

荷重分散特性を考慮したEPS盛土の設計法

Design Method EPS Filling to Adjust
to Load Distribution Characteristics

大江祐一* 多田秀一** 西川純一***

Yuichi OOE, Shuichi TADA, Jun'ichi NISHIKAWA

道路の盛土材料に発泡スチロール (Expanded Poly-Styrol:EPS) を用いる場合、現在の設計法ではEPS盛土内部の荷重分散特性が明らかでないため、上層から下層まですべて同じ圧縮強さのEPSを使用している。そこで、EPS盛土内部の荷重分散特性を把握することにより、作用応力に応じた圧縮強さのEPSを深さごとに使い分ける合理的な設計方法が考えられる。

このため、EPSの荷重分散特性の適切な評価を目的に室内実験と現場実験を実施した。この実験から、載荷荷重直下の応力が最も大きく、またEPS上面より深くなるにつれて応力が減衰されていくことがわかった。この応力は荷重がEPS内を20°の角度で均一に分散するものとして求めることができる。そこで各層のEPSに作用する最大応力を求め、圧縮強さの違うEPSを使い分けることができるようになる。また、EPS盛土内部に埋設管などがある場合の荷重の影響範囲は45°の角度に及ぶことがわかった。以上のように強度の異なるEPSを使い分けた合理的な設計法について取りまとめた。

キーワード <EPS> <圧縮強さ> <鉛直荷重> <路床>

When expanded poly-styrol (EPS) materials are used as filling materials of roads, those with a uniform compressive strength from the upper to the lower layers of the roads are used, because the current design method does not include the load distribution characteristics inside the EPS filling. A rational design method can be devised by clarifying the load distribution characteristics inside the EPS filling. In this method, EPS materials with different levels of compressive strength are used to adjust to different levels of stress acting on the layers.

Therefore, indoor and on-site experiments were made to properly evaluate the load distribution characteristics of EPS materials. As a result, we found that the stress immediately below the loading plate is the largest and that the farther from the top layer of the EPS the smaller the stress. This stress can be calculated by assuming the load is evenly distributed at an angle of 20 inside the EPS. Then the maximum stress on each layer of the EPS can be computed to use EPS materials with different levels of compressive strength. In addition, when there is something like underground pipes are buried inside the EPS filling, the angle influenced by the load is 45. We have established a sound method to use EPS materials with different levels of compressive strength.

Keywords : EPS, compressive strength, vertical load, subgrade.

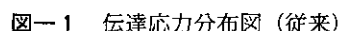
1. はじめに

代表的な軽量盛土工法の一つに発泡スチロール (Expanded Poly-Styrol:EPS) を用いたEPS盛土工法がある。使用するEPSの材質は舗装重量、活荷重等から決まるが、最近、設計自動車荷重が20tから25tに改正されたことから、今までよりもEPS上面に作用する

活荷重が大きくなり、一般的に用いるD-20タイプのEPSでは許容圧縮応力を満足しないケースがあり得る。また、地震時の安定性向上 (トップヘビーの緩和) を目的に、橋台背面などに用いるEPS上の路盤工を薄くするとき、EPS上部に作用する応力が大きくなる。

このようなケースでは、EPS盛土の上部に圧縮強さ

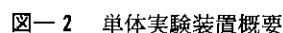
そこで、EPS盛土内の荷重分散特性を把握するために、室内において材料の圧縮強さの違いによる荷重分散特性の把握とEPSブロックの積み重ねの影響を調べた。さらに現場試験において確認を行い、この設計法について取りまとめたので、これらについて紹介する。



しかし、適切な強度のEPSを従来通り積み上げ、上層部にのみ荷重分散特性上最低限の厚さで高強度EPSを使用し、路盤工の厚さを薄く抑えて死荷重の低減をはかることができれば、EPS材料費用の節約や、鉛直方向の荷重軽減、直立壁、擁壁、橋台背面などでの側圧や地震時の水平方向の慣性力低減など利点が多く、

そこで本研究の目的は、道路盛土構造体におけるEPS内部の荷重分散特性を把握し、上記のような状況から現場の要望の多い、圧縮強度の異なるEPSブロックを組み合わせた合理的な設計法の提案を行うことである。

