r_s)^2 + (z_p - z_s)^2$ dir ve n_r, n_z sırasıyla dışnormalin yatay ve düşey bileşenleridir.

H_{pj} integralinin çekirdeği artık tekil değildir. Buna rağmen integralin hesaplanması için $u(r,z)=r$ gibi Laplace denkleminin basit bir çözümünden faydalanılabilir. Ancak kaynak noktası p sınırdan ne çok uzaklara ne de çok yakınlarla yerleştirilememektedir. p noktasının limit olarak sonsuzda bulunması halinde, (20) denklemin takımındaki tüm denklemler birbirinin aynı olmakta, bu da hiç stabil olmayan bir sistem oluşturmaktadır. Çok yakın olması halinde ise, sayısal işlemlerden kaynaklanan hatalardan dolayı integral sabiti α_j sıfırdan farklı olmakta, bu da H_{pj} integralinin hesaplanmasında yanlışlığa sebep olmaktadır. Yönetici denklemin basit bir çözümünü bu şekilde kullanmak, sınır koşullarının sağlatılmasını kolaylaştıran Trefftz yöntemine benzemektedir.

Hız potansiyelinin dışnormal doğrultusunda türevleri

$$(25) \quad q_j = -\omega^2 u_j \quad \text{serbest yüzeyde}$$

$$(26) \quad q_j = 0 \quad \text{rijit duvarlarda}$$

şeklinde yazılabilir.

(25) ve (26) ifadeleri (20) denklem takımında yerine konur ve gerekli indirgeme işlemleri yapılırsa

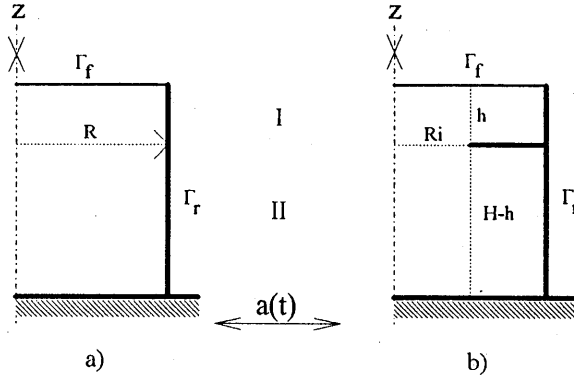
$$(27) \quad H_{pj} = -\omega^2 G_{pj} u_j$$

özdeğer problemi elde edilir. r - z düzlemindeki kesitte, halka plak gibi hız potansiyelinde süreksizlik yaratan elemanlar varsa, kesit altbölge denen parçalara ayrıklaştırılabilir. Ayrıklaştırma yapılırsa, herbir alt bölge için (20) denklem takımı elde edilir. Bu durumda sağlanması gereken, alt bölgeler arasında sürekliliğin ifadesi olan

$$(28) \quad u^+ = u^- \quad \text{uygunluk koşulu}$$

$$(29) \quad q^+ = -q^- \quad \text{süreklilik koşulu}$$

ek koşulları ortaya çıkar. Burada + ve - üst indisleri komşu iki altbölgeyi ifade etmektedir. Bu adımda da, birçok indirgeme yönteminden uygun bir tanesinin seçilmesine dikkat edilmelidir. Öyleki seçilen yöntem hem bilgisayar hafızasını ekonomik kullanmalı, hem de hesaplama zamanını mümkün olduğu kadar kısa tutmalıdır.

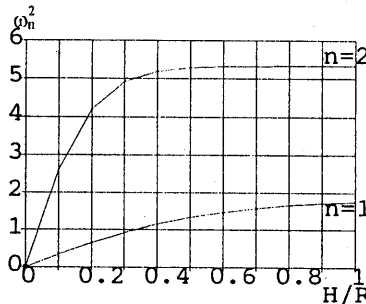


Şekil.2 a) Silindirik tank b) Halka plak elemanlı silindirik tank

SAYISAL ÖRNEKLER VE SONUÇLAR

İlk birkaç özdeğer ve özfonksiyonun hesaplanmasından sonra sıvının, tanka verilen bir $a(t)$ ivesi altında, tank tabanında oluşturduğu kesme kuvveti ve devirme momenti değerleri elde edilebilir. İlk birkaç mod sıvı davranışını karakterize etmekte yeterlidir. Çünkü sıvı, küçük hızlarla hareket ederken ilk modlarına daha yakın davranır. Ancak büyük hızlarla karşılaşılan problemlerde, daha yüksek mertebeden modlarında hesaplara katılması gerekir. Burada verilen örneklerde ilk iki mod ile yetinilmiştir. (17) ifadesindeki Duhamel integrali, basit olsun diye trapez kuralı ile hesaplanacaktır.

