

SARSMA MASASI DENEYLERİ ve YAPI ZEMİN ETKİLEŞİMİ

IMPACT TABLE MODELLING OF SOIL STRUCTURE INTERACTION

Eren Uçkan ¹ ve Mustafa Erdik ²

SUMMARY

The aim of this study is to investigate the nonlinear behaviour of single phase noncohesive soils and rigid rocking structural systems by utilizing experimental and numerical approaches. The experimental setup consists of a soil tank filled with dry sand on which a rigid body is partially embedded. Input seismic motion is generated by manually controlled impacts with average pulse widths ranging from 0.1 ms to 1 ms. The one dimensional analysis is studied by Ramberg Osgood type of constitutive relationship and the two dimensional analysis is based on the extension of the frequency independent Iwan model developed by Joyner (1975). Kinematic hardening rules are applied and the computations are carried out in the time domain. Comparisons are given for rigid and silent boundaries.

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, tek fazlı kohezyonsuz tabaka ve rijit bir yapıdan oluşan yapı-zemin ortamında, doğrusal olmayan zemin davranışları göz önüne alınarak, deneysel ve sayısal yöntemlerin karşılaştırılmalarının yapılmasıdır. Deneysel düzenek, silindirik bir tankın içerisine doldurulan kuru kum yüzeyine, kısmen gömülmüş silindirik bir yapıdan oluşmaktadır. Sisteme etki eden yer hareketi ortalama etkileşim süresi 0.1 ms ile 1 ms arasında olan darbelerle oluşturulmuştur. Sistemin tek boyutlu analizi için Ramberg-Osgood, iki boyutlu analizi de Joyner'in (1975) geliştirdiği Iwan modeli kullanılarak benzeştirilmiştir. Çözümler kinematik pekleşme kurallarına uyan ve açık integrasyon yöntemi kullanılarak zaman tanım alanında yapılmıştır. Rijit ve elastik sınır şartlarının etkileri araştırılmıştır.

SARSMA TABLASI DENEYSEL DÜZENEGİ

Deneysel düzenek sallanan bir platformun üzerine yerleştirilen içi elenmiş kum ile doldurulmuş silindirik bir tanktan oluşmaktadır. Çapı 1000 mm, yüksekliği 500 mm ve kalınlığı 1 mm den oluşan tank (Şekil.1), askıdaki platformun üst yüzeyine tutturulmuş ve sisteme etki eden yer hareketi bir

¹ Yrd. Doç. Dr., Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Yapı Bilgisi A.B.D, Gebze

² Prof. Dr., Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, İstanbul

sarkacın ucuna yerleştirilmiş çekiç ile sağlanmıştır. Tank yüzeyi esnek olduğu için metal-kum etkileşiminin olmadığı kabul edilmiştir. İvme ölçerlerin konumları ve kesit şekli Şekil.1 de gösterilmektedir. Şekil.2 de görülen ve kütleli yoğunluğu 5.6 gr/cm³, yüksekliği 18 cm ve çapı 2 cm olan silindirik rijit bir yapının kum yüzeyine gömülmesiyle yapı zemin etkileşim düzeneği elde edilmiştir.

Veri toplama işlemi 2 kHz'e kadar düz spektrumu olan 5 adet minyatür ivme ölçer kullanılarak yapılmıştır. Kumlu tabakanın en alt ve en üst seviyelerinde elde edilen kayıtlardaki zaman farkı 1.5 ms olarak ölçülmüş ve kayma dalgası yayılma hızı 250 m/saniye olarak hesaplanmıştır. Referans birim yer değiştirme 1.2×10^{-04} , zemin kütle yoğunluğu 1.5 t/m³ ve kayma modülü $10 \times 10^{+05}$ kN / m² olarak hesaplanmıştır. Darbe sırasında sıkışan kumun hakim frekansı 90 Hz ten 125 Hz e kadar yükseldiği görülmüştür. Elde edilen verilerin sayısallaştırılması yüksek örnekleme hızlarında kullanılabilecek özel bir yazılımın geliştirilmesiyle sağlanmış ve bu işlem için çok hızlı iletişim sağlayabilen 8037 çipi üzerinden hexadecimal adresler kullanılmıştır. Böylelikle 100 kHz örnekleme hızlarına kadar elde edilen veriler bloklar halinde saklanarak bilgisayar hafızasında saklanabilmektedir. Çalışmada SH türü sismik dalgalar göz önüne alınmış ve sarsma etkisinin beton platformdan kuma ve kumdan yapıya doğru yayılacağı varsayılmıştır. Sismik dalga boylarının fiziksel düzenek boyutlarına oranla küçük olmasından dolayı dalga saçılma problemleri göz önüne alınmamıştır

