

## AFRPロッドを補強筋としたRCスラブを芯材とする三層緩衝構造の緩衝特性

SHOCK ABSORBING PROPERTIES OF A 3-LAYERED CUSHION SYSTEM  
USING RC SLAB REINFORCED WITH AFRP RODS

田村富雄\* 岸徳光\*\* 佐藤昌志\*\*\* 中野修\*\*\*\* 渡辺明\*\*\*\*\*

By Tomio TAMURA, Norimitsu KISHI, Masashi SATO, Osamu NAKANO and Akira WATANABE

In this paper, shock absorbing performance of a 3-layered cushion system using RC core slab reinforced with Aramid Fiber Reinforced Plastic (AFRP) rods is discussed on the basis of experimental results. This system consists of RC core slab, sand (top) and Expanded Poly-Styrol (bottom). In order to study the influence of the properties of RC slab on the shock absorbing performance, both material and reinforcement ratio of reinforcing bar and thickness of RC slab 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 a cushion system.

The results achieved from these experiments are: (1)The transmitted stress of a 3-layered cushion system is distributed more effectively than that of single sand layer. (2)Shock absorbing performances of a 3-layered cushion system would be influenced by the properties of RC slab. (3)AFRP rods are useful for reinforcing the RC slab in a 3-layered cushion system.

Key Words: AFRP rods, RC slab, impact force, cushion system

## 1. はじめに

近年、重要構造物（道路の落石防護施設や原子力発電所の諸施設ならびに危険物貯蔵施設など）の衝撃的な荷重に対する安全性を一層高めるための研究が盛んに行われている。構造物の耐衝撃性を確保するための研究には次の二通りの方向性が考えられる。一つは衝撃荷重が構造物に直接作用する場合の挙動を検討することであり、他は衝撃的な荷重を緩衝し、構造物に作用する断面力を低減するための緩衝構造体を検討することである。

一方、コンクリート構造物の耐久性を向上させる目的で、近年、耐蝕性に優れ高い引張強度を有する連続繊維補強材（FRPロッド）のコンクリート補強材への適用性が盛んに研究されている。著者らはこれらの現状をふまえ、FRPロッドで補強したRCスラブやRC梁、PC梁に直接衝撃荷重が作用した際の応答性状や耐衝撃性を室内実験を中心に検討してきた<sup>1)~5)</sup>。その結果、表面に珪砂を接着した組紐状のアラミド繊維製FRP（AFRP）ロッドで補強したRCスラブやRC梁の耐衝撃性は、異形鉄筋で補強したものと同等以上に優れていることが明らかになりつつある。また、緩衝構造体として敷砂およびEPS（Expanded Poly-Styrol）を各々表・裏層材として用いた組紐状AFRPロッドで補強したRCスラブを芯材とする三層緩衝構造体（以下、ここでは三層構造と称する）に関する大型実験を行い緩衝特性を検討してきた<sup>6)~9)</sup>。その結果、繰返し衝撃荷重載荷において、芯材RCスラブの補強筋の剛性（以下、ここでは補強筋の断面積にヤング係数を乗じたものを剛性と称する）や付着特性が三層構造の緩衝特性に影響を与え

\* 三井建設（株）技術研究所 副所長（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 九州工業大学教授 工学部設計生産工学科（804 北九州市戸畑区仙水町 1-1）

ることが考えられた。

本論文は、芯材として組紐状のAFRPロッドで補強した 20 cm または 30 cm 厚の RC スラブを用い、表・裏層材として各々 50 cm 厚の敷砂および EPS を用いた三層構造の緩衝特性を検討したものである。芯材 RC スラブの力学的な観点での役割は、表層材によって緩衝された衝撃力を分散して裏層材に伝達することにある。また、芯材は長期間にわたって安定した荷重分散効果を保持できるものが理想的である。そのため、芯材の補強筋としては耐蝕性および衝撃力吸収性能に優れているものが望ましく、芯材としては衝撃荷重載荷後の損傷が軽微であることが望ましい。AFRP ロッドは耐蝕性に優れ高い引張耐力を有し、鉄筋や炭素繊維製ロッドに比べて弾性伸び率が大きいことから補強筋として有効と考えられる。

