

三層緩衝構造の緩衝性能に及ぼす芯材RCスラブの継手部の影響

ABSORBING CAPACITY OF THREE-LAYERED ABSORBING SYSTEM
FOR DIFFERENT JOINTS OF RC CORE SLABS

佐藤昌志* 岸 徳光** 西 弘明*** 松岡健一****

Masashi SATO, Norimitsu KISHI, Hiroaki NISHI and Ken-ichi MATSUOKA

* 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 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)

In this paper, the effects of the joints of RC core slabs in three-layered absorbing system on absorbing capacity are experimentally discussed. The experimental study was executed by free falling of a 5 tf steel weight on the full scale PC multi-girder with three-layered absorbing system. The three-layered absorbing system used here is composed of the upper layer of 50 cm thick sand, 20 cm thick RC core slab and the lower layer of 100 cm thick EPS (Expanded Polystyrol). Five types of joints are considered in this study including the cases of using one RC slab with no joint and placing two RC slabs independently. Absorbing capacity was evaluated by using the weight and transmitted impact forces and the distribution of the bending moment of PC girders. From the results, it was made clear that the three-layered absorbing system with the core slab which is composed of two independent RC slabs had almost the same absorbing capacity as that of using jointless RC core slab.

Key Words: three-layered absorbing system, RC core slab, rock-shed

1. はじめに

落石覆工の設計において、落石によって発生する衝撃力は落石対策便覧¹⁾に基づいて90 cm厚の敷砂を緩衝材として用いることを前提に、砂のラメ定数を $\lambda = 100 \text{ tf/m}^2$ とする振動便覧式により算定している。断面算定のための荷重分布は、衝撃荷重が敷砂中を半開角 45° の同心円状に分散分布するものとし、これと等価な矩形分布に仮定している。断面力は覆工を平面骨組構造にモデル化し、上述の荷重を静的に作用させて算定している。しかしながら、著者等の実験によれば、敷砂緩衝材を伝達して構造物に作用する衝撃力(以後、これを伝達衝撃力と呼ぶ)は、重錘衝突によって生ずる加速度を用いて評価する衝撃力(以後、これを重錘衝撃力と呼ぶ)の2倍程度になることや、荷重分散性が落石対策便覧の規定よりも劣ることが明らかになっている。このようなことから、著者等はRC覆工さらにはPC覆工の一層の合理的な設計を目指して、RCスラブを芯材として用い、敷砂材およびEPS(Expanded Poly-Styrol)材をそれぞれ表・裏層材とする三層緩衝構造を開発した。開発においては、剛基礎上さらにはPC桁上での大型実験や実RC覆工を用いた実証実験を行い、その妥当性、実用性について検討している^{2)~5)}。その結果、この緩衝システムは、衝撃荷重の低減、分散効果、荷重継続時間を延長させる作用に優れていることが明らかになっている。こ

のように、三層緩衝構造は敷砂緩衝材を用いる場合と比較して、安全かつ経済的な覆工建設の可能性を期待させるものであるが、実際の適用にあたっては、維持管理時における性能保証についても留意することが重要である。すなわち、本三層緩衝構造は表層材として50 cm厚の比較的薄い敷砂を用いているため、設計時に想定した以上の過度な落石エネルギーが入力した場合には、芯材RCスラブが鉄筋の破断等により、大きく破損することが考えられる。このような場合には本来の性能を回復させるべく、大きく塑性変形したEPS材の交換と芯材RCスラブの打換えが必要である。このことは必然的に芯材RCスラブ同士の不連続な継手を生じることを意味するものである。設計的にはこのように芯材RCスラブに打継ぎ目が生じ、かつその部分に落石荷重が作用した場合においても、他と同程度の緩衝性能を保持することが肝要である。

本論文は、このような観点より芯材RCスラブの継手構造が三層緩衝構造の緩衝性能に与える影響を検討することを目的として、芯材RCスラブの継手構造を変化させた場合の三層緩衝構造に関する大型重錘落下実験結果について述べたものである。実験は実規模のPC多主桁上に三層緩衝構造(表層材: 50 cm厚の敷砂、芯材: 20 cm厚のRCスラブ、裏材: 100 cm厚のEPS材)を設置し、重量5 tfの重錘を高さ30 mから自由落

下させて行った。本研究では合計5種類の継手構造を設定して、各継手構造に対する重錘加速度や PC 桁上への伝達衝撃応力分布、各 PC 桁の補強筋の応答歪を測定し、衝撃力特性や応答歪から換算した曲げモーメントの軸方向分布、荷重分担性能等について検討を行っている。

2. 実験の概要

図-1に実験の概要を示す。本実験では、純スパン5 m、フランジ幅が約1.2 mのPC桁5本より構成される単純支持PC多主桁上に三層緩衝構造を設置し、5 tfの重錘（直径100 cmで底部より高さ17.5 cmの部分が球状）を高さ30 mから落下させて行っている。本実験の主な目的が、芯材RCスラブの継手構造が緩衝効果に与える影響を検討することであることより、荷重の分散性の影響が現れやすいように各PC桁は横締めなしの状態とした。

