

ORTA AÇIKLIKLI KÖPRÜLERİN DEPREME KARŞI GÜÇLENDİRİLMELERİ İÇİN STRATEJİLER

Ayaz H. Malik, P.E.
Proje Müh. (Emekli)
New York Bölgesi Trafik Departmanı

ÖZ

Son 20 senede, köprülerin ciddi şekilde ve beklenmeyen biçimde göçmeleri sonucu önemli can kayıpları ve maddi külfet meydana gelmiştir. Yapıların önemli bir bölümü deprem yükleri dikkate alınmadan tasarlanmıştır.

Bu makale, yapının deprem dayanımını arttırmak ve genel performansını geliştirmek amacı ile, yapısal elemanların depreme karşı zedelenebilirliğini ölçmek ve güçlendirmek için stratejiler sunmaktadır.

GİRİŞ

Son 20 sene içerisinde, önemli sayıda köprü büyük deprem hareketlerinden doğan aşırı hasara maruz kalmıştır. Aynı süre içerisinde, depremin etkilerini asgari düzeye indirmek için yenilikçi ve gelişmiş deprem aygıtları üretilmiştir. Sismik tehlike düzeyine bağlı performans bazlı yaklaşımlar kullanılarak, maliyetli deprem güçlendirmelerinin etkinliği değerlendirilebilmektedir. (4).

Yapıların önemli bir bölümü, bu deprem etkileri ve buna bağlı zemin göçmeleri dikkate alınmadan tasarlanmıştır. Bu yapıların depreme karşı iyileştirilmeleri, deprem etkilerini kayda değer bir miktarda azaltmakla beraber, olası can ve ekonomik kayıpları da en aza indirmektedir.

DEPREME KARŞI İYİLEŞTİRME

Yapının daha tasarım aşamasında, gerekli standartları karşılamaktan da öte, dikkate alınmasında büyük fayda olan çeşitli sistem konfigürasyonları ve bileşenler mevcuttur.

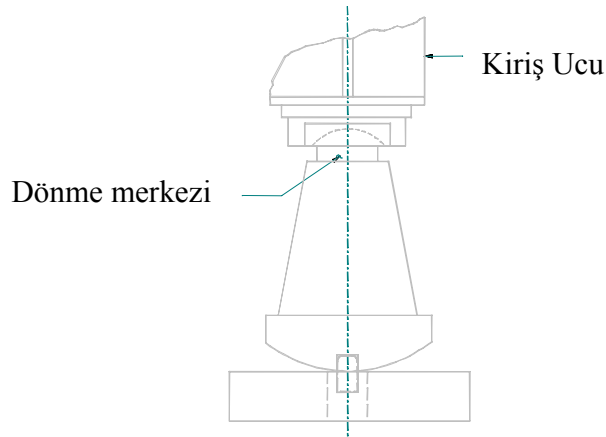
- Ek yük aktarım mekanizmalarının sağlanması
- Çok eksenli rotasyon yapabilen mesnetler
- Mütemadi üstyapı konfigürasyonu
- Verev mesnet yerleşiminin önlenmesi
- Homojen kütle dağılımı
- Kritik yapı elemanlarının sünekliğinin sağlanması

Köprülerde geçmiş depremlerden dolayı meydana gelen göçmeler incelenerek, bu göçmelere sebep olan çeşitli yapısal elemanların depreme karşı zedelenebilirliği öğrenilmiştir. Dolayısıyla, mevcut köprülerin depreme karşı zedelenebilirliği, beklenen tehlikenin büyüklüğü de dikkate alınarak ölçülebilir. Bu amaçla, “Seismic Retrofitting Manual for Highway Structures” Ocak 2006, (FHWA-HRT-06-032) isimli yayında belirtildiği gibi, bu önlemlerin mevcut köprülere uygulanmasına ilişkin bir iyileştirme programı hazırlanmalıdır. New York gibi önemli şehirlerde, can kayıplarını, trafik sıkışıklığını ve dolayısıyla meydana gelecek maddi kayıpları önlemek amacı ile çok aşamalı bir yaklaşımı gündeme almak mantıklı olacaktır.

