

使用済み発泡スチロール(EPS)再生骨材の利用技術

—吸音板・軽量土への用途開発—

小林 信明・檜垣 貫司

環境への負担低減は、現代社会の様々な分野における急務の課題であり、建設分野での取組みの一つとして、使用済み発泡スチロールを骨材に再生する技術開発が挙げられる。その成果として、温風処理によるかさ密度 0.1 g/cm^3 の軽くて硬い骨材が開発された。さらに、環境保護と資源有効利用の観点から、この骨材を利用した吸音板、軽量土、緑化基盤、保水ブロックが用途開発、実用化されたので、主に吸音板及び軽量土について紹介するものである。

キーワード：環境、再生利用、使用済み発泡スチロール、吸音板、軽量土、骨材

1. はじめに

発泡スチロール (Expanded Poly-Styrene, 以下EPSと称する) の2004年度の生産量は、19万4千トンで、その内訳は容器が58%、緩衝材・その他が27%、建材・土木が15%となっている。

これに対し、回収されているのは、17万5千トンで、その内訳は再生利用(リサイクル)が69.3%、埋立て処分が22%、焼却処分が8.7%であり、リサイクル率は年々増加しているが、いまだ約3割が廃棄物として処分されている。

このような背景から、大成建設株式会社では使用済みEPSを環境保護と資源の有効利用の観点から、骨材に再生する技術開発を進めてきた。その成果として、温風処理による骨材化を実現し、かさ密度 0.1 g/cm^3 の軽くて硬い骨材、テプサ(Tepsa: Taisei Expanded Poly-Styrene aggregate, 以下テプサと称する)を開発した。そして、テプサを利用して用途開発した

技術をテプサム(Tepsam: Tepsa-based material)と称し、テプサム吸音板、テプサム軽量土、テプサム緑化基盤、テプサム保水ブロックを開発、実用化している。

本報文では、これらの中から吸音板と軽量土に関し、その特徴や物性および適用事例について報告する。

2. テプサの製造法とその特徴

テプサの製造方法は、図-1に示すように使用済みEPSを破砕後、約 120°C の温風により約15分の減容処理を実施する。この温風減容処理により、容積を約1/10にすることができ、硬くて軽い骨材が得られる。テプサの特徴を以下に示す。

① EPS骨材に鉛直方向に 3 kN/m^2 の荷重を載荷した場合の圧縮割合は、使用済みEPS粉砕品が30~50%、バージンEPSビーズが10%、テプサが1%である。したがって、粒子表面が硬いため、他のEPS骨材よりも耐圧縮性に優れている。

