

AFRP補強RC版を芯材とする三層緩衝構造体の緩衝性能に及ぼす表、裏層材の影響

EFFECTS OF TOP AND BOTTOM LAYERS ON SHOCK ABSORBING PERFORMANCES OF
A 3-LAYERED CUSHION SYSTEM USING RC SLAB REINFORCED WITH AFRP RODS

三上 浩* 岸 徳光** 佐藤昌志*** 中野 修**** 松岡健一*****

By Hiroshi MIKAMI, Norimitsu KISHI, Masashi SATO, Osamu NAKANO and Ken-ichi MATSUOKA

In this paper, the effects of top and bottom layers on shock absorbing performances of a 3-layered cushion system using RC core slab reinforced with Aramid Fiber Reinforced Plastic (AFRP) rods are discussed on the basis of experimental results. This system consists of RC core slab, sand and/or Expanded Poly-Styrol (EPS). In order to study the effects of top and bottom layers on the shock absorbing performances, both material and thickness of top and bottom layer were changed. Furthermore, these results were compared with the results when single sand layer was used as cushion material. The experiments were conducted by a free drop of 3 tf heavy weight from a height of 30 m on the center of the cushion system.

The results achieved from these experiments are: (1) Transmitted impact force can be effectively decreased by using thicker sand layer in top and EPS in bottom. (2) Impact forces in case using sand in bottom layer are bigger than in case of single sand layer. (3) Thickness and material of top layer are more effective against the crack pattern of RC core slab.

Key Words: AFRP rods, impact force, cushion system, EPS

1.はじめに

近年、構造物の衝撃的な荷重に対する安全性をより一層高めるための研究が重要構造物を対象として盛んに行われている。ここでの重要構造物とは、その破壊や損傷が人命や社会基盤に多大な影響を与える構造物であり、例えば道路の落石覆工や落雪防護施設、原子力発電所の諸施設ならびに危険物貯蔵施設などである。この研究が盛んに行われるようになった理由として以下の二点が考えられる。一つは、各種のセンサーを始めとする計測機器および技術の進歩と大容量のデータを簡便に記憶、処理できる EWS などの普及により、より精密な実験、解析が可能となったことである。他方は、土木、建築用途として利用可能な各種の新素材が開発され、一部で実用化され始めていることである。

著者らはこの様な現状をふまえ、構造物を衝撃的な荷重に対してより安全なものとするために以下の二つの方向で研究を行っている。一つは、最近実用化が徐々になされている連続繊維補強材 (FRP ロッド) をコンクリート部材の補強材に適用した場合の構造物の耐衝撃性を向上させるための研究である^{1)~7)}。他方は、本体構造物に作用する衝撃的な荷重を緩衝するための緩衝構造体の研究で、新素材である EPS (Expanded Poly-Styrol) をその構成材料として用いた三層緩衝構造体 (以下、ここではこれを三層構造と称する) の研究である^{8)~11)}。

著者らの既往の研究より、ロッド表面に珪砂を接着したアラミド繊維製の AFRP ロッドで補強したコンクリート部材 (RC 版、RC 梁) は、異形鉄筋で補強した部材と同等以上の耐衝撃性を有していることが明らかになりつつある。

* 工博 三井建設 (株) 技術研究所 主任研究員 (270-01 流山市駒木 518-1)

** 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)

*** 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 条 3 丁目)

**** 工博 北海道開発局稚内開発建設部次長 (097 稚内市大黒 4-11-16)

***** 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)

また、少ない試験体数であるが、AFRP ロッドで補強した RC 版を芯材として用いた三層構造は敷砂単層に比べて優れた緩衝効果を有することが確認されている。三層構造の基本概念は、表層材によって衝撃力の一部を緩衝し、それを芯材 RC 版で分散し、さらに分散された荷重を裏層の緩衝材で再度緩衝することである。この緩衝効果が期待できる表・裏層材として、著者らは現在のところ敷砂、EPS の 2 種類を想定している。しかし、表・裏層材の材質のみならず、厚さによっても緩衝特性が変わるものと予想され、同時に芯材 RC 版の断面特性によっても緩衝特性が変化するものと予想される。

