

バリアフリー性に配慮した駐車場緑化技術の研究開発

株式会社竹中工務店 樋尾 健
佐久間 護
池尾 陽作
古川 靖英

1. はじめに

ヒートアイランド現象の緩和や景観の改善、建物価値向上等の観点より、都市や郊外において豊かな緑が求められている。また、工場立地法や条例では一定の敷地面積以上での建築計画時に法定上の緑化面積を確保する必要がある、これらのニーズに応える技術として屋上緑化や壁面緑化、路面緑化等の特殊緑化技術が研究されてきた。

路面緑化技術の一つである駐車場緑化技術は、これまで様々な製品や工法が研究開発され実用化されてきたが、一般的に広く普及しているとは言い難い。その理由としては、繰り返しの使用により芝生の擦り切れや緑化基盤材(土壌)の固結が生じ芝生が枯れる、緑化基盤材が沈下し轍が生じる、輪荷重を分散させ芝生を守るために設置する芝生保護材やコンクリートブロックによる凹凸がヒールや車いす等での移動を妨げる、芝生保護材やコンクリートブロックが経年劣化と車の繰り返しの荷重により破損するケースがある等の課題により、健全な緑化景観が長期間維持されず、駐車場としての十分な機能を確保することが難しい事例が発生していることが一因と考えられる(図-1)。

本研究では上記課題の解決のために、耐荷重性に優れバリアフリー性に配慮した芝生保護材と、耐沈下性に優れ芝生の健全な生育を可能とする緑化基盤材について研究を行った。本稿はその成果について報告するものである。



図-1 芝生が枯損した駐車場緑化の事例¹⁾

2. 目標

課題解決のために設定した目標水準を表-1に示す。本研究では駐車場緑化技術における主要な課題である健全な芝生の育成、駐車場緑化機能の確保、バリアフリー性の確保に着目し、課題解決のために芝生保護材と緑化基盤材の両方の観点から検証と評価を行い目標水準の達成を図った。

表-1 駐車場緑化技術の課題と解決に必要な目標水準

課題	目標水準	
	芝生保護材	緑化基盤材
① 芝生の健全な生育	・ 芝生の生長点を守る形状と強度	・ 自動車荷重で締め固まらない ・ 長期間の生育に十分な保水性
② 駐車場機能の確保	・ 乗用車の繰り返し使用において破損しない(保護材強度>20 t車荷重)	・ 乗用車の繰り返し使用において沈下しない(許容沈下量: 20 mm [※]) ※歩道の段差基準より設定 ²⁾
③ バリアフリー性の確保	・ 車いすやヒールのある靴で容易に移動できる形状	

3. 方法

芝生保護材については、図-2 に示す荷重の分散性に優れたハニカム形状(六角形の平面充填構造)で構成される部材を考案し、FEM(Finite Element Method:有限要素法)解析による耐荷重検証と印象評価試験によるバリアフリー性の評価を行った。また、緑化基盤材については、駐車場緑化で使用実績がある3種類の市販製品の中から、ポット生育試験による生育評価と実証試験区における平板載荷試験および乗用車の乗り入れ試験による耐沈下性の検証を行い、最適な緑化基盤材の選定を行った。

3.1 FEM 解析による芝生保護材の耐荷重性検証

芝生保護材の物性値(表-2)を材料試験(JIS K7161)により求めた。これらの物性値を用いて、芝生保護材のFEM解析を実施し、非常用大型車(総重量20t)乗り入れ時の主応力値(N/mm²)と変形角を推定した。解析条件を表-3に示す。

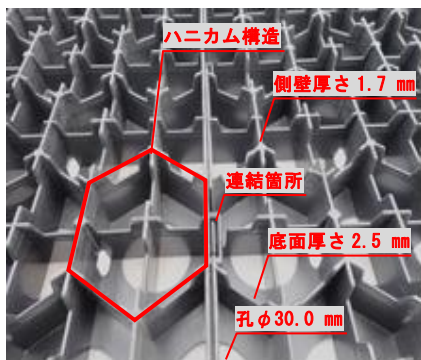


図-2 考案した芝生保護材

表-2 芝生保護材の材料物性値

項目	仕様
主原料	再生ポリプロピレン
形状	ハニカム構造
寸法	500×500×40 mm
曲げ強度	37.3 N/mm ²
圧縮強度	22.9 N/mm ²
弾性係数	E=1.48 kN/mm ²
ポアソン比	γ=0.35

