

チップクリート緑化工法の開発

強酸性土壌に対応した斜面緑化工法

杉本 英夫 溝田 陽子
辻 博和
(本社土木技術本部 環境技術部)

Development of Re-vegetation Technology by “Chipcrete”

Applying to the greening technology for slope of highly acidic soil

Hideo Sugimoto Yoko Mizota
Hirokazu Tsuji

Abstract

We developed “Chipcrete”, which has been one of our systems for recycling chips. It is made of cement and wood chips, and has a porous structure. This report describes laboratory and field experiments to test its use for greening. The investigation results are as follows. (1) The board type of “Chipcrete” is used for the greening of slopes on sulfuric acid soils with low pH. It is very light weight. (2) “Chipcrete” has been used for the notarization of acid with high permeability in the field. (3) We confirmed the effect of “Chipcrete” in acid sulfate soil through a one-year field test.

概 要

チップクリートとは、チップとセメントミルクを練り混ぜて硬化させた木片コンクリートで、多孔質構造を有する。これを植栽の生育基盤として利用するチップクリート緑化工法は、廃棄物の有効利用と緑化を同時に実現できる。本報告では、緑化が困難であった強酸性土壌の斜面に対して、軽量で持ち運びが容易で、酸の中和と排水機能をもつ板状のチップクリートを開発し、その室内試験と実証試験の結果を述べる。その成果は、次の通りである。(1)チップクリート板は、軽量の土木材料として利用でき、斜面の新しい緑化工法に利用できる。(2)チップクリート板は、高い排水性と酸を中和する機能により、植生基材を適当なpHに維持できる。(3)チップクリート緑化工法を強酸性土壌に適用し、1年間に渡り、有効性を確認した。

1. はじめに

近年、環境への配慮や自然的な景観の演出、二酸化炭素の吸収促進などの観点から、植物による緑化が注目されている。従来緑化が困難とされていた場所に対しても、高度な技術による対応が要望されつつある。さて、道路工事などによって発生する切土斜面の一部には、第三紀の海成堆積層などが露出すると、硫化物が酸化して硫酸が発生して、土が強酸性を呈し、植物が枯れてしまう場合がある。pH3.5以下の強酸性の土では、特殊な対策を施さない限り、緑化が困難であり、緑化工が失敗する事例が頻発している¹⁾。このような土は、日本各地の道路の切土や農地の造成など大規模な造成にともなって発生している。

今回、実証試験地となった常磐自動車道広野インター

チェンジ工事区においても、斜面の各所で植物の生育が極めて悪い、あるいは短期間に植物が枯れてしまう事態が発生した。生育衰退の原因は、基岩がpH 3.5以下の強酸性であり、硫酸を含む浸出水が植生基材を強酸性化してしまうことによると判断された。

一方、ダム工事や宅地造成工事などの開発に伴って発生する伐採木などの建設発生木材について、廃棄物のない社会「ゼロエミッション」への対応が急務となっている。土木工事では、木材を現場にて粉碎・チップ化して歩道に使用したり、堆肥化して緑化に使用するなど、木材の再利用が進んでいる。しかし、木材の分解に伴って発生する炭酸ガスは、大気に放出され温暖化ガスとなる。そこで、地球環境の観点から、環境への負荷が小さい木材利用の取組みが望まれている。

今回、上記の問題を解決する方法として廃材のチップ

とセメントミルクを練混ぜて、板状に加工した「チップクリート板」を開発した²⁾。これを植生基盤の一部に利用することに成功し、新しい緑化工法「チップクリート緑化工法」を実用化した³⁾。

以下に、工法の概要、続いて室内試験で確認されたチップクリート板の強度、中和能力、発芽への影響、そして実証試験により確認された植物の生育状況および土壌調査結果について述べる。

2. チップクリート緑化工法の概要

チップクリート緑化工法とは、植生基材と基岩・基盤の間に、チップクリート層を設けて植栽する方法である。Fig.1にチップクリート緑化工法の標準断面図、Photo 1にチップクリート板の断面写真を示す。チップクリート板は、廃木材のチップ(5~30 mm)を骨材とする、コンクリート資材である。これは、セメントを接合材とし、間隙の多い構造体によって高い排水性を確保している。しかも、木片の利用によって軽量のコンクリートとなり、取り扱いが容易で作業性も良い。植生基材を吹付ける斜面緑化の在来工法と組合せたり、植生の根を定着させるなど、用途に多様性がある。次に特長を示す。

