



TÜRK STANDARDI
TURKISH STANDARD

TS 1900-2

Mart 2006

ICS 93.020

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİNDE ZEMİN LÂBORATUVAR
DENEYLERİ - BÖLÜM 2: MEKANİK ÖZELLİKLERİN
TAYİNİ**

Methods of testing soils for civil engineering purposes in the
laboratory - Part 2: Determination of mechanical properties

TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ
Necatibey Caddesi No.112 Bakanlıklar/ANKARA

- Bugünkü teknik ve uygulamaya dayanılarak hazırlanmış olan bu standardın, zamanla ortaya çıkacak gelişme ve değişikliklere uydurulması mümkün olduğundan ilgililerin yayınları izlemelerini ve standardın uygulanmasında karşılaştıkları aksaklıkları Enstitümüze iletmelerini rica ederiz.
- Bu standardı oluşturan Hazırlık Grubu üyesi değerli uzmanların emeklerini; tasarılar üzerinde görüşlerini bildirmek suretiyle yardımcı olan bilim, kamu ve özel sektör kuruluşları ile kişilerin değerli katkılarını şükranla anarız.



Kalite Sistem Belgesi

İmalât ve hizmet sektörlerinde faaliyet gösteren kuruluşların sistemlerini TS EN ISO 9000 Kalite Standardlarına uygun olarak kurmaları durumunda TSE tarafından verilen belgedir.



Türk Standardlarına Uygunluk Markası (TSE Markası)

TSE Markası, üzerine veya ambalâjına konulduğu malların veya hizmetin ilgili Türk Standardına uygun olduğunu ve mamulle veya hizmetle ilgili bir problem ortaya çıktığında Türk Standardları Enstitüsü'nün garantisi altında olduğunu ifade eder.



Kalite Uygunluk Markası (TSEK Markası)

TSEK Markası, üzerine veya ambalâjına konulduğu malların veya hizmetin henüz Türk Standardı olmadığından ilgili milletlerarası veya diğer ülkelerin standardlarına veya Enstitü tarafından kabul edilen teknik özelliklere uygun olduğunu ve mamulle veya hizmetle ilgili bir problem ortaya çıktığında Türk Standardları Enstitüsü'nün garantisi altında olduğunu ifade eder.

DİKKAT!

TS işareti ve yanında yer alan sayı tek başına iken (TS 4600 gibi), mamulün Türk Standardına uygun üretildiğine dair üreticinin beyanını ifade eder. **Türk Standardları Enstitüsü tarafından herhangi bir garanti söz konusu değildir.**

Standardlar ve standardizasyon konusunda daha geniş bilgi Enstitümüzden sağlanabilir.

TÜRK STANDARDLARININ YAYIN HAKLARI SAKLIDIR.

Ön söz

- Bu standard, TSE İnşaat İhtisas Grubu'nca TS 1900 (1987)'ün revizyonu olarak hazırlanmış ve TSE Teknik Kurulu'nun 09 Mart 2006 tarihli toplantısında Türk Standardı olarak kabul edilerek yayımına karar verilmiştir.
- Genel ismi “İnşaat mühendisliğinde zemin lâboratuvar deneyleri“ olan bu standard, aşağıda belirtilen bölümlerden oluşmaktadır:
Bölüm 1: Fiziksel özelliklerin tayini
Bölüm 2: Mekanik özelliklerin tayini
- Bu standarrda kullanılan bazı kelime ve/veya ifadeler patent haklarına konu olabilir. Böyle bir patent hakkının belirlenmesi durumunda TSE sorumlu tutulamaz.

İçindekiler

| | | |
|----------|---|-----------|
| 0 | Giriş | 1 |
| 1 | Kapsam..... | 1 |
| 2 | Atıf yapılan standartlar | 1 |
| 3 | Terimler ve tarifleri | 1 |
| 3.1 | Geri basınç | 1 |
| 3.2 | Efektif konsolidasyon basıncı | 1 |
| 3.3 | Göçme (yenilme) | 1 |
| 4 | Özellikler..... | 2 |
| 4.1 | Cihazlar | 2 |
| 4.2 | Örselenmiş zemin numunesinden silindir biçimli deney numunesi hazırlanması | 2 |
| 4.3 | Birimler | 3 |
| 4.4 | Rapor hazırlanması | 3 |
| 4.5 | Deneyde kullanılan suyun özellikleri | 3 |
| 5 | Deneyler | 3 |
| 5.1 | Deney 1: Taşıma oranının tayini | 3 |
| 5.2 | Deney 2: Tek yönlü konsolidasyon özelliklerinin tayini | 15 |
| 5.3 | Deney 3: Serbest (tek eksenli) basınç dayanımının tayini | 27 |
| 5.4 | Deney 4: Kayma direncinin üç eksenli hücrede (konsolidasyonsuz - drenajsız) boşluk suyu basıncı ölçülmeden tayini..... | 30 |
| 5.5 | Deney 5: Kayma direncinin üç eksenli hücrede (konsolidasyonlu - drenajsız) boşluk suyu basıncı ölçülerek tayini | 37 |
| 5.6 | Deney 6: Kayma direncinin kesme kutusu ile tayini | 55 |
| | Yararlanılan kaynaklar..... | 64 |

İnşaat mühendisliğinde zemin lâboratuvar deneyleri - Bölüm 2: Mekanik özelliklerin tayini

0 Giriş

Bu standard, inşaat mühendisliği ile ilgili zemin lâboratuvar deneylerinde, mekanik özelliklerin tayin metodlarına dairdir.

1 Kapsam

Bu standard, inşaat mühendisliği ile ilgili olarak, lâboratuvarda yapılacak zemin deneylerinden, taşıma oranının tayini, tek yönlü konsolidasyon özelliklerinin tayini, serbest (tek eksenli) basınç dayanımının tayini, kayma direncinin üç eksenli hücrede (konsolidasyonsuz - drenajsız) boşluk suyu basıncı ölçülmeden tayini, kayma direncinin üç eksenli hücrede (konsolidasyonlu - drenajsız) boşluk suyu basıncı ölçülerek tayini ve kayma direncinin kesme kutusu ile tayini metodlarını kapsar.

2 Atıf yapılan standartlar

Bu standardda diğer standard ve/veya dokümanlara atıf yapılmaktadır. Bu atıflar metin içerisinde uygun yerlerde belirtilmiş ve aşağıda liste hâlinde verilmiştir. * işaretli olanlar İngilizce metin olarak basılan Türk Standardlarıdır.

| TS No | Türkçe Adı | İngilizce Adı |
|-------------------------|--|--|
| TS 1227 ISO 3310-1 | Deney elekleri - Teknik özellikler ve deneyler - Kısım 1: Tel örgülü deney elekleri | Test Sieves - Technical requirements and testing - Part 1: Test sieves of metal wire cloth |
| TS 1900-1 | İnşaat mühendisliğinde zemin lâboratuvar deneyleri - Bölüm 2: Fiziksel özelliklerin tayini | Methods of testing soils for civil engineering purposes in the laboratory - Part 1: Determination of physical properties |
| TS EN ISO 3696 | Su - Analitik lâboratuvarında kullanılan - Özellikler ve deney metodları | Water for analytical laboratory use – Specification and test methods |
| TS EN ISO/ IEC 17025 | Deney ve kalibrasyon lâboratuvarlarının yeterliliği için genel şartlar | General requirements for the competence of testing and calibration laboratories |

3 Terimler ve tarifleri

Bu standardın amacı bakımından TS 1900-1'de verilenlere ilâve olarak aşağıda verilen terimler ve tarifleri uygulanır.

3.1 Geri basınç

Numunenin doygunluğunu sağlamak için numunenin boşluk suyuna uygulanan ek su basıncı.

3.2 Efektif konsolidasyon basıncı

Numunenin gözeneklerindeki su basıncı ile hücre basıncı arasındaki fark.

3.3 Göçme (yenilme)

Numunenin:

- En büyük kesme gerilmesi veya
- Asal gerilmeler arasındaki farkın en büyüğü (en büyük deviatör gerilme) veya
- % 20 birim boy kısalmasına kadar ölçülen en büyük deviatör gerilme veya
- En büyük asal gerilme oranı olarak tarif edilen (σ'_1/σ'_3)'nin erişilen en büyük değeri

ortaya çıktığında gösterdiği davranış.

4 Özellikler

4.1 Cihazlar

4.1.1 Deney elekleri

TS 1227 ISO 3310-1'e uygun deney elekleri kullanılır.

4.1.2 Terazi

Yaklaşık 500 g kapasiteli 0,01 g doğrulukla tartabilen.

4.2 Örselenmiş zemin numunesinden silindirik biçimli deney numunesi hazırlanması

Numunenin istenen birim hacim ağırlığa sıkıştırılması ise iki metotla yapılabilir:

- 1) Bilinen hacme istenen miktarda malzeme (gerekli birim hacim ağırlığı sağlayacak miktarda malzeme) hazırlanarak,
- 2) İstenen birim hacim ağırlığı vermesi için her tabakaya gelmesi gereken darbe sayısı, her darbe için gerekli kuvvet ve tabaka sayısı belirlenerek.

4.2.1 Bilinen hacme istenen miktarda malzeme yerleştirilmesi

Örselenmiş zemin numunesinden mekanik deneyler için sıkıştırılmış (belli bir su muhtevasında ve birim hacim ağırlıkta) deney numunesi hazırlanması için aşağıdaki işlemler uygulanmalıdır:

4.2.1.1 Gerekli zemin numunesi, istenilen mühendislik deneylerine yetecek kadar, ilgili elekten elenerek TS 1900-1 Madde 1.3'e göre alınır.

4.2.1.2 Elenen zemin numunesinin doğal su muhtevası, w_n , TS 1900-1 Deney 1 yardımıyla belirlenir.

4.2.1.3 Kalan malzeme 0,01 g doğrulukla tartılarak, P, ağzı kapanabilen hava geçirmez bir kap içine konulur.

4.2.1.4 Numuneye eklenecek su miktarı aşağıdaki eşitlikten bulunur:

$$P \frac{(1 + w_{opt})}{(1 + w_n)} - P$$

Burada;

P Mühendislik deneyleri için alınan zemin numunesi miktarı, (g),

w_{opt} Zemin numunesinin olması istenilen su muhtevası, (%),

w_n Zemin numunesinin TS 1900-1 Deney 1 yardımıyla ölçülen su muhtevası, (%)

dır

Not - Numunenin su ile karıştırılarak hazırlanması sırasında kaybedeceği su dikkate alınarak, hesaplanan su miktarının % 5 fazlası alınması tavsiye edilir.

4.2.1.5 Sonuç, artı çıkar ise çıkan miktar kadar su eklenir. Eksi çıkması durumunda ise numune kurutulur.

4.2.1.6 Su eklenen veya kurutulan numune iyice karıştırılarak en az 16 saat hava geçirmez bir kap içerisinde bekletilir.

4.2.1.7 Zemin numunesinin su muhtevası TS 1900-1 Deney 1 yardımıyla tekrar ölçülür. Ölçülen su muhtevası değeri w_{opt} 'a eşit olana kadar Madde 4.2.1.4 ilâ Madde 4.2.1.7'de anlatılan işlemler tekrarlanır.

4.2.1.8 İstenilen su muhtevasına gelen zemin numunesinden, aşağıdaki eşitlik ile bulunan miktar kadar 0,01 g doğrulukla tartılır:

$$V \rho (1 + w_{opt})$$

Burada;

ρ Zemin numunesinin istenilen birim hacim ağırlığı, (kN/m^3),
 V Sıkıştırma kalıbının veya deney numunesinin hacmi (cm^3)
dir.

Genelde silindir şeklindeki numunenin boyu, çapının iki katı olduğundan:

$$V = (\text{taban alanı}) (\text{yükseklik}) = \frac{\pi D^2}{4} 2D = \frac{\pi D^3}{2}$$

Burada;

D Deneyde kullanılacak silindir şeklindeki zemin numunesinin çapı, (cm)
dır

4.2.1.9 Elde edilen silindirik şekilli deney numunesinin çapı ve yüksekliği 0,01 mm hassasiyetinde bir kumpas ile ölçülür.

4.2.1.10 Numune miktarı üçe bölünerek, üç katman halinde numune kabında sıkıştırılır. Katmanlar arasında ayrışım olmaması için alt katmanın yüzeyi belirli oranda çizildikten sonra üst katman sıkıştırılır.

4.2.2 İstenilen birim hacim ağırlık için gerekli kuvvet uygulanarak

TS 1900-1 Madde 5.2'de anlatılan deneylerden birisi kullanılarak istenilen birim hacim ağırlığı için gerekli kuvvet değeri bulunur.

4.3 Birimler

Bu standard serisinde SI birimleri kullanılmıştır (TS 1900-1 Madde 4.4).

4.4 Rapor hazırlanması

Bu standardda, deney esnasında ve rapor yazımında kullanılacak çeşitli formlar önerilmiştir. Formlar, gerekli bilgilerin bulunması şartıyla verilenlerden farklı biçimlerde tanzim edilebilir. Deney raporu, formlarda istenilen bilgilere ilâveten TS EN ISO/IEC 17025'te verilen bilgileri de ihtiva edecek şekilde düzenlenebilir.

4.5 Deneyde kullanılan suyun özellikleri

Deneyler için TS EN ISO 3696 Sınıf 3 su kullanılmalıdır. Ancak, Sınıf 3 suyun özelliklerinden sadece bir tanesinin sağlanması yeterlidir.

5 Deneyler

5.1 Deney 1: Taşıma oranının tayini

5.1.1 Genel

Bu deney, alanı 1935 mm^2 olan pistonun belirlenmiş bir hızda zemine itilmesiyle elde edilen yük - penetrasyon bağıntısını kullanarak taşıma oranının bulunmasıyla ilgilidir. Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) olarak da bilinen bu deney, kalıbı ve penetrasyon pistonunun boyutları nedeniyle dane boyutu 20 mm'den küçük malzeme için elverişlidir.

Bu deney, taşıma oranının % 5'ten küçük çıkacağı düşünülen zeminlerde uygulanmaz. Deney daha çok demiryolu ve havaalanı taban ve alt temel gerecinin sıkıştırılmış numunelerinde uygulanır.

5.1.2 Cihazlar

Elekler, ince ve orta daneli zeminler için sırasıyla 4,75 mm ve 20 mm göz açıklıklı,

Metal kalıp, iç çapı 152 mm, iç etkili yüksekliği 127 mm, kolayca takılıp çıkarılabilen bir taban plâkası ve üst plâkası ile 50 mm yüksekliğinde yakası olan, silindir şekilli (Şekil 1),

Plâka sapı, diskere vidalanabilen, sıkıştırmadan sonra diskin çıkarılmasını kolaylaştıran, (Şekil 2'de gösterilen türde bir disk ve sap uygundur),

Metal piston, alt ucu sert çelikten yapılmış, kesit alanı 1935 mm^2 ve uzunluğu yaklaşık olarak 250 mm olan silindir şekilli (Şekil 3),

Pres, deney sırasında uygulanacak yükü, piston aracılığıyla zemine aktaran (bu makinenin yükü ölçen bir cihazı olması ve yükü, denetlenebilen bir hızla uygulayabilmesi gereklidir) (Madde 2.8 Not 2),

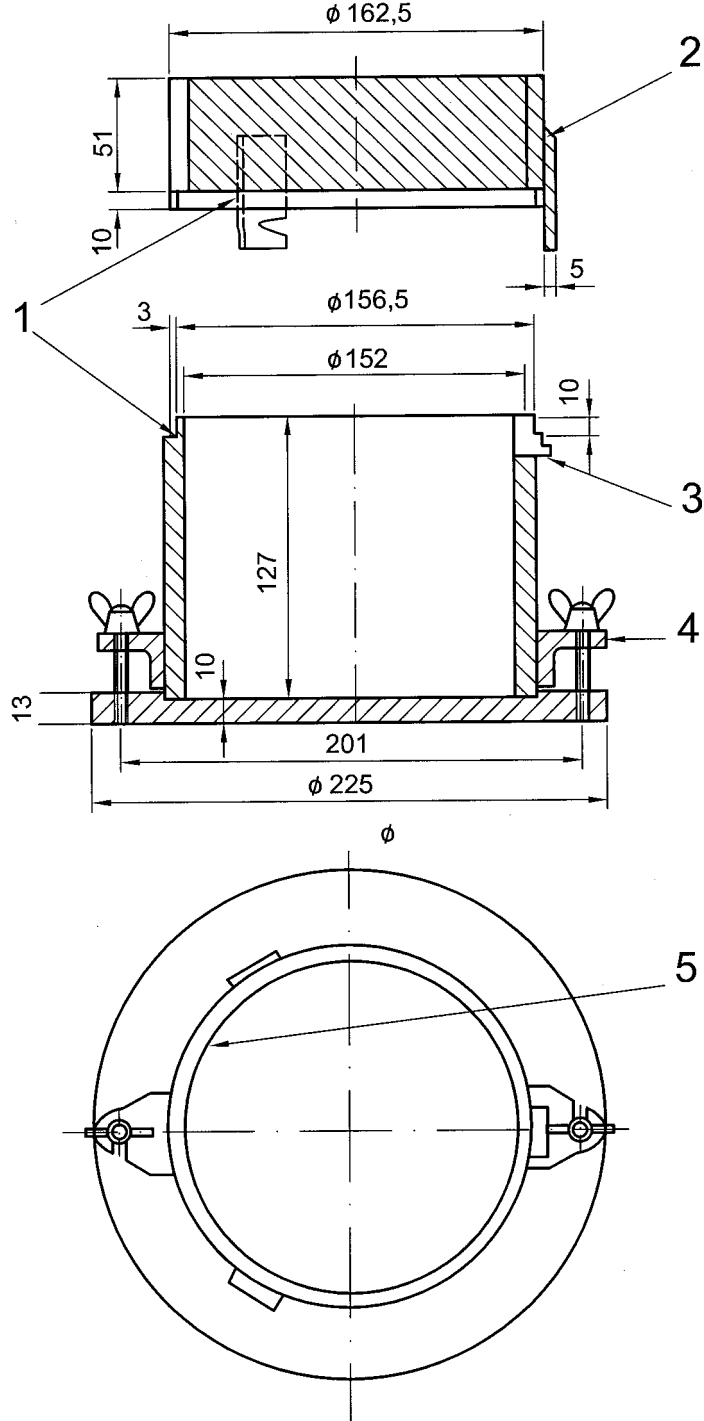
Komparatör saati, piston penetrasyonunun ölçülmesini ve penetrasyon hızının denetlenebilmesini sağlayacak 0,02 mm bölüntülü, 25 mm hareket göstergeli,
Kütleler, iç çapı 54 mm, dış çapı 149,2 mm ve her birinin kütlesi 2,3 kg olan halka biçiminde üç adet,
Metal tokmak, 50 mm çapında dairesel bir tabanı ve kütlesi 2,5 kg olan (tokmağın serbest düşüşünü 305 mm'ye ayarlayabilen, TS 1900-1 Şekil 17'de gösterilen türde bir donanımı olmalıdır), (zorunlu değildir),
Metal tokmak, 50 mm çapında dairesel bir tabanı ve kütlesi 4,5 kg olan (tokmağın serbest düşüşünü 458 mm'ye ayarlayabilen, TS 1900-1 Şekil 18'de gösterilen türde bir donanımı olmalıdır),
Basınç aleti, statik sıkıştırma için alanı en az 5000 mm² olan iki yatay plâkası arasında en az 300 mm'lik bir aralık bulunan, 25 ton kapasiteli,
Tokmak, TS 1900-1 Deney 9'da belirtilen türde elektrikle çalışan,
Çubuk, 13 mm - 20 mm çapında ve 380 mm uzunluğunda, çelik,
Cetvel, Yaklaşık olarak 300 mm x 25 mm x 3 mm boyutlarında, çelik,
Palet bıçağı, A tipi,
Sacayak, Numunenin suda bekletilmesi sırasında, yüzey hareketini ölçebilen (Şekil 4),
Terazi, 25 kg kapasiteli, 1 g doğrulukla tartma yapabilen,
Süzgeç kâğıdı, 150 mm çapında,
Vazelin veya silikon gresi

Ayrıca, su muhtevası ölçümü için TS 1900-1 Deney 1'de belirtilen cihazlar,

5.1.3 Deney numunesinin hazırlanması

Deney, 20 mm'lik elekten geçen malzeme üzerinde yapılmalıdır (Madde 5.1.8 Not 1). Deney, genellikle, zeminin kazı anındaki doğal su muhtevasında yapılır, ancak başka su muhtevalarında deneyler de gerekebilir. Değişik su muhtevasında deney yapılacağına, numuneler açıkta kurutulmuş ve 4,75 mm'lik eleğin üstünde kalan toprakların ufalanmış olduğu zemine, istenilen miktarda su eklenerek elde edilir. Bu gibi durumlarda zemini çok iyi karıştırmak ve sıkıştırma işleminden önce kapalı bir kap içerisinde 24 saat bekletmek gerekir.

Ölçüler mm'dir.

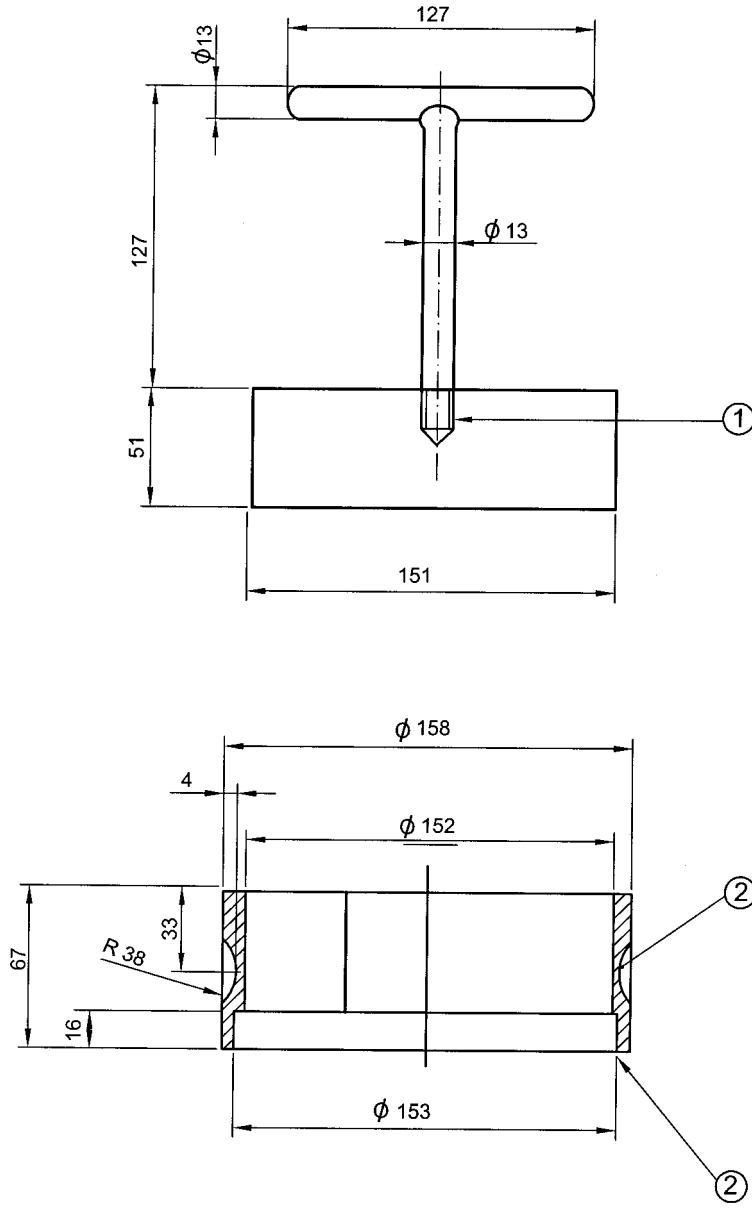
**Açıklamalar**

- 1 Kaygın geçme
- 2 Uzaticiya kaynatılmış üç adet çengel
- 3 Uzatici çengellerinin geçeceği üç adet pim
- 4 Kalıba kaynatılmış iki adet çengel
- 5 İç yüzeyi hassas işlenmiş kalıp

Not - Mecburî boyutların altı çizilmiştir

Şekil 1 - Taşıma oranı deneyi için kalıp

Ölçüler mm'dir.

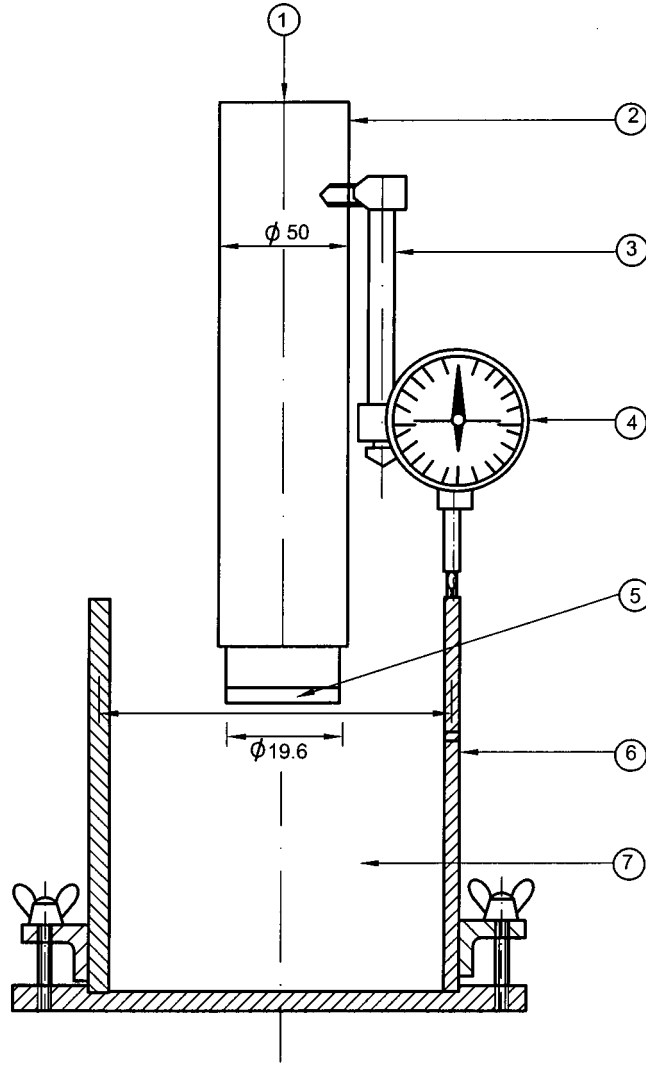
**Açıklamalar**

- 1 Diş adımı 2 mm
- 2 9,5 mm eninde oyuk

Not - Disk ve yaka yumuşak çelik malzemedен imal edilmelidir, mecburî boyutların altı çizilmiştir

Şekil 2 - İnce ve orta daneli zeminlerin taşıma oranını ölçmekte kullanılan silindir kalıp için yükleme disk ve yakası

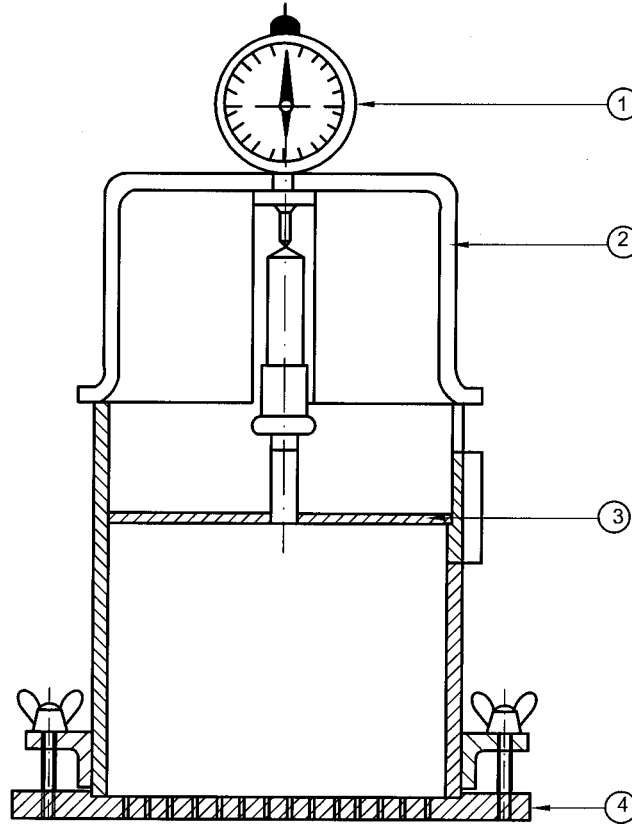
Ölçüler mm'dir

**Açıklamalar**

- 1 Yük
- 2 Metal piston
- 3 Gösterge desteği
- 4 25 mm'ye kadar olan penetrasyonu ölçebilen göstergeli komparatör saati
- 5 Sertleştirilmiş çelik uç
- 6 Kalıp
- 7 Çapı 152 mm ve yüksekliği 127 mm olan zemin numunesi

Not - Mecburî boyutların altı çizilmiştir

Şekil 3 - Taşıma oranı deneyi



Açıklamalar

- 1 Delikli plâka ile temasta olan 0,02 mm bölüntülü ve 25 mm kapasiteli göstergeli komparatör saati
- 2 Kalıbın uzaticısı üzerine oturtulan üç ayaklı sehpa (saç ayak)
- 3 Gösterge ile teması sağlayan ayarlanabilir bir kolu olan delikli plâka
- 4 Delikli alt plâka

Şekil 4 - Taşıma oranı için suda bekletilen numunenin yüzey hareketini ölçmeye yarayan sacayak ve ölçüm düzeni

TS 1900-1 Madde 1.3.3'teki metotla elde edilen malzemenin 20 mm'lik elekten geçen bölümünden, her deney için yaklaşık olarak 6 kg açıktaki kurutulmuş numune alınır. Bu malzeme 20 mm'lik elekten, ovularak geçirilir ve elekte kalan iri danelerin toplam numuneye oranı kaydedildikten sonra bu daneler atılır. Bunların oranı % 25'ten fazlaysa yerine ana numuneden 20 mm - 4,75 mm arası malzeme eklenir.