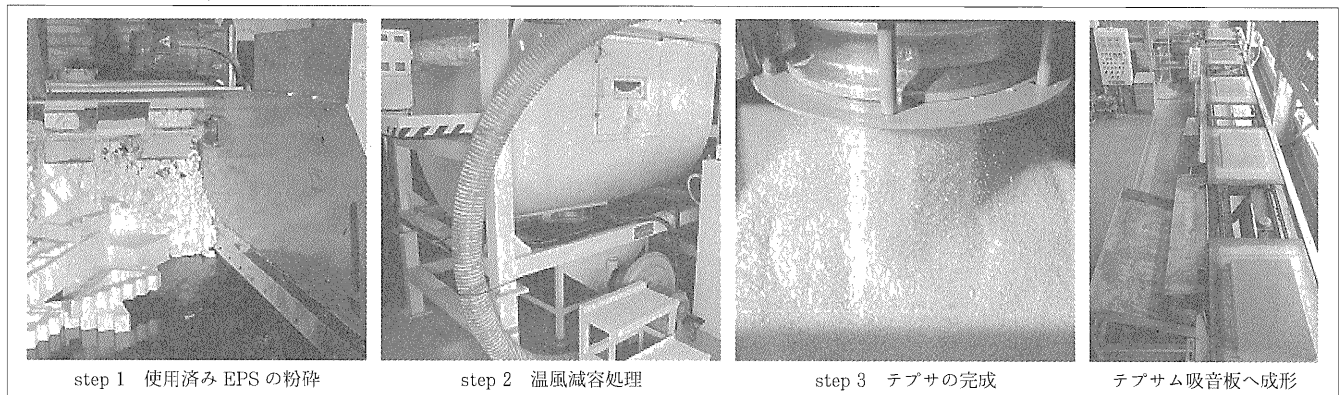


図-1 テプサ製造方法及びテプサム吸音板

- ② 粒度は、3, 5, 10 mm 以下の3種類の製造ができ、用途に応じて選択することが可能である。
- ③ 静電気が発生しにくいため、屋内外共に作業性に優れている。
- ④ 粒子密度は、0.2 g/cm³ 以下、見掛けの密度は0.1 g/cm³ 程度と軽量である。また、用途に応じて密度を選択することが可能である。

