

## 凍結融解を受ける竹チップ舗装材の耐久性の検討

福岡大学工学部 学生会員 堀本 大雅 孫 松  
 福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一 藤川 拓朗 古賀 千佳嗣  
 株式会社 NIPPO 正会員 江籠 洋和

1. はじめに 土系舗装は、景観性、歩行性、保水性に優れ、近年、地球温暖化軽減等で着目されている。しかしながら、摩擦やひび割れを生じやすく、環境変化や経年劣化に弱いことから耐久性の低さに問題がある。特に、寒冷地では凍害や霜害による損傷を受けやすいこと<sup>1)</sup>が報告されている。著者ら<sup>2)</sup>は、これまで竹をチップ化し、土系舗装に有効利用した竹チップ舗装を考案し、舗装材の引張強度の増加による耐久性向上と防草効果を有することを明らかにしている。そこで、本研究では凍結融解作用を受ける竹チップ舗装の力学特性を把握し、寒冷地の気象環境下における凍害に対する耐久性について実験的な検討結果について報告する。

## 2. 実験概要

2-1 実験試料 土質材料には太宰府市で採取したまさ土を用いた。表-1 に太宰府まさ土の物理特性を示す。固化材にはセメントと特殊固化材を用いた。表-2 に竹チップの性状を示す。使用する竹チップの寸法は、一般の土系舗装の舗装断面の50~80mmの厚さを考慮し、2~35mmの自然乾燥竹チップを用いた。

表-1 土質材料の物理特性

試料名	太宰府まさ土
土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.641
最適含水比 $w_{opt}$ (%)	11.8
細粒含有率 $F_c$ (%)	8.6
液性限界 $w_L$	N.P.
塑性限界 $w_P$	N.P.
塑性指数 $I_p$	N.P.

表-2 竹チップの性状

外観	
寸法	2-35mm
状態	自然乾燥
自然含水比	5%

2-2 供試体作製方法 事前に各竹チップ添加率における

締固め試験(A-a法、JISA 1210)を行った。図-1 に締固め曲線を示す。竹チップ添加率の増加に伴い、最大乾燥密度  $\rho_{dmax}$  が低下していることが確認できる。今回、供試体作製時の設定含水比は、凍結融解作用の影響を考慮し、B=5%における最適含水比  $w_{opt}=18.5\%$ を用いて行った。供試体は、設定含水比に調整したまさ土に所定の竹チップと固化材を混合し、直径10cm、高さ12.5cmのモールド、2.5kgのランマーを用い、3層各25回の突き固めで供試体を作製した。ここで、竹チップ及び固化材の添加率は、土質材料の絶乾重量に対する重量比としている。

## 2-3 実験方法

1) 凍結時における竹チップ舗装の強度特性の検討 凍結時における竹チップ舗装の耐久性を把握するために、供試体を冷凍し一軸圧縮試験(E013)<sup>3)</sup>を行った。

表-3 に凍結時の実験条件を示す。竹チップ添加率はB=0, 5%とし固化材添加率はC=5%とした。供試体作製後、気中、冷凍にて各々7日の養生を行い、気中では室温20°C±3°Cの室内に静置し、冷凍養生では温度を-23°C以下に保ち養生した。

## 2) 凍結融解時における竹チップ舗装の材料特性の検討

土系舗装の凍結融解作用による影響に着目し、舗装調査・試験法便覧の凍結融解試験方法(E014)<sup>4)</sup>に従って、試験を行った。表-4 に凍結融解時の実験条件を示す。竹チップ添加率はB=0, 5%とし固化材添加率はC=5%とした。凍結融解に関しては、24時間の冷凍養生(-23°C以下)後、23時間の湿潤養生(20°C±3°C)を1サイクルとして、12サイクル繰返し体積、含水比変化を測定した。融解時の大気中や雨水等の水分吸収も考慮し、融解中は自由水に浸らせた吸水性パットに供試体を静置し、毛管作用により試料に吸水させる条件となっている。更に、融解後の強度判定として、針貫入試験(JGS 3432)を行い、貫入抵抗値と一軸圧縮強さの関係から一軸圧縮強さを換算した。

