

İSTİNAT DUVARLARININ DEPREME GÖRE TASARIMINDA DUVAR TİPİNİN ÖNEMİ

IMPORTANCE OF WALL TYPE AT DESIGN ACCORDING TO EARTHQUAKE OF RETAINING WALLS

GÜRSOY Ş.¹, HÜLÜR B.², DURMUŞ H.³

E-posta: sgursoy@ktu.edu.tr, b.hulur_2205@hotmail.com, durmus@ktu.edu.tr

Anahtar Kelimeler: İstinat duvarları, Zemin basınçları, Analitik ve sayısal yöntemler.

ÖZ Topraklarının hemen hepsi aktif deprem kuşağında bulunan ve bu nedenle değişik büyüklüklerde depremlere maruz kalan Türkiye’de, istinat duvarları gibi özel mühendislik yapılarının da deprem yüklerine göre de tasarlanmaları gerektiği açıktır. Bu çalışmanın temel amacı istinat duvarlarının depreme göre tasarımında duvar tipinin önemini incelemektir. Bu amaçla örnek olarak seçilen betonarme konsol ve payandalı istinat duvarlarının yapısal çözümlenmeleri Erzincan (1992) depremi Kuzey-Güney bileşenine göre, dolgu zemin etkileşimini de dikkate alarak, sonlu elemanlar yöntemini kullanan LUSAS programıyla gerçekleştirilmektedir. Bu çözümlenmelerden elde edilen bulgular Türkiye Deprem Yönetmeliğinde önerilen yöntemden elde edilenlerle karşılaştırılarak bu duvarların tasarımlarına ilişkin bazı sonuç ve öneriler getirilmektedir.

ABSTRACT *It is obvious that, in Turkey, where almost the entire land is situated in an active earthquake zone and therefore exposed to earthquakes at various sizes, specific engineering structures such as retaining walls are required to be designed in accordance with earthquake loads. The main purpose of this study is to examine importance of wall type at design according to earthquake of retaining walls. With this purpose, structural solutions of reinforced concrete cantilever and counterfort retaining walls choosing as example carried out with LUSAS software which uses the finite element method according to the Erzincan (1992) Earthquake North-South component by considering the filling soil interaction. The obtained findings from these solutions are compared with the ones obtained from the method suggested in Turkish Earthquake Code. Some conclusion and recommendations concerning designs of these walls are given.*

GİRİŞ

İstinat duvarlarına depremden dolayı etkiyecek zemin basınçlarını belirlemeye yönelik ilk çalışma Mononobe-Okabe tarafından yapılmıştır (Mononobe, 1924; Okabe, 1924; Okabe, 1926; Mononobe ve Matsuo, 1929). Eşdeğer statik basınç adıyla anılan bu yöntem Coulomb kayma kaması teorisinden yararlanılarak geliştirilmiştir. Bu yöntemin uygunluğunu değerlendirmek için daha sonra bir çok araştırma yapılmıştır (Seed ve Whitman, 1970; Richard ve Elms, 1979; Whitman ve Liao, 1984; Steedman ve Zeng, 1990). Günümüzde ise bu tür problemler sayısal yöntemleri kullanan bilgisayar programları yardımıyla kolaylıkla çözülmektedir.

Mononobe-Okabe yöntemindeki hesap bağıntıları ağırlık istinat duvarları için önerildiğinden diğer duvarlar tipleri için tam olarak geçerli olmamaktadır. Zira bu yöntemde istinat duvarı tipi dolayısıyla duvar atalet kuvvetleri dikkate alınmamaktadır.

Bu bildiride, deprem etkisindeki betonarme konsol ve payandalı istinat duvarının davranışları Erzincan (1992) depremi Kuzey-Güney bileşene göre, dolgu zemini etkileşimi

de dikkate alınarak, sonlu elemanlar yöntemini kullanan Yapısal Çözümleme Programı LUSAS (LUSAS, 2006a) yardımıyla Türkiye Deprem Yönetmeliğinde (TDY-2007) önerilen analitik yöntemle karşılaştırmalı olarak incelenerek bazı sonuç ve öneriler getirilmektedir.