(1) 中和・排水型 Fig.2にチップクリート利用時の排水と中和の模式図を示す。基岩から溶出する硫酸を含んだ強酸性水が、植生基材に浸透することなく、チップクリートの間隙を流れ去り、あるいはチップクリートのセメント成分で中和されるため、植物の根圏に影響が及ばない。チップクリートは、排水と中和の機能により、酸性水の遮断と中和を同時に対応する。

一方、在来工法には、遮断型、排水型、中和型があり、それぞれ問題がある。遮断型は、遮断層で基盤と植生基材間の水移動を遮断して、植生基材の酸性化を防ぐことができる。排水型は、排水層で基盤と植生基材間の水移動を遮断して、植生基材の酸性化を防ぐ。しかし、いずれも植生基材が乾燥しやすくなるので、植生が衰退しやすい。中和型は、植生基材に混合した中和材で基盤からの酸を中和して、植生基材の酸性化を防ぐ。中和材は、通常アルカリ成分を含むことが多く、植生への影響を低減するため混合量が限定されるので、中和効果の継続期間が短くなる。

(2) 取り扱いが容易 チップクリートは、チップが主体で空隙の多い構造のため、軽く、手持ちで数枚も運ぶことができる。斜面への取付けは簡単で、特殊な施工機械が不要である。酸性水を遮断するソイルセメント等を吹付ける場合に比べ、プラント設置費用や溶出試験が不要で、短期間に施工できるので低コストとなる。

(3) 資源のリサイクル チップクリートは、森林伐採や製材所等から発生する廃木材を原料とするため、樹林保全や資源保護に役立つ。

(4) 景観の維持 チップクリートは表面の凹凸により、植生基材の定着性が高い。連続空隙の構造体な

ので、根がチップクリート層に伸長できる。岩盤やコンクリート面で根圏が保護されるので、植生が安定する。さらに、基岩の風化が進み酸性物質が無くなれば、植物の根がチップクリートを通り抜けて基岩に侵入するので、植生が永続的になる。

3. 室内試験

3.1 試験方法

(1) 強度試験 チップクリート板の破断強度を求め、作業時に必要な耐力を調べた。供験体は、大きさ450×450×25 mm、重さ約3 kg、空隙率45 %のものを用いた。試験方法は、JIS A 5404 - 1998(木質系セメント板)とJIS A 1508 - 1995(建築用ボード類の曲げおよび衝撃試験方法)を参考にした。試験にはオートグラフを用い、スパン長300 mmとし、3個所にひずみゲージを取り付け、1 mmの加速度で測定した。

(2) 中和試験 チップクリート板を硫酸溶液に浸し、耐酸性の能力を調べた。Fig.3に試験イメージを示

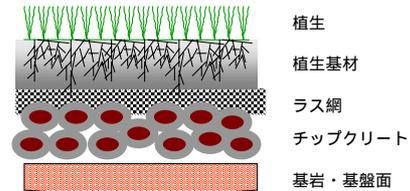


Fig.1 チップクリートを用いた斜面緑化工の標準断面
Concept of Greening Base by Using Chipcrete



Photo 1 「チップクリート板」の断面
The Cross Section of a Chipcrete



Fig.2 各対策工別の酸性水移動の模式図
The Concept of Flow of Acidic Water Through Chipcrete, Concrete Layer, Drainage Layer and Neutralize Materials

す。供試体は大きさ100×100×25mmのものを利用した。硫酸溶液として、濃度0.1 mol L⁻¹ と0.01 mol L⁻¹ のものを準備した。これはそれぞれpH1およびpH 2であった。供試体をガラス製のシャーレ（径150×40mm）に入れ、溶液100 mLに浸し、25 恒温室に置いた。溶液とチップクリート板の表面に載せたフィルターを1週間毎に測定し、pHの変化を調べた。溶液とフィルター測定後に、古い溶液をピペットで吸い出して新しい溶液に入換え、新しいフィルターを表面に載せる操作を53回（約400日）繰り返した。溶液とフィルターのpHは、半導体式pH計（型式 I/Q200, IQ Scientific Instruments Inc.）で測定した。