本研究は、AFRP ロッドで補強した RC 版を芯材とする三層構造において、表・裏層材の材質と厚さを変化させた実大規模の屋外実験を行い、それらが緩衝特性に与える影響を詳細に検討したものである。また、比較のために敷砂単層の場合についても実験を行い、緩衝構造の違いによる緩衝特性を検討した。本実験では、表層材と裏層材に敷砂または EPS を使用し、剛基礎上に三層構造を設置した。衝撃荷重は緩衝構造体の中央部に直径 100 cm、重量 3 tf の重錘を 30 m の高さから 1 回のみ自由落下させて載荷した。重錘には加速度計を、剛基礎上には周波数特性の良好な衝撃試験用ロードセルを設置して応答波形を測定し、重錘衝撃力や伝達応力の経時変化などを検討した。

2. 実験の概要

2.1 実験方法

実験は図-1 に示す約 7 m 四方の鉄筋コンクリート基礎上の L 形擁壁に囲まれた約 4 m 四方の空間内に、三層構造や敷砂単層を設置して行った。衝撃荷重は重量 3 tf、直径 100 cm、高さ 97 cm で底部が球状の重錘を落下高さ 30 m より緩衝体中央に 1 回のみ自由落下させて載荷した。

2.2 実験ケース

本研究で行った実験ケースは、表・裏層材の材質および厚さを各々変化させた三層構造が 5 ケースと比較のために行った 120 cm 厚の敷砂単層のケースを加えた 6 ケースである。芯材 RC 版の寸法は全て 400 cm × 400 cm × 20 cm で、組紐状 AFRP ロッドを補強筋比 1% で配置した。実験ケースの一覧を表-1 に示す。表層材の影響は裏層材を EPS 50 cm とし、表層材を敷砂 25 cm と 50 cm の 2 ケースおよび EPS 50 cm で検討した。また、裏層材の影響は表層材を敷砂 50 cm とし、裏層材が EPS 50 cm と 100 cm の 2 ケースおよび敷砂 50 cm で検討した。

2.3 使用材料

(1) 芯材 RC 版

芯材 RC 版の補強筋に用いた組紐状 AFRP ロッドの特性を表-2 に示す。表中には、特性を比較するためほぼ同断面積の D13 の特性についても示した。アラミド砂付きロッド RA13S は、アラミド繊維を組紐機で編み上げた後樹脂を含浸し、樹脂硬化前の表面に 5 号珪砂を接着した後樹脂を硬化させて成形したものである。芯材 RC 版には RA13S を 10 cm 間隔で複筋直交配置した。なお、RC 版に用いたコンクリートの設計基準強度は 210 kgf/cm² であり、粗骨材の最大寸法は 25 mm である。実験時の材令は 9 日 ~ 15 日で、圧縮強度は 188 ~ 218 kgf/cm²、弾性係数は 2.67 ~ 2.79 × 10⁵ kgf/cm² である。

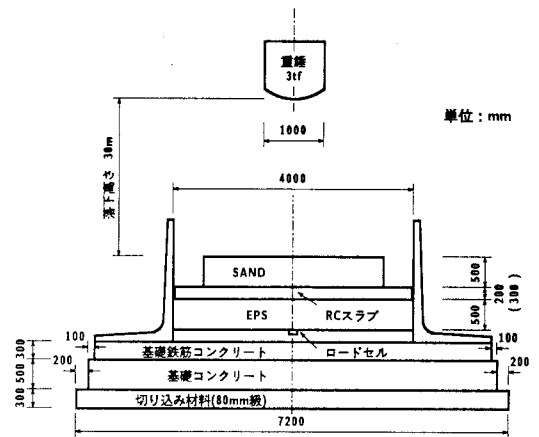


図-1 三層構造の横断面形状寸法

表-1 実験ケースの一覧

実験ケースの呼称	表層材の材質および厚さ(cm)	裏層材の材質および厚さ(cm)
S50-E50	敷砂、50	EPS、50
S50-E100	敷砂、50	EPS、100
S50-S50	敷砂、50	敷砂、50
E50-E50	EPS、50	EPS、50
S25-E50	敷砂、25	EPS、50
S120	敷砂単層、120	