Türkiye Deprem Yönetmeliğine Göre Hesap (TDY)

Türkiye Deprem Yönetmeliğine (2007) göre istinat duvarına, depremden dolayı, etkileyen zemin basınçlarının hesabında eşdeğer statik yöntem benimsenmiştir. Bu yöntemde göre, P_{at} deprem durumundaki toplam aktif zemin itkisini; I yapı önem katsayısını, A_o etkin yer ivmesini, α istinat duvarı arka yüzeyinin düşeyle yaptığı açığı, H duvar yüksekliğini, ϕ zeminin iç sürtünme açısını, δ zeminle duvar arasındaki sürtünme açısını, i zemin yüzeyinin yatayla yaptığı açığı, γ zeminin doğal birim ağırlığını, $C_h = 0,2 \cdot (I+1) \cdot A_o$ ve $C_v = 2/3 \cdot C_h$ sırasıyla yatay ve düşey ivme katsayılarını, $\lambda = \tan^{-1}(C_h / (1 \pm C_v))$ eşdeğer deprem katsayısını ve

$$K_{at} = \frac{(1 \pm C_v) \cdot \cos^2(\phi - \lambda - \alpha)}{\cos \phi \cdot \cos \lambda^2 \cdot \alpha \cdot \cos(\delta + \alpha + \lambda) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \lambda - i)}{\cos \delta + \alpha + \lambda \cdot \cos(i + \alpha)}} \right]^2} \quad (1)$$

toplam aktif zemin basıncı katsayısını göstermek üzere, aktif zemin itkisi;

$$P_{at} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_{at} \quad (2)$$

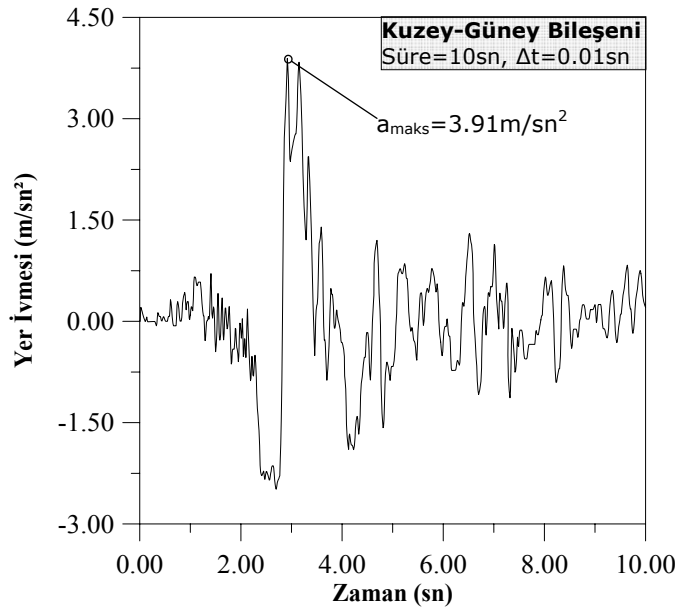
şeklinde hesaplanmaktadır. Bu aktif itki P_{as} statik ve P_{ad} dinamik bileşenler olmak üzere $P_{at} = P_{as} + P_{ad}$ şeklinde ifade edilmektedir. P_{at} aktif zemin itkisinin, statik bileşeninin (P_{as}) tatbik noktasının duvar tabanından itibaren $h = 0,333H$ yüksekliğinden etki ettiği, dinamik bileşeninin (P_{ad}) ise tatbik noktasının duvar tabanından itibaren $h = 0,5H$ yüksekliğinde olduğu kabul edilmiştir (TDY-2007). Diğer taraftan bu yönetmelikte konsol istinat duvarlarının deprem hesabında, yatay zemin basıncının yanında duvarın kendi kütleline ilişkin deprem kuvvetlerinin dikkate alınmayabileceği ve kaymaya karşı güvenlik katsayısının en az 1.1, devrilmeye karşı güvenlik katsayısının ise en az 1.3 olarak alınabileceği belirtilmektedir. Deprem bölgelerinde inşa edilecek olan istinat duvarlarının tasarımında kullanılabilir, TDY'deki tüm hüküm ve önerileri dikkate alan, bilgisayar programı akış diyagramı kaynak (Gürsoy ve Durmuş, 2002)'de programın listesi ise kaynak (Gürsoy, 2006) mevcuttur.

