

三層緩衝構造の緩衝効果に関する室内実験

LABORATORY TEST ON SHOCK-ABSORBING EFFECT OF
THREE-LAYERED ABSORBING SYSTEM

岸 徳光* 中野 修** 今野久志*** 松岡健一****

by Norimitsu KISHI, Osamu NAKANO, Hisashi KONNO and Ken-ichi G. MATSUOKA

The discussion in this paper is confined to the determination of shock-absorbing effect of three-layered absorbing system under impact load obtained from laboratory test. An absorbing system proposed here is composed of Expanded Poly-Styrol (EPS) and reinforced concrete slab in which the former is used as top and bottom layers and the later became a core layer. Experiments in impact loading were performed for two cases; the first one is setting a load-cell plate on the foundation to obtain the transmitted impact force through the absorbing system and another one is using simply supported PC slab with the system to get the dynamic response values of main structure with shock absorber.

It has been definitely shown that three-layered absorbing structure can effectively transmit the impact force uniformly on the entire surface of main structure and reduce the dynamic response value of main structure up to less than one fourth of using single-layered structure with EPS.

1. はじめに

道路網の安全施設として建設されているロックシェッドには、崩落土砂、落石などによって生じる衝撃力を緩和させる目的で山砂あるいは山土が敷かれている。この種の構造物には数十～数百msecの間に静的荷重の数十～数百倍の荷重が作用するため、如何にして効率的に落石エネルギーを吸収して衝撃力を低下させ、載荷時間を延ばすかが問題である。敷砂を用いた場合の落石の衝撃力に関しては、振動便覧式、鋼材クラブ、吉田と榎谷等や北海道開発局開発土木試験所によって示された評価式¹⁾が提案されている。特に、吉田と榎谷等²⁾は金沢大学で実施された実験結果についてのデータベース化を行い検討している。現在のところ十分な緩衝効果を得るためには90～100cm程度の敷厚が必要であることが明らかになっている。しかしながら、敷砂は落石エネルギーの吸収性能に優れている反面、衝撃荷重の分散効果が小さいこと、自重が大きいことによりトップヘビー構造となるため地震時の安全性確保のために下部工が大がかりになることも明らかになっている。

最近、敷砂に代わる緩衝材として軽量で緩衝性能に優れている発泡スチロール (Expanded Poly-Styrol、以後略してEPSと呼ぶ) の利用に関する室内実験³⁾や野外実験⁴⁾が行われ、敷砂と同等あるいはそれ以上の緩衝効果があるこ

* 工博 室蘭工業大学助教授 工学部建設システム工学科 (050 室蘭市水元町27-1)

** 工修 北海道開発局開発土木研究所室長 構造研究室 (062 札幌市豊平区平岸1-3)

*** 工修 北海道開発局開発土木研究所研究員 構造研究室 (062 札幌市豊平区平岸1-3)

**** 工博 室蘭工業大学教授 工学部建設システム工学科 (050 室蘭市水元町27-1)

とが明らかになっている。しかしながら、EPS材の欠点としては、表層の載荷点部がせん断型に破壊するため、十分な厚さが要求されることと、厚さが不足している場合には敷砂同様荷重の分散効果をそれほど期待できないことがあげられている。

一方、層状弾性体にモデル化した緩衝構造の数値的な性能検討によれば⁶⁾、緩衝材の波動伝搬速度が小さい場合には緩衝材中を伝播する衝撃波は、一次元棒と同様の伝播速度で基部に伝播されるために荷重の分散性が悪いことや、芯材としてRC梁のような曲げ剛性の大きい部材を用いる場合には伝達衝撃力の荷重強度低下と分散性を大きく向上できることが明らかになっている。芯材を用いて荷重分散を向上させることが可能になれば、結果的には緩衝材の軽量化も達成することが可能となるものと考えられる。

本論文では、敷砂あるいはEPS材を単独で使用する場合の欠点を克服するために、このような複合緩衝構造に着目し、より一層の軽量化を期待するために表裏層材としてEPS材を、芯材として各種コンクリート矩形板を用いた三層緩衝構造を取り上げ、室内実験によってその概略的な緩衝性能についてEPS材を単層とした場合と比較する形で検討を行った。実験は三層緩衝構造の基部にロードセルを設置して伝達衝撃力の強度分布を計測する方法と、主構造として四辺単純支持PC矩形板を採用し鉄筋の応答歪を測定する方法の2種類について行った。なお、本実験は三層緩衝構造の定性的な特性を検討することを主な目的としているため、芯材として用いている各種コンクリート矩形板は、過去に重錘落下衝撃履歴を受けたものを用いている。

2. 実験の概要

2.1. 実験装置

衝撃荷重の載荷は文献6)と同様に室蘭工業大学に設置されている落下衝撃万能試験機を用いて行った。衝撃荷重は所定の高さにセットした重錘を自由落下させることにより発生させるものである。本実験で用いた重錘は、直径15cmの鋼円柱で、重量100kgf(高さ2mmの球底)のものを用いている。試験機の重錘落下高さの限界が300cmであるため、本実験では重錘落下高さを5.1cm～250cm(衝突速度に換算して1m/sec～7m/sec)まで変化させて行っている。

2.2. ロードセル盤

伝達衝撃力や土圧の測定には通常二重ダイヤフラム方式の土圧計が用いられているようである。しかしながら、衝撃的な動土圧を測定するためにこのような土圧計を用いる場合には、以下の理由により測定値の妥当性を検討しなければならないものと考えられる。すなわち、

