

敷砂緩衝材を設置したトンネル坑口部の耐衝撃挙動に関する実物実験

寒地土木研究所
国土交通省北海道開発局
室蘭工業大学

正会員
非会員
フェロー

○西 弘明
荒木 恒也
岸 徳光

寒地土木研究所
寒地土木研究所
寒地土木研究所

正会員
正会員
正会員

岡田 慎哉
石川 博之

1. はじめに

本研究では、敷砂緩衝材を設置した RC 製アーチ構造に関する耐衝撃挙動を把握することを目的に、実物トンネル坑口部を用いた重錘落下衝撃実験を実施した。検討は、重錘衝撃力、アーチ構造の変位およびコンクリート表面のひずみに着目して行うこととした。

2. 実験概要

図-1 には、実験に用いたトンネル坑口部の形状寸法、配筋状況および計測位置をそれぞれ示している。試験体に用いたトンネル坑口部の断面形状は、覆工部材厚 600 mm、上半内空半径 4,152 mm、側壁部高さ 1,725 mm、道路軸方向の 1 ブロック延長 6,000 mm である。覆工主鉄筋には D13～D22、配筋筋には D13 がそれぞれ 250 mm 間隔で配筋され、かぶりは 100 mm となっている。なお、鉄筋の材質は全て SD295A である。また、敷砂緩衝材の厚さは 900 mm としている。表-1 には、実験ケースの一覧を示している。実験ケースは、落下高さを 2.5～20 m に変化させた漸増繰返し載荷および落下高さ 30 m の単一載荷の全 5 ケースである。試験体のコンクリート圧縮強度は、繰返し載荷および単一載荷を実施したブロックにおいて、それぞれ 27.5 MPa、36.8 MPa であった。

実験は、質量 10,000 kg の鋼製重錘をクローラクレーンを用いて所定の高さまで吊り上げ、アーチ部中央点に自由落下させることにより行っている。実験時における敷砂材の平均湿潤密度および平均含水比は、繰返し載荷でそれぞれ 1,660 kg/m³、8.4 %、単一載荷でそれぞれ 1,560 kg/m³、7.9 % である。重錘は、直径 1.25 m、高さ 95 cm で底部が半径 100 cm の球状となっている。なお、クレーン能力の限界が 30 m であることより、落下高さは 30 m までとしている。

3. 衝撃実験結果

3.1 各種応答波形

図-2 には、繰返し載荷の落下高さ $H=10$ m および 20 m、単一載荷 30 m の場合における重錘衝撃力波形、載荷点鉛直変位波形を示している。重錘衝撃力は、繰返し載荷の場合には、衝突初期において振幅が最大応答値

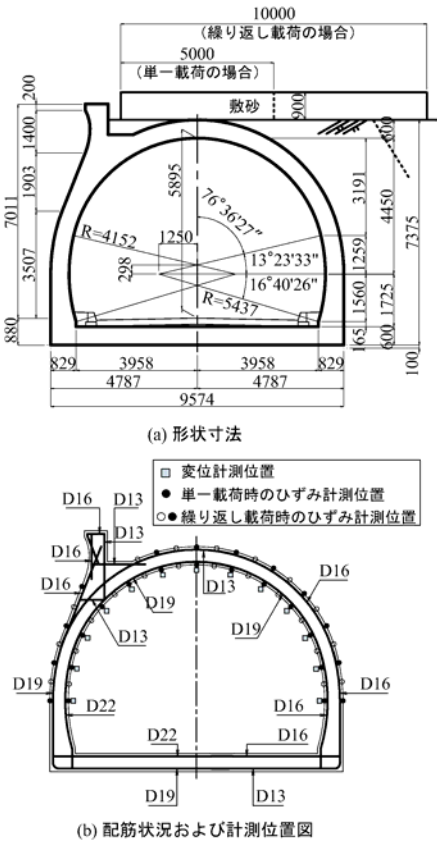


図-1 試験体概要

表-1 実験ケース一覧

実験ケース	載荷方法	落下高さ
S-II	繰返し	2.5, 5, 10, 20 m
S-IS-H30	単一	30 m

となり、継続時間が 100 ms 程度の正弦半波状の第 1 波と、継続時間が 50～80 ms 程度の正弦半波状の第 2 波が重ね合わされた分布性状を示している。一方、単一載荷である S-IS-H30 については、第 3 波が発生しており、繰返し載荷実験とは異なる傾向であることが分かる。これは、衝突エネルギーが大きいため、第 1 波が発生した後、重錘底部が覆工本体に直撃に近い形で衝突した可能性を示唆している。

載荷点における鉛直変位波形は、重錘衝撃力波形に対して 20 ms 程度波形の立ち上がりに遅れが生じている。最大変位は、落下高さの増加に従って増加していることが分かる。また、落下高さ $H=20$ m 以上の場合には残留

