

I - 4 既設鋼製覆道の耐衝撃補強法に関する実験的研究

開発土木研究所	正 員	佐 藤 昌 志
三井建設(株)	正 員	三 上 浩
室蘭工業大学	正 員	岸 徳 光
室蘭工業大学	正 員	松 岡 健 一

1. はじめに

積雪地域の山岳部や海岸部の急峻な地形にある道路には雪崩等の災害に対する安全対策としてスノーシェッドが数多く設置されている。覆道の一種のスノーシェッドは主として雪崩対策として設置されているため作用荷重としては積雪荷重や雪層等による衝突衝撃力が考慮されている。しかしながらスノーシェッドの設置箇所は上述のように急峻な地形に位置することから落石の恐れのある箇所も少なくないのが現状である。落石の恐れのある箇所にあるスノーシェッドは落石荷重も考慮されているが、その主な目的が雪崩対策であることより、考慮されている落石荷重は落石覆道のように大きくはない。このようにスノーシェッドは考慮されている作用荷重が小さいことから、鋼製が多く設置されている。

北海道開発局では、近年多発している大規模岩盤崩落や大規模落石災害を契機として、既設の落石覆道やスノーシェッドの安全点検を行っている。これら覆道の設置されている急峻な地形では、年月の経過とともに地質や地形状況が変化することから、設置時の条件と異なる外力を考慮する必要のある箇所も発見されているようである。また、鋼製覆道は経年変化により頂版のデッキプレートが腐食し、断面欠損が著しいものも見られる。これらの覆道は、条件や状況の変化に応じた対策が必要となる。この場合、鋼製覆道では本体構造の改築が必要となることが多いが、何らかの方法により補強対策を施し、既設覆道を利用することが出来れば、安全上も経済上も望ましいものと考えられる。

本研究では、このような背景から過去に建設されたスノーシェッドを含む鋼製覆道の総合的な衝撃耐力向上工法を提案することを目的としている。具体的には著者らが開発した三層緩衝構造 (TLAS)¹⁾の既設鋼製覆道への適用性を実験的に検討し、鋼製覆道の耐衝撃性の向上を計ろうとするものである。なお、落石覆道用の TLAS は大きな落石荷重を想定しているため全体で 100 cm 程度と厚いが、従来の鋼製覆道の敷砂厚は 50 cm 程度以下と薄く、これに対応して TLAS もより薄くすることが望まれる。そこで本実験では、芯材 RC 床版の補強筋として耐衝撃性に優れ、落石荷重をより広範囲に分散させるアラミド繊維製のロッドを用いた。また、芯材アラミド補強 RC 床版と既設の頂版部分を連結鋼棒を用いて接合し、既設の頂版が落石荷重時に剝落、落下しないように吊り構造形式としている。

2. 実験の概要

実験状況の概略を図-1に示す。通常、スノーシェッドの頂版は図のような波形鋼板を用い、これに厚さ 10 ~ 20 cm 程度のコンクリートを打設し剛性を持たせる構造としている。実験試験体はこのような一般のスノーシェッドに用いられている鋼製頂版の模型である。使用した波形鋼板は、板

