

KÖPRÜLERİN SİSMİK İZOLASYONUNDA İTALYAN TECRÜBESİ

Maria Gabriella Castellano¹, Samuele Infanti², Paolo Baldo³ ve Mircan Kaya⁴

¹ Araştırma Mühendisi, Araştırma&Geliştirme Bölümü., FIP Industriale, Selvazzano Dentro, İtalya

Email: maria.gabriella.castellano@fip-group.it - İrtibat Yazarı

² Müdür, Araştırma & Geliştirme Bölümü., FIP Industriale, Selvazzano Dentro, İtalya

Email: samuele.infanti@fip-group.it

³ Satış Mühendisi, Satış Bölümü, FIP Industriale, Selvazzano Dentro, İtalya

Email: paolo.baldo@fip-group.it

⁴ Türkiye Temsilcisi, FIP Industriale, İstanbul, Türkiye

Email: smk_fip@yahoo.com

ÖZET

Sismik izolasyon ve enerji sönümlenme cihazları İtalya'da, özellikle köprüler ve viyadüklerde olmak üzere farklı türde yapıların depreme karşı korunması amacıyla yetmişli yıllardan beri kullanılmaktadır. İlk uygulama, yapım aşamasında 1976 Friuli depremine maruz kalmış olan Udine Tarvisio Otoyolu üzerindeki Somplago Viyadüğü'dür. Depremin merkezine yakın olmasına rağmen çok iyi performans göstermiş olması Pasif kontrol ve ilgili teknolojilerin köprüler ve viyadüklerde kullanımlarının İtalya'da hızla yayılmasına vesile oldu. Seksenlerin sonlarında İtalyan sismik cihazları Avrupa'nın deprem riski yüksek tüm ülkelerinden Bangladeş'e, Güney Amerika'dan Azerbaycan'a, Güney Kore'den ABD'ye pek çok ülkede kullanılmaya başladı. İtalya'da geliştirilmiş olan sismik cihazların bazıları İtalya ve Dünyanın diğer ülkelerindeki ilgili uygulama örnekleriyle birlikte bu makalede anlatılmıştır. Sismik izolasyon sistemlerinin sıklıkla ana bileşenlerinden olan çelik histeretik sönümleyiciler ve akıcı vizkoz sönümleyiciler gibi enerji sönümlenme cihazları üzerinde özellikle durulmuştur.

ABSTRACT

Seismic isolation and energy dissipation devices have been used in Italy since the seventies for the seismic protection of different structures, and in particular bridges and viaducts. The first application in Italy was in the Somplago Viaduct of the Udine-Tarvisio Highway, who was subjected to the 1976 Friuli earthquake while under construction. Its very good behaviour, despite the vicinity to the epicenter, induced in Italy a quick development of technologies for passive control and of related applications in bridges and viaducts. Since the end of the eighties the Italian seismic devices are applied in other countries too, from all European seismic-prone countries to Bangladesh, from South-America to Azerbaijan, from South Korea to USA. Some of the seismic devices developed in Italy are described in this paper, with pertinent examples of structures where they have been applied, in Italy and all over the world.

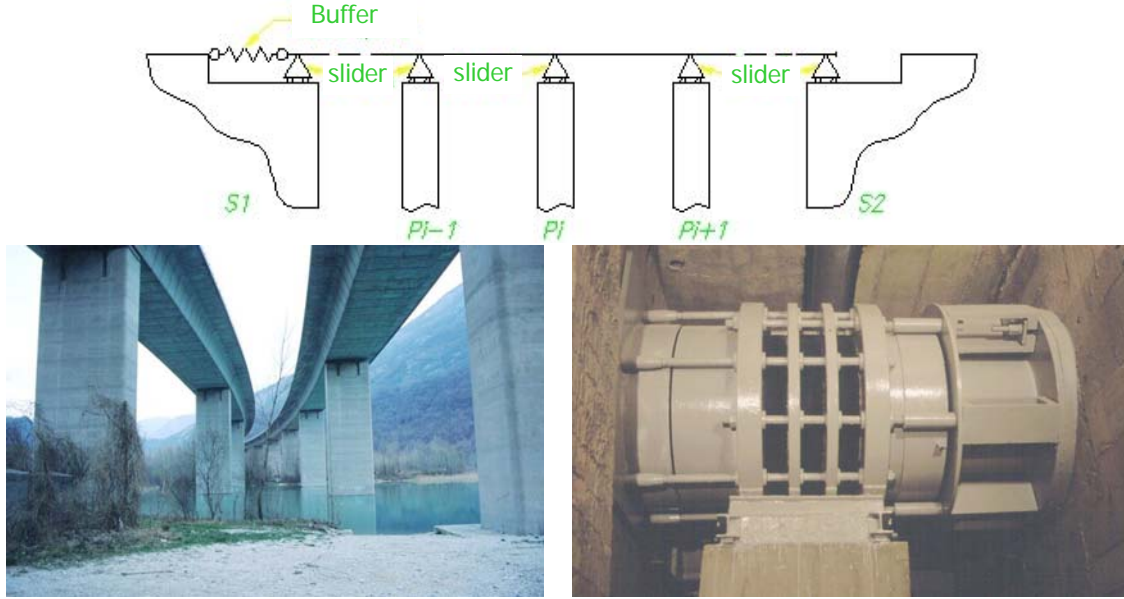
Keywords: seismic isolation, energy dissipation, seismic devices

1 GİRİŞ

Geçtiğimiz 30 yılda [1;2;3], sismik izolasyon ve/veya enerji dağıtma yöntemleri ile depremin etkilerini azaltmak üzere yapılarda uygulanan pasif kontrol, yapısal elemanların düktil kontrolü esasına dayanan ve yıkılmadığı sürece yapıda ciddi hasarlara izin veren konvansiyonel sismik tasarım yöntemlerine karşı bir alternatif olarak bir devir açmıştır. Pasif kontrol tekniği, yapıda herhangi bir hasar oluşmasına engel olur.

