

法面緑化用「チップクリート®」の強度と長期モニタリング評価

杉 本 英 夫 十 河 潔 司

Strength and Long-term Monitoring Evaluation of Chipcrete for Slope Revegetation

Hideo Sugimoto Kiyoshi Sogo

Abstract

The Chipcrete is a wood-chip concrete with porous structures. Although it is a type of porous concrete, because it uses a chip material made from wood wastes such as thinning, standards and data specifying its quality are few. To exploit the characteristics of the Chipcrete, measures to maintain the balance between strength and porous structure is required. Therefore, the uniaxial compressive strength, bending strength, and porosity were evaluated in indoor tests. For evaluating the weatherability of Chipcrete, a demonstration test was conducted by establishing tests at a silica mine site where strongly acidic soil was exposed, erosion was intense, and planting was difficult. Because of long-term monitoring for more than 10 years after the test construction was finished, we confirmed that although the vegetation base material had declined, Chipcrete covered the slope and withstood erosion.

概 要

「チップクリート®」は、連続した空隙を有する木片コンクリートである。ポーラスコンクリートの一種であるが、間伐材などを原料とするチップ材を使うために、その品質を規定する基準やデータが少ない。チップクリートの特性を生かすためには、強度と空隙率のバランスを保つための対策が必要となる。そこで、現場で施工する方法で供試体を製作して、室内試験で一軸圧縮強度、曲げ強さ、空隙率を測定して、強度・変形特性の評価を行った。そして、チップクリートの耐候性を評価する目的で、珪石鉱山敷地内の強酸性土壌が露出して浸食が激しく緑化が困難な場所において、実証試験を実施した。試験施工して10年以上の長期間モニタリングの結果、植生基材が衰退しているもののチップクリートは斜面を覆い浸食に耐え、植物が生育できる状態を保つことを確認した。

1. はじめに

チップクリートは、木材チップを骨材に利用して、セメントと水を練り混ぜて固めた木片コンクリートである。骨材となる木材チップは、セメント成分の被膜で覆われており、木質部の生分解が抑制されるため、長期間の利用が可能である。その特徴には、連続した空隙による高い排水性と酸性物質に対する中和の機能がある。これを利用すると、土壌が強酸性で、強酸性の水が浸出する場所でも植物が育つ状態になり、緑化できる。また、有機質資材のみで構成される一般的な緑化材料に比べて、高い浸食耐性を示すため、斜面の浸食対策の強化も期待できる。

筆者らは、2001年に開発した後も継続的に技術の改良・改善を進めている^{2), 3)}。しかし、品質の規定値や耐久性に関わるデータが少ない。したがって、技術的な検証を積み重ねることが必要である。

技術の安全性を高めるためには、現場レベルでの検証が重要と考えて、室内試験では施工現場で製作した供試体で、強度を調べた。そして、実証試験では、浸食が激しい鉱山の斜面を利用して、長期間モニタリング評価を行った。

2. 開発技術の概要

2.1 木材チップの材質と形状

Photo 1に工事現場で発生した伐採材の例を示す。チッ

プクリートで用いる木材チップは、構造体としての強度を保ちながら、連続空隙を形成するための材料である。そのため、基本的にセルロース主体の木質部を使用するが、原材料は流木など製材用には不適当なものも利用できる。

Photo 2に木材チップ例を示す。サイズと形状の規定値は、平角状型のチップ材で辺長5~30mm、針状型のチップ材で長さ10~65mmとする。この理由は、固めた時に連続空隙の形成が容易であり、さらに一般的な土木工事で使用する吹付け機械(モルタルガン)を使用するためである。平角状チップ材(切削チップ)は、切削式のカンナのようなもので木材を削って製造したチップ材である。主に製紙工場での紙の原材料の木材パルプや木質系バイオマス(再生可能エネルギー燃料)として利用される。