（3）発芽試験 チップクリート板を硫酸溶液に浸し、発芽への影響を調べた。Fig.4に試験イメージを示す。供試体は大きさ100×100×25 mmのものを利用した。予備試験で、チップクリート板がアルカリ性で、その上に直接種子を置くと発芽障害が出ることを確認したため、供試体の上に、植生基材としてピートモス：パーク堆肥 = 1 : 4（容積比）の混合材量100 mLを径90×10 mmに成形して、載せた。硫酸溶液は（2）中和試験と同じ濃度0.1 mol L⁻¹ と0.01 mol L⁻¹のものを準備した。初回を濃度0.01 mol L⁻¹で、2回目以降は0.1 mol L⁻¹を使用した。供試体をガラス製のシャーレ（径150×40 mm）に入れ、溶液100 mLに浸し、種子は20粒播種して、蛍光灯付きインキュベータ内で、25 の恒温条件で発芽させた。植物の種類は、1回～5回目は コマツナ、6回目からは斜面緑化工法で一般的に用いられている芝草（トルフェスク）を使用した。2週間毎に発芽、播種を繰り返した。発芽を終えた後、植生基材のpHを測定し、植物を基材から抜き取った。そして、新しい種子を播種して、酸性水溶液を取り換える操作を22回（約300日）行った。植生基材は、少量採取して、半導体式pH計（（2）中和試験と同じ）で測定した。

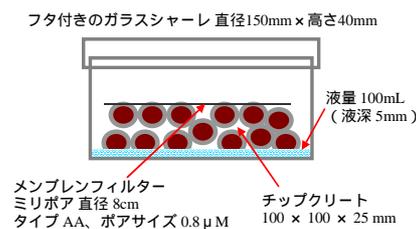


Fig.3 中和試験図

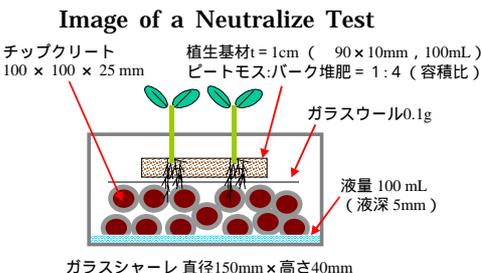


Fig.4 発芽試験図

Image of a Germination Test

3.2 結果と考察

（1）強度試験 チップクリート板の曲げ破壊は最大435N、たわみ量は曲げ破壊時で1.5 mm、曲げ強さは0.78 N mm²であった。破壊後は緩やかに強度が減少し、100 N時点でたわみ量14 mmであるが完全に破断しなかった。強度は、同サイズの木質系セメント板の約1/2程度であり、破壊が生じても急激に強度がなくなること、人が上に乗っても、あるいは釘で打ち抜いても壊れない強度を有することを確認した。

（2）中和試験 Fig.5に硫酸溶液のpH、Fig.6にフィルターのpHを示す。硫酸溶液0.1 mol L⁻¹は、供試体を浸すと5 mmの水深となり、5時間後にpH 5、17時間後にpH 12を示した。液を数回交換してもpH 12を維持したが、交換15回目（90日後）にpH 3.5以下を示した。溶液に浸る部分の中和能力が無くなったと判断された。フィルターは、液の交換53回目（389日後）にpH 3.5を示した。すなわち、チップクリート板を通過する水は、長期間に渡ってアルカリ性～中性を保っていたことが示された。

一方、硫酸溶液0.01 mol L⁻¹は、供試体を浸すと2時間30分後にpH 11を示した。液の交換53回目（389日）に、溶液はpH 9.5、フィルターがpH 7を示した。フィルターがpH 11から7に低下した理由は、溶液が常にアルカリ性のため、フィルターに浸透したアルカリ成分が空気中の炭酸ガスと反応したためと考えられた。なお、実証地周辺の強酸性pH 3.5を示す土壌の場合、強制酸化処理溶液の硫酸濃度は約0.01 mol L⁻¹である。したがって、硫酸溶液0.01 mol L⁻¹の値を参考にすれば、実証地に設置するチップクリートの中和期間は、1年以上と考えられる。

