

Yüksek Mukavemetli Tel Ağ ile Yapılan Şev Stabilitesi

Özet

Tel ağ ve çivilerden oluşan esnek şev stabilizasyon sistemleri uygulamada, kaya ve toprak şevlerin stabilizasyonu için çok miktarda kullanılmaktadır. Bunlar ekonomik çözümlerdir ve rijid beton duvar ve büyük destekleme yapıları gibi önlemlere alternatif olabilir. Geleneksel çelik tel örgülerden ayrı olarak şimdi piyasada yüksek mukavemetli teller de bulunmaktadır. Bunlar oldukça büyük kuvvetleri alabilir ve çivilere aktarır. Esnek şev stabilizasyonu sistemlerinin, yaklaşık homojen zeminde, ayrılmış kaya yüzeylerde, çatlaklı ve tabakalı kaya yüzeyler için dik şevlerde kullanımının boyutlandırılmasında farklı kavramlar geliştirilmiştir. Sonuncu da duraysızlık çatlak ve tabaka yüzeylerine göre belirlenir. Bu bildiriye yüksek mukavemetli ağlardan yapılan şev stabilize sisteminin bileşenleri, boyutlandırma kavramı, sistemin taşıma direnci ve bitkilendirilmesi ele alınacaktır.

Anahtar Kelimeler: Ruvolum, Tecco, Esnek şev stabilizasyon sistemi,

1. Giriş

Esnek şev stabilitesi sistemleri, Dünya da birçok yerde, Avrupa, Asya, Kuzey Amerika ve daha soğuk iklimlerde, stabilize eden yüzeylerin donma/çözülme döngüsüne maruz kaldığı yerlerde uygunluğunu kanıtlamışlardır. Tarihsel olarak bu amaçlarda kullanılan tel ağlar çekme mukavemeti 400-500 N/mm² olan yumuşak çelik tel kullanılarak üretiliyordu.

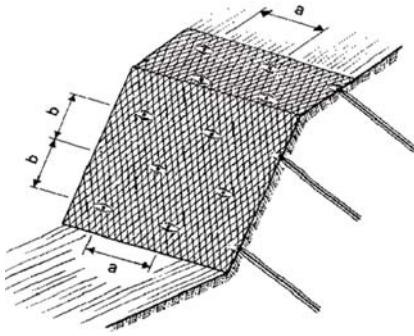


Şekil 1 - Şev stabilizasyonu için yüksek mukavemetli tel ağ (solda) ve yüksek mukavemetli tel ağ şev yüzeyine bastırarak gerilme vermeye yardımcı olan özel tırnaklı plaka (sağda)

Çekme mukavemeti en az 1770 N/mm² olan tellerden yapılan ağların geliştirilmesi şevlerin etkili ve ekonomik stabilizasyonu için yeni olanaklar ortaya çıkarmıştır (Şekil 1). Gelişmiş boyutlandırma kavramları bu tür şev stabilizasyon sistemlerini yüzeysel duraysızlıklara karşı toprak ve kaya statüjini gözönüne alarak boyutlandırmaya yardım eder.

2. Kaya ve Toprak Yüzeylerin Stabilizasyonu İçin Yüksek Mukavemetli Tel Ağ

Çekme mukavemeti en düşük 1770 N/mm² olan çelik telden yapılan yüksek mukavemetli tel ağ piyasada TECCO® adı ile bulunmaktadır. Standard olarak paslanmaya karşı alüminyum-çinko kaplama korumalı 3mm çapında çelik tellerden yapılmıştır. Ağın baklama biçimli yani eşkenar dörtgen ve 83mm x 143mm boyutlarındaki gözleri tek büküm ile üretilir. Çelik ağ 150 kN/m çekme mukavemeti sağlar. Bu değer minimum garanti edilen yük veya taşıma kapasitesini gösterir. Tel ağ üç boyutlu yapısı ile şeve tutunur ve şevin yeşillendirilmesine de yardımcı olur. Bu yüksek mukavemetli tel ağlar ile, geleneksel yaklaşık göz boyutlarında ve benzer tel çaplarında, uzunlamasına doğrultuda 45-50 kN/m çekme mukavemetine sahip ağlara göre çok daha büyük yükler alınabilmektedir.



