Prof. Kentaro Yamada
Emeritus of Nagoya University
Japonya

Ortotropik Çelik Tabliyelerin Yorulması Hakkında Japon Deneyimi*

Özet

Çelik yapı elemanların yorulmasını etkileyen üç ana faktör yapısal detay, gerilme aralığı değerleri ve bunlara karşı gelen yük tekrar sayılarıdır. Çelik köprülerin ortotropik tabliye levhaları oldukça karmaşık, kaynaklı detaylardan oluşmaktadır. Bunlar sık sık çok sayıda tekerlek yüklerine ve hatta ağır taşıtların aşırı tekerlek yüklerine maruz kalmaktadırlar. Bu nedenle bunlar için bir yorulma değerlendirilmesi yapılması gereklidir. Bu makalede yorulma çatlakları ile ilgili bazı sorunlarla birlikte, ortotropik çelik tabliyelerde Japon deneyimi açıklanmaktadır. Daha sonra levha eğilmesi tipinde yorulma testi akinası kullanılarak gerçekleştirilen bazı basit yorulma testlerinin yanısıra, yorulma çatlaklarını güçlendirmeye yönelik alınan önlemler ve yapılan uygulamalar tanıtılmaktadır.

Anahtar kelimeler: *Yorulma, ortotropik çelik tabliye, yorulma testi, onarım, çelik köprü*

Giriş

Ortotropik çelik tabliyeler (OÇT) betonarme tabliyelerden daha hafiftir ve atölyede kontrollü bir imalat sürecinden geçerek imal edilirler. Bu nedenle, Japonya'da çoğunlukla sadece büyük açıklıklı köprülerde değil, kentiçi yüksek karayolu viyadük köprülerinde de kullanılırlar. Yapılan bir istatistiğe göre Japonya'da ortotropik çelik tabliyeli 2600 çelik köprü bulunmaktadır. Bunlardan çoğu Tokyo, Osaka ve Nagoya bölgelerinde kentiçi yüksek karayolu viyadük köprülerini teşkil etmektedirler.

Japon standartlarına göre ortotropik çelik tabliyelerin OÇT'in tasarımında 12 mm kalınlığında tabliye levhası kullanılmaktadır. Bunlar U 320x240x6 veya 8 mm olan boyuna (köprü boyu doğrultusunda) nervürlerle rijitleştirilmişlerdir. Bu boyutlandırma şekli Honshu-Shikoku köprülerinin projelendirilmesi sırasında 1980'lerde standartlaştırılmıştır (Fukui 1978). Tabliye levhasının üstüne normalde 70 veya 80 mm kalınlığında asfalt kaplama yapılmaktadır. Başlangıçta tabliye levhası ve asfalt kaplama arasına su geçirimsiz bir tabaka konulmamaktaydı. Standart tasarım kullanıldığında, ilave yorulma tahkiki gerekmemektedir. Özel veya dikdörtgen levhalar da tabliye levhasını rijitleştirmek için kullanılmaktadır (JRA 2004).

Ortotropik çelik tabliyelerde (OÇT) ekonomi sağlamak için 1990'larda inşa edilen yeni Tomei ve Meishin Otoyolu Köprüsü' nün OÇT'de daha kalın tabliye levhası örneğin 19 mm ve ayrıca daha kalın boyuna nervürler örneğin U-440x360x8 veya 9 mm kullanılmıştır. Boyuna nervür boyutları

Bu yazı, İnşaat Mühendisleri Odası 4. Ulusal Çelik Yapılar Sempozyumu'nda sunulmuştur.

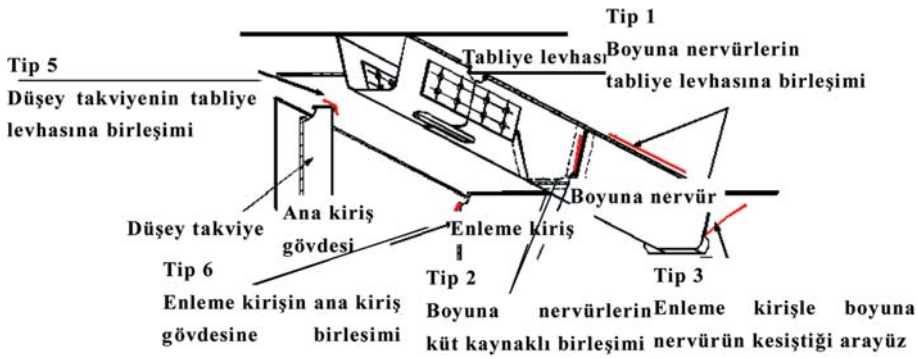
da büyük olan bu kadar kalın tabliye levhaları kullanıldığında, kaynak miktarı azaltılabilmekte ve bunun sonucunda OÇT'i ekonomik bir şekilde projelendirmek mümkün olabilmektedir (Mizuguchi 2004).

