The Japanese Geotechnical Society

講座

軽量地盤材料の物性評価と適用

4. 軽量地盤材料の設計法

菊池喜昭（きくち　よしあき）
独立行政法人　港湾空港技術研究所

加藤　誠（かとう　まこと）
東日本旅客鉄道㈱総合技術開発推進部

長坂勇二（ながさか　ゆうじ）
㈱エス・エル・エス

山根信幸（やまね　のぶゆき）
東亜建設工業㈱技術研究所

佐藤　修（さとう　おさむ）
積水化成品工業㈱商品事業部

4.1 はじめに

軽量地盤材料には，軽量材そのものを土に置換えて使用するものと土に軽量材を混合して土自身の単位体積重量を小さくする方法とがある。前者には発泡スチロールブロックを用いる方法や発泡ウレタンを用いる方法等がある。後者には，発泡ビーズや気泡を土と混合させた発泡ビーズ混合軽量土や気泡混合軽量土等が挙げられる。**表—4.1**[1]に，現在，軽量地盤材料として適用もしくは研究開発されているものを示す。

軽量地盤材料の軽量性以外の特徴としては，これまで廃棄処分されていた建設発生土や高含水比の粘性土を有効利用できることが挙げられる。また，最近の傾向として，環境やライフサイクルの側面から原料土の代わりとして石炭灰や焼却灰を用いたり，軽量材として廃プラスチック，廃棄発泡スチロールおよび廃タイヤ等の適用が検討されている。

このように軽量地盤材料は実に多種多様であり，これらの適用においては，それぞれの特性をよく理解した上で使用されることが望まれる。

本章では，これら軽量地盤材料のうち発泡スチロールブロックを用いたものを超軽量地盤材料，土に発泡ビーズや気泡を混合したものを軽量地盤材料と呼び，それぞれの設計について基本的な考え方を述べることにする。

4.2 超軽量地盤材料の設計法

(1) 設計の基本的な考え方

超軽量地盤材料としては，ポリスチレン樹脂を発泡させた発泡スチロール（Expand Poly-Styrol，以下EPS）やウレタン樹脂を発泡させた発泡ウレタンなどがある。

超軽量地盤材料の1 m³当たりの単位体積重量は100～350 N程度であり，土の単位体積重量の約1/50～1/100と従来にない超軽量性を発揮する。

EPSブロックを積重ねて利用するEPS工法は軟弱地

表—4.1 軽量土工法の種類と特徴（久楽（1990）の内容を一部修正[1]）

		使用する材料	湿潤密度 (g/cm³)	特　徴	問題点
(1) 軽量材を用いる方法	(a) 発生材	① 軽量土などの軽量土砂		• 取扱いが容易	
		② 水砕スラグ		• 自硬性を有する	
		③ 石炭灰			• 生産地によって物性が異なる
		④ 焼却灰 ⑤ その他（木屑など）			
	(b) 人工素材	① 発泡スチロール ② 発泡ウレタン ③ 発泡モルタン ④ 高分子材料	0.02～0.04 0.3程度以上	• 施工が容易 • 自重コントロール容易 • 超軽量で排水機能有	• 単価が高い • 水浸の影響大
(2) 現地発生土の軽量化による方法	(a) 混合処理	現地発生土 ＋軽量材（ビーズ・気泡） ＋固化材	1.0前後	• 自重の調整可能 • 目標によって強度調整可能	• 化学的安定性で不明な所が多い
	(b) 流動処理	現地発生土 ＋水 ＋固化材 ＋軽量材（ビーズ・気泡）	0.5程度以上	• 自重や強度の調整可能 • 締固めの必要がない	
(3) 中空構造物による方法	(a) 盛土荷重の低減	① コルゲートパイプ ② ボックスカルバート	1.0前後	• 堅固な構造物可能 • 構造物自体の枕下や変形を少なくできる	
	(b) 構造物の荷重低減	多連カルバートなど			

