

I - 3 既設 RC 覆道の耐衝撃性向上に関する実証実験

室蘭工業大学	正 員	岸 徳 光
開発土木研究所	正 員	佐 藤 昌 志
開発土木研究所	正 員	今 野 久 志
室蘭工業大学	正 員	松 岡 健 一

1. はじめに

海岸線や山岳の急峻な地形にある道路や鉄道には落石等に対する安全施設として落石覆道が設けられている。従って落石覆道の主たる設計外力は落石による衝撃力である。実設計においては、覆道を建設する現場の地形、地質等を詳細に調査することにより、落石規模を決定し衝撃力を算定している。しかしながら、現在これを正確に決定できる手法は確立されておらず、また設計当初においてある程度合理的に決定できたとしても年月の経過とともに状況も変化することから、常に定期的な見直し点検を行い安全性の確保に努めることが求められている。現在、関係部局においては、定期的に、また地震等自然災害の発生時等に応じて調査を行い安全性を検討している。これらの見直し作業において、地形や地質状況の変化により想定落石規模を変更しなければならないことも予想される。このような状況において落石覆道の安全性を確保するためには、落石による衝撃力を緩和するための緩衝材の強化もしくは覆道本体の補強を行わなければならない。しかしながら、覆道本体の補強は建設現場の条件から困難なことが多く、緩衝材の性能強化による安全性の向上を計ることが実用的である。

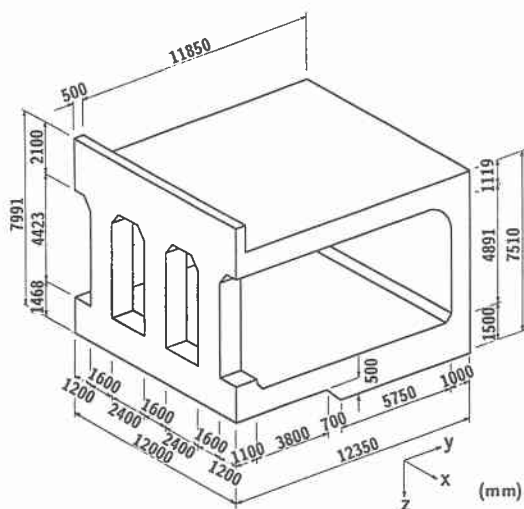
著者等は、これまで従来の敷砂材に比較し、格段に緩衝性能の優れた三層緩衝システム (TLAS) を開発し、各種落石覆道に適用しその性能を確認してきた^{1)~5)}。この結果、TLAS は落石等による衝撃力を緩和すると同時にその荷重分散範囲の拡大が可能であることから、高性能の緩衝構造として実用化が十分可能であることが示されている。特に、PC 落石覆道では敷砂材と比較し、6 ~ 7 倍の緩衝性能があり⁴⁾、RC 落石覆道でも 2 ~ 3 倍の緩衝性能があることが示されている⁵⁾。

本研究は、この新しい緩衝システム TLAS を既設の落石覆道に適用し、落石覆道の耐衝撃性を向上させることを目的としたものである。理想的には、既設落石覆道の緩衝材としての敷砂を全て除去し、これに替わって TLAS を設置することが望ましいものと考えられるが、覆道設置場所や敷砂材厚等の条件によっては敷砂の除去に多大の経費を要することが予想される。本研究では既設の敷砂材を一部残した状態で TLAS を設置する、いわば四層構造を考え耐衝撃特性を検討し、既設の落石覆道の実用的な耐衝撃性能の向上工法の確立を目指すものである。具体的には、実物の柱式 RC 落石覆道の 1 ブロックを用い、敷砂材の一部を残しこの上に TLAS を設置し、重錘落下による衝撃力を与え、敷砂材のみを用いた場合と TLAS のみを用いた場合との比較によりその緩衝性能を検討した。

