

I-33 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

開発土木研究所 正員 佐藤 昌志
室蘭工業大学 正員 岸 徳光開発土木研究所 正員 西 弘明
室蘭工業大学 正員 松岡 健一

1. はじめに

現在、落石覆工の設計法は、振動便覧に掲載されている衝撃算定式により求めた衝撃荷重を落石対策便覧に示された分散幅(45°)で分散させ、静的な等分布荷重として二次元フレームに作用させているのが現状である。

しかしながら、著者等の実験によれば、敷砂緩衝材を通して構造物に作用する衝撃力は、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の2倍程度になることや荷重分散性が悪い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桁上で大型実験を行い、その妥当性を検討している。その結果、この緩衝システムが、衝撃荷重の低減、分散効果に優れていることが明らかになっている。このように、三層緩衝構造の適用は今後の設計に関しては、場合によっては安全かつ経済的な覆工の建設が可能になることが期待されるが、実際の適用に際しては維持管理の面を念頭に入れておくことが必要である。すなわち、覆工の施工に際して三層緩衝構造を取り入れた場合、落石荷重によっては芯材としてのRCスラブが破損する事も十分考えられるため交換可能な部材として取り扱わなければならないことである。このことは、必然的にRCスラブ同士の不連続な継手が生じることを意味するものであり、さらには継手に落石荷重が作用することが考えられることから、この場合の緩衝性能についても十分な照査を行っておく必要がある。

本論文では、このような観点から、落石覆工に対して三層緩衝構造を適用した場合、荷重分散材としての芯材RCスラブの継手構造が緩衝性能にどのような影響を及ぼすかを、継手部への重錘落下試験により検討を行ったものである。実験は、PC多主桁上に三層緩衝構造(表材;50cm厚の敷砂、芯材;20cm厚のRCスラブ、裏材;100cm厚のEPS材)を設置し、重量5tfの重錘を高さ30mから落下させて行い、各継手構造に対する重錘衝撃力や各桁の応答歪を測定し、荷重分散性状等を比較検討したものである。

2. 実験の概要

本実験では、純スパン5m、フランジ幅が約1.2mのPC桁より構成されるPC多主桁上に三層緩衝構造を設置し、5tfの重錘(直径100cmで底部より高さ17.5cmの部分球形)を高さ30mから落下させて行っている。なお、PC桁の横締めの有無については、実験の主目的が芯材RCスラブの継手構造が緩衝効果にどのような影響を与えるかを検討することであることから横締め無しの状態とした。図-1に本実験の概略図を示す。

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。設計条件として3tfの落石が高さ10mから自由落下したとの仮定のもとで、振動便覧式のラーメ定数を $\lambda = 100\text{tf/m}^2$ として算定した $P = 128.3\text{tf}$ の衝撃荷重が桁中央部に落石対策便覧に従った分散幅に分散するとして設計している。また、桁のコンクリートの設計基準強度は 750kgf/cm^2 、許容引張

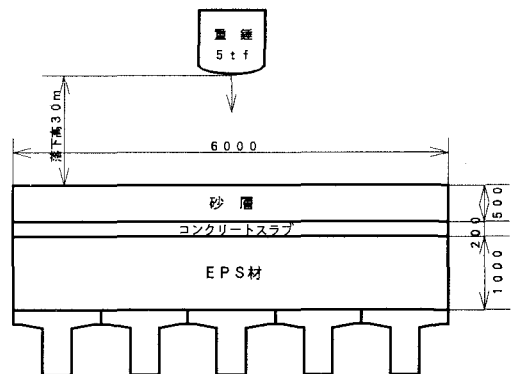


図-1 実験の概要

Absorbing Capacity of 3-Layered Absorbing System for Different Joints of RC Core Slabs
by Masashi SATOH, Hiroaki NISHI, Norimitsu KISHI and Ken-ichi MATSUOKA

応力度は 35kgf/cm^2 、弾性係数は $3.5 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 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。プレストレス力は $\phi 26\text{B}$ 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 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 437μ の圧縮歪、 50μ の引張歪が生じている。

2.2 三層緩衝構造の使用材料

三層緩衝構造に用いた RC スラブの基本形状寸法は $6 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 20 \text{ cm}$ および $3 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 20 \text{ cm}$ (プレストレス導入用) であり、コンクリートの設計基準強度 210kgf/cm^2 、補強筋比 1 % の複鉄筋断面としている。また、RC スラブのかぶりは 3 cm とし 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材令は 27 日目で、その時の圧縮強度は 219 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 1.638 gf/cm^3 、比重 2.55、均等係数 $U_c = 4.85$ 、曲率係数 $U'_c = 0.87$ 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 $5.1 \sim 5.7 \%$ 、 $48.5 \sim 64.7 \%$ 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 20kgf/m^3 、寸法 $200 \text{ cm} \times 100 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ のブロックを組み合わせて用いている。