- 1) 受圧部周辺が受圧部に比して剛な構造となっているため、その剛な部分に応力が集中する可能性がある。
- 2) 2つのダイヤフラムと水銀を介するために周波数特性が低いものと考えられる。
- 3) 最も小型のタイプでも直径が65mmもあり、平均土圧的な感を免れない。
- 4) 測定範囲が最大でも 20 kgf/cm^2 程度で、衝撃実験や室内実験等での使用性に制約がある。

本研究では土圧計の短所と思われるこれらの点を改善すること

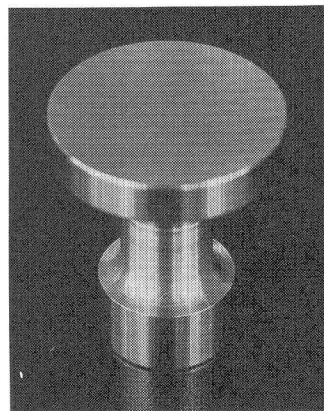


写真-1 ロードセル原形

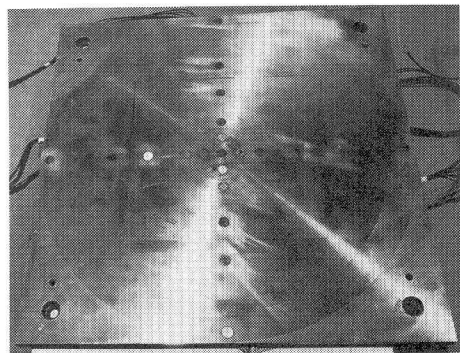


写真-2 ロードセル盤

を目的にして製作された衝撃荷重測定用ロードセル⁷⁾を採用することとした。写真－1にロードセル本体の原形を示す。本ロードセルは受感部に歪ゲージを添付し4枚ゲージ法で測定する方式となっている。本実験に採用したロードセルは受圧部、受感部直径がそれぞれ25mm、10mm、容量が300kgf/cm²、最低次固有周波数が25.55kHzのものである。また、各ロードセルは、底部への伝達衝撃力の分散特性を検討するために、載荷点中央部を原点として一方向に順に5、5、10、10、17.5cm間隔とし、直角4方向に配置している。

ロードセルの設置にあたっては、ロードセル設置近傍の応力波に乱れが生じないようにして基盤上における伝達衝撃力を測定するために、幅1m、厚さ30mmの鋼矩形板を用い、ロードセル設置後も平面を保つようにロードセル設置部をくり抜いて製作されたロードセル盤を用いている(写真－2)。

2.3. 緩衝材として使用されている材料および部材

2.3.1. EPS材

EPS材は石油精製過程で生ずるスチレンモノマーの重合から得られるポリスチレン樹脂に発泡剤を加えたものを加熱軟化させると同時に気体を発生させて発泡樹脂としたものである。製造法としては押出法と型内発泡法の2種類がある。特長としては、軽量性(密度が土砂やコンクリートの1/100程度)、耐久性(物性値に経年変化がない)、自立性(ポアソン比が小さくブロックの積み重ねが可能)、耐水性(長時間浸水状態でもほとんど水が侵入しない)、施工性(軽量であるため人力による施工が可能であり、加工も容易)に優れている点が挙げられる。また、最近の研究により敷砂材と同程度³⁾あるいはそれ以上⁴⁾の緩衝効果があることも明らかになっている。

物性的には弾性挙動を示す領域は圧縮歪が1%程度以下であり、このときの荷重は5%圧縮歪の約1/2である。⁸⁾ 本実験では、型内発泡法で製造された密度20kgf/m³、5%圧縮歪の強度1.1kgf/cm²、ポアソン比0.05で、寸法が200cm×100cm×50cmのEPSブロックを所定の寸法に切り出して用いている。なお、各実験におけるEPS材は全て未使用のものを使用している。

2.3.2. 各種コンクリート矩形板

本研究では主構造体あるいは三層緩衝構造体の芯材として各種のコンクリート矩形板を用いている。ここでは三層緩衝構造体の定性的な特性を把握することを主な目的としているために、過去に既に衝撃荷重載荷を経験し、ひび割れが発生しているコンクリート板でも差し支えないものと考えられ、表－2に示すような衝撃荷重載荷履歴を有するコンクリート矩形板を再利用している。主構造はPC矩形板(試験体名PC-SLB-19、以後簡略化してPC-SLBと呼ぶ)を用いた四辺単純支持矩形板とした。また、芯材としては、PC矩形板(PC-SLB-20)、RC矩形板(RC-SLB-11)、組紐状AFRPロッドで補強されたコンクリート矩形板(ロッドに珪砂を接着した場合(AsC-SLB-28)、珪砂を接着しない場合(AC-SLB-24))を用いた。以後簡略化して各コンクリート矩形板をそれぞれ、PC、RC、AsC、ACと呼ぶこととする。