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society

盤や地すべり地の盛土，擁壁や橋台の裏込め，構造壁，あるいは管基礎などに適用されている[2]。また，施工の際に大型建設機械を必要としないことから建設機械の支持力を確保できない場合，重要構造物への近接施工となる場合，騒音・振動など周辺環境への配慮が必要な場合などに有効である。さらに，仮設道路などへの適用により施工・復旧などが簡便化され，これらに伴う工期の短縮も可能である。

EPS ブロックが持つもう一つの大きな特徴は，透水性が非常に低く地下水位以下で用いても，軽量性がほとんど損なわれないことである。ただしこのことは，逆に地下水位が高い所では大きな浮力を受けることになるので，特に洪水時等の高水位に対しても EPS ブロックが浮上がらないよう配慮することが必要である。

その他の特性として，EPS は紫外線により材質が劣化しやすく，塗料や接着剤に含まれる有機溶剤に溶融するものもある。また，熱に弱く，70～80℃以上で変形や強度低下を起こす[3]ことなどが考えられるので，使用にあたっては，表面を土砂，コンクリート，シートなどで被覆しておくことが必要である。なお，合成樹脂の発泡体は一般に可燃性であるが，EPS 工法に用いられる EPS は製造時に難燃剤が添加されており，着火しても延焼しない自己消化性を持つものが一般に使用されている。

(2)　事前調査と設計条件

EPS 工法に限らず工法の計画・設計に当たっては，対象とする構造物の種類，規模，重要性を考慮し，他の工法と総合的な比較を行った上でより安全で経済的な工法を採用することが望ましい。

EPS 工法の計画・設計に際しては，この工法の採用のいかんにかかわらず実施すべき調査と，この工法に特有な調査とがある。次に EPS 工法を軟弱地盤上での盛土荷重軽減工法として用いる場合の事前調査・検討項目を示す。

①　地盤の成層状態

コーン貫入試験などのサウンディングにより，軟弱層および排水層の位置，厚さ，連続性を確認する。同時に代表的地点で不撹乱試料採取を行う。

②　圧密特性

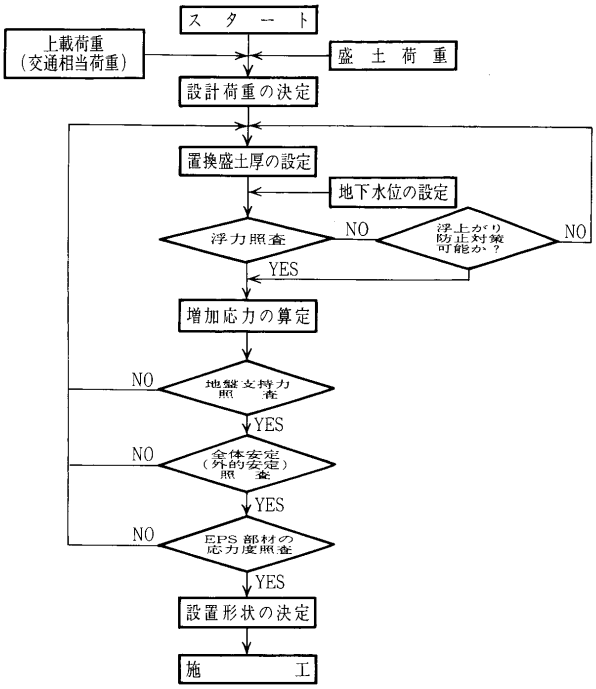
不撹乱試料による圧密試験を行い，沈下量の算定に必要な圧密定数を整理しておく。

③　せん断強度特性

軟弱地盤のせん断強度は，主に一軸圧縮試験を基に評価されることが多いが，この試験はサンプルの品質や土の種類により，結果が大きく左右される。特にピート質地盤では一軸圧縮強さは極端に小さな値を示し，原位置での強度を再現するのは困難である。このような地盤に対しては，一面せん断試験や三軸試験（ともに CU 条件）などの室内試験を行う必要がある。

④　地下水位

上記①～③の項目は，一般的な調査試験項目として実施されるが，EPS の超軽量という特徴から地下水位調査も重要な調査項目となる。地下水位調査では，常時の地下水状態はもちろんのこと，季節的な変動や過去の洪水時の水位に関しても確認する必要がある。特に排水系統についてはよく検討し，EPS ブロックが浮上がらないようにする。