Bu çalışmanın amacı, mevcut köprülerin orta büyüklükte olan, yani ‘taban seviyesindeki’ (aynı zamanda ‘functional evaluation earthquake (FEE)’ olarak adlandırılan) deprem hareketini hasarsız atlattıklarını ve ciddi büyüklükte olan, yani “tavan seviyesindeki” (aynı zamanda ‘maximum considered earthquake (MCE)’ veya ‘safety evaluation earthquake (SEE)’ olarak adlandırılan) deprem hareketini ise limitli bir hasarla, göçme olmadan atlattıklarını sağlayacak iyileştirilmelerini sağlamaktır.

İyileştirme önlemlerinden başlıcaları aşağıda belirtilmiştir:

- Mesnet yenilemeleri / İzolasyon mesnetlerinin uygulanması
- Ayakların mantolanması
- Mesnet oturma payı genişletmeleri
- Sürekliliğin sağlanması
- Ek yük aktarım mekanizmalarının sağlanması
- Mesnet takozlarının yapılması
- Temel iyileştirmeleri



Şekil 1. Çelik Mafsal Mesnet

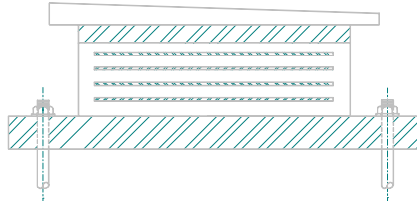
Mesnet İyileştirmeleri

Önceki depremlerde gözlemlendiği gibi (Kobe (Hanshin-Awaji, Japan) depremi), çelik mesnetlerin zayıf deprem performansı bir çok yapısal göçmenin ana nedeni olmuştur (2, 6). Deprem hareketi sırasında, mesnetler çeşitli yönlerde deplasmanlara, dönmelere ve yatay kuvvetlere maruz kalmaktadır ve bunlar tek eksenli çelik mesnetler ile ve kayıcı mesnetlerin gevrek kırılmalarına yol açmaktadır (Şekil 1 ve 2)..



Şekil 2. Kayıcı Çelik Mesnet

Bu mesnetleri, sünek olan, çok eksenli dönme ve çok yönlü hareket yapabilen mesnetler ile değiştirmek, üstyapıda oluşabilecek potansiyel kayma problemlerini engellemektedir (Şekil 3 ve 4).



Şekil 3. Çelik Takviyeli Elastomer Mesnet

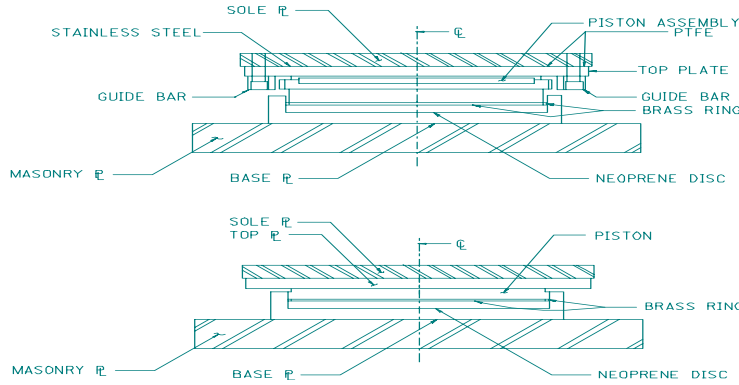


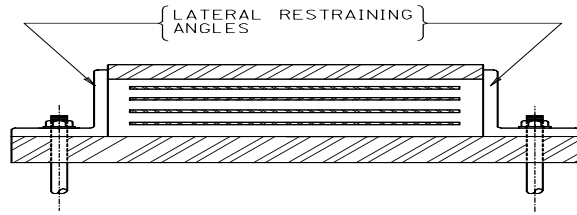
Figure 4. Kayıcı ve Sabit Çok Eksenli Dönme Yapabilen Mesnet

Mesnet Konfigürasyonlarının Etkin Biçimde Oluşturulması

Yapının mevcut kapasitesi gözönüne alınarak, depremde ortaya çıkan istemleri azaltabilecek çeşitli mesnet konfigürasyonları göz önüne alınarak değişik seçenekler araştırılmıştır:

