

12 軽量盛土工



1 軽量盛土の歴史と分類

1974年、セメントフォームという名称で矢板岸壁の裏込め材として運輸省港湾技術研究所（現、独立行政法人港湾空港技術研究所）で開発された。

その他、地盤沈下地帯での建物下の空洞充填、交通振動や騒音の低減などにも有効である。さらに浮遊人工島や屋上緑化などの新しい分野への利用法も検討されつつある。

1. 軽量盛土の歴史

現在の軽量盛土工法の発展は、1972年ノルウェーで開発されたEPS工法（発泡スチロールブロックを用いた盛土）がきっかけである。同じ頃わが国では護岸構造物の土圧低減工法として軽量ブロックを裏込めなどに利用する試みがなされたが、コストや施工法・地震時の評価などから普及しなかった。しかし、1985年にEPS工法がわが国へ導入されると、そのユニークさと土の約1/100という極めて優れた軽量性が評価され、急速に普及した。この工法に触発されるとともに環境問題の高まりもあって、建設残土や発生材の有効利用の観点から、多くの軽量盛土工法が開発・適用されている。

2. 軽量盛土工法の適用範囲

軽量盛土工法の最大の特徴は、自重の軽さによる地盤や構造物への荷重軽減であり、軟弱地盤の場合には基礎地盤処理のコストを低減し、工期の短縮ができることである。特に効果があるのは、以下のような場合である。

- 軟弱地盤の盛土における沈下対策
- 構造物取付部の段差防止対策
- 杭や地盤の側方流動対策
- 近接施工における変形防止対策
- 地すべり地頭部での盛土荷重軽減対策
- 急峻な山岳道路の切盛低減

3. 軽量盛土工法の分類

軽量土の分類には様々な方法があるが、地盤工学会でとりまとめた分類を表12.1に示す。土に代わる単位体積重量の極めて小さい「超軽量土」、土に他の材料を混合して軽量化した「軽量混合土」、自然発生材や人工的な廃棄物を利用する「発生材利用軽量土」に分けられる。これらの密度と強度の範囲は、図12.1のとおりである。

表 12.1 軽量土の分類

	使用する材料	混合・添加する材料	求められる密度 (t/m ³)	特徴、他	
土に代わる人工素材 (超軽量土)	発泡スチロール (EPS)	なし	0.016 ~ 0.035	—	
	発泡ウレタン		0.03 ~ 0.04		
	発泡モルタル	起泡剤	0.3程度		
現地発生材に他の材料を混合して軽量化した土 (混合軽量土)	現地発生材	(粒状ビーズ) 又は、起泡材 + 安定剤(固化材)	0.6 ~ 1.6	化学的安定性で不明なところがある 環境への影響が不明なところがある	
それ自身が軽質な土および発生材 (廃棄物や産業廃棄物も含む) (発生材利用軽量土)	自然発生	火山灰土	なし	1.0 ~ 1.5程度	—
		ウッドチップス			実績が少ない
	人工発生	焼却灰	セメント他	1.0 ~ 1.5	環境基準が課題
		石炭灰	(a) (b) なし/あり	(a) (b) 1.1 ~ 1.5 1.0前後	環境基準が課題
		水さいスラグ	なし	1.2 ~ 1.6	
		タイヤチップス (タイヤシュレッズ)	セメント他	0.6	わが国では実績が少ないが、米国では多い
		廃棄ガラス	(発泡させる)	0.2 ~ 0.4	吸水・保水性があり、環境負荷が少ない
		EPSインゴット	なし	0.7	廃棄EPSを熱溶融し、ブロック状に加工した材料