実験概要を図-2、実験ケースを表-1に示す。実験では、寸法1.0m×1.0m×0.1mの板状のEPSを4層積みにし、EPS上面から直径20cmの鋼製載荷板を用いて、各ケースに用いたEPSの弾性限界圧縮強さの2倍まで段階的に載荷した。このとき、EPS下面に土圧計を15cmの中心間隔で設置し鉛直応力を計測した。低強度EPSとしてD-20、高強度EPSとしてDX-29を用いた。また、ケース2では上2段にDX-29、下2段にD-20を用いた（複合タイプの実験）。



表一 実験ケースとEPS材料特性

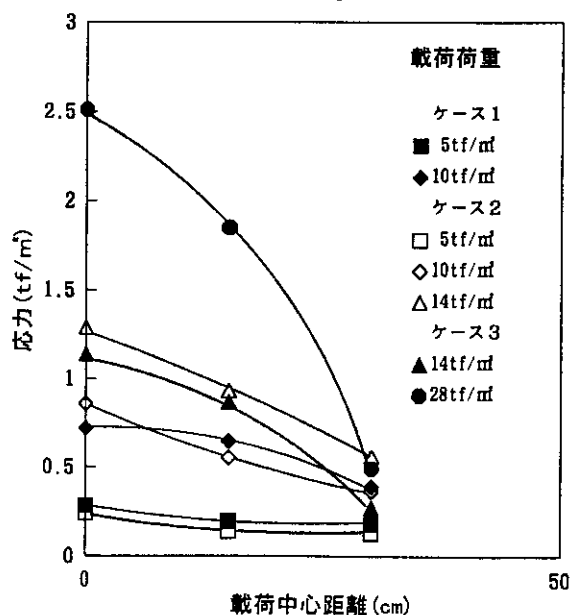
ケース	材料名	単位体積重量 kgf/m ³	5%圧縮強度 tf/m ²	弾性限界圧縮強度 tf/m ²
1	D-20	2.0	1.0	5
2	複合DX29/D20	29/20	28/10	14/5
3	DX-29	2.9	2.8	1.4

3.2 実験結果と考察

図一3に載荷時の各土圧計の値を示す。左右対称となる土圧計は平均値としている。EPS下面での鉛直応力は、載荷板直下が最大で載荷位置から離れるに従い小さくなる値を示し、EPS内でも荷重が分散することが確認された。

D20～4層と複合タイプを比較すると、その荷重分散特性に明確な差はみられなかった。このことからEPSの材質に関係なく、荷重分散が期待できることが確認された。

載荷荷重の大きさとEPS下面の応力の関係はEPSの種別あるいは弾性領域内と弾性領域外の違いに関わらず、ほぼ比例関係にあった。これは載荷板直下でも周辺部でもほぼ同じ傾向にある。



