

論文 AFRP ロッド補強コンクリート版を用いた鋼製覆道の耐衝撃補強法

松岡健一^{*1}・岸 徳光^{*2}・佐藤昌志^{*3}・三上 浩^{*4}

要旨：鋼製覆道の衝撃安全性を向上させる目的で、敷砂緩衝材に替わる緩衝構造として AFRP ロッドで補強したコンクリート版を芯材とし、敷砂（表層材）及び EPS（発泡スチロール、裏層材）からなる三層緩衝構造を用いた補強法の適用性を実験的に検討した。実験の結果、提案した補強法を用いることにより鋼製覆道の衝撃安全性を大幅に向上できることが確認された。

キーワード：AFRP ロッド、鋼製覆道、衝撃安全性、三層緩衝構造

1. はじめに

積雪地域の山岳部や海岸部の急峻な地形に設けられた道路には、落石や雪崩等の災害に対する防災施設としてスノーシェッドが数多く設置されている。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、ロックシェッド（落石覆道）に比べて設計上考慮する荷重が小さく、鋼製覆道が多く設置されている。鋼製覆道は、経年変化によって頂版の鋼材が腐食した場合には耐力が大幅に低下するため、何らかの補強を速やかに行う必要がある。一方、防災点検によって、より大きな落石荷重を考慮すべき状況が生じることも予想されることから、鋼製覆道を総合的な観点から補強できる工法の確立が望まれるところである。

本研究は、鋼製覆道の総合的な耐衝撃補強法を提案することを目的としている。著者らは、落石覆道用の緩衝構造として、敷砂に替わり落石衝撃力を大幅に低減可能な三層緩衝構造（TLAS）を開発した〔1〕。しかしながら、落石覆道用の TLAS は大きな衝撃力を想定しているため、芯材 RC 版厚が 20 cm 程度以上で全体厚さも 120 cm 程度と大規模になる。一方、既存の鋼製覆道の敷砂厚は 30 cm ～ 50 cm 以下であり、これに対応して鋼製覆道用の 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 版を薄くするために、補強筋として高い引張強度および破断伸びを有し、落石荷重をより広範囲に分散させることが可能な AFRP ロッド（アラミド繊維製ロッド）を用いることとした〔2〕,〔3〕。また、芯材 AFRP ロッド補強 RC 版は既設の頂版部分を異形鉄筋で接合し、既設の頂版が落石荷重時に剥落、落下しないようにするために吊り構造形式としている。なお、衝撃荷重は重量が 1tf の重錘を所定の高さから自由落下させることにより載荷している。

2. 実験の概要

実験状況の概要を図-1に示す。一般的なスノーシェッドの頂版は、図に示すように波型鋼板上にコンクリートを 20 cm 程度打設した鋼・コンクリート合成構造となっている。本研究では、既存の覆道頂版の部分模型を製作し、その上部に緩衝構造を設置して実験を行った。覆

*1 室蘭工業大学教授 工学部建設システム工学科, 工博（正会員）

*2 室蘭工業大学助教授 工学部建設システム工学科, 工博（正会員）

*3 北海道開発局開発土木研究所室長 構造研究室（正会員）

*4 三井建設（株）技術研究所 主任研究員, 工博（正会員）

表－１ 実験ケースの一覧

試験体名	波型鋼板 の有無	緩衝構造厚 (cm)			載荷 位置	重錘落下高さ h (cm)
		敷砂	RC 版	EPS		
C-S50-B-h	無	50	－	－	B	5, 10, (15)
DP-S50-B-h	有	50	－	－	B	5, 10, 15, 30, 50, 100, 150, (600)
C-S50-A-h	無	50	－	－	A	5, 10, 15, 20, (30)
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-TLAS15-A-h	有	15	10	25	A	50, 100, 200, 300, 400, (600)
DP-TLAS50-A-h	〃	50	10	25	A	50, 100 以後 100 cm ビッチに 1200 cm まで (1400)