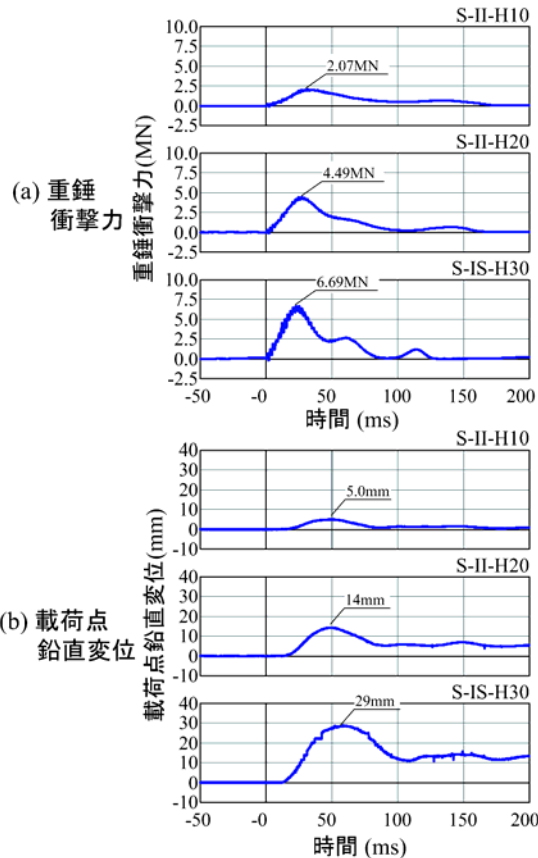


図-2 各種応答波形

変位が発生しており、覆工本体の損傷が進行していることを示唆している。

3.2 変位分布およびひずみ分布

図-3には、S-IS-H30に関する覆工本体の(a)変位分布および(b)外面ひずみ分布、(c)内面ひずみ分布を示している。まず、(a)変位分布より、30ms経過以降に顕著に変形していることが分かる。内側への変形は载荷点直下で最も大きく、アーチの円中心点より45°の位置周辺においては外側への変形であることが分かる。また、アーチの右側に比較し、左側で大きな変形が発生している。これは、アーチ左右における地盤の有無が影響しているものと考えられる。

次に、(b)外面ひずみ分布に着目すると、20msで载荷点直下の圧縮ひずみが増大し、30ms経過以降においてアーチの円中心点より左側45°の位置周辺で引張ひずみが発生している。その後、载荷点直下のひずみは70ms経過以降計測不能となった。これは、前述のように重錘衝突時に緩衝材である敷砂が飛散したことにより、重錘底部と覆工本体が直撃に近い状態で接触・衝突し、局所的にひずみが増大したものと推察される。

一方、(c)内面ひずみ分布では、载荷点直下近傍のひずみはほとんど発生していない。これは、本試験体がアーチ構造であることにより軸力変換効果が発揮され、载荷点近傍のアーチ断面内に圧縮力が発生し、衝突荷重によっ

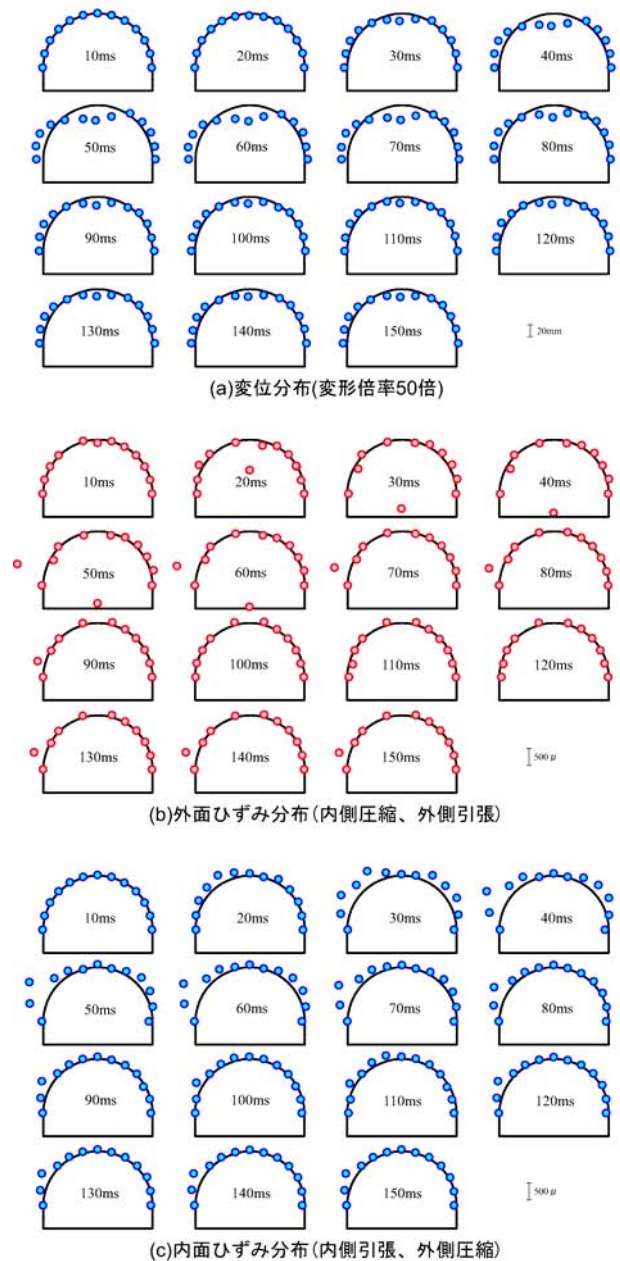


図-3 変位およびひずみ分布図(S-IS-H30)

て発生するアーチ断面内側の引張力が相殺されたものと推察される。

4. まとめ

本研究では、敷砂緩衝材を設置したRC製アーチ構造に関する落石衝撃挙動を把握することを目的に、実規模トンネル坑口部を対象とした重錘落下衝撃実験を実施した。検討結果を整理すると、以下のように示される。

- (1) 落下高さの増加に従い最大変位も増加し、落下高さ $H=20\text{ m}$ 以上の場合には残留変位が発生する。
- (2) 変位およびひずみ分布は、アーチ左右における地盤の有無の影響により左右非対称の挙動となる。
- (3) アーチ構造であることにより軸力変換効果が発揮され、载荷点近傍のアーチ断面内に圧縮力が発生し、衝突荷重によって発生するアーチ断面内側の引張力が相殺される。