

土材ユニット化に関する基礎的研究 (FWG & チューブ軽量土工法)

牛原 裕司 日本建設技術株式会社
原 裕 日本建設技術株式会社
鬼塚 克忠 日本建設技術株式会社

1. はじめに

これまで、弊社では発泡廃ガラスを用いた軽量盛土工法 (FWG 軽量盛土工法) の開発を実施してきた。近年最終処分場の建設が困難な時代になっており、ガラス廃材の再資源化技術の確立が急務となっていた¹⁾。ガラス廃材を再資源化・軽量化することにより、1996年に土とは性状が異なる人工軽量地盤材料を開発している。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伴って最終処分場の延命策にもつながり、自然環境の保護・保全に貢献できる。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瓶等のガラス廃材を原料として、開発から2年間で“比重0.4”の連続間隙構造と独立間隙構造を開発した。写真1に示す新素材発泡廃ガラス (以下FWG: Foamed Waste Glass) を用いて、環境緑化工法、環境土工法、水環境工法として、建設分野に有効利用するため、新技術・新工法を提案している。

FWGは、軽量であることから施工性に優れた土木資材であるが、更なる施工性の向上について可能性を検討している。本プロジェクト研究では、FWGを塩化ビニル管に充填することで、軽量盛土材の『ユニット化』を図る。ユニット化した資材は、盛土材として用いるとともに、その使用用途については、開発の余地が十分にあるものと考えており、本稿では、塩化ビニル管にFWGを充填することによる、管の強度特性の変化を室内試験により検証する。

2. FWG 軽量盛土工法

FWG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荷重の軽減や、コンクリート構造物の埋戻し材として土圧と、地

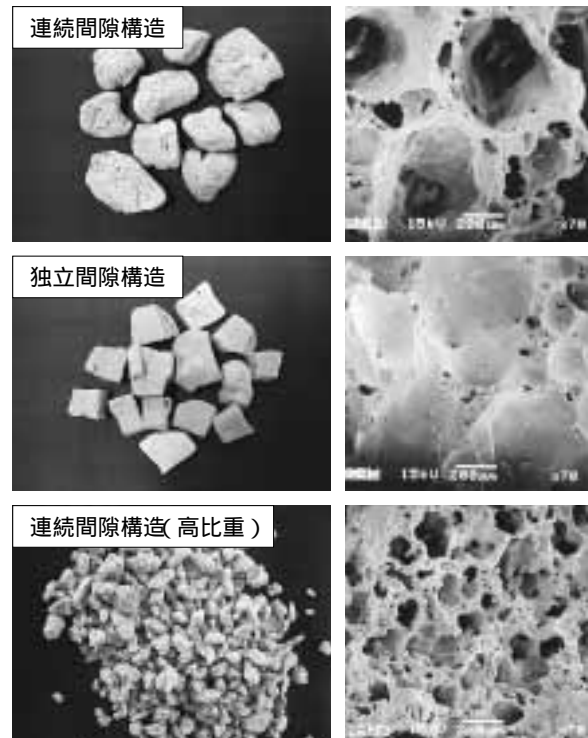


写真1 FWGの形状とSEM

表1 FWGの特徴

比 重	0.4~1.5
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, 転圧などの施工が容易
工学的性質	吸水率 : 10%以下 一軸圧縮強さ : 3.4~19.5N/mm ² 三軸圧縮強さ : $\phi = 30^\circ \sim 43^\circ$ CBR値 : 0.5~30.9% 透水係数 : $1.2 \times 10^0 \sim 6.3 \times 10^{-1} \text{cm/s}$

震時の主動土圧低減を主目的として用いている。表1にFWGの特徴を示す。FWGは比重を0.4~1.5の範囲で調整することが可能であり、用途に応じて比重を選定することができる。特徴としては、原料がガラスであるため、熱や薬品に対し



写真 2 実験で用いた塩化ビニル管
(呼び径300mm, 肉厚 8 mm)

で強く、腐食しないという利点がある。軽量土材として使用する独立間隙構造のFWGは、水を吸収しないため雨水や地下水による荷重変動が少ない上、内部構造がハニカム状を呈しているため、圧縮強度や内部摩擦角は普通土に比べて大きな値を示す²⁾。

3. FWG & チューブ軽量土工法の概念

前章で紹介したFWG 軽量盛土工法は、FWGが粒状であるため、ローラーやタンパーによる転圧が必要である。FWGは、軽量であることから施工性に優れる土木資材であるが、本研究において、ユニット化を行うことで更なる施工性の向上を目的とするものである。また、盛土材に限らず、軟弱地盤上の浮き基礎の材料として用いるなど、使用用途としては開発の余地が十分にある工法である。

そこで、本研究では、塩化ビニル管(呼び径300mm)を用いて、FWGを内部に充填することによる管の強度特性の変化について室内試験を実施し、検証した。

4. 強度特性試験

塩化ビニル管にFWGを充填することによる物理的諸特性を検証するため、偏平試験(下水道協会の基準に準拠)と曲げ試験を実施した。

写真 2 に示すように、今回使用した塩化ビニル管は、経済性向上のため、規格品と比べ薄肉の管 $t = 8 \text{ mm}$ としている。

1) 偏平試験

a. 供試体の作成

試験は、日本下水道協会規格の JSWAS K 1

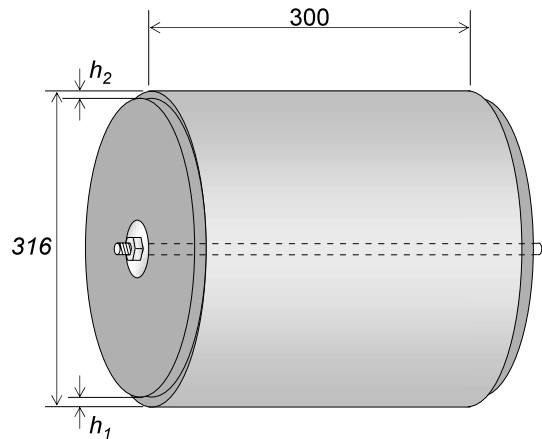


図 1 偏平試験の供試体概略図 (単位: mm)



写真 3 偏平試験の供試体

2002「下水道用硬質塩化ビニル管」の偏平試験法に準拠して実施した。

供試体の概略図および寸法は、図 1 に示すとおり長さ $L = 300 \text{ mm}$ とした。

供試体は、下記および写真 3 に示す 3 ケースを作成した。

CASE 1 : 内部充填無し

CASE 2 : 内部充填有り ($\rho_t = 0.25 \text{ t/m}^3$)

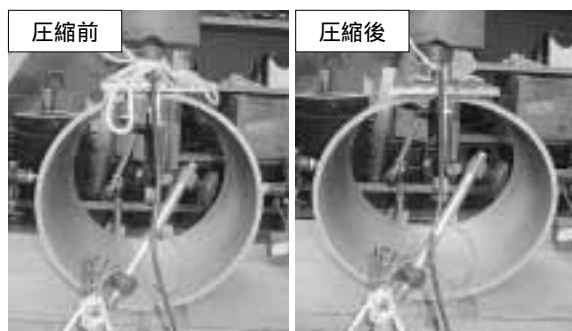
CASE 3 : 内部充填有り ($\rho_t = 0.30 \text{ t/m}^3$)

CASE 2 および CASE 3 の供試体については、図 1 に示すように、塩化ビニル製の板状の蓋をボルトで固定し、充填材の流出を防いだ。この時、板の上部と下部には、余裕幅を設けることで、圧縮による塩化ビニル管の変形により、蓋が圧縮強度に影響しないよう配慮した。この余裕幅は、試験規格の要求性能を考慮して、 $h_1 + h_2 > 16 \text{ mm}$ となるようカットした。

b. 実験の方法

偏平試験の状況を、写真 4 に示す。

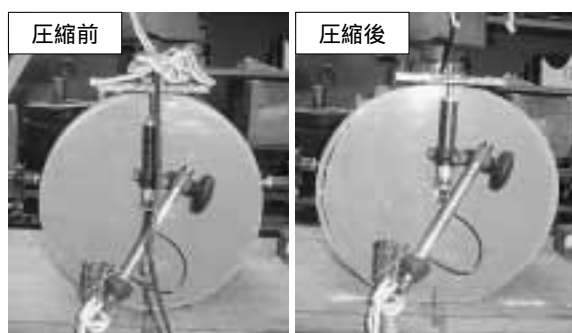
写真のように供試体を圧縮試験装置に設置し、供試体に対して均一に線荷重が載荷するよう、長さ400mmの鉄板を加圧板として設置した。



CASE 1



CASE 2



CASE 3

写真 4 偏平試験の状況

また、載荷板にロードセル(東京測器社製 CLP 2000KA)を設置するとともに、ひずみゲージ(東京測器社製 CDP 25)を載荷板および供試体の側面に設置し、データロガー(東京測器社製 PORTABLE DATA LOGGER TDS 302)を用いてデータを収集した。

c. 実験の結果

実験結果として、基準圧縮量である16mmの時の諸特性を表 2 に示す。

実験で用いた塩化ビニル管は、経済性向上のために肉厚を通常の VU 管が9.2mmであるのに対して、8.0mmと薄肉にしている。このため、CASE 1 の塩化ビニル管のみにおける、圧縮量16mmの時の線荷重は4.30kN/mであり、基準値の5.52kN/mを満たしていない。これに対して、FWG を内部に充填した CASE 2 および CASE 3 においては、強度基準をクリアすることが確認できた。特に、

表 2 偏平試験の結果(圧縮量16mm)

	線荷重 (kN/m)	弾性係数 (N/mm ²)
基準値	5.52	
CASE 1	4.30 【OUT】	3.45×10^3
CASE 2	6.52 【OK】	5.13×10^3
CASE 3	31.27 【OK】	24.67×10^3

JSWAS K 1 に基づいて算出



CASE 1



CASE 2



CASE 3

写真 5 曲げ試験の状況

締固めを行うことで、ゆる詰めの状態に比べて5倍近い強度増加が生じることが確認できた。

2) 曲げ試験

a. 供試体の作成

曲げ試験に用いた塩化ビニル管は、長さ $L=2.0$ mとし、写真 5 に示すように、端部を塩化ビニル製のキャップで固定することで充填材の流出を防止した。

b. 実験の方法

写真 5 に示すように供試体を曲げ試験装置に設置し、供試体に対して均一に分布荷重が載荷するよう、長さ800mmの H 型鋼を加圧板として設置した。

また、載荷板にロードセル(東京測器社製 CLC 20A)を設置するとともに、供試体の中心下部に前節で記述したひずみゲージを設置し、データロガーを用いてデータを収集した。

c. 実験の結果

実験で得たデータから、供試体に生じる曲げ応力を以下の式を用いて求めた。また、曲げ試験の概略図を図 2 に示す。

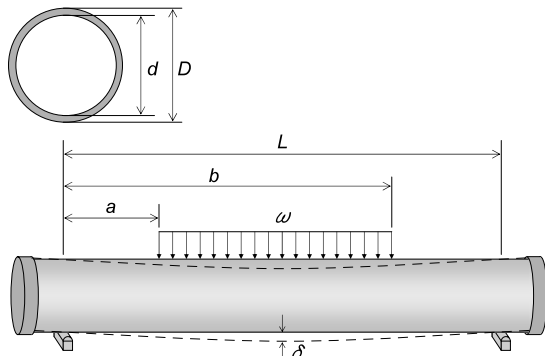


図 2 曲げ試験の概略図

管の断面係数 Z

$$Z = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D}$$

中心点に生じる曲げモーメント M

$$M = \frac{\omega(b-a)(2L-b+a)}{8} \text{ [N} \cdot \text{mm]}$$

中心点に生じる曲げ応力 σ

$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{4\omega D(b-a)(2L-b+a)}{\pi(D^4 - d^4)} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

D : 管の外径 (mm) d : 管の内径 (mm)

L : 支点間距離 (mm)

a : 支点から分布荷重起点までの距離 (mm)

b : 支点から分布荷重終点までの距離 (mm)

ω : 分布荷重 (N/mm) δ : たわみ (mm)

上式で求めた曲げ応力と供試体の中心におけるたわみ量の相関を図 3 に示す。

充填を行っていない CASE 1 の供試体では、計算上求められる曲げ応力に対して、たわみが極めて小さい。これは、分布荷重を載荷した断面において、載荷箇所付近の供試体上部が局所的に変形したために、下部におけるたわみがほとんど生じなかったことが推察される。また、管内部に FWG をゆる詰め状態に充填した CASE 2 においても、載荷初期の段階では、CASE 1 と同様、局所的な変形が生じたため、管下部のたわみは殆ど生じなかった。その後、ある程度の断面変形が進行し、充填材が耐力を持ち始めると、梁部材としてのたわみが生じ始めることが確認できた。

CASE 3 においては、載荷開始直後から管下部においてたわみが生じ、曲げひび割れ点や曲げ降伏点を有するなど、梁部材と同様の特性を有する

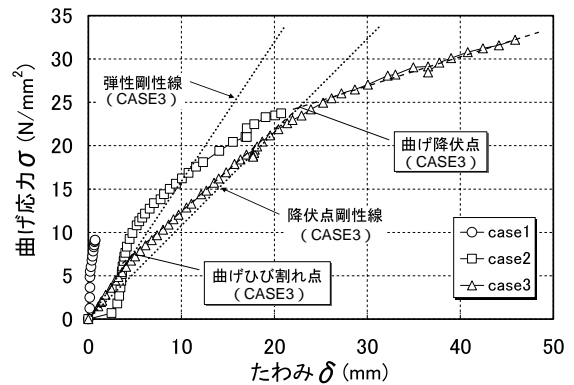


図 3 曲げ試験結果 (曲げ応力 たわみ曲線)

ことが確認できた。この結果から、FWG を充填する際に締固めを行うことで、管と充填材の一体化が生じ、梁部材としての機能を有することが推察される。

5. おわりに

本プロジェクト研究において、FWG を塩化ビニル管に充填することによる土材のユニット化に関する可能性を検討した。偏平試験からは、管の肉厚を薄くしても、内部空間に FWG を充填することで、土中埋設管としての強度基準を満たすことを確認した。さらに、曲げ試験からは、内部空間に FWG を充填ならびに締固めを行うことで、管と充填材との一体化が生じ、梁としての機能を有することが確認できた。

今回、土材のユニット化に関する物理的な諸特性の基礎データを得ることができた。今後、盛土材としてだけでなく、軟弱地盤上に盛土を行う際の浅層改良 (浮き基礎) など、あらゆる可能性を考慮し、研究・開発を執り行う所存である。

謝辞

本研究における実験を執り行うにあたり、佐賀大学大学院の石橋孝治教授ならびに山内直利技術職員には多大のご指導をいただいた。また、信越ポリマー株式会社の望月敏彦氏には、開発方針に対するご指導および塩化ビニル管の特別生産にご協力をいただいた。ここに、記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 原裕: FWG を用いた軽量土工法における最近の取組み, 土木技術, 61巻10号, pp.73~78, 2006.
- 2) 鬼塚克忠・横尾磨美・原裕・吉武茂樹: 発泡廃ガラス材の工学的特性と有効利用の一例, 地盤工学会, 土と基礎, vol.47, No.4, pp.19~22, 1999.