空胴プレストレストコンクリートパネルの壁面緑化パネルへの応用に関する研究

APPLICATION OF HOLLOW PRESTRESSED CONCRETE PANEL FOR PLANTING WALL PANEL

寺東由美子 — *1 橘高義典 — *2

Yumiko TERATO — *1 Yoshinori KITSUTAKA — *2

キーワード：
空胴プレストレストコンクリートパネル, 壁面緑化, ヒートアイランド現象, 外壁パネル, 美観

Keywords:
Hollow prestressed concrete panel, Planting wall, Heat island phenomena, Aesthetics

In this study, application of hollow prestressed concrete panel for planting wall panel was investigated. Growth condition of various plants on the wall were observed by one year outdoor exposure test for using actual planting wall panel. Sedum has an ability of growth in all season. The temperature reducing effect of planting wall were observed by outdoor exposure test for using actual planting wall panel in the summer period.

1. はじめに

近年, 都市環境の改善, 都市と自然との共生, アメニティーの向上などが必要とされている。平成 16 年には景観緑三法が制定され, 大規模ビルに緑化率の規制, 緑化に対する優遇措置が設けられた。また, 屋上緑化の義務付けを行う事例¹⁾や, 屋上・壁面緑化に対する各種の融資・助成制度²⁾も増えてきており, 特に壁面緑化は, 建物外皮の占める割合が大きく, ヒートアイランド現象低減などの環境効果だけではなく美観の向上の点からも重要である。

近年の壁面緑化の方法を表 1 に示す³⁾。実態調査の結果⁴⁾では, 壁面登はん, エスパリエ手法などが多いが, 植物の被覆面の制御が困難である, 緑化に時間がかかる, 加生殖時の美観が低下する, ツル植物の躯体割れ目侵入による躯体劣化等の問題があり, 計画的に適度な緑化を実現できる壁面植栽パネルの開発が求められている。

一方で, コンクリートが持つ力学特性や耐久性を活用し, コンクリート系パネル材に植物を栽培することが出来れば, パネル材と緑化材料の二つの利点を兼ね備えることができる。元来, 力学特性に優れるコンクリートには植物の生長と発芽のための空隙が乏しいが, 近年, 植生上必要となる空隙条件^{5,6)}, ポーラスコンクリートによる適用^{7,8)}など, 実用化に向けた報告がいくつか見られる⁹⁾。しかしながら, コンクリートパネルの緑化を実施する上では, 土壌の流出を防止しながら, 保水・排水機能を持たせる方法や, 高 pH 条件の改善などの課題が多い。

本研究は, 以上の諸問題を解決する緑化パネル材の開発を目指し, その作成過程の特徴から連続的な溝を作成するのが容易な, 合成床板に用いられる空胴プレストレストコンクリートパネルを溝型パネルに加工し, 植栽が可能な緑化パネルへの適用を検討した。試作した緑化パネルについて屋外暴露試験を行い, 植栽植物の生育状況に及ぼすパネル条件, 土壌条件, 植栽植物の種類などの影響を把握するとともに, 夏期での緑化パネルの温度低減効果を検討した。

表 1 既往の壁面緑化の方法

緑化形式		緑化方法
壁面被覆	壁面登はん	植物を直接もしくは支持物にからませ登はん
	壁面下垂	屋上に植栽した植物を壁面に下垂
	プランター設置	バルコニー, 壁面に設いたプランターに植栽
	壁面植栽*	壁面に設置した培地に直接植栽 緑化パネル
壁前植栽	エスパリエ	建物に接して高木などを植栽

図 1 緑化パネルの概念図および実物

図 2 試験体断面図

*1 ㈱杉考都市緑化事業部 修士(工学)
(元 東京都立大学 大学院生)
(〒225-0005 神奈川県横浜荏子田2-16-23)
*2 首都大学東京大学院都市環境科学研究科建築学専攻 教授・博士(工学)

*1 Sugiko Co., Ltd., Department of Urban Greening, M. Eng.

*2 Prof., Dept. of Architecture and Building Engineering, Tokyo Metropolitan University, Dr. Eng.