このような観点から、本研究では特に芯材 RC スラブの厚さ、スラブの補強筋の剛性および付着特性ならびに補強筋比を変化させ、これらが三層構造の緩衝特性に与える影響を比較検討した。さらに、120 cm 厚の敷砂単層を緩衝材として用いた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について比較検討している。なお、衝撃荷重は全実験ケースとも 3 tf の重錘を高さ 30 m から緩衝構造体中央に一回のみ自由落下させて載荷している。

## 2. 実験概要

### 2.1 実験方法と実験ケース

図-1 に本実験で用いた三層構造の横断面形状寸法を示す。本実験では、660 ~ 670 cm 四方で厚さが 100 cm の無筋および鉄筋コンクリート基礎上に縦、横 400 cm の三層構造（上層より敷砂 50 cm、RC スラブ 20 cm または 30 cm、EPS 50 cm）を配置した。衝撃荷重は重量 3 tf の重錘（直径 100 cm、高さ 97 cm の円柱体で底部は高さ 17.5 cm の球状）を 30 m の高さから緩衝構造体中央に自由落下させて載荷した。全実験ケースは表-1 に示す 6 ケースである。芯材 RC スラブの断面特性を変化させた三層構造に関する実験が 5 ケースで、比較のための敷砂単層に関する実験は 120 cm 厚さの 1 ケースのみである。なお、芯材 RC スラブの名称のうち、第一項目は補強筋の種類、第二項目はスラブ厚さ、第三項目は補強筋比を表す。ここで、補強筋比とは補強筋の断面積がスラブの有効断面積に占める割合である。

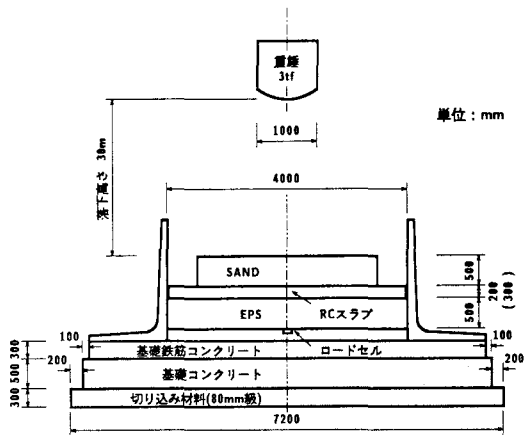


図-1 三層構造の横断面形状寸法

表-2 補強筋の材料特性

補強筋名	RA13 RA13S	RA9S	RA15S	D13
材質	アラミド 繊維	同左	同左	SD30A
公称直径 (mm)	12.7	9.0	14.7	12.7
公称断面積 (mm <sup>2</sup> )	127	63	170	127
引張耐力 (tf)	19.2	9.6	25.6	5.7 ~7.7
降伏耐力 (tf)	-	-	-	3.8 以上
弾性係数 $\times 10^6$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	0.7	同左	同左	2.1
弾性伸び (%)	2.0	同左	同左	0.2

表-1 実験ケースの一覧

芯材 RC スラブ	補強筋 の種類	スラブ 厚さ (cm)	補強筋比 (%)
As-20-1.0	アラミド砂付き ロッド RA13S	20	1.0
A-20-1.0	アラミド砂なし ロッド RA13	20	1.0
As-20-0.5	アラミド砂付き ロッド RA9S	20	0.5
As-30-1.0	アラミド砂付き ロッド RA15S	30	1.0
D-20-1.0	異形鉄筋 D13	20	1.0
S-120	敷砂単層	-	-

## 2.2 芯材 RC スラブの断面特性

補強筋の材料特性を表一2に示す。本実験に用いた補強筋のうち、RA13はアラミド繊維を組紐機で編み上げた後樹脂を含浸硬化して成形した組紐状AFRPロッドである。また、RA9S, 13S, 15Sは樹脂が硬化する前に5号珪砂をロッド表面に接着して成形したものである。なお、補強筋の配置は全スラブとも複筋配置である。コンクリートは粗骨材の最大寸法が25mmで、設計基準強度は $210 \text{ kgf/cm}^2$ である。なお、実験時の材令は9日～15日であり圧縮強度は $188 \sim 218 \text{ kgf/cm}^2$ 、弾性係数は $2.67 \sim 2.79 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ である。