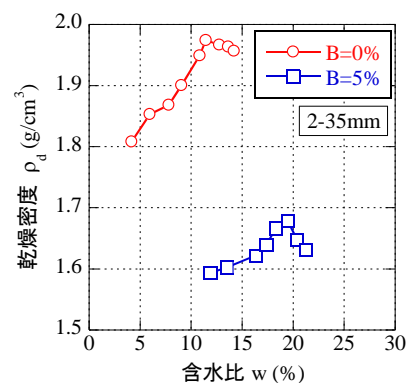


図-1 締固め曲線

表-3 実験条件(凍結時)

土質資料	竹チップ添加率 B(%)	固化材添加率 C(%)	養生状態	養生日数
太宰府まさ土	0	5	気中養生	7日
	5		冷凍養生	

表-4 実験条件(凍結融解時)

土質資料	竹チップ添加率 B(%)	固化材添加率 C(%)	1サイクル養生条件	サイクル数(回)
太宰府まさ土	0	5	凍結24時間(冷凍養生) 融解23時間(湿潤養生)	12
	5			

3. 実験結果及び考察

3-1 凍結時における竹チップ舗装の強度特性 図-2 に凍結時における一軸圧縮試験結果を示す。竹チップの添加により圧縮応力は増加し、延性的な破壊形態を示している。また、冷凍養生では気中養生に比べ、凍結力による圧縮応力の増加がみられる。次に竹チップ添加率と一軸圧縮強さの関係を図-3 に示す。竹チップを添加することで、凍結時の一軸圧縮強さの増加が確認できる。これは竹チップの引張強度の効果が要因であり、凍結時において有効性が高いことを示している。

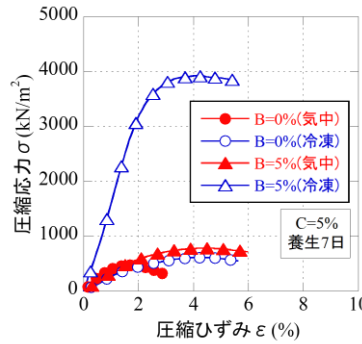


図-2 一軸圧縮試験結果

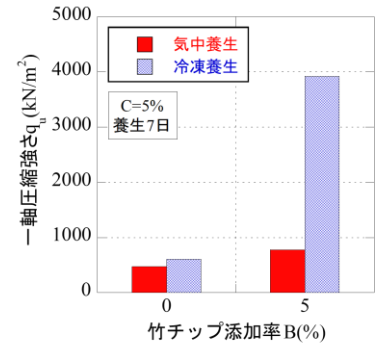


図-3 竹チップ添加率と一軸圧縮強さの関係

3-2 凍結融解時における竹チップ舗装の材料特性 土系舗装の寒冷地域の影響として凍結と融解の繰り返し作用による劣化特性について検討を行った。竹チップを含まない B=0%の供試体においては写真-1 (a), (b)に示すように凍結融解1サイクル後に崩壊した。一方、竹チップを含む供試体 B=5%は崩壊することなく形状を維持した。各竹チップ添加率における12サイクルの凍結融解を行った供試体の含水比変化を図-4 に示す。初期のサイクルにおいては、図-1の締固め時の初期含水比が反映され、サイクル回数に伴い、含水比の僅かな増減が示された。これは、竹チップ多く含むことで乾燥密度が低下し透水性が増加したことが原因と考えられる。また、凍結融解時の変化をみると、融解時に吸水性パットにより、供試体が水分を吸収し、含水比が増加していることがわかる。次に、