図—4.1　EPS 盛土設計手順

(3)　設計の手順

EPS 工法の一般的な設計手順を**図—4.1**に示す。軟弱地盤上での盛土で，沈下抑制を主な目的として EPS 工法を計画する場合には，増加応力がゼロとなるようにするのが望ましい。しかし，浮力対策や地下水位付近での施工性などの理由から，必ずしも増加応力がゼロとはならず盛土の荷重が大きくなり地盤内に増加応力が発生するような設計になる場合もある。

(4)　EPS 部材の応力度の検討

上載荷重により EPS 上面に作用する応力が材料の許容応力度以下であることを確認する。作用する応力（σ_z）は，舗装，路盤などの載荷荷重（死荷重）による応力（σ_{z1}）と**図—4.2**に示す交通荷重などの活荷重による応力（σ_{z2}）の和で，式(1)により算定される。

式(1)より得られた σ_z と EPS 許容応力度（σ_a）を比較し $\sigma_z > \sigma_a$ となった場合は，EPS 部材をさらに高強度のものに替えるか，舗装厚さを増して荷重の分散を図る必要がある。

$$\sigma_z = \frac{P(1+i)}{(B+2\cdot Z\cdot\tan\theta)(L+2\cdot Z\cdot\tan\theta)} + \sigma_{z1} \cdots\cdots (1)$$

ここに，P：輪荷重

B：車輪幅

L：車輪設置長

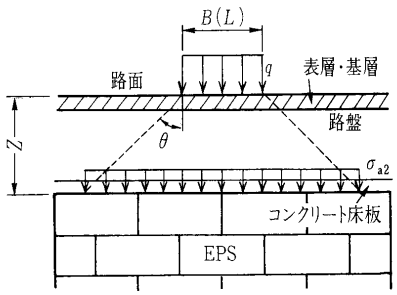
Z：路面から EPS 上面までの深さ

θ：荷重分散角

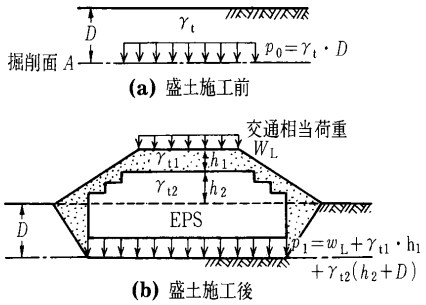
i：衝撃荷重

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society



図—4.2　活荷重による伝達応力[4)]



図—4.3　EPS に置換え厚さの算定モデル[4)]

σ_{z1}：載荷荷重（$=\Sigma\gamma_i \cdot h_i$）

γ_i：舗装，路盤などの単位体積重量

h_i：舗装，路盤などの各層厚

(5)　EPS 置換厚さの検討

EPS 盛土ではその超軽量性を利用し，盛土による地盤への増加応力をできるだけ小さくするか，または生じさせないようにする。図—4.3[4)]に示すように現地盤を掘削し，EPS を用いて盛土を施工した場合の地盤内応力は次の式(2)，(3)で示される。

盛土施工前：$p_0=\gamma_t \cdot D$ ……(2)

盛土施工後：$p_1=w_L+\gamma_{t1} \cdot h_1+\gamma_{t2}(h_2+D)$ ……(3)

ここに，γ_t：現地盤の単位体積重量

D：掘削深さ

w_L：交通相当荷重

γ_{t1}：舗装構成材料の単位体積重量

γ_{t2}：EPS の単位体積重量

h_1：舗装構成材料の厚さ

h_2：現地盤面からの EPS の積上げ高さ

EPS 盛土工法では，掘削面における盛土施工前の応力と盛土施工後の作用応力と交通相当荷重（w_L）の和が等しくなるよう，$p_0=p_1$ とし掘削深さ（D）を決定する。ただし地下水位が高い場合は掘削深さをできるだけ浅くして，施工中，施工後に EPS に浮力がかからないようにすることが望ましい。