2. 緑化パネルの概要

図1, 2に本研究で用いた緑化パネルの概要を示す。パネルは、床板などに用いられる空胴プレストレストコンクリートパネル部材(横幅1m)を、その作成段階から溝ができるように加工したものである。また、溝の張り出し部分はポーラスコンクリートとし、十分な保水性を持たせ、溝の底の基盤部分はプレストレスを導入した固練り締め固めコンクリートとし曲げに対して十分な強度を持たせている。これらのコンクリートに用いた材料を表2に示す。また、各コンクリートの計画調合表を表3に示す。溝の形状に関しては、土壌の流出が起きないこと、十分な植生が可能となること、などについて予備実験を行い、溝の幅6cm、奥行き10cm、ポーラスコンクリートの出張り部分の幅5cmとした。

表2 使用材料

材料	記号	種類	備考
セメント	C	普通ポルトランドセメント	表乾密度 3.16 kg/l
細骨材	S	鬼怒川水産系砕砂	表乾密度 2.60 kg/l
粗骨材	G	鬼怒川水産系砕石	表乾密度 2.60 kg/l

表3 緑化パネルに用いたコンクリートの計画調合表

部分	W/C (%)	単位水量 (kg/m³)	絶対質量(kg/m³)		
			C	G	S
ポーラス部分	32	128	400	1480	0
基盤部	63	186	450	580	1075

表4 土壌および植栽植物

材料	記号	種類	性質
充填土壌	軽	人工軽量土壌	湿潤比重 0.8
	黒	黒土	火山灰土 保水・保肥性良好
	改	黒土+土壌改良剤	フライアッシュ系、土壌に対し 15 kg/m³ 混入
植栽植物	セ	セダム	品種:メキシコマンネングサ
	芝	張り芝	品種:ひめの
土壌硬化剤	—	軽焼マグネシアを用いた土壌硬化剤	

表5 緑化パネルの実験条件

項目	要因 (記号)
溝方向	横溝(横), 縦溝(縦)
溝位置	上段(上), 下段(下)
充填土壌	人工軽量土壌(軽), 黒土(黒), 黒土+土壌改良剤(改)
植栽植物	セダム(セ), 張り芝(芝)

3. 植栽植物の生育状況

緑化パネルの土壌条件、溝の方向、植栽植物の種類などが、パネル溝部に植栽した植物の生育状況に及ぼす影響について、屋外暴露試験により検討した。

3.1 実験概要

緑化パネルを高さ1m×幅1m(写真1)に加工し、東京都八王子市東京都立大学建築実験棟前の広場に、垂直に南向きに設置した。実験に用いた土壌、植栽植物などの概要を表4に、実験条件を表5に示す。パネルの溝の方向を縦横の2条件、横溝の試験体では溝の位置を上部下部の2種類、土壌の種類を3種類、植栽植物はセダムと張り芝の2種類とした。各試験体とも、左半分は張り芝の、右半分はセダムの植栽場所とした。

セダムは5cmポッド苗をそのまま植え付け、張り芝は溝幅に合わせて6cmに切断したものを張った。降雨時および散水時の土壌流出の防止処置として、植栽後の土壌表面に、土壌硬化剤を混入した黒土を1cmの厚さで塗り込んだ。試験体上部には滲出型の灌水ホースを設置し、一週間に一度、午前5時に、灌水を行い土壌および試験体が湿潤状態になるよう十分な水分の供給を行った。また、比較のため1試験体は、8月より灌水を行わなかった。所定の期日に植栽面を写真撮影し、植物の生育状況を表すと考えられる緑色部分の面積を画像処理ソフトにより求め、溝幅範囲内での占める比率を算出し、被度と定義し植物の生育の評価値とした。暴露期間は、2004年10月～2005年12月の14ヶ月間とした。

3.2 実験結果および考察

3.2.1 セダムの生育状況

セダムの被度の経時変化を図3に示す。セダムの被度の全体的な傾向としては、10月に植栽した後、増加し、冬場においても大きく減少せず、翌年春の開花時期の前後に被度は最大値を記録する。その後、一時的に減少し、夏以降は再び増加する。年間を通じて生育が良好である。一時的な減少は、開花した花が枯れるためと考えられる。以下に試験体種類ごとにその傾向を述べる。