Şekil 2 - Çivi düzenlemesi ile genel profil (solda) ve şaşırtmalı düzen ile çivi montajı yerleşimi - Dongcheon Projesi, Kore (sağ).

Ağa uygun dizaynı ile özel karo şeklindeki tırnaklı plakalar, ağın toprak veya kayaya sabitlenmesine yardımcı olur. Çiviye gerilme vererek ve mümkünse tırnaklı plakayı zemine hafifçe bastırarak stabilize edilir, ağ yüzey şeklini takip eder ve olabildiği kadar gerilir.

Bu şev stabilizasyonu sisteminde çivi sıraları aralarında mesafenin yarısı kadar şaşırtmalı yerleştirilir. Bu çiviler arasındaki çıkışları azaltır ve çiviler arası mesafeler enine "a" boyuna ise "2 x b" olur (Şekil 2, sol). Şaşırtmalı yerleşim Şekil 2 de (sağ) Kore Dongcheon projesinden bir fotoğraf ile gösterilmiştir.

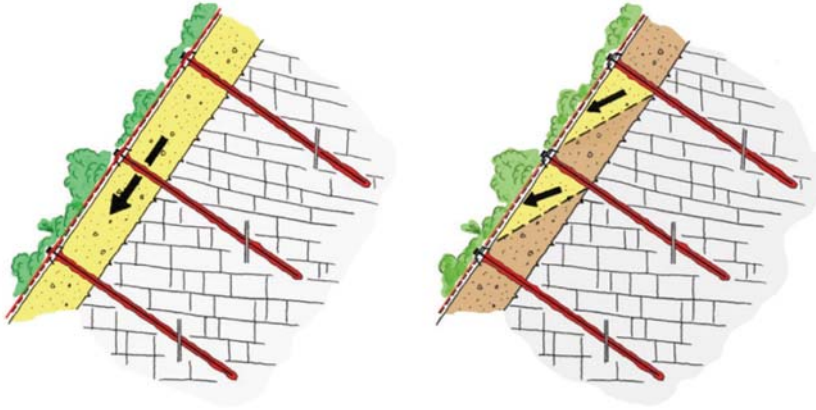
3. Ayırışmış Kaya ve Toprak Zemin İçin Boyutlandırma Kavramı

RUVOLUM® yazılımı kullanılan ağın yüksek mukavemetli telden yapıldığını kabul ederek çivi çapını ve aralıklarını, yerleşimini hesaplamaya yardımcı olur. Yazılım prensipte yatay ve şev doğrultusunda esnek bir çivi mesafesine izin veren tüm şev stabilizasyon sistemlerine uygulanabilir. Rüegger vd. (2002).

Yaklaşım yüzeysel şeve paralel duraysızlıkları hem de herbir çivi arasındaki bölgesel duraysızlıkları araştırır. Bu şekil 3 te gösterilmiştir ve takibeden bölümlerde açıklanacaktır fakat basitleştirme amacı ile fazla hidrostatik basınç, şevden aşağı akış basıncı ve sismik kuvvetler, vb. burada ihmal edilmiştir.