(出典) (社)地盤工学会編「地盤工学・実務シリーズ22 軽量土工法」、2005、p9 表1.3

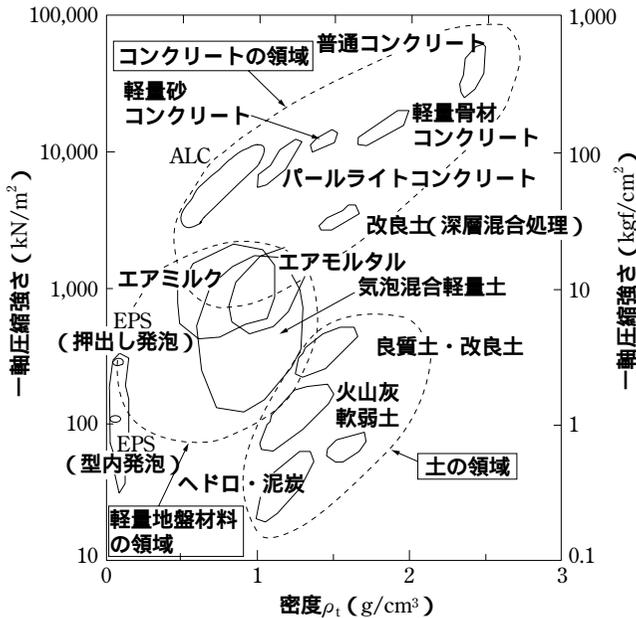


図 12.1 軽量土の密度と一軸圧縮強さの関係¹⁾



2 EPS 工法

Expanded Poly - Styrol 標準的
な寸法は $1\text{m} \times 2\text{m} \times 0.5\text{m} = 1.0\text{m}^3$

EPS工法は軽量盛土工法の代表的な工法であり、大型の発泡スチロールブロックを盛土材料や裏込め材料として道路、鉄道あるいは土地造成などの建設工事に適用する工法である。先に述べたノルウェーでの最初の実例は、首都オスロ近郊の道路での軟弱地盤対策として用いられた。橋台取り付け部に段差が生じて何度も補修を繰り返していたが、取り付け部の盛土の一部をEPSに置き換えることにより、荷重が大幅に軽減され残留沈下が収まったものである。材料の軽量性だけでなく、耐圧縮性、耐水性およびブロックを積み重ねた場合の自立性などの特徴を有する。

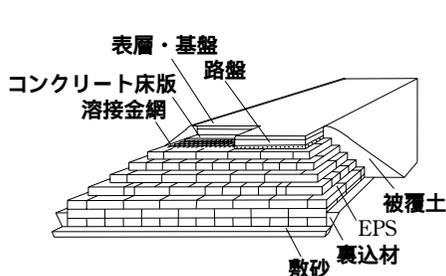
1. EPS工法の特徴と設計・施工上の留意点

(1) 特徴

EPSブロックはポリスチレンビーズを発泡させたもので、単位体積重量は製造方法によって異なるが、発泡倍率によって調整可能であり、 $0.12 \sim 0.3\text{kN/m}^3$ で土砂の約 $1/50 \sim 1/100$ と極めて軽い。圧縮強度は弾性領域である1%ひずみで定義され、 $q_u = 20 \sim 200\text{kN/m}^2$ で各EPSの種別に応じて基準値が定められている。また自立性に優れており、擁壁や橋台などの構造物背面に適用すると側圧が大幅に軽減でき、壁体を簡易にすることができる。

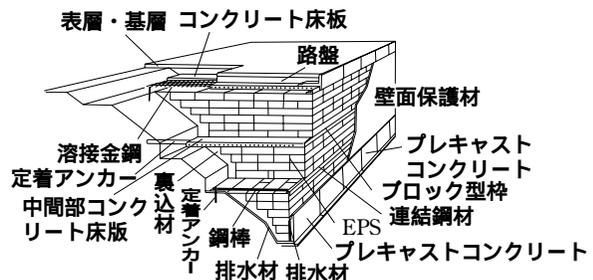
さらに超軽量であるため人力での運搬・設置作業が可能であり、大型建設機械が入れない狭隘部や急傾斜地などでの施工が容易である。EPSブロックは加工や切断し易く、現場の状況にあわせた施工ができる。EPS工法の標準的断面を図12.2に示す。

EPSブロック上面に載荷した場合でも側方への変形は極めて小さく、総荷重の約10%の側圧が作用するとし、自重による増分は考慮せず等分布とすることができる。



EPSの軽量性・施工性を生かし軟弱地盤上や地すべり地での盛土や構造物に対する荷重軽減対策として利用。

(a) 一般盛土



EPSを積み重ねた時の自立性を生かし抗土圧構造物の背面盛土や直立盛土、傾斜地の拡幅盛土などに利用。

(b) 直立壁

図 12.2 EPS工法の標準的断面と部材

(2) 留意点

盛土時の荷重軽減のためEPSを用いる場合の算定モデルは図12.3のとおりであり、盛土施工前後の作用荷重が等しくなるよう、あるいは増加荷重が極力少なくなるよう設定するのが一般的である。ただし、地下水位以下では大きな浮力が働くために浮き上がりに対する安定性を検討するが、この場合長期的な水位変動を考慮する。