図一3 載荷荷重に対する発生応力

4. 室内の実物大実験

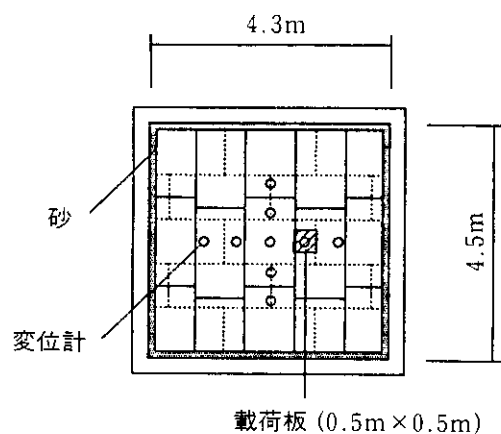
4.1 実験概要

EPSブロックの積み重ねの影響を調べるために、実際に現場で用いられている同一規格寸法のEPSを目地が重ならないように設置³⁾して実験を行った⁴⁾⁵⁾。

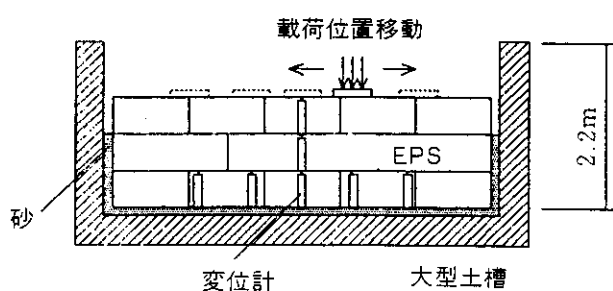
実験概要を図一4、図一5に、実験ケースおよび変位計の配置を表一2に示す。

実験は大型実験ピット内にD-20タイプの実物大EPSブロック(2.0m×1.0m×0.5m)を積み上げて行った。実験モデルをより現場条件に近づけるため1・2層までのEPS周面には砂を充填し、3・4層は繰り返して実験を行うためEPS周面には間隙を残し、さらに死荷重としてセメント袋で1m²あたり210kgf載荷した。載荷には50cm角の鋼製板を用い、EPSの弾性限界圧縮強さまで段階的に行った。EPS内の応力は1層目のEPSブロック内に70cm間隔で穴をあけて埋め込んだ変位計の値から計算により求めた。このとき、あらかじめ各ブロックの変位と応力の関係を求めておいた。

なお、実験に先立ち、同一ケースにおける5分後のEPSの復元性を確認した。



図一4 EPS敷設平面



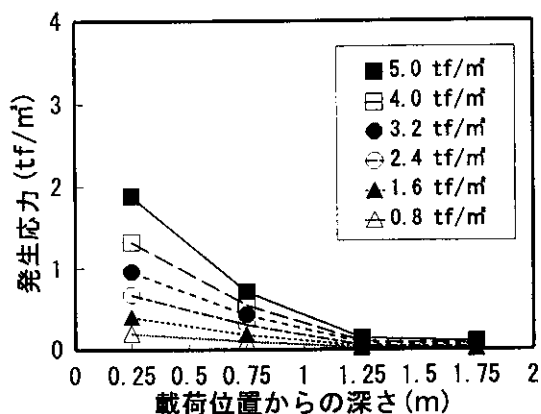
図一5 実験土層断面

表一2 実験ケース・変位計配置

ケース	EPS 施工 段数	載荷位置	荷重範囲 (tf/m ²)	変位計配置	
				水平方向	深さ方向
1	2	センター直上	0.8～5.0	9点	2点
2	3	変位計直上9点			3点
3	4	変位計直上5点			4点

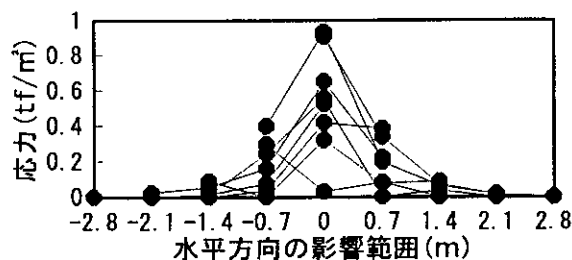
4.2 実験結果と考察

4層までのEPSを積み重ねたときの各載荷荷重における深さ方向の応力分布を図一6に示す。載荷応力が大きくなるにつれて各深さでの発生応力はほぼ比例的に大きくなることがわかる。また、載荷板から垂直方向に深くなるに従って応力が分散していることがわかる。このことから、EPS内の荷重の分散を考慮した合理的な設計が可能であると言える。



図一6 載荷荷重に対する深さ方向の応力分布

3層までEPSを積み重ね、載荷板をすべての変位計の直上に移動し載荷したときの1層目の応力を図一7に示す。この図は載荷位置をすべてセンターに合わせてプロットしたものである。



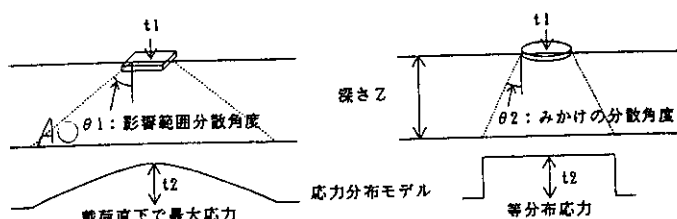
図一7 載荷板直下からの水平方向の影響範囲

載荷板直下より水平方向に2.1m離れた点まではわずかであるが応力は確認されている。よって今回の実験条件での荷重の影響範囲は、EPSが3段積みでおよそ60°前後と考えられる。しかし、端部付近の発生応力は、極めて小さく、45°の位置の最大値でも載荷荷重の1/50～1/100程度の応力であった。

