

Panteon: Hâlâ Dünyanın En Büyük Donatısız Beton Kubbesi



Roma'da kilise olarak kullanılan Panteon, tüm tanrılar için bir tapınak olarak inşa edildi. Rönesans'tan bu yana mimarlar için de neredeyse bir tapınak olmuştur. Aynı zamanda, onu inşa eden antik Roma duvar ustalarının ve mühendislerinin becerilerine ve beton karışımlarının inanılmaz simyasına layık bir övgü niteliğindedir.

The Pantheon still the world's largest unreinforced concrete dome

The Pantheon in Rome, now a church, was built as a temple to all the gods. It has been a shrine for architects since the Renaissance.

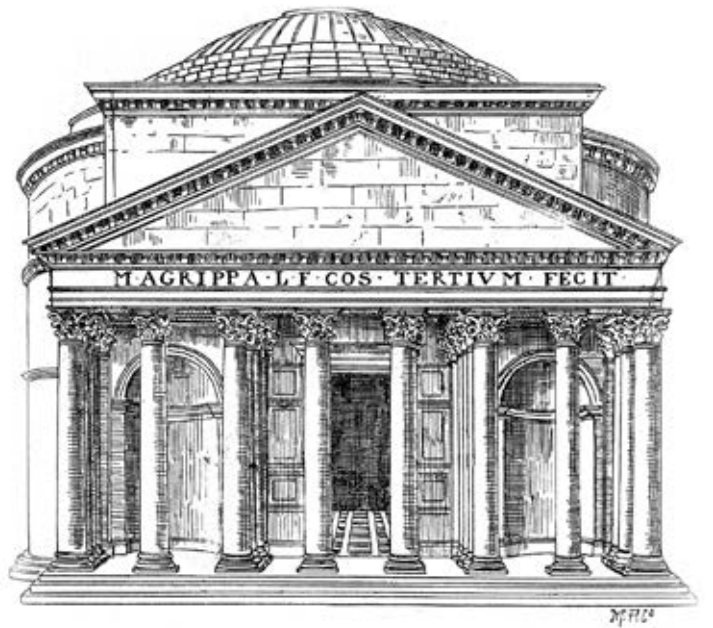
It is also a worthy tribute to the skills of the ancient Roman masons and engineers who built it and the incredible alchemy of their concrete mix.

If there Was a competition to find the most durable and beautiful concrete structure ever built, the

Pantheon in Rome would most surely win the prize. It also stands as a monument to the genius of Roman concrete.

inşasına kadar rakipsiz ve hâlâ desteksiz betonla yapılmış en büyük kubbe özelliğini taşımaktadır.

ABD'deki Rochester Üniversitesi Arkeoloji, Teknoloji ve Tarihi Yapılar Programı Direktörü ve Makine Mühendisliği Profesörü Renato Perucchio, "Bu kadar ustalıklı bir yapı inşa etme ve 19. yüzyıldan fazla bir süredir herhangi bir yapısal destek olmaksızın yapı direncine sahip olması, tek kelimeyle olağanüstü." diyor.



1 a. Fassade des römischen Pantheon [S. 323].

Peki, Romalılar bunu nasıl yaptı, beton reçetelerinin sırları nelerdi ve bugün mimarlar ve inşaat mühendisleri bu yapıdan ne gibi dersler çıkarabilirler?

Her inşaatçının bildiği gibi, temel her şeydir. Panteon'un dik-kat çekici yapısının en çok gözden kaçan yönlerinden biri ünlü kubbesinin altında yatıyor. Roma, İtalya'nın başlıca sismik bölgelerinden birinde olmamasına rağmen yaşanan depremler var. Birçok tarihçi, sismik aktivitenin Kolezyum'a zarar verdiğine inanıyor. Dahası, 19. yüzyılın sonlarında Tiber Nehri'nin taşmasıyla büyük sellere de maruz kaldı.

Panteon'un temelleri, başlangıçta 4,7 m derinliğinde ve 7,3 m kalınlığında betondan yapılmıştı, ancak zeminin bataklık ve killi olması nedeniyle inşaat sırasında çatladı. Archeoroma web sitesine göre, oluşan durumdan dolayı orijinal çevrenin üç metre ötesine uzanan ikinci bir takviye halkası inşa edildi. Bitişikteki Neptün Bazilikası'na bağlanan binanın güneyinde de kalın payanda duvarları inşa edilerek, her iki ucundaki kuvvetler ve ağırlıklar dengelenip yapının stabilize olduğundan bahsediliyor.