チップクリートの中和メカニズムは、コンクリートの中性化とよばれる、「セメント硬化体のアルカリ性が低下する現象」と同様の反応と考えられる。今回試験に用いたチップクリート板は、木片とセメントミルクを練混ぜ、一定圧力をかけて成形したものである。水和反応が終了するとセメントに含まれるアルカリ分は、珪酸カルシウム水和物（3CaO・2SiO₂・3H₂O）と水酸化カルシウム（Ca(OH)₂）が大半を占める。これらが、酸性土の硫酸と反応して、難溶性の塩を生成し、間隙水の酸性化防いでいると考えられた。

（3）発芽試験 Fig.7に硫酸溶液0.1 mol L⁻¹条件の発芽率、Fig.8に植生基材のpH、Photo 2に播種後14日目の状態を示す。低濃度の硫酸溶液0.01 mol L⁻¹の場合、発芽率は、全ての条件でコントロールの80 %以上であった。しかし、硫酸溶液0.1 mol L⁻¹の場合、植生基材のみの発芽率が著しく低下した。一方、チップクリート板は、水に浸した場合、硫酸溶液に浸した場合も、コントロールの発芽率と同等であった。植生基材は、pHが中性～アルカリ性となるが、発芽に影響が見られなかった。これより、チップクリート板に直接種子を置くと、そのアルカリによって発芽障害が出る懸念はあるが、植生基材があると、異常なく発芽する事が分かった。

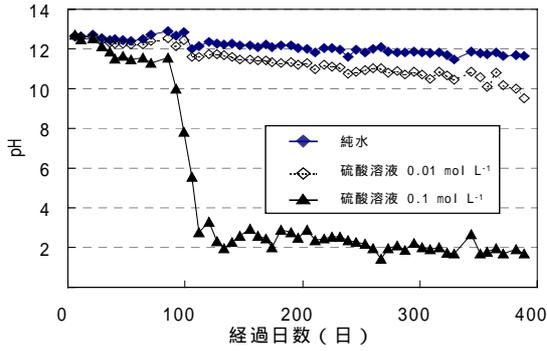


Fig.5 硫酸溶液のpH

pH of Acidic Solution Neutralized by Chipcrete

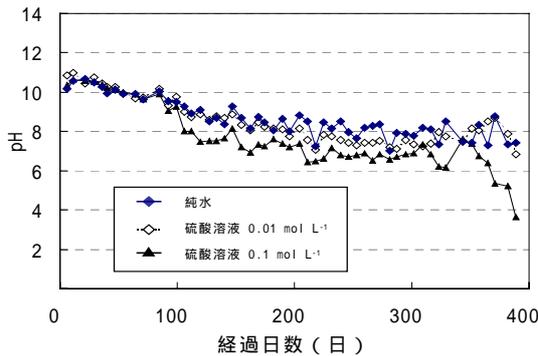


Fig.6 フィルターのpH

pH of Capillary Water Moved through Chipcrete

4. 実証試験

4.1 試験方法と内容

チップクリート板を強酸性土壌の斜面に設置し、室内試験の実証と永続性を調べた。試験場所は、福島県双葉郡広野町の常磐道自動車道広野インターチェンジ工事区間で、在来工法で斜面を緑化したが、植生が半年で衰退した所である。試験地の概要をTable 1に示す。地層は、泥岩層、砂岩層、礫岩層などが互層となり、かつ各層が傾斜した状態である。勾配は1:1.0~1.2で、高さ7mの斜面が5段造成され、面は南向である。なお、施工前に、試験区の土壌を分析した。方法は、日本道路公団規格JHS602-1992を参考に、土:30%過酸化水素水=1:10で強制酸化処理溶液を作製した。溶液について、pH、EC（電気伝導度）、硫酸イオン量をそれぞれ測定した。その結果をTable 1に示した。同表から明らかなように、pH3.5以下の強酸性で、硫酸が多量に存在していることから強酸性硫酸塩土壌と判定⁴⁾された。Fig.9の試験区周辺土壌のpH条件と比べても異常な値ではなく、実証試験に適すると判断した。

試験面積は約33 m²で、「チップクリート板」敷設後、植生基材を厚さ5 cmに吹付けた。植生基材はTable 2の標準配合で、植生はトルフェスク330 g/m³、ケンタッキーブルーグラス36 g/m³、コロニアルペントグラス6 g/m³