ANALİTİK ARAŞTIRMALAR

Tek Boyutlu Toplanmış Kütle Modelleri

Serbest yüzey sisteminin tek boyutlu sayısal benzeşimi için düşey yönde yayılan kayma dalgaları göz önüne alınmıştır. Toplanmış kütle modelinin (Şekil.3) çözümü için sırasıyla, hızla bağımlı, hızdan bağımsız ve viskoplastik olmak üzere başlıca üç ayrı bünye denklemi kullanılmıştır. Yapı zemin etkileşim sisteminin bir boyutlu basitleştirilmiş parametrik modelinin (Şekil.4) sayısal çözümü için gerekli olan parametreler ise baskın frekansı 1 kHz olan sistemin rijit dönme moduna uyumlu olacak şekilde hesaplanmıştır. Yapının rijit dönme periodundan elde edilen eşdeğer kayma ritliği 150 000 kN/m², sönüm eğrisinden elde edilen eşdeğer viskos sabit ise 10 KN Sec/m² olarak hesaplanmıştır. Tek boyutlu indirgenmiş modeldeki eşdeğer kütle, toplanmış kütle $1/100$ 'ü, referans birim yer değiştirme ise 1.0×10^{-04} olarak kullanılmış ve çözümler zaman tanım alanında adım adım integrasyon yöntemi kullanılmış yapılmıştır. %5 ve %10'luk sönüm oranları için hesaplanan teorik transfer fonksiyonları Şekil.5 te görülmektedir. Şekil.6 da aynı zemin ortamı için elde edilen deneysel ve sayısal transfer fonksiyonları, Şekil.7 de ise deneysel olarak elde edilen doğrusal olmayan transfer fonksiyon eğrisi görülmektedir.

Sayısal çözüm için sırasıyla, hızdan bağımsız, hızla bağımlı ve visko-plastik olmak üzere başlıca üç değişik bünye denklemi kullanılmıştır. Hızla bağımlı modellemede visco-elastik Voight modeli kullanılmıştır. Hızdan bağımsız modelin çözümünde ise Pyke (1979)' nin önerdiği hiperbolik model kullanılmıştır. Üçüncü bünye denklemi ise Joyner (1975) 'in önerdiği basitleştirilmiş Visko-Plastik model kullanılarak çözülmüştür. Diğer iki modelin karışımı olan ve Gyebi (1987)'nin de kullandığı

bu model zamana bağımlı olarak değişen gecikmiş plastisiteyi tanımlamakta da kullanılmaktadır. Bahsi geçen üç bünye denklemi kullanılarak yapılan çözümlerin frekans tanım alanındaki karşılaştırmaları Şekil.8 de gösterilmektedir. Doğrusal olmayan yöntemlerle hesaplanan serbest yüzey hareketinin doğrusal olan yöntemle hesaplanana oranı (Şekil 9), Ju (1992) nun çok daha derin bir zemin ortamı için elde ettiği sonuçlarla (Şekil.10) karşılaştırıldığı zaman farklı zeminlerin değişik frekans aralıklarında benzer özellikler gösterebileceği görülmektedir.