Betonu Romalılar icat etmedi. Panteon inşa edilmeden yüzlerce yıl önce biliniyordu.

İlginç bir şekilde betonun geçmişi bugün güney Suriye ve kuzey Ürdün olan toprakların Nabatean Bedevi kabilelerine kadar gidiyor ve bu kabileler MÖ 700 civarında gizli yer altı su sarnıçları yapmak için beton kullanıyordu.

Romalıların izlediği temel beton tarifi, Romalı mimar Vitruvius'un Panteon'un inşasından 100 yıl önce yayınlanan "De Architectura" kitabında bulunabilir. Kitabında Napoli yakınlarında bulunan bir tür volkanik kül olan puzolan kumunun kireçle karıştırılmasından nasıl beton yapılacağını anlatmıştır.

Betona farklı yoğunluklar vermek için çeşitli agregalar kullanıldı. Traverten kireç taşı, Panteon'un temellerine metre küp başına 2.200 kg'lık bir yoğunluk verirken, kubbe için daha hafif kaya seçilmiştir.

Silislili ve alüminli malzemelerden yapılan puzolanlar, çok az bağlayıcılık değerine sahip veya hiç yoktur, ancak su ile karıştırıldığında, normal sıcaklıkta kalsiyum hidroksit ile kimyasal olarak reaksiyona girerek çimentolu bileşikler oluşturur.

Kubbe dayanıklılığının temelini oluşturan ve bugün kullanılan çelik gergi çubukları olmadan iki bin yıl hayatta kalmasını sağ-

layan, bu malzemenin kimyasıydı.

Gerçekten de Romalılar, yapı ne kadar büyükse o kadar güçlü olduğunu anladılar, çünkü betonu basınç altında tutmanın en basit yolu, üzerine daha fazla beton gibi ağır şeyler koymaktır.

Bu fizik hilesi hâlâ kullanılmaktadır. Birçok beton baraj gövdesi, suya dayanmak için kendi ağırlıklarına ve geometrilerine dayanan yer çekimi veya kemer yapıları kullanırlar.

Bununla birlikte, kubbenin dairesel yapısı, antik mühendislerinin beton tavanını yapmaya başlamadan önce, ağırlığı mer-

kezden uzağa nasıl yönlendireceklerini bulmaları gerektiği anlamına geliyordu. Bunu yapmasalardı ve onu yerinde tutan ahşap yapıyı çıkarsalardı, kubbeyi yapmak için kullanılan 3.000 tonluk beton dışarı doğru yıkılacak ve tüm yapı kendi ağırlığı altında çökecekti.

Böyle bir çerçeveyi desteklemek için kullanılan yapı iskelesi türü bile hâlâ tartışılmaktadır. Perucchio, "Bu ağırlıkta bir yapıyı tutan iskele tasarımını düşünün." diyor. "Onlar (Eski Romalılar), daha önce hiçbir kültürün geliştirmedikleri bir şekilde ahşap çerçeve kullanma konusunda yüksek bir ustalığa sahipti."

Bugün betondan yapı inşa ettiğimizde, betondaki gerilimlerin yarısını alan bir çelik gergi çubuğunu kullanıyoruz. Romalılar, eski beton tariflerini ve yoğun karışımı bugün yapıldığı gibi dökmek yerine kalıplara ve duvarlara sıkıştıran çok sayıda yetenekli işçilerin emeğini kullandılar.

Kubbeyi inşa etmek için Romalı inşaatçılar, tavanın temeli olarak işlev görecek, kubbe

şeklinde altı metre kalınlığında bir duvar olan sağlam bir temel inşa ettiler. Daha sonra kubbenin kendisini desteklemek için her iki taraftaki dikey duvarları kullandılar.

Tavan tepe noktasına doğru yükseldikçe, usta işçiler giderek daha hafif olan agregalar malzemelerini betona karıştırdılar.

Farklı ağırlıklarda agregalar kullanma prensibi, tabanda kullanılan ağır travertenden kubbenin tepesine kadar gitmektedir.