(6)　浮上がりの検討

置換え必要厚さが大きく，掘削により EPS 設置面が地下水位以下になる場合や地下水位の変動で EPS が水浸する可能性がある場合には，EPS 盛土の浮上がりに対する検討が必要である。水位は予想される最高水位を用い，EPS の自重および地盤との摩擦力，交通相当荷重はこの検討では無視する。EPS 盛土の浮上がりに対する安全率（F_S）は式(4)による。

$$F_S=P/U=\gamma_{t1} \cdot h_1/\gamma_w \cdot h' \quad \cdots\cdots(4)$$

ここに，P：載荷重（舗装，盛土荷重）

U：浮力

γ_w：水の単位体積重量

h'：EPS の地下水位以下の深さ

この検討の結果得られた安全率が1.2以下となる場合には，次の対策を講じる。

- 掘削深さを減らす。
- EPS 上部の盛土や舗装厚さを増す。
- 排水工で地下水位を低下させる。
- 中間床版などにアンカーを設け，浮力に対抗する。

(7)　沈下の検討

前述の上載荷重を増加させる浮上がり防止工が必要な場合や，施工性等から地下水位以下の掘削を行わない場合などは，盛土により地盤の応力が増加することになる。したがって軟弱地盤を対象とする場合には，地盤の沈下に対する検討が必要になる。計算は通常の一次元圧密によるが，この結果，許容沈下量を満足しない場合には，他の地盤改良工法との併用についても検討し，沈下量が許容沈下量以下となるようにする。

(8)　全体安定の検討

基礎地盤を含む盛土体全体の安定検討は，円弧すべり法により行う。ただし，EPS 盛土体内部（ブロック相互の組合わせ体）に破壊時の包絡線がどのように発生するかは解明されていない。したがって，盛土体の全体安定を検討するときには EPS 盛土を荷重として評価する。また，計算は EPS 中にすべり面を設定するのではなく，EPS 盛土の外を通るすべり面を想定して外的安定を検討する。

(9)　地震時の考え方

地震時における安定性については，兵庫県南部地震以降，レベル 2 地震動対応の設計体系を導入した EPS 盛土に対しての実験・解析的研究が実施されており，レベル 2 地震動に対する地震時挙動解明が行われ，EPS 盛土の地震時安定性は評価されつつある[5),6)]。

4.3　軽量地盤材料の設計法

(1)　設計の基本的な考え方

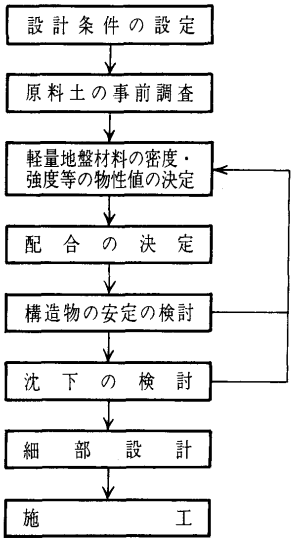
本章では，母材となる土に軽量材として気泡もしくは発泡ビーズを混合し，材料のせん断強度を増加させるものとしてセメントなどの固化材を利用した軽量地盤材料（以下それぞれ，気泡混合軽量土，発泡ビーズ混合軽量土とする）について述べることにする。

この種の軽量地盤材料は，固化材を添加して強度を高めて利用されるが，コンクリート構造物などに比べるとはるかに小さな強度しかなく，軽量という特徴を除けば母材である原料土の土質特性を残した材料として考えることが望ましい。また，各種材料を混合して製造されるため，施工時に流動性を持つことも一般的な性質となっている。

このように軽量地盤材料の適用にあたっては，その特徴である軽量性，施工時の流動性および硬化後の特性が

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society



図—4.4　軽量地盤材料を用いる場合の設計フロー

有利となる条件で利用されることが必要である。

(2)　設計手順

軽量地盤材料を用いる場合の一般的な設計の手順を**図—4.4**に示す。軽量地盤材料は，人工的に地盤材料を製造するため，必要とする設計条件に見合うように，事前の配合設計が必要となる。