Genellikle enerji dağıtma ve sönümlenme ile birlikte kullanılan sismik izolasyon, daha çok köprüler, viyadükler, nükleer istasyonlar gibi endüstri tesislerinde ve son zamanlarda, giderek artan bir biçimde likit doğal gaz tanklarında kullanılır. Uygulamalar, 1970'li yıllarda Yeni Zelanda'da hem köprüler hem de binalarda; Güney Afrika'da Fransız tasarımı ile nükleer istasyonlarda başladı. Bir kaç yıl sonra Amerika ve Japonya'da genellikle binalarda uygulandı. Günümüzde, sismik açıdan aktif olan tüm bölgelerde, uygulamalar görülebilir. Kaliforniya, Japonya ve Türkiye gibi ülkelerde son zamanlarda oluşan depremlerin ardından yapılan saha gözlemleri ve ölçümleri bu tekniğin avantajlarını kanıtlamıştır. Daha önce bu avantajlar, pek çok nümerik ve deneysel çalışma ile gösterilmişti. İtalya'daki ilk sismik izolasyon uygulaması, 1970 yılında Udine-Tarvisio otoyolu üzerindeki Somplago viyadüğünde yapılmıştır. Bu uygulama, aynı zamanda, sismik izolasyonun Avrupa'da bir köprüde kullanılmasına dair ilk örnektir. Oldukça basit ancak etkili bir izolasyon sistemi kullanılan uygulamada köprü kenar ayaklarında elastomer takozlar kullanılırken tüm orta ayaklarda kayıcı mesnet elemanları kullanılmıştır (şekil 1). Viyadük inşaat halindeyken, 1976 yılında Friuli depremine maruz kalmıştır. Merkezi, viyadüğe yalnızca birkaç km uzaklıkta bulunan depremi köprü hasarsız atlattır. Konvansiyonel yöntemle tasarlanıp inşa edilmiş olan ve aynı bölgede bulunan diğer köprü ve viyadükler ise hasar görmüştür. Bu sonuç, İtalyan Otoyolları idarecilerini, sismik izolasyonun daha ileri Araştırma ve çalışmalara değer olduğu konusunda ikna etmiştir. Sonuç olarak, takip eden 10 yıl içinde yeni sismik cihazlar geliştirilmiş ve İtalya'da yüzlerce köprüde uygulanmıştır. İtalya kısa bir süre sonra, en fazla sismik izolasyon uygulanmış köprüye sahip ülke durumuna gelmiştir. İtalya'da geliştirilmiş olan sismik izolasyon sistemleri, güçlü bir

doğrusal olmayan (non-linear) davranış ile, büyük bir enerji dağıtma ve sönümleme sağlar. Bir köprüde uygulanan sismik korumanın komple değerlendirilmesi yapılırken amaç, tabliye hareketlerini en aza indirmenin yanı sıra deprem kuvvetlerinin azaltılmasıdır. Bu da genişleme derzlerine yönelik ihtiyacı optimize ederken mesnet elemanları üzerindeki darbeyi de azaltır ve sonuç olarak ilgili tüm maliyetlerde ekonomi sağlar. Dolayısıyla, hem deprem kuvvetini hem de darbeyi azaltabilmek için yüksek sönümleyici özelliği (eşdeğer viskoz sönümleme kapasitesinin %30'u kadar bir sönümleme) taşıyan cihazlarla bir çözüm geliştirilmiştir. Özellikle de, metalin akması esasına dayanan ve köprü ayaklarına aktarılacak kuvvetleri sınırlayan elastik-plastik özelliğe haiz doğrusal olmayan (non-linear) cihazlar veya doğrusal olmayan (non-linear viskoz sönümleyiciler) geliştirilmiştir.



Şekil 1- Avrupa'da ilk izole edilmiş köprü olan Somplago Viyadüğü'nde uygulanan izolasyon sistemi.

Aşağıda, en çok kullanılan İtalyan izolasyon/sönümleme cihazları, tüm dünyada yapılmakta olan uygulama örnekleriyle birlikte anlatılmaktadır.

2 ELASTOMER İZOLATÖRLER

Elastomer izolatörler, genellikle yüksek sönümleyici özellikte kauçuk malzemeden (yüksek sönümleme özellikli kauçuk mesnet elemanı) yapıldıkları gibi, enerji dağıtma kapasitesini artırmak üzere merkezinde bir kurşun çekirdek teşkil edilerek de yapılabilir (kurşun çekirdekli kauçuk mesnet elemanı) ; İtalya'da tasarlanan ve üretilen mesnet elemanları hem İtalya'da hem de deprem riski yüksek diğer ülkelerde uygulanmaktadırlar. Elastomer izolatörler, sınırlı düşey yük ve sönümleme kapasitelerinden dolayı daha çok binalarda ve küçük açıklıklı veya tabliyesi prekast parçalardan oluşan köprülerde kullanılırlar [4]. Özellikle köprü uygulamalarında, enerji dağıtma kapasitesini artırmak ve böylece deplasmanları azaltmak üzere, elastomer izolatörlere paralel olarak viskoz sönümleyiciler kullanılabilirler. (şekil 2), yüksek sönümleme özellikli kauçuk mesnet elemanının İtalya'da bir köprüde uygulanaşına dair yeni bir örnektir.