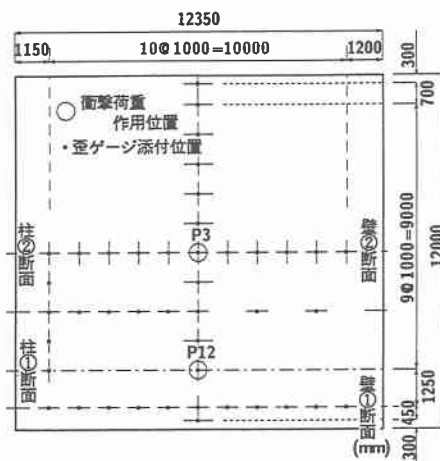
2. 実験概要

実証実験に用いた覆道は松前群松前町字白神にある一般国道 228 号に建設された立岩覆道である。本覆道に関する詳細は文献 6) に述べているのでここでは省略する。設計に用いた衝撃力は、重量 1.36 tf の落石が、高さ 22 m から落下すると仮定して、落石対策便覧⁷⁾の振動便覧式から算定される 121 tf としている。立岩覆道 1 ブロックの概略形状を図-1 に示す。

実験ケースの一覧を表-1 に示す。実験ケース名は、緩衝構造の種類、載荷下位置及び落下高さの順にハイフンで結んで示している。ここで、S90 は 90 cm 厚の敷砂材、TLAS は表層材が 50 cm 厚の敷砂材、芯材が 20 cm 厚の RC 床版、裏層材が 50 cm 厚の EPS 材の三層緩衝構造であり、TLAS (S40) は TLAS



図－１ 立岩覆道 1 ブロックの概略形状



図－２ 衝撃荷重載荷位置図

表－１ 実験ケース一覧

実験ケース	緩衝構造（上層から、厚さ cm）				荷重作用位置	重錘落下高さ（m）	重錘衝撃力（tf）
	敷砂	RC 床版	EPS 材	敷砂			
TLAS（S40）－3－25	50	20	50	40	P3	25	211.9
TLAS－3－25	50	20	50	－	P3	22	220.9
S90－3－10	90	－	－	－	P3	10	109.9
TLAS（S40）－12－20	50	20	50	40	P12	20	185.0
TLAS－12－20	50	20	50	－	P12	20	181.8
S90－12－10	90	－	－	－	P12	10	141.1

のさらに最下層に 40 cm 厚の敷砂材を用いたものである。なお、本覆道は供用中であり、ひび割れ等の損傷を与えられないことから、作用衝撃力は設計衝撃力程度となるように設定した。

実験に用いた重錘は重量が 3 tf であり、形状は直径 1 m、高さ約 1 m で底部の高さ 17 cm、半径 80 cm の球底である。実験における衝撃力は、この重錘を所定の高さから自由落下させることにより与えた。本実験の落下位置は表－１及び図－２に示すように覆道中央部（P3）と端部（P12）の 2 箇所である。なお、測定項目の詳細についても文献 6）に述べているので、ここでは省略する。

3. 実験結果及び考察

前節で述べたように、本実験での載荷位置は、中央断面中央部（P3）及び、柱①断面中央部（P12）の 2 箇所のみである。以下では、各載荷位置に対して、緩衝構造として敷砂材のみを用いた場合と TLAS のみを用いた場合との比較により、考察を進める。また、図の各断面は、頂版、側壁及び底版に関しては単位幅当たり（m）、柱部に関しては柱全断面に対する値で示している。従って柱部とそれ以外の部分では表示の単位が異なっている。

3.1 重錘衝撃力

各実験ケースで測定された重錘加速度に重錘質量を乗じて得られる重錘衝撃力を表－１に示している。これより、敷砂を緩衝材として用いた場合は平均約 120tf、TLAS 及び TLAS（S40）を緩衝材として用いた場合は約 200tf であることがわかる。いずれも、これまで行われていた緩衝構造の性能実験^{1)~3)}で得られた結果とほぼ同様である。すなわち、TLAS 及び TLAS（S40）を用いた場合の重錘衝撃力 200 tf に対する伝達

衝撃力はこれまでの実験では約 120 tf であり、本実験の衝撃力も設計衝撃力とほぼ同程度と考えられる。

3.2 中央断面中央部 (P3) 載荷

中央断面中央部 (P3) に載荷した場合の各断面力の最大応答断面方向分布を図-3 に示す。重錘の落下高さは、敷砂材のみ用いた場合は 10 m、TLAS 及び TLAS (S40) を用いた場合が 25 m である。なお、敷砂材を○印、TLAS を△印、TLAS (S40) を□印 (以下同様とする) で示している。