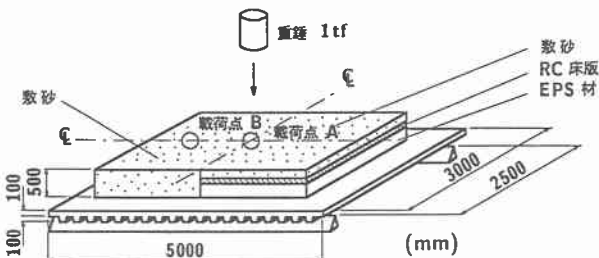


図-1 実験状況の概略図

幅 57.0 cm、肉厚 2.7 mm、材質 SS 400 であり、断面形状は図-2に示す通りである。模型頂版は、これ

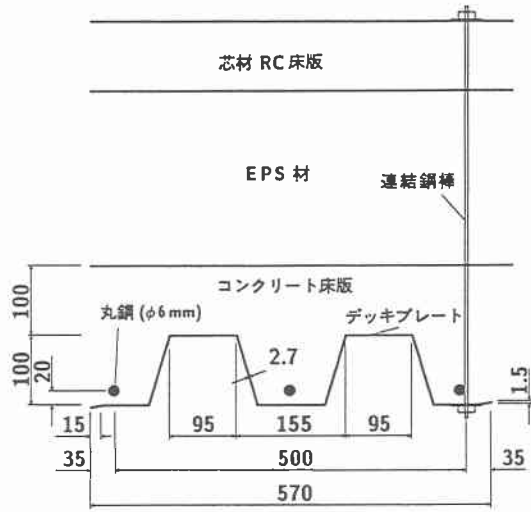
表－１ 試験体の一覧

記号	デッキプレート の有無	緩衝構造厚 (cm)			載荷 位置	重錘落下高さ h (cm)
		敷砂	RC 床版	EPS 材		
C-S50-A-h	無	50	—	—	A	5, 10, 15, 20, (30)
C-S50-B-h	//	50	—	—	B	5, 10, 15
C-TLAS15-A-h	//	15	10	25	A	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, (200)
C-TLAS50-A-h	//	50	10	25	A	10, 25, 50, 100, 200, 300, (800)
DP-S50-B-h	有	50	—	—	B	5, 10, 15, 30, 50, 100, 150, (600)
DP-TLAS15-B-h	//	15	10	25	B	10, 20, 30, 50, (1000)
DP-TLAS15-A-h	//	15	10	25	A	50, 100, 200, 300, 400, (600)
DP-TLAS50-A-h	//	50	10	25	A	50, 100 以後 100 cm ピッチに 1200 cm まで (1400)

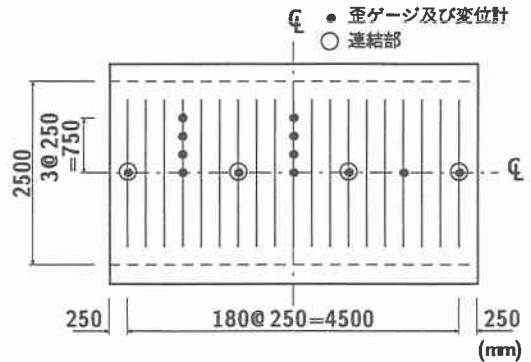
を幅方向に重ね、全幅 5.0 m として製作している。緩衝構造として三層緩衝構造 (TLAS) を用いる場合には、支間中央部 4 箇所で芯材 RC 床版と頂版とを鋼棒で連結する構造とした。この連結部の詳細も図－２に示している。なお、この連結部の平面位置を図－３に示す。

また、TLAS は表層に敷厚 15 cm または 50 cm の敷砂、芯材として厚さ 10 cm の RC 床版、裏層材と厚さ 25 cm の発泡スチロール (EPS) 材を用いる構造としている。なお、芯材 RC 床版は補強筋にはアラミド繊維製ロッド (ϕ 13 mm) を 20 cm 間隔で、配力筋には D10 を 20 cm 間隔に配置し補強筋比 0.8 % としている。このようにして製作した試験体の一覧を表－１に示す。表中の記号は、先頭の DP、C がデッキプレートの有無を示し、S50、TLAS15 及び TLAS50 が緩衝構造を表し、それぞれ S50 が 50 cm 厚の敷砂材であり、TLAS15 が表層敷厚 15 cm、TLAS50 が表層敷厚 50 cm にした TLAS である。なお、－以下を載荷位置及び落下高さ h として記号化し、以下の説明に用いている。また、コンクリート版のみのものも製作されているが、これは、経年変化によりデッキプレートが腐食し、その効果を期待出来ないことを想定し考慮したものである。実際の頂版コンクリートには鉄筋は配筋されていないが、試験体では歪測定のために支間方向のみ補助鉄筋 (ϕ 6 mm) を用いている。