Sayısal Uygulama

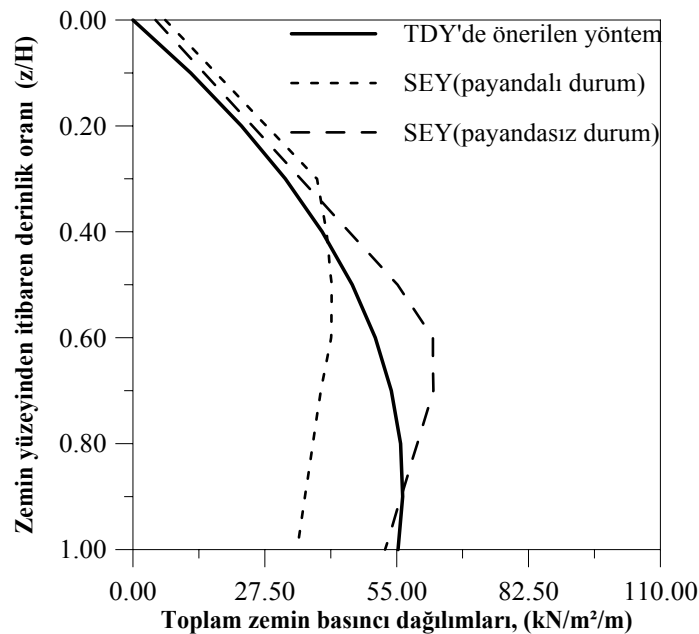
Bu bildiriye sayısal uygulama için dikkate alınan istinat duvarı boyutları ve zemin parametreleri Şekil 1'de verilmektedir. Bu duvarın inşasında kullanılan betonun TS 500-2000'e göre C20 sınıfına girdiği dolayısıyla da elastisite modülünün $E_c = 2.85 \times 10^7$ kN/m², Poisson oranının $\nu_c = 0.2$, betonarmenin birim ağırlığının $\gamma_c = 25$ kN/m³ ve çekme dayanımı 1.6×10^3 kN/m² olduğu kabul edilmektedir. Diğer taraftan pasif itki ihmal edilmektedir.

Bu yöntemle çözümlemede kullanılan adım adım integrasyon için gerekli Rayleigh sönüm katsayıları (Bathe, 1982) bu model için $\alpha_R=0.056468$ $\beta_R=0.0410251$ olarak hesaplanmış, kayıt zaman aralığı ise $\Delta t=0.01sn$ olarak dikkate alınmıştır.

Sonlu elemanlar yöntemiyle (SEY) Erzincan (1992) depremi yer ivmesi Kuzey-Güney bileşeninin ilk 10sn'lik kısmı (Şekil 3) kullanılmak suretiyle zaman tanım alanında, payandalı ve payandasız (konsol) istinat duvarları için, gerçekleştirilen yapısal çözümlerden duvar derinliğince elde edilen toplam zemin basıncı dağılımları TDY'de önerilen yöntem yardımıyla hesaplananlarla birlikte Şekil 4'de verilmektedir.



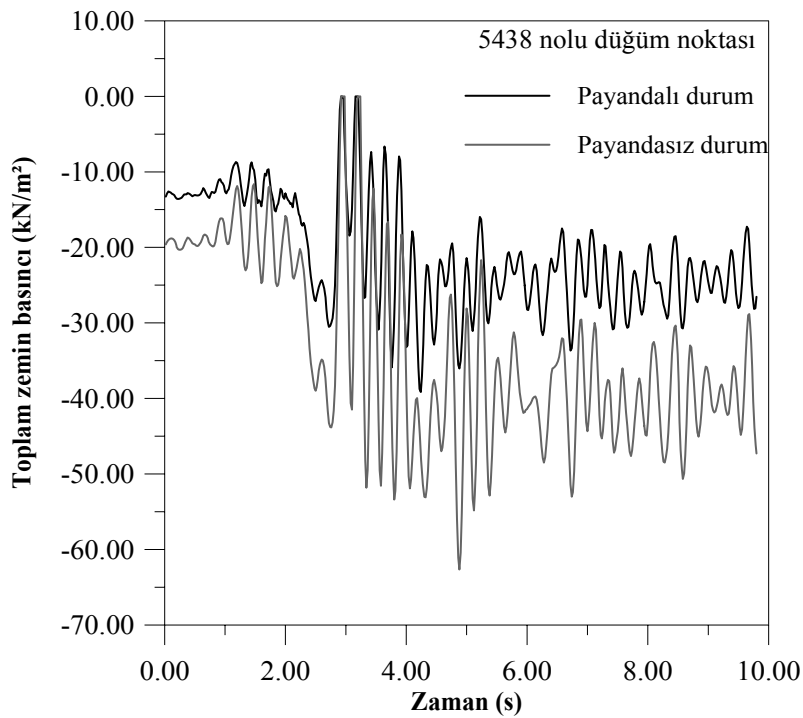
Şekil-3. Erzincan (1992) Depremi Yer İvmesi Kuzey-Güney Bileşeni