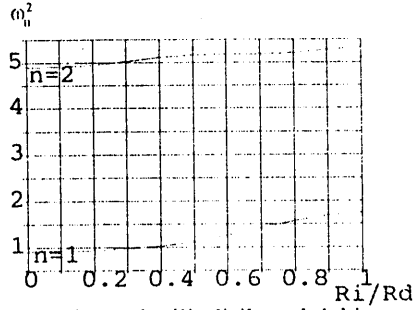
Kesiti şekil.2.a'da verilen silindirik tank için (20) denklem takımı elde edildikten sonra (25) ve (26) ifadeleri gerekli indirime işlemlerinde kullanılırsa, (27) özdeğer problemine ulaşılır. Kesiti şekil.2.b'de verilen halka plak elemanlı silindirik tank için, hız potansiyelinde bir süreksizlik söz konusu olduğundan, bu bölge I ve II ile işaretlenen iki altbölgeye ayrılır. Herbir altbölge için (20) ifadesi elde edilir, sonra da (25), (26), (28) ve (29) ifadeleri dikkate alınarak, bölgenin tümünü ifade eden (27) özdeğer problemine ulaşılır.



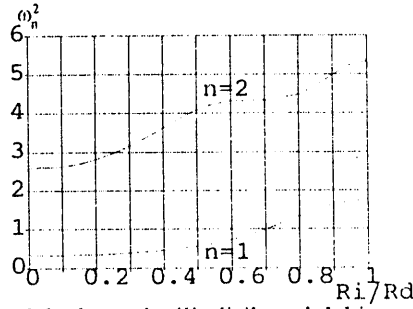
Şekil.3 Silindirik tankdaki sıvının serbest titreşim değerleri

Silindirik tankdaki sıvının serbest titreşim frekansları farklı H/R oranları için şekil.3'de verilmiştir. Buna göre, ilk mod'a karşı gelen değerler $H/R=1$ civarında limit'e yaklaşırken, ikinci mod'a karşı gelen frekans değerleri $H/R=0.3$ civarında limit

değerlere ulaşmaktadır. Daha sonraki özdeğerlerin daha küçük H/R oranlarında limiti'e ulaşacakları açıktır.



Şekil.4 Halka plak elemanlı silindirik tankdaki sıvının serbest titreşim değerleri. $h/H=0.3$ ve $H/R=1$

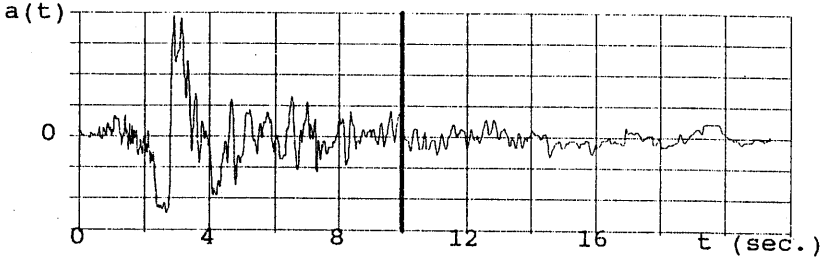


Şekil.5 Halka plak elemanlı silindirik tankdaki sıvının serbest titreşim değerleri. $h/H=0.1$ ve $H/R=1$

$H/R=1$ olan halka plak elemanlı silindirik tankda, sıvının serbest titreşim frekansları şekil.4'de verilmiştir. Buna göre ikinci moda karşı gelen eğrideki dalgalanma göze çarpmaktadır. Bu durum halka plağın yüzeye daha yakın bulunması halinde, şekil.5'de, daha da belirgenleşmektedir. Bunun nedenleri başka bir çalışmaya konu olacaktır.

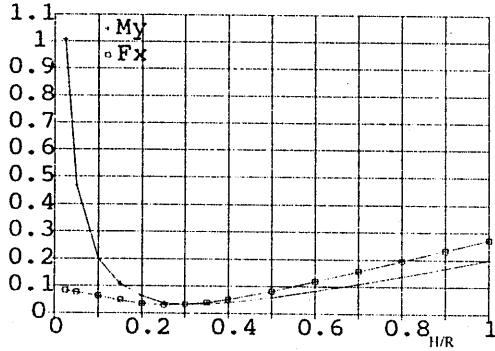
İyeme kaydı olarak, 1992 yılı Erzincan depreminin Kuzey-Güney bileşeni kullanılmıştır. Kayıt, 0.01 saniye aralıklı olup, ara değerler doğrusal yaklaşımla elde edilmiştir. İlk 10 saniyede karşılaşılan en büyük kesit tesirleri araştırılmıştır.

Halka plak elemanlı bulunmadığı durumda farklı H/R oranları için şekil.7'de gösterilen sonuçlar bulunmuştur. Yüksek tanklarda, silindirik tankın alt kısmında kalan sıvı, sanki katı bir cisim gibi davranmaktadır [4]. Tankın üst kısmındaki sıvı ise farklı bir davranış göstermektedir.

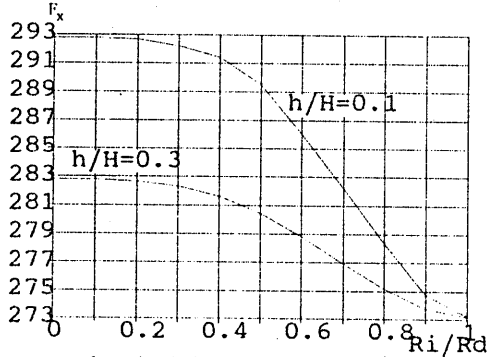


Şekil.6 İvme diyagramı. 1992 Erzincan depremi, K-G bileşeni kayıtları. İvme kayıt aralığı 0.01 saniyedir.