各コンクリート矩形板の形状寸法は必ず

表-1 コンクリートの物性値

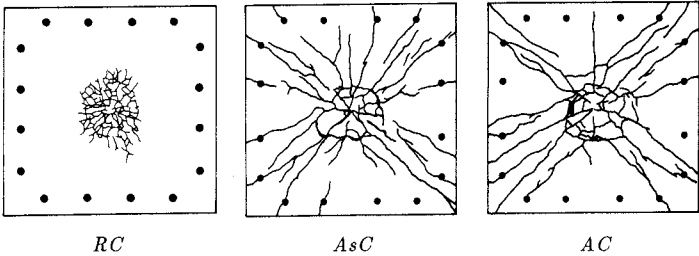
試験体名	材令 (日)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 (kgf/cm ²)	ポアソン比 ν
RC	60	611	332,000	0.2
PC PC-SLB	28	570	362,000	0.2
AC AsC	28	502	295,000	0.2

表-2 各コンクリート矩形板の衝撃荷重載荷履歴

試験体名	載荷番号	衝突速度 V (m/sec)	試験体名	載荷番号	衝突速度 V (m/sec)
RC	-1	1.0	PC	-1	2.0
	-2	4.0		-2	2.0
	-3	4.0		-3	2.0
	-4	4.0		-4	3.0
AC AsC				-5	4.0
	-1	3.0	PC-SLB	-1	1.0
	-2	3.0		-2	1.0
	-3	4.0		-3	2.0
	-4	4.0		-4	3.0
	-5	5.0		-5	4.0
	-6	6.0		-6	4.0
	-7	7.0			
	-8	7.7			

(重錘重量W=70kgf)

れも150cm×150cm×10cmであり、配筋はかぶり10mm、φ6mmの鉄筋あるいはAFRPロッドを用いた配筋比1%の複筋配置としている。また、各矩形板製作に使用したコンクリートの物性値は表－1のとおりである。
 PC-SLB矩形板は平均初期応力が50kgf/cm²となるように、各方向板厚中心部に直径13mmのPC鋼棒を配置



図－1 各コンクリート板表面ひび割れ状況

し緊張している。表－2には各コンクリート矩形板が経験した衝撃荷重履歴を一覧にして示している。また、図－1には本実験に使用する前の各コンクリート矩形板表面のひび割れ状況を示している。なお、PC、PC-SLBのひび割れ状況に関しては目視により確認することが出来ないためここでは除いている。

2.4. 計測方法

本実験の計測システムは文献6)と同一である。本実験で使用したセンサーは重錘側面に取り付けられている歪ゲージ型加速度計(容量100G, 500G, 1000G)、各種コンクリート矩形板の下端筋に添付されている歪ゲージ(ゲージ長2mm, ゲージ抵抗120Ω)および上述の歪ゲージ型ロードセルである。

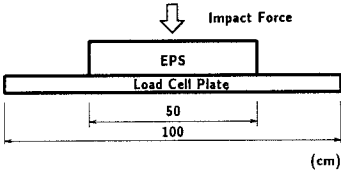
2.5. 実験の種類

本研究では表－3に示すような4ケースの実験を行った。以下にその概要を述べる。

a) ロードセル盤上にEPS材単層を設置した場合(case-I)

ロードセル盤上に50cm四方のEPS材単層を設置して重錘落下実験を行い、重錘加速度およびロードセルから得られる応答波形を測定する。

図－2に緩衝構造の横断面図を示している。



図－2 case-Iの緩衝構造の横断面図

表-3 実験ケース一覧

case-I			case-II				case-III			case-IV			
緩衝構造	衝突速度 (m/sec)	EPS材厚 (cm)	緩衝構造	表層 EPS (cm)	芯材	裏層 EPS (cm)	緩衝構造	落下速度 (m/sec)	EPS材厚 (cm)	緩衝構造	表層 EPS (cm)	芯材	裏層 EPS (cm)
EPS + Load Cell	3	2	EPS	5	PC	2	EPS + PC-SLB	3	2	EPS	5	RC	2
	//	3	+ 芯材	//		5		//	3	+ 芯材	//		5
	//	5		//		10		//	5		//		10
	//	10		5	RC	2		//	10		5	AsC	2
	//	15		//		5		//	15		//		5
	//	20	EPS	//		10		//	20		//		10
	1	5	+ Load Cell	5	AsC	2		1	5	+ PC-SLB	5	AC	2
	2	//		//		5		2	//		//		5
	3	//		//		10		3	//		//		10
	4	//		5	AC	2		4	//		衝突速度 6m/sec		
	1	10	衝突速度 6m/sec	//		5		1	10				
	2	//		//		10		2	//				
	3	//						3	//				
	4	//						4	//				
	5	//						5	//				
	6	//						6	//				
								7	//				

本実験は、1) EPS材厚や重錘の衝突速度を変化させた場合の重錘加速度やロードセルから得られる応答波形形状、2) 最大重錘衝撃力と衝突速度あるいはEPS材厚との定性的な関係、3) 伝達衝撃力の分散性、等に関する検討を行うことを目的としている。

b) ロードセル盤上にEPS材とコンクリート矩形板から成る各種三層緩衝構造を設置した場合 (case-II)

表層EPS材厚を5cmに固定し、裏層EPS材厚および芯材のコンクリート矩形板を変えた場合の各種三層緩衝構造をロードセル盤上に設置して、重錘衝突速度 $V=6\text{m/sec}$ に対する実験を行い、case-Iと同様の測定を行う。図-3に緩衝構造の横断面図を示している。本実験は芯材としてPC, RC, AsC, ACの各コンクリート矩形板を用いた場合の伝達衝撃力の分散性状を検討することを主な目的としている。

