

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TRAKYA FORMASYONUNDA YAPILAN ÖNGERMELİ ANKRAJLI
DERİN KAZILARIN SONLU ELEMANLAR İLE MODELLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Arif ÇINAR
(501061303)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Mayıs 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 07 Haziran 2010

**Tez Danışmanı : Yard. Doç Dr. Aykut ŞENOL (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ahmet SAĞLAMER (İTÜ)
Doç. Dr. Mehmet BERİLGİN (YTÜ)**

HAZİRAN 2010

İÇİNDEKİLER

Sayfa

| | |
|--|-----------|
| ÖNSÖZ..... | v |
| İÇİNDEKİLER..... | vii |
| KISALTMALAR..... | xi |
| ÇİZELGE LİSTESİ..... | xiii |
| ŞEKİL LİSTESİ..... | xv |
| ÖZET..... | xix |
| SUMMARY..... | xxi |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. TRAKYA FORMASYONUNUN TANIMLANMASI..... | 3 |
| 2.1 Trakya Formasyonunun Jeolojik Özellikleri..... | 3 |
| 2.2 Trakya Formasyonunun Geoteknik Özellikleri..... | 4 |
| 2.2.1 Kaya kalitesi sınıflaması (RQD)..... | 5 |
| 2.2.2 Kaya kütlesi sınıflaması..... | 5 |
| 2.2.3 Jeolojik dayanım indeksi (GSI)..... | 7 |
| 2.2.4 Fiziksel özelliklerin belirlenmesi..... | 7 |
| 2.2.5 Mukavemet parametrelerinin belirlenmesi..... | 8 |
| 2.2.6 Elastisite modülünün belirlenmesi..... | 10 |
| 2.2.6.1 Kayaç numunenin elastisite modülünün belirlenmesi..... | 11 |
| 2.2.6.2 Kaya kütesinin elastisite modülünün belirlenmesi..... | 13 |
| 2.2.6.3 Kayaç numune ve kaya kütlesi elastisite modülü ilişkisi..... | 15 |
| 3. DERİN KAZI DESTEKLEME SİSTEMLERİ..... | 21 |
| 3.1 Derin Kazı Yöntemleri..... | 21 |
| 3.1.1 Açık kazı yöntemi..... | 21 |
| 3.1.2 İçten iksalı kazı yöntemi..... | 23 |
| 3.1.3 Ada kazı yöntemi..... | 24 |
| 3.1.4 Yukarıdan aşağı kazı yöntemi..... | 25 |
| 3.1.5 Anolu kazı yöntemi..... | 27 |
| 3.1.6 Ankrajlı kazı yöntemi..... | 27 |
| 3.1.6.1 Pasif ankrajlı kazı yöntemi..... | 27 |
| 3.1.6.2 Öngermeli ankrajlı kazı yöntemi..... | 28 |
| 3.2 Düşey Destek Sistemleri..... | 31 |
| 3.2.1 Kuyu tipi betonarme duvarlar..... | 31 |
| 3.2.2 Diyafram duvarlar..... | 32 |
| 3.2.3 Palplanş duvarlar..... | 33 |
| 3.2.4 Kazıklı perdeler..... | 34 |
| 3.2.4.1 Aralıklı kazıklı perdeler..... | 34 |
| 3.2.4.2 Teğet kazıklı perdeler..... | 34 |
| 3.2.4.3 Kesişen kazıklı perdeler..... | 35 |
| 4. YANAL TOPRAK BASINÇLARI..... | 37 |
| 4.1 Sükunetteki Toprak Basıncı..... | 38 |