また、載荷位置により応力分布に差があった。これは、各載荷位置から見たEPSの積み重ね形状の違いや、積み重ね誤差による変位計の反応の違いと考えられる。

ここで今回の実験結果の取りまとめの考え方を図一8に示す。図8 a) は応力の水平方向の分布を模式的に描いたものである。通常、応力分布は載荷直下が最大で、載荷位置から離れるに従って減衰した形状になる。実際に使用するEPSの圧縮強さは、最も大きな応力の値から決定する。そこで各深さにおける最大応力を簡易的に求めるために、載荷された荷重によりその直下のEPS内に発生する応力が各深さで均一に分布すると仮定したものが図8 b) である（見かけの荷重分散角度と呼ぶ）。

一方、図8 a) に示すように荷重の影響範囲内の発生応力が大きければ、載荷直下よりも側方にある埋設構造物（図中A）に影響を及ぼす可能性がある。そこで載荷荷重により応力の発生する範囲を「荷重の影響範囲」として整理した。

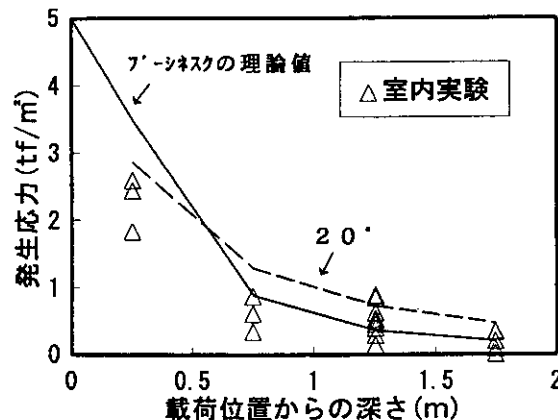


a) 荷重の影響範囲

b) 見かけの荷重分散範囲

図一8 設計の荷重分散の考え方

EPSを2・3・4層と積み重ね、各ケースに5 tf/m²の荷重を載荷したときの載荷板直下での深さ方向の実測値と理論値（ブーシネスクの半無限地盤において集中荷重をかけた場合の地盤内応力）を比較した（図一9）。



図一9 深さ方向の応力分布の比較

その結果、実測値と理論値の応力分布は類似の傾向を示したが、3層目（1.25m）以深では理論値を上回る値が計測された。これは、単体実験では理論値とほぼ

同じ実測値が得られていることから⁴⁾、EPS盛土が連続体でなくブロック状に積み重なったことが影響していると考えられる。EPSの荷重分散を考慮する場合、このように理論値を上回る事例があることを十分に考慮しなければならない。

そこで見かけの荷重分散角度 20° の場合と比較してみると、ほとんどの室内実験の結果を満足している。よって、この値を元に現場での確認試験を行った。

5. 現場試験

5.1 試験方法

現場試験は擁壁の背面盛土にEPSを用いた現場で行った⁶⁾⁷⁾。使用したEPS (2.0m×1.0m×0.5m) はD-20タイプで、中間床版より上の4段に深さ方向と水平方向に変位計を室内実験と同じように設置した(図-10)。

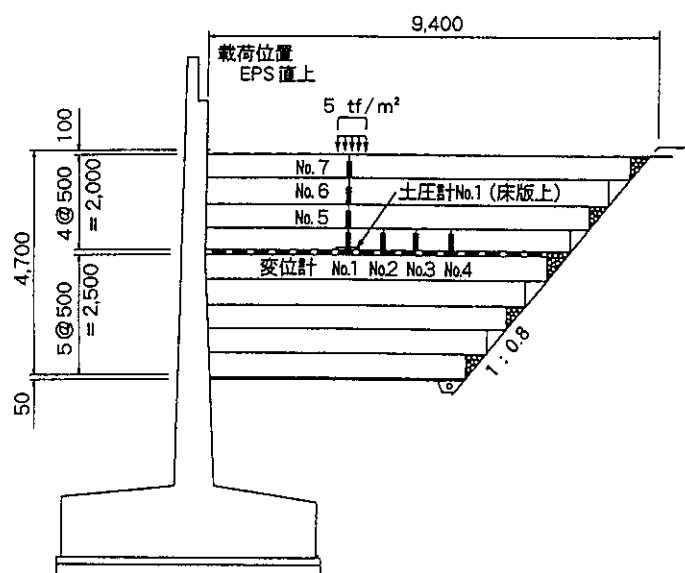


図-10 現場試験断面

荷重は、室内実験と同じ50cm角の治具を用い、クレーンにより鉛インゴットを用いてEPSの弾性限界まで段階的に行った。また、死荷重はH鋼を用いて1m²当たり200kgf荷重した。応力の測定は室内試験と同様にEPS内の変位から計算して求めた。

