

55864

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YATAY YÖNDE ZORLANMIŞ SİLİNDİRİK SIVI TANKLARININ
ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh.Cem AKTURAN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 15 Ocak 1996

Tezin Savunulduğu Tarih : 1 Şubat 1996

Tez danışmanı

: Doç. Dr. Necmettin GÜNDÜZ

Diğer Jüri Üyeleri

: Prof. Dr. Melike ALTAN

Prof. Dr. Zekai CELEP

ŞUBAT 1996

ÖNSÖZ

Çalışmalarımda bana yardımcı olan hocam Doç. Dr. Necmettin GÜNDÜZ'e ve Y.T.Ü. Elektronik ve Haberleşme Bölümü Araştırma Görevlisi Yavuz KILIÇ'a teşekkürlerimle.

Şubat 1996

Cem AKTUN



İÇİNDEKİLER

NOTASYON LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
TABLO LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY.....	xii
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. SİLİNDİRİK TANKLARA ETKİYEN DİNAMİK ETKİLER.....	3
2.1. Sistem ve Yaklaşımlar.....	3
2.2. Tank-Sıvı Sisteminin Tepkisi.....	5
2.2.1. Housner'in Modeli.....	5
2.2.2. İmpulsif Etki.....	7
2.2.3. Rijit ve Esnek Tanklar Arası İlişki.....	13
2.2.4. Basitleştirilmiş Yöntem.....	13
2.2.5. Konvektif Etki.....	18
2.2.6. Kabukta Eksenel Gerilmeler.....	20
BÖLÜM 3. ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİ.....	27
3.1. Rijit ve Elastik Bağlı Sistemlerin Modeli.....	27
3.2. Zemin Ortamının Modeli.....	28
3.3. Viskoelastik Ortam.....	31
3.4. Zemin-Yapı Etkileşiminde Parametreler.....	34
3.5. Temelin Etkili (efektif) Hareketi.....	36
3.6. Elastik Bağlı Sistemin Analizi.....	39
3.7. Elastik Bağlı Sistemin Tepkisi.....	42
3.7.1. Harmonik Zorlanmış Sistemler.....	42
3.7.2. Sismik Zorlanmış Sistemler.....	47
BÖLÜM 4. KONVEKTİF VE İMPULSİF ETKİLERİ BAĞIMSIZ DÜŞÜNME YAKLAŞIMI.....	50
4.1. Zemin-Yapı Etkileşiminin Konvektif Bileşene Etkisi.....	53
BÖLÜM 5. TEK SERBESTLİK DERECELİ KÜTLE-YAY SİSTEMİ.....	55
5.1. Kütle-Yay Sistemine Ait Spektraların Gerçek Spektralarla Karşılaştırılması.....	63
5.2. Spektraların Zemin-Yapı Etkileşimi Üzerine Yorumu...	69
SONUÇLAR.....	72
KAYNAKLAR.....	74
EKLER.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	

NOTASYON LİSTESİ:

$A_i(t)$, $A_i'(t)$:İmpulsif tepkiye ait sözde-ivmeler.

$A_i^1(t)$, $A_i^r(t)$:Temel hareketinin yatay ve sallanma bileşenlerine ait, $A_i(t)$ 'nin bileşenleri.

A_{sj} :Sıvının j. dalgalanma moduna ait sözde-ivme.

$\tilde{A}_i(t)$:Basitleştirilmiş yöntemde elastik bağlı sistemin temel moduna ait sözde-ivme

$A_{i0}(t)$: Basitleştirilmiş yöntemde rijit bağlı sistemin I. moduna ait sözde-ivme.

a :Tankın yarıçapı.

a_0 :Boyutsuz frekans parametresi, (3.7)

$c_i(z)$, $c_i(r)$,

$c_i'(r)$:İmpulsif tepkide, hidrodinamik basıncın yükseklik ve açıyla değişimini tanımlayan boyutsuz fonksiyonlar.

$c_i^r(z)$, $c_i^r(r)$: $c_i(z)$ ve $c_i(r)$ 'nin sallanma bileşenine ait değerleri.

c_{iw}^r , c_{ib}^r : $c_i^r(z)$ 'nin temel ve tank duvarının dönmesine ait katkıları.

C_i :Boyutsuz frekans katsayısı.

c_s :Ortamin dalga yayılma hızı, (3.8).

c_x , c_θ :Temelin yatay ve açısal sönüm katsayıları.

$c_{cj}(r,z)$:Hidrodinamik basıncın j. konvektif bileşenine ait boyutsuz fonksiyon.

d_{max} :Sıvı yüzeyindeki maksimum düşey deplasman, (2.39).

E :Tankın elastisite modülü.

f_i :Tank-sıvı sisteminin temel doğal frekansı (devir/sn).

f_c :Dinamik zorun doğal frekansı.

$\tilde{f}_i$:Kütle-yay sistemine ait doğal frekans.

G_s :Zeminin elastisite modülü.

g :Yerçekimi ivmesi.

H :Tankın yüksekliği.

h_i , h_i' : m_i kütesinin $M_i(t)$ ve $M_i'(t)$ momentlerinden uzaklığı.

h_t :Tank duvarının et kalınlığı.

h_L :Su derinliği.

h_0 , h_1 :İmpulsif ve konvektif kütlelerin temelden uzaklığı, (2.1.d), (2.1.e).

- h_{cj}, h_{cj}' : m_{cj} 'nin $M_c(t)$ ve $M_c'(t)$ 'den uzaklığı.
 Δh_{cj} : m_{cj} 'nin ΔM_{cj} 'den uzaklığı.
 I_b : Sallanma hareketindeki sıvının atalet momenti.
 I_f : Temelin atalet momenti.
 I_i^* : İmpulsif tepkide temelin etkili atalet momenti.
 i : $(-1)^{1/2}$
 J_1 : Bessel fonksiyonu.
 K_x, K_θ : Temelin yatay ve açısall yöndeki rijitlikleri, (3.5), (3.6).
 $K_{sx}, K_{s\theta}$: Temelin yatay ve açısall yöndeki statik rijitlikleri.
 k_x, k_θ : Dinamik rijitliklere ait katsayılar.
 k_1 : Dinamik rijitlik, (Housner, (2.1.c)).
 $M_c(t), M_c'(t)$: Hidrodinamik momentlerin konvektif bileşenleri.
 $M_i(t), M_i'(t)$: Hidrodinamik momentlerin impulsif bileşenleri.
 $M_i^1(t), M_i^r(t)$: $M_i(t)$ 'nin yatay ve açısall yöndeki bileşenleri.
 $M_i^{1/1}(t),$
 $M_i^{1/r}(t)$: $M_i'(t)$ 'nin yatay ve açısall yöndeki bileşenleri.
 $M_s(t)$: Temel-zemin yüzeyindeki moment.
 $M_0(t), M_0'(t)$: Rijit tanklarda momentler.
 $M_\theta, M_{s\theta}$: Kabukta eksenel gerilmeler.
 m_{cj} : Sıvı titreşiminin j. moduna ait etkili kütle.
 m_f : Temel kütlesi.
 m_i : İmpulsif tepkide tank-sıvı sisteminin kütlesi.
 m_i^* : Etkili impulsif kütle.
 m_L : Sıvı kütlesi.
 m_0 : Temel kütlesi.

Impulsif kütle (Housner, (2.1.a)).
Rijit tanklarda yapının kütlesi.
 m_1 : Konvektif kütle (Housner, (2.1.b)).
 $m_{scj}(z/H)$: M_s 'in konvektif bileşenine ait katsayı.
 $N_s, N_\theta, N_{s\theta}$: Kabuk düzlemi içindeki kuvvetler.
 $n_{si}, n_{\theta i}, n_{s\theta i}$: Kabuk düzlemi içindeki kuvvetlere ait katsayılar.
 n_x, n_θ : Dinamik rijitliklere ait katsayılar.

- p : $(K/m)^{1/2}$; rijit bağı yapıda dairesel doğal frekans.
- $\tilde{p}$: Kütle-yay sisteminin dairesel doğal frekansı.
- P_j : Yay kuvveti,(3.1).
- $p_i(z,\theta,t)$,
- $p_i(r,\theta,t)$: Tank duvarına ve temeline etki eden hidrodinamik basınçların impulsif bileşenleri.
- $p_c(r,z,\theta,t)$: Tankın herhangi bir noktasındaki hidrodinamik basıncın konvektif bileşeni.
- $Q_i(t)$: Tank temelindeki kesme kuvvetinin impulsif bileşeni.
- $Q_c(t)$: Tank temelindeki kesme kuvvetinin konvektif bileşeni.
- $Q_0(t)$: Rijit tankta temel temel kesme kuvveti.
- $Q_s(t)$: Temel-zemin yüzeyindeki kesme kuvveti.
Kabuk düzlemine dik kesme kuvveti.
- q_{sej}, q_{si} : Q_s 'in katsayıları.
- T : Rijit bağı sistemin doğal periyodu,(sn).
- $\tilde{T}$: Esnek bağı sistemin etkili doğal periyodu.
- t : Zaman,(sn).
- T_{ej} : Titreşimin j. dalgalanma moduna ait transfer fonksiyonu.
- T_i : Titreşimin impulsif bileşenine ait transfer fonksiyonu.
- u_0 : Maksimum yapısal deformasyon.
- $\tilde{u}_0$: Kütle-yay sistemine ait maksimum toplam deformasyon.
- u_0' : $\tilde{u}_0$ 'ın kütleye bağı olan yaydaki bileşeni.
- σ : Boyutsuz dalga parametresi, (3.20).
- $x(t)$: Temelin yatay deplasmanı.
- $x_c(t)$: Temelin etkili deplasmanı.
- $y(t), \dot{y}(t)$,
- $\ddot{y}(t)$: Serbest zemin hareketinin deplasman, hız ve ivmesi.
- $y_0, \dot{y}_0, \ddot{y}_0$: Serbest zemin hareketinin maksimum deplasman, hız ve ivme değerleri.
- α : h_0 'ın hesabında bir katsayı, (2.1.d).
- α_x, α_0 : K_x ve K_0 'nın hesabında kullanılan, a_0 ve v_s 'ye bağı ifadeler.
- β_x, β_0 : c_x ve c_0 'nın hesabında kullanılan katsayılar.
- γ : Yoğunluk oranı,(3.23).
- δ : Yarı-uzay ortamın sönümüne ait bir parametre.

δ_{st}	: m.g kuvvetinin m kütlesinde doğurduğu deplasman,(5.8)
$\Delta W/W$	: Yarı-uzay ortamın sönümü,(3.18).
ζ_i, ζ	: Rijit bağlı tank-sıvı sisteminin impulsif etkideki sönüm faktörü.
ζ_{ej}	: Titreşimin j. dalgalanma moduna ait cönüm faktörü.
$\tilde{\zeta}_0$	: Temelin sönüm faktörü.
ν, ν_s	: Tank ve zemin için poisson oranı.
λ_j	: Bessel fonksiyonunun j. kökü.
ρ, ρ_L, ρ_s	: Tank, sıvı ve zeminin yoğunluğu.
$\theta(t)$	: Temelin dönmesi.
ω_i	: İmpulsif etkide tank-sıvı sisteminin sönümsüz dairesel doğal frekansı.
ω_{ej}	: Sıvı titreşiminin j. dalgalanma moduna ait dairesel doğal frekans.
$\omega_{\tilde{i}}$	: İmpulsif etkide tank-sıvı sisteminin sönümlü dairesel doğal frekansı.
Ω	: Dinamik zorun dairesel doğal frekansı.
ϕ	: (5.10)'la tanımlanan boyutsuz bir parametre.
ξ	: “Vight solid” zemin ortamı için malzemenin sönümü,(3.19).
τ	: h/a değeri.

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1.a: Sistem,	4
Şekil 2.1.b: Sistem,	5
Şekil 2.2 : İmpulsif ve konvektif etkiler,	6
Şekil 2.3 : Temel kesit etkileri,	8
Şekil 2.4 : Tankın rijit hareketi,	9
Şekil 2.5 : $c_i'(z)$ 'nin tavk duvarı ve temelinin dönmesine katkıları,	10
Şekil 2.6 : Hidrodinamik duvar ve temel katsayıları,	11
Şekil 2.7 : İmpulsif etkiler için m_i etkili kütlesi ve I_b atalet momenti,	11
Şekil 2.8 : İmpulsif etkiler için h_i ve h_i' etkili yükseklikleri,	12
Şekil 2.9 : Rijit bağlı tanklar için modal kütleler,	14
Şekil 2.10 : Rijit bağlı tanklar için temelin üst kesidinde modal momentler,	14
Şekil 2.11 : Rijit bağlı tanklar için temel modal momentleri,	15
Şekil 2.12 : Elastik bağlı çelik tanklar için etkili doğal frekans ve sönümler,	15
Şekil 2.13 : Rijit bağlı çelik tanklarda ilk üç moda ait doğal frekanslar için frekans katsayıları,	17
Şekil 2.14 : Kabuk elemanında gerilmeler,	20
Şekil 2.15 : 1.moda ait konvektif gerilme katsayıları,	22
Şekil 2.16 : 1. moda ait impulsif eksenel gerilme katsayıları,	23
Şekil 2.17 : 1. moda ait impulsif çembersel gerilme katsayıları,	23
Şekil 2.18 : 1. moda ait impulsif mambran kayma gerilmesi katsayıları,	24
Şekil 2.19 : 1. moda ait impulsif,eksene dik kayma gerilmesi katsayıları,	24
Şekil 2.20 : 1. moda ait impulsif moment katsayıları,	25
Şekil 3.1 : İmpulsif etki için sistemin modeli,	28
Şekil 3.2 : Temel-zemin sistemi,	28
Şekil 3.3 : Temel rijitlik ve sönüm katsayıları,	31
Şekil 3.4 : Viskoelastik ortam için basınç-gerilme elipsi,	32
Şekil 3.5 : Viskoelastik ortam için k_x ve n_x değerleri,	33
Şekil 3.6 : Viskoelastik ortam için k_θ ve n_θ değerleri,	34
Şekil 3.7 : Çarpma zoru,	37
Şekil 3.8 : Şekil 3.7'deki zora maruz enli tank için ivmeler,	37
Şekil 3.9 : Şekil 3.7'deki zora maruz uzun tank için ivmeler,	38
Şekil 3.10 : Şekil 3.8 ve 3.9'daki yapıların hız ve deplasman diyagramları,	39
Şekil 3.11 : Harmonik zorlanmış sistemlerde A_i ve A_i' değerleri,	43
Şekil 3.12 : Harmonik zora maruz tanklarda kesme kuvveti genlikleri, $H/a=0.5$,	44
Şekil 3.13 : Harmonik zora maruz tanklarda kesme kuvveti genlikleri, $H/a=3$,	44
Şekil 3.14 : Harmonik zora maruz tanklarda tank temeli üzerindeki moment genlikleri, $H/a=0.5$	45
Şekil 3.15 : Harmonik zora maruz tanklarda tank temeli üzerindeki moment genlikleri, $H/a=3$,	45
Şekil 3.16 : Harmonik zora maruz tanklarda tank temeli altındaki moment genlikleri, $H/a=0.5$,	46
Şekil 3.17 : Harmonik zora maruz tanklarda tank temeli altındaki moment genlikleri, $H/a=3$,	46

Şekil 3.18 :	El Centro depremi kayıtları,	47
Şekil 3.19 :	El Centro kayıtlarında zemin esnekliğinin $A_i(t)$ üzerinde etkisi,	48
Şekil 4.1 :	İmpulsif ve konvektif bileşenler,	50
Şekil 4.2 :	Harmonik zorda A_i , A_{c1} , A_{c2} ivmeleri,	52
Şekil 4.3 :	Harmonik zorda A_i , A_{c1} , A_{c2} 'ye zemin-yapı etkileşiminin etkisi,	53
Şekil 5.1 :	Kütle-yay sistemi,	55
Şekil 5.2 :	Şekil 3.7'deki zor için kesin ve yaklaşık deformasyonlar,	57
Şekil 5.3 :	Sistemin statik deplasmanı,	57
Şekil 5.4 :	Statik ve dinamik rijitliklerin kullanılması durumunda T 'nin değişimi,	59
Şekil 5.5 :	T değerleri,	60
Şekil 5.6 :	Elastik bağlı yapılar için ζ ,	61
Şekil 5.7 :	Elastik ve viskoelastik ortama bağlı yapıların temele ait sönüm faktörü,	62
Şekil 5.8 :	Viskoelastik ortama bağlı temele ait sönüm faktörü,	63
Şekil 5.9 :	Harmonik zorda sistemin tepki spektrası, $h/a=1$,	64
Şekil 5.10 :	Harmonik zorda sistemin tepki spektrası, $h/a=5$,	65
Şekil 5.11 :	Şekil 3.7'deki zora maruz sistemde tepki, $h/a=1$,	66
Şekil 5.12 :	Şekil 3.7'deki zora maruz sistemde tepki, $h/a=5$,	66
Şekil 5.13 :	El Centro depremine ait tepki, $h/a=1$	67
Şekil 5.14 :	El Centro depremine ait tepki, $h/a=5$,	67
Şekil 5.15 :	El Centro depremine ait tepki, $h/a=1$	70
Şekil 5.16 :	Şekil 3.7'deki zora maruz sistemde elastik ve viskoelastik tepkilerin karşılaştırılması, $h/a=5$.	70

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 : İmpulsif tepki için rijit bağlı tanka ait özellikler,	18
Tablo 3.1 : α_1 ve β_1 değerleri,	30
Tablo 3.2 : El Centro depremine ait maksimum tepki değerleri,	49
Tablo 5.1 : El Centro deprem kayıtlarına ait A_i ve A_i' ivmelerinin A_i ile karşılaştırılması,	68



ÖZET

Bu çalışma, zemine oturan silindirik su tanklarının yatay zemin hareketi altındaki zemin-yapı etkileşimi üzerinedir.

Tank, üniform duvar kalınlığına sahip olup, homojen yarı-uzay bir zemine oturtmaktadır.

Hidrodinamik etkinin iki bileşeni olduğu düşünülmüştür: a)İmpulsif Tepki: Tank duvarıyla birlikte hareket eden sıvının tepkisi, b)Konvektif Tepki: Tank içindeki sıvının salınım (dalgalanma) hareketi.

İmpulsif tepkide tank-sıvı sisteminin titreşimin temel modunda tek serbestlik dereceli bir sistem olarak davrandığı düşünüldü. Yer hareketi için, harmonik tepki, gerçek deprem kayıtları ve basit bir çarpma zoru gözönüne alındı.

Öncelikle silindirik su tanklarında tank-sıvı arasındaki dinamik tepki incelendi. Tepkinin impulsif ve konvektif bileşenlerine ek olarak kabuktaki eksenel gerilmeleri veren ifadeler de yer verildi.

Üçüncü bölümde tank-sıvı sistemine zemin ortamı da dahil edilerek üçlü bir sistem oluşturuldu ve bir model geliştirildi. Zemin ortamının idealize edilmiş şekli ve viskoelastik ortamda dinamik davranışın aldığı şekil anlatıldı. Dinamik tepkiler, harmonik ve sismik zora maruz sistemler için ele alındı.

Dördüncü bölümde tepkinin konvektif bileşenini impulsif bileşenden bağımsız düşünme yaklaşımı üzerinde duruldu. Dinamik tepkinin konvektif bileşene etkisi incelendi.

Beşinci bölümde ise tank ve zemin ortamını tek serbestlik dereceli bir sistem şeklinde idealize eden kütle-yay sistemi tanıtıldı. Bu sistemden elde edilen sonuçların doğruluğu araştırıldı.

SUMMARY

A STUDY FOR SOIL-STRUCTURE INTERACTION OF Laterally Excited Liquid Storage Tanks.

This study is made of the effect of soil-structure interaction on the response of circular cylindrical tanks subjected to a horizontal component of ground shaking.

The tanks are presumed to be of uniform wall thickness, filled with liquid and clamped to a rigid circular mat which is supported at the surface of a homogeneous elastic halfspace. The effect of foundation embedment is not considered. Both the foundation mass and the mass of the structure are assumed to be uniformly distributed over circular areas.

The idealized structure may be viewed either as direct model of a one-storey building frame or, more generally, as the model of a single-degree-of-freedom in its fixed-base condition.

The response quantities examined include the hydrodynamic pressures, the associated base shear and moments at sections immediately above and below the tank base.

The irrelationship of the tank responses to horizontal and rocking actions of the foundation is established, and a model for laterally excited, rigid tanks supported on a non-deformable medium is generalized to permit consideration of the effects of tank and ground flexibilities and base rocking.

The hydrodynamic effects are computed in two parts: (i) an impulsive component, which represents the effect of the part of the liquid that may be considered to move in unison with the tank wall as a rigidly attached mass, (ii) a convective component, which represents the action of the part of the liquid that experiences sloshing motion.

There are two aspects of interaction that must be considered: (i) the interaction between the tank and the contained liquid, (ii) the interaction between the tank-liquid system and the supporting medium. Fundamental to the formulation of the impulsive solution are the following assumptions: (i) in its fixed-base condition, the tank-liquid system responds in its fundamental mode of vibration as a single-

degree-of-freedom, (ii) the impulsive effects are uncoupled from the convective effects.

In this study, it was examined the consequences of soil-structure interaction on the convective components of response.

The free-field ground motion investigated include a harmonic motion, a relatively simple pulse-type excitation and an actual earthquake record.

Analyses of the seismic response of liquid storage tanks to horizontal ground shaking are normally carried out on the assumption that the tank base moves horizontally without any rotation. In reality, because of the flexibility of the supporting soils, the tank base experiences a rocking component of motion even under a purely translational free-field ground motion.

The acceleration of this motion at any time, t , is denoted by $\ddot{y}_g(t)$, associated velocity and displacement are denoted by $\dot{y}_g(t)$ and $y_g(t)$. The horizontal displacement of the foundation, $x(t)$, is generally different from $y(t)$. The foundation motion also includes a rotational or rocking component about a horizontal axis normal to the direction of the free-field ground motion. Denoted by $\theta(t)$, latter component would be expected to be particularly prominent for tall tanks and flexible soils.

In this study, the effects of material damping of harmonically excited foundation was investigated. The halfspace is idealized as a linear viscoelastic solid and two models of viscoelastic action are considered: "The standard Voight model" and "the constant hysteretic model". The excitations investigated include a horizontal force and a moment about an axis in the plane of the foundation.

The damping capacity of half-space material for "constant hysteretic solid is given by

$$\Delta W/W = 2\pi \cdot \tan\delta$$

where

$$\tan\delta = \Omega \cdot G'/G$$

G and G' are the shear modulus of elasticity and viscosity, respectively. Ω is circular frequency of excitation.

For "Voight solid", the damping capacity is given by

$$\xi = (1/a_0) \cdot \tan\delta$$

a_0 is dimensionless frequency parameter, defined as

$$a_0 = (\Omega \cdot a) / c_s$$

The dynamic response of a structure supported on soft soil may be different from the response of a similarly excited, identical structure supported on firm ground. There are two principal factors responsible for this difference:

1. The flexibly supported structure has more degrees of freedom and, consequently, different dynamic characteristics than the rigidly mounted structure.
2. A significant part of the vibrational energy of the flexibly supported structure may be dissipated by radiation of waves into the supporting medium or by damping in the foundation material. There is no counterpart of the latter effect in a rigidly mounted structure. The importance of the latter factor increases with increasing intensity of ground shaking.

The response of the foundation-structure system obviously depends on the properties of the foundation and the supporting medium, the properties of the tank-liquid system and on the characteristics of the excitation. The effects of these factors can best be expressed in terms of dimensionless parameters. The three most important parameters of the problem are:

1. The wave parameter,

$$\sigma = c_s / (f \cdot h)$$

f is the fixed-base natural frequency of the system in cycles per unit of time; c_s is the speed of propagation of shear waves in the half-space; h is the distance from the base to the inertia forces for the assumed mode.

2. The ratio H/a of the height of the structure to the radius of the foundation base.
3. The ratio f_e/f of the excitation frequency to the fixed-base natural frequency of the system.

The wave parameter σ may be looked upon as a measure of the relative stiffness of the foundation and the structure. $\sigma = \infty$ correspond to structure mounted on an infinitely rigid medium, whereas the remaining values are representative of systems in which the soil is relatively flexible in comparison to the structure.

The other parameters are;

- * The material damping factor for the supporting medium, $\tan \delta$.
- * The damping factor for the structure in its fixed-base condition, ζ .
- * The relative mass density for the structure and the supporting medium,

$$\gamma = m / (\rho_s \cdot \pi \cdot a^2 \cdot h)$$

* Poisson's ratio for the half-space material, ν_s .

The response of the structure is generally insensitive to variations in these particular parameters.

The interrelationship between $x(t)$ and $\theta(t)$ may be established by two equilibrium;

Equilibrium of horizontal forces requires that

$$m_f \ddot{x}(t) + Q_i(t) + Q_s(t) = 0$$

Equilibrium of moments requires that

$$I_f \ddot{\theta}(t) + M_i'(t) + M_s(t) = 0$$

m_f is the mass of the foundation; I_f is mass moment of inertia of foundation mat; Q_s is the shear at the foundation-soil interface and M_s is the associated bending moment. Q_s may be expressed in terms of $x(t)$ - $y(t)$ and M_s may be expressed in terms of $\theta(t)$.

Q_s and M_s depend on K_x and K_θ respectively. K_x and K_θ are the complex-valued stiffness of the foundation.

For laterally excited foundation;

$$K_x = K_{sx} [k_x(a_0, \nu_s) + i \cdot a_0 \cdot n_x(a_0, \nu_s)]$$

For rocking motion;

$$K_\theta = K_{s\theta} [k_\theta(a_0, \nu_s) + i \cdot a_0 \cdot n_\theta(a_0, \nu_s)]$$

K_{sx} and $K_{s\theta}$ represent the static stiffness of the foundation.