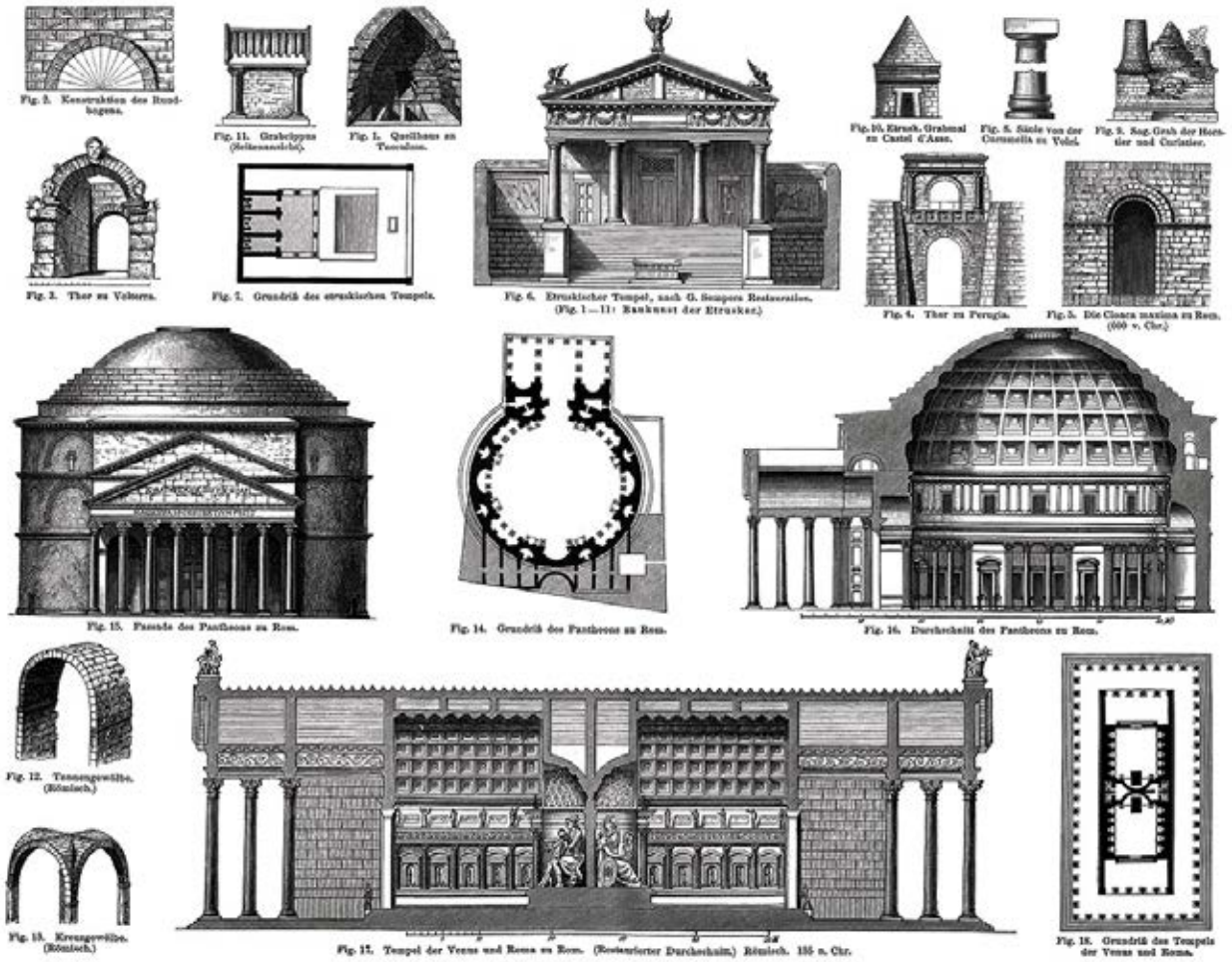
Oklahoma Eyalet Üniversitesi İnşaat ve Çevre Mühendisliği Başkanı Norbert Delatte, "İçeriden öyle görünmüyor ama dışarıdan çok kalın bir kubbe, ancak nispeten hafif" diyor.

Bazı bölgelerde, eski inşaatçılar ağırlığı kontrol etmek için karışımı amphora adı verilen küçük kil vazolarda karıştırdılar.

Commissioned by Hadrian (who was emperor 117-138 CE) as a temple to all the gods, the Pantheon replaced Agrippa's earlier temple following a fire. It is still the most visited site in Italy, having weathered centuries of tourists, floods, wars and earthquakes.

Its huge concrete dome - 43.4m in diameter and 21.75m high - was unrivalled in size until the building of Florence Cathedral in the 1400s, and is still the largest ever made with unsupported concrete.