3.1 Yüzeysel, Şeve Paralel Duraysızlıkların Araştırılması

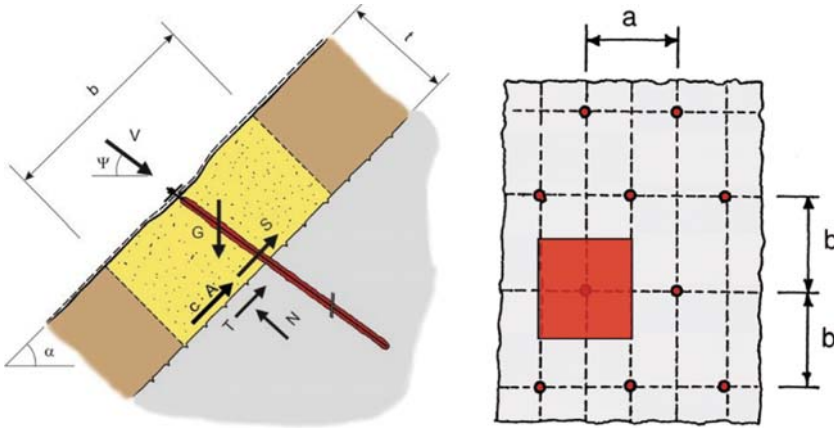
Şeve paralel yüzeysel duraysızlıklarda ilk araştırma üst kaplayıcı tabakadır ki bu sağlam alt toprak tabakasının kaymasında da tehdit oluşturur. Çivilendirme stabil olmayan üst tabakanın bütün



Şekil 3 - Boyutlandırma konsepti şeve paralel (solda) yüzeyel (genellikle 2m den az) duraysızlık araştırmalarına ve çiviler arasındaki (sağda) bölgesel duraysızlıkların araştırılmasına dayanır.

olarak stabilize edilmesine yöneliktir. Burada a genişliğinde, b uzunluğunda ve t kalınlığında bir hacim her bir çiviye belli bir emniyet ile bağlanmıştır.

Şekil 4 te solda hacme etkien ve patlamasına/çıkmasına yol açabilecek göz önüne alınan kuvvetler gösterilmiştir. Kuvvet G, o parçanın ölü ağırlığını temsil etmektedir. $c' \times A$ terimi kohezyonun yatay düzleme göre α açısı eğimindeki kayma yüzeyinde tutma etkisini tanımlamaktadır. Ayrıca $c' \times A$ terimi ile, korunacak olan yüzey tabaka ve sağlam tabaka arasındaki ya da üst tabakanın kendi içindeki kilitleme etkisi hesaba katılabilir. Kuvvet V ağı şev yüzeyine doğru geren çivi doğrultusundaki kuvvettir. Bulonu sıkınca çivi üzerindeki tırnaklı plaka ve ağı zemine doğru basılır. V yatay düzleme göre ψ açısı kadar eğimlidir. Şevin hareketi oluşmadan önce çivideki öngerilme aşılması gerekmektedir. S değişkeni, çivide tarafından alınan ve sağlam zemine aktarılan kesme kuvvetini temsil ediyor. Alt zemin tabakasından gelen N ve T reaksiyon kuvvetleri normal ve kayma yüzeyi doğrultusunda etki eder. Şekil 4 sağdaki resim plan görünüşünde yerleşim göstermektedir.



Şekil 4 - Parçaya etki eden kuvvetler (solda) ve genel şaşırtmalı çivi düzeni (sağda)

Denge denklemi, geoteknik, geometrik parametreler (Mohr-Coulomb) ve öngerme kuvveti V ve model belirsizlik düzeltme faktörü γ_{mod} kullanılarak, kesme kuvveti S denklem 1 de gösterildiği gibi belirlenebilir.

$$S = 1 / \gamma_{mod} \cdot \{ \gamma_{mod} \cdot G \cdot \sin \alpha - V \cdot \gamma_{mod} \cdot \cos(\psi + \alpha) - c' \cdot A - [G \cdot \cos \alpha + V \cdot \sin(\psi + \alpha)] \cdot \tan \phi' \} \quad (1)$$

RUVOLUM yazılımı EUROCODE 7'de yayınlanan kısmi güvenlik faktörleri kavramlarını kullanmaktadır. Sürtünme açısı ϕ'_k , kohezyon c'_k ve hacim ağırlığı γ_k sırasıyla ile/birlikte karşı gelen kısmi güvenlik düzeltme değerleri $\gamma_{\phi'}$, γ_c ve γ_v ile azaltılmalı ya da çarpılmalıdır (sürtünme açısı ϕ'_k tanjant ile azaltılıyor).

