

SISMİK STATİK PENETRASYON DENEYİ (SCPT) İLE GEOTEKNİK-GEODİNAMİK ZEMİN PROFİLİ

**H. Turan Durgunoglu¹, Turhan Karadayilar², Jonathan D. Bray³,
Rodolfo B. Sancio⁴, ve Emel Hacialioglu²**

ÖZET

17 Agustos 1999 Kocaeli, depremi ($M_w = 7.4$) sonrasında Adapazari'nda seçilen 12 ayrı sahada yüzeysel temellerin ve zemin davranisi detayli dökümantasyon ve araştırma programi ile incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında temel zemininin geodinamik özelliklerinin derinlikle değişimi sismik statik penetrasyon (SCPT) deneyleri ile gerçekleştirilmiştir.

Bu makale kapsamında zemin araştırmalarında ve geoteknik geodinamik modellemede kullanılan SCPT yöntemi tarfilenmiştir. Sismik kuyu içi metodların CPT deneyi ile birlikte gerçekleştirilmesi, temel zeminlerinin stratigrafik, mukavemet ve dinamik özelliklerinin belirlenmesinde çok hızlı, güvenilir ve ekonomik bir araç teskil etmiştir. Sismik CPT ile elde edilen sonuçlar diğer zemin araştırma yöntemleri ile karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

1. GİRİS

Son birkaç onyilda temel zeminlerinin dinamik davranisi sonucu ortaya çıkan mühendislik sorunları, zemin dinamiğine olan ilgiyi arttırmıştır. Özellikle, 17 Agustos 1999 Kocaeli, Türkiye depremi ($M_w = 7.4$) sonrasında meydana gelen hasarlar ve can kaybı ülkemizde bu ilgiyi daha da arttırmıştır. Geodinamik zemin özelliklerinin belirlenmesine yönelik artan ilgi yeni süratli ve analitik deney yöntemlerinin gelişmesine yol açmıştır.

Temel zeminlerinin yerinde kayma dalgasi hızlarının belirlenmesine yönelik olarak kuyu içi ve cross-hole teknikleri yaygın olarak kullanılan yöntemler arasındadır. Kuyu içi tekniklerinde yapay olarak oluşturulan bir kayma dalgasının bilinen mesafeler içinde yol almasının ve bu dalganın kaynak ile bilinen bir noktada yerleştirilen jeofonlar aracılığı ile yol alma süresinin belirlenmesi esas alınmaktadır. Elastik teori kayma dalgasi hızı, V_s , zemin yoğunluğu, ρ , ve kayma modülünün, G , aşağıdaki bağıntı ile ilişkilendirilmesini sağlamaktadır.

¹ Prof.Dr., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bogaziçi Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

² İns. Yük. Müh., ZETAS Zemin Teknolojisi AS, İstanbul, Türkiye

³ Prof.Dr., İnşaat ve Geoteknik Çevre Mühendisliği, University of California, Berkeley, USA