Deneyler, örselenmiş numuneler üzerinde yapılır. Numunelerin hazırlanışı, ilgili deney metotlarında verilmiştir.

Deney numunesini hazırlamada kullanılan sıkıştırma metotları şunlardır:

5.1.3.1 Statik sıkıştırma

İstenilen kuru birim hacim ağırlığa gelecek biçimde sıkıştırılacak bir numune için gereken yaş zemin kütlesi (M_1), aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$M_1 = 23,5(100 + w)\rho_k \text{ (g)}$$

Burada;

w Zeminin su muhtevası (%),
 ρ_k Zeminin kuru birim hacim ağırlığı (kN/m^3)
 dir.

Statik sıkıştırma için iki metot kullanılır:

5.1.3.1.1 Metot 1

Taban plâkası süzgeç kâğıdı ile kaplanır ve kalıbın yakası takılır.

Madde 5.1.3.1'de hesaplanan kütledeki zemin, yavaşça kalıba dökülür, bir yandan da çelik çubukla şişlenir. Sıkıştırma miktarı bütün zemin kullanıldıktan sonra zeminin yüzeyi kalıbın tepesinden (5 - 10) mm yüksekte kalacak biçimde ayarlanmalıdır. Çubukla sıkıştırıldıktan sonra, numunenin üstüne bir süzgeç kâğıdı, bunun üzerine de 50 mm kalınlığındaki disk yerleştirilir ve numune 250 kN yükleme cihazında, diskin üst yüzeyi kalıp yakasının tepesi ile bir düzeye gelene kadar sıkıştırılır. Bu sıkıştırmayı sağlayan yük, en az 30 saniye süreyle aynı düzeyde tutulur ve sonra kaldırılır. Kimi zeminler, yük kaldırılınca bir miktar kabarmabilir. Bu gibi durumlarda, yükün daha uzun bir süreyle yeniden uygulanması gerekir.

Sıkıştırmadan sonra disk ve süzgeç kâğıdı uzatıcı ile birlikte alınır. Numune hemen deneye tâbi tutulmayacaksa, kurumayı önlemek amacıyla yüzeye disk bırakılır. Sıkıştırılmış zeminde hava boşlukları oranı % 5'ten az ise (% 95 doygunluk), sıkıştırmadan doğan boşluk suyu basıncının sönmelerini kolaylaştırmak için numune, deneyden önce 24 saat bekletilmelidir.

5.1.3.1.2 Metot 2

Kalıp, Madde 5.1.3.1.1'de belirtildiği gibi hazırlanır. Madde 5.1.3.1'deki eşitlikten bulunan gerekli yaş zemin miktarı kütlece üç eşit parçaya bölünüp su kaybını önlemek için her biri kapalı kap içerisine konur. Zeminin üçte biri kalıba dökülür. Sapları çıkarılmış üç disk zeminin üzerine yerleştirilir ve zemin 250 kN yükleme cihazı kullanılarak, yük kaldırıldıktan sonraki zemin kalınlığı kalıbın derinliğinin üçte biri olacak biçimde sıkıştırılır. İkinci tabaka iki disk, üçüncü tabaka ise tek bir disk kullanılarak sıkıştırılır. Son tabakanın sıkıştırılmasına diskin üst yüzeyi yakanın tepesiyle bir seviyeye gelene kadar devam edilir.

Numunelerin korunması ve bekletilmesi Madde 5.1.3.1.1'de belirtildiği gibi yapılır.

5.1.3.2 Dinamik sıkıştırma

Bu tür sıkıştırma için kullanılan üç ayrı metot vardır. İlk ikisi, basınç cihazı ve dolayısıyla Madde 5.1.3.1'de belirtilen statik sıkıştırma mümkün olmadığında istenilen birim hacim ağırlığının dinamik veya titreşimli sıkıştırma yoluyla elde edileceği durumlarda kullanılır. Üçüncü metot ise, standard sıkıştırma deneylerinde olduğu gibi, belirli bir sıkıştırma enerjisinin uygulanacağı durumlarda kullanılır. Bu üç metodun ayrıntıları aşağıda verilmiştir.

5.1.3.2.1 Metot 1

Kalıp, taban plâkası takılmış olarak 1 g doğrulukla tartılır (M_2). Bundan sonra yaka takılır ve kalıbın tabanına bir süzgeç kâğıdı yerleştirilir.

İstenilen kuru birim hacim ağırlığı verecek miktarda zemin kütlesi, Madde 5.1.3.1'de statik sıkıştırma için verilen eşitlikten hesaplanır. Bu zemin kütlece beş eşit parçaya bölünüp nem kaybını önlemek için her biri kapalı kap içerisine konur. Bundan sonra zemin, beş eşit tabaka halinde ve kütlesi 2,5 kg veya 4,5 kg olan tokmak kullanılarak, üst ucuna yakası takılmış kalıp içerisine sıkıştırılır.

Her tabakanın yüzeyine tokmakla sıkışma sonunda tabaka kalınlığını kalıp derinliğinin beşte birine eşit yapacak sayıda ve tabakanın yüzeyine eşit aralıklarla dağıtılmış tokmak vuruşları uygulanır. Bu metotla sıkıştırıldığında, zeminin son düzeyi, kalıp tepesinin az üstünde olur. Bundan sonra yaka çıkarılır ve zemin çelik cetvelle kalıbın üst kenarı seviyesinde tıraşlanır. Kalıp, taban plâkası ve numune ile birlikte 1 g doğrulukla tartılır (M_3).

Zeminin hesaplanan kütlesi ile kalıbı yeterince doldurabilmek için uygulanan darbe sayısını ayarlamak amacıyla ön denemeler gerekebilir.

Koruma ve bekletme işlemleri statik metotla sıkıştırılmış numuneler için Madde 5.1.3.1.1'de belirtildiği gibi yapılır.

5.1.3.2.2 Metot 2

Kalıp ve yaş zemin Madde 5.1.3.1.2'de belirtildiği gibi hazırlanır. Yaş zeminin üçte biri kalıba konur ve TS 1900-1 Deney 9'da belirtilen metot uygulanarak titreşimli tokmakla sıkıştırılır. Titreşimli sıkıştırma tabaka kalınlığı kalıp yüksekliğinin üçte birine eşit olana kadar sürdürülür. İkinci ve üçüncü tabakalar eklenip aynı metotla sıkıştırılır. Zeminin son yüzeyi, kalıbın üst kenarı ile aynı düzeyde olmalıdır. Bundan sonra kalıp, taban plâkası ile birlikte 1 g doğrulukla tartılır (M_3).

Koruma ve bekletme işlemleri statik metotla sıkıştırılmış numuneler için Madde 5.1.3.1.1'de belirtildiği gibi yapılır.

5.1.3.2.3 Metot 3

Kalıp, taban plâkası takılmış olarak 1 g doğrulukla tartılır (M_2). Bundan sonra yaka takılır ve tabana bir süzgeç kâğıdı yerleştirilir. İstenen su muhtevasında yaklaşık olarak 6 kg zemin hazırlanır. İki ayrı sıkıştırma enerjisinden herhangi biri kullanılabilir. Birincisinde kütlesi 2,5 kg olan tokmak, ikincisinde ise kütlesi 4,5 kg olan tokmak kullanılır.

Kütlesi 2,5 kg olan tokmak kullanılacaksa yakası takılmış kalıp içerisine sıkıştırma sonunda tabaka kalınlığı kalıp derinliğinin üçte birine eşit olarak veya bunu biraz aşacak miktarda zemin konur ve tokmak kullanılarak zeminin yüzeyine eşit aralıklarla dağıtılan 61 vuruş uygulanır. Her defasında aynı kütledeki zemin kullanılarak, son düzey kalıbın tepesini en çok 6 mm aşacak biçimde iki tabaka daha eklenir ve aynı metotla sıkıştırılır. Her tabaka için gerekli zemin miktarını tespit etmek için ön denemeler gerekebilir. Sonra yaka çıkarılır ve zemin, çelik cetvelle kalıbın üst kenarı düzeyinde tıraşlanır. Kalıp, taban plâkası ile birlikte 1 g doğrulukla tartılır (M_3).

Daha çok sıkıştırma için aynı yol izlenir. Ancak bu kez 61 vuruş 4,5 kg'lık tokmakla uygulanır ve zemin 5 eşit tabaka halinde yerleştirilip, sıkıştırılır (Madde 5.1.8 Not 3).

Koruma ve bekletme işlemleri statik metotla sıkıştırılmış numuneler için Madde 5.1.3.1.1'de belirtildiği gibi yapılır.

5.1.4 Numunenin suda bekletilmesi

Taşıma oranı deneyinde numunelerinin suda bekletilme yöntemi her zaman uygulanmaz, ancak bazı özel durumlarda böyle bir işleme başvurulması gerekebilir. Yukarıda belirtilen metotlardan biriyle yapılan sıkıştırmadan sonra taban plâkası, delikli bir plâka ile değiştirilir. Yaka kalıbın üst ucuna takılır ve vida dişleri vazelinle tıkanır. Bundan sonra numune, büyükçe bir su kabının içine yerleştirilir, su düzeyi yakanın üst kenarının hemen altında tutulur ve numunenin üstüne gerekli görülen kütleler yerleştirilir. Suyun numunenin üstünde belirmesi için geçen süre gözlenir. Üç gün içinde numunenin üzerinde su görülmemişse numune tümüyle suya boğulur ve normal ıslanma süresini tamamlamaya bırakılır. Normal ıslatma süresi 96 saattir.

Islatma sırasında, herhangi bir şişme olup olmadığını ölçmek için numunenin üzerine bir süzgeç kâğıdı ve bir delikli plâka konur ve 0,02 mm bölüntülü göstergesi olan bir komparatör saati yüzeyin hareketini izleyecek biçimde yerleştirilir. Uygun bir tertibat Şekil 4'te gösterilmiştir.

Islatma tamamlandıktan sonra numune, su kabından çıkarılır ve 15 dakika süreyle süzölmeye bırakılır. Yaka ve delikli plâka çıkarılır, taban plâkası takılır ve numune 1 g doğrulukla tartılır (M_4).

5.1.5 Deneyin yapılışı

5.1.5.1 Kalıp, taban plâkası takılmış ancak üst yüzeyi açık olarak, içindeki numuneye birlikte basınç cihazının plâkası üzerine yerleştirilir. Numunenin üzerine yol yapısının zemine uygulayacağı yüklere karşılık gerekli görülen kütleler yerleştirilir. Penetrasyon pistonu, taşıma oranı % 30'un altında olan zeminler için 44,15 N'luk bir yükle, taşıma oranı % 30'dan yüksek olan zeminler için 220,73 N'luk bir yükle numunenin yüzeyine oturtulur ve dakikada 1,20 mm'lik bir hızla zemine itilir. Yük okuma Şekil 5'te gösterilen penetrasyon değerlerinde alınır.

5.1.5.2 Penetrasyon işleminin bitiminde piston kaldırılır ve numune yüzeyinde bırakmış olduğu girintiler doldurulup çıkıntılar çelik cetvelle kesilerek numunenin yüzeyi düzlenir.

5.1.5.3 Numunenin her iki yüzü de deneye tâbi tutulacaksa, taban plâkası kalıbın altından çıkarılıp üst yüzüne takılır ve kalıp içindeki numuneye birlikte ters çevrilir. Madde 5.1.5.1'deki işlemler, numunenin diğer yüzü için de tekrarlanır.

5.1.5.4 Penetrasyon deneyleri tamamlandıktan sonra, numunenin iki ucundaki yüzeylerin hemen altından, her biri 350 g dolayında olan numuneler alınıp, bunların su muhtevaları TS 1900-1 Deney 1 yardımıyla ölçülür.

5.1.6 Hesaplamalar

5.1.6.1 Yük - penetrasyon eğrisi

Penetrasyon değerleri ve bunlara karşılık olan piston yükleri bir grafik kâğıdı üzerine işaretlenir ve elde edilen noktalar arasından düzgün bir eğri çizilir. Şekil 5'teki, Deney 1'de olduğu gibi bu eğri normalde yukarıya doğru dış bükeydir. Başlangıç kesimi, yukarıya iç bükeyse, düzeltme yapmak gerekir. Bunun için en büyük eğim noktasına bir teğet çizilir. Bu teğet penetrasyon eksenini kesecek biçimde uzatılır. Bundan sonra eğri, teğetle penetrasyon ekseninin kesişme noktası, başlangıç noktası ile çakışacak biçimde sola kaydırılır. Bu da taşıma oranı değerinin bulunacağı düzeltilmiş eğriyi verir.

5.1.6.2 Taşıma oranının hesaplanması

%100 taşıma oranı değerine karşılık olan standard yük penetrasyon eğrisi şu değerlerle tariflenir: 1,25 mm'lik penetrasyonda 0,84 kN, 2,5 mm'de 13,2 kN ve 5,0 mm'de ise 20 kN'dur.

Belirli bir penetrasyonu sağlayan yükün, aynı penetrasyonu standard eğri üzerinde sağlayan yüke oranı, o penetrasyondaki taşıma oranı değeri olarak tanımlanır. Taşıma oranı değeri, 2,5 mm'lik ve 5,0 mm'lik penetrasyonlarda hesaplanır ve elde edilen iki değerden, yüksek olanı zeminin taşıma oranı değeri olarak kabul edilir.

5.1.6.3 Suda bekletilmemiş numunelerin kuru birim hacim ağırlığının hesaplanması

5.1.6.3.1 Zeminin yaş birim hacim ağırlığı (ρ_n) aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

Statik metotla ve titreşimle çapı 152 mm, boyu 127 mm olan kalıba sıkıştırılmış numuneler için aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$\rho_n = 0,0042 M_1 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

Burada;

M_1 Kalıbı doldurmak için gerekli zemin kütlesi, (g)
dir.

Dinamik metotla sıkıştırılmış numuneler için ise aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$\rho_n = 0,00431 (M_3 - M_2) \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

Burada;

M_2 Kalıpla taban plâkasının kütlesi, (g),
 M_3 Kalıp, taban plâkası ve kalıptaki zeminin kütlesi, (g)
dir.

5.1.6.3.2 Zeminin kuru birim hacim ağırlık (ρ_k) aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

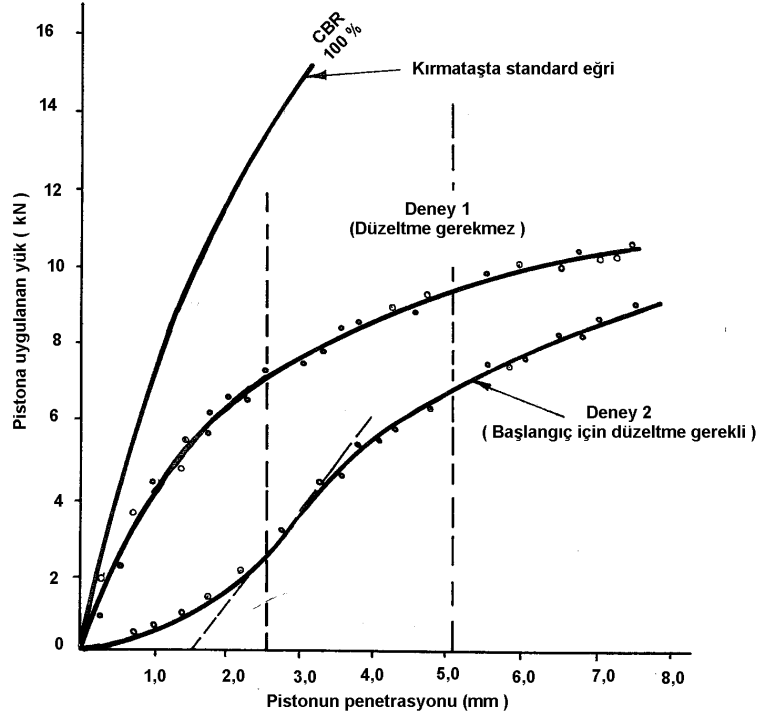
$$\rho_k = \frac{\rho_n}{1+w} \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

Burada;

w Zeminin su muhtevası (%)
dır.

5.1.7 Sonuçların gösterilmesi

Taşıma oranı, % 30'a kadar değerler için % 1 yakınlıkla, % 30 ile % 100 arasındaki değerler için % 5 yakınlıkla (% 30, % 35, % 40, gibi) ve % 100'den yüksek değerler için de % 10 yakınlıkla (% 100, % 110, % 120, gibi) verilir. Sıkıştırma metodu ile ilgili ayrıntılar, zeminin kuru birim hacim ağırlığı, deneyden sonraki su muhtevası veya suda bekletilmişse, bu bekletilme süresi ayrıca belirtilmelidir. Genellikle, deney sonuçları numunenin alt ve üst ucu için ilgili su muhtevaları ile birlikte, ayrı ayrı verilir. Ancak sonuçlar, ortalama taşıma oranının % 10'undan daha az bir sapma gösteriyorsa sonuçların ortalaması verilir.



Açıklamalar

- 1 Kırma taşta standard eğri (taşırma oranı % 100)
- 2 Deney 1: Düzeltilme gerekmez
- 3 Deney 2: Başlangıç için düzeltme gerekli

| Penetrasyon (mm) | Standard Yük | | Deney 1 | | | Deney 2 | | |
|---------------------|--------------|-------|-----------|--------------------------|----------------------|-----------|--------------------------|----------------------|
| | | | Yük kN | Düzeltilmiş Yük kN | Taşıma Oranı % | Yük kN | Düzeltilmiş Yük kN | Taşıma Oranı % |
| 0,75 | kg | kN | 3,45 | | | 0,51 | | |
| 1,25 | | | 4,75 | | | 0,91 | | |
| 1,75 | | | 6,20 | | | 1,32 | | |
| 2,00 | 113 | 11,50 | 6,51 | | | 1,59 | | |
| 2,50 | 130 | 13,24 | 7,33 | 7,15 | 54 | 2,75 | 5,7 | 43 |
| 3,00 | | | 7,61 | | | 3,72 | | |
| 3,50 | | | 8,36 | | | 4,61 | | |
| 4,00 | 172,6 | 17,60 | 8,61 | | | 5,61 | | |
| 4,50 | 195,7 | 19,96 | 8,84 | | | 6,33 | | |
| 5,00 | | | 9,34 | 9,30 | 47 | 6,87 | 8,4 | 42 |
| 5,50 | | | 9,73 | | | 7,45 | | |
| 7,50 | | | 10,59 | | | 9,05 | | |

Şekil 5 - Penetrasyon deney örneği

5.1.8 Notlar

Not 1- Deney, 20 mm'den büyük daneler ihtiva eden numuneler üzerinde yapılacaksa, 20 mm'lik eleğin üstünde kalan bölümü çıkartılmalıdır. Çıkarılan bölüm toplam zemin miktarının % 25'ini aşmıyorsa, herhangi bir düzeltme yapmak gerekmez. Ancak 20 mm'lik eleğin üstünde kalan zemin yüzdesi bundan yüksekse, çıkarılan bölümün yerine boyutları 20 mm - 4,75 mm arasında değişen, benzer türde malzeme konmalıdır.

Not 2 - Yüğü ölçen cihazın kapasitesi, en azından aşağıda gösterilen iki değişik sınıra ayarlanabilmelidir:

- % 30'a kadar taşıma oranı değerleri için 0-10 kN arasındaki yükler 100 N doğrulukla ölçülebilmelidir,
- % 30'dan yüksek taşıma oranı değerleri için 0-50 kN arasındaki yükler 500 N doğrulukla ölçülebilmelidir.

Not 3 - Bazı koşullarda belirli bir su muhtevasında 2,5 kg'lık tokmak metodu ve 4,5 kg'lık tokmak metodu ile elde edilen birim hacim ağırlık değerlerinin arasında bir değer elde etmek gerekir. Bu değer iki sıkıştırma enerjisi arasında bir enerji kullanılarak elde edilebilir. Bu ara enerjiyi standardlaştırmak için numune beş eşit tabaka halinde ve her tabakaya 458 mm'lik serbest düşüş yapan 4,5 kg'lık tokmakla 30 darbe uygulanarak sıkıştırılmalıdır.

Not 4 - Taşıma oranı deneyi için Çizelge 1'de verilen form kullanılabilir.

Çizelge 1 - Zeminin taşıma oranının ölçümünde kullanılan deney formu

| | | | |
|-------------------|--|------------------------|--|
| Lâboratuvar no | | Numune kabul tarihi | |
| Numuneyi gönderen | | Deney başlangıç tarihi | |
| Ait olduğu proje | | Deney bitiş tarihi | |
| Kuyu / sondaj no | | Deneyi yapan | |
| Numune tipi | | Kontrol eden | |

| | | | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Numune numarası | | | | | | | | |
| Numunenin hazırlanış metodu | | | | | | | | |
| Hesaplanan gerekli zemin miktarı (M_1) g | | | | | | | | |
| Kalıp + taban plakasının kütlesi (M_3) g | | | | | | | | |
| Kalıp + taban plakasının kütlesi (M_2) g | | | | | | | | |
| Zeminin kütlesi (M_2-M_3) g | | | | | | | | |
| Suda bekletilme süresi (gün) | | | | | | | | |
| Suda bekletilmiş numune +kalıp +taban plakası kütlesi (M_4) | | | | | | | | |
| Suda bekletilmiş numune kütlesi ($M_4 - M_2$) g | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | Üst | Alt | Üst | Alt | Üst | Alt | Üst | Alt |
| 0,625 mm'lik penetrasyon oluşturan yük | | | | | | | | |
| 1,25 mm'lik penetrasyon oluşturan yük | | | | | | | | |
| 1,875 mm'lik penetrasyon oluşturan yük | | | | | | | | |
| 2,5 mm'lik penetrasyon oluşturan yük | | | | | | | | |
| 3,75 mm'lik penetrasyon oluşturan yük | | | | | | | | |
| 5,0 mm'lik penetrasyon oluşturan yük | | | | | | | | |
| 7,5 mm'lik penetrasyon oluşturan yük | | | | | | | | |
| 10,0 mm'lik penetrasyon oluşturan yük | | | | | | | | |
| 12,5 mm'lik penetrasyon oluşturan yük | | | | | | | | |
| En büyük taşıma oranı % | | | | | | | | |
| Suda bekletilmiş numunenin yaş birim hacim ağırlık $\rho_n = 0,0042 M_1$ kN/m ³ $\rho_n = 0,00431 (M_3 - M_2)$ kN/m ³ | | | | | | | | |
| Su muhtevası (w) % | | | | | | | | |
| Suda bekletilmiş numunenin kuru birim hacim ağırlık $\rho_k = \frac{\rho_n}{1+w}$ kN/m ³ | | | | | | | | |

5.2 Deney 2: Tek yönlü konsolidasyon özelliklerinin tayini

5.2.1 Genel

Bu deney, yanal şekil değiştirmesi kısıtlanmış olan, suya doygun disk biçiminde, örselenmemiş veya sıkıştırılan zemin numunesinin alt ve üst yüzeyinden drenaj sağlanarak, düşey ve eksenel bir basınç altında sıkışma miktarı ve hızının ölçümü ile ilgilidir.

5.2.2 Cihazlar

5.2.2.1 Konsolidasyon cihazı (sabit halkalı)

Cihaz şu ana parçalardan oluşmalıdır:

5.2.2.1.1 Konsolidasyon halkası, zemin numunesinin yanal şekil değiştirmesini tamamen önleyebilecek sağlamlıkta, yüksek nitelikte paslanmaz çelikten veya kaplanmış pirinçten yapılmış. Bu halkanın bir ucu, deney numunesinin hazırlanmasını kolaylaştırmak amacıyla kesici olmalıdır.

Konsolidasyon halkasının çapı, deney için laboratuvara gelen örselenmemiş tüp numunelerinin çapı, zeminin türü ve ihtiva ettiği danelerin en büyük boyutu dikkate alınarak seçilmelidir. Genel olarak, ince siltler ve killer (bu tür zeminler deneyde "A" türü zeminler diye anılacaktır) için kullanılacak konsolidasyon halkasının iç çapı, örselenmemiş tüp numunesinin çapından en az 6 mm daha küçük olmalıdır. Böylece numunenin çevresinden, numune alma işlemi sırasında örselenmiş olması muhtemel en az 3 mm kalınlığında zeminin tıraşlanıp atılması sağlanmış olur. Az miktarda kil ihtiva eden iri silt ve kumlar, içerisinde çok miktarda küçük taş veya katı parçacıklar bulunan zeminler (taşlı kil, marn ve tebeşir gibi), bir de numune tüpünden çıkarılırken kırılan veya çok şekil değiştiren zeminler (bu tür zeminler deneyde "B" türü zeminler diye anılacaktır) için konsolidasyon halkasının iç çapının, tüp numunesinin çapına yakın olması, bu tür zeminleri tıraşlama güç olduğundan ve örselenme getirdiğinden, tercih edilmelidir. Deney uniform kumlara uygulanmaz.

Halkanın derinliği, iç çapının üçte biri ile dörtte biri arasında olmalı, iç yüzeyi, sürtünmeyi azaltmak amacıyla pürüzsüz bir biçimde parlatılmış olmalıdır.

