

RCアーチ構造形式における内面繊維補強工法の有効性に関する実験的検討

Experimental study on applicability of inner-surface reinforcing method with FRP sheet for RC arch structures.

寒地土木研究所 寒地構造チーム
 室蘭工業大学
 寒地土木研究所 寒地構造チーム
 寒地土木研究所 寒地構造チーム
 寒地土木研究所 寒地構造チーム

○正会員 石川 博之 (Hiroyuki Ishikawa)
 フェロー 岸 徳光 (Norimitsu Kishi)
 正会員 岡田 慎哉 (Shin-ya Okada)
 正会員 今野 久志 (Hisashi Konno)
 正会員 西 弘明 (Hiroaki Nishi)

1. はじめに

日本の国土は南北に細長く、かつ山脈が縦横に伸びているため、急峻な地形となっている地域が多く、これは北海道においても例外ではない。そのため各地域を結ぶ主要な道路には止むを得ず海岸線や山岳部の急崖斜面に沿って敷設されている箇所が多い。さらに、これらの海岸道路や山岳道路においては、落石等の斜面災害を回避することを目的として、トンネルを用いて危険性の高い斜面を避けるルートが選定されていることも多く、その結果、トンネルが多く建設されている。

これらのトンネルの坑口部は写真-1に示されるように、一般的に斜面を背負うこととなる。トンネルの坑口部は、その路線計画の策定の際に安全性に関しても十分な検討がなされるため、通常は斜面からの落石対策を必要としない。しかしながら、これらの土木構造物は長期に渡り供用されるため、斜面の風化等による経年変化によって、当初には想定され得なかった新たな斜面災害の可能性が確認される場合がある。その場合には、鉄筋コンクリート製（以後、RC製）のアーチ構造形式であるトンネル坑口部は、落石による衝撃力を受けることが想定される。従って、交通の安全を確保するためには、トンネル坑口部の耐衝撃性能を把握し、適切な対策を実施する必要がある。



写真-1 トンネルの坑口部の一例

しかしながら、RC製アーチ構造形式の耐衝撃性能に関する検討は、ほとんど実施されておらず、その耐衝撃性能は明らかとなっていない。さらに、RC製アーチ構造形式に対する補強工法に関する検討についてもほとんど実施されておらず、合理的な補強設計が行える状況にはないのが現状である。

著者らは過去に小型のRC製アーチ構造模型を用いて重錘落下式の衝撃実験¹⁾を実施し、RC製アーチの衝撃挙動および耐衝撃性能に関する検討を実施している。その結果、版形状に近い構造の場合は、静載荷実験および衝撃載荷実験結果ともに押抜きせん断型の脆性的な破壊性状等を示すことを明らかとしている。さらに、小型RC製アーチ構造模型の衝撃実験に関する三次元弾塑性衝撃応答解析を実施して、アーチ構造の衝撃挙動²⁾を明らかとしている。しかしながら、これらの構造物に対して補強を実施した場合の耐衝撃性能に関しては明らかとなっていない。

このような観点から、本研究では、実トンネル巻き出し工を想定したRC製アーチ構造の耐衝撃特性に補強工法が与える影響を把握することを目的に、小型RC製アーチ模型（以後、アーチ）に対し、内空にアラミド繊維貼付補強を施し、重錘落下衝撃実験を行い、過去の無補強模型と比較することで、その耐衝撃性能に関する検討を実施することとした。耐衝撃性能に関する検討は、各種応答波形（重錘衝撃力、載荷点における応答変位）およびびびり割れ分布に着目して行うこととした。なお、本実験は、室蘭工業大学が所有する構造物耐衝撃耐荷力評価試験装置を用いて実施した。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

図-1には、実験試験体の形状寸法および配筋状況を示している。試験体は、実際の巻き出し工の1/4程度の縮尺模型とした。すなわち、アーチの厚さを200mm、アーチ部の内半径を1,000mm、側壁部の高さを500mmとしている。アーチ部主鉄筋には、実巻き出し工と同程度の鉄筋比(0.8%)となるように鉄筋量を調整し、D13を120mm間隔で配筋した。なお、芯かぶりには40mmとしている。配力筋には、主鉄筋との鉄筋量および鉄筋間隔のバランスを考慮してD6を用い、主鉄筋量の1/3以上となるように断面中心線上で80mm間隔で配筋することとした。