2.3 実験ケース

芯材 RC 版の継手部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 (D20) である。継手を有するものとしては 4 ケース実施しており、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 4 tf および 10 tf のプレストレス力を導入しているもの (PCD20-4、-10)、2 枚継ぎ合わせたものの継ぎ目上に $1 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 20 \text{ cm}$ の RC スラブを重ね合わせたもの (2D20-D20)、単に 2 枚継ぎ合わせたもの (2D20) としている。表 1 に実験ケース名と継手の概略図を示す。

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、中央桁に設置したロードセル (スパン方向に 10 cm ピッチで桁スパン中央点から片側1つのみ設置) 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、および各桁中央の鉛直変位で総測点数 118 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 を用いて解析

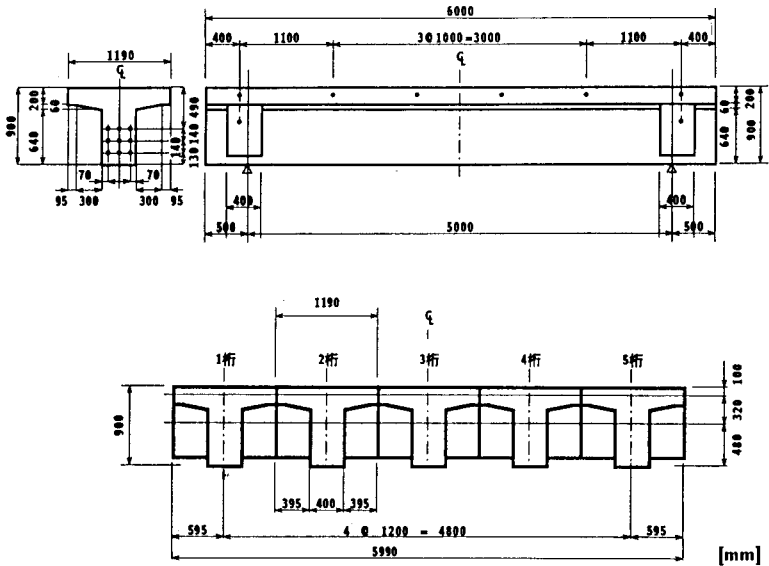


図-2 PC 多主桁

表-1 実験ケースおよび継手部構造

実験ケースの呼称	芯材スラブの継手部構造概略図
D20	
PCD20-4 PCD20-10	
2D20-D20	
2D20	

処理を行った。

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スラブを10tfのプレストレス力を導入して一体化させた場合と、4tfのプレストレス力を導入した場合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力を導入した場合の実験ケースを一まとめにして扱うこととした。

3.1. 伝達応力の三次元分布

図-3に各実験ケースにおける伝達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、測定時間は全ケースとも200msecとしている。

図より、いずれのケースにおいても、伝達応力は 2kgf/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、D20の場合は、荷重載荷点近傍でその時間が比較的に長くなっているが、載荷点より離れるに従い短くなっている。PCD20-4、-10の場合は、全体的にほぼ類似の継続時間となっている。また2D20-D20、2D20の場合は載荷点中心より100cmまでは比較的、継続時間が長くなっているが、100cm以遠では70msec程度と極端に短くなっているようである。これは、載荷点のRCスラブが局所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ためと考えられる。

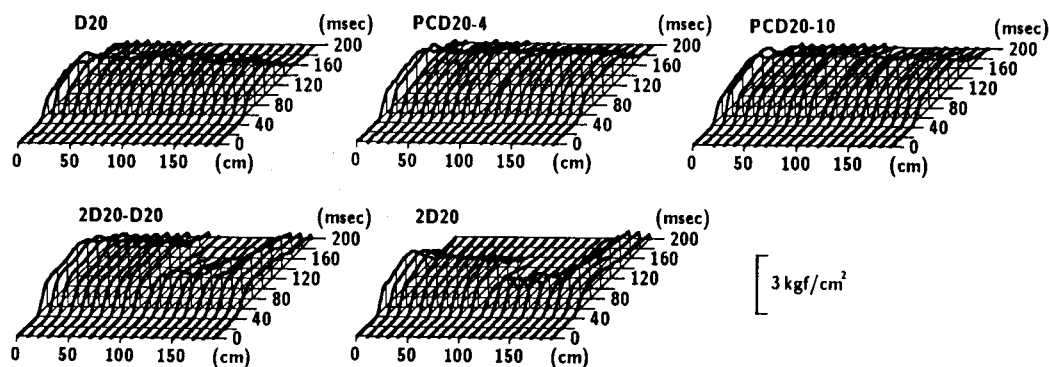


図-3 伝達応力の時系列分布

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た。ここで、伝達衝撃力はロードセルの伝達応力を総和して求めたものである。