Comprehensive response spectra are presented for a range of the parameters defining the problem and the results are used to assess the accuracy of a simple, approximate method of analysis in which the system is represented by a viscously damped, simple oscillator. In this system, the spring connected to the mass represents the elastic resistance of the structure, and its stiffness, k , is equal to that of the fixed-base structure. The spring connected to the base accounts for the translational and rotational flexibilities of the foundation, whereas the dashpot accounts for the overall damping of the system.

Two levels of approximation are used in the evaluation of the impulsive effects. In the precise method, the flexibility of the supporting medium is provided for directly by analysing the tank-liquid systems as an

elastically supported system; whereas in the simpler, approximate procedure, it is provided for indirectly by modifying the dynamic properties of the system and evaluating the response of the modified system to the prescribed free-field ground motion considering the tank to be rigidly supported at the base. The simpler procedure is shown to be sufficient accuracy for most practical purposes.

The studies shown that soil-structure interaction decreases the resonant frequency of the system and modifies the magnitude of the peak response, decreasing the value for short squat structures and increasing the values for tall, slender structures.

For the squat structure, the rocking of the foundation and the associated increase in response are quite important. The reduction in response due to the radiation effect is extremely small because the rocking component of the foundation response is more lightly damped than the horizontal component.

Consideration of soil-structure interaction in a dynamic analysis is warranted for values of σ less than 66.6. For values of σ greater than about 66.6, the values of the frequency and damping are practically equal to those for fixed-base systems. The interaction effects is negligible in this case (a value of $\sigma=66.6$ corresponds a soil with shear wave velocity, $c_s=600$ m/sec).

Soil-structure interaction has a negligible effect on the convective components of response and this may be evaluated for the free-field ground motion considering both the tank and the supporting medium to be rigid. The comparisons demonstrate that the convective solutions can be computed independently of the impulsive effects.

It was shown that, the effect of material damping is two fold: It decreases the stiffness and increases the damping.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

60'lı yıllarda sıvı tanklarının dinamik etkiler altındaki hesabında, tank ve zeminin bağıl hareketi kadar, tank ve içindeki sıvının bağıl hareketinin de hesaba katılması gerektiği anlaşıldı. Eğer tank tamamen boşsa veya tamamen dolu olup üzeri kapalıysa, sistem bir tek kütleyle ifade edilebilir. Genelde rastlanan şekilde, tank kısmen dolu olup serbest bir su yüzeyi söz konusuysa, dinamik etki sırasında bir yüzeysel dalgalanma (salınım) olacaktır. Bu durumda sistem, 2 kütleli bir sistem olarak ifade edilebilir.

Daha sonraki araştırmalarda, tank-sıvı arasındaki etkileşim kadar, tank-sıvı sistemiyle zemin arasındaki etkileşimin de dinamik tepkiyi etkilediği ortaya konuldu.

Bu çalışmada, zemine oturan silindirik sıvı tanklarına etkiyen dinamik etkiler ve tankın zeminle etkileşiminin, sistemin tepkisi üzerindeki etkisi üzerinde durulacak.

Çalışmanın hazırlanmasında yararlanılan makalelerde;

Housner(1963); zemine oturan tank için bir yöntem sundu. Bu çalışmada dinamik etkileri, impulsif ve konvektif bileşenlere ayırdı. Bunları m_0 ve m_1 ile gösterdi.

Velestos-Verbic(1973); temellerin viskoelastik davranışı üzerinde durdu.

Veletsos-Meek(1974); zemin-yapı etkileşimi için önemli olan parametreler ve bunların belirlenmesi üzerinde durdu. Harmonik hareketi gözönüne aldı. Tek serbestlik dereceli kütle-yay sistemiyle basit bir metot sundu.

Veletsos(1977); basit bir dinamik zor ve 1940 El Centro depreminin verilerine ait spektralar verdi. Gerçek sistemle tek serbestlik dereceli kütle-yay sistemi arasındaki ilişki üzerinde durdu. Elastik ve viskoelastik ortamlardaki spektraları karşılaştırdı.

Veletsos-Tang(1987); yapının sallanma hareketini impulsif ve konvektif bileşenler içinde ele aldı.

Veletsos-Tang(1990); zemin-yapı etkileşimini harmonik zor ve 1940 El Centro deprem kayıtlarına ait sismik değerleri gözönüne alarak inceledi. Basit bir yöntem sundu. Zemin-yapı etkileşiminde impulsif etkilerin konvektif etkilerden ayrı düşünülmesi yaklaşımı üzerinde durdu.

Veletsos-Tang(1992); rijit ve elastik tanklar arasında bir ilişki kurdu.

BÖLÜM 2

SİLİNDİRİK TANKLARA ETKİYEN DİNAMİK ETKİLER

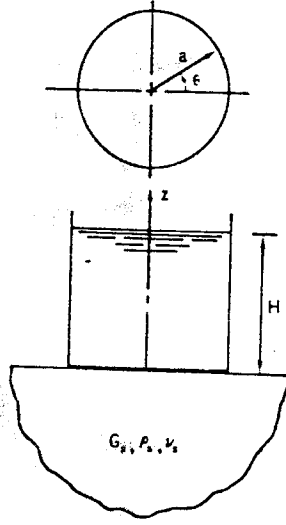
Sıvı tanklarına etkiyen dinamik etkilerin 2 bileşene ayrılabilceğı analizlerle doğrulanmıştır. Bunlar; i)impulsif bileşen, ii)konvektif bileşen. Etkinin impulsif bileşeni, tank duvarıyla birlikte hareket eden sıvıdan doğar. Etkinin konvektif bileşeni ise sıvının dalgalanması veya salınımı ile ortaya çıkar.

Konvektif etki, tankın ve tankın oturduğu zeminin (bağ ortamının) esnekliğine karşı duyarlı değildir. Dolayısıyla bu etki, tankın bağ ortamına rijit olarak bağlı olduğu kabulüyle çözülebilir.

Analizlerde, yatay bir zemin hareketine maruz yapının bir dönme yapmadığı düşünülür. Gerçekte, zeminin esnekiliğinden dolayı yapının yatay hareketinden başka bir de sallanma bileşeni söz konusudur. Bu sallanma bileşeninin, yapının tepkisine ve zemin-yapı etkileşimine ne yönde bir katkıda bulunduğuna da değinilecektir.

2.1. Sistem ve Yaklaşımlar

Sistem, Şekil 1a'da gösterildiğı gibi a yarıçaplı ve H yüksekliğine kadar sıvıyla dolu silindirik bir tanktır. Tank duvarının kalınlığı h sabit olup yatay rijitliği K, sönümü ise c'dir. Tanka ait diğer değerler; elastisite modülü E, poisson oranı ν ve yoğunluğu ρ , kütlesi m'dir.



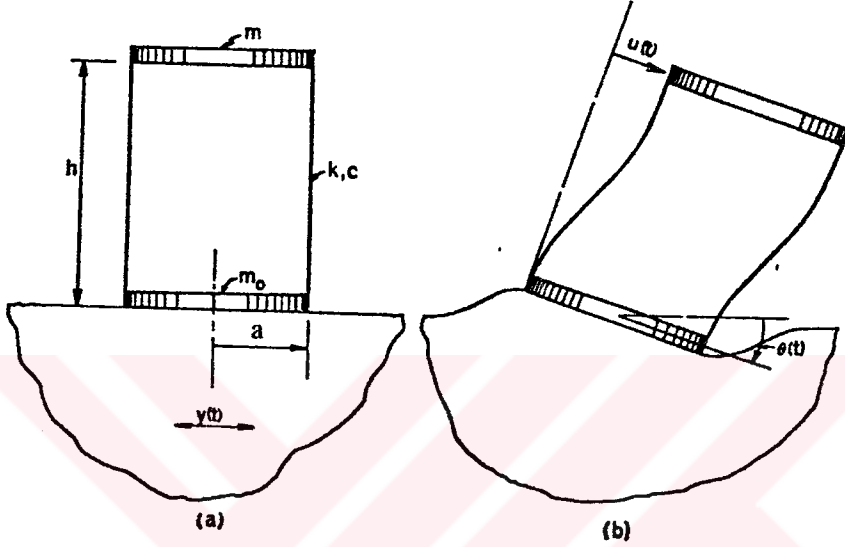
Şekil 2.1.a: Sistem

Yapı m_0 kütleli bir temelle homojen, yarı sonsuz uzay bir zemin üzerine oturmaktadır. Bu zemin elastik veya viskoelastik olabilir. Temel kalınlığı ihmal edilmiş olup, m ve m_0 kütlelerinin, yapının alt ve üstünde dairesel olarak toplandığı düşünülmüştür. Temel rijittir. Temelin gömülü olmasının etkileri ihmal edilmiştir.

Zemin, G_s elastisite modülü ve ν_s poisson oranıyla karakterize edilir. Yoğunluğu ρ_s 'tir. Zeminin sönümü $\Delta w/w$ üzerinde ileriki bölümlerde durulacaktır (bu sönüm viskoelastik ortamlar için geçerlidir). Tank içindeki ρ_L yoğunluklu sıvının sıkışmaz olduğu kabul edilir.

Temele etki eden zor, zeminin serbest hareketiyle ifade edilir. Bu hareket, yapının orada bulunmadığı varsayılarak ölçülen harekettir. Bu yatay zemin hareketi $y(t)$, hızı $\dot{y}(t)$ ve ivmesi $\ddot{y}(t)$ 'dir. Bunların maksimum değerleri y_0 , $\dot{y}_0$, $\ddot{y}_0$ 'dır.

Böyle bir zor altında yapının temeli, genelde y 'den farklı bir x hareketi yapar. Bu temel hareketine bir de θ dönmesi eklemek gerekir. Yapının alt ve üst noktaları arasındaki “yapısal deformasyon” u 'dur. h_i yüksekliği, temelle atalet kuvvetleri arası mesafeyi gösterir.(Şekil 1b) Rijit olarak zemine oturan yapılarda $x = y$ ve $\theta = 0$ 'dır.



Şekil 2.1.b: Sistem

2.2. Tank-Sıvı Sisteminin Tepkisi:

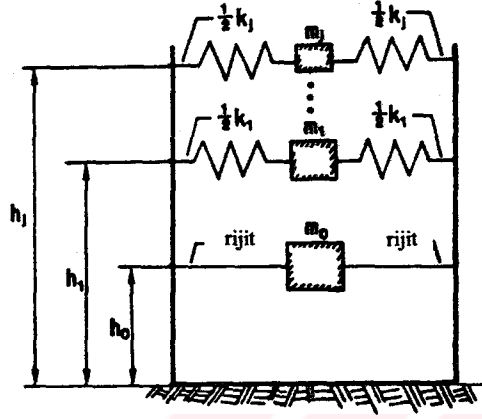
Bu kısımda, yatay yönde bir dinamik zorla zorlanmış bir tank için impulsif ve konvektif etkiler incelenecek.

2.2.1. Housner(1963)'ün modeli:

Dinamik kuvvetler su tarafından tank üzerine iki şekilde uygulanır:

- 1)İmpulsif etki: Bir ivmeyle hareket eden tank duvarının bu hareketine suyun da katılmasıdır. Su, rijit bir şekilde tank duvarına etki eder. Bu etki, Şekil 2'de m_o 'la gösterilir. 2)Konvektif etki: Tank duvarının

hareketinin suya bir salınım hareketi vermesidir. Bu etki bir dalga hareketi olarak duvara etkir ve Şekil 2'de m_1 ile gösterilir. Yer hareketinde dinamik kuvvetler tanka m_o ve m_1 'de etkiyecektir.



Şekil 2.2:İmpulsif ve konvektif etkiler

Silindirik tank için;

a : tankın yarıçapı, g : yerçekim ivmesi, m_L : sıvının toplam kütlesi, h : su derinliği olmak üzere;

$$m_o = m_L \cdot \frac{\tanh 1.7 \frac{a}{h}}{1.7 \frac{a}{h}} \quad (2.1.a)$$

$$m_1 = (0.6) \cdot m_L \cdot \frac{\tanh 1.8 \frac{h}{a}}{1.8 \frac{h}{a}} \quad (2.1.b)$$

$$k_1 = 5.4 \frac{m_1^2}{m_L} \cdot \frac{g \cdot h}{a^2} \quad (2.1.c)$$

$$h_o = \frac{3}{8} h \left\{ 1 + \alpha \left[\frac{m_L}{m_1} \cdot \left(\frac{a}{h} \right)^2 - 1 \right] \right\} \quad (2.1.d)$$

$$\alpha = 1.33$$

$$h_1 = h \cdot \left[1 - 0.185 \cdot \left(\frac{m_L}{m_1} \right) \cdot \left(\frac{a}{h} \right)^2 - (0.56) \beta \cdot \frac{a}{h} \cdot \sqrt{\left(\frac{m_L \cdot a}{3m_1 \cdot h} - 1 \right)} \right] \quad (2.1.e)$$

$$\beta = 2.0$$

T: Sistemin periyodu;

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m_1}{k_1}} \quad (2.1.f)$$

Zemine değil yalnız duvara etkiyen kuvvetler arandığında $\alpha=0$, $\beta=1$ alınır.

2.2.2.İmpulsif Etki:

İmpulsif etkinin belirlenmesinde şu kabuller yapıldı: i) Tank-sıvı sistemi, tek serbestlik dereceli sistem olarak titreşimin temel modunda tepki gösterir. ii) İmpulsif etki, konvektif etkiden bağımsızdır. Bu kabulün doğruluğu üzerinde ileride durulacaktır.

a) Temel hareketinin yatay bileşeninin etkileri:

$P_i^1(z, \theta, t)$ temel hareketinin yatay bileşeninin tank duvarında doğurduğu hidrodinamik basınç, $P_i^1(r, \theta, t)$ ise tank temelinde doğurduğu hidrodinamik basınç olmak üzere;

$$P_i^1(z, \theta, t) = c_i(z) \cdot \rho_L \cdot a \cdot A_i^1(t) \cdot \cos \theta \quad (2.2)$$

$$P_i^1(r, \theta, t) = c_i(r) \cdot \rho_L \cdot a \cdot A_i^1(t) \cdot \cos \theta \quad (2.3)$$

$c_i(z)$ ve $c_i(r)$, yükseklik ve açısal değişimi tanımlayan boyutsuz fonksiyonlardır. $A_i^1(t)$, benzer bir dinamik zora maruz tek serbestlik dereceli, ω_i dairesel doğal frekanslı ve ζ_i sönümlü tank-sıvı sisteminin sözde-ivmesini gösterir. Devir/sn cinsinden frekans f_i ; $\omega_i = 2\pi \cdot f_i$ ile verilir.

$$A_i^1(t) = \frac{\omega_i}{\sqrt{1-\zeta_i^2}} \int_0^t \ddot{x}(\tau) \cdot e^{[-\zeta_i \omega_i (t-\tau)]} \sin[\bar{\omega}_i (t-\tau)] d\tau \quad (2.4)$$

$\bar{\omega}_i = \omega_i \sqrt{1-\zeta_i^2}$; sistemin sönümlü dairesel doğal frekansdır.

Temelde kesme kuvveti;

$$Q_i^1(t) = m_i \cdot A_i(t) \quad (2.5)$$

Temelin hemen üst kesidinde eğilme momenti;

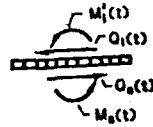
$$M_i^1(t) = m_i \cdot h_i \cdot A_i^1(t) \quad (2.6)$$

Temelin alt kesidinde eğilme momenti;

$$M_i'^1(t) = m_i \cdot h_i' \cdot A_i^1(t) \quad (2.7)$$

$$h_i'(t) = h_i + \Delta h_i \quad (2.8)$$

m_i kütlesi, i. moda ait etkili kütledir. h_i ve h_i' ise, m_i kütlesinin M_i veya M_i' temel momentinden mesafesini gösterir.



Şekil 2.3: Temel kesit etkileri

b) Temel hareketinin sallanma bileşeninin etkileri:

$P^r(z, \theta, t)$ sallanma bileşeninin tank duvarında doğurduğu basınç ve $P^r(r, \theta, t)$ temelde doğurduğu basınç olmak üzere;

$$P_i^r(z, \theta, t) = \alpha \cdot c_i(z) \cdot \rho_L \cdot a \cdot A_i^r(t) \cdot \cos\theta \quad (2.9)$$

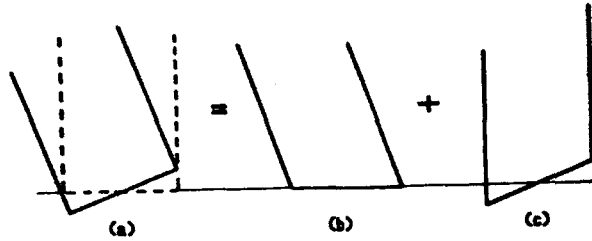
$$P_i^r(r, \theta, t) = \alpha \cdot c_i(r) \cdot \rho_L \cdot a \cdot A_i^r(t) \cdot \cos\theta + c_i'(r) \cdot \rho_L \cdot \ddot{\theta}(t) \cdot \cos\theta \quad (2.10)$$

$$\alpha \cdot c_i(z) = c_i^r(z) \quad (2.11)$$

$$\alpha \cdot c_i(r) = c_i^r(r) \quad (2.12)$$

$c_i'(r)$: r 'nin boyutsuz bir fonksiyonu olup, temel basıncının açısal dağılımını gösterir. $A_i^r(t)$ için (3)'te $\ddot{x}(\tau)$ yerine $H \cdot \ddot{\theta}(\tau)$ koymak yeterlidir.

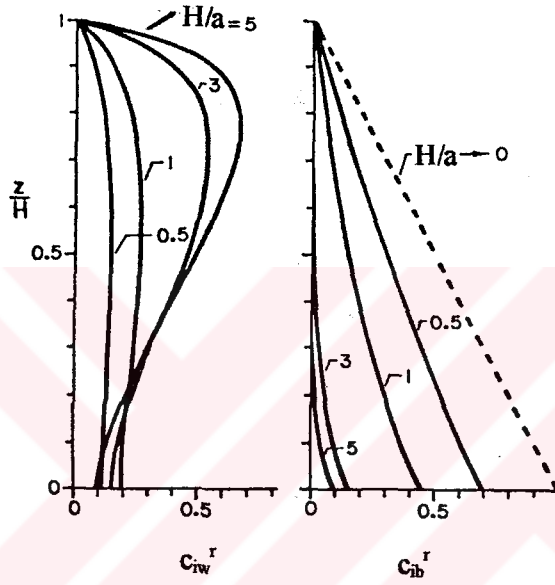
Sallanma hareketinde tankın rijit hareketi iki bileşenden oluşur: (1) duvarın dönmesi, (2) temelin dönmesi (Şekil 2.4). Bu durumda duvara



Şekil 2.4: Tankın rijit hareketi

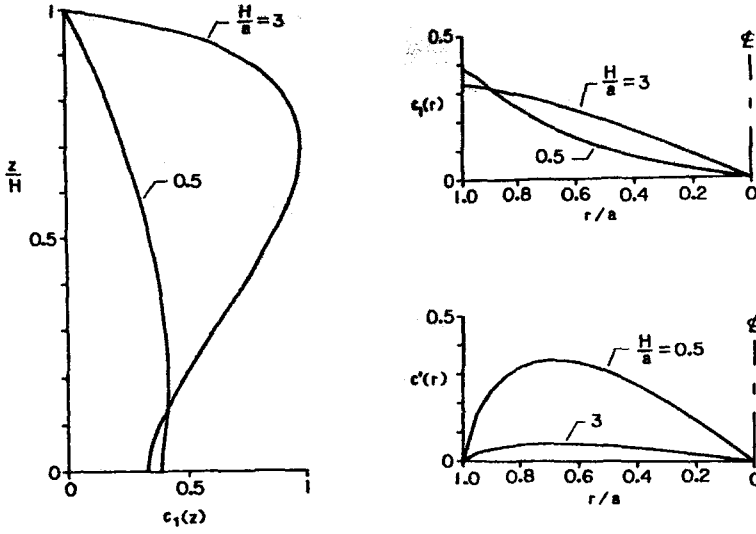
ait $c_i^r(z)$ katsayısı, duvarın ve temelin dönmelerine bağlı olarak c_{iw}^r ve c_{ib}^r bileşenlerine ayrılabilir. c_{iw}^r duvarın, c_{ib}^r temelin katkısıdır. c_{iw}^r değeri, yatay yönde zorlanmış esnek tanklarla aynıdır. c_{iw}^r ve c_{ib}^r değerleri Şekil 2.5'tedir. Şekilden anlaşılacağı üzere H/a oranı arttıkça,

yani tank narinleşince, duvar basıncının impulsif bileşeninde duvarın sallanma hareketi (Şekil 2.4b); H/a oranı küçüldükçe temelin sallanma hareketi (Şekil 2.4c) etkili olmaktadır.

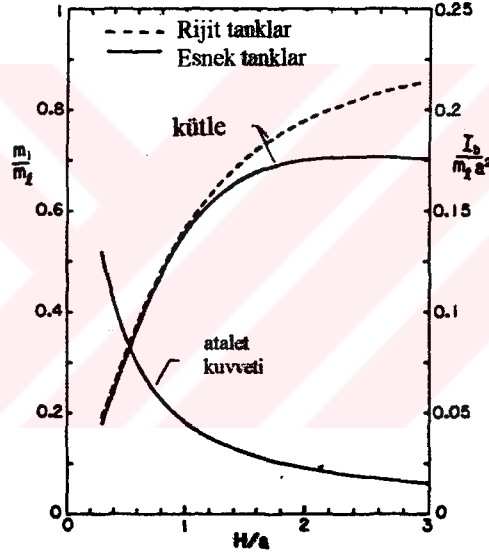


Şekil 2.5: $c_i^r(z)$ 'nin tank duvarı ve temelin dönmesine ait katkıları.

$c_i(z)$, $c_i(r)$ ve $c_i'(r)$ değerleri $i=1$ değeri için Şekil 2.6'dadır. m_i ve I_b atalet momenti Şekil 2.7'de, h_i ve $\alpha=h_i/H$ değerleri Şekil 2.8'dedir. Sıvı kütlesi $m_L = \pi \cdot a^2 \cdot H \cdot \rho_L$ 'dir. I_b , sallanma hareketi yapan tank temeliyle birlikte hareket eden sıvının atalet momentidir.



Şekil 2.6: Hidrodinamik duvar ve temel katsayıları



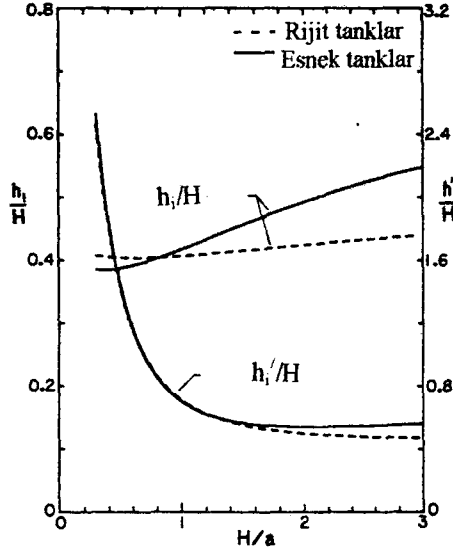
Şekil 2.7: İmpulsif etkiler için m_i etkili kütlesi ve I_b atalet momenti.

Bu bilgilerden sonra kesme kuvveti ve momentler;

$$Q_i^r(t) = \alpha \cdot m_i \cdot A_i^r(t) \quad (2.13)$$

$$M_i^r(t) = \alpha \cdot m_i \cdot h_i \cdot A_i^r(t) \quad (2.14)$$

$$M_i^r(t) = \alpha \cdot m_i \cdot h_i \cdot A_i^r(t) + I_b \cdot \ddot{\theta}(t) \quad (2.15)$$



Şekil 2.8: İmpulsif etkiler için h_i ve h_i' etkili yükseklikleri

c)Toplam etki:

Yatay ve sallanma bileşeninin süperpozisyonuyla, toplam impulsif etki elde edilir.

$$P_i(z, \theta, t) = c_i(z) \cdot \rho_L \cdot a \cdot A_i(t) \cdot \cos \theta \quad (2.16)$$

$$P_i(r, \theta, t) = [c_i(r) \cdot A_i(t) + c_i'(t) \cdot \ddot{\theta}(t)] \cdot \rho_L \cdot a \cdot \cos \theta \quad (2.17)$$

$$Q_i(t) = m_i \cdot A_i(t) \quad (2.18)$$

$$M_i(t) = m_i \cdot h_i \cdot A_i(t) \quad (2.19)$$

$$M_i'(t) = m_i \cdot h_i' \cdot A_i'(t) \quad (2.20)$$

$$A_i(t) = A_i^1(t) + (h_i'/H) \cdot A_i^r(t) \quad (2.21)$$

$$A_i'(t) = A_i(t) + (I_b/(m_i \cdot h_i')) \cdot \ddot{\theta}(t) \quad (2.22)$$

2.2.3. Rijit ve Esnek Tanklar Arası İlişki:

Yatay zemin hareketine maruz rijit tankta kesme kuvveti ve moment değerleri;

$$Q_o(t) = m_o \cdot \ddot{y}(t) \quad (2.23)$$

$$M_o(t) = m_o \cdot h_o \cdot \ddot{y}(t) \quad (2.24)$$

$$M_o'(t) = m_o \cdot h_o' \cdot \ddot{y}(t) \quad (2.25)$$

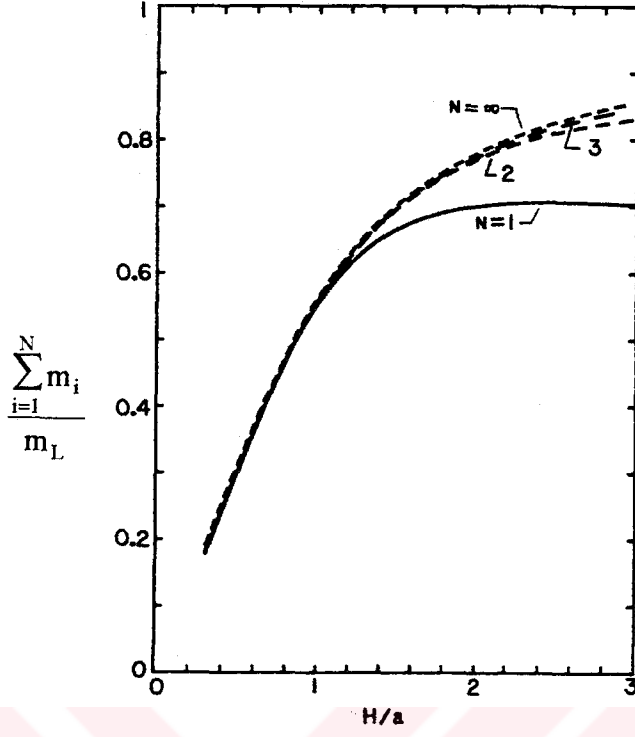
m_o : tank duvarı ve sıvının etkili kütlesi.

h_o, h_o' : m_o 'in M_o ve M_o' 'den uzaklığı.