針状チップ材(破碎チップ：ピンチップ、クラッシャーチップ)は、大型の自走式木材破碎機(タブブラインダー)を使用したハンマーミル、あるいはハンマークラッシャー等のハンマー式破碎機で製造したチップ材である。主に緑地等の地表を覆うマルチング材として利用される。

2.2 施工方法

施工方法は、ボードシステムと吹付けシステムの2種類がある。ボードシステムは、工場で製造した板状のチップクリートを使用する。吹付けシステムは、現場でチップクリートを施工する。本報の供試体の製作および試験施工は、全て吹付けシステムにて実施した。

Fig. 1に吹付け方式の施工手順, Photo 3にチップクリートの施工と仕上がり状態を示す。チップクリートは、ラス網の設置後、セメントミルクでコーティングした木材チップを吹き付けて、ラス網と斜面を一体化する。さらに、チップクリート面を緑化する場合、植物の種子と肥料などを混合した植生基材を表面に吹き付ける。



Photo 1 工事現場で発生した伐採材
Logging Tree Generated at the Construction Site



平角状(Flat-Granular-Shaped) 針状(Needle-Shaped)

Photo 2 木材チップの種類
Kind of Wood Chips for Chipcrete

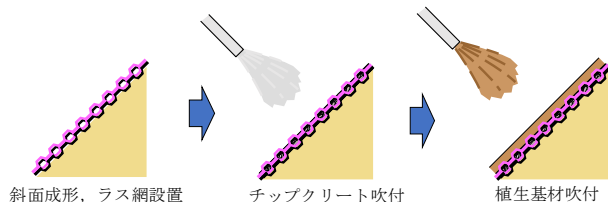


Fig. 1 吹付け方式の施工手順
Construction Image by the Air Blast System



平角状(Flat-Granular-Shaped) 針状(Needle-Shaped)

Photo 3 チップクリートの施工機械と仕上がり状態
Finish State and Construction Equipment for Chipcrete

3. 強度・変形特性の評価

3.1 試験方法

強度・変形特性は、一軸圧縮試験、曲げ試験により求める。それと共に空隙率を測定して、評価を行った。供試体の原料は、木材チップ、セメント、水、増粘剤である。木材チップは2.1の規定値の大きさで揃え、それ以外の材料の配合も同じ条件とした。

3.1.1 一軸圧縮試験 Photo 4に供試体の製作状況を示す。供試体の作成は、吹付けモルタル試験用の型枠ネットモールド(φ100mm, 高さ200mm)を使用し、木材チップの種類を変えたものを作製した。測定前に、ネットモールドを取り除いて、載荷面の表面凹凸処理のため石膏キャッピングを行った。測定は、引張圧縮試験機250kNタイプで行った。試験の手順はJIS A 1108を参考にした⁴⁾。

3.1.2 曲げ試験 Photo 5に供試体と試験状況を示す。供試体は、縦横300×300mmで、厚みを30～100mmとした。木材チップの種類を変え、ラス金網が有るものと無いものを作製して、載荷面の表面凹凸処理のため石膏キャッピングを行った。測定は、3.1.1と同じ試験機で行った。試験の手順は、JIS A 5404とJIS A 1408を参考にした^{5), 6)}。載荷速度1.0mm/min, 曲げスパン250mm の条件で行うが、強度ピークが出た場合、載荷速度3.0mm/minへ変更した。

3.1.3 空隙率 供試体は、3.1.1と同じ方法で作成した。測定は日本コンクリート工学協会の報告書⁷⁾を参考にした。ネットモールドを取り除いて、ノギスを用いて供試体の寸法(直径, 高さ)を測定した。24 時間以上水中養生して飽和させた供試体の重量と、気中の供試体の重量を測定し、空隙率を算出した。