3. テプサム吸音壁

(1) 諸元・性能他

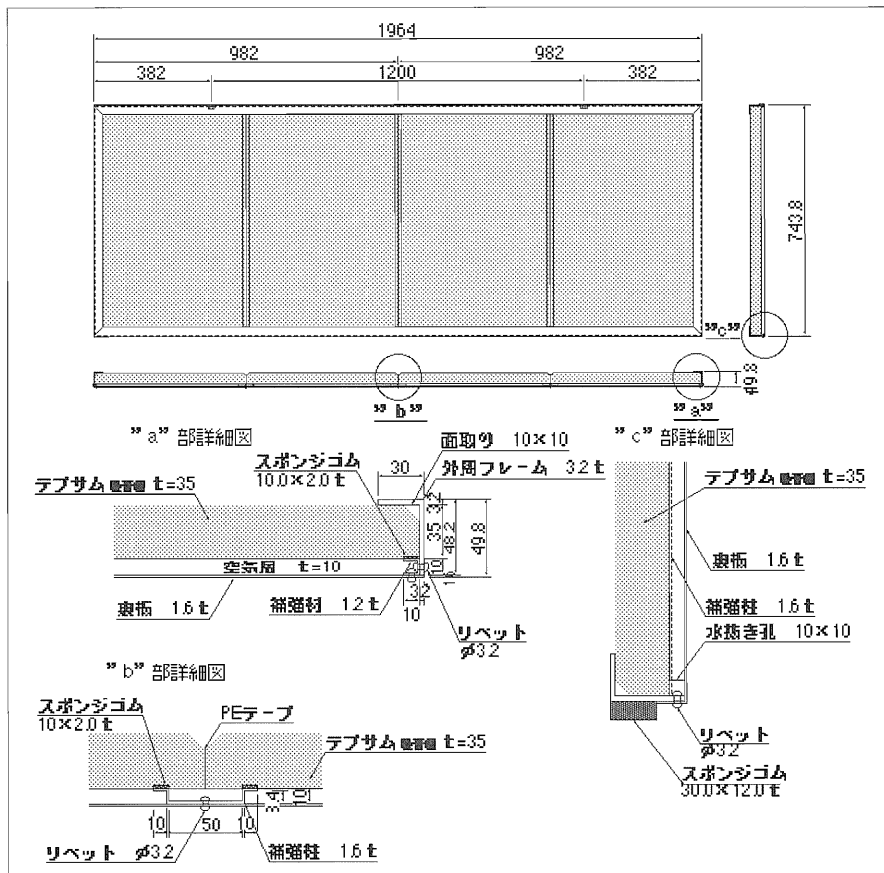
テプサム吸音板は、テプサを主材料に、セメントペー

スト、混和材等により、連続気泡を有する平板として成形した多孔質吸音板である。吸音板の諸元を表一に示す。

表一1 テプサム吸音板の諸元

比 重	0.85
圧縮強度	4.0 N/mm ²
曲げ強度	1.8 N/mm ²
耐火性	準不燃(2層タイプ)*1
促進耐候性	4,000時間異常なし

*1 表層の骨材に無機材を使用したタイプ



図一2 テプサム吸音壁「防音壁タイプ」

テプサム吸音板は、下地に直接ビス止めができる程

度の強度があるため、仕上げ材として施工することができる。また、グラスウール等の繊維系多孔質材と異なり、保水性能が低いことから、雨水がかかっても、内部の水が流れ落ちれば吸音性能は低下しないため、屋外に設置する吸音板として利用可能であるなどの特徴がある。

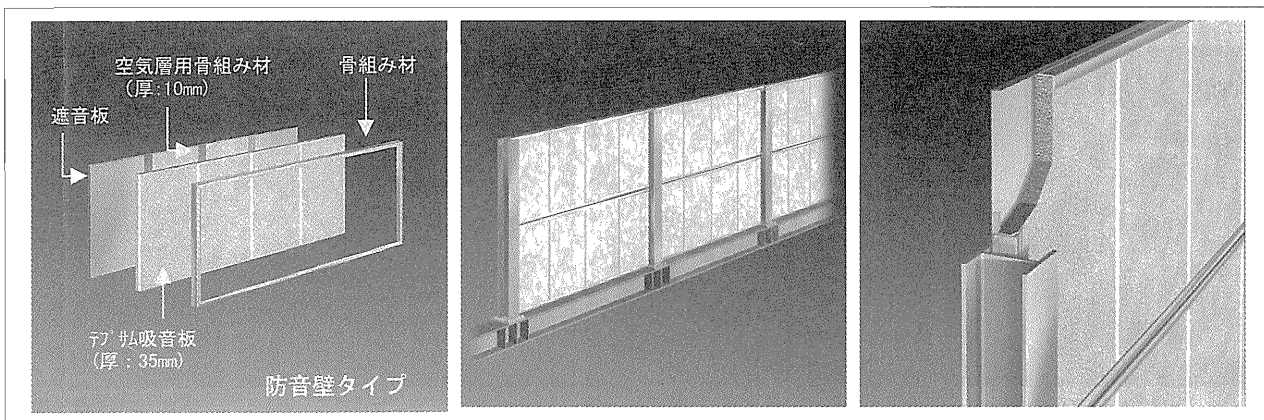
今回、このテプサム吸音板に適切な背後空気層を設け、鉄道音の周波数特性を狙って吸音特性を設計した「テプサム吸音壁」を開発した。テプサム吸音壁には、自立型の「防音壁タイプ」と構造体に設置する「貼付けタイプ」の2種類がある。

(a) 防音壁タイプ

地平面部の軌道傍等に自立して設置するタイプの吸音壁は、それ自体に防音壁としての機能が要求される。

図一2に防音壁タイプの正面図他を、図一3に姿図と設置イメージを示す。

防音壁タイプの吸音壁は、厚さ



図一3 テプサム吸音壁「防音壁タイプ」の姿図と設置イメージ

35 mm のテプサム吸音板と 10 mm の背後空気層、遮音鉄板で構成される。背後空気層は、想定した騒音の周波数特性に合せた吸音特性を確保するためのものである。遮音鉄板は、防音壁としての遮音性を確保するためのものであり、吸音壁の透過音が吸音壁上部の回折伝搬音よりも小さくなるように厚さを決定した。

防音壁タイプは自立型であるため、適切な風荷重を想定し、吸音板の強度、フレームの部材寸法を決定した。防音壁タイプは、H 鋼を支柱とし、フランジ間に上部より落とし込んで設置する。このため、従来から用いられてきた、吸音のない押し出し成形セメント板等に取り替えて設置することができる。図—4 に施工イメージを示す。