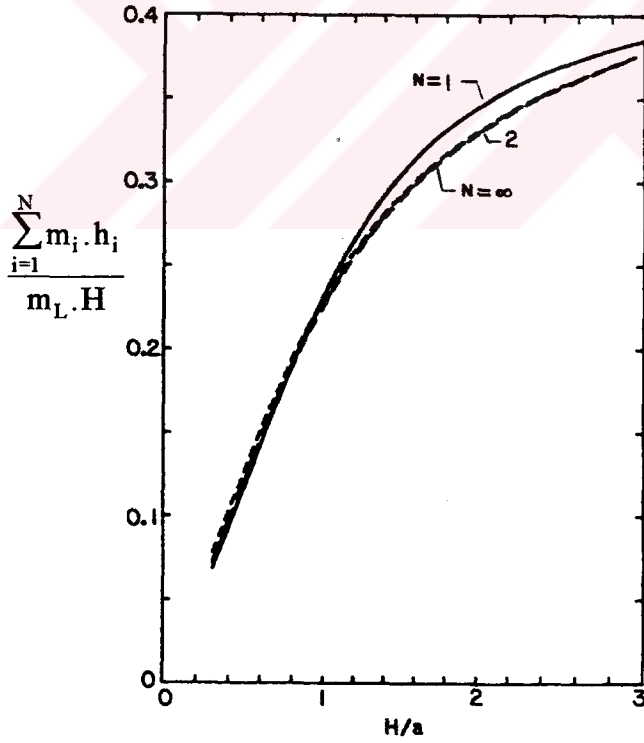
Şekil 2.9,10 ve 11'den $N=\infty$ için m_o , $m_o \cdot h_o$ ve $m_o \cdot h_o'$ değerleri elde edilebilir. $N=1$ ise esnek tanklar içindir. Şekil 2.9'da, $H/a < 1.2$ için $m_o = m_1$ 'dir. Yani rijit enli tankların etkili kütlesi, esnek enli tanklarla hemen hemen aynıdır.

2.2.4. Basitleştirilmiş Yöntem:

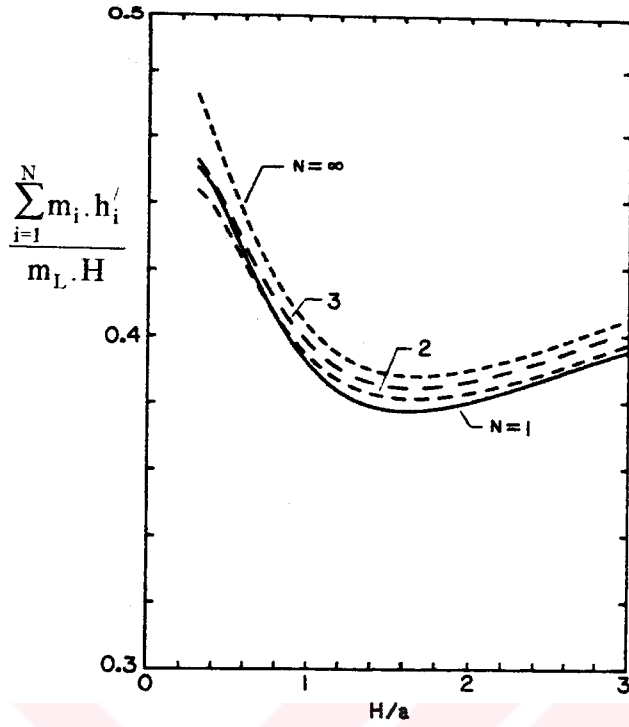
Basitleştirilmiş metotta; a)Bağ ortamının esnekliği yalnız temel modun belirlenmesinde düşünülür. b)Yüksek modların katkısı, tankın zemine rijit bağlı olduğu düşünülerek belirlenir. $\tilde{A}_1(t)$, temel modda tepki gösteren elastik bağlı sistemin sözde-ivmesi; $A_{oi}(t)$ ise rijit bağlı sistemin i. moduna ait sözde-ivmesi olsun. $\tilde{A}_1(t)$ değeri, ya yukarıdaki açıklamalarda $N=1$ için, veya yaklaşık yöntemle doğal frekans ve sönüm faktörü değiştirilerek hesaplanır. Değiştirilmiş $\tilde{f}_1$ ve $\tilde{\zeta}_1$ değerleri Şekil 2.12'dedir ($h/a=0.001$ için). Bu ikinci durumda tank zemine rijit bağlı kabul edilir.



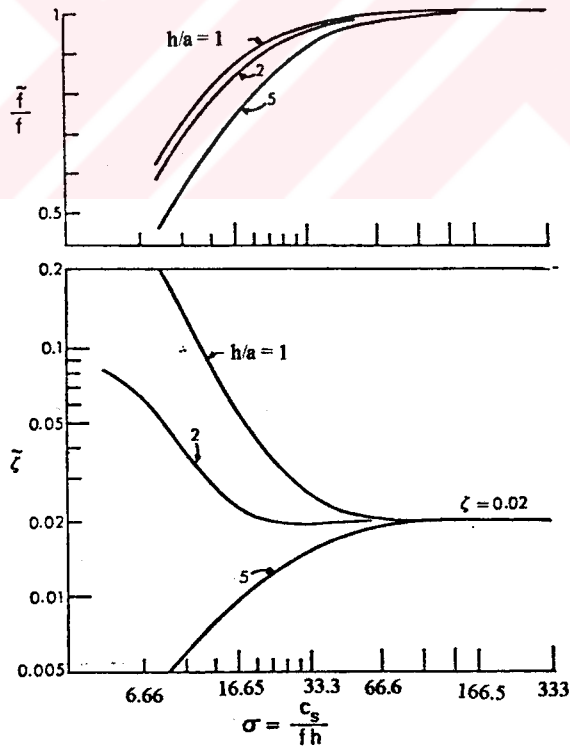
Şekil 2.9: Rijit bağlı tanklar için modal kütleler.



Şekil 2.10: Rijit bağlı tanklar için temelin üst kesidinde modal momentleri.



Şekil 2.11: Rijit bağlı tanklar için temel modal momentleri.



Şekil 2.12: Elastik bağlı çelik tanklar için etkili doğal frekans ve sönümler.

Bu açıklamalar ışığı altında;

$$Q(t) = m_1 \cdot A_1(t) + \sum_{i=2}^N m_i \cdot A_{oi}(t) \quad (2.26)$$

$$M(t) = m_1 \cdot h_1 \cdot A_1(t) + \sum_{i=2}^N m_i \cdot h_i' \cdot A_{oi}(t) \quad (2.27)$$

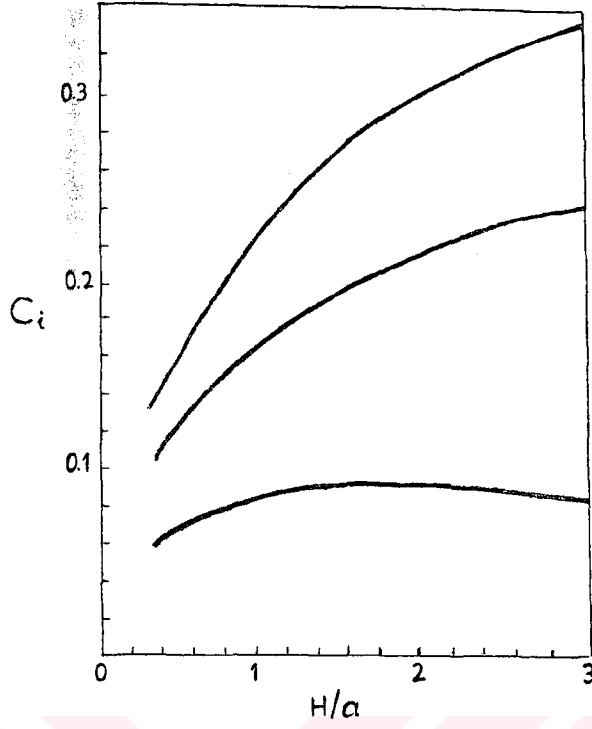
$$M'(t) = m_1 \cdot h_1 \cdot A_1(t) + \sum_{i=2}^N m_i \cdot h_i' \cdot A_{oi}(t) \quad (2.28)$$

Basitlik açısından (2.28). ifadeye dönme terimi dahil edilmemiştir. Rijit tank çözümü için (2.26), (2.27) ve (2.28)'de m_1 , $m_1 \cdot h_1$ ve $m_1 \cdot h_1'$ yerine m_o , $m_o \cdot h_o$ ve $m_o \cdot h_o'$ koyulur. Bu durumda A_{oi} 'nin maksimum değeri, A_1 'in maksimum değerine eşittir.

Rijit bağlı tank-sıvı sisteminin doğal frekansı: Tank-sıvı sisteminin i. dairesel doğal frekansı;

$$\omega_i = \frac{C_i}{H} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (29)$$

C_i : H/a , h/a , v ve ρ_L/ρ 'ya bağlı boyutsuz bir katsayıdır. $h/a=0.001$ ve $\rho_L/\rho=0.127$ için C_i değerleri Şekil 2.13'tedir.



Şekil 2.13: Rijit bağlı çelik tanklarda ilk üç moda ait doğal frekanslar için frekans katsayıları.

Tablo 2.1’de ise; m_i/m_L , h_i'/H ve C_i ’nin h/a ’nın değişik değerlerine karşılık değişimi gösterilmiştir.

Tablo 2.I:İmpulsif tepki için rijit bağlı tanka ait özellikler

h_i/a	$H/a=0.5$	$H/a=1$	$H/a=2$	$H/a=3$
		m_i/m_L		
0.0005	0.300	0.549	0.694	0.695
0.001	0.304	0.554	0.700	0.703
0.002	0.312	0.565	0.711	0.713
		h_i/H		
0.0005	0.385	0.415	0.491	0.547
0.001	0.387	0.417	0.492	0.548
0.002	0.392	0.420	0.494	0.549
		h_i'/H		
0.0005	1.455	0.799	0.543	0.562
0.001	1.428	0.706	0.543	0.563
0.002	1.384	0.700	0.544	0.564
		C_i		
0.0005	0.0506	0.0620	0.0637	0.0563
0.001	0.0719	0.0875	0.0896	0.0792
0.002	0.1019	0.1231	0.1254	0.1108

2.2.5. Konvektif Etki:

Tankın herhangi bir noktasındaki hidrodinamik basıncın konvektif bileşeni;

$$p_c(r, z, \theta, t) = \sum_{j=1}^{\infty} [c_{cj}(r, z) \cdot A_{cj}(t)] \cdot \rho_L \cdot a \cdot \cos\theta \quad (2.30)$$

$$c_{cj}(r, z) = \frac{2}{\lambda_j^2} \frac{J_1(\lambda_j \frac{r}{a}) \cdot \cosh(\lambda_j \frac{z}{a})}{J_1(\lambda_j) \cdot \cosh(\lambda_j \frac{H}{a})} \quad (2.31)$$

J_1 : 1.türden 1.mertebe Bessel fonksiyonu.

λ_j : J_1 Bessel fonksiyonunun j. kökü.

λ_j 'nin ilk üç değeri:

$$\lambda_1=1.8412$$

$$\lambda_2=5.3314$$

$$\lambda_3=8.5363$$

Kesme kuvveti ve momentin konvektif bileşenleri;

$$Q_c(t) = \sum_{j=1}^{\infty} m_{cj} \cdot A_{cj}(t) \quad (2.32)$$

$$M'_c(t) = \sum_{j=1}^{\infty} m_{cj} \cdot h'_{cj} \cdot A_{cj}(t) \quad (2.33)$$

m_{cj} , j. dalgalanma moduna ait sıvı kütlesidir. h'_{cj} ise, temelin altındaki momentin m_{cj} kütle sin den uzaklığını gösterir.

$$m_{cj} = \left[\frac{2}{\lambda_j^2 - 1} \frac{a}{\lambda_j \cdot H} \tanh\left(\lambda_j \frac{H}{a}\right) \right] \cdot m_L \quad (2.34)$$

$$h'_{cj} = h_{cj} + \Delta h_{cj} \quad (2.35)$$

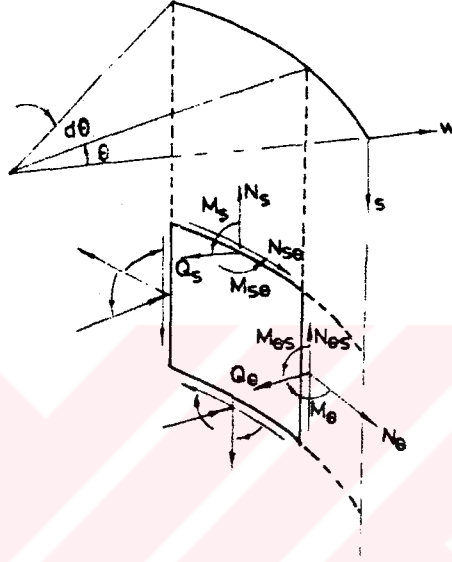
$$h_{cj} = \left[1 - \frac{1}{\lambda} \frac{a}{H} \tanh\left(\frac{\lambda_j H}{2 a}\right) \right] \cdot H \quad (2.36)$$

$$\Delta h_{cj} = \frac{H}{\left(\lambda_j \frac{H}{a}\right) \cdot \sinh\left(\lambda_j \frac{H}{a}\right)} \quad (2.37)$$

Esnek tanklarda bu esnekliğin konvektif bileşene etkisi çok azdır ve ihmal edilebilir. Bu nedenle konvektif bileşen esnek tanklarda hesaba katılmayabilir. Konvektif etkinin zemin-yapı etkileşiminden, yani esnek bağlı tankların tepkisinden nasıl etkilendiğine değinilecektir.

2.2.6. Kabukta Eksenel Gerilmeler:

Şekil 2.14'te, kabuğa etkiyen kesme kuvveti ve momentler gösterilmiştir. N_s ve $N_{s\theta}$, kabuk düzlemi içindeki eksenel kuvveti ve kesme kuvvetini; Q_s , kabuk düzlemine dik doğrultudaki kesme kuvvetini, M_s eksenel eğilme momentini gösterir.



Şekil 2.14: Kabuk elemanında gerilmeler

$$N_s(z/H) = \left[\sum_i n_{si}(z/H) \cdot A_i + \sum_j n_{scj}(z/H) \cdot A_{cj} \right] \cdot \frac{m_L}{\pi \cdot a} \quad (2.38.a)$$

$$N_{\theta}(z/H) = \left[\sum_i n_{\theta i}(z/H) \cdot A_i + \sum_j n_{\theta cj}(z/H) \cdot A_{cj} \right] \cdot \frac{m_L}{\pi \cdot a} \quad (2.38.b)$$

$$N_{s\theta}(z/H) = \left[\sum_i n_{s\theta i}(z/H) \cdot A_i + \sum_j n_{s\theta cj}(z/H) \cdot A_{cj} \right] \cdot \frac{m_L}{\pi \cdot a} \quad (2.38.c)$$

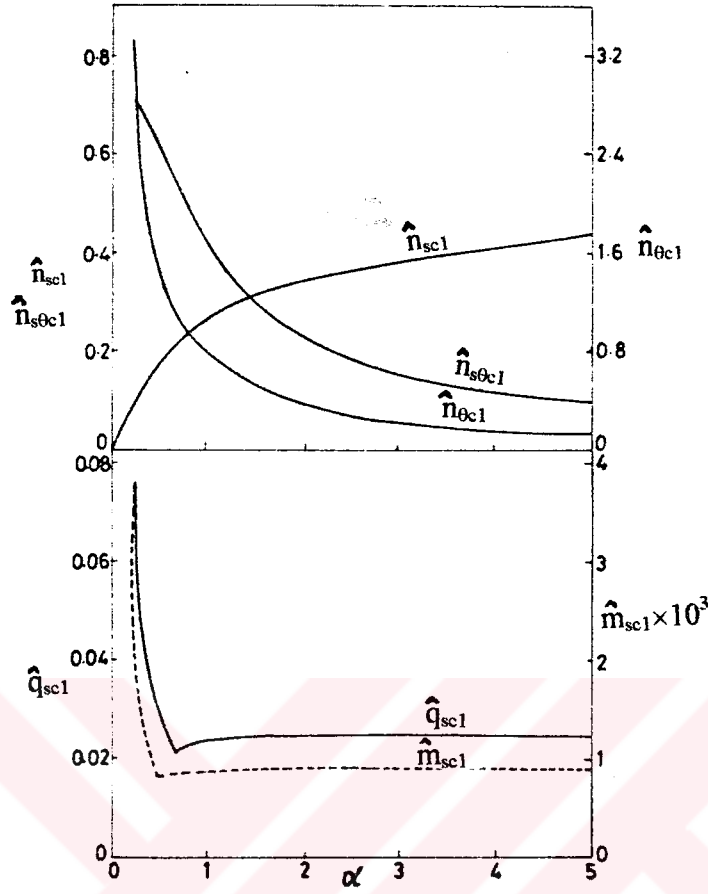
$$Q_s(z/H) = \left[\sum_i q_{si}(z/H) \cdot A_i + \sum_j q_{scj}(z/H) \cdot A_{cj} \right] \cdot \frac{m_L}{\pi \cdot a} \quad (2.38.d)$$

$$M_s(z/H) = \left[\sum_i m_{si}(z/H) \cdot A_i + \sum_j m_{scj}(z/H) \cdot A_{cj} \right] \cdot \frac{m_L \cdot H}{\pi \cdot a} \quad (2.38.e)$$

$n_{si}(z/H)$, $n_{\theta i}(z/H)$, $n_{s\theta i}(z/H)$, $q_{si}(z/H)$, $m_{si}(z/H)$ i. impulsif moda ait gerilme değerlerinin yükseklikle değişimini tanımlayan boyutsuz katsayılarıdır. $n_{scj}(z/H)$, $n_{\theta cj}(z/H)$, $n_{s\theta cj}(z/H)$, $q_{scj}(z/H)$, $m_{scj}(z/H)$ da j. konvektif moda ait katsayılarıdır. M_θ , $M_{s\theta}$ ve Q_θ gerilme değerleri diğer gerilmeler yanında önemli değildir.

N_s , N_θ ve $N_{s\theta}$ değerleri, 1.konvektif modda temelde maksimuma ulaşırlar. N_s , N_θ ve $N_{s\theta}$ 'nin maksimum değerlerine ait $\hat{n}_{sc1}$, $\hat{n}_{\theta c1}$ ve $\hat{n}_{s\theta c1}$ katsayıları, H/a 'nın değişik değerleri için Şekil 2.15.a'dadır. M_s ve Q_s 'in maksimum değerlerine ait $\hat{q}_{sc1}$ ve $\hat{m}_{sc1}$ katsayıları da Şekil 2.15.b'dedir.

Şekil 2.15.a'dan görüldüğü gibi, N_s 'nin konvektif bileşeninin maksimum olduğu yerde N_θ ve $N_{s\theta}$ minimum değerlerine ulaşmaktadır. İmpulsif bileşene ait $\hat{n}_{s1}$, $\hat{n}_{\theta 1}$, $\hat{n}_{s\theta 1}$, $\hat{q}_{s1}$ ve $\hat{m}_{s1}$ katsayıları $\tau=h/a$, $\beta=h/H$ ve $\alpha=H/a$ 'nın değişik değerleri için Şekil 2.16-20'dedir. Bu şekillerden anlaşıldığı gibi, çembersel gerilme N_θ , H/a 'nın küçük değerleri için en büyük değerini almaktadır. Buna karşılık H/a büyüdükçe $N_{s\theta}$ etkili olmaktadır.



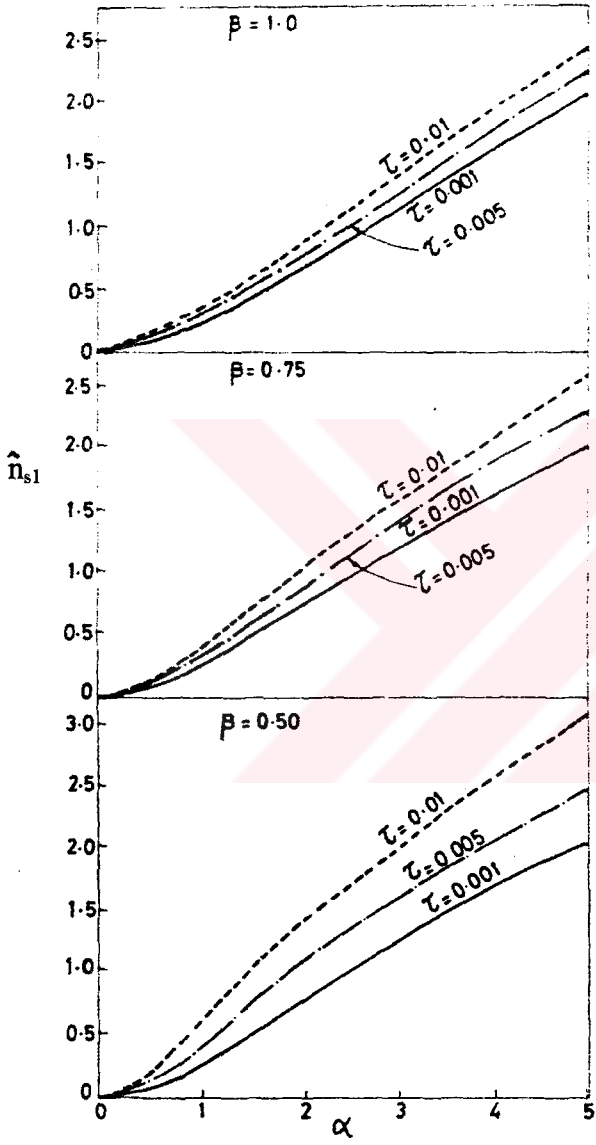
Şekil 2.15: 1. moda ait konvektif gerilme katsayıları

Sıvı yüzeylerindeki maksimum düşey deplasman, sıvı dalgalanmasının ilk üç modu için şöyle yazılabilir:

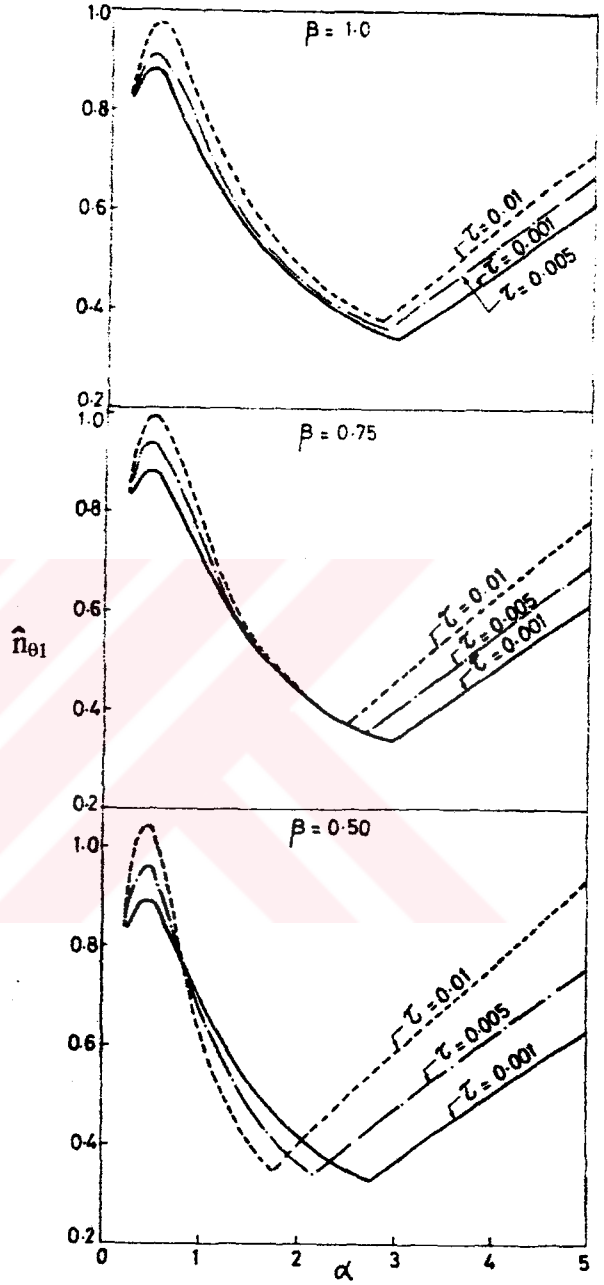
$$d_{\max} = \frac{1}{\rho_L \cdot g} \cdot [c_{c1}^2(1.0) \cdot A_{c1}^2 + c_{c2}^2(1.0) \cdot A_{c2}^2 + c_{c3}^2(1.0) \cdot A_{c3}^2]^{1/2} \cdot \rho_L \cdot h \quad (2.39)$$

$$= \frac{h}{g} \sqrt{\sum_{j=1}^3 c_{cj}^2(1.0) \cdot A_{cj}^2} \quad (2.40)$$

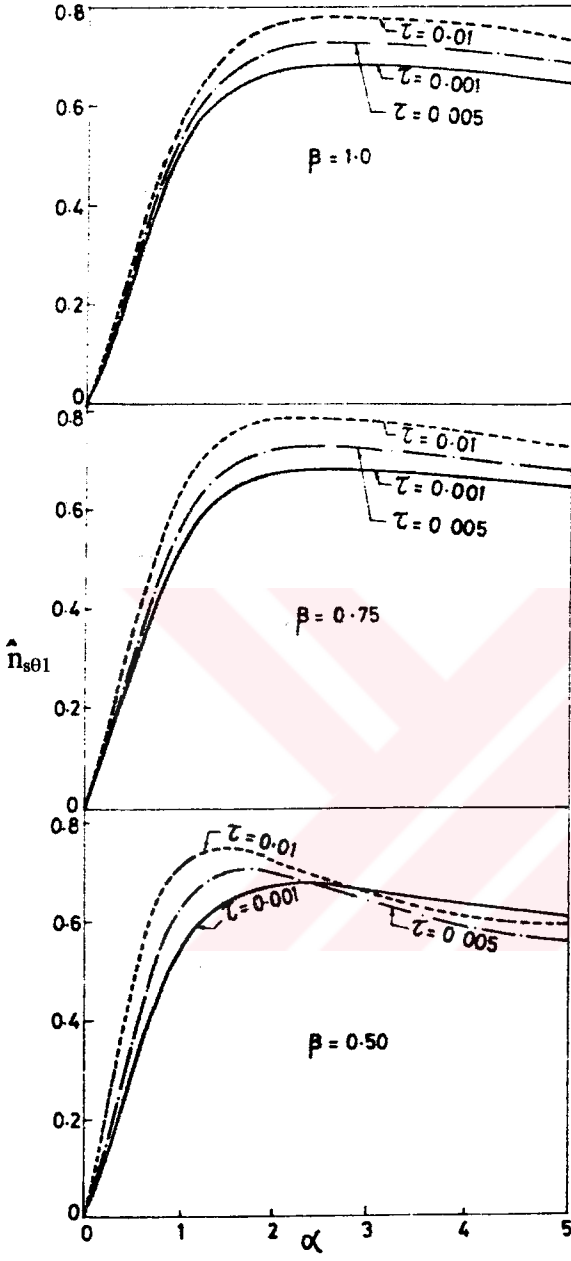
$c_{cj}(1.0)$, j. konvektif moda ait duvar basınç katsayısının serbest sıvı yüzeyindeki değeridir. j=1, 2, 3 için H/a'ya bağlı $c_{cj}(1.0)$ değerleri şöyle yazılabilir:



