

発泡スチロールの落石による衝撃力の緩衝効果に関する実験 [2] について

AN EXPERIMENT[2] ON SHOCK ABSORBING OF EXPANDED POLYSTYROL AGAINST FALLING ROCKS

横地省一*, 川島伸介**, 前育弘***, 米原稔****, 千代田健*****, 松葉美晴*****

Shooichi YOKOCHI, Nobuyuki KAWASHIMA, Yasuhiro MAE, Minoru YONEHARA, Takeshi CHIYODA, Yoshiharu MATSUBA

*SAM協会・技術委員会委員長 (〒950-0925 新潟市弁天橋通1-8-23)

**SAM協会・技術委員会副委員長 (〒950-0925 新潟市弁天橋通1-8-23)

***SAM協会・技術委員会委員 (〒950-0925 新潟市弁天橋通1-8-23)

****SAM協会・技術委員会委員 (〒950-0925 新潟市弁天橋通1-8-23)

*****SAM協会・技術委員会委員 (〒950-0925 新潟市弁天橋通1-8-23)

*****SAM協会・開発ワーキングリーダー (〒950-0925 新潟市弁天橋通1-8-23)

キーワード：発泡スチロール，複層，特性の制御

(EXPANDED POLYSTYROL, PLURAL DENSITY STRATUM, CONTROL OF CHARACTERISTIC)

1. はじめに

平成元年～2年に発泡スチロールの緩衝効果に関する実物落石実験を行って、実験報告書を出して以来、約9年の年月を経て、今ではSAM工法は各種土木構造物用緩衝材として定着することとなった。特に最近の数年間には落石への安全意識の高揚のもとにSAM工法の採用例は急速に増えている。

このような状況のなかで、大落石に対して発泡スチロールの敷き均し厚さが増大し、構造物の景観上及び経費縮減の面から、敷き均し厚さを押さえるような工法の開発が要望されるようになってきた。現在開発研究中の工法としては、高密度の発泡材を用いたものや、発泡スチロールブロックの中に異種材料を組み込んだものなどがみられるが、今回はそれらとは別に、以下の観点から上記の要望に答えられる工法の開発を試みた。

- (1)全国各地に容易に供給出来る流通材料(材質)を使用すること。
- (2)施工が簡便であること。
- (3)従来の設計方法をなるべく踏襲すること(設計の簡便化)。

現在の計算式によって衝撃力を算定する場合、その計算値は使用する発泡スチロールの持つ[応力-

ひずみ]特性から一義的に決定されることになる。従って、同じ条件で設計する場合、敷き均し厚さや衝撃力をコントロールするには発泡スチロールの材質(応力-ひずみ特性)を変える必要がある。

そこで、今回は異種密度の発泡スチロールを組み合わせて(以下、複層と呼ぶ)、複層全体での[応力-ひずみ]特性をコントロールすることとした。

本報告では、この複層の開発について、概略を紹介するものとする。

2. 複層に用いる材料

複層に用いる材料としては、次の2種類とした。

- ① 現行の使用密度 $\rho = 15 \text{ kg/m}^3$ のもの。
- ② それよりも重い $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$ のもの。

この $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$ は現在、全国的に流通出来る最高の密度である。複層でのコントロール出来る範囲は当然、全層 $\rho = 15 \text{ kg/m}^3$ の場合と、 $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$ の場合の中間になる。

3. 実験計画及び方法

本実験研究では、最初に室内での一軸圧縮試験と、実物の1/2モデルでの屋外静的実験を行い、複層の望ましい層構成を確認し、その結果を受けて実物大の

(2) 緩衝材の配置

a) 静的実験

室内、室外とも層の構成は同じとした。層構成を下記に示す。

表-1. 静的試験の層構成

	1	2	3	4	5	6	7	8
上層	D15	D15	D15	D30	D30	D30	D30	D15
中層	D15	D15	D30	D15	D30	D30	D15	D30
下層	D15	D30	D15	D15	D30	D15	D30	D30

b) 動的実験

重錘落下実験は、①密度による相違、②D30の位置による相違、③縁切り目地に落下があった場合の相違を確認するため、下記のケースとした。

表-2. 重錘落下実験の層構成(1)