アラミド繊維貼付による補強は、アーチ内面全域に目付量650gの2方向シートを貼り付けることで実施した。

フーチング形状については、アーチ基部の固定条件が保持されるようにすることを前提に、巻き出し工断面方向長さ 3,000 mm、巻き出し工軸方向幅 800 mm、高さ 250 mm とする矩形体とし、鋼製アングル材を配置して剛性の確保に努めている。また、フーチング下面には設置面の平滑度の精度を向上させるために、厚さ 9 mm の鋼板を配置している。

表-1 には、本実験に用いた試験体の一覧を示している。本検討で対象とする試験体数は全 2 体である。表中の試験体名のうち、N の場合は無補強の試験体を、S の場合はアラミドシートによる内面補強を行った試験体をそれぞれ示している。なお、試験体名の末尾には衝突速度 V (m/s) を付している。

2.2 衝撃実験概要

写真-2 には、衝撃実験状況を示している。実験はアーチフーチング部を跳ね上がり防止用治具により固定し、アーチクラウン中央点に所定の高さから 300 kg の鋼製重錘を自由落下させることにより行っている。なお、重錘はリニアウエイレールによって鉛直落下するように制御されているため、若干の摩擦抵抗がある。そのため、重錘衝突速度の検定試験を実施した後、設定衝突速度に対応する高さから重錘を落下させることとした。衝撃荷重載荷に関しては、重錘を所定の衝突速度により一度だけ載荷する単一載荷方法を採用している。

本実験では、載荷点部の押し抜きせん断破壊が予想されることから、載荷点の影響が自由辺まで波及しないようにするため、載荷直径を小さくすることとし直径 60 mm の鋼製円柱を採用した。

計測項目は、重錘に内蔵された起歪柱型ロードセルによ

る重錘衝撃力と非接触式レーザ変位計による載荷点変位とした。重錘衝撃力測定用ロードセルの容量および応答周波数はそれぞれ 1,470 kN、DC-4.0 kHz であり、レーザ式変位計の測定距離および応答周波数はそれぞれ 500mm、約 1 kHz である。また、衝撃実験時の各種応答波形は、1 kHz のサンプリングタイムにてデジタルレコーダに一括収録を行っている。

3. 実験結果

3.1 重錘衝撃力

図-2 には、重錘衝撃力波形を示す。なお、図は重錘衝突時刻を 0 として整理している。図より、N-8、S-8 試験体ともに類似の傾向を示し、重錘衝突とともに励起する周期の短く振幅の大きい正弦半波状の第 1 波と、その後周期の長く振幅の小さい一定の応答を持続する第 2 波から構成される。

N-8 試験体と S-8 試験体との差異に着目すると、アラミド補強を実施することにより最大重錘衝撃力が若干低下し、さらに波動継続時間も短くなる傾向が見られる。

3.2 載荷点変位

図-3 には、載荷点変位波形を示す。なお、図は重錘衝撃力と同様の整理としている。図より、重錘衝撃力と同様に N-8、S-8 試験体ともに類似の傾向を示しており、重錘衝突から若干遅れて波形が励起され、最大変位となる。その後、振動はほとんど励起されず、大きな残留変位が生じている。これより、両試験体において大きな損傷が発生し、

