

I - 1 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

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	今 野 久 志
室蘭工業大学	学正員	前 山 順 宏

1. はじめに

現在、落石覆道の耐衝撃安全性向上を目的として各方面で精力的な研究が行われている^{1)~3)}。落石覆道の耐衝撃安全性確保のためには、覆道本体構造の耐衝撃特性を考慮した設計法の確立とともに、落石等による衝撃力の緩和機構としての緩衝構造の性能向上を計ることが重要である。

著者らは、緩衝性能に優れた新しい緩衝構造として三層緩衝構造 (Three-Layered Absorbing System : 以下略して TLAS と称する) を開発し、種々検討を行ってきた。これまでの研究では、まず、剛基礎上に置かれる TLAS の緩衝性能を敷砂材と比較することにより、この緩衝性能が敷砂材に比較し格段に優れていることを明らかにした⁴⁾。さらに実規模の箱型 RC 覆道及び PC 覆道に適用し、同様に敷砂材を用いた場合と比較する形でその性能を検討し、実用的にも敷砂材に比較し数倍の緩衝性能を有することを明らかにしてきた^{5),6)}。

しかしながら、落石覆道には構造材料として RC 製、PC 製及び鋼製がある。また RC 覆道では構造形式として、箱型と柱式がある。TLAS の実用化のためには、それぞれの落石覆道に対する適用性を検討しておくことも重要である。ここでは、RC 覆道の形式の一つである柱式 RC 覆道への TLAS の適用性を検討するために、柱式 RC 覆道に TLAS を設置して重錘落下による衝撃実験を行い、その緩衝性能の検討を行った。

実験は、実物の柱式 RC 覆道を用いて行い、同時に行われた敷砂材を緩衝構造とする場合の応答結果と比較することにより TLAS の緩衝特性を検討した。また、過去に行われた箱型 RC 覆道における実験結果⁵⁾との比較により、TLAS を用いた RC 覆道の衝撃特性に及ぼす構造形式の影響についても検討した。

2. 実験の概要

2.1 立岩覆道

本実験の対象とした覆道は、北海道松前郡松前町字白神にある一般国道 228 号に設置された立岩覆道である。立岩覆道は柱式の RC 落石覆道であり、路面幅員約 10 m、覆道内高約 5 m、1 ブロックの覆道軸方向長さ 12 m であり、合計 25 ブロック、全長 300 m の覆道である。1 ブロックの概略形状は、図-1 に示すように、全幅 12.35 m、全高 7.99 m、長さ 12.0 m で、頂版厚 1.0 m、底版厚 (一部で変化している) 1.0 ~ 1.5 m、側壁厚 1.0 m となっている。また、柱側は断面 1.6 m × 1.1 m、高さ 4.42 m の柱をブロック中心から柱中心間隔 4.0 m、3 本で支える構造となっている。

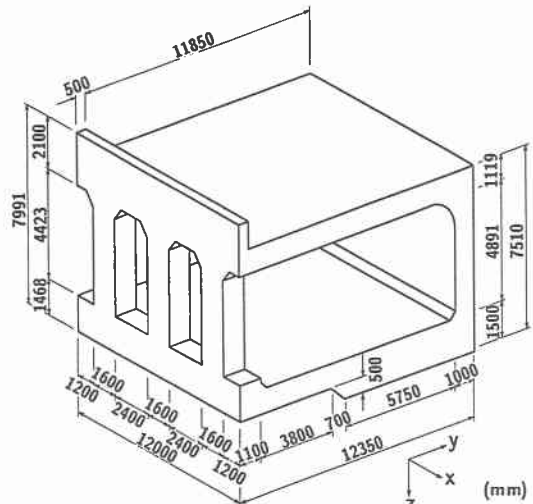


図-1 立岩覆道 1 ブロックの概略形状

Impact Test of Column-Type RC Rock-Sheds with Three-Layered Absorbing System
by Masashi SATO, Norimitsu KISHI Hisashi KONNO and Yukihiro MAEYAMA