図より、最大重錘衝撃力については、2D20-D20を除き、他の実験ケースは全て250tf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。2D20-D20の場合の第一ピーク値は他のケースより大きく示されている。これは幅1m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30cm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。また、2D20-D20以外のケースはなだらかであるものの、第二波のピークが発生しているが、2D20-D20は第一ピーク発生後、単調減少となっている。

伝達衝撃力波形に関しては、最大伝達衝撃力値で比較すると、D20、PCD20-4、-10が150tf程度であるのに対して、2D20-D20、2D20のようにRCスラブを継ぎ合わせた場合は110tf程度と小さな値となっている。これは、同程度の衝撃荷重が、D20、PCD20-4、-10の場合にはRCスラブの中央点に載荷しているのに対し、2D20-D20、2D20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、D20の場合が110msec程度あるのに対し、プレストレス力で一体化している場合も含め、他の実験ケースは150msec程度となる。これは、覆工の動的応答を低減する方向に作用する。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ものと考えられる。

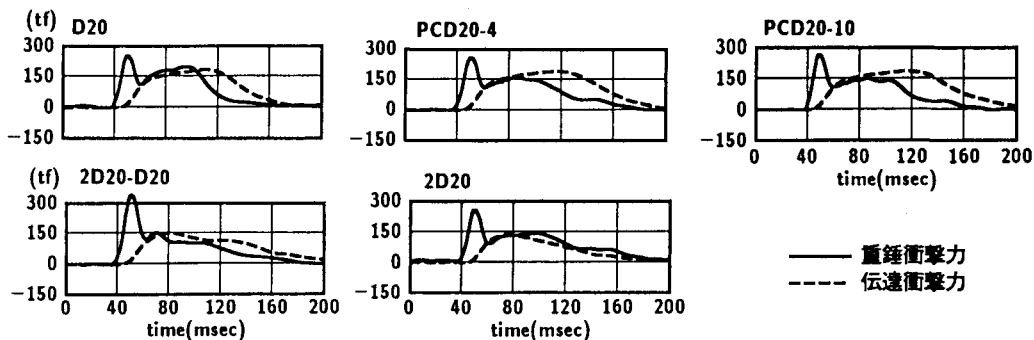


図-4 重錘衝撃力および伝達衝撃力の時系列分布

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。各桁に発生する曲げモーメントは、1) 測定された歪の最大値が 184μ であることにより、コンクリート内にひび割れが発生せず、2) 歪分布が断面の桁高方向に線形変化するものと仮定し、3) 配筋力および PC 鋼棒の軸剛性を考慮した全断面有効と仮定して算出している。図より PC 桁が横拘束されていないことより RC スラブの継手の有無にかかわらず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、経時変化と比較すると、伝達衝撃荷重が作用してから 80 msec まではいずれの継手構造とも D20 (単スラブ) と同じ挙動を示しているが、90 ~ 120 msecの間では継手を有する場合の方が約 2 倍の曲げモーメントとなっており、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は、D20 で 62.0 tfm (69.6 msec)、PCD20-4 で 62.8 tfm (89.4 msec)、2D20-D20 で 61.8 tfm (88.0 msec)、2D20 で 59.4 tfm (81.4 msec) となっている。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 tfm の 55 % 程度となっている。

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上に分布しており、いずれの継手ケースにおいても荷重が軸方向に等分布に作用していることを意味しているものと考えられる。各ケース毎の経時変化を見ると断面方向分布と同じように、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 を越えた時点でも D20 よりも大きい曲げモーメントが発生している。

