

İSTİNAT YAPILARI

ve

İSTİNAT YAPILARININ SİSMİK TASARIMI

1. İSTİNAT YAPILARI

Eğimli arazilerde araziden yararlanmak üzere zemini tabi şev açısından daha dik açıyla tutmak; Kayma göçme ihtimali olan zeminlerin yıkılmasını engellemek, bir binanın bodrum duvarlarını oluşturmak, kıyıların erozyondan veya taşkınlardan korunmasının sağlamak, köprülerde kenar ayak görevi yapmak, derin çukurların yan duvarlarını tutmak gibi amaçlara hizmet vermek için inşa olunan düşey ya da düşeye yakın geçişi sağlayan yapılara “**istinat yapıları**” denilmektedir.

Bu yapıların bir çok türü vardır. Bunlar ağırlık tipi, yarı ağırlık tipi, konsol, eşikli konsol, payandalı, ters payandalı, kafes tipi ve sandık tipi istinat duvarlarıdır.

2. İSTİNAT DUVARLARINDA YENİLME TÜRLERİ

İstinat duvarlarının tasarımında yenilmeyi tanımlamak ve duvarların nasıl yenilebileceğini bilmek gerekir. Statik şartlar altında istinat duvarları üzerine etkiyen kuvvetler, duvarın kütlelerinden ileri gelen cisim kuvvetleri, zemin basınçları, ve kuşaklarla iletilen kuvvetlerde olduğu gibi dış kuvvetlerdir. Standartlara uygun şekilde tasarlanmış bir istinat duvarı, zeminin kayma dayanımına erişen kayma gerilmelerinin oluşmasına izin vermeden bu kuvvetlerin dengesini sağlar. Ancak bir deprem sırasındaki atalet kuvvetleri ve zemin dayanımındaki değişimler stabiliteyi etkileyebilir ve duvarda kalıcı deformasyonlara neden olabilir. Bu deformasyonlar aşırı boyutta olduğu zaman kayma, eğilme, bükülme veya başka bir şekilde yenilme gerçekleşir.

Ağırlık duvarları genellikle kayma, dönme veya toplam duyarsızlık gibi rijit gövde mekanizmalarıyla yenilmektedir. Konsol duvarlar, ağırlık duvarlarının maruz kaldığı yenilme mekanizmalarının aynısına ve ayrıca esnek yenilme mekanizmalarına maruz kalırlar. Kuşaklı duvarlar genellikle toplam duyarsızlık, yan yatma, eğilme yenilmesi ve kuşak elemanlarının

yenilmesiyle gçmektedir. Ankrajlı duvarlar, yenilme noktası muhtemelen farklı da olsa konsol duvarlarda olduğu gibi eğilme şeklinde yenilebilir.

3. İSTİNAT DUVARLARI ÜZERİNDEKİ STATİK BASINÇLAR

İstinat duvarlarının sismik davranışı, deprem sarsıntısı sırasında gelişen toplam yanal zemin basınçlarına bağlıdır. Bu toplam basınçlar, depremden önce mevcut olan statik yerçekimi basınçları ve depremin neden olduğu geçici dinamik basınçların her ikisini de kapsar.

İstinat duvarları üzerindeki statik zemin basınçları duvar ve zemin hareketleri tarafından çok fazla etkilenir. Aktif zemin basınçları duvarın kendi arkasındaki zeminden uzaklaşması sırasında gelişir ve zeminde uzama şeklinde yanal birim deformasyon oluşturur. Pasif zemin basınçları ise istinat duvarı zemine doğru hareket ederken gelişir ve zeminde sıkışma şeklinde yanal birim deformasyona neden olur.