## 2.3 表・裏層材の材料特性

表層材および敷砂単層に用いた砂の単位体積重量は $1.6 \text{ tf/m}^3$ 、比重は2.59、均等係数は5.72である。敷砂は20cm毎に平均的に踏み固め所定の厚さにした。裏層材として用いたEPSは密度が $20 \text{ kg/m}^3$ 、5%歪時の圧縮応力が $1.2 \text{ kgf/cm}^2$ 、ポアソン比が0.05である。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。本実験では $200 \text{ cm} \times 100 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ のブロックを組み合わせて所定の寸法とした。

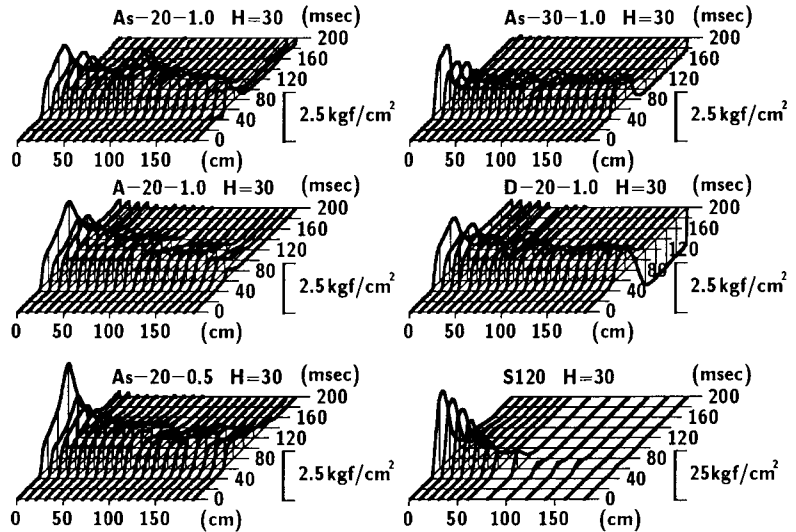
## 2.4 測定項目

本実験での測定点は、重錘衝撃力を算定するための重錘加速度4点と、コンクリート基礎上への伝達衝撃力を算定するために10cm間隔で一列に配置したロードセル39点である。なお、本実験に用いているロードセルは受圧部の直径が32mmで荷重容量が $100 \text{ kgf/cm}^2$ 、応答周波数が最大600Hzの衝撃荷重測定用に製作されたものである。また、各センサーからの出力はデータレコーダに一括集録し、A/D変換の後ワークステーションにて処理した。

## 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

図一2にロードセルより得られた伝達応力の経時変化および分散性状を示す。ここで、横軸は載荷点中央を原点とする各ロードセルの位置を示し、縦軸は伝達応力の大きさ、奥行き方向はA/D変換の開始時刻を起点とした経過時間を示す。ここでは伝達応力が載荷点中心から端部まで二方向についてほぼ対称であったため、一方向の応力分布のみを示した。全測定時間は全ての実験ケースで200msecである。



図一2 伝達応力の経時変化

補強筋の剛性の観点からAs-20-1.0とD-20-1.0を比較する。Asタイプでは載荷点中央と中央からの距離が80～90cmの2箇所まで応力が比較的大きいが、そこから端部まではなだらかに応力が減少している。一方、Dタイプでは載荷点中央から端部までなだらかに応力が減少している。ともに顕著な応力集中は見られず、衝撃力を良好に分散し、かつ伝達している。これより、補強筋の剛性は伝達応力の分散性状には顕著な影響を与えないものと考えられる。ただし、Dタイプでは端部において負の応力、すなわち浮き上がりの現象が顕著に生じているがAsタイプでは顕著で

はない。これは補強筋を含めた RC 版の剛性が D タイプの方が大きいことに関連するものと考えられる。また、D タイプの載荷点近傍では重錘落下終了後も伝達応力が若干発生しているが As タイプにはその傾向が見られない。

