

発泡廃ガラス材の凍結融解抵抗性等に関する室内試験

日本建設技術（株） 正 ○原 裕 （独）北海道開発土木研究所 秀島好昭・小野寺康浩
北海道三祐（株） 早坂武男 ミラクルソル協会 西村 勲

1. はじめに

廃棄物の再資源化を図るため、建設廃材として排出される板ガラスや容器包装の空きビン等のガラス廃材を原料とする新素材の発泡廃ガラス（ミラクルソル・FWG と呼ぶ）を開発した。この素材を建設分野の環境緑化工法・環境土木工法として利用する為の新技术・新工法¹⁾を提案し、その施工実績を多くあげている。

ミラクルソルは多孔質間隙構造を有するため、軽量かつ強固な特性を持った新素材である。製造条件により 0.3～1.5 の比重および吸水・非吸水の物性に調整可能である。図-1に「ミラクルソルのクラスター構想」を示すが、吸水性素材のものは岩盤を含めた斜面緑化・FWG 屋上緑化工法などの保水材、水質浄化の濾過材として、非吸水性のものは FWG 軽量盛土材・軽量コンクリート二次製品の骨材・軽量コンクリート吹付工・地盤改良材・雑草防止剤等に利用している。

本邦において適用性が実証されている素材が、積雪寒冷地における路盤材や裏込め材として適するか、凍結融解抵抗性等に関する室内試験結果を行ったので、その結果を報告する。

2. 凍結融解抵抗性の室内試験と結果

室内試験では、凍結・融解の繰り返し作用が素材の耐久性を左右する寒冷地条件を念頭に、粗粒状に焼成した軽量のミラクルソルを地盤表層部に用いる施工状況を再現するものとした。すなわち、敷き均した程度の締固め状態の施工条件での、凍結融解試験や力学試験を行ったものである。なお、凍結融解試験は（独）北海道開発土木研究所農業土木研究室にて実施したものである。

(1) 材 料

試験に用いたミラクルソルは絶乾比重 0.45 で、土の約 1/4 の比重である。また、非塑性の材料で吸水率 33% と比較的大きい。試料搬入時の粒度組成は最大粒径 53mm で、試料全体の約 90%を粒径 19mm 以上の粗礫が占めており、これをフルイ分級して試験に供した。

(2) 凍結融解抵抗性試験

試験では予め表面乾燥飽水状態に調整した試料を粒径別にホーローバットに入れ、恒温恒湿機の中で気中凍結・気中融解を 300 サイクルまで繰り返した。1 サイクルは約 24 時間とし、12 時間の凍結と融解を与えた。試験中には、50・100・200・300 サイクル時点で目視観察や重量を測定した。また、素材集合体の透水係数は大きく、前述のように地下水より上部地盤への利用では、吸水率程度の含水状態での凍結・融解抵抗性試験が適当と判断した。

ミラクルソルの凍結融解サイクルごとの質量減少百分率について、全試料の結果を図-2 に、粒径別の結果を図-3 に示す。図-2 によれば、質量減少百分率は凍結融解 50 サイクル時点では 75%を示すが、それ以降のサイクル加歴では変化が見られない。300 サイクル終了時点の質量減少百分率は 73%に止まる。

図-3を見ると、呼び径 5mm～2mm と 10mm～5mm のもので重量損失が相対的に大きく、また、各粒径のものとも質量減少百分率は、凍結融解 50 サイクル以降には大きな変化は生じていないことが特徴的である。

このような結果から、凍結融解作用の初期加歴時期に素材の質量減少を伴うことが想定されるが、それ以降は、凍結融解作用に対し安定性を示すことがわかる。素材の凍結融解抵抗性は高いと判断する。

(3) 凍結融解後の粒度試験

キーワード：廃ガラス・再資源化・再利用・軽量材・吸水・非吸水

連絡先（〒847-1201 佐賀県東松浦郡北波多村大字徳須恵 1417-1 TEL 0955-64-2525 FAX 0955-64-4255）

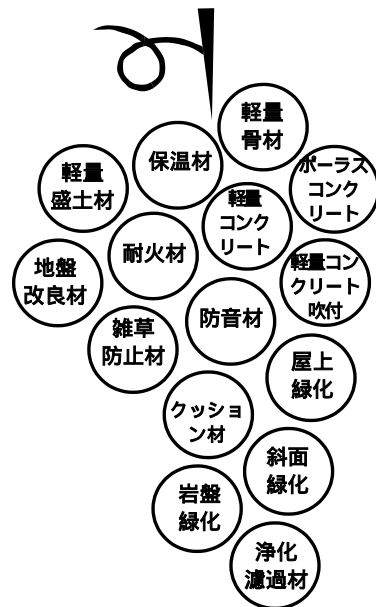


図-1 ミラクルソルのクラスター構想

三軸圧縮試験実施後に各供試体の粒度分布を測定した結果では、凍結融解作用を与えないものと比較して、凍結融解 100 サイクル後を試料としたもの、300 サイクル後を試料としたもの、総てのもの、の粒度分布はほぼ同じであることが確認できた。凍結融解 300 サイクルを与えた場合でも細片・細粒化の違いは見られない。

