

踏まれても枯れにくい駐車場緑化技術の開発

佐久間 護

都市化の進行に伴うヒートアイランド現象やゲリラ豪雨による被害は関心の高い環境問題であり、対策の切り札の一つとして駐車場の緑化が注目されている。しかし「植物が健全に生育しない」「凸凹で歩きにくい」といった利用者からの不満が多く、課題の解決が強く望まれている。筆者らは大型車両の輪荷重、据え切りに耐える芝生保護構造を有すると共に、良質な歩行感と緑被率90%以上の芝が永続的に健全育成し、しかも雨水を有効利用して灌水管を省力化する節水型の駐車場緑化システムを開発した。

当該技術の適用により、駐車場緑化の芝生はほぼ活着する。ただし、エンジン熱や車体による日照不足(EX.終日日影)での枯損は除く。

キーワード：駐車場、緑化、芝生保護構造、耐久性、雨水貯留、歩行性

1. はじめに

駐車場緑化への取り組みは2009年5月に調査研究でスタートした¹⁾。当時、駐車場緑化で成功しているものは駐車頻度の少ない事例がほとんどであった。成功しているものでも植栽基盤の量が少ないため灌水装置のないものは夏季に芝生の枯死するものが多かった。また、歩行者が頻繁に歩く部位は踏圧により芝生の枯死が目立つ状況であった。これは輪荷重を支える芝生保護構造の目合いが大きいために、靴底が直接芝生や植栽基盤を踏み固めてしまうためである。そこで2013年から2年間、先導的都市環境形成促進事業費補助金(国土交通省)を得て、踏まれても枯れにくい駐車場緑化技術の開発を行った。

夏季の炎天下のアスファルト面は60℃を超える表面温度となるが、植栽された地表面はどんなに温度が上がっても40℃を超えることは無い。暑い日中は植物体自身を冷やす目的もあり、活発な蒸散作用を行うが、冬季はもちろん曇天や雨天時はほとんど蒸散せず、大気中の温度と水分を自動調節してくれる。この植物の持つ環境調節機能を路面で活用し、環境負荷の低減および良好な緑化景観の創出を目的に、輪荷重に耐え歩行感も良く常に地被植物が健全に生育する緑化システムを開発することとした。

2. コンセプトおよびシステム構成

(1) コンセプト

駐車場緑化技術のコンセプトは、人や車が走行しやすく、かつ植物が永続的に生育する駐車場緑化工法である。図-1に適用イメージを示す。コンセプト実現のため以下の項目を実施した。

- ①歩きやすく芝が良く育つと共に、輪荷重や踏圧で破壊されず沈み込まない性能を併せ持つ芝生保護材を開発する。
- ②輪荷重を支持する締固め特性を持つと同時に、植栽基盤として根の生育が可能となる客土材料を見出す。
- ③そのような客土材で芝生等の適用植物が健全に生育するか否かを確認する。

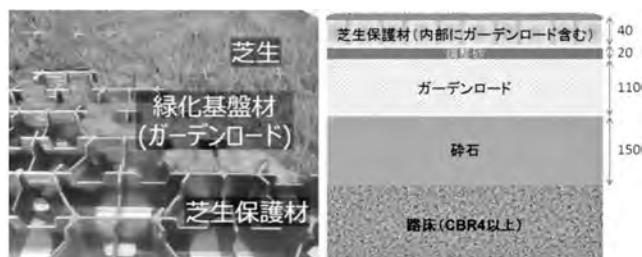


図-1 駐車場緑化工法の適用イメージ

- ④芝生保護材が歩行者、車椅子、車両にとってスムーズな歩行感及び走行感となっている。
- ⑤維持管理コスト低減のため、雨水や井水の利用を含めた灌水循環利用システムを構築する。