補強筋の付着特性の観点から As-20-1.0 と A-20-1.0 を比較する。A タイプでは載荷点部分の応力が As タイプに比べて大きく、As タイプと比較して衝撃荷重の緩衝、分散性能に劣ることが分かる。この傾向は特に中心からの距離が 50cm 程度内において顕著である。逆に 50cm から端部までの応力は As と同等か少し小さくなっている。これより、載荷点部分の応力の集中度合いには補強筋の付着特性が影響を与えていることが分かる。また、A タイプでは重錘落下終了後も載荷点近傍で若干の応力が生じているが As タイプにはこの傾向が見られない。

補強筋比の観点から As-20-1.0 と As-20-0.5 を比較する。-0.5 のタイプでは載荷点直下の応力の集中が -1.0 と比べて顕著であり、応力は載荷点から端部まで双曲線的に減少している。このように、補強筋比は伝達衝撃力の緩衝、分散性状に対して極めて顕著な影響を与えている。

スラブ厚さの観点から As-20-1.0 と As-30-1.0 を比較する。As-30 では載荷点直下に若干応力が集中する傾向にあるが応力度は As-20 とほぼ同程度である。特に中心からの距離が 20～30cm 程度までの応力は大きい。以後端部までの応力変化は少なくほぼ一定の応力を示している点で特徴的である。また、As-30 では応答の継続時間が極めて短いことが分かる。さらに、端部において負の応力、すなわち浮き上がりの現象が生じている。これは RC 版の剛性が As-30 の方が -20 よりも大きいためと考えられる。このように、スラブ厚さは伝達衝撃力の分散性状や継続時間に影響を与える。厚くなると載荷点部に若干応力が集中するものの芯材全体に応力を分散させるが衝撃力の継続時間は短くなる傾向にある。

次に、敷砂単層と三層構造の緩衝特性を比較する。敷砂単層では載荷点中央部分に伝達応力が集中し、応力の分散範囲が中央から半径 80cm 程度までと極めて狭くなる。また、応力はこの狭い範囲で載荷点中央から直線的に減少している。このため、敷砂単層の場合の載荷点直下における応力度は三層構造と比較して 10 倍程度と極めて高い。このように、敷砂単層と三層構造では衝撃力の緩衝、分散性能に顕著な差が見受けられる。一方、敷砂単層の場合の伝達応力の継続時間はいずれの三層構造よりも短く、三層構造の中で最も短い As-30 と比べてもその 3/4 程度である。これより、敷砂単層の場合は衝撃力の緩衝、分散効果が三層構造の場合よりも小さく、応答の継続時間も短いことから本体構造物に大きな断面力を発生させるものと予想される。

### 3.2 衝撃力の経時変化

本文では衝撃力の評価方法として次の二つを考えた。一つは衝突時の重錘加速度に重量を乗じて求めた重錘衝撃力であり、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求めた伝達衝撃力である。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-3 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。

補強筋の剛性の観点から As-20-1.0 と D-20-1.0 を比較する。重錘衝撃力の最大値は D タイプが As タイプよりも大きく、波形の継続時間は As の方が長い。伝達衝撃力は大きさおよび波形の傾向ともに両者ほぼ同様であるが As タイプが継続時間が少