2.1 PC多主桁の設計

今回の実験に用いたPC多主桁の一般図を図-2に示す。本PC桁は、緩衝材として90 cm厚の敷砂緩衝構造を用いることとし、重量3 tfの岩石が10 mの高さから自由落下するものとして設計されたものである。各PC桁は、落石対策便覧に基づいて、衝撃力（ $P = 128.3 \text{ tf}$ ）、および桁に作用する荷重のスパン方向分散幅（ $2h = 180 \text{ cm}$ ）、PC桁に作用する荷重強度 q （ $= P/\pi h^2 = 50.4 \text{ tf/m}^2$ ）を決定し、これらの荷重がス

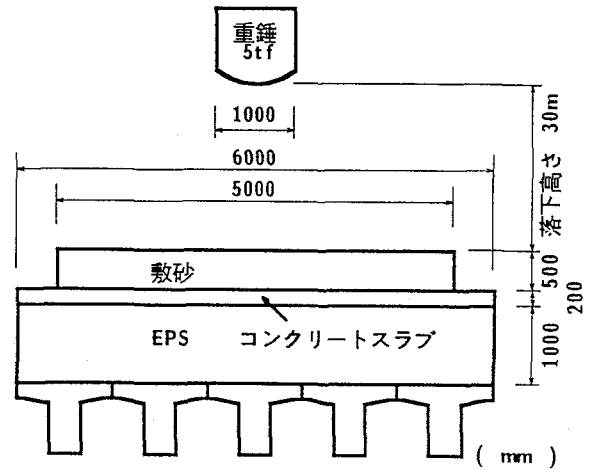


図-1 実験の概要

ン中央部頂版のフランジ幅120 cm上に満載されるものとして断面力を算定し設計が行われている。その時の桁中央部の最大曲げモーメントは111.6 tf・mであり、自重、緩衝材重量を考慮すると121.5 tf・mとなる。また、桁のコンクリートの設計基準強度は 750 kgf/cm^2 、許容引張応力度は 35 kgf/cm^2 、弾性係数は $3.5 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ としている。落石荷重載荷時にはひび割れを許容する3種プレストレスとし、ポストテンション方式でプレストレスを導入している。プレストレスは $\phi 26 \text{ B}$ のPC鋼棒を9本用いて導入し、桁1本当たりの緊張力を42.1 tf

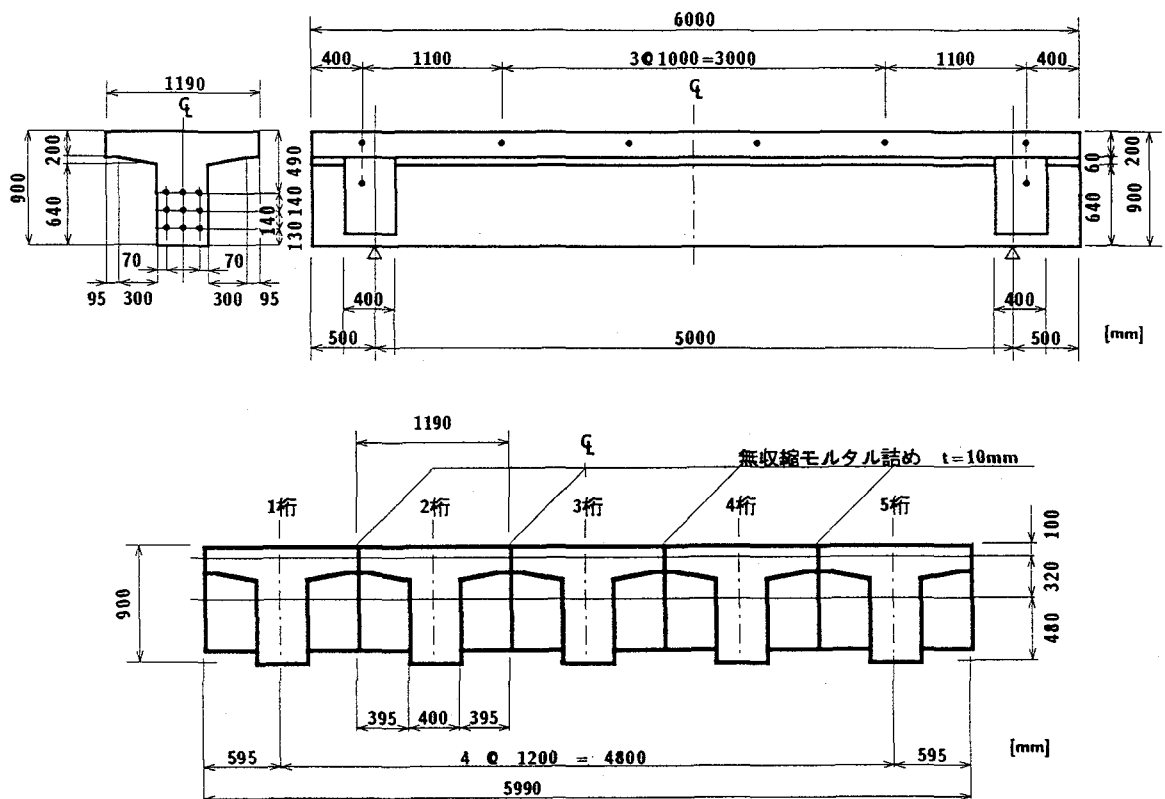


図-2 単純支持PC多主桁の一般図

としている。導入されたプレストレスによって、桁下縁および上縁で、それぞれ $437\ \mu$ の圧縮歪、 $50\ \mu$ の引張歪が生じている。なお、PC 桁の実験時の材令は約 1 年である。桁に使用したコンクリートは、水セメント比 0.335 で早強ポルトランドセメントおよび減水剤を用いて配合設計されたものであり、その材令 28 日における圧縮強度は $777\ \text{kgf/cm}^2$ 、弾性係数は約 $3.8 \times 10^5\ \text{kgf/cm}^2$ であった。