配合設計では，原料土の性質の確認，作製した軽量土の単位体積重量，強度の確認および施工時の流動性，材料分離抵抗性等の確認が重要となる。特に，工事に伴って発生する残土などの発生土を利用する場合は，原料土の性質のばらつきを考慮して，基本配合にある程度の範囲を設定するなどの配慮が必要となる。

(3)　基本配合の設定

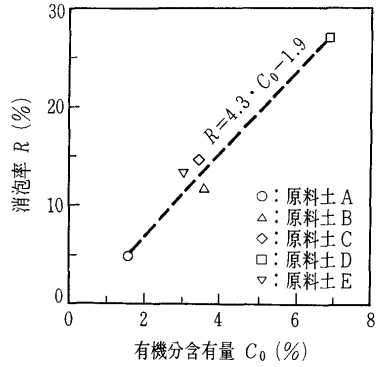
まず，使用する原料土の特性を把握するため土質試験を実施する。軽量地盤材料の原料土に対して実施する一般的な土質試験項目を以下に示す。

①　土粒子の密度試験
②　土の含水比試験
③　土の粒度試験
④　土の液性限界・塑性限界試験
⑤　土の湿潤密度試験
⑥　土の pH 試験
⑦　土の有機物含有量試験

原料土の事前調査としては，軽量化材の相性が重要となる。特に土の有機分含有量は，気泡混合軽量土の場合，**図—4.5**[7]に示すように気泡の消泡の原因となったり，強度の発現特性にも影響を与えるため，重要な試験項目となる。

原料土を加水して使用する場合，液性限界は加水量の指標として用いることができる。加水量は強度発現特性や流動性，材料分離抵抗性に影響を及ぼすため，数種の加水量に対して配合試験を実施する必要がある。また，現場発生土を使用する場合，原料土に有害物質が含まれていないことを確認するため，必要に応じて土の溶出試験等を実施する。

軽量地盤材料そのものの湿潤密度は技術的には0.5～



図—4.5　有機分含有量と消泡率の関係[7]

1.5 g/cm³ の範囲で調整可能であり，地下水位による浮上がりの恐れがない陸上では小さな湿潤密度も用いられているが，港湾区域や地下水位が浅い場合は1.2 g/cm³ 程度の湿潤密度を目標とすることが多い。

気泡混合軽量土の場合，施工時に水圧がかかる条件では水圧により気泡が収縮したり，施工後に長期間水圧下の条件にある場合は気泡内に水が浸入し湿潤密度が大きくなる場合があるので注意が必要となる[8]。水圧による気泡の収縮は，気泡の内圧を大気圧と仮定し，温度一定条件としたボイルの法則に従うことが分かっている。また，水浸による密度増加は，室内試験では水浸期間半年で，水と接触している表面部分から10～15 mm 部分の気泡の一部が水に置換わることが指摘されているが[9]，実際の施工規模では，施工後２年経過してもほとんど密度変化がないことが確認されている[10]。

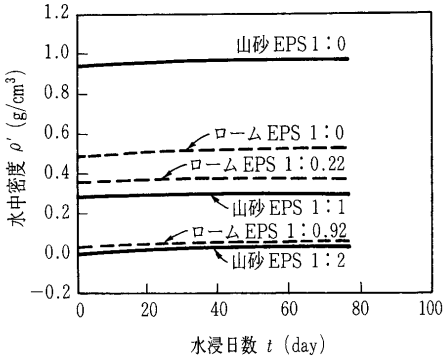
発泡ビーズ混合軽量土の場合，作製時の材料分離を防止すれば密度変化はほとんど起こらず，発泡ビーズの混合量を変えることにより密度の調整が可能である。しかしながら，発泡ビーズは有機溶剤等により溶解する材質のものもあり，また，熱に弱い特性を持つため，固化材として生石灰（CaO）を用いる場合は，土中の水分との水和反応による発熱により，発泡ビーズの体積変化や強度低下が起こる場合もあるので，利用する際には注意が必要である[11]。