Japonya'da kamyon trafiği giderek arttığından, 1990'lardan bu yana yüksek karayolu viyadük köprülerinde çeşitli tipte yorulma çatlakları tespit edilmiştir. Yorulma çatlaklarının nedenini bulmaya ve güçlendirme önlemlerine yönelik birçok çalışma yapılmıştır (Miki 2005, Murakoshi 2007). Sabit noktalardan yükleme yapılarak ve hareket eden tekerlek yükleri altında gerçek boyuttaki modeller kullanarak yorulma testleri de yapılmıştır (Kondo 1983, Ono 2005, JSCE 1989, Kawabata 2006, etc.). Daha basitleştirilmiş yorulma testleri, yorulma çatlaklarının oluşması ve ilerlemesi ile ilgili davranışını yakından izlemek için yürütülmüştür. Bu testler ekzantrik kütleli bir motoru olan test makinaları ile yapılmıştır ve yapılan testte levhaların eğilmesi esas alınmaktadır (levha eğilmesi tipinde yorulma testi makinası), (örneğin, Ya 2008, Ya 2009, Yamada 2008, Yamada 2009).

Mevcut ortotropik tabliye levhasında ölçülerek elde edilen yorulma testi sonuçları ve gerilme aralığı değerleri ile ilgili histogramları gözönüne alınarak, tabliye levhası kalınlığı 16 mm'ye çıkarılmıştır. Böylece projelendirilen köprü mevcut kamyon trafiği ile ilgili tanımlanmış tasarım yüklerini taşıyabilmekte ve hatta ağır kamyon trafiği yüklerini de taşıması beklenmektedir.

Ortotropik Çelik Tabliyede Gözlemlenen Yorulma Çatlakları

Ortotropik çelik tabliyede önce kentiçi yüksek karayolu viyadük köprülerinde, daha sonra da ağır kamyon trafiği altındaki ana köprülerinde çeşitli tipte yorulma çatlaklarına rastlanmıştır. Şekil 1'de Japonya'da OÇT'de gözlemlenen tipik yorulma çatlakları şematik olarak gösterilmektedir (Hirabayashi 2004). Yorulma çatlaklarının köprü üzerindeki konumunu da içeren böylesine kapsamlı bir şekil veya yorulma çatlakları haritası, OÇT ortotropik çelik tabliyerin gözle muayenesine çok yardımcı olacaktır.



Şekil 1 - OÇT'de tespit edilen çeşitli yorulma çatlakları (Courtesy MEX)

Çeşitli yorulma çatlakları arasından bazıları tabliye levhası kalınlığınca ilerlemiş ve asfalt kaplamasının bozulması sonucunu doğurmuştur. Bunun sonucunda ise kaplamanın üstünde ilerleyen trafikte bazı rahatsızlıklara neden olmuştur. Tabliye levhası kalınlığınca da ilerleyen yorulma çatlakları düşey tabliye takviyelerinin üst uçlarında başlayarak ilerleyen çatlaklardır ve boyuna nervürleri tabliye levhasına bağlayan köşe kaynak dikişlerinin kökünden başlayan çatlaklardır. Boyuna nervürlerle ilgili yukarda tanımlanan yorulma çatlaklarının ikincisini dışarıdan görmek mümkün olmamaktadır.

OÇT ortotropik çelik tabliyede bakım sorununa neden olan diğer çatlaklar boyuna nervür ve tabliye levhasını birleştiren köşe kaynak dikişlerinin kalınlığı boyunca nüfus eden kaynaklardır. Bunlara boyuna nervürlerin enine kirişlerle kesiştikleri arayüzlerin yakınında veya boyuna nervürlerin ortasında rastlanmaktadır. Bir kere çatlak ilerlemeye başladığında, boyuna nervürler burulma rijitliklerini kaybetmekte ve nervürlerin tabliyeyi rijitleştirici etkisi azalmaktadır.

Boyuna nervürlerin ya atölyede, ya da şantiyede yapılan küt kaynaklı birleşimlerinde bazen yorulma çatlaklarına rastlanmaktadır. Tek taraftan ağız açılmış küt kaynaklı birleşimlerde eğer yeterli ağız açıklığı oluşturulmuşsa ve eğer kaynakçı ustaları başüstü pozisyona yönelik yeteri kadar eğitilmemişlerse, karşılama parçası (banyo altlığı) kullanımı çoğu kez kaynağın içeriye nüfuz eksikliğine neden olur. Bu nedenle boyuna nervürlerin birleşiminde normalde yüksek mukavemetli bulonlu ekler kullanılmaktadır.

Boyuna nervürlerin enleme kirişlerle kesistiği yerlerdeki kapalı kesitli detaylarda veya özel kesitli düz levhalarda bazen yorulma çatlaklarına rastlanmaktadır. Kaynak kalitesinin yanısıra, enleme kirişin shallowlu gövde yüksekliğinde oluşan kayma gerilmelerinin yorulma çatlaklarının oluşmasına neden olduğu görülmektedir (JSCE 2010).