İki Boyutlu Serbest Alan Sonlu Eleman Modeli

İki boyutlu çözüm yöntemi Joyner (1975) in geliştirdiği, Drucker Prager tipi akma şartlarının kabul edildiği frekansa bağlı olmayan bünye denklemlerinin kullanımı ile sağlanmıştır. Yazılım yatay ve düşey hareketlerin etkileşimini hesaba katabilmesine rağmen çalışmanın özel durumu gereği düşey hareketler hesaba katılmamıştır. Dalga boyları sonlu eleman sistemin boyutlarına göre küçük olduğu için dalga yansıma problemleri ihmal edilmiş ve rijit-elastik sınır şartları araştırılmıştır.

İki boyutlu sonlu eleman model, dörtgen ve üçgen elemanlar olmak üzere toplam 55 elemandan oluşmuştur. Ortalama integrasyon zaman aralığı 0.5×10^{-04} saniye ve ortalama eleman kenar uzunluğu 100 mm'dir. Sismik hareket yarı sonsuz elastik ortamın serbest yüzeyinde tanımlanmış ve modelin yan yüzeyleri yatay yöndeki sonsuz genişliği tanımlamak üzere mümkün olduğu kadar genişletilmiştir. Aşağıdaki kabuller geçerlidir.

1. Sonlu ve prizmatik eleman şekilleri
2. Kare ya da dik üçgen biçimli elemanlar
3. Sabit referansa göre küçük deformasyonlar
4. Doğrusal olan hız deformasyon bağıntısı
5. Yarı sonsuz elastik kaya yatağı

Hesaplama Yöntemi

İki ve üç boyutlu sonlu eleman modellerin çözümünde kullanılan ve birçok akma yüzeyinden oluşan bünye denklemlerinin tek boyutlu sistemlere benzerliği Iwan (1967) tarafından bildirilmiştir. İki boyutlu modelin çözümünde kullanılan hesaplama sıralama aşağıda verilmiştir.

1. "t" zamanında bilindiği varsayılan veriler
2. İntegrasyon zaman aralığı içerisinde ortalama ve deviatorik deplasmanların hesaplanması
3. İlgili bünye denkleminin uygulanması
4. Düğüm noktalarına etki eden kuvvetlerin hesaplanması
5. Kuvvet hız bağıntısından düğüm noktası hızlarının hesaplanması.

Sayısal Stabilite

İlgili hareket denklemlerinin çözümü stabilite kriterlerinin sağlanabilmesi ile gerçekleştirilebilmektedir. Doğrusal olan çözüm yöntemleri kullanıldığında integrasyon zaman aralığı genellikle baskın periyotun $1/10$ 'u olarak kabul edilmesine rağmen özellikle yüksek frekansları içeren doğrusal olmayan çözümlerde bu oran daha da küçülebilmektedir.

Sınır Şartlarının Tayini

Elastik sınır şartları genellikle Lysmer (1969) 'in tanımladığı viskos benzeşimler ile yapılmaktadır. Yer hareketinin tanımlandığı düzlem seviyesine erişen ve yansıyan sismik dalgaların toplamından oluşan toplam hareket viskos sabitler kullanılarak yapılmakta ve programın başlangıcında yer hareketinden bağımsız olarak hesaplanarak bir matriste saklanmaktadır. Daha sonra bu matris sınır seviyesindeki yeni hızların yeni zaman aralıklarında hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Sayısal Uygulama

Serbest yüzey zemin tepkisinin ölçülmesi için, etkileşim aralığı 3 ms olan, 1 g lik sarsma etkisi oluşturulmuştur. Örneklemme hızı kanal başına 1000 Hz ve integrasyon zaman aralığı 1.0×10^{-03} saniye olarak hesaplanmıştır. Şekil 11 ve 12 de görülen ölçülmüş ve hesaplanmış bir ve iki boyutlu yüzey ivmeleri karşılaştırıldığında doğrusal olmayan zemin davranışları gözlenebilmektedir. Rijit ve elastik sınır şartlarının yüzey hareketlerine etkileri ise Şekil.13 te gösterilmiştir. Rijit sınır şartlarının elastik sınır şartlarına göre özellikle 300 Hz den büyük frekanslarda genlikleri arttırdığı gözlenmektedir.