写真-1 (a) 初期状態 (b) 凍結融解1サイクル後 B=0%の崩壊状況

図-5 に凍結融解時の体積変化率を示す。サイクル回数に伴い、体積変化率が高くなり、特に凍結後において大きな増加傾向がみられる。これは、図-4の竹チップの添加による含水比の増加が原因と考えられ、凍結時には吸収された水分が凍結に伴い膨張したためと考えられる。最後に、図-6に各サイクルの融解時における針貫入試験から得られた換算一軸圧縮強さを示す。竹チップの有無に着目すると、竹チップを含まない B=0%では、凍結融解の影響を受け、1サイクル後に崩壊し、サイクル後の測定が不可能であった。また、竹チップを添加した B=5%では初期強度は高い値を示し、サイクル経過に伴い換算一軸圧縮強さが低下しているが、強度の持続性が伺える。強度の低下は、図-1に示す竹チップの添加に伴う乾燥密度の低下と、図-5に示す体積変化の増減が原因と考えられる。しかし、竹チップを添加することで、竹を混入していない場合と比較して明らかに凍結融解の耐久性が向上していることがわかる。これらは、竹繊維の引張補強効果が要因と考えられる。また、既往の研究<sup>2)</sup>より、固化材添加率の増加に伴い竹チップの引張補強効果が確認できていることから、今後、固化材添加率を増加させることで、さらなる耐久性の向上が期待できる。

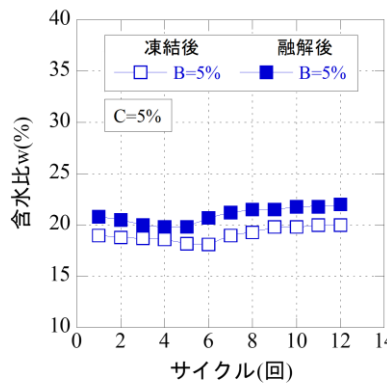


図-4 凍結融解時の含水比変化

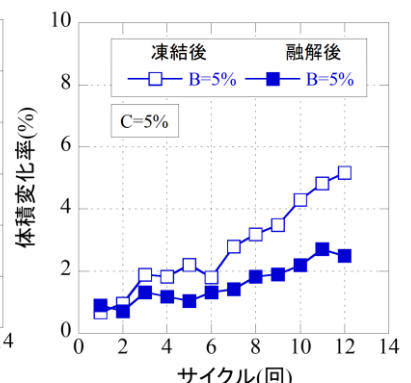


図-5 凍結融解時の体積変化

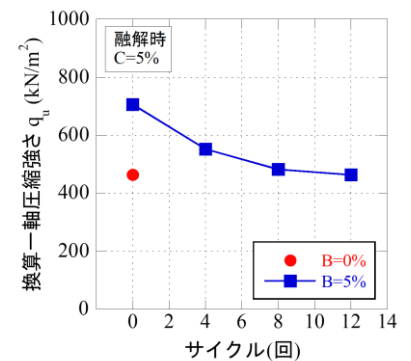


図-6 各サイクルの融解時の換算一軸圧縮強さ

4. まとめ 竹チップ舗装材料は凍結融解時において、含水比の増加と凍結による体積膨張の影響を受け、材料強度は低下する。しかし、竹チップの添加により十分な耐久性が確認でき、竹チップ添加の有効性が確認できた。

【参考文献】: 1) 石川ら: 舗装構造の疲労寿命に及ぼす粒状路盤の凍結融解の影響とその評価, 土木学会論文集 E1(舗装工学), Vol67, No3(舗装工学論文集 16 巻), I\_109-I\_116, 2011. 2) 坂本ら: 竹チップの性状が竹土舗装の締固め・強度変形特性に及ぼす影響, 土木学会西部支部研究発表会 V-042, pp681-682, 2015. 3) 日本道路協会: 舗装調査・試験法便覧(第4分冊), pp38-42, 2007. 4) 日本道路協会: 舗装調査・試験法便覧(第4分冊), pp43-50, 2007.