OÇT Ortotropik Çelik Tabliyeler ile İlgili Bazı Yorulma Testleri

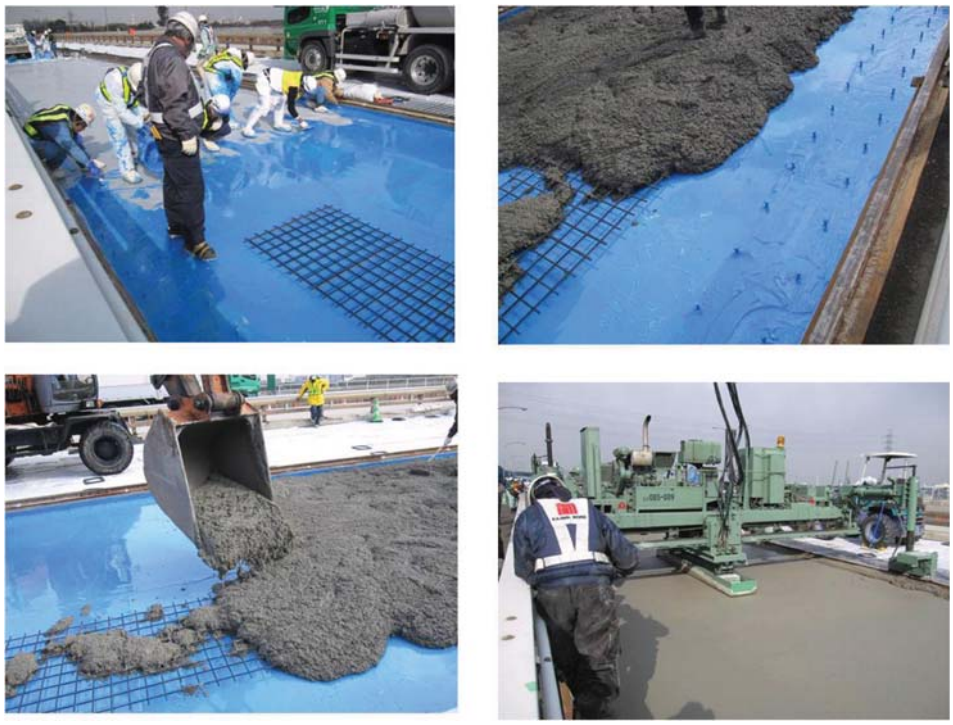
Yorulma çatlaklarının nedenini saptamak amacıyla OÇT ortotropik çelik tabliyelerde çeşitli yükleme testleri ve yorulma testleri yürütülmüştür. Bu testler gerçek boyutta numuneler ve örneğin eğilmeye çalışan boyuna nervürlü bir kiriş numunesi ve kısa boyuna nervürlü enleme kiriş numunesi gibi kesip çıkarılan numuneler kullanılarak yapılmıştır. Japon İnşaat Mühendisleri Odasında "OÇT Ortotropik Çelik Tabliyelerin Yorulması" ile ilgili kurulan bir alt komite tarafından bu bilgiler toplanıp kapsamlı bir şekilde özetlenmiştir (JSCE 2010).

Solda: Devlet Araştırm Enstitüsü Sağda: Japonya Köprü Derneği

Şekil 2 - Ortotropik çelik tabliyelerin hareketli tekerlek yükleri altında yorulma testi.

Özel bir test aleti ile hareket eden tekerlekler altında gerçekleştirilen testler, OÇT ortotropik çelik tabliyenin üzerindeki tekerlek yüklerinin ilerlemesini simüle etmektedir (örneğin Kawabata 2006) (bkz. Şekil 2). Geliştirilen bu test programları mevcut ortotrop çelik tabliyelerde gözlemlenmiş olanlara benzer yorulma çatlaklarının oluşumunu içermekte, bu durumda ortotrop çelik tabliyelerin nasıl onarılacağı ve güçlendirileceği, ayrıca ortotrop çelik tabliye ile ilgili tasarım standardında ne gibi değişikliklerin yapılacağını araştırmaktadır. Yapılan bu testler sonucunda ağır trafik yüklerine maruz olacağı tahmin edilen yol güzergahlarında yer alan köprülerde tabliye levhası kalınlığı 12 mm'den 16 mm'ye çıkarılmıştır.

Daha fazla yorulma çatlağının OÇT ortotrop çelik tabliyede oluşma olasılığını azaltmak için asfalt kaplaması yerine, bazen çelik liflerle güçlendirilmiş beton (ÇLGB) kaplama kullanılmıştır. Rijitliği daha yüksek olan ÇLGB çelik liflerle güçlendirilmiş beton kaplamalarında tekerlek yükleri altında meydana gelen gerilme aralığı ile ilgili saptanan değerler de daha az olmaktadır. Bu nedenle günümüzde ÇLGB çelik liflerle güçlendirilmiş beton kaplamaları yeni inşa edilen kentiçi yüksek karayolu viyadük köprülerinde OÇT ortotropik çelik tabliyelerin yorulma ömrünü artırmak için kullanılmaktadırlar.