表-3 FEM 解析の設定条件

項目	解析条件
設定荷重	200 kN [*] (1 N/mm ²)
想定走行速度	8 km以下
路面とタイヤの摩擦係数	μ=0.5
鉛直荷重の分布	接地面に均等に分散
水平荷重の算出方法	発車時の水平力から算出
支持条件	コンクリート上面で安定

※鋼道路橋設計示方書³⁾の値を採用

3.2 印象評価試験による芝生保護材のバリアフリー性評価

芝生保護材の支持部材間隔の小ささによる歩行者の移動しやすさへの効果の検証を目的として、被験者男女各20人による3種類の芝生保護材(表-4)を対象に印象評価試験を行った。評価尺度は最高評価「非常によい」をコンクリート上での歩行と同程度、最低評価「非常に悪い」を歩行困難な状態と設定し、7段階とした。有意差の確認は統計分析ソフト「R」を用い、Bartlett検定(分散均一性の検定手法)の後、Steel-Dwass検定(3群以上の群間因子の検定手法)を行った。試験状況を図-3に示す。

表-4 印象評価試験に用いた芝生保護材の仕様

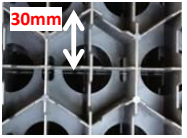
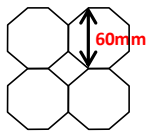
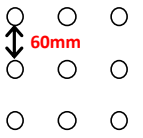
	保護材① (開発品)	保護材② (既製品)	保護材③ (既製品)
主原料	再生PP	再生PP	再生PP
荷重支持方式	面支持	面支持	点支持
支持部材間隔	約30 mm	約60 mm	約60 mm
写真および形状 (支持間隔)			



図-3 印象評価試験の状況

3.3 基盤材の物理特性試験とポット試験による芝生生育評価

3種類の緑化基盤材に対し、耐沈下性の評価として物理特性試験(JIS A1210、定水位法⁴⁾、加圧板法及び遠心法⁵⁾)を行った。また、芝生の生育評価としてポット生育試験を行った。物理特性は設計 CBR(California Bearing Ratio:路床材としての適否判断の指標)、最適締固め含水比、有効水分保持量、透水性について測定した。ポット生育試験では1/2000アールのワグネルポットに、最下層から排水層を90mm(黒曜石系パーライト、φ

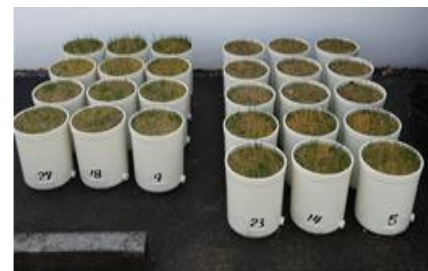


図-4 ポット生育試験状況

3 mm)、不織布 3 mm、基盤材 200 mm を積層し、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 種混合の種子を各ポットに 30 g 播種した(図-4)。上記試験体を 2014 年 1 月から 1 年間灌水条件を一定にして育成させた後、地上部を刈り取り生体重量の測定を行い、その重量により生育状況の評価した。

3.4 平板載荷試験と乗用車乗り入れ試験による沈下量の検証

実使用時の耐沈下性を検証するため、図-5 の断面構成を持つ緑化基盤材と芝生保護材の上面において試験荷重最大 300 kN/m²での平板載荷試験を行った(図-6)。試験方法は「地盤の平板載荷試験(JGS 1521)」に準拠した。また、3 台/日、半年間の使用を想定した乗用車 500 回および非常時を想定した 20t 車 150 回の乗り入れ試験を行い緑化基盤面の沈下量を測定した。具体的には車体に基準高さを設け、レベルレーザ測量機により乗り入れ試験実施毎に沈下量を測定した(図-7)。