İki Boyutlu Sonlu Eleman Yapı Zemin Etkileşim Modeli

Toplam 35 elemandan oluşan yapı zemin etkileşim sisteminin iki boyutlu sonlu eleman modeli Şekil.14' te görülmektedir. 1 kHz lik frekans çözünürlüğüne karşı gelen en büyük eleman boyutu 4 cm, stabilite kriterini sağlayan zaman aralığı da 1.0×10^{-05} saniye olarak hesaplanmıştır. Yapı ve zemin rijitlik farkının yüksek olmasından dolayı sayısal stabilite problemlerinden kaçınabilmek için bu seviyedeki P ve S dalga hızları üzerinde suni değişiklikler yapılarak impedans oranı düşürülmüştür. Yer hareketi 2. ivme ölçeğin yerleştirildiği tank orta derinliğine yakın bir seviyede tanımlanmıştır.

Sayısal Uygulama

Yapı zemin etkileşimi sisteminin sayısal analizi için gerekli olan yer hareketi sarsma sonucu oluşan üçgen yükleme ile oluşturulmuş ve bu işlemlerde örneklemme zaman aralığı 1.0×10^{-05} (0.01ms) saniye olarak hesaplanmıştır. Deneysel ve sayısal benzeşimler sonucu elde edilen sonuçlar, karşılaştırılmaları olarak Şekil.16 dan Şekil.19 a kadar gösterilmektedir.

SONUÇ

Sarsma tablası çalışması sonucunda serbest yüzey ve yapı zemin etkileşim ortamında elde edilen deneysel ve sayısal sonuçların frekans ve genlik içerikleri bakımından birbirlerine yaklaştıkları ve literatürde belirtilen genel sonuçlarla uyumlu oldukları görülmüştür. Doğrusal olmayan davranışın, yükleme genliğine, yükleme genliği, süresi ve frekans içeriğine bağlı olarak 1×10^{-04} birim yer değiştirme değerlerine kadar eriştiği gözlenmiştir. Sarsma süresinin kısalığına bağlı olarak çok büyük plastik deformasyonlar gözlenmemiştir. Serbest yüzey çalışmaları sırasında doğrusal olmayan davranışın zemin yüzeyine yaklaştıkça azaldığı görülmüştür. Sayısal benzeşim sırasında visco-plastik bünye denkleminin hızdan bağımsız ve hıza bağımlı modellere oranla daha çok gerçeğe yakın olduğu gözlenmiş ve bu modelde kullanılan ek viskosönümün yuvarlak kenarlı histeretik davranışlar oluşturduğu gözlenmiştir.

Serbest alan çalışmaları sonucunda sismik dalgaların yükleme karakterine ve doğrusal olmayan zemin parametrelerine bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir. Genellikle 100-1000 Hz sınırı içerisindeki düşük frekans alanlarında genliklerin yer hareketine oranla arttığı gözlenmiştir. Aynı sınır içerisinde yer alan yüksek frekans alanlarında ise doğrusal olmayan çözümlerle elde edilen genliklerin doğrusal olan çözümlerle elde edilenlere oranla daha yüksek olduğu saptanmıştır.

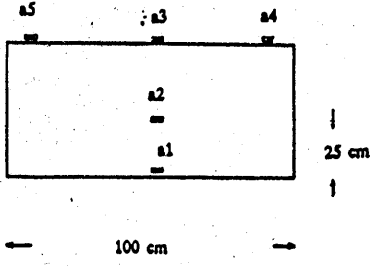
Yapı zemin etkileşim deneyleri sonucunda ise iki boyutlu model kullanılarak elde edilen sonuçların sınır şartlarının etkisinden dolayı periodik olarak tekrar ettiği görülmüştür. Darbe genlikleri yüksek olmamasına rağmen çok kısa aralıklı ve kısa süreli oldukları için yapıda çok büyük kalıcı deformasyonlar olmadığı gözlenmiştir.

Yapıdaki dönme hareketinin merkezinin kütle merkezine yakın olmasından dolayı yapının en üst ve en alt noktalarına yerleştirilen ivme ölçerlerde elde edilen kayıtların ters fazda olduğu gözlenmiştir.

