

環境に配慮した斜面災害の修復—発泡廃ガラス材を用いた事例—

Environmental Restoration Work of a Failed Slope

—Case Study Using FWG—

原 裕 (はら ゆたか)

日本建設技術㈱ 代表取締役

鬼塚 克忠 (おにつか かつただ)

佐賀大学教授 理工学部都市工学科

原 眞由美 (はら まゆみ)

建設環境エンジニアリング㈱代表取締役

安 高 進 (あたか すずむ)

日本建設技術㈱研究開発室 室長

1. はじめに

20世紀後半から産業活動の活発化により、大量生産・大量消費型社会が形成されてきた。それに伴って大量の産業廃棄物が排出されるようになった。

このような地球規模での環境を改善していくためには、21世紀は最適生産・最適消費そして最少廃棄の時代に移行する必要がある。しかし、廃棄物の処理・処分方法としては、廃棄物の排出を抑制すると共に廃棄物処理施設の確保と、廃棄物のリサイクルによる再資源化に重点を置き、循環型社会の形成を確立することが必要である。

図-1に示すように一般廃棄物と産業廃棄物を再資源化・軽量化することにより、土とは性状が異なる軽量化した新素材が開発されている。廃棄物を有効利用することにより天然資源の採取を抑制し、廃資源の有効利用によって最終処分場の延命策にもつながり、また自然環境の保護・保全に貢献できる。したがって、新素材の工学的特性を技術的に評価すると共に、設計方法を確立し、今後も継続して軽量化に関する研究開発を進め、有効利用に関するトータルシステムの構築が望まれる。

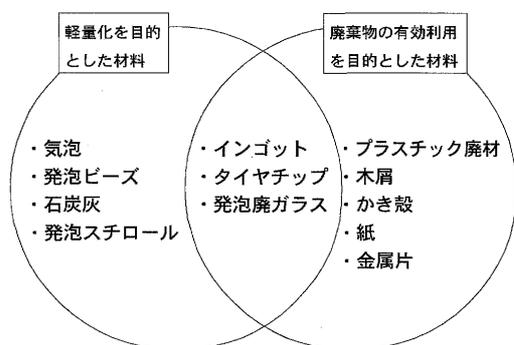


図-1 軽量化と廃棄物の有効利用を目的とした材料の分類例¹⁾

2. 廃棄物の有効利用

廃棄物の再資源化を目的として、建設廃材として排出される板ガラスや容器包装の空きびん等のガラス廃材を原料として開発した新素材ミラクルソル（発泡廃ガラス材・FWGと呼ぶ）を環境緑化工法・環境土木工法とし

て建設分野に有効利用するために、新技術・新工法²⁾として提案し、各種工法を既に活用している。

斜面災害の修復に用いた発泡廃ガラス材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。この発泡廃ガラス材は、製造条件により0.3～1.5の比重および吸水・非吸水が調整可能である。「発泡廃ガラス材のクラスター構想」として吸水性のものは岩盤を含めた斜面緑化やFWG屋上緑化工法などの保水材、また、水質浄化の沝過材として、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け工、地盤改良材、雑草防止材等に利用している。工学的特性をふまえて経済性と安全性を含めた合理的な設計施工が可能である。

「発泡廃ガラス材のクラスター構想」として種々の工法を提案しており、今回報告する事例は、写真-1、2に示す非吸水の独立間隙構造を持つ発泡廃ガラス材を用

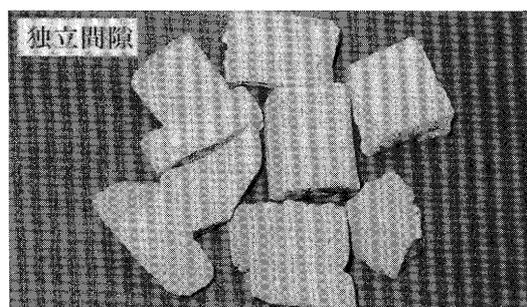


写真-1 非吸水性の発泡廃ガラス材の形状 (絶乾比重0.4)