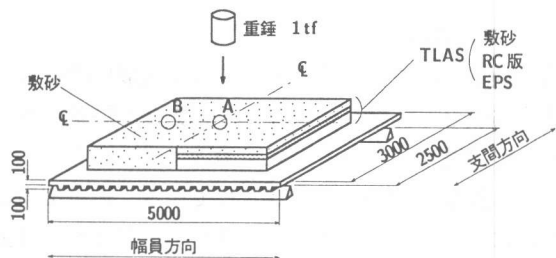
道頂版の幅員は波型鋼板を幅方向に重ねて 5m としている。なお、スノーシェットの頂版は一般に覆道方向（支間方向）に 2 ～ 3 m 程度の間隔で H 型鋼によって支持されているため、本実験では試験体の支持間隔を 2.5 m としている。

実験に用いた TLAS は、表層に敷厚 15 cm または 50 cm の敷砂、芯材に厚さ 10 cm の RC 版、裏層材に厚さ 25 cm の EPS を用いた構造としている。芯材 RC 版には補強筋として AFRP ロッド（ $\phi 13$ mm, 引張耐力 19.2 tf, 弾性係数 0.7×10^6 kgf/cm²）を幅員方向に 20 cm 間隔で、異形鉄筋 D 10 を支間方向に 20 cm 間隔で配置した。

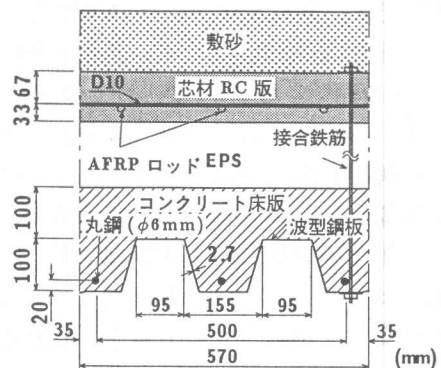
実験ケースの一覧を表－１に示す。試験体名のうち、第１項の DP, C は波型鋼板の有無を示す。第２項は緩衝構造を示し、S50 は敷砂単層 50 cm 厚、TLAS15 及び TLAS50 は三層緩衝構造の表層敷砂厚が各々 15, 50 cm であることを示している。敷砂材は、単位体積重量 $\omega = 1.64$

tf/m³, 絶乾比重 $\rho = 2.55$, 均等係数 $U_c = 4.85$ の栗丘産細骨材であり、実験時の含水比および相対密度は平均値でそれぞれ 4.7 %, 55.1 % であった。第３項の A, B は載荷位置を示し、その後の－以下の h は重錘の落下高さ (cm) を示している。なお、波型鋼板のない試験体は鋼板が完全に腐食した状況を模擬したものである。表中の重錘落下高さのうち () 付きで示した高さが最終落下高さであり、その他の落下高さは変位及び歪の計測が可能であったことを示している。なお、重錘衝撃力は表中の落下高さ以外でも適宜計測している。

図－２に試験体の断面形状を示す。使用した波型鋼板の板幅は 57 cm, 肉厚は 2.7 mm, 材質は SS 400 である。既設の頂版部分のコンクリートには歪測定用に $\phi 6$ mm の鉄筋を配置した。なお、TLAS を用いる場合には、支間中央部 4 ヶ所で芯材 RC 版とコンクリート床版と



図－１ 実験状況の概要



図－２ 試験体の断面形状

を異形鉄筋 D19 によって接合している。本実験における計測項目は、重錘に取り付けた加速度計による重錘衝撃力と覆道頂版内コンクリート中の丸鋼に貼り付けた歪ゲージによる支間方向の歪及びレーザ式変位計による頂版の変位ならびに接合鉄筋の歪である。図-3に頂版内に配置した歪ゲージと変位計の位置及び接合部位置を示す。なお、頂版及び芯材 RC 版に用いたコンクリートの実験時の材令は 22 日であり、圧縮強度は 207 kgf/cm^2 であった。