2.2 三層緩衝構造の使用材料

三層緩衝構造の芯材として用いた RC スラブの基本形状寸法は $6\ \text{m} \times 4\ \text{m} \times 20\ \text{cm}$ であり、継手を用いる場合には $3\ \text{m} \times 4\ \text{m} \times 20\ \text{cm}$ を 2 枚用いることとした。各 RC スラブは、コンクリートの設計基準強度 $210\ \text{kgf/cm}^2$ 、補強筋比 1 % の複鉄筋断面とし、かぶりが 3 cm で D13 の鉄筋を 8 cm 間隔で配置し製作している。実験時のコンクリートの材令は 27 日で、その時の圧縮強度は $219\ \text{kgf/cm}^2$ であった。

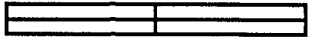
表層材に使用した敷砂材は単位体積重量 $w_s = 1.638\ \text{gf/cm}^3$ 、比重 2.55、均等係数 $U_c = 4.85$ 、曲率係数 $U' = 0.87$ の栗丘産砂である。敷砂材は 20 cm 毎に平均的に締め固めを行い所定の厚さ（50 cm）としている。また、実験時の含水比および相対密度はそれぞれ 5.1 ~ 5.7 %、48.5 ~ 64.7 % であった。

裏層材として用いた EPS 材は、型内発泡法で製造された単位体積重量が $20\ \text{kgf/m}^3$ で、1 ブロックの寸法が $200\ \text{cm} \times 100\ \text{cm} \times 50\ \text{cm}$ のものであり、これを組み合わせて用いている。

2.3 実験ケース

芯材 RC 版の継手構造の緩衝性能に及ぼす影響を検討するために、以下の 5 ケースの実験を行った。まず、基本となる実験ケースは、継手を有しないもので $6\ \text{m} \times 4\ \text{m} \times 20\ \text{cm}$ の RC スラブをそのまま用いた場合 (SNS) である。継手を有するものとしては 4 ケースで、その構造としては $3\ \text{m} \times 4\ \text{m} \times 20\ \text{cm}$ の RC スラブを 2 枚継ぎ合わせてプレストレスを導入しているもの (DPS-4、-10)、2 枚突き合わせた RC スラブの継ぎ目上に $1\ \text{m} \times 4\ \text{m} \times 20\ \text{cm}$ の RC スラブを重ね合わせたもの (DNSC)、単に RC スラブを 2 枚突き合わせたもの (DNS) としている。なお、DPS-4、-10 は RC スラブの断面中心位置に 45 cm 間隔に配置した 9 本の PC ストランド (SWPR・19) の 1 本当たりの有効緊張力をそれぞれ 4 tf、10 tf とし、ポストテンション方式によりプレストレスを導入した場合である。プレストレス導入後はグラウトを注入し、ストランドとスラブを一体化させている。継手部断面には導入されたプレストレスによって、それぞれ $4.5\ \text{kgf/cm}^2$ および $11.3\ \text{kgf/cm}^2$ の圧縮応力が発生している。また、DNSC の場合には緩衝構造の表面が平らになるように、継ぎ目部に RC スラブを重ね合わせた部分の敷砂厚を 30 cm としている。表-1 に実験ケース名と継手構造の概略図を示す。

表-1 実験ケースおよび継手構造

実験ケース	芯材スラブの継手構造概略図
SNS	
DPS-4 DPS-10	
DNSC	
DNS	

2.4 計測項目

本実験における計測項目は、重錘中央底部に取付けた加速度計による重錘加速度、中央桁に設置した伝達衝撃応力測定用ロードセル⁶⁾（スパン方向に 10 cm ピッチでスパン中央点から一方方向 2 m の範囲に設置）による伝達衝撃応力、各桁のウェブおよびフランジの上下縁補強筋に添付した歪ゲージによる応答歪で総測点数 113 点である。

なお、各応答波形は、データレコーダを用いて一括収録し、実験終了後に A/D 変換を行い、EWS を用いて波形処理を行った。原波形は 200 Hz 以上のノイズを含んだ高周波成分を除去するために時間幅 5 msec の矩形移動平均により平滑化を行っている。

3. 実験結果および考察

実験は前述のとおり 5 ケースについて行っている。実験結果、2 枚の RC スラブにプレストレスを導入して一体化させた DPS-4、-10 の場合には両者の緩衝特性に著しい差が認められないことが明らかになっている。そのため、本論文ではプレストレスを導入した場合の実験結果は主に DPS-4 の結果のみを用いることとした。