(2) 当該システムの構成

図一2に本システムの芝生保護構造及び標準断面を示す。構成の主要要素は、植物と植物保護材、路盤と植栽基盤を兼ねた客土材とこれを支える路床である。既存のアスファルト駐車場等への適用や灌水を用いる時には、排水層と灌水循環利用システムを組み合わせる。適用植物は日射量や交通量の条件で決定する。芝生、イワダレソウ、コケ植物等が適用可能である。通常はコウライシバの張芝を標準とする。芝生保護材は再生ポリプロピレン製であり、ハニカム構造に十文字の仕切り板を加え、歩行し易さと同時に踏圧から芝生の生長点を保護する構造となっている。芝生保護材のバタツキ防止は不陸調整砂を用いる。路盤（＝植栽基盤）には火山砂利系の多孔質客土材を用いる。締固め特性に優れ、設計CBR値で20以上を確保している²⁾。締固め特性は、最大乾燥密度 0.8 g/cm^3 、最適含水比78.8%、透水係数 $2.8 \times 10^{-1}\text{ cm/sec}$ 、有効水分 192 l/m^3 である。路床は、路床CBR値4が確保できない場合は、改良により所定の強度を確保する。



図一2 芝生保護構造及び断面図

3. 芝生保護材の構造検討

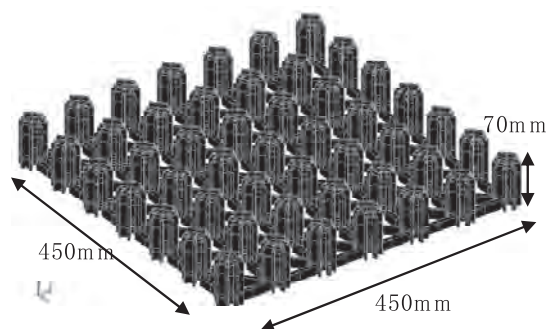
再生ポリプロピレン製でハニカム構造の芝生保護材を開発し、その効果の検証を行った。従来品と開発品の芝生保護材についてFEMモデルを作成し構造的検討を実施した。

(1) 解析モデル

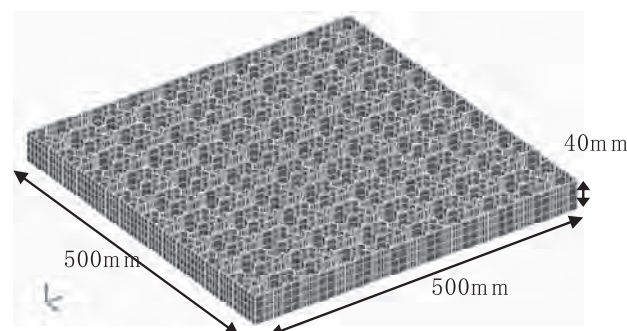
従来品と開発品の芝生保護材物性値を表一1に示す。従来品は、外径21～25mm、肉厚3.5mmの突起構造（図一3）で、全底面は拘束された状態である。開発品は、肉厚2.3mmの側壁がハニカム状（図一4）で全底面を拘束された状態である。

表一1 従来品および開発品の芝生保護材物性値

種 別	従来品	開発品
主 原 料	再生ポリプロピレン	再生ポリプロピレン
形 状	突起構造	ハニカム構造
寸 法	450 × 450 × 70 mm	500 × 500 × 40 mm
弾 性 係 数	$E = 2.04\text{ kN/mm}^2$	$E = 2.04\text{ kN/mm}^2$
ポアソン比	$\gamma = 0.35$	$\gamma = 0.35$
曲 げ 強 度	61.5 N/mm^2	61.5 N/mm^2
圧 縮 強 度	58.6 N/mm^2	58.6 N/mm^2



図一3 従来品解析モデル



図一4 開発品解析モデル

(2) 設定荷重および支持条件

設定荷重は、駐車場設計・施工指針 同解説³⁾よりT-20 (20 tf) とし、場内走行速度は8 km 以下で、前輪のハンドル操作による回転を振り荷重として扱うにあたり、路面に対するタイヤの摩擦係数を $\mu = 0.5$ とした。また荷重条件は、路面緑化で想定される鉛直荷重、水平荷重および振り荷重とする。