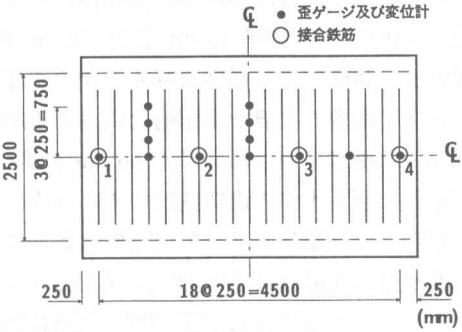


図-3 歪ゲージと変位計及び接合部位置

3. 実験結果及び考察

3. 1 重錘衝撃力と衝突速度の関係

図-4に重錘加速度の最大値に重錘質量を乗じて得られる重錘衝撃力と重錘の衝突速度の関係を示す。図-4(a)は敷砂単層 50 cm 厚において、波型鋼板がない場合とある場合について比較したものである。図より、最大重錘衝撃力や最大衝突速度は波型鋼板のない場合がある場合の 1/6 程度であることがわかる。これは、既設覆道頂版の波型鋼板が腐食して消失することにより最大重錘衝撃力（衝撃耐力）が 1/6 程度に低下することを意味している。

図-4(b)は波型鋼板がない場合の各緩衝構造の補強効果を比較したものである。敷砂単層 50 cm 厚では、衝突速度が 300 cm/sec 程度、衝撃力が 7 tf 程度で終局となっている。一方、砂層厚が 15 cm と 50 cm の TLAS の最大重錘衝撃力はいずれも 23 tf 程度であり、最大重錘衝撃力は砂層厚に影響されないことがわかる。ただし、最大重錘衝撃力を示す衝突速度には差があり、砂層厚 15 cm の場合は 50 cm の場合の約 1/2 の衝突速度で最大となっている。なお、載荷位置が異なるために直接比較することはできないが、図-4(a),(b)の関係から波型鋼板が消失した場合でも、TLAS を設置することにより、波型鋼板のある状態で敷砂単層 50 cm 厚

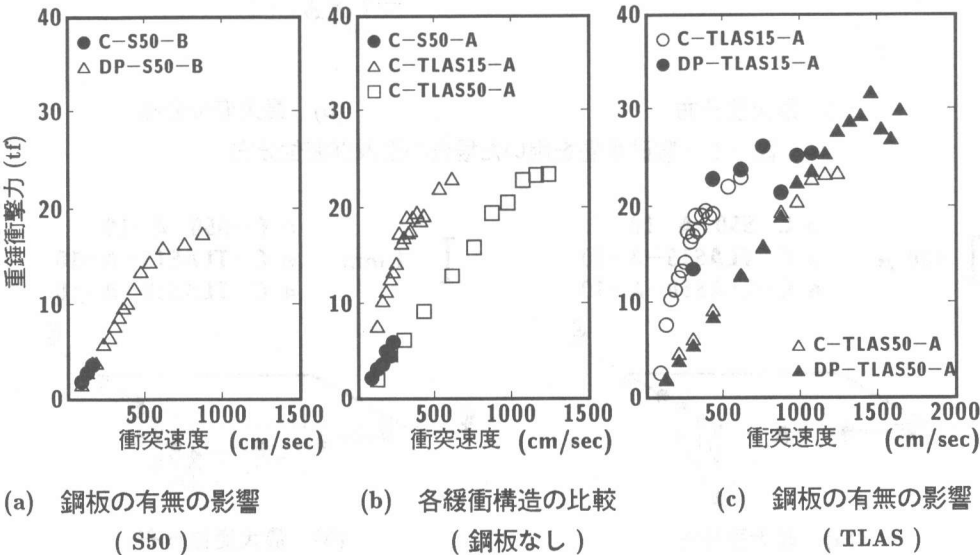


図-4 重錘衝撃力と重錘の衝突速度の関係

設置した場合と同程度の衝撃耐力が得られることがわかる。

図-4(c)は、砂層厚 15 cm 及び 50 cm の各 TLAS を用いた場合に波型鋼板の有無がどの程度頂版の耐衝撃性に影響を与えるかを整理したものである。図から、砂層厚が 15 cm の場合には波型鋼板の有無が衝撃耐力に与える影響は顕著ではないことがわかる。一方、鋼板がない状態での衝撃耐力は砂層厚が 50 cm の場合が 15 cm の場合と同程度である。ただし、その終局耐力に至るまでの衝突速度は 50 cm 厚の方が 15 cm 厚の 2 倍程度大きい。なお、鋼板がある状態では衝撃耐力及び衝突速度はさらに増大し、特に砂層厚が 50 cm の場合にはいずれも鋼板がない状態の 4 割程度大きくなっている。TLAS の砂層厚が 15 cm と 50 cm の場合を比較すると、その砂層厚は波型鋼板の有無に関わらず衝突速度と重錘衝撃力のなす勾配に大きな影響を与え、それは衝突速度が 1,000 cm/sec 程度以下で顕著であることがわかる。