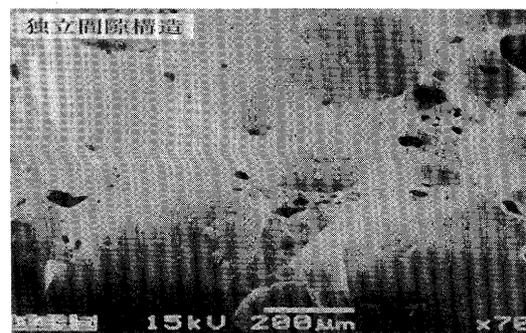


写真-2 電子顕微鏡による非吸水性の発泡廃ガラス材の構造 (絶乾比重0.4, 独立間隙構造)

論文

いた環境土木工法のうち、斜面災害の修復に発泡廃ガラス材を用いた FWG 軽量盛土工法について報告するものである。

3. 発泡廃ガラス材の特性

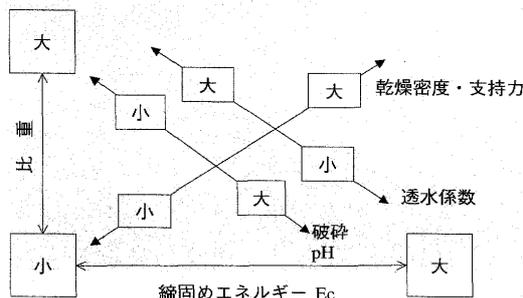
発泡廃ガラス材を軽量盛土材として使用する場合、地すべり地帯や軟弱地盤における盛土重量の軽減を主目的として用いている。発泡廃ガラス材の素材はガラスであるため、熱や薬品に対して強く、腐食しないという利点がある。盛土と植生基盤材に用いた発泡廃ガラス材は、粒径が 5~40 mm の不定形のもので、軽量盛土材として使用する場合、独立間隙構造を用いることにより水を吸収しないため、構造物に対して土圧軽減ができ、コンクリート構造物をスリム化できる。盛土施工も容易である。圧縮強度や内部摩擦角についても普通土に比べて大きな値を示す。表一 1 に FWG 軽量盛土材の特徴を示す。

発泡廃ガラス材を有効に利用するためには、使用する用途や地盤条件に応じた比重を選定する必要がある。図一 2 に発泡廃ガラス材の締固め特性を示す。

比重が異なる発泡廃ガラス材の締固め特性は、各比重ともに、締固めエネルギーの増加に伴って、粒子破碎が生じ、粒子間の空隙が減少して乾燥密度は増加する。比重が大きいものは破碎しにくい傾向がある。粒子の破碎によって pH は少しずつ高くなり、ある程度細粒化が進むとほぼ一定の値となる。透水係数は、締固めエネルギーの増加に伴い小さくなるが、 $k=10^{-0} \sim 10^{-2}$ cm/s 程度であり、透水性は良い。CBR 試験結果は各試料ともに膨張比は 1% 以下であり、締固め後の浸水による膨張はほとんどないと考えられる。CBR 値については、比重が大きく、締固めエネルギーが大きくなるにしたが

表一 1 FWG 軽量盛土材の特徴

材 料	発泡廃ガラス材 (FWG)
比 重	0.6
原 料	ガラス廃材 [建設廃材、容器包装]
特 徴	<ul style="list-style-type: none"> 内部構造が独立間隙 (ハニカム状で組織が強い) 軽量である 熱・薬品に強い、無腐食性 現地処理土との混合が容易にできる 作業性：施工性がよく、大型機械を必要としない 運搬、転圧等の施工が容易
工学的性質	一軸圧縮強さ CBR 値 $3.4 \sim 19.5 \text{ N/mm}^2$ $0.5 \sim 30.9\%$ 三軸圧縮試験 透水係数 $\phi = 30^\circ \sim 43^\circ$ $1.19 \times 10^{-0} \sim 6.29 \times 10^{-1}$ $c = 2 \sim 10 \text{ kN/m}^2$ $c \text{ m/s}$