Şekil 3 - Asfalt kaplamanın yerine ÇLGB uygulaması

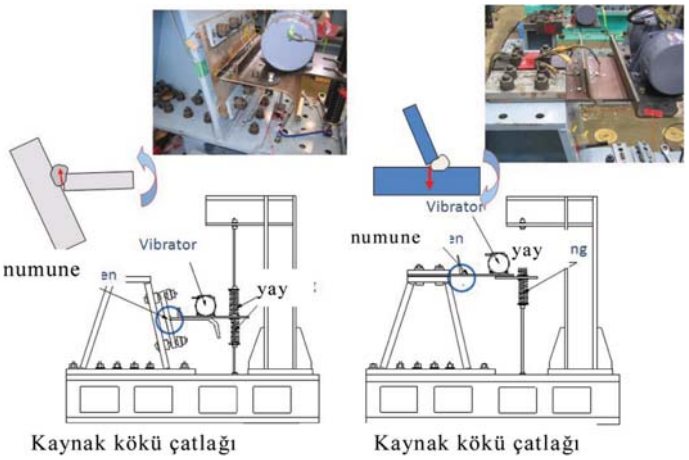
Şekil 4 - Yeni OÇT'de kısa başlı bulonlarla birlikte ÇLGB kaplama

Ortotropik Tabliye Levhalarının Levha Eğilmesi Tipinde Yorulma Testleri

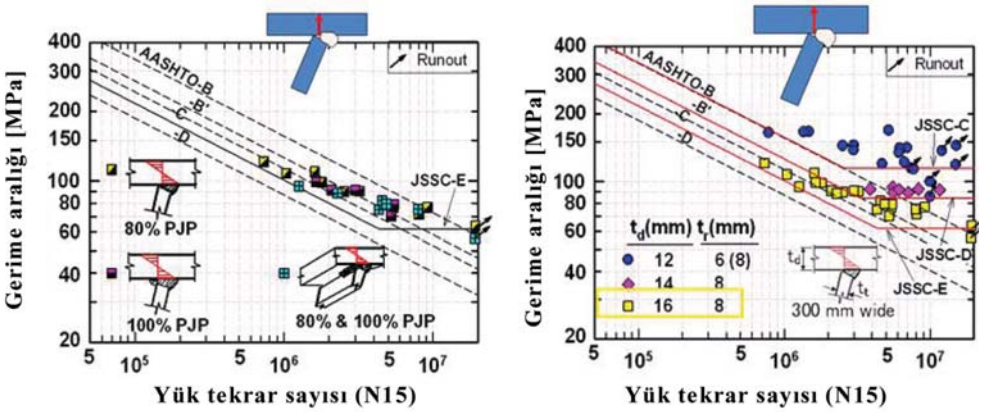
OÇT ortotropik çelik tabliye üzerinde hareket eden tekerlek yükleri tabliye levhasının eğilmesine neden olurlar. Normalde asfalt kaplama tekerlek yüklerinin tabliye levhası üzerine dağıtılmasında yardımcı olur. Asfalt kaplamanın rijitliği ortamın sıcaklığına bağlıdır. Eğer sıcaklık düşükse, örneğin 25 C dan azsa, rijitligi yüksektir. Lakin yazın asfaltın sıcaklığı 35 C u aştığında rijitlik daha azalır. Bunun sonucunda yazın tekerlek yükleri altında gerilme aralığı ile ilgili değerler artmakta ve OÇT ortotrop çelik tabliyede yorulma çatlaklarının oluşumu beklenmektedir.

Kaynakları ile birlikte tabliye levhasının yorulma çatlağı ilerlemesini gözlemlemek için Nagoya Universitesi'nde yorulma makinası ile basit levha eğilmesi (bükmesi) tipinde yorulma testleri gerçekleştirilmiştir (Ya 2008, Yamada 2008, etc.). Yorulma deneyleri için geliştirilen yorulma testi aleti basit, hızlı ve bu nedenle etkindir (bkz. Şekil 5) (Yamada 2009). Yorulma testi aleti kaynaklı birleşimi ile birlikte levha numunenin bir ucundan sabit olarak tutan bir teçhizattan oluşmaktadır. Diğer ucuna eksantrik kütleli bir motor veya piyasadan temin edilebilecek bir vibratör tespit edilmiştir. Motor dönmeye başladığında numunenin levha tipi eğilmesine neden olur ve böylece numunede çevrimsel nitelikte eğilme gerilmesi aralıkları (çevrimsel yükler altında gerilme salınımları sonucunda oluşan gerilme farkları) oluşur. Test yükleme hızı yaklaşık 20 Hz'dir, bu da klasik yorulma testi makinalarına nazaran daha hızlı yorulma testi yapmamıza olanak vermektedir. Numune üzerine birim deplasman ölçerler tespit edilmiştir ve yorulma testi süresince elde edilen bu ölçüm değerleri, buna karşı gelen gerilme aralığına çevrilmek suretiyle devamlı izlenir ve kaydedelir.