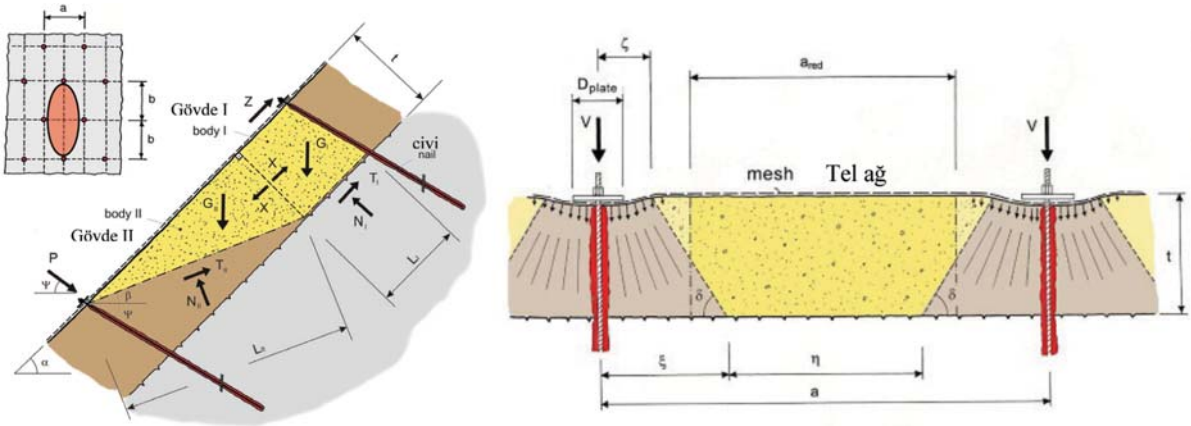
Yüzeysel, şeve paralel duraysızlıkların araştırılmasında aşağıdaki üç durum sağlaması yapılmalıdır.

- Yüzey tabakanın kaymaya karşı sağlaması
- Tel ağı delinmeye karşı sağlaması
- Çivinin kesme ve gerilmeye karşı dayanmasının sağlanması

3.2 Her Bir Çivi Arasında Bölgesel Duraysızlıkların Araştırılması

İkinci araştırma çiviler arasındaki parçanın şekil 5 te gösterildiği gibi yerel olarak çıkmaya çalışmasını incelemektir. Burada aktif kamanın ağırlığı G_I ve pasif kamanın G_{II} olarak adlandırılmıştır. Yüzey stabilizasyon sistemi çıkmak isteyen tüm kütleler tutulacak, ortaya çıkan yükler emilip sistem tırnaklı plakalar ile çivilere sonuç olarak stabil zemine iletilecek şekilde boyutlandırılmalıdır.

Her bir çivinin üzerinde a eninde ve $2.b$ uzunluğunda bölgesel duraysızlık açısından emniyete alınması gereken bir alan vardır. Bu alandan başlayarak $2.b$ maksimum uzunluğuna varan uzunluklarda çıkmaya meyilli kütleler olabilir. Çıkmaya meyilli kamanın enkesiti mevcut koruma metodundan etkilenir. Ağ, çivi kafasına yani bulunun tırnaklı plakayı iterek zemine doğru bastırıldığı noktaya doğru V kuvveti ile gerilir. Böylece alt zemin üzerindeki çivi çevresindeki yüzeysel alan stabilize edilir. Hesap yöntemi bu olayı gözönüne alır. Basitleştirme için her bir uç tırnaklı plakanın ve yanındaki ağın altında oluşan basınç konileri incelenen kayan kütlein dışında yer aldığı kabul edilir. Sonuçta kırmızı yaklaşık olarak yamuk şeklindeki alan eşit alandaki genişliği a_{red} ve kalınlığı t olan dikdörtgene dönüştürülebilir. (Şekil 5 sağ).