İstinat duvarları üzerine etkileyen gerçek kuvvetler ve deformasyonlar, statik şartlar altında bile karmaşık zemin yapı etkileşimi problemi oluşturur. Deformasyonlar çok ender durumlarda tasarımda doğrudan göz önüne alınır. Bu konudaki tipik yaklaşım, bir duvar üzerine etkileyen kuvvetlerin hesaplanması ve daha sonra da kabul edilebilir düzeyde küçük deformasyonlar oluşacak şekilde yüksek emniyet katsayısında bu kuvvetlere karşı koyacak şekilde duvarın tasarlanmasıdır. İstinat duvarları üzerine etkileyen yükleri değerlendirme konusunda çok sayıda basitleştirilmiş yöntem bulunmaktadır. Bunlardan en çok kullanılanları; **Rankine Teorisi**, **Coulomb Teorisi**, **Logaritmik Spiral Yöntemi** ve **Gerilme Deformasyon Analizi**'dir.

4. İSTİNAT DUVARLARI ÜZERİNDEKİ SİSMİK BASINÇLAR

İstinat duvarlarının sismik tasarımında önce deprem sarsıntısıyla ortaya çıkan yükler hesaplanmakta ve sonra da duvarın bu yüklere karşı koyabilmesi güvence altına alınmaktadır. Depremler sırasında istinat duvarları üzerindeki gerçek yük son derece karmaşık olduğundan, istinat duvarları üzerindeki sismik basınçlar genellikle basitleştirilmiş yöntemler kullanılarak hesaplanmaktadır.

5. İSTİNAT YAPILARININ SİSMİK DAVRANIŞLARININ ANALİTİK YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

İstinat duvarlarının depreme göre analitik yöntemlerle hesabında genellikle duvar rijit olarak kabul edilmekte ve gerekli emniyet bu suretle sağlanmaya çalışılmaktadır.

Sismik şartlar için istinat duvarı tasarımı bir çok yönden statik şartlardaki tasarıma benzer. İki durumda da yenilmenin potansiyel sebepleri belirlenir ve duvarın tasarımı bunlara dikkat edilerek yapılır. İstinat duvarlarının sismik şartlardaki davranışı statik şartlardakinden çok daha karmaşık olsa da geleneksel tasarım yöntemleri problemi kolaylaştıran varsayımlar kullanılmaktadır. İstinat duvarlarında, sismik davranışların hesabı ve tasarımı farklılıklar gösterir. Aşağıda istinat duvarlarının değişik türleri için tasarım yöntemleri verilmiştir.

5.1. Esneyen Duvarlar

Minimum aktif ve maksimum pasif zemin basınçları geliştirecek kadar hareket edebilen istinat duvarlarına esneyen duvarlar denir. Esneyen duvarlar üzerine etkiyen aktif basınçlar **Mononobe-Okabe** ve **Steedman-Zeng** yöntemleri kullanılarak hesaplanır.

5.1.1 Mononobe-Okabe Yöntemi

Bu yöntem istinat yapıları üzerindeki sismik zemin basınçlarının psödo-statik analizini yapan yöntemin temelleri Okabe (1926) ile Mononobe ve Matsu (1929) tarafından atılmıştır. Bu yöntem Coulomb teorisinden yararlanılarak, kohezyonsuz kuru zeminler için geliştirilmiştir.

Duvar üzerine etkiyen toplam aktif yük (statik + sismik)

$$P_{AE} = \frac{1}{2} K_{AE} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot (1 - k_v)$$

bağıntısı kullanılarak hesaplanır.

H= Duvar yüksekliği

γ = Zemin birim hacim ağırlığı

k_v = Duvar arkası dolgusunda düşey ivme katsayısı

K_{AE} = Dinamik aktif basınç katsayısı olup aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanır.