図—4 テプサム吸音壁「防音壁タイプ」の施工イメージ

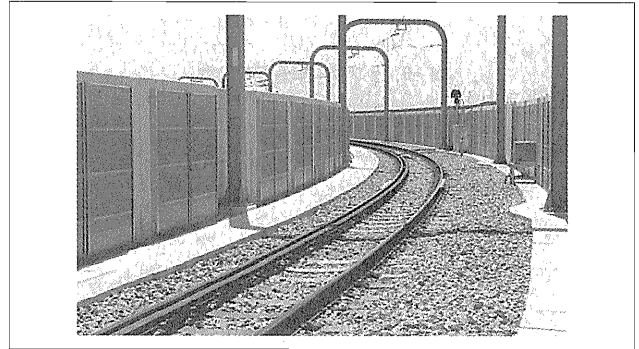
(b) 貼付けタイプ

コンクリート高欄やボックスカルバートの内側に設置する貼付けタイプの姿図及び設置イメージを図—5 に示す。

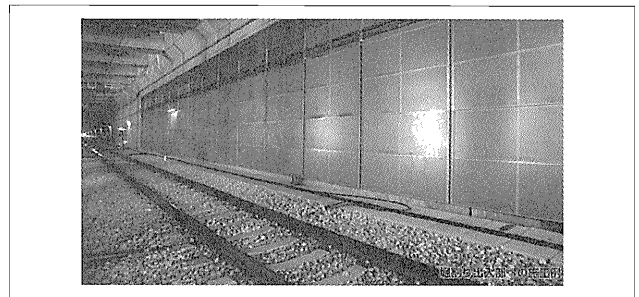
吸音壁は、テプサム吸音板と格子枠、防護用パンチングメタルから構成される。格子枠は対象とする騒音の周波数特性に合せた吸音性を確保する空気層のためのものである。一方、防護用パンチングメタルは、保線等の作業時に対する吸音板の保護用である。これは、吸音壁を設置する軌道傍の建築限界から吸音壁に

要求される厚さ（今回開発した製品では約 50 mm）を実現するため、吸音板の厚さを 24 mm と防音壁タイプに比べて薄くしたことによるものである。

貼付けタイプは、設置する部位（コンクリート高欄等）が遮音性を有する強固な構造体であるため、吸音壁自体には遮音性を確保するための遮音用鉄板はない。貼付けタイプは、ハット型の金具を用い、高欄にアンカーボルト等で設置する。写真—1、写真—2 に施工写真を示す。