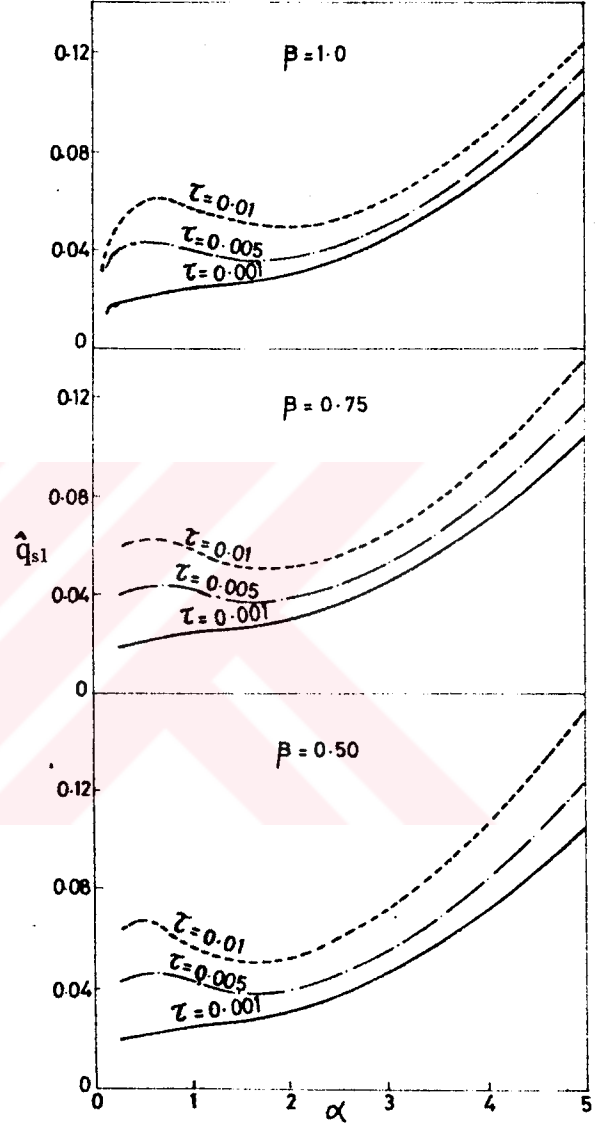
Şekil 2.16: 1.moda ait impulsif
eksenel gerilme katsayıları



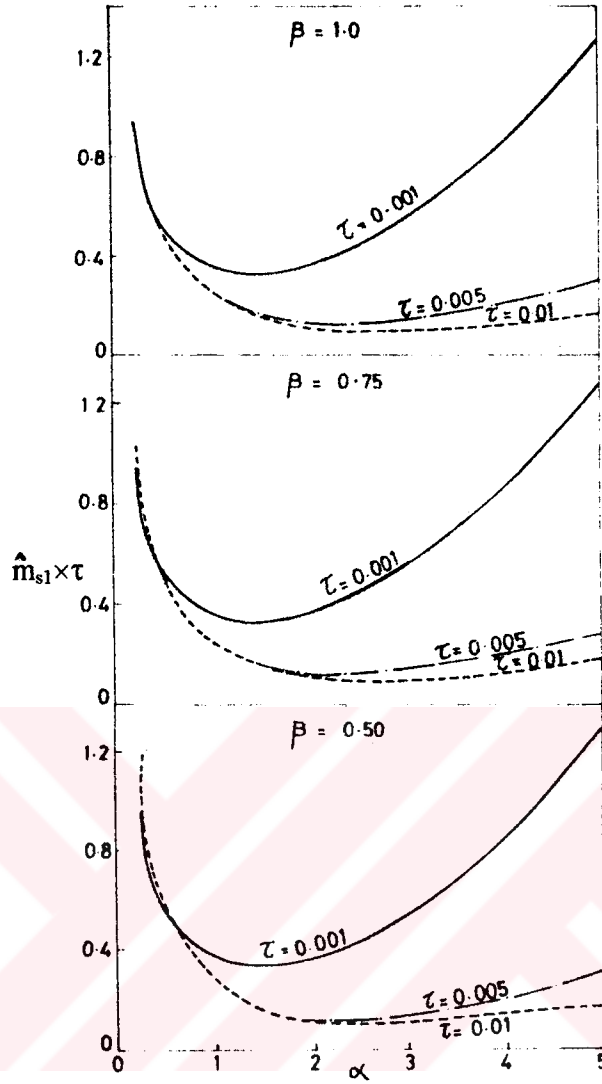
Şekil 2.17: 1.moda ait impulsif
çembersel gerilme katsayıları.



Şekil 2.18: 1. moda ait impulsif
mambran kayma
gerilmesi katsayıları



Şekil 2.19: 1. moda ait impulsif,
eksene dik kayma
gerilmesi katsayıları



Şekil 2.20: 1. moda ait impulsif moment katsayıları

$$c_{c1}(1.0) = 0.840(H/a)^{-0.998} \cong 0.840/(H/a) \quad (2.41.a)$$

$$c_{c2}(1.0) = 0.075(H/a)^{-0.998} \cong 0.075/(H/a) \quad (2.41.b)$$

$$c_{c3}(1.0) = 0.030(H/a)^{-0.998} \cong 0.030/(H/a) \quad (2.41.c)$$

(2.41) ifadeleri (2.40)'ta yerine konulursa;

$$\frac{d_{\max}}{a} = \sqrt{\frac{(0.840A_{01})^2 + (0.075A_{02})^2 + (0.030A_{03})^2}{g^2}} \quad (2.42.a)$$

Yalnız 1. moda ait A_{01} değerleri kullanılarak, daha basit bir ifade olan;

$$\frac{d_{\max}}{a} = \frac{0.831A_{01}}{g} \quad (2.42.b)$$

ifadesi, yüzeysel sıvı deplasmanının tank esnekliğinden etkilenmediği düşünülerek kullanılabilir.



BÖLÜM 3

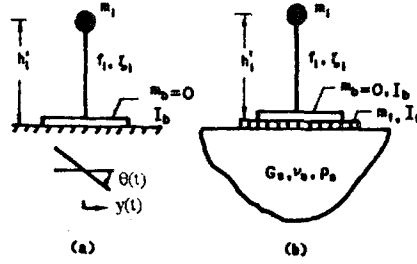
ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİ

Zemine rijit ve esnek bağlı iki aynı yapının zemin hareketi sırasındaki davranışları genelde farklıdır. Esnek bağlı yapı daha fazla serbestlik derecesine sahiptir. Dolayısıyla rijit bağlı yapıya göre daha değişik tepki karakteristikleri vardır. Rijit bağlı yapının temel hareketi, serbest zemin hareketiyle aynıdır. Esnek bağlı yapının temel hareketi, zeminle arasındaki etkileşim nedeniyle temel hareketinden farklılık gösterir ve bu harekete bir dönme eklemek gerekir. Bu dönme, sallanma hareketinden ileri gelir. Bu sallanma bileşeninin uzun tanklarda ve çok esnek zeminlerde etkisi daha da önemlidir. Esnek bağlı yapının diğer bir önemi, yapının titreşim enerjisinin bir kısmının bağ ortamında dalgalar halinde yayılıp emilmesidir. Bu yayılma rijit bağlı yapılarda yoktur.

3.1. Rijit ve Elastik Bağlı Sistemlerin Modeli:

Şekil 3.1.a'da m_i kütlesi, esnek bir çubukla rijit ve yatay bir elemana bağlıdır. Bu eleman, daha önce de bahsedildiği gibi I_b atalet momentine sahiptir. Kütlesi sıfırdır. Çubuğun frekansı f_i ve sönümü ζ_i 'dir. Şekil 3.1.a'nın temsil ettiği sistemde kesme kuvveti ve yatay elemanla zemin arasındaki moment, (2.18-20) ile; $A_i(t)$ ve $A_i'(t)$ ise (2.21) ve (2.22) ile hesaplanabilir. Şekil 3.1.b ise elastik bağlı sistemi temsil eder. Bu durumda çubuk, m_f kütleli ve I_f atalet momenti rijit bir dairesel temele bağlıdır. Elastik bağlı sistemin $A_i(t)$ ve $A_i'(t)$ sözde-ivmeleri bu durum

için belirlenmelidir. Sözde-ivmeler belirlendikten sonra moment ve kesme kuvvetleri, aynı ifadeler kullanılarak elde edilebilir.



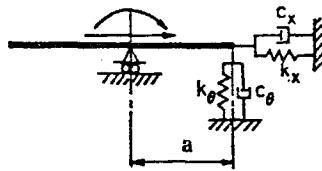
Şekil 3.1: İmpulsif etki için sistemin modeli

Bu ikinci modelin avantajı, temel hareketinin serbest zemin hareketi cinsinden hesaplanmasını kolaylaştırmasıdır.

3.2. Zemin Ortamının Modeli:

Yatay ve sallanma hareketleri arasındaki küçük bağ ihmal edilerek zemin ortamı Şekil 3.2'deki gibi gösterilebilir. Şekildeki K_x ve K_θ yayları sırasıyla zeminin yatay ve dönme esnekliğini; c_x ve c_θ sönümleri ise yatay ve dönme enerji yayılmasını temsil etmektedir. Bu elemanların özellikleri yalnız temel-zemin sisteminin karakteristiklerine değil, aynı zamanda dinamik zorun frekansına da bağlıdır. Yatay dönme rijitlikleri K_x, K_θ şu şekilde belirlenir: Kuvvet-deplasman ilişkisi;

$$P_j = K_j \cdot u_j \quad (3.1)$$



Şekil 3.2: Temel-zemin sistemi

şeklinde yazılabilir.

$$K_j = K_{sj}(k_j(a_0, \nu) + i \cdot a_0 \cdot n_j(a_0, \nu)) \quad (3.2)$$

K_{sj} : j yönündeki statik rijitliktir.

$$K_{sx} = (8 \cdot G \cdot a)/(2-\nu) \quad (3.3)$$

$$K_{s\theta} = (8 \cdot G \cdot a^3)/(3(1-\nu)) \quad (3.4)$$

$$K_x = K_{sx}(k_x(a_0, \nu) + i \cdot a_0 \cdot n_x(a_0, \nu)) \quad (3.5)$$

$$K_\theta = K_{s\theta}(k_\theta(a_0, \nu) + i \cdot a_0 \cdot n_\theta(a_0, \nu)) \quad (3.6)$$

k_j ve n_j değerleri ν poisson oranı ve a_0 frekans parametresine bağlıdır.

$$a_0 = (\Omega \cdot a)/c_s \quad (3.7)$$

a , tankın yarıçapı; Ω , dinamik zorun dairesel doğal frekansı, c_s ise ortamda dalga yayılma hızıdır.

$$c_s = \sqrt{\frac{G_s}{\rho_s}} \quad (3.8)$$

G_s : Zemin ortamının elastisite modülü.

ρ_s : Zemin ortamının yoğunluğu.

Yatay zorlanmış temel için;

$$k_x = 1 \quad (3.9.a)$$

$$n_x = \alpha_1 \quad (3.9.b)$$

Sallanmaya maruz temel için;

$$k_0 = 1 - \beta_1((\beta_2 \cdot a_0)^2 / (1 + (\beta_2 \cdot a_0)^2)) - \beta_3 \cdot a_0^2 \quad (3.10.a)$$

$$n_0 = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot ((\beta_2 \cdot a_0)^2 / (1 + (\beta_2 \cdot a_0)^2)) \quad (3.10.b)$$

Tablo 3.1’de değişik ν_s değerleri için α_i ve β_i değerleri verilmiştir.

Tablo 3.1: α_i ve β_i değerleri

Quantity	$\nu = 0$	$\nu = \frac{1}{2}$	$\nu = 0.45$	$\nu = 0.5$
α_1	0.775	0.65	0.60	0.60
β_1	0.525	0.5	0.45	0.4
β_2	0.8	0.8	0.8	0.8
β_3	0	0	0.023	0.027
γ_1	0.25	0.35	—	0
γ_2	1.0	0.8	—	0
γ_3	0	0	—	0.17
γ_4	0.85	0.75	—	0.85

(3.5) ve (3.6)’da k_j ve n_j ’yi içeren tüm paranteze birden α_j denirse;

$$K_x = K_{sx} \cdot \alpha_x \quad (3.11)$$

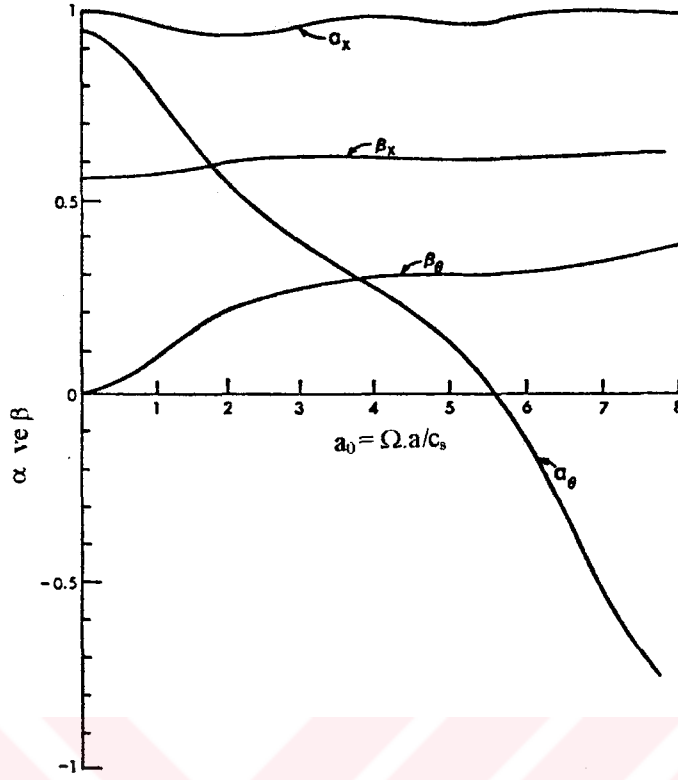
$$K_0 = K_{s0} \cdot \alpha_0 \quad (3.12)$$

sönümler için de;

$$c_x = \beta_x \cdot ((K_{sx} \cdot a) / c_s) \quad (3.13)$$

$$c_0 = \beta_0 \cdot ((K_{sx} \cdot a) / c_s) \quad (3.14)$$

yazılabilir. $\nu_s=0.45$ için α_j ve β_j değerleri Şekil 3.3’tedir.



Şekil 3.3: Temel rijitlik ve sönüm katsayıları

Şekilden de görüldüğü gibi α_x ve β_x katsayıları a_0 'dan bağımsızdır. Fakat α_e ve β_e , a_0 'ın değişimine karşı duyarlıdır. Ayrıca, özellikle a_0 'ın küçük değerleri için β_e , β_x 'ten çok küçüktür. Demek ki, temelin yatay yöndeki sönümü daha büyüktür.

3.3. Viskoelastik Ortam:

Viskoelastik ortam iki şekilde idealize edilir: i) Standart Voight, ii) Hysteretic solid. Viskoelastik ortamda zemin materyalin sönümü $\Delta w/w$ göz önünde tutulur. Elastik ortamda bu sönüm sıfırdır. Bu sönüm, temelin sönüm kapasitesini artırır.

Burada, harmonik zora maruz viskoelastik ortam üzerinde durulacak. Harmonik zora maruz ortamda basınç-gerilme ilişkisi;

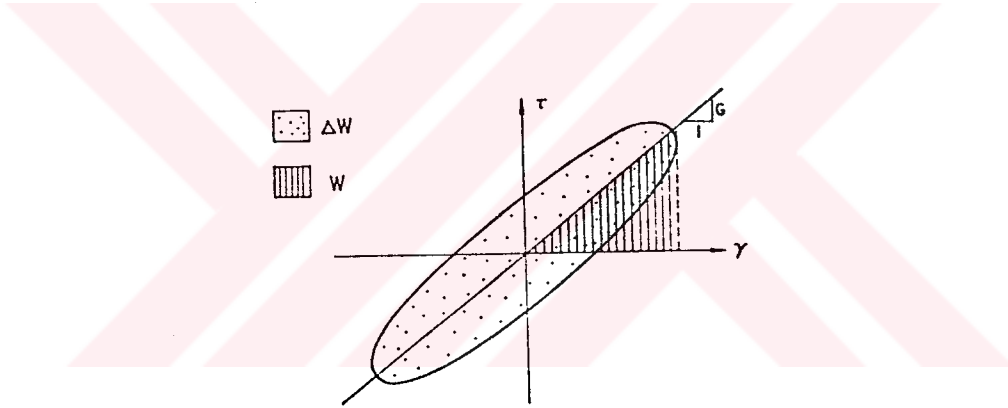
$$\tau = \tilde{G} \cdot \gamma \quad (3.15)$$

ile verilir.

$$\tilde{G} = G(1 + i(\Omega \cdot G')/G) \quad (3.16)$$

$i=(-1)^{1/2}$ ve Ω , zorun dairesel frekansıdır. G ve G' sırasıyla elastik ve viskoelastik ortamın elastisite modülüdür. G' , basınç-gerilme elipsinin özelliklerine bağlıdır.(Şekil 3.4)

$$\Delta w/w = 2\pi \cdot ((\Omega \cdot G')/G) \quad (3.17)$$



Şekil 3.4: Viskoelastik ortam için basınç-gerilme elipsi.

Şekil 3.4'te Δw elips oranı; w ise, viskoelastik malzemede basınç ve gerilmenin aynı büyüklüklerine karşılık gelen ve elastik malzemede depo edilen gerilme enerjisi.

“Voight solid” ve “hysteretic solid” arasındaki farklılık G' 'nden dolayıdır. “Voight solid”’de G' sabit düşünülür. Bu durumda $\Delta w/w$ Ω ile orantılıdır. “Hysteretic solid”’de $\Omega \cdot G'$ sabittir. Yani $\Delta w/w$, Ω 'dan bağımsızdır. Bu ikinci durum için;

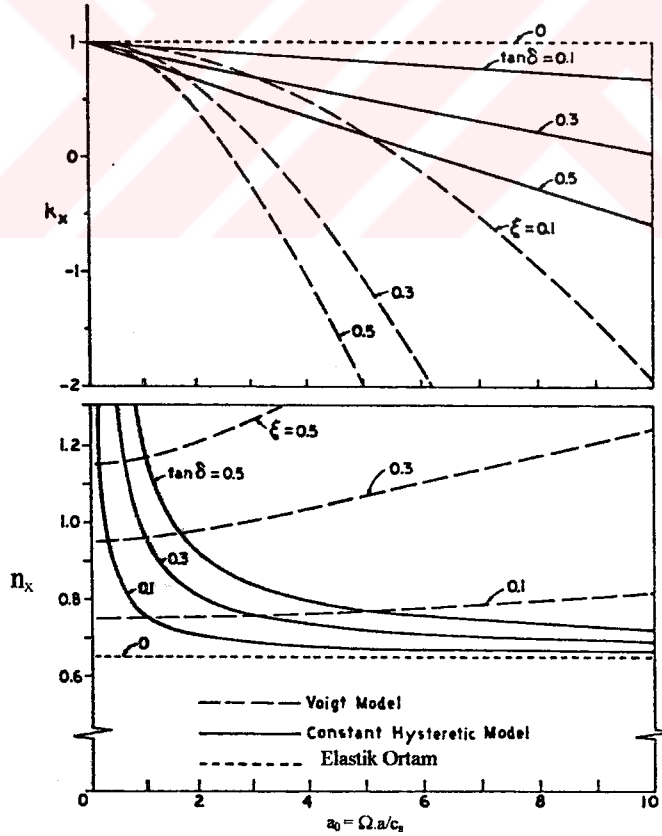
$$\Delta w/w = 2\pi \cdot \tan \delta \quad (3.18)$$

şeklinde yazılabilir. “Voight solid” için;

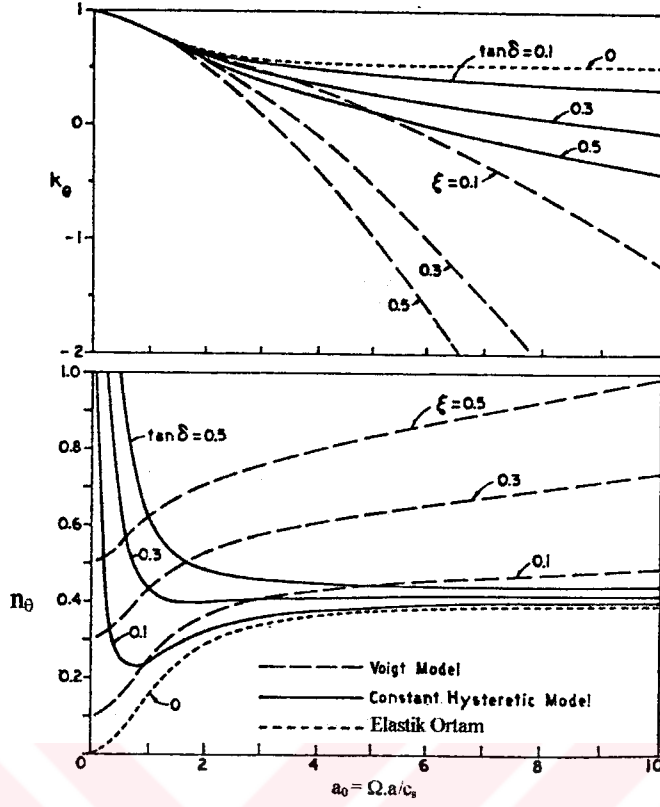
$$\xi = (1/a_0) \cdot \tan \delta \quad (3.19)$$

ifadesi verilir. Küçük gerilmelerde $\Delta w/w$ 0.1π 'den küçüktür. Büyük şiddetli depremlerde ise 0.6π veya 0.8π olabilir.

Şekil 3.5 ve 3.6'da elastik ve viskoelastik ortamlar için k_x , k_θ , n_x ve n_θ değerleri verilmektedir. Elastik ortamda $\tan \delta = 0$ 'dır.



Şekil 3.5: Viskoelastik ortam için k_x ve n_x değerleri ($\nu_s = 1/3$)



Şekil 3.6: Viskoelastik ortam için k_θ ve n_θ değerleri ($v_s=1/3$)

Şekillerden anlaşılacağı üzere, zemin materyalinin sönümü, k_j rijitliğini azaltmakta, buna karşılık n_j sönüm katsayısını arttırmaktadır.

3.4. Zemin-Yapı Etkileşiminde Parametreler:

Zemin-yapı etkileşimi; yapı, temel ve zeminin özelliklerine, dinamik zorun karakteristiklerine bağlıdır. Bu faktörlerin etkileri boyutsuz parametrelerle açıklanabilir.

1) Dalga parametresi;

$$\sigma = c_s/(f.h) \quad (3.20)$$

f , sistemin doğal frekansıdır. c_s ve h daha önce açıklanmıştır.

2) h/a oranı,

3) f_c/f oranı. f_c , dinamik zorun doğal frekansıdır. Harmonik zor için $f_c = \Omega/2\pi$ 'dir. f_{11} 'de t_1 , zorun zaman karakteristiğidir.