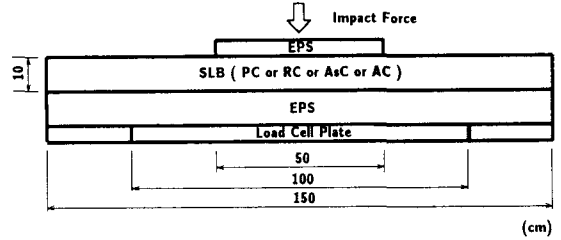


図-3 case-IIの緩衝構造の横断面図

c) PC-SLB上に緩衝材としてEPS材単層を設置した場合 (case-III)

本実験は主構造である四辺単純支持PC-SLB上にcase-Iと同様のEPS材を載荷点部に設置して重錘加速度およびPC-SLB下端筋の歪波形の測定を行っている。図-4に本実験ケースの緩衝構造の横断面図を示している。本実験は主構造体上に緩衝材としてEPS材単層を用いた場合の、1) 重錘衝撃力の特性、2) PC-SLBの応答歪波形、について検討を行うことを

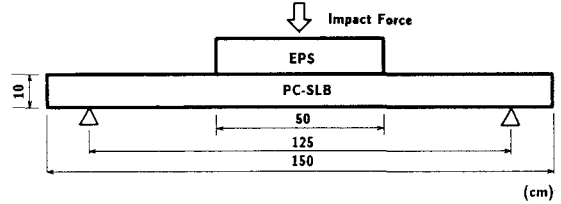


図-4 case-IIIの緩衝構造の横断面図

を目的としている。なお、PC-SLBの支持部は重錘落下によってリバウンドの恐れがあるためここでは回転を拘束しないようにするため、その上下面に鋼棒を設置しボルトを用いて固定している。

d) PC-SLB上に三層緩衝構造を設置した場合 (case-IV)

PC-SLB上にcase-IIと同様な三層緩衝構造体を設置した場合の重錘加速度およびPC-SLB下端筋の歪波形の測定を行う。図-5には本実験ケースの緩衝構造の横断面図を示している。本実験は三層緩衝構造を用いた場合の緩衝性能を主構造体の応答波形より明らかにすることを目的としてcase-IIと同一の芯材を用い検討を行っている。なお、PC-SLBの支持部は三層緩衝構造を設置しているためにcase-II

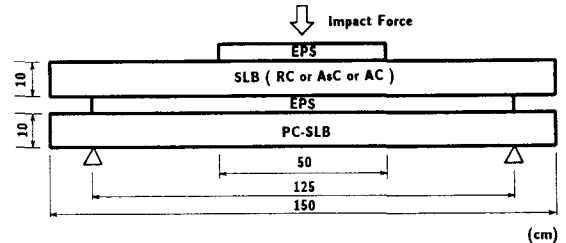


図-5 case-IVの緩衝構造の横断面図

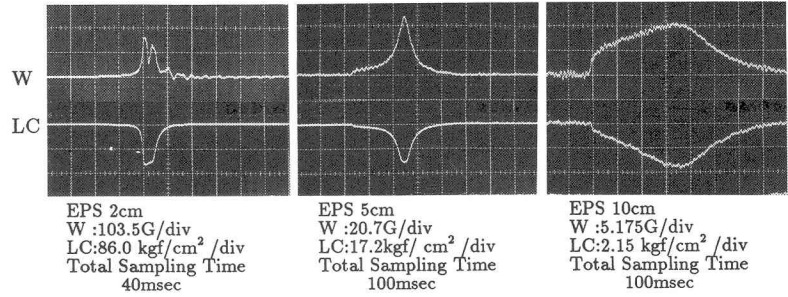
のように上下から拘束することが出来ない。予備実験より衝撃力が緩衝構造によって大幅に低減されPC-SLBのリバウンドは小さいものと判断されたので、ここでは支持部を拘束せずに単純支持の仮定のもとに鋼棒上にPC-SLBを設置した。

3. 実験結果および考察

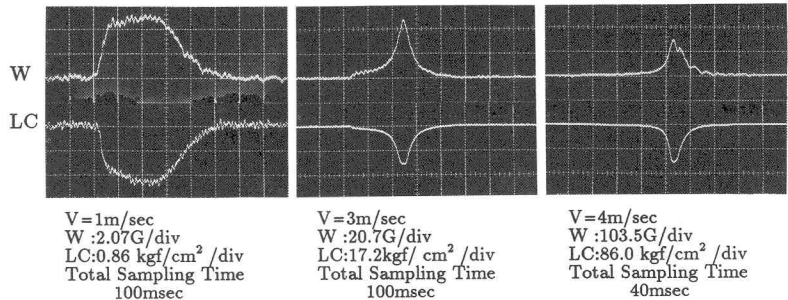
上記4ケースの実験結果をもとに、以下のように項目別に分け整理および考察を行うこととする。なお、実験結果は煩雑さを避けるため以下のような略号を導入して整理している。すなわち、Wは重錘加速度、LCはロードセル応力であり、B1', B1はそれぞれ芯材コンクリート矩形板およびPC-SLB下端筋中央点の曲げ歪である。