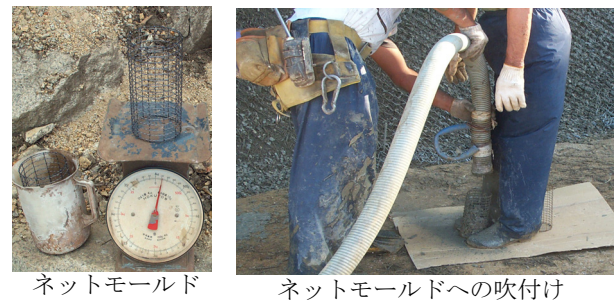


Photo 4 一軸圧縮試験の供試体の製作状況
Making of Test Piece for Uniaxial Compression Test



Photo 5 曲げ試験の供試体と試験状況
Test Piece and Situation of Bending Test

3.2 測定結果

3.2.1 一軸圧縮強度 Fig. 2に針状の木材チップ供試体の一軸圧縮試験結果を示す。荷重の値は積載直後にピークを示した後、徐々に上昇することを確認した。ピークが過ぎても荷重の値が上昇する理由は、木材チップが圧縮される過程で緻密な構造となり、剛性と耐力が高まるためと考える。

Fig. 3に一軸圧縮強度と空隙率を示す。ピーク時の荷重の値を用いて一軸圧縮強度を算定し、空隙率との関係を調べた。一軸圧縮強度は、0.3~4.4N/mm²を示した。空隙率が高くなると、一軸圧縮強度が低下する傾向がある。

針状の木材チップの試験結果に、この傾向から離れたデータ(破線丸囲い)が生じている。これは、木材チップの形状が細長いために、吹付け時に木材チップの配向に差が生じたためと考える。

これより、チップクリートの一軸圧縮強度は、空隙率が高いと低下する傾向に加え、圧縮により密度が高くなると強度が漸増することが分かった。

3.2.2 曲げ強さ Fig. 4にラス金網無しの供試体の荷重と変位の関係、Table 1とFig. 5にラス金網有りの供試体の荷重と変位の関係を示す。チップクリートは、ラス金網なしの条件の曲げ強さが1.1~2.2N/mm²を示し、モルタルの曲げ強さ4.1 N/mm²の1/4~1/2を示した。また、ラス金網有りの条件で1.3~4.4N/mm²を示し、ラス金網なしの条件に比べて一次破断荷重は増加し、強度は高まった。特に厚さ30mmの条件では、曲げ強さ4.4N/mm²となり、ラス金網なしのモルタル70mmの条件と同程度の値を示した。

Photo 6にチップクリートの曲げ試験状況を示す。供試体は、厚さ100mmでラス金網有の条件である。チップクリートは変位が増加すると割れて、折れ曲るが、破片は飛び散らず、完全に破断しない状態を保つ。割れた面を観察すると、木材チップが重なり合う構造が分かる。この構造が、一般のコンクリートに比べて、変位が増加する原因と考える。

これより、チップクリートは、曲げても容易に割れず、たわむ性質があり、その曲げ強さは、ラス金網の補強効果でモルタル並みに高まることが分かった。

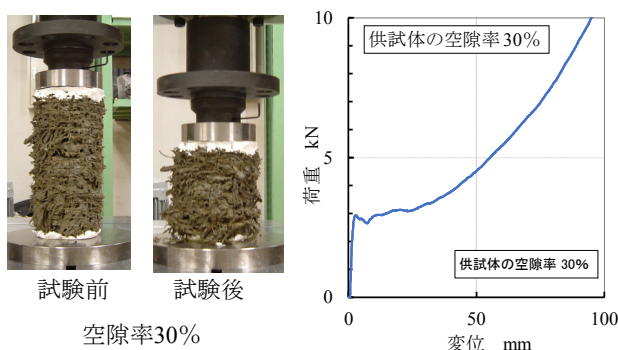


Fig. 2 針状の木材チップ供試体の一軸圧縮試験
Uniaxial Compression Test
by Test Piece of Needle-Shaped Woodchip