OÇT ortotropik çelik tabliyelerde kullanılan kaynaklı birleşimler de olmak üzere, çeşitli tipte kaynaklı birleşimlerle ilgili yorulma testleri levha eğilmesi tipinde yorulma testi makinası ile yürütülmüştür. Bunlar : düşey takviye uçlarını simüle eden köşe kaynaklı birleşimler, kökten itibaren yorulma çatlağının başlangıcını ve ilerlemesini simüle eden köşe kaynaklı birleşimler (Ya 2008) ve köşe kaynak dikişini baştan başa kateden yorulma çatlağının bulunduğu köşe kaynak dikişleri (Ya 2009). Şekil 6'da yorulma testi sonuçları ile ilgili bir örnek S - N diyagramı üzerinde gösterilmektedir (S: gerilme aralığı; N: yük tekrar sayısı)



Şekil 5 - Ortotrop tabliye levhasındaki kaynaklı birleşimlerin yorulmatestleri için kullanılan levha eğilmesi tipinde yorulma testi makinası



(Not : runout : sonsuz yorulma ömrü)

Şekil 6 - Farklı kalınlıklı tabliye levhasında tabliye kalınlığı boyunca oluşan çatlaklara ve nüfuziyetlerine yönelik yorulma testi sonuçları ile ilgili örnek

OÇT'deki Yorulma Çatlaklarının Nedeni ile ilgili Araştırma

Kaynaklı birleşimlerde yorulmayı etkileyen üç önemli faktör yapısal detay, gerilme aralığı ve buna karşı gelen yük tekrar sayısıdır. OÇT'de oluşan yorulma çatlaklarının nedenini sorgulamak için bu üç faktörle ilgili bilgileri araştırmak önemlidir. Lakin OÇT'nin tekerlek yükleri altında davranışı oldukça karmaşıktır.

Gerilme ölçümleri, gerilme aralığı ve buna karşı gelen yük tekrar sayısını belirlemek için yapılır. İlgilenen noktalara birim deplasman ölçerler tespit edilir ve test kamyonun bilinen tekerlek yükleri altında oluşan birim deplasman dalgaları / dalgalanmaları / salınımları incelenir. Birim deplasman histogramları, diğer bir deyimle servis yükleri altında gerilme aralıkları ve buna karşı gelen yük tekrar sayısı, yorulma ömrünü değerlendirmede kullanılmak üzere kaydedilir. Tekerlek yükleri altında OÇT'nin reaksiyonu oldukça karmaşık olduğundan, yaşlanma veya yorulma ömrü ile ilgili değerlendirmelerde modeli basitleştirmek önemlidir. Dahası servis koşullarında birim deplasman ölçümleri OÇT'nin sadece alt tarafında yapılabilir, bu nedenle ilgilenen noktada, örneğin kaynak kökü veya kaynak kenarında birim deplasmanı belirlemek gereklidir. Kaynak kökleri ve kaynak kenarlarından uzakta ölçülen birim deplasmanlar ile yorulma ömrü değerlendirmeleri için, ilgilenen noktada hesaplanması arzulanan birim deplasmalar arasındaki ilişkiye yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Ya, et al. (2009).

Sonlu eleman analizleri kullanılarak yorulma çatlaklarının nedeni araştırılmıştır. Eğer ilgilenilen nokta belli ise, çeşitli tekerlek ağırlıkları ve ilerleyen dingil yükleri altında oluşan gerilme salınımları ve bunlara karşı gelen gerilme aralığı değerleri hesaplanmaktadır. Eşdeğer gerilme aralığı ve buna karşı gelen yük tekrar sayısını bulmak için, örneğin Iwasaki ve diğ. (1997) tarafından hesaplandığı gibi basitleştirmeler yapmak da mümkündür.

Gerilme aralıkları tekerlek yüklerinin OÇT üzerinde hareket etmesi nedeniyle oluştuğundan, OÇT'nin yorulma ömrünü aşırı yüklenmiş kamyonların tekerlek yükleri çok etkilemektedir. Hareket eden yük sistemi yardımıyla dingil yükleri izlenmektedir. Bu sistem Japonya'da ana otoyolun her şeridine tespit edilmiştir. Hareket eden yük köprüsü şeklinde ölçüm sistemleri de geliştirilmiştir. Burada ölçmeler için kullanılan köprü ölçüm elemanları brüt araç ağırlığı veya dingil ağırlığını ölçmek için bir ölçek olarak kullanılmaktadır (örneğin Ojio 1998, 2003, Xiao 2006). Her ne kadar Japonya'daki taşıt tekerlek yükleri için yasal sınır 10 ton da olsa, 16 ton'luk dingil yükleri Japonya'daki ana otoyollarda sıkça gözlemlenmektedir. Kaynaklı elemanların yorulma ömrünü ele aldığımızda, gerilme aralıklarındaki artış yorulma ömrünü ters şekilde ve üstel üç misli olarak etkilemektedir, diğer bir deyimle azaltmaktadır. Bu durumda örneğin eğer gerilme aralığı değeri iki misli artmışsa, yorulma ömrü sekizde bir azalmış demektir.