条件	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	120	130	320	320	320	320	510	510
上から	3段	4段	4段	4段	4段	4段	3段	5段
1層目	D30	D30	D30	D15	D15	D15	D30	D30
2層目	D15	D15	D15	D30	D15	D15	D15	D30
3層目	D15	D15	D15	D15	D30	D15	D15	D15
4層目		D15	D15	D15	D15	D30		D15
5層目								D15
6層目								
7層目								

表-3. 重錘落下実験の層構成(2)

条件	C9	C10	C11	C12	C13	C14		
	530	320	320	320	310	330		
上から	7段	4段	4段	4段	3段	6段		
1層目	D30	D15	D30	D30	D30	D30		
2層目	D30	D15	D30	D15	D15	D30		
3層目	D15	D15	D30	D15	D15	D15		
4層目	D15	D15	D30	D15		D15		
5層目	D15					D15		
6層目	D15					D15		
7層目	D15							

注) 表の2行目の数字は、重錘重量-落下高さを示す。[例: 530→W=5tf, H=30m]

(3) 測定方法

a) 静的実験

a-1) 荷重載荷手順

荷重の載荷手順としては、発泡スチロールひずみを基準にして載荷荷重を計測するものとした。基準ひずみ[ε]は、各複層タイプとも、5%刻みとし5%~80%を想定する。また、載荷速度は、V_L=10

%ひずみ/分とする。

a-2) 測定項目

測定する項目は下記の通りである。

- ① 2本の油圧ジャッキの荷重: 20tfロードセル2ヶでそれぞれの荷重を計測。
- ② 荷重載荷位置での変位量: ワイヤ式変位計2ヶでそれぞれの変位を計測。
- ③ 発泡スチロールの破壊状況: 発泡スチロールの各層側面に5cmピッチのメッシュを印し、側面の破壊状況を5%ひずみ毎にデジタル写真を撮る。荷重の分散状況、複層最下面での応力分布幅の確認。
- ④ 荷重除荷時の状況: 荷重を除荷した時の各項目の測定。(荷重, 変位, 側面状況)

b) 重錘落下実験

b-1) 測定項目

測定項目として、下記の5項目とする。

- ① 重錘の加速度: 2点~加速度計
- ② 重錘落下直下の土圧: 4点~ロードセル
- ③ 重錘のリバウンド量: 高速ビデオカメラ
- ④ 囲い枠のH型鋼の天端変位: 2点~変位計
- ⑤ 実験風景: 普通ビデオカメラ1~側面全景
: 普通ビデオカメラ2~平面全景