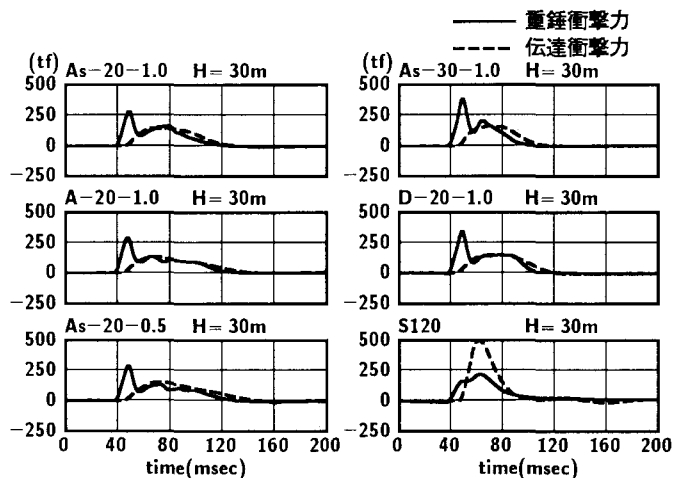


図-3 重錘衝撃力と伝達衝撃力の経時変化

し長い。重錘衝撃力の 2 波目の最大値と伝達衝撃力の最大値はともにほぼ同程度である。

補強筋の付着特性の観点から As-20-1.0 と A-20-1.0 を比較する。重錘衝撃力の 1 波目の大きさおよび形状は両者で類似しているが、2 波目の大きさと形状は若干異なり振幅は As タイプの方が大きく継続時間は A タイプの方が長い。伝達衝撃力は A タイプの方が As タイプよりも小さく、継続時間は A タイプの方が長い。また、重錘衝撃力の 2 波目のピークと伝達衝撃力のピークはほぼ同程度である。

補強筋比の観点から As-20-1.0 と -0.5 を比較する。重錘衝撃力、伝達衝撃力ともに、-0.5 の方が継続時間が長いことが分かる。なお、-0.5 では伝達衝撃力が重錘衝撃力の 2 波目のピークよりも大きく、他とは異なった性状を示している。一方、重錘衝撃力および伝達衝撃力の最大値には両者で顕著な差異は生じていない。

スラブ厚さの観点から As-20 と As-30 を比較する。As-30 の重錘衝撃力が極端に大きく、2 波目のピークが As-20 と比べて明瞭に出現しているのが特徴的である。また、重錘衝撃力、伝達衝撃力の継続時間はともに As-20 に比べて大幅に短くなっている。

以上より、三層構造における重錘衝撃力と伝達衝撃力の経時変化を芯材 RC スラブの断面特性の違いに着目して要約すると、伝達衝撃力の応答波形は最大衝撃力が各ケースでほぼ同様であり、継続時間に差があるため上に凸の曲率が若干異なるものの外観は比較的類似している。一方、重錘衝撃力は各実験ケースで 2 波目の形状が若干異なるが、1 波目の傾向は比較的類似している。すなわち、重錘、伝達衝撃力の大きさおよび応答波形の継続時間は芯材 RC スラブの断面特性に影響され異なるものの、波形の外観には顕著な差異を与えないものと考えられる。

次に、敷砂単層と三層構造で衝撃力の経時変化を比較する。敷砂単層における重錘衝撃力の波形は、三層構造では明瞭なピークを示す 1 波目とその後比較的なだらかに変化する 2 波目が示されているのに対して、1 波目に相当する波形が消失し、比較的なだらかな変化を示す波形のみが示されている。一方、敷砂単層における伝達衝撃力は三層構造に比べて数倍大きく、継続時間も極めて短いため、明瞭なピークを示す波形外観となっている。このように、敷砂単層と三層構造では衝撃力の大きさおよび経時変化傾向が大きく異なっている。

### 3.3 最大重錘衝撃力と最大伝達衝撃力

図-4 (a)に最大重錘衝撃力と最大伝達衝撃力を、(b)に重錘衝撃力と伝達衝撃力の継続時間を示した。図-4 (a)より、最大重錘衝撃力はスラブ厚 30 cm の場合、異形鉄筋で補強した場合、スラブ厚 20 cm で AFRP ロッドで補強した場合、敷砂単層の場合の順に小さくなるのが分かる。なお、スラブ厚 20 cm で AFRP ロッドで補強した場合には三者で顕著な差異はなく、補強筋比や補強筋の付着特性が最大重錘衝撃力に与える影響は小さいことが分かる。これに対して、スラブ厚さと補強筋の剛性は最大重錘衝撃力の大きさに顕著な影響を与えている。

いずれの場合も RC スラブの剛性と密接に関わり、剛性が高い RC スラブほど変形量が小さくなるため、最大重錘衝撃力も大きくなるものと考えられる。また、敷砂単層の場合は RC ス