図-3 (a) は断面方向曲げモーメント My の分布を示す。TLAS と TLAS (S40) を用いた場合は載荷点中央部で正の最大値それぞれ 39.2 tfm/m、41.5 tfm/m を生じており、断面の両端部へ向かうに従い減少し、山側側壁部との接合部で負の最大値それぞれ 22.9 tfm/m、23.7 tfm/m を生じている。また、柱部では上端で最大曲げモーメント値それぞれ 69.3 tfm、72.0 tfm が生じており、下部に向かって減少している。これらは、両者ともほぼ同様の分布をしている。また、敷砂材のみを用いた場合と比較しても載荷点中央部を除いてほぼ同様な値を示している。

図-3 (b) は断面方向軸力 Ny の分布を示す。敷砂材、TLAS 及び TLAS (S40) を用いた場合の分布は頂版では載荷点中央部でそれぞれ 58.2 tf/m、82.1 tf/m、及び 91.0 tf/m と大きく、両端部に向かい急激に減少する傾向を示し、柱上部ではそれぞれ 92.4 tf、95.6 tf、及び 99.3 tf、壁上部ではそれぞれ 33.3 tf/m、40.5 tf/m、42.9 tf/m と大きな値を示し、下部へ向かって減少している。ただし、柱下部でも上部の約 1/2 の大きさの軸力が発生している。しかしながら軸力による応力は、頂版の中央部で約 9 kgf/cm²、柱部でも約 6 kgf/cm² と小さな値となっている。この場合も TLAS 及び TLAS (S40) を用いた場合はほぼ同様の分布を示しており、載荷点中央部を除いてほぼ同様の値となっている。

図-3 (c) は軸方向曲げモーメント Mx を頂版部についてのみ示す。敷砂材、TLAS 及び TLAS (S40) を用いた場合の分布は中央部でそれぞれ 15.6 tfm/m、11.6 tfm/m 及び 11.8 tfm/m と小さな値となっている。また、(a)、(b) 図と同様、TLAS 及び TLAS (S40) はほぼ等しく緩やかな分布となっており、敷砂材