5.2 実験結果と考察

5.2.1 各荷重応力の応力分布

各荷重荷重における水平方向の応力分布を図-11に示す。EPS下面の応力は荷重板直下が最大で、荷重位置から離れるにしたがい小さくなる傾向を示した。また、荷重応力とEPS下面の応力はほぼ比例関係にあることが確認された。

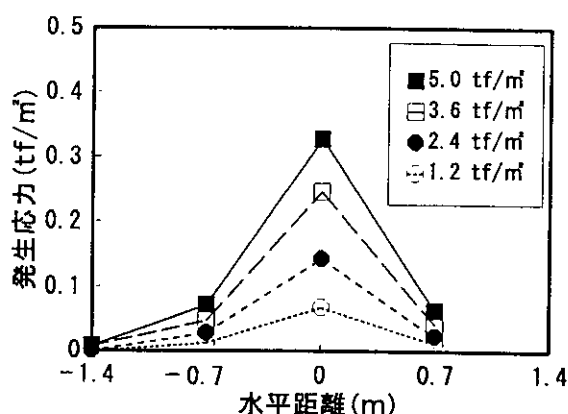


図-11 各荷重荷重に対する応力分布

5.2.2 深さ方向の応力分布

各荷重荷重における深さ方向の応力分布を図-12に示す。ここでも荷重応力が大きくなるにつれて各深さでの応力も比例的に大きくなるのが分かる。また、荷重板から垂直方向に深くなるに従って応力が分散することも確認された。

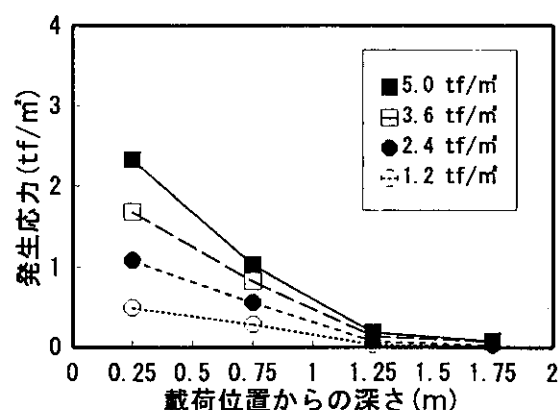


図-12 荷重荷重に対する方向の応力分布

5.2.3 深さ方向の応力分布の比較

室内実験と現場計測データの各ケース5.0tf/m²の荷重を荷重したときの荷重板直下での深さ方向の実測値と見かけの荷重分散角度 20° を比較した(図-13)。現場計測データはすべてこの 20° の範囲内に入っていることが分かる。

単体実験では計測値が理論値とほぼ一致していたが、実物大実験、現場試験では実験状況の違いなどにより理論値を上回る計測値もあるため、設計上実用的な見かけの荷重分散角度は 20° が適当であるといえる⁸⁾。

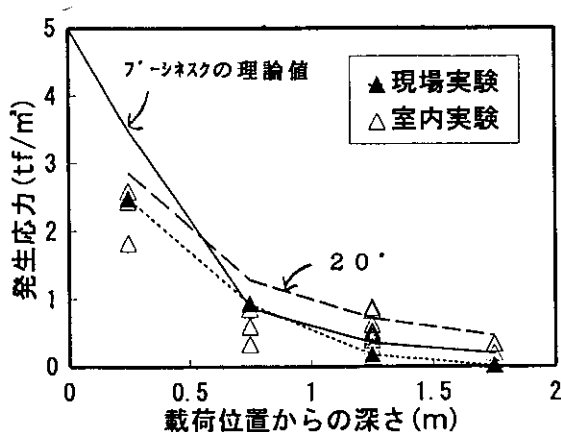


図-13 深さ方向の応力分布の比較

5.2.4 水平方向の応力分布

室内実験と同様に載荷板をすべての変位計の直上に移動し、載荷したときの水平方向の応力分布を図-14に示す。この図は載荷位置をすべてセンターに合わせてプロットしたものである。計測地点により差はあるが、載荷板直下から2.1m離れた点まではわずかながら応力は確認されている。