3.1 伝達衝撃応力の三次元分布

図-3 に各実験ケースにおける伝達衝撃応力の時系列分布を示す。図中、横軸は載荷点中央からの距離を、奥行き方向は時間軸を示している。なお、表示時間は全ケースとも 200 msec としている。

図より、いずれのケースにおいても、伝達衝撃応力の最大値は $2\ \text{kgf/cm}^2$ 程度で有為な差のないことがわかる。継続時間に関しては、SNS の場合は、荷重載荷点近傍では約 120 msec と比較的長くなっているが、載荷点より離れるに従い短くなっている。DPS-4、-10 の場合には、両者は全体的にほぼ類似の継続時間となっており、分布範囲全体にわたり約 120 msec の継続時間を示している。また、DNSC と DNS の場合は上述の 3 ケースとは分布性状が多少異なっている。すなわち、載荷点中心より 100 cm までは比較的長い継続時間 (DNSC

で約 120 msec, DNS で約 100 msec) であるが, 100 cm から 170 cm の範囲では両者とも 70 msec 程度と極端に短くなっている. さらに 170 cm 以遠では再び継続時間が長くなっている. これは, DNSC, DNS のように RC スラブを一体とせず突き合わせた場合には, 他のケースに比較して載荷点の RC スラブが局部的に大きく変形すること, および衝撃荷重載荷により載荷辺に対しその対辺部が浮いた状態になる等, RC スラブが複雑な挙動をするためと考えられる.

3.2 重錘衝撃力および伝達衝撃力特性

図-4 に各ケース毎の重錘衝撃力および伝達衝撃力の波形特性を示している. ここで, 伝達衝撃力はロードセルによって得られる伝達衝撃応力が載荷点を中心に軸対称分布するものと仮定し, それらの応力を総和して求めたものである.

図より, 最大重錘衝撃力に関しては, DNSCを除き, 他の実験ケースは全て 250 tf 程度となっており, 継手構造による顕著な差が表れていない. これに対して, DNSC の場合の第一ピーク値は他のケースより 70 tf 程度大きく 320 tf 程度の値を示している. これは継目部に厚さ 20 cm, 幅 1 m の RC スラブが重ね合わされているため, 衝突部の敷砂層が 30 cm と他より薄くなっているこ

と, およびこの部分の芯材の剛性が大きくなっているためと考えられる. しかしながら, 第一ピーク以後の値はむしろ他のケースより小さな値となっている. また波形の傾向を見ると, DNSC 以外の実験ケースは継続時間の長いならかな第二波のピークが発生し, その後急速に減少している. 一方, DNSC は大きな第一ピーク発生後僅かに第二ピークが発生しているが, その後は単調に減少している.

伝達衝撃力波形に関しては, 最大伝達衝撃力値で各ケースを比較すると, SNS, DPS-4, -10 が 180 tf 程度であるのに対して, DNSC, DNS のように RC スラブを一体とせず単に突き合わせた場合は 150 tf 程度と小さな値となっている. これは SNS の場合には RC スラブの中央点に載荷しており, DPS-4, -10 の場合も PC ストランドによって載荷点部の RC スラブの変形が抑制されているのに対し, DNSC, DNS の場合には自由辺載荷の状態となっているため, 後者が前者に比較して局所的な変形量も大きく, 裏材 EPS 材によって効率的に衝撃力が吸収されているためと考えられる. 伝達衝撃力の継続時間については, SNS の場合が 110 msec 程度であるのに対し, プレストレスで一体化している場合 (DPS-4, -10) も含め, 継ぎ目を有する実験ケースは 150