Dalga parametresi σ 'ya temel ve yapının bağıl rijitlik ölçüsü olarak bakılabilir. Temel doğal frekansının yapı yüksekliğiyle ters orantılı olduğu çok katlı yapılarda (3.20)'nin yalnız c_s 'e bağlı olduğu düşünülebilir. h yüksekliği yaklaşık 3m ve yapının temel doğal periyodu ters orantıdan dolayı 1/3 alınırsa;

$$\sigma = 0.111.c_s \quad (3.21)$$

yazılabilir. Daha önce a_0 değeri (3.7) ile ifade edilmişti. (3.20) ve (3.21) kullanılarak bu ifade;

$$a_0 = (2\pi/\sigma)(\Omega/\omega)(a/h) \quad (3.22)$$

şeklini alır. $\omega = 2\pi f$, sistemin dairesel doğal frekansıdır.

Diğer parametreler şunlardır;

* Yapı ve bağ ortamının bağıl yoğunluğu;

$$\gamma = m/(\rho_s.\pi.a^2.h) \quad (3.23)$$

* m_0/m , temel kütesinin yapı kütesine oranı.

* ζ , yapının kritik sönümü.

* ν_s , bağ ortamının poisson oranı.

Yapı kütlesi m 'nin yanında temel kütlesi m_0 ihmal edilebilir.

3.5. Temelin Etkili (efektif) Hareketi:

Zemin yüzeyinin serbest hareketiyle temel hareketi arasındaki ilişki zemin-yapı etkileşiminde önemli bir adımdır. Sisteme etkiyen dinamik kuvvetleri ifade eden hareket denklemi;

$$m.\ddot{u} + c.\dot{u} + k.u = -m(\ddot{x} + h.\ddot{\theta}) \quad (3.24)$$

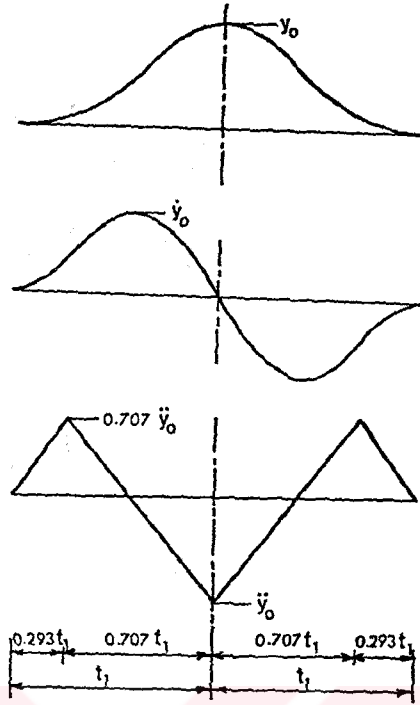
$$\ddot{x}_e = \ddot{x} + h.\ddot{\theta} \quad (3.25)$$

temelin etkili ivmesidir. x_e , zeminin serbest ivmesi $\ddot{y}$ 'nden farklıdır. (3.25)'deki $\ddot{x}$, temelin yatay ivmesi, $h.\ddot{\theta}$ ise dönme hareketine ait ivmedir. Şekil 3.7'deki gibi bir dinamik zora maruz bir sistem için hareket denkleminin çözümü sonucunda elde edilen ivme değerleri Şekil 3.8'dedir. Bu örnekte yapı enli yapı olup $h/a=1$ 'dir. Aynı şekilde, zeminin serbest hareketinin ivmesi noktalı çizgilerle gösterilmiştir. İlk diyagramdan anlaşılacağı üzere, zeminle temelin yatay ivme bileşeni arasındaki fark belirgindir. $\ddot{y}_0$, $\ddot{y}(t)$ 'nin maksimum değeridir.

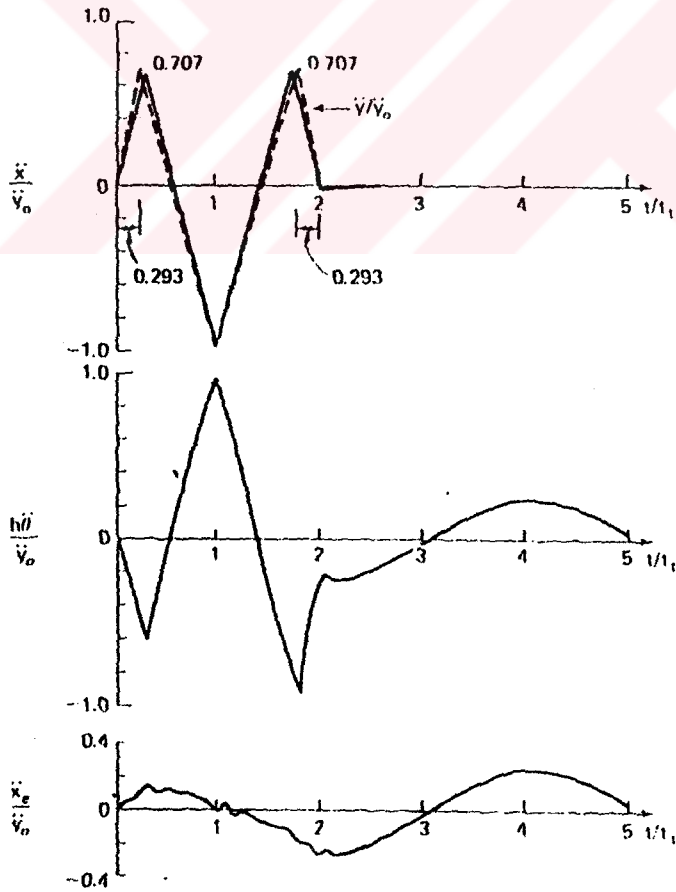
Şekil 3.9'da uzun bir tank ($h/a=5$) için ivme diyagramları verilmiştir. Birinci diyagramda $\ddot{x}$ ile $\ddot{y}$ hemen hemen aynıdır. Dönmeye ait ivme katkısının ise kısa tanka oranla daha fazla olduğu görülmektedir.

Şekil 3.10'da hız ve deplasman diyagramları verilmiştir. Bu diyagramlardan, sistemin tepkisinin temel hareketinin hız karakteristiklerine karşı duyarlılığı görülmektedir.

Şekil 3.10'dan, temel hareketinin hız diyagramında zirve değerlerinin daha düşük olduğu ve periyotlarının daha uzun olduğu görülür. Bu diyagramlardan, esnek bağlı yapıda davranışın rijit bağlı yapıdan farklı olduğu



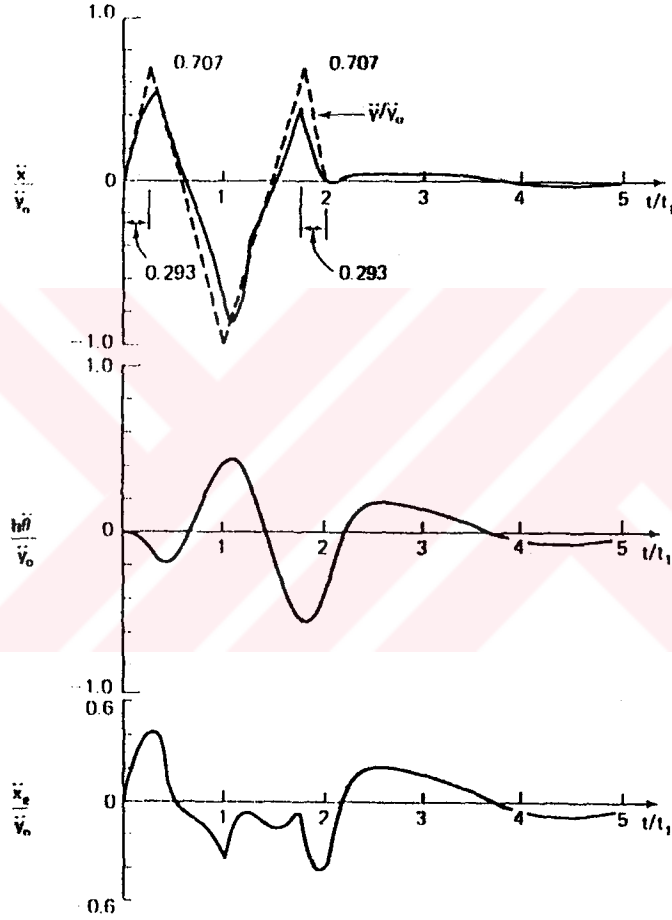
Şekil 3.7: Çarpma zoru



Şekil 3.8: Şekil 3.7'deki zora maruz enli tank için ivmeler; $h/a=1$,
 $\zeta = 0.02$, $\gamma = 0.15$, $f_{t1} = 0.6$

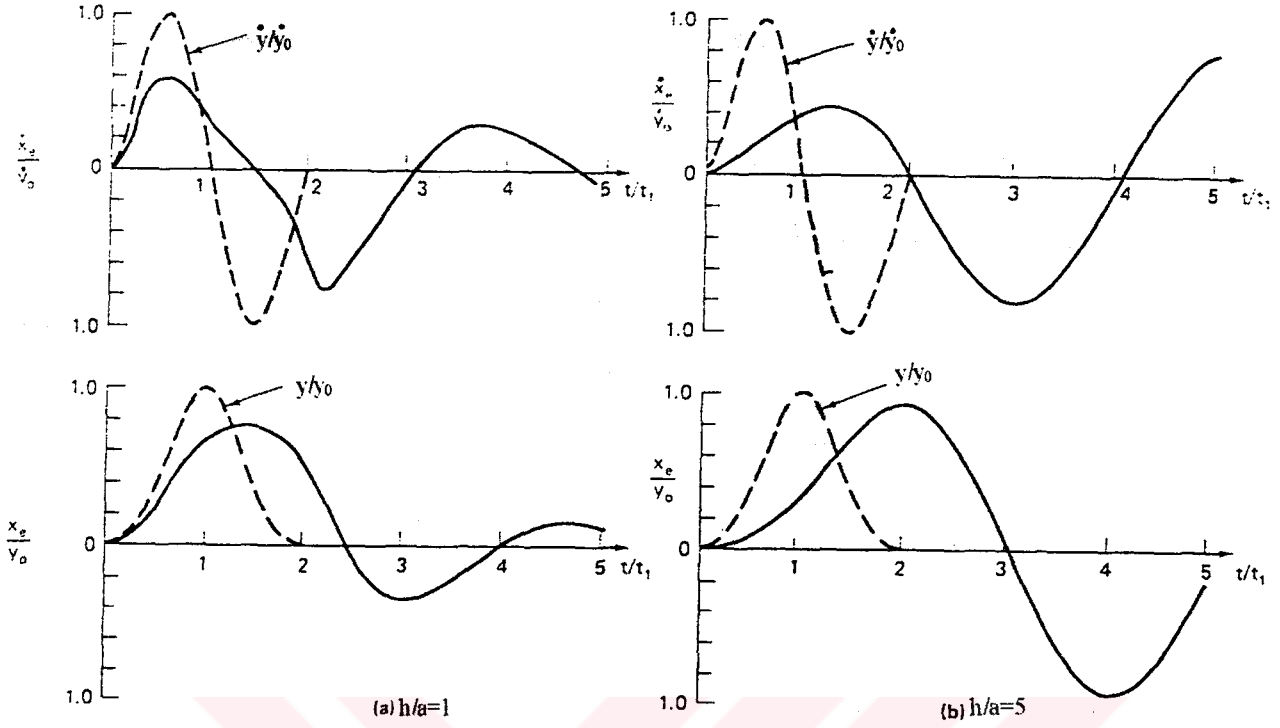
$\tan \delta = 0$,

söylenebilir. Esnek ve rijit bağlı sistemlerin hareketleri arası ilişki, yapının ve zemin ortamının özelliklerine bağlıdır. Sistemin doğal frekansının değişimi bu ilişkiyi de değiştirir. Temelin efektif hareketini tepki spektrumuyla karakterize etmek ve bu spektrayı kullanarak aynı serbest zemin hareketine maruz başka



Şekil 3.9: Şekil 3.7'deki zora maruz uzun tank için ivmeler; $h/a=5$, $\sigma=6.66$
 $\tan\delta = 0$, $\zeta = 0.02$, $\gamma = 0.15$, $f_{t1} = 0.6$

yapıların tepkisini belirlemek mümkün değildir. Bu durumda, bir yapının tepkisine zemin-yapı etkileşiminin etkisini belirlemek için izlenecek tek yol, yapının tepkisini direk olarak belirlemektir.



Şekil 3.10: Şekil 3.8 ve 3.9'daki yapıların hız ve deplasman diyagramları

3.6. Elastik Bağlı Sistemin Analizi:

Şekil 3.1.c'de yatay kuvvetlerin ve momentlerin denge denklemleri yazılırsa;

$$m_f \ddot{x}(t) + Q_i(t) + Q_s(t) = 0 \quad (3.26)$$

$$I_f \ddot{\theta}(t) + M_i'(t) + M_s(t) = 0 \quad (3.27)$$

Temelin yatay deplasmanı $x(t)$ ve dönmesi $\theta(t)$ biliniyor kabul edilir.

Q_s ve M_s , temel-zemin etkileşim yüzeyindeki kesme kuvveti ve momenttir.

(3.26) ve (3.27) denklemleri ya "zaman eksenine" ya da "frekans eksenine" çözülür. Zaman ekseninde çarpma tepki fonksiyonları kullanılır. Frekans ekseninde ise harmonik tepki belirlenir.

Harmonik tepki: Serbest zemin hareketi;

$$y(t) = Y \cdot e^{i\Omega t} \quad (3.28)$$

temelin yatay hareketi;

$$x(t) = X \cdot e^{i\Omega t} \quad (3.29)$$

temelin dönmesi ise;

$$\theta(t) = \theta \cdot e^{i\Omega t} \quad (3.30)$$

şeklinde yazılabilir. X , Y ve θ sanal değerli büyüklüklerdir. Yatay hareketle sallanma hareketi arasındaki küçük bağ ihmal edilerek Q_s ve M_s ;

$$Q_s(t) = K_x \cdot (X - Y) \cdot e^{i\Omega t} \quad (3.31)$$

$$M_s(t) = K_\theta \cdot \theta \cdot e^{i\Omega t} \quad (3.32)$$

$(X - Y)$, temelle serbest zemin hareketinin bağıl deplasmanı olan $x(t)-y(t)$ 'yi ifade eder. $v_s=1/3$ için Tablo 3.1'den α ve β değerleri alınıp (3.9.a)-(3.10.b)'de yerine konursa;

$$k_x = 1 \quad (3.33)$$

$$n_x = 0.65 \quad (3.34)$$

$$k_\theta = 1 - 0.5((0.8a_0)^2/(1+(0.8a_0)^2)) \quad (3.35)$$

$$n_\theta = 0.4((0.8a_0)^2/(1+(0.8a_0)^2)) \quad (3.36)$$

elde edilir. Bu ifadeler (3.11) ve (3.12)'de yerine konarak K_x ve K_θ dinamik rijitlikleri elde edilir. Böylece (3.31) ve (3.32)'yle Q_s ve M_s elde edilir. İvme değerleri $\ddot{x}(t)$ ve $\ddot{\theta}(t)$;

$$\ddot{x}(t) = -\Omega^2 \cdot x \cdot e^{i\Omega t} \quad (3.37)$$

$$\ddot{\theta}(t) = -\Omega^2 \cdot \theta \cdot e^{i\Omega t} \quad (3.38)$$

Q_i ve M_i' değerleri (2.18)- (2.20)'den elde edilir. İfadelerdeki $A_i(t)$ ve $A_i'(t)$ ivmeleri için (2.4), (2.21) ve (2.22) kullanılarak;

$$A_i(t) = -\Omega^2 \cdot T_i \cdot (X + h_i \cdot \theta) \cdot e^{i\Omega t} \quad (3.39)$$

$$A_i'(t) = -\Omega^2 \cdot (T_i \cdot X + (I_b / (m_i \cdot (h_i')^2) + T_i) \cdot h_i' \cdot \theta) \cdot e^{i\Omega t} \quad (3.40)$$

T_i : Yapının transfer fonksiyonu olup;

$$T_i = 1 / (1 - (\Omega / \omega_i)^2 + i 2 \cdot \zeta_i \cdot (\Omega / \omega_i)) \quad (3.41)$$

ile tanımlanabilir. Temel hareketinin değerleri olan X ve θ değerleri;

$$\begin{bmatrix} K_x - m_i^* \cdot \Omega^2 & -m_i \cdot h_i' \cdot T_i \cdot \Omega^2 \\ -m_i \cdot h_i' \cdot T_i \cdot \Omega^2 & K_\theta - I_i^* \cdot \Omega^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_x \\ 0 \end{bmatrix} \cdot Y \quad (3.42)$$

denklem takımından elde edilebilir. Burada $m_i^* = m_f + m_i \cdot T_i$, sistemin etkili kütlesidir. $I_i^* = I_b + I_f + m_i \cdot (h_i')^2 \cdot T_i$, etkili atalet momentidir. Harmonik tepkide hesap adımları şu şekilde özetlenebilir:

(a) (3.42)'den X ve θ genlikleri bulunur.

(b) (3.39) ve (3.40)'tan $A_i(t)$ ve $A_i'(t)$ sözde-ivmeleri bulunur.

(c) (2.18)-(2.20) ile tepkiler hesaplanır. Maksimum tepkiler için A_i ve A_i' maksimum sözde-ivmeleri kullanılır.

3.7. Elastik Bağlı Sistemin Tepkisi:

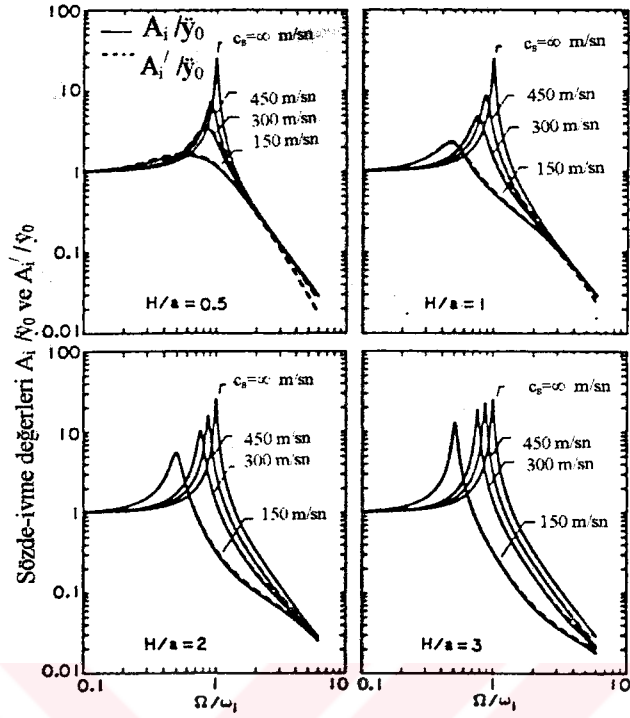
Tepkinin impulsif bileşeni $A_i(t)$ ve $A_i'(t)$ sözde-ivmeleri tarafından yönlendirilir. Zeminin maksimum yer hareketinin ivmesi $\ddot{y}_0$ ile sözde-ivmeler arası ilişki, harmonik ve sismik zora maruz sistemler için aşağıdadır:

3.7.1. Harmonik zorlanmış sistemler:

Şekil 3.11'de, $h/a=0.001$ olan çelik tank için değişik H/a değerlerine ait $A_i/\ddot{y}_0$ oranları verilmiştir. Dalga yayılma hızı c_s 'ye bağlı olarak tepkide değişme görülmektedir. $H/a=0.5$ olan enli tanklarda $c_s=\infty$, yani yapı rijit bağlı iken tepki çok fazladır. Buna karşılık c_s azaldıkça, yani zemin-yapı arası bağ esnekleştikçe tepki azalmaktadır. H/a oranı arttıkça tepkideki bu azalma önemini yitirmektedir. Çünkü uzun tanklarda sallanmaya maruz temelin bağ ortamındaki sönümü, yatay harekete maruz temelininkinden çok küçüktür.

Şekil 3.11'deki sistemde $\rho_L/\rho=0.127$ 'dir. Temel yarıçapı tankın yarıçapına eşittir. Tank temelinin kütlesi ihmal edilmiştir. Tankın poisson oranı $\nu=0.3$; zemin ortamının poisson oranı $\nu_s=1/3$ 'tür. Tank-sıvı sisteminin sönüm faktörü $\zeta_i=0.02$ 'dir.

Şekillerden görüldüğü üzere zemin-yapı etkileşimi arttıkça sistemin etkili doğal frekansı da azalmaktadır. Bu azalma uzun tanklarda daha fazladır. Çünkü uzun tanklarda sallanma bileşeninin katkısı daha büyüktür. (2.22)'de, $A_i'(t)$ ile $A_i(t)$ 'nin maksimum değerleri olan A_i' ve A_i pratikte aynıdır. Şekil 3.12 ve 3.13'te harmonik zora maruz tanklar için Q/Q_0 oranları verilmiştir. Bu tanklarda $h/a=0.001$, $\rho_L/\rho=0.127$, $\nu_s=1/3$ ve $\nu=0.30$ 'dur.



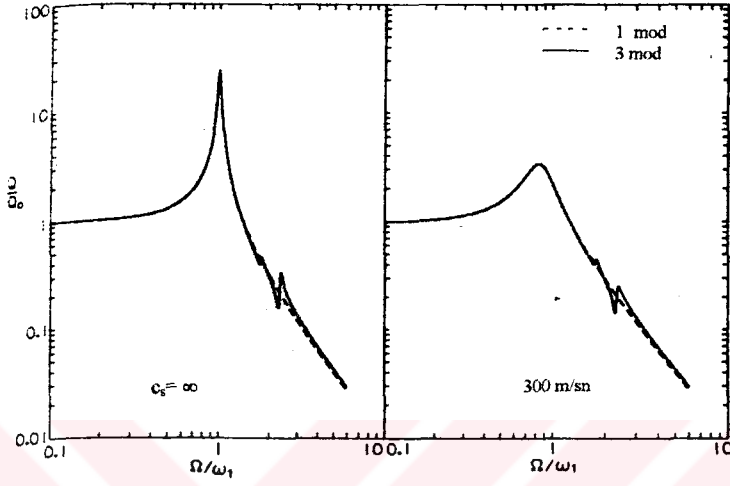
Şekil 3.11: Harmonik zorlanmış sistemlerde A_i ve A_i' değerleri

Tank-sıvı sisteminin sönümü $\zeta_1=0.02$ 'dir. Temelin kütlesi ihmal edilmiştir. Dalga yayılma hızı c_s 'nin iki değeri verilmiştir. Q , esnek bağlı tank için kesme kuvvetinin maksimum değeri, Q_0 ise rijit bağlı rijit tank için kesme kuvveti değeridir. Şekillerde sürekli çizgiler, titreşimin ilk üç modunun katkısı gözönünde bulundurularak elde edilmiştir. Noktalı çizgiler ise titreşimin temel moduna ait genlik değeridir.

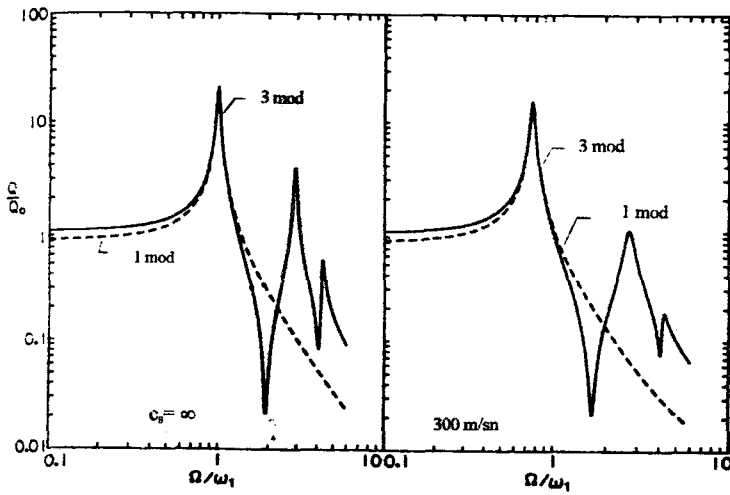
Şekil 3.14, 15, 16 ve 17'de ise, yine aynı zora maruz tanklar için M/M_0 ve M'/M_0' değerleri verilmiştir.

Şekillerden görüldüğü üzere $c_s=300$ m/sn olan enli tanklarda tepki azalmaktadır. Titreşimin ilk modunu veya ilk üç modunu kullanmak arasındaki fark sadece $\Omega/\omega_1 > 1$ olması durumunda söz konusudur (yani zorun frekansı Ω 'nın, sistemin frekansı ω_1 'den büyük olması durumunda). Temel mod ve ilk üç mod arasındaki fark özellikle uzun

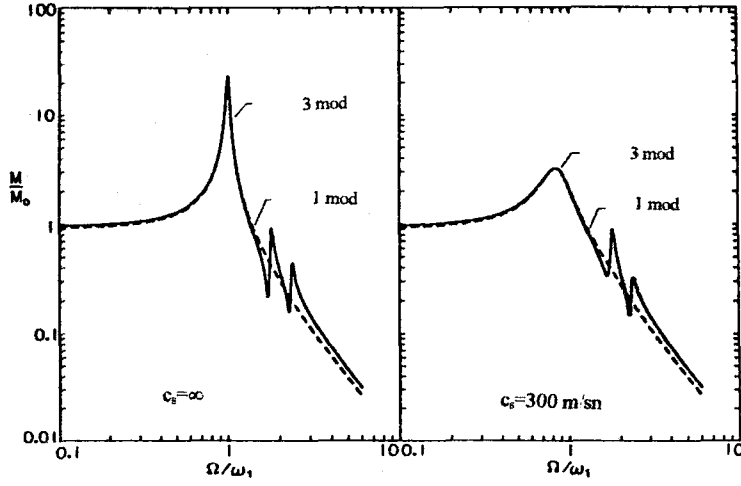
tanklarda ve kesme kuvvetlerinde gözlenmektedir. Şekil 2.9 ve 2.10'dan da hatırlanacağı üzere, uzun tanklarda modal kütleler, enli tanklarınkinden büyüktür.