b-2) 測定方法

測定方法は、下記の通りとする。

- ① 動的デジタル測定。
- ② 測定間隔: 1msec-2sec間
- ③ 波形処理: 1kHzのローパスフィルターを掛け、実験後、FFTで処理。

4. 静的実験結果及び考察

屋外静的実験の様態を写真-1に示す。

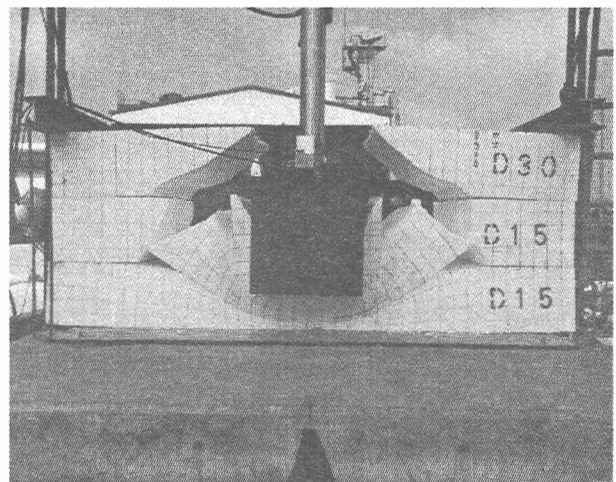


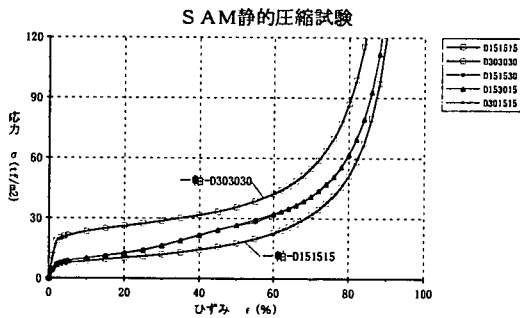
写真-1 静的実験風景

(1) 発泡スチロールの応力-ひずみ関係

a) 室内一軸圧縮試験

室内一軸圧縮試験結果を図-6に示す。このグラフから、一軸圧縮試験では層の構成が同じであれば、その位置関係に関係なく一定の「応力-ひずみ」特性となることが解る。

(1) D15×2-D30×1



(2) D15×1-D30×2

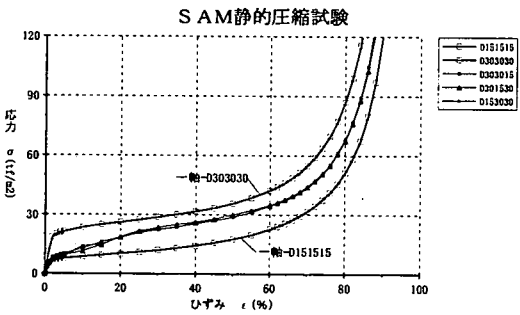
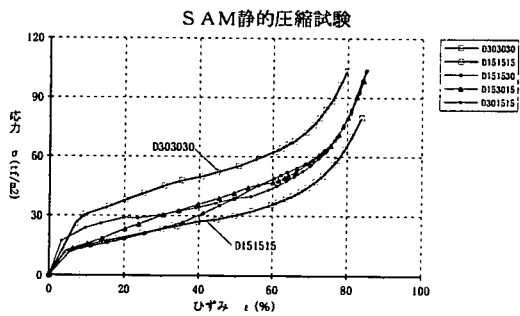


図-6. 一軸圧縮試験の結果

(1) D15×2-D30×1



(2) D15×1-D30×2

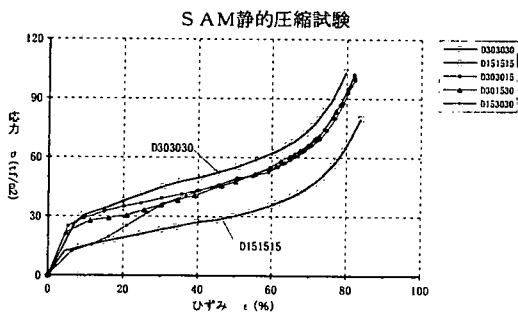


図-7. 屋外静的実験の結果

b) 屋外(帯荷重載荷)静的試験

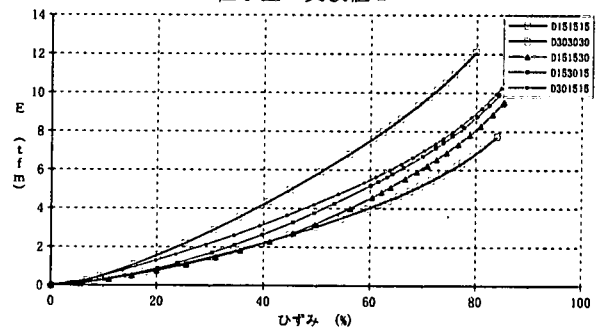
屋外試験結果を図-7に示す。このグラフからは、D30の位置によって「応力-ひずみ」特性が変化することが読みとれる。