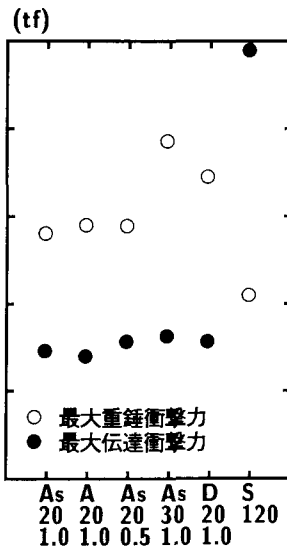


図-4 (a) 最大重錘衝撃力と最大伝達衝撃力

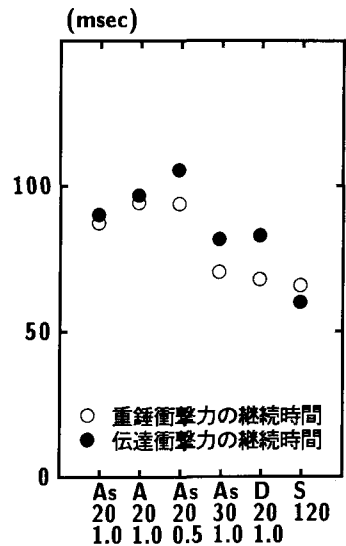


図-4 (b) 重錘衝撃力と伝達衝撃力の継続時間

ラブが介在していないため、最大重錘衝撃力が最も小さくなったものと考えられる。

一方、敷砂単層における最大伝達衝撃力は三層構造に比べて3~4倍も大きい。しかしながら、三層構造の最大伝達衝撃力は最大重錘衝撃力に比較して芯材 RC スラブの断面特性に顕著には影響されていない。しいてその差に言及すれば、30 cm 厚のスラブを用いた場合が最も大きく、次いで補強筋比が 0.5 % の場合と異形鉄筋で補強した場合、さらに砂付きから砂なしのロッドを用いた場合の順に少しずつ小さくなっている。

本実験(3tfの重錘を高さ30mから落下させる実験)の範囲では、スラブ厚を30 cm としても伝達衝撃力が低減しないことや、補強筋の剛性が伝達衝撃力に与える影響が最大重錘衝撃力ほどは顕著でなく、三層構造では全般的に同程度の伝達衝撃力を示すことが分かった。これは、芯材 RC スラブの厚さや補強筋の剛性などが伝達衝撃力に与える影響度合いよりも、裏材 EPS の衝撃力吸収性能の方が影響として顕著であることを示すものと考えられる。このように、重錘および伝達衝撃力を小さくするためには、スラブ厚さを薄くして剛性が低く付着特性に優れた補強筋を適切な量だけ使用した RC スラブを芯材とする三層構造を緩衝体として用いることが効果的であると考えられる。

図-4(b)の重錘衝撃力の継続時間と伝達衝撃力の継続時間の関係から、重錘衝撃力の継続時間は敷砂単層の場合が最も短く、次いで異形鉄筋で補強した場合、スラブ厚30 cm の場合の順に短い。これに対して、AFRP ロッドで補強したスラブ厚20 cm の三層構造の場合はこれらに比較して継続時間が長い、継続時間は三者でほぼ同程度である。一方、伝達衝撃力の継続時間は、敷砂単層の場合が最も短く、次いでスラブ厚30 cm の場合、異形鉄筋を用いた場合の順に短い。最も継続時間が長いケースは補強筋比が0.5 % の場合である。このように、異形鉄筋で補強した場合やスラブ厚30 cm の場合および補強筋比が1 % の場合など、補強筋を含む RC 版の剛性が高い場合は継続時間が短い。以上より、衝撃的な荷重の継続時間を長くするためには、スラブ厚を薄くし、剛性が低くて付着特性の良好な補強筋を適当な量だけ用いた RC スラブを芯材とする三層構造を緩衝体として用いることが有効と考えられる。