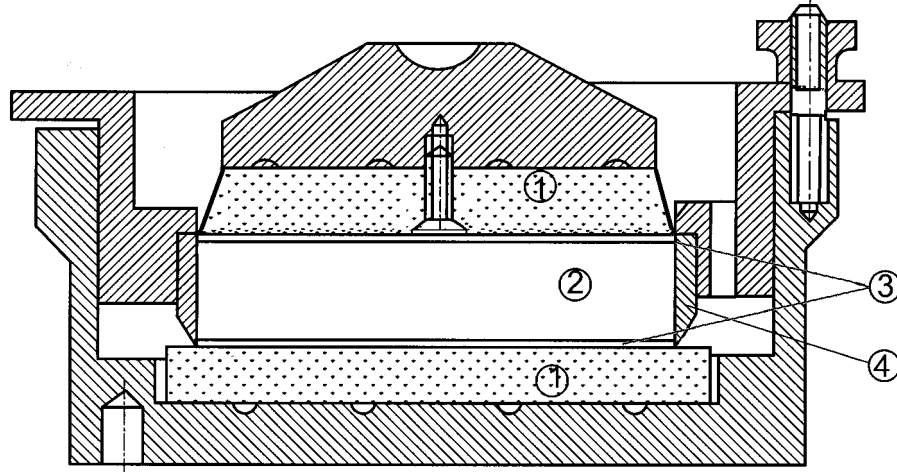
5.2.2.1.2 Gözenekli diskler, numunenin alt ve üst yüzeyine yerleştirilmek üzere, 80 KVA zımpara taşından 6 mm veya 13 mm veya sinterlenmiş bronzdan 3 mm kalınlıkla yapılmış olan. Bunlar, uygun geçirimsizlik ve sağlamlıkta olmalı, alt ve üst yüzeylerinin düz olmasına özen gösterilmelidir.

Üstteki gözenekli diskin çapı, zemin numunesinin serbestçe sıkışmasını sağlamak amacıyla, konsolidasyon halkasının iç çapından 0,5 mm daha küçük olmalıdır. Bu diskin üst yüzey çapının alt yüzey çapından daha küçük olması, deney sırasında, hafif de olsa, yan yatmadan ötürü diskin halka içinde kenetlenmesini önleme bakımından yararlıdır. Alttaki gözenekli disk ise konsolidasyon halkası ve içindeki numuneyi yeterli biçimde destekleyebilecek boyutlarda olmalıdır.

5.2.2.1.3 Süzgeç kâğıdı, halkadaki numune ile gözenekli disk arasına zeminin gözenekli disklere girmesini önleyen.

5.2.2.1.4 Konsolidasyon hücresi (ödometre), konsolidasyon halkası içindeki numunenin, alt ve üstündeki gözenekli disklerle, ortaya gelecek biçimde, içerisine yerleştirilebileceği, uygun bir malzemeden yapılmış olan. Hücre, üstteki gözenekli diskin üst yüzeyini aşan bir düzeye kadar suyla doldurulabilmelidir. Hücrenin önemli ayrıntıları Şekil 6'da gösterilmiştir.

5.2.2.1.5 Komparatör saati, deney sırasında, numunenin sıkışma veya şişme miktarını ölçebilecek biçimde yerleştirilmiş göstergeli (tercihan dijital). Gösterge 0,002 mm doğrulukla okunabilmeli ve en az 25 mm hareket kapasitesinde olmalıdır.



Açıklamalar

- | | |
|---|-----------------------|
| 1 | Gözenekli disk |
| 2 | Zemin numunesi |
| 3 | Süzgeç kâğıdı |
| 4 | Konsolidasyon halkası |

Şekil 6 - Konsolidasyon hücresi şeması

5.2.2.1.6 Yükleme cihazı, konsolidasyon hücresinin yerleştirileceği rijit bir tablası olan. Bu cihazın, uygun artışlarla numuneye aksel, düşey bir yük uygulayabilecek bir düzeni olmalıdır. Uygulanan her yükün, numunenin düşey yönde sıkışmasını sağlarken, deney sırasında değişmemesi gereklidir. Bu da dengesi sağlanmış bir kaldıraç düzeni kullanılarak, uygun artışlarla uygulanabilecek kalibre edilmiş kütlelerle sağlanabilir. Numuneye uygulanacak düşey yüklerin, istenilen basıncı % 1,5 doğrulukla oluşturması gereklidir. Yükleme cihazı, numune kalınlığının en az % 75'ine eşit bir sıkışmayı sağlayabilmelidir. Dengeli kaldıraç düzeni, düşey yükün uygulanmasında yaygın biçimde kullanıldığından, bu standardda deneyin yapılışı anlatılırken, bu tür bir yükleme düzeni bulunduğu varsayılmıştır. Numuneye uygulanan kuvvet, üstteki gözenekli diski kaplayan bir yükleme plâkasının tam ortasındaki küresel bir yataktan geçmelidir. Yükleme düzeni, yükü ani ve sarsıntısız biçimde uygulayabilmelidir. Bu amaçla, kaldıraç yükü uygulama anına kadar vidalı bir kriko ile desteklenmesi, kimi durumlarda kolaylık sağlar. Ayrıca kaldıraç düzeninin uygun bir büyütme oranının olması (1:9, 1:10 veya 1:11 gibi) ve lâboratuvarda numuneye uygun artışlarla yük uygulanmasını sağlayacak kütleler bulundurulması gerekir. Genellikle farklı çaplı numuneler için öngörülen sabit basınçları verecek değişik kütleler bulundurulmalıdır.

5.2.2.2 Numunenin deneye hazırlanması ve deneye tâbi tutulması için gerekli cihazlar

Kriko ve çerçeve, zeminin numune tüpünden çıkarılmasında kullanılabilen,

Sehpa, numune tüpünden kriko ile çıkarılan zeminin doğrudan konsolidasyon halkası içinde itilmesini sağlamak amacıyla, bu halkayı numune tüpünün hemen üstünde tutmaya yarayan,

Palet bıçağı veya spatül, benzeri keskin, ince ağızlı tıraşlama bıçağı,

İki dane kil testere, biri ince piyano telinden, öteki ise zemberek telinden yapılmış olan,

Çelik cetvel, yaklaşık olarak 300 mm uzunluğunda, 25 mm genişliğinde, 3 mm kalınlığında, bir kenarı eğimli olan,

Cam plâka, kenar uzunluğu yaklaşık olarak 450 mm, kalınlığı 10 mm olan, kare biçiminde, pürüzsüz olan,

Bir kumpas, numunenin yüksekliğini ve konsolidasyon halkasının derinliğini 0,01 mm doğrulukla ölçecek verniyeli, veya

Komparatör saati, 0,01 mm doğrulukla ölçüm yapabilen,

Süzgeç kâğıdı, düşük geçirimsizlikte numunenin üstüne konacak süzgeç kâğıdı, konsolidasyon halkasının iç çapında olmalı, numunenin altına konacak olan ise konsolidasyon halkasının dış çapından küçük olmamalıdır,

Komparatör saati, numunenin sıkışmasını 0,002 mm doğrulukla ölçebilecek olan (tercihan dijital göstergeli),

Kronometre, bir saniye doğrulukla okunabilen,

Su kaynağı, oda sıcaklığında olan,

Termometre, günlük en yüksek ve en düşük sıcaklığı 0,5 °C doğrulukla gösteren,

Saat camı,
veya
Metal bir tepsi, konsolidasyon halkasından az büyük çapta,
Silikon gresi,

Ayrıca, su muhtevasının ve bağıl yoğunluğun ölçümü için TS 1900-1 Deney 1 ve Deney 5 A'da belirtilen cihazlar.

5.2.3 Deneyin yapılışı

5.2.3.1 Numunenin deneye hazırlanması

5.2.3.1 Zeminin az bir bölümü kriko yardımıyla numune tüpünden çıkarılıp hangi türden olduğu tespit edilir.

5.2.3.2 Uygun boyutlarda bir konsolidasyon halkası ile bir saat camı veya metal tepsi iyice temizlenir, kurulanır ve 0,01 g doğrulukla ayrı ayrı tartılır. Halkanın içi silikon gresiyle hafifçe yağlanır. Numunenin tüpten taşan bölümü, ince bir piyano teli veya zemberek teli testeresi veya ince ağızlı bir bıçakla tüpün ağızıyla bir düzeyde kesilir.

5.2.3.2 Madde 5.2.2.1'de tariflenen A türü zeminler için

5.2.3.2.1 Tüpteki numunenin, konsolidasyon halkasının yüksekliğinden az uzun bir bölümü tüpten çıkarılıp kesilir. Bu işlem sırasında, elde edilen disk biçimindeki numunenin iki yüzeyinin birbirine paralel olmasına özen gösterilmelidir.

5.2.3.2.2 Lâboratuvara getirilen örselenmemiş numune, elle kesilip alınmış bir blokta, konsolidasyon halkası boyutlarından az büyük, iki yüzeyi birbirine paralel bir disk kesilip hazırlanır. Bu işlem sırasında, diskin paralel yüzeylerinin, zeminin arazideki durumuna göre, arazide yük alma yönüne dik olmalarına özen gösterilmelidir.

5.2.3.2.3 Konsolidasyon halkası kılavuz olarak kullanılarak, diskin kenarları özenle tıraşlanır. Tıraşlama işlemi, konsolidasyon halkası numuneye yavaşça ve düzgün bir biçimde bastırılarak geçirilirken, diskin çevresinde halkanın kesici ucunun sıyracağı ince bir kat kalana kadar sürdürülür. Böylece halkanın iç yüzeyi ile numune arasında boşluklar kalması önlenmiş olur. Diskin alt ve üst yüzeyi, halkanın alt ve üst ucundan dışarıda kalmalı, piyano teli testeresi veya ince ağızlı tıraşlama bıçağı ve çelik cetvel yardımıyla halkanın alt ve üst ucu düzlemlerine gelene kadar tıraşlanıp düzeltilmelidir.

Zeminde belirebilecek küçük bir taşın tıraşlama işlemine engel olması durumunda, bu taş çıkarılıp boşalan yere tıraşlanma sırasında kesilip alınan zeminden doldurulmalıdır. Hazırlama sırasında, numunenin su muhtevasında herhangi bir değişiklik olmamasına özen gösterilmelidir. Tıraşlama sırasında kesilen zeminden bir miktar alınıp danelerin bağıl yoğunluğu belirlenir, ancak bu zorunlu değildir.

5.2.3.2.4 Konsolidasyon numunesinin kalınlığı halka yüksekliği olarak ölçülür ve halka ile içindeki numune bir saat camı (veya metal tepsi) üzerine konup vakit kaybetmeden tartılır.

5.2.3.2.5 Zeminde taş veya kum bulunmadığı durumlarda, Madde 5.2.3.2.1 ilâ Madde 5.2.3.2.3'te belirtilen işlemler yerine: Konsolidasyon halkasını rijit bir biçimde ve numune tüpünün üst ucundan 3 mm ile 6 mm arası bir uzaklıkta tutabilecek özel bir cihaz, tüpün ucuna takılır ve numune tüpten çıkarılırken doğrudan konsolidasyon halkası içine itilir. Bu işlem sırasında numune, halkanın kesici ucundan girip diğer ucundan taşacak biçimde çıkabilmelidir. Numunenin halka içine itilmesi sırasında, halkanın dış yüzeyine olan sürtünmeyi azaltmak amacıyla, halkanın çevresinden taşan malzeme tıraşlanmalıdır. Halka içindeki numune kesilip alınır, alt ve üst yüzeyleri tıraşlanır ve yukarıda, Madde 5.2.3.2.4'teki işlem uygulanır.

5.2.3.3 Madde 5.2.2.1'de tariflenen B türü zeminler için

Numunenin deneye elverişli bir bölümü, numune tüpünden doğrudan doğruya, bu tüpün çapına olabildiğince yakın çapta bir konsolidasyon halkası içine itilir. Bundan sonra numune kesilir, alt ve üst yüzeyleri tıraşlanır ve Madde 5.2.3.2.4'teki işlem uygulanır.

5.2.3.4 Konsolidasyon cihazının hazırlanması

Alt gözenekli disk, kuru olarak, konsolidasyon hücresi içine yerleştirilir. Halka içindeki numune, alt ve üstüne birer süzgeç kâğıdı konarak gözenekli diskin ortasına yerleştirilir. Yumuşak, hassas ve normal konsolide olmuş zeminler için kullanılacak süzgeç kâğıtları kuru olmalıdır. Üst gözenekli disk ve yükleme plâkası numunenin ortasına yerleştirilir.

Bundan sonra konsolidasyon hücresi yükleme cihazındaki yerine oturtulur ve dengelenmiş yükleme kolu, yatay duruma getirilip yükü numuneye aktaran parçası yükleme plâkasına değecek biçimde ayarlanır. Komparatör saati, konsolidasyon hücresinin tabanı ile yükleme plâkası arasındaki bağıl hareketi ölçecek biçimde yerleştirilir. Komparatör saati, az bir miktar şişmeyi ölçebilecek, ancak kapasitesinin çoğu oturmaları kaydetmekte kullanılabilir biçimde ayarlanmalıdır.

5.2.3.5 Yükleme

Deneyde yükleme sırası 12,5; 25 50; 100; 200; 400; 800; 1600; 3200 kPa dizisini takip etmelidir. Uygulanacak ilk basınç, zeminin türüne bağlı olup, numunenin şişmesini önleyebilecek düzeyde olmalıdır. Son basınç ise 800 kPa'dan az olmamak üzere numune tipi ve özelliğine göre seçilir. Aşağıdaki açıklamalar kılavuz olarak kullanılabilir:

Katı zeminler: Uygulanacak ilk basınç, numunenin alındığı noktada zeminin maruz kaldığı efektif düşey basınca eşit olmalıdır. Kolaylık amacıyla, yukarıda verilmiş bulunan basınç dizisinden, hesaplanan efektif düşey basınca en yakın değer uygulanır.

Sert zeminler: Uygulanacak ilk basınç, numunenin alındığı noktada etkimekte olduğu hesaplanan efektif düşey basınçtan bir miktar daha az olmalıdır. Kolaylık amacıyla yukarıdaki basınç dizisinden uygun bir değer uygulanır.

Yumuşak zeminler: Uygulanacak ilk basınç, numunenin alındığı noktada etkimekte olduğu hesaplanan efektif düşey basınçtan epeyce az olmalıdır. Çok yumuşak killer için 12,5 kPa gibi düşük bir basınç gerekebilir.

Numunenin sıkışma miktarını ölçecek göstergenin ilk değeri kaydedilir, elde bir kronometre bulundurulur ve numuneye yukarıda belirtilen yolla seçilmiş ilk basınç uygulanır. Aynı anda kronometre çalıştırılır ve belirli süreler sonunda gösterge okumaları alınır. Bu okumaları basıncın uygulanmasından başlanarak ölçülen aşağıdaki süreler (t) sonunda almak, sonuçların zamanın karekökü kullanılarak değerlendirilmelerinde kolaylık sağlar:

0; 6; 18; 30 saniye; 1; 2,25; 4; 6,25; 9; 16; 25; 36; 49; 64; 81; 100; 121 dakika; 4, 9 ve 24 saat. Yükün uygulanmasıyla birlikte, konsolidasyon hücresi suyla doldurulmalıdır. Bu işlem numunenin şişmesine yol açacak olursa, numuneye uygulanan basınç, yukarıdaki basınç dizisindeki bir üst değere yükseltilmelidir.

Basınç, deney sırasında elde edilen eğriden, zeminin birincil sıkışması sona erdiği görülene kadar değiştirilmez. Bu amaç için genellikle 24 saatlik bir süre uygun ve yeterlidir. Bu 24 saatlik sürenin sonunda gösterge ve kronometre okumaları alınır ve aynı süre içinde odanın en yüksek ve en düşük sıcaklıkları kaydedilir. Sıkışmaların ihmal edilecek düzeye düşmediği özel durumlarda süre 48 saate uzatılabilir.

Bundan sonra, numune üzerine etkileyen basıncı, yukarıda verilen dizideki bir üst değere arttıracak biçimde bir kütle eklenir ve okuma alma işlemi tekrarlanır. Deneyde, yeterli sayıda (en az 4) yükleme basamağı kullanılmalı ve numuneye uygulanan en yüksek basınç, numunenin alındığı noktadaki efektif düşey ve tasarlanan yapının aynı noktada yaratacağı basınç artışının toplamına eşit olmalıdır.

5.2.3.6 Yükün boşaltılması

Uygulanmış en yüksek konsolidasyon basıncı altındaki gösterge okumaları tamamlandıktan sonra, numunenin boşalma eğrisi istenirse, yükler yükleme kademelerine uygun olarak boşaltılır. Ancak istenirse herhangi bir yük kademesinde boşaltma, etkileyen basıncın dörtte biri olmak üzere de yapılabilir. Okuma zamanları Madde 5.2.3.5'te verilen aralıklardır. Genellikle kabarma süresi, aynı basınç altında birincil konsolidasyon için gerekenden kısadır. Yeniden yükleme yapılması istendiğinde, yükleme Madde 5.2.3.5'te verilen basınç aralıklarında yapılır.

Deney aşamasında Çizelge 2'de verilen form kullanılabilir.

Çizelge 2 - Konsolidasyon deneyi formu

| | | | |
|-------------------|--|-------------------------|--|
| Lâboratuvar no | | Örselenmiş ise, elek no | |
| Numuneyi gönderen | | Numune kabul tarihi | |
| Ait olduğu proje | | Deney başlangıç tarihi | |
| Kuyu / sondaj no | | Deney bitiş tarihi | |
| Numune no | | Deneyi yapan | |
| Numune tipi | | Kontrol eden | |

| | | | |
|---------------------|--|-------------------------------|--|
| Alet No | | Numune yüksekliği, mm | |
| Halka çapı, cm | | Numune bağıl yoğunluğu, G_s | |
| Kesit alanı, cm^2 | | | |

| | Deney başında | Deney sonunda |
|--------------------------------|---------------|---------------|
| Halka No | | |
| Halka + yaş numune kütlesi, g | | |
| Halka + kuru numune kütlesi, g | | |
| Su miktarı, g | | |
| Halka kütlesi, g | | |
| Kuru numune kütlesi, g | | |
| Su muhtevası, % | | |

DENEY OKUMALARI

| Yükler | 12,5 kPa | 25 kPa | 50 kPa | 100 kPa | 200 kPa | 400 kPa | 800 kPa | 1600 kPa | 400 kPa | 100 kPa |
|---------------------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|
| Zaman Dakika | | | | | | | | | | |
| 0 | | | | | | | | | | |
| 0,1 | | | | | | | | | | |
| 0,3 | | | | | | | | | | |
| 0,5 | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | | | | |
| 40 | | | | | | | | | | |
| 60 | | | | | | | | | | |
| 80 | | | | | | | | | | |
| 100 | | | | | | | | | | |
| 150 | | | | | | | | | | |
| 200 | | | | | | | | | | |
| 300 | | | | | | | | | | |
| 500 | | | | | | | | | | |
| 1440 | | | | | | | | | | |
| t_{En} büyük (°C) | | | | | | | | | | |
| t_{En} küçük (°C) | | | | | | | | | | |

5.2.4 Hesaplamalar

5.2.4.1 Sıkışma özelliklerinin hesabı

Zeminin sıkışma özellikleri, numunenin ilk kalınlığına göre sıkışma miktarı doğrusal düşey eksene (%), bu değerlere karşılık olan basınç, σ (kPa) logaritmik yatay eksene işaretleyerek gösterilebilir.

Sıkışma miktarını göstermek amacıyla, doğrudan numunenin deney sırasındaki kalınlığı veya deney sırasındaki boşluk oranı da düşey eksen olarak işaretlenebilir.

Numunenin her yükleme sonundaki kalınlığı, H mm olarak, numunenin başlangıçta ölçülmüş olan kalınlığı ile deney sırasında göstergeli komparatör saatiyle ölçülen sıkışma miktarından hesaplanır.

Düşey eksen olarak boşluk oranı kullanılacaksa, pratik bir hesap yolu aşağıda verilmiştir:

Katı danelerin eşdeğer yüksekliği, H_0 (mm) aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$H_0 = \frac{10M_s}{\rho_s A}$$

Burada;

M_s Numunenin kuru kütlesi, (g),
 ρ_s Katı danelerin birim hacim ağırlığı, (kN/m³),
 A Numunenin kesit alanı, (cm²)
 dir.

Boşluk oranı, e, aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$e = \frac{H - H_0}{H_0}$$

Burada;

H Yukarıda belirtildiği gibi numunenin ölçümle hesaplanan yükseklik değeri, (mm)
 dir.

Hacimsel sıkışma katsayısı, m_v , numunenin alındığı noktada etkimekte olan efektif düşey basınca ek olarak 100 kPa'lık bir basınç artışı için hesaplanır.

Bu değer yukarıda anılan yarı-logaritmik grafikten aşağıdaki yolla bulunur:

Düşey eksen olarak doğrudan numune kalınlığı gösterilmişse hacimsel sıkışma katsayısı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$m_v = \frac{\Delta H}{\Delta \sigma} \frac{1}{H_0} = \frac{\Delta H}{98H} \text{ (m}^2\text{/kN)}$$

Burada;

$\Delta \sigma$ 98 kPa,
 ΔH Numunenin alındığı noktadaki efektif düşey basınca ek olarak 98 kPa'lık bir basınç artışının numunede yaratacağı sıkışma miktarı,
 H Numunenin alındığı noktadaki efektif düşey basınca eşdeğer basınç altındaki kalınlığı
 dir.

Düşey ekseninde boşluk oranı gösterilmişse:

$$m_v = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma} \frac{1}{1 + e_0} = \frac{\Delta e}{98(1 + e_0)} \text{ (m}^2/\text{kN)}$$

Burada;

$\Delta \sigma$ 98 kN/m²,

Δe Numunenin alındığı noktadaki efektif düşey basınca ek olarak 1 m²/kN'luk bir basınç artışının boşluk oranında yarattığı azalma miktarı,

e_0 Numunenin alındığı noktadaki efektif düşey basınca karşılık boşluk oranı (doğal boşluk oranı) dir.

Sıkışma katsayısı, gerekirse, benzer bir yolla herhangi bir basınç artış aralığı için de hesaplanabilir.

Hesaplamalarda Çizelge 3'te verilen form kullanılabilir.

5.2.4.2 Konsolidasyon katsayısı

Konsolidasyon katsayısı, C_v 'nin hesabı için iki deney metodu vardır. Bunlardan biri, yükün uygulanma süresinin karekökünü, diğeri ise, yükün uygulanma süresinin logaritmasını kullanan metotlardır (Madde 5.2.6 Not 1).

Bu metotlardan sadece birinin güvenilir sonuçlar verdiği saptanmadıkça, her ikisi de kullanılmalıdır.

5.2.4.2.1 Etkime süresinin karekökünü kullanan metot

Sıkışma miktarını veren komparatör saati okumaları ile etkime süresinin karekökü arasındaki bağıntıyı gösteren grafiğin (Şekil 7) bir doğru üzerine düşen ilk kesimi, sıfır etkime süresini gösteren düşey eksen keşecek biçimde uzatılır ve bu kesişme noktası düzeltilmiş sıfır noktası olarak alınır (O). Bu düzeltilmiş sıfır noktasından geçen ve her noktasının yatay eksenine, ilgili sıkışma miktarına, daha önce çizilmiş bulunan doğru üzerine karşılık olan noktanınkinin 1,15 katı olan bir ikinci doğru çizilir (OB). Bu ikinci doğrunun deney sonuçlarından elde edilmiş bulunan eğriye kestiği nokta, birincil sıkışmanın % 90'ını gösteren nokta olarak kabul edilir. Bu noktanın yatay eksenine $\sqrt{t_{90}}$, grafikten okunur ve konsolidasyon katsayısı, C_v aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$C_v = \frac{(0,212 \times 10^{-6}) H_{ort}^2}{t_{90}} \text{ (m}^2/\text{s)}$$

ve

$$H_{ort} = \frac{H_i + H_{i+1}}{2}$$

Burada;

H Her basınç artışı için deneyden elde edilen oturma değerleri, (mm),

H_{ort} İlgili basınç artışları için hesaplanan ortalama numune yüksekliği, (mm),

t_{90} Birincil sıkışmanın % 90'ı için gereken süre (s) dir.