Şekil-4. Payandalı ve konsol istinat duvarlarının sonlu elemanlar ve TDY'de önerilen yöntemle hesaplanan toplam zemin basıncı dağılımları

Bu şekilden; payandasız (konsol) istinat duvarının sonlu elemanlar yöntemiyle hesaplanan toplam zemin basıncının derinlikle dağılımlarının payandalı istinat duvarı ve TDY'de önerilen yöntemle göre hesaplanandan genellikle daha büyük olduğu, bununla beraber istinat duvarı tabanı üst yüzeyinde TDY'de önerilen yöntemle hesaplanan basınçların konsol istinat duvarının sonlu elemanlar yöntemiyle hesaplanandan yaklaşık %5,17 daha büyük olduğu görülmektedir. Bu durum payandaların istinat duvarlarının davranışına olumlu yönde etki yaptığını dolayısıyla da payandaların önemini ortaya koymaktadır.

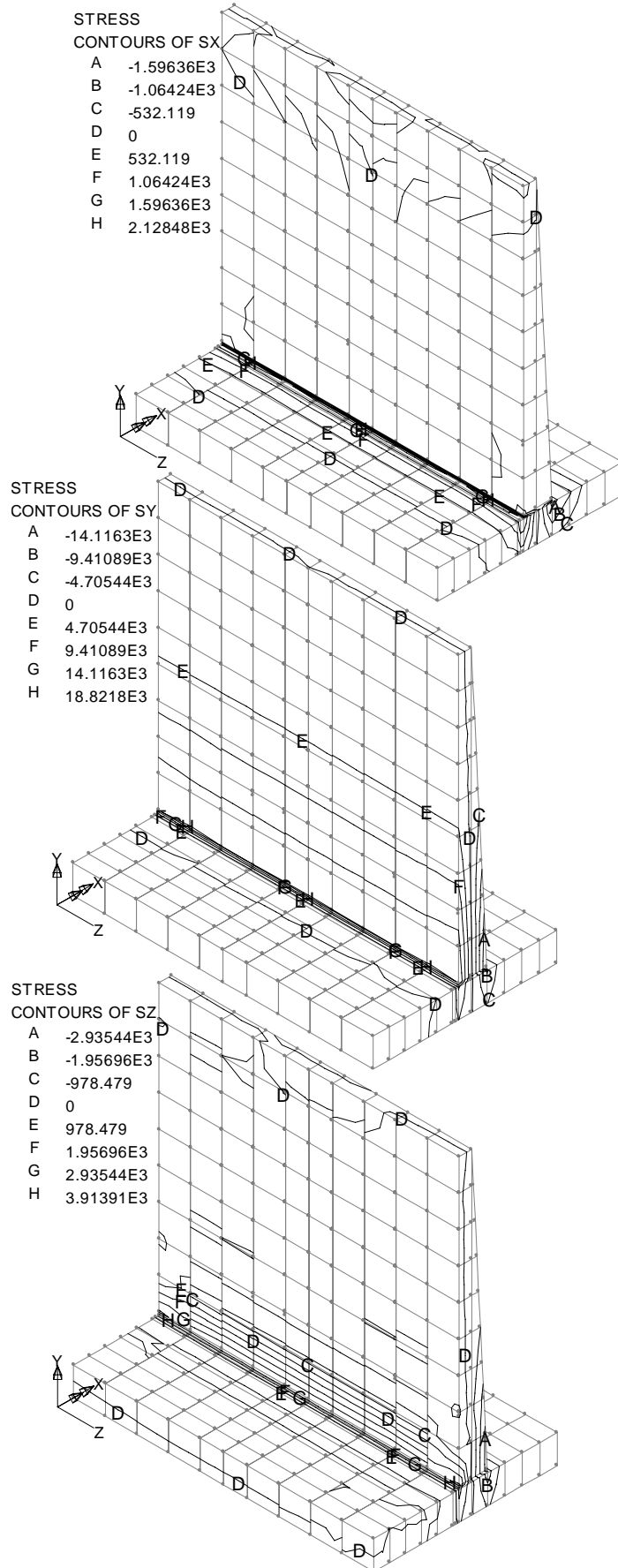
Bu sayısal uygulamada dikkate alınan payandalı ve konsol istinat duvarlarının model'deki (bkz. Şekil 2) 5438 no'lu düğüm noktasında deprem süresince oluşan toplam zemin basıncının değişimi Şekil 5'de verilmektedir.