Şekil 7 - Birim deformasyon ölçer ve birim deformasyonu kontrol eden alet kullanılarak OÇT'de gerilme ölçümü ile ilgili örnek

OÇT'deki Yorulma Çatlaklarının Onarımı ve İyileştirmesine Yönelik Planlar

Japonya'da OÇT'de yorulma çatlakları tespit edildiğinde, geçmişte birçok iyileştirici önlemler alınmış ve uygulamalar yapılmıştır. Bunlar aşağıda açıklanmaktadır:

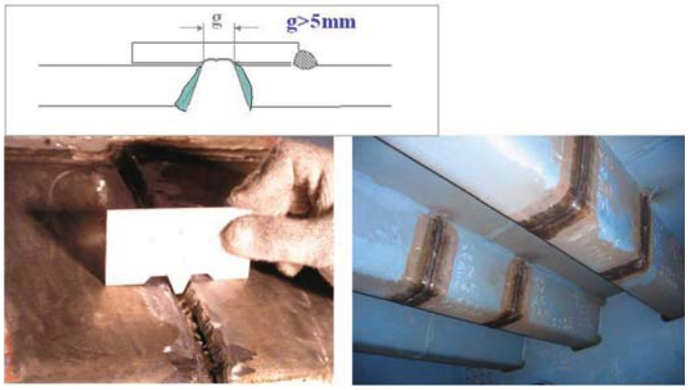
1) Çatlamış eleman değiştirilmekte ve yüksek mukavemetli bulonlarla teşkil edilen eklerle güçlendirilmektedir. Yorulma çatlağının yerine ve çatlağın ilerleme davranışına bağlı olarak, çatlağın bulunduğu eleman değiştirilmekte veya elemanlar yüksek mukavemetli bulonlarla teşkil edilen eklerle güçlendirilmektedir. Şekil 8'de çatlamış tabliye levhasını güçlendirmek için yüksek mukavemetli bulonlar kullanılarak teşkil edilen bir ek örneği görülmektedir.

Şekil 8 - Değiştirme ve yüksek mukavemetli bulonlarla teşkil edilen eklerle güçlendirme

2) Asfalt kaplama değiştirilmek suretiyle, yerine çelik lifle güçlendirilmiş betonarme kaplama kullanarak OÇT'deki elemanların hareket eden tekerlek yükleri altında oluşan gerilme aralığı değerlerini azaltmak. Daha önce de değinildiği gibi, asfalt kaplama tekerlek yüklerini tabliye levhasına etkin bir şekilde dağıtır, lakin yaz mevsimi süresince ortam sıcaklığı yüksek olduğunda bu dağıtım etkin değildir. Çelik lifli betonarme kaplama (ÇLBK)'nın rijitliği asfalt kaplamanınkinden büyüktür. Bu nedenle çatlamış OÇT'nin güçlendirilmesinde sıkça kullanılmaktadır.

   Bu güçlendirme yapıldığında, tekerlek yükleri altında oluşan gerilme aralıklarının değeri oldukça azalmaktadır. İyileştirme için kullanılacaksa ÇLBK çelik tabliyeye yapıştırılır. Tabliye levhasına kaynaklanan başlı kısa bulonlar da Şekil 4'de görüldüğü gibi yeni projelendirilen OÇT' de kullanılmaktadırlar.

3) Çatlamış kaynaklı birleşimlerin kaynak yaparak onarılması. Kaynakların mevcut durumdaki kalitesinden şüphelenildiğinde, yorulma çatlaklarının normalde kaynakla onarımından kaçınılır. Lakin eğer çatlağın nedeni iyi anlaşılmışsa ve kaynak kalitesi ve bunun yorulma ömrü iyi olarak garanti edilmişse, bu durumda bazen kaynak çekilerek çatlamış elemanların onarımı yapılır. Böyle bir örnek Şekil 9'da görülmektedir. Burada boyuna nervürlerin karşılama parçası kullanılarak yapılan küt kaynaklı birleşimlerinde nüfuziyet eksikliği bulunmuştur. Bu nedenle yeterli kaynak ağzı elde etmek için ark üflemesinden sonra, örneğin nüfuziyet eksikliği bırakmayaracak şekilde tam nüfuziyetli küt kaynak elde etmek için 5 mm'den daha fazla kalınlıkta kaynağı tekrar yapmaya karar verilmiştir.