図一 2 発泡廃ガラス材の締固め特性³⁾

って大きくなった。

4. 斜面災害における FWG 軽量盛土の事例⁴⁾

4.1 概要および設計条件

佐賀県唐津市市内の急傾斜地で、1999年7月の降雨により崩壊した斜面に、発泡廃ガラス材を用いた FWG 軽量盛土工法で設計施工した事例について報告する。

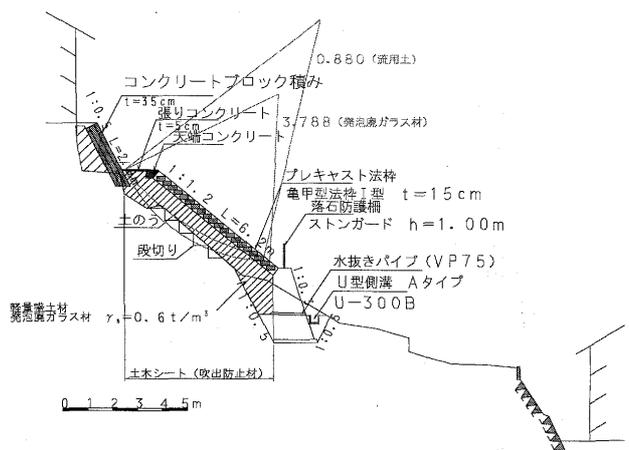
被災地の周辺の地質は、花崗岩類の東松浦花崗岩を基岩とし、丘陵地上部では、火山岩類の玄武岩が覆っている。

今回計画したのは、この丘陵地の中腹部にあたり、崖錐性の玄武岩礫、花崗岩礫を含む堆積層が薄く覆っている。降雨により土砂の流出・崩壊がおこり、斜面上部の家屋床下が露出するほど地盤が崩壊し、危険な状態にあった。崩壊した斜面はおおむね 1:1 の勾配になって安定している。また、斜面長約 20 m 下方の家屋には、斜面上部の崩壊による土砂や落石が小規模な土石流となり、堆積しているのが確認された。これらのことから、斜面上方の宅地基礎部の補強と斜面の復旧と安定を図ることを目的として、図一 3 の解析断面図に示す盛土形状で原形復旧を行った場合の FWG 軽量盛土工法の検討を行った。

4.2 解析結果

表一 2 に示す土質定数と FWG 定数を用い、重力式擁壁はランキンの土圧式により、すべりに対しては Fellenius 法を用いて安定解析を行った。すべりの計画安全率は、家屋が斜面上下にあるため、 $F_s = 1.20$ とした。盛土材料として流用土および発泡廃ガラス材を用いた場合の解析を行い、それぞれに比較した。解析結果を表一 3 に示す。

重力式擁壁の安定度について、流用土では転倒・滑動



図一 3 FWG 軽量盛土解析断面

表一 2 土質定数と FWG 定数

地盤の種類	土質定数 (kN/m^3)	単位体積質量 (kN/m^3)	粘着力 (kN/m^2)	摩擦角 ϕ (°)
礫質土 (流用土)	18.0	5.0	20.0	20.0
風化花崗岩	20.0	5.0	40.0	40.0
発泡廃ガラス材 (比重 0.6)	6.0	10.0	35.0	35.0
中詰り土	15.0	0.0	30.0	30.0

表—3 解析結果

解析項目	盛土材	流用土	発泡廃ガラス材
転倒 (m) < 0.30		0.52 (NO)	0.11 (OK)
擁壁滑動 (安全率) > 1.50		0.82 (NO)	2.13 (OK)
地盤反力 (kN/m ²) < 100.0		256.60 (NO)	92.90 (OK)
すべり安全率 F_s > 1.20		0.88 (NO)	3.79 (OK)

および地盤反力といったすべての検討項目で“不安定”の解析結果になるが、発泡廃ガラス材の場合は単位体積質量が小さく、内部摩擦角が大きいため“安定”になる結果が得られた。重力式擁壁の断面積は、流用土に比べると約1/3にスリム化できる。また、すべりに対しても、流用土を用いた場合は $F_s=0.88$ で“不安定”であるのに対し、発泡廃ガラス材を用いた場合は、 $F_s=3.79$ になり“安定”する結果が得られた。