| | |
|---|-----------|
| 4.2 Aktif ve Pasif Basınçlar | 39 |
| 4.2.1 Coulomb teorisine göre aktif ve pasif toprak basınçları..... | 40 |
| 4.2.2 Rankine teorisine göre aktif ve pasif toprak basınçları | 42 |
| 4.2.3 Kohezyonlu zeminlerde yanal toprak basınçları | 43 |
| 4.3 Öngermeli Ankrajlı İksalara Etkiyen Toprak Basınçları | 43 |
| 5. ÖNGERMELİ ANKRAJLI İKSA TASARIMI..... | 53 |
| 5.1 Öngermeli Ankrajların Sınıflandırılması..... | 54 |
| 5.1.1 Geçici ve kalıcı ankrajlar | 54 |
| 5.1.2 Ankraj imalat yöntemleri..... | 55 |
| 5.1.2.1 Düz cidarlı, basınçsız enjeksiyonlu ankraj | 55 |
| 5.1.2.2 Düz cidarlı, basınçlı enjeksiyonlu ankraj | 56 |
| 5.1.2.3 Basınçlı enjeksiyonlu ankraj | 56 |
| 5.1.2.4 Genişletilmiş köklü ankraj | 57 |
| 5.2 Öngermeli Ankraj Bölümleri | 57 |
| 5.2.1 Ankraj serbest boyu | 57 |
| 5.2.2 Ankraj kök boyu | 57 |
| 5.2.3 Ankraj kafa bölgesi..... | 58 |
| 5.3 Öngermeli Ankraj Elemanları..... | 58 |
| 5.3.1 Çimento enjeksiyonu | 58 |
| 5.3.2 Ankraj halatı | 58 |
| 5.3.3 Merkezleyici ve ayıraçlar | 59 |
| 5.3.4 Diğer elemanlar | 60 |
| 5.4 Öngermeli Ankrajların Göçme Mekanizması..... | 61 |
| 5.4.1 Öngermeli ankraj elemanının göçme mekanizması..... | 61 |
| 5.4.1.1 Ankraj halatının kopması | 62 |
| 5.4.1.2 Zemin ve enjeksiyon arasındaki sürtünmenin yenilmesi | 63 |
| 5.4.1.3 Enjeksiyon ve halat arasındaki sürtünmenin yenilmesi | 64 |
| 5.4.2 Yüzey elemanı tahkikleri..... | 65 |
| 5.4.3 Dış stabilite tahkikleri..... | 66 |
| 5.4.3.1 Toptan göçme analizi | 66 |
| 5.4.3.2 Taban kabarması | 68 |
| 5.5 İksa Sistemine Etkiyecek Yüklerin Belirlenmesi | 69 |
| 5.5.1 İksa sistemleri üzerinde etkili sürşaj yükleri | 69 |
| 5.6 Sismik İksa Tasarımı | 70 |
| 5.6.1 Sismik toprak basınçları | 71 |
| 5.6.2 Sismik toptan stabilite tahkikleri | 72 |
| 5.7 Öngermeli Ankraj Boyutlandırılması | 73 |
| 5.7.1 Ankraj serbest boyunun tayini..... | 73 |
| 5.7.2 Ankraj kök boyunun tayini..... | 74 |
| 5.7.3 Ankraj yatay aralığının tayini | 76 |
| 5.7.4 Ankraj halatının tayini | 76 |
| 5.8 İksa Düşey Elemanının Tayini..... | 77 |
| 5.8.1 Düşey elemanın kesitinin belirlenmesi..... | 77 |
| 5.8.2 Düşey elemanın gömülü boyunun belirlenmesi | 78 |
| 5.9 Öngermeli Ankraj Korozyon Tedbirlerinin Belirlenmesi..... | 79 |
| 5.10 Ankrajlı İksa Hareketinin Gözlenmesi | 79 |
| 5.10.1 Yatay iksa hareketlerinin gözlenmesi..... | 80 |
| 5.10.2 Düşey iksa hareketlerinin gözlenmesi | 83 |
| 5.11 Öngermeli Ankraj Deneyleri | 84 |
| 5.11.1 Kanıt deneyi..... | 84 |

| | |
|--|------------|
| 5.11.2 Uygunluk deneyi | 86 |
| 5.11.3 Kabul deneyi..... | 86 |
| 6. SONLU ELEMANLAR PROGRAMI İLE MODELLENEN ÖRNEK İKSALI KAZI ANALİZ VE SONUÇLARI..... | 89 |
| 6.1 Plaxis Sonlu Elemanlar Programı..... | 89 |
| 6.2 Örnek Derin Kazı Projelerinin Sonlu Elemanlar İle modellenmesi | 91 |
| 6.3 İnceleme Yapılan Çalışmalar..... | 91 |
| 6.3.1 1 No'lu çalışma | 91 |
| 6.3.1 2 No'lu çalışma | 93 |
| 6.4 Zemin Koşullarının Tanımlanması..... | 94 |
| 6.4.1 1 No'lu çalışmanın zemin koşulları..... | 94 |
| 6.4.2 2 No'lu çalışmanın zemin koşulları..... | 97 |
| 6.5 Geometrik Modelin Oluşturulması..... | 100 |
| 6.6 Malzeme Özellikleri | 101 |
| 6.7 Ağ Modelinin Oluşturulması | 102 |
| 6.8 Analiz..... | 103 |
| 6.9 Analiz Sonuçları | 104 |
| 6.9.1 Yatay deplasmanlar | 104 |
| 6.9.1.1 1 No'lu çalışmanın yatay deplasmanları | 104 |
| 6.9.1.2 2 No'lu çalışmanın yatay deplasmanları | 106 |
| 6.9.2 Gerilme – deformasyon ilişkisi | 108 |
| 6.9.3 Öngermeli ankraj yükleri..... | 112 |
| 6.9.4 Toptan göçme analizi | 113 |
| 7. SONUÇ VE ÖNERİLER..... | 115 |
| KAYNAKLAR..... | 119 |
| EKLER..... | 121 |