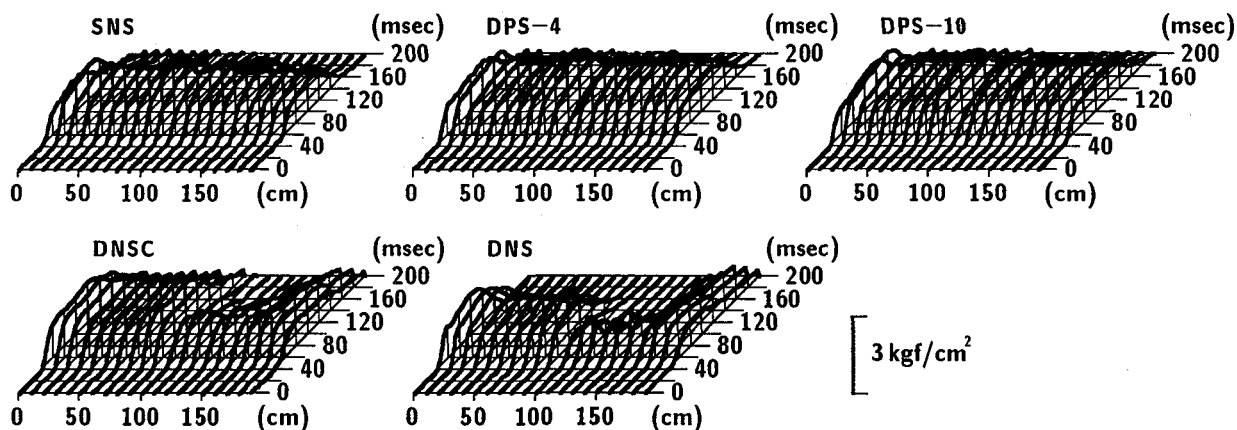


図-3 伝達衝撃応力の時系列分布

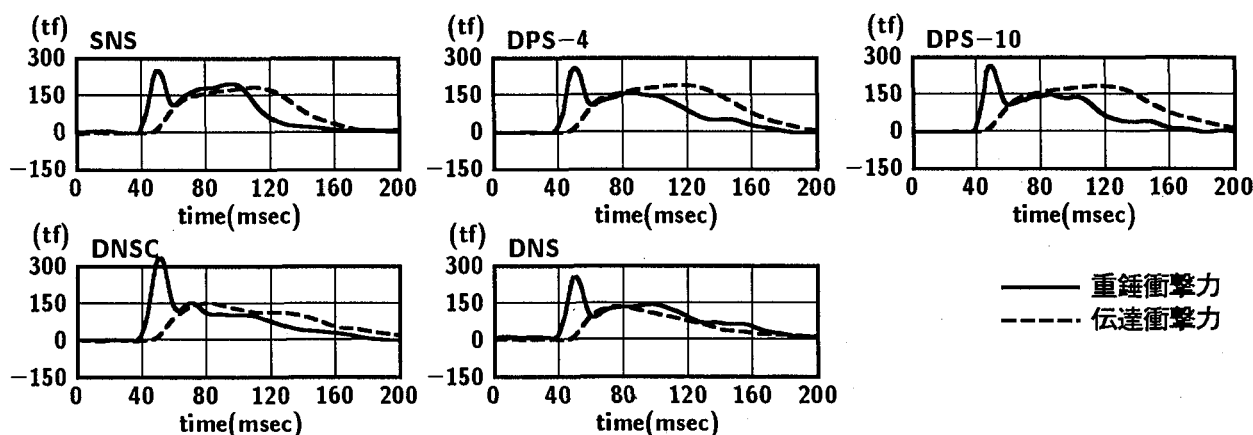


図-4 重錘衝撃力および伝達衝撃力の時系列分布

msec 程度となっている。特に、DNSC は最大値を示した後ゆるやかに減少している。これより三層緩衝構造において主に荷重分散を受け持つ芯材 RC スラブがたとえ不連続構造となったとしても、緩衝性能は何ら低下しないことが明らかになった。

3.3 主桁の曲げモーメント分布

図－5 に桁中央部曲げモーメントの断面方向分布について重錘加速度の立ち上がりからの経時変化を示している。なお、各桁に発生する曲げモーメントは、次のような仮定の基に算定している。すなわち、1) 実験時に測定された下端補強筋迄の最大値が 184 μ であり、これに死荷重による応力および有効プレストレスを考慮すると合歪は -186.8 μ となることより、コンクリート内にはひび割れが発生していない、2) 歪分布は断面の桁高方向に線形変化するものとする、3) 配力筋および PC 鋼棒の軸剛性を考慮して全断面有効と仮定する、である。

図より PC 桁が横締めされていないことより、芯材 RC スラブの継手の有無にかかわらず、載荷桁である中央桁にモーメントが集中し、桁端部に向かってほぼ直線的に減少する傾向を示していることがわかる。一方、経時変化で比較すると、伝達衝撃荷重が作用してから 70 ～ 80 msec まではいずれの継手構造とも SNS（単一スラブ）と同じ挙動を示しているが、90 ～ 120 msecの間では継ぎ手のない場合（SNS）は急激に小さくなっているのに対して、継手を有するものは約 140 msec 付近まで曲げモーメントが発生しており、載荷荷重継続時間が長いことを裏づけている。

なお、各ケースの中央桁の最大曲げモーメントとその発生時間を整理すると表－2 のようになる。最大曲げモーメントの発生時間に関しては、各ケースにおいて 10 ～ 20 msec 程度の差異があるが、曲げモーメントの最大

表－2 中央桁の最大曲げモーメントおよび発生時間

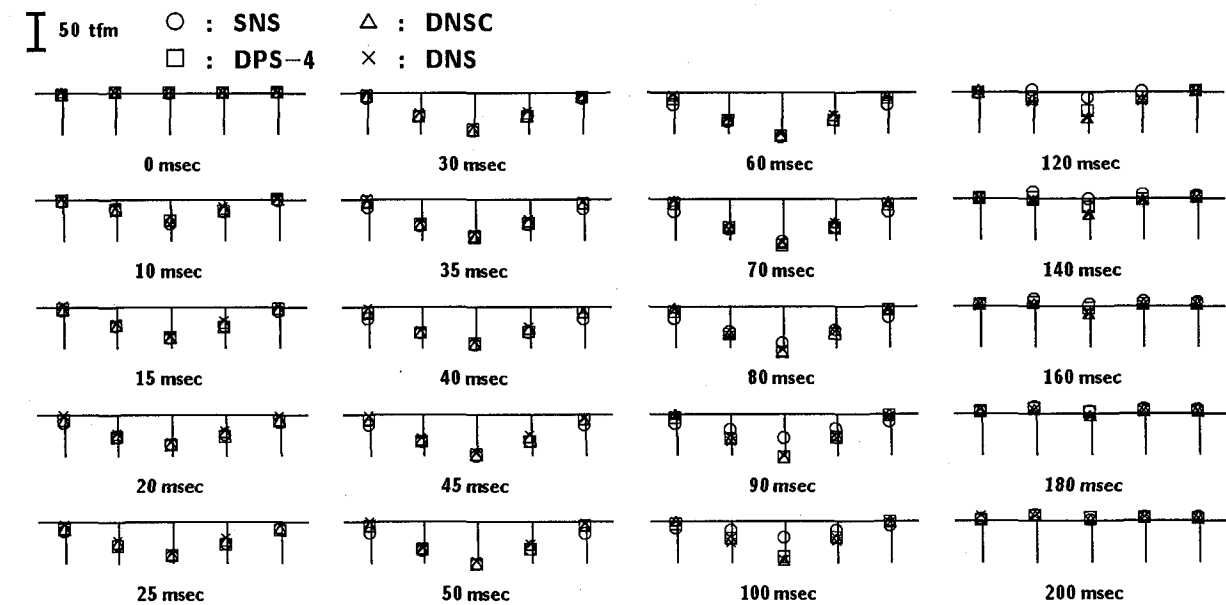
実験 ケース	最大曲げモーメント (tf·m)	発生時間* (msec)
SNS	62.0	69.6
DPS-4 DPS-10	62.8	89.4
DNSC	61.8	88.0
DNS	59.4	81.4