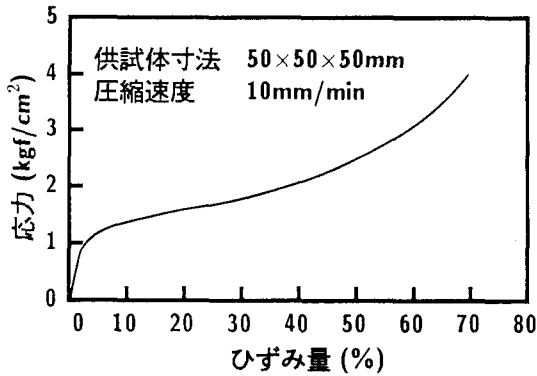


図-2 EPSの応力-歪関係

(2) 敷砂およびEPS

用いた敷砂の単位体積重量は 1.6tf/m^3 、比重は2.59、均等係数は5.72である。なお、実験時の含水比および相対密度は平均でそれぞれ5.3%、54.3%であった。敷砂は20cmごとに平均的に踏み固めて所定の厚さとした。EPSは密度が 20kg/m^3 、5%歪時の圧縮応力が 1.2kgf/cm^2 、ポアソン比が0.05である。図-2に本実験で用いたEPSの応力-歪関係を示す。弾性挙動を示す領域は圧縮歪が2%程度以下であり、その応力は5%歪時の圧縮応力の約2/3である。また、歪量が60%程度までは応力の変化が少ない状態で歪量が増加し、高いエネルギー吸収性能を有していることが分かる。

2.4 計測およびデータ処理システム

本実験に用いた計測およびデータ処理システムのフローチャートを図-3に示す。本実験での測定項目および点数は、重錘衝撃力を算定するための重錘加速度4点と、緩衝構造を透過してコンクリート基礎へ伝達される伝達衝撃力を算定するための衝撃荷重測定用ロードセル39点である。ロードセル39点は図-1に示す方向に載荷点中心を原点とする対称として10cm間隔で一列に配置した。なお、ロードセルの受圧部の直径は32mm、応答周波数は0~600Hz、応力レベルでの荷重容量は 100kgf/cm^2 である。

3. 実験結果および考察

3.1 伝達応力の経時変化および分散性状

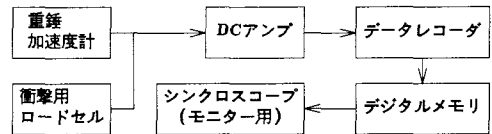
(1) 表層材の影響

図-4(a)に、裏層材がEPS 50cmで表層材を3種類に変化させた三層構造および敷砂単層の場合の伝達応力の経時変化を示す。ここでは応力が載荷点中心を原点として二方向で対称であったため一方についてのみ示した。なお、経時変化はA/D変換の開始時刻を起点として示した。敷砂50cmを表層材とした場合は応力がほぼ均等に分散され最大応力が最も小さい。EPS 50cmの場合は、中央部に応力が若干集中したため伝達応力が敷砂50cmの場合よりも大きく、伝達応力が載荷点中央部より最外縁に向けて双曲線的に減少している。一方、敷砂25cmでは中央部の伝達応力がさらに大きく、応力の分散効果は前2者に比べて劣っている。すなわち、本実験の範囲では、表層材として敷砂50cmの場合が最も緩衝効果が優れていることが分かる。これは、表層材にEPSや薄い敷砂を用いた場合には、重錘がEPSや敷砂内に貫入し、芯材に直接衝突するためと考えられる。

表-2 組紐状AFRPロッドの材料特性

補強筋名	RA13S	D13
材質	アラミド繊維	SD30A
公称直径 (mm)	12.7	12.7
公称断面積 (mm ²)	127	127
引張耐力 (tf)	19.2	5.7 ~ 7.7
降伏耐力 (tf)	-	3.8 以上
弾性係数 $\times 10^6 (\text{kgf/cm}^2)$	0.7	2.1
弾性伸び (%)	2.0	0.2

(計測システム)



(データ処理システム)

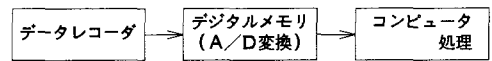


図-3 計測およびデータ処理システム

次に、敷砂単層と三層構造の場合の伝達応力の経時変化を比較する。三層構造はいずれも伝達応力が載荷点中央部からほぼ最外縁にまで分散し、比較的分散性状が良好である。一方、敷砂単層の場合の伝達応力は載荷点中央部からの半径が 80 cm 程度内だけに集中し、載荷点中央部での伝達応力は最大 30 kgf/cm² 程度にも達している。なお、応力波形の継続時間について4者を比較すると、三層構造では最大伝達応力が大きな順に継続時間が長く、敷砂単層が最も短いことが分かる。以上を要約すると、衝撃力を分散して載荷点中央部の伝達応力を小さくするためには、表層材の材質としてEPSよりも敷砂の方が優れている。しかし、その効果を十分に発揮するためには 50 cm 程度の厚さが必要である。