実験における計測項目は、コンクリート床版中の補助鉄筋に添付した歪ゲージによる支間方向の歪と、レーザ式変位計による頂版の変位である。頂版の下面に設置した歪ゲージ及び変位計 (計 16 点) の平面配置を図－３に示す。本実験は、重錘落下高さを増加させながら、歪及び変位が測定不可能と判断されるまで繰り返し載荷することにより行った。また、各試験体に対して歪及び変位とも測定不能後も損傷の程度を観察しながら重錘落下高さを増加させ実験を続けた。このように最終的な破壊と判断された落下高さを、表－１に () で示した。なお、実験時のコンクリートの材令は 22 日で、その時の圧縮強度は 207 kgf/cm² であった。



図－２ 試験体の断面形状図 (mm)



図－３ ひずみゲージ及び変位計の平面配置図

3. 実験結果及び考察

実験は既に述べたように、デッキプレートの有無、緩衝構造の種類（敷砂材、TLAS15 及び TLAS50）及び載荷位置（A、B）を変えて行っている。ここでは、まず同一の緩衝構造に対して、デッキプレートの効果を検討し、次に緩衝構造の効果についても検討することとする。なお、今回は載荷位置の変化による影響を統一的に評価出来るデータが得られなかったため、載荷位置の影響の検討は行っていない。従って、各項目で検討出来る載荷位置を選定して考察している。

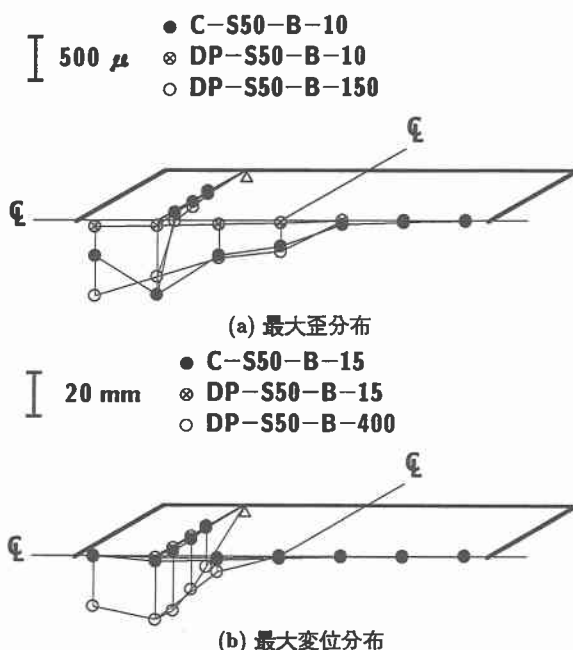
以下に各ケースの歪及び変位の分布性状を中心に検討を行うが、ここではそれぞれ次のようなケースを検討の対象とした。

- 1) デッキプレート無しの場合は、歪または変位を測定可能な最大落下高さのケース
- 2) デッキプレート有りの場合は、
 - a) 歪分布の検討に対しては、最大歪が $1000\ \mu$ 程度以下のケース
（デッキプレートが局部的に降伏する直前と考えられるケース）
 - b) 変位分布の検討に対しては、最大変位が 30 mm 程度のケース
（終局状態に近いと考えられるケース）