本覆道の設計条件は表－１ のようである⁸⁾。落石荷重は覆道設置場所により作用条件を考慮して設定しているが、最大荷重としては重量 1.36 tf の落石が、高さ 22.0 m から落下するものとして、落石対策便覧にある振動便覧式⁷⁾により算定される 121.5 tf を考慮している。衝撃力は、敷砂のラーメ定数を $\lambda = 100 \text{ tf/m}^2$ として評価している。このようにして設計された覆道頂版の断面方向鉄筋は下側に D 25、上側に D22 をそれぞれ 12.5 cm ピッチの配筋とし、上下端の配筋筋はそれぞれ D16、D19 を 25 cm ピッチとなっている。また、柱部の配筋は D32 が合計 40 本、側壁部の内外端筋はそれぞれ D19、D32 でピッチがいずれも 25 cm、底版の上下端筋はそれぞれ D25、D32 でピッチが同じく 25 cm となっている。図－２ に主要断面の配筋図を示す。

2.2 実験条件および測定項目

実験は立岩覆道の 1 ブロックを用いて行った。作用衝撃力は、本覆道が供用中であることより、設計衝撃力の範囲としなければならない。本実験では弾性範囲内の衝撃応答特性を検討することとし、作用衝撃力は、TLAS を用いたこれまでの実験結果を参考に、重量 3 tf の重錘を 20 m または 25 m の高さから自由落下させることによって与えることとした。なお、用いた重錘の形状は、直径 1 m、高さ約 1 m で、底部 17 cm が球底（半径 80 cm）である。

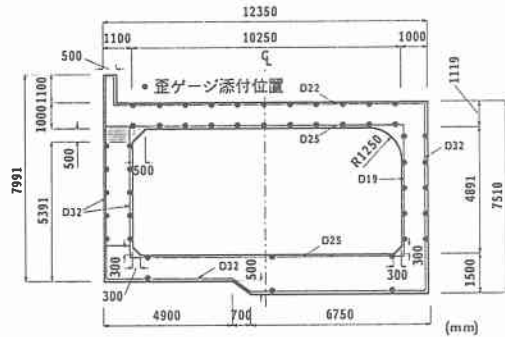
本実験では、衝撃荷重作用位置を図－３ に示すように TLAS を用いた場合には P3、P12、P18 敷砂材を用いた場合にも P3、P12、P15（端部載荷（P18）の場合には床版に損傷を与えないために載荷点を柱①断面中央部（P12）とした）と合計 4 箇所を設定した。各載荷位置は、図に示されているように記号化し、以下の説明に用いることとする。

実験ケースの一覧を表－２ に示す。表－２ には、本実験との比較に用いた敷砂を緩衝材とする場合も合わせて示している。

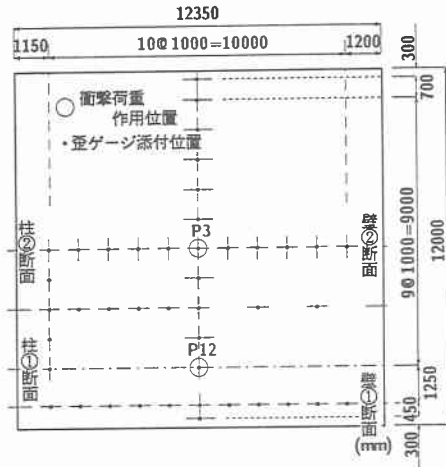
測定は重錘衝撃力測定用歪ゲージ型加速度計、および覆道内断面力算定用の歪ゲージについて行った。加速度計は重錘底部に埋設している。歪ゲージは各断面の上下端筋あるいは内外端筋に添付している。図－２ には歪ゲージの添付位置を・印で示している。頂版の中央および軸中心断面には、断面方