横溝試験体では、14ヶ月を通じて、被度はほぼ50%を越え、良好な生育を示した。土壌別に見ると、人工軽量土壌を使用したシリーズが最も生育が良い傾向がある。植栽位置の影響を見ると、下段に植栽したシリーズの方が生育が良い。

縦溝試験体では、14ヶ月を通じて被度はほぼ40%を越えていた。全体的に横溝試験体より、常に10%程度、被度は低く、開花後の減少も著しかった。土壌の影響に関しては、人工軽量土壌、土壌改良剤がよい傾向がある。植栽位置別に見ると、下段に植栽

6月撮影

12月撮影

写真1 緑化パネル試験体の生育状況 (左より横溝試験体、縦溝試験体、横溝試験体+灌水なし)

したシリーズの方が生育が良い。また、縦溝試験体では土壌表面が下部へ垂れ、表面亀裂が若干見られた。

横溝試験体で 8 月以降灌水なしの試験体では、灌水を行っていた 8 月までは、横溝試験体と同様の傾向が見られるが、灌水停止後は、しばらく被度は横ばいになり、その後減少し、全てのシリーズで 50% を下回った。土壌による差異は明確ではない。植栽位置別に見ると、下段に植栽したシリーズの方が生育が良い。

横溝試験体は縦溝試験体よりも生育が良好となる傾向があるがこれは、土壌の保水条件がよいこと、横溝の方が根の成長が安定していることなどが考えられる。また各試験体とも下段に植栽した方が生育が良い傾向にあるが、この理由は、土壌および試験体からの蒸発等による水分減少量が下部ほど少なくなるためと考えられる。実際の土壌中の水分量を土壌水分計で計った結果では、試験体下部の方が多くなる傾向があった。

3.2.2 張り芝の生育状況

張り芝の被度の経時変化を図 4 に示す。張り芝の植生に関しての全体的な傾向としては、まず 10 月に植栽した後、冬枯れを起こし、いずれのシリーズにおいても被度は冬季に 0% に落ち込んだ。続いて、3,4 月頃になると芽吹き始め、7 月から 8 月頃にかけて最盛期を迎えた。また、9 月頃より、根茎の伸長が目立った。以下、試験体種類ごとにその傾向を述べる。

横溝試験体では、夏季には 100% 近い被度を記録したシリーズも見られ、被度は全体的に高い。土壌別に見ると、人工軽量土壌、黒土、土壌改良を混入した土の順で生育が良い。植栽位置別に見ると、下段に植栽したシリーズの方が生育が良い。

縦溝試験体では、夏季には緑草が増えたが、50% を越えたものは 2 シリーズのみであった。夏季の被度は横溝試験体に比べ低い。土壌種類による生育の違いはあまり見られない。植栽位置別に見ると、下段に植栽したシリーズの方が生育が良い。

横溝試験体で 8 月以降灌水なしの試験体では、灌水を行っていた 8 月までは、横溝試験体と同様の傾向が見られるが、灌水停止後は、急速に減少し、20% 程度になった。しかしながら、人工軽量土壌を使用したシリーズは比較的高い被度が見られ、同時期の灌水ありの縦溝試験体と同程度であった。土壌別に見ると、灌水あり、なしで両方とも人工軽量土壌を使用したシリーズの生育が良い。植栽位置別に見ると、灌水停止後は、上段に植栽したシリーズの方が生育が良く、灌水ありと逆の傾向が見られた。

4. 緑化パネルの温度上昇抑制効果

夏期における緑化パネルの温度を測定し、土壌条件、植栽植物の種類等の影響を把握し、緑化パネルの温度上昇低減効果を検討した。

4.1 実験方法

緑化パネルは前章で生育状況のよかった、横溝型灌水ありの試験体をそのままの土壌条件、植栽条件で使用し、試験体のポラスコンクリート部分の表面（表面とよぶ、上断と下断の 2 か所）、土壌と溝が接する溝の底部（内部と呼ぶ）、試験体と断熱材との間（裏面と呼ぶ）に熱電対を設置し、30 分間隔で温度を測定し記録した。断熱材（スタイロホーム 60mm）は試験体裏面に張り、張った面の反対側面は解放とした。外気の気温は、試験体近