発泡ビーズそのものは，ビーズの空隙が独立構造のためほとんど吸水しないが，発泡ビーズを原位置混合により混合した場合は不飽和な状態で施工されるため，雨水の浸透や地下水位以深に水没した場合密度が変化する[12]。不飽和な状態の発泡ビーズ混合軽量土を水浸養生した場合，**図—4.6**[12]に示すように，その水中密度は水浸直後に増加し，１箇月程度まで緩やかに増加するが，それ以降の増加は極めて小さい。また，水浸80日後では，水浸前より0.02～0.04 g/cm³ 程度の密度が増加している。そのため，長期の密度増加量は軽量土の飽和度の増加に伴い0.05 g/cm³ 程度と推定される。

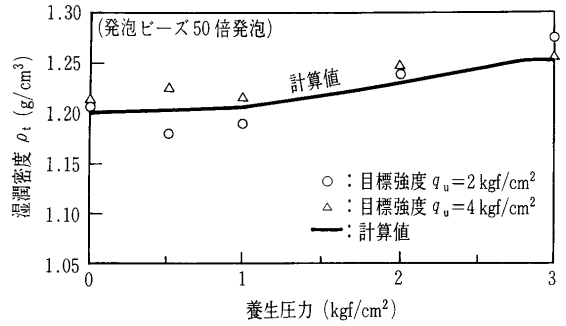
発泡ビーズ混合軽量土の養生圧力と湿潤密度の関係[13]を**図—4.7**[13]に示す。計算値の密度とは発泡スチロール粒子単体の圧力に応じた圧縮量（測定値）に基づき算定したもので，実測値の密度は，養生圧力が高くなるとやや大きくなる傾向を示している。

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society



図—4.6　水浸日数と水中密度の関係[12)]



図—4.7　養生圧力による密度変化[13)]

気泡混合軽量土や発泡ビーズ混合軽量土等の軽量地盤材料の強度の推定には，従来のセメント混合土と同様に一軸圧縮試験が一般的に実施される。配合設計のために作製した供試体を所定の養生条件で養生した後，通常7日，28日の2材令でせん断試験を実施する。

このようにして軽量地盤材料の密度と強度を決定するための配合試験を行うが，最終的には現場の条件を考慮して安全率を乗じることにより，設計で用いる定数を決定する。

(4)　安定の検討方法（土圧，沈下，斜面安定）

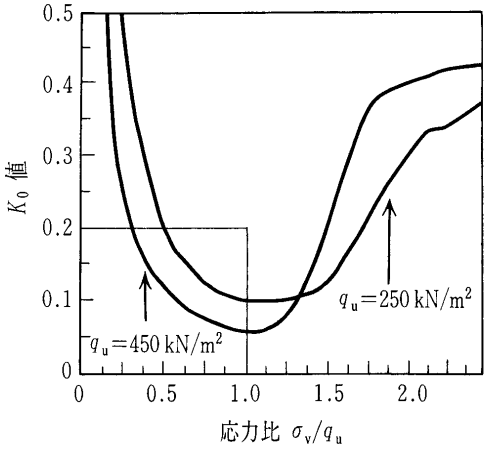
軽量地盤材料を用いた構造物の安定性検討は，一般的な検討と大きく異なることはないが，その軽量性や強度等の材料特性や施工時の断面形状を考慮した設計を行う必要がある。

1)　土圧の考え方

剛体の構造物の壁面に作用する土圧には静止土圧を考える。一般には，正規圧密状態の粘性土の K_0 値は0.4～0.5であり，過圧密状態であればそれ以上となる。軽量地盤材の場合，固化材等を添加して十分な強度を持ち自立するため静止土圧を考慮しなくても良いとする考え方もある。

気泡混合軽量土の K_0 三軸試験結果を**図—4.8**[14)]に示す。試験結果より，気泡混合軽量土の K_0 値は圧密降伏応力以下の応力下では0.1～0.2の結果が得られており，供試体が完全に降伏したあとは，原料土の K_0 値である0.4に近づいていく傾向が得られている。このため港湾においては，気泡混合軽量土の K_0 値は0.2を標準としている。

また，固化前の軽量地盤材料の土圧は，スラリー化させ流動性の良いものについては打設厚さ分の液圧が作用



図—4.8　応力比 σ_v/q_u と K_0 値の関係[14)]