グラフおよび試験時の状況写真から、60%ひずみまでは密度の高い層(D30)を複層の表面近くに設置した方が、荷重の分散効果が大きく、大きな応力が必要であることが確認出来る。

(2) 複層の組み合わせと仕事量

屋外試験における発泡スチロールの位置による違いを見るため、70%ひずみまでのそれぞれの仕事量を計算したのが、図8である。この図からも明らかなように、複層に於いては、D30を表面側に設置する方がエネルギー吸収が大きい。

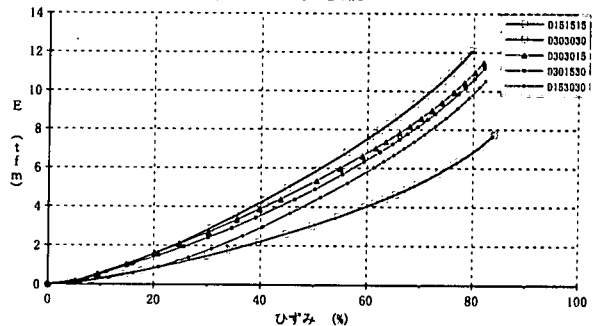
仕事量-実験値1



ひずみ70%までの仕事量(tfm)

D151515	D151530	D153015	D301515	D303030
5.16	6.25	6.72	7.00	9.34

仕事量-実験値2



ひずみ70%までの仕事量(tfm)

D151515	D303015	D301530	D153030	D303030
5.16	8.60	8.15	7.75	9.34

図-8. 静的実験における仕事量

(3) 複層の応力-ひずみ関係の類推式

紙面の都合により類推式の誘導および式の紹介は割愛するが、ここでは誘導手順を紹介する。

①まず、一軸圧縮試験から σ_s は理論的に誘導可能である。しかし σ_{60} や σ_{80} は組み合わせによっては理論式が極めて複雑となり実用に供しない。そこで、類

推簡易式を考案し、実際の値と比較したところ、問題ないことが解った。

②しかし、屋外の静的実験では、荷重の分散があり、SAMの組み合わせによってその分散効果も変わることが確認できている。そこで、D30が表面に集まっているとして単純に荷重分散勾配と $\theta = 35$ 度とすると70%ひずみまでのエネルギーを再現出来ることがわかった。(図-8)