図3 セダムの被度測定結果

図4 張り芝の被度測定結果

図5 緑化パネル試験体の夏場の温度測定結果

くに設置した気象観測装置により 30 分間隔で測定した。参考のために湿度、風速、風向、降水量も同じく 30 分間隔で測定した。

4.2 実験結果および考察

2005 年 8 月 29 日から 2005 年 8 月 30 日にかけての夏場での温度測定結果例を図 5 に示す。8 月 29 日は朝 5 時に灌水を行っている。試験体表面部の温度は、気温よりも早く上昇し、最高 39°C となった。最高気温の 34°C よりも 5°C ほど高い。しかしながら、その裏面の温度は最高で 28°C であり、表面温度よりも 10°C 程度低い。8 月 30 日は朝に降雨が 9mm 記録されている。降雨の影響で試験体表面の温度上昇は前日より低くなっているが、表面温度は前日と同じく気温より 5°C ほど高くなっている。試験体の裏面も前日と同じく 10°C ほど低くなっている。このような温度低減効果は、緑化パネルの土壌あるいは植物からの蒸散作用の影響と考えられる。

植栽部の土壌と接する溝の底部の温度計測結果を見ると、いずれも、試験体の表面（緑化されていない部分）より低くなっている。全体の傾向として、張り芝よりも、セダムの方が内部の温度が低い。また、人工軽量土壌は、温度が他の土壌よりも高くなる傾向がある。黒土よりも黒土＋土壌改良材の方がやや温度は低くなる傾向がある。

5. まとめ

本研究で得られた結果は以下のとおりである。

- (1) セダムの生育は 1 年を通じて良好である。張り芝は冬場に冬枯れを起こしたが、それ以外の時期は生育は良好であった。
- (2) 土壌の種類の影響に関しては、セダムの場合はあまり明確ではないが、張り芝の場合、人工軽量土壌を使用するとその保水性のためか生育がよくなる傾向があった。
- (3) 試験体の形状の影響では、横溝試験体は縦溝試験体よりも生育が良好となり、また下段に植栽した方が上段よりも生育が

良好であった。

- (4) 横溝試験体・灌水ありの試験体について、夏季の屋外暴露試験を行った結果、緑化パネルへの植栽により、パネルの温度上昇を抑制する効果があることが明らかになった。

謝 辞

本研究は、首都大学東京 21 世紀 COE プログラム「巨大都市建築ストックの賦活・更新技術育成」の一環として行われたものである。研究の一部は科学研究費補助金（基盤研究(B)、平成 17 年度～平成 19 年度）による。(株) スパンクリートコーポレーションには実験に協力いただいた。付記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 東京における自然の保護と回復に関する条例，第 216 号，2000.
- 2) 例えば千代田区緑化推進要綱，千代田区，2003.2
- 3) 近藤三雄：緑の読本緑化手法・技術の分類体系と課題，2003.10
- 4) 東京都報道資料，壁面緑化の効果検証と実態調査，2004.6
- 5) 玉井元治：連続空隙を有する固化体の透水性，セメント技術年報第 42 巻，pp.591-594，1988.12
- 6) 日本コンクリート工学協会：エココンクリート委員会報告書，1995.11
- 7) 畑中重光，三島直生，湯浅幸久：ポーラスコンクリートの圧縮強度-空隙率関係に及ぼす結合材強度および粗骨材粒径の影響に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集，第 594 号，pp.17-23，2005.8
- 8) 大谷俊浩，村上 聖，佐藤嘉昭，三井宜之，平居孝之：ポーラスコンクリートの圧縮強度推定式の構築に関する研究，日本建築学会構造系論文集，第 590 号，pp.25-30，2005.4
- 9) 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，2003.5

[2006年10月20日原稿受理 2007年2月19日採用決定]