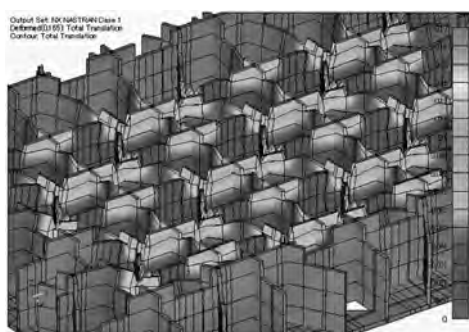
- ①鉛直荷重は、前輪・後輪共に同じであり、静止状態の鉛直荷重とし単位荷重 0.8 N/mm^2 より求める。
- ②水平荷重は車両の走行による反力により生ずるが、その反力は走行時よりも発車時または停車時に大きいと考えられ、発車時の水平力（鉛直荷重＋水平荷重）から求める。
- ③振り荷重は車両を止めた状態でハンドル操作を行って前輪をその位置で回転させ、路面に振りモーメントが生じた状態での前輪重量とタイヤと

路面の摩擦係数より求める。

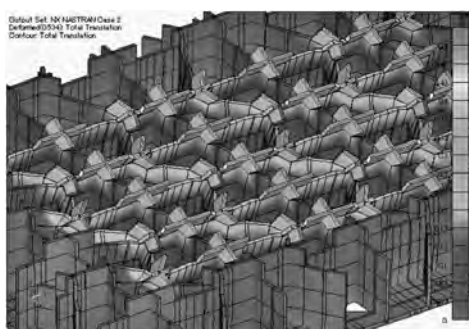
また、路盤等の地盤状況により本製品の支持条件が異なるが、本解析ではコンクリート上面での安定した支持条件で解析する。

(3) 解析結果

開発品の鉛直荷重、水平荷重、振り荷重による変形を、図一5～7に示す。衝撃係数 $F = 1.2$ を考慮して検討した結果、表一2に示すように最大絶対応力は鉛直方向加力時には開発品が大きく、水平方向加力時と振り方向加力時には従来品が大きい結果となった。また変形量は最も厳しくなる水平荷重で比較した場合に、開発品の方が約 $1/3$ 程度変形角が小さくなることも確認した。検討の結果から、従来品はこれまでに一般的に普及した製品であり強度的には問題のないものである。それに対し開発品は、それ以上の性能を有していると考えられる。



図一5 開発品の鉛直荷重変形図



図一6 開発品の水平荷重変形図



図一7 開発品の振り荷重変形

表一2 各荷重条件時の最大絶対応力 (N/mm²)

荷 重 条 件	鉛直方向加力時		水平方向加力時		振り方向加力時	
	従来品	開発品	従来品	開発品	従来品	開発品
主応力	14.7	19.4	52.6	29.6	24.8	19.3

4. 植栽基盤の選定と芝生の生育試験

駐車場の緑化で芝生が健全に生育するためには、適切な植栽基盤を選定することが重要である。そこで最適な植栽基盤を選定することを最終目的とし、芝生の生育要因として植栽基盤の種類、厚さ、硬度、施肥の有無が芝生の生育に与える影響について検討を行った。

(1) 植栽基盤の種類に関する芝生育成試験

上述した芝生の生育要因効果を把握し、主効果を特定することを目的に実験計画法を用いた実験⁴⁾を行った。1/2000 a のワグネルポットに排水層として黒曜石系パーライト ($\phi 3$ mm) を敷き込み、その上に不織布を敷き、礫質土系植栽基盤 (肥料成分含有)、砂質土系植栽基盤 (肥料成分含有)、礫質土系 (火山灰質) 植栽基盤 (肥料成分を含まない) を、表一3の各条件で詰めた。その上に、ケンタッキーブルーグラス、トールフェスク、ペレニアルライグラスの3種混合の寒地型芝草 30 g/m^2 を播種した (写真一1)。その後