3.1. EPS材単層を用いた場合の重錘加速度とロードセル波形

写真－3に衝突速度を $V=3\text{m/sec}$ として EPS 材厚を変化させた場合と EPS 材厚を 5cm に固定して衝突速度を変化させた場合についての重錘加速度とロードセルの応答波形分布を比較して示している。写真より、いずれの場合も重錘加速度とロードセルの応答波形は相似な波形分布を示していることがわかる。また、EPS 材厚が厚くなるほど、また衝突速度が小さいほど衝撃力およびロードセル応力が小さくなりかつ応答時間が延びていることがわかる。写真－3 (a)、(b) の各応答波形分布を比較すると、(a) の EPS 材厚が薄い場合



(a) EPS+Load Cell 衝突速度 $V=3\text{m/sec}$ 重錘重量100kgf



(b) EPS+Load Cell EPS材厚5cm 重錘重量100kgf

写真－3 EPS 材単層を用いた場合の重錘加速度 W と中心部ロードセル LC の応答波形

と(b)の衝突速度が速い場合、(a)の EPS 材厚が厚い場合と(b)の衝突速度が遅い場合がそれぞれ類似の性状を示しているようである。前者の場合には EPS 材の塑性変形によるエネルギー吸収量よりも重錘落下による運動エネルギーが大きいため EPS 材が重錘によって完全に潰され、かつ残存衝撃力が歪硬化状態（歪量が $70\sim 80\%$ の状態）⁴⁾ における伝播速度で底部に伝達されるため、ロードセル応力は大きくかつ応答時間も 6msec 程度と短くなったものと考えられる。一方、後者の場合には衝突部近傍の EPS 材上部において上記と同様塑性変形により重錘落下エネルギーが吸収されるが、重錘落下エネルギーよりも EPS 材のエネルギー吸収容量が大きいため応力波は底部に到達する前に軸歪が $10\sim 60\%$ 程度の塑性領域まで振幅が低下し、その後低弾性率を有する塑性波動として応力が底部に伝達されるものと考えられ、その結果ロードセル応力は小さくまた応答時間も長くなったものと考えられる。

3.2. 最大重錘衝撃力

図－6、7には case-I、IIIで得られた EPS 材厚および衝突速度を変化させた場合の最大重錘衝撃力の関係を示している。両図より EPS 材の底部が剛な場合（実験ではロードセル盤）と PC-SLBを用いた四辺単純支持矩形板の場合は、図－6の EPS 材厚 3cm の場合を除いてほぼ類似の値を示していることがわかる。これより本実験の範囲内では EPS 材単層を緩衝材として用いる場合には、主構造に作用する重錘衝撃力は剛基礎上で求められた値を用いて評価できるものと考えられる。また、図－7より最大衝撃力と衝突速度の関係はある速度を基準（本実験では EPS 材厚 5cm の場合には衝突速度 $V=4\text{m/sec}$ 、 10cm の場合には $V=6\text{m/sec}$ ）にして、それより小さい場合には衝撃力は速度の増大とともに徐々に増大するようであるが、それより大きい場合には速度の増大とともにほぼ線形的に増大する傾向にあるようである。また、EPS 材厚との関係も最大衝撃力は所定の厚さ（本実験では EPS 材厚 10cm ）までは EPS 材厚に逆比例して低下しているようであるが、それ以上の厚さの場合には緩衝効果の向上を期待できないようである。本実験の場合、EPS 材厚 10cm の場合は 2cm の場合に比し 15 倍以上の緩衝効果を示していることが

わかる。

3.3 伝達衝撃力の分散性状

case-I,IIの実験から得られるロードセルの応答波形を用いて、EPS材単層を用いた場合とEPS材とコンクリート矩形板から成る三層緩衝構造を用いた場合の伝達衝撃力の分散性状について検討を行った。

図-8はEPS材単層を用いた場合の最大応答時のロードセル応力分布である。それぞれ、衝突速度を3m/secに固定してEPS材厚を変化させた場合と、EPS材厚を5cm、10cmに固定し衝突速度を変化させた場合について示している。いずれの実験ケースとも載荷点中央部より10cm以上離れた点におけるロードセルは応力