3.1 敷砂材を緩衝構造とする場合

ここでは端部（B 点）載荷の場合について検討する。敷砂材を緩衝構造とする場合の最大歪及び最大変位分布を図－4 に示す。図－4 (a) は、デッキプレート無しの場合（C-S50-B-10（●印））と有りの場合（DP-S50-B-150（○印））の最大歪分布を示す。さらにデッキプレート無しの場合と同じ落下高さの有りのもの（DP-S50-B-10（⊗印））を参考のため合わせて示した。以下、デッキプレート無しの場合を C 試験体、デッキプレート有りの場合を DP 試験体とする。図から明らかなように、歪分布にはデッキプレートの影響が顕著に示されている。すなわち、C 試験体は、歪が載荷点部に集中し、落下高さ 10 cm にも関わらず、最大約 $860\ \mu$ の値を示し、載荷点部がかなり損傷を受けている様子が示されている。一方、DP 試験体では、歪分布は滑らかで、最大歪は載荷点部ではなく端部で発生している。その値も落下高さ 10 cm で約 $70\ \mu$ 、落下高さ 150 cm でも約 $870\ \mu$ となっている。歪分布から類推すると、C 試験体の場合は 5 m 落下の時点から、ひび割れが発生していたものと考えられる。

図－4 (b) は、デッキプレート無しの場合（C-S50-B-15（●印））と有りの場合（DP-S50-B-15（⊗印）、DP-S50-B-400（○印））のそれぞれ落下高さが 15 cm と 400 cm の場合の最大変位分布を示す。いずれも載荷点部で最大を示し、周辺の端部へ向かって減少する状態を示している。C 試験体では、落下高さが 15 cm において載荷点部で最大変位が約 2.7 mm となっているが、DP 試験体では載荷点部で約 1.0 mm、落下高さが 400 cm で 30.0 mm となっている。C 試験体では落下高さ 20 cm 以上では、変位測定が不可能（破壊状態）である。変位で比較すれば、DP 試験体は C 試験体の 25 倍以上のエネルギーに抵抗できることを示している。これより、敷砂材を緩衝構造とする場合に、デッキプレートの状態が耐力に大きく影響す



図－4 敷砂材を緩衝構造とする場合の歪及び変位分布

ることが分かる。したがって、鋼製覆道の安全性確保には、デッキプレートの健全度を的確に評価することが重要であるものと考えられる。

3.2 三層緩衝構造 (TLAS) を用いた場合

この場合の載荷位置は中央部 (A 点) 載荷のみである。表層に敷砂厚 15 cm の TLAS を用いた場合の最大歪及び最大変位分布を図-5 に示す。図-5(a) は、デッキプレート無し (C-TLAS15-A-15 (▲印)) と有り (DP-TLAS15-A-50 (△印)) の最大歪分布を示す。いずれの場合も歪分布は載荷点部に集中している。最大歪は載荷点部で C 試験体では約 1300 μ 、DP 試験体では約 880 μ であり、C 試験体の方が落下高さは小さいにも関わらず歪は約 50 % 大きい。

図-5(b) は、デッキプレート無し (C-TLAS15-A-35 (▲印)) と有り (DP-TLAS15-A-400 (△印)) の最大変位分布を示す。分布は載荷点部を中心に広い範囲に分布している。最大変位は、載荷点部で C 試験体が約 5.0 mm、DP 試験体が約 23 mm である。この場合も当然ながらデッキプレートの有無は、耐力に大きく影響することが分かる。