- Bir kenar ayakta sabit mesnetler, orta ayaklar ile diğer kenar ayakta ise kayıcı mesnetler kullanılabilir. Bu, ayaklardaki deprem istemlerinin azalmasına yol açacaktır. (Şekil 6a)

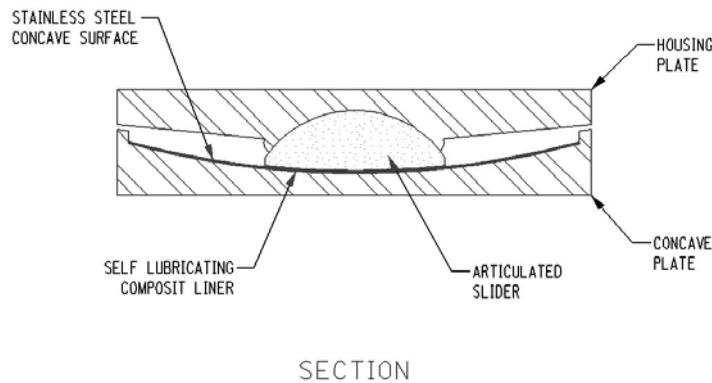
- Tüm kayıcı mesnetlerin enine yönde sabitlenmesi suretiyle, yük tüm mesnetlere dağıtılarak sabit mesnetlerdeki deprem istemleri azaltılabilir. (Şekil 6b). Ek olarak, boyuna yöndeki dayanımı arttırmak adına, bir kenar ayakta sabit mesnetler, diğerinde ise kayıcı mesnetler ile birlikte kilitleme aygıtları kullanılabilir. (Şekil 6b)
- Kayıcı mesnetler için geleneksel çelik takviyeli elastomerler kullanılırken, sabit mesnetler için ise kurşunlu izolasyon elemanları tercih edilebilir. Bu, sabit mesnetler de dahil olmak üzere, yapıdaki deprem istemlerini azaltacaktır (Şekil 6c). Isıl hareketler bu izolasyon elemanı sabit mesnet olarak davranacaktır.
- Kayıcı mesnetler için raylı pot mesnetler kullanılırken, sabit mesnetler için ise kurşunlu izolasyon elemanları kullanılabilir. Pot mesnetlerin sürtünme katsayısı elastomer mesnetlerden daha düşük olduğu için, bu durum boyuna yönde yapıdaki deprem istemlerini daha da azaltacaktır. (Şekil 6d)



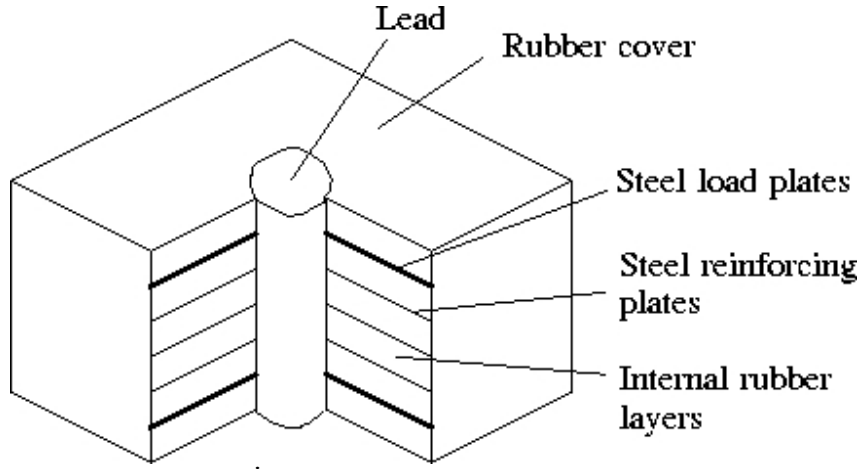
Şekil 5a. Yatay Yönde Kısıtlayıcı Korniyerler Teşkil Edilmiş Elastomer Mesnet