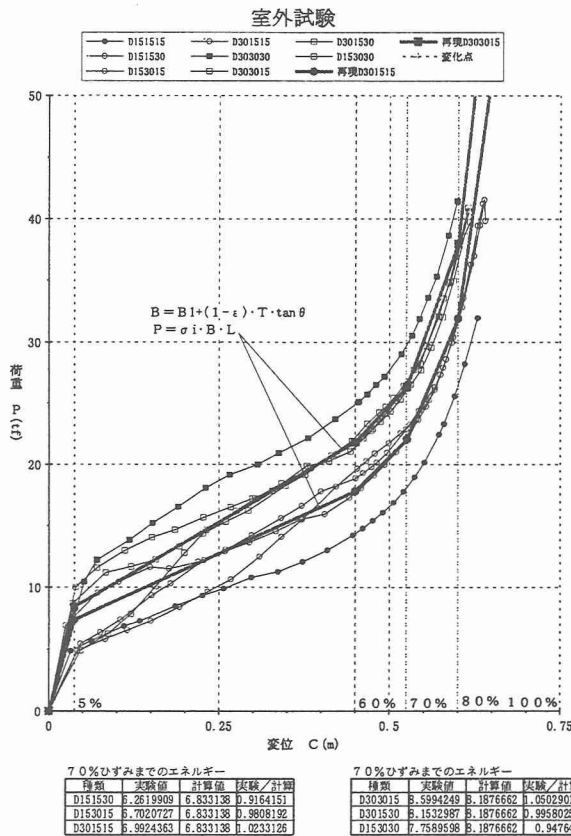


図-8. 屋外静的実験の再現

5. 重錘落下実験結果及び考察

重錘落下実験の様態を写真-2, 3に示す。どちらの写真も落下高さ30mの場合である。



写真-2 W=3tf, H=30m

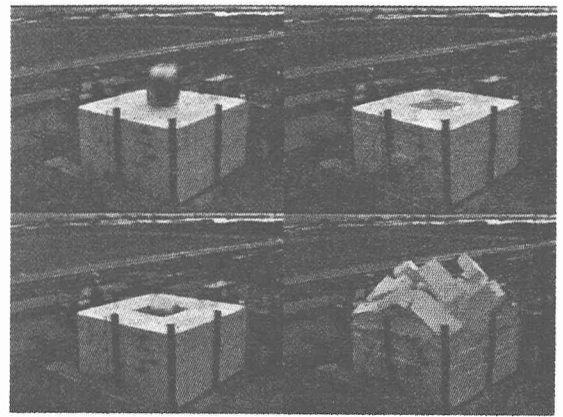


写真-3 W=5tf, H=30m

(1) 重錘衝撃力

実験結果を図-9.1~図-9.4に示す。

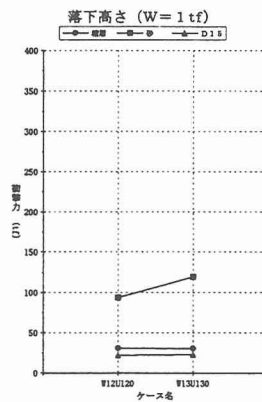


図-9.1

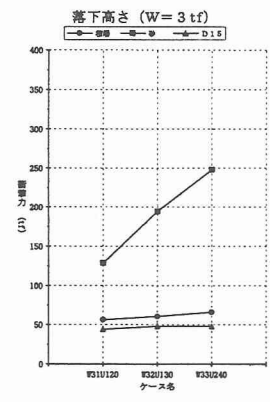


図-9.2

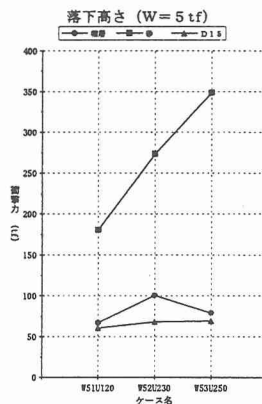


図-9.3

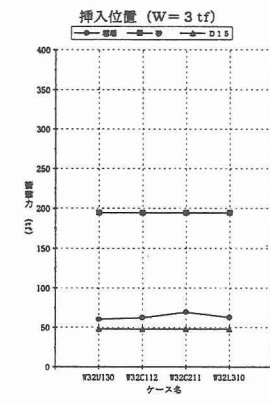


図-9.4

図-9.1~図-9.3は、各重錘における高さの違いを表したものであり、図-9.4は、W=3tf・H=20mの条件に於けるD30の挿入位置の違いを示したものである。(以上は、処理波形の最大値をグラフ化したものである。)

a) 考察

- ①全ての実験ケースにおいて複層で発生する衝撃力は、砂の場合の計算値と比較して、約1/3となる。
- ②複層とD15単層との衝撃力の比較において、複

層はD 15単層の場合の約1.2～1.3倍の衝撃力となる（Type 4～6, 11～12を除く）。但し、 $W = 5 \text{ tf}$ 、 $H = 20 \text{ m}$ の場合（Type 8）は、全体の層厚さが少なかったようである。

③複層Type 3～6の敷き均し位置の比較では、D 30が最上層にある方が衝撃力は小さく、D 30が下層に近づくほど大きくなる。但し、D 30が最下層の場合は、敷き均し厚さ不足のD 15単層と同じと考えられる。

④複層Type 10～11の密度の違いでは、明らかにD 30単層（全層）の場合のほうが、D 15単層より衝撃力は大きい。これは、応力-ひずみ関係から見て当然の結果である。また、複層Type 12は、10、11と比較して衝撃力は小さいが、これは複層Type 12が最上層のみD 30であり、静的と同様にD 30による分散効果が発揮されたことと、D 15単層では全層の厚さが不足していること、D 30単層では硬すぎるなどの理由によるものと考えられる。