Şekil 2- Roggia Borgogna Köprüsü'nde uygulanan elastomer mesnet elemanları, İtalya

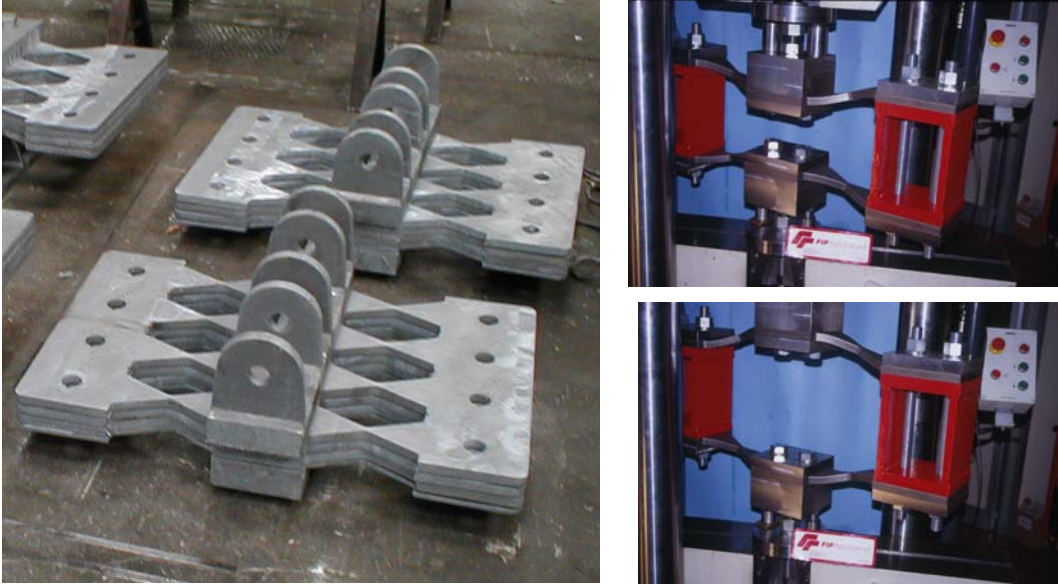
3 ÇELİK HİSTERETİK SÖNÜMLEYİCİLER

Bu cihazlar, yüksek duktilite özelliğine sahip çelikten mamul pek çok metal elemanla üretilirler. Burulmalı cihazlar dünyada ilk uygulanan çelik histeretik sönmleyiciler olmakla birlikte (South Rangitikei Viyadüğü, Yeni Zelanda' da uygulanmış [2], son zamanlarda İtalya'da yeniden gündeme gelmiştir [5;6]) genellikle bu cihazlar sehim akması esasına dayanırlar. İtalya'da geliştirilmiş olan çelik histeretik dağıtıcı elemanların çok çeşitli şekilleri arasında en çok kullanılanları: 1) C- tipi veya hilal tipli elemanlar; 2) İncelen toplu iğne veya çifte inceltmiş toplu iğne şekilli elemanlar ; 3) X-tipi veya ADAS (Added Damping and Stiffness) elemanlarına benzeyen ve ABD'de çerçevesel binalarda kuşaklar arasında kullanılırken İtalya'da genellikle köprü kenar ayaklarında kullanılan kelebek şeklinde elemanlar (şekil 3); 4) U-tip şeritler; 5) E-şekilli elemanlar. Tasarım deplasmanına göre, elemanın tipi ve doğru ebatları bir kez tayin edildikten sonra, çelik histeretik dağıtıcılar nereye monte edileceklerine bağlı olarak istenen işlevi yerine getirecek şekilde (tek yönlü veya çok yönlü) düzenlenirler. Histeretik sönmleyiciye ait ihtiyaç duyulan maksimum kuvvet, elastik veya post-elastik rijitlik doğru miktarda dağıtıcı elemanın paralel olarak yerleştirilmesi ile elde edilir. Bu, yapıda fazladan bir güvenlik sağlar. Yani, elemanlardan birinde oluşacak bir hasar, sismik cihazı devre dışı bırakmaz. Özellikle köprülerde, çelik histeretik sönmleyiciler, bir sismik izolasyon sistemi oluşturmak üzere kayıcı mesnet elemanları ile birlikte kombine edilerek kullanılırlar. Bu teknik, "sismik izolasyonda İtalyan yaklaşımı" olarak bilinmektedir. Çünkü, İtalyan sismik cihaz üreticileri tarafından geliştirilmiş ve 1980'lerden beri önce İtalya'da sonra da tüm dünyada yüzlerce köprüde uygulanmıştır.