表一3 直交表 L_9 (3⁴) に割り付けた要因と水準

因子名 No	植栽基盤種類	厚さ	硬度	誤差項
1	礫質土系	10cm	10mm	-
2	礫質土系	15cm	20mm	-
3	礫質土系	20cm	30mm	-
4	砂質土系	10cm	20mm	-
5	砂質土系	15cm	30mm	-
6	砂質土系	20cm	10mm	-
7	礫質土系 (火山灰質)	10cm	30mm	-
8	礫質土系 (火山灰質)	15cm	10mm	-
9	礫質土系 (火山灰質)	20cm	20mm	-

※植栽基盤の硬度は山中式土壌硬度計による



写真一1 試験体の設置状況

同年8月まで灌水装置の下で芝生を生育し、2週間に1度の頻度で4cmの高さに切り戻し、刈り取った生体重量を測定した。生育の良し悪しを説明する目的変数はその生体重量の積算で評価した。各因子の繰り返し回数は3回とした。

(2) 施肥の有無に関する芝生育試験

礫質土系植栽基盤と砂質土系植栽基盤には肥料成分が含まれており、礫質土系（火山灰質）植栽基盤には含まれていない。芝生の生育に大きな影響を与えると考えられる肥料効果を確認するため2014年1月に礫質土系（火山灰質）植栽基盤に遅行性肥料を 1.8 kg/m^3 施用し攪拌した上で、植栽基盤毎に厚さ15cm、硬度20mmの条件で、試験体を3体ずつ作成した。その後同年12月まで灌水装置の下で芝生を生育し、2015年1月に地上部を刈取り生体重量を測定した。

(3) 試験結果

(a) 植栽基盤の種類に関する芝生育試験の結果

表—4に回帰統計を示す。寄与率は、 $R^2 = 0.9052$ で、この特性値の動きをよく説明していることがわかる。誤差の標準偏差は $\sigma_e = 9.9977$ で、解析に用いた因子の効果を取り除いたときに、特性値が $1\sigma = 9.9977$ のバラツキを持っていることを示している。分散分析の結果を表—5に示す。観測されたF値が21.473で、検定基準値1.579（ $\alpha = 0.20$ ）より大きいので、今回取り上げた因子は特性値の動きをよく説明していることがわかる。また植栽基盤の種類、厚さ、硬度が有意であると示された。特に植栽基盤の種類は、その厚さ

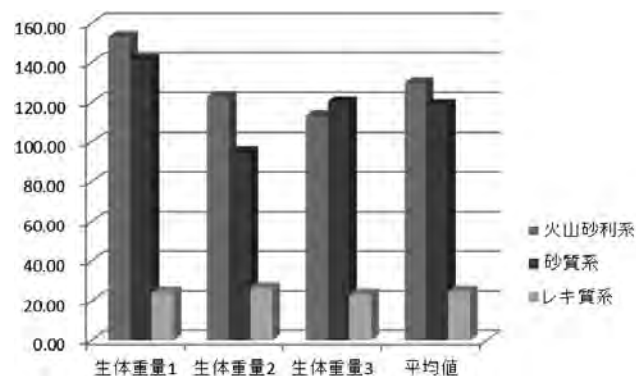
表—4 回帰統計
検定の危険率 $\alpha = 0.20$

重相関係数 R	0.9514
寄与率 R^2	0.9052
誤差の標準偏差	9.9977
観測数	27
有効反復数	3

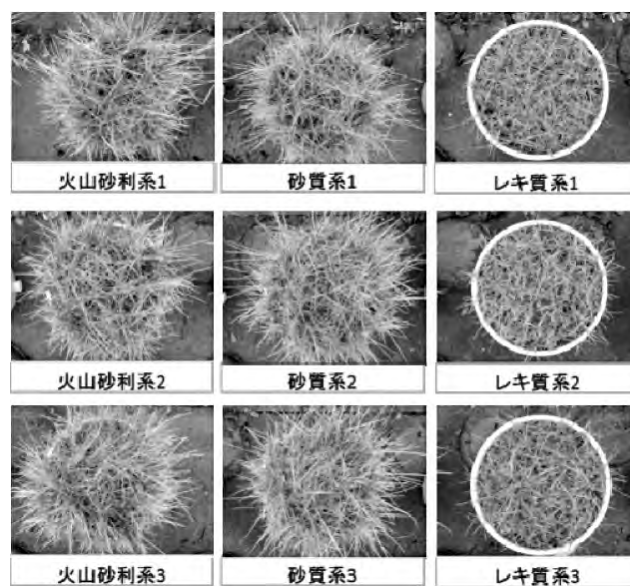
や硬度と比べ、40倍の要因効果を示した。本結果より、最も生体重量に影響を与えているのは植栽基盤の種類の違いであり、植栽基盤に含まれる肥料成分の有無が一つの原因と考えられた。