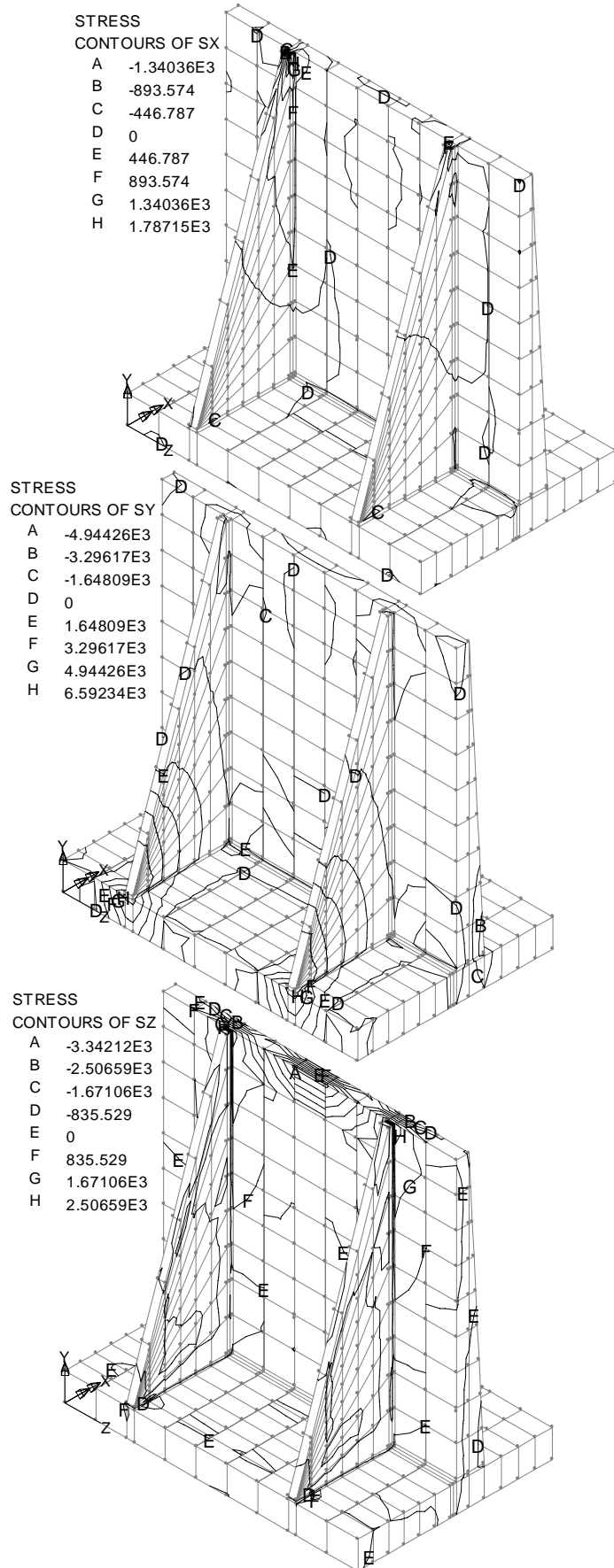
Şekil-5. Payandalı ve konsol istinat duvarlarının 5438 no'lu düğüm noktasındaki toplam zemin basıncının deprem süresince değişimi

Bu şekilden de konsol istinat duvarına ilişkin yapısal çözümlenmeye göre deprem süresince elde edilen zemin basıncının değişimi payandalı istinat duvarına ilişkin yapısal çözümlenmeye göre elde edilenlerden büyük olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca deprem süresince bu düğüm noktasında (5438) meydana gelen toplam zemin basıncının değişimlerinin Şekil 3'de verilen akselograma benzemediği görülmektedir.

Bu sayısal uygulamaya konu olan payandalı ve konsol istinat duvarlarının yapısal çözümlenmelerinden elde edilen x, y ve z eksenleri doğrultularındaki eş gerilme yörüngeleri Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmektedir.