"The mastery of building something so daring and having the structure resist essentially without any structural support for more than 19 centuries is simply extraordinary," says Renato Perucchio, professor of mechanical engineering and director of the Archaeology, Technology, and Historical Structures Programme at the University of Rochester in the US.



Üst kubbe bölgesini yapmak için kullanılan beton agregası, Roma'nın kuzeyinde bol miktarda bulunan hafif tuf katmanlarından ve bugün pürüzlü cildi törpülemek için kullandığımız malzeme olan pomza taşından oluşur. Kubbenin tepesindeki betonun yoğunluğu metreküp başına sadece 1.350 kg'dı.

Tavanı daha da hafifletmek için, kasa adı verilen gömme beton gofret benzeri panel tuğlalar kalıplandı ve bu tuğlardan beş kat iç tavanı oluşturuldu. Büyük olasılıkla ahşap veya demirden yapılmış bir tür tokmak kullanarak beton kalıplara döküldü.

Bu, estetik açıdan, kubbenin kendisi için gereken beton miktarını azaltırken, bir alanının dekore edilmesine izin verdikleri anlamına geliyor.

En tepede, Panteon'u taçlandıran ihtişamı ve ışığın içeri girmesine izin veren 7,8 m çapındaki açık bir göz bulunuyor. Bugün hâlâ merak uyandıran göze bakıldığında kubbenin tepesinin havadan da hafif malzemeden yapıldığı anlamına geliyordu. Dünyanın her yerindeki mühendisler, daha uzun ömürlü binalar yapmak amacıyla bugün yeniden üretilip üre-

tilemeyeceğini görmek için Roma betonunun kimyasal özelliklerine bakıyorlar. Temel bileşenler Vitruvius tarafından belirlenmiş olmasına rağmen, modern ölçüm teknolojileri, sadece küçük malzeme numunelerinden kesin kimyasal özelliklerin tespit edilmesini kolaylaştırıyor.

Yine de mühendisliğin akılcı kullanımı ve benzersiz Roma beton malzemesi, tüm tanrılara adanmış bu kalıcı tapınağın bugün hâlâ hayranlık uyandırmak için orada olmasının tek nedeni değildir. Dayanma gücünde tarih de rol oynadı. Muhtemelen uzun kaderini en çok sağlayan olay, inşa edildikten yaklaşık 400 yıl sonra, MS 609'da gerçekleşti.

Doğudaki Bizans İmparatoru Phocas, Panteon'u Roma'daki Katolik Kilisesi'ne verdi. Vatikan, o zamandan beri burayı bir ibadet yeri olarak kullanırken, heybetli yapısı aynı zamanda dünyanın her yerindeki mimarlar ve mühendisler için adeta bir tapınak olarak hizmet vermeye devam ediyor.

Kaynak: <https://eandt.theiet.org/content/articles/2022/03/the-pantheon-still-the-world-s-largest-reinforced-concrete-dome/>

Birleşik Krallık'taki Kalıcı Beton Bariyer Sistemi

Birleşik Krallık, 2005'ten bu yana çelik bariyerleri betonla değiştiriyor. Yol güvenliğinin en üst düzeyde olduğu düşünülürse, betonun her metresinin performans gösterebilmesi için kalıcı olması zorunludur.



Wirtgen SP 25i esnek kayar kalıplı finişer, gömme ve ofset asfaltlama uygulamaları için tasarlanmıştır. İngiltere merkezli beton müteahhidi Extrudakerb, Extrudakerb Beton Bariyer sisteminin yerleştirilmesinde bunu kullanıyor.

Sürücüler arkasındaki mühendisliği anlasalar da anlamasalar da çoğu insanın çelik bariyer sistemini tanıyabileceğini söylemek doğru olur. Genellikle giriş ve çıkış rampalarımız için her zaman hazır bulunan korumalar olarak kullanılırlar, otoyol güvenlik sisteminin ana dişlilerinden biridir.

GCP & Wirtgen Help Keep Concrete Consistent for U.K. Concrete Barrier System

The U.K. has been replacing steel barriers with concrete since 2005. With road safety paramount, it is imperative that concrete is consistent to make sure every meter of concrete can perform.

Ocak 2005'te, ülkenin yol ağı altyapı iyileştirme çabasıyla, İngiltere'nin Ulusal Karayolları kurumu (National Highways), Akıllı Otoyol Şemalarını dağıtarak tüm kullanım ömrü dolmuş çelik bariyer sistemlerini betonla değiştirmeye karar verdi.