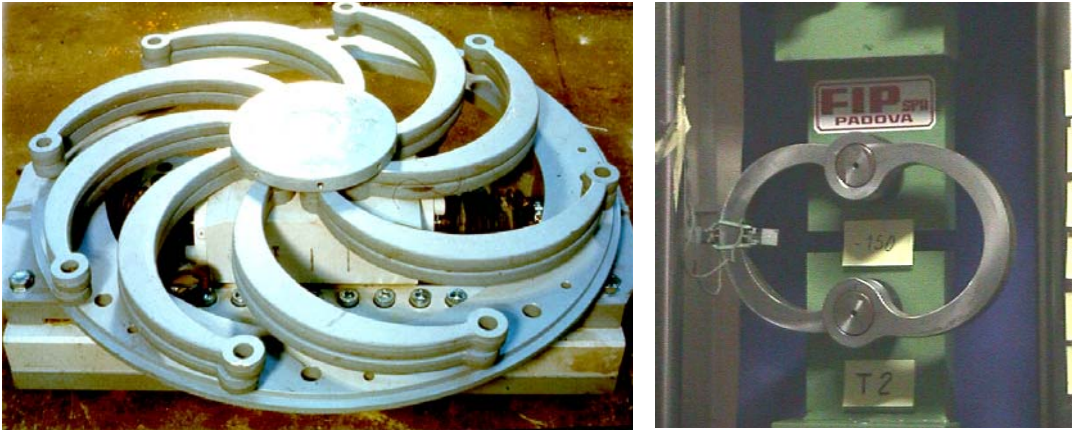
3.1 Hilal şekilli çelik histeretik sönmleyiciler

Temel olarak, hilal şekilli çelik histeretik sönmleyiciler tek-yönlü davranışa sahiptirler (şekil 4, sağ taraf) ancak çok - yönlü davranış oluşturmak amacıyla farklı şekillerde düzenlenebilirler. Bu tür sönmleyicilerin uygulanması için önemli bir örnek, 130 ile 220 kN arasında değişen yatay kuvvete ve ± 152 mm tasarım deplasmanına haiz boyuna

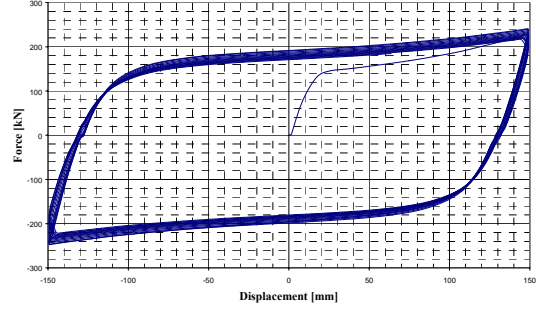
ve enine doğrultuda 157 adet sönümleyicinin kullanıldığı Vancouver, Kanada'daki Granville Köprüsü'dür. Şekil 5'in sağ tarafında bu tip sönümleyicilere ait deneysel kuvvet- deplasman eğrisi görülmektedir



Şekil 3- Cezayir'deki bir köprüde X şeklinde histeretik sönümleyici uygulaması (solda) ve bileşenlerinin test edilmesi (sağda).



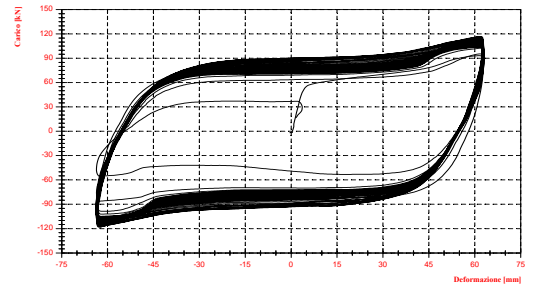
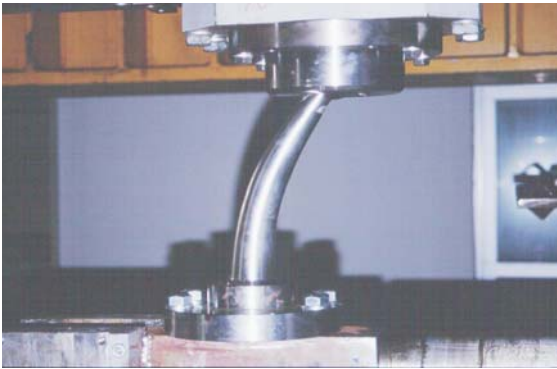
Şekil 4- Çok doğrultulu, hilal şeklinde bileşenleri olan çelik histeretik sönümleyici montaj sırasında (solda) ve iki hilal biçimli eleman test altında (sağda)



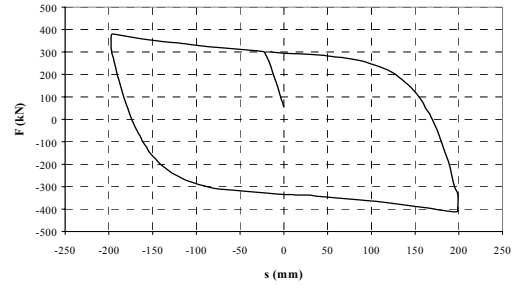
Şekil 5-Garnville köprüsüne monte edilmiş, hilal şeklinde elamanları bulunan çelik histeretik sönümleyiciler (solda) ve bu tip sönümleyicilere ait tipik bir kuvvet-deplasman deneysel eğrisi.