(4) 安定性試験

ミラクルソルの安定性を調べるために、硫酸ナトリウムによる骨材の安定性試験を行った。損失質量百分率は表 - 1 に示すとおりで、全粒径で 7.0%と僅かである。粒径別では 30mm~40mm が 6.7%と最も多い。なお、ミラクルソルの粒子形状は角礫～亜角礫状のものが多いが、安定性試験中と、試験後の観察時にも、試薬による角落ち、円片化、細片化は認められず粒子形状は初期状態と変わらなかった。

(5) 三軸圧縮試験

三軸圧縮試験の供試体寸法は $\phi 10\text{cm} \times H220\text{mm}$ とし、土被り重量が小さい場合の低拘束圧条件 ($\sigma_3=9.8\text{kN/m}^2$ 、 29kN/m^2 、 49kN/m^2) で CD 試験を行った。

試験では、凍結融解を受けていない 0 サイクルの初期状態試料に加え、凍結融解 100 サイクル、200 サイクル、300 サイクル後の試料を用いて行った。せん断抵抗角 ϕ_d 、粘着力 C_d については、初期状態、凍結融解 100 サイクル後、200 サイクル後、300 サイクル後のものとも有意な差は認められない。なお、いずれの三軸試験の供試体とも、締固め作業を行わないゆるづめ状態である。

表 - 2 に示す強度定数から、せん断抵抗角 ϕ は $38.6^\circ \sim 42.3^\circ$ の幅がみられ、200 サイクル後のものがもっとも大きい 42.3° の値が得られた。ただし、このような差異は各供試体作成時における間隙や密度のバラツキに起因したものと考える。また、粘着力 C_d の $0.1\text{kgf/cm}^2 \sim 0.13\text{kgf/cm}^2$ についても、同様の理由によるバラツキといえる。

今回の試験結果からは、凍結融解前後において強度定数の変化は認められず、敷き均し程度のルーズな施工を行った場合でもミラクルソル粒子のかみ合わせによってせん断抵抗が発揮され、強度定数については、最小でも、せん断抵抗角 $\phi_d=39^\circ$ 程度を見込める。

3. まとめ

- (1) 気中凍結融解による凍結融解試験の結果、ミラクルソルの質量減少百分率は凍結融解 50 サイクル時点で 75%を示したものの、それ以降のサイクルではあまり変化しない。従って、ミラクルソルの凍結融解抵抗性は概ね良好であるが、数 10 サイクル程度の初期の凍結融解段階に質量減少を伴うことが想定される。しかしそれ以降は凍結融解作用に対し安定しており、抵抗性を有している。
- (2) 凍結融解前・後における粒度分布から、試験前のものと 100 サイクル、300 サイクル後での粒度分布はほぼ同じであり、ミラクルソルの粒子は凍結融解 300 サイクルを与えた場合でも細片化等は生じなかった。
- (3) 硫酸ナトリウムによる安定性試験の結果、損失質量百分率は 7.0%と僅かであった。また、安定性試験中と、試験後も、試薬の影響による角落ち、細片化等は認められず粒子形状は初期状態を保っていた。
- (4) 三軸圧縮試験結果から、凍結融解前・後での強度定数の変化は認められない。せん断抵抗角 $\phi_d=39^\circ$ 程度が期待でき、敷き均し程度のルーズな施工を行った場合でもせん断抵抗が発揮される。

参考文献

- (1) 代表執筆者 原裕：ミラクルソル工法概要集、ミラクルソル協会、改訂第 4 版、pp.1~37、2002。

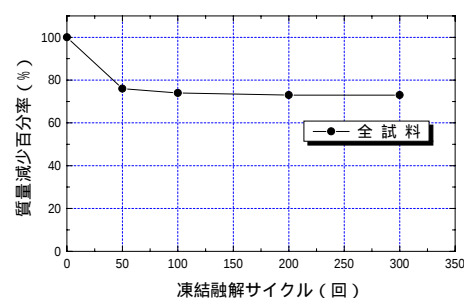


図 - 2 全試料の凍結融解作用による質量変化

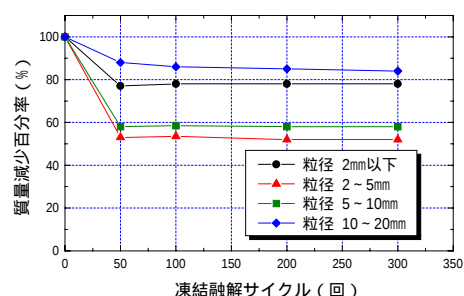


図 - 3 粒径別の凍結融解作用による質量変化

表 - 1 ミラクルソルの安定性試験結果

粒径区分	損失質量百分率(%)	備考
10-20mm	0	ヒビ割れ無し
20-30mm	0.3	3個ヒビ割れ
30-40mm	6.7	3個ヒビ割れ
全粒径	7.0	

表 - 2 三軸圧縮試験(CD 法)により求めた強度定数

条 件	定 数	せん断抵抗角 $\phi_d(\text{deg.})$	粘着力 $C_d(\text{kgf/cm}^2)$
初期状態(凍結融解前)		40.2	0.13
凍結融解100サイクル後		41.5	0.10
凍結融解200サイクル後		42.3	0.10
凍結融解300サイクル後		38.6	0.13

1kgf/cm² 98.1kN/m²