

(49) 三層緩衝構造を用いた PC 多主桁の荷重分担性状

北海道開発局 中野 修
北海道開発局 山内 敏夫
室蘭工業大学 岸 徳光
ドーピー建設工業(株) ○竹本 伸一

1 はじめに

山岳部および海岸部等の道路施設として、落石による交通障害を防止し円滑な交通を確保するために落石覆工等の構造物が建設されている。落石覆工には、落石等によって生ずる衝撃力を低減させるために頂版上に緩衝工が設置されている。従来より、その緩衝工として敷砂材が用いられている。しかしながら、著者等の実験によれば、敷砂緩衝材を通して構造物に作用する衝撃力は、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分散性が悪いことが明らかになっている¹⁾。このような敷砂緩衝材の欠点を克服するために、著者等は RC 版を芯材として用い、敷砂材および EPS 材 (Expanded Poly-Styrol) をそれぞれ表・裏層材とする三層緩衝構造を開発して、剛基礎上で大型実験を行った。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た²⁾。

落石覆工の設計は、現在落石対策便覧³⁾に基づいて行われている。断面力は、便覧に従って算定した衝撃荷重を用い、静的な二次元骨組解析より算出されている。特に、PC 落石覆工の場合には、頂版が多主桁より構成されているにもかかわらず単一桁として設計されている。緩衝材として敷砂を用いる場合には、荷重分散効果が小さいため全衝撃荷重がほぼ桁一本に載せられる状態に対して設計されることになり、落石重量あるいは落下高さによっては設計不可能になることも考えられる。このため、桁間の荷重分担性能の改善あるいは緩衝構造の改良によって、桁に作用する衝撃力の低減、分散化を計ることが肝要である。これに対し、三層緩衝構造の伝達衝撃力の低減と優れた荷重分散作用は、PC 覆工のように多主桁構造になっている場合に、有効に作用するものと考えられる。

本論文では、このような観点から PC 覆工に対する三層緩衝構造の適用性を実証的に明らかにすることを目的として、大型の重錘落下実験を行い、PC 多主桁の衝撃挙動について検討を行った。本実験に用いられている PC 多主桁は、スパン 5 m、幅 6 m、桁高 90 cm で 5 本の主桁から構成されている。実験は重量 3 tf の重錘を 30 m の高さより落下させて行い、重錘衝撃力や各桁の応答歪を測定して、曲げモーメントより換算した各桁の荷重分担性状や曲げモーメントの軸方向分布等に関する検討を行った。

2. 実験の概要

実験の概要を図-1に示す。実験は、純スパン5 m、幅6 mのPC多主桁上に、RC版を芯材とし、表・裏層材として敷砂およびEPS材から構成される三層緩衝構造を設置し、重量3 tfの重錘を高さ30 mから自由落下させて行っている。載荷実験は3桁上に処女載荷を行い、芯材および裏層材は取り替えずに表層の敷砂のみを整地し直し、順次2桁、4桁上に載荷させている。測定項目は、重錘の加速度およびPC桁の補強筋の84点における歪応答波形である。各応答波形は直流増幅器を用いて増幅し、データレ