Çelik ve beton bariyerin arasındaki temel faktörler teknik şemalar ile karşılaştırdığında, beton seçeneğinin daha güvenli bir alternatif olduğunu, daha uzun bir tasarım ömrü sunduğunu, daha az bakım gerektirdiğini ve çarpma sonrasında onarıma daha az ihtiyaç duyduğunu belirlediler. Toplu ola-

rak, bu faktörler maliyetin düşürülmesine, trafik akışının iyileştirilmesine katkıda bulundu ve bakım şeridi kapatma ihtiyacını sınırlayarak genel güvenliği büyük ölçüde arttırdı.

Mart 2022'de National Highways'ın iyileştirilmelerini denetleyen Paul Unwin şunları söyledi: "Bizim önceliğimiz güvenlik. Bariyerlerdeki bu değişiklik yolu iyileştirerek, bir anayoldan diğerine geçen araçların güvenliği artırıp, trafik yoğunluğunu azaltacaktır. Ülkenin en yoğun otoyolları arasında yer alan ve her gün yüzbinlerce insanın güvenerek kullandığı bu otoyollarda güvenlik iyileştirmeleri yapmaya devam edeceğiz."

The Wirtgen SP 25i flexible slipform paver was designed for inset and offset paving applications. U.K.-based concrete contractor Extrudakerb utilizes it and GCP's Verifi in the placement of its Extrudakerb Concrete Barrier system.

Whether drivers understand the engineering behind it or not, it is fair to say that most people would be able to recognize the steel barrier system. Often posted as ever-present guards for our on and off-ramps, they are one of the main cogs of the highway safety system.

Betonun kıvamı genellikle nakliye sırasında değişir, bu nedenle betonun amacına uygun olarak şantiyeye teslim edildiğinden emin olmak ve sürecin doğru yönetilmesi çok önemlidir.

Doğru bir yönetim sistemi olmadan, sahadaki karışıma yönelik herhangi bir düzeltme, saha operatörlerinin deneyim ve uzmanlığına bağlıdır. Yürürlükteki bir yönetim sistemiyle, yükleniciler dökülmekte olan betonun kalitesi hakkında eyleme geçirilebilir ve kaydedilebilir veriler sağlanarak, zaman gecikmelerine, artan maliyetlere ve atık malzemeye neden olma potansiyeline sahip manuel saha ayarlamaları büyük ölçüde azaltılır.



Extrudakerb Beton Bariyer sistemi, proje gereksinimlerine ve bitişik çalışmalara uyacak şekilde gömme veya yekpare olarak kurulabilir.

Bu süre zarfında kayar kalıplı beton müteahhidi Extrudakerb (Maltby Engineering Ltd), kendi tescilli beton bariyer sisteminin tasarımına ve geliştirilmesine başladı. Başlangıçta Extrudakerb, Britpave Barrier Systems Ltd.'nin lisanslı bir kurulumcusu olarak çalışıyordu. 2018'de kendi beton bariyer sistemini tasarlamaya ve geliştirmeye karar verdi. Bu amaç doğrultusunda Extrudakerb Beton Bariyer (ECB) sistemi oluşturuldu.

Tüm kayar kalıp ürünlerinde olduğu gibi sistem, kaliteli beton üretimini sağlamak için dikkatli bir yönetim ve teslimat gerektiriyor. Üretimden nakliye ve yerleştirmeye kadar tüm süreçler ve uygulamalar dikkatle ele alınmalıdır.



Wirtgen SP 25i, standart yüksekliklerde veya standart genişliklerde büyük ofset beton profilleri dökme kapasitesine sahiptir. Ofset kalıplar sol veya sağ tarafa monte edilebilir.

Extrudakerb için uygun maliyetli ve verimli bir sistem sağlamak için beton kalıcılığı çok önemlidir. Bunu başarmak için Extrudakerb, beton karışım tasarımlarını buna göre uyarlamalarına ve bunu GCP'nin Verifi sistemi yardımıyla yönetmelerine olanak tanımak için tüm olası kısıtlamaların dikkate alınmasını sağlar.

In January 2005, in an effort to improve the country's road network infrastructure, England's National Highways agency committed to replacing all life expired steel barrier systems with concrete through the delivery of their Smart Motorway Schemes.

When the schemes compared key factors between the concrete barrier and its steel counterpart, they determined that the concrete option was a safer alternative, offering a longer design life, requiring less maintenance, and less likely to need repair after impact. Collectively, these factors contributed to cost reduction, improved traffic flow and limited the need for maintenance lane closures - greatly improving overall safety.