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\varphi - \phi - \psi)}{\cos\psi \cdot \cos^2\phi \cdot \cos(\delta + \phi + \psi) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \cdot \sin(\varphi - \beta - \psi)}{\cos(\delta + \phi + \psi) \cdot \cos(\beta - \phi)}} \right]^2}$$

$$\psi = \tan^{-1} \left[\frac{k_h}{(1 - k_v)} \right]$$

Mononobe-Okabe'ye göre toplam yük, P_{AE} , duvar tabanından itibaren $0.33H$ yüksekliğinden etki etmektedir. Ancak Seed ve Whitman toplam yükün sismik bölümünün duvar tabanından itibaren yaklaşık olarak $0.6H$ 'dan etki ettiğini belirterek toplam yükün etki noktası için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

$$h = \frac{P_A \cdot \frac{H}{3} + \Delta P_{AE} \cdot (0.6H)}{P_{AE}}$$

Burada ΔP_{AE} toplam sismik itkinin dinamik bileşeni olup, toplam itki aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$P_{AE} = P_A + \Delta P_{AE}$$

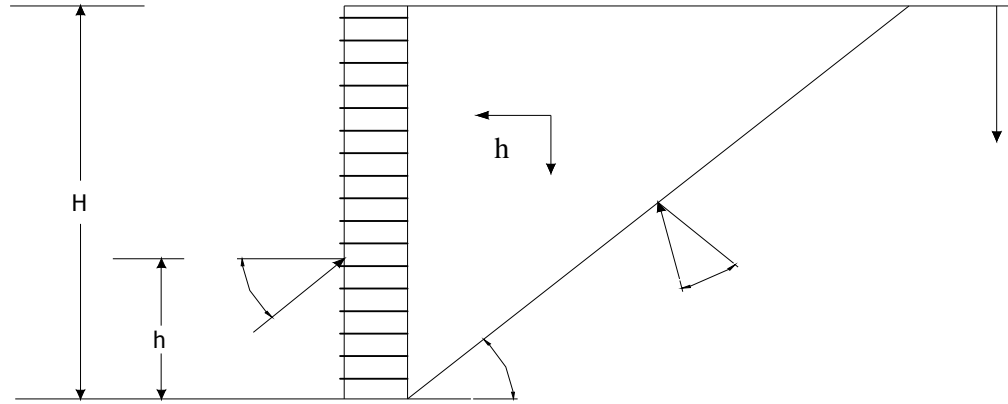
P_A toplam itkinin statik bileşenidir ve coulomb teorisinden aşağıdaki bağıntılar kullanılarak hesaplanır.

$$P_A = \frac{1}{2} K_A \cdot \gamma \cdot H^2$$

$$K_A = \frac{\cos^2(\varphi - \theta)}{\cos^2\theta \cdot \cos(\delta + \theta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \cdot \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\delta + \theta) \cdot \cos(\beta - \theta)}} \right]^2}$$

5.1.2 Steedman-Zeng Metodu

Steedman ve Zeng önerdikleri yöntemde sismik yüklerden dolayı duvar arkası dolgusunda meydana gelen ivme amplifikasyonları ve faz farklarını yaklaşık bir şekilde hesaba katmışlardır. Şekil 2 de gösterilen duvarın tabanda 1 nolu bağıntı ile ifade edilen bir harmonik harekete maruz kaldığı düşünülürse



Şekil 1 Steedman-Zeng Metodu İçin Duvar Geometrisi ve Tanımlamalar

$$a(z,t) = a_h \cdot \sin \left[w \left(t - \frac{H-z}{v_s} \right) \right]$$

ve sismik basınçların duvar arkası kayma kamasında oluşan kuvvetlerden oluştuğu varsayımından hareketle, kama içindeki 'z' derinliğindeki bir elemanın kütlesi, $m(z)$,

$$m(z) = \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{H-z}{\tan \alpha} d_z$$

olarak yazılabilir.