3.2 İncelen toplu iğne şekilli sönümleyiciler

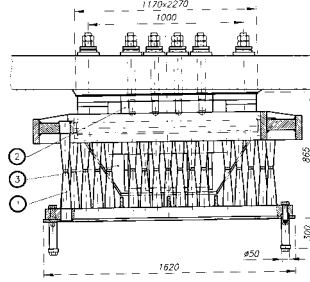
Toplu iğne şekilli çelik histeretik dağıtıcı elemanlar iki tipte olabilir: Tekli yani konsol tipli eleman (şekil 6) ve çift, yani iki adet tekli elemana eşdeğer eleman (şekil 7). En büyük avantajları, yatay doğrultuda sağladıkları çok yönlü davranışlarında yatmaktadır. Şekil 6 ve 7 toplu iğne şeklindeki histeretik enerji dağıtma elemanlarının histeretik döngülerini göstermektedir. Bu elemanların davranışları tam ölçekli olarak sarsma tablası deneyleri ile test edilmiş ve doğrulanmıştır [7]. Bugüne kadar üretilen en büyük toplu iğne tipi histeretik sönümleyici (maksimum kuvvet 4100 kN, maksimum deplasman ± 110 mm) 2005 yılında, Venezüella'daki Caracas-Tuy Medio Demiryolu üzerindeki viyadüklerin bazılarında uygulanmıştır [8]. Çift toplu iğne şeklinde histeretik sönümleyici uygulanmasına önemli bir örnek ise Bangladeş'teki Bangabandhu (Jamuna) köprüsü olup şekil 8'de görülen elemanlar bu uygulamada çokça kullanılmıştır [9]. Bu köprü, 5 km uzunluğunda olup, aktif faydan 30 km uzaklıkta bulunmaktadır (PGA=0.47 alınmıştır). Tasarım mühendislerinin bu projedeki ana hedefi, temeller üzerine etki edecek sismik yükleri azaltacak bir sismik izolasyon sistemi seçmek ve dolayısıyla temel maliyetini azaltmak olmuştur.



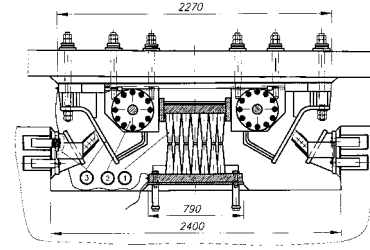
Şekil 6- Toplu iğne şeklindeki sönümleyici test edilirken ve histeretik döngüsü.



Şekil 7- Çift toplu iğne görünümlü sönümleyici test edilirken ve histeretik döngüleri.



Sabit ayaklar üzerindeki sönümleyiciler



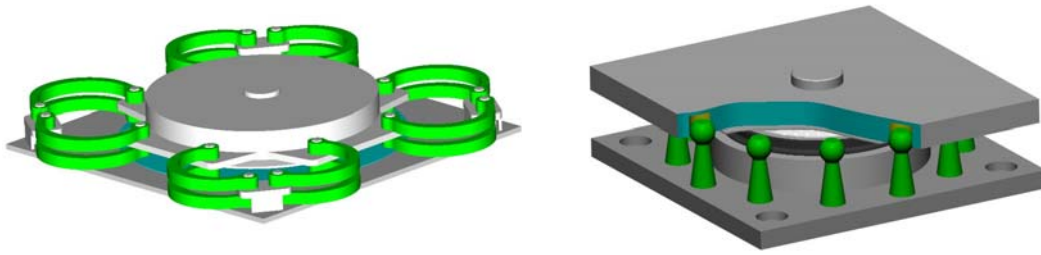
Genleşme ayakları üzerindeki sönümleyiciler

Şekil 8- Bangbandhu köprüsü ve çift toplu iğne görünümlü sönümleyici ile teçhiz edilmiş çelik sönümleyicileri.

4 ÇELİK HİSTERETİK SÖNÜMLEYİCİLERLE BİRLİKTE KULLANILAN KAYICI MESNET ELEMANLARI

Çelik histeretik sönümleyiciler ve kayıcı mesnet elemanları ile yapılan kombinasyon genellikle tek bir cihaz veya izolatör olarak verilir ve şu parçaları kapsar: 1) serbest kayıcı (veya mesnet sistemi gerektirirse tek yönlü) PTFE mesnet elemanı (pot tipi, sferik veya elastomer tipi olabilir); düşey yükleri aktarırken bir taraftan da rotasyon ve yatay hareketlere izin verir; 2) Yatay etkileri kontrol altında tutmak ve enerjiyi sönümlemek üzere oluşturulan bir seri çelik histeretik sönümleyici (bu elemanlar bakımın kolay yapılabilmesini sağlamak üzere mesnet elemanın etrafına yerleştirilirler). Şekil 9 bahsi geçen izolatör sistemine ait iki olası konfigürasyonu göstermektedir: Sırasıyla, hilal tipi ve toplu iğne tipi çelik histeretik sönümleyici. Gerektiğinde, STU (Shock Transmission Unit) olarak adlandırılan darbe ileticiler, önemli ısıl hareketleri kontrol altında tutmak amacıyla çelik histeretik sönümleyicilerle kombine edilirler. Darbe ileticiler (STU) yapının hareket eden kısmı ile çelik sönümleme cihazları arasına seriler halinde monte edilirler. Sonuçta elde edilen cihaz, servis koşulları altında sönümleme