* 発生時間は重錘加速度の立ち上がりからの経過時間である

値に関しては有為な差異はみられない。また、これらの値は重量 5 tf、落下高さ 30 m の場合の結果であるが、重量 3 tf、落下高さ 10 m に対する設計曲げモーメント 111.6 tf·m の 55 % 程度となっている。エネルギー的に考えると 5 倍の落下エネルギーに対して 1/2 強程度の応答値となっており、いずれのケースも緩衝構造が効率的に衝撃荷重を分散、低減させていることがわかる。

これより、芯材 RC スラブが継手部を有する構造であっても、本構造である主桁の応答には特に影響を与えるものではないことがわかる。

図－6 は各ケースにおける中央桁の曲げモーメントの軸方向分布の経時変化を示している。曲げモーメントの軸方向分布は、スパン中央から支点まで 25 cm 間隔に上下端筋に添付されている歪ゲージの出力を基にして求めたものである。図より、曲げモーメントが軸方向にほぼ放物線状に分布していることがわかる。これは、いずれの継手ケースにおいても PC 桁上には荷重が軸方向に等分布的に作用していることを意味しているものと考



図－5 桁中央部曲げモーメントの断面方向分布

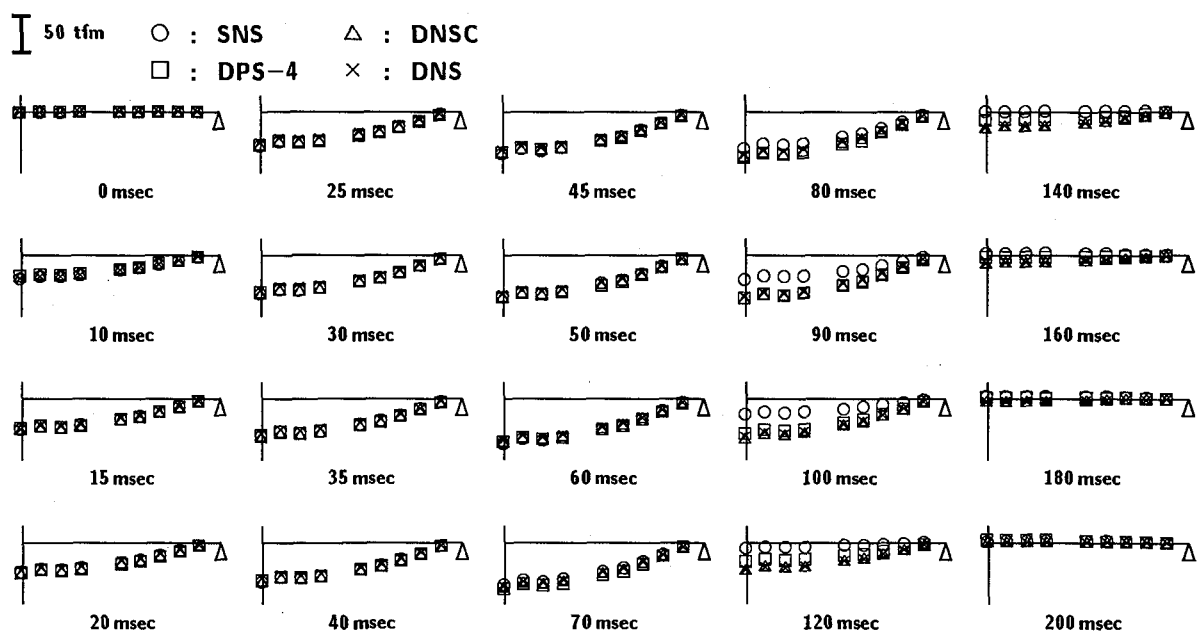


図-6 中央桁の曲げモーメントの軸方向分布

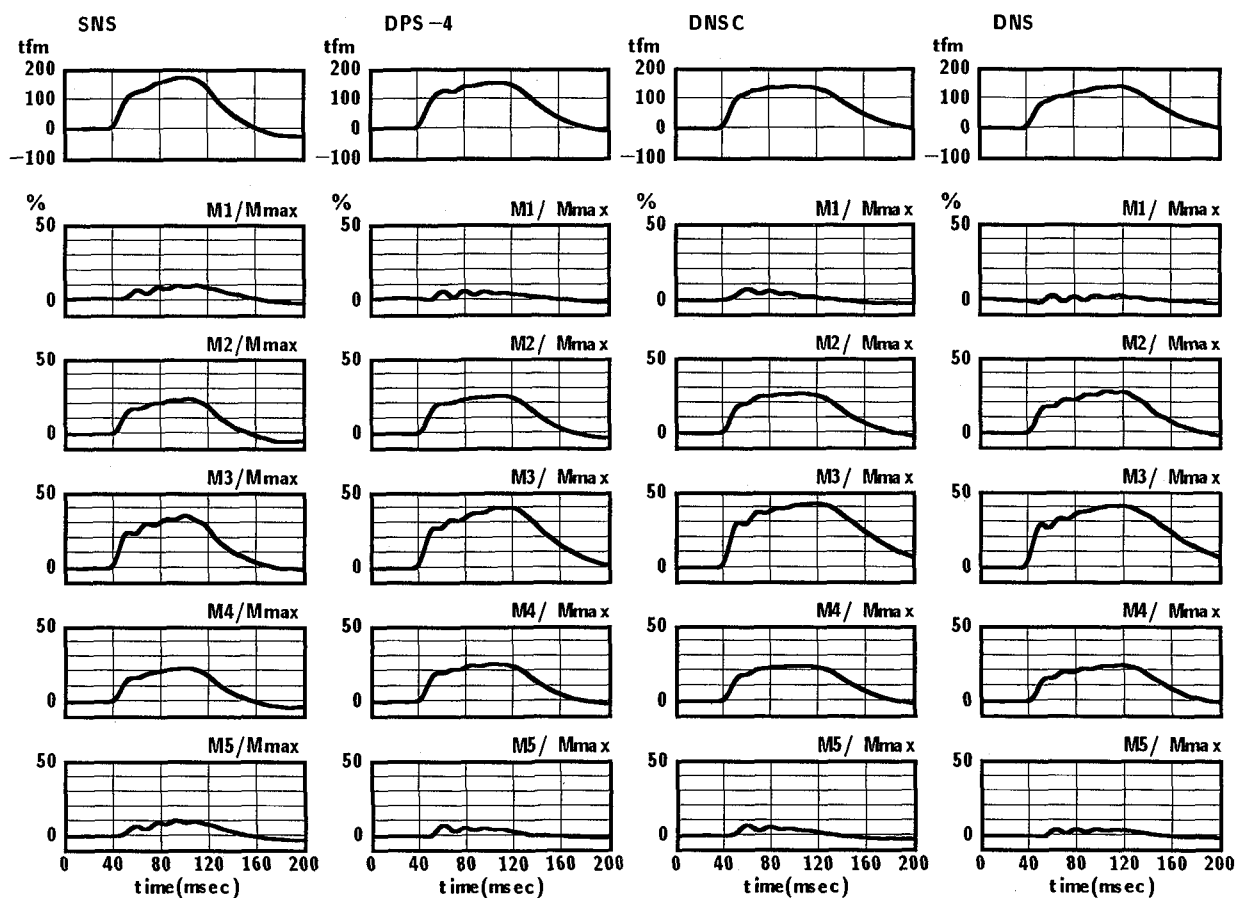


図-7 桁中央部に発生した曲げモーメントの総和および各桁の荷重分担率