In March 2022, National Highways' Paul Unwin, who is overseeing the upgrades for National Highways, said: "Safety is our top priority. Upgrading these barriers will improve journeys and significantly reduce the risk of vehicles crossing over from one carriageway to another, improving safety and reducing the duration of incident-related congestion."

Extrudakerb'de Malzeme ve Beton Teknolojisi Müdürü Adrian Pickard AMICT, "Beton kalıcılığı, elde edilebilecek maksimum verimlilik ve çıktılara izin veren yüksek kaliteli bir ürünün sürdürülmesinde kritik öneme sahiptir." diyor. Gerekli özellikleri sağladıklarından emin olarak, GCP'nin VERIFI beton yönetim sistemine yatırım yapıldı. Bu sistem, nakliye sırasında betonun ölçümü ve yönetiminde sensör teknolojisini tahmine dayalı analitikle birleştiren bir sistemdir.

Extrudakerb, kurum içi tasarım, imalat ve teknik uzmanlığının kullanılmasıyla, tüm müşterilerin gereksinimlerinin karşılanmasını sağlamak için sistemini sürekli olarak geliştirebilmektedir.

Çelik bariyerle 25 yıl yerine 50 yıl kullanım ömrüyle tasarlanan Extrudakerb'in ECB'si, beyan edilen H2 (yüksek koruma), W1 (sistem hareket etmediği için 0 mm çalışma genişliği) performansı ile tamamen CE İşaretlidir. EN1317'ye göre darbe, VI2 (Araç İhlal <0,8 mm) ve ASI B (Hızlanma Şiddet İndeksi 1,0 < ASI ≤1,4).

Jersey bariyeri gibi, bir ECB sisteminin kurulumu müşteri gereksinimlerine bağlıdır. Yüzeye monte edilebilir, teknik şema gereksinimlerine uyacak şekilde gömülebilir veya tek parça olarak dökülebilir.

Extrudakerb, bir Wirtgen SP25i kayar kalıplı beton finişer kullanarak bugüne kadar İngiltere yol yapım altyapısına 75.000 m'den fazla yer döşedi ve 2022 sonuna kadar 100.000 m olması planlanıyor.



VERIFI beton yönetim sistemi, sipariş edilen çökmeyi elde etmek ve sürdürmek için önceden belirlenmiş sınırlar dâhilinde otomatik olarak su ve katkı maddesi ekler. Sistem, taşıma sırasında beton özelliklerini izlemek, ölçmek ve yönetmek için beton mikser kamyonlarına takılan sensörleri kullanarak hazır beton tesisinden şantiyeye geçiş sırasında otomatik süreç izleme ve kontrol sağlar.

VERIFI, kamyon içi sensörleri, dozlama ekipmanını ve veri zekâsını birbirine bağlayan bulut tabanlı otomatik bir sistem kullanır. Sensörler, gerektiğinde su ve/veya katkı eklemek için gerçek zamanlı olarak veri toplar. Yükleniciler, sisteme erişmek için çevrim içi bir portal (akıllı telefon, tablet, dizüstü bilgisayar veya masaüstü bilgisayar) kullanabilir.

Pickard'a göre, "Extrudakerb, VERIFI sistemini kamyonlarında kullanmaya başlamasıyla, sistem olmadan önce 10-12 seferken, sonrasında 16-20 sefere ulaşarak vardiya başına verimliliği neredeyse iki katına çıkardı. Genel olarak, Verifi ile yenilikçi ortaklık, Extrudakerb'in geleneksel sınırları zorlamasına ve proje zaman çizelgelerine karşı üstünlük sağlamasına izin verdi."

Kaynak: <https://www.forconstructionpros.com/concrete/equipment-products/article/22431811/consistency-key-in-concrete-highway-safety-barrier-system>

Betonda Çatlak İyileşmesi Analizinde Su Geçirimsizliği Testi

Betonda çatlağın kendi kendine iyileşmesi, Cement and Concrete Composites dergisinde su geçirimsizliği testi kullanılarak kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir. Çimento malzemelerine ek iyileştirici maddeler kullanarak betonun kendi kendini iyileştirmesinin, betonda dayanıklılığı artırabileceği görüldü.