⁴ Doktora Öğrencisi, University of California, Berkeley, USA

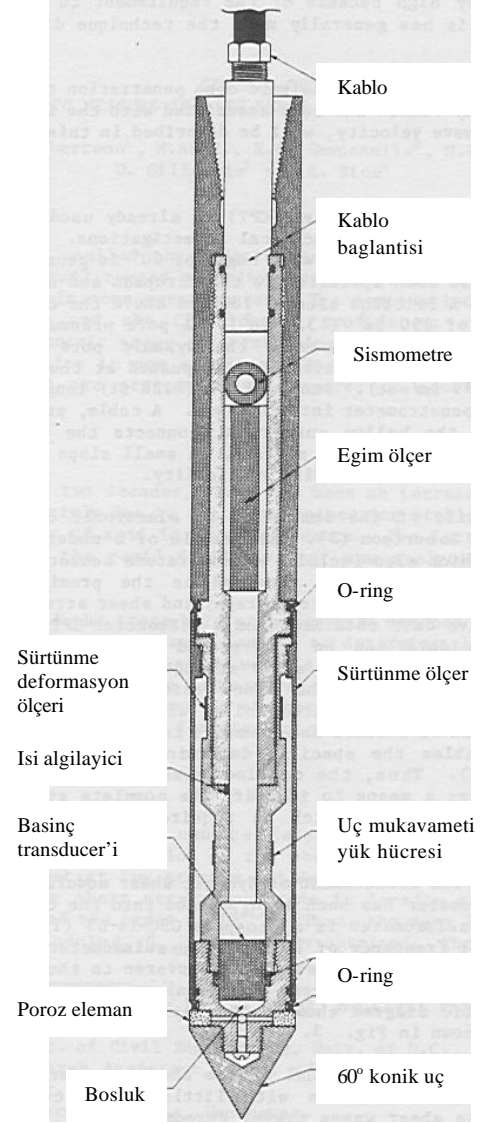
$$G = \rho V_s^2$$

Böylelikle, kayma modülü yerinde kayma dalgasi hızlarının ölçülmesi aracılığı ile ölçülebilmektedir. Yerinde sismik deneylerde elde edilen kayma birim deformasyonunun genelde $10^{-4}\%$ mertebesinde küçük genliklere sahip olması nedeniyle, düşük deformasyon seviyelerinde dinamik kayma modülü, G_{max} 'in ölçülebilmesine olanak tanımaktadır. Bu tür bir deneyin alışılagelmiş sondaj teknikleri ve kuyu içi yöntemleri ile gerçekleştirilmesi birden fazla sondaj kuyusu gerektirmesi nedeniyle oldukça yüksek maliyetli ve uzun süre gerektirmektedir.

Yerinde kayma dalgasi hızlarının hassas bir şekilde ölçülmesine olanak tanıyan yeni bir deney yöntemi olarak sismik statik penetrasyon deneyi (SCPT) maliyetleri önemli oranda düşürdüğü gibi zemin profilinin geoteknik ve geodinamik parametrelerinin aynı zamanda ve süratli bir şekilde ölçülmesine olanak tanımaktadır.

2. SİSMİK STATİK PENETRASYON DENEYİ, SCPT

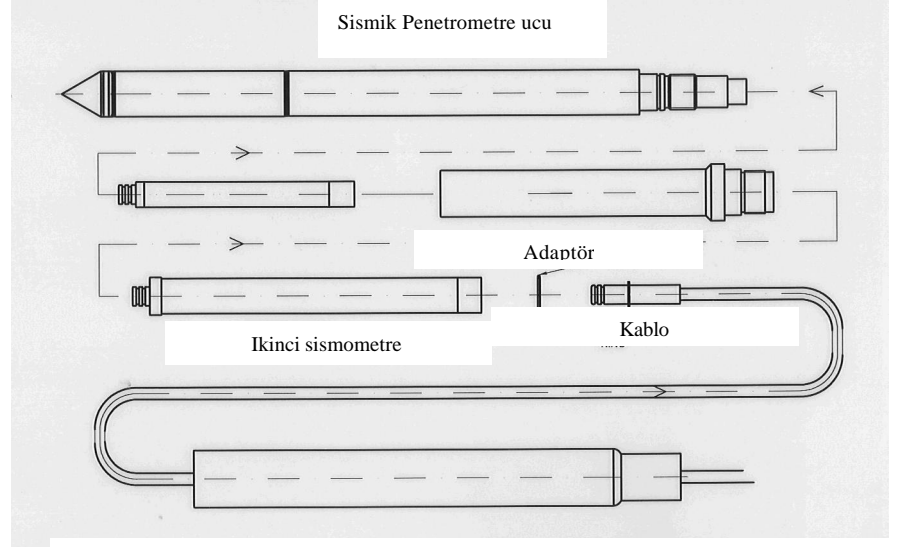
Bu etüd programında kullanılan CPT ekipmanı Hollanda (A.P. vd BERG) yapımı olup elektronik veri toplama sistemine sahiptir. Sondalama 10 cm^2 konik uç ve 150 cm^2 çevre alanına sahip 60° açılı elektronik bir konik ucun 10 ton kapasiteli bir hidrolik baskı yoluyla 2 cm/sn sabit hızla zemine penetre edilmesi ile yapılmaktadır. Bu penetrasyon sırasında 2 cm ara ile ölçülen uç ve çevre mukavemeti verileri bilgisayarda kaydedilmektedir. Bosluk suyu basınçlarının ölçümünde kullanılan "piezocone" elemanı, uç mukavemetinin kaydedildiği konik ucun hemen arkasında, 7.5 cm^2 kesit elemanlı poroz bir elemana sahiptir. Buna ilaveten, penetrometre konik ucunun hemen arkasında birbirine 1.0 m ara mesafe ile yerleştirilmiş olan, yatayda iki yönde (x,y) ve düşeyde bir yönde (z) üçlü bir jeofon sistemine sahip iki sismometre aracılığı ile kayma dalgasi hızı, V_s ve basınç dalgasi hızı, V_p arzu edilen derinlikte ölçülebilmektedir. Sismik penetrometre tipik kesiti Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1 – Sismik Penetrometre Tipik Kesiti

Bu makaleye konu olan çalışma kapsamında kullanılan sismik penetrometre ise birbirinden 1.0 m ara mesafe ile yerleştirilmiş iki adet sismometreye sahip bir sistemdir. Bu sistem Sekil 2’de gösterilmektedir.