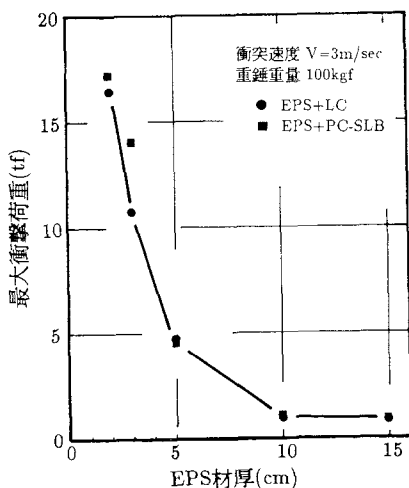


図-6 EPS材厚と最大重錘衝撃力

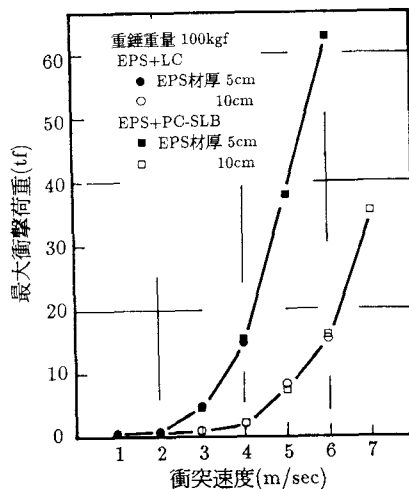


図-7 衝突速度と最大重錘衝撃力

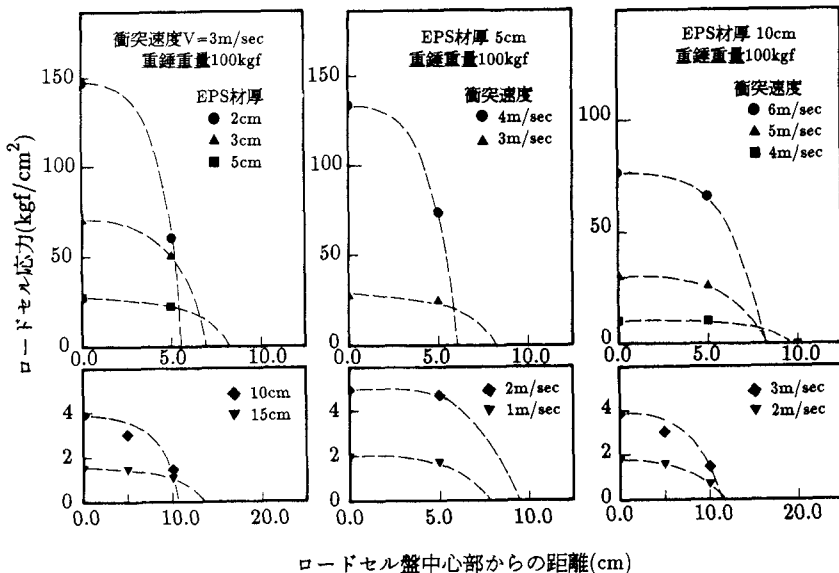


図-8 EPS材単層を用いた場合の基部伝達応力分布

を感知していないようである。応力分布の概形を示すために、ここでは偶関数で座標原点より10cm以上離れた点で負値を示すような関数として4次方程式を選び、中心部の2点を用いて回帰曲線を決定し破線で示している。図より衝突速度が一定の場合にはEPS材厚が薄いほど、またEPS材厚一定の場合には衝突速度が速いほど中央部2点の応力が大きくなるのがわかる。特にEPS材厚が5cm以下、衝突速度がV=4m/sec以上の場合には重錘径と同程度あるいはそれ以下の領域に応力が分布しており、応力の分散性が非常に悪いことがわかる。これはEPS材の敷厚が不十分のため、重錘径に沿ってEPS材のせん断破壊が底部にまで進行しかつ重錘径内部のEPS材は完全に潰されていることを示しているものと考えられる。これはEPS材を単層で用いる場合には設定落石荷重に対して十分な敷厚が必要であることを示している。

一方、図-9にはcase-IIの実験で得られた最大応答時のロードセル応力分布を示している。ここでは表層EPS材

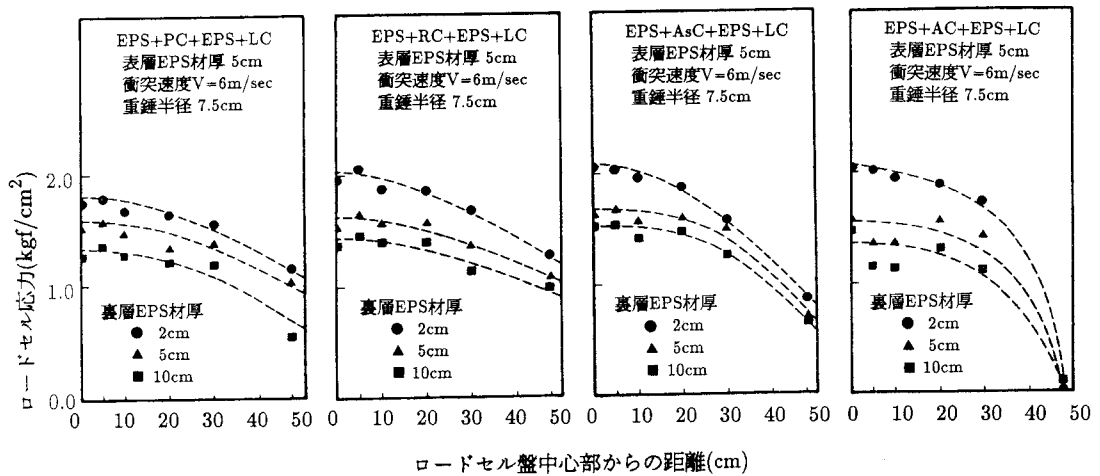
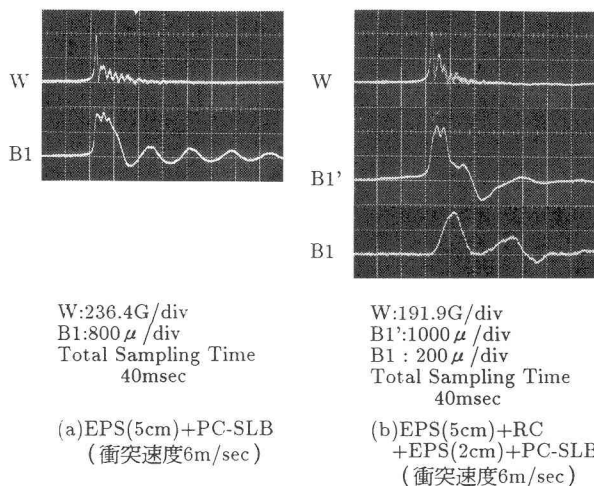