cihazlarını aktive etmeden küçük hareketlere izin verirken, deprem koşullarında darbe ileticiler kilitlenirler ve kuvveti çelik sönümleme cihazlarına aktarırlar. Bazı durumlarda gözden çıkarılacak elemanlar da kullanılır. Bu cihazlar, servis koşulları altındaki yüklere dayanabilecek fakat deprem sırasında ise tasarım yüküne ulaşıldığında göçüp çelik histeretik sönümleyicileri harekete geçirecek şekilde tasarlanırlar [7] Bu tip izolatörlerle ilgi pek çok deneysel veri, [10] da bulunabilir. Üç ayrı ebatta her biri bir pot tipi mesnet elemanı ve hilal tipi çelik histeretik sönümleme cihazı bulunduran beş izolatör, ABD HITEC (Highway Innovative Technology Evaluation Center) programına uygun olarak geniş çapta bir teste tabi tutulmuştur. Bu tip izolatörler, İtalya'da ve diğer ülkelerde geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Örneğin, çift toplu iğne tipi elemanı ile teçhiz edilmiş izolatörler ABD'de Marquam Köprüsü'nde uygulanmıştır (şekil 10, sol taraf). Venezüella'da Caracas-Tuy Medio Demiryolu projesi kapsamında 1100'ün üzerinde toplu iğne tipi sönümleyicili izolatör kullanılmıştır [11]. 1990'ların sonlarında, bu sismik izolasyon sistemi (hilal tipi sönümleyicilerle teçhiz edilmiş kayıcı mesnet mesnetler) ayrıca bir Deniz aşırı platformda kullanılmıştır (şekil 10, sağ taraf). Bu, dünya üzerinde sismik izolasyon uygulanmış ilk platformdur. [12]



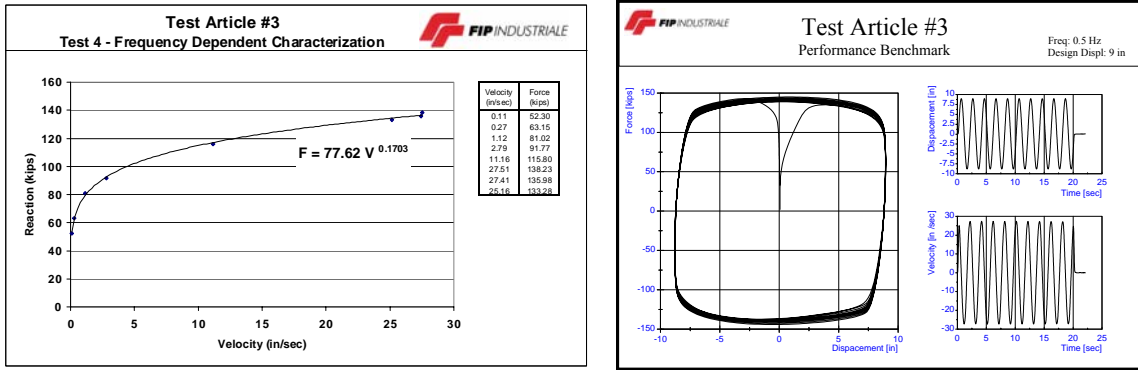
Şekil 9- Hilal tipi çelik histeretik dağıtıcılarla birlikte kayıcı mesnet elemanlarına ait planlar (solda) ve toplu iğne tipine ait olan planlar (sağda).



Şekil 10-Marquam Köprüsünde uygulanan çelik histeretik dağıtıcılarla birlikte kayıcı mesnet elemanları, Oregon, ABD (solda) ve Chirag I deniz a°ırı platformunda kullanılanlar (sağda).

5 AKICI VİZKOZ SÖNÜMLEYİCİLER

Akıcı vizkoz sönümleyiciler kuvvetleri hız ile orantılı aksiyel cihazlardır. Silindirin piston kafası ile bölündüğü iki odayı birbirine bağlayan hidrolik devre, akışkansı madde ve sönümleyicinin şekli üreticiye bağlı olarak değişir [3]. Hidrolik devre genellikle piston kafasında orifisler veya serbest bırakan vanalardan oluşur. Sonuç olarak, kuvvet-hız ilişkisi $F = C \cdot v^a$ üreticiye bağlı olarak değişir. a katsayısı sismik aplikasyonlarda 0.1 ile 1 arasında değişirken rüzgar söz konusu olduğunda a=2 de kullanılır). Son birkaç yıldır, İtalyan firması FIP INDUSTRIALE tarafından üretilen vizkoz sönümleyiciler önemli bütün testlere tabi tutulmuştur. [13;14;15] (Earthquake Engineering Research Center / Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi , Berkeley, CA, ABD; Boeing Test Merkezi, Canoga Park, CA- ABD ve Caltrans SRMD Test Laboratuvarı, Kaliforniya-San Diego- ABD). Bu testlerden elde edilen sonuçlar, ABD'deki Golden Gate Köprüsü için, şirketin ön yeterlilik alabilen şirketler listesine girmesini sağladığı gibi, CALTRANS (California Department of Transportation/ Kaliforniya Ulaşım Bölümü) 'nden ön yeterlilik alabilmiş sönümleyici üreticileri listesine girmesini de sağlamıştır. Çok geniş bir sıcaklık aralığında (-40°C ÷ +50°C) yapılan dinamik devir altında gözle görülür bir reaksiyon stabilitesi başarılmıştır ki bu da her türlü çevre koşullarında mükemmel davranış anlamına gelmektedir. FIP 'in en son ürettiği vizkoz sönümleyicilerde, piston kafasında orifisler bulunmakta ve genellikle a = 0.15 katsayısına sahiptirler (şekil 11, sol). Dolayısı ile, reaksiyonları geniş bir hız yelpazesi içinde neredeyse sabittir. Bu ise cihazların, düşük hızlarda da sönümleme işlevi görmelerine izin verir . Bu etki ise, histeretik döngünün etkin işleyişinden dolayı (şekil 11, sağ). Başka bir deyişle, yapıya aktarılan eşit düzeyde maksimum yük için büyük a katsayısı ile teçhiz edilmiş bir cihaz daha büyük deplasmana izin verir.