3.2.3 空隙率 Table 2に空隙率を示す。平角状と針状の木材チップの両形状ともに、空隙率40%程度で、一般的な河川護岸緑化用ポーラスコンクリートの基準である空隙率25%以上⁸⁾を示した。

これより、チップクリートの空隙率は、一般的なポーラスコンクリートの基準を満足することが分かった。

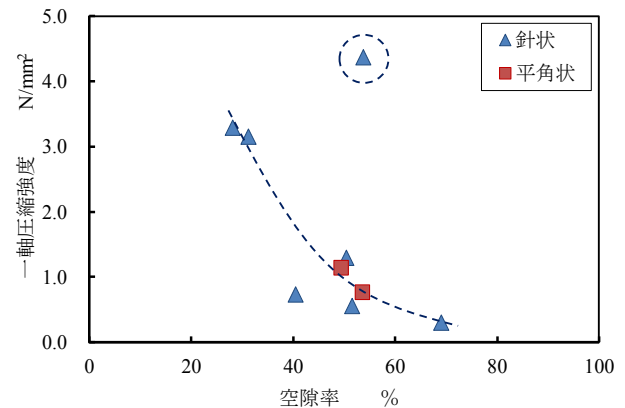


Fig. 3 一軸圧縮強度と空隙率
Uniaxial Compression Strength and Air Space Ratio

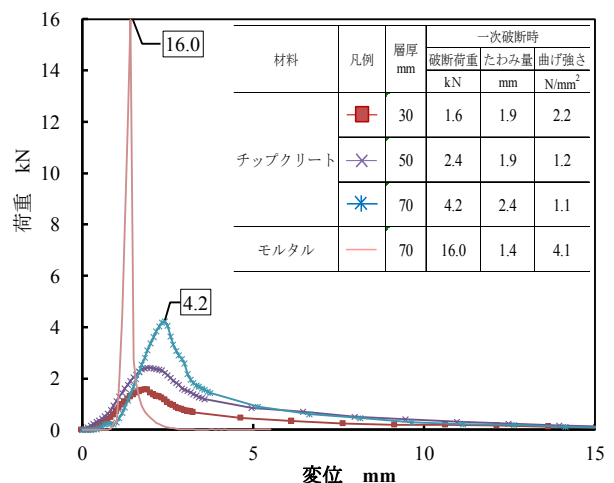


Fig. 4 ラス金網無しの供試体の荷重と変位
Breaking-load and Bending Deflection
by Test Piece without Wire Mesh

Table 1 ラス金網有りの供試体の荷重と変位
Breaking-load and Bending Deflection
by Test Piece including Wire Mesh

ケース No.	層厚, チップ形状	一次破断時		
		破断荷重	たわみ量	曲げ強さ
		kN	mm	N/mm ²
ケース 1	30mm, 針状	3.2	1.8	4.4
ケース 2	60mm, 針状	6.3	1.8	2.2
ケース 3	100mm, 平角状	10.3	2.2	1.3

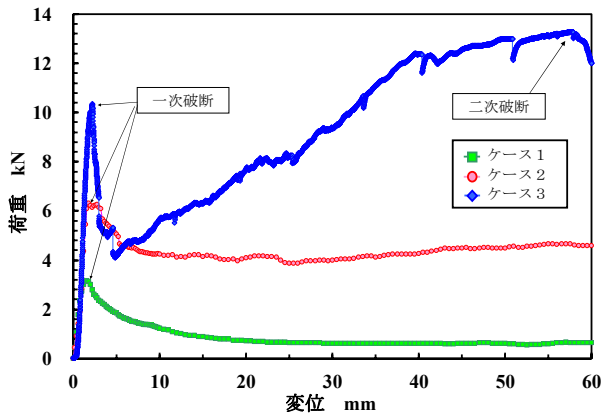


Fig. 5 ラス金網有りの供試体の過重と変位
Breaking-load and Bending Deflection
by Test Piece including Wire Mesh