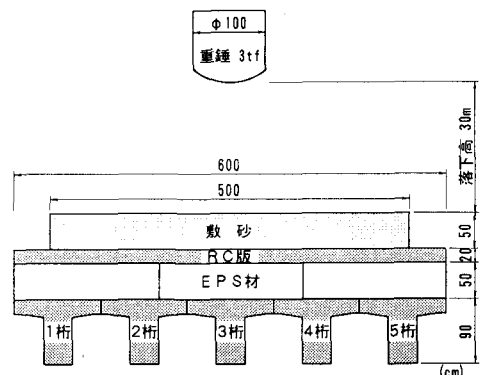


図-1 実験の概要

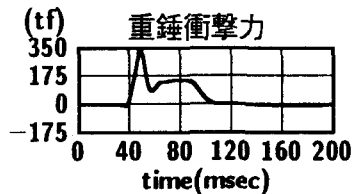


図-3 剛基礎を用いた場合の重錘衝撃力

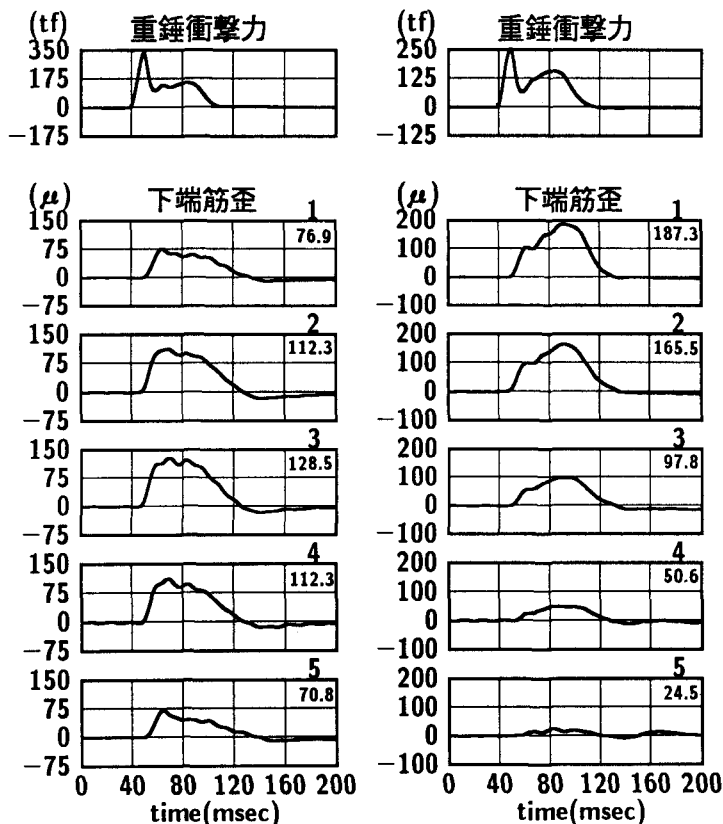
200 cm × 100 cm × 50 cm のブロックを組み合わせて用いている。

3 実験結果と考察

本実験で用いている PC 桁は、前記のように重量 3 tf の落石が 10 m の高さから自由落下する場合に対して設計されている。しかしながら、緩衝材に関する剛基礎上での実験より、三層緩衝構造を用いる場合は敷砂を用いる場合に比較して約 4 倍程度の緩衝能力があることが明らかになっているため、本実験では重量 3 tf の重錘を 30 m の高さより落下させることとした。また芯材 RC 版を有効に利用するため、重錘を 3 桁に落下させた後、連続して 2 桁および 4 桁上に落下させ実験を行っている。4 桁上に落下させた場合は芯材 RC 版の損傷が蓄積されているため、剛性が低下しているものと考えられるが、PC 桁の応答性状は 2 桁上に落下させた場合とほぼ対称な分布を示している。ここでは主に重錘を 3 桁および 2 桁上に落下させた場合の結果について示している。なお、実験ケースを簡略して示すために、本文では 3 桁、2 桁および 4 桁上に重錘を落下させる場合をそれぞれ P-D-3, P-D-2, P-D-4 として表すものとする。