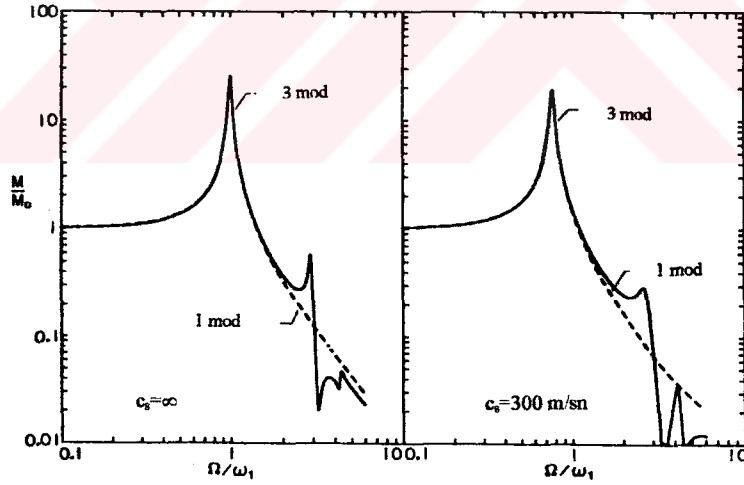
Şekil 3.12: Harmonik zora maruz tanklarda kesme kuvveti genlikleri;
 $H/a = 0.5$



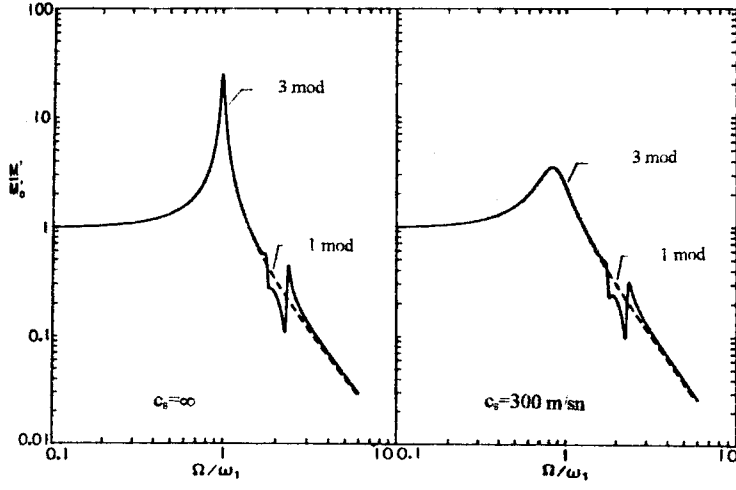
Şekil 3.13: Harmonik zora maruz tanklarda kesme kuvveti genlikleri;
 $H/a = 3$



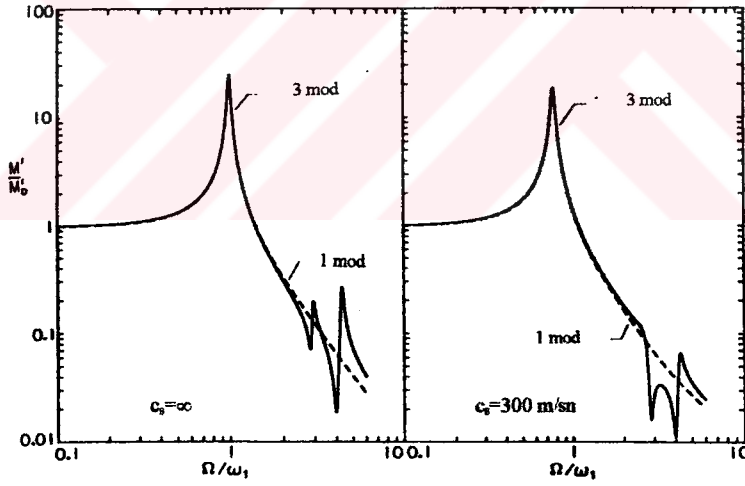
Şekil 3.14: Harmonik zora maruz tanklarda tank temeli üzerindeki moment genlikleri; $H/a = 0.5$



Şekil 3.15: Harmonik zora maruz tanklarda tank temeli üzerindeki moment genlikleri; $H/a = 3$



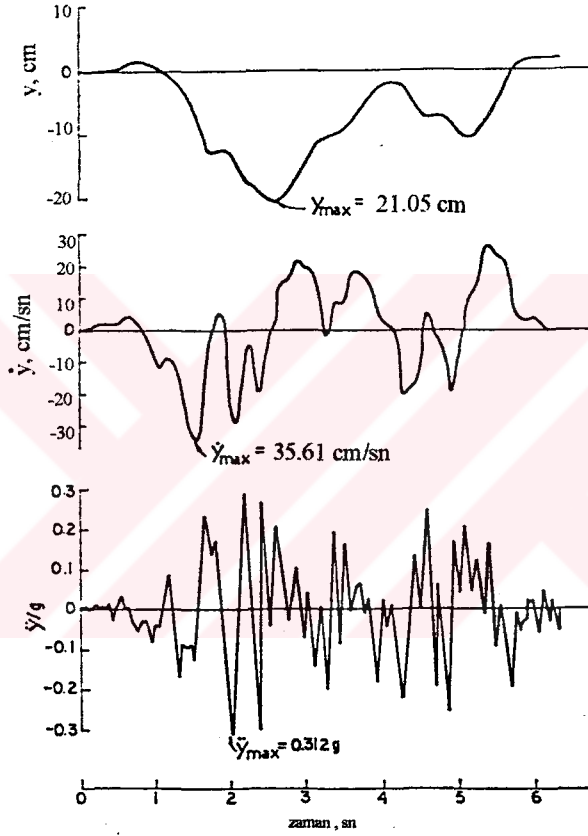
Şekil 3.16: Harmonik zora maruz tanklarda tank temeli altındaki moment genlikleri; $H/a = 0.5$



Şekil 3.17: Harmonik zora maruz tanklarda tank temeli altındaki moment genlikleri; $H/a = 3$

3.7.2. Sismik zorlanmış sistemler:

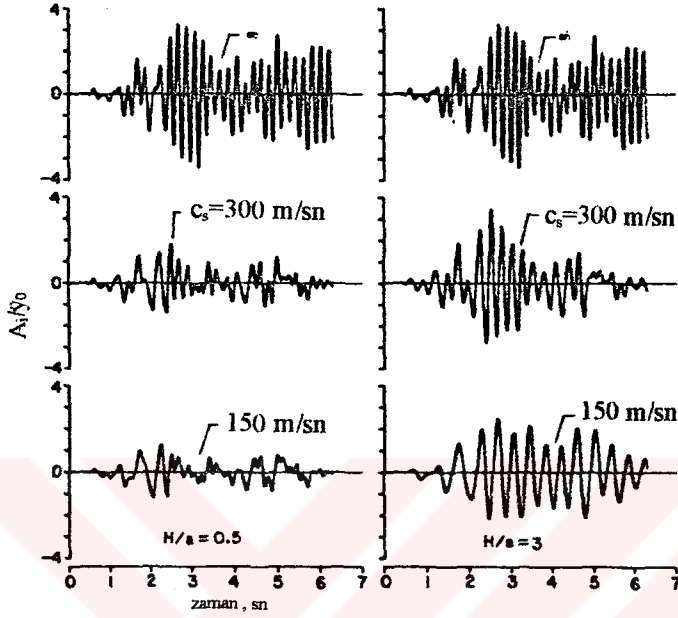
Şekil 3.18'de, $H/a=0.5$ ve 3 olan çelik tanklar için 1940 El Centro, Kaliforniya depreminin ilk 6.29 sn'sine ait kuzey-güney doğrultusundaki deplasman, hız ve ivme katsayıları görülmektedir.



Şekil 3.18: El Centro depremi kayıtları

Şekil 3.19'da ise El Centro depremine ait ivme değeri $\ddot{y}$, tankın sözde ivmesi $A_i(t)$ 'ye bağlı olarak değişik H/a ve c_s değerleri için verilmiştir. Bu çözümde tank-sıvı sisteminin doğal frekansı $f_i=5$ devir/sn'dir. Tıpkı harmonik zorlanmış sistemlerde olduğu gibi bu örnekte de c_s

küçüldükçe ($H/a=0.5$ için) tepki azalmaktadır. Bu azalma, $H/a=3$ 'te belirgin değildir.



Şekil 3.19: El Centro kayıtlarında zemin esnekliğinin $A_i(t)$ üzerinde etkisi

Tablo 3.2'de, 1940 Kaliforniya, El Centro depremine ait veriler için kesme kuvveti ve moment değerleri Şekil 3.11'dedir. Değerler, zemin-yapı etkileşimin olmadığı sisteme ait frekans f_1 kullanılarak, temel mod ve ilk üç mod için karşılaştırılmıştır. Tablodan görüldüğü gibi, a) $c_s=300$ m/sn'ye ait veriler esnek bağlı tanklara ait olup, rijit bağlı tanklarından küçüktür. Fakat frekansın 5 ve 7 dev/sn gibi yüksek değerlere çıkması durumunda, $H/a=2$ ve $H/a=3$ gibi uzun tanklarda tepki değerleri büyümektedir. Bilindiği gibi uzun tanklarda yayılmadan doğan sönüm değeri küçüktür. Bu da tepkinin büyümesine neden olmaktadır. Artıştaki diğer bir neden, yüksek frekanslı sistemlerin doğal frekansının azalmasının, sistemin sözde-ivmesini arttırmasıdır.

Tablo 3.2: El Centro depremine ait maksimum tepki değerleri;
 $h/a=0.001$; tank suyla doludur.

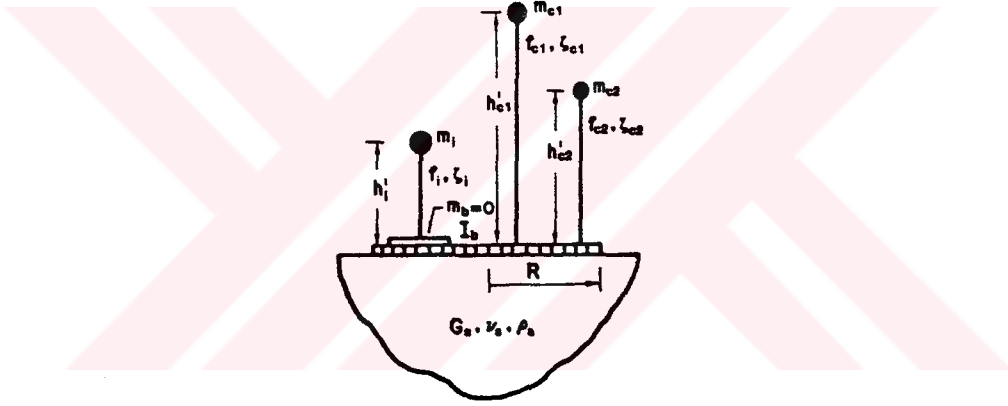
Tepki değerleri	c_s (m/sn)	$f_1=3$ dev/sn		$f_1=4.18$ dev/sn		$f_1=5$ dev/sn		$f_1=7$ dev/sn	
		1 mod	3 mod	1 mod	3 mod	1 mod	3 mod	1 mod	3 mod
		(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
(1)	(2)								
(a) $H/a = 0.5$									
Q/Q_0	∞	2.99	2.99	2.99	2.99	3.19	3.19	2.21	2.21
Q/Q_0	300	1.78	1.80	1.72	1.73	1.74	1.74	1.70	1.71
M/M_0	∞	2.86	2.83	2.87	2.82	3.05	3.07	2.11	2.13
M/M_0	300	1.70	1.73	1.65	1.67	1.67	1.63	1.63	1.63
M'/M'_0	∞	3.00	3.03	3.02	3.02	3.21	3.20	2.22	2.23
M'/M'_0	300	1.91	1.93	1.84	1.88	1.88	1.90	1.80	1.82
(b) $H/a = 1$									
Q/Q_0	∞	3.05	3.05	3.06	3.06	3.26	3.15	2.25	2.25
Q/Q_0	300	2.01	2.02	1.98	1.99	2.04	2.05	1.93	1.94
M/M_0	∞	3.13	3.18	3.14	3.16	3.34	3.35	2.31	2.30
M/M_0	300	2.06	2.05	2.03	2.00	2.09	2.11	1.98	1.97
M'/M'_0	∞	3.01	3.03	3.02	3.02	3.22	3.21	2.23	2.23
M'/M'_0	300	2.04	2.07	2.01	2.04	2.09	2.12	1.95	1.98
(c) $H/a = 2$									
Q/Q_0	∞	2.79	2.89	2.79	2.72	2.97	2.98	2.06	2.11
Q/Q_0	300	2.32	2.35	2.22	2.39	2.58	2.71	2.63	2.74
M/M_0	∞	3.24	3.20	3.25	3.29	3.46	3.47	2.39	2.38
M/M_0	300	2.69	2.76	2.58	2.53	3.00	2.98	3.06	3.08
M'/M'_0	∞	3.02	3.03	3.03	3.03	3.23	3.23	2.23	2.24
M'/M'_0	300	2.52	2.59	2.43	2.47	2.82	2.87	2.88	2.94
(d) $H/a = 3$									
Q/Q_0	∞	2.54	2.81	2.55	2.53	2.71	2.70	1.88	1.97
Q/Q_0	300	2.46	2.68	2.31	2.42	2.82	3.04	2.62	2.78
M/M_0	∞	3.17	3.14	3.18	3.19	3.38	3.39	2.34	2.33
M/M_0	300	3.07	3.09	2.88	2.94	3.51	3.54	3.27	3.34
M'/M'_0	∞	3.03	3.06	3.04	3.04	3.23	3.23	2.24	2.24
M'/M'_0	300	2.94	3.00	2.77	2.83	3.37	3.43	3.13	3.22

b) $H/a < 1.5$ olan enli tanklarda temel moda ait tepki değeriyle ilk üç moda ait tepki değeri arası fark çok küçüktür. c) Kesme kuvveti, yüksek modların katkısına karşı, momente göre daha duyarlıdır.

BÖLÜM 4

KONVEKTİF VE İMPULSİF ETKİLERİ BAĞIMSIZ DÜŞÜNME YAKLAŞIMI

Önceki bölümde, harmonik zora maruz bir tanka ait impulsif etkiler üzerinde durulmuş; impulsif etkilerin konvektif etkilerden bağımsız olduğu kabulü yapılmıştı. Bu iki etki beraber düşünülürse Şekil 3.1, konvektif bileşenin de eklenmesiyle Şekil 4.1'deki hali alır.



Şekil 4.1: İmpulsif ve konvektif bileşenlerin birlikte düşünüldüğü sistem modeli

Şeklin sağındaki iki eleman, sıvının konvektif etkisini temsil eder. Burada sıvı titreşiminin ilk iki modu düşünülmüştür. Pratikte bu yeterlidir. Bütün kütleler elastik ortama rijit bir temelle bağlıdır. Konvektif etkiye ait m_{cj} , h_{cj} , Δh_{cj} değerleri daha önce verilmişti. Bunlara ek olarak, j . dalgalanma moduna ait dairesel doğal frekans ω_{cj} ;

$$\omega_{cj} = \sqrt{\lambda_j \cdot \tanh\left(\lambda_j \cdot \frac{H}{a}\right) \cdot \frac{g}{a}} \quad (4.1)$$

g : yerçekimi ivmesidir. λ_j 'nin ilk üç değeri daha önce verilmişti.

İmpulsif etkilerle konvektif etkilerin Şekil 4.1 ışığında beraber düşünülmesi durumunda daha önce harmonik tepkideki ifadelere benzer şekilde şu ifadeler yazılabilir:

A_{cj} : Titreşimin j . dalgalanma moduna ait sözde-ivme olmak üzere (3.39)'e benzer şekilde;

$$A_{cj} = -\Omega^2 \cdot T_{cj} \cdot (X + h'_{cj} \cdot \theta) \cdot e^{i\Omega t} \quad (4.2)$$

$$T_{cj} = 1 / (1 - (\Omega/\omega_{cj})^2 + i2 \cdot \zeta_{cj}(\Omega/\omega_{cj})) \quad (4.3)$$

ζ_{cj} : Titreşimin j . dalgalanma moduna ait sönüm faktörü.

(3.42)'deki denklem takımlarında m_i^* ve I_i^* şu şekilde değişir:

$$m_i = m_f + m_i \cdot T_i + \sum_{j=1}^{\infty} m_{cj} \cdot T_{cj} \quad (4.4)$$

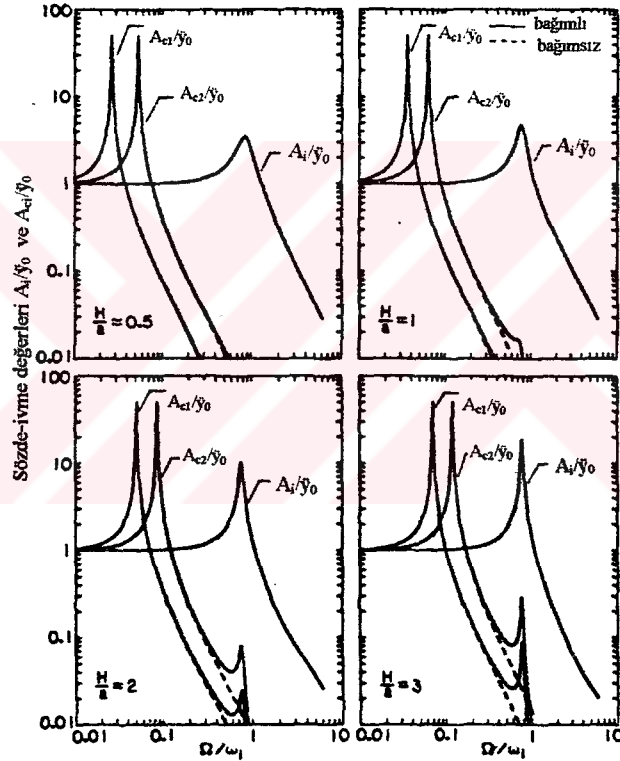
$$I_i^* = I_f + I_b + m_i \cdot (h'_i)^2 \cdot T_i + \sum_{j=1}^{\infty} m_{cj} \cdot (h'_{cj})^2 \cdot T_{cj} \quad (4.5)$$

Matristeki $k_{12} = k_{21}$ elemanı ise şu şekli alır:

$$k_{12} = -m_i \cdot h'_i \cdot T_i \cdot \Omega^2 - \sum_{j=1}^{\infty} m_{cj} \cdot h'_{cj} \cdot T_{cj} \cdot \Omega^2 \quad (4.6)$$

Artık (4.2) ve (4.3)'ten A_{cj} , (2.32) ve (2.33)'den $Q_c(t)$ ve $M_c'(t)$ bulunabilir.

Şekil 4.2’de konvektif ve impulsif etkiler, harmonik bir zor durumunda karşılaştırılmıştır. Konvektif etkinin ilk iki modu alınmıştır. Bu örnekte $h/a=0.001$, $\rho_L/\rho=0.127$, $\zeta_i=0.02$ ve $H=15$ m’dir. Dalganın 2. modu için $\zeta_{c1}=\zeta_{c2}=0.01$ ’dir. Bağ ortamı için dalga hızı $c_s=300$ m/sn’dir. Sürekli çizgiler, bileşenlerin birlikte düşünülmesi sonucu elde edilen tepkiye; noktalı çizgiler de ayrı düşünülmesi sonucu elde edilen tepkiye aittir.

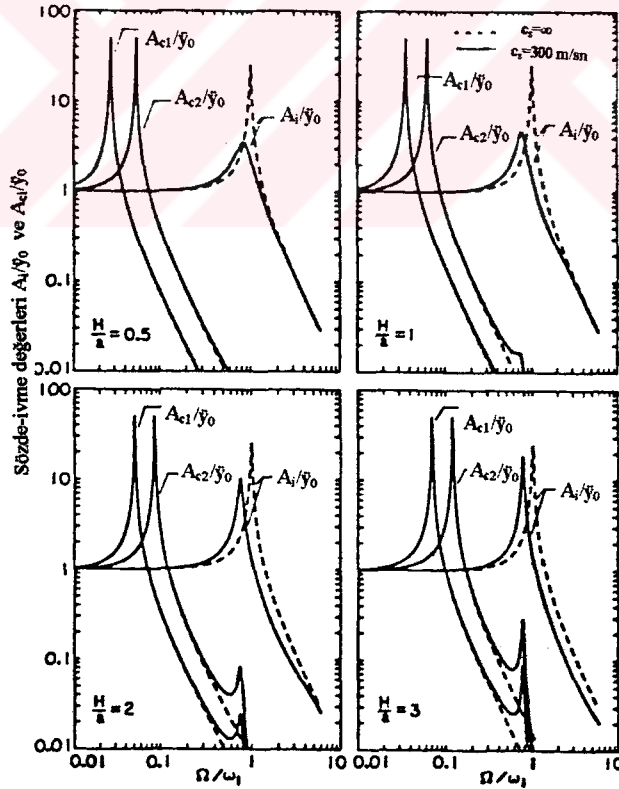


Şekil 4.2: Harmonik zora maruz sistem için A_i , A_{c1} ve A_{c2} sözde-ivmeleri

Şekilden görüldüğü üzere noktalı çizgilerle sürekli çizgiler hemen hemen aynıdır. Bu durumda konvektif etkiye ait çözümleri ayrı düşünmek mümkündür.

4.1. Zemin-Yapı Etkileşiminin Konvektif Bileşene Etkisi:

Şekil 4.2'ye, $c_s = \infty$, yani rijit bağlı tanka ait tepkiler eklenip Şekil 4.3'te karşılaştırılmıştır. Görüldüğü gibi, özellikle enli tanklarda zemin ortamının esnekliğinin artışı tepkiyi büyük ölçüde düşürmektedir. Bu düşüş uzun tanklarda gözlenmez. Daha önce de bahsedildiği gibi, uzun tanklarda sallanmaya maruz temelin titreşiminin zemin ortamındaki sönümü, yatay harekete maruz temelin sönümünden çok daha küçüktür. İmpulsif tepkideki bu düşüşe karşılık konvektif tepkinin ilk iki modunda bir değişme gözlenmemektedir. Bu durumda yapının zemine rijit veya esnek bağlı olmasının konvektif etki üzerinde bir tesiri yoktur. Konvektif etki, zemin-yapı etkileşimi düşünülmenden serbest zemin hareketi için hesaplanabilir. Bu hesapta tank duvarı ve bağ ortamı rijit kabul edilir.



Şekil 4.3: Harmonik zora maruz sistem için A_i , A_{c1} ve A_{c2} 'ye zemin-yapı etkileşiminin etkisi.

Esnek zemine bağlı tankların temellerinin sallanmasının önemi nedeniyle zemin-yapı etkileşiminin yüzeysel dalgalanmayı arttıracakı düşünölebilir. Fakat konvektif harekette sıvı, çok düşük frekanslı bir davranış gösterir ve onun yanında bağ ortamı çok katı rijittir. Öyle ki, sanki zemin-yapı etkileşimi yok gibidir.

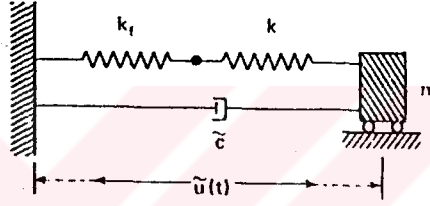
Konvektif etkiye ait etkili kütleler genelde impulsif kütlelerden küçüktür. Sismik zorun etkili frekansı genelde dalgalanma hareketinin doğal frekansından çok tank-sıvı sisteminin doğal frekansına daha çok yakındır.



BÖLÜM 5

TEK SERBESTLİK DERECELİ KÜTLE-YAY SİSTEMİ

Zemin-yapı sistemi Şekil 5.1'deki gibi kütle-yay sistemi şeklinde idealize edilebilir. Bu sistemin dairesel doğal frekansı $\tilde{p}=2\pi\tilde{f}$ ve sönümü $\tilde{\zeta}$ 'dir. k_f temel, k ise yapının esnekliğini temsil eder. Sönüm, tüm sistemin sönümüdür.



Şekil 5.1: Kütle-yay sistemi

Kütle-yay sistemindeki elemanlara ait $\tilde{f}$ ve $\tilde{\zeta}$, dolaylı yoldan yapıya ait f ve ζ 'yi temsil ederler ($\tilde{f}=\tilde{p}/2\pi=1/\tilde{T}$). Kütle-yay sisteminde m kütlesi yapının kütlesine eşittir. Zemin hareketi de serbest zemin hareketidir.

Kütle-yay sisteminde $\tilde{u}_0$, toplam maksimum yapısal deformasyon, u_0' ise bu deformasyonun yapıdaki bileşeni olsun. Maksimum yay kuvveti $\tilde{Q}_0$, u_0' cinsinden;

$$\tilde{Q}_0 = k \cdot u_0' = m \cdot (p^2 \cdot u_0') \quad (5.1)$$

veya $\tilde{u}_0$ cinsinden;

$$\tilde{Q}_0 = \tilde{k} \cdot \tilde{u}_0 = m \cdot (\tilde{p}^2 \cdot \tilde{u}_0) \quad (5.2)$$

şeklinde yazılabilir. $\tilde{k}=m \cdot \tilde{p}^2$ olup, iki yayın toplam rijitliğini temsil eder. $\tilde{p}^2 \cdot \tilde{u}_0$ ise kütle-yay sisteminin sözde-ivmesidir. (5.1) ve (5.2) birbirine eşitlenirse, yapının toplam deplasmanı u_0 ile deformasyonun yapıdaki bileşeni u_0' arasında;

$$\frac{u_0'}{\tilde{u}_0} = \left(\frac{\tilde{p}}{p} \right)^2 = \frac{1}{\left(\frac{\tilde{T}}{T} \right)^2} \quad (5.3)$$

şeklinde bir ilişki elde edilir.