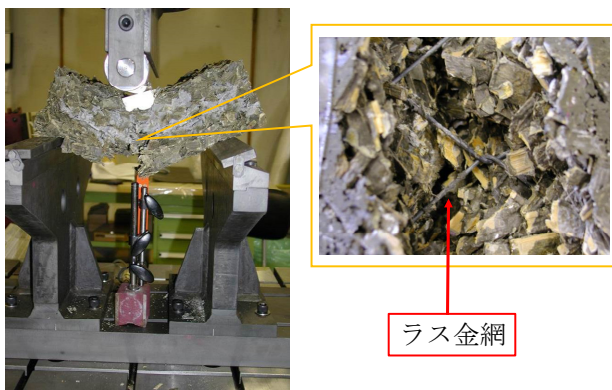


Photo 6 曲げ試験の状況
Break Situation of Chipcrete

Table 2 チップクリートの空隙率
Air Space Ratio of Chipcrete

チップ形状	容積 (cm^3)	水中重量・ 24h (g)	気中重量・ 24h (g)	空隙率 (%)
平角状	1,538	98	1,050	38
針状	1,526	223	1,170	38



Photo 7 試験開始前の試験地の遠景(2002年5月9日)
Site Scene on May 9th, 2002

4. 耐候性の評価

4.1 実証試験の概要

4.1.1 実証試験地 Photo 7に試験開始前の試験地の遠景を示す。場所は、静岡県賀茂郡西伊豆町の珪石鉱山である。標高550～700mで、年間降水量は2,000mmを超える。地層は、白色凝灰岩が主体である。露天掘りで鉱石を採掘され、斜面は一段の高さが数m程度の階段状である。

Photo 8に試験場所を示す。南西向き切土のり面で、斜面長9m、傾斜50°～60°の急勾配である。暗灰・暗青色の基岩が露出し、それが風化した表土は粘性が高く、pH3.5以下の強酸性を示す。強酸性の影響で斜面に植物が生えない場所は、浸食による地表面の凸凹が激しい。基岩は酸性の原因物質であるパイライト(黄鉄鉱)が含まれており、固液比1:10過酸化水素水処理液の抽出条件でpH1.6～2.6、硫酸イオン9,200～29,000mg/kgを示した。

4.1.2 試験条件 Table 3に試験区の条件を示す。試験区は4条件を比較するため、小区画(9m×5m)を4つ設け面積約180 m^2 とした。チップクリートの厚さ30mmで、緑化用の植生基材を30mmと50mmの2種類設けた。対照は、植生基材の厚さ70mmを基本として、モルタル層有りと無しの2種類設けた。チップクリートの木材チップには、平角状のタイプを用いた。緑化植物は、ノシバ、ヨモギ、ススキ、ヤシヤブシ、ヤマハギ、パミューダグラスである。試験区の設置工事は、2002年6月20～22日に行った。

4.1.3 調査方法 調査は、2002年7月～2007年7月の5年間の定期調査を行い、その後も不定期に調査を継続した。Table 4に定期調査の測定項目と方法を示す。測定は目視による植被率、植生基材のpH、EC(電気伝導度)、含水比、硫酸イオンを測定した。不定期調査では、目視による植生の生育状態、チップクリートのpHを測定した。

4.2 調査結果

4.2.1 植生基材の状態 Photo 9にC3K3を除く試験区の経年変化を示す。植生基材の厚さは、試料の採取時に目視で測定した。M3K7は2004年5月で30mm、2007年7月にはほぼ無くなった。K7は2003年9月に30mm、2007年7月にはほぼ無くなった。C3K5は2003年9月に20mm、2007年7月に10mm程度あった。C3K3は2003年9月に10mm以下になっていた。植生基材が薄くなったC3K3は、植物が衰退していた。

Fig. 6に試験地の施工後1年間の日最大降水量を示す。2002年10月1日に196mm/日の豪雨が生じていた。C3K3では施工の初年度において、後述の通り被度2と他の試験区に比べて被度が1ランク低く、植物が十分に生育していない状態であった。そのため、植生基材が浸食を強く受け、その後も緑化が困難になったと考えられる。