Şekil 11- Kuvvet- Hız deneysel ilişkisi (solda) ve FIP akıcı vizkoz sönümleyicilerinin sinüzoidal tahrik altındaki tipik histeretik döngüsü.

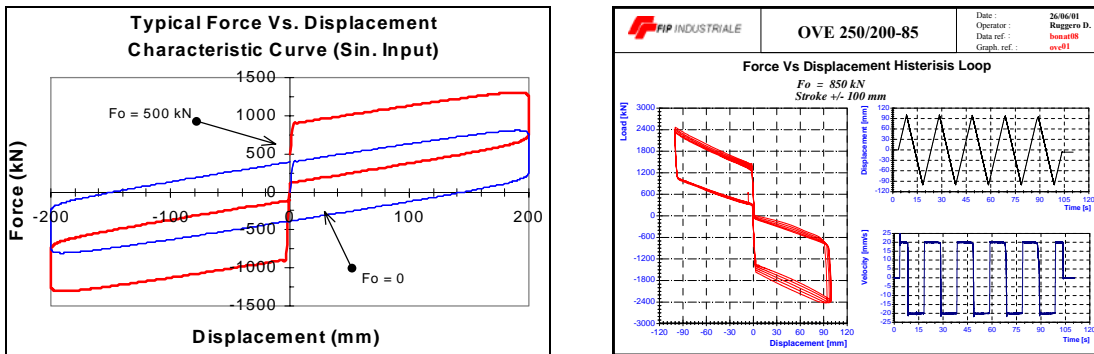
Akıcı vizkoz sönümleyiciler, kayıcı mesnet elamanlarını da ihtiva eden uygun bir mesnet elemanı sistemi ile birlikte (pot tipi kayıcı mesnet elemanı veya diğerleri) bir sismik izolasyon sisteminin parçası olarak kullanılırlar. İtalya'da üretilen akıcı vizkoz sönümleyicilerin uygulamasına dair önemli bir örnek Yunanistan'da bulunan Rion-Antrion köprüsü ve yaklaşım viyadükleridir. Köprü'nün bulunduğu bölge, yüksek deprem riskine sahiptir. (PGA=0.48 g; şekil 12) [4;16]. Son zamanlarda İtalyan vizkoz sönümleyiciler, Kore'deki bazı köprüler üzerinde de uygulanmıştır. Örneğin, Seohae Köprüsü bunlardan biridir [17,18].



Şekil 12- İtalya menşeli akıcı vizkoz sönümleyicilerin uygulama örnekleri: Rion Antrion ana köprüsü, Yunanistan (solda) ve Seohae Köprüsü, Kore (sağda).

6 YAYLI AKICI VIZKOZ SÖNÜMLEYİCİLER

Yaylı akıcı vizkoz sönümleyiciler, akıcı vizkoz sönümleyicilerin sönümlenme özelliklerine elastik davranış özelliği katan bir sismik cihazlar grubunu temsil ederler. Dolayısıyla, sönümleyici davranışlarına paralel olarak elastik davranış özellikleri ile karakterize edilen bir kanunları vardır. Yeniden merkezleme yeteneği sağlamak bakımından bu önemlidir ancak, aynı özellik, akıcı vizkoz sönümleyicilerle kıyaslandığında, enerji sönümlenme etkinliğini azaltıcı bir etki yaratır. Bu cihazların bir başka önemli özelliği, herhangi bir harekete izin vermeksizin, servis yüklerini karşılamak üzere ön yükleme yapılmak üzere tasarlanabilirler. Bu cihazlar, bir akışkan ve piston barındıran bir silindir ile teçhiz edilirler. $F=F_0+kx+Cv^a$ formülü ile karakterize edilirler. Burada F_0 , ön yükleme kuvveti, kx , cihazın x deplasmanına verdiği elastik reaksiyon, Cv^a uygun bir hidrolik devre içindeki akışkan laminasyonu nedeniyle oluşan vizkoz reaksiyon, C , sönümlenme katsayısı ve v ise hızdır. $a=0.15$ ve ile bahsi geçen sönümleyicilerden bir tanesinin teorik davranışı ve yine $a = 0.15$ ile üretilmiş bir sönümleyicinin dinamik devreler içindeki deneysel tipik davranışı Şekil 13 'te gösterilmiştir. Quasi-statik yükler altında bu cihazlar, yalnızca elastik reaksiyona karşı dururlar ve bu da ön yükleme kuvveti (yukarıdaki eşitliğin ilk iki terimi) demektir. İtalyan yaylı akışkan vizkoz sönümleyicilerin uygulanmasına ait yeni bir örnek, Dominik Cumhuriyeti'ndeki Rio Higuamo Köprüsü'dür.