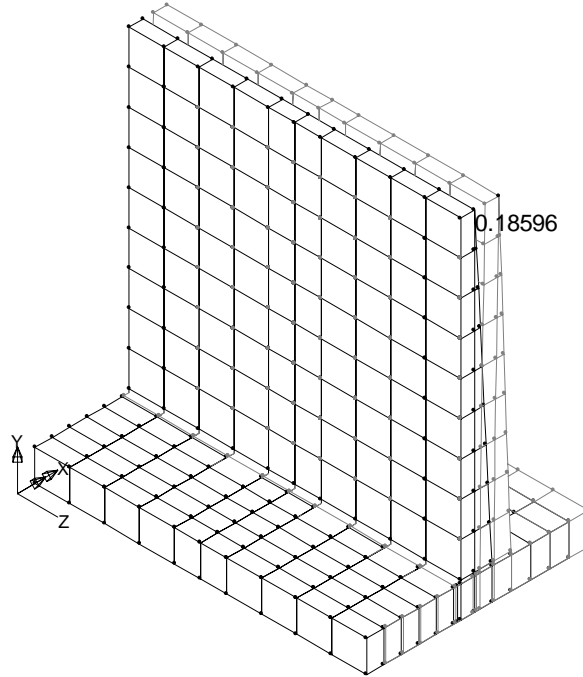
Şekil-6. Konsol istinat duvarının yapısal çözümlemesiyle x, y ve z eksenleri doğrultusunda hesaplanan eş gerilme yörüngeleri



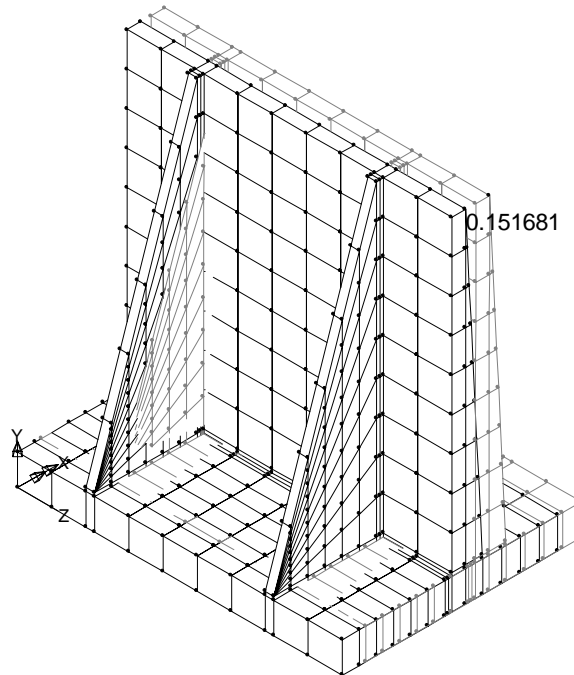
Şekil-7. Payandalı istinat duvarının yapısal çözümlemesiyle x, y ve z eksenleri doğrultusunda hesaplanan eş gerilme yörüngeleri

Bu şekillerden, payandasız (konsol) istinat duvarının yapısal çözümlemesinden elde edilen gerilme yörüngelerinin payandalı istinat duvarına göre elde edilenlerden daha büyük olduğu ancak bu gerilmelerin daima betonun basınç (20000kN/m^2) dayanımının altında olduğu görülmektedir.

Bu istinat duvarlarının (konsol ve payandalı) sonlu elemanlar yöntemiyle Erzincan (1992) depremi yer ivmesi Kuzey-Güney bileşenine (Şekil 3) göre, zaman tanım alanında, gerçekleştirilen yapısal çözümlerden istinat duvarlarının tepe düğüm noktası yerdeğiştirmesi de Şekil 8'de verilmektedir.



a) Konsol istinat duvarında



b) Payandalı istinat duvarında

Şekil-8. Depremin 4.88 s'lik süresi için konsol ve payandalı istinat duvarlarının yapısal çözümlemesinden elde edilen yatay yerdeğiştirmeler

Bu şekilden de konsol istinat duvarında duvar tepesini temsil eden düğüm noktası yerdeğiştirmelerinin payandalı istinat duvarındakinden daha büyük olduğu görölmektedir. Bu bulgu beklendiği gibi istinat duvarı türünün bunların tasarımında önemli olduğunu göstermektedir.