するが，一般的に打設厚さは100 cm 以下であり，また，液圧がかかる時間も短いためにあまり問題とはならない。

固化後の主働土圧や受働土圧を考える場合には強度定数の取り方が重要である。軽量地盤材料を c 材料として考えて強度を決定するか，ϕ 材料と考えて強度を決定するかは母材となる原料土の特性や軽量地盤材料の強度による。粘性土を母材とする場合には c 材料として設計されるが，ϕ 材料として土圧を検討している場合もある。このようなことを踏まえて，次に土圧についてどのように考えられているかを示す。

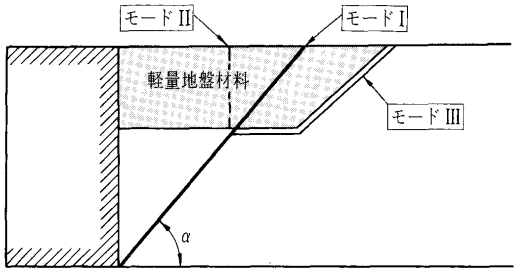
擁壁の裏込めなどでもっとも設計上よく用いられるのは主働土圧である。主働土圧については ϕ 材料であれば，物部・岡部の式が一般に用いられており，軽量地盤材料であっても ϕ 材料と仮定する場合は一般の地盤材料と取扱いは同様である。c 材料と考えられる場合にもこれまでの地盤材料の考え方と同じ考え方を取ることができる。固化した軽量地盤材料の場合，原料土の特性にあわせ，粘着力（c）と内部摩擦角（ϕ）を考慮することになる。c と ϕ の両定数を持つ材料（$c>0, \phi>0$ の材料）として考える場合には，一般に Rankin-Resal（ランキン-レザール）の式があり，一般の地盤材料でこの式を用いている機関ではこの式によることができる。港湾では，岡部の式を拡張して c と ϕ の両方の定数を持つ地盤材料にも適用できる式が提案された[15)]。

上記の土圧算定式は，軽量地盤材料がこれまで裏込めなどでよく用いられてきた形状にほぼ沿った形で利用される場合には特段の問題はなかったが，軽量地盤材料の特性をよりうまく生かそうとする場合にはこれまでの利用法とは異なった形状での利用が考えられる。このような場合の主働土圧の算定法として港湾では，分割法による土圧算定式を提案している[16)]。**図—4.9**[16)]に示すように，この方法では直線もしくは折れ線状のすべり線を想定し，すべり線と壁面に挟まれた土塊を分割し，それぞれの分割片の力の釣合いを算定するものである。また，この計算方法では，**図—4.9**に示すように軽量地盤材料内を通るいくつかのすべり破壊モードを考えることにより，より現実的な土圧を推定しようとするものである。

これまで裏込め材としての利用が主として考えられて

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society



図—4.9　すべり面が軽量地盤材料を通過するときの土圧の計算モード[16)]

きたこともあり，受働土圧については十分な検討がなされてきたとは言いがたい。ただし，分割法のような特殊な土圧算定法を用いるのでなければ，従来の土圧算定式を援用することができるものと考える。

陸上工事においては，橋台・擁壁の裏込めや，拡幅道路盛土などに用いられるケースが多く，土圧として，地山から軽量地盤材料が受ける土圧と軽量地盤材料が構造物に及ぼす土圧に分けて考えている。地山から受ける土圧については，これを無視できるように設計するのが基本である。

地震時土圧については検討が進められているところであるが，機関によっては，もともと軽量地盤材料の自重が軽く，しかも固化体となっていることから耐震性は高いと考えられ，一般的には地震時土圧がクリティカルにはならないとしている機関もある。もちろん，施工深度が深くなり，上載荷重が大きいようなケースでは地震時にはそれなりの土圧を考慮すべきである。