Çizelge 3 - Konsolidasyon deneyi hesabı formu

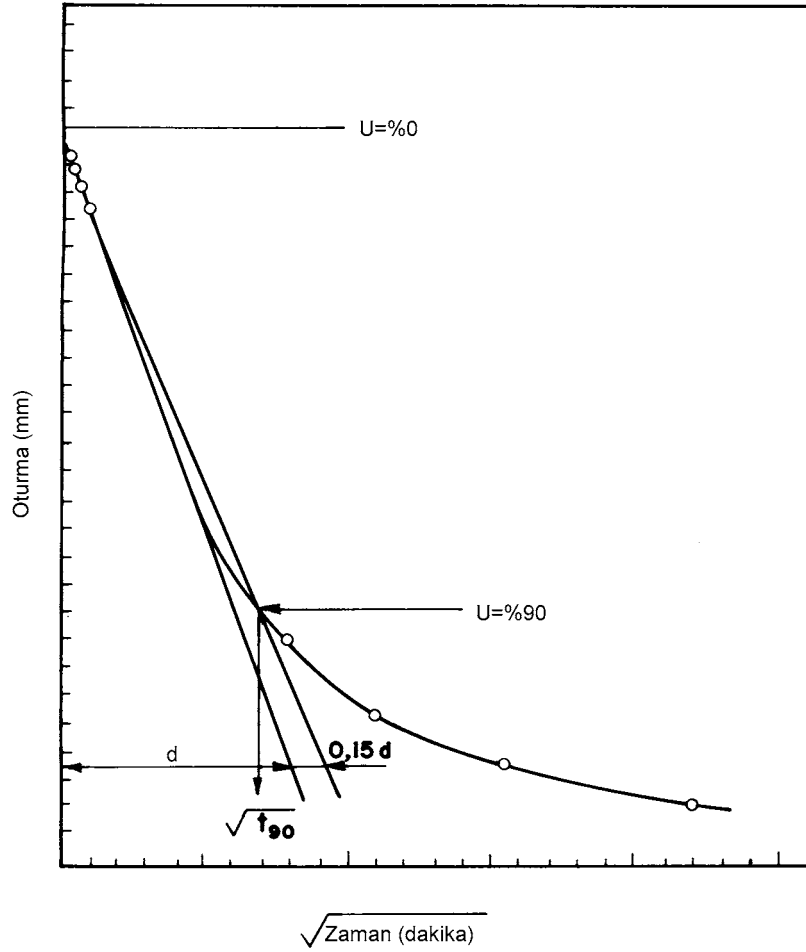
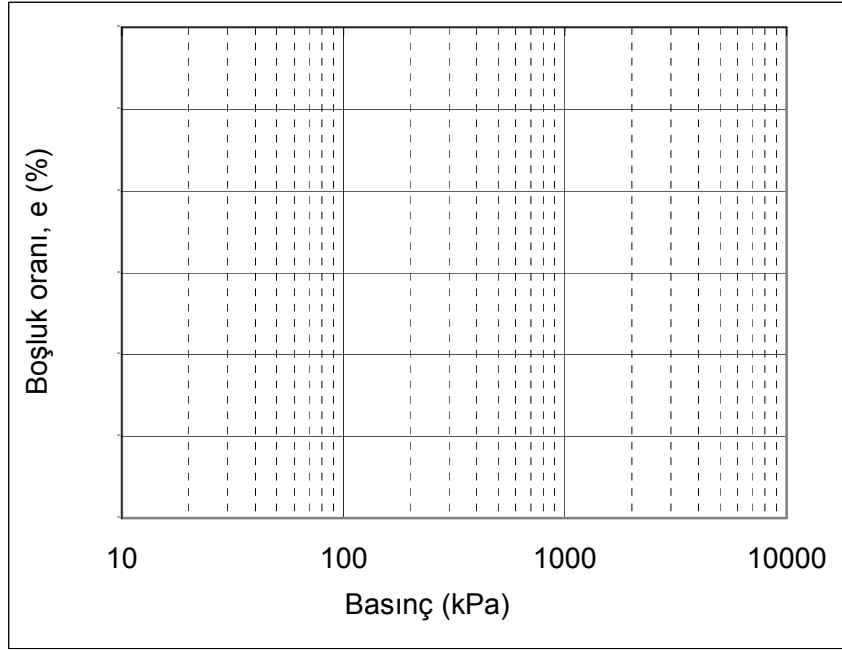
| | | | |
|-------------------|--|------------------------|--|
| Lâboratuvar no | | Örselenmiş ise elek no | |
| Numuneyi gönderen | | Numune kabul tarihi | |
| Ait olduğu proje | | Deney başlangıç tarihi | |
| Kuyu / sondaj no | | Deney bitiş tarihi | |
| Numune no | | Deneyi yapan | |
| Numune tipi | | Kontrol eden | |

| | | | |
|-------------------------------|--|--|--|
| Numune çapı, cm | | Alet No | |
| Numune yüksekliği, mm | | Numunenin başlangıç kütlesi, g | |
| Kesit alanı, cm ² | | Yaş birim hacim ağırlığı, kN/m ³ | |
| Numune hacmi, cm ³ | | Su muhtevası, % | |
| | | Bağıl yoğunluk, G _s | |
| | | Katı danelerin eşdeğer yüksekliği, H ₀ , mm | |

| Basınç σ kPa | H mm | H _{ort} mm | e | e _{ortalama} | Δe | Δσ kPa | a=Δe/Δσ m ² /kN | m _v =a/(1+e _{ort}) m ² /kN | t ₉₀ veya t ₅₀ s | C _v m ² /s |
|--------------------|---------|------------------------|---|-----------------------|----|-----------|-------------------------------|---|---|-------------------------------------|
| 0 | | | | | | | | | | |
| 12,5 | | | | | | | | | | |
| 25 | | | | | | | | | | |
| 50 | | | | | | | | | | |
| 100 | | | | | | | | | | |
| 200 | | | | | | | | | | |
| 400 | | | | | | | | | | |
| 800 | | | | | | | | | | |
| 1600 | | | | | | | | | | |
| 400 | | | | | | | | | | |
| 100 | | | | | | | | | | |

| Basınç basamağı (kPa) | Etkime süresinin karekök metodu | | | | Etkime süresinin logaritma metodu | | | | Sıcaklık (°C) | |
|-----------------------|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------|----------|
| | C _v | r ₀ | r _p | r _s | C _v | r ₀ | r _p | r _s | En yüksek | En düşük |
| 12,5 | | | | | | | | | | |
| 25 | | | | | | | | | | |
| 50 | | | | | | | | | | |
| 100 | | | | | | | | | | |
| 200 | | | | | | | | | | |
| 400 | | | | | | | | | | |
| 800 | | | | | | | | | | |
| 1600 | | | | | | | | | | |

Çizelge 3 - Konsolidasyon deneyi hesabı formu (devam)



Şekil 7 - Etkime süresinin karekökünü kullanan metot

5.2.4.2.2 Etkime süresinin logaritmasını kullanan metot

Deney sonuçlarından elde edilen "komparatör saati okumaları - etkiye süresinin logaritması" eğrisi çizilir (Şekil 8). Bu eğri üzerinde düşeye yakın ve bir doğru üzerine düşen noktalardan geçen doğru çizilir. Sonra eğrinin sağ tarafında kalan noktaların oluşturduğu doğru çizilerek birinci doğru ile kesişmesi sağlanır. Bu kesişme noktası, birincil sıkışmanın % 100'ünü gösteren nokta olarak kabul edilir. Düzeltilmiş sıfır sıkışma noktası ise şu yolla bulunur:

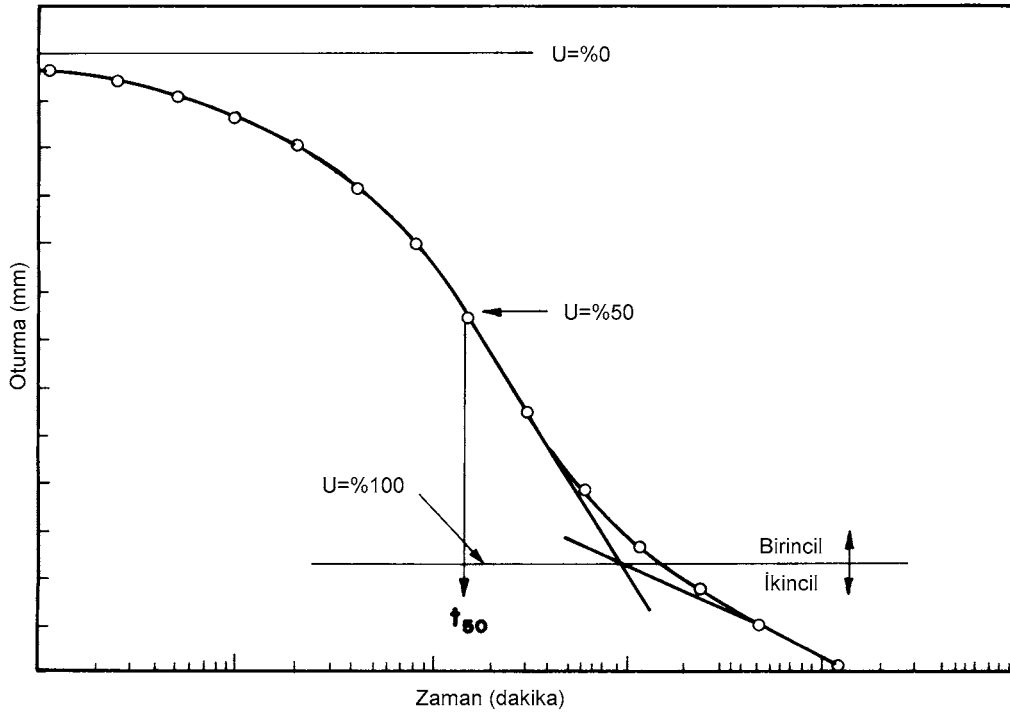
Eğrinin parabolik olan başlangıç kesiminde etkiye süreleri oranı 1:4 olan herhangi iki nokta alınıp bunlar arasındaki düşey eksen farkı bulunur. Üstteki noktadan, bulunan farka eşit bir miktar yukarıya çıkılır. Böylece bulunan düzeltilmiş sıfır sıkışma noktası birkaç defa farklı seçimlerle denetlenmelidir. Sıfır ve % 100 sıkışma noktalarından tam ortadaki % 50 birincil sıkışma noktası bulunur ($U = 50$) ve bu noktaya karşılık olan etkiye süresi, t_{50} düşey eksenden okunur.

Bu çizimle konsolidasyon katsayısı, c_v , aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$C_v = \frac{(0,05 \times 10^{-6}) H_{ort}^2}{t_{50}} \text{ (m}^2/\text{s)}$$

Burada;

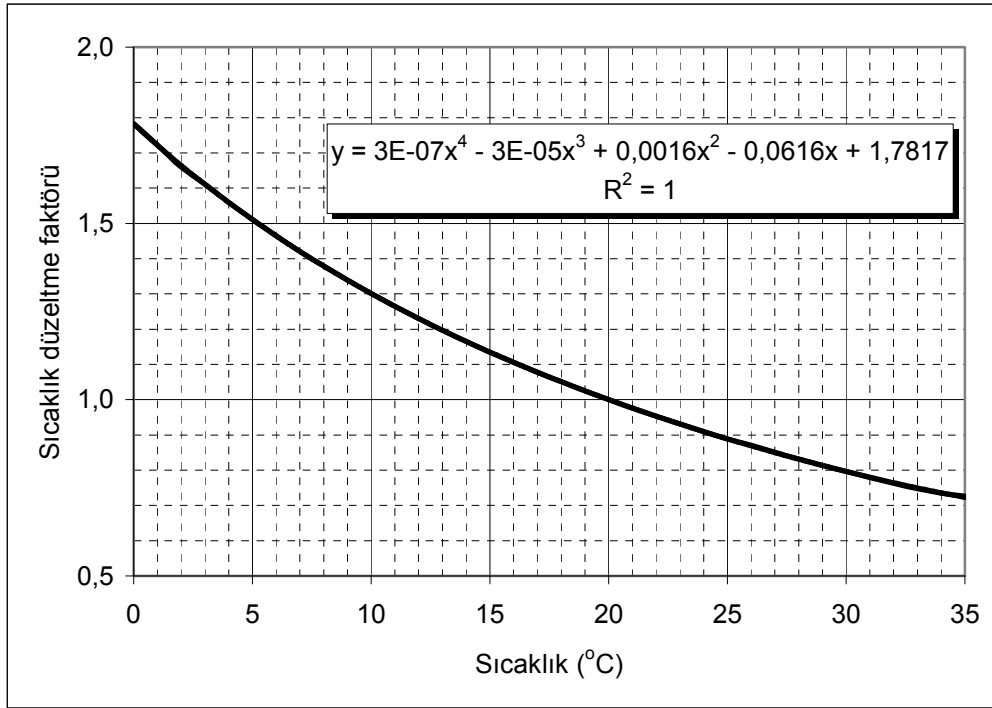
t_{50} Birincil sıkışmanın % 50'si için gereken süre (saniye)
dir.



Şekil 8 - Etkime süresinin logaritmasını kullanan metot

5.2.4.2.3 Sıcaklık düzeltmesi

Lâboratuar sıcaklığı 20 °C'tan önemli derecede farklı ise, Şekil 9'da verilen sıcaklık düzeltme faktörü eğrisi kullanılarak, katsayılar 20 °C sıcaklıktaki değerlere dönüştürülmelidir..



Şekil 9 - Konsolidasyon katsayıları için düzeltme faktörü

5.2.4.2.4 Sıkışma oranları

İlk sıkışma oranı, r_0 , birincil sıkışma oranı, r_p ve ikincil sıkışma oranı, r_s , aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır:

5.2.4.2.4.1 Etkime süresinin karekökünü kullanan metot için:

$$r_0 = \frac{d_0 - d_s}{d_0 - d_f}$$

$$r_p = \frac{10(d_s - d_{90})}{9(d_0 - d_f)}$$

ve

$$r_s = 1 - (r_0 + r_p)$$

5.2.4.2.4.2 Etkime süresinin logaritmasını kullanan metot için:

$$r_0 = \frac{d_0 - d_s}{d_0 - d_f}$$

$$r_p = \frac{d_s - d_{100}}{d_0 - d_f}$$

ve

$$r_s = 1 - (r_0 + r_p)$$

Burada;

- d_s Düzeltilmiş sıfır sıkışma noktasındaki gösterge okuması,
 d_{90} Birincil sıkışmanın % 90'ındaki gösterge okuması,
 d_{100} Birincil sıkışmanın % 100 'ündeki gösterge okuması,
 d_0 Deney başlangıcında alınan gösterge okuması,
 d_f Deney sonunda alınan gösterge okuması
dır.

5.2.5 Sonuçların gösterilmesi

5.2.5.1 Sonuçlar, numunenin sıkışma miktarı (veya boşluk oranı) ile basıncın logaritmasını gösteren bir grafikte verilmelidir. Numunenin alındığı noktada etkimekte olan efektif düşey basınca ek olarak 100 kPa'lık bir basınç artışı (veya gerekirse, başka basınç artışları) için hesaplanan hacimsel sıkışma katsayısı, m_v verilmelidir.

5.2.5.2 Çizilecek her etkime süresi - sıkışma eğrisi için ilgili sıkışma oranları ile konsolidasyon katsayısı, C_v , verilmelidir. Bir başka yol da, sıkışma oranları, konsolidasyon katsayısı ve ortalama sıcaklık değerlerini, ilgili basınç artışları karşısında bir çizelgede göstermek, her değer için Madde 5.2.4.2.'de verilen metotlardan hangisiyle elde edilmiş olduğunu belirtmektir.

5.2.5.3 Zemin, tam bir biçimde tanımlanmalı, birim hacim ağırlığı, su muhtevası, doygunluk derecesi ve bağlı yoğunluğu gibi fiziksel özellikleri verilmelidir. Numunenin durumu ve niteliği konusunda bilgi verilmeli, deney numunesinin hazırlanışı sırasında karşılaşılmış olan güçlükler belirtilmelidir.

5.2.6 Notlar

Not 1 - Önerilen iki metot, genellikle benzer sonuçlar verir. Bazı durumlarda, etkime süresinin karekökünü kullanan metot, doğrusal kesimi olan bir grafik vermezken, etkime süresinin logaritmasını kullanan metot daha güvenilir sonuçlar verebilir. Öte yandan aşırı ikincil konsolidasyon özelliği gösteren zeminlerde, bunun tersi olabilir.

Not 2 - Raporda belirtilmek şartıyla, zeminin arazide bulunan durumuna göre, tek yönlü konsolidasyon deneyi serbest şişmeye bırakılarak şişmesini tamamlamış numuneler üzerinde de yapılabilir.

Not 3 - Deneyin gerçekleştiği ortamın günlük en yüksek ve en düşük sıcaklıkları kaydedilerek, deney raporunda belirtilebilir.

5.3 Deney 3: Serbest (tek eksenli) basınç dayanımının tayini

5.3.1 Genel

Bu deney ince daneli zeminlerin örselenmemiş veya sıkıştırılmış haldeki serbest basma dayanımının bulunması ile ilgilidir. Numuneler 50 mm çapında, boyu çapının iki katı, doygun ve kılcal çatlak içermeyen kohezyonlu zemin olmalıdır. Zorunlu durumlarda, raporda belirtilmek şartıyla, deney çapı 38 mm olan numuneler üzerinde gerçekleştirilebilir. Bu deney, kumlu zeminler için elverişli değildir.

5.3.2 Cihazlar

Çelik numune alıcılar, doğal veya sıkıştırılmış zeminden numune alabilecek, iç çapı 50 mm dış çapı ise en fazla 56 mm olan (zeminde iri daneler varsa numune alıcı çapı en iri dane çapının 6 katından büyük olmalıdır),

Numune itici, numuneyi tüpten çıkarmaya yarayan,

Kalıp, tüpten çıkan numuneyi korumak ve tıraşlamak için istenilen çap ve yükseklikte, iki parçalı,

Çelik kıl testere, numuneyi tıraşlamada kullanılacak,

Kumpas, verniyeli,

Kronometre,

Terazi, 0,01 g doğrulukla tartma yapabilen,

Basma presi, motorla hidrolik veya mekanik olarak hareket ettirilebilen, uygulanan eşdeğer kuvveti 10 kPa doğrulukla gösterebilir özellikte olan. Cihaz 100 kPa'a kadar dayanımlar için 1 kPa, bundan dirençli numuneler için 5 kPa doğrulukta olacaktır.

Komparatör saati, 0,01 mm doğrulukla ölçüm yapabilen, kapasitesi en az numune yüksekliğinin % 20'si kadar olan

Kuvvet halkası, deney numunesine uygulanan eksenel yükü 5 kPa doğrulukla ölçebilen.

Ayrıca, su muhtevasını ölçme düzeni için TS 1900-1 Deney 1'de belirtilen cihazlar.

5.3.3 Numunenin hazırlanışı

5.3.3.1 İki parçalı kalıp yağlandıktan sonra numune çelik tüpten kalıba çıkarılır. Kalıbın iki ağzından taşan zemin kıl testereyle kesilip atılır. Böylece numunenin iki tabanında uzun eksene tam dikeylik sağlanmış olur.

5.3.3.2 Numune kalıptan çıkartılıp kütlesi en yakın 0,01 g, boyutları 0,1 mm doğrulukla ölçülür.

5.3.4 Deneyin yapılışı

5.3.4.1 Numune presin alt plâtfomuna merkezlenerek oturtulduktan sonra üst başlık numune üst yüzüne rahatça ve tam değecek şekilde indirilir. Boy değişmeyi ölçen komparatör saati, alt ve üst başlıklar arasına yerleştirilerek sıfırlanır.

5.3.4.2 Yükleme numunede dakikada % 0,5 - % 2 arası birim boy kısalması oluşturacak biçimde yapılır. Yük ve boy değişimi okumaları uygun aralıklarda kaydedilir. Her durumda deney süresi 10 dakikayı geçmemelidir. Deney, numunede kesin göçme (kırılma) elde edilene, en büyük dayanımın belirmediği yumuşak killerde ise % 20 birim boy kısalmasına kadar sürdürülür.

5.3.4.3 Deney sona erdiğinde numunenin göçme şekli çizilerek, ölçülebiliyorsa yatayla yaptığı açı bulunur. Numune yeniden tartılarak su muhtevası (TS 1900-1 Deney 1) bulunur.

5.3.5 Hesaplamalar

Numunede eksenel birim şekil değişimi (%):

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H_0} \times 100$$

Burada;

ΔH Numunede ölçülen eksenel şekil değişimi (mm),

H_0 Numunenin ilk boyu (mm)

dur.

Buna karşılık olan ortalama kesit alanı ise aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$A = \frac{A_0}{1 - \varepsilon} \times 100$$

Burada;

ε Düşey yöndeki aksenal birim şekil değıştirmesi,
 A_0 Numunenin deney başındaki kesit alanı (m^2)
dır.

Numunenin serbest basınç dayanımı aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir:

$$q_u = \frac{P}{A} \text{ (kPa)}$$

Burada;

P Göçmeyi sağlayan yük (kN)
tür.

Hesaplamalarda Çizelge 4'te verilen form kullanılabilir.

5.3.6 Sonuçların gösterilmesi

Numunenin serbest basınç dayanımı, numunenin nasıl hazırlandığı (örselenmemiş veya sıkıştırılmış), gözle teşhis, su muhtevası ve birim hacim ağırlığı, göçmede anındaki birim boy kısalması ve dikkate değer gözlemler rapor edilmelidir.

5.4 Deney 4: Kayma direncinin üç eksenli hücrede (konsolidasyonsuz - drenajsız) boşluk suyu basıncı ölçülmeden tayini

5.4.1 Genel

Bu deney, suya doygun kohezyonlu bir zeminin basınç dayanımının üç eksenli kesme cihazında, hücre basıncı belirli bir değerde tutularak ve su muhtevasının değişmesi önlenerek ölçülmesi ile ilgilidir. Bu deney örselenmemiş ve sıkıştırılmış numunelere uygulanır.

Deney, çapı en az 50 mm, yüksekliği ise çapının iki katı olan silindirik deney numuneleri üzerinde yapılır (Madde 5.4.7 Not 1).

5.4.2 Cihazlar

5.4.2.1 Deney numunelerinin hazırlanması için gerekli cihazlar

Gerekli cihazlar aşağıdaki üç ayrı durum için verilmiştir:

- 1) Durum 1: Numune tüpü iç çapının, hazırlanacak deney numunesi çapına eşit olduğu durum,
- 2) Durum 2: Numune tüpü iç çapının, hazırlanacak deney numunesi çapından büyük olduğu durum,
- 3) Durum 3: Deney numunesinin blok olarak sağlanan bir numuneden hazırlanacağı durum.

5.4.2.1.1 Her üç durum için gerekli cihazlar

Kalıp, iç çapı ve uzunluğu hazırlanacak deney numunesinin boyutlarına uyan, iki yarım silindirden oluşan,

Tıraşlama bıçağı, spatül veya palet bıçağı,

Cetvel, yaklaşık olarak 300 mm uzunluğunda, 25 mm genişliğinde ve 3 mm kalınlığında, çelikten imal edilmiş olan,

Tel testere, keskin ağızlı,

Paslanmaz metal,

veya

Plâstik başlıklar, deney numunesi ile aynı çapta olan (üst başlığın ortasında, yükleme pistonunun yarım küre biçimindeki ucuna uyan konik bir yatak veya pistonun silindirik yataklı ucuna uyacak saplı çelik bilye, sert metal başlık, plâstik başlık yumuşak zeminlerde kullanılır),

Lâstik kılıf, dikişsiz boru biçiminde iki ucu açık olan. Bu kılıfın çapı, deney numunesinin çapına eşit, boyu ise numune boyundan 50 mm daha uzun olmalıdır. Kılıfın et kalınlığı, numunenin büyüklüğüne, zeminin dayanımı ve türüne göre seçilmelidir. 0,2 mm kalınlığında bir kılıf genellikle yeterlidir.

Kılıf germe cihazı, numunenin boyutlarına uygun,

Lâstik halkalar, numune başlıklarının çapına uygun, daire kesitli, O-halkası,

Terazi, 0,01 g doğrulukla tartma yapabilen.

Komparatör saati, 0,01 mm doğrulukla ölçüm yapabilen, kapasitesi en az numune yüksekliğinin % 20'si kadar olan

Ayrıca, su muhtevası ölçüm düzeni TS 1900-1 Deney 1'de belirtilen cihazlar

5.4.2.1.2 Değişik durumlar için ayrıca gerekli cihazlar

5.4.2.1.2.1 Durum 1 ve 2 için: Numune tüpü ve deney numunesi tüplerinin (Madde 5.4.2.1.2.2) boyutlarına uygun numuneyi tüplerden çıkarmaya yarayan cihazlar.

5.4.2.1.2.2 Durum 2 için:

- a) Deney numunesi almakta kullanılacak ince çeperli tüpler. Bu tüplerin iç ve dış yüzeyleri düz olmalı ve birer uçları, iç yüzeylerinde birer kesici uç oluşturacak biçimde tornalanmış olmalıdır. Tüplerin alan oranı (Madde 5.4.7 Not 2), yeterli sağlamlığı sağlamak şartıyla mümkün olduğu kadar düşük olmalı, ve bu değer hiçbir zaman % 20'yi aşmamalıdır. Tüplerin boyu, deney numunesinin boyundan büyük olmalıdır.
- b) Numune tüpünden çıkarılan zeminin doğrudan ince çeperli tüplere itilmesini sağlamak amacıyla, bu tüpleri rijit bir biçimde numune tüpünün hemen üstünde tutmaya yarayan bir cihaz.

5.4.2.1.2.3 Durum 2 ve 3 için: Deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılacak küçük bir zemin tornası.

5.4.2.1.2.4 Durum 3 için: Deney numunelerinin uçlarını, eksenlerine dik olarak kesmekte kullanılacak kılavuzlu bir testere.

5.4.2.2 Üç eksenli hücre kesme deneyi için gerekli cihazlar

5.4.2.2.1 Üç eksenli deney hücresi, Deney numunesinin boyutlarına uygun olan. Bu hücre, içerisine deney numunesinin yerleştirilebilmesi için açılabilmesi, uygun bir akışkan yardımıyla en az 700 kPa'a kadar uygulanacak iç basınçlara dayanabilmeli ve bir piston yardımıyla numuneye eksenel yük uygulanmasına olanak vermelidir.

5.4.2.2.2 Basınç sistemi, Hücreyi dolduran akışkana istenilen basıncı 5 kPa doğrulukta uygulayabilecek ve bu basıncı belirli bir düzeyde tutabilecek bir cihaz. Bu cihazın oluşturduğu basınç değeri kalibreli bir manometre ile kontrol edilmelidir.

5.4.2.2.3 Yükleme cihazı, Deney numunesini, dakikada 0,01 mm ile 7,5 mm arasında değişebilen belirli bir hızla eksenel olarak sıkıştırabilecek bir cihaz. Bu cihazın, deney numunesi, yüksekliğinin yaklaşık olarak üçte birine eşit bir kısalmayı ölçebilecek bir de komparatör saati bulunması gereklidir.

5.4.2.2.4 Kuvvet ölçme cihazı, Deney numunesine uygulanan eksenel yükü 5 kPa basınç eşdeğeri doğrulukla verebilecek bir cihaz.

5.4.3 Deneyin yapılışı

5.4.3.1 Örselenmemiş deney numunesinin hazırlanması

Deney numunesini hazırlamada amaç, zeminin yapısını ve su muhtevasını değişikliğe uğratmadan, yüksekliği çapının iki katı olan, silindir biçiminde, uçları düz ve eksene dik bir numune elde etmektir.

Deney numunesinin hazırlanışı, numunenin laboratuvara tüp içerisinde mi yoksa blok olarak mı getirilmiş olmasına bağlıdır ve duruma göre aşağıdaki metotlardan biri uygulanır:

5.4.3.1.1 Numune tüpü iç çapının, hazırlanacak deney numunesinin çapına eşit olduğu durumlar için

5.4.3.1.1.1 Numune tüpünün uçları düzgün ve tüpün eksenine dik olmadığı durumlarda, bir deney numunesi hazırlamaya yetecek uzunlukta numune, tüpten çıkarılır ve kesilir. Kesilen numune, iki yarım silindirden oluşan kalıp içerisine konur ve uçları tel testere ile düz ve eksene dik biçimde tıraşlanır.

5.4.3.1.1.2 Numune tüpü iyi ve uçlarının eksene dik olduğu durumlarda, deney numunesi aynı tüpte hazırlanabilir. Numunenin uçlarını yalıtımda kullanılan parafin çıkarılır ve çelik cetvelle düzlenir. Sonra numune, düzlenen ucundan itilip diğer ucu, tüp eksenine dik olarak kesilir ve çelik cetvelle düzlenir. Bu ucun böylece hazırlanmasından sonra numune, tüp içerisinde istenilen boyda bir deney numunesi kalacak biçimde ters yöne itilir. Tüpten taşan bölüm eksene dik olarak kesilir, tüpte kalan bölümün ucu çelik cetvelle düzlenir ve deney numunesi tüpten çıkarılır. Numuneyi tüpten çıkarma işlemi sırasında tüp, düşey durumda tutulmalı ve numune, tüpün üst ucundan çıkarılmalıdır. Numune ile çıkarıcının birbirine yapışmaması için gerekli önlemler alınmalı, numunenin, çıkarıcı ile numune arasına disk biçiminde yağlı bir kâğıt konmalı veya çıkarıcının ucu hafifçe yağlanmalıdır.

5.4.3.1.1.3 Deney numunesinin boyu, çapı ve kütlesi, doğal birim hacim ağırlığının % 1 yakınlıkla hesaplanabilmesine imkan verecek doğrulukla ölçülür.

5.4.3.1.1.4 Deney numunesi, hücre tabanı üzerine oturtulur, diğer başlık da numunenin üzerine yerleştirilir. Bundan sonra, kılıf germe cihazı kullanılarak numunenin çevresine bir lâstik kılıf geçirilir ve kılıf ile başlıklar arasının geçirimsizliği lâstik halkalarla boğdurularak sağlanır. Böylelikle, deney numunesi, hücre basıncı alabilecek duruma gelmiş olur.

5.4.3.1.2 Numune tüpü iç çapının, hazırlanacak deney numunesinin çapından büyük olduğu durumlar için

Bu durumlarda deney numunesi, istenilen çapta ince çeperli tüplere itilerek veya küçük bir zemin tornasında elle yontularak hazırlanabilir. Hassas killerde, bazı durumlarda da sert kılcal çatlaklı killerde deney numunelerini zemin tornasında hazırlamak en iyi sonuçları verir. Deney numunelerinin zemin tornasında hazırlanma metodu Madde 5.4.3.1.3'te verilmiştir. İnce çeperli tüplerle deney numunesini hazırlamak için numune, kesici uçları numune tüpünün ucundan kısa bir uzaklıkta olacak biçimde, rijit olarak tespit edilmiş bir veya birkaç ince çeperli tüplerde Madde 5.4.3.1.1'de belirtildiği gibi hazırlanır.

