

三層緩衝構造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

(株) 構研エンジニアリング 正会員 ○保木 和弘 寒地土木研究所 正会員 今野 久志
国土交通省北海道開発局 非会員 荒木 恒也 寒地土木研究所 正会員 岡田 慎哉
(株) 構研エンジニアリング 正会員 川瀬 良司 室蘭工業大学 フェロー 岸 徳光

1. はじめに

本研究では、三層緩衝構造を設置した 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、覆工部材厚を 600 mm、上半内空半径を 4,152 mm、側壁部高さを 1,725 mm、道路軸方向の 1 ブロック延長は 6,000 mm である。覆工主鉄筋には D13～D22、配力筋には D13 をそれぞれ 250 mm 間隔で配筋し、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、三層緩衝構造は、敷砂厚 500 mm、RC 版厚 200 mm、EPS 材厚 500 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 10～30 m に変化させた漸増繰り返し载荷および落下高さ 30 m の単一载荷の全 4 ケースである。試験体のコンクリート圧縮強度は、繰り返し载荷および単一载荷を実施したブロックにおいて、それぞれ 36.1 MPa、29.7 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、繰り返し载荷でそれぞれ 1,610 kg/m³、13.8 %、単一载荷でそれぞれ 1,580 kg/m³、12.8 % である。また、三層緩衝構造の芯材に用いた RC 版は、形状寸法が 5.0 × 5.0 × 0.2 m、圧縮強度 27 MPa、鉄筋比 1 % 以上の複鉄筋配筋となるように D22 (材質 SD345) を 250 mm 間隔とし、裏層材には密度 20 kg/m³ の EPS を用いた。なお、各実験ケースにおいて RC 版、EPS 材は常に未使用材を用いることとした。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。また、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。

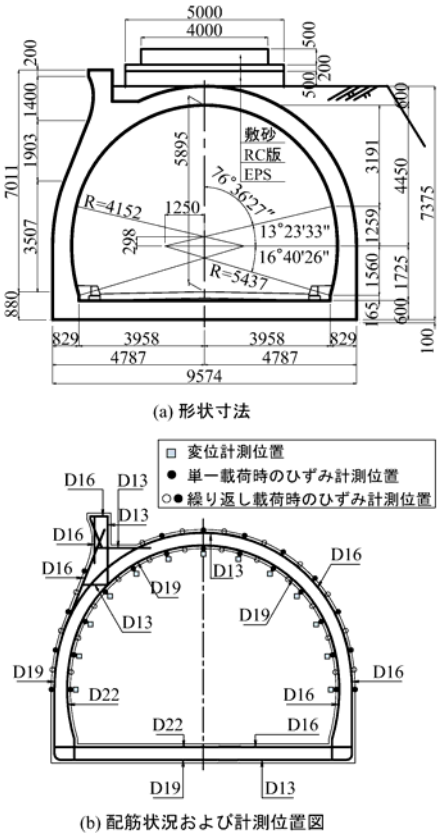


図-1 試験体概要

表-1 実験ケース一覧

実験ケース	载荷方法	落下高さ	衝突エネルギー
T-II-H10	繰り返し	10 m	1.0 MJ
T-II-H20		20 m	2.0 MJ
T-II-H30		30 m	3.0 MJ
T-IS-H30	単一	30 m	3.0 MJ

3. 衝撃実験結果

3.1 各種応答波形

図-2 には、繰り返し载荷の衝突エネルギー $E_k = 1.0$ MJ および 2.0 MJ、単一载荷 3.0 MJ の場合における重錘衝撃力波形、载荷点鉛直変位波形を示している。(a) 図の重錘衝撃力波形より、1.0 MJ の場合は他のケースと異なる波形性状を示していることが分かる。これは、2.0～3.0 MJ の場合には衝撃エネルギーが大きいことから、EPS 材が芯材 RC 版から伝達された衝撃エネルギーを十分に吸収することが出来ないことによるためと考えられる。