2)　沈下の考え方

軽量地盤材料そのものの圧縮量は弾性変形を考慮して決める。実際には変形剛性が高いのであまり問題にならない。軽量地盤材料の下の地盤の沈下量の考え方は，通常の沈下の考え方と同じであるが，軽量地盤材料による上載荷重が小さいので，それに応じて沈下量は小さくなる。むしろ，密度の小さい軽量地盤材料を用いた場合には，地下水の変動などによって水浸した場合には浮上がりに注意を要する。また，軽量地盤材料の剛性は一般の土よりも大きいことから不同沈下の抑制に効果があるとされているが，その効果を簡便に取り入れる方法はまだ確立されていない。

3)　斜面安定の考え方

盛土斜面などに軽量地盤材料を用いる場合は，軽量地盤材料の滑動や転倒などの内的安定と斜面全体を含む外的安定の二つの観点から検討が必要となる。

内的安定のうち，転倒については，地山の形状を安定勾配とした上で軽量地盤材料を用いることが基本である。軽量地盤材料を傾斜地に施工する場合は，滑動について検討する必要がある[17)]。軽量地盤材料の滑動に対する対策としては，地山や既設盛土を段切りすることにより安定を図る。段切りのみでは安定が図れない場合は，すべり抵抗杭や縫地鉄筋等の併用も検討する必要がある。

全体安定については通常の円弧すべり解析法が一般に用いられている。

参　考　文　献

1)　久楽勝行：軽量盛土工法の特徴とその適用，基礎工，pp. 2～9, 1990.
2)　三木博史：軽量盛土工法の種類と特徴，総合土木研究所，基礎工，Vol. 22, No. 10, pp. 2～7, 1994.
3)　発泡スチロール土木工法開発機構編：EPS 工法，理工図書，第 2 章，pp. 58, 1993.
4)　発泡スチロール土木開発機構編：EPS 工法，理工図書，第 4 章，pp. 92～93, 1993.
5)　西　剛整・堀田　光・黒田修一・長谷川弘忠・李　軍・塚本英樹：EPS 盛土の実物大振動実験（その 1：振動台実験），第33回地盤工学研究発表会講演集，pp. 2461～2462, 1998.
6)　堀田　光・西　剛整・黒田修一・長谷川弘忠・李　軍・塚本英樹：EPS 盛土の実物大振動実験（その 1：シミュレーション解析），第33回地盤工学研究発表会講演集，pp. 2463～2464, 1998.
7)　及川　研・松永康男・池上勝己・安達　崇・竹内大輔・岸田隆夫：岸壁背後土圧軽減のための各種セメント処理土の特性，セメント系安定処理土に関するシンポジウム，pp. 103～110, 1996.
8)　田中政典・佐藤正一・吉田洋二郎・森田博夫・高橋秀夫・安藤　裕：浚渫土を使用した気泡混合処理土の材料特性（その 2)—養生条件が及ぼす影響—，第29回土質工学研究発表会講演集，pp. 2417～2418, 1994.
9)　永留　健：X 線 CT 法を用いた気泡混合処理土の工学的特性に関する研究，熊本大学大学院修士論文，20p., 2000.
10)　輪湖建雄・松永康男・竹内大輔・深沢　健・岸田隆夫：軽量気泡混合土を利用した岸壁裏埋施工とその力学特性，第32回地盤工学会研究発表会，pp. 2569～2570, 1997.
11)　建設省土木研究所：混合補強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.
12)　森　範行・喜志田聡・西田　登・西田耕一・田辺恒彰・中村勝敏：発泡ビーズ混合軽量土の透水性，第28回土質工学研究発表会，pp. 2653～2654, 1993.
13)　菊池喜昭・梅原靖文・内山正美・後藤年芳・緒方広泰：浚渫土を使用した発泡ビーズ混合処理土の材料特性（その 2）—養生条件が及ぼす影響—，第29回土質工学研究発表会，pp. 2391～2392, 1994.
14)　㈶沿岸開発技術研究センター：港湾・空港における軽量混合処理土工法技術マニュアル，p. 1～14, 1999.
15)　運輸省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説，上巻，pp. 547～548, 1999.
16)　文献14）参照，上巻，pp. 549.
17)　日本道路公団：気泡混合土を用いた軽量盛土工法の設計施工指針，pp. 43～45, 1996.

NII-Electronic Library Service