3.1 重錘衝撃力および主桁下端筋歪波形

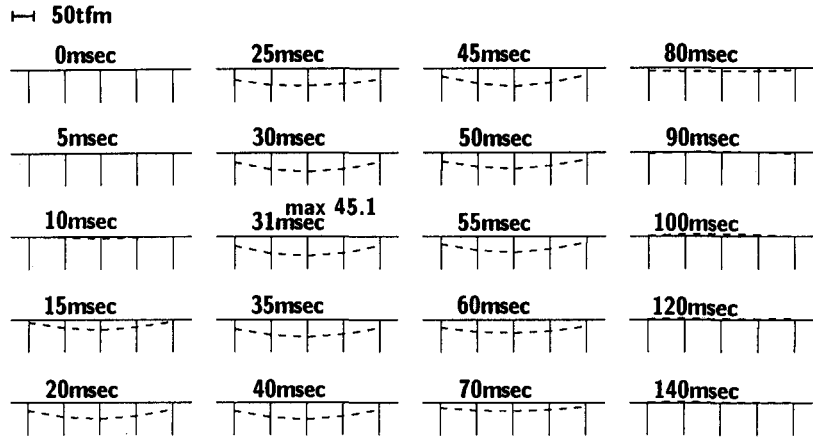
図-3 に本実験と同一の三層緩衝構造を剛基礎上に設置した場合の重錘衝撃力波形を、図-4 に P-D-3, P-D-2 における重錘衝撃力および下端筋（桁下縁から 5.5 cm）の歪波形を示している。主桁番号は各波形の右肩に示している。両図の比較より、重錘衝撃力は剛基礎上における実験結果と類似の結果となっていることがわかる。最大重錘衝撃力の大きさは、P-D-3 で 332.2 tf、P-D-2 で 254.0 tf、P-D-4 で 248.2 tf となっており、設計衝撃荷重の 1.9 ~ 2.6 倍になっている。また、処女載荷よりも 2 および 3 回目載荷の方の最大衝撃力が小さくなっている。これは繰返し落下衝突によって芯材 RC 版の剛性が低下したためと考えられる。各桁の下端筋歪を見ると P-D-3 の場合は、3 桁を中心にして対称な波形分布を示していることがわかる。3 桁の最大歪は 129 μ であり、設計衝撃荷重によって発生する桁下端筋歪 418 μ の 1/3 以下となっている。また、1 桁および 5 桁の最大歪は 3 桁の 1/2 以上である。これらの結果は荷重が緩衝材によって広く分散されていることを示しているものと考えられる。一方、P-D-2 の場合は 2 桁に載荷されているものの、1 桁で発生する歪が大きく、1 桁から離れるに従い徐々に小さくなっている。これは緩衝構造の幅が



