

学位論文題名

落石覆道における三層緩衝構造の開発に関する研究

学位論文内容の要旨

落石覆道に関する衝撃問題とは、斜面上に位置する岩石が運動を始め、最終的には落石覆道に衝突する際に生じる現象の解明である。この時、覆道本体構造物の固有振動周期と同程度かそれよりも短い時間内に、落石重量の数十～数百倍程度の荷重の作用による過渡的な現象が生じる。このため、載荷初期には、載荷部の構造要素は、静的載荷の場合と異なり、波動論に則し、裏面剝離、貫通等の破壊を含む複雑な挙動を示すので、落石覆道に作用する衝撃力を緩和させるために、落石覆道の頂版上に緩衝構造を置くことが一般的に行われている。

理想的に緩衝構造の条件とは、効率的に落石エネルギーを吸収し、衝撃荷重を時間的および強度的に緩和させると同時に作用荷重を分散させることができることである。これに加えて、維持管理が容易でメンテナンスフリーに近いものであることも必要な条件である。しかしながら、上記のような理想的な緩衝構造は現在までのところ開発されておらず、一般的にはサンドクッションと呼ばれるように砂を緩衝材とした緩衝構造を採用しているのが現状である。

本論文は、敷砂緩衝構造より緩衝特性に優れた緩衝構造を開発し、その実用化を図るための設計方法の提案までを研究の目的とし、一連の研究を行いその結果を取りまとめたもので、全10章から構成されている。

第1章は、序論であり、研究の目的、既往の研究成果および論文の構成等について述べている。

第2章では、落石覆道の現行設計法の特徴を概説し、そこでの問題点を指摘している。

落石が覆道に衝突する際に生ずる現象の継続時間は、非常に短く、静的や一般的な動的実験での計測方法とは違い、計測機器の応答周波数が非常に重要なファクターとなる。従来の研究では、この点を考慮せずに土圧計等を使用しており、データの信頼性の面で問題があった。このため、本研究の重要なテーマである、衝撃力を計測するための衝撃荷重測定用ロードセルを開発することを目的に、試作品を用いて解析的、実験的に精度の検討を行ったのが、第3章である。その結果、定格容量が1.5tfで応答周波数が1 KHzまで保証することのできるロードセルを開発することができた。

第4章では、開発したロードセルを使用して、剛基礎上とPCスラブ上に従来より使用されている敷砂緩衝構造を設けて大型野外実験を行い、重錘衝撃力と伝達衝撃力に関する多面的な評価および今までに提案されている衝撃力算定式との比較を行っている。その結果を要約すると、

- 1) 伝達衝撃力に関しては、敷厚が増大する場合でもそれほど分散が期待できない。分布幅を仮定する場合には、落石対策便覧同様、衝撃力を集中荷重と仮定して評価した方がよい。
- 2) 最大伝達衝撃力は、最大重錘衝撃力に比べて1.5倍以上大きい値を示す。

前章で敷砂緩衝構造の場合に、伝達衝撃力が重錘衝撃力よりも大きいことが実験結果より明らかになったので、第5章では、これを理論的に説明すべく、平面的な覆道頂版上に敷かれた砂層を剛基礎上にある弾性体にモデル化し、二次元問題の有限帯板要素法を適用して弾性解析を行った。数値解析より明らかになった諸特性の傾向を要約すると、

- 1) 敷砂中を伝播して覆道頂版に作用する衝撃力に関しては、敷砂内での波動の減衰効果や分散をほとんど期待できないことがわかった。
- 2) 敷砂上にRC梁を付設し入力荷重を一定とした場合は、敷砂のみの場合と比較して敷砂底部の動土圧が大きく低減され、さらにスパン全体に分散させ得ることがわかった。RC梁の直接的な損傷を防ぎ、落石の衝突衝撃力を緩和させることのできる緩衝構造としては、RC梁上に敷砂を施した三層構造がより合理的であるものと考えられる。

第6章では、より効果的な緩衝構造を開発する目的で、敷砂材とは異なる新素材からなる緩衝システムに注目し、緩衝材としてEPS材や敷砂の単層構造およびそれらとRC等の構造部材を組み合わせた三層構造に関する基礎実験を行った。この結果、三層緩衝構造が敷砂構造のような単層緩衝構造よりも、緩衝構造として要求される3条件の全てで優れており、三層緩衝構造の基本的なコンセプトが確立できた。

第7章では、ロックシェッド建造物の緩衝材として実用化を前提として考えた三層緩衝構造を取り上げ、大型の野外実験を行い、その緩衝性能についての検討を行っている。ここで採用した三層緩衝構造は、表層材として敷砂材、芯材として単鉄筋または複鉄筋のRCスラブ(20cm厚)、裏層材としてEPS材から構成されるものである。なお、表層材および裏層材の敷厚はそれぞれ50cmに固定している。実験では、緩衝構造の芯材の剛性の違いによる緩衝特性の他、使用耐久性をも検討するため、同一地点への繰り返し载荷も行っている。実験結果より、芯材にRCスラブ等の剛部材を使用することによって、緩衝荷重が分散され、裏層EPS材の面全体による荷重吸収効果を期待することができる。これにより、覆道頂版に伝達される衝撃力は重錘衝撃力にほぼ等しい値に低減できることが明らかになった。

覆道の頂版をモデル化した施設での実験を前章で実施したが、第8章では、実際に建設中の落石覆道を使用して、三層緩衝構造をその頂版上に設置し、現場への適用性を含めた実証実験を行い、敷砂単層緩衝構造との対比および一連の三層緩衝構造に関する実験結果を取りまとめた。その結果を要約すると、