Şekil 9 - Ark üflemesinden sonra burulma rijitlikli boyuna nervürlerin küt kaynaklı birleşimlerinin tekrar kaynaklanması

Şekil 10 - Yorulma açısından kritik bölgeyi yarım daire şekilde oyarak gerilme yığılmasını azaltmak ve yorulma çatlağı ilerlemesini durdurmak

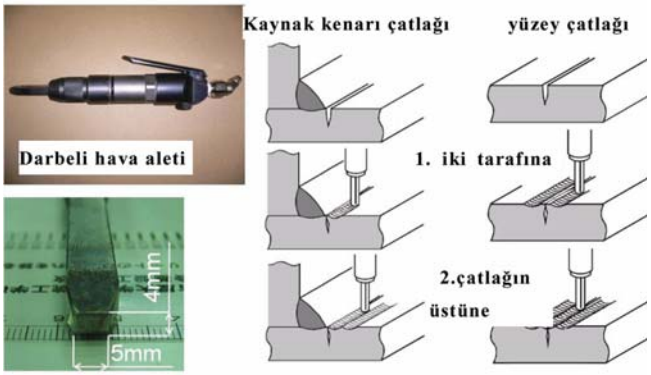
4) Yorulma açısından kritik bölgedeki gerilme yığılmalarını azaltmak için dairesel delik açma. Buna örnek sandık kesitli kiriş gövdesinde yer alan düşey takviyelerin üst ucunda bulunmaktadır. Düşey takviyenin üst ucu çoğunlukla tabliye levhasına kaynaklanmakta idi. Eğer çelik detaylar tekerleğin hareket ettiği pozisyonun yakınında ise, yorulma çatlaklarına sıkça rastlanmıştır. Düşey takviyenin üst ucunun yakınında, örneğin 50 mm çapında yarı daire bir delik açıldığında, yorulma açısından kritik bölgede gerilme aralığı değerleri düşmektedir ve böylece daha fazla yorulma çatlağı oluşmasını engellemektedir. Şekil 10'da görüldüğü gibi, eğer yorulma çatlağı küçük ise, yorulma çatlağını durdurmak veya yorulma çatlağının ilerlemesini azaltmak da etkin bir yöntem olarak kullanılmıştır.

Darbeli Çatlak Kapama Onarımı ile Güçlendirme veya DÇOG Uygulaması

DÇOG uygulaması olarak adlandırılan bir güçlendirme yöntemi son yıllarda Nagoya Üniversitesi'nde geliştirilmiştir. Bu yöntemde bir hava aleti kullanılmaktadır, örneğin çelik atölyelerinde yaygın olarak kullanılan flux tipper denilen aletle Şekil 11'de görüldüğü gibi, çatlağın kapanması için yorulma çatlağı yakınına darbeyle vurulur. Yorulma çatlağı kapandığında ve uygulanan gerilme nedeniyle açılmayacak şekilde kapandığında, yorulma çatlağının ilerlemesi ya durmakta, ya da giderek azalmaktadır.

Bu davranışı yakından irdelemek amacıyla birçok kaynaklı birleşim detayında yorulma testleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 12'de buna bir örnek görülmektedir. Burada DÇOG uygulaması, eğilme ile ilgili yapılan testte guse levhası olan numunenin düzlemi dışına yapılmıştır. Kaynaklı numuneler ile karşılaştırıldıklarında, DÇOG uygulamasının yapıldığı numunelerin 10 milyon yük tekrar sayısından da daha fazla ömre sahip oldukları görülmüştür. Bu da DÇOG uygulamasının çekilmiş köşe kaynağı kenarının yorulma dayanımını geliştirmede kullanılabileceğini göstermektedir.

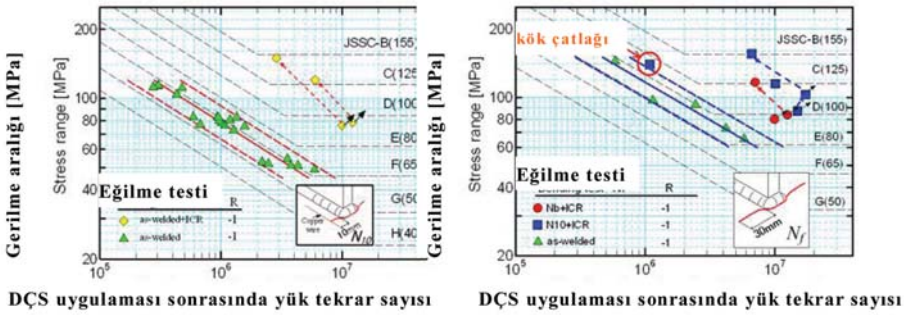
Eğer DÇOG uygulaması guse levhalarının uçlarındaki yorulma çatlaklarına yapıldığında, yorulma ömrüne yönelik de gelişme kaydedilmektedir. Örneğin eğer DÇOG uygulaması çepeçevre köşe kaynak dikişinin kaynak kenarında oluşan yorulma çatlağında, yani Nb'de oluşan yorulma çatlağında yürütülmüşse, ilave yüklemelerle ulaşılan on milyon yük tekrar sayısından sonra bile yorulma çatlağının daha fazla ilerlemesi gözlemlenmemiştir. N10'daki çatlağa, yani köşe kaynak dikişinden itibaren yaklaşık 10 mm ilerlemiş olan ve çatlak boyutu yaklaşık 44 mm olanlara da DÇOG uygulaması yapıldığında aynı şey gözlenmiştir. Yorulma çatlağı yüzeyinin kapanması çatlağın daha fazla ilerlemesini önlemekte ve bu nedenle bu yöntem, üzerinde yorulma çatlakları bulunan elemanların güçlendirilmesinde kullanılabilir.