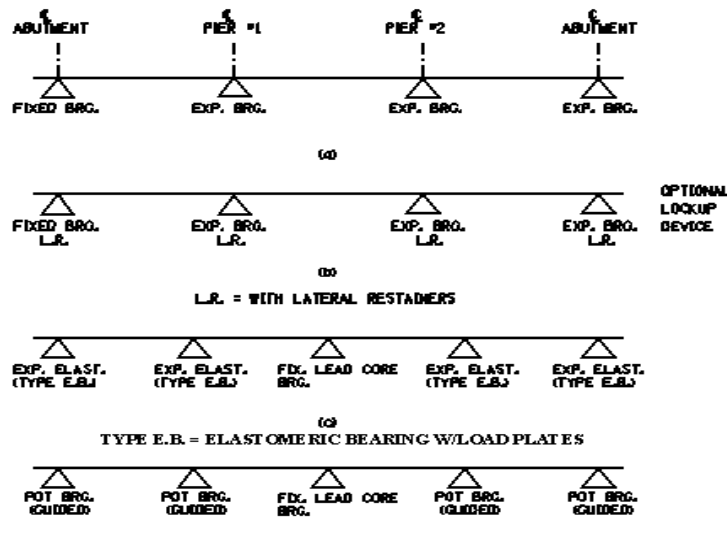
Şekil 5b. Yük Aktarıcı Aygıt



Şekil 5c. Sürtünmeli Sarkaç



Şekil 5d. Kurşunlu İzolasyon Mesneti

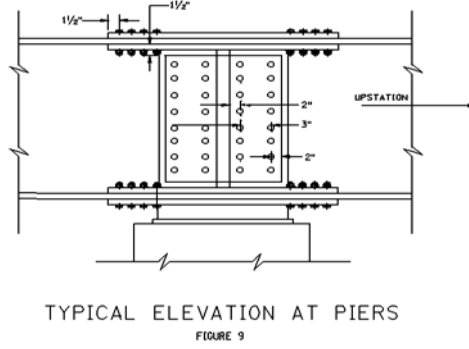


Şekil 6. Çeşitli Mesnet Konfigurasyonları

DEVAMLILIĞI SAĞLAMAK İÇİN İYİLEŞTİRME

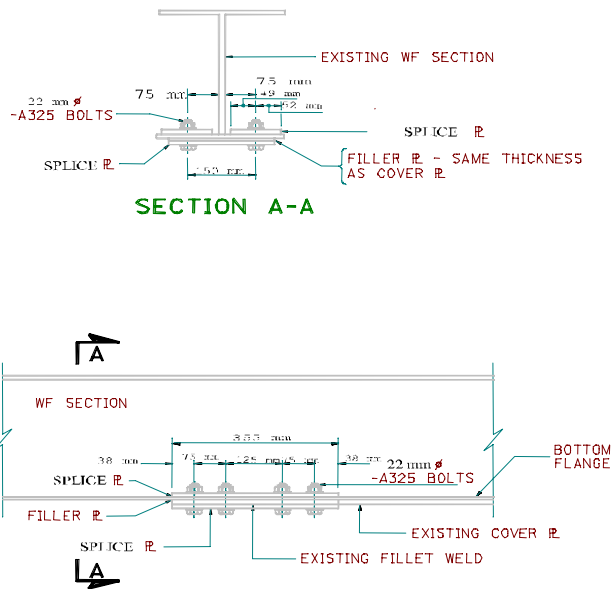
Basit mesneteli açıklıklar, yük aktarım mekanizmalarını arttırmak amacı ile, uygulanabilir

görüldüğü takdirde sürekli olarak teşkil edilirler (8). Bu devamlılık, düzlem içindeki kuvvetleri orta ve kenar ayaklara aktarırken, boyuna yöndeki hareketlerden dolayı uç mesnet şartının kaybolmasını engelleyerek yapının deprem performansını artırırlar. Açıklığın serbest iki uçunu birleştirirken, gövde ve flanşlar arasında tam bir bağlantı sağlamak önemlidir. Sünekliği sağlamak amacı ile bulonlu bağlantılar kullanılmaktadır. (Şekil 7)