3. 2 頂版の歪分布及び変位分布

敷砂単層 50 cm 厚で重錘落下高さが 15 cm の場合について、波型鋼板の有無が最大歪分布及び最大変位分布に与える影響を検討する(図-5)。図-5(a)より、波型鋼板がない場合には 15 cm 落下で載荷点直下に 7,000 μ 程度の大きな歪が発生し、ひびわれ幅も広がって終局状態となっていることがわかる。一方、波型鋼板のある場合には発生する歪はごくわずかであることがわかる。図-5(b)より変位分布を比較すると、波型鋼板のない場合の最大変位量は 2.8 mm 程度と大きく、載荷点直下部分に変形が集中していることがわかる。一方、鋼板のある場合には変位分布はなだらかなり、最大変位量も 1.0 mm 程度と小さい。

図-6 には各緩衝構造に対する波型鋼板のない場合の最大歪分布と最大変位分布を比較して

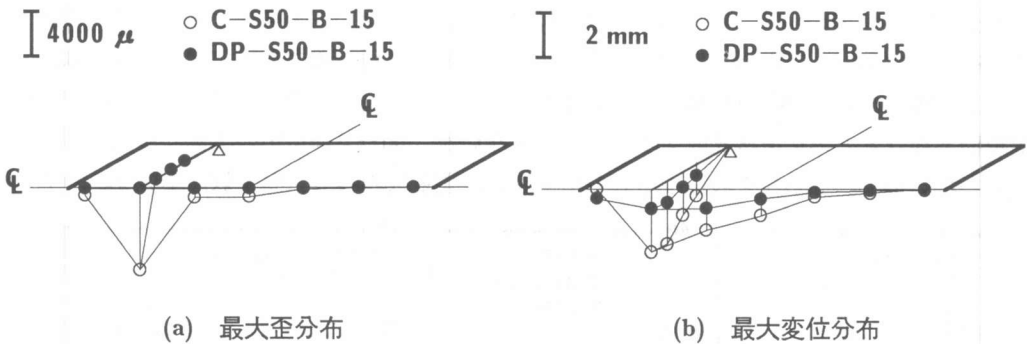


図-5 敷砂単層を用いた場合の歪及び変位分布

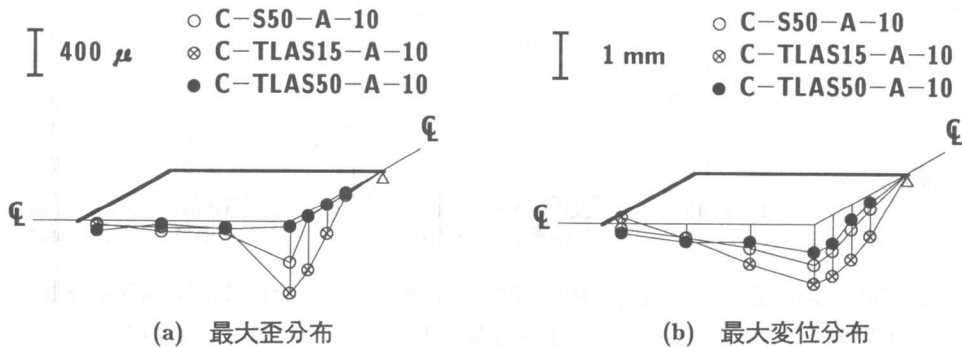


図-6 各緩衝構造を用いた場合の歪及び変位分布 (波型鋼板なし)