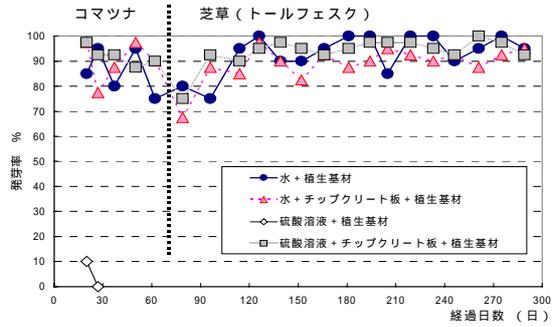


Fig.7 コマツナと芝草の発芽試験結果

(硫酸溶液 0.1 mol L⁻¹)

Result of the Germination Test

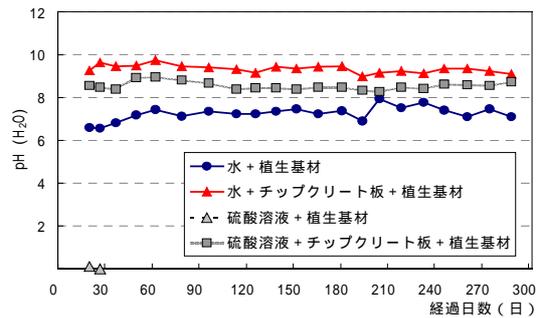


Fig.8 発芽試験の植生基材のpH

(硫酸溶液 0.1 mol L⁻¹)

pH of the Artificial Soil used by the Germination Test



水: チップクリートと基材

硫酸溶液0.1 mol L⁻¹: チップクリートと基材

播種後14日目

Photo 2 発芽試験結果

Result of a Germination Test

の3種混合とした。2001年6月6日~7日に施工し、1カ月後、4カ月後、1年毎に植生観察および土壌調査を実施した。調査では目視で植被、草丈、葉色、土壌のpH、EC、含水比を測定した。土壌pHとECは、土:水=1:5水浸出液を作成し、pH、ECを測定した。

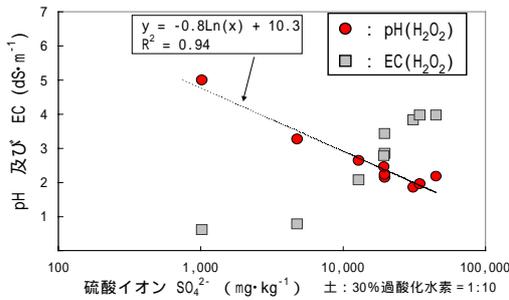


Fig.9 実証試験地の周辺土壌のpHと硫酸量
pH and Safer Ion in the Soils of Experimental Field

Table1 実証試験地の概要

General Information of the Experimental Field

＜試験区の状態＞			
施工面積	33m ²	(13m ² 4段目) (20m ² 3段目)	
傾斜	1 : 1.0 ~ 1.2		
土質	泥質砂岩 ~ 砂質泥岩		
硬度	20 ~ 25 mm		
＜施工前の基岩と植生基材の状態＞			
基岩	pH(H ₂ O)	2.0	-
	EC(H ₂ O)	6.2	dS m ⁻¹
	pH(H ₂ O ₂)	2.0	-
	EC(H ₂ O ₂)	5.9	dS m ⁻¹
	SO ₄ ²⁻ (H ₂ O ₂)	27,000	mg kg ⁻¹
植生基材	pH(H ₂ O)	2.3	-

Table2 植生基材の標準配合

Standard Composition of the Material for Greening

資材名	(基材厚 t=5cm)	
	単位	1m ³ 当り
トールフェスク	g	330
ケンタッキーブルーグラス	g	36
コロニアルベントグラス	g	6
高度化成肥料 15-15-15	g	3,750
緩効性窒素肥料 16-5-10	g	3,750
バーク堆肥	L	1,600
ピートモス	L	400
接合材	g	2,000

また、チップクリートの中和・排水機能を調べるため、降水期の2002年8月30日～10月10日まで、植生基材に直接センサーを埋込んで間隙水の水分とpHを毎時測定した。試験区にTDR水分計(形式CS615 Campbell Scientific Inc.)、および埋設式pH計(型式DIK-695A 大起理化学工業(株))を設置し、自動記録した。対象として、試験区と同一斜面で、良質な土壌で生育が良い所に在来工法区を設定した。降水は、アメダスより、毎時データを引用した。