EPSはガソリンなど芳香類の油によって溶融し、紫外線により劣化する性質を持っており、被覆が必要である。土木用に用いられるEPSブロックは自己消火性のものであるが、石油製品であり火気に対する注意を要する。また超軽量であるが故に、施工時の強風や豪雨へ備えも重要である。EPSブロックの置き場ではネットなどによる飛散防止のための養生や、浮き上がり対策として十分な排水により水位上昇を防ぐことなどが大切である。

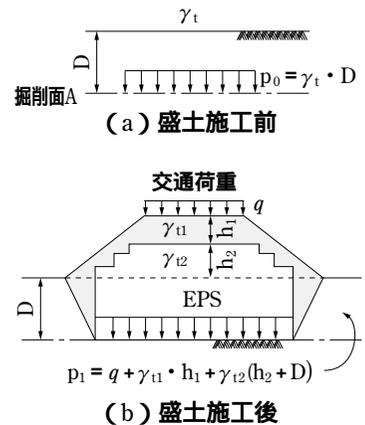


図 12.3 EPS置換え厚さの算定モデル

2. EPS工法の耐震性

EPS盛土は超軽量であり慣性力が小さいため耐震性に優れており、わが国で定着した理由の一つである。ただし超軽量であるため、道路や橋台の背面に用いた場合、上部が重く下部が軽い不安定な状態になる。これらについては、EPSはブロック集合体としての耐震性が実物大規模の振動台実験や各種シミュレーションで検討され、有効性や課題が明らかになりつつあり、レベル2地震動に対する設計方法の確立が期待されている。

3. EPSやその他の類似工法

EPSブロックのみを積み重ねる工法のほかに、孔あきのEPS板状ブロックと土とを複合構造やサンドイッチ状に敷設する工法やインターロッキング状にする工法などがある。また、リサイクルされる発泡スチロールを100ミリ程度に切断して小片化し、土とサンドイッチ状にしたものもある。

現場発泡による軽量盛土は、現場の地形に合わせて連続的な盛土体を形成できることや液体原料を用いるためEPSブロックに比べて体積が非常に少なく輸送面で大きなメリットがあることなどから、早くから注目されていた方法である。しかし、コスト面や安全・環境面で制約があり普及してこなかったが近年ではウレタン系の現場発泡（現場発泡ウレタン）が利用可能となっている。

上部が下部に比較して重いため、水平加振により水平方向だけでなく鉛直方向の応答も発生するので、最下段の強度を増加させるなどの対応が必要である。

例えば道路拡幅盛土では、図12.2(b)のようにアンカーが設置されることが多いが、この場合レベル2地震動に対しても有効であることが確かめられている。橋台背面や両側が垂直な壁体盛土でも転倒や滑動に対する安定性が確認されており、また擁壁背面のEPS盛土では、背面盛土・EPS・擁壁が一体となって震動するため、擁壁に作用する地震時土圧は非常に小さい。EPSブロックは互いに金具で緊結されており、この緊結金具による適度な一体化が耐震性に大きく寄与している。



3 その他の軽量盛土工法

エアモルタルはセメント・砂・水の混合物（いわゆるモルタル）に気泡を加え、エアミルクはセメント・水の混合物（セメントミルク）に気泡を加え、それぞれ発泡させたもので、セメントや砂の代替の一部としてフライアッシュや発生土を利用する場合もある。

発泡ビーズ 粒径2～10mm、材質：発泡スチロール、発泡ポリプロピレンなど

1. 気泡を混合する工法（気泡混合軽量土工法）

気泡混合軽量盛土は土に水を加えてスラリー化したものに気泡とセメントなどの固化材を混合してできる軽量化された安定処理土である。従来からトンネル工事での裏込め注入などに使われているエアモルタルやエアミルクも広義の気泡混合土といえる。以下に示す特徴を有し、高含水比粘性土を含む広範囲の土質材料が利用でき、建設発生土の有効利用も期待できる。