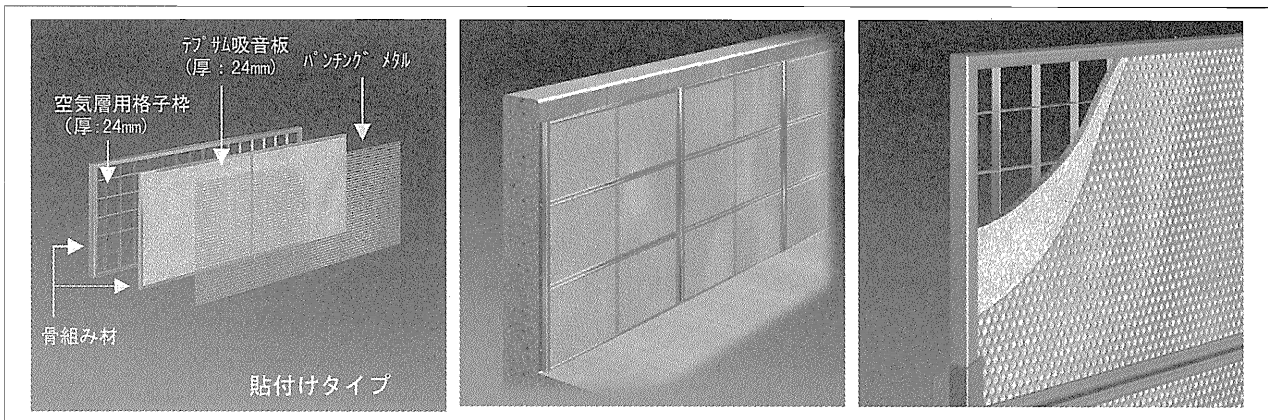
写真—1 テプサム吸音壁「貼付けタイプ」の車両基地出入庫線への施工



写真—2 テプサム吸音壁「貼付けタイプ」のトンネル出入り部施工

(c) 吸音性能

テプサム吸音壁の吸音性能（残響室法吸音率）を図—6 に示す。都市型鉄道で直線部を走行する場合の鉄道音は、レールと車輪間で生じる転動音とモータ音が大きく、さらに曲線部で車輪のフランジとレールの



図—5 テプサム吸音壁「貼付けタイプ」の姿図と設置イメージ

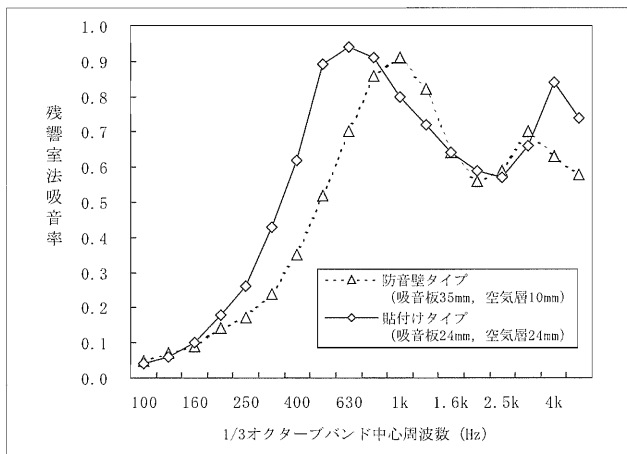


図-6 テプサム吸音壁の吸音

側面がこすれて発生する、きしり音が問題となることが多い。テプサム吸音壁は、限られた厚さでこれらの鉄道音を効果的に吸音するために、吸音板厚さと空気層厚さを設計し、効率的な吸音特性を実現した。

テプサム吸音壁「防音壁タイプ」(高さ 1.5 m) の効果を実際の鉄道音で確認したところ、軌道中心から 12.5 m 離れた測定点における騒音レベルは、防音壁なしに対し、吸音のない遮音壁を施工した場合に約 1~8 dB 低下し、遮音壁をテプサム吸音壁とした場合には、さらに約 2~3 dB 低下した。

(d) 重量

鉄道工事では、容易に重機を使用できない箇所が多いため、人の手で扱える重量であることが必要である。吸音壁自体で防音壁としての機能を満足しなければならない防音壁タイプは、遮音板が必要となる。また吸音板の厚さも貼付けタイプに比べて厚くなり、フレームも堅固なものとしなければならない。

これに対して遮音板は遮音性能試験の確認がとれている最小厚さである 1.6 mm とし、吸音板はコンクリートの配合調整で引張強度を上げ、厚さを 35 mm とし、重量の低減を図った。

(e) 耐久性、耐火性

吸音板は EPS を粉砕、温風減容処理し、セメントペーストで固化、成形したものであることから、その耐久性は 4,000 時間促進耐候性試験でも問題はなく、30 年程度の耐候性を有する。またフレームは高耐食性鋼板 (ZAM) を使用しており、一般で 100 年、塩害地で 60 年の耐食性を有する。耐火性については発熱性試験により準不燃相当の性能を確認した。

(2) 施工実施状況

(a) 吸音壁 (貼付けタイプ) の鉄道への適用

① 車両基地出入庫線 (写真-1)

吸音板の取付けが出入庫線の使用開始後であったため、夜間線路閉鎖作業となった。材料をクレーンで高架橋上へ荷揚げし、その材料を 1t トロで運搬取付けを行った。

② トンネル出入り部 (写真-2)