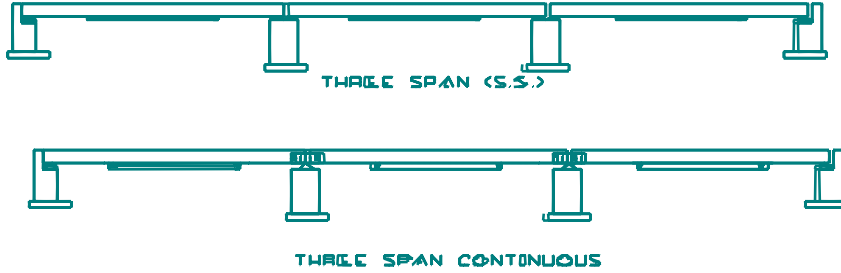
Şekil 7. Ayakların Üstündeki Süreklilik Bağlantısı

Harekete izin veren yivli deliklerin kullanılması bağlantıda gevrek kırılmanın oluşmasına yol açabilir. Sağlanan bu süreklilik, gerilmelerin ters yönlerde gelişmesine yol açacağından alt flanşdaki kısmi kaplama levhasının yorulmaya maruz kalabilecek kritik kısımları AASHTO şartnamelerine uygun şekilde bulonlu ekler ile güçlendirilirler (1).



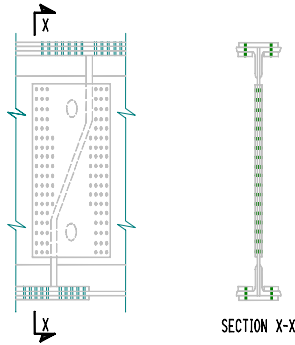
Şekil 8. Alt Flanş Kaplama Levhası Güçlendirmesi

Sürekli olarak oluşabilecek gerilme artışları hafif malzemeden imal edilen tabliye kullanılarak önlenir. Ayakların üstündeki bulunan iki mesnet aksındaki elemanlar ise, tek bir elastomer mesnet ile değiştirilerek ölü veya hareketli yüklerin orta ayaklar üzerinde yaratacağı eksantrik yüklemeler engellenebilir. (Şekil 9)



Şekil 9. Süreklilik

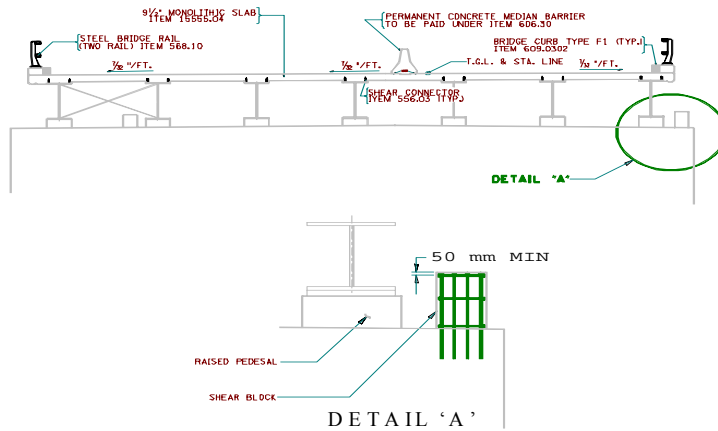
Askı ve mafsallara sahip yapılarda ise, askıya alınmış açıklıklar ile konsol kısımlar



arasında tam bağlantı sağlanarak mafsallı ve askılı yapıların zayıflıklarının önüne geçilebilir.

Şekil 10. Mafsallarda Bağlantı Detayları

Sürekliliğin faydalı olmadığı yerlerde, FHWA Retrofitting Manual' de önerildiği şekilde deprem takozları ve hareket önleyici elemanlar (Şekil 11) kullanılarak üst yapı girişlerinin oturma



problemleri önlenir.