(b) 施肥の有無に関する芝生育試験の結果

図—8に、礫質土系（火山灰質）植栽基盤に施肥を行った芝生育試験の結果を示す。また、図—9に12か月生育時における植栽基盤種類毎の芝生育状況の写真を示す。礫質土系（火山灰質）植栽基盤、およ



図—8 客土別の芝生生育量比較



図—9 播種1年後の芝の生育状況

表—5 因子ごとの分散分析表

項目名称	自由度	平方和	分散	分散比	検定有意 F	判定結果
因子効果	8	17170.814	2146.352	21.473	1.579	
客土種類	2	16173.828	8086.914	80.906	1.762	有意である
客土厚さ	2	410.393	205.196	2.053	1.762	有意である
客土硬さ	2	388.864	194.432	1.945	1.762	有意である
誤差項	2	197.729	98.865	0.989	1.762	有意でない
誤差	18	1799.181	99.954			
全体	26	18969.995				

び砂質土系植栽基盤と比較し、礫質土系植栽基盤の生育が悪く、予め含まれていた肥料成分の量が十分ではなかった可能性が考えられた。

本試験に供した3種類の植栽基盤において、厚さと硬度は芝生の生育上決定的な生育阻害要因とはならず、また肥料成分が少ない植栽基盤でも施肥を行えば芝生が健全生育できる可能性が示された。以上より駐車場緑化に用いる植栽基盤の性質で重視すべき点は、植栽基盤の特性である設計 CBR や最適締固め含水比等であり、締固め時の十分な硬度や高い含水率でも緩みが少ない土壌を選定することが望ましいと考えられた。

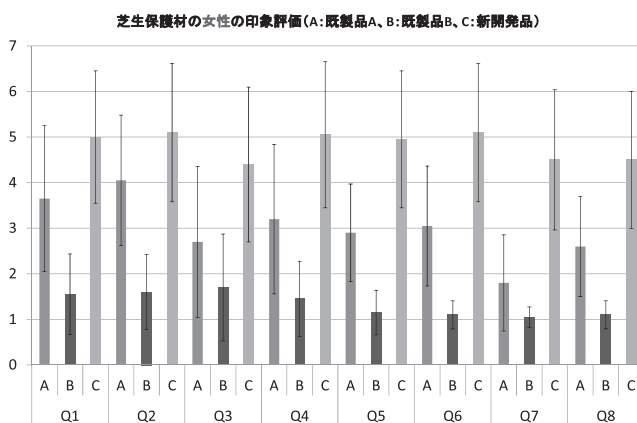
5. 芝生保護材の印象評価

芝生保護材の構造および特性を把握すべく、上面にハニカム型の開口が並列する構造を特徴とする芝生保護材と、突起型の構造を特徴とする芝生保護材、開口形状が四角く開口の最小単位面積が大きい芝生保護材の3種の保護材を設置した。この上を20～60代の男性と女性各20名ずつの被験者に歩行および車椅子で自走してもらい、アンケート形式で歩行感および移動のしやすさについて印象評価の回答を得た。なお男性被験者は革靴等の底がフラットな靴を、女性被験者はヒールを着用した。調査項目は、Q1. 歩行時の安定感、Q2. 痛みや違和感等の足裏感覚の有無、Q3. 躓きやすさ・ひっかかりやすさ、Q4. 総合的な歩きやすさの4項目、およびQ5. 車椅子を自走させたとき、Q6. 車椅子を押したとき、Q7. ショッピングカートを押したとき、Q8. ベビーカーを押したときのそれぞれの動きやすさの計8項目について7段階（非常に悪い～非常に