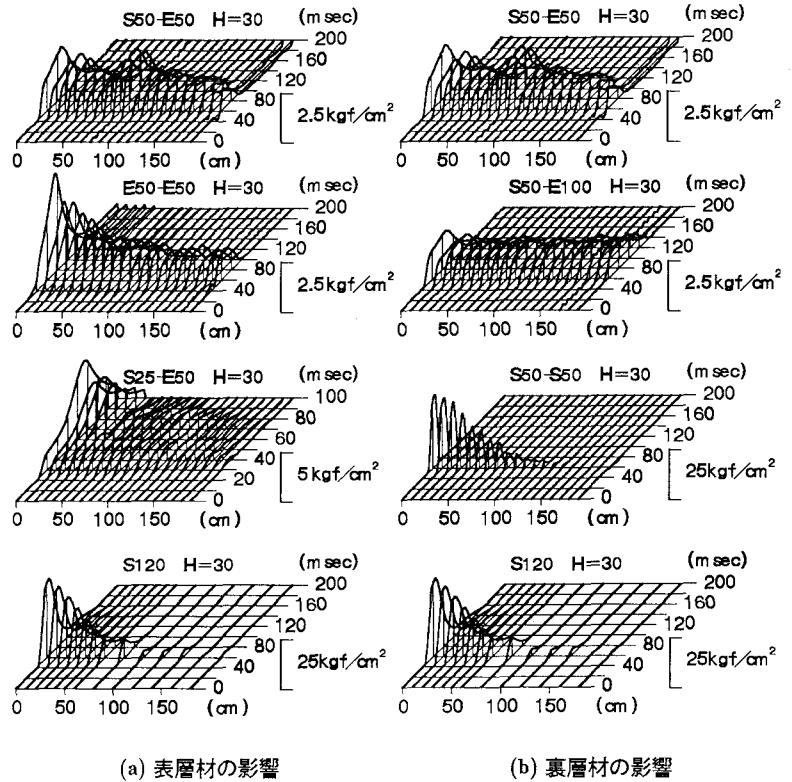


図-4 伝達応力の経時変化

(2) 裏層材の影響

図-4(b)に、表層材が敷砂 50 cm で裏層材を 3 種類に変化させた三層構造および敷砂単層の場合の伝達応力の経時変化を示す。裏層材を EPS とした場合には伝達応力が均等に分散される。特に EPS が厚い場合には載荷点中央から端部まで応力が平均化される度合いが高い。しかしながら、伝達応力の最大値に着目すると、EPS 厚が 50 cm と 100 cm では大差がない。

一方、敷砂を裏層材とした場合は、伝達応力が載荷点中央部に集中している。この傾向は敷砂単層の場合と同様である。なお、伝達応力の最大値は敷砂単層よりも若干小さいものの、EPS を用いた場合に比べて 10 倍以上と極めて大きい。これは、剛性の高い芯材 RC 版の裏面に敷砂を敷設することにより、敷砂の変形性能が拘束され十分な緩衝効果が発揮出来ないためと考えられる。なお、敷砂を用いた場合の応力の継続時間はEPSを用いた場合よりも短い。以上を要約すると、載荷点中央部の伝達応力を小さくして継続時間を長くするには、裏層材の材質として EPS の方が優れているが、厚さを倍にしても応力レベルには大差がなく、本実験での衝撃荷重レベルに対しては EPS の厚さは 50 cm 程度で十分であるものと考えられる。