示している。3つの実験ケースを同じ重錘落下高さで比較するため $h = 10 \text{ cm}$ 落下で結果を整理している。図-6(a)より、敷砂単層 50 cm 厚の場合における歪レベルは TLAS (砂層厚 15 cm) より小さいことがわかる。これは、図-4に示したように低速度衝突において表層の砂層厚が薄い TLAS の場合には敷砂単層 50 cm 厚に比べて重錘衝撃力が大きくなることに対応している。一方、敷砂単層 50 cm 厚と TLAS (砂層厚 50 cm) の結果を比較すると、TLAS の場合は歪レベルが敷砂単層の 1/4 程度と小さく、敷砂単層では歪が載荷点直下に集中するのに対してより広域的に分布していることがわかる。

図-6(b)の変位分布より、最大変位も歪と同様に TLAS (砂層厚 15 cm) の場合が最も大きく、敷砂単層 50 cm 厚、TLAS (砂層厚 50 cm) の順に小さい。TLAS (砂層厚 50 cm) では歪分布と同様に変位が広域的に発生しているが、他のケースでは載荷点部に変位がより集中していることがわかる。

以上を要約すると、低速度衝突の場合には敷砂単層及び TLAS とともに砂層厚が厚いほど重錘衝撃力の増加割合が小さいため覆道頂版部に発生する歪及び変位が小さくなる。しかし、波型鋼板がない場合には敷砂単層では衝突速度のわずかな増加による重錘衝撃力の増加に耐えられないため破壊に至る。一方、砂層厚が薄い TLAS は低速度衝突で重錘衝撃力が大きくなり頂版部分に曲げひびわれが発生しやすいものの、芯材 RC 版と頂版コンクリート部分が一体となって外力に抵抗するため、衝撃耐力は敷砂単層よりも大きくなる。十分な砂層厚を有する TLAS は、敷砂単層 50 cm 厚と同様に衝突速度の増加に対応する重錘衝撃力の増加量が砂層厚の薄い TLAS よりも小さく、かつ芯材 RC 版と頂版コンクリートが一体となって衝撃力に抵抗するため歪及び変位が広域的に発生しその値が最も小さくなるものと考えられる。

図-7では、TLAS (砂層厚が 50 cm) を用いた場合の波型鋼板の有無が最大歪分布及び最大変位分布に与える影響を落下高さ 300 cm において比較した。図-7(a)の歪分布より、波型鋼板のない場合は 8,000 μ 程度の極めて大きな歪が発生し、鋼板がある場合はその 1/20 以下程度の小さな歪レベルであることがわかる。

一方、図-7(b)に示す変位分布から、波型鋼板のない場合はある場合の 4 倍程度の変位レベルを示すことがわかる。すなわち、TLAS (砂層厚 50 cm) を用いる場合には波型鋼板があることにより比較的大きな衝突速度においても頂版部分にはひびわれが発生せず、より高い衝突速度まで弾性状態を保持できることがわかる。

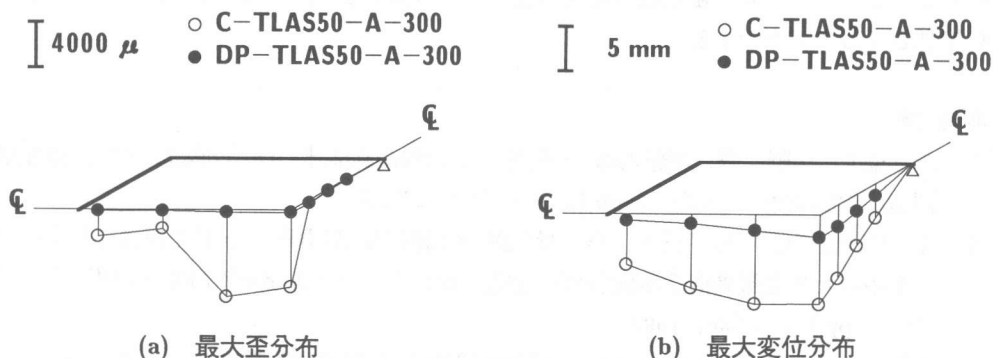


図-7 TLAS50 を用いた場合の歪及び変位分布

3.3 接合鉄筋の歪

図-8に TLAS を用いた場合の芯材 RC 版とコンクリート床版を接合している異形鉄筋に生じた最大引張歪を示す。図-8(a), (b) はそれぞれ波型鋼板がない場合の 25 cm 落下, ある場合の 300 cm 落下について整理したものである。(a) 図より, 砂層厚が 50 cm の場合には引張歪がほとんど発生せず, 15 cm の場合でも最大で 300 μ 程度であることがわかる。