表－１ 設計条件

コンクリート	設計強度	$\sigma_{ck} = 210 \text{ kgf/cm}^2$
	許容応力度	$\sigma_{ca} = 70 \text{ kgf/cm}^2$
使用鉄筋	鉄筋種別	SD30A
	許容応力度	$\sigma_{sa} = 1800 \text{ kgf/cm}^2$
落石荷重	重量 1.36 tf 落下高 22 m 衝撃力 121 tf	
土圧	クーロン土圧 $\phi = 35^\circ$ $\delta = (\text{常時}) 20^\circ, (\text{地震}) 0^\circ$	
雪荷重	常時	520 kgf/m ²
	雪崩時	鉛直 1.50 tf/m ² , 水平 0.45 tf/m ²
設計震度	水平 0.17, 鉛直 0.0	



図－２ 立岩覆道の配筋図及びゲージ添付位置図



図－３ 衝撃荷重載荷位置図

表－２ 実験ケース一覧

実験ケース	緩衝構造の厚さ (cm)			重錘落下高さ (m)	荷重作用位置	重錘衝撃力 (tf)
	敷砂	RC 床版	EPS 材			
TLAS-3-25	50	20	50	25	P3	220.9
S90-3-10	90	—	—	10	P3	109.9
TLAS-12-20	50	20	50	20	P12	191.8
S90-12-10	90	—	—	10	P12	141.1
TLAS-18-20	50	20	50	20	P18	211.2
S90-15-10	90	—	—	10	P15	111.1

向及び軸方向の断面力を評価するために、2 方向にゲージを添付している。その他の断面には断面方向のみの 1 方向ゲージを添付し、ゲージ方向の断面力を算定評価することとした。

2.3 重錘落下による衝撃力

重錘落下によって覆道に直接作用する衝撃力を測定するためには、覆道表面に衝撃力測定用ロードセルを埋設して測定しなければならない。しかしながら、本覆道は共用中であることおよび載荷点が広範囲に跨っていることより、その設置は不可能であった。そのため、覆道への伝達衝撃力は、前述のように重錘底部に埋設した加速度計を用いて重錘衝撃力を算定し、剛基礎上で行った緩衝性能に関する過去の実験結果と対応を取ることによって、評価することとした。表－ 2 には、各実験ケースの重錘衝撃力の値を一覧にして示している。過去の剛基礎上における TLAS の実験結果⁴⁾は、落下高さ 20 m に対して重錘衝撃力が約 220 tf、伝達衝撃力が約 120 tf である。本実験結果の重錘衝撃力がこれらの実験結果と同程度であることより、本実験において覆道本体に作用する伝達衝撃力はほぼ 120 tf 程度であるものと推察される。

3. 実験結果及び考察

本実験では、上に述べたように断面力評価のために歪を測定している。ここでは、得られた歪から算定される各点の応力度をもとに、断面の平面保持を仮定し表－ 3 に示される算定式を用いて各断面力を評価した。以下に実験結果を荷重載荷位置に着目して示す。なお、各断面力は時刻歴応答を示すが、工学的な判断に基づき、ここでは各測点の最大応答値を用いて評価することとした。また、図の各断面力は、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る。

表－ 3 各断面力の定義

断面力	記号	頂版, 底版	側壁部	柱
断面方向曲げモーメント	My	$\int_{A_1} \sigma_y z dA_1$	$\int_{A_2} \sigma_z y dA_2$	$\int_{A_3} \sigma_z y dA_3$
軸方向曲げモーメント	Mx	$\int_{A_1} \sigma_x z dA_1$	$\int_{A_2} \sigma_z y dA_2$	$\int_{A_2} \sigma_z x dA_2$
断面方向軸力	Ny	$\int_{A_1} \sigma_y dA_1$	$\int_{A_2} \sigma_z dA_2$	$\int_{A_3} \sigma_z dA_2$
軸方向軸力	Nx	$\int_{A_1} \sigma_x dA_1$	$\int_{A_2} \sigma_x dA_2$	