図-9 三層緩衝構造を用いた場合の基部伝達応力分布

厚を 5cm、衝突速度を $V=6\text{m/sec}$ に固定して裏層 EPS 材厚を 2, 5, 10cm と変化させた場合について検討を行っている。本実験ケースの場合にはロードセル盤全体に応力が分布しているため、応力分布の概形は特定の関数を設定せず実験データを補間する滑らかな曲線を用いて示している。図-8 の単層 EPS 材厚 5cm の場合の中心部応力は衝突速度 $V=4\text{m/sec}$ で約 130kgf/cm^2 、10cm の場合には $V=6\text{m/sec}$ で約 75kgf/cm^2 となっている。これに対して図-9 の三層緩衝構造の場合の応力はいずれも最大応力が約 2kgf/cm^2 あるいはそれ以下となっており、かつほぼロードセル盤全体に分布していることがわかる。特に AFRP ロッドで補強された AsC, AC の場合は衝撃荷重載荷履歴により、図-1 のようなひび割れが発生し、他 PC, RC に比較して剛性が大幅に低下しているものと考えられるが、中央部は PC, RC の場合とほぼ同程度、端部ではそれら以下の応力分布を示している。また、図より AsC, AC の場合の伝達応力を総和して得られる総伝達衝撃力を概算すると、PC, RC の場合と同程度あるいはそれ以下であり、本実験程度のひび割れは EPS 材を単独で用いた場合に比し衝撃荷重の分散性状に著しい影響を与えないことが明らかとなった。これより AsC, AC 矩形板は PC, RC 矩形板と同程度の分散効果を期待することができると考えられる。また、本実験では裏層 EPS 材厚を 2, 5, 10cm と変化させているが、敷厚による応力低減効果は単層あるいは表層に用いる場合に比べ小さいようである。これは、芯材の荷重分散効果により裏層 EPS 材への伝達衝撃力の強度が低減されかつ芯材の剛性によって裏層 EPS 材のせん断破壊が防止されるために EPS 材が一次的に挙動し、いずれの場合も 3.1 の EPS 材が厚い場合あるいは衝突速度が小さい場合と同様 EPS 材のエネルギー吸収容量が芯材から伝達される衝撃エネルギーよりも大きく、応力波がロードセル盤に到達する前に応力 2kgf/cm^2 程度の初期の塑性領域まで低減され、その後減衰性の比較的小さい塑性波動として伝播するためと考えられる。

3.4 PC-SLB の下端筋歪の応答性状

写真-4 に case-III と case-IV の実験で得られた重錘加速度及び RC, PC-SLB 下端筋中央部軸歪応答波形を示している。表層 EPS 材厚はいずれも 5cm の場合であるが、重錘加速度波形は両者ほぼ類似の分布性状を示しており、裏層 EPS 材の波形分布への影響は少ないようである。PC-SLB の下端筋歪波形に関しては、EPS 材単層の場合(a)は重錘衝突による強制振動の後に PC-SLB の自由振動状態に移行しているようである。一方、三層緩衝構造の場合(b)は芯材 RC が表層 EPS 材を透過した衝撃荷重を受けるため、初期に中心部で 2000μ 歪以上の応答を示しているが、その後荷重除荷とともに RC 独自の四辺自由状態における減衰自由振動に移行しているようである。芯材 RC で分散された衝撃荷重はさらに裏層 EPS 材を透過して PC-SLB に作用する。PC-SLB の鉄筋歪(B1)波形は、高周波成分を



写真－4 重錘加速度および矩形板下端筋歪の応答波形

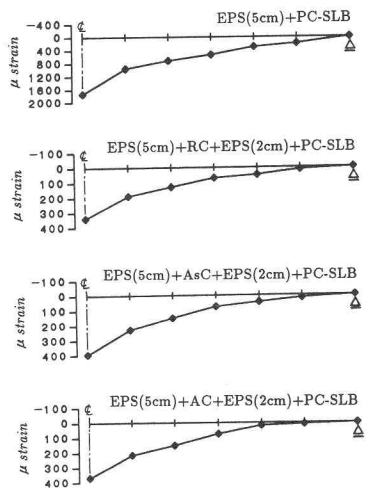
除去した芯材 RC の歪($B1'$)波形とほぼ相似な分布性状を示している。その最大応答は芯材の最大応答時より数 $msec$ 遅れて発生し、その歪値も 340μ と芯材の $1/6$ 程度に減少していることがわかる。これより三層緩衝構造を用いる場合、荷重載荷時間が四辺単純支持 PC 矩形板の固有振動周期の2倍程度に延びたため、芯材の応答反力が裏層 EPS 材を透過して作用する強制振動状態になっているものと考えられる。また、 $PC-SLB$ 鉄筋歪の減少は前項の考察より、芯材の衝撃荷重分散効果と裏層 EPS 材の載荷面全体における緩衝効果によるものと推察される。