Duvara etkiyen toplam kuvvet ise;

$$Q_h(t) = \int_0^H m(z)a(z,t)dz = \frac{\lambda \gamma a_h}{4\pi^2 g \tan \alpha} [2\pi H \cos w\xi + \lambda(\sin w\xi - \sin wt)]$$

bağıntısı ile ifade edilir. Burada $\lambda = \frac{2\pi v_s}{w}$ düşey yönde hareket eden kayma dalgasının dalga

boyu ve $\xi = t - \frac{H}{v_s}$ olarak tanımlanır; v_s ise kayma dalgasının hızıdır. Dolgunun rijit olarak

hareket etmesi durumunda, Q_h

$$(Q_h)_{mac} = \frac{\gamma H^2 a_h}{2g \tan \alpha} = \frac{a_h}{g} W = k_h W$$

bağıntısından bulunur ve Mononobe-Okabe metodu ile verilen atalet kuvvetidir. Kama üzerinde etkiyen kuvvetlerin bileşenleri göz önüne alındığında duvar üzerine etki eden toplam yük, $P_{AE}(t)$ aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanabilir.

$$P_{AE}(t) = \frac{Q_h(t) \cdot \cos(\alpha - \varphi) + W \cdot \sin(\alpha - \varphi)}{\cos(\delta + \varphi - \alpha)}$$

Dinamik yükün etkime noktası için ise Steedman ve Zeng aşağıdaki bağıntıyı önermişlerdir.

$$h = H - \frac{2\pi^2 H^2 \cos w\xi + 2\pi\lambda H \sin w\xi - \lambda^2 (\cos w\xi - \cos wt)}{2\pi H \cos w\xi + \pi\lambda (\sin w\xi - \sin wt)}$$

5.2 Esnek Olmayan Duvarlar

Kaya zemin üzerine inşa edilmiş masif ağırlık duvarları veya tabanında ve tepesinde kuşaklanmış bodrum duvarları gibi bazı istinat yapıları, arka dolgunun kayma dayanımının

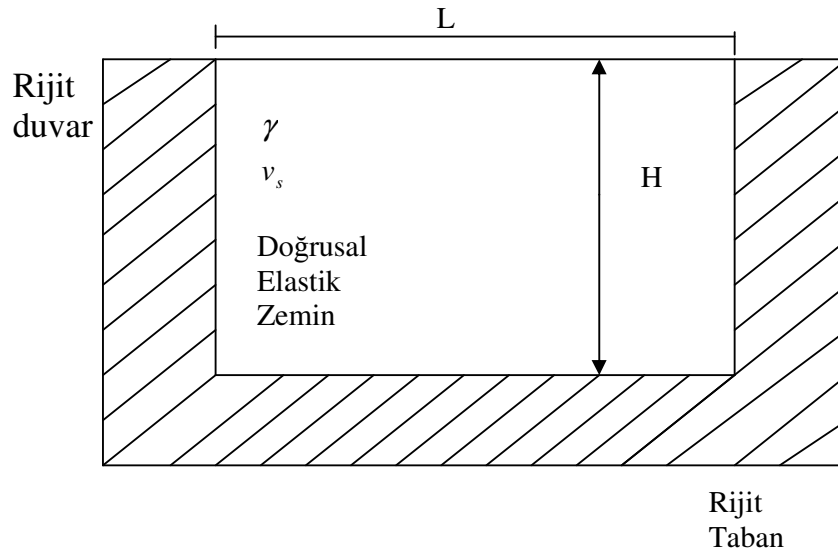
mobilize etmeye yetecek kadar hareket etmezler. Sonuçta, minimum aktif veya maksimum pasif zemin basınçlarının sınırlayıcı şartları geliştirilemez.

Wood (1973), rijit bir tabana tutturulmuş iki rijit duvar arasındaki homojen, doğrusal elastik zeminin tepkisi incelenmiştir. İki duvarın birbirinden uzak olduğu varsayıldığında, bir duvar üzerindeki basınçlar diğeri üzerindeki basınçtan çok fazla etkilenmeyecektir. Wood (1975), düşük frekanslı hareketlerde dinamik büyütmenin ihmal edilebilir olduğunu göstermiştir. Çoğu pratik problemlerin içinde yer aldığı bu frekanslar aralığında, duvar basınçları zeminin tümüne uygulanan üniform, sabit yatay ivme örneğindeki elastik çözümden elde edilir. Wood (1973), düz, rijit duvarlar için dinamik itkiyi ve dinamik dönme momentini aşağıdaki gibi ifade etmiştir.