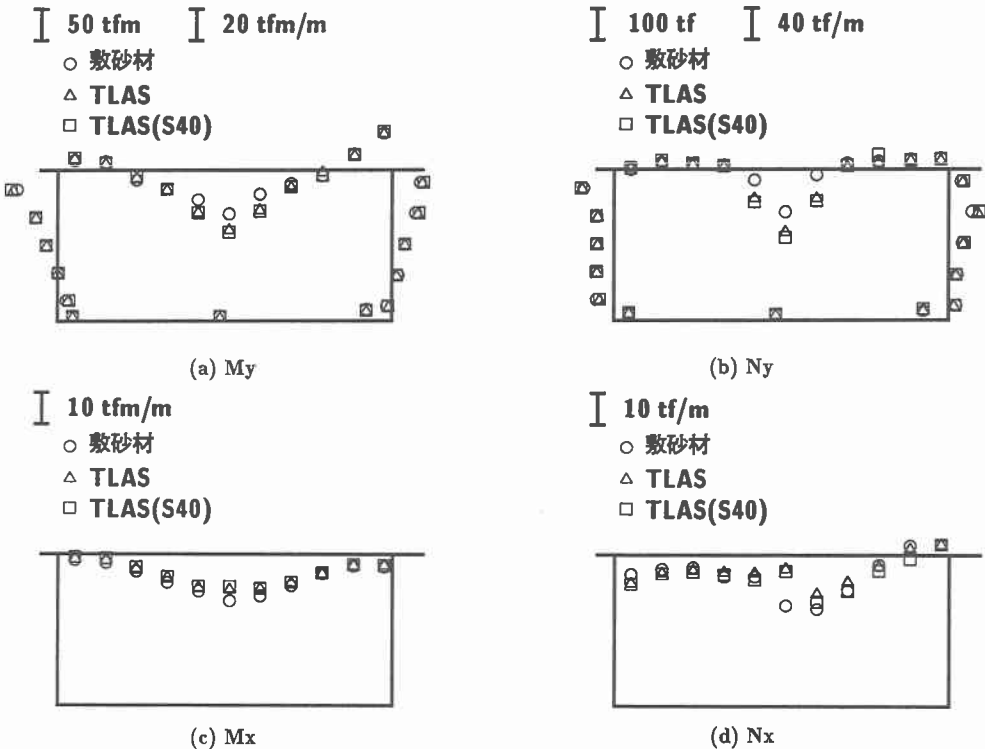


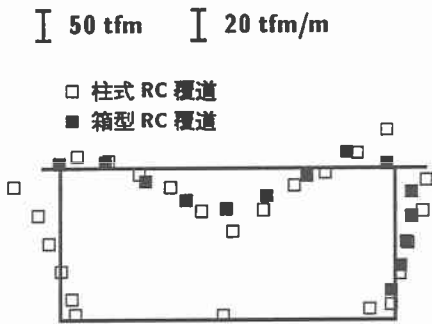
図-3 P3 載荷時の最大応答断面力分布

を用いた場合とは中央部で多少異なっている。

図－3(d)は軸方向軸力 N_x を示す。敷砂材、TLAS 及び TLAS (S40) を用いた場合それぞれ 18.1 tf/m、12.8 tf/m、15.7 tf/m と小さくほぼ等しい値となっている。また、最大値でも N_y の約 1/3 以下である。

曲げモーメント M_y に関する箱型 RC 落石覆道 (美幌覆道)⁵⁾における実証実験結果 (■印)と本実験値 (□印)との比較を図－4 に示す。美幌覆道は海側側壁部に開口部を有する箱型 RC 落石覆道であり、断面形状は本覆道と類似している。ただし、断面寸法は、美幌覆道の内幅員が 9.75 m であるのに対して、立岩覆道では 10.25 m と、立岩覆道の方が 0.5 m 大きい。また、美幌覆道の実験結果は、最下層の敷砂厚が 50 cm、重錘落下高さは 30 m であり、立岩覆道における本実験条件とは多少異なる。従って、両者を単純に

比較することは、必ずしも適当ではないものと考えられるが、覆道形式の相違による断面力分布の傾向を知るためにあえて比較することとした。図から明らかなように、落下高さは美幌覆道の方が 5 m 高いにも関わらず、頂版部の曲げモーメントの最大値は、本実験では 41.5 tfm/m、美幌覆道では 27.3 tfm/m と本実験の方が約 50 % 大きく、分布形状も美幌覆道では緩やかな分布をしているが、本実験では載荷点中央部に集中的な分布を示している。これは、内幅員及び柱部の有無が影響しているものと考えられる。しかしながら、この点を除けば両者の分布は類似している。覆道形式の相違による断面力への影響は、今後さらに検討が必要であると思われる。



図－4 TLAS (S40) を用いた場合の
曲げモーメント M_y の比較図

3.3 柱①断面中央部 (P12) 載荷

柱①断面中央部 (P12) に載荷した場合の、端部断面 (図－2 に示す壁①断面) における最大応答の断面力分布を図－5 に示す。ただし、この位置において評価可能な断面力は、計測の都合上断面方向曲げモーメント M_y 及び、断面方向軸力 N_y のみである。また、柱部の断面力は柱①断面のものであり、頂版部及び側壁部の評価位置とは異なる。なお、重錘落下高さは敷砂材を用いた場合 10 m、TLAS 及び TLAS (S40) を用いた場合は 20 m である。

図－5 (a) は断面方向曲げモーメント M_y の分布を示す。この場合の TLAS (S40) を用いた場合の分布も載荷点中央部で正の最大値 29.3 tfm/m を生じ、側壁部に向かって減少し側壁部との接合部で負の最大値 31.8 tfm/m を発生している。側壁部及び柱部では、上部で負の大きな曲げモーメントがそれぞれ 27.2 tfm/m、92.2 tfm を生じ、下部へ向かって減少している。また、底版部では 7.0 tfm/m と小さな値になっている。

P3 載荷時と比較すると、TLAS 及び TLAS (S40) を用いた場合には、頂版部は載荷点から離れていること及び落下高さが小さいことから、P3 載荷時より小さい値を示しているが、柱部では落下高さが小さいにも関わらず、P12 載荷時の方が大きくなっており、載荷位置の影響が示されている。また、全体的に、敷砂材のみを用いた場合の値が多少大きいものの、三者はほぼ同様の分布を示している。特に TLAS 及び TLAS (S40) を用いた場合には、ほぼ同様の値を示しており、同様の緩衝性能を有していることが分かる。