A₁: 頂版又は底版の断面積 A₂: 側壁の断面積 A₃: 柱の断面積

3.1 覆道中央断面中央部 (P3) 載荷時

覆道中央断面 (柱②断面を含む) 中央部 (P3) に載荷した場合の最大応答の断面方向分布を図－ 4 に示す。図には緩衝材を TLAS、敷砂材とした場合の実験結果を合わせて示している。ただし、表－ 2 に示したように、重錘落下高さは、TLAS に対しては 25 m であり、敷砂材に対して 10 m である。

図－ 4 (a) に断面方向曲げモーメント My に関し TLAS を○印、敷砂材を△印 (以下同様とする) で示す。両者は載荷点中央部を除いて、ほぼ一致している。TLAS を用いた場合の分布の形状は、載荷点中央で最大 39.3 tfm/m となっており、応力が載荷点に集中している状況を示している。柱部及び側壁部では上部にそれぞれ 69.3 tfm、21.0 tfm/m と大きな曲げモーメントを生じ、下部に向かって急激に減少している。底版部の曲げモーメントは 6.0 tfm/m と小さい値になっている。載荷点部の最大値では TLAS を用いた場合の方が敷砂材を用いた場合より約 30 % 大きい、その他の部分の値がほぼ等しいことから、TLAS を用いた場合は敷砂材を用いた場合に対して約 2 倍以上の緩衝性能を有していることが分かる。

図－ 4 (b) は断面方向の軸力 Ny の最大応答分布を示す。TLAS を用いた場合の分布形状は、頂版部では載荷点中央部に 82.1 tf/m と大きな軸力の集中が見られるが、両端に向かい急激に減少している。柱部では上端部で 95.6 tf と大きく、下端部では約 45 tf とほぼ一様な軸力が発生している。また、側壁部では上部で 40.5 tf/m と大きく下部に向かって減少する分布を示している。頂版の軸力集中部を除けば TLAS を用いた場合と敷砂材を用いた場合はほぼ同様の値を示し、Ny に対しても TLAS を用いた場合は敷砂材を用いた場合の 2 倍以上の緩衝性能があることが示されている。

図－ 4 (c) に軸方向曲げモーメント Mx の最大応答値の断面方向分布を示す。Mx に対しても載荷点中央部を除いて TLAS 及び敷砂材を用いた場合ともほぼ同様な分布を示している。載荷点中央部では、敷砂材を