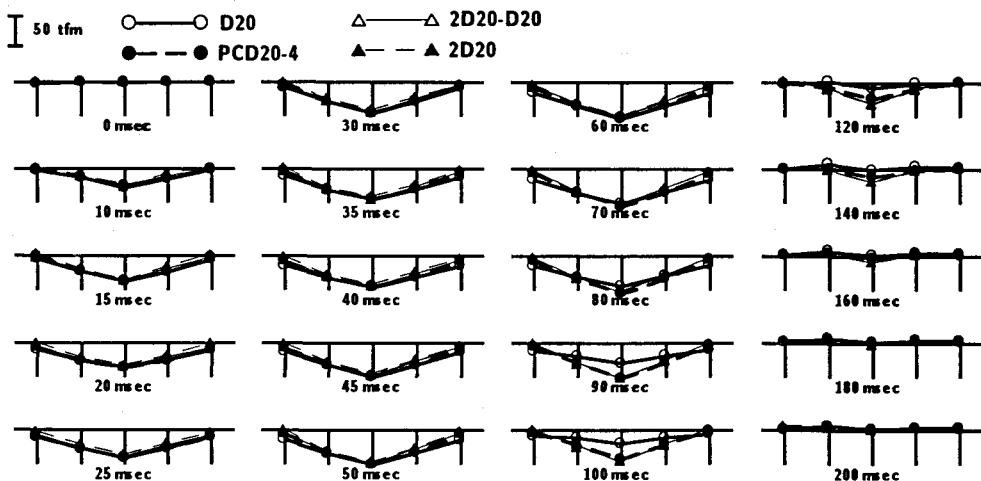


図-5 桁中央部曲げモーメントの断面方向分布

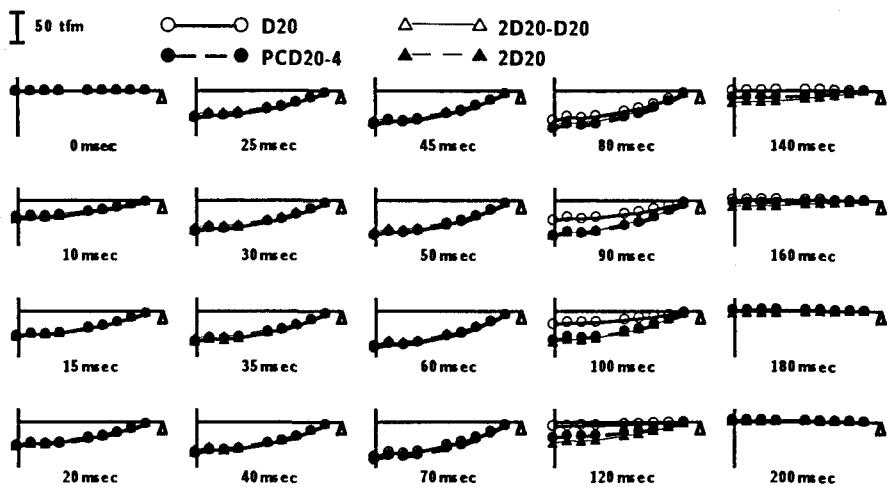


図-6 中央桁の曲げモーメントの軸方向分布

3.4 各桁の荷重分担の経時変化

荷重分担率は、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。分担率は各時間毎に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ため、最大曲げモーメント発生時の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に各ケースにおける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。発生曲げモーメントの総和の波形特性を図-3の伝達衝撃力波形と比較してみるとD20、とPCD20-4については酷似してい