TRAKYA FORMASYONUNDA YAPILAN ÖNGERMELİ ANKRAJLI DERİN KAZILARIN SONLU ELEMANLAR İLE MODELLENMESİ

ÖZET

Bu araştırma Trakya Formasyonunda yapılan öngermeli ankrajlı derin kazıların tasarımı ve sonlu elemanlar yöntemiyle çözümünü incelemek için hazırlanmıştır. Yapılan araştırma ile grovak birimlerde yapılacak ankrajlı derin kazı projelerinde, mühendislik parametrelerinin seçilmesi ve iksa modelinin çözülmesi için gerekli literatür çalışmalarının bir arada sunulması ve benzer araştırmalara kaynak oluşturulması hedeflenmiştir. Genel olarak derin kazıların günümüzdeki önemi, kullanım alanı ve tasarım felsefesine vurgu yapılmış, derin kazı destekleme sistemleri hakkında bilgiler verilmiş, koşullara göre seçilmesi gereken iksa sistemleri üzerinde durulmuştur. Derin kazıların sıkça yapıldığı İstanbul'un genel jeolojisini oluşturan Trakya Formasyonu ve bu formasyonda yer alan grovak birimlerin mühendislik parametreleri konu edilmiştir. İksa sistemlerinin tasarımı için büyük önem taşıyan yanal toprak basınçları irdelenmiş ve değişik zemin koşulları ve iksa sistemlerine göre seçilmesi gereken yük dağılımları irdelenmiştir. Derin kazı iksa sistemi olarak, öngermeli ankrajlı iksa sistemlerinin tasarımı incelenmiş, ankrajlı sistem elemanları, ankraj stabilite tahkikleri ve kontrol deneyleri anlatılmıştır. Araştırma kapsamında, grovak birimde yapılan öngermeli ankrajlı sistemlerin sonlu elemanlar yöntemi ile hesap yapan Plaxis bilgisayar programı ile modellenmesi konu edilmiş, İstanbul ili sınırlarında yapılan iki farklı öngermeli ankrajlı iksa uygulaması vaka analizi olarak irdelenmiştir. Öngermeli ankrajlı iksa sistemlerinin tasarımı, grovak birimlerin mühendislik parametreleri ve sonlu elemanlar analizi hakkında genel değerlendirmeler yapılmıştır.

MODELLING OF ANCHORED RETAINING SYSTEM BY FINITE ELEMENT METHOD IN TRACE FORMATION

SUMMARY

This research was conducted in order to examine the design of anchored excavation and find a solution with the finite elements method in Trace Formation. It was targeted that choosing of engineering parameters and at the same time all similar researches were presented to be a source for the projects of anchored excavation in greywacke units. It was carried out with different episodes, generally the ideas were given about the significance, usage field and philosophy for designing of deep excavation today. Also, some information were presented to support deep excavation and choose retaining systems in various conditions. Furthermore, "Trace Formation" which is based on Istanbul's Geological structure and engineering parameters of greywacke units in this formation were described with details. In addition, lateral earth pressure which is so significant for designing retaining systems and load distribution considering in term of different soil conditions and according to type of retaining systems were analysed. As a deep excavation retaining system, designing of anchored excavation, anchored system components and stability of anchorage were tested. In the scope of this research, anchored systems which were in greywacke units were modelled by Plaxis software which was based on finite elements method. Two different anchored project applications were analysed as samples which are placed in Istanbul city borders. Consequently, it has been made general appraisal in terms of designing anchored retaining systems, engineering parameters of greywacke units and finite elements analysis.