### 3.4 RCスラブのひびわれ性状

芯材 RC スラブの荷重分散性状とひびわれ性状は密接に関連しているものと考えられる。また、芯材の耐久性や安全性の度合いを検討するためには損傷の程度を把握する必要がある。図-5(a)、(b)に RC スラブ表・裏面のひびわれ性状を示す。まず、図-5(a)より表面のひびわれ性状を各々で比較する。As-20 と D-20 を剛性の観点で比較する。As タイプでは円周状と十字に直交するひびわれがともに密に多数発生し、特に十字に直交するひびわれのうち上部での損傷が著しい。一方、D タイプでは片側半分に集中してひびわれが発生しているがひびわれは As タイプと同様、円周状と十字に直交するものである。なお、D タイプのひびわれ間隔は As タイプよりも広く、ひびわれ本数は As タイプに比べてかなり少ない。

As-20 と A-20 を付着特性の観点で比較する。A タイプでは円周状のひびわれが顕著であり、領域も As に比べて広いが、As に見られる十字に直交するひびわれが少ない。また、載荷点部分のコンクリートが大きな範囲で剝離している。As-20-1.0 と As-20-0.5 を補強筋比の観点で比較する。-0.5 のひびわれ性状は A-20-1.0 と比較的類似しているが -1.0 と比べてひびわれ間隔が広い。また、載荷点部のコンクリートが剝離しているが、この領域は A-20-1.0 に比べて小さくなっている。

スラブ厚の観点から As-20 と As-30 を比較する。As-30 では載荷点部分のコンクリートがほぼ重錘の直径に対応して剝離し、それ以外には直交する十字のひびわれが4本入っているのみである。すなわち、As-30 では表面の損傷

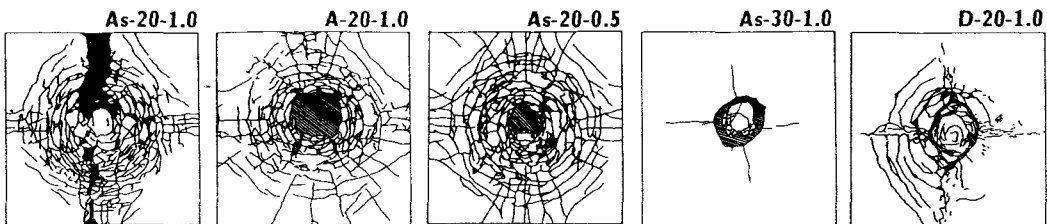


図-5(a) スラブ表面のひびわれ性状

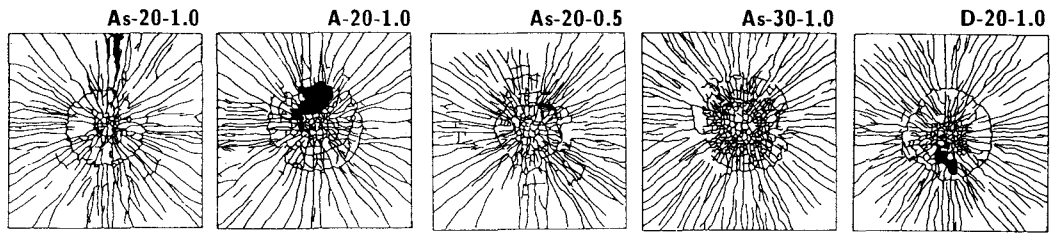


図-5(b) スラブ裏面のひびわれ性状

領域は最も狭いが、同時に荷重点部分のみに応力が集中していることが分かる。

以上を要約すると、1) スラブ表面のひびわれ性状にはRCスラブの断面特性が大きく影響している。2) 発生するひびわれは円周状と十字に直交する2種類である。3) コンクリートが剝離する位置やその領域の大きさおよび損傷の程度はスラブの断面特性に関連しているものと思われる。

次にスラブ裏面のひびわれ性状を図-5(b)で比較する。As-20とD-20を比較する。ともに明瞭な円周状のひびわれ1本と多数の放射状のひびわれが発生している。また、上部の放射状のひびわれ部分が一部剝落しているが、ひびわれ本数はDタイプの方が多い。一方、Dタイプでは円周状のひびわれの内側でひびわれが密に発生し、一部のコンクリートが剝落している。

AsタイプとAタイプを比較する。放射状のひびわれはAsタイプの方が若干密に発生しているが、円周状のひびわれの本数はAタイプの方が多くひびわれの領域も広い。またAタイプでは、荷重点直下の一部の領域でコンクリートが剝落している。-0.5と-1.0を比較すると、-0.5では放射状のひびわれの分散性に偏りが見られ、連結した完全な円周状のひびわれの外側に不完全な円周状のひびわれが数本発生している。また、連結した円周状のひびわれの一部の領域でコンクリートが剝落している。