Bu veriler zemin tabakalarının hassas bir şekilde tanımlanması, taşıma ve oturma özelliklerinin tayini, temel mühendisliği tasarım parametrelerinin belirlenmesi için verileri oluşturmada olup kullanımı ISSMFE (International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering) tarafından önerilmektedir. Kullanılan ekipmanın özellikleri Tablo 1’de özetlenmiştir.



Sekil 2 – İki Sismometreli Sismik Penetrometre

Tablo 1 - Statik Penetrasyon Deneyinde Kullanılan Yöntem

Uç alanı	10 cm ²
Konik uç iç açısı	60°
Çevre alanı	150 cm ²
Koni alan oranı	0.75
Penetrasyon hızı	~2 cm/s
Ölçüm aralığı	Her 2 cm’de
Tij boyu	50 cm

Temel zemininin geodinamik parametrelerinin belirlenmesi amacıyla sismik deneyler



Sekil 3 – Sismik Deney Mekanizması

düseyde 1.0 m ara mesafeyle gerçekleştirilmiştir. Sismik ölçümün yapılacağı derinlikte konik uç penetrasyonu durdurulmakta ve Sekil 3’de gösterilen mekanizma aracılığı ile sismik dalga iletilmektedir. Burada, zemin yüzeyine yerleştirilen rijit bir kirise bir balyoz aracılığı ile verilen darbe ile kayma dalgası ve basınç dalgası oluşturulmakta ve deneyin yapıldığı derinlikte penetrometre sisteminde yeralan sismometreler aracılığı ile kayma dalgası ve basınç dalgasının jeofonlara

ulaşma zamanı kaydedilmektedir. Sismometrelerin bağlı olduğu sistemin zemin içerisinde hidrolik baskı yolu ile itilmesi, sismometrelerin zemin ile tam bir mekanik temasını sağlamaktadır. Bu elde edilen sinyalin çok net olmasını sağlamakla beraber çevre gürültüsünden dolayı meydana gelen sismik sinyallerdeki gürültü kirliliğini önlemektedir.

Buna ilaveten sismometrenin konumu ve derinligi çok hassas bir şekilde kontrol edilebilmektedir.

Kiris-balyoz kaynagından sismometrelere dalganin ulasma zamani 1.0 m'lik araliklarla kaydedildiginde, birbiri ile 1.0 m ara mesafede yerlestirilmis jeofon kayitlari arasindaki zaman farkindan kayma dalgasinin 1.0 m'lik ara mesafelerdeki yol alma süreleri hesaplanabilmektedir. Böylelikle, kayma dalgasi hizinin zemin profili içerisinde derinlikle degisimi ölçülebilmektedir.

3. SISMİK CPT SONUÇLARI

Adapazari sehrinin büyük bir kısmi Pilo-Pleistosen göl çökelleri üzerinde yeralan Sakarya nehri ve kolları tarafından tasınmış Pleistosen ve Holosen yaşlı alüvyonel zeminlerle kaplıdır. Akarsularla tasınan malzemelerin üç boyutlu sedimantasyonuna bağlı olarak zemin profili ve tabakalanma yatayda ve düşeyde çok kısa mesafelerde değişkenlik göstermektedir. Bu zemin koşulları sonucunda, deprem esnasında zemin sivilasması ve zemin yumuşaması olarak ortaya çıkan yaygın zemin göçmesi meydana gelmiştir.

Son otuz yılda Standard Penetrasyon deneyi (SPT) ve statik penetrasyon deneyi (CPT), zemin tipi tanımlanması ve zemin sivilasması potansiyelinin belirlenmesinde en iyi ve en yaygın olarak kullanılan zemin araştırma yöntemleri olarak uygulanmıştır. Bu nedenle, Adapazari'nda yürütülen araştırmalarda bu iki yöntem birlikte kullanılmıştır.