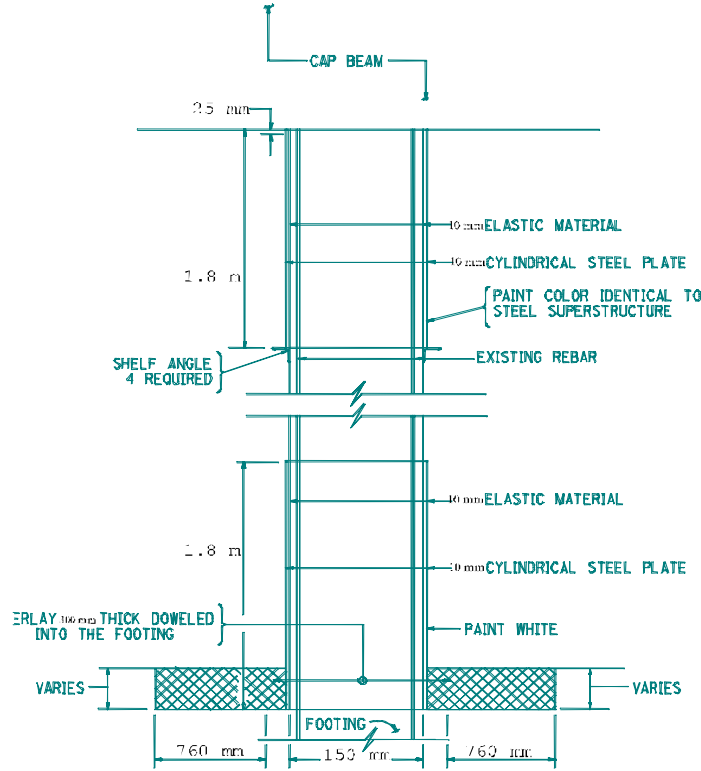
Şekil 11. Deprem Takozları

Kolon Güçlendirmesi

Günümüzde kullanılan mühendislik pratiği, kolonların potansiyel plastik mafsal bölgelerinde spiral ve etriyeler kullanılarak yeterli sargılamamanın oluşturulmasından ibarettir. Mevcut ayakların hemen hemen %90 kadarı, betondaki basınç uzama kapasitesini arttıracak ve ana donatılara yatay yönde destek verecek miktarda sargı donatısına sahip değildir. Bu kolonlarda oluşabilecek eğilme ve kesme (kısa kolonlar oluşması durumu) kırılmaları yeterli sargı donatısı sağlanarak engellenebilir. New York’ da, bu genelde çelik veya beton mantolama yapılarak ve ek sargı donatısı eklenerek sağlanmaktadır.

Çelik Mantolama

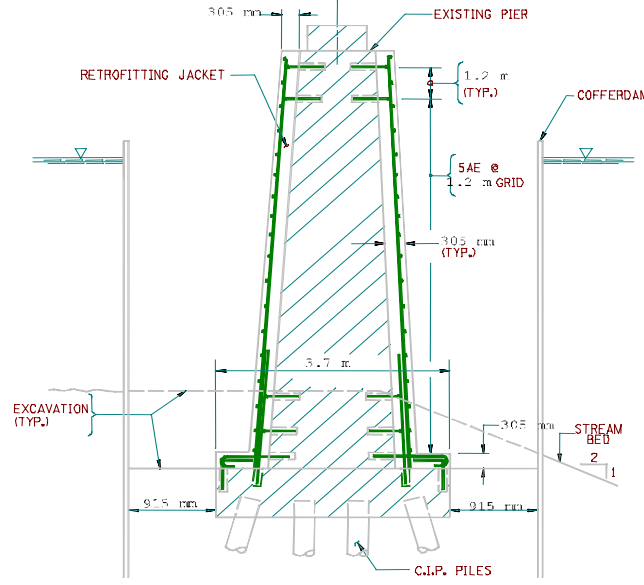
Mevcut kolonların tasarım depremi için analiz edilmesi sureti ile, bu kolonların kesme ve eğilme kapasiteleri deprem istemleri ile karşılaştırılmaktadır. Önceki uygulamalarda dairesel kolonlar 10mm (3/8") kalınlığında çelik mantolar ile sarılarak pasif sargılama sağlanmıştır. Temel ve başlık kirişi bölgelerinde istenmeyen miktarda moment kapasitesi artışı oluşmasını önlemek amacı ile, bu bölgelerde manto ile kolon arasına yine 10mm (3/8") kalınlığındaki lastik tabakalar konulmuştur. Şekil 12’ de çelik mantolu bir kolon güçlendirmesinin detayları görülmektedir.