図-5 実証試験区の断面構成



図-6 平板載荷試験状況



図-7 乗用車乗り入れ試験状況

4. 結果と考察

4.1 FEM 解析による芝生保護材の耐荷重性検証

FEM 解析より推定した非常用大型車(総重量 20 t)の乗り入れ時の荷重は、最大応力 18.8 N/mm²であった。以上より、推定される最大応力値よりも材料強度 (22.9 N/mm²)が十分に大きいことを確認した。また、最大変形角(変形量を部材長で除した値)が 1/25 程度(最大変位量-0.36 mm)であり、破損無く実使用に耐えることを確認した(図-8)。

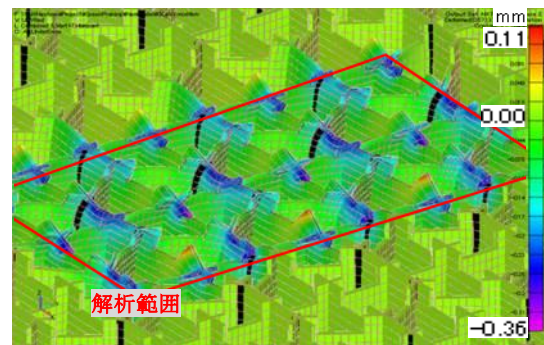


図-8 保護材変位量の FEM 解析結果

4.2 芝生保護材のバリアフリー性評価

印象評価試験の結果を図-9 に示す。本試験の結果、「歩行-ヒールなし」の①-②間以外において、保護材①、②、③の順で有意に高い評価となった。また、「車いす」の移動しやすさは、保護材①よりも保護材②において「歩行」と比較して点数が低い傾向が見られ、保護材③はほぼ最低点であった。以上により支持部材の間隔が小さい、保護材①の形状のバリアフリー性が優れていることが示された。ヒールの有無については、「ヒールあり」の方が「ヒールなし」よりも全体的に低評価であり、保護材①の形状によって歩行性の向上が見られた。

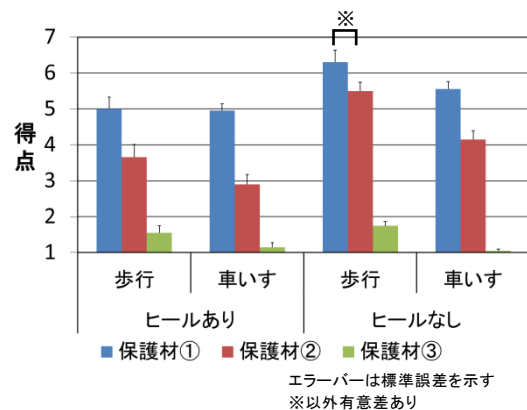





図-9 移動しやすさに関する印象評価試験結果

4.3 基盤材の物理特性試験とポット試験による芝生の生育評価

物理特性試験の結果を表-5に示す。3種類のうち、基盤材①が締固め強度と保水性に優れていることを確認した。また、3種類の緑化基盤材を用いたポット生育試験では、生育条件を一定にするため基盤材①に芝生用の緩効性肥料を100 g/m²添加して試験を実施した。その結果、基盤材①と基盤材③の地上部生体重量が大きく増加することを確認した(図-10)。以上より、物理特性および芝生の生育に優れる基盤材①が、駐車場緑化の緑化基盤材に適していると判断した。

表-5 緑化基盤材の物理特性

	基盤材①	基盤材②	基盤材③
基盤の性状 (肥料の有無)	礫質土 (肥料なし)	砂質土 (肥料添加)	礫質土 (肥料添加)
締固め性 [設計CBR(%)]	○ [52.4]	× [5.6]	× [17.8]
土の緩みにくさ [最適締固め含水比(%)]	○ [78.8]	× [11.1]	△ [53.3]
有効水分保持量 [(L/m ²)]	○ [285]	△ [65]	△ [60]
透水性 [透水係数(cm/s)]	○ [2.8×10 ⁻¹]	○ [6.3×10 ⁻⁴]	○ [4.8×10 ⁻⁴]
試験終了時の 芝生の生育状況			