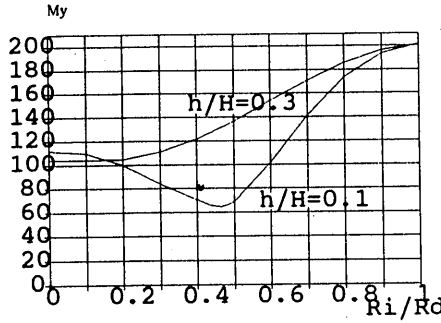
Halka plak elemanın yüzeye daha yakın olması halinde, tank tabanında oluşan en büyük kesme kuvveti daha büyük olmaktadır (Şekil.8). Bunun nedeni, plak elemanın yüzeye daha yakın bulunması durumunda, bu elemanın alt kısmında, II'nolu bölgede, kalan hacmin daha büyük olmasıdır. Plak iç çapının sıfır olması halinde, alt kısım tam bir rijit cisim gibi davranacağına göre, kütlesi daha büyük olan cismin aynı ivmeye daha fazla atalet göstereceği açıktır. İşte bundan dolayı plak elemanın yüzeye daha yakın olduğu durumlarda, karşılaşılan en büyük kesme kuvveti daha büyük olmaktadır.



Şekil.7 Silindirik tank tabanında farklı H/R oranları için kesme kuvveti ve devirme momenti diyagramları



Şekil.8 Yatay yer hareketinin ilk 10 saniyesinde meydana gelen en büyük kesme kuvveti diyagramları. $H/R=1$.



Şekil.9 Yatay yer hareketinin ilk 10 saniyesinde meydana gelen en büyük devirme momentini diyagramları. $H/R=1$.

Halka plak elemanın yüzeye daha yakın olması halinde, karşılaşılan en büyük devirme momentini ise giderek azalmaktadır (Şekil.9). Halka plak, temele etkiyen kesme kuvvetinin değerini artırmasına karşılık, devirme momentini değerinin azalmasında daha etkilidir.

KAYNAKLAR

1. Yang, J.N., Danielians, A. ve Liu, S.C. (1991) "Binalar İçin Sismik Kontrol Sistemleri", part of the Journal of Engineering Mechanics, vol.117, no.4, April, paper no.25704, ASCE, (İngilizce)
2. Hanson, R.D. (1973) "1964 Alaska Depreminde Sıvı Depolama Tanklarının Davranışı", National Academy of Sciences, Washington D.C., p.331-339, (İngilizce).
3. Hunt, B. (1987) "Eksenel Simetrik Tanklarda Sismik Su Dalgaları", part of Journal of Engineering Mechanics, vol.113, No 5, ASCE, paper no.21447, p.653-670, (İngilizce).
4. Kana, D.D. (1982) "Sıvı depolarında Sismik Davranışların İncelenmesinde Gerekli Araştırmalar", Nuclear Engineering and Design 69, p.205-221, North-Holland Publishing Company, (İngilizce).
5. Housner, G.W. (1957) "İvmelenen Akışkan Tanklarında Dinamik Basınçlar", BSSA, vol.47, (İngilizce).
6. Aslam, M., Godden, W.G. ve Scalise, D.T. (1979) "Silindirik Tanklarda Deprem Sahnımları", Journal of Engineering Mechanics Division, EM3, p.371-389, (İngilizce).
7. Hunt, B. ve Priestley, N. (1978) "Depolama Tanklarında Sismik Su Dalgaları", Bull. of Seis. Soc. of America, vol.68, p.487-499, (İngilizce).
8. Davidovici V. ve Haddadi, A. (1982) "Rezervuarların pratik sismik analizi", Annales de l'institut technique du batiment et des travaux publics, No.409, (Fransızca).
9. Epstein, H.J. (1979) "Sıvı Depolama Tanklarının Sismik Analizi", Journal of Structural Division, September, (İngilizce).
10. Veletos, A.S. (1974) "Fleksibil Sıvı Depolama Tanklarında Sismik Etkiler", Proceedings of 5th WCCE, Rome, (İngilizce).
11. Crawford, C. (1965) "İnce Kemer Barajlarda Deprem Dizayn Yükleri", WCCE, New Zealand, (İngilizce).
12. Housner, G.W. (1963) "Su Tanklarının Dinamik Davranışı", BSSA, vol.55, No.2, (İngilizce).
13. Jacobsen, L.S. ve Ayre, R.S. (1950) "Geçici Harekete Maruz Bırakılmış Rijit Silindirik Tanklarla Hidrodinamik Deneyle", BSSA, (İngilizce).
14. Graham, E.W. ve Rodriguez, A.M. (1952) "Uçak Dinamiğini Etkileyen Yakıt Hareketinin Karakteristikleri", Journal of Applied Mechanics, September, (İngilizce).
15. Westergaard, (1933) "Deprem Süresince Barajlara Etkiyen Su Basınçları", Transaction of the American Society of Civil Engineers, vol.98, (İngilizce)