Su geçirimsizliği testi ile çatlamış betonun kendi kendini iyileştirme kapasitesinin nicel değerlendirmesi

Beton: Popüler Malzeme ve Sahip Olduğu Problem

Beton, yaygın olarak kullanılan bir inşaat malzemesidir, sıklıkla yüksek mukavemet ve dayanıklılığa sahip bir malzeme olarak kabul edilir. Diğer taraftan, doğal ya da dış yük koşullarından kaynaklanan çatlaklar, beton yapıların bozulmasına hatta yıkılmasına neden olabilir.

Geleneksel beton, ömrünü uzatmak için dışardan tamirat gerektiren, kendi kendini iyileştirme kabiliyetine hiç sahip olmayan ya da zayıf kabiliyeti olan beton olarak tanımlanabilir. Kendi kendini iyileştiren beton, potansiyel olarak mekanik ve fiziksel özellikleri eski hâline getirerek çatlakları ya da kusurları kendi kendine kapatabilir. Kendi kendine iyileşme yöntemleri literatürde bildirildiği üzere otojen iyileşme ve otonom iyileşme olmak üzere iki kategoriye ayrılabilir.

Betonlardaki Çatlakların İyileştirilmesi

Hidrate olmamış çimento partiküllerinin (HOÇP'ler) verdiği karşılık ve karbonatlaşma, otojen iyileşmeden birincil derecede sorumludur. Bu, her zaman temel bileşen olarak su gerektiren çok yavaş bir süreçtir. İyileşme etkisi, çatlak genişliği ve HOÇP'lerin sayısı ile orantılıdır.

Çatlak genişliğinin 150 mikrondan az olması durumunda, önemli bir kendi kendini iyileştirme etkisinin elde edilebileceği keşfedilmiştir. Bu etki, çatlak genişliği 60 mikrona düşürülürse daha da artırılabilir.

Bununla birlikte çatlağın iyileşmiş olarak kabul edilebileceği doğru, çatlak genişliği rakamını tahmin etmek zordur. Ultra yüksek performanslı betonlarda (UYPB) çok sayıda HOÇP nedeniyle önemli bir iyileşme etkisi gözlemlenmiştir.

Mineral Koruyucularla Otojen İyileşme

20 hafta boyunca suda bekletilmiş hasarlı UYPB örneklerinin eğilme dayanımının, kontrol örneklerinden yaklaşık %33 daha fazla olduğu görülmüştür. Son zamanlarda bilim insanları, mineral koruyucuları ya da kristalli katkıları karışımlara dâhil ederek ve deniz koşullarına çok benzeyen koşullarda kürleyerek otojen iyileşmeyi teşvik etme adına önemli çalışmalar yaptılar.

Tatlısu kaynaklarında sadece kalsiyum karbonatla iyileşen çatlakların aksine, deniz suyu örneklerindeki çatlaklara kalsiyum karbonat ve brusit yüklenmiştir. Bu da, kurtarma işlemi için Mg^{2+} 'nın gerekli olduğunu öne sürmektedir.

Çatlak İyileşmesini İncelemek İçin Su Geçirimsizlik Testi

Çoğunlukla, su geçirimsizlik testi (SGT) ile elde edilen sızdırmazlık oranı (SO), çatlak davranışlarının betonun iyileştirme etkinliği üzerindeki etkisini objektif olarak incelemek için bir gösterge olarak kabul edilmektedir.

SO bu bağlamda, kübik yasa kullanılarak tahmin edilebilen su akışının azalma düzeyleri olarak karakterize edilir. Kübik yasanın

Crack Healing in Concrete Analyzed via Water Permeability Testing

Crack self-healing in concrete is analyzed thoroughly in the journal Cement and Concrete Composites using water permeability testing. It was found that self-healing can improve the durability of concrete, using additional healing agents into cement materials.

Study: Quantitative evaluation on self-healing capacity of cracked concrete by water permeability test – A review

gerçekliği gerçek bir çatlakta sınırlı olduğu için, su geçirimliliğini tahmin etmek üzere değiştirilmiş versiyonlar geliştirilmiştir.

Kapanma oranı (KO) da çatlak iyileşmesinin etkinliğini değerlendirmek için kullanılabilir. Beton yapıların kendi kendini iyileştirme özellikleri öncelikle azaltılmış çatlak genişliği ve çeşitli çatlak morfolojisi ile elde edilir. Bununla birlikte, çatlak özellikleri ile SO arasında niceliksel bir ilişki yoktur.