Kalifornia Üniversitesi Berkeley, Kalifornia Üniversitesi Los Angeles, Bogaziçi Üniversitesi ve Sakarya Üniversitesi'nce ortaklaşa yürütülen çalışmalarda Adapazari'nda toplam 12 ayrı sahada zemin özellikleri araştırılmıştır. Temel zemininde asiri deformasyon gözlenen bu sahalardaki zemin özelliklerinin belirlenmesinde CPT deneyleri ile SPT deneyinin birlikte kullanıldığı araştırma sondajlarından oluşan bir çalışma yöntemi izlenmiştir. Adapazari'nda yeralan bu sahalardan birinde zemin araştırması kapsamında elde edilen veriler örnek olarak verilmiştir.

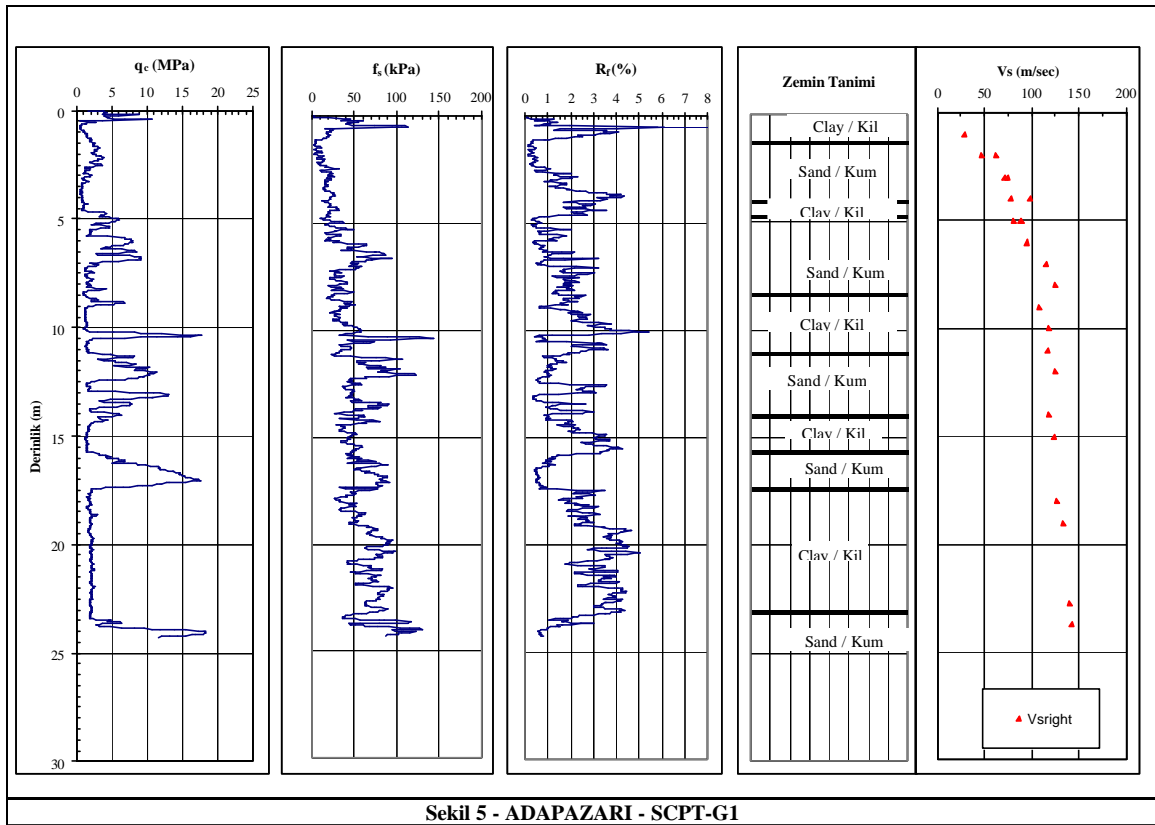
Bu makale kapsamında örneklenen, G Binası sahası olarak adlandırılan G sahasında yeralan iki bina, Adapazari, Yenigün-Tigcılar mahallesi, Hasircılar sokakta yeralan Yagcılar ve Teverler Apartmanlarıdır. Bu sahanın araştırma kapsamına dahil edilmesindeki başlıca neden, Adapazari'nda deprem sonrasında Türk-Amerikan NSF (National Science Foundation) takimi tarafından gerçekleştirilen incelemelerde temel zemininin sivilasması sonucu binaların iki yöne yatarak asiri defromasyona maruz kalmış olmalarından kaynaklanmaktadır (Baturay et al.). G sahasının genel görünümü Şekil 4'te verilmektedir. Sözkonusu sahada Standard Penetrasyon deneylerinin yapıldığı üç adet rotari araştırma sondajının yanı sıra, dört adet CPT deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu dört adet deneyden bir adedinde (CPT-G1) sismik CPT ekipmanı



Şekil 4 – G Sahası Genel Görünüsü

kullanılarak, SCPT deneyinde kayma dalgasi ve basıç dalgasi hizlari ölçölmüs ve sismik zemin profili elde edilmistir.