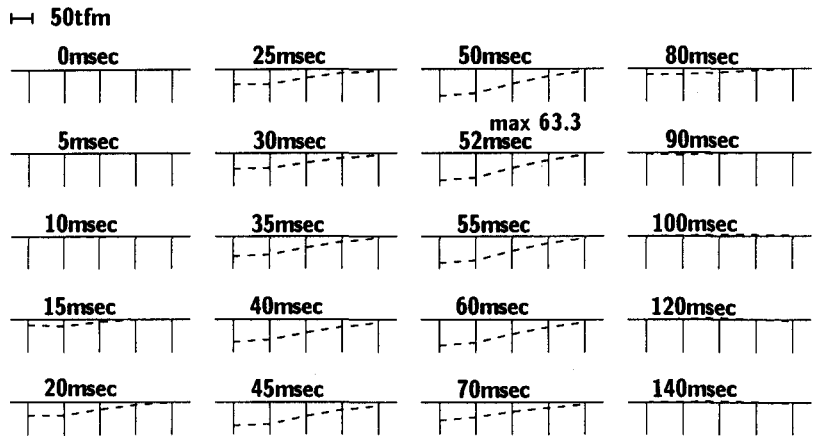
(a) P-D-3

(b) P-D-2

図-4 重錘衝撃力および桁中央の下端筋歪波形



(a) P-D-3



(b) P-D-2

図-5 桁中央部の曲げモーメント分布図

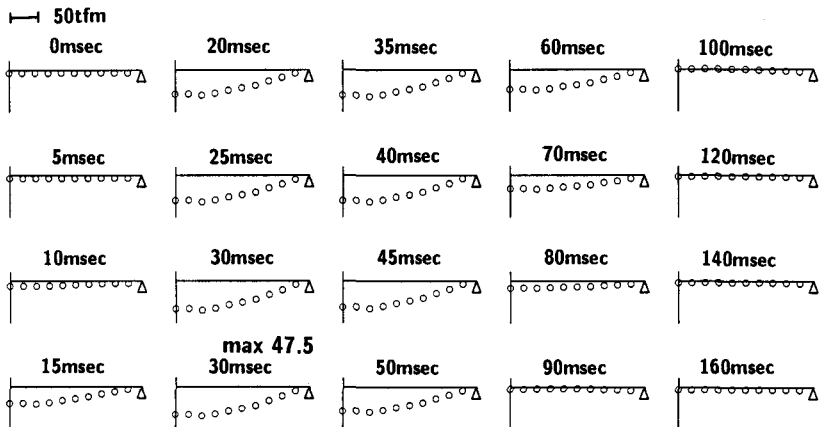


図-6 3桁の曲げモーメントの軸方向分布図

多主桁の幅と同じであり、かつ荷重が偏心荷重状態となっているため、芯材が載荷点側に線形的に傾いた状態になったためと考えられる。1桁の最大歪は 187μ であり、この値も設計荷重による発生歪の $1/2$ 以下になっている。本実験での重錘衝撃力が設計衝撃荷重の $1.9 \sim 2.6$ 倍になっているにもかかわらず、桁の応答歪は設計荷重による歪の $1/2$ 以下になっており、三層緩衝構造の荷重低減、分散効果が大きいことがわかる。

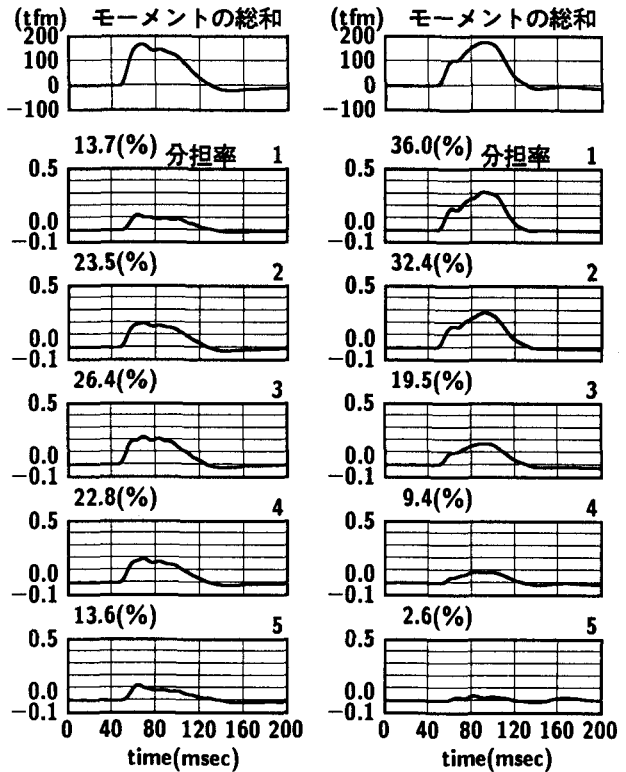
3.2 主桁の曲げモーメント分布

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次のようにして算定されている。すなわち、1) 測定された歪の最大値が 187μ であることより、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する、3) 測定された上下端筋歪を用い、配力筋およびPC鋼棒の軸剛性を考慮した全断面有効と仮定する、である。(a)図は、P-D-3、(b)図はP-D-2の場合である。P-D-3では中央部が若干大きい緩やかな分布性状を示しており、各桁の荷重分担が均等化されている状態が示されている。P-D-2の場合には、1桁と2桁の曲げモーメントはほぼ等しい値を示しているが、3、4、5桁ではほぼ直線的にモーメントが減少している。両図とも負の曲げモーメントは正の応答値に比べ無視できるほど小さく、衝撃荷重除荷時の上方への跳ね返りが非常に小さいことがわかる。桁の最大曲げモーメントに注目すると、P-D-3、P-D-2ではそれぞれ 45.1 、 63.3 tfm である。設計計算書より求められる落石荷重による曲げモーメント 111.6 tfm と比較すると、P-D-3の場合はその約 $1/2.5$ 、P-D-2の場合には約 $1/1.8$ となっている。この結果からも三層緩衝構造の荷重低減効果および分散効果が大きいことがわかる。