5.4.3.1.3 Deney numunesinin blok olarak sağlanan bir numuneden hazırlanacağı durumlar için

5.4.3.1.3.1 Blok numuneden, deney numunesinin istenilen boyutlarından az büyük, dikdörtgen prizma görünümünde bir numune kesilir. Bundan sonra prizma zemin tornasına yerleştirilir ve taşan kesimleri tıraşlama işlemi silindirik bir deney numunesi elde edilene kadar sürdürülür.

5.4.3.1.3.2 Bundan sonra numune, zemin tornasından alınır, iki yarım silindirden oluşan kalıba konur, gerekli boyda kesilir ve uçları düz ve eksene dik bir biçimde tıraşlanır.

5.4.3.1.3.3 Deneye hazırlama işleminin geriye kalanı, Madde 5.4.3.1.1'de belirtildiği gibi yapılır.

5.4.3.2 İşlem

5.4.3.2.1 Yukarıda belirtilen biçimde hazırlanan deney numunesi, üç eksenli basma hücresi tabanına oturtulur. Hücrenin parçaları yerlerine takılır, yükleme pistonunun bu işlem sırasında deney numunesinin üst başlığına değmemesini sağlamak gerekir. Bundan sonra hücre, aksenal yüklemeye hazır duruma getirilir ve çevre basıncı için kullanılacak akışkan hücreye doldurulur. Hücre basıncı istenilen değere yükseltilir.

5.4.3.2.2 Yükleme cihazı, pistonun ucu numunenin üst başlık yatağından çok az yukarıda kalacak biçimde ayarlanır ve kuvvet ölçme göstergesinin ilk değeri kaydedilir ve sıfırlanır. Bundan sonra ölçülecek değer deviyatör gerilme eşdeğeridir. Yükleme cihazı, pistonunun ucu numunenin üst başlık yatağına değecek şekilde ayarlanır ve numunenin boy kısalmasını ölçen göstergenin ilk değeri kaydedilir.

Eksenal boy kısalma hızı, numunenin yaklaşık olarak 5 - 10 dakikalık bir sürede göçeceği biçimde seçilir. Bundan sonra, yüklemeye başlanır ve gerilme - aksenal birim şekil değiştirmesi bağıntısını belirlemeye yetecek sayıda yük göstergesi okuması ve bunlara karşılık olan kısalma okumaları alınır. Deney, en büyük aksenal gerilme değeri aşılan veya birim boy kısalması % 20'ye ulaşınca kadar sürdürülür. Bundan sonra numune üzerindeki yük kaldırılır ve kuvvet ölçme göstergesinin son okuması ilk okumayı denetlemek amacıyla kaydedilir.

5.4.3.2.3 Hücredeki akışkan boşaltılır ve hücre açılarak deney numunesi yerinden alınır. Numunenin üzerindeki kılıf çıkarılır ve numunenin son şekli çizilir. Deney numunesi tartılır ve su muhtevasının bulunması için numuneler alınır veya tümü etüve konur (TS 1900-1 Deney 1).

5.4.4 Hesaplamalar

Bu standardda verilen metoda göre, kuvvet ölçme cihazından elde edilen ilk değer ile daha sonraki değerler arasındaki fark, deney numunesine, çevre basıncından doğan aksenal yüke ek olarak uygulanan aksenal yükü verir.

Numunenin drenajsız deney sırasında eksene dik alanı A, numunenin hacmi değişmez bir dik silindir olarak biçim değiştirdiği varsayılarak hesaplanır. Eksenal birim şekil değiştirmesinin olduğu anda bu alan aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$A = \frac{A_0}{1 - \varepsilon}$$

Burada;

A_0 Numunenin başlangıçtaki kesit alanı,

ε Eksenal birim şekil değiştirmesi olup aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H_0} \times 100$$

Burada;

ΔH Numunede ölçülen aksel şekil değiştirme (mm),

H_0 Numunenin ilk boyu (mm)

dur.

Deneyin herhangi bir aşamasında deviyör gerilme ($\sigma_1 - \sigma_3$) aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_{dev} = \frac{P}{A}$$

Burada;

P Numuneye uygulanan aksel yük, (kN),

A Aksel yüke karşılık gelen numune alanı (m^2)

dır.

Hesaplamalarda ve deney esnasında elde edilen verilerin kaydedilmesinde Çizelge 5'te verilen form kullanılabilir.

5.4.5 Lâstik kılıf düzeltmesi

5.4.5.1 Lâstik kılıfın numune üzerindeki kısıtlayıcı etkisini hesaba katmak için bir düzeltme yapılmalıdır. Düzeltme miktarını, ölçülmüş olan en büyük deviyör gerilmeden çıkarılarak, en büyük asal gerilmenin düzeltilmiş değeri elde edilmiş olur. Düzeltme miktarı, σ_{mb} aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir:

$$\sigma_{mb} = \frac{4Et\varepsilon}{D_0}$$

Burada;

E Lâstik kılıfın elastisite modülü olup, aşağıda anlatıldığı şekilde bulunabileceği gibi lateks kılıfın tipik değeri olan 1400 kPa alınabilir,

t Lâstik kılıfın kalınlığı (mm),

ε En büyük asal gerilme farkına karşılık olan aksel birim şekil değiştirmesi,

D_0 Deney numunesinin başlangıçtaki çapı (mm)

dır.

Çizelge 5 - Kayma direncinin üç eksenli hücrede (konsolidasyonsuz - drenajsız) boşluk suyu basıncı ölçülmeden bulunması deneyi formu

| | | | |
|-------------------|--|-------------------------|--|
| Lâboratuvar no | | Örselenmiş ise, elek no | |
| Numuneyi gönderen | | Numune kabul tarihi | |
| Ait olduğu proje | | Deney başlangıç tarihi | |
| Kuyu / sondaj no | | Deney bitiş tarihi | |
| Numune no | | Deneyi yapan | |
| Numune tipi | | Kontrol eden | |

| | | | |
|----------------------------------|--|---|--|
| Numune boyu, cm | | Kesme hızı, mm/dakika | |
| Numune yüksekliği, cm | | Numunenin başlangıç kütlesi, g | |
| Kesit alanı, cm ² | | Yaş birim hacim ağırlığı, kN/m ³ | |
| Numune hacmi, cm ³ | | | |
| Kuvvet halkası no | | | |
| Kuvvet halkası katsayısı (kN/mm) | | | |

| ΔH mm | $\varepsilon = \frac{\Delta H}{H_0}$ | A m ² | Çevre basıncı, σ ₃ = | | | Çevre basıncı, σ ₃ = | | | Çevre basıncı, σ ₃ = | | |
|----------|--------------------------------------|---------------------|---------------------------------|---------|------------------------------|---------------------------------|---------|------------------------------|---------------------------------|---------|------------------------------|
| | | | Kuvvet halkası okuması | F kN | $\sigma_1 - \sigma_3$ F/A | Kuvvet halkası okuması | F kN | $\sigma_1 - \sigma_3$ F/A | Kuvvet halkası okuması | F kN | $\sigma_1 - \sigma_3$ F/A |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

| Su muhtevası | Deney öncesi | Deney sonrası | Numunenin göçme şekli | Düşünceler |
|----------------------|--------------|---------------|-----------------------|------------|
| Kap No | | | | |
| Yaş numune + kap, g | | | | |
| Kuru numune + kap, g | | | | |
| Su miktarı, g | | | | |
| Kap, g | | | | |
| Kuru numune, g | | | | |
| Su muhtevası, (%) | | | | |

5.4.5.2 Lâstik kılıfın basınç modülünü doğrudan ölçmek mümkün değilse çekme modülüne eşit olduğu kabul edilebilir. Çekme modülünün bulunması amacıyla Şekil 10'da gösterilen bir düzenek kullanılır. Lâstik kılıfın, silindirik biçiminde kesilmiş 25 mm enindeki bir parçasının çekme modülü, yük ve uzamayı yazan çekme makinesi ya da yukarıda gösterilen düzenle bulunabilir. Lâstik kılıfın cam çubuklara değdiği yüzeylerdeki sürtünmeyi azaltmak amacıyla, buralara pudra sürülmelidir.

$$E = (1 \text{ cm}^2\text{lik alanın taşıdığı yük}) / (\text{Eksenel birim şekil değişimi}) = \frac{\left(\frac{F}{A_m}\right)}{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)}$$

Burada;

F Kılıfı gerdirmek için kullanılan kütle,
 L Kılıfın gerdirmeden önceki boyutu,
 ΔL F kütlesi nedeni ile kılıfın boyunda oluşan fark,
 A_m Kılıfın alanı (= $2 tW_s$),
 W_s Halkanın eni,
 t Kılıfın kalınlığı
 dır.

5.4.6 Sonuçların gösterilmesi

Her deney için deney numunesinin boyutları, doğal birim hacim ağırlığı, su muhtevası, uygulanmış hücre basıncı, deviatör gerilme ya da en büyük asal gerilme farkı ($\sigma_1 - \sigma_3$) ve buna karşılık gelen eksenel birim şekil değişimi ile göçme anına kadar geçen süre ve yükleme hızı verilmelidir.

İsteniyorsa, gerilme - eksenel birim şekil değişimi eğrisi, eksenel birim şekil değişimi yatay ekseninde, asal gerilme farkı da düşey ekseninde olmak üzere çizilir.

Arazide, numune almada kullanılmış olan numune alıcının türü ve numunenin alınma metodu belirtilmelidir.

5.4.7 Notlar

Not 1 - Deney numunesinin çapı, zeminin niteliği ve içerdiği danelerin en büyük boyutu göz önünde tutularak seçilmelidir. Deney numunesi ince daneli, homojen zeminler için yeterlidir.

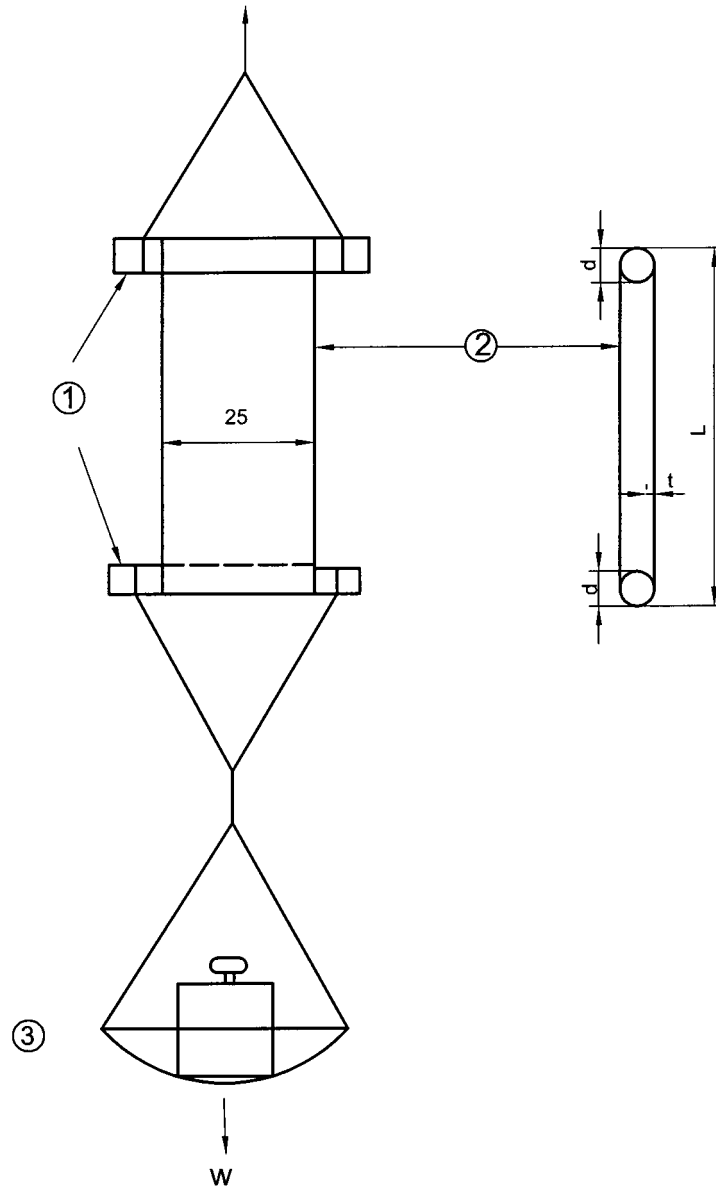
Not 2 - Alan oranı, numune alıcının yerini tuttuğu zemin hacminin numune hacmine oranı olup aşağıdaki eşitlikle tanımlanır:

$$\text{Alan oranı} = \frac{D_0^2 - D_k^2}{D_k^2} * 100 (\%)$$

Burada;

D_0 Numune alıcının dış çapı,
 D_k Numune alıcı kesici ucun çapı,
 dır.

Ölçüler mm'dir.

**Açıklamalar**

- 1 Cam çubuk
- 2 25 mm eninde silindirik lâstik kılıf şeridi
- 3 Terazi gözüne konan kütleler

Şekil 10 - Lâstik kılıfın çekme modülünün ölçülmesi

5.5 Deney 5: Kayma direncinin üç eksenli hücrede (konsolidasyonlu - drenajsız) boşluk suyu basıncı ölçülerek tayini

5.5.1 Genel

Bu deney, suya doymuş veya doyurulmuş, örselenmemiş veya sıkıştırılmış kohezyonlu bir zemin numunesinin basınç dayanımının, üç eksenli kesme cihazında, hücre basıncının belirli bir değerde tutularak konsolide edilmesi ve bunu izleyerek su muhtevası değişiminin önlenmesi yoluyla, ölçümü ile ilgilidir.

Deney, çapı en az 50 mm, yüksekliği ise çapının iki katı olan silindirik deney numuneleri üzerinde yapılır.

Bu deneyde, kesme aşamasında, numuneye sabit hızda eksenel şekil değiştirme uygulanarak hücre basıncının sabit tutulması ve numuneden suyun drenajına izin verilmemesi ile su muhtevasının deney sırasında değişmeden kalması sağlanır. Deney sırasında oluşan boşluk suyu basıncındaki değişim numune tabanından ölçülür ve fazla boşluk suyu basıncının dengelenerek doğru ölçümü için boy kısalması yeterli yavaşlıkta uygulanır.

- 1) Üç eksenli hücre kesme deneyi yapılan doymuş bir numunenin kayma direnci, uygulanan gerilmeye, konsolidasyon süresine, eksenel şekil değiştirmesi derecesine ve zeminin geçmişte maruz kaldığı gerilmelere bağlıdır.
- 2) Bu deney metodunda, kayma direnci drenajsız koşullarda ölçülür. Arazideki belli gerilmeler altında konsolide olmuş ve gerilme artışları ile daha fazla konsolide olmaya fırsat vermeyen drenajsız yükleme koşullarının geliştiği durumları temsil eden bir deneydir.
- 3) Deneyde boşluk suyu basıncının ölçülmesi ile belirlenen kayma direnci değeri, efektif gerilmeler cinsinden de ifade edilebilir. Böyle ifade edilen parametreler arazideki tam drenajın geliştiği koşulları veya yükleme ile boşluk suyu basıncının azaldığı koşulları temsil etmektedir.
- 4) Deney sonunda kayma direnci, toplam ve efektif gerilme türünden ifade edilebilir.

5.5.2 Cihazlar

5.5.2.1 Düşey yükleme sistemi

Elektrik motoru ile çalışan bir pres (vitesli bir hidrolik yükleme sistemi) veya herhangi bir sıkıştırma aleti olabilir. Önemli olan aletin yeterli kapasitede olması ve düşey yükün hareket hızının Madde 5.5.11.1'de anlatıldığı gibi kontrol altında tutulabilmesidir.

Yükleme sırasında uygulanan yük, seçilen değerden \pm % 1'den fazla sapmamalıdır. Deney sırasında sistemde gelişen titreşim, numune boyutlarında herhangi bir değişime sebep olmayacak kadar ufak olmalıdır. Ayrıca cihazın titreşimi, drenaj vanaları kapalı iken gelişen boşluk suyu basıncını da etkilememelidir.

5.5.2.2 Düşey kuvvet ölçme aleti

Ölçme aleti, yük halkası veya doğrudan bilgisayara veri aktaran transduser olabilir. Başka bir kuvvet ölçme aleti kullanılacak ise, burada anlatılan doğrulukta olmalıdır. Kuvvet ölçme aleti, yükleme sisteminin bir parçası da olabilir.

Düşey kuvvet ölçme aleti, uygulanan yükü göçme anındaki yükün %1 doğrulukta ölçebilmelidir.

Kuvvet ölçme aleti üç eksenli hücre içine monte edilmiş ise, bu durumda ölçme aleti, yatay kuvvetlerden ve çevre basıncının şiddetinden etkilenmeyecek doğrulukta olmalıdır.

5.5.2.3 Üç eksenli kesme hücresi

Üç eksenli hücre kapasitesi, konsolidasyon basıncı ile geri basınç toplamının verilen çalışma basıncına eşit olacak şekilde sağlanmalıdır. Hücre, ortada saydam bir boruyla ayrılmış bir üst metal plâka ve taban plâkası içermelidir. Silindir, uygulanacak basınçlara dayanabilecek özellikteki herhangi bir malzemedendir yapılabılır. Deney sırasında, numune davranışlarının gözlenebilmesi için saydam olmalıdır. Saydam değilse üzerinde numunenin gözlenebilmesi için bir açıklığı bulunmalıdır. Üst plâkasında hava alma musluğu olmalıdır. Hücrede hava kaldığında bu vana ile tahliye olmalıdır. Taban plâkasında, hücre içine basınç sıvısının doldurulması için giriş bulunmalıdır. Ayrıca numunenin boşluk suyu basıncı, drenajı ve doyurulması için de ayrı girişler bulunmalıdır. Bunların numune başlığı ile bağlantıları olmalıdır (Şekil 11).

5.5.2.4 Düşey yük pistonu

Hücresinin tepesinden geçen aksel yük pistonu ve yatağı, kesme aşamasında sürtünme nedeni ile düşey yükte oluşacak artışın göçme anındaki düşey yükün % 1'ini geçmeyecek şekilde yapılmış olmalıdır. Pistonun yatay yöndeki eğilmesi de ihmal edilebilir küçüklükte olmalıdır.

5.5.2.5 Basınç ve vakum kontrol cihazı

Hücre ve geri basınç kontrol cihazı, efektif konsolidasyon basıncının 200 kPa'dan düşük olduğu durumlarda, ± 2 kPa, 200 kPa'dan büyük olduğu durumlarda ise, ± 1 kPa doğrulukla basınç uygulayabilmeli ve bu basınçlar gerektiği süre içinde sabit tutulabilmelidir. Vakum kontrol cihazı ± 2 kPa aralığında vakum basıncını kontrol edebilmelidir (Şekil 12).

5.5.2.6 Basınç ve vakum ölçme cihazı

Hücre basıncı, geri basınç ve vakum ölçme cihazları, Madde 5.5.2.5'te verilen toleranslar mertebesinde ölçme yapabilmelidir. Ölçme cihazları Bourdon manometresi, basınç manometresi, basınç transduseri veya herhangi bir basınç ölçer olabilir. Önemli olan, cihazın verilen toleranslara uygun ölçüm yapabilmesidir. Hücre basıncını ve geri basıncı ölçmek için sistemden ayrı bir ölçme cihazı kullanılıyorsa aynı basınç kaynağına karşı anında kalibre edilmelidir. Hücre ve geri basınçlar, numunenin orta yüksekliğinden okunduğu için ölçme cihazının kalibrasyonu hücre ve geri basınç sistemi içindeki hidrolik sıvının üst seviyesini yansıtacak şekilde yapılmalıdır.

5.5.2.7 Boşluk suyu basıncı ölçme cihazı

Bu ölçme cihazı da Madde 5.5.2.5'te açıklanan toleranslara uygun ölçüm yapabilmelidir. Drenajsız kesme deneyinde boşluk suyu basıncı ölçülürken numune içine ve dışına su kaçışı mümkün olan en küçük seviyede olmalıdır. Bunu sağlayabilmek için katı diyaframalı elektronik basınç transduseri kullanılmalıdır.

Not - İstenen koşulları sağlamak için numune ve ölçme cihazı arasındaki tüp kısa, et kalınlığı fazla (kalın duvarlı) ve küçük delikli olmalıdır. Termoplâstik, bakır veya paslanmaz çelik boruların kullanımı önerilmektedir.

5.5.2.8 Hacim değişimi ölçme cihazı

Numune içine giren veya dışına çıkan suyun miktarı, toplam numune hacminin \pm % 0,5 doğrulukta ölçülebilmelidir. Hacim ölçme cihazı genelde geri basınç sistemine bağlanmış bir büret olabilir. Ancak gerekli doğruluğa sahip elektronik bir hacim ölçme cihazı tercih edilmelidir. Kullanılan cihaz, en büyük geri basınca dayanabilecek özellikte olmalıdır.

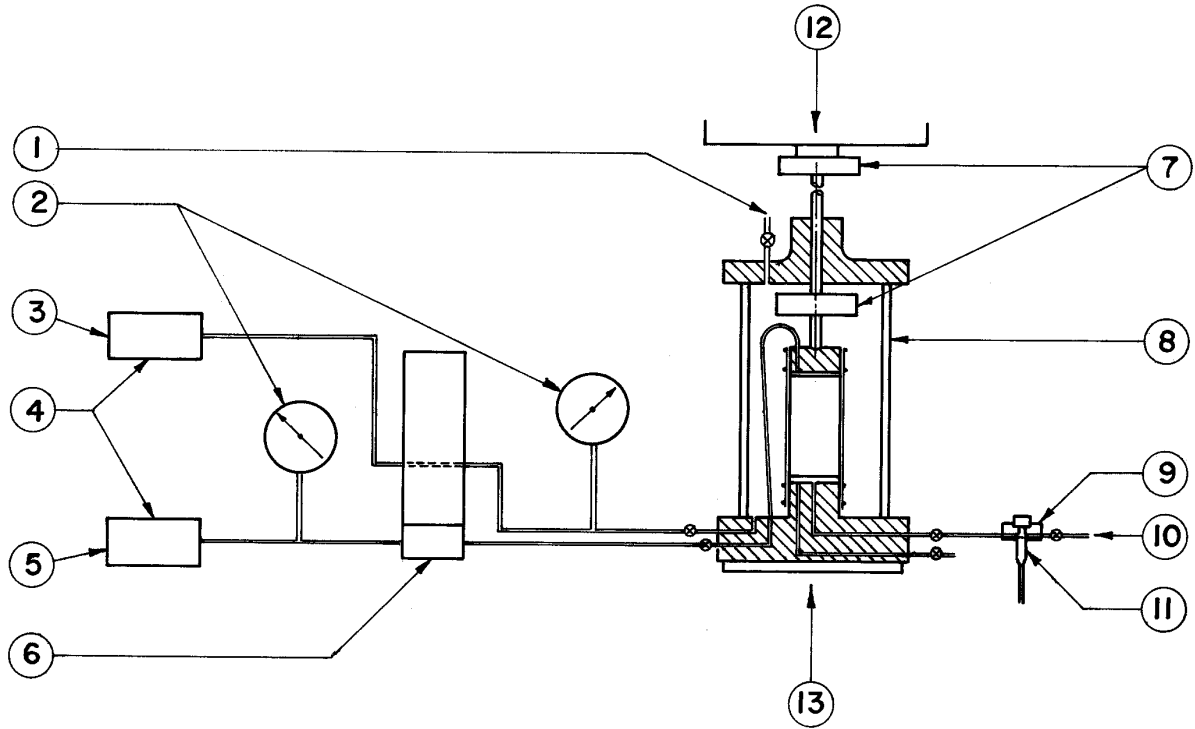
5.5.2.9 Aksel kısılma göstergesi

Aksel şekil değiştirmesi, genelde numunenin tepesinde bulunan pistonun aşağıya hareketinin ölçümü sonucunda belirlenir. Bu hareket, numunenin başlangıçtaki uzunluğunun en az % 25'i doğruluğunda ölçülebilmelidir. Aksel şekil değiştirmesi ölçeri, numune ilk yüksekliğinin en az % 20'si kadar ölçme aralığına sahip olmalıdır. Bu gösterge, lineer değişken transduser, komparatör saati veya aynı şartları sağlayan diğer bir ölçü cihazı olabilir.

5.5.2.10 Numune başlığı ve tabanı

Başlık ve taban sütunu, numunenin iki uçtan su alıp vermesini sağlayacak şekilde rijit, paslanmaz ve geçirimsiz bir malzemedan yapılmış olmalıdır. Gözenekli diskle tam temas sağlanması için drenaj sağlayan kesimleri dışında düzgün ve dairesel yüzeyleri olması gerekir. Başlığın kütlesinin mümkün olduğu ölçüde az olması gerekir. Bununla birlikte, başlık ve taban plâkasının toplam kütlesi göçme anındaki düşey yükün % 10'u kadar olabilir. Ancak, bu toplam kütle, göçme anındaki düşey yükün % 0,5'inden fazla veya 50 g'dan fazla ise, uygulanan düşey yüke başlık plâkası kütlesi için düzeltme yapılmalıdır. Başlığın ve taban plâkasının çapı numunenin deney öncesindeki çapına eşit olmalıdır. Taban plâkası, numunenin yanal hareket ve oynamasını önlemek için numune başlığının biçimi de düşey yüke bağlı olarak oluşabilecek eksantrik hareket 1,3 mm'den fazla olmayacak şekilde yapılmalıdır.

Piston ucu ile numune başlığının temas ettiği alanın biçimi, yükleme sırasında eksenden kaçmayı en düşük düzeyde tutacak şekilde olmalıdır. Numune taban plâkasının ve başlığının silindirik yüzeyi, numuneye geçirilen lâstik kılıf ile hem çok sıkı temas etmeli hem de plâstik kılıfa zarar vermeyecek şekilde olmalıdır.



Açıklamalar

- | | |
|---|-------------------------------------|
| 1. Hava çıkış vanası | 8. Üç eksenli hücre |
| 2. Basınç göstergeleri | 9. Hava alma bloğu |
| 3. Hücre basıncı | 10. Yıkama sistemi |
| 4. Basınç sağlayıcı sistem | 11. Boşluk suyu basıncı transduseri |
| 5. Geri basınç | 12. Yükleme çerçevesi |
| 6. Hacim değişimi aygıtı | 13. Yükleme yönü |
| 7. Elektronik kuvvet ölçüm aygıtı için alternatif yer | |

Şekil 12 - Üç eksenli deney cihazının genel yerleştirilmesi

5.5.2.11 Gözenekli diskler

Numunenin her iki ucundan drenajı sağlamak ve boşluk suyu basıncını ölçmek için gözenekli diskler kullanılmalıdır. Bu disklerin geçirimsizliği ince kum düzeyinde olmalıdır (1×10^{-4} cm/s). Disklerin tıkanmaması için bunlar muntazam olarak, ultrasonik yıkama ve fırçalama ile temizlenmelidir.

5.5.2.12 Süzgeç kâğıtları ve yanal süzgeç bantları

Süzgeç kâğıtları, numuneye eşit çaptaki gözenekli disk ile numune arasına yerleştirilir. Böylece gözenekli disklerin tıkanması önlenecektir. Süzgeç kâğıdının suda çözülme cinsten olması gerekir. 550 kPa gerilme için kâğıdın geçirimsizlik katsayısı 1×10^{-5} cm/s'den az olmamalıdır.

Yanal süzgeç bantları için deviyör gerilme düzeltmesinde kullanılacak eşitlik Madde 5.5.14.6'da verilmiştir. Yanal süzgeç bantları, numune çevresinin % 50'sinden fazlasını kaplamamalıdır.

Not - 54 nolu süzgeç kâğıdı veya eşdeğeri, istenen geçirimsizlik ve dayanıklılık özelliklerini sağlamaktadır.