Şekil 11 - DÇOG uygulaması kavramı ve bunun için kullanılan darbeli hava aleti

DÇOG uygulaması sandık kesitli kirişlerdeki düşey takviyelerin ucunda yorulma çatlaklarının meyda-

na geldiği mevcut birçok köprüde yapılmıştır. Öte yandan, her güçlendirme çalışması yapıldıktan sonra, yapılan bu güçlendirme veya onarımın etkinliğini irdelemek için çoğunlukla ve de sık sık gerilme ölçümlerinin yapılması tavsiye edilmektedir.



a) Yorulma ömrünün tahkiki b)Nb ve N1 tipi yorulma çatlağının onarımı

Şekil 12 - Kaynaklı ve çatlamış durumunda guse levhasının düzlemi dışına DÇOG uygulamasının etkisi

Özet

Çelik köprülerin ortotropik çelik tabliyeleri (OÇT) beton tabliyelere nazaran daha avantajlıdır, bunlardan biri örneğin daha hafif olmasıdır. Bu tip tabliyeler 1960'lardan beri Japonya'da sadece büyük açıklıklı asma köprüler ve kablo askılı köprülerde değil, kentiçi yüksek karayolu viyadük köprülerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır.

OÇT'e direkt olarak tekerlek yükleri etkidiğinde, tekerlek yükleri ve buna karşı gelen yük tekrar sayıları arttığında OÇT'de yorulma çatlaklarının oluşumu beklenebilir. 1980'lerden beri kentiçi yüksek karayolu viyadük köprüleri ve oldukça ağır kamyon trafiğini taşıyan ana otoyollar üzerinde yer alan köprülerin OÇT'de çeşitli yorulma çatlakları gözlemlenmiştir. Yasal olmayan şekilde ağır yüklü kamyonlar bu eğilimi hızlandırmaktadır.

Yorulma çatlaklarının nedenine ulaşmak, aynı tipte yorulma çatlağını oluşturmak, makul bir güçlendirme yöntemi belirlemek ve standartta yer alan mevcut tasarım kurallarını değiştirmek için araştırmalar yapılmıştır. Servis yükleri altında mevcut standart ortotropik çelik tabliyelerin ömrünü değerlendirmek için gerilme ölçümleri yapılmıştır.

Tekerlek yükleri altında oluşan eğilme sırasında tabliye levhasının davranışını simüle edecek levha eğilmesi tipinde yorulma testlerinin yapıldığı yerde basitleştirilmiş yorulma testleri de yürütülmüştür. S gerilme aralığı ve N yük tekrar sayısı olmak üzere, kaynaklı detaylarla ilgili S - N eğrileri, mevcut ortotrop çelik tabliyelerin yorulma ömrünü değerlendirmede, kaydedilen gerilme aralığı ile ilgili histogramlarla birlikte, ve ayrıca Miner Kuralı'ndan da yararlanarak kullanılabilir.

Mevcut ortotropik çelik tabliyelerde gözlemlenen yorulma çatlakları onarılmış ve çeşitli yöntemlerle güçlendirilmiştir. Japonya'da genelde çatlamış eleman değiştirilmekte ve yüksek mukavemetli bulon kullanılmak suretiyle oluşturulan eklerle güçlendirilme yapılmaktadır. Şantiyede yapılan kaynak dikişinde yeterli kaynak kalitesinin elde edilmesi güç olduğundan, normalde kaynaklı onarımdan kaçınılmaktadır. Eğer çatlağın nedeni iyi anlaşılmışsa, kaynak kalitesi yeterliyse ve yorulma değerlendirmesi sonucu yeterli miktarda uzun bir ömür ortaya çıkmışsa, kaynakla onarım makul olabilir.

İlgili çelik detaya ve gerilme aralığı durumuna bağlı olarak daha basit güçlendirme yöntemi, ortotrop çelik tabliyedeki yorulma çatlağının oluşmasını engellemekte kullanılabilir. Yapılan örneklerde yorulma çatlağı açısından kritik bölgelerde gerilme yığılmasını azaltmak için yarım daire şeklinde delik açılmaktadır veya DÇOG uygulaması yapılarak yorulma dayanımı tahkik edilmekte veya yorulma çatlağının yüzeyi kapatılarak, yorulma çatlağının bulunduğu kaynak dikişi kenarı güçlendirilmektedir.

Teşekkür

1980'den beri Nagoya Üniversitesi'nde ortotropik çelik tabliyelerin yorulması ile ilgili araştırma çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Daha önceki lisans öğrencilerime ve meslekdaşlarıma çeşitli aşamalardaki araştırmalara katkılarından dolayı teşekkür ederim. Çeşitli organizasyonlar, özellikle Nagoya Ekspres Karayolu yetkililerine ve Milli Eğitim, Bilim, Kültür ve Spor Bakanlığı'na bize verdikleri mali destekler nedeniyle müteşekkirim.