SONUÇ ve Öneriler

Bu çalışmadan elde edilebilen başlıca sonuç ve öneriler aşağıda özetlenmektedir:

- 1) Boyutları ve dolgu zemini özellikleri aynı olan payandalı ve konsol istinat duvarlarının sonlu elemanlar yöntemiyle gerçekleştirilen yapısal çözümlerinden; payandalı istinat duvarındaki basınç dağılımı ve gerilmelerin payandasızlardakinden çok küçük olduğunu göstermektedir. Bu durum ancak payandaların duvar rijitliğini artırmasıyla açıklanabilmektedir.
- 2) Özel mühendislik yapılarından olan betonarme istinat duvarlarında meydana gelen olaylar basit bir bağıntı ve yorumlarla çözümlenebilecek nitelikte değildir. Tüm yapılarda olduğu gibi bunların da özellikle depreme göre tasarımlarında eylemsizlik etkilerinin de dikkate alınması gerekmektedir.
- 3) Sayısal uygulamamıza konu olan betonarme konsol ve payandalı istinat duvarlarının zaman tanım alanında depreme göre yapısal çözümlerinden elde edilen toplam zemin basıncının deprem süresince değişimi yer hareket ivme değişimine benzemediği ve konsol istinat duvarının yapısal çözümlerinden elde edilenin payandalı istinat duvarından daha büyük olduğu görölmektedir.
- 4) Konsol istinat duvarının; sonlu elemanlar yöntemiyle yapısal çözümlerinden elde edilen duvar tepe düğüm noktası yerdeğiştirme miktarı bu yöntemle payandalı istinat duvarının yapısal çözümlerinden elde edilenden daha büyük olmaktadır.
- 5) Yazarlar, bu çalışmanın bulguları dikkate alındığında, aktif deprem kuşağında bulunan Türkiye’de deprem bölgelerinde inşa edilecek istinat duvarlarına ilişkin tasarımların daha emniyetli olmaları bakımından istinat duvarı tipini de dikkate alan yapısal çözümlere göre yapılmasını önermektedirler. Ancak bu sonuç ve önerilerin bu bildirinin uygulamasına konu olan istinat duvarları için geçerli olduğunun da bilincindedirler. Bu bakımdan sonuçların genellenebilmesi için uygulama alanının çok daha genişletilmesi gerekmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimince desteklenmiştir. Proje Kod No: 2004.112.001.01.

KAYNAKLAR

Bathe, K.J., 1982, Finite Elements Procedures in Engineering Analysis, Prentice-Hall Englewood Cliffs, 735p.

Gürsoy, Ş., 2006, Betonarme İstinat Duvarlarının, Zemin Etkileşimini de Dikkate Almak Suretiyle, Deprem Yüklerine Göre Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Davranışlarının İncelenmesi, **Doktora Tezi**, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.

Gürsoy, Ş., Durmuş, A., 2002, Betonarme İstinat Duvarlarının Deprem Yüklerine Göre İncelenmesi, İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler V.Uluslararası Kongresi, İTÜ, İstanbul, 25-27 Eylül, Sayfa: 31-40.

LUSAS, 2006a, Lusas User Guide, Version 13.7-6.

LUSAS, 2006b. Lusas Element Library, Version 13.7-6.

Mononobe, N., 1924. Consideration into earthquake vibrations and vibration theories, **Journal of Japan Soc. Civil. Eng.**, V 10, n 5, 1063-1094.

Mononobe, N., and Matsuo, H., 1929, On the determination of earth pressures during earthquakes, 9th Proceeding of World Engineering Congress, 9, 177-185.

Okabe, S. 1924, General theory of on earth pressures and seismic stability of retaining wall and dam, **Journal of Japan Soc. Civil Eng.**, v 10, n 5, pp:1277-1323.

Okabe, S., 1926, General theory of earth pressures, Journal of Japan Soc. Civil Eng., 12, 1, 311.

Richard, R.J., and Elms, D., 1979, Seismic behavior of gravity retaining walls, **Journal of Geotechnical Engineering**, ASCE, 105, 449-464.

Seed, H.B., and Whitman, R.V., 1970. Design of earth retaining structures for dynamic loads, ASCE Special Conf.-Lateral Stresses in the Ground and Design of Earth Retaining Structures, Cornell, 103-147.

Steedman, R.S., and Zeng, X., 1990, The seismic response of waterfront retaining walls, **ASCE Geotechnical Special Publication**, 25, 872-886.

TDY. 2007, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

TS 500 2000, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Whitman, R.V. and Liao, S., 1984. Seismic Design of Gravity Retaining Walls, 8th Proceeding of World Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, III, 533-540.