このことから、今回の実験条件での荷重の影響範囲は、EPS 4段積みでおよそ50°前後となった。しかし、室内実験同様に50°付近で確認された応力は極めて小さく、影響範囲を45°の位置でみた場合の最大値でも載荷応力の約1/50～1/100とかなり小さな値となっているため、45°以上の範囲では活荷重の影響を無視できるものと考えられる。

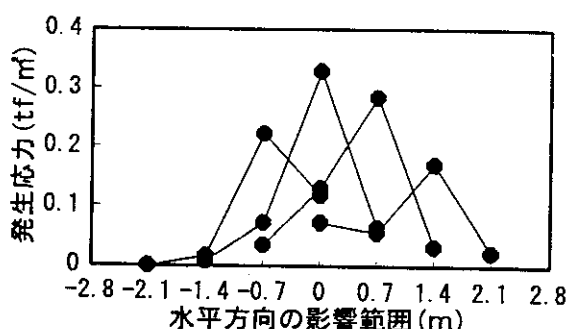


図-14 水平方向の応力分布

また、この実験では一部の变位計で大きな値を示している。これは室内実験同様、EPSの積み重ね形状の違いや、積み重ね誤差による変位計の反応の違いと考えられる。

6. まとめ

- (1) 室内実物大実験と現場確認試験によりEPSブロックの荷重分散効果が確認でき、輪荷重直下の応力はみかけの荷重分散角度を20°として扱うことができる。
- (2) 活荷重の影響範囲は最大で3段積みでは60°、4段積みでは50°となったが、端部の応力は極めて小さく、活荷重の影響範囲は45°として扱うことができる。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所、土質研究室・動土質研究室：発泡スチロールを用いた軽量盛土の設計・施工マニュアル，P29，平成4年3月
- 2) 佐野、西川、松田、阿部：EPSの荷重分散特性、土木学会第49回年次学術講演会，P1052～1053，平成6年9月
- 3) 発泡スチロール土工法開発機構：EPS工法，P157，平成5年2月
- 4) 大江、松田、西川、佐野、阿部：室内におけるEPSブロックの荷重分散特性試験について、第30回土質工学研究発表会講演概要集，P2563～2564，平成7年7月
- 5) 巽、西川、松田、大江、佐野、阿部：EPSの荷重分散特性(その2)、土木学会第50回年次学術講演会，P980～981，平成7年9月
- 6) 西川、松田、大江、西、巽、阿部：EPSの荷重分散特性に関する現位置試験、地盤工学会北海道支部技術報告書第36号，P59～62，平成8年2月
- 7) 佐野、西川、松田、大江、巽、阿部：EPS盛土の荷重分散特性についての現場載荷試験、第31回地盤工学会研究発表会講演集，P2521～2522，平成8年7月
- 8) 巽、西川、松田、大江、佐野、阿部：EPS盛土の荷重分散特性を考慮した合理的設計法の提案、第31回地盤工学会研究発表会講演集，P2523～2524，平成8年7月

付録. EPSの荷重分散特性を考慮した盛土の設計例

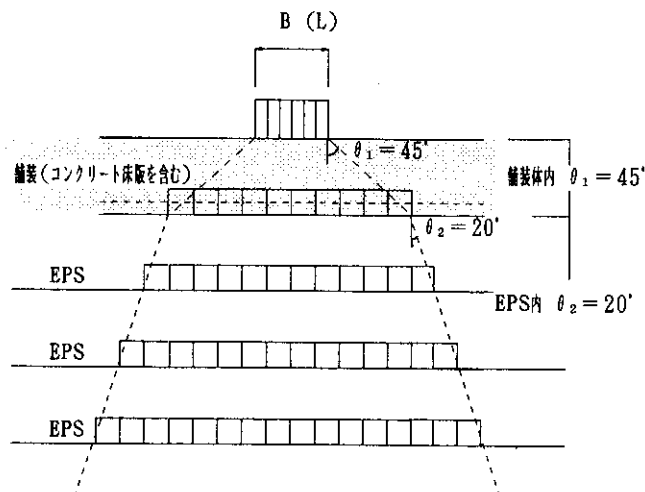
1. 応力度の算定

EPSに作用する荷重は死荷重と活荷重とする。

- 1) 死荷重（舗装体重量＋コンクリート床版重量＋EPS自重）は、等分布荷重としてEPSに作用する。
- 2) 活荷重（交通荷重）は、舗装構造体（上部コンクリート床版を含む）を45°で分散、EPS盛土内部では20°で分散するとして鉛直方向の応力度分布を計算する（図－15）。