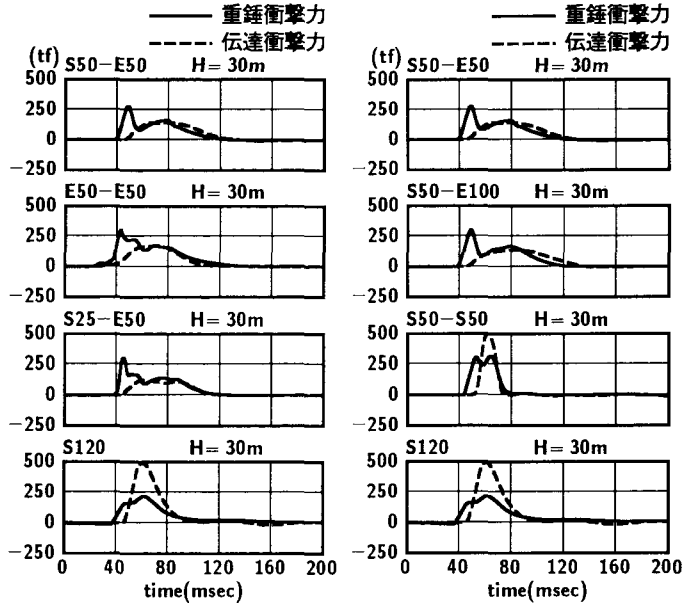
3.2 衝撃力の経時変化

本研究においては 2 種類の衝撃力を考慮することとした。一つは衝突時の重錘の加速度に重錘重量を乗じて得られる重錘衝撃力であり、他は 39 点のロードセルより得られた伝達応力を総和して得られる伝達衝撃力である。なお、伝達衝撃力は応力分布が載荷点中心を原点として点対称であるものと仮定し、かつ測点間を線形として算定した。ここでは、実測値をより多く用いるために軸対称点の応力を平均化している。図-5(a)、(b)に、重錘衝撃力の経時変化を実線で、伝達衝撃力の経時変化を破線で示した。なお、経時変化は A/D 変換の開始時刻を起点として示した。

(1) 表層材の影響

図-5(a)は裏層材を EPS 50 cm とし、各々の表層材を用いた三層構造と敷砂単層の場合の衝撃力の経時変化を示したものである。三層構造の伝達衝撃力の経時変化はほぼ類似したものであり、表層材の影響を顕著には受けていない。一方、重錘衝撃力は、敷砂を用いた場合には載荷初期に急激に増加してピークを示した後減少し、その後なだらかな変化を示しているが、EPSを用いた場合にはピークを示した後ほぼ直線的に減少している。このように、重錘衝撃力の経時変化の傾向は若干異なるがその最大値には三者で大差がない。すなわち、表層材が重錘および伝達衝撃力の経時変化に与える影響はさほど顕著ではない。

一方、敷砂単層の場合、三層構造と異なり伝達衝撃力の方が重錘衝撃力よりも大きく、重錘衝撃力は三層構造のように急激には増加していない。また、敷砂単層の場合の両衝撃力の継続時間は三層構造よりも 20 msec 程度短い。



(a) 表層材の影響

(b) 裏層材の影響

図-5 重錘衝撃力と伝達衝撃力の経時変化

(2) 裏層材の影響

図-5(b)は表層材を敷砂 50 cm とし、各々の裏層材を用いた三層構造および敷砂単層の場合の衝撃力の経時変化を示したものである。EPS を裏層材に用いた場合は厚さに関わらず重錘および伝達衝撃力が同様な経時変化を示し、いずれの層厚でも重錘衝撃力が伝達衝撃力よりも大きい。一方、敷砂を用いた場合は伝達衝撃力が重錘衝撃力に比較して著しく大きく、この傾向は敷砂単層にも見受けられる。また、敷砂を用いた場合は両衝撃力の継続時間が EPS を用いた場合に比べて極端に短いことが分かる。すなわち、重錘衝撃力と伝達衝撃力の大小関係および衝撃力の継続時間に与える裏層材の材質の影響は極めて大きい。これは、三層構造では表層材が衝撃力を一部緩衝した後、下位の芯材 RC 版と裏層材が各々衝撃力の分散、再緩衝を行うため、剛性の高い RC 版の下位にある裏層材の変形性能が緩衝性状に極めて大きな影響を与えるためと考えられる。

3.3 最大重錘衝撃力と最大伝達衝撃力

図-6および図-7(a)、(b)にそれぞれ最大重錘衝撃力と最大伝達衝撃力およびそれらの継続時間を示した。

(1) 表層材の影響

図-6は裏層材が EPS 50 cm で、各々の表層材を用いた三層構造および敷砂単層の場合について上記の関係を示したものである。(a)図から、最大重錘衝撃力は敷砂単層の場合が最も小さく、三層構造では EPS を用いた場合が最も大きいことが分かる。一方、最大伝達衝撃力は敷砂単層の場合が著しく大きく、三層構造の3倍程度以上を示している。三層構造では EPS を用いた場合に伝達衝撃力が大きく、三層構造の表層材としては EPS よりも敷砂の方が両衝撃力を小さくする効果に優れていることが分かる。

(b)図から、重錘衝撃力の継続時間はEPSを表層材に用いた場合に長く、敷砂単層の場合に最も短いことが分かる。一方、伝達衝撃力の継続時間も EPS を用いた場合が最も長く、敷砂単層の場合が最も短い。すなわち、EPS を表層材に用いた場合は衝撃力が比較的大きくなるが、継続時間を長くすることができる。敷砂単層の場合には最大重錘衝撃力は最も小さいが、最大伝達衝撃力は最も大きく、両衝撃力の継続時間は最も短い。以上を要約すると、表層材と