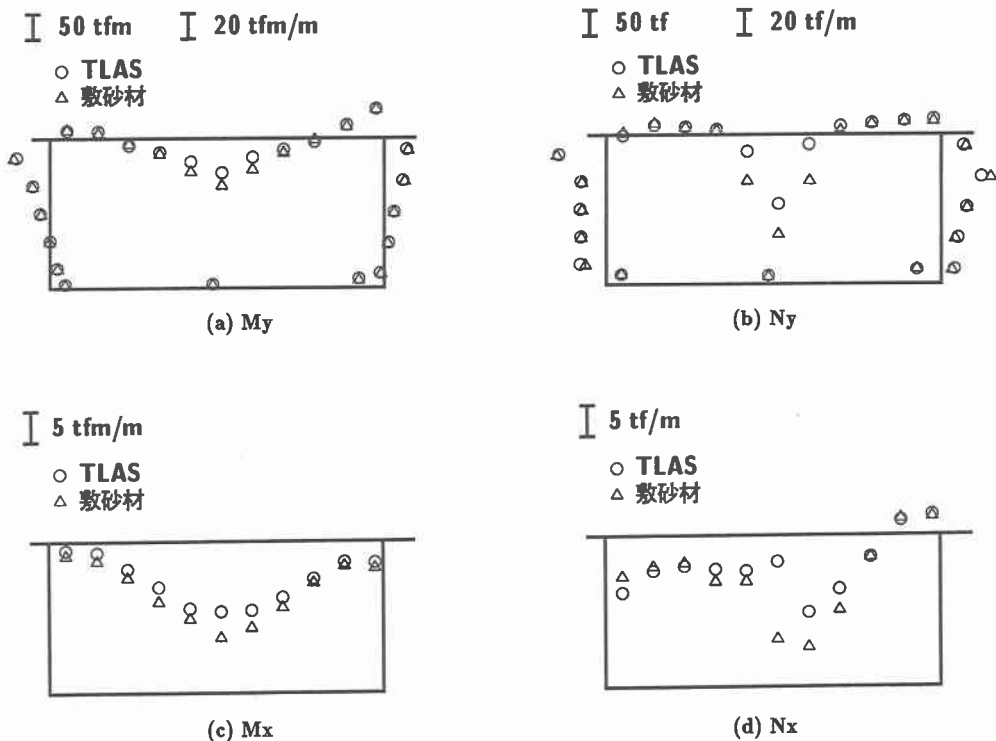


図-4 P3 載荷時の最大応答断面力分布

用いた場合の分布はやや集中的な傾向にあり、TLAS を用いた場合ではなだらかな分布をしている。Mx は My に比較して小さく約 1/5 程度である。

図-4 (d) に軸方向軸力 Nx も示す。TLAS を用いた場合の断面方向軸力 Ny に比較して小さく分布形状も載荷点中央部でやや大きいものの、頂版全体にわたり約 5 ~ 10 tf/m 程度の大きさである。また、TLAS を用いた場合と敷砂材を用いた場合はほぼ同様の分布をしている。

曲げモーメント My 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-5 に示す。なお、美幌覆道は内空断面幅が本覆道より約 0.5 m 狭いが、他の断面寸法はほぼ同様である。ただし、美幌覆道の実験における重錘落下高さは 30 m であり、本実験の 25 m より 5 m 高くなっている。両者を比較すると、美幌覆道の方が落下高さが大きいにも関わらず発生断面力は小さい傾向にある。特に、載荷点中央部では、本実験では 39.3 tfm/m、美幌覆道では 26.5 tfm/m と本実験の方が約 50 % も大きな値を示している。また、分布形状も美幌覆道ではなだらかな放物線形状を示しているが、本覆道では集中的な形状を示している。両者とも TLAS を用いているが、このような違いが生じることは両覆道の構造形式の違いが関係しているものと考えられるが、この点については解析も含め、より詳細な検討が必要である。

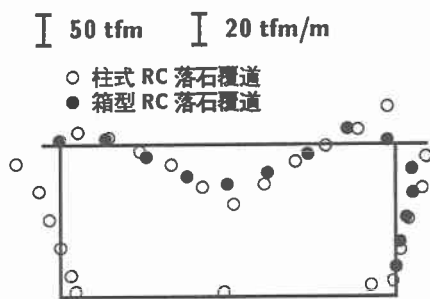


図-5 TLAS を用いた場合の曲げモーメント My の比較図

3.2 端部柱断面中央部 (P12) 載荷時

衝撃荷重を端部柱断面 (柱①断面) の中央部 (P12) に載荷した場合の端部断面 (壁①断面) の断面力分布を図-6 に示す。ここでは敷砂材を用いた場合の結果も合わせて示している。ただし、重錘落下高さは、敷砂材に対しては 10 m、TLAS に対しては 20 m である。この位置における測定値は、断面方向の歪のみであり、従って、断面方向曲げモーメント M_y 及び断面方向軸力 N_y に対して検討する。また、端部断面には柱が存在しないが、ここでは載荷点に近い柱①の断面力を柱部の断面力として示している。