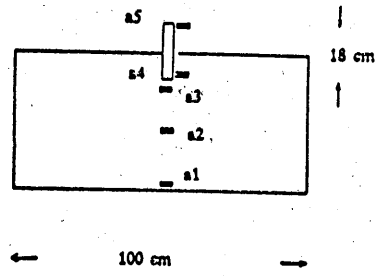
Deneysel çalışmalar sonucunda genelde hakim periodlarının doğrusal olmayan ortamlarda düştüğü ve doğrusal olmayan çözümlerin elastik çözümlere oranla yüksek frekans bölgelerinde daha yüksek genlikler verdiği gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

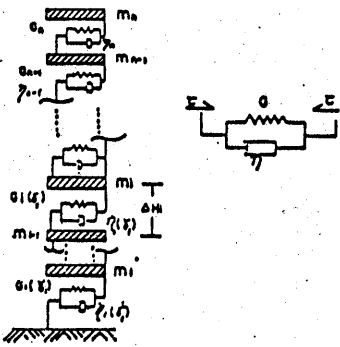
1. Gyebi ve Dasgupta (1987), " Doğrusal Olmayan Visko-Plastik Malzelerin Q Model ile Tanımlanması", Teknik Rapor, NCEER-87-0005, İngilizce
2. Hardin ,O. ve Drenevich P.(1972), "Zeminlerde Kayma Modülü ve Sönüm", ASCE Vol 98, No.SM7, July, İngilizce
3. Iwan, W. D. (1967), "Sürekli ve Kompozit Sistemler Üzerine Bir Çeşit Akma Modellemeleri " ASME, September,pp 612, İngilizce
4. Joyner, W.(1978) ," İki Boyutlu Doğrusal Olmayan Zemin Davranışları, FORTRAN Yazılımı" , U.S. Geological Survey, Open File Report, 78-287 , İngilizce
5. Joyner, W. (1975)," Zeminlerin Doğrusal Olmayan İki Boyutlu Sismik Davranışı", BSSA, Vol 65, No 5, pp. 1315-1336, October, İngilizce
6. Ju, G. ve Diğerleri,(1993), " Doğrusal Olmayan Zemin Davranışlarının Karakteristik Özellikleri", BSSA,Vol. 83, No.1, pp. 218-244, February, İngilizce
7. Lysmer, J. ve Kuhlemayer R.L.(1969), " Sonsuz Ortamların Sonlu Elemanlar Kullanılarak Tanımlanması" , ASCE, J.Engr. Mech. Div.95,859-877, İngilizce
8. Ohtsuki, A., et al.(1992), " Zemin Tabakaların İki Boyutlu Doğrusal Olmayan Davranışlarının Sarsma Masası Deneyle İle Sağlanması", Str.Dyn., Vol.21, 591-506, İngilizce
9. Pyke ,R (1979), " Düzensiz Tekrarlı Yüklemeler Altındaki Zeminlerin Doğrusal Olmayan Davranışları", A.S.C.E., Vol.105, No. GT6, June , İngilizce
10. Rosenblueth, E. ve Herrera (1977), " Bir Çeşit Histeretik Sönüm " , A.S.C.E., Vol.104, No. GT3, March , İngilizce
11. Thyagrajan, R. S. (1990)," Yapısal Histeretik Davranışının Modellenmesi" , Thesis in Partial Fullfillment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy, California Institute of Technology , Pasadena, California, October, İngilizce
12. Uçkan, E.(1987), " Yatay Katmanlardan Oluşan Zeminlerin Bir Boyutlu Doğrusal Olmayan Sismik Davransı", Thesis in Partial Fullfillment of the Requirements for the Master's Degree, METU, İngilizce
13. Yamahara, H.(1965), " Elastik Yarı Sonsuz Ortamların Dinamik Davranışı", J.Struc.Const.Eng.(Trans.AIJ)115,6-14 , İngilizce