して両衝撃力を小さくする効果は敷砂の方が優れ、継続時間を長くする効果では EPS の方が優れている。

(2) 裏層材の影響

図-7 は表層材が敷砂 50 cm で、各々の裏層材を用いた三層構造および敷砂単層の場合について上記の関係を示したものである。これから、最大重錘衝撃力は敷砂単層が最も小さく、三層構造ではどの裏層材を用いてもほぼ同程度の衝撃力を示すことが分かる。一方、最大伝達衝撃力は敷砂と EPS を用いた場合で著しく異なり、EPS を用いた方が 1/3 程度と小さい。すなわち、最大伝達衝撃力に与える裏層材の影響は表層材よりも顕著である。

継続時間を (b) 図で比較すると、敷砂を用いた三層構造の場合に両衝撃力の継続時間が最も短い。すなわち、三層構造の裏層材として敷砂を用いる場合は、衝撃力が大きく継続時間も短いことより、敷砂単層よりも緩衝効果に劣っているものと考えられる。なお、衝撃力および継続時間に与える EPS の厚さの影響はさほど顕著ではない。以上を要約すると、三層構造の裏層材として、EPS は両衝撃力を小さくしかつ継続時間を長くする効果に優れている。

3.4 芯材のひびわれ性状

図-8 (a), (b) に実験終了後の芯材 RC 版のひびわれ性状を示した。(a) 図は表層材の影響に着目して、(b) 図は裏層材の影響に着目して各々示したものである。

(1) 表層材の影響

RC 版表面のひびわれは大別して 2 種類である。一つは載荷点を中心とする円周状のひびわれで、他方は十字に直交するひびわれである。表層材の敷砂が薄い場合にはこれらのひびわれが明瞭に見受けられ、載荷点中央部分が大き

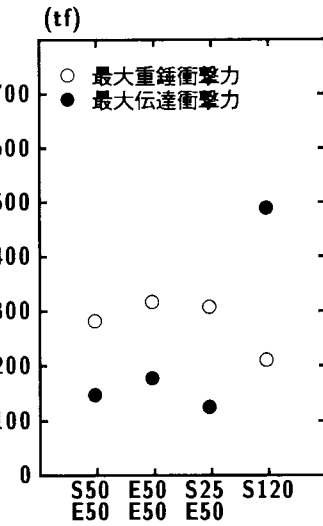


図-6(a) 最大重錘衝撃力と最大伝達衝撃力 (表層材の影響)

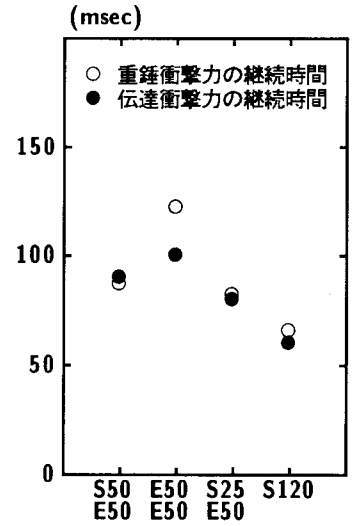


図-6(b) 重錘衝撃力と伝達衝撃力の継続時間 (表層材の影響)

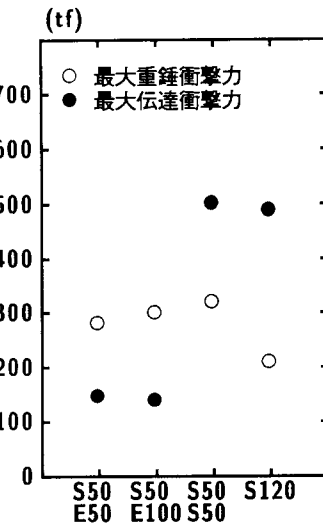


図-7(a) 最大重錘衝撃力と最大伝達衝撃力 (裏層材の影響)