As-20とAs-30を比較すると、円周状のひびわれおよび放射状のひびわれがAs-30ではより密に多数発生していることが分かる。また、最も外側の円周状のひびわれの領域はAs-30がAs-20に比べて広く、その内部で極めて細かいひびわれが多数分散している。なお、コンクリートの剝落はAs-30では見られず、最も損傷は軽微である。

以上を要約すると、1) スラブの断面特性が裏面のひびわれ性状に与える影響は表面よりも顕著ではない。2) ひびわれは円周状と放射状の2種類から成っている。3) コンクリートが剝落する位置やその領域の大きさおよび損傷の程度はスラブの断面特性と関連しているものと思われる。

#### 4. まとめ

組紐状AFRPロッドで補強したRCスラブを芯材とし、敷砂とEPSを各々表・裏層材とする実大規模の三層緩衝構造体を用いて衝撃実験を行った。本研究では特に、芯材RCスラブの補強筋の剛性、付着特性、補強筋比および芯材RCスラブの厚さを変化させ、それらが緩衝特性に与える影響を比較検討した。また、敷砂単層についても実験を行い、三層緩衝構造体との緩衝特性の比較を行った。本実験の範囲内で得られた結果を芯材RCスラブの断面特性の差に着目して要約すると、

- 1) スラブ厚さ、補強筋比、付着特性が伝達応力の経時変化や分散性状に与える影響は顕著であるが、補強筋の剛性の影響はそれほど顕著ではなかった。
- 2) 重錘衝撃力および伝達衝撃力の経時変化より、大きさおよび応答波形の継続時間はRCスラブの断面特性によって異なるが、応答波形の外観は顕著には影響されていないことが分かった。
- 3) 最大重錘衝撃力の大きさには、スラブ厚と補強筋の剛性の影響が顕著に見受けられた。しかし、伝達衝撃力に与える影響は顕著ではなかった。

- 4) 衝撃力の継続時間はスラブ厚や補強筋の剛性などに影響される。特に伝達衝撃力の継続時間を長くするためにはスラブ厚を薄くし、剛性が低くて付着特性の良好な補強筋を適切な量だけ用いることが有効と考えられる。
- 5) 芯材RCスラブの断面特性は、スラブのひびわれ性状、特にスラブ表面の性状に顕著な影響を与える。また、表・裏面の損傷の程度はスラブ厚が厚いものほど軽微である。
- 6) 伝達衝撃力とその継続時間のみで緩衝効果を比較すると、AFRP ロッドで補強したスラブを用いた方が鉄筋で補強したスラブを用いた場合よりも緩衝性能に優れており、補強筋比が鉄筋を用いた場合の半分でも同等以上の緩衝効果を期待できる。ただし、スラブ厚さを増加しても緩衝効果は向上しない。

次に、三層緩衝構造体と敷砂単層の緩衝特性の比較から、

- 7) 敷砂単層での伝達応力は載荷点部分に集中し、その応力度は三層緩衝構造体に比べて 10 倍程度と極めて大きい。
- 8) 敷砂単層での重錘衝撃力は三層緩衝構造体よりも小さく、応答の継続時間も長い。一方、伝達衝撃力はこれらの結果と逆で、三層緩衝構造体の 3~4 倍程度と大きく、継続時間は 1/2~2/3 程度と短い。以上から、緩衝体としての性能は敷砂単層に比べて三層緩衝構造体の方がはるかに優れていると言える。

最後に本研究を行うにあたり、室蘭工業大学建設システム工学科の松岡健一教授ならびに当時大学院生の尾山靖史君、松岡篤君と三井建設（株）技術研究所の三上浩主任研究員に多大なる御支援を頂きました。また、EPSは三菱油化バーディッシュ（株）より御提供頂いた。ここに記して謝意を表するものであります。

#### 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) 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.
- (7) 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.
- (8) 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.
- (9) 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)