吸音壁の取付けは使用開始前であったため、昼間、足場もしくは高所作業車を使用して取付けを行った。

(b) 開発・施工上のポイント

テプサム吸音壁の開発、施工で重量が大きなウェイトを占めた。鉄道工事では軌道に沿う道路が無い箇所が多く、重機作業を行うことが困難である。このことから、吸音壁 1 枚を手で持てるのが施工上、製作上も重要なポイントである。開発、施工をとおして軽量化を図っている。

なお、民間鉄道 4 社におけるテプサム吸音壁の施工販売実績は平成 17 年 2 月現在で 4,472 m² である。

5. 軽量土

(1) 軽量土とは

軽量土とは、一般の土の密度よりも軽い土を総称する。締った土の密度は 2 g/cm³ 前後であり、軽量土は 1.5 g/cm³ 以下を言い、下限は 1.0 g/cm³ 前後で、それ以下とすると、降雨時や地下水、あるいは潮の干満の影響を考慮する必要がある。しかし、これらの影響がないところには密度が 1.0 g/cm³ 以下の土も適用できる。

軽量土は、密度以外に土の力学特性が要求される。一般的に土の密度と強度の関係は比例関係にあるが、適用対象構造物によって力学特性の評価が異なる。単なる埋戻し土であれば密度のみが重要となるが、道路盛土などでは、CBR (California Bearing Ratio) や振動特性等の要求性能が必要となる。

軽量土の適用構造物は、

- ・単なる埋戻し土、
- ・盛土、
- ・擁壁背面、
- ・空洞充填、

等である。

軽量土の種類を次に示す。

(a) 軽量骨材

① 人工軽量骨材

パーライト等の自然石を焼結して発泡した軽量骨材である。粒状体としての挙動をする。

② 水砕スラグ

鉄鋼製造過程で生じるノロを急冷したガラス状の粉

体。水硬性がある。

③ 粒状化石炭灰¹⁾

石炭灰にセメント（石灰）と水を添加して、特殊ミキサで粒状化したもの。

④ 発泡ガラス²⁾

廃ガラスの熔融体の中に強制的に気泡を混入し、粒状化したもの。

(b) 気泡混合土

土の中に強制的に気泡を混入したものである。モルタル状であるので、ポンプ打設による。気泡の混入量により、密度を 1.0 g/cm^3 以下にすることも可能である。

一般には気泡モルタルとも言われるが、骨材に発生土等を利用したものがあるので、土として扱う場合もある。また、骨材に浚渫土を使用した材料も実用化されている。

発生土を用いないものに FCB (Formed Cement Banking Method), 発生土を用いるものに SGM (Super Geo-Material) や HGS (High Grade Soil) がある。