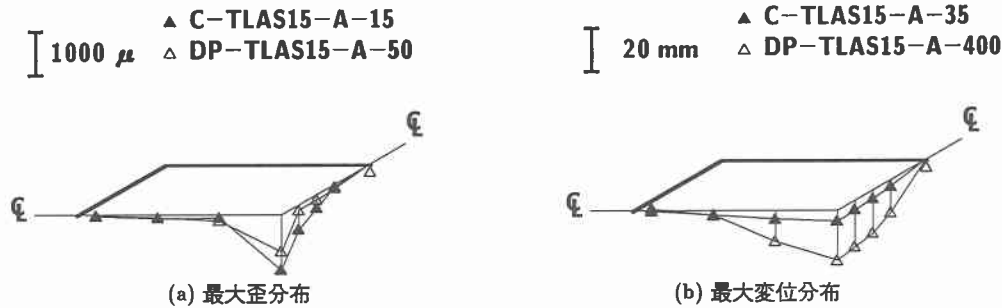


図-5 TLAS15 を緩衝構造とする場合の歪及び変位分布

表層に敷砂厚 50 cm の TLAS を用いた場合の最大歪及び最大変位分布を図-6 に示す。図-6(a) はデッキプレート無しの場合 (C-TLAS50-A-50 (■印)) と有りの場合 (DP-TLAS50-A-50 (□印)、DP-TLAS50-A-900 (□印)) の最大歪分布を示す。C 試験体では支間中央部で最大値約 670 μ で幅員方向には広く分布しているが、支点に向かって減少している。一方、DP 試験体では落下高さ 50 cm、900 cm で支間中央部において最大値それぞれ約 80 μ 、990 μ で支点部及び両端部に向かって直線的に減少していることが分かる。

図-6(b) は、デッキプレート無しの場合 (C-TLAS50-A-300 (■印)) と有りの場合 (DP-TLAS50-A-300 (□印)、DP-TLAS50-A-1200 (□印)) の最大変位分布を示す。分布は載荷点部で大きく、C 試験体では約 9.8 mm、DP 試験体では落下高さ 300 cm、1200 cm でそれぞれ 2.5 mm、32.1 mm である。C 試験体の変位は同一落下高さで DP 試験体の 4 倍程度大きく、載荷点部の損傷は激しくなって、これ以上の落下高さに対する変位の測定が不可能であったことから終局状態に近いと判断される。

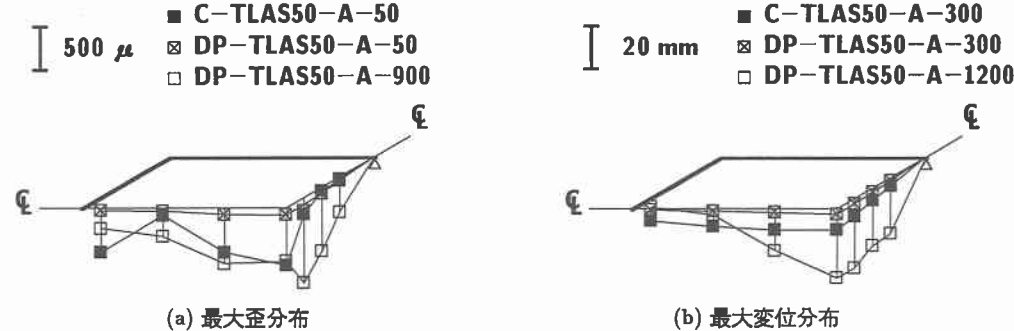


図-6 TLAS50 を緩衝構造とする場合の歪及び変位分布

ここでもやはりデッキプレートの有無が耐力に与える影響は、大きいことが分かる。

3.3 緩衝構造の影響

デッキプレート無しの場合の各種緩衝構造 (S50 (●印)、TLAS15 (▲印) 及び TLAS50 (■印)) を用いた場合の最大歪及び最大変位分布を図-7 に示す。載荷位置は A 点である。図-7 (a) は S50、TLAS15 及び TLAS50 を用いた場合の落下高さ 20 cm、15 cm 及び 50 cm での最大歪分布を示す。最大歪は全て載荷点部で発生しており、その値は S50 を用いた場合約 1100 μ 、TLAS15 を用いた場合約 1300 μ 、TLAS50 を用いた場合約 670 μ と TLAS50 を用いた場合が落下高さが最も高いにも関わらず、最大歪が小さいことが分かる。