Şekil 13- Yaylı akışkan vizkoz (akışkansız) sönümleyiciye ait tipik teorik ve test histeretik döngüsü.

7 SONUÇLAR

Sismik izolasyon ve enerji dağıtma ve sönümlenme sistemleri İtalya’da 1970’lerden beri, hem yeni yapılarda hem de eski yapıların sismik rehabilitasyonunda, köprülerin ve viyadüklerin depreme karşı korunması amacıyla geniş çapta kullanılmaktadır. Geçtiğimiz on beş yıl içinde, İtalyan izolasyon ve enerji sönümlenme cihazları İtalya dışında da konvansiyonel ve yeni teknolojilerle inşa edilen yapıları kapsayan pek çok uygulamada kullanılmıştır.

8 REFERANSLAR

- [1] Buckle, I.G., 2000, “Passive control of structures for seismic loads”, *Proc. of 12WCEE*, Auckland, New Zealand, paper n° 2825.
- [2] Skinner, R.I., W.H. Robinson and G. H. McVerry, 1993, *An introduction to seismic isolation*, Wiley, Chichester.
- [3] Soong, T.T. and G.F. Dargush, 1997, *Passive energy dissipation systems in structural engineering*, Wiley, Chichester.
- [4] Infanti S., Papanikolas P., Castellano M.G., 2003, “Seismic protection of the Rion-Antirion Bridge”, *Proceedings of 8th World Seminar on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures*, Yerevan, Armenia.
- [5] Castellano, M.G., S. Infanti, C. Dumoulin, L. Ducoup, A. Martelli, A. Dusi, 2000, “Shaking table tests on a liquefied natural gas storage tank mock-up seismically protected with elastomeric isolators and steel hysteretic torsional dampers”, *Proc. of 12th WCEE*, Auckland, New Zealand, paper n° 2082.
- [6] Dusi, A., F. Bettinali, M. Forni, M. La Grotteria, M.G. Castellano, S. Infanti, G. Bergamo, G. Bonacina, 2000, “Implementation and validation of finite element models of steel hysteretic torsional energy dissipators”, *Proc. of 12th WCEE*, Auckland, New Zealand, paper n° 1647.
- [7] Castellano, M.G., S. Infanti, G. Saretta, 2001, “Validation of steel hysteretic dampers through shaking table tests”, *Proc. of 5th World Congress on joints, Bearings and Seismic Systems for Concrete Structure*, Rome.
- [8] Pérez R. J., Nieto J. J., Solórzano E. R., Baldo P., 2001, “Design Philosophy of the Caracas – Tuy Medio Railway Viaducts in Venezuela”, *Proc. of Fifth World Congress on Joints, Bearings and Seismic Systems for Concrete Structure*, Rome.
- [9] Castellano, M.G., A. Cestarollo, 1999, “Seismic isolation of the Jamuna multipurpose bridge”, *Proc. of 2nd International Symposium on Earthquake Resistant Engineering Structures*, Catania.
- [10] Highway Innovative Technology Evaluation Center (HITEC) Editor, 1998, *Evaluation Findings for FIP-Energy Absorption systems, L.C.C. Slider Bearings*, CERF Report: HITEC 98-05.
- [11] Pérez R. J., Nieto J. J., Solórzano E. R., Baldo P., Tomaselli F., 2001, “Design Criteria of the Seismic Dissipation System for the Viaducts of the Caracas - Tuy Medio Railway in Venezuela”, *Proc. of Fifth World Congress on Joints, Bearings and Seismic Systems for Concrete Structure*, Rome.
- [12] Infanti, S., 1999, “Seismic protection of offshore platforms”, *Proc. of OMC 99 - Offshore Mediterranean Conference*, Ravenna, Italy.

- [13] Boeing Editor, 2000, *Technical Report "Evaluation Findings of FIP Industriale Viscous Dampers according to the HITEC testing protocol"*, Rocketdyne Division of Boeing, Canoga Park, CA, USA.
- [14] Infanti S., Castellano M.G., 2001, "Viscous Dampers: a Testing Investigation according to the HITEC Protocol", *Proceedings of Fifth World Congress on Joints, Bearings and Seismic Systems for Concrete Structures*, Rome, Italy.
- [15] Benzoni G., Seible F., 2002, "Rion-Antirion Bridge - Prototype Tests of Damper FIP OTP 350/1800." *Caltrans SRMD Test Facility Report N. 2002/01*, San Diego, CA, USA.
- [16] Infanti S., P. Papanikolas, G. Benzoni, M.G. Castellano (2004), "Rion-Antirion bridge: design and full-scale testing of the seismic protection devices", *Proc. of 13th WCEE*, Vancouver, paper no. 2174.
- [17] Infanti, S. (2001), "Seismic Protection of Seohae Bridge Approaches through Viscous Dampers", *Proceedings of IABSE Conference Cable-Supported Bridges—Challenging Technical Limits*, Seoul, Korea.
- [18] Infanti, S. H.T. Kang, M.G. Castellano (2004), "Retrofit of Bridges in Korea using Viscous Damper Technology", *Proc. of 13th WCEE*, Vancouver, paper no. 2211.