Şekil 5 - Çiviler arasındaki bölgesel duraysızlık (solda) ve t kalınlığında maksimum mümkün olabilen çıkmaya meyilli kütle enkesiti; aktif olarak stabilize edilmiş basınç kesik konileri

(2) ve (3) numaralı denklemlerde belirtilen ilişkiler, Şekil 5 teki çift gövde kayma mekanizmasından doğan denge kabullerinin sonucudur ve Mohr-Coulomb kırılma durumunu hem de γ_{mod} model belirsizlik faktörünü hesaba katar. Çivi doğrultusunda etkiyen maksimum kuvvet P aşağıda gösterilen (2) ve (3) numaralı denklemler ile kayan yüzeyin eğimi β ve kalınlık t 'nin varyasyonlarına göre belirlenir.

$$X = 1/\gamma_{mod} \cdot \{G_I \cdot [\gamma_{mod} \cdot \sin \alpha - \cos \alpha \cdot \tan \varphi'] - c' \cdot A_I\} \quad (2)$$

$$P = \frac{G_{II} \cdot [\gamma_{mod} \cdot \sin \beta - \cos \beta \cdot \tan \varphi'] + (X - Z) \cdot [\gamma_{mod} \cdot \cos(\alpha - \beta) - \sin(\alpha - \beta) \cdot \tan \varphi'] - c' \cdot A_{II}}{\gamma_{mod} \cdot \cos(\beta + \psi) + \sin(\beta + \psi) \cdot \tan \varphi'} \quad (3)$$

Çiviler arasındaki yerel duraysızlıkların incelenmesi düşünüldüğünde aşağıdaki iki kontrol ele alınmalıdır.

- Tırnaklı plakanın üst şev kısmında ağın yırtılmayacağını tahkiki
- Ağın şeve paralel kuvvet Z yi üst çiviye iletilebileceğinin tahkiki

4. Genel Stabilite İncelemesi

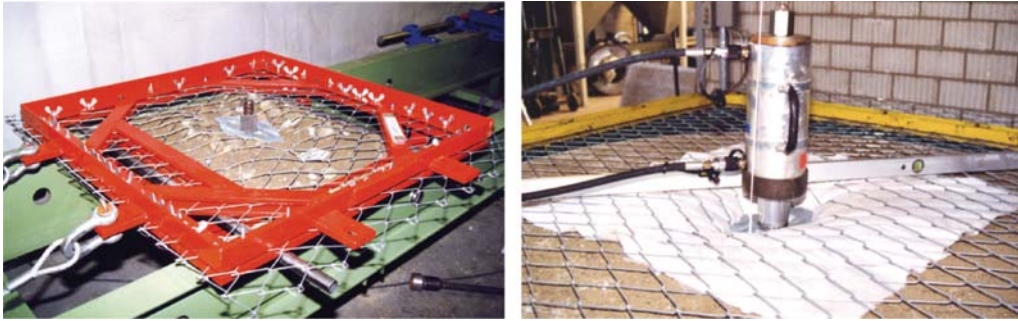
Yüzeyle yakın duraysızlıkların RUVOLUM® metodu ile incelenmesine ek olarak çeşitli stabilite durumları gözönüne alınarak alt ana zemine göre derin kayma yüzeyleri ve genel stabilite durumları da ayrıca incelenmelidir. İlgili hesaplamalar geleneksel stabilite analizi metodlarına göre yapılarak örneğin zeminde ya da kayada kayma yüzeyleri veya katmanlar ile belirlenmiş kayma yüzeyleri, çatlaklar gözönüne alınır. Çivileme her tahkik gözönüne alınarak optimize edilebilir.

5. Sistemin Dayanma Gücünü Belirlemek İçin Testler

Yüzeysel olarak ayrılmış ve gevşemiş kaya ve toprak şevlere destek için yukarıdaki denklemlerin dizayn yaparken kullanılabilmesi için tel ağın aşağıdaki yük taşıma kapasitesi veya dayanma direncini bilmek gerekir :

- Z_R : Tel ağın seçilen şeve paralel çekme gerilmesine dayanma direnci
- D_R : Tel ağın çivi yönünde delinme direnci
- P_R : Ağın tırnaklı plakaların kenarında şevden dışarı çıkmak isteyen gövde etkisi ile oluşan kesmeye karşı dayanma direnci

Yüksek mukavemetli çelik tel ağın dayanma direnci Şekil 6 da gösterilen test aletleri ile ve Landes-gewerbeanstalt (LGA) Nürnberg, Germany (Brändlein, 2004) gözetiminde belirlenmiştir. Bu aletler Rüe-gger and Flum AG (Rüegg, vd. 2006) ve Geobrug AG işbirliği ile geliştirilmiştir.