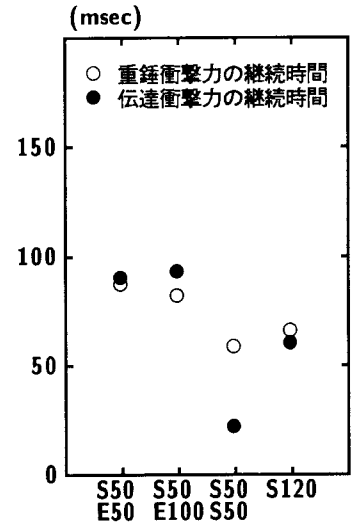
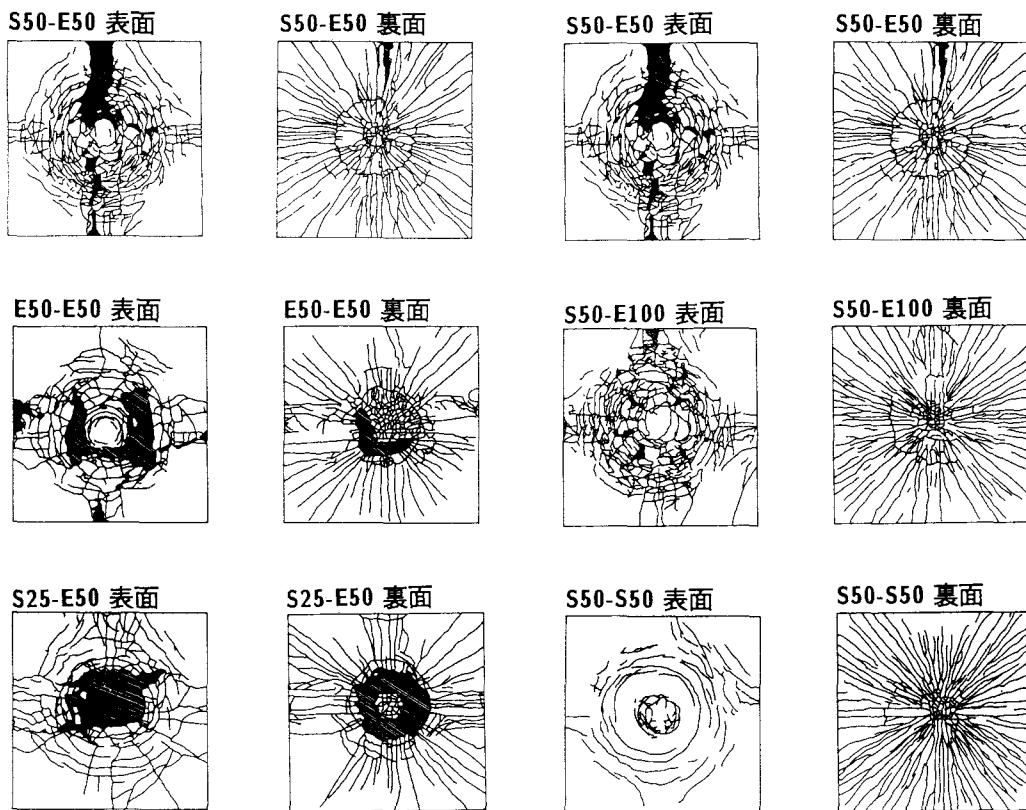


図-7(b) 重錘衝撃力と伝達衝撃力の継続時間 (裏層材の影響)



(a) 表層材の影響

(b) 裏層材の影響

図-8 ひびわれ性状

く陥没している。一方、敷砂が厚い場合は十字に直交する部分での損傷が著しく、載荷点中央部分の損傷は顕著ではない。なお、EPS を用いた場合は十字に直交するひびわれがさほど顕著ではない。

RC 版裏面のひびわれを大別すると円周方向と放射方向の 2 種類である。敷砂厚さが薄い場合は裏面が大きく剝離しているが厚い場合は剝離が顕著ではない。また、ひびわれの分散性は敷砂厚が厚いほど良好のようである。EPS を用いた場合は中央の一部分で剝離がみられ、敷砂厚の薄い場合と同様にひびわれの分散性状は良好ではない。

(2) 裏層材の影響

RC 版表面のひびわれは、敷砂を用いた場合は円周状に明瞭に発生するが、十字に直交するひびわれは少ない。円周状のひびわれも EPS を用いた場合ほどは分散していないが、RC 版表面の損傷は最も軽微である。EPS を用いた場合には薄いと直交するひびわれが顕著であるが、厚いと全体的にひびわれが分散している。裏面のひびわれは、EPS が薄い場合には円周状のひびわれが顕著であるが、その他の場合には円周状のひびわれはさほど明瞭ではない。これに対して、放射状のひびわれが密に多数発生している。ただし、EPS が薄い場合にはこの放射状のひびわれの分散性が最も乏しい。

以上を要約すると、表層材の材質および厚さは RC 版の表、裏面のひびわれ性状に大きな影響を与える。これは、衝撃荷重載荷初期に表層材が衝撃力を緩衝して芯材に荷重を伝達するため、芯材のひびわれ性状に与える表層材の影響が大きいためと考えられる。また、裏層材の材質および厚さはスラブ表面のひびわれ性状に大きな影響を与えるが厚さよりも材質の影響が大きく、RC 版裏面のひびわれ性状に与える影響はさほど顕著ではない。