図-6 (a) に M_y の分布を示す。図から明らかなように、TLAS を用いた場合の分布は載荷点中央部、柱上端部及び頂版と側壁の接合部でそれぞれ 28.3 tfm/m、88.3 tfm、30 tfm/m と大きな曲げモーメントを生じている。TLAS を用いた場合と敷砂材を用いた場合を比較すれば、載荷点中央部でそれぞれ 28.3 tfm/m、32.3 tfm/m と TLAS を用いた場合の方がやや小さいもののほぼ同様の分布を示している。このことから載荷点によらず、TLAS を用いた場合は敷砂材を用いた場合に対して約 2 倍程度の緩衝性能を有することが分かる。

図-6 (b) に断面方向軸力 N_y の分布を示す。TLAS を用いた場合の分布形状は柱部、頂版部、側壁部とも分布にばらつきがみられるが、頂版部では載荷点中央部で 21.0 tf/m と大きく、両端部へ向かって減少することや、柱部及び側壁部では上部でそれぞれ 52.7 tf、48.8 tf/m 大きな軸力が発生していることは、中央断面中央部載荷 (P3) と同様である。また頂版の軸力は、P3 載荷に比較して 21.0 tf/m とかなり小さく約 1/4 程度である。一方、柱部及び側壁部では P3 載荷とほぼ同様の分布を示している。

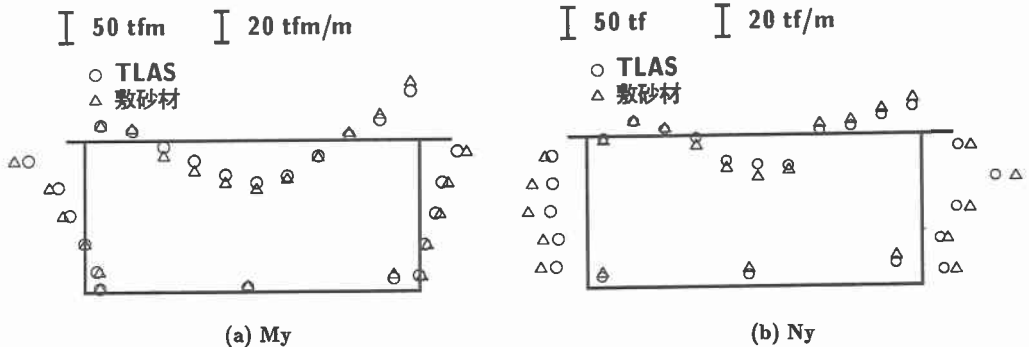


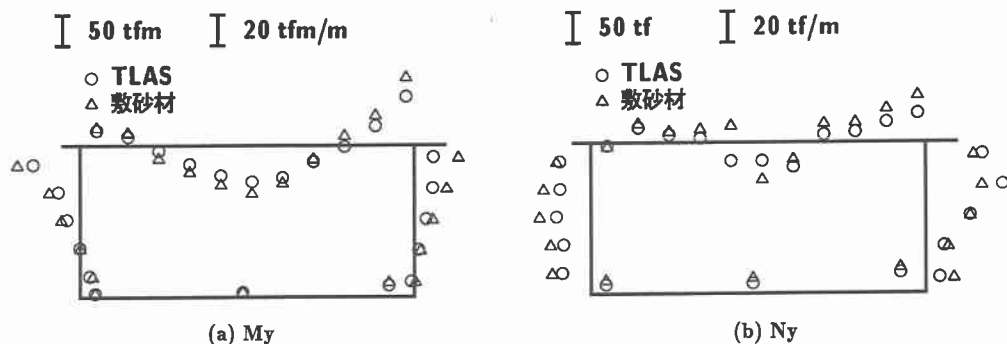
図-6 P12 載荷時の最大応答断面力分布

3.3 最端部断面中央部載荷時 (P18)