図－5 (b) は断面方向軸力 N_y を示す。TLAS (S40) を用いた場合の分布は、頂版部の載荷点中央部で正の最大値 21.4 tf/m を生じ、側壁部との接合部で負の最大値 17.3 tf/m を生じている。柱部及び側壁部では、上部に一部大きな値 61.7 tf、31.9 tf/m を生じているが、ほぼ一様な圧縮力約 50 tf、25 tf/m となっている。また、P3 載荷時と比較すると、やはり頂版部では載荷点中央部から離れていること、落下高さが小さいことから P3 載荷時より小さい値となっている。柱部では両者ほぼ同様であり、柱部の軸力には軸方向載荷位置の影響が少ないことが示されている。三者を比較すると、柱部及び側壁部で敷砂材を用いた場合には大きな値を示している。また、TLAS 及び TLAS (S40) を用いた場合はほぼ等しいことより、両者同様の緩衝性能を有していることが分かる。

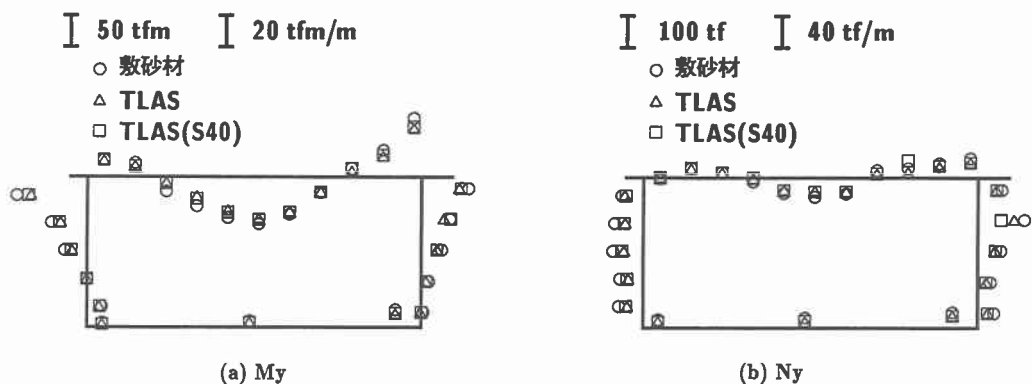


図-5 P12 載荷時の最大応答断面力分布

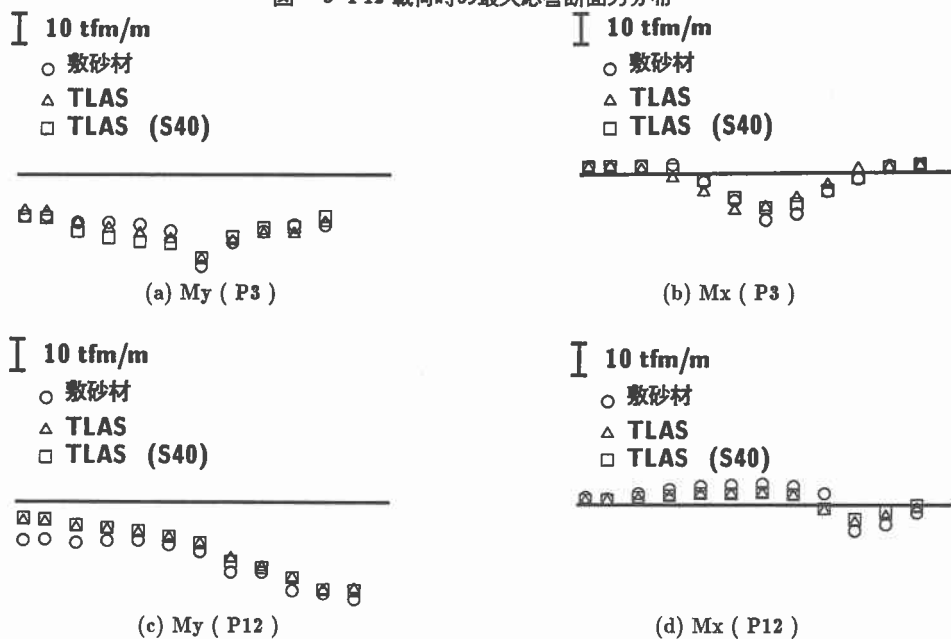


図-6 P3、P12 載荷時の軸方向の最大応答断面力分布

3.4 各曲げモーメントの軸方向分布

P3 及び P12 載荷時の M_y 及び M_x の頂版中央断面の軸方向分布を図-6 に示す。P3 載荷時の TLAS (S40) を用いた場合の M_y 、 M_x の分布は、載荷点中央部でそれぞれ 27.2 tfm/m、12.0 tfm/m であり、両端部へ向かって大きく減少する傾向を示す。 M_y は端部で 14.0 tfm/m と中央部の約 1/2 程度の値を示している。一方、 M_x は端部で零となることから、中央部へ集中していることが分かる。