- 1) 荷重分布範囲は、半径2 m程度で、敷砂90cmを緩衝材とした場合の落石対策便覧による計算値の約2倍となっている。一方、荷重強度は、計算値の約1/4程度に低減されている。
- 2) 同一箇所に繰返し重錘落下を行った場合でも、緩衝性能の低下はほとんど見られない。

また、これらより、三層緩衝構造を採用する場合の設計衝撃荷重等としては、以下の提案を行っている。1)設計緩衝荷重の算定式としては、振動便覧式の値の半分を使用する。2) 載荷面積については半径2 mとし、その範囲内では等分布荷重とする。

第9章では、実証実験データをベースにして、理論面より実験結果の検証を行っている。その結果、有限帯板法による解析結果が、概略的に実験における応答開始から減衰にいたるまでの応答過程とよく近似しており、覆道構造の衝撃挙動解析法として有効であることを明らかにした。

第10章は結論で、各章の主たる結果をまとめている。

以上、本研究は、現行の敷砂単層緩衝構造に代わるものとして、新たな概念に基づいて開発された三層緩衝構造の緩衝特性を分析し、その設計法を論じたものである。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 芳 村 仁
副 査 教 授 角 田 與史雄
副 査 教 授 山 田 元

道路防災施設の果たす役割は、近年極めて重要なものになってきており、その中でも、落石覆道は、他の方法では対処不可能な箇所に建設される重要構造物として、都道府県道以上の道路には全国で911箇所、北海道の国道には112箇所（平成元年度現在）の落石覆道が建設されている。

これらの落石覆道には、覆道本体構造に作用する衝撃力を緩和させるために、落石覆道頂版上に緩衝構造を置くことが一般的に行われている。

理想的な緩衝構造の条件は、如何に効率的に落石エネルギーを吸収し、衝撃荷重を時間的および

び強度的に緩和させると同時に作用荷重を分散させることができるかである。これに加えて、維持管理が容易でメンテナンスフリーに近いものであることも必要な条件である。しかしながら、上記のような理想的な緩衝構造は現在までのところ開発されておらず、一般的にはサンドクッションと呼ばれるように砂を緩衝材とした緩衝構造を採用しているのが現状である。

本研究では、このような背景から、敷砂緩衝構造より緩衝特性に優れた緩衝構造を開発し、その実用化を図るための設計法の提案までについての総合的な検討が行われている。

第1章では、研究の背景と目的について述べ、論文の構成を示している。

第2章では、落石覆道の現行設計法の特徴を概説し、そこでの問題点を指摘している。

第3章では、落石が覆道の緩衝構造に衝突する際に生じる現象の継続時間が非常に短いこともあり、静的や一般的な動的実験で使用されている計測手法には問題があり、このような場合には、計測機器の応答周波数が非常に重要なファクターとなることを指摘している。このため、本研究の重要なテーマである衝撃力を計測するための衝撃荷重測定用ロードセルの開発に新たに着手し、定格容量が1.5tfで応答周波数が1 KHzまで保証することのできるロードセルの開発に成功している。

第4章では、このロードセルを使用して、剛基礎とPCスラブ上に従来の敷砂緩衝構造を設けて大型野外実験を行い、重錘衝撃力と覆道本体への伝達衝撃力に関する多面的な評価および今までに提案されている衝撃力算定式との比較を行い、伝達衝撃力が重錘衝撃力よりも大きくなり、その分布性状については集中荷重的であることを明らかにしている。

第5章では、これを理論的に解明すべく、平面的な覆道頂版上に敷かれた砂層を剛基礎にある弾性体にモデル化し、二次元問題の有限帯板要素法を適用して弾性解析を行い、敷砂緩衝構造に関する実験結果を解析的に立証している。その上で、敷砂上にRC梁を付設し更に敷砂を施した三層構造がより合理的な緩衝構造であるとの指摘をしている。

第6章では、前章での指摘を基に、敷砂材とは異なる新素材からなる緩衝システムに着目し、各材質の特徴を効果的に組合わせた敷砂、鉄筋コンクリート版と発砲スチロール（EPS）材からなる緩衝システムを提案し、基礎実験を行っている。この結果、三層緩衝構造が敷砂構造のような単層緩衝構造よりも、緩衝構造として要求される3条件の全てに優れており、三層緩衝構造の基本的な概念をここで確立させている。

第7章では、落石覆道の緩衝材として実用化を図るため、表層材として敷砂材、芯材として単鉄筋または複鉄筋のRCスラブ（20cm厚）、裏層材としてEPS材から構成される三層緩衝構造に関しての大型の野外実験を行い、その結果、EPS材の高い衝撃吸収性能およびRC版の荷

重分散効果が有効に作用して、三層緩衝構造は敷砂緩衝構造とは対照的に衝撃力を吸収し、荷重も広く分散させることができることを明らかにしている。

第8章では、実際に建設中の落石覆道を使用して、三層緩衝構造をその頂版上に設置し、現場への適応性を含めた実証実験を行い、三層緩衝構造の実用性を確認している。それと同時に、三層緩衝構造を採用する場合に必要な設計衝撃荷重および分散範囲についての提案を行っている。

第9章では、実証実験データをベースにして、理論面より実験結果の検証を行い、有限帯板要素法による解析が、実験結果に対して概略的に全応答過程をよく類似できることを明らかにし、覆道構造の衝撃挙動解析法としての有限帯板要素法の有効性を立証している。

これを要するに、本論文は、落石覆道の緩衝構造に関して総合的な検討を行い、多くの新知見を得るとともに、新たな緩衝構造を設計法を含めて開発したものであり、構造動力学的の発展および落石覆道の設計法の向上に貢献するところ大なるものがある。よって、著者は、博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。