(c) ビーズ混合土³⁾

気泡混合土の気泡の代わりに EPS ビーズを混合したもの。スラリー状とドライ状の混合土がある。

(d) 発泡スチロール

ブロック状の発泡スチロールを積重ねて軽量体を形成するものである。比重が 0.02 程度と超軽量体が形成できる。

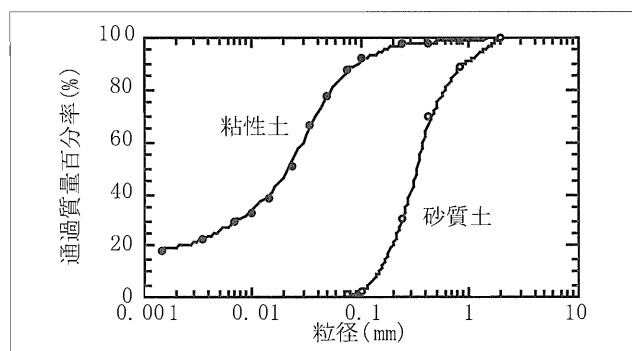
(2) 再生 EPS 骨材（テプサ）混入軽量土

以下に、テプサを軽量土に使用したときの室内試験と現場施工例を示す。

(a) 室内配合試験

ビーズ状 EPS を土質材料に混合して軽量土として使用する際の要求性能は、次のとおりである。

- ・ 基材である土質と良く混合すること。
- ・ 粒子の変形が小さいこと。



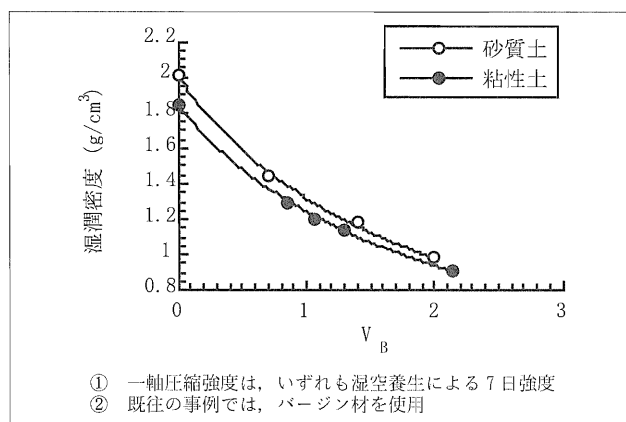
図一七 原料土の粒度分布

- ・ 有害物質が溶出しないこと。

このような条件に留意しつつ、次に示すように室内試験を行った。試験に使用した粘性土と砂質土の粒度分布を図一七に示す。

発泡ビーズ材（EPS バージン材）と原料土を混ぜた軽量土については、建設省⁴⁾に配合設計法がまとめられている。これに基づき、原料土（最適含水状態）、安定材（普通ポルトランドセメント）、水（加水分）に対してテプサの混合比 (V_B) を変え、締固め試験および一軸圧縮試験（砂質土：材令 7 日、粘性土：材令 28 日）を行った。

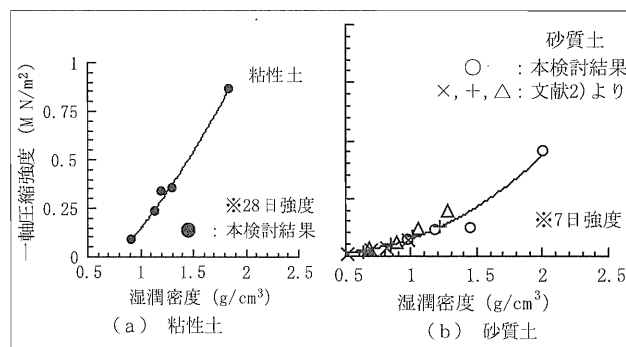
図一八は V_B と締固め後湿潤重量の関係である。試験を行った $V_B=0\sim 2.2$ の範囲では、 V_B を変えることにより、湿潤重量を調整できることが分かる。



図一八 V_B と湿潤密度の関係

- ① 一軸圧縮強度は、いずれも湿空養生による 7 日強度
- ② 既往の事例では、バージン材を使用

図一九は、湿潤密度と一軸圧縮強度の関係である。砂地盤（図一九 (a)）については、EPS バージン材を用いて同様の実験を行った。湿潤密度が大きくなるほど一軸強度が大きくなる傾向が見られる。



図一九 湿潤密度と一軸圧縮強度

また、砂質土（図一九 (b)）については、バージン材を用いた結果と同じ曲線上にプロットされており、同じ湿潤密度に対して同程度の強度が得られることが分かる。ただし、減容化により比重の大きくなったテ

プサを用いる場合、同じ湿潤密度を得るにはバージン材に比べて多くの分量を必要とする。これは、リサイクル材料を多量に利用できる半面、極端に大きな V_p については締固まりにくくなる場合があるので、配合検討にあたって注意が必要である。