5.5.2.13 Lâstik kılıf

Numunenin içine konduğu lâstik kılıf, hücre sıvısının numune içine sızmasını önlemek amacı ile kullanılır. Lâstik kılıflar kullanılmadan önce kontrol edilmeli, üzerinde yırtık ve delik olanlar atılmalıdır. Numunede en küçük ek gerilme oluşması için gerdirilmemiş lâstik kılıfların çapı numune boyutunun % 90 ile % 95'i arasında olmalıdır. Lâstik kılıf, numune başlığına ve taban plâkasına lâstik halkalar ile sıkıca tutturulmalıdır. Bu nedenle bu lâstik halkaların gerdirilmemiş çapı numune başlığının ve taban plâkası çapının % 75 ile % 85'i arasında olmalıdır. Kılıfın rijitliği ile ilgili deviyatör gerilme düzeltilmesinde kullanılan eşitlik Madde 5.5.14.7'de verilmiştir.

5.5.2.14 Vanalar

Vanaların açılıp kapanması sırasında belirebilen hacim değişimleri, numunenin hacim değişimine ve boşluk suyu basınçlarının ölçümü sırasında hatalı okumalar alınmasına neden olabilir. Bu nedenle, drenaj sistemindeki vanalar, kullanımları sırasında numunede çok küçük hacim değişimleri oluşturacak tipte olmalıdır. Vanaların kapalı konumdaki boşluk suyu basınç sistemindeki basınç değişimi, vananın açılıp kapanması sırasında 0,7 kPa'dan büyük değilse bu vana uygun vana olarak kabul edilir. Tüm vanalar, herhangi bir sızıntı oluşturmayacak şekilde uygulanan basınçlara direnebilmelidir.

Not - Küresel vanaların en küçük hacim değişimi oluşturdukları saptanmıştır. Ancak en küçük hacim değişimini sağlayan başka tip vanalar da kullanılabilir.

5.5.2.15 Numune boyutunun ölçülmesi

Yükseklik ve çap ölçümünde kullanılan aletler, toplam boyutun \pm % 0,1 doğrulukta ölçme kapasitesinde olmalıdır. Ölçüm sırasında da numuneyi örselememelidir.

5.5.2.16 Kayıtlar

Deney verileri genellikle el ile kaydedilir. Bunun yanısıra elektronik sayısal veya analog kayıt tutucular da kullanılabilir.

5.5.2.17 Numune çıkartıcı

Numune çıkartıcı, numunenin tüpe giriş yönü doğrultusunda, üniform bir itme ile numuneyi en küçük örseleme ile çıkartabilecek kapasitede olmalıdır. Numunenin çıkartılması sırasındaki koşullar numunenin hangi yönden çıkartılması gerektiğini belirleyebilir. Ancak önemli olan, çıkartılma sırasında numune üzerinde en az örselenmenin oluşmasıdır.

5.5.2.18 Zaman ölçer

Konsolidasyon verilerinin (Madde 5.5.9.3) elde edilmesi sırasında kullanılan zaman ölçer (kronometre) geçen zamanı 1 s mertebesinde ölçebilecek kapasitede olmalıdır.

5.5.2.19 Terazi

Kullanılan terazi, 0,01 g doğrulukla tartma yapabilmelidir.

5.5.2.20 Suyun havasını alma cihazı

Numuneyi doyurmak için kullanılan suda çözülmüş hava, kaynatma veya vakum ortamına püskürtme ile veya numuneyi yeterli derecede doyurmayı sağlayabilecek diğer bir metotla alınabilir.

5.5.2.21 Deneyin yapıldığı ortam (deney ortamı)

Deneyin gerçekleştiği ortamın günlük en yüksek ve en düşük sıcaklıkları kaydedilmelidir.

5.5.2.22 Yardımcı Aletler

Numune düzeltme bıçağı, tıraşlama bıçağı, kıl testere, çelik gönye, numune hazırlama tornası, sıkıştırılmış numuneyi hazırlama aparatları, kılıf, halka, su muhtevası kapları, veri kâğıdı hazır bulundurulmalıdır.

5.5.3 Deney numunesinin hazırlanması**5.5.3.1 Numune Boyutları**

Numune çapı en az 50 mm olan bir silindir şeklinde, ortalama yüksekliği ortalama çapa oranı 2 olmalıdır. Yükseklik ve çapla ilgili bireysel ölçümler, yükseklik ve çap ölçüm ortalamalarından % 5'ten fazla sapmamalıdır. En büyük dane boyutu, numune çapının 1/6'sından küçük olmalıdır. Deneyin tamamlanmasından sonra, numune gözle incelenecek ve eğer istenenden iri dane varsa bu durum deney veri kâğıdında rapor edilecektir (Madde 5.5.16).

Not - Deneyden sonra gözle iri dane saptanır ise, deney numunesine TS 1900-1 Deney 6'ya göre dane çapı dağılımı deneyi yapılmalıdır. Dane çapı dağılım sonucu da raporda verilmelidir (Madde 5.5.16).

5.5.3.2 Örselenmemiş numuneler

Örselenmemiş numune, daha büyük bir örselenmemiş numuneden veya aynı çapta örselenmemiş numuneden çıkartılabilir. Tüpten çıkartılan numune yanlarından düzeltme yapılmadan, sadece düşey eksenine dik olarak iki ucundan düzgün bir şekilde kesilmek sureti ile deneye hazırlanabilir. Bu işlem yapılırken zemin karakterinin bozulmamasına özen gösterilmelidir. Numune su muhtevasının değişmemesi için hazırlama olabildiğince hızla gerçekleştirilmelidir. Numune çıkarma aletinin numune üzerinde gözle görülür bir sıkıştırma oluşturduğu saptanırsa, bu örselenmeyi önlemek için numune tüpü boyuna kesilmeli ve/veya enine uygun parçalara bölünmelidir. Numune, su muhtevasını kaybetmemesi için nem odasında hazırlanmalıdır. Yontma işlemi sırasında numunede bulunabilecek çakılların çıkartılması numune yüzeyinde boşlukların oluşmasına neden olur. Böyle boşluklar yontma sırasında çıkmış kırıntıların yoğrulması ile doldurulmalıdır. Numune en küçük bozulma ile yontulabiliyorsa, düşey tıraşlama tornası kullanmak şartıyla numunenin çapı deney yapılabilecek çapa küçültülebilir. Numunenin deneye uygun çapa getirilmesinden sonra numune tıraşlama silindirine yerleştirilir ve kıl testere veya diğer uygun bir kesici ile numune boyu deneye girecek yükseklikte kesilir. Yüzeyi çelik gönye ile düzeltilir. Bu sırada yontulmuş numune parçalarından bir veya daha fazla su muhtevası deneyi yapılıır.

Madde 5.5.2.15 ve Madde 5.5.2.19'da açıklanan aletlerin kullanımı ile numune kütlesi ve boyutları belirlenir. Aralarında 120° açı olacak şekilde en az üç adet yükseklik ölçümü yapılır, numune yüksekliğinin dörtte bir noktalarından en az üç dane çap ölçümü belirlenir ve numunenin ortalama yükseklik ve çap değerleri bulunur.

5.5.3.3 Sıkıştırılmış numune

Deney numunesi Madde 1.2'ye göre hazırlanmalıdır.

5.5.4 Numunenin hücreye yerleştirilmesi

5.5.4.1 Hazırlama: Numuneyi üç eksenli hücreye yerleştirmeden önce aşağıdaki hazırlıkların yapılması gereklidir:

5.5.4.2 Lâstik kılıfın delik olup olmadığı kontrol edilmelidir.

5.5.4.3 Kılıf, gerdiricinin üstüne geçirilmeli veya yuvarlanarak numuneye geçirilecekse numune başlığına veya taban plâkasına rulo şeklinde halka olarak yerleştirilmelidir.

5.5.4.4 Gözenekli disklerin veya drenaj tüplerinin tıkalı olup olmadığı, içinden hava veya su gönderilerek kontrol edilmelidir.

5.5.4.5 Hücre tabanına, basınç-kontrol, vakum ölçme sistemleri ve boşluk suyu basıncı ölçme cihazı bağlanmalıdır.

5.5.4.6 Deneyin doyurma aşamasının, ıslak veya kuru drenaj sistemlerinden hangisi ile başlanacağına bağlı olarak numune Madde 5.5.4.1 ve Madde 5.5.4.2'de anlatılan metotlardan birisine uygun olarak yerleştirilir. Burada, başlangıçtaki doygunluk derecesi % 90'dan az olan numuneler için kuru yerleştirme metodu önerilmektedir. Bu yöntemde geri basıncı vermeden önce numune içindeki hava dışarı atılır ve gereken durumlarda numunenin istenen doygunluk derecesine ulaşması için geri basınç düşürülür.

Not - Suyu görünce önemli oranlarda şişme gösteren numunelerin doyurulmasında da kuru yöntemin kullanılması önerilir. ıslak metot kullanılacaksa numunenin yerleştirilmesinden sonra numune boyutları belirlenmelidir. Bu durumda lâstik kılıfın çift kalınlığı, kullanılıyorsa yanal süzgeç bandının çift kalınlığı ve numune başlığının taban plâkasının gözenekli disklerle beraber yükseklikleri belirlenmelidir. Böylece bu değerler ölçüm sonuçlarından çıkartılarak numunenin gerçek boyutu belirlenir.

5.5.4.1 Yaş yerleştirme metodu

5.5.4.1.1 Drenaj kanalları ve boşluk suyu basıncı ölçme sistemi, havası alınmış su ile doldurulur.

5.5.4.1.2 Gözenekli diskler, en az 10 dakika kaynatmak veya vakum desikatöründe havası alınma sureti ile suya doyurulur ve oda sıcaklığında soğutulur.

5.5.4.1.3 Doyurulmuş gözenekli disk, üzerindeki serbest su silindikten sonra taban plâkasına yerleştirilir. Sonra numune, gözenekli diskin üzerine konur ve numune üzerine ikinci gözenekli disk ve numune başlığı yerleştirilir. Numunenin, gözenekli disklerin ve numune başlığının, taban plâkası üzerinde merkezlendiğinden emin olunur.

Not - Gözenekli diskle numune arasına süzgeç kâğıdı konacak ise, bunlar yerine konmadan önce nemlendirilir. Suyu görünce önemli oranlarda şişme gösteren numunelerin doyurulmasında da kuru yöntemin yöntemin kullanılması uygun olur.

5.5.4.1.4 Numunenin çevre drenajını sağlamak için numune çevresinin % 50'sinden fazlasını geçmemek koşuluyla düşey süzgeç bandı ile kaplanır.

5.5.4.1.5 Madde 5.5.4.7'deki işlemlere başlanır.

5.5.4.2 Kuru yerleştirme metodu

5.5.4.2.1 Hücrenin drenaj sistemi kurutulur. Bu işlem numunenin yerleştirilmesinden önce sisteme kuru hava üfletilmesi ile sağlanabilir.

5.5.4.2.2 Numuneyi yerleştirmeden önce gözenekli diskler etüvde kurutulur, desikatörde oda sıcaklığına gelene kadar soğutulur.

5.5.4.2.3 Kuru gözenekli disk taban plâkası üzerine yerleştirilir. Daha sonra numunenin üzerine ikinci kuru gözenekli disk ve numune başlığı yerleştirilir. Gerekirse numune ve gözenekli diskler arasına kuru süzgeç kâğıdı yerleştirilebilir. Numune başlığının ve numunenin taban plâkası üzerine merkezli konulduğundan emin olunmalıdır.

5.5.4.2.4 Numune çevresinde süzgeç bandı kullanılacaksa, kâğıt küçük bir yapışkan kâğıt ile tutturulabilir.

5.5.4.3 Numune çevresine lâstik kılıf geçirilir ve iki adet lâstik halka ile taban sütununa ve numune başlığına sızıntı olmayacak şekilde tespit edilir. Bu işlem sırasında numune başlığının ve taban plâkasının düşey yüzeylerine ince bir tabaka silikon yağı sürülerek sızıntı olması önlenir. Süzgeç kâğıdı kullanılacaksa kâğıdın temas ettiği yüzeylerin silikonlanmaması gerekir.

5.5.4.4 Üst drenaj borusu yerine bağlanır. Numune ve numune başlığının eksanelliği (aynı hizada olması) kontrol edilir. Kuru yerleştirme metodu kullanılıyorsa, numune ve başlığının aynı hizada olmasını sağlamadan önce, konsolidasyon basıncını aşmayacak şekilde yaklaşık 35 kPa kısmi vakum uygulanır. Bu emme uygulamasından sonra numunede diklikten sapma (eksantriklik) varsa, basınç kaldırılır. Numune ve başlık tekrar aynı hizaya getirilir ve kısmi basınç tekrar uygulanır. Islak yerleştirme metodu kullanılıyorsa numune ile başlığın eksanelliği kısmi vakum kullanılmadan sağlanır.

5.5.5 Doyurma

5.5.5.1 Üç eksenli hücrenin kurulmasından sonra, doyurma öncesi aşağıdaki işlemler yapılır:

5.5.5.2 Düşey yük pistonu numune başlığının üzerine uygun bir şekilde oturacak biçimde yerleştirilir. Uygun oturmayı sağlamak için birkaç deneme yapılabilir. Piston ile numune başlığı aynı hizada olmalıdır. Bu işlem sırasında numuneye tahmin edilen göçme yükünün % 0,5'inden fazla düşey yük uygulanmamalıdır. Piston numune ile temas ettiğinde (yerine yerleştirildiğinde) boy kısalması ölçümünün ilk okuması alınır.

5.5.5.3 Hücre, içinde hava kalmayacak şekilde hücre sıvısı ile doldurulur.

5.5.5.4 Başlangıcı kuru drenaj sistemi ile olması

Numunenin tepesine uygulanan emme en büyük seviyeye çıkartılır. Direncin belirlenmesi sırasında kullanılan efektif konsolidasyon gerilmesi uygulanan en büyük vakumdan az ise, hücreye düşük kısmi vakum uygulanmalıdır.

Numuneye uygulanan kısmî vakum ile hücre sıvısına uygulanan basınç arasındaki fark, deneydeki efektif konsolidasyon gerilmesini hiçbir zaman aşmamalıdır. Ancak numune içinden geçen akımı sağlamak için de 35 kPa'dan az olmamalıdır. Daha sonra 20 kPa'dan daha az bir vakum altında 10 dakika süreyle havası alınmış suyun numunenin tabanından tepesine doğru yükselmesi sağlanır.

Not - Doymun olduğu bilinen killerde süzülme gerekli değildir. Su, numune tepesinden ve tabanından aynı anda verilebilir.

5.5.5.4.1 İşlemin bu bölümünde, numunenin tabanında en az 13 kPa efektif gerilmenin sürekli etkimesi gerekir. Numunenin tepesine bağlı olan büret içinde su görüldüğü zaman, numunenin tabanındaki vana kapatılır ve büret havası alınmış su ile doldurulur. Daha sonra numunenin tepesinden uygulanan vakum, büretteki atmosfer basıncına kadar düşürülür. Bu işlemi yaparken aynı anda hücre basıncı eşit miktarda artırılır. Bu işlem yavaş gerçekleştirilmeli ve böylece numunenin tabanı ile tepesi arasındaki boşluk suyu basıncı farkı dengede tutulmalıdır. Tabandaki boşluk suyu basıncının kararlı hale geldiği noktada geri basınç Madde 5.5.7'de anlatıldığı gibi uygulanır. Denge durumu kontrol edilir, numuneye gelen drenaj vanaları kapatılır ve boşluk suyu basıncı değişimi dengeli hale gelene kadar ölçülür. Basınç değişimi hücre basıncının % 5'inden az ise boşluk suyu basıncının dengeye geldiği kabul edilir.

5.5.6 Dozurma işlemi

Dozurma işleminin amacı, numunenin istenmeyen gerilmelere maruz kalmadan ve numunenin şişmesine müsaade edilmeden bütün boşluklarının su ile doldurulmasıdır. Dozurma işlemi genellikle, suyun içine havanın eriyerek girmemesi için numune boşluk suyuna geri basıncın uygulanması ile yapılır. Dozurma işlemi iki yoldan yapılır:

5.5.6.1 Numuneye vakum uygulanan kuru drenaj sistemi

Burada vakum uygulanırken numuneye ve sisteme havası alınmış su gönderilir.

5.5.6.2 Gözenekli disklerin kaynatılması ve numunenin yerleştirilmesinden önce sisteme suyun gönderilmesi ile yapılan dozurma işlemi

Çözeltiden hava çıkması, zaman ve basınç gerektiren bir işlemdir. Bu nedenle, geri basınç uygulamadan önce mümkün olduğu ölçüde havanın dışarı atılması, çözeltiye girmesi gereken havanın azalmasına ve dozurma işlemi için gerekli olacak geri basıncın da azalmasına neden olacaktır. Böylece fazla zaman harcanmayacaktır. Ayrıca, drenaj sisteminde geri basınç uygulamasından önce numune içinde kalan hava, eğer dozurma işleminde havası alınmış su kullanılırsa, çözeltiye daha kolay karışacaktır. Aynı zamanda havası alınmış suyun kullanılması gerekli zamanın kılmasına ve daha az geri basınç kullanılmasını sağlayacaktır.

Dozurma işlemi için birçok yöntem geliştirilmiştir. Burada aşağıdaki yöntem önerilmektedir:

5.5.6.3 Başlangıç-dozurulmuş drenaj sistemi

Numune tepesine bağlanan büret havası alınmış su ile doldurulduktan sonra hücre basıncı 35 kPa veya daha az miktarda uygulanır ve numunenin drenaj vanaları açılır. Numunenin tabanındaki boşluk suyu basıncı dengeye eriştiğinde (Madde 5.5.4) veya büret okuması değişmediğinde geri basınç uygulanır.

5.5.7 Geri basıncın uygulanması

Karşılıklı ve kademeli olarak hücre basıncı ve geri basınç artırılır. Büret içindeki havası alınmış suyun numune içine girebilmesi için drenaj vanaları bu sırada açık olmalıdır. Geri basıncı uygularken numunenin istenmeyen ön gerilmelere maruz kalmasını önlemek için basınç kademeli olarak artırılır ve kademeler arasında, boşluk suyu basıncının denge durumuna gelmesi için yeterli zaman aralığı sağlanır. Her kademedeki basınç aralığı, o kademede istenen efektif konsolidasyon basıncına ve bir sonraki kademede numunenin ulaşması istenen %'de doymunluk derecesine bağlı olarak 35 kPa ile 140 kPa arasındaki bir değerde seçilmelidir.

Geri basınç uygulaması sırasında hücre basıncı ile geri basınç arasındaki fark, 35 kPa'lı geçmemelidir. Ancak, uygulama sırasında numunenin şişmesi kontrol edilmek isteniyorsa, bu durumda basınç farkı 35 kPa'ı geçebilir. Basınç sabitleştiği zaman hücre ve geri basınç arasındaki fark, \pm % 5 aralığında, basınç artımı \pm % 2 aralığında olmalıdır. Geri basınç artım kademelerinden sonra veya tüm geri basıncın uygulanmasından sonra, denge durumu kontrol edilmelidir. Bunun için drenaj vanaları kapatılır. 1 dakika aralıklarla boşluk suyu basıncı değişimleri ölçülür. Değişim hücre basıncı ile geri basıncın arasındaki farkın % 5'inden az ise diğer bir geri basınç artım kademesine geçilebilir veya dozurma işlemi tamamlanmışsa bunu belirlemek için boşluk suyu basınç parametresi B (Madde 5.5.8) ölçülür. Boşluk suyu basıncı parametresi B'nin değeri 0,95'e eşit veya büyükse ve geri basınç artışına rağmen B değeri değişmiyorsa numune doymun konuma gelmiş kabul edilir.

Not - Doyurmanın belirlenmesinde kullanılan boşluk suyu basıncı parametresi B, aynı zamanda zeminin sertliğinin bir göstergesidir. Numunenin doygunluk derecesi % 100 ise, sertliğin azalması ile B değerinin ölçümleri yükselecektir.

Not - Sıkıştırılmış bir numuneyi doyurmak için gerekli geri basınç, ıslak yerleştirmede kuru yerleştirmeye göre çok daha fazladır ve 1400 kPa'a kadar yükselebilir.

Not - Bir çok l aboratuvarda h uce basıncı ile  evre basıncı arasında k uc uk farkları yakalamak için diferansiyel basınç reg ulator  ve transduserler kullanılmaktadır.

5.5.8 Boşluk suyu basınç parametresi B'nin  l ulmesi

Boşluk suyu basınç parametresi B, Madde 5.5.8.1 il  Madde 5.5.8.4'e kadar anlatılanlara uygun olarak belirlenir ve aşağıdaki eşitlikle tanımlanır:

$$B = \frac{\Delta u}{\Delta \sigma_3}$$

Burada;

Δu Drenaj vanaları kapalı durumda iken h uce basıncındaki deėiŐimlere bağlı olarak boşluk suyu basıncında beliren değişim,

$\Delta \sigma_3$ H uce basıncındaki artış tır.

5.5.8.1 Drenaj vanaları kapatılır, boşluk suyu basıncı kaydedilir ve h uce basıncı 70 kPa arttırılır.

5.5.8.2 Yaklaşık iki dakika sonra, oluşan boşluk suyu basıncı belirlenir ve kaydedilir. Birçok numunede h uce basınç artımına ilk (ani) cevap olarak boşluk suyu basıncında düşme gözlenir. Zamanla boşluk suyu basıncında yavaş bir artış gözlenecektir. Bu durum oluŐtuėunda, Δu_w değerleri zamana karşı noktalanır ve boşluk suyu basıncındaki değişim sabitlenene kadar beklenir. Δu_w 'deki büyük miktardaki artıŐlar veya Δu_w 'nin $\Delta \sigma_3$ 'ten büyük değerler kazanması h uce sıvısının numune içine sızdığını (sistemde kaçak olduğunu) belirler. Δu 'daki d ŐuŐ ise, h uce dıŐındaki boşluk suyu basıncı  l me sistemindeki bir kaçağın belirticidir.

5.5.8.3 B değeri yukarıdaki eşitlik ile hesaplanır.

5.5.8.4 B değerinden önce bulunan efektif konsolidasyon basıncı yeniden uygulanır. Bu uygulama, h uce basıncını 70 kPa arttırmak suretiyle sağlanır. Geri basıncın artması ile B değeri artmaya devam ediyorsa geri basınç arttırılmaya devam edilir. B değeri 0,95'e eşit veya büyükse veya B'ye karşı geri basınç noktalandığında grafik B'nin artık artmadığını gösteriyorsa konsolidasyon aşamasına geçilebilir.

5.5.9 Konsolidasyon

Deneydeki konsolidasyon aşamasının amacı, kayma direnci ölümü sırasında olması gereken efektif konsolidasyon basıncı altındaki drenajlı durumda numunenin denge durumuna eriŐmesidir. Konsolidasyonun ne zaman tamamlanacağını belirlemek için kullanılan veriler ve deneyin kesme kısmında kullanılan boy kısalmasını hesaplamada kullanılan veriler konsolidasyon sırasında elde edilir. Konsolidasyon işlemi aşağıdaki gibi yürütülür:

5.5.9.1 Deneyde doyurma aşaması bittiğinde, düşey yük pistonu numune başlığı ile temas haline getirilir ve boy kısalması  l eri okunur ve kaydedilir. Bu işlem esnasında göçme sırasındaki tahmin edilmiş en büyük düşey yükün % 0,5'ini aŐmamaya dikkat edilir. Okumayı kaydettikten sonra piston az miktarda numune başlığının üstüne kaldırılır ve piston bu durumda kilitletir.

5.5.9.2 Numunenin drenaj vanaları kapalı durumda geri basıncı en büyük seviyede sabit tutulur ve h uce basıncını, h uce basıncı ile geri basınç arasındaki fark değeri istenen efektif konsolidasyon basıncına eşdeğer olana kadar karşılıklı arttırılır.  evre drenajı için süzgeç bantları kullanılıyorsa konsolidasyonun kademeli olması gerekir ve yük artış oranı ikiye geçmemelidir.

5.5.9.3 Başlangıç büret okuması alınır, daha sonra drenaj vanaları açılır ve suyun numunenin iki ucundan büretlere çıkmasına izin verilir yolların. Belirli zaman aralıklarında (0,1, 0,2, 0,5, 1, 2, 4, 8, 15, 30 dakika ve 1, 2, 4, 8 saat) büret gözlenir, okumalar alınır ve kaydedilir. 15 dakika büret okumasından sonra aynı anda boy kısalması göstergesi de okunur ve kaydedilir. Bu işlem için piston çok dikkatli bir şekilde numune başlığı ile temas haline getirilmelidir. Boy kısalması ve büret okumaları zamanın kareköküne karşı noktalanırsa okumaların yapıldığı zaman aralıkları grafikten kolayca ayarlanarak bölünür (0,09, 0,25, 0,49, 1, 4, 9, ... dakika gibi). Zemin tipine bağlı olarak zamana karşı hacim değişimini uygun bir şekilde belirlemek için okuma yapılan zaman aralıkları değiştirilebilir.

Not - Başlangıçtaki uygulanan yüksek hidrolik eğim nedeniyle ince malzeme numuneden yıkanıp kaçabilir. Bu durumu önlemek için hücre basıncı toplam son basınca kadar kademeli olarak artırılır. Bu işlem daha önce yapıldıysa, verilerin kaydı toplam basınca ulaşıldıktan sonra yapılır.

5.5.9.4 Büret ve eksenel şekil değiştirmesi ölçer okumaları düşey ekseninde, geçen zamanın karekök değerlerine karşı veya logaritmik ölçekte yapılmış zaman değerlerine karşı yatay ekseninde bir grafik şeklinde hazırlanır. Konsolidasyon en az bir logaritmik çevrim tamamlanana veya birincil konsolidasyonun % 100'e eriştiği noktadan sonra bir gece kadar devam ettirilir. Eksenel şekil değiştirmesi ölçer okumalarına bağlı olarak konsolidasyonun sonuna kadar büret ve eksenel şekil değiştirmesi ölçer eğrilerinin eğimindeki belirgin bir sapma, hücre içindeki sıvının numunenin içine sızdığının bir belirtisidir ve deney durdurulmalıdır.

5.5.9.5 Deney 2'de anlatılan yöntem uygun olarak birincil konsolidasyonun % 50'si için gerekli zaman (t_{50}) veya % 90'ı için gerekli zaman t_{90} belirlenir.

5.5.10 Düşey yük uygulanmadan (kesme aşamasından) önce yapılacak işlemler

5.5.10.1 Hücre yükleme presine yerleştirilir. Piston, numune başlığı ile temas haline getirilir. Piston ile numune başlığı aynı hizada olmalıdır. Düşey yükleme aleti, düşey kuvvet ölçme aleti ve üç eksenli hücre de aynı ekseninde olmalıdır. Böylece kesme sırasında pistonu yan kuvvetlerin gelmesi önlenmiş olur.

Bu işlemi yaparken dikkat edilmesi gereken, uygulanabilecek düşey yükün göçmeyi (yenilmeyi) oluşturacak tahmini yükün % 0,5'inden fazla olmamasıdır. Düşey kuvvet ölçme donanımı üç eksenli hücrenin dışına monte edilmişse, hücre basıncı piston üzerine yukarı doğru bir kuvvet oluşturacaktır. Bu kuvvet de düşey yüke karşı çalışacaktır. Böyle durumda kesme aşamasına, piston numune başlığı ile temas etmeden önce piston hemen numune başlığının üzerinde iken başlanır ve (1) başlangıçtaki piston sürtünmesi ve hücre basıncının pistonu yukarıya doğru itmesi ölçülür ve kaydedilir. Bunları göz önüne alarak daha sonra düşey yüklemede düzeltme yapılır veya (2) düşey kuvvet ölçme aparatı, bu sürtünme ve yukarı itme etkisini karşılayacak şekilde sıfıra ayarlanır. Piston aşağı doğru inerken, numune başlığına temas etmeden önceki düşey kuvvet ölçme aletindeki okumaların değişimi, göçmeyi oluşturacak tahmini yükün % 0,1'ini aşmamalıdır.