よい）で評価する形式とした。試験状況を写真—2に、評価結果の例を図—10に示す。特にQ5～Q8において、芝生保護材の形状により結果に差が認められた。試験の結果、新開発の保護材が他の製品と比較して、ヒールを履いた女性や車椅子やベビーカーの使用から高評価を得た。



写真—2 試験風景



図—10 女性利用者の印象評価結果



図—11 施工手順

6. 施工法

施工品質を確保するための施工手順を図—11に示す。芝生の健全な生育には初期養生期間が重要であり、根が活着するまでの十分な灌水や乗り入れの禁止による根の保護を徹底することが重要である。

①路床施工

掘削後の路床がCBR値で4に満たない場合は、路床施工には十分なローラー転圧を行う。ただし路床が軟弱な場合は、路床土にセメント、石灰等などの安定化材（固化材）を添加し、スタビライザやバックホウで攪拌して路床の支持力を高める。

②路盤（植栽客土）施工

路床の上に路盤性能を有する植栽客土を20cmの厚さで敷き詰め、よく締め固まるよう水分を加えた上で十分に転圧し、所定の支持力を確保する。なお20cmの客土厚は地被植物を無灌水で植栽するための最小の厚みである。

③レベル調整および施肥

路盤（植栽客土）の施工後、芝生保護材の凸凹をなくすため、レベル調整の砂を厚み2～3cm程度敷きならす。このとき緩効性肥料を調整砂に混合する。

④芝生保護材施工

芝生保護材を隙間ができないように敷き詰める。サイズが合わない場合は、芝生保護材をのこぎりでカットし、大きさを調整する。

⑤客土施工

敷き詰めた芝生保護材の中に、肥料入りの客土を投入し、箒又はトンボ等で均等に敷きならす。このとき転圧はしない。ラインやナンバー等のマーカーを設置するときは、客土投入前に六角形の穴に確実に差し込んでおく。

⑥張芝施工

芝生を張り、散水しながら4t振動ローラーで芝生保護材の頂部が露出するまで転圧する。目地は空けず

に100%張りとする。転圧が不十分の場合、芝生が浮き上がり、根が活着できない可能性がある。

⑦完成後の散水養生

無灌水の緑化工法であるが、芝の根が十分に伸長（20cm以上）するまでは、乾燥時に散水する。生育適期であれば1月半から2か月程度で散水不要となる。

7. おわりに

本工法では締固め特性に優れた路盤材を選定した結果、開発した芝生保護材が沈みこむことなく、芝生を健全に生育させることが分かった。また開発した芝生保護材も従来品と比べて強度的に問題ないものであることが分かった。さらに歩行者や車椅子試乗での印象評価で良い評価が得られたことも狙いを達成したと考える。本工法は、2017年7月までに、東京、埼玉、大阪、福岡の6か所で適用している。施工後の経過は概ね順調である。また、継続して全国の様々な建築物の駐車場および緑道、芝生広場などへの適用を検討中である。今後は、芝生保護材および緑化基盤材の長期使用時の耐久性や定量的な暑熱緩和効果の実測等について継続して研究を進め、技術の完成度を高めたい。

JICMA

《参考文献》

- 1) 佐久間 護 都市環境改善路面緑化システムに関する調査研究 エンジニアリング振興協会 2011.3
- 2) 木田 繁 緊急自動車のアウトリガー転圧にも耐えられる芝生舗装用基盤土壌の研究 日本芝草学会 2007 p46-47
- 3) ㈲日本道路協会 駐車場設計・施工指針 同解説（平成4年版）
- 4) 実践的実験計画法（花田、2004）日科技連出版社、東京

〔筆者紹介〕

佐久間 護（さくま まもる）
 ㈱竹中工務店 技術研究所
 エコエンジニアリング部門 緑化生態環境グループ
 主任研究員