Şekil 6 - Ağın şeve paralel seçilmiş çekme gerilmesine karşı dayanma direncini belirlemek için test düzeneği (solda) ve ağın çivi yönünde delinmeye karşı dayanma direncini belirlemek için test düzeneği (sağda)

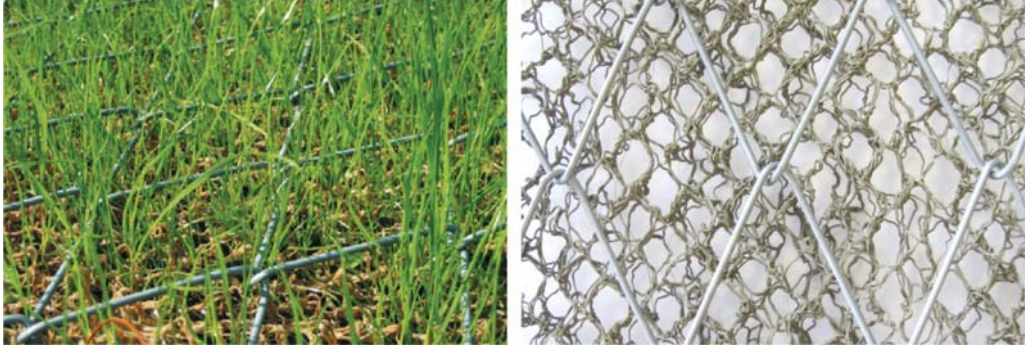
6. Tekrar Bitkilendirme / Erozyon Kontrol Örtüsü ile Erozyon Önleme

İnce daneli, kohezyonsuz gevşek kaya veya çok ayrılmış kaya zeminlerden oluşan dik şevlerin yüzeylerinde erozyon tehlikesi vardır. Böyle ince malzeme yüksek mukavemetli ağın ağdan çıkabilir ve ağın altında boşluklar ve kanallar bırakarak akabilir.

Buna tepeden, tabakalardan, çatlaklardan gelen sular veya kuru yüzeylerde şiddetli yağmurlardaki yüzey suyu akışları neden olabilir. Zemin suyu basıncı genellikle toplanıp drenaj yapılır. Sürekli su çıkışları her zaman probleme yol açabilir dolayısıyla stabilizasyon önlemlerinden önce başa çıkılmasıdır, sonra düzeltme çok zor olabilir. Şev üst kısmından şeve büyük miktarlarda su akışını önlemeye özel önem verilmelidir. Eğer uygunsa şevin üst kısmına uygun drenaj kanalları yapılarak su yanlara doğru kontrollü bir şekilde aktarılabilir.

Geriye şeve direkt olarak düşen su kalıyor. Yüksek şiddette ve uzun süreli yağışlar da erozyona yol açabilir. Yağmur damlalarının çarpması ve yüzey suyunun drenajı da zemin hareketine, bozulmalara ve genel erozyona yol açabilir. Bu problem ile genellikle tüm yüzeyin bitkilendirilmesi ile başa çıkılabilir. Kökler yüzey tabakasını stabilize eder ve önemli miktarda su akmaya başlamadan önce bitkilendirilmiş tabakada tutulur.