4.2 結果と考察

4.2.1 発芽と生育

Photo 3に施工前と施工4カ月後、Photo 4に施工1年後の状態を示す。施工1カ月後に、約1,000本/m²の発芽を確認した。施工後4カ月後には、植被率が70%となった。4カ月の間に夏季を挟み、高気温、かつ2週間以上晴天が連続する厳しい条件であったが、良く生長した。施工1年後、草丈は30cm以上に生長した。斜面上位の一部で、芝草の衰退が見られ植被が低下したが、在来種の侵入が既に始まり、植被が回復しつつある。

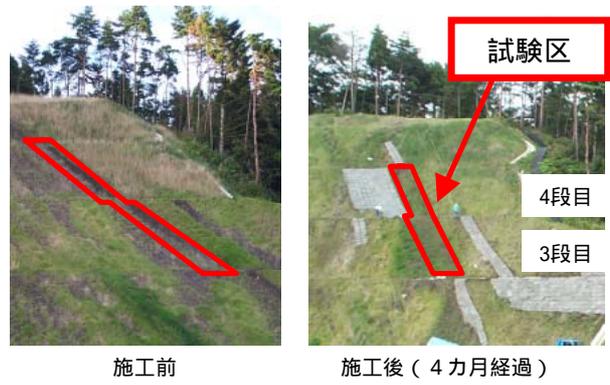


Photo 3 実証試験地の施工前と施工4カ月後
Experimental Field;

Left: Before Treatment
Right: 4 Months after Treatment



Photo 4 施工1年後
Experimental Field; 12 Months after Treatment

4.2.2 植生基材の長期間安定性

Fig.10に植生基材を採取して測定したpHを示す。ここでは、定期的に採取した植生基材のpHから、チップクリート板を酸性土壌に置いた状態で、植生基材のpHの長期的な変動を調べた。

植生基材が、試験前の在来工法ではpH 2.3を示していた場所で、チップクリート緑化工法では施工1年後にpH 7.4を示した。基材が、通年、中性～アルカリ性を保ったことから、チップクリート板の中和機能が有効に作用して、基材は急激に酸性化しないことが分かった。植生が良好に生育できた理由は、基材が適当なpHに維持された結果と判断される。

4.2.3 降水時の植生基材の水分とpH

Fig.11に、植生基材の水分を体積含水率で示した。Fig.12に、基材のpHを示す。pHは基材に埋込んだセンサーの値で、基材に浸透した間隙水を連続計測した。ここでは、降水時の植生基材の水分とpHから、短期間に水分条件が変わる場合の性能を調べた。利用する降水時のデータは、施工後14～15カ月目となる9月12日～20日の記録である。観測中は台風など、断続的に降水を記録した。