(b) 施工結果^{5),6)}

対象とする現場は、橋台背面の空洞充填である。空洞の発生原因は定かではないが、背面の盛土の沈下と後続する雨水による侵食と考えられる。したがって、充填の目的としては、

- ・軽量として橋台に過度な負担をかけないこと、
- ・確実に充填して雨水の流入を防止する、

の2点である。

したがって、室内配合目標は、目標湿潤密度 (γ_i) は $1.0 \pm 0.05 \text{ g/cm}^3$ で、目標強度 (材令 28 日) は $2 \pm 0.5 \text{ N/mm}^2$ であった。試験結果を表-2 に示す。

表-2 軽量土の配合と強度

No	泥水密度 (g/cm^3)	練上がり時			材令 7 日		
		密度 (g/cm^3)	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	フロー (cm)	容重 (g/cm^3)	強度 (kN/m^2)	E 50 (MN/m^2)
1	1.4	1.012	21.8	190×195	0.96	354.54	29.64
2		1.014	21.8	185×188	0.98	535.35	48.99
3		1.034	21.8	197×192	1.00	863.88	76.41

この結果から、泥水密度を 1.4 g/cm^3 として、セメント添加量を 85 kg/m^3 とした。軽量土を作製するプラントは、現地発生土にセメント、水、テプサを添加して連続製造し、連続打設した。開口径 40 mm の振動ふるいを通じた発生土と水とセメント、そしてテプサをスクリー式連続ミキサの投入口に投入して混練した。

テプサはフレキシブルコンテナから供給ホッパにブロワを用いて空気圧送し、それからミキサへはスクリー式フィーダで定量供給した打設量は電磁流量計で記録した。

テプサの搬入は 1 袋 100 リットルの特殊袋を製作し、10tトラックで搬入した。100 リットル袋で約 20 kg の重量となることから、一人で一袋を担げる状態であった。

6. おわりに

大成建設株式会社では、使用済み発泡スチロール (EPS) について、環境保護と資源の有効利用の観点から、骨材に再生する技術開発を進めてきた。その成果として、軽くて硬いテプサを開発し、これを利用したテプサム吸音板、テプサム軽量土等を用途開発し、実用化した。

テプサは、建築分野での材料研究が先行してきたが、土質分野への適用は、軽量土の物性等について、まだ研究課題が残されている。

しかし、本報告のように、東京近郊で排出した発泡スチロールを加工して、実施工に適用することで、工学的には一つの流れが見出せたように思われる。

今後、骨材製造のコストダウン、製造の合理化などを組込んで、更なるリサイクルを推進していく予定である。

JCMA

【参考文献】

- 1) 鳥居・川村：路盤・盛土材料としての締め固めたフライアッシュ、土と基礎。Vol. 37, No. 2, 1989, pp. 61-66.
- 2) 横尾磨美・原 裕・桃崎節子：廃ガラス材を再資源化した軽量盛土材としての適用、第 3 回環境地盤工学シンポジウム, 1999.
- 3) 建設省土木研究所、発泡ビーズ混合軽量土利用技術マニュアル, 1997.
- 4) 建設省土木研究所材料施工部土質研究室、混合軽量土の技術開発に関する共同研究報告書—発泡ビーズ混合軽量土利用技術マニュアル—, 1997.
- 5) 小林治男・楡垣貴司・真島正人・長瀬公一・後藤和正：使用済み発泡スチロール粒を用いた軽量土工法 (その 2) フローティング基礎建物への適用、第 35 回地盤工学研究発表会, 2000, pp. 2177-2178.
- 6) 日経コンストラクション、「軽くて強い」性質を生かして空洞の充てん材に採用, 2000, pp. 66-67.

【筆者紹介】

小林 信明 (こばやし のぶあき)
大成建設株式会社
土木本部
土木技術部
都市土木技術室
次長



楡垣 貴司 (ひがき かんじ)
大成建設株式会社
技術センター
土木技術研究所
地盤・岩盤研究室
次長