RC 落石覆道においては、衝撃力が 1 ブロックの端部に載荷する場合は自由境界の影響が大きく、特異な断面力分布を示すことが予測されることより、端部載荷の場合の断面力分布に対する検討を行うものとする。図-7 に衝撃力を最端部断面の中央部に載荷した場合の端部断面 (壁①断面) における断面力分布を示す。なお、この場合も敷砂材、TLAS を用いた場合の落下高さはそれぞれ 10m、20m である。ただし、敷砂材を用いた実験において、P18 点落下の場合には床版にひび割れが発生する等の損傷が予想されることより、ここでは柱①断面中央部 (P15) 載荷時の応答値を用いることとした。なお、柱部については、P12 載荷時と同様柱①の断面力を示している。

図-7 (a) に断面方向曲げモーメント M_y の分布を示す。TLAS を用いた場合の分布形状は、P12 載荷時とほぼ同様である。TLAS を用いた場合と敷砂材を用いた場合の結果を比較すれば、敷砂材を用いた場合がやや大きな値となっている。敷砂材を用いた場合は荷重分布が集中的になり、覆道端部の影響を大きく受けるのに対して、TLAS を用いる場合では芯材 RC 板により荷重が広く分布するため端部の影響が顕著に現れていないことがわかる。

図-7 (b) に断面方向軸力 N_y 分布を示す。TLAS を用いた場合の軸力分布は、(P12) 載荷時と同様、



図一 7 P18 載荷時の最大応答断面力分布

ばらつきの大きい点も合わせば同様の分布をしている。TLAS を用いた場合と敷砂材を用いた場合とを比較すれば、頂版部では敷砂材を用いた場合の方が 10tf/m 程度、柱部では 25 tf 程度大きくなっている。また側壁部では一部 TLAS を用いた場合が大きい値を示すものの、両者ほぼ同様の分布となっている。以上端部断面載荷時の結果より TLAS を用いた場合と敷砂材を用いた場合で載荷点が異なるものの、本実験結果は TLAS を用いた場合が敷砂材を用いた場合の 2 倍以上の緩衝性能を有することを示しているものと考えられる。

4. まとめ

本研究では、柱式 RC 落石覆道の耐衝撃特性に及ぼす緩衝構造の影響について検討した。ここでは TLAS を用いた柱式 RC 落石覆道の実証実験を行い、敷砂緩衝材を用いた場合と比較することにより TLAS の緩衝性能を検討した。載荷位置は頂版中央部 1 点及び端部 2 点の 3 点である。また、実証実験に用いた覆道が現在共用中の実覆道で、作用荷重を設計荷重以下としたため、得られた結果は全て材料の弾性域における値である。

本実験で得られた結果を要約すれば、

- 1) TLAS を用いた場合の各断面力の分布特性は、敷砂材を用いた場合と同様である。
- 2) TLAS の緩衝性能は、敷砂材に対して 2 倍以上となっている。
- 3) TLAS の柱式 RC 落石覆道への適用性について、開口部を有する箱型 RC 落石覆道と比較すれば、柱式の方がやや劣る傾向にある。

以上、柱式 RC 落石覆道に対しても TLAS は十分な適用性を有することが明らかとなった。

参考文献

- 1) 吉田 博、折谷 浩、鈴木哲治：敷砂上の落石の衝撃加速度と衝撃土圧に関する実験的研究、土木学会論文集、第 352 号, pp. 61 ~ 70, 1984.12.
- 2) 園田恵一郎、鬼頭宏明、松浦幹佳：RC 門形落石覆工の衝撃破壊解析、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. 224 ~ 229, 1993.6.
- 3) 園田佳巨、佐藤紘志、石川信隆：PC 落石覆工の衝撃応答解析、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. 264 ~ 269, 1993.6.
- 4) 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.
- 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、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.
- 7) 日本道路協会：落石対策便覧、日本道路協会、1983.
- 8) 北海道開発局函館開発建設部：一般国道 228 号松前町立岩覆道設計計算書、1991.