(2) 衝撃土圧

実験結果を、図-10示す。但し、グラフ上で点線で表した土圧応力に関しては、測定失敗点に対して予測値を入力している（処理波形のもので表示）。

また、各土圧は、測定波形のピーク値を表しており、同時刻の値を示したものではないので注意されたい。

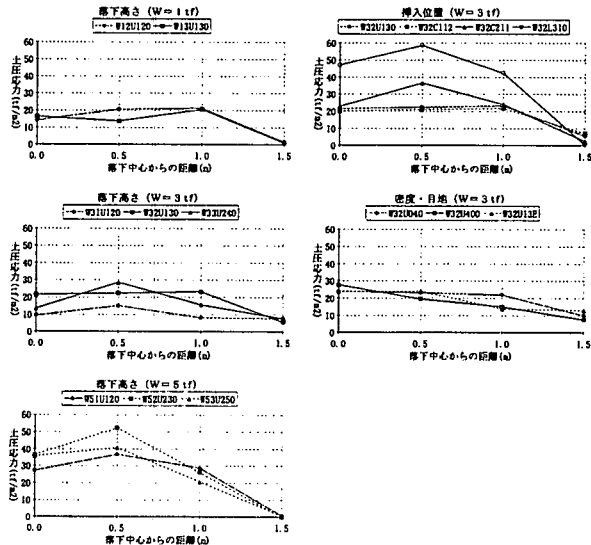


図-10. 衝撃土圧

紙面の都合により考察は省略する。

(3) 重錘衝撃力と貫入量

詳細は割愛するが、計算値と高速ビデオからの読みとり値とはよくあっていた。

6. 複層タイプの設計への適用

紙面の都合により詳述を避け、ここでは設計計算式の誘導について、基本的な考え方を述べることにする。

衝撃力 P_i は応力 σ_i と応力分散直径 d_i の自乗に比例する。また、各ひずみに於ける応力は室内一軸圧縮試験から得られるが、その値は、ひずみ速度の違いでかなり変化することが知られている。今回行った一軸圧縮試験の結果は、平成元年の試験結果に比べ、その値は約8割程度である。これは、今回の試験が既存の試験仕様に準じた形で、そのひずみ速度を $V_L = 10\%$ ひずみ/分とかなり遅くしたことによるものと思われる。発泡スチロールのビーズの壊れ方は、静的と動的ではその性状がかなり違う。静的では、荷重が載荷されるとビーズ被膜が破れ中の空気が追い出されるのに対して、動的ではビーズ被膜が破れる前に衝撃力がなくなるため荷重を受けたあとでもビーズはその形を保持している。

つまり、発泡スチロールの応力は、ひずみ速度が遅いと小さくなり、ひずみ速度が早いと大きくなると思われる。今回、追加試験として室内の動的一軸圧縮試験を行い、静的との応力度比を出した。

複層の設計計算式には、このいわゆる「ひずみ速度効果」係数を導入する予定で、複層の静的応力（層構成に応じて計算される計算用類推応力）に上記の係数を乗じ、衝撃力の計算をする予定である。

今のところ、荷重分散勾配を $\theta = 25$ 度前後と見込めば、重錘落下実験から得られた衝撃値を上手く表現することが確認されている。

7. 最後に

本実験研究の実験報告書はSAM協会からSAM実験報告書[2]として発刊する予定である。本実験研究の詳細に関しては、この報告書を参照されたい。

参考文献

- 1) 構造工学シリーズ6・構造物の衝撃挙動と設計法 P183～P184 土木学会 平成6年1月
- 2) 発泡スチロールの落石による衝撃力の緩衝効果に関する実験報告書 SAM協会 平成2年2月
- 3) SAM工法設計・施工マニュアル SAM協会 平成10年4月

以上／