えられる。各ケース毎の経時変化を見ると、断面方向分布と同様に 70 ～ 80 msec までは同じような挙動を示しているが、継手を有する緩衝構造では伝達荷重の載荷継続時間が長くなっていることから、80 msec を越えた時点においても SNS よりも大きい曲げモーメントが発生している。

3.4 各桁の荷重分担の経時変化

通常多主桁の荷重分担率は主桁の鉛直変位を基に算出しているようである。本研究においては 1) 桁の軸歪成分を用いて曲げモーメントを算出できること、2) 主桁曲げモーメントと桁への作用荷重は、PC 桁が弾性的に挙動しているものと考えられることより 1 対 1 対応の関係になっていること、3) 変位計測に比較して歪計測の測定精度が高いこと等の理由より、主桁の曲げモーメントを用いて荷重分担率を算出することとした。本研究では、荷重分担率をスパン中央部に発生する多主桁としての曲げモーメントの総和（以後、これを総曲げモーメントと呼ぶ）に対する各桁で分担する曲げモーメントの割合として評価している。厳密には各時間毎に分担率を評価しなければならないものと考えられるが、最も重要な値は最大応答発生時であることより、本研究では最大曲げモーメント発生時の総曲げモーメント値で各桁に発生する曲げモーメントを除す形で整理している。

図－7 に各ケースの桁中央部に発生した曲げモーメントの総和および各桁の荷重分担率を示す。総曲げモーメントの波形特性を図－4 の伝達衝撃力波形と比較してみると、SNS と DPS-4 の場合には両者が酷似している。一方、DNSC、DNS の場合には伝達衝撃力波形が 80 msec 前後でピークを有し、そのまま単調減少しているのに対し、総曲げモーメントは DPS-4 の波形特性に近い性状を示している。