4.2.2 被度 Table 5に試験区の被度を示す。被度は、コドラート(0.5×0.5m)内で植物が占める植被率を5段階の階級で示す。植物は施工から1ヶ月後に発芽し、2002年9月に全ての試験条件で被度2～3を示した。植物は、ヨモギ、

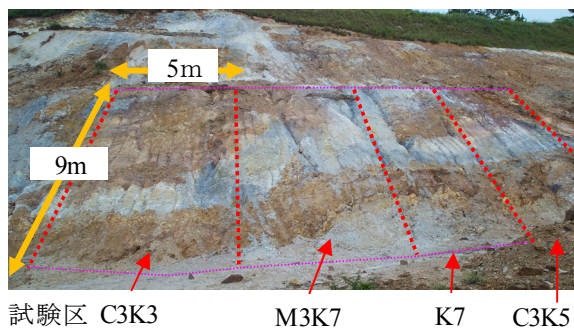
ススキ、バミューダグラス、ノシバ、ヤシヤブシ、ヤマハギを確認した。しかし、施工から2年後にC3K5は被度4を示したが、C3K3とM3K7は被度1、K7は被度が計測できなくなった。施工から14年後の2016年8月にC3K5では被度3を示し、ノシバ、ススキ、バミューダグラスを確認した。

これより、C3K5のチップクリート30mmに植生基材50mmの条件では、施工3か月後から被度3となり、その状態を継続することが分かった。

4.2.3 植生基材のpH Fig. 7に測定結果を示す。施工1ヶ月後の2002年7月に、M3K7でpH6.6、K7でpH6.6、C3K5でpH6.8と中性を示した。しかし、K7の植生基材70mmの条件では施工から3ヶ月後の2002年9月に、pH3.2と強酸性となり、2003年9月にpH2.6、2004年5月でpH2.4と植物が生育できない状態になった。M3K7の厚さ30mmのモルタルに植生基材の条件では2004年5月でpH2.4を示し、植物が生育できない状態になり、基材は浸食を受けて流された。

一方、C3K5のチップクリート30mmに植生基材50mmの条件では、施工後も中性を維持した。5年後の2007年7月にpH5.1へ低下したが、植物は生育できる状態を示した。

これより、モルタルでは植生基材の酸性化を抑制できない場所において、チップクリートは植生基材の酸性化を抑制して、その効果が5年以上継続することを確認できた。



試験区 C3K3 M3K7 K7 C3K5

Photo 8 試験場所(赤線は試験区の範囲)
Slope Area of Strongly Acidic Soil in Test Site

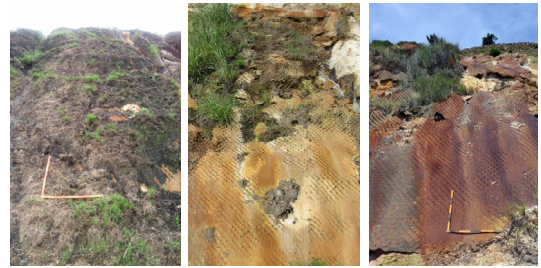
Table 3 試験区の条件
Test Conditions

ケースNo.	基盤条件
M3K7	モルタル30mm+植生基材70mm
K7	植生基材70mm
C3K3	チップクリート30mm+植生基材30mm
C3K5	チップクリート30mm+植生基材50mm

Table 4 定期調査の測定項目と方法
Measurement Item and Method

項目	方法
被度 (植被率)	ブラウン-ブランケ法
pH	土：水=1:5浸出液，ガラス電極法
EC (電気伝導度)	土：水=1:5浸出液，白金電極法
含水比	110℃ 炉乾燥
硫酸イオン	土：水=1:5浸出液，イオンクロマト法