5.5.10.2 Pistonun numune üzerindeki başlığa tam değecek şekilde son ayarlaması yapılır. Bu ayar yapılırken, pistonun numune üstünde mümkün olan en küçük düşey yükü oluşturabilecek yüksekliğe gelip gelmediği kontrol edilmelidir.

5.5.10.3 Düşey boy kısalması ölçerinin numune yüksekliğinin % 25'i kadar boy kısalmasını ölçebilecek şekilde ayarlandığından emin olunmalıdır. Kısalma ölçer kurulduğunda ilk okuma alınmalı veya sıfır konumuna ayarlanmalıdır.

5.5.10.4 Düşey yük okuma cihazı hücrenin içine monte edilmiş ise piston sürtünmesi ve pistonun yukarı itilmesi için herhangi bir düzeltme gerekmez. Bununla birlikte eğer hücre içi düşey kuvvet ölçeri harici bir şekil değiştirmesi belirleyici ile birlikte kullanılıyorsa, şekil değiştirmesi okumalarına düzeltme yapmak gerekli olabilir. İki durumda da piston, numune başlığı ile hemen temas etmeden önce ilk boşluk suyu basıncı, piston numune başlığı ile temas ettiğinde şekil değiştirmesi ölçerinin ilk okuması alınır ve bu değerler kaydedilir.

5.5.10.5 Hücre basınç vanasının ve boşluk suyu basıncını ölçecek olan cihaza giden vananın açık olduğundan, drenaj vanasının kapalı olduğundan emin olunmalıdır. Bunun yapılmadığı durumda drenajın oluşmasına izin verilmiş olunur ve deney bozulur (Şekil 11).

5.5.10.6 Boşluk suyu basıncının denge durumu kontrol edilir ve kaydedilir. Numuneye giden drenaj vanaları kapatılır. Denge sağlanana kadar boşluk suyu basınç değişimleri kaydedilir. Değişim hücre basıncının % 5'inden az ise boşluk suyu basıncının dengeye geldiği varsayılır.

5.5.10.7 Sıkışma safhasının ilk okumaları olarak aşağıda verilen okumalar alınmalıdır. Bu deney için Çizelge 6 kullanılabilir.

1. Tarih ve saat okuması
2. Boy değiştirme ölçerinin ilk okuması
3. Kuvvet halkasının (ölçerinin) ilk okuması
4. Boşluk suyu basıncı
5. Hücre basıncı

5.5.11 Kesme aşaması

5.5.11.1 Şekil değiştirme ölçer, kuvvet halkası ve boşluk suyu basıncı okumaları deney süresince belli aralıklarla alınır ve kaydedilir. Kayıtların, gerilme - birim eksenel şekil değiştirme eğrisinin göçmeyi gösterebilecek biçimde oluşturulması için en az 20 adet okumanın alınması gerekir.

Not - Küçük şekil değiştirmesinde aniden bir göçme gösterebilen aşırı konsolide (katı ve sert) zeminlerde okumalar numunenin şekil değiştirmesine bağlı olmaksızın eksenel basınç artışına bağlı olarak kısa aralıklarla yapılmalıdır.

Not - Hücre basıncının sabit olduğundan emin olmak için özel hidrolik pompa kullanılmalı ve değeri deney boyunca sık aralıklarla kontrol edilmelidir.

Not - Boy kısalması hızının düzeyini belirlemek için okumalar sırasında geçen zaman da kaydedilmelidir.

Düşey yükleme göçme anında boşluk suyu basınçlarının dengelenmesini sağlayacak hızda uygulanmalıdır. Göçme % 4'ten sonra oluşacak ise, bu durumdaki birim şekil değiştirme hızı ε' aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$\varepsilon' = \frac{\%4}{10t_{50}}$$

Burada;

t_{50} % 50 konsolidasyona erişmek için hesaplanmış zaman değeri (dakika) dir.

Göçmenin % 4'ten daha küçük eksenel birim şekil değiştirmesinde oluşacağı tahmin ediliyorsa, uygun eksenel birim şekil değiştirme hızı yukarıdaki eşitlikte % 4 yerine uygun değeri yerleştirme koşulu ile saptanabilir. Bu birim kısalma hızı, efektif göçmeyi belirlemek için gerekli aralıkta doğru efektif gerilme izini verecektir.

5.5.11.2 Yük, şekil değiştirme ve boşluk suyu basıncı değerleri, 0,1 mm artışlarla % 1 birim şekil değiştirmeye ulaşıncaya kadar, daha sonra ise her % 1'de kaydedilir. Gerilme - eksenel birim şekil değiştirme eğrisini çizebilmek için yeterli aralıklarla okuma yapılır. Böylece deneyin ilk safhalarında ve göçmeye doğru çok sık okumaların alınması gerekebilir. % 15 eksenel birim şekil değiştirmesine kadar yüklemeye devam edilir. Ancak deviatör gerilme % 20 düşüş gösterdiğinde veya en büyük deviatör gerilmeden sonra % 5 ilâve eksenel birim şekil değiştirme olduğunda yükleme durdurulabilir.

5.5.11.3 Deviatör gerilme, $(\sigma_1 - \sigma_3)$ kPa cinsinden hesaplanır. Madde 5.5.14.6'da açıklandığı gibi efektif asal gerilme oranı (σ_1'/σ_3') bulunur. Eksenel birim şekil değiştirmesi (%) yatay eksene, efektif asal gerilme oranı (σ_1'/σ_3') düşey eksene işaretlenir. Bu işlemler deney devam ederken yapılmalıdır.

Not - Aynı zamanda, eksenel birim şekil değiştirmesine karşı boşluk suyu basıncı grafiği ile gerilme izi, s' ne karşı t' eğrisi, s' yatay eksene, t' ise düşey eksene, aşağıdaki eşitliklerden hesaplanarak çizilebilir:

$$s' = \frac{\sigma_1' + \sigma_3'}{2}$$

ve

$$t' = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

5.5.11.4 Göçme (yenilme) kriteri olarak verilen aşağıdaki koşullardan herhangi biri açık bir şekilde sağlanana kadar deneye devam edilecektir.

1. En büyük deviatör gerilme,
2. En büyük efektif asal gerilme oranı,
3. Değişmez düzeye erişmiş kayma gerilmesi ve sabit boşluk suyu basıncı,

Gerekli olan göçme koşullarından herhangi biri oluşmazsa, bu koşulda deneye eksenel birim şekil değiştirmenin % 20'ye çıktığı noktaya kadar devam edilir.

5.5.11.5 Göçme kriteri sağlandığında kesme durdurulur. Boşluk suyu basıncına giden vana ve sistem vanası, transduseri korumak için kapatılır.

5.5.12 Sistemin boşaltılması ve numunenin çıkartılması

Kesme aşaması biter bitmez, gözenekli diskteki suyun numune tarafından emilmesini en küçük seviyede tutmak için mümkün olan en kısa sürede numune hücreden çıkartılarak aşağıdaki işlemler yapılmalıdır:

- 1) Geri basınç vanasının veya vanalarının ve boşluk suyu basıncı vanasının kapalı olduğundan emin olunur.
- 2) Piston yükü numune üzerinden kaldırılır.
- 3) Hücre basıncı ile geri basınç karşılıklı indirimlerle sıfıra düşürülür ve hücredeki su boşaltılır.
- 4) Hücre sökülür, drenaj vanaları kapalı bir şekilde ve hızla numune hücreden çıkartılır.
- 5) Üst başlık, lâstik kılıf ve kullanıldıysa yanal süzgeç kâğıtları çıkartılır.

5.5.13 Son ölçümler

- 1) Kılıf çıkartıldıktan sonra numunenin üzerinde kalan serbest su, su muhtevası belirlenmeden önce kurulanır.
- 2) Tüm numune tartılır.
- 3) Numunenin göçme durumu dikkatle çizilir.
- 4) Numune ufalanarak etüve konur ve numunenin su muhtevası TS 1900-1 Deney 1'e göre belirlenir. Seçilen deney metodu belirtilmelidir.
- 5) Konsolidasyon aşamasının sonunda meydana gelen hacim değişimi hesaplanarak numunenin son hacmi bulunur.

5.5.14 Hesaplamalar

5.5.14.1 Deney öncesi numune özellikleri

Numunenin kuru kütlesi kullanarak, numunenin başlangıçtaki doygunluk derecesi ve başlangıçtaki kuru birim hacim ağırlığı hesaplanır ve kaydedilir. Numune hacmi Madde 5.5.3.2 ve Madde 5.5.3.3'te yapılan ölçümler kullanarak hesaplanır. Katıların hacmi, numunenin kuru kütlesinin, zemin dane birim hacim ağırlığına bölünmesiyle hesaplanır.

Boşluk oranı, boşluk hacmini dane hacmine bölerek hesaplanır. Burada boşluk hacmi, numune tüm hacminden, katıların hacminin çıkartılması ile elde edilen değer olarak kabul edilecektir. Numunenin kuru birim hacim ağırlığı, numune kuru kütlesinin numune hacmine bölünmesiyle hesaplanır.

Not - Numune bağılı yoğunluğu TS 1900-1, Deney 5'e göre belirlenebilir.

5.5.14.2 Konsolidasyon sonrası numune yüksekliği ve alanı aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır:

$$H_c = H_0 - \Delta H$$

Burada;

H_c Numunenin konsolidasyon sonrası yüksekliği,

H_0 Numunenin ilk yüksekliği,

ΔH Konsolidasyon sonrasında numunede gelişen boy değişimi dir.

a) Eksenel birim şekil değiştirmesi ε her okuma için aşağıdaki eşitlikle bulunur:

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H_c}$$

Burada;

ΔH Yükleme sırasında numune yüksekliğinde oluşan değişimdir, şekil değiştirmesi ölçerinden mm cinsinden okumalar ile belirlenir,

H_c Konsolidasyon sonrası numunenin mm cinsinden yüksekliği dir

b) Konsolidasyon sonrası numune kesit alanı, A_c aşağıda açıklanan metotlardan birinin kullanılması ile hesaplanır. Hangi metodun kullanılacağı ya deneyden elde edilen kesme verilerine göre ya da deneyimli bir teknisyenin hangi metodun daha temsili olacağına karar vermesine göre seçilecektir. Diğer bir yol da iki metottan hesaplanan değerlerin ortalaması ile bulunan alanın kullanılmasıdır.

5.5.14.3.1 Metot A

Konsolidasyon sonrası numune kesit alanı, A_c :

$$A_c = \frac{V_0 - \Delta V_{sat} - \Delta V_c}{H_c}$$

Burada;

V_0 Başlangıçtaki numune hacmi,

ΔV_c Konsolidasyon sırasında numunede oluşan hacim değişimi olup büret okumalarından belirlenir,

ΔV_{sat} Doyurma işlemi sırasında numunede gelişen hacim değişimi olup aşağıdaki eşitlikle hesaplanacaktır:

$$\Delta V_{sat} = 3V_0 \frac{\Delta H_s}{H_0}$$

Burada;

ΔH_s Doyurma işlemi sırasında numune şekil değiştirmesi dir.

5.5.14.3.2 Metot B

$$A_c = \frac{V_{wf} + V_s}{H_c}$$

Burada;

V_{wf} Numunenin son su muhtevası değerine bağlı suyun son hacmi,
 V_s Katıların hacmi (aşağıdaki eşitlikle bulunur):

$$V_s = \frac{M_s}{G_s \rho_w}$$

Burada;

M_s Numunenin kuru kütlesi, g,
 G_s Katıların bağıl yoğunluğu,
 ρ_w Suyun yoğunluğu, kN/m³
dur.

Eksene dik yöndeki enine kesit alanı A_s (mm²) şekil değiştirmesinin silindirin yanal genişlemesi olduğu kabul edilerek aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunur:

$$A_s = \frac{A_c}{1 - \varepsilon}$$

Not - Bu eşitlik, tamamen doymuş numunenin, drenajsız koşuldaki deneyde hacim değişiminin sıfır kabul edildiği koşula dayanmaktadır.

Not - Bu şekilde hesaplanan kesit alanda, numunenin kesme sırasında sağ dairesel kesitli bir silindir olarak hareket ettiği kabul edilir. Numunede yerel kabarmalar varsa kesme geçmesinden sonra numunenin doğrudan ölçümle bulunan kesit alanını kullanmak daha uygun olur.

5.5.14.4 Konsolidasyondan sonra, hesaplanmış boyutları kullanarak ve konsolidasyondan sonraki su muhtevasının son su muhtevası ile aynı olduğunu kabul ederek, konsolide olmuş durumda boşluk oranı ve doymuluk derecesi hesaplanır.

Not - Numune zaman içinde drenaj kanallarından ve gözenekli disklerden su çekecektir. Bu etki çok fazla ise Metot A'nın kullanılması daha uygun olur.

Not - Bu test metodunda, eşitliklerin yazımında sıkışma ve konsolidasyon pozitif olarak kabul edilmiştir.

c) Düşey yük P (kN), numuneye, hücre basıncına ilave olarak uygulanır ve aşağıda verilen eşitlikle hesaplanır:

$$P = (R - R_0)K$$

Burada;

R Kuvvet ölçerden okunan değer,
 R_0 Kuvvet ölçerden alınan ilk okuma,
 K Kuvvet ölçere ait kalibrasyon katsayısı (kg/okuma birimi)
dur.

d) Uygulanan düşey gerilme, asal gerilmelerin farkı veya deviatör gerilmedir ($\sigma_1 - \sigma_3$) kPa olarak verilir ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$(\sigma_1 - \sigma_3) = \frac{P}{A_s}$$

Burada;

P Uygulanan düşey yük (piston sürtünmesi ve hücre basıncı ile yukarıya itilme için düzeltilmiş),
 A_s Numune kesit alanı (m^2)
 dir.

g) Deviatör gerilme düzeltmesi ($\sigma_1 - \sigma_3$) aşağıdaki eşitlikle verilmektedir:

$$(\sigma_1 - \sigma_3) = (\sigma_1 - \sigma_3)_m - \sigma_{mb} - \sigma_{dr}$$

Burada;

σ_{mb} Lâstik kılıf etkisi için düzeltme,
 σ_{dr} Süzgeç kâğıdı için düzeltme
 dir.

h) Büyük asal gerilme, σ_1 aşağıdaki eşitlikle verilir:

$$\sigma_1 = (\sigma_1 - \sigma_3) + \sigma_3$$

Burada;

σ_3 Hücre çevre basıncı
 dir.

i) Efektif büyük ve küçük asal gerilmeler (sırasıyla σ_1' ve σ_3') aşağıdaki eşitlikle verilir:

$$\sigma_1' = \sigma_1 - u$$

$$\sigma_3' = \sigma_3 - u$$

Burada;

u Ölçülmüş boşluk suyu basıncı
 dir.

j) Efektif asal gerilmelerin oranı, σ_1' / σ_3'

k) Kesmenin herhangi aşamasında boşluk suyu basıncı katsayısı A, aşağıdaki eşitlikle verilir:

$$A = \frac{u - u_0}{\sigma_1 - \sigma_3}$$

Burada;

u_0 Kesmenin başladığı andaki boşluk suyu basıncı
 dir.

5.5.14.6 Yanal süzgeç bandı için düzeltme

Asal gerilme farkında (deviatör gerilme) süzgeç bantlarının dayanımı nedeniyle % 5'ten fazla hata olursa numunenin bütünü boyunca uzanan düşey süzgeç bantları için hesaplanan deviatör gerilmelere düzeltme uygulanır.

1) % 2'den büyük birim kısalmalar için düzeltme aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$\sigma_{dr} = \frac{K_{fp} P_{fp}}{A_c}$$

Burada;

$\Delta (\sigma_1 - \sigma_3)$ Deviatör gerilmeden çıkartılmak üzere kullanılacak olan düzeltme,
 K_{fp} Süzgeç kâğıdının kapladığı çevrenin bir birimi için süzgeç kâğıdının taşıdığı yük,
 P_{fp} Süzgeç kâğıdının kapladığı numune yüzeyi,
 A_c Konsolidasyondan sonraki numunenin en kesit alanı
 dir.

2) Birim boy kısalmasının % 2 veya daha düşük değerlerinde aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$\sigma_{dr} = \frac{50\varepsilon_1 K_{fp} P_{fp}}{A_c}$$

Burada;

ε_1 Ondalık türünden aksenal birim şekil değiştirmesi dir.

Not - Üç eksenli deneylerde genellikle kullanılan süzgeç kâğıtları için K_{fp} değeri yaklaşık olarak 0,19 kN/m olarak alınır.

5.5.14.7 Lâstik kılıf için düzeltme (kılıf düzeltmesi)

Lâstik kılıfın numune üzerindeki kısıtlayıcı etkisini hesaba katmak için bir düzeltme yapılmalıdır. Düzeltme miktarını, ölçülmüş olan en büyük deviatör gerilmeden çıkarılarak, en büyük asal gerilmenin düzeltilmiş değeri elde edilmiş olur. Düzeltme miktarı Madde 5.5'te verilen eşitlik kullanılarak yapılır. Ancak, eşitlikteki D_0 yerine:

$$D_c = \sqrt{\frac{4A_c}{\pi}}$$

Burada;

D_c Konsolidasyon sonrası numune çapı, (mm),
 A_c Konsolidasyon sonrası numune alanı, (mm²)
 dir.

Not - Latex kılıfların tipik E_m değeri 1400 kPa alınabilir.

Not - Süzgeç kâğıt bantlar ve lâstik kılıf için düzeltme, bunların göçme sırasındaki basitleştirilmiş davranışları üzerinde hesaplanmıştır. Gerçekte göçme sırasında bunların davranışı oldukça karmaşıktır. Bu nedenle gerçek düzeltme veren benimsenmiş bir düzeltme yoktur.

5.5.15 Grafiklerin çizilmesi

Aşağıdaki veriler grafik üzerinde noktalanır.

a) Aksenal birim şekil değiştirme - gerilmesi grafiği için aksenal şekil değiştirmesi (genellikle % olarak) yatay eksene, deviatör gerilme ise düşey eksende çizilir.

b) Boşluk suyu basıncı değişimi eğrisinde, Madde 5.5.15.a'da verilen yatay eksen değerlerine karşılık düşey eksen olarak boşluk suyu basıncı çizilir. Burada kesme aşamasının başındaki boşluk suyu basıncı açık bir şekilde belirlenmelidir.

c) Efektif asal gerilmeler oranı, σ_1'/σ_3' , düşey eksende, buna karşılık aksenal birim şekil değiştirmesi yatay eksene noktalanarak grafik çizilir.

d) Göçme, en büyük deviatör gerilmenin veya en büyük efektif asal gerilme oranının veya sabit deviatör gerilmenin elde edildiği ve boşluk suyu basıncının en büyük çıktığı noktada belirlenir. Bu noktadaki değer yukarıda verilen maddelerde açıklanan okumalar için çizilmiş olan eğrilerden belirlenir. Eğrilerden, göçme anındaki şekil değiştirmesi okunur.

Not - En büyük değer iki okumanın arasında oluşabilir.

e) Toplam ve efektif gerilmelere ait gerilme daireleri çizilir.

f) Efektif gerilme için eğer istenirse gerilme izi çizilir. Burada düşey ve yatay ölçek aynıdır. Yatay eksene s' , düşey eksende t' noktalanır.

5.5.15.1 Deviatör gerilme ve oluşan boşluk suyu basıncına karşı eksenel şekil değiştirmesi eğrisi: Deviatör gerilme ve boşluk suyu basıncı ile eksenel birim şekil değiştirmesi arasındaki ilişkiyi gösteren grafik hazırlanır. Burada deviatör gerilme ve boşluk suyu basınçları düşey eksene, eksenel birim şekil değiştirmesi ise yatay eksene işaretlenir. Madde 5.5.11.4'te anlatılanlara uygun olarak göçme anındaki deviatör gerilme ve eksenel birim şekil değiştirmesi seçilir.

5.5.15.2 ($s'-t'$) grafiği ilgili eşitliklerden hesaplanarak çizilir.

5.5.15.3 Göçme anındaki büyük ve küçük asal gerilmeler, toplam gerilmelerden ve efektif gerilmelerden hesaplanır.

5.5.15.4 Gerilme daireleri

Aynı ölçekli koordinat sistemi kullanarak yatay eksene normal gerilmeler, düşey eksene kayma gerilmeleri noktalanır. Orijin sıfır seçilerek efektif ve toplam gerilmeler cinsinden gerilme daireleri oluşturulur. Toplam gerilmeler kullanılarak çizilen dairenin yarıçapı deviatör gerilmenin yarısına eşdeğer olarak çizilir ve merkezi küçük ve büyük asal gerilmeler toplamının yarısıdır. Efektif gerilmenin dairesi de aynı yaklaşım ile hazırlanır. Yalnız efektif dairesinin merkezi efektif küçük ve büyük gerilmelerin toplamının yarısıdır.

5.5.16 Sonuçların gösterilmesi

Bu deney metodunda, belirlenmiş bir basınca konsolide edilmiş zeminin drenajsız koşuldaki kesme karakteristikleri ölçülür. Her deney numunesi ile ilgili sonuçlar, aşağıdaki bilgileri içermelidir:

- 1) Orijinal numune içinde, deney numunesinin konumu ve alındığı derinlik,
- 2) Numunenin hazırlanış biçimi (örselenmemiş veya sıkıştırılmış) zemin sınıfı ve numunenin gözlemsel tanımı, numunenin başlangıçtaki çapı ve yüksekliği,
- 3) Katıların bağıl yoğunluk değeri, kabul edilen mi veya TS 1900-1 Deney 5'e göre mi ölçülmüş olduğu,
- 4) Numunenin başlangıçtaki kuru birim hacim ağırlığı, boşluk oranı, su muhtevası (numunenin su muhtevası tüm numune üzerinden mi yoksa küçük parçalar ile mi belirlendiği), doygunluk derecesi,
- 5) Numunenin doyurulması sırasında kullanılan yöntem, numunenin doyurulma şekli, basınç uygulanmış ise basınç artışları,
- 6) Toplam geri basınç,
- 7) Doyurma sonunda erişilen boşluk suyu basıncı parametresi B,
- 8) Konsolidasyon için kullanılan efektif basınç, hücre basıncı ve geri basınç,
- 9) % 50 veya % 90 konsolidasyon tamamlanma zamanı,
- 10) Konsolidasyon sonrasındaki numune kuru birim hacim ağırlığı, boşluk oranı, su muhtevası ve doygunluk derecesi,
- 11) Konsolidasyon sonrası numune enkesit alanı ve hangi yöntemle belirlendiği,
- 12) Kesme safhasının başındaki boşluk suyu basıncı ve efektif gerilme,
- 13) Kullanılan göçme kriteri,
- 14) Kullanılan göçme anındaki deviatör gerilme, efektif küçük ve büyük asal gerilmeler (lâstik kılıf ve yanal süzgeç bantları için düzeltmeler yapılmışsa bunlar belirtilecek),
- 15) Göçme anındaki eksenel birim şekil değiştirmesi (%),
- 16) Numuneye uygulanan kesme hızı (dakikada mm cinsinden veya saatte % şekil değiştirmesi olarak), deney sonu birim hacim ağırlığı ve su muhtevası,
- 17) Birim şekil değiştirmesi hızı, dakikada yüzde olarak, ölçülen deviatör gerilmeye uygulanan düzeltmelerin büyüklüğü ve detayları,
- 18) Deviatör gerilme ve boşluk suyu basıncına karşı eksenel birim şekil değiştirmesi kullanılması ile çizilen eğri, şekil değiştirmesi veya hacim değişimi grafiği,
- 19) $s' - t'$ grafiği,
- 20) Efektif ve toplam (isteğe bağlı) gerilmelere göre çizilmiş gerilme daireleri,
- 21) Deney sonrası numunenin göçmesini belirleyecek şekilde çizilmiş göçme krokisi,
- 22) Deneyde karşılaşılan olağan dışı olaylarla ilgili açıklamalar (numunenin göçme şeklini etkileyen içindeki çakıllar, bitki kökleri veya numunede önceden var olan kayma yüzeyleri gibi).

5.6 Deney 6: Kayma direncinin kesme kutusu ile tayini

5.6.1 Genel

Bu deney iri ve ince daneli zeminlerin örselenmemiş veya sıkıştırılmış numunelerinde, en büyük, yumuşamış ve kalıntı kayma direnç parametrelerinin, numunelerin önceden belirli yatay bir düzlem boyunca kesilmesi suretiyle ölçümüne dairdir.

Numunenin kenar boyutu, en az 50 mm olan kare biçiminde, yüksekliği ise 20 mm veya fazla olmalıdır.

Deney en az üç numunenin farklı normal gerilmelerde konsolide edilmesinden sonra (veya konsolide edilmeden toplam gerilmeye göre) kesilmesi ile gerçekleştirilir. Buradan gelen sonuçlarla zeminin göçme doğrusu çizilir ve efektif gerilme parametreleri c' ve ϕ' ile kalıntı parametreler c_r ve ϕ_r bulunur.