$$\Delta P_{eq} = \gamma \cdot H^2 \frac{a_h}{g} F_p \quad \Delta M_{eq} = \gamma H^3 \frac{a_h}{g} F_m$$

Burada, a_h ; harmonik taban ivmesinin genliği ve F_p ile F_m de sırasıyla boyutsuz dinamik itki ve moment faktörleridir. Dinamik itkinin etki noktası duvarın tabanından, h_{eq} kadar yukarıda ve tipik olarak $h_{eq} \cong 0.63H$ 'dır.

$$h_{eq} = \frac{\Delta M_{eq}}{\Delta P_{eq}}$$



6. İSTİNAT DUVARLARININ SİSMİK YERDEĞİŞTİRMESİ

İstinat yapılarının sismik tasarımında depremden sonraki kullanımı ile depremler sırasında oluşan kalıcı deformasyonlar yakından ilişkilidir. Bazı duvarlar için büyük kalıcı deformasyonlara izin verilebilirken, diğerlerinin çok daha düşük deformasyonlarda yenilebileceği düşünülebilir. İstinat yapıların önceden belirlenen bir yerdeğiştirme miktarı için tasarımı ilk olarak Richards ve Elms (1979) tarafından önerilmiştir.

6.1 Richards- Elms Metodu

Tasarım metodu aşağıda verilmiştir:

1. Duvar için bir tasarım deplasmanı , d_{perm} seçilir.

$$2. \quad d_{perm} = 0.087 \frac{v_{max}^2 \cdot a^3}{a_y^4} \quad a_y \geq 0.3a_{max}$$

bağıntısı kullanılarak a_y değeri bulunur. Burada v_{max} maksimum taban hızı ve a_{max} ise maksimum taban ivmesidir.

2. Yukarıda bulunan a_y ve aşağıda verilen bağıntı kullanılarak gerekli duvar ağırlığı W hesaplanır. Aşağıdaki formülde bulunan P_{AE}, a_y değeri kullanılarak Mononobe-Okabe metoduna göre hesaplanır. P_{AE} nin hesaplanması için a_y kullanılacağından aşağıdaki ifade iterasyon yapılarak çözümlenip gerekli duvar ağırlığı W hesaplanacaktır.

$$a_y = \left[\tan \phi_b - \frac{P_{AE} \cdot \cos(\delta + \theta) - P_{AE} \sin(\delta + \phi)}{W} \right] \cdot g$$

6.2 Whitman- Liao Metodu

Whitman ve Liao (1985) Richards-Elms modelinin duvar arkasındaki ivme amplifikasyonu, düşey ivme ve dönme hareketini göz önüne alamadığını belirtmişler ve 14 adet deprem hareketini değerlendirerek ortalama kalıcı deplasman , d_{perm} , için aşağıda verilen bağıntıyı önermişlerdir.

$$d_{perm} = \frac{37v_{max}^2}{a_{max}} \exp\left(\frac{-9.4a_y}{a_{max}}\right)$$

$$M_0 = P_{AE} / h^H = 72.3 / \cos(17) \cdot (1.98) = 137 kN / m$$

KAYNAKLAR

- **Steven L. KRAMER**, Geoteknik Deprem Mühendisliği . çeviren **Doç. Dr. K. KAYABALI** sayfa 507-512 Temmuz 2003
- Ağırılık Tipi İstinat duvarlarının sismik tasarımı **Oğuz ÇALIŞKAN, M. Yener ÖZKAN DOĞANGÜN**, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Yedinci Ulusal Kongresi 22-23 Ekim 1998
- İstinat Duvarlarının Deprem Etkisi altında Davranışlarının İncelenmesi **A. DURMUŞ, Ş. GÜRSOY, Z. ANGIN, A. DOĞANGÜN**, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi 26-27 Ekim 2000