4. まとめ

組紐状AFRP ロッドで補強した芯材RC版を用いた三層構造の緩衝特性に与える表・裏層材の影響を検討するため、剛な基礎上に緩衝構造体を設置し、その中央に3 tfの重錘を高さ30 mから一回のみ自由落下させて実験を行った。また、三層構造と敷砂単層の場合の緩衝性状を比較検討した。本実験の範囲内で明らかになった結果を要約すると、

- 1) 載荷点中央部の伝達応力を小さくするためには表層材として厚く敷設した敷砂を用いる方が効果が大きい。また、裏層材としてはEPSの方が効果が大きい、厚くしても効果は顕著には現れない。
- 2) 表層材が衝撃力の経時変化に与える影響はさほど顕著ではない。しかし、裏層材の材質は衝撃力の経時変化に大きな影響を与える。
- 3) 表層材として最大重錘衝撃力および最大伝達衝撃力を小さくする効果は敷砂の方が優れているが、継続時間を長くする効果はEPSの方が優れている。
- 4) 裏層材として両衝撃力を小さくし、継続時間を長くする効果はEPSの方が優れている。
- 5) 敷砂を裏層材に用いると、敷砂単層よりも最大重錘衝撃力および最大伝達衝撃力が大きく、かつ継続時間が短くなる。従って、三層構造の裏層材として敷砂を用いる際には留意する必要がある。
- 6) 表層材の材質および厚さはRC版表、裏面のひびわれ性状に大きな影響を与える。一方、裏層材の材質および厚さはRC版表面のひびわれ性状に影響を与えるが、厚さよりも材質の影響が大きい。また、裏層材がRC版裏面のひびわれ性状に与える影響は少ない。

最後に、本研究を行うに当たり室蘭工業大学建設システム工学科大学院生の佐竹利治君と松坂祐介君にご支援を頂きました。また、EPSは三菱油化バーデイッシュ(株)にご提供頂きました。記して感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 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，pp.1591-1602，1991.3.
- (2) H.Mikami, N.Kishi, K.G.Matsuoka, S.G.Nomachi : Dynamic Behavior of Concrete Slabs Reinforced by Braided AFRP Rods under Impact Loads, SMIRT11, Transactions, Vol.J, pp.45-50, 1991.8.
- (3) 三上浩、加藤正利、田村富雄、岸徳光：組紐状AFRP ロッドで補強したRCスラブの耐衝撃性に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.14，No.2，pp.661-666，1992.
- (4) H.Mikami, M.Kato, T.Tamura, N.Kishi : Impact Resistance of Concrete Slab Reinforced with Braided AFRP Rods, Proceedings of The International Symposium on Impact Engineering, Vol.1, pp.229-234, 1992.11.
- (5) 田村富雄、三上浩、岸徳光、松岡健一：鉄筋およびAFRP ロッドで補強したRCスラブの耐衝撃挙動に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.39A，pp.1631-1644，1993.3.
- (6) 三上浩、田村富雄、岸徳光、松岡健一：組紐状AFRP ロッドで補強したRC梁の耐衝撃挙動，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.15，No.2，pp.923-928，1993.6.
- (7) 田村富雄、三上浩、岸徳光、松岡健一：AFRP ロッドを緊張材に用いたPC梁の衝撃挙動に及ぼす緊張材位置の影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.15，No.2，pp.929-934，1993.6.
- (8) 岸徳光、中野修、三上浩、松岡健一：組紐状AFRP ロッドで補強したRCスラブを用いた大型緩衝構造の衝撃吸収性能，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.14，No.2，pp.655-660，1992.6.
- (9) T.Tamura, H.Mikami, O.Nakano, N.Kishi : Absorbing Capacity of Cushion System Using Concrete Slab Reinforced with AFRP Rods, Fiber-Reinforced-Plastic Reinforcement for Concrete Structures, SP-138, ACI, pp.301-313, 1993.
- (10) 岸徳光、中野修、西弘明、田村富雄：AFRP ロッドで補強したRCスラブを用いた緩衝構造に関する実証実験，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.15，No.2，pp.935-940，1993.6.
- (11) 菅田紀之、中野修、岸徳光、三上浩：PC多主桁上に設置した新素材を用いたRC版を有する緩衝構造の緩衝特性，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.15，No.2，pp.941-946，1993.6.

(1993年9月16日受付)