1. GİRİŞ

Artan nüfus ve büyük şehirlere başlayan göç, buralarda ki konut, işyeri, hizmet binası ve altyapı ihtiyaçlarını arttırmıştır. Gelişen teknoloji ve azalan yaşam alanları, özellikle kent merkezindeki yeni yapıların çok katlı olmasının yanında yeraltına doğru da ilerlemesini sağlamıştır. Son yıllarda, özellikle İstanbul gibi büyük yerleşim merkezlerinde neredeyse tüm yapılar bir veya birkaç bodrumlu yapılmaktadır. Özellikle kent merkezlerinde arsa sınırlarının müsait olmaması ve yapılacak kazı derinliğinin fazla olması nedeniyle, klasik tarzda ağırlık veya konsol, rijit istinat yapılarının kullanılması zor ve gayri ekonomik olmaktadır. Bunun yerine çok sıra destekli esnek iksa yapıları tercih edilmektedir. Rijit istinat yapılarında, istinat yapısı sonradan oluşturulan toprak yüklerini taşıırken, esnek derin kazı destekleme sistemlerinde ise mevcut toprak itkileri sonradan yapılacak iksa elemanları ile taşınmaktadır.

İksa elemanları, mevcut zemin koşulları değiştirilmeden imal edileceği için içerisinde bulunduğu ve istinad ettiği zemin koşullarının, tasarım açısından büyük önemi vardır. İksa elemanları projelendirilirken, parsel bazında yapılan zemin etüdü ve değişik mühendislik dallarının yaptığı arazi ve laboratuvar deneyleri sonuçları kullanılmaktadır. Yapılan etüd ve deney çalışmalarında amaca yönelik çalışmaların yapılması ve tasarımda kullanılacak doğru sonuçların elde edilmesi büyük önem taşımaktadır. Özellikle ayrışmış kaya formasyonlarda yapılan iksalı kazılarda, tasarımda kullanılacak mühendislik parametrelerinin seçilmesi ve yorumlanması, kaya kütlelerinin süreksizliği sebebiyle oldukça zordur. Bu birimler için yapılan tasarımlarda, laboratuvarında kaya numunesi üzerinde yapılan deneylerin ve arazide yapılan sismik deneylerin sonuçlarının doğrudan kullanılması güvensiz sonuçlar doğurabilir.

Mevcut zemin koşulları, yapılacak kazının önemi, topoğrafik durum ve ekonomik dengeler dikkate alınarak seçilen derin kazı destekleme sistemleri boyutlandırılırken, iksa sistemine etkiyecek yükler değişik kabullerle belirlenir ve iksa elemanları üzerine etkiltilerek iksa elemanları kesit tesirleri hesaplanır. İksa sistemlerinin

boyutlandırılmasında genelde kil ve kum zeminler için önerilen yük dağılımları kullanılmaktadır. Kullanılan yük dağılımlarının özellikle ayrışmış kaya ve kaya formasyonlarda yapılan derin kazılar için ekonomik olmayan sonuçlar çıkaracağı gerçeği göz ardı edilmemelidir.

İksalı derin kazılarda kazı güvenliğinin sağlanması amacıyla çeşitli gözlemler yapılmaktadır. Özellikle kazı aynasında oluşacak yatay deplasmanlar, kazı üst kotunda ve tabanında oluşacak düşey deplasmanlar ve iksa elemanlarında oluşacak yük değerleri, çeşitli deneysel aletler kullanılarak ölçülmekte ve olağandışı durumlarda yerinde tedbirler alınabilmektedir. Yapılan aletsel gözlemlerin diğer bir avantajı ise sonuçlarının geri analizlerde kullanılması ve benzer iksalı kazılarda seçilecek yöntemin netleştirilmesine yardımcı olmasıdır.

İksalı derin kazılarda, iksa seçimi yapılırken, yapılacak kazının önemi, sınır koşulları, zemin koşulları ve maliyet gibi faktörler değerlendirilir. Ülkemizde yaygın olarak kullanılan derin kazı yöntemi öngermeli ankrajlı kazı yöntemidir. Bu araştırmada İstanbul ili ve çevresinin hakim zemin formasyonunu oluşturan Trakya Formasyonunda yapılan ankrajlı derin kazılarının tasarımı ve sonlu elemanlar yöntemi ile analizi incelenmiştir. Bu kapsamda, ankrajlı iksa sisteminin hesap yöntemleri, grovak birimlerin mühendislik parametreleri, iksa sistemi yük dağılımları, öngermeli ankraj ön hesapları ve iksalı kazıların sonlu elemanlar ile modellenmesi konuları irdelenmiştir. Ayrıca grovak birimlerde uygulanmış iki farklı örnek proje vaka analizi olarak sunulmuş, sonlu elemanlar modeli ve arazide aletsel gözlemler sonucunda elde edilen değerler karşılaştırılarak sonuçları üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır.