

日本建設技術(株) 正○佐藤 磨美 佐賀大学理工学部 正 鬼塚 克忠
日本建設技術(株) 正 原 裕 日本建設技術(株) 正 桃崎 節子

1. はじめに

近年、大量消費型社会から、環境循環型社会への移行を目指す意識が高まり、省エネ・省資源化が社会全体で望まれている。そこで、著者らは容器包装廃棄物や建設廃材等として排出されるガラス廃材に着目し、これらを微粉碎後に発泡剤と混合・焼成することにより再資源化した新素材；発泡廃ガラス材を開発した。発泡廃ガラス材は、多孔質間隙構造を有し、製造条件により比重と吸水性・非吸水性が調整可能である。また、軽量で強固な特性を持っている。これらの特性を活かして、建設・建築分野において様々な有効利用を行っている¹⁾。

今回は、発泡廃ガラス材と土を混合した軽量で省資源・低コストに着目した新しい地盤材料の開発を行い、その適用性について報告する。

2. 発泡廃ガラス材

ガラス廃材を $100\mu\text{m}$ 以下のパウダー状に微粉碎し、発泡剤と混合後、 $700\sim 1000^{\circ}\text{C}$ の温度で焼成する製造工程の発泡廃ガラス材は、比重が $0.3\sim 1.5$ に調整可能な多孔質間隙構造を有する軽量で強固な建設材料である。製造条件により吸水性および比重が調整可能であり、吸水性のものは連続間隙構造を有し比重が $0.3\sim 0.6$ であり、非吸水性のものは独立間隙構造を有し比重が $0.4\sim 1.5$ である。建設用材料としての用途は、吸水性のものが斜面や屋上緑化用の保水材や水質浄化材として、非吸水性のものが軽量地盤材料・コンクリート用軽量骨材・地盤改良

材等として利用している。独立間隙構造を有する発泡廃ガラス材について、その性状を表-1に示す。

表-1 比重の異なる発泡廃ガラス材の性状

比重(呼び名)	D-0.4	D-0.6	D-0.8	D-1.0	D-1.2
比重の範囲	0.35~0.44	0.55~0.64	0.75~0.84	0.95~1.04	1.15~1.24
本試験に用いた試料	表乾比重	0.475	0.636	0.824	1.050
	絶乾比重	0.402	0.612	0.795	1.022
	吸水率(%)	5.8	3.9	3.5	2.7

3. 発泡廃ガラス材の軽量盛土工法としての適用性

発泡廃ガラス材を軽量盛土工法材料として用いる場合の特徴を以下に示す。

- ① ガラス廃材のリサイクル製品であり、熱や薬品等によって溶融することなく、また、腐食しないため地盤や地下水に対して悪影響がない。溶出試験の結果、有害物質は検出されなかった。
- ② 独立間隙構造では比重が $0.4\sim 1.5$ に調整できるため、構造物・地盤条件に応じて比重を選定できる。
- ③ 粗骨材の状態であるため透水性は極めて良好で、排水性も良いことから、地下水の影響を受けない。また、独立間隙構造を有する非吸水性であるため、地下水や雨水による自重の増加がない。
- ④ 発泡廃ガラス材自体の強度も大きく、施工時は普通土と同様な取り扱いができ、大型機械を必要としないなど、施工性が良い。
- ⑤ 盛土工法後の地下埋設物に対しても容易に対応ができる。

以上のことから、軽量盛土工法材料としては諸条件に対して最適であると考えられる。

しかし、発泡廃ガラス材のみを地盤材として用いると軽量化できるが、新規土や現地発生土を地盤材料として用いた場合に比べると、コスト的には高価になる。そのため、計画時の地盤材料の単位体積質量や現場の条件によるが、経済性や現地発生した建設発生土の有効利用の面から、土との混合による新しい軽量混合盛土工法として適用できる。その際には、混合する土の性状を把握し、効果的な混合比率を求めることが重要

であり、実際に使用する場合には、地盤条件に応じた最適な単位体積質量と軽量混合盛土材の混合比や締固め特性、地盤定数等を施工前に試験により求める必要がある。施工時には、まき出し厚と締固め厚を管理する等の施工管理が必要である。

4. 発泡廃ガラス材とマサ土を混合した軽量混合盛土の事例

佐賀平野の軟弱地盤において歩道設置のための盛土工事を行うことになった。N 値が0の軟弱地盤であることから、圧密沈下の検討を行い、単位体積質量は 1.1t/m^3 が設計値として決定された。このとき、発泡廃ガラス材と土を混合した軽量混合盛土工法を用いることになった。

4. 1 室内試験による混合比率の検討

発泡廃ガラス材と混合する土についての検討を行った²⁾。現地発生土は高含水比で軟弱な有明粘土であることから、盛土材として軽量で低コストとなるような発泡廃ガラス材とマサ土を混合した軽量混合盛土材が選定された。単位体積質量に対する混合比（体積比）を求めるため、発泡廃ガラス材とマサ土を混合し、突固めによる締固め試験を行った。突固めによる締固め試験は、JIS A 1210 のE-b法によって行い、詳細な試験方法について表-2に示す。

締固め試験の結果を図-1に示す。発泡廃ガラス材とマサ土の混合比5:5の最大乾燥密度は 1.308g/cm^3 であるのに対し、混合比6:4の場合は 1.192g/cm^3 と、発泡廃ガラス材の比率を増加すると10%程度の質量低減ができる。また、現場施工においては締固め度 D_c 値により締め固めた土の品質を判定するが、道路盛土では $D_c \geq 85 \sim 90\%$ となる。この値を用いると、乾燥密度は $\rho_d = (0.85 \sim 0.90) \times \rho_{d\max} = 1.01 \sim 1.07\text{g/cm}^3$ となるが、これより設計値となる単位体積質量を計算する。マサ土の自然含水比が7.9%に

対し、発泡廃ガラス材が非吸水性であるため、発泡廃ガラス材とマサ土を6:4で混合した場合の自然含水比は6.3%である。この含水比を用いると締固め度 $D_c = 87\%$ で締め固めたときの単位体積質量が 1.10t/m^3 となる。したがって、本工事に用いる発泡廃ガラス材とマサ土の混合比率は6:4に決定した。

4. 2 試験施工における施工管理方法の決定と結果

発泡廃ガラス材とマサ土の混合比率を6:4で、試験施工を行った。発泡廃ガラス材を 1m^3 、マサ土を 0.67m^3 を容器に入れてバックホウを用いて混合後、敷きならし後の厚さが30cmになるようまき出した。4層について0.6tのバイブレーションローラを用いて沈下が終了するまで締固めを行った。

このとき、管理の方法としては、JIS A 1214に定義された砂置換法による土の密度試験により湿潤密度の測定を行い、締固め後の地盤の状況についてJGS 1521の地盤の平板載荷試験およびJIS A 1222

表-2 試験条件

突 固 め 試 験 (呼び名)		JIS A 1210 E-b法
ラン マー 質 量	kg	4.5
モールド内径	cm	15
突 固 め 層 数	層	3
各層の突固め回数	回	92
準備する試料		乾燥法・非繰り返し法
混 合 比 (発泡廃ガラス材 マサ土)	(体積比)	5:5 6:4

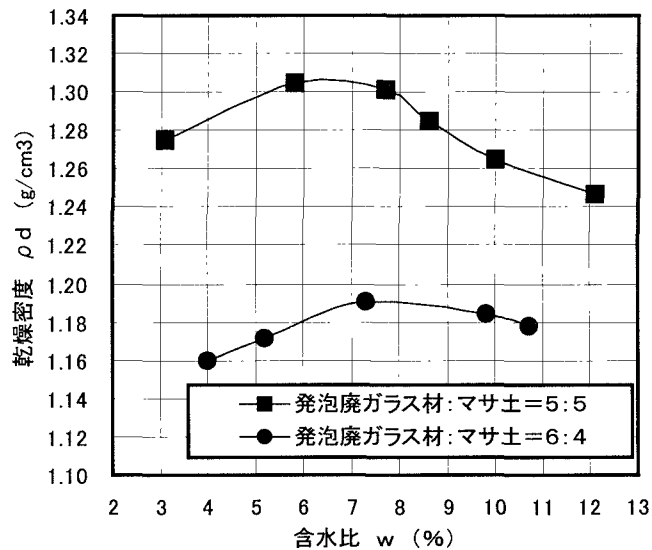


図-1 発泡廃ガラス材とマサ土を混合した締め固め試験

の現場 CBR 試験および動的コーン貫入試験を行った。結果を表－3に示す。

砂置換法による土の密度試験は1層目と2層目の中央で1点、3層目の中央とその左右1m離れたところの3点で行った。設計値の湿潤密度の 1.1t/m^3 はほぼ満足したが、2層目および3層目の1点で設計値を超える結果となった。

これは、発泡廃ガラス材とマサ土が均等に混合できなかった結果であると考えられ、実際の施工時の課題となった。締固め後の地盤の状況については平板載荷試験・現場 CBR 試験・動的コーン貫入試験とも良好な結果が得られた。

4. 3 軽量混合盛土工法の施工状況

写真－1～3は実際の施工における状況を示したものである。写真－1はバックホウで発泡廃ガラス材とマサ土を混合している状況であり、写真－2はバイブレーションローラーで締固めを行っている状況、写真－3が工事施工完了後の状況である。

試験施工と同様に砂置換法による土の現場密度試験により湿潤密度の管理を行い、動的コーン貫入試験により締固め後の地盤の N 値を測定した。13 層で締固めを行い、2,4,7,10,13 層目で湿潤密度は 1.182, 1.096, 1.154, 1.105, 1.170g/cm^3 とほぼ設計値を満足する結果が得られた。また、動的コーン貫入試験は7,13 層目にて試験を行ったが、N 値は3～9, 6～15 とどちらも試験施工と同等かそれ以上の結果が得られた。

5. まとめ

発泡廃ガラス材とマサ土を混合した軽量混合盛土材料としては、実際の施工においても試験施工と同様の結果が得られた。発泡廃ガラス材と新規土や現地発生土との混合は、地盤条件に応じて単位体積質量の調整ができるだけでなく、コスト削減にもつながるので、環境に配慮した軽量混合盛土工法といえる。ただし、地盤条件に応じた最適な単位体積質量と軽量混合盛土材の混合比や締固め特性、地盤定数等を事前に試験により求め、実際の施工時には、まき出し厚と締固め厚を管理する等の施工管理が重要である。

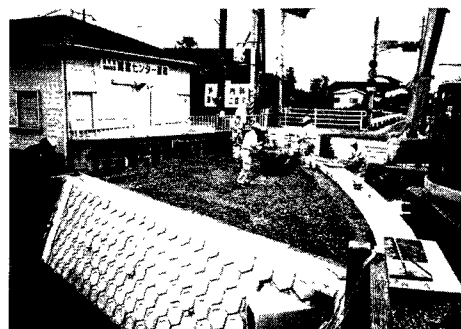
参考文献 1) ミラクルソル協会：ミラクルソル工法概要集、2001. 2) 佐藤磨美・鬼塚克忠・原裕・桃崎節子：発泡廃ガラス材と土を混合した軽量地盤材料の適用性、地盤工学会、第37回地盤工学研究発表会講演集、pp.1759～1760, 2002.

表－3 軽量混合盛土試験施工における試験方法と結果

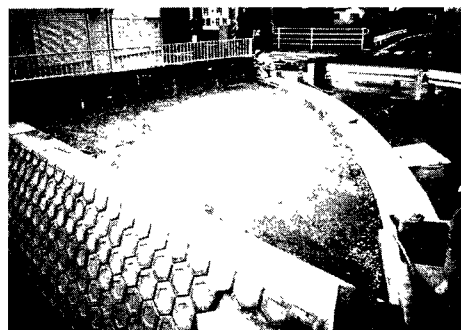
試験名	試験箇所	試験結果
砂置換法による土の密度試験(JIS A 1214) ⇒湿潤密度の測定	1層目中央1点	1.007 [g/cm^3]
	2層目中央1点	1.357
	3層目 3点	1.112(1 101/0 963/1 271)
地盤の平板載荷試験(JGS 1521)	4層目施工面中央1点	322 kN/m^2 (許容支持力 最大試験荷重の1/3)
現場CBR試験(JIS A 1222)	4層目施工面中央より左右1mで2点	測点1:23.1 % 測点2:25.4 %
動的コーン貫入試験	4層目施工面中央より左右0.5mで2点	測点1:3～9 測点2:3～9



写真－1 混合状況



写真－2 締固め状況



写真－3 施工完了