P12 載荷時では、 M_y は載荷点中央部よりも載荷点に近い端部で最大値 29.3 tfm/m が生じる傾向にあり、他端に向かって徐々に減少している。一方、 M_x は両端部で零であることから、全体として小さな値となっている。また、載荷点では正の最大値 5.0 tfm/m、中央部へ向かって負の曲げモーメントとなり、正負の絶対値はほぼ等しい。いずれの分布図においても TLAS 及び TLAS (S40) を用いた場合はほぼ同様の分布を示している。

TLAS 及び TLAS (S40) を用いた場合と敷砂材を用いた場合を比較すれば、P3 載荷時の M_y は TLAS 及び TLAS (S40) を用いた場合と同様な値となっている。一方、P3 載荷時の M_x 及び P12 載荷時の M_x 、 M_y は、後者より前者の方が 3 tfm/m 程度小さな値となっている。

P3 及び P12 載荷時に限定して、各断面力の断面方向及び軸方向分布について検討を加えた。P3 及び P12 載荷において、TLAS 及び TLAS (S40) を用いた場合の落下高さが異なるため、単純な比較はできないが、以上の結果から、TLAS 及び TLAS (S40) を用いた場合は、両者はほぼ同程度の緩衝性能を有することが分かる。また、敷砂材を用いた場合と比較すれば、それぞれ約 2 倍以上の緩衝性能を有することが分かる。

4.まとめ

P3 及び P12 載荷時に限って、既設の落石覆道の耐衝撃性能の向上工法として、既設の敷砂材の一部を残した状態で、TLAS を設置した TLAS (S40) の緩衝性能を実覆道を用いた衝撃実験によって検討した。

実験上の制約から載荷位置や重錘落下高さが制限された実験ではあるが、本実験で得られた結果を要約すれば以下のようなものである。

- 1) 覆道中央断面中央部 (P3) 載荷及び、端断面中央部 (P12) 載荷とも TLAS (S40) を用いた場合は、TLAS を用いた場合と同様の緩衝性能を有する。
- 2) 柱式 RC 落石覆道の断面力特性と開口部を有する箱型 RC 落石覆道との比較では、TLAS (S40) を用いた場合においても中央断面中央部載荷時に柱部の影響が現れている。

以上のことから、既設 RC 落石覆道の耐衝撃性能の向上工法として、敷砂材の一部を残して TLAS を設置する本工法は、事実上十分に有効であることが明らかとなった。

本研究をまとめるに当たり、実験の計測に対しては計測技販 (株) の皆様の、また、計測データの処理に対しては、前山順宏、池田泰博君をはじめ室蘭工業大学大学院工学研究科建設システム工学専攻構造力学研究室の院生諸君に多大のご協力を戴いた。ここに記して謝意を表します。

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) 岸 徳光、佐藤昌志、中野 修：三層緩衝構造の緩衝性能に関する大型野外実験、構造工学論文集、 vol.41A, pp. 230 ~ 235, 1993.6.
- 3) 佐藤昌志、岸 徳光、西 弘明、松岡健一：三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、構造工学論文集、vol.41A, pp. 1249 ~ 1256, 1995.3.
- 4) 佐藤昌志、西 弘明、岸 徳光、松岡健一：三層緩衝構造を用いた実規模 PC 製落石覆工の重錘落下衝撃挙動、構造工学論文集、vol.42A, pp. 1347 ~ 1356, 1996.3.
- 5) 岸 徳光、中野 修、松岡健一、菅田紀之：RC 覆工の衝撃力応答解析手法の適用性に関する実証的検討、土木学会論文集、No.483/I-26, pp. 97 ~ 106, 1994.1.
- 6) 佐藤昌志、岸 徳光、今野久志、前山順宏：三層緩衝構造を用いた柱式実RC覆道の重錘落下衝撃実験、土木学会支部論文報告集、第 53 号, 1997
- 7) 日本道路協会：落石対策便覧、日本道路協会、1983.