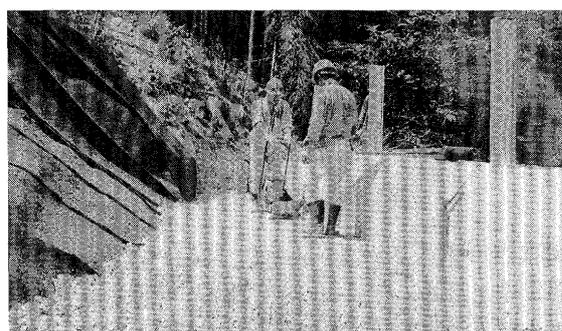
また、当地は降雨時に地下水が集水しやすい地形であるため、透水係数の大きな発泡廃ガラス材 ($k=1.19 \times 10^{-9}$ cm/s) で盛土することにより、降雨時における地下水の早期排水効果が期待できる。盛土施工後、プレキャスト法枠工で斜面を保護し、枠内を緑化するために植生工を行った。盛土材が独立間隙構造を有する発泡廃ガラス材であるため、このままでは保水しないので、植物への水分供給を行うため、植生工には連続間隙構造を有する発泡廃ガラス材を保水材として混合した土のうによる植生基盤材を設ける。この土のうは、FWG 軽量盛土の斜面に直接布設することにより斜面緑化の基盤材としての役目を果たす。

4.3 施工方法

擁壁背面および段切り後の斜面を廃ガラス材によるFWG 軽量盛土工を行った。急傾斜地であるため、フレコンバックにより搬入し、まき出しや転圧に大型機械を必要としない発泡廃ガラス材による軽量盛土工法は、施工性の面からも最適であった。また、写真—3は転圧状況であるが、地形的に斜面でもあり大型締めめ機械が搬入できないので、人力タンパー転圧により施工を行った。土とはまったく異なる性質の盛土材だが、施工技術は土よりも管理がしやすく、雨天でも施工が可能であり、有害物質の溶出も無く地盤や周辺環境に対して環境負荷を与えない工法である。

4.4 FWG 軽量盛土斜面の緑化

写真—4に施工後約4年の緑化状態を示す。施工後約2年までは芝の生育が順調であった⁵⁾が、施工後3年



写真—3 転圧状況



写真—4 施工後4年の斜面状況

目からは雑草の繁茂が旺盛で、被災地周辺の自然環境に調和してきたことがうかがえ、今回のような方法でも十分に緑化を促進させることが確認できた。

5. まとめ

- (1) 一般廃棄物や産業廃棄物を再資源化した素材や、軽量化した土とは異なる新素材の工学的特性を評価し、安全性と経済性に環境評価が得られる材料であれば、廃棄物の設計法の確立と有効利用に関するトータルシステムの構築が今後の課題となる。
- (2) 発泡廃ガラス材は、建設廃材の板ガラスや容器包装の空きびんから焼成された新素材で比重は0.3～1.5に調整でき、水を吸収しない独立間隙構造であり、土とは異なる性状を持つ軽量地盤材料である。
- (3) 比重0.6の発泡廃ガラス材を用いることにより、重力式擁壁の安定とスリム化、また地盤のすべりに対しても安定度を増すことができ、4年を経過したが構造物等に変状が見られないので、技術的にも、安全で経済的な施工が可能である。
- (4) 発泡廃ガラス材の独立間隙のものを軽量盛土材とし、連続間隙の保水効果を利用して盛土斜面緑化の植生基盤として用いたが、緑化促進の効果が発揮されている。

参考文献

- 1) 原 裕ら：ミラクルソル工法概要集，ミラクルソル協会，改訂第4刷，pp. 1～37, 2002.
- 2) 落合英俊・安福規之・大嶺 望：混合地盤材料の開発とその力学的性能，地盤工学会，軽量地盤材料の開発と適用に関するシンポジウム発表論文集，特別講演，pp. 137～148, 2000.
- 3) 古賀貴之：比重の異なる発泡廃ガラス材の締めめ特性，佐賀大学理工学部都市工学科，平成12年度卒業論文，2001.
- 4) 原 裕・鬼塚克忠・江口厚喜・横尾磨美：軽量盛土工法に発泡廃ガラスを用いた事例，平成11年度土木学会西部支部研究発表会，pp. 1048～1049, 2000.
- 5) 原 裕・鬼塚克忠・佐藤磨美・桃崎節子：環境に配慮した斜面緑化の事例—発泡廃ガラス材を用いた緑化—，地盤工学会，土と基礎，Vol. 49, No. 10, pp. 14～15, 2001.

(原稿受理 2003.5.26)