5.6.2 Cihazlar

Kesme kutusu, kenar uzunluğu en az 50 mm, yüksekliği en az 20 mm, birbirine vidalanabilir iki parçalı paslanmaz çelik veya pirinçten imal edilmiş olan kutu (Şekil 13),

Yükleme kaldıracı, numuneye düşey yükü şok yaratmadan uygulayabilen, dengeli ve uyguladığı yükün %1'ine duyarlı sistem,

Yatay kuvvet uygulama sistemi, kesme kutusuna yatay yükü istenen hızda ve \pm % 10 değişimle sürekli olarak ileri-geri uygulayabilen, hareket kapasitesi 0,01 mm'den az olmayan motorlu,

Havuz, Kesme kutusunun içine oturtulup tespit edildikten sonra altındaki rulmanlı beşik üzerinde Şekil 13'te gösterildiği gibi sadece ileri-geri hareket eden paslanmaz metal parça,

Gözenekli diskler, numunenin konsolidasyon ve kesme sırasında drenajını sağlayacak, ancak zemin danelerini geçirmeyecek, iki adet, kesme kutusu ebadında (örneğin 60 mm x 60 mm),

Delikli ara plâkaları, üzerindeki gözenekli disklerden gelen suyun rahatça hareket etmesini sağlayan, gerektiğinde numuneyi yükseltmede kullanılacak, iri delikli kesme kutusu ebadında (örneğin 60 mm x 60 mm), çelik veya pirinç,

Çelik numune alıcılar, zemin numunelerin blok veya tüpten kesme kutusu boyutunda kesilip alınması için keskin uçlu, çelikten yapılmış halka (örneğin 60 mm x 60 mm x 20 mm veya 25 mm),

Numune itici, numunenin, numune alıcıdan itilerek kutuya aktarılmasını sağlamada kullanılacak (örneğin 60 mm x 60 mm ebadında) kaygan yüzeyli ahşap veya çelik blok,

Yükleme başlığı, numuneye düşey yükün üniform uygulanmasını sağlayacak, üst yüz merkezinde bir çelik bilye bulunan rijit blok (Şekil 13),

Düşey hareket ölçer, numunenin konsolidasyon ve kesme aşamasında kabarma/çökmesini 0,002 mm doğrulukla ölçebilen mekanik komparatör saati veya elektronik transduser,

Yatay hareket ölçer, kesme aşamasında kesme kutusunun iki yarısı arasındaki hareketi 0,01 mm doğrulukla ölçebilen ve hareket kapasitesi 10 mm'den az olmayan mekanik komparatör saati ve/veya elektronik transduser ve okuyucusu,

Derinlik ölçücü, kesme kutusuna çelik numune alıcı kullanılmadan, sıkıştırılarak doğrudan yerleştirilen numunelerin boyunu ölçmede kullanılan ayaklı kumpas, 0,1 mm doğrulukta ölçüm yapabilen,

Kuvvet ölçme aleti, çelik kuvvet halkası ve/veya kuvvet ölçer transduser ve okuyucusu, kapasitesi denenecek numunenin direncine uygun,

Terazi, 0,01g doğrulukla tartma yapabilen,

Kronometre, kesme hızını ölçmede kullanılır,

Silikon gresi, numune alıcıyı yağlamada kullanılır,

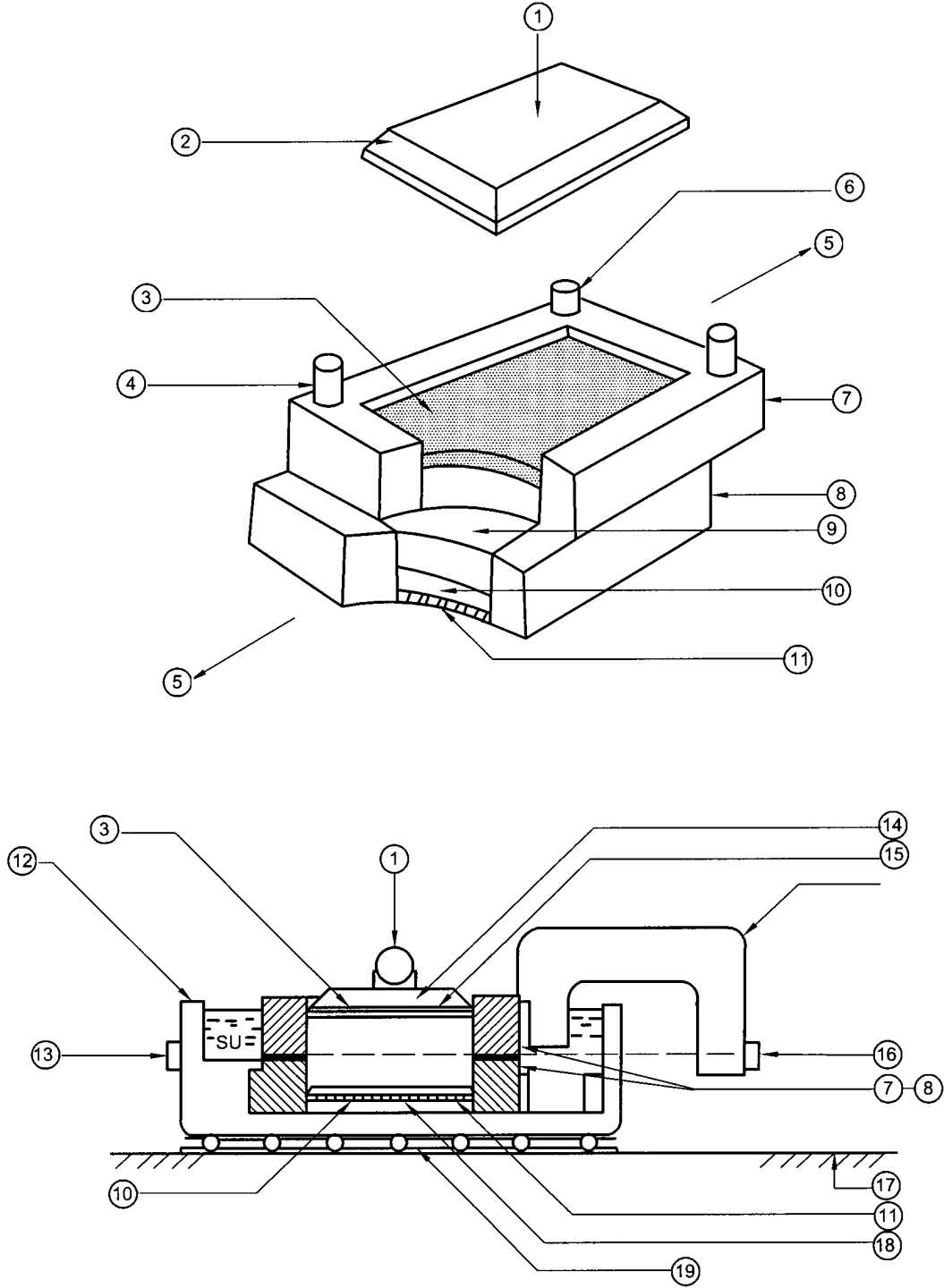
Minyatür vibratör, iri ve ince daneli zemin numunelerini kesme kutusuna sıkıştırmada kullanılabilir.

Ayrıca, su muhtevasının ölçümü için TS 1900-1 Deney 1'de belirtilen cihazlar.

5.6.3 Deney koşulları

Bir zemin numunesi üzerinde yapılacak deneyler öncesi aşağıdaki özellikler belirlenecektir:

- Numune boyutları,
- Numunelerin örselenmemiş veya sıkıştırılmış olduğu,
- Örselenmemiş numunelerde numune yönünün kayma düzlemine göre konumu,
- Hazırlanmış numunelerde su muhtevası, hedeflenmiş kuru birim hacim ağırlık veya uygulanacak sıkıştırma enerjisi,
- Seri içinde denenecek numune sayısı ve bunlara uygulanacak normal gerilmeler,
- Sonuçta kalıntı parametrelerin istenip istenmediği, isteniyorsa seçilen ileri - geri hareket yöntemi.

**Açıklamalar**

- | | | | |
|----|----------------------------|----|---|
| 1 | Normal yük | 11 | Çıkarılabilir oluklu taban plâkası |
| 2 | Düşey yükleme başlığı | 12 | Su havuzu |
| 3 | Üste konan gözenekli plâka | 13 | Yükleme sistemi (sabit hız) |
| 4 | Ayar vidası | 14 | Yükleme başlığı |
| 5 | Kesme kuvveti | 15 | Delikli ara plâka |
| 6 | Kilitleme vidası | 16 | Kuvvet halkası reaksiyon plâkası |
| 7 | Üst kutu | 17 | Makine yatağı |
| 8 | Alt kutu | 18 | Taban plâkası |
| 9 | Zemin numunesi | 19 | Doğrusal düşük sürtünmeli hareket mekanizması |
| 10 | Alta konan gözenekli plâka | | |

Şekil 13 - Kesme kutusu deneyi

5.6.4 Çevre koşulları

Deneyin gerçekleştiği süre boyunca ortamın en yüksek ve en düşük sıcaklıkları kaydedilmelidir. Deney ortamına mümkün olduğu kadar doğrudan güneş ışığına maruz kalmamalıdır.

Bu deneyde iri veya ince daneli numuneler denenebilir. Ancak numunenin içerdiği en büyük dane çapı, yüksekliğinin dörtte birinden büyük olamaz. Aynı zemin numunesi üzerinde üçten az sayıda deney yapılamaz. Deneylerde kesilen malzemenin bir başka deneyde kullanılmasından kaçınmak gereklidir.

5.6.5 Numune hazırlama

5.6.5.1 Örselenmemiş kohezyonlu numunenin deneye hazırlanması

Yüksekliği bilinen çelik numune alıcı 0,01g doğrulukla tartılır.

Numune alıcı, tercihen tüp veya sıkıştırma kalıbındaki numune içine itilerek zemine saplanır, sonra numune tüpten dışarı itilerek ve çelik numune alıcı altından kesilerek kurtarılır.

Numune alıcının üst ve altı tıraşlanıp perdahlanır, çevresi temizlendikten sonra numune ilk kütlesi M_0 tartılarak bulunur.

Numune alıcı kalın tarafı alta gelmek üzere ağzı açık, tabanına delikli plâka ve gözenekli disk yerleştirilmiş kesme kutusunun üzerine ayarlanarak oturtulur.

Numune itici kullanılarak numune çelik numune alıcıdan kesme kutusunun içine indirilir ve alt gözenekli disk üzerine oturtulur. Bu sırada fazla kuvvet uygulayarak numunenin kontrolsüz konsolide edilmemesine dikkat edilmelidir.

Numunenin üzerine ikinci gözenekli disk ve gerekiyorsa diğer delikli plâka yerleştirilir.

5.6.5.2 Sıkıştırılmış numunenin deneye hazırlanması

Deney numunesi Madde 1.2'ye göre hazırlanır.

5.6.5.3 Kuru kum numunesinin deneye hazırlanması

Gereğinden bir miktar fazla numune alınır, karıştırılır ve içinde bulunduğu pota ile tartılır (M_0). Bu sırada içerdiği incelerin önemli oranda olmadığı kontrol edilir.

Numune alt delikli plâka ve gözenekli disk yerleştirilmiş kesme kutusunun içine kaşıkla doldurulur, etrafa saçılmasına izin verilmez.

5.6.5.3.1 Numune gevşek olarak hazırlanmak isteniyorsa

Kesme kutusunun derinliği kumpasla ölçülür (H_1). Numune, bir kaşık yardımıyla kesme kutusunun içine yavaşça ve kaşık yüzeye olabildiğince yavaşça doldurulur. Doldurma işlemi tamamlanınca kumun yüzeyi numune itici ile düzlenir. Numune çok gevşek durumda hazırlanmak isteniyorsa yüzeyi düzleme sırasında göçmeyi önlemek için bu işlem kumun vakum şişesine alınması yoluyla yapılır. Numune yüksekliğini bulmak için kumpası kullanılarak, kutunun kenarından kumun yüzeyine kadar derinlik ölçülür (H_2).

Numune yüksekliği aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$H_0 = H_1 - H_2$$

Üst parçalar sistemde titreşim ve şok yaratmadan yerine oturtulur.

Hazırlama bittikten sonra kutuya giren kumun kütlesi artan kumların kaba toplanarak darasının alınması ile bulunur (M_1). Buradan, numunenin birim hacim ağırlığı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$\rho = \frac{M_0 - M_1}{AH_0}$$

Burada;

A Kesit alanı,
dır.

5.6.5.3.2 Numune sıkı olarak hazırlanmak isteniyorsa

Kesme kutusunun derinliği kumpasla alınır (H_1). Kütlesi bilinen kum dolu kaptan alınan bir miktar kum kutunun içine kaşıkla koyulur ve numune itici veya daha küçük bir tokmakla tokmaklanır. Sonra tokmak kumun üzerinde dururken bunun üzerine vibratör uygulanarak numunenin istenen düzeye sıkışması sağlanır. Son yükseklik H_2 ölçüldükten sonra numune yüksekliği bulunur.

Hazırlama bittikten sonra kutuya giren kumun kütlesi artan kumların kaba toplanarak darasının alınması ile bulunur (M_1) ve birim hacim ağırlık Madde 5.6.5.3.1'deki gibi hesaplanır.

5.6.5.4 Doygun kum numunesi hazırlanması

Kesme kutusuna sığacak miktardan biraz daha fazla kum numunesi porselen pota içinde hazırlanır ve kütlesi 0,1 g doğrulukla tartılır (M_0).

Boş kesme kutusu dibine delikli plâkası ve gözenekli diski yerleştirilerek hazırlanır.

Kum, havasını almak amacıyla su dolu bir kap içinde 10 dakika kaynatılır veya kap vakum desikatörü içine konarak havası alınır.

Havası alınmış kum kesme kutusu içine akıtılır ve titreşimle istenen birim hacim ağırlığa sıkıştırılır. Bu işlem gevşek kum numuneleri için uygun değildir.

Artan kum ve kap tartılarak (M_1), kesme kutusuna giren kum kütlesi bulunur:

$$M = M_0 - M_1$$

Numunenin tepesi Madde 5.6.5.3.1'de anlatıldığı biçimde düzeltilir ve gözenekli disk, üzerine de delikli plâka sıkıca yerleştirilir.

5.6.6 Deneyin yapılışı

5.6.6.1 Deney sisteminin hazırlanması

5.6.6.1.1 Havuz deney başlangıç durumuna getirilir ve yatay hareket ölçer sıfırlanarak yerine konur.

5.6.6.1.2 Çelik başlığın kesme kutusu kenarından yüksekliği 0,1 mm doğrulukla ölçülür (H_3).

5.6.6.1.3 Düşey kuvvet özengisi çelik başlığın üzerindeki çelik bilyenin üzerine oturtulur.

5.6.6.1.4 Çelik yükleme başlığının kesme kutusu kenarından yüksekliği tekrar ölçülür (H_4). Aradaki fark (H_3-H_4) numunenin yükleme özengisi etkisi altında sıkışma miktarını gösterir.

5.6.6.1.5 Eksenel şekil değiştirmesi ölçer saat yerine takılıp yapılacak deney için aşağı ve yukarı yeterli hareket mesafesi sağlanarak sıfırlanır.

5.6.6.2 Konsolidasyon

5.6.6.2.1 Numuneye istenen normal gerilmeyi (σ_n) sağlayacak yük düşey yükleme plâtfomuna yavaşca koyulur. Konsolidasyon okumaları için kronometre bu anda çalıştırılır.

5.6.6.2.2 Kuru durumda denenecek numuneler dışındakiler için normal yüklemenin hemen ardından havuz kesme kutusunun düzeyine kadar su ile doldurulur ve bu düzey deney sonuna kadar değiştirilmez.

5.6.6.2.3 Numunenin düşey sıkışmaları uygun zaman aralıklarında ölçülerek, yatay ekseninde zamanın karekökü veya zamanın logaritması, düşey ekseninde ise numunenin düşey sıkışmasını gösteren grafik çizilir. Okumalar, birincil konsolidasyonun tamamlandığı zamana kadar sürdürülür.

5.6.6.2.4 t_{90} veya t_{50} yöntemi kullanılarak % 100 konsolidasyonun tamamlandığı t_{90} veya t_{100} dakika olarak bulunur. Buradan numunenin en büyük kayma direncine ulaşacağı zaman aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$t_f = 12,7t_{100}$$

5.6.6.2.5 Numunenin tam kesilmesi için gerekli hareket miktarını tahmin edip (mm) bunu t_f ye bölerek kesme aşamasında uygulanması gereken kesme hızı tayin edilir (mm/dakika).

5.6.6.3 Son ayarlamalar

5.6.6.3.1 Konsolidasyonun hızlı tamamlandığı zeminlerde kesme hızı deneyin 5 - 10 dakikada tamamlanacağı gibi uygulanır.

5.6.6.3.2 Yavaş deneylerde ise kesme hızı Madde 5.6.6.2.4'te hesaplanandan daha büyük olmamak üzere, uygulanır.

5.6.6.3.3 Deneye başlamak için yatay yükleme parçasının kutuya değen ancak yük uygulamayan konumda olduğundan emin olunmalıdır.

5.6.6.3.4 Deney ileri-geri yükleme biçiminde yapılacaksa bunu sağlayacak bağlantılar yapılmış olmalıdır.

5.6.6.3.5 Kesme kutusunun iki yarısını bağlayan vidalar gevşetilerek alınır.

5.6.6.3.6 Deney sırasında sürtünmemeleri için kesme kutusunun iki yarısı üzerindeki ayar vidaları kullanılarak parçaların birbirinden 1 mm yi geçmeyecek kadar ayrılması sağlanır.

5.6.6.3.7 Deneye başlamadan yatay hareket, düşey hareket ve kesme kuvveti sıfır okumaları kaydedilir.

5.6.6.4 Kesme aşaması (tek kademeli deneyler)

5.6.6.4.1 Numunenin Madde 5.6.6.4.2'de belirlenen hızda kesilmesine başlanır. Deney sırasında en büyük noktaya kadar 20'den az olmamak üzere kuvvet ölçme aleti, yatay hareket ve düşey hareket okumaları belirli zaman aralıklarında alınır. En büyük noktaya yaklaşıldığında bu bölgenin daha iyi görülebilmesi için okuma aralıkları sıklaştırılabilir.

5.6.6.4.2 Deney sırasında kesme kutusunun iki parçasının ötelenmeleri gözlemlenir. Bağıl hareketin beklenenden fazla olduğu tespit edilirse kesme hızı azaltılır.

5.6.6.4.3 En büyük yatay kuvvete erişildikten sonra da okumalara bir süre devam edilir. En büyükten düşme olmazsa kutunun en büyük hareketine erişildiğinde deney durdurulur.

5.6.6.4.4 Hareket yönü geriye çevrilerek kutunun iki yarısı çakışana kadar beklenir. Deney sırasında havuzda su varsa bu su sifonlanarak alınır. Fazla suyun numuneden süzülmesi için 10 dakika beklenir. Düşey yük numunenin üzerinden kaldırılır.

5.6.6.4.5 Kesme kutusu havuzdan alındıktan sonra numune çıkartılır ve kütlesi en yakın 0,01 g doğrulukla tartılır (M_0).

5.6.6.4.6 Numune değişmez kütleye kurutulur (M_s) ve deney sonu su muhtevası hesaplanır.

5.6.6.4.7 Kesme kutusu deneyinde Çizelge 7'de verilen form kullanılabilir.

5.6.6.5 Kesme aşaması (kalıntı direncinin ölçüldüğü deneyler)

5.6.6.5.1 Kutunun ileri - geri hareketini sağlayacak bağlantılar yapılır.

5.6.6.5.2 İleri kesme Madde 5.6.6.3.1'de belirtilen biçimde yapılır ve okumalar belirtilen aralıklarla alınır. Okumalar kutunun hareketinin son limitine kadar sürdürülür.

Çizelge 7 - Kesme kutusu deneyi formu

| | | | |
|-------------------|--|-------------------------|--|
| Lâboratuvar no | | Örselenmiş ise, elek no | |
| Numuneyi gönderen | | Numune kabul tarihi | |
| Ait olduğu proje | | Deney başlangıç tarihi | |
| Kuyu / sondaj no | | Deney bitiş tarihi | |
| Numune no | | Deneyi yapan | |
| Numune tipi | | Kontrol eden | |

| | | | |
|----------------------------------|--|---|--|
| Numune boyu, cm | | Kesme hızı, mm/dakika | |
| Numune yüksekliği, cm | | Numunenin başlangıç kütlesi, g | |
| Kesit alanı, cm ² | | Yaş birim hacim ağırlığı, kN/m ³ | |
| Numune hacmi, cm ³ | | | |
| Kuvvet halkası no | | | |
| Kuvvet halkası katsayısı (kN/mm) | | | |

| ΔL mm | σ _n = | | | σ _n = | | | σ _n = | | |
|----------|------------------------|------|-----------|------------------------|------|-----------|------------------------|------|-----------|
| | Kuvvet halkası okuması | S kN | τ=S/A kPa | Kuvvet halkası okuması | S kN | τ=S/A kPa | Kuvvet halkası okuması | S kN | τ=S/A kPa |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

| Su muhtevası | Deney öncesi | Deney sonrası | Düşünceler |
|--------------------|--------------|---------------|------------|
| Kap No | | | |
| Yaş numune+kap, g | | | |
| Kuru numune+kap, g | | | |
| Su miktarı, g | | | |
| Kap, g | | | |
| Kuru numune, g | | | |
| Su muhtevası, (%) | | | |

5.6.6.5.3 İleri kesme işlemi tamamlandıktan sonra kutu ilk konumuna aşağıdaki yollardan biri ile getirilir:

- İleri hareketin tamamlanmasını izleyerek kutu ilk konumuna motorla hareket hızı ileri hareket hızından fazla olmayan bir hızla geri çekilir. Bu sırada okuma alınmaz,
- İleri hareketin tamamlanmasını izleyerek kutu ilk konumuna birkaç dakikalık bir süre içinde kol elle çevrilerek getirilir. Kesme düzleminde boşluk suyu basıncının dengelenmesi için 12 saat beklenir,
- Oluşmuş veya tam gelişmemiş kayma düzleminin kesin oluşmasını sağlamak için kutuya birkaç dakika içinde 5 ileri ve 5 geri hareket yaptırılır. Kutunun iki parçası tekrar çakıştırıldıktan sonra kesme düzleminde boşluk suyu basıncının dengelenmesi için 12 saat beklenir.

5.6.6.5.4 Numuneyi yeniden kesmeden yeni sıfır ayarı yapılarak yatay ve düşey hareket saatleri ile kuvvet ölçme aleti sıfır okumaları alınır.

5.6.6.5.5 Numune, Madde 5.6.6.5.2'de belirtilen geriye kesme hızının kullanımı ile yeniden kesilir.

5.6.6.5.6 Madde 5.6.6.5.2 ilâ Madde 5.6.6.5.4 adımları uyarınca deney gereğince sayıda tekrarlanarak kalıntı kayma direncinin değişmez düzeyine inilir.

5.6.6.5.7 Deneyin kesme aşaması tamamlandıktan sonra havuzdaki su boşaltılır, numune çevresindeki suyun süzülmesi için 10 dakika beklenir ve numunenin üzerindeki yük kaldırılarak kesme kutusu dışarıya alınır.

5.6.6.5.8 Kutunun iki parçası son kesme yönünde itilerek birbirinden ayrılır ve yüzeylerin durumu gözlemlendikten sonra çizilip, açıklanır.

5.6.6.5.9 Numune kesme kutusu parçalarından alınarak tümü su muhtevasının ölçümü için tartılır (M_0).

5.6.6.5.10 Numune etüvde değişmez kütleye kurutulur (M_k) ve su muhtevası bulunur.

5.6.7 Hesaplamalar

5.6.7.1 Numune özellikleri

5.6.7.1.1 Numunenin doğal su muhtevası w_n aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$w_n = \frac{M_0 - M_k}{M_k} \times 100$$

Burada;

M_0 Numunenin ilk kütlesi (g),
 M_k Kuru numunenin kütlesi (g)
dir.

5.6.7.1.2 Numunenin kuru birim hacim ağırlığı ρ_k aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunur:

$$\rho_k = \frac{M_k}{AH_0}$$

Burada;

A Numunenin kesit alanı,
 H_0 Numunenin ilk yüksekliği
dir.

5.6.7.1.3 Numunenin doğal birim hacim ağırlığı ρ_n aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunur:

$$\rho_n = \frac{M}{AH_0}$$

5.6.7.1.4 Numunenin doğal boşluk oranı e_0 aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunur:

$$e_0 = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1$$

Burada;

ρ_s Zemin danelerinin birim hacim ağırlığı (ölçümle bulunabilir veya kabul edilir),

ρ_d Zeminin doymun birim hacim ağırlığı
dır.

5.6.7.1.5 Gerekliyse numunenin doğal durumda doymunluk derecesi S_0 aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunur:

$$S_0 = \frac{w_0 \rho_s}{e_0}$$

5.6.7.1.6 Deney sonundaki boşluk oranı e aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunur:

$$e = e_0 - \frac{\Delta H}{H_0} (1 + e_0)$$

Burada;

ΔH Deney başlangıcındaki okuma esas alınarak kesme sonundaki toplam sıkışma (mm)
dır.

5.6.7.2 Gerilme ve ötelenmeler

5.6.7.2.1 Kesme sırasında alınmış kuvvet ölçme okumalarından numuneye uygulanmış kesme kuvvetleri F hesaplanır.

5.6.7.2.2 Bulunan S kuvvetleri ile kesme gerilmesi hesaplanır:

$$\tau = \frac{S}{A}$$

Burada;

A Numune başlangıçtaki kesit alanı,
dır.

5.6.7.2.3 Numunenin deney boyunca aldığı normal gerilme aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunur:

$$\sigma_n = \frac{P}{A}$$

Burada;

P Özenginin kütlesi ile buraya konulmuş yük ve kaldıraçtan aktarılan kütlelerin toplamı (kg)
dır.

5.6.7.2.4 Her ileri - geri hareket sonunda yapılmış olan ileri ötelenmelerin yığılımlı toplamı bulunur.

5.6.7.2.5 İlk numune yüksekliği esas alınarak tüm kesme aşamaları sonucu belirmiş toplam boy değişimi hesaplanır.

5.6.7.3 Yapılacak çizimler

5.6.7.3.1 Tek aşamalı deneyler

5.6.7.3.1.1 Yatayda kesme hareketi (ΔH) yatay eksen değeri, düşeyde ölçülen kayma gerilmesi (τ).

5.6.7.3.1.2 Yatay ekseninde kesme hareketi (ΔH), düşey ekseninde şekil değiştirme (ΔV).

5.6.7.3.1.3 Her (ΔH - τ) diyagramından en büyük değeri okunur.

5.6.7.3.1.4 Deneylerden gelen doruk τ_{En} büyük değerini düşey eksen, bu değer ölçüldüğü deneyin normal gerilmesi σ_n 'ye karşı (yatay eksen) aynı ölçekle noktalanır.

5.6.7.3.1.5 Çıkan sonuç, doğrusal bir bağıntı kabul edilerek, bu noktalardan göçme doğrusu geçirilir ve eğimi bu zeminin kayma direnci açısı ϕ' , düşey eksenini kestiği değeri ise görünür kohezyon c' olarak efektif gerilme cinsinden ifade edilir.

5.6.7.3.2 Çok kademeli deneyler

5.6.7.3.2.1 Yatayda kesme hareketi (ΔH) yatay eksen değeri, düşeyde (düşey eksen) ölçülen kayma gerilmesi eğrileri çizilir.

5.6.7.3.2.2 Yatay ekseninde kesme hareketi (ΔH), düşey ekseninde boy değiştirme eğrisi çizilir.

5.6.7.3.2.3 Her (ΔH)-(τ) diyagramından τ 'nin en büyük değeri okunur.

5.6.7.3.2.4 Deneyin birinci aşamasından gelen doruk τ_{En} büyük değerini düşey eksen, bu değer ölçüldüğü deneyin normal gerilmesi σ_n ye karşı (yatay eksen) aynı ölçekle noktalanır ve Madde 5.6.7.3.1'de gösterilen biçimde c' ve ϕ' bulunur.

5.6.7.3.2.5 Deneyin ikinci ve daha sonraki kademelerinde ölçülen τ_r değerleri saptanır.

5.6.7.3.2.6 Bulunan τ_r değerleri düşey eksen, bu değerlerin bulunduğu deneylerin σ_n değerleri de Madde 5.6.7.3.2.4'te hazırlanmış grafiğin yatay eksenlerine aynı ölçekle işaretlenir. Bu noktalardan geçirilen doğru zeminin kalıntı kayma direnci açısı ϕ_r ve varsa, kalıntı kohezyon c_r değerlerini verir.

5.6.8 Sonuçların gösterilmesi

Deney raporu, öncelikle bu ölçümün TS 1900-2 uyarınca yapıldığı belirtilerek aşağıdaki bilgileri içerecek şekilde düzenlenmelidir:

- 1) Kesme kutusu deneyinin hangi tipte yapıldığı,
- 2) Numunelerin ilk boyutları,
- 3) Numune bağıl yoğunluğu (ölçülmüş veya kabul edilmiş olduğu bildirilir),
- 4) İlk boşluk oranı ve doygunluk derecesi,
- 5) Her deneyde numuneye uygulanmış normal gerilme ve buna karşılık gelen en büyük kayma direnci τ_{En} büyük ve ölçülmüşse kalıntı direnç τ_r ,
- 6) Numune kesme hızları,
- 7) Çok kademeli deneyde ileri - geri yapmada kullanılan yöntem,
- 8) Her numune için kesme hareketine karşı en büyük kayma direnci grafiği,
- 9) Her numune için normal gerilmeye karşı en büyük ve varsa kalıntı kayma gerilmesi değerleri grafiği,
- 10) Kayma direnci açısı ϕ ve ϕ_r , en yakın 0,1 dereceye, kohezyon c ise en yakın 0,01 kPa yuvarlatılarak belirtilir.

Yararlanılan kaynaklar

- ASTM Vol. 04.08 Annual Book of American Society for Testing and Materials (ASTM) Standards. Section 4: Construction. Volume 04.08: Soil and Rock (I).
- BS 1377 British Standard Methods of test for “Soils for civil engineering purposes”.