活荷重のEPS盛土内部の応力度の算出には下式を使用する。

- 3) 死荷重＋活荷重の応力に耐える強度のEPSを選定する。



図－15 活荷重による伝達応力

$$\sigma_{z2} = \frac{P \cdot (1 + i)}{(B + 2 \cdot Z_1 \cdot \tan \theta_1 + 2 \cdot Z_2 \cdot \tan \theta_2) \cdot (L + 2 \cdot Z_1 \cdot \tan \theta_1 + 2 \cdot Z_2 \cdot \tan \theta_2)}$$

ここに、P：輪荷重（T荷重の場合、P=10tf）

B：車輪輪帯幅（T荷重の場合、B=0.50m）

L：車輪接地長（T荷重の場合、L=0.20m）

Z₁：路面からEPS最上面までの深さ

Z₂：最上面EPSからの深さ

θ₁：舗装部の荷重分散角度（θ₁=45°）

θ₂：EPSの荷重分散角度（θ₂=20°）

i：衝撃係数（i=0.3）

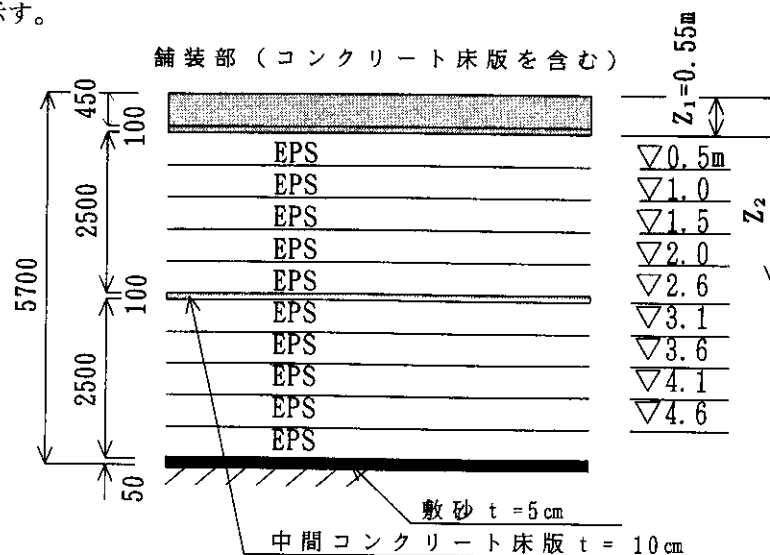
* σ_{z2}の最小値は1tf/m²とする。

2. 計算例

①設計条件

EPS盛土形状は図－16に示す。

交通量の区分：B交通



図－16 EPS盛土構造

②舗装構成（コンクリート床版を含む）

発泡スチロール上部保護層にコンクリート床版10cm打設するものとする。これは、設計CBR＝8％目安の路床支持力と考えられるので、交通区分がB交通でCBR＝8％の舗装構成を想定する。

表 層	4cm
基 層	5cm
上層路盤	6cm
下層路盤	30cm
コンクリート床版	10cm
設計値	合計厚=55cm

③発泡スチロール応力度の照査

死荷重による応力 (σ_{z1}) は

・ $0\text{m} \leq Z_2 \leq 2.0\text{m}$ において

$$\begin{aligned}\sigma_{z1} &= 2.3\text{tf/m}^2 \times 0.09\text{m} + 2.3\text{tf/m}^2 \times 0.06\text{m} + 2.0\text{tf/m}^2 \times 0.30\text{m} + 2.5\text{tf/m}^2 \times 0.10\text{m} + 0.03\text{tf/m}^2 \times x\text{m} \quad (x: \text{上層のESPの厚さ}) \\ &\quad (\text{表層、基層}) \quad (\text{上層路盤}) \quad (\text{下層路盤}) \quad (\text{コンクリート床版}) \quad (\text{EPS}) \\ &= 1.195\text{tf/m}^2 + 0.03x\text{tf/m}^2\end{aligned}$$

・ $2.6\text{m} \leq Z_2 \leq 4.6\text{m}$

$$\begin{aligned}\sigma_{z1} &= 1.195\text{tf/m}^2 + 2.5\text{tf/m}^2 \times 0.10\text{m} + 0.03\text{tf/m}^2 \times x\text{m} = 1.445\text{tf/m}^2 + 0.03x\text{m}^2 \\ &\quad (\text{コンクリート床版}) \quad (\text{EPS})\end{aligned}$$