図-7 (b) は S50、TLAS15 及び TLAS50 を用いた場合の落下高さ 20 cm、35 cm 及び 300 cm での最大変位分布を示す。最大変位は歪と同様に全て載荷点部で大きく、その値はそれぞれ約 2.1 mm、約 5.0 mm 及び約 9.8 mm となっており、変位はそれぞれ落下高さの高い方が大きな値となっている。また、TLAS50 を用いた場合の落下高さは S50 を用いた場合の 15 倍であるが、変位は約 4.5 倍であることより、S50 を用いた場合より TLAS50 を用いた場合の方が衝撃耐力は大きい傾向にあることが分かる。

これらのことから、TLAS は敷砂に比較して緩衝性能に優れていることが示されているが、表層敷砂厚の厚い場合にはその緩衝性能を飛躍的に向上できることが示されている。

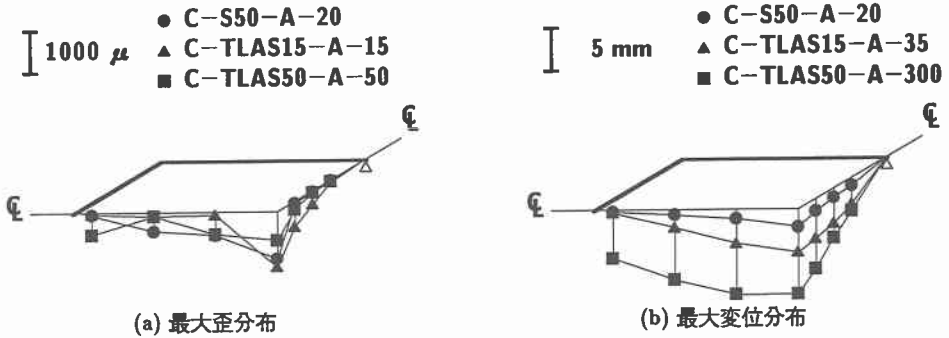


図-7 デッキプレート無しの場合の歪及び変位分布

デッキプレート有りの場合の各種緩衝構造 (DP-S50-B-50 (○印)、DP-TLAS15-B-50 (△印)) の最大歪及び最大変位分布をそれぞれ図-8 (a)、(b) に示す。この場合の載荷位置は B 点である。歪及び変位の大きさは S50 を用いた場合が約 410 μ と約 1.9 mm であり、TLAS15 を用いた場合が約 800 μ と約 4.8 mm である。いずれも TLAS15 を用いた場合の方が S50 を用いた場合よりも約 2 倍大きい。このことからデッキプレート有りの場合でも TLAS の表層敷砂厚の厚い場合にはその緩衝性能を飛躍的に向上できることが示されている。

A 点載荷で表層の敷砂厚を 15 cm (TLAS15 (△印)) とした場合と 50 cm (TLAS50 (□印)) とした場合の最大歪及び最大変位分布を図-9 に示す。図-9 (a) は TLAS15、