Şekil.1 Serbest alan deneysel düzeneği



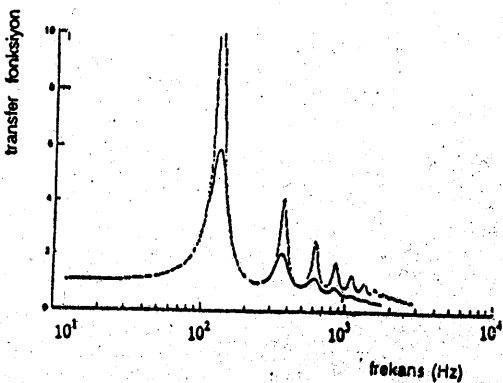
Şekil.2 Yapı zemin etkileşim düzeneği



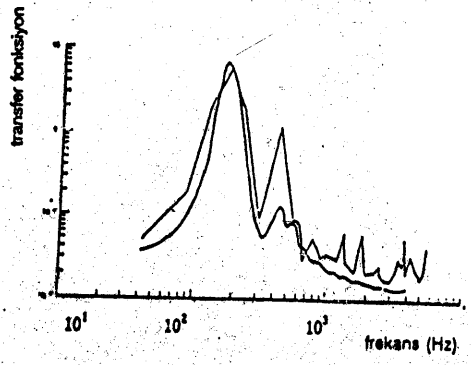
Şekil.3 Toplanmış kütle modeli



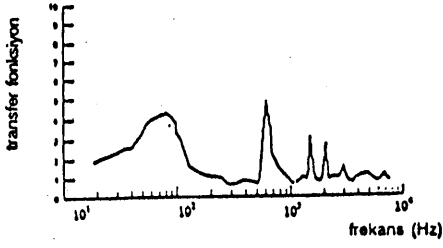
Şekil.4 İndirgenmiş yapı zemin etkileşim modeli ve eşdeğer kç/ma katmanı



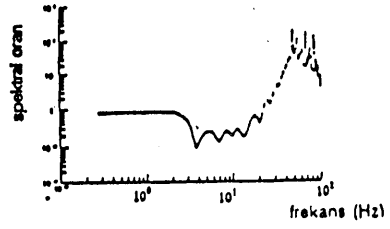
Şekil.5 %5 ve %10 sönüme karşılık gelen teorik transfer fonksiyonlar



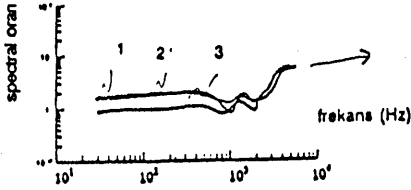
Şekil.6 Deneysel (kırık eğri) ve hesaplanmış (sürekli eğri) doğrusal transfer fonksiyonları



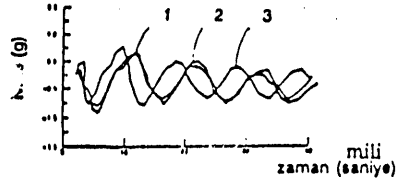
Şekil. 7 Doğrusal olmayan deneysel transfer fonksiyon



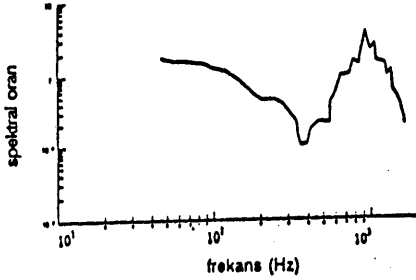
Şekil.10 Hesaplanmış serbest alan Doğrusal olmayan / Doğrusal olan yüzey spektral oranları (Ju ve diğerler,1993)



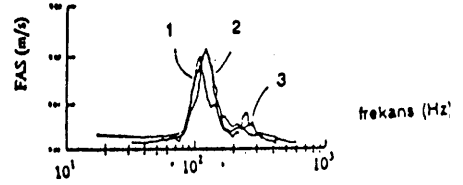
Şekil.8 Hızdan bağımsız (1), hızı bağımlı (2) ve viskoplastik (3), modeller için Deneysel/ Hesaplanmış spektral tepki oranları