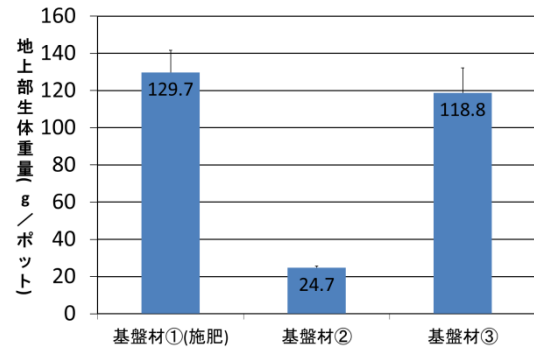


図-10 ポット生育試験結果

4.4 平板载荷試験と車乗り入れ試験による沈下量の検証

4.3 で選定した基盤材①を対象とした平板载荷試験の結果を図-11に示す。最大試験荷重 300 kN/m²において、最大沈下量は 4 mm 以下であった。本試験結果は地盤破壊に至る値ではなく、屈曲点や沈下の急増点等も認められないため、試験最大荷重を極限支持力と仮定し、長期許容支持力は 100 kN/m²、短期許容支持力は 150 kN/m²と予想された。

また実証試験区において実施した約 1.3 t の乗用車での乗り入れ試験の結果、沈下量は 5 mm 以下であり目標水準である沈下許容量 20 mm 以下を満足した(図-12)。さらに非常時を想定した 20 t 車(碎石を積んだダンプ)による 150 回の乗り入れ試験(図-13)においても緑化基盤面の沈下量は 10 mm 以下であり、基盤材①が半年程度の使用では明らかな沈下は生じないと判断した。

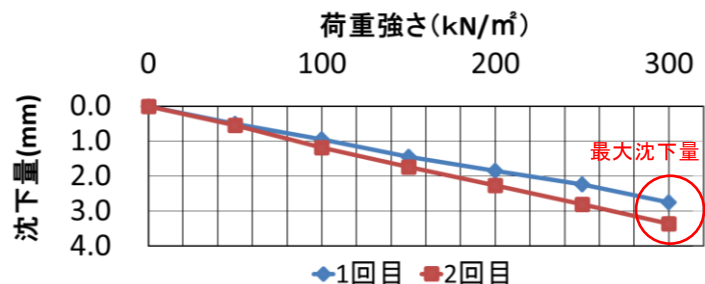


図-11 平板载荷試験の結果

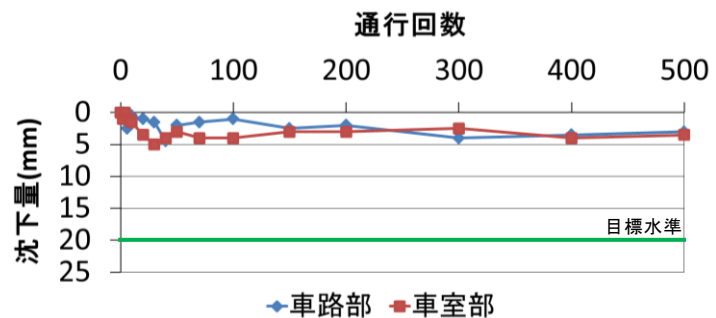


図-12 乗用車 500 回乗り入れ試験の結果



図-13 20t ダンプ荷重試験状況

5. 施工手順の決定と実証試験区の施工

研究で得られた知見を統合し、新しい駐車場緑化工法を開発した。2015年8月に施工した実証試験区は、現在までの2年間芝生が良好な生育状態を維持している(図-14)。本工法の断面構成を示す模型を図-15に、施工手順を図-16に示す。