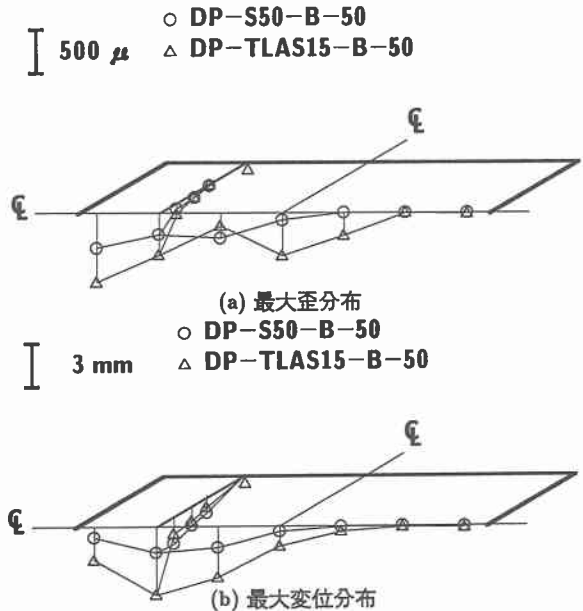


図-8 デッキプレート有りの場合の歪及び変位分布

TLAS 50 を用いた場合のそれぞれの落下高さ 50 cm、900 cm の最大歪分布を示す。TLAS15 を用いた場合には、比較的広範囲に歪が分散して分布していることが分かる。また、落下高さが TLAS15 を用いた場合より TLAS50 を用いた場合の方が 18 倍大きいにも関わらず、最大歪はそれぞれ約 880μ 及び 990μ と同程度であることが分かる。図-9(b)は TLAS15、TLAS50 を用いた場合のそれぞれの落下高さ 400 cm、1200 cm での最大変位分布を示す。載荷点部で最大変位 23.0 mm 及び 32.1 mm であるが比較的広範囲に分散していることが分かる。TLAS50 を用いた場合の落下高さは TLAS15 を用いた場合の 3 倍あるにも関わらず最大変位は 1.4 倍であることより、ここで用いた三層緩衝構造（芯材厚 10 cm、EPS 材厚 25 cm）では、いずれにしても表層敷砂厚を確保することが重要であることが分かる。

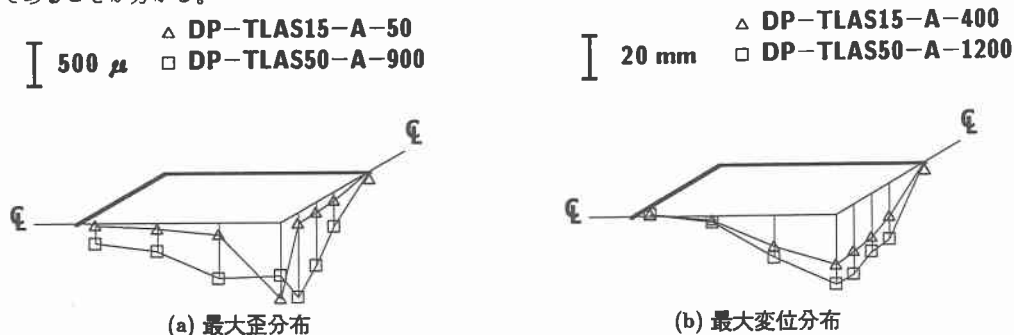


図-9 TLAS15 と TLAS50 の比較

3.4 最大落下高さに関する考察

先に述べたように表-1 に各ケースの最大落下高さを（ ）で示している。C 試験体では、S50-A で 30 cm、S50-B で 20 cm、TLAS15-A で 200 cm、TLAS50-A で 800 cm であり、TLAS はいずれも敷砂材に比較し格段に大きな値を示している。また、DP 試験体に対しても S50-B で 500 cm、TLAS15-A で 500 cm、-B で 1000 cm、TLAS50-A で 1400 cm とデッキプレート有りの場合でも TLAS は高い緩衝性能を示している。特に表層敷砂厚の大きいものは飛躍的に緩衝性能が向上していることが分かる。

4. まとめ

既設鋼製覆道の頂版の耐衝撃性補強を著者らが開発した三層緩衝構造（TLAS）を用いて行う方法を提案し、実験により、その有効性を検討した。実験は、頂版のデッキプレートの有無、緩衝構造の種類、衝撃荷重載荷位置を変化させて行った。その結果、

- 1) いずれの緩衝構造に対しても、デッキプレートの有無は、頂版の耐衝撃挙動に大きな影響を与える。
- 2) 従って、既設覆道の耐衝撃補強に対しては、まずデッキプレートの健全性を確認する必要がある。
- 3) 緩衝構造として TLAS を用いることは、歪分布からも変位分布からも耐衝撃性を格段に向上させる。また、表層敷砂厚が十分確保されるとその効果は飛躍的に向上するなどが明らかとなった。

本研究を遂行するに当たり、室蘭工業大学大学院博士前期課程の前山順宏、池田泰博君をはじめとする、院生及び学生に多大な協力を戴いたことをここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 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。