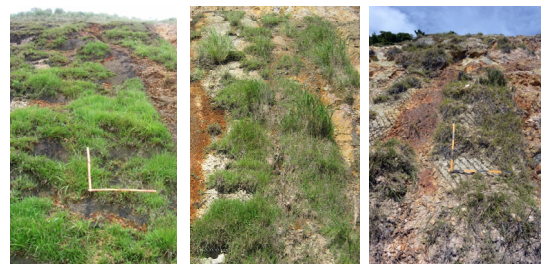
M3K7



K7



C3K5



2004/5/24 2007/7/31 2016/8/8

Photo 9 試験区の経年変化(2004年，2007年，2016年)
Secular Change of Test Condition in 2002, 2007, 2016

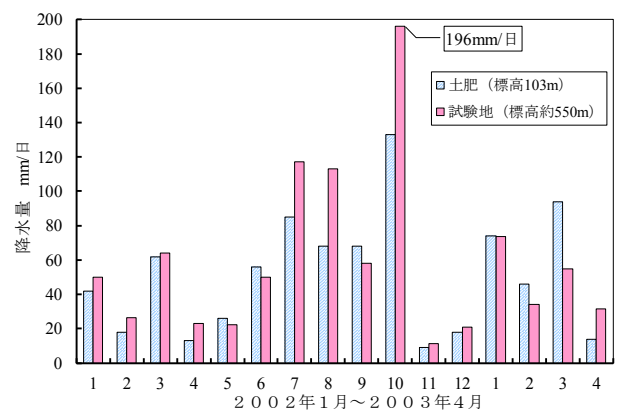


Fig. 6 試験地の日最大降水量(データ提供：東海工業株)
Precipitation Maximum on a Day in Test Site

Table 5 試験区の被度
Cover Plant Ratio by Braun-Blanquet Method

年/月/日	C3K3	M3K7	K7	C3K5	被度
2002/7/10	+	1	+	1	5 : 75-100%
2002/9/4	2	3	3	3	4 : 50-75%
2003/4/28	1	1	1	1	3 : 25-50%
2003/9/4	1	1	+	2	2 : 10-25%
2004/5/24	1	1	0	4	1 : 1-10%
2007/7/12	1	+	—	3	+
2007/7/31	1	+	—	4	1 : 1-10%
2007/9/18	1	+	—	3	+
2016/8/8	—	0	—	3	+

4.2.4 植生基材の硫酸イオン Fig. 8に測定結果を示す。K7は2003年9月に3,600mg/kg, 2004年5月に4,700mg/kgを示した。同様にM3K7は2003年9月に2,000mg/kg, 2004年5月に5,100mg/kgを示した。一方、C3K5は2003年9月に270mg/kg, 2004年9月と2007年7月に520mg/kgを示した。

これより、植生基材のpH低下は、基岩のパイライトの風化により発生した硫酸イオンの影響を受けたものであることが分かった。またモルタルは、裏面浸食や亀裂の影響により、酸性化した水を遮断する効果が2年程度であることが分かった。

4.2.5 チップクリートのpH Photo 10に試料採取と測定時の水浸状況を示す。試料はC3K5から採取した。測定は固液比1:2の浸出液でpHメーターを用いた⁹⁾。2007年8月はpH8.0~8.3, 2016年8月でpH8.3を示した。