Şekil 5.2'de, $h/a=5$ olan bir tankta, Şekil 3.7'de gösterilen zor için kesin çözümle kütle-yay sisteminin çözümü karşılaştırılmıştır. Tepki değerleri, değişik $c_s \cdot t_1/a$ için verilmiştir. Sönüm faktörü $\zeta=0.02$ 'dir. Spektradan görüldüğü gibi, kütle-yay sistemi kullanılarak elde edilen tepki değerleri gerçeğe çok yakındır. Bu durumda kütle-yay sisteminin yay kuvveti $\tilde{Q}_0$ 'ın, gerçek sisteme ait Q_0 'a eşit alınabileceği anlaşılır:

$$Q_0 = \tilde{Q}_0 \quad (5.4)$$

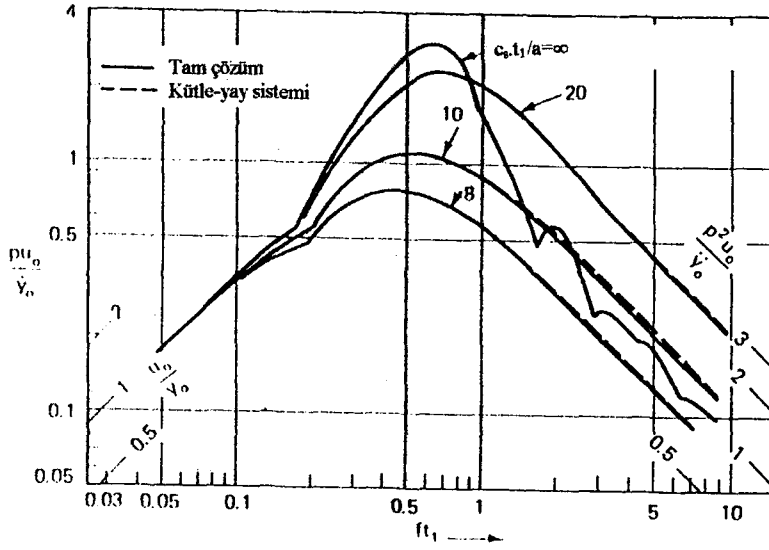
Aynı zamanda gerçek yapıya ait yapısal deformasyonun da, kütle-yay sistemindeki yapısal deformasyona eşit olduğu söylenebilir:

$$u_0 = u_0' \quad (5.5)$$

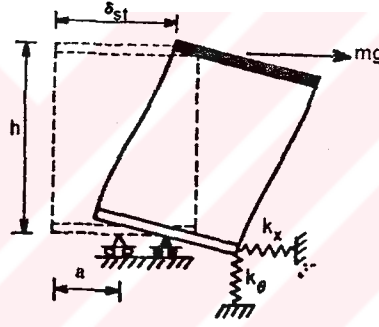
Bu durumda (5.3)'te u_0' yerine u_0 yazılarak;

$$u_0 = \left(\frac{\tilde{p}}{p} \right)^2 \cdot \tilde{u}_0 = \frac{\tilde{u}_0}{\left(\frac{\tilde{T}}{T} \right)^2} \quad (5.6)$$

elde edilir.



Şekil 5.2: Şekil 3.7'deki zor için kesin ve yaklaşık deformasyonların karşılaştırılması. $h/a=5$, $\tan\delta = 0$, $\zeta = 0.02$, $\gamma = 0.15$



Şekil 5.3: Sistemin statik deplasmanı.

Kütle-yay sisteminin sönümsüz doğal periyodu $\tilde{T}$ için;

$$\tilde{f} = \frac{1}{\tilde{T}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{\delta_{st}}} \quad (5.7)$$

formülü kullanılabilir. Burada g , yerçekimi ivmesidir. δ_{st} ise, Şekil 5.3'te gösterildiği gibi, $m \cdot g$ yatay kuvvetine maruz m kütleli sistemin yatay deplasmanıdır. δ_{st} değeri;

$$\delta_{st} = \left[\frac{1}{K} + \frac{1}{K_x} + \frac{1}{K_\theta} \cdot \frac{h^2}{a^2} \right] mg \quad (5.8)$$

ifadesiyle verilir. Burada ilk terim olan $(1/K).mg$, yapının deformasyonunu ($m.g=K.\delta_{st}$); ikinci terim olan $(1/K_x).mg$ temelin yatay deplasmanını; üçüncü terim olan $(1/K_\theta).(h^2/a^2).mg$ ise temelin dönmesini ifade eder. K_x ve K_θ dinamik rijitlikleri daha önce tanımlanmıştı. K_x ve K_θ değerleri, f' e ait rijitlikler kullanılarak elde edilebilir. Bu frekansa ait a_0 'ın hesaplanmasında, (3.22)'te $\omega=p$ alınır. a_0 'ın küçük değerleri için K_θ , K_x 'den çok küçüktür. $h/a \geq 1$ için K_θ 'nın δ_{st} 'ye katkısı bu nedenle K_x 'in katkısından büyüktür. Daha önce de söylendiği gibi, uzun tanklarda temelin dönmesi daha önemlidir.

(5.8)'in (5.7)'de yerine konulmasıyla, $2\pi f = (K/m)^{1/2}$ alınarak;

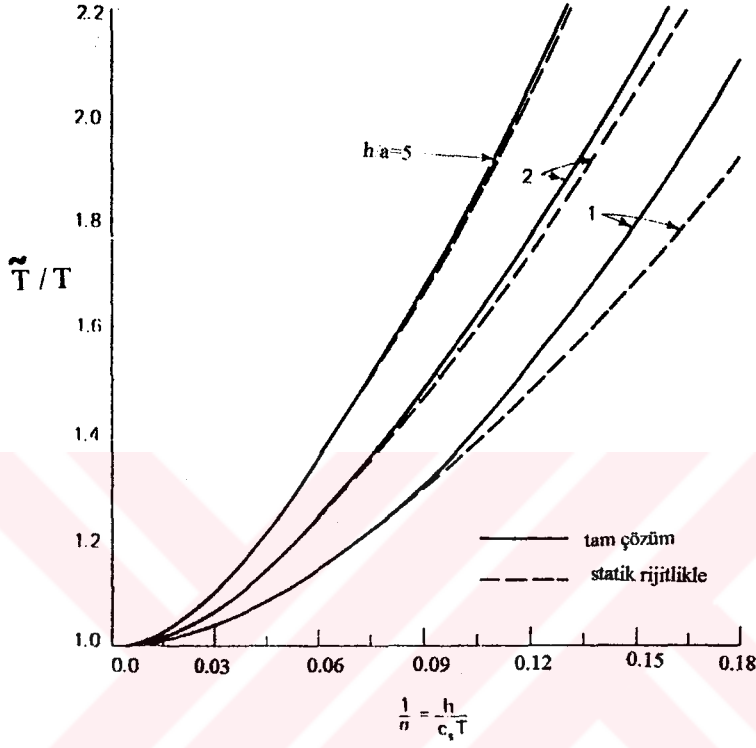
$$\frac{\tilde{f}}{f} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{K}{K_x} + \left(\frac{K}{K_\theta} \cdot \frac{h^2}{a^2} \right)}} \quad (5.9a)$$

ve;

$$\frac{\tilde{T}}{T} = \sqrt{1 + \frac{K}{K_x} + \left(\frac{K}{K_\theta} \cdot \frac{h^2}{a^2} \right)} \quad (5.9b)$$

yazılabilir. Bu ifadelerde, yapı kütlesi m 'nin yanında temel kütlesi m_0 'ın ihmal edilebileceği düşünülmüş; yarı-uzay ortamı elastik, yapının sönümü $\zeta=0$ kabul edilmiştir. Şekil 5.4'te, (5.9) ifadelerinde statik rijitliklerin kullanılması halinde, h/a 'nın değişik değerleri için $T/\tilde{T}$ 'nin nasıl değiştiği gösterilmiştir. Yatayda, dalga parametresi $1/\sigma$ vardır. h/a oranı arttıkça, yaklaşık hesap yönteminin doğruluğu da o oranda artmaktadır. $h/a=5$ için, özellikle $1/\sigma$ 'nın küçük değerlerinde, yani σ 'nın büyük olduğu daha rijit ortamlarda yaklaşım mükemmeldir.

Şekil 5.5’de, yoğunluk oranı γ ’nin 0.10 ve 0.20; poisson oranı ν ’nin 0.30 ve 0.45 değerleri için T oranları verilmiştir.



Şekil 5.4: Statik ve dinamik rijitliklerin kullanılması durumunda $\tilde{T}$ ’nin değişimi; $\tan \delta = 0$, $\gamma = 0.15$, $\nu = 0.45$

Yatay eksendeki boyutsuz parametre $\gamma^{1/2} \cdot \phi$ için;

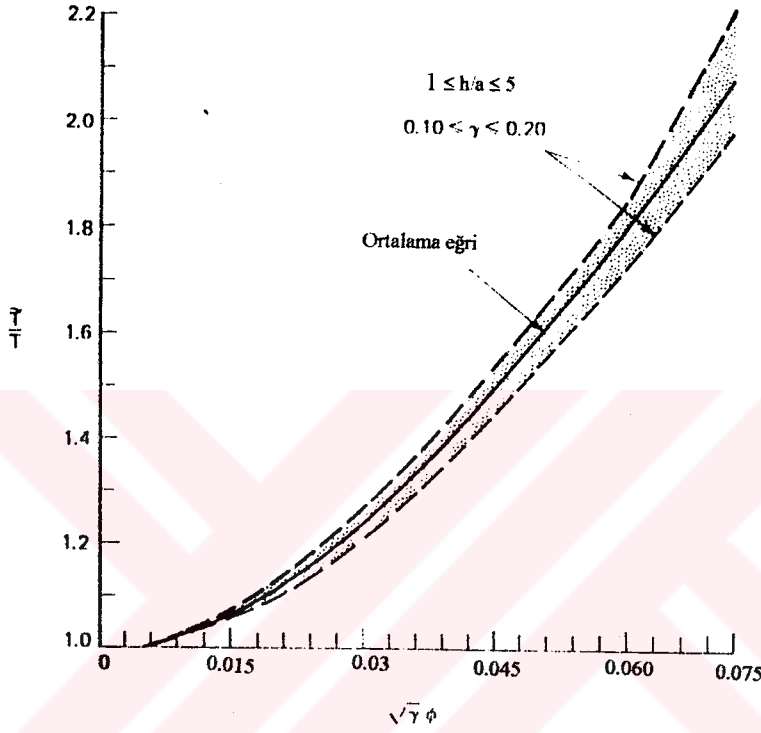
$$\phi = \frac{1}{\sigma} \cdot \left(\frac{h}{a} \right)^{1/4} = \frac{h}{c_s \cdot T} \cdot \left(\frac{h}{a} \right)^{1/4} \quad (5.10)$$

yazılabilir. Bu şekildeki taralı alan kullanılarak $\tilde{T}$ değeri iyi bir yaklaşıklıkla elde edilebilir.

$\tilde{\zeta}$ değeri:

Etkili sönüm $\tilde{\zeta}$ için;

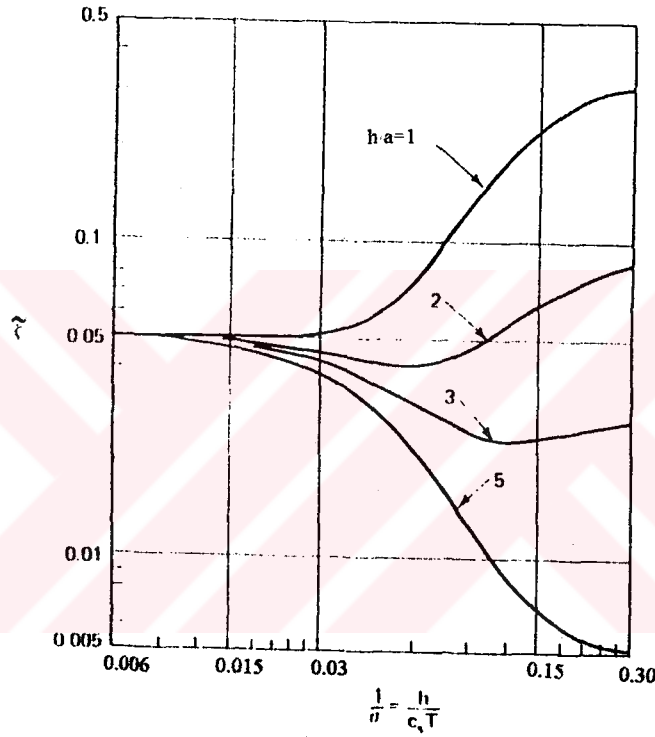
$$\tilde{\zeta} = \tilde{\zeta}_0 - \zeta / (\tilde{T}/T)^3 \quad (5.11)$$



Şekil 5.5: h/a 'nın değişik değerlerine ait bir aralık için $\tilde{T}$ değerleri;
 $\tan \delta = 0, \zeta = 0$

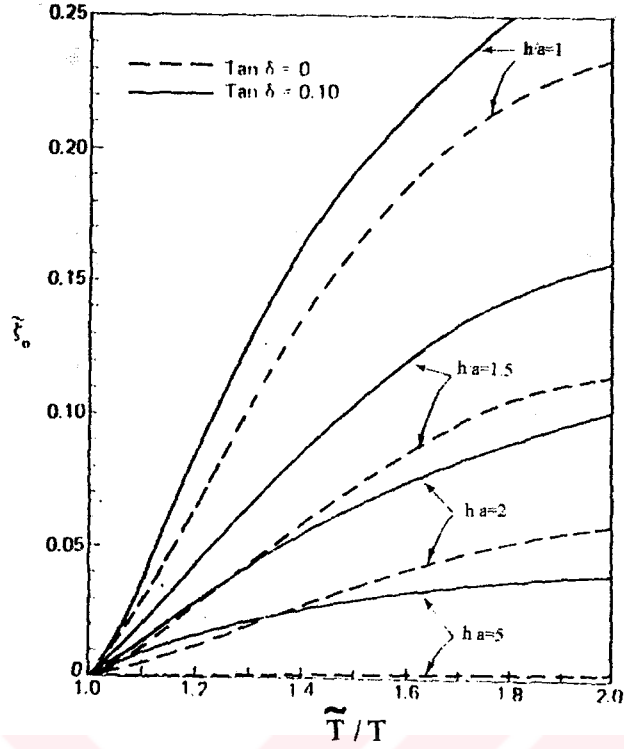
şeklinde bir ifade verilmiştir. $\tilde{\zeta}_0$, temele ait sönümü (temel elemanın kendi sönümü ve ortamda yayılmayla oluşan sönüm); ζ ise yapısal sönümü ifade eder. $\tilde{T} > T$ olduğu kabul edilir. Bu durumda yapı-temel etkileşiminin yapısal sönümü azalttığı düşünülür. $\tilde{T}/T$ oranı büyüdükçe bu azalma daha da önemli olur. Bu azalma, temelin sönümü $\tilde{\zeta}_0$ tarafından telafi edildiği sürece $\tilde{\zeta}$ sönümü, etkileşimin olmadığı sisteme ait ζ 'den küçüktür.

Şekil 5.6'da $\tilde{\zeta}$ 'nin h/a ve $1/\sigma$ ile değişimi verilmiştir. Etkileşimin olmadığı sistemde $\zeta=0.05$ 'tir. $1/\sigma$ sıfıra yaklaştıkça, yani ortam rijitleştikçe ζ ve $\tilde{\zeta}$ değeri 0.05'e yaklaşmaktadır. Önemli bir nokta da, uzun yapılar için $\tilde{\zeta}$ 'nin ζ 'den küçük olabileceğidir. Bunun sebebi temel sallanma hareketidir. Bu hareket, yapının atalet kuvvetini ve deformasyonunu artırır.



Şekil 5.6: Elastik ortama bağlı yapılar için $\tilde{\zeta}$, $\gamma=0.15$, $\zeta=0.05$

Temel sönümünün katkısını gösteren $\tilde{\zeta}_0$ 'ın değişik h/a , $\tan\delta$ değerleri için $\tilde{T}/T$ 'ye bağlı değerleri Şekil 5.7'dedir. Burada $\tan\delta=0$ elastik ortamı, $\tan\delta=0.10$ ise daha önce üzerinde durulan viskoelastik ortamı ifade eder. $\tan\delta=0$ olan elastik ortamdan yalnız yayılma sönümü vardır. $\tan\delta=0.10$ olan ortamda ise zemin malzemesinin kendi sönümü de söz konusudur. Bu da temelin sönümünü artırır. Sönüm artışı, h/a oranının azalmasıyla doğru orantılıdır.



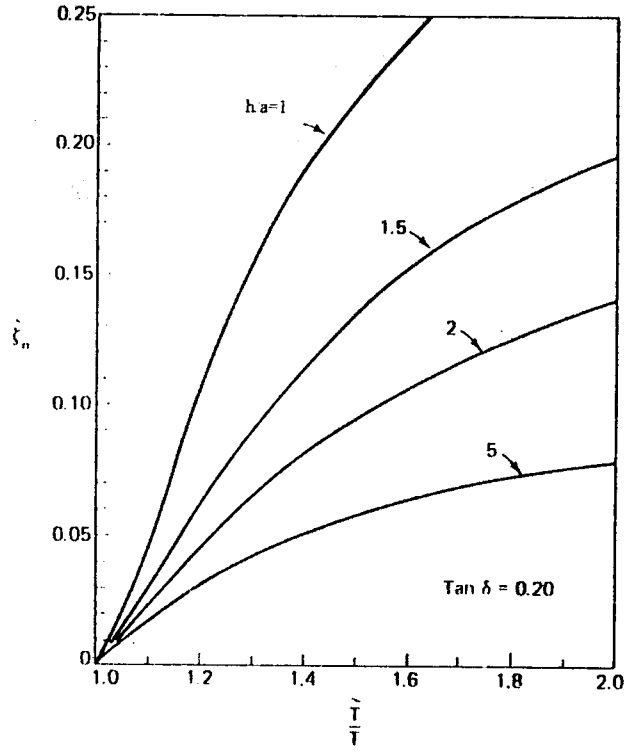
Şekil 5.7: Elastik ve viskoelastik ortama bağlı yapıların temele ait sönüm faktörü; $\gamma = 0.15$, $\zeta = 0$

Zemin malzemesine ait sönüm, özellikle uzun yapılar için çok önemlidir. Zira şekilde görüldüğü gibi $h/a=5$ için yayılma sönümü hemen hemen sıfırdır ve zemin malzemesine ait sönüm çok daha fazla önem taşımaktadır. Şekil 5.8'de $\tan\delta=0.20$ için h/a 'ya bağlı $\tilde{\zeta}_0$ değerleri verilmiştir.

Kütle-yay sistemi ve buna ait etkili periyot ve sönüm değerleri kullanılarak tepkinin belirlenmesinde özetle şu yol izlenir:

(a) Yapının periyodu T belirlenir. Boyutsuz dalga parametresi σ 'nın değerine göre zemin-yapı etkileşimine karar verilir. $\sigma > 66.6$ ise yapının temelının zemine rijit bağlı olduğu düşünülebilir. $\sigma < 66.6$ ise;

(b) Şekil 5.5'deki taralı alan kullanılarak $\tilde{T}$ belirlenir.



Şekil 5.8: Viskoelastik ortama bağlı yapıların temele ait sönüm faktörü; $\tan \delta = 0.20$, $\zeta = 0$, $\gamma = 0.15$

(c) δ ve ζ değerleri bulunur. Şekil 5.7'den temel sönümü $\tilde{\zeta}_0$ alınır.

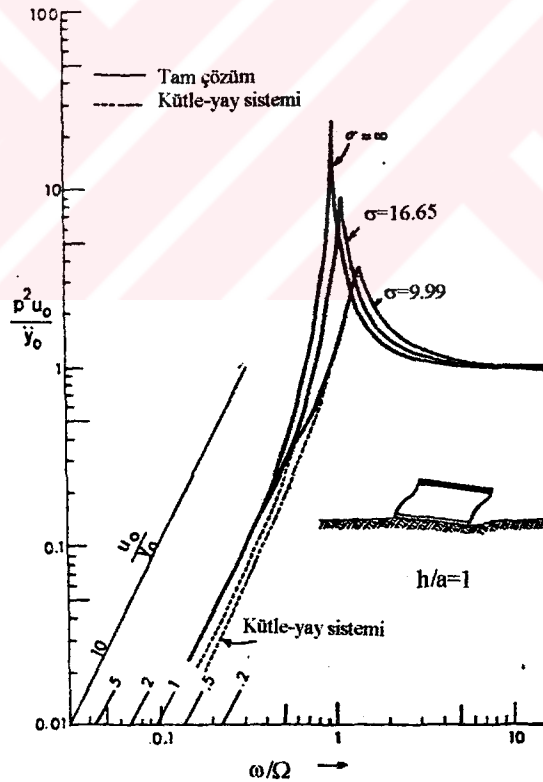
(d) (5.11)'den, yapının sönümü $\tilde{\zeta}$ hesaplanır. $\zeta > \tilde{\zeta}$ olursa $\zeta = \tilde{\zeta}$ alınır.

(e) Serbest zemin hareketine ait spektradan $\tilde{u}_0$ deformasyonu elde edilir. Yapıya ait u_0 deformasyonu, (5.6) kullanılarak bulunur.

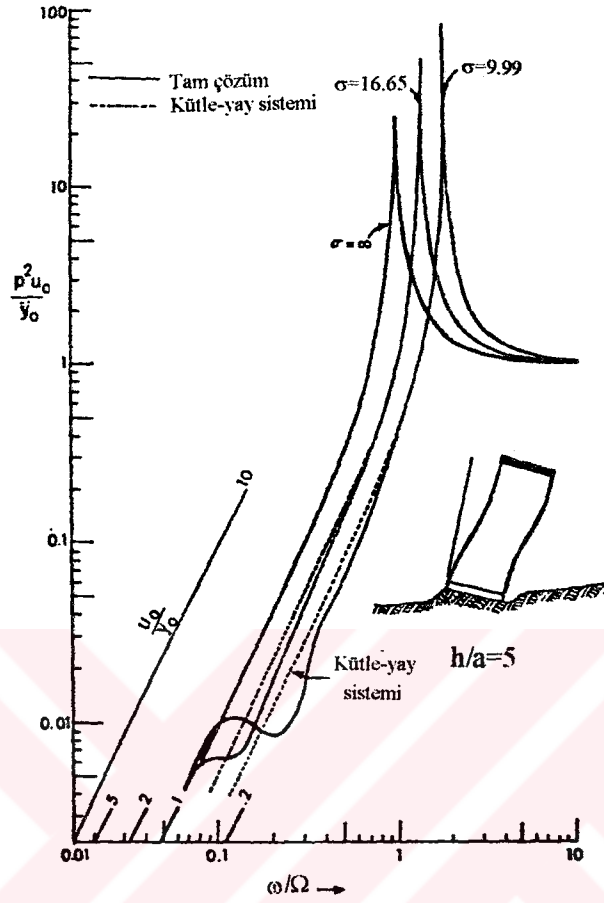
5.1.Kütle-Yay Sistemine Ait Spektraların Gerçek Spektralarla Karşılaştırılması:

Şekil 5.9 ve 5.10'da $y(t) = y_0 \sin \Omega t$ harmonik zoruna maruz yapı için tepki spektrası verilmiştir. $\sigma = \infty$ olan rijit bağlı enli yapıda tepki

maksimum olurken, rijit bağı uzun yapıda tepkinin düştüğü görülmektedir. Esneklik artışının kısa ve enli yapılarda tepkiyi düşürdüğüne daha önce değinilmişti. Spektranın kütle-yay sistemi ve Fourier Transform metoduyla elde edilen kesin çözümünün yaklaşıklığının iyi olduğu söylenebilir. Spektradaki $\sigma=16.65$, $c_s=150$ m/sn'ye karşılık gelmektedir. Düşey eksendeki yapıya ait sözde-ivme $p^2 \cdot u_0$ ve serbest zemine hareketine ait ivme $\ddot{y}_0 = \omega^2 \cdot y_0$ 'dır. Spektrada düşük ω/Ω değeri düşük frekans, esnek yapıya, veya yüksek frekanslı zora karşılık gelir. ω/Ω 'nın büyümesi ise yüksek frekans, rijit yapıya veya düşük frekanslı zora karşılık gelir.