表-1 実験ケース (試験体) 一覧

実験ケース	シート補強の有無	衝突速度 V (m/s)
N-8	無し	8
S-8	有り	8

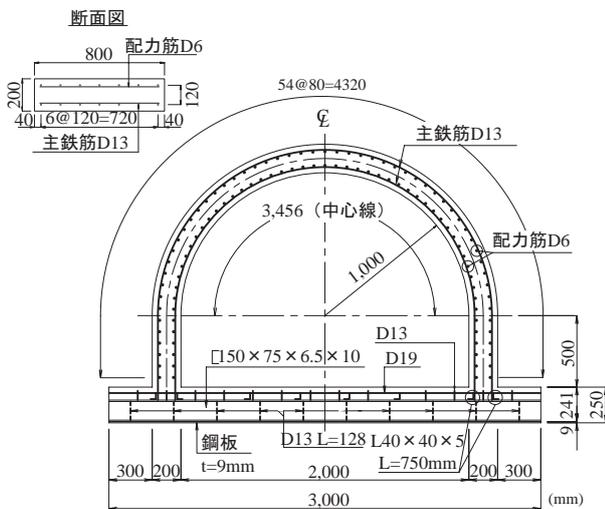


図-1 形状寸法および配筋状況

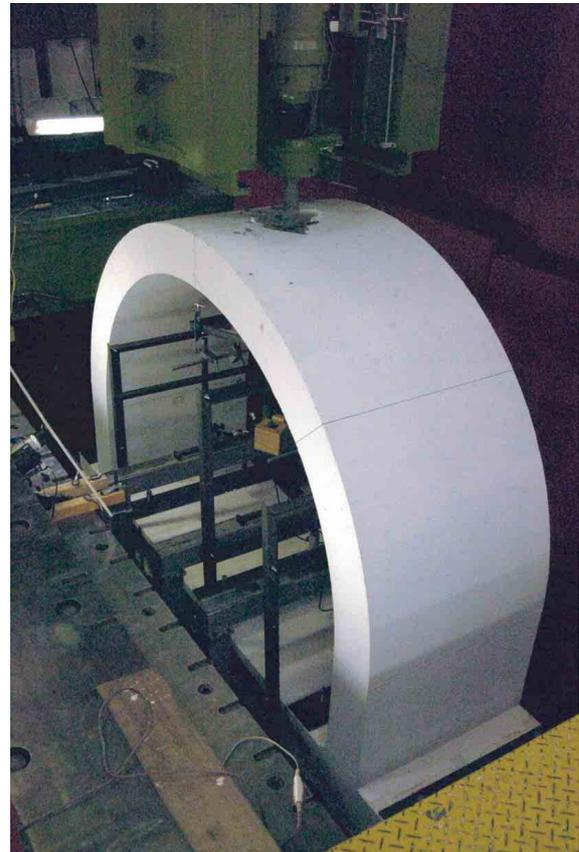


写真-2 衝撃実験状況

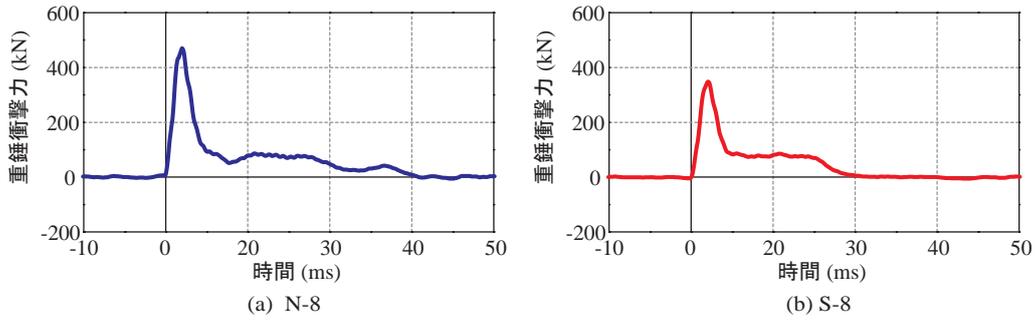


図-2 重錘衝撃力波形

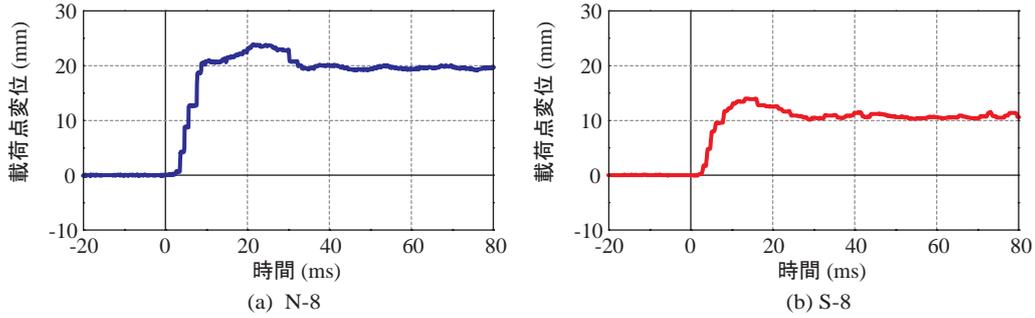


図-3 載荷点変位波形

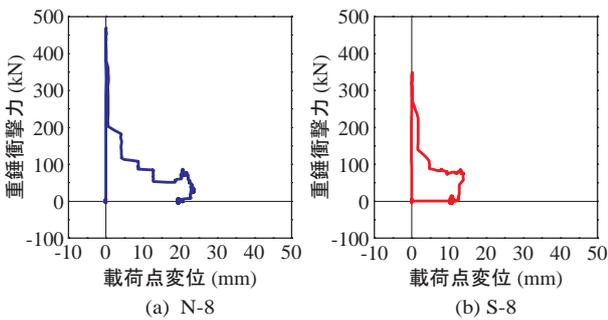


図-4 荷重-変位関係

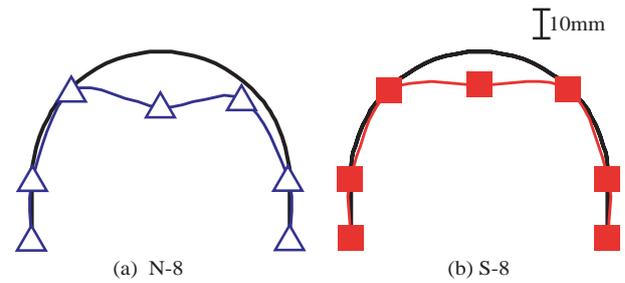


図-5 断面方向最大変位分布性状

構造として終局に至っているものと推察される。

N-8 試験体および S-8 試験体の差異に着目すると、アラミド補強を実施することにより最大変位、残留変位ともに無補強の場合の半分程度に抑制されている。これより、アラミド補強を実施することで、損傷の大きい場合にも変位を抑制する効果が期待できることが分かる。

3.3 重錘衝撃力-載荷点変位曲線