図－10には裏層 EPS 材厚 $2cm$ の三層緩衝構造を用いる場合と EPS 材単層を用いる場合の最大応答時の $PC-SLB$ 下端筋曲げ歪分布を比較

して示している。三層緩衝構造の場合、前項でも述べているように AsC , AC は本実験前に大きな損傷を受けているものの、最大歪値、歪分布とも RC とほぼ同様であり、未だ三層緩衝構造の芯材として十分機能を果たしていることがわかる。また、これら三層緩衝構造の場合は、その最大応答歪が EPS 材単層の場合の $1/4$ 以下となっており、主構造の応答問題からも緩衝性能に優れた構造であることを明確に示している。表－4には最大応答時の $PC-SLB$ 中央部下端筋歪を一覧にして示している。裏層 EPS 材厚が $10cm$ の場合は EPS 材単層の場合に比較してほぼ $1/7 \sim 1/8$ の値となっており、三層緩衝構造を用いることによって一層の緩衝効果を期待でき、主構造の断面を低減できることが明らかになった。

4. まとめ

道路網の安全施設として建設されているロックシェッド構造の緩衝材として、三層緩衝構造を取り上げ重錘落下による室内実験によってその概略的な緩衝性能について検討を行った。本論文で採用した構造は表裏層が軽量で緩衝性能に優れている発泡スチロール (EPS) 材、芯材が補強コンクリート板から構成されるものである。実験は裏層 EPS 材厚や芯材コンクリート板を RC , PC あるいは新素材繊維である組紐状 $AFRP$ ロッドを補強筋として用いたコンクリート板 (AsC , AC) に変えた場合について行った。実験は、1) 基部にロードセル板を配置して伝達衝撃力の作用分布を測定する方法、2) 主構造として四辺単純支持 PC 矩形板を用いた場合の応答歪を測定する方法の2ケース



図－10 最大応答時の $PC-SLB$ 下端筋曲げ歪分布

表－4 $PC-SLB$ 中央下端筋最大歪

表層 EPS (cm)	芯材	裏層 EPS (cm)	$PC-SLB$ 歪 (μ strain)
5	RC	2	340
//		5	328
//		10	198
5	AsC	2	395
//		5	352
//		10	252
5	AC	2	368
//		5	344
//		10	246
5			1740

について行った。

本実験の範囲内で得られた結果を要約すると、

- 1) 三層構造を用いたことによって伝達衝撃力を基部全体に分布させることができ、この強度を EPS 材単層の場合の数十分の一に軽減できることが明らかになった。
- 2) 四辺単純支持 PC 矩形板を主構造とした場合の下端筋歪分布より、三層緩衝構造の場合は裏層 EPS 材厚が 2cm の場合で EPS 材単層の場合の 1/4 以下、10cm の場合で 1/7～1/8 程度に低減可能であることがわかった。
- 3) 三層緩衝構造は芯材の剛性により、荷重分散の効果と裏層材のせん断破壊を防止することができるため、裏層材全体の緩衝性能を有効に利用でき単層緩衝構造に比較してより合理的な緩衝システムであるものと考えられる。

以上より、室内実験に基づいて三層緩衝構造の定性的な緩衝性能について明らかにすることができた。しかしながら、ここで得られた結論は重錘重量を 100kgf、芯材コンクリート板厚を 10cm に限定した場合の結果に基づいたものである。今後は実物大模型を用いてその有効性について検討を行い、ロックシェッドなど衝撃荷重載荷に対する構造物の合理的設計法確立のための基礎的資料を提供したいと考えている。

謝辞：本研究の一部は、平成 2 年度および平成 3 年度文部省科学研究費一般研究 (C) (研究代表者 岸徳光、課題番号 02650320, 03650372)、平成 3 年度文部省科学研究費試験研究 B(1) (研究代表者 松岡健一、課題番号 03555100) の補助により行った。また、実験に用いられている EPS 材は三菱油化 (株) より、新素材繊維である組紐状 AFRP ロッドは三井建設 (株) よりご提供戴いた。さらに実験にあたっては室蘭工業大学大学院生西弘明君に多大なご協力を戴いた。ここに記して感謝致します。

(参考文献)

1. 日本道路協会、落石対策便覧、1983.7、pp1～239
2. 吉田 博、栢谷 浩、佐藤 真、井原明美 ” 落石実験データベースの作成と落石の衝撃力評価について ” 構造工学論文集、Vol.33A、1987.3、pp571～583
3. 佐藤匡之、岸徳光、中野修、能町純雄 ” 重錘落下衝撃に対する砂及び EPS 材の緩衝効果 ” 土木学会第45回年次学術講演会講演論文集第I部、1990.9、pp500～501
4. 吉田 博、松葉美晴、法貴貫志郎、久保田努 ” 発泡スチロールの落石に対する緩衝効果に関する実験的研究 ” 土木学会論文集、第427号/5-14、1991.3、pp143～152
5. 岸 徳光、吉田絃一、松岡健一、能町純雄 ” 層状弾性体にモデル化した覆工敷砂部の衝撃応答解析 ” 構造工学論文集、Vol.34A、1988.3、pp817～826
6. 三上 浩、岸 徳光、松岡健一、能町純雄 ” 組紐状 AFRP ロッドを用いたコンクリートスラブの重錘落下衝撃挙動 ” 構造工学論文集、Vol.37A、1991.3、pp1591～1602
7. 岸 徳光、松岡健一、中野修、後藤雪夫 ” 衝撃荷重載荷用ロードセルの試作 ” 荷重等による衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集、土木学会、1991.3、pp115～118
8. 発泡スチロール土木工法開発機構 ” 設計マニュアル ”、発泡スチロール土木工法技術資料、1988.10

(1991 年 9 月 30 日受付)