一方 (b) 図より, 波型鋼板がある場合で落下高さが 300 cm の場合は砂層厚が 15 cm で最大 400 μ , 50 cm で最大 200 μ 程度である。本実験では終局近傍における歪は計測されていないが, 上記の歪レベル及び終局まで頂版コンクリートの剝落が生じていないことより, 芯材 RC 版と頂版部分の接合は本実験での配置間隔及び鉄筋径で十分であるものと考えられる。

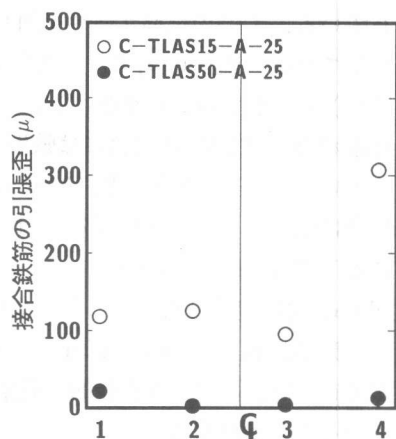
4. まとめ

AFRP ロッド補強 RC 版を芯材とした三層緩衝構造 (TLAS) を用いて既設鋼製覆道の頂版の耐衝撃補強を行う方法を提案し, 実験的にその有効性を検討した。実験は波型鋼板の有無, 緩衝構造の種類を変化させ, 1 tf の重錘を自由落下させて行った。本実験の範囲内で明らかになったことを要約すると,

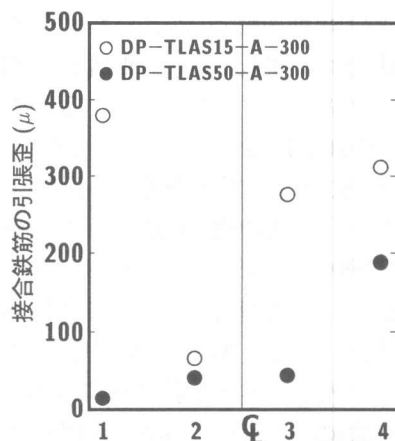
- 1) 波型鋼板の有無は鋼製覆道の衝撃安全性に大きな影響を与え, その度合いは緩衝構造が敷砂単層の場合に特に顕著である。
- 2) 波型鋼板が腐食により消失した場合においても, TLAS を用いることで波型鋼板上に敷砂単層 50 cm 厚を設置した場合とほぼ同程度の衝撃耐力が得られる。
- 3) コンクリート床版の衝撃耐力は TLAS の砂層厚によらず同程度であるが, 砂層厚を 50 cm に増加することにより, 衝撃破壊に至るまでの衝突速度を砂層厚 15 cm の場合のほぼ 2 倍に増加させることができる。

参考文献

- [1] 岸 徳光, 中野 修, 今野久志, 松岡健一: 三層緩衝構造の緩衝効果に関する室内実験, 構造工学論文集, Vol.38A, pp.1577 ~ 1586, 1992.3.
- [2] 岸 徳光, 中野 修, 三上 浩, 松岡健一: 紐紐状 AFRP ロッドで補強した RC スラブを用いた大型緩衝構造の衝撃吸収性能, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 14, No. 2, pp.655 ~ 660, 1992.6.
- [3] 松岡健一, 三上 浩, 岸 徳光: 低補強筋比 RC 梁の耐衝撃性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.2, pp.929 ~ 934, 1995.6.



(a) 波型鋼板がない場合



(b) 波型鋼板がある場合

図-8 接合鉄筋の最大引張歪