図-4 には、縦軸に重錘衝撃力、横軸に載荷点変位とした重錘衝撃力-載荷点変位曲線を示す。図より、その曲線の形状は N-8 試験体、S-8 試験体で同様の傾向を示しており、押し抜きせん断破壊による特徴的な三角形の曲線となっている。これより、両試験体はほぼ同様に押し抜きせん断により損傷しているものと推察され、破壊性状を移行させるまでの効果は期待できないと推察される。

3.4 変位分布性状

図-5 には、断面方向最大変位分布性状を示す。図より、N-8、S-8 試験体ともに載荷点に変位が集中している傾向が分かる。両者を比較すると、載荷点の変位量が若干異なるものの、ほぼ同一の傾向を示しているといえる。

図-6 には、幅方向最大変位分布性状を示す。図より、N-8 試験体では載荷点近傍に変位が集中し、端部の変位は

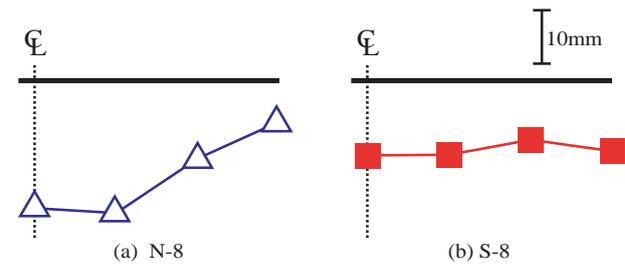


図-6 版幅方向変位波形

小さくなっている。これより、N-8 試験体では押し抜きせん断破壊が生じ、せん断コーンが形成され押しぬかれているものと推察される。

これに対し、S-8 試験体では載荷点から端部までほぼ一様の変位が発生しており、変位が集中する傾向は見られない。これは、アラミド補強を実施したことにより、押し抜きせん断破壊による押し抜きが抑制されたものと推察される。