これより、チップクリートは施工から14年後でもpHアルカリ性を持ち、強酸性の条件に耐えることを確認した。

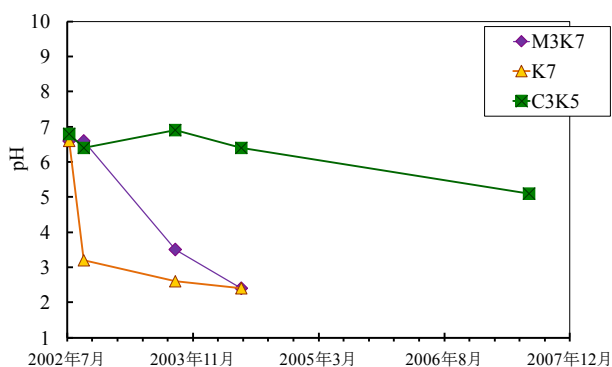


Fig. 7 植生基材のpH
pH of the Vegetation Base Material

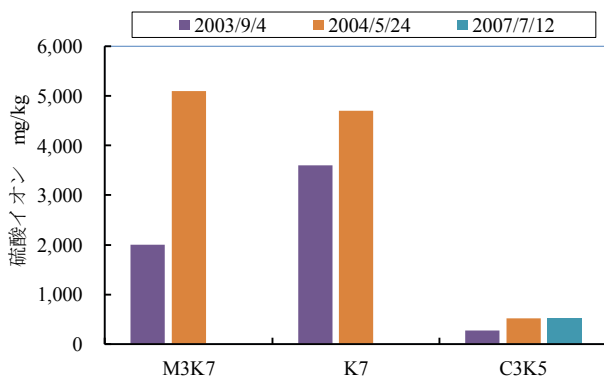


Fig. 8 植生基材の硫酸イオン
Sulfate Ion of the Vegetation Base Material



Photo 10 試料採取と測定時の水浸状況
Sampling and Dipping State of Chipcrete

5. まとめ

チップクリートの機能性は、その空隙に大きく依存する。しかし、強度は空隙と相反する関係にあるため、品質管理では、両者がバランスする範囲にする必要がある。

本報では、室内試験にてチップクリートの強度と変形特性の評価を行った。さらに、チップクリートの耐候性を評価するため、現地実証試験により、長期間に渡るモニタリング調査を行い、次を確認した。

- ・チップクリートは、木材チップの規定値を平角状型で辺長5~30mm, 針状型で長さ10~65mmにした材料を使い、一般のポーラスコンクリートと同程度以上の空隙率を示す。空隙率が高いため軸圧縮強度は低いが、ラス金網を使用するとモルタル並みの曲げ強さになる。
- ・現場の強酸性土壌にさらされた条件で、14年以上もpH中性を保つ。そして、チップクリート30mmに植生基材50mm吹付けた条件で植物が生育する。
- ・今後の課題は、植生が衰退した場合の対策や超長期使用するための補修など維持管理に係わる技術改良である。

謝 辞

本研究の実施にあたり、東海工業株式会社伊豆事業所、大林組東京本社土木本部生産技術本部、フリー工業株式会社から多大なるご協力をいただきました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 杉本英夫, 溝田陽子, 辻博和: 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, 大林組技術研究所報 No. 66, 2003
- 2) 杉本英夫, 小宮英孝, 森田晃司, 浜井邦彦: 建設副産物の緑化利用に関する研究(4)—吹付け方式のチップクリート緑化工法, 土木学会第59回年次学術講演会, 7-225, pp. 449-450, 2004
- 3) 杉本英夫, 十河潔司, 森田晃司, 山田宏: 木片コンクリートによる緑化技術, コンクリート工学Vol. 48 No. 9, pp. 115-119, 2010
- 4) 日本工業規格: コンクリートの圧縮強度試験方法(JIS A 1108)
- 5) 日本工業規格: 木質系セメント板(JIS A 5404)
- 6) 日本工業規格: 建築用ボード類の曲げ及び衝撃試験方法(JIS A 1408)
- 7) 日本コンクリート工学協会: ポーラスコンクリートの設計・施工法の確立に関する研究委員会報告書, 2003
- 8) 先端建設技術センター: ポーラスコンクリート河川護岸工法の手引き, 第530号, pp. 79-85, 2001
- 9) 杉本英夫, 本間治: 建設副産物の緑化利用に関する研究(5)—強酸性土壌に適用した木片コンクリート板の中和性能, 土木学会第62回年次学術講演会, CS4-006, pp. 155-156, 2007