Sözkonusu sahada gerçekleştirilen SCPT deneyi sonucu elde edilen zemin profili, CPT-G1 noktasında yapılan deneyde ölçölen uç mukavemeti, q_c , çevre direnci, f_s , ve hesaplanan sürtünme oranı, R_f 'nin derinlikle değisimi ile birlikte Sekil 5'de verilmektedir. Sekil 5'de aynı zamanda kayma dalgasinin derinlikle değisimi zemin profili ile birlikte gösterilmiştir. Sekil 6'da ise SCPT ile belirlenen sag ve sol olmak üzere her iki yöndeki kayma dalgasi hizlari ile basınç dalgasi hizlarinin derinlikle değisimi zemin profili ile birlikte verilmektedir. Ölçölen kayma dalgasi hizlarından hesaplanan G_{max} değerleri Seed and Idriss (1970) tarafından önerilen ampirik bağitılarla elde edilen değerlerle uyum içerisindedir.

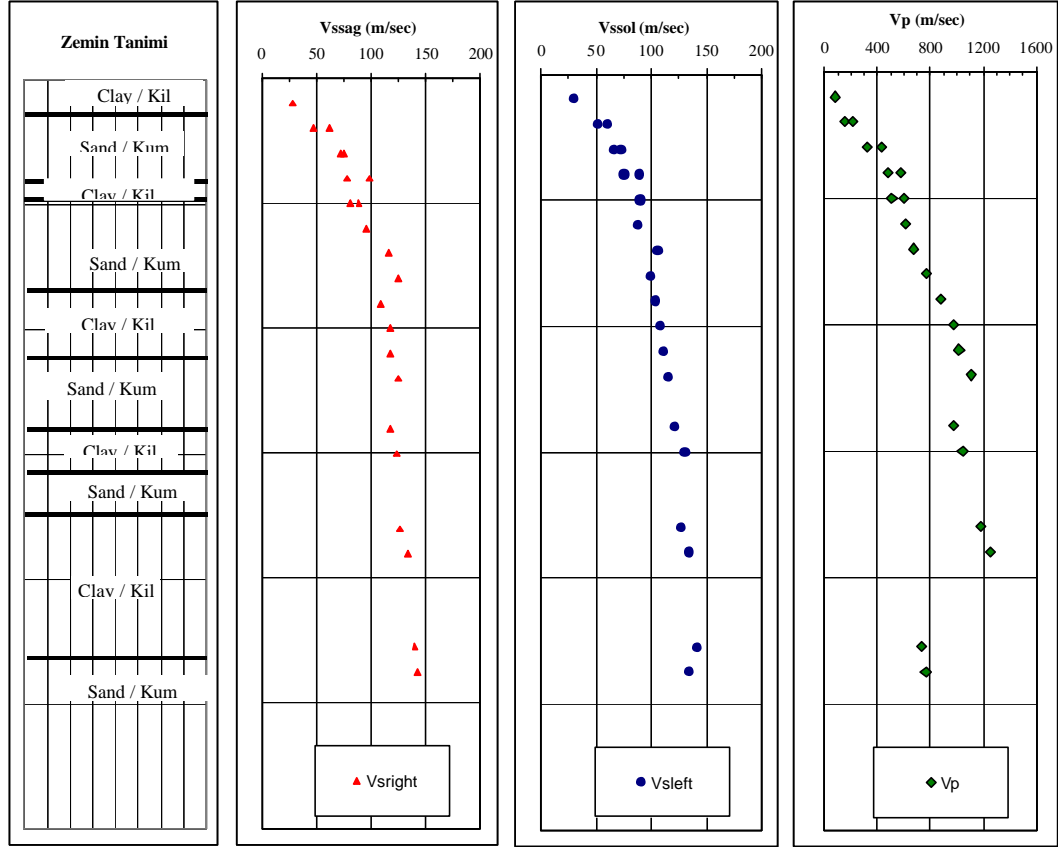


4. SONUÇLAR

Sismik statik pentrasyon deneyi ile (SCPT) temel zeminlerinin geoteknik ve geodinamik modellemesinin ve zemin profili elde edilmesi bu makale kapsamında sunulmuştur. Statik penetrasyon deneyinde (CPT) uç mukavemeti ve çevre sürtünmesi zemin profilinin zemin tipleri ve kayma mukavemeti parametrelerinin belirlenmesinde hızlı ve güvenilir bir yöntemdir. Kuyu içi sismik deneyleri SCPT deneyinde arzu edilen derinlikte kısa süreli aralar verilerek yapılabilmektedir. SCPT deneyinden elde edilen kayma dalgasi hızı verileri maksimum dinamik kayma modülünün hesaplanmasında kullanılmaktadır. CPT deneyinde derinlik ve sismometrelerin konumu hassas olarak kontrol edilebilmektedir. Statik penetrasyon deneyi (CPT) ile sismik ölçümlerin birleştirilmesi ve tek bir deneyde

gerçekleştirilebilmesi, temel zeminlerinin stratigrafik, mukavemet ve dinamik özelliklerinin belirlenmesinde çok hızlı, güvenilir ve ekonomik bir araç teskil etmiştir.

Sismik CPT deneylerinde elde edilen değerler diğer kuyu içi yöntemlerle elde edilen dinamik zemin parametreleri ile büyük uyum içerisindedir. Buna karşın sismik CPT, cross-hole gibi diğer tekniklerle karşılaştırıldığında çok hızlı ve ekonomik bir yöntemdir.



Sekil 6 - Geodinamik Parametrelerin Derinlikle Degisimi - Adapazari SCPT-G1

TESEKKÜR

Bu çalışma US National Science Foundation sponsorluğu ve Bogaziçi Üniversitesi Arastırma Fonu Proje No. 96A0428 maddi katkisi ile gerçekleştirilmiştir. Saha çalışmalarındaki katkilarından ötürü ZETAS Zemin Teknolojisi AS mühendisleri Sermet Danesfar, Tufan Heris ve Serdar Elgün'e tesekkür ederiz.

KAYNAKLAR