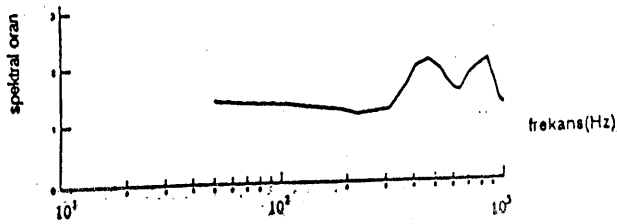
Şekil.11 Deneysel(1), bir (2) ve iki (3) boyutlu serbest alan yüzey ivmesi



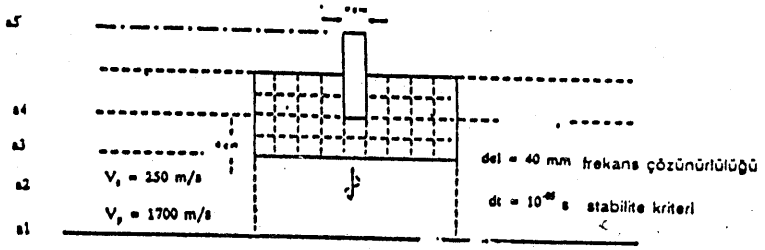
Şekil.9 Hesaplanmış serbest alan Doğrusal olmayan / Doğrusal olan yüzey spektral oranları



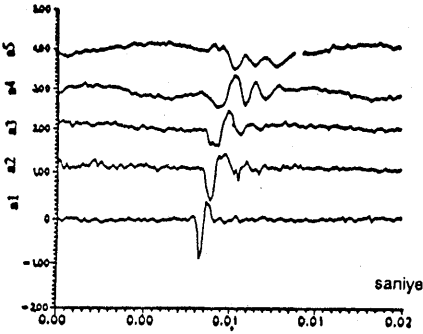
Şekil.12 Deneysel(1), bir(2) ve iki(3) boyutlu yüzey ivmesi: Fourier spektrumu



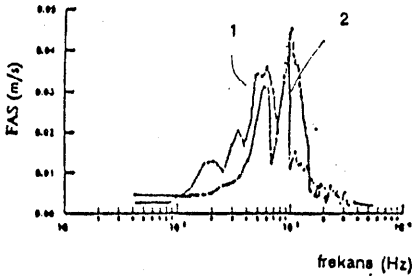
Şekil. 13 Serbest yüzey ivme rijit-elastik spektral oranı



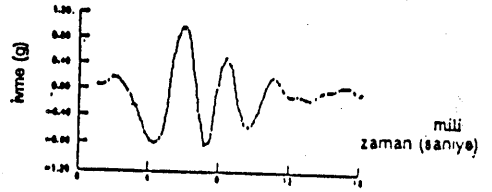
Şekil.14 Yapı zemin etkileşim ortamının iki boyutlu sonlu eleman modeli



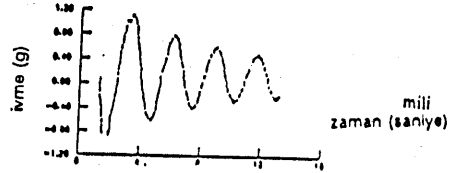
Şekil.15 Zemin tabanından yapı üst noktasına kadar elde edilen ivme kayıtları (Yapı-zemin etkileşimi)



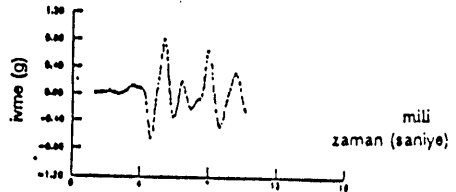
Şekil.19 Yapı alt noktasında ölçülmüş (1) ve hesaplanan (2) ivme Fourier spektrumları



Şekil.16 Yapı üst noktasında ölçülen ivme



Şekil.17 Yapı üst noktasında hesaplanan ivme (1 boyutlu)



Şekil.18 Yapı üst noktasında hesaplanan ivme (2 boyutlu)