Şekil 12. Kolonlarda Çelik Manto Uygulaması

Beton Mantolama

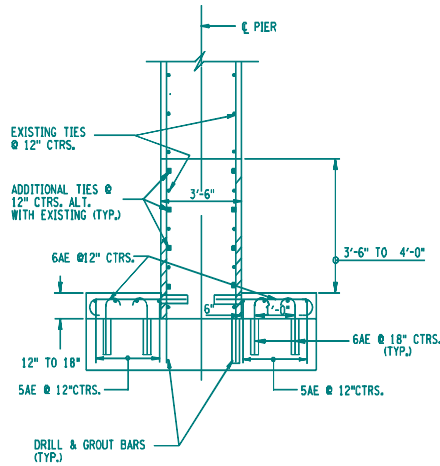
Perde tipli ayaklarda, 305 mm (12'') kalınlığında betonarme mantolar ile eğilme (boyuna yönde) kapasitesinde ve sargı donatısında artış sağlanmıştır. Mantoyu mevcut klona ankre etmek için 1.2 m (4 foot) x 1.2 m (4 foot) yerleşiminde delikler açılıp, enjeksiyonlu bulonlar kullanılmıştır. Şekil 13' te bu uygulamanın detayları görülmektedir.



Şekil 13. Kolonlarda Beton Manto Uygulaması

Sargı Donatısı Eklenmesi

Ek donatılar kolonun kesme dayanımını ve sargı etkisini arttırmaktadır. Dolayısıyla kolonda kesme kırılmasından önce eğilmeye bağlı plastik deformasyonlar gözlemlenecek, yani gevrek kırılma oluşması engellenmiş olacaktır.



Şekil 14. Temel güçlendirmesi

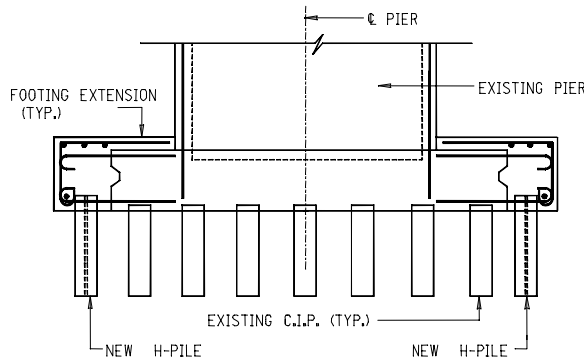
Genişleyen kolonların alt kısımlarında gereken sargı donatısı miktarı, 305 mm (12'') aralıklı

mevcut sargı donatılarının aralarına etriye (spiraller) eklenerek sağlanmıştır. İlk olarak plastik mafsal bölgesindeki kabuk betonu kırılmış ve mevcut boyuna donatıların etrafına #5 ebadındaki spiraller alternatif etriyeler ile birlikte sarılmıştır. (Şekil 14) Ek olarak, mevcut temele 460 mm (18") kalınlığında dubelli bir ekleme yapılmıştır. Kabuk betonu kolonun orjinal boyutlarını sağlayacak şekilde yerleştirilmiştir.

Temel Güçlendirmesi

Kazık Ekleme

Deprem istemlerini karşılama amacı ile, mevcut temele ek kazık başlığı ile birlikte kazık ekleme yapılır. Ek kazık başlığı, mevcut başlığa dübelli bir şekilde ankre edilir.

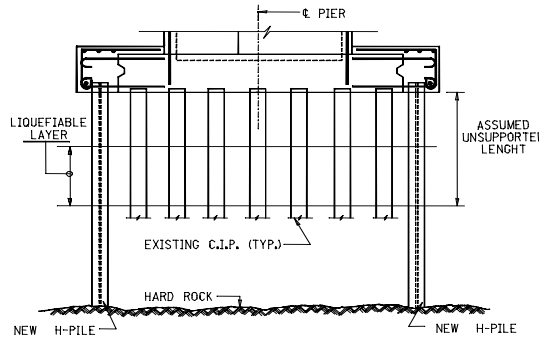


Şekil 15. Temel Güçlendirmesi

Kazık başlığının köşelerine iki kat kapasiteye sahip kazıklar eklenir. Yapılacak basit bir deprem analizi sonrasında, mevcut kazık yükleri ve ek deprem yüklerinin toplamının kazık kapasiteleri aşmaması sağlanır. (Şekil 15)