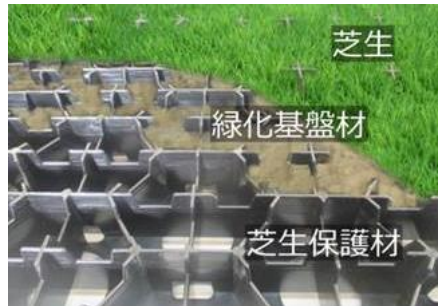


図-14 本工法の模型



図-15 施工後2年経過した実証試験区

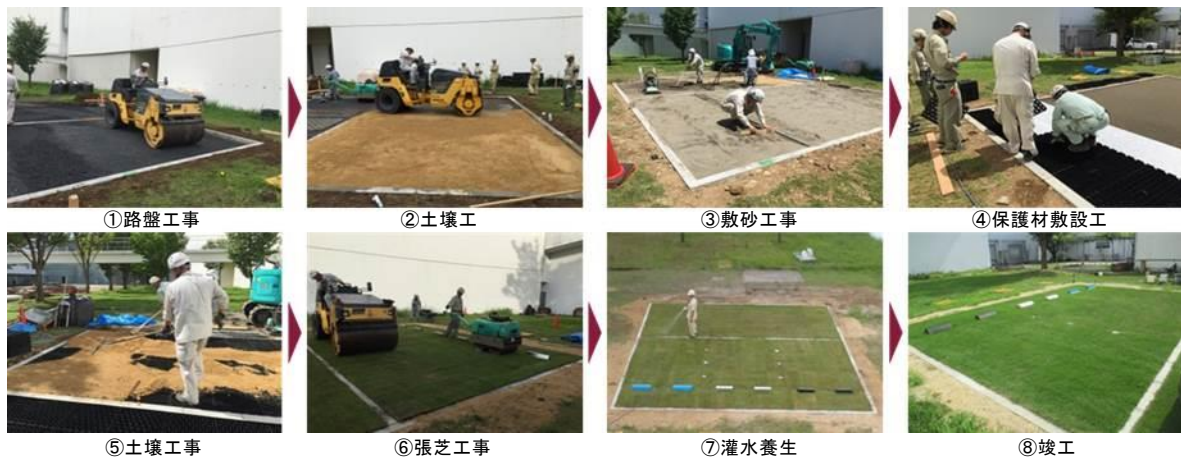


図-16 本工法の施工手順

6. 実施事例

2017年9月8日の時点で、関東3件、関西2件、九州2件の計7件の実施工を行った。施工事例の一例を図-17に示す。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種の緑化駐車場および緑道、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。



図-17 実施事例(大阪市、オフィスビル)

7. おわりに

本稿では、芝生の健全な生育とバリアフリー性を確保した駐車場緑化技術の成立を目指して開発した、芝生保護材と緑化基盤材からなる新しい駐車場緑化技術の研究成果について述べた。第一に芝生保護材については、大型車の短期荷重に耐え、かつ、移動しやすい芝生保護材の形状を明らかにし、保護材の耐久性や利用者の移動性に関する従来の課題の改善を確認した。また緑化基盤材については、乗用車乗り入れ時の沈下量が少なく、芝生の健全な生育に適した資材を使うことにより、これまで多く発生していた沈下や芝生の生育不良の改善を達成した。

本技術の今後の展開方策としては、都市や郊外において日照条件等の環境条件が適合した適正な使用頻度の駐車場や、緑道、芝生広場などに優先して適用を進めたい。

【参考文献】

- 1) 兵庫県(2010), グラスパーキング普及ガイドライン(案) : <https://web.pref.hyogo.lg.jp/ks04/gp.html> (2017年10月19日アクセス)
- 2) 国土交通省(2005), 『歩道の一般的構造に関する基準』 : <http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/06/060203/03.pdf> (2017年10月19日アクセス)
- 3) 日本道路協会編(1956), 鋼道路橋設計示方書鋼道路橋政策示方書解説, pp11-12
- 4) 日本土壌肥料学会編(2003), 土壌標準分析・測定法, pp54-58
- 5) 日本土壌肥料学会編(2003), 土壌標準分析・測定法, pp46-53