ASTM, (1979), Designation : D3441, American Society for Testing and Materials, Standard Method for Deep Quasi-static, Cone and Friction-Cone Penetration Tests of Soil.

Baturay, M. B., Bray, J. D., Durgunoglu, T., Sancio, R. B., Stewart, J. P., and Ural, D. (Principal Contributors) Damage Patterns and Foundation Performance in Adapazari.

Chapter VI of the EERI Reconnaissance Report on the August 17, 1999 Kocaeli Earthquake, Turkey. To be published in a special edition of Earthquake Spectra.

Seed, H. B., and Idriss, I.M. (1970) "Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analyses", Report to EERC 70-10, Earthquake Eng. Research Center, University of California, Berkeley.

Robertson, P.K., Campanella, R.G., Gillespie, D. and Rice, A. (1985) "Seismic CPT To Measure In-situ Shear Wave Velocity", Measurement and Use of Shear Wave Velocity for Evaluating Dynamic Soil Properties, Proceedings of ASCE Convention in Denver, pp. 34-48.

*Zemin Mekanigi ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi
26-27 Ekim 2000, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul*

GEOTECHNICAL-GEODYNAMIC PROFILING BY SEISMIC CPT

**H. Turan Durgunoglu¹, Turhan Karadayilar², Jonathan D. Bray³,
Rodolfo B. Sancio⁴, and Emel Hacialioglu²**

ABSTRACT

A total of 12 case histories on the performance of shallow foundations in the city of Adapazari have been chosen after the August 17, 1999 Kocaeli, Turkey earthquake ($M_w = 7.4$) for extensive documentation. Within the scope of this study geotechnical and geodynamic profiling of foundation subsoils is performed by making use of seismic cone penetration testing (SCPT).

This paper describes the procedures followed to perform SCPT for geotechnical and geodynamic profiling and modelling. The combination of the seismic downhole method and the CPT logging provided an extremely rapid, reliable and economic means of determining stratigraphic, strength and modulus information in one single sounding. Results using the seismic cone penetration test are presented and compared to conventional in-situ techniques.

¹ Professor of Civil Engineering, Bogaziçi University, İstanbul, Turkey

² Senior Engineer, CE M.Sc., ZETAS Zemin Teknolojisi AS, İstanbul, Turkey

³ Professor of Civil and Environmental Engineering, University of California at Berkeley, USA

⁴ Doctoral Candidate, University of California at Berkeley, USA