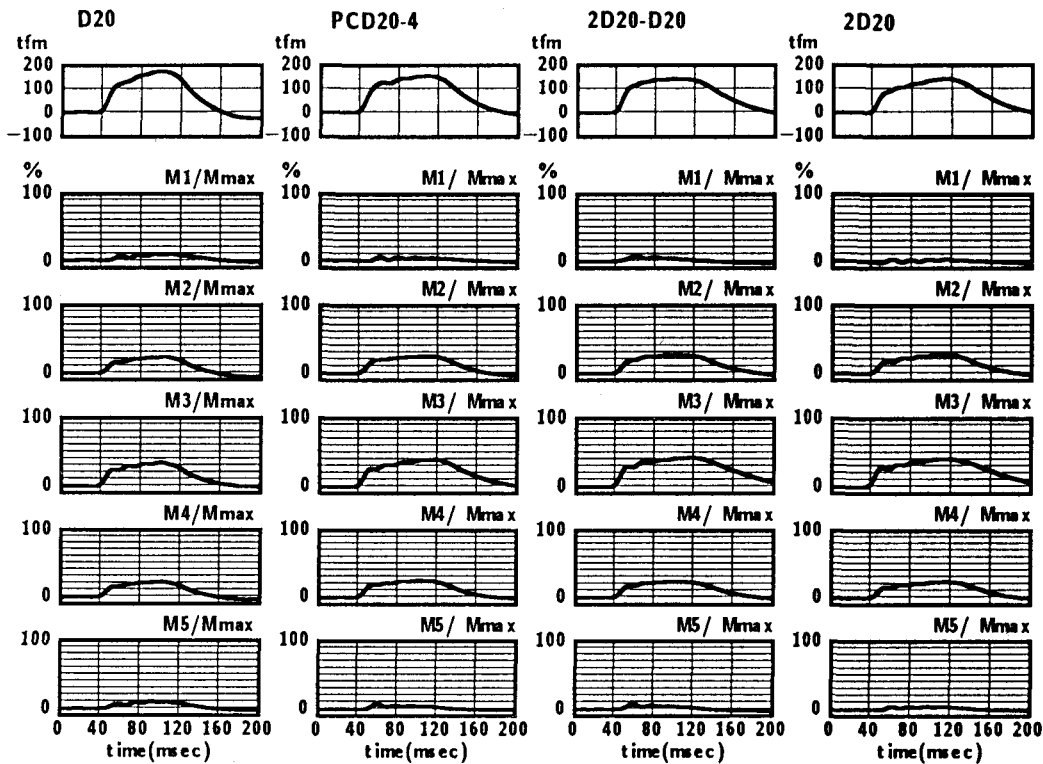


図-7 桁中央部に発生した曲げモーメントの総和および各桁の荷重分担率

るが、2D20-D20、2D20 は伝達衝撃力波形において 100 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、総曲げモーメントにおいては PCD20 の波形特性に近い性状を示している。

また、各桁の荷重分担率については、継手を有しない D20 において中央桁で 35 %、耳桁で 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で 40%、耳桁で 4 % 程度というように継手を有するケースの方が若干分散性が劣る結果となっている。

4. まとめ

本実験では、落石覆工の建設にあたって三層緩衝構造を適用した場合、芯材 RC スラブの施工性さらにはメンテナンス性を考慮すると芯材 RC スラブの継手が生じてくることより、継手部に落石荷重が作用した場合の緩衝性能について検討を行った。実験は、単一スラブと本研究で設定した 4 ースの継手構造の計 5 ケースについて、5 tf 重錘を一律 30 m の高さから落下させて、重錘衝撃力、伝達衝撃力および各桁に添付したゲージから求めた曲げモーメントを算出することにより比較検討を行った。検討の結果を以下に示す。

- 1) 伝達応力の三次元分布から判断すると、2D20-D20、2D20 の 2 ケースは伝達衝撃力の継続時間は長いものの荷重分散範囲には限界があることがわかった。
- 2) 最大重錘衝撃力は、2D20-D20 のケースが大きな値を示したが、最大伝達衝撃力およびその継続時間に関しては、スラブを単に突き合わせた 2D20 のケースの方が緩衝効果は大きくなった。
- 3) 主桁の曲げモーメントの経時変化と、継手を有する PCD20-4 および 2D20-D20、2D20 は D20 より大きな曲げモーメントが発生している時間が長いが、最大曲げモーメントに差はなかった。
- 4) 曲げモーメントから算出された各桁の荷重分担でみた分散性については、単一スラブである D20 が中央桁の分担率で約 5 % 程度勝っていたが、有為な差ではないと考えられる。

これらのことを総合的に判断すると、継手を有する芯材 RC スラブの構造は伝達荷重の分散性について単一スラブ使用よりもやや劣るもの、最大伝達衝撃力および荷重継続時間から判断した特性ではなんら問題がないことが判明した。

参 考 文 献

- 1) 日本道路協会、落石対策便覧、pp. 1~239、1983. 7.
- 2) 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.
- 3) 中野 修、山内敏夫、岸 徳光、竹本伸一：三層緩衝構造を用いた PC 多主桁の荷重分散性状、第 2 回落石等による衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集、pp.270~275、1993. 6.
- 4) 菅田紀之、松岡健一、中野 修、森 哲哉：敷砂を緩衝材とする PC 多主桁の弾性衝撃挙動、第 2 回落石等による衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集、pp.270~275、1993. 6.
- 5) 中野 修、今野久志、金子 学、小野裕二：EPS の落石覆工緩衝材への適用について
- 6) 中野 修、岸 徳光、後藤雪夫、遠藤 紘：落石覆道における三層構造緩衝システムの開発、土木学会誌、pp.20~22、1992.3.
- 7) Osamu NAKANO, Norimitsu KISHI, Ken-Ichi MATSUOKA and Jin YOSHIOKA: 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, Sendai