Sıvılaşabilir Zeminin İyileştirilmesi

Sıvılaşma veya heyelan göçmelerinin engellenmesi amacı ile yapılacak iyileştirmeler kolay değildir. Genelde, sabit ve sıkışmış zemine derin kazıklar çakılarak bu tarz göçmelerin önlenileceği düşünülmektedir. Mevcut temelde yer alan ve potansiyel sıvılaşma riski olan zemin tabakasının kalınlığına bağlı olarak, kayaya kadar ek çelik kazıklar çakılarak deprem yüklerinin aktarılması sağlanabilir. Bu çelik kazıklar, deprem yükleri burkulma kapasitelerinin altında kalacak şekilde çok güvenli şekilde tasarlanırlar. (Şekil 16)



Şekil 16. Sıvılaşabilir Zeminin İyileştirilmesi

Performans Kriterleri ve Sismik Risk

Önemli şehirlerde ile çevresindeki alanlarda yer alan ve deprem riski taşıyan köprüler Tablo 1’de yer alan çok aşamalı performans kriterlerini sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu köprüler, yetkili kurumlar tarafından ‘kritik’, ‘önemli’ veya ‘diğer’ başlıkları altında sınıflandırılmalıdır.

TABLO- 1: PERFORMANS KRİTERLERİ VE SİSMİK RİSK DÜZEYLERİ

Önem Sınıfı	Yinlenme Aralığı	Aşılma Olasılığı	Performans Düzeyi
Kritik Köprüler	2500 Yıl	50 Yılda %2	Göçme yok, ilk 48 saatte acil trafik için limitli akış, bir ay içinde tam hizmet
	500 Yıl	50 Yılda 10%	Göçme yok, birincil yapısal elemanlarda hasar yok, asgari düzeyde onarılabilir hasar, hemen tam trafik hizmeti (İlk bir kaç saat incelemeye izin verilmeli)
Önemli Köprüler		2/3 (50 Yılda %2)	Göçme yok, onarılabilir hasar, ilk üç gün içerisinde bir veya iki şeritli trafik akışı, bir ay içinde tam hizmet
Diğer Köprüler		2/3 (50 Yılda 10%)	Göçme yok, görülebilir yerlerde belli olan fakat onarılabilir hasar, trafik kesintisi kabul edilebilir

Analizler sınırlama riskini, yatay yayılmayı, zemin-yapı etkileşimini ve düşey havalanma kuvvetlerini göz önüne almalıdır. Her durumda, taban seviyesindeki deprem hareketi sırasında yapının kapasitesini azaltan zemin faktörleri önlenmeli, tavan seviyesinde ise kabul edilebilir düzeyin altında olmalıdır.

SONUÇLAR

Yapıların depreme karşı zedelenebilirliği aşağıdaki maddeler ile kontrol edilebilir:

- Ek yük aktarım mekanizmalarının sağlanması
- Süneklik
- Yatay yük taşıyıcı bağlantılar ve detaylandırma
- Yeliniği imalatlar (garanti edildiğinde)
- Önem sıralamasına dayalı performans kriterleri

KAYNAKLAR

1. AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges, Division 1A Seismic Design with NYSDOT's Modifications
2. Kawashima K., 'Damage of Highway Bridges by Hashin/Awaji, Japan, Earthquake and Seismic Design and Seismic Strengthening', proceedings of the International Conference on Retrofitting of Structures, Columbia University, New York City, NY March 11-13, 1996 (pages 187-207).
3. McGuire, Robin, Seismic Hazard for New York City, Risk Engineering, Inc. Boulder, Colorado, Jan.14, 1998
4. Seismic Retrofitting Manual for Highway Structures - FHWA-HRT-06-032, January 2006
5. Malik, A. H., 'Increasing the Seismic Failure Resistance of Highway Structures' presented at the Second U.S. - Japan Workshop on Retrofit of Bridges, October 1997
6. Yashinsky, M., 'Lessons Learned from the January 17, 1995 Kobe Earthquake', proceedings of the National Seismic Conference on Bridges and Highways, sponsored by FHWA and CALTRANS, San Diego, California December 10-13, 1995.