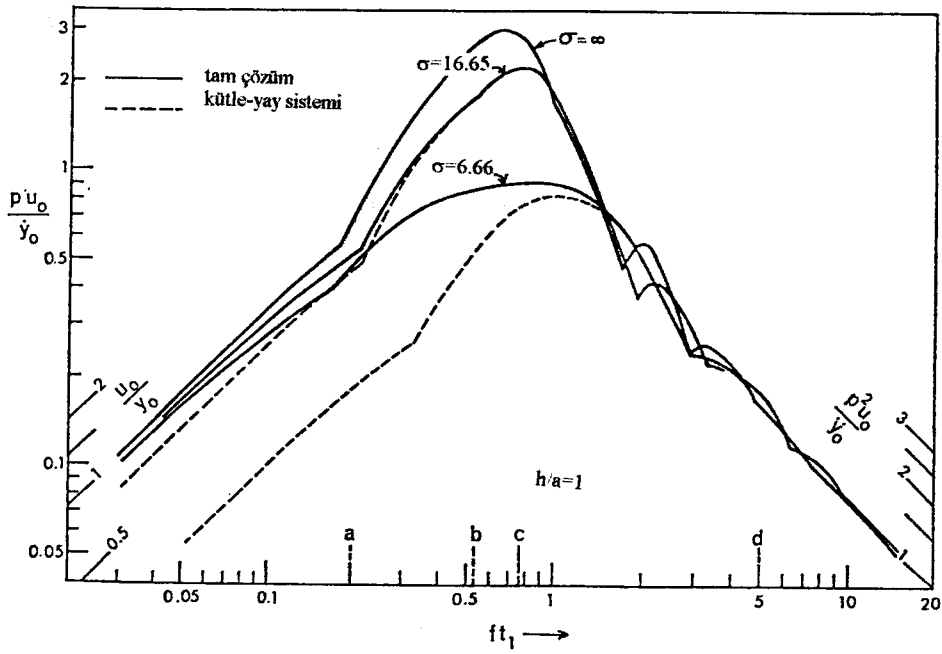
Şekil 5.9: Harmonik zora maruz sistemde tepki spektrası; $h/a=1$, $\zeta = 0.02$



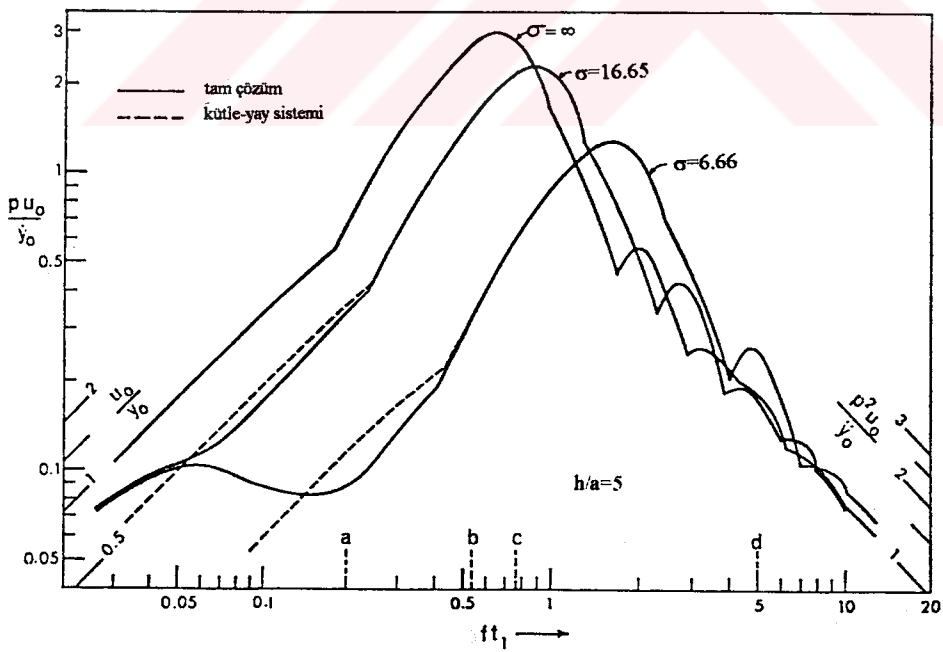
Şekil 5.10: Harmonik zora maruz sistemde tepki spektrası; $h/a=5$, $\zeta = 0.02$

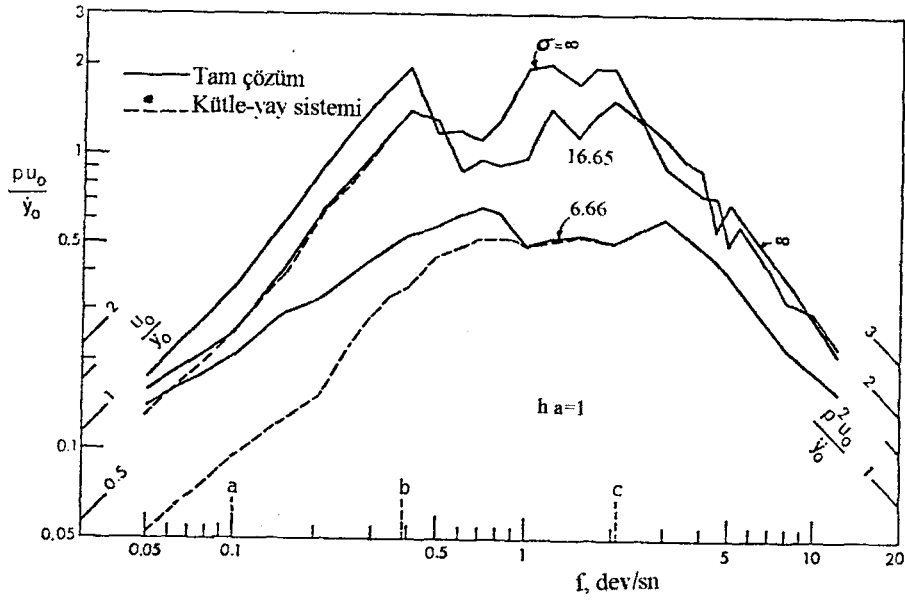
Şekil 3.7'deki dinamik zora maruz yapının spektraları Şekil 5.11 ve 5.12'dedir. Bu şekillerdeki yaklaşık-tam çözüm ilişkisi, harmonik zordaki aynı ilişkiye benzemektedir.

Şekil 5.13 ve 5.14'de ise El Centro deprem kayıtlarına ait spektralar verilmiştir. Burada da tam ve yaklaşık çözümlerde, özellikle $h/a=5$ 'te iyi bir uyum vardır.

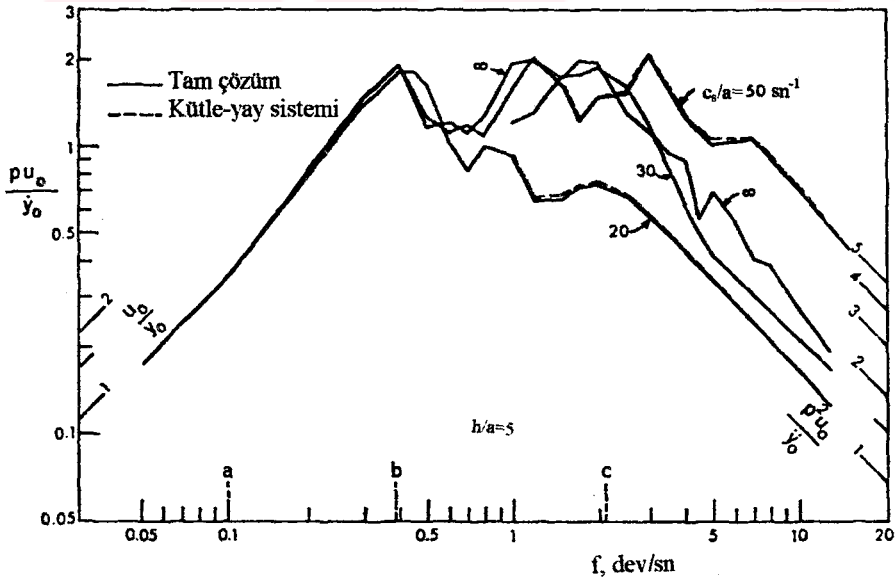


Şekil 5.11: Şekil 3.7'deki zora maruz sistemde tepki spektrası; $h/a=1$, $\zeta = 0.02$





Şekil 5.13: El Centro depremine ait tepki spektrası; $h/a=1$, $\zeta=0.05$.



Şekil 5.14: El Centro depremine ait tepki spektrası, $h/a=5$, $\zeta=0.05$.

Şekil 5.14'te σ yerine c_s/a kullanılmıştır.

Tablo 5.1: El Centro deprem kayıtlarına ait A_i ve $A_i/\ddot{y}_0$ sözde-ivmelerinin A_i ile karşılaştırılması; $h_i = 0.001$

c_s (m/sn)	$f = 3 \text{ dev/sn}$		$f = 4.18 \text{ dev/sn}$		$f = 5 \text{ dev/sn}$		$f = 7 \text{ dev/sn}$	
	$A_i / \ddot{y}_0$	$A_i / \ddot{y}_0$	$A_i / \ddot{y}_0$	$A_i / \ddot{y}_0$	$A_i / \ddot{y}_0$	$A_i / \ddot{y}_0$	$A_i / \ddot{y}_0$	$A_i / \ddot{y}_0$
$H/a=0.5$								
∞	3.10	3.10	3.11	3.11	3.31	3.31	2.29	2.29
600	2.45	2.53	2.87	2.96	2.24	2.31	2.61	2.68
		(2.44)		(2.81)		(2.24)		(2.54)
300	1.85	1.97	1.79	1.90	1.81	1.94	1.77	1.86
		(1.67)		(1.66)		(1.60)		(1.59)
225	1.61	1.73	1.53	1.63	1.43	1.54	1.58	1.70
		(1.41)		(1.37)		(1.27)		(1.35)
$H/a=1.0$								
∞	3.10	3.10	3.11	3.11	3.31	3.31	2.29	2.29
600	2.50	2.51	3.13	3.16	2.11	2.13	2.95	2.98
		(2.49)		(3.08)		(2.10)		(2.90)
300	2.04	2.10	2.01	2.07	2.07	2.15	1.96	2.01
		(1.98)		(1.92)		(2.02)		(1.94)
225	1.76	1.85	1.67	1.73	1.72	1.79	1.61	1.68
		(1.67)		(1.59)		(1.61)		(1.53)
$H/a=2.0$								
∞	3.10	3.10	3.11	3.11	3.31	3.31	2.29	2.29
600	2.68	2.68	3.49	3.50	2.28	2.28	3.61	3.62
		(2.67)		(3.46)		(2.25)		(3.57)
300	2.58	2.59	2.47	2.49	2.87	2.89	2.93	2.95
		(2.58)		(2.47)		(2.88)		(2.91)
225	2.61	2.64	2.08	2.10	2.19	2.21	1.83	1.84
		(2.63)		(2.09)		(2.20)		(1.85)
150	1.61	1.64	2.24	2.28	1.87	1.89	2.00	2.03
		(2.63)		(2.27)		(1.89)		(2.03)
$H/a=3.0$								
∞	3.10	3.10	3.11	3.11	3.31	3.31	2.29	2.29
600	2.76	2.76	3.65	3.65	2.43	2.43	4.13	4.13
		(2.76)		(3.62)		(2.43)		(4.10)
300	3.00	3.01	2.82	2.83	3.44	3.45	3.20	3.20
		(3.00)		(2.82)		(3.43)		(3.12)
225	3.17	3.18	2.59	2.59	2.53	2.53	2.33	2.34
		(3.20)		(2.61)		(2.54)		(2.37)
150	2.08	2.09	2.86	2.87	2.45	2.46	2.69	2.70
		(2.12)		(2.89)		(2.49)		(2.72)

Tablo 5.1'de kesin çözüme ait sözde-ivme değerleri, kütle-yay sistemine ait A_i ivmeleriyle karşılaştırılmaktadır. A_i değerleri parantez içindekilerdir. Dalga yayılma hızı c_s , H/a ve f_i 'nin değişik değerlerinin karşılaştırıldığı tabloda, $H/a \geq 2$ olduğunda yaklaşımın mükemmel olduğu görülmektedir. $H/a \leq 1$ olduğunda, özellikle c_s küçüldükçe (zemin esnekleştikçe) hata yüzdesi %20'yi bulmaktadır.

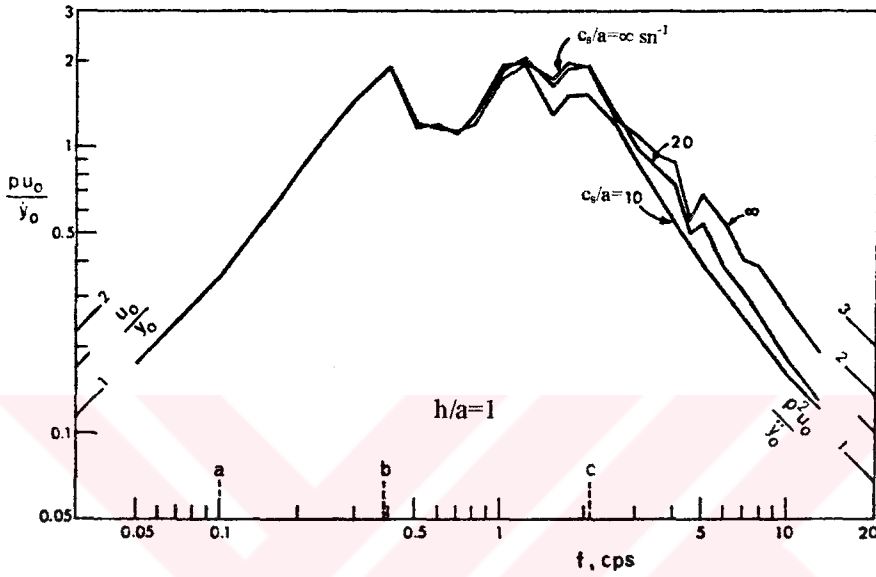
5.2. Spektraların Zemin-Yapı Etkileşimi Üzerine Yorumu:

Zemin-yapı etkileşiminin artması (σ 'nın küçülmesi) ω/Ω oranını sağa kaydırır (şekil 5.9,10). Tepkiyi ise enli yapılarda azaltır, uzun yapılarda arttırır. Tepkideki değişim σ ve h/a oranına bağlıdır. Tepkideki değişim, iki karşıt mekanizmanın sonucudur. Bağ ortamındaki enerji yayılımından dolayı, esnek bağlı yapının etkili sönümü, rijit bağlı yapınınkinden büyüktür. Ve bu, etkileşim sisteminin tepkisini düşürmeye meyleder. Sallanma hareketi ise kütlenin ivmesini ve atalet kuvvetini arttırır. Bu artış, tepki artışına sebep olur. Şekil 16'da yatay sönüm katsayısı β_x 'in sallanma sönüm katsayısı β_0 'dan büyük olduğuna değinilmişti.

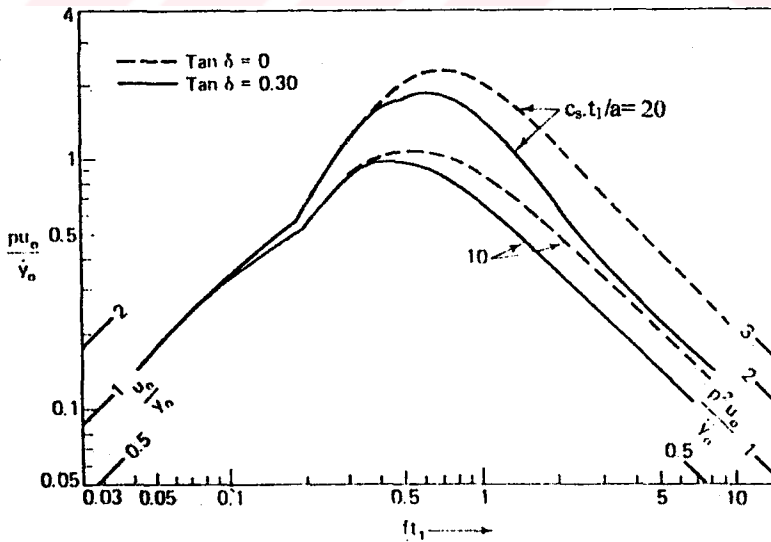
Şekil 5.11,12'de yatay eksenindeki a, b, c, d sembolleri, frekans bölgelerini gösterir. ab düşük frekans bölgesini, a'nın solu ve d'nin sağı ise sırasıyla uç düşük frekans ve uç yüksek frekans bölgesini gösterir. Spektrumun düşük ve yüksek frekans bölgelerinde zemin-yapı etkileşimi ihmal edilebilir. Yüksek frekans bölgesinde $u_0 \cong y_0$ ve yüksek frekans bölgesinde $p^2 \cdot u_0 \cong y_0$ 'dir. Orta frekans bölgesinde maksimum tepki değeri için kütle-yay sistemine ait değerleri kullanılabilir. $\sigma < 9.99$ olduğunda, düşük frekans bölgelerinde kütle-yay sistemine ait değerleri kullanmak hataya yol açar. Frekansın artışıyla bu hata da artar.

Şekil 5.14 ve 15'te σ yerine c_s/a değeri kullanılmıştır. Bu iki örnekte görüldüğü gibi, yüksek frekanslı, rijit yapılarda zemin-yapı etkileşimi

daha fazla önem taşımaktadır. Zira spektranın sağına kaydıça tepkideki düşüş açıkça gözlenmektedir. Düşük frekanslı esnek yapılarda bu etkileşim ihmal edilebilir. Örneğin, $h/a=5$ ve $c_s/a=20$, $f=0.1\text{Hz}$ için $\sigma=133.2$, $f=10\text{ Hz}$ için $\sigma=1.33$ 'tür.



Şekil 5.15: El Centro depremine ait tepki spektrası; $h/a=1$, $\zeta=0.005$



Şekil 5.16: Şekil 3.7'deki zora maruz zor için elastik ve viskoelastik ortamların tepkilerinin karşılaştırılması; $h/a=5$, $\zeta = 0.02$, $\gamma = 0.15$

Şekil 5.16'da, zemin malzemesine ait sönümün tepkide meydana getirdiği azalma gösterilmektedir. c_s dalga yayılma hızı, t_1/a ile çarpılarak boyutsuz hale getirilmiştir.



SONUÇLAR:

1. Zemin-yapı etkileşimi dinamik etkiyi değiştirir.
2. Zemin-yapı etkileşimi sözkonusu olan esnek bağlı yapılarda yapı temelinin yatay hareketi, zeminin yatay hareketinden farklıdır. Temelin hareketine bir dönme eklemek gerekir.
3. Zemin-yapı etkileşiminin impulsif bileşen üzerindeki etkisi önemli olabilir.
4. Zemin-yapı etkileşiminin konvektif bileşen üzerindeki etkisi küçüktür. Bu nedenle konvektif bileşenin hesabında tank ve bağ ortamı rijit düşünülerek serbest zemin hareketi için hesap yapılabilir.
5. Konvektif bileşen, impulsif bileşenden bağımsız düşünülebilir.
6. Zemin-yapı etkileşiminin tepkinin yüksek modlarına etkisi ihmal edilebilir. Bağ ortamının esnekliği temel modda düşünülerek hesaba katılmalıdır.
7. Zemin-yapı etkileşiminde üç önemli parametre vardır: σ , h/a , f . σ 'nın azalması, zemin-yapı arasındaki bağın esnekleşmesi demektir.
8. Zemin-yapı etkileşimi $\sigma < 66.6$ olduğu durumda düşünülür.
9. Harmonik ve sismik zora maruz sistemlere ait spektrallardan görüldüğü gibi, esnek bağlı tanklarda tepki değeri, -kısa tanklarda- belirgin bir şekilde düşmektedir. Uzun tanklarda bu düşüş gözlenmez. Çünkü uzun tanklarda sallanmaya maruz temelin bağ ortamındaki

sönümü, yatay harekete maruz temelinkinden küçüktür (temelin yatay yöndeki sönümü daha büyüktür ($\beta_x > \beta_\theta$)).

10. Sallanma hareketi kütlenin ivmesini ve atalet kuvvetini arttırır. Bu da uzun tanklarda tepki artışına sebep olur.

11. Çelik tanklar için sisteme ait maksimum etkili sönüm, H/a 'nın yaklaşık 0.5 olduğu durumdadır.

12. Yüksek frekanslı rijit yapılarda zemin-yapı etkileşimi daha fazla önem taşır.

13. Zemin materyalinin sönümü tüm sistemin sönümünü arttırır, rijitliği azaltır. Sönüm kapasitesindeki artış özellikle sallanma hareketine maruz uzun tanklarda önemlidir. Zira bu yapılarda bağ ortamındaki yayılmadan doğan sönüm azdır.

14. Tank-zemin sistemi, kütle-yay sistemi şeklinde idealize edilebilir.

KAYNAKLAR

- BALENDRA, T; ANG, K.K, PARAMASIVAM, P., and LEE, S.L.,
(1982), Seismic Design of Flexible cylindrical Liquid
Storage Tanks, Int. J. Earthquake Eng. Struct.
Dynamics, Vol.10, pp.477-496.
- HOUSNER, G.W.(1963), The Dynamic Behavior of Water Tanks, Bull.
Seism. Soc. Am. Vol. 53, pp. 381-387.
- VELETSOS, A.S., and VERBIC, B.,(1973), Vibration of Viscoelastic
Foundations, Int.J.Earthquake Eng. Struct. Dynamics,
Vol.2, No.1, pp.87-102,
- VELETSOS, A.S., and MEEK, J., (1974), Dynamic Behaviour of Building-
Foundation Systems, Int.J. Earthquake Eng. Struc.
Dynamic, Vol.3, No.2, pp.121-138.
- VELETSOS, A.S., (1977), Dynamics of Structure-Foundation Sytems,
Structural and Geotechnical Mechanics, a volume
honoring N.M.Newmark (Ed.W.J.Hall), Prentice-Hall,
Englewood Cliffs, N.J., pp.333-361.
- VELETSOS, A.S., and TANG, Y., (1987), Rocking Response of
Liquid Storage Tanks, J. Eng.Mech.Div. ASCE,
Vol.113, No.11, pp.1774-1792.
- VELETSOS, A.S., and TANG, Y., (1990), Soil-Structure
Interaction for Laterally Excited Liquid Storage
Tanks, Int.J.Earthquake Eng. Struct. Dynamics,
Vol.19, pp.473-496.
- VELETSOS, A.S., TANG, Y., and TANG, H.T. ,(1992), Dynamic
Response of Flexibly Supported Liquid Storage
Tanks, J.Struct. Div., ASCE 118, No.1, pp.264-283.

EKLER

EK A: Transfer fonksiyonu, T_i :

Hareket denklemi:

$$m.u(t) + c.u(t) + K.u(t) = -m.\ddot{y}(t) \quad (A1)$$

$u(t)$ yapısal deformasyon olup, harmonik hareket için;

$$u(t) = U.e^{i\Omega t} \quad (A2)$$

şeklinde tanımlanabilir.(EK A1)'de eşitliğin sağ tarafına, temelin hareketini ifade eden $(X + h_i' . \theta)$ ifadesi konursa,

$$U.e^{i\Omega t} . (-m.\Omega^2 + 2.i.\zeta_i . m . \omega_i . \Omega + K) = -m.\Omega^2 . (X + h_i' . \theta) . e^{i\Omega t} \quad (A3)$$

$$U = \frac{-m.\Omega^2 . (X + h_i' . \theta)}{-m . \Omega^2 + 2i\zeta_i . m . \omega_i \Omega + K} \quad (A4)$$

Tüm terimler m 'ye bölünürse;

$$U = - \frac{\Omega^2 (X + h_i' . \theta)}{\left[1 - \left(\frac{\Omega}{\omega_i} \right)^2 + 2i\zeta_i \left(\frac{\Omega}{\omega_i} \right) \right] \omega_i^2} \quad (A5)$$

$$U . \omega_i^2 = -\Omega^2 (X + h_i' . \theta) . \frac{1}{\left[1 - \left(\frac{\Omega}{\omega_i} \right)^2 + 2i\zeta_i \left(\frac{\Omega}{\omega_i} \right) \right]} \quad (A6)$$

(A6)'da;

$U . \omega_i^2 = A_i$ sözde-ivmesi;

$$\frac{1}{\left[1 - \left(\frac{\Omega}{\omega_i} \right)^2 + 2i\zeta_i \left(\frac{\Omega}{\omega_i} \right) \right]} = T_i , \text{ transfer fonksiyonudur.}$$

Buradan; harmonik harekete maruz sistem için A_i sözde-ivmesi (esnek bağlı sistemde);

$$A_i(t) = -\Omega^2(X + h_i \cdot \theta) \cdot T_i \cdot e^{i\Omega t} \quad (A7)$$

Transfer fonksiyonu, temel için elde edilen ivme değerini, “u” deplasmanı yapan yapıya uyarlayan (transfer eden) fonksiyon olarak tanımlanabilir.



EK B: (3.42) denkleminin elde edilişi.

Esnek bağlı sistemin temelindeki yatay ve dönme denge denklemleri (3.26) ve (3.27)'deki şekilde;

$$m_f \cdot x(t) + Q_i(t) + Q_s(t) = 0 \quad (B1)$$

$$I_f \cdot \theta(t) + M_i(t) + M_s(t) = 0$$

$$x(t) = X \cdot e^{i\Omega t} \quad (B2)$$

$$-m_f \cdot \Omega^2 \cdot X \cdot e^{i\Omega t} + m_i [-\Omega^2 \cdot T_i(X + h_i' \cdot \theta)] e^{i\Omega t} + K_x(X - Y) e^{i\Omega t} = 0 \quad (B3)$$

$$I_f (-\Omega^2 \cdot \theta \cdot e^{i\Omega t}) + m_i \cdot h_i \left\{ -\Omega^2 \left[T_i \cdot X + \left(\frac{I_b}{m_i \cdot (h_i')^2} + T_i \right) \cdot h_i' \cdot \theta \right] \right\} \cdot e^{i\Omega t} + K_\theta \cdot \theta \cdot e^{i\Omega t} = 0$$

$$X [-\Omega^2 (m_f + m_i \cdot T_i) + K_x] + \theta [-\Omega^2 \cdot T_i \cdot m_i \cdot h_i'] - K_x \cdot Y = 0 \quad (B4)$$

$$X [-\Omega^2 m_i \cdot h_i' \cdot T_i] - \theta [I_f + I_b + m_i \cdot (h_i')^2 \cdot T_i] \cdot \Omega^2 + \theta \cdot K_\theta = 0$$

$$m_f + m_i \cdot T_i = m_i^* \quad (B5)$$

$$I_f + I_b + m_i \cdot (h_i')^2 \cdot T_i = I_i^*$$

$$\begin{bmatrix} -\Omega^2 \cdot m_i^* + K_x & -m_i \cdot h_i' \cdot T_i \cdot \Omega^2 \\ -m_i \cdot h_i' \cdot T_i \cdot \Omega^2 & K_\theta - I_i^* \cdot \Omega^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_x \\ 0 \end{bmatrix} \cdot Y \quad (B6)$$

ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında Ankara’da doğdu. İlk,orta ve lise öğrenimini Ankara’da tamamladı. 1989 yılında K.T.Ü. Müh.Mim.Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü’ne girdi. 1993 yılında bu bölümden mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Anabilim Dalı’nda yüksek lisansa başladı.