最大曲げモーメント発生時の各桁の荷重分担率を表－3 に一覧にして示した。図－7 及び表－3 から明らかのように、継手を有しない SNS において中央桁（3 桁）で 35 %、耳桁（5 桁）で約 10 % の分担があるのに対して、継手を有する他のケースでは中央桁（3 桁）で 40 % 強、耳桁（5 桁）で 3 ～ 5 % 程度というように継手を有するケースの場合の方が若干分散性が劣る結果となっている。しかしながら、本実験では継手の特性が実験結果に現れやすいように、PC 多主桁に横締めを施していない。実構造物と同様に横締めをする場合には、SNS と同様の芯材を用いる場合の荷重分担率が 26.2 % となっていることより⁷⁾、DNS 等継手を有する場合にも SNS 同様、荷重分担率が向上するものと考えられる。

4. まとめ

三層緩衝構造を落石覆工に適用するにあたり、緩衝構造は維持管理・補修時にその緩衝性能が保証されなければならない。本研究では、維持補修時に三層緩衝構造の芯材 RC スラブが不連続になった場合を想定し、芯材

表－3 荷重分担率の一覧

実験 ケース	総曲げモーメントの最大値 (tf・m)	荷重分担率 (%)				
		1 桁	2 桁	3 桁	4 桁	5 桁
SNS	175.2	9.5	23.6	35.3	22.3	9.3
DPS-4	155.5	4.8	25.3	40.2	25.0	4.7
DNSC	142.8	4.5	26.4	41.4	23.3	4.4
DNS	142.9	3.2	27.5	41.5	23.7	4.1

RC スラブの継手構造が緩衝構造の緩衝性能に与える影響を検討するために実規模の重錘落下衝撃実験を行った。実験は、単一スラブと本研究で設定した 4 ケースの継手構造の計 5 ケースについて、実規模 PC 多主桁（横締めなし）上に設置し、5 tf の重錘を一律 30 m の高さから落下させて行った。検討項目は重錘衝撃力、伝達衝撃力および PC 桁の補強筋歪から算出した桁の曲げモーメントである。検討の結果を以下に示す。

- 1) 伝達衝撃応力の三次元分布より、DNSC、DNS の場合に波動継続時間が長さ方向に若干変化しているが、これらを含め継手を有する場合は継手なしの場合同様、衝撃応力はほぼ緩衝構造全体に均等に分散分布していることが明らかになった。
- 2) 最大伝達衝撃力は、2 枚のスラブを突き合わせた DNS、DNSC が、一体構造とした SNS、DPS より小さな値となる。また、伝達衝撃力の継続時間も継手を有する場合は、継手なしの場合（SNS）よりも長くなる。
- 3) PC 桁の曲げモーメントの断面方向、スパン方向分布より、継続時間に多少の差はあるが、全ケースともほぼ類似の分布性状を示しており、継手方法による影響は小さいものと考えられる。
- 4) 載荷桁の荷重分担率は、単一のスラブを用いる SNS が約 35 % で、他の継手ケースは 40 ～ 42 % 程度である。これより、SNS を除いた他の継手方法による荷重分担率への影響は小さいものと考えられる。

以上、単一スラブを除いた各継手方法の緩衝性能、桁の荷重分担率への影響は大略同程度であることが明らかになった。これより、施工性、経済性を考慮すると、4 つの継手方法の中で最も単純な DNS、すなわち、芯材 RC スラブを突き合わせるだけの継手方法が実務的に優れていると判断される。

なお、桁の荷重分担率性能に関しては、継手方法による影響が現れやすいように、ここでは PC 桁の横締めを解放して行っている。このため、実構造と同様に横締めを施す場合には、検討結果以上の性能が期待できるものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) 日本道路協会, 落石対策便覧, pp. 1~239, 1983. 7.
- 2) 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.
- 3) Osamu NAKANO, Norimitsu KISHI, Ken-Ichi MATSUOKA and Jin YOSHIMURA: Development of 3-Layered Shock-Absorbing System for Rock Sheds, Proceedings of the International Symposium on Impact Engineering, Vol. 2, pp. 725~729, 1992.9.
- 4) Norimitsu KISHI, Osamu NAKANO, Ken-Ichi MATSUOKA and Noriyuki SUGATA: Field Test on Shock-Absorbing Effect of Three-Layered Absorbing System, SMiRT-12, pp. 357~362, 1993.8.
- 5) 田村富雄, 岸 徳光, 佐藤昌志, 中野 修, 渡辺 明: 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, 構造工学論文集, Vol. 40A, pp. 1631~1638, 1994.3.
- 6) 中野 修, 岸 徳光, 松岡健一, 後藤雪夫: 衝撃荷重測定用ロードセルの試作, 土木学会論文集, No. 453/VI-17, pp. 155~161, 1992.9.
- 7) 菅田紀之, 佐藤昌志, 西 弘明, 岸 徳光: 緩衝材を設置した実大 PC 覆工の衝撃応答性状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. 16, No. 2, pp. 949~954, 1994.6.

(1994年9月14日受付)