Fakat, etkili bir bitkilendirmenin oluşması ve kararlı bir zemin ortamının olması zaman alır. Hareket ve erozyona maruz bir şevde bitkilerin gelişmesi zordur. Ağın serilmesinden hemen sonra eroz-



Şekil 7 - Yüksek mukavemetli tel ağ ve erozyon kontrol örtüsü (solda) ve erozyon kontrol matı (sağda)

Yona dayanıklı bitkilendirme ve tohum püskürtme her zaman mümkün olmayabilir. Bu yüzden genellikle tel ağ ile birlikte erozyon önleme de yaparak zeminin yıkanıp gitmesini önlemek ve daha sonraki yeşillendirmeye ön koşulları sağlamak gerekebilir.

Maalesef, her zaman jüt, hindistan cevizi lifi gibi doğal elyaflardan yapılan erozyon kontrol örtüleri ile istenilen sonuca ulaşamıyor, çünkü düzgün olmayan yüzeylerde zeminle temas sağlanamayan yerler olabiliyor. Bu örtüler genellikle bitkilendirme ve tohumlama püskürtmesi için çok dar gözenekli olabiliyor. Dolayısı ile görüntüde çıplak kalmış dolayısı ile yine erozyona maruz alanlar olabiliyor. Uzun vadede bu kısımlar örtünün de yırtılması ile birlikte erozyona devam ediyor.

Dolayısı ile aranan esnek, üç boyutlu açık gözenekli yapıda ve erozyona karşı iyi koruma sağlayabilecek bir örtü idi. Örtü bitkilendirme için gerekli tutunma ve stabilizasyon tabakasını sağlayacaktı. Ayrıca örgünün göze çarpmayan örneğin yüzeyin rengine uyumlu olması da önemlidir.

Değişik ürünler üzerinde, kuru ve ıslak koşullarda ve zor lokasyonlarda yapılan birçok uygunluk testinden sonra üç boyutlu, polipropilen rastgele serilmiş elyaflardan oluşan örtü, erozyon önleme ve bitkilendirilmiş yüzey için şartları en optimum şekilde karşılıyordu. Bu şekil 7 de gösterilen erozyon kontrol örtüsü özellikle TECCO® stabilizasyon sistemi ile kullanım için geliştirilmiştir ve TECMAT® ticari ismi ile mevcuttur.

7. Sonuç

Yüksek mukavemetli tel ağ ve özel tırnaklı plakalar kullanılarak sunulan yüksek mukavemetli ağ sistemi özel saha koşullarına ve statik koşullara kolaylıkla adapte edilebilir. Yaklaşım, büyük yüklerin alınarak ve transfer ederek çivilerin daha ekonomik kullanılarak uygun bir çözüm sunar. Bu da çivilerin delinmesi oldukça önemli maliyet getirdiği için daha ekonomik çözüm sağlar.

TECCO® ile stabilize edilmiş şevler uygun erozyon kontrol matı ile birleştirilirse tekrar doğal yeşil ve bitkilendirilmiş görüntüye kavuşur, bu da göze hoş gelen bir görüntü sağlar.

Zemin çivilerinin yüksek mukavemetli tel ağ ile birlikte kullanımı için burada açıklanan konseptte göre, şevdeki yüzeyel duraysızlıklar için dizayn edilebilir ve boyutlandırılabilir. Bu, esnek yüzey önlemlerinin ilk düzgün dizaynıdır.

Derin yerleşimli göçme mekanizmaları için geleneksel dizayn metodları tabii ki halen geçerlidir.

Kaynaklar

Brändlein P, LGA Nuremberg, Germany, Monitoring and supervision of laboratory testing of the TECCO® slope stabilization system, Test report BPI 0400046/1, 2004.

Rüegger, R.; Flum, D.: Anforderungen an flexible Böschungsstabilisierungssysteme bei der Anwendung in Boden und Fels. Technische Akademie Esslingen, Beitrag für 4. Kolloquium „Bauen in Boden und Fels“, January 2006.

Rüegger, R.; Flum, D.; Haller, B.: Hochfeste Geflechte aus Stahldraht für die Oberflächensicherung in Kombination mit Vernagelungen und Verankerungen. Technische Akademie Esslingen, Beitrag für 2. Kolloquium „Bauen in Boden und Fels“, Januar 2002.