交通荷重による応力 σ_{z2}

$$\sigma_{z2} = \frac{P \cdot (1 + i)}{(B + 2 \cdot Z_1 \cdot \tan \theta_1 + 2 \cdot Z_2 \cdot \tan \theta_2) \cdot (L + 2 \cdot Z_1 \cdot \tan \theta_1 + 2 \cdot Z_2 \cdot \tan \theta_2)}$$

ここに、P：輪荷重 (T荷重の場合、 $P=10\text{tf}$)

B：車輪輪帯幅 (T荷重の場合、 $B=0.50\text{m}$)

L：車輪接地長 (T荷重の場合、 $L=0.20\text{m}$)

Z_1 ：路面からEPS最上面までの深さ

Z_2 ：最上面EPSからの深さ

θ_1 ：舗装部の荷重分散角度 ($\theta_1=45^\circ$)

θ_2 ：EPSの荷重分散角度 ($\theta_2=20^\circ$)

i：衝撃係数 ($i=0.3$)

* σ_{z2} の最小値は 1tf/m^2 とする。

$$\begin{aligned}\therefore \sigma_{z2} &= \frac{10 \times (1 + 0.3)}{(0.5 + 2 \times 0.55 \times 1 + 2 \times Z_2 \times 0.364) (0.2 + 2 \times 0.55 \times 1 + 2 \times Z_2 \times 0.364)} \\ &= \frac{13}{(1.6 + 0.728 \times Z_2) (1.3 + 0.728 \times Z_2)}\end{aligned}$$

定する。

表一 3 各深度の応力度

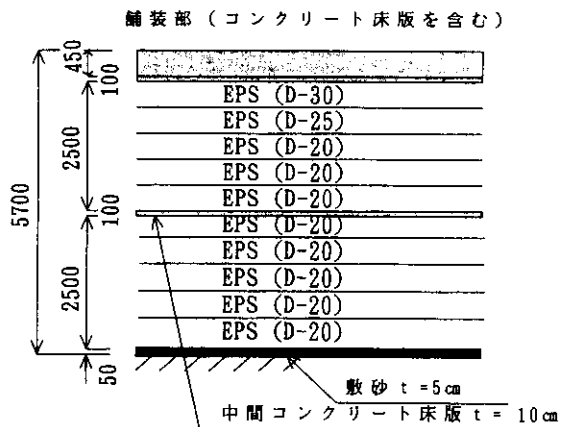
EPSの深度 Z ₂ (m)	補装・床版・EPS 死荷重 σ_{z1} (tf/m ²)	活荷重応力 σ_{z2} (tf/m ²)	全応力 Z (tf/m ²)	EPSの種別
0.0	1.20	6.25	7.45	D-30
0.5	1.22	3.98	5.20	D-25
1.0	1.23	2.75	3.98	D-20
1.5	1.25	2.02	3.27	D-20
2.0	1.26	1.54	2.80	D-20
2.6	1.53	1.17	2.70	D-20
3.1	1.54	1.00(0.95)	2.54	D-20
3.6	1.56	1.00(0.79)	2.56	D-20
4.1	1.57	1.00(0.66)	2.57	D-20
4.6	1.59	1.00(0.57)	2.59	D-20

- ・EPSの自重はEPSの種別に関わらず0.03 t とする。

表一 4 EPSの材料特性

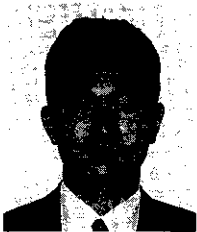
項 目	單 位	種 別			
		DX-29	D-30	D-25	D-20
單位體積重量	tf/m ³	0.029	0.03	0.025	0.02
許容壓縮応力度	tf/m ²	14	9	7	5

(DXタイプも厚さ50cmで使用する)



圖一17 決定EPS盛土構造

最上面に高強度EPSを用いたことにより路盤を30cm薄くすることができる。



大江 祐一*

開発土木研究所
構造部
土質基礎研究室
室員



多田 秀一**

開発土木研究所
構造部
土質基礎研究室
研究員

西川 純一^{***}

開発土木研究所
構造部
土質基礎研究室長
理学博士