軽量性：気泡量により $5 \sim 13\text{kN/m}^3$ の間で、任意の重量に調整可能

流動性：硬化前は高い流動性を持ち、狭隘部への充填が容易

自硬性：固化材の配合により $q_u = 50 \sim 1,000\text{kN/m}^2$ で設定が可能

気泡混合土は流動性が高いため小さな隙間から漏れるおそれがあるので、打設時の漏出防止対策を講じる必要がある。硬化前は降雨により気泡が消滅するので、降雨時の施工は避ける。コンクリートと同様に凍結や乾燥収縮が生じる性質を持っているので、とくに寒中、暑中の施工に注意し、有害な影響を与えるおそれがある場合は、必要に応じて打設や養生に配慮する。

2. 土と軽量材の混合工法（発泡ビーズ混合軽量土工法）

発泡ビーズ混合軽量土工法は、土に超軽量の発泡ビーズを混合した軽量盛土の一つである。強度が必要な場合はセメントなどの固化材を添加することが多い。この工法は通常の土に近い取り扱いが可能であり、変形への追従性と水密性を併せ持っている。なお同工法には固化材を混合したものをスラリー化し、充填固化する工法もある。

製造方法にはプラント混合方式と現位置混合方式があるが、施工数量が多い場合はプラント混合が優位であり、品質も確保しやすい。ダンプトラックでの運搬には発泡ビーズの飛散防止にシート養生すること、撒きだし時の分離防止のための排水対策などに留意する必要がある。

3. 軽量発生材料を利用する方法

(1) 火山灰、ウッドチップ

粗粒の火山灰は天然の材料であり取り扱いも容易であるが、分布が火山地帯に偏っているため活用に当たっては地域性を考慮する必要がある。

ウッドチップは文献上の実績は少ないが、古くから用いられてきた。水や空気との接触により腐朽が進むため、取り扱いが難しく乾燥状態での使用や炭化が必要である。

木片やおがくずは、締固め後の湿潤密度が約 $0.7 \sim 1.0t/m^3$ で締固めと自重で体積は約40%程度圧縮するが、その後の長期的な沈下は比較的小さいといわれている。

(2) 水砕スラグ、石炭灰

水砕スラグの粒子はガラス質で、粒子内に気泡を持ち自硬性もあり、角張っていて締固め易く、せん断強度・透水性の面でも優れている。石炭灰はフライアッシュとクリンカーアッシュに大別されるが、粒子は中空構造となっており軽量である。これまでもコンクリートの粘土代替材料として使用されてきたが、軽量盛土として水砕スラグ同様、裏込材や路床・路盤などに利用できる。

(3) 廃ガラス、廃タイヤ

廃ガラスピンを微粉砕し、発泡剤を混入・焼成することにより発泡廃ガラスとなる。発泡ガラスは独立気泡型で超微粒の中空ガラス玉の集合体とされ、橋台背面や擁壁の埋め戻しなどに実績があり、資源のリサイクルとして有効と考えられる。

廃タイヤの軽量盛土への利用法は、古タイヤをシュレッドあるいはチップ状にし、そのまま盛土や裏込め材として、あるいは土と混合して使う方法とがある。わが国ではこれまで大半の古タイヤはリサイクルされてきたものの、その多くは熱源として用いられてきた。地球温暖化や廃ガス問題が懸念され、軽量土のみならず幅広く地盤材料としての有効利用が期待されている。

廃ガラスピンを30～100ミクロン程度のパウダー状にし、発泡剤を混入して750～900℃で焼成すると発泡廃ガラスとなる。発泡剤の種類と量・ガラスの粒度・焼成温度を調整し、比重0.3～0.4、吸水率5%程度のものが軽量盛土材として開発されている。

古タイヤの野積みにも悩まされていたアメリカでは1980年代半ばから始まり多くの実績があるが、わが国での利用例はまだ少ない。

引用・参考文献

- 1) (社)地盤工学会編：「地盤工学・実務シリーズ22 軽量土工法」, 2005
- 2) (社)地盤工学会編：「地盤工学ハンドブック」, (社)地盤工学会, 1999
- 3) 発泡スチロール土工法開発機構編：「EPS工法 発泡スチロール(EPS)を用いた超軽量盛土工法」, 理工図書, 1993
- 4) 発泡スチロール土工法開発機構編：「EPS工法設計・施工基準書(案)」, 発泡スチロール土工法開発機構, 2002
- 5) 千田昌平：「軽量盛土工法の概説 基礎工Vol.32 No.12」, 2004
- 6) 堀田光：「発泡スチロール土工法(EPS工法) 基礎工Vol.32 No.12」, 2004