Araştırma Süreci

Bu çalışmada ilk olarak SGT'nin kavramsal ilkesi ve kanıta dayalı formüllerinin yanı sıra icat edilen cihazlar ve konfigürasyonlar tanıtılmaktadır. Sonrasında otojen iyileşme, üreolitik bakteri bazlı iyileşme ve MEA kürü yöntemleri sunulmaktadır.

Bunu takiben, çatlak topografyası ve su geçirimliliği arasındaki etkileşimler, çatlak geometrisinin sayısallaştırılmasına dayalı olarak niceliksel ve niteliksel olarak incelenmektedir. Son olarak da, SO'nun KO ya da DO (Dolum Oranı) ile etkileşimleri ele alınmaktadır.

Kendi Kendini İyileştiren Betonun Sonuçları

Kendi kendini iyileştiren betonun getirdiği sonuçlar, betonun özelliklerinin geliştirilmesine katkıda bulunur. Çatlak boşluklarında iyileşme ürünleri oluştuğça, fiziksel çatlak genişliği daralır ve oluşan engeller nedeniyle düzlem içi deformasyon artar, bu da su geçirimliliğinin azalması ile sonuçlanır.

Çatlak geometrisi ve iyileşme etkinliği arasındaki ölçüm bağlantısı, SGT (su geçirimliliği testi) tarafından kalibre edilmiş SO (sızdırmazlık oranı) kullanılarak oluşturulabilir ve değerlendirilebilir. SGT, sadece su akışı sabit bir duruma eriştiğinden su geçirimliliğini doğru bir şekilde hesaplayabilir.

Bu aşamaya ulaşmak için gereken süre, sıcaklık ve doygunluk durumları ile belirlenir. YP (yüzey pürüzlülüğü), lif takviyeli beton karışımlarının geçirimliliği üzerinde geleneksel betona göre daha büyük bir etkiye sahiptir.

Çatlaklarda oluşan kıvrımlı bariyerler nedeniyle akış yolu uzar ve bu da düşük taşıma özelliklerine yol açar, ancak bu tür sonuçlar çatlak genişliği arttıkça azalma eğilimindedir. Dolum oranından (DO) farklı olarak, SO ve kapanma oranı (KO), üreolitik bakteri bazlı iyileştirici betonun yanı sıra otojen iyileşme betonunun genel iyileşme etkinliğini değerlendirmek için daha uygun görünmektedir.

Gelecekteki Araştırmalar

Aşağıda, gelecekteki araştırmalar için bazı öneriler bulunmaktadır. Yüzey ve iyileştirme verimliliği arasında kesin bir ilişkinin kurulması gereklidir ki bu daha sonra dış reaksiyon bölgelerinin kendi kendini iyileştirme kabiliyetleri üzerindeki etkilerini öğrenmek için kullanılabilir.

Deneysel testlerde DO'nun, hem iyileştirici öğelerin miktarının, hem de çatlak morfolojisinin doğru bir şekilde elde edilebildiği yüksek hassasiyetli bir 3 boyutlu lazer tarayıcı kullanılarak belirlenmesi gereklidir.

Concrete is an extensively used construction material, and it is frequently regarded as a material with high strength and high durability. Cracks caused by natural or external load conditions, on the other hand, provide quick entry points for advanced species into cementitious materials, resulting in deterioration and even breakdown of concrete structures.

Conventional concrete can be defined as having no or poor self-healing ability, requiring external fixing to extend its life span. Self-healing concrete can seal cracks or defects on its own, potentially restoring mechanical and physical properties. The methods of self-healing, as known in the literature, can be divided into two categories: autogenous recovery and autonomous recovery.

Healing Cracks in Concretes

The response of dehydrated cement particles (UHCs) and carbonation is primarily responsible for autogenous healing. It is a very slow process that always requires water as an essential component. The recovery effect is proportional to the crack width, as well as the number of UHCs.

It has been discovered that if the crack width is less than 150 m, a significant self-healing influence can be accomplished. This effect can be amplified further if the crack width is lowered to 60 m.

However, predicting the accurate figure of crack width where the crack can be considered healed remains difficult. A significant recovery effect has been observed due to the large number of UHCs throughout ultra-high performance concrete (UHPC).

Referans

Hou, S., et al. (2022). Quantitative evaluation on self-healing capacity of cracked concrete by water permeability test - A review. Cement and Concrete Composites. Available online 3 January 2022. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946521004704?via%3Dihub>

Kaynak: <https://www.azom.com/news.aspx?newsID=57835>