3.5 ひび割れ分布性状

図-7 には、実験終了時のひび割れ分布性状を示してい

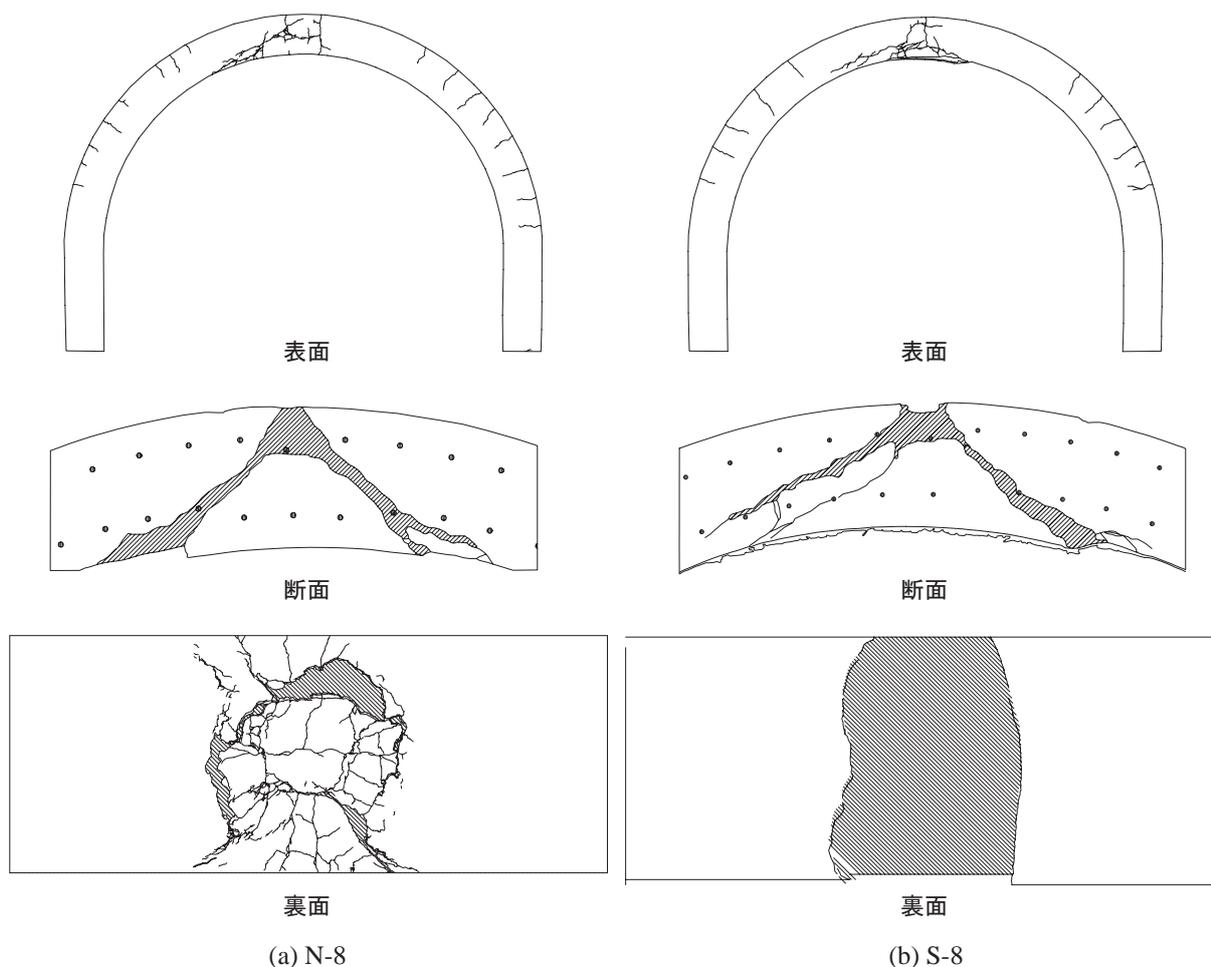


図-7 ひび割れ分布性状

る。なお、S-8 試験体の裏面のひび割れ分布は、アラミド補強によりコンクリート表面がシートに覆われ、ひび割れの状況が確認できない。そのため、ここではシートの剥離状況を示している。

図より、荷点断面のひび割れ性状より、両試験体とも荷点より発生した斜めひび割れが裏面まで到達しており、せん断コーンの形成が確認できる。これより、どちらの試験体も押し抜きせん断破壊により終局に至っているものと判断できる。

N-8 試験体においては、押し抜きせん断破壊によるせん断ひび割れの開口に伴い、裏面コンクリートの剥落が生じている。しかしながら、アラミド補強を行った S-8 試験体においては、荷点断面の状態からせん断ひび割れの開口は確認できるものの、剥落は発生しない。これより、アラミド補強を行うことで同程度の損傷が発生した場合にもコンクリートの裏面剥落の抑制効果が期待できることが確認された。

4. まとめ

本検討は、RC 製アーチ構造の耐衝撃特性に補強工法が与える影響を把握することを目的に、小型 RC 製アーチ模型に対し内空にアラミド繊維貼付補強を施し、重錘落下衝

撃実験を行い過去の無補強模型と比較することで、その耐衝撃性能に関する検討を実施した。結果をまとめると、

- (1) アラミド補強を実施しても、破壊形式は押し抜きせん断破壊のままであり、防止はできない。
- (2) アラミド補強を実施することで、押し抜きせん断破壊による押し抜け変形が抑制された。
- (3) アラミド補強を実施することで、裏面剥落の抑制効果が確認できた。

今後は、今回確認された補強効果に関して、性能として評価できるように検討し、設計に用いることが可能となるように研究を進める所存である。

参考文献

- 1) 川瀬良司, 岸 徳光, 今野久志, 岡田慎哉, 鈴木健太郎: 小型 RC アーチ模型の耐衝撃挙動に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.53A, pp.1191-1202, 2007.4
- 2) 川瀬良司, 岸 徳光, 今野久志, 岡田慎哉: 小型 RC アーチ梁模型の衝撃応答特性に関する数値解析的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.2, pp.847-852, 2006.6