図-6はP-D-3における3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、スパン中央部から支点まで 25 cm 間隔で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ている。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、荷重が軸方向に等分布的に作用していることを示唆するものであり、本研究に用いた三層緩衝構造の荷重分散効果により、重錘の衝撃力が桁上面では等分布的に作用した結果と考えられる。荷重除荷後、曲げモーメントの応答がほぼ0となり減衰の程度が大きいことから、主応答時には低次の自由振動状態ではなく強制振動状態になっているものと推察される。

3.3 荷重分担の経時変化

三層緩衝構造を設置した場合の各桁の荷重分担率について検討する。荷重分担率は、スパン中央部に発生する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比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



(a) P-D-3

(b) P-D-2

図-7 桁中央の曲げモーメントの総和および各桁の荷重分担率

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 P-D-3 および P-D-2 における桁中央部に発生する曲げモーメントの総和および各桁の荷重分担率を示す。各図の上に最大応答時の荷重分担率を示している。P-D-3 における結果を見ると、耳桁すなわち1、5桁で14%程度の分担率を、その他2、3、4桁は23~26%程度の類似の分担性状を示している。特に2、3、4桁の性状は、載荷点が特定できないほど各桁の荷重分担率、その分布性状とも酷似している。これは三層緩衝構造により衝撃荷重が等分布的に分散された結果と考えられる。これより荷重が自由端から離れている桁上に載荷される場合には30%程度の荷重分担を考慮するだけで十分であることがわかる。一方、P-D-2 の場合には、前項の下端筋軸歪波形同様、1桁で最も大きく36%となり1桁から離れるにしたがい徐々に小さくなっている。荷重が自由端近傍に載荷される場合においても、三層緩衝構造の荷重分散効果が期待できるものと考えられる。

4 ま と め

著者等によって開発された三層緩衝構造を PC 多主桁上へ設置した場合の荷重分担性能を実証的に明らかにするために、単純支持 PC 多主桁上にその緩衝構造を設置し重錘落下による衝撃載荷実験を行った。本実験で用いた三層緩衝構造の表・裏層材はそれぞれ50cm厚の敷砂およびEPS材、芯材は厚さ20cm、補強筋比1%の複鉄筋RC版である。

三層緩衝構造を用い重量3tfの重錘を高さ30mから3桁に落下させた場合、桁の荷重分担率が30%以下になること、曲げモーメントの断面方向分布が均等化していること、および軸方向分布が等分布荷重を受ける場合に類似していることより、荷重の分散効果が大きいことが明らかになった。また、敷砂材を用いて高さ10mから落下する条件で算出された計算値と比較すると、重錘衝撃力は2倍以上の大きな値を示すにもかかわらず、桁の応答歪および曲げモーメントは1/2以下になり、大きな荷重低減効果を持つことが明らかになった。2桁に重錘を落下させた場合には、3桁に落下させた場合の結果には劣るものの十分な荷重の低減、分散効果を持つことが明らかになった。

謝 辞

室蘭工業大学建設システム工学科教授松岡健一博士には実験およびデータ整理全般に渡ってご指導戴いた。また、EPS材は三菱油化パーディッシュエ(株)より提供されたものである。実験およびデータ処理には、元室蘭工業大学大学院生尾山靖史君(現(株)長大)、松岡篤君(現ドービー建設工業(株))、室蘭工業大学大学院生佐竹利治君、竹村瑞元君に多大な協力を戴いた。ここに記して感謝致します。

参考文献

- 1) 岸徳光・中野修・松岡健一・西弘明：野外実験による敷砂の緩衝性能、構造工学論文集、Vol.39A、pp.1587-1597、1993.3
- 2) Nakano, O., Kishi, N., Matsuoka, K. G. and Yoshimura, J. : Development of 3-Layered Shock-Absorbing System for Rock Sheds, Proceedings of the International Symposium on Impact Engineering, Vol.2, pp.725-729, Nov. 1992
- 3) 日本道路協会：落石対策便覧、日本道路協会、1983.