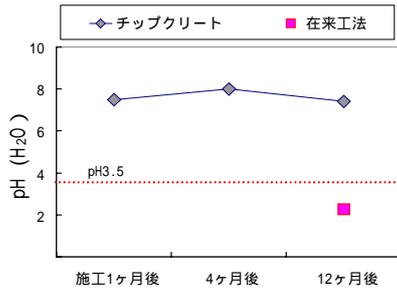


Fig. 10 実証試験の植生基材のpH (土：水=1：5)
pH of the Artificial Soil with Samples

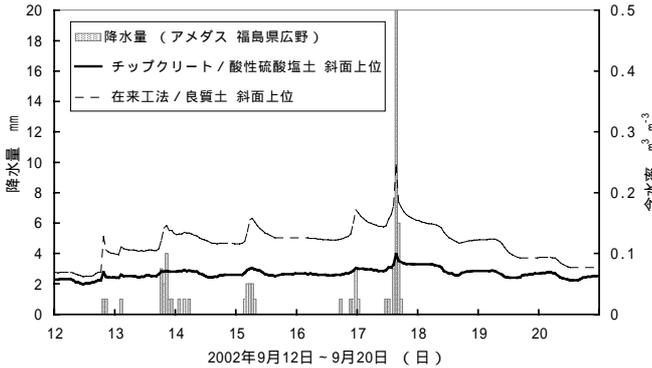


Fig.11 秋雨と植生基材の水分

Soil Moisture of the Artificial Soil in Field on Rainy Season

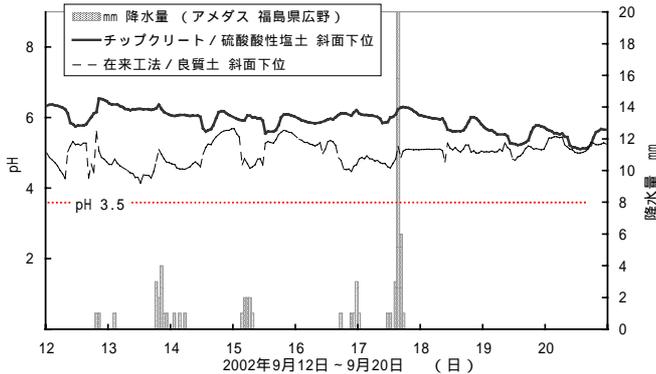


Fig.12 実証試験の植生基材のpH (土中埋設による直読式)
pH of the Artificial Soil in Field on Rainy Season

(1) 水分 在来工法の植生基材は、体積含水率 $0.06 \sim 0.25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ であり、降水の影響で急激な水分変動が生じた。一方、チップクリート板がある場合、 $0.05 \sim 0.1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ であり、降水時に含水率は微増したが、急激な水分変動はなかった。これより、チップクリート緑化工法は、高い排水性能を維持していると判断される。

(2) pH 在来工法の植生基材は、降水期にpH4～6の変動があった。一方、チップクリート板がある場合、pH5～6の幅で推移して、pHは植生に適した範囲で安定していた。降水が連続すると植生基材のpHがやや低下するが、在来工法より変動幅が小さく、かつ強酸性は示さなかった。これより、チップクリート緑化工法は、施工1年後も、間隙水の中和性能を維持していると判断される。

5. まとめ

チップクリート緑化工法に利用するチップクリート板の性能評価およびチップクリート緑化工法を適用した実証試験を約1年間行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

(1) チップクリート板は、工事で取扱い中に容易に破壊しない強度である。

(2) チップクリート板は、強酸性の硫酸溶液に浸っても硫酸を中和しつつ、板の毛管水の酸性化を抑制できる。

(3) チップクリート板は、植生基材を組合せると正常に発芽する。アルカリによる発芽障害を回避できる。

(4) チップクリート緑化工法は、実証試験で、植生基材は中性～アルカリ性を通年維持し、植物が生育することを確認した。

(5) チップクリート緑化工法は、降水時、急激に水が増える条件でも、植生基材の水分変動は小さく、pHは中性～弱酸性に維持された。チップクリート板の中和と排水機能は、施工1年後も、保持されることを確認した。したがって、酸性水が浸出する強酸性硫酸塩土壌において、チップクリートの中和・排水機能が有効に働き、通年の緑化が可能であることが実証できた。

今後は、さらに植物の永続性に関する調査を継続し、本工法の有効性を検証するとともに、乾燥しやすい特性を改善するなど工法の改良を進めていく予定である。

なお、本工法は開発途上であるが、技術の独創性と有用性が認められ、本線工事で生育不良が確認された斜面 430m^2 に試採用された。

謝辞

最後に、特殊な斜面緑化の検討にご配慮頂いた日本道路公団東北支社いわき工事事務所、および本技術の開発に貴重な助言と協力を頂いた(株)大林組・株木建設(株)共同企業体、「チップクリート板」を製品化していただいたランデス(株)に、この場を借りて深くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 日本道路公団 試験研究所 緑化試験研究室：強酸性のり面等の改良に関する検討，試験研究所技術資料第711号，(1997.3)
- 2) 杉本，辻：建設副産物の緑化利用に関する研究(2) - チップクリート板の特性 -，土木学会第57回年次学術講演会，講演要旨 -469，(2002.9)
- 3) 大林組技術研究所 環境生物研究室：「チップクリート板」を利用した強酸性土壌法面緑化工法について，建設物価7月号，(財)物価調査会，(2002.7)
- 4) 杉本，塩田，他：建設発生土の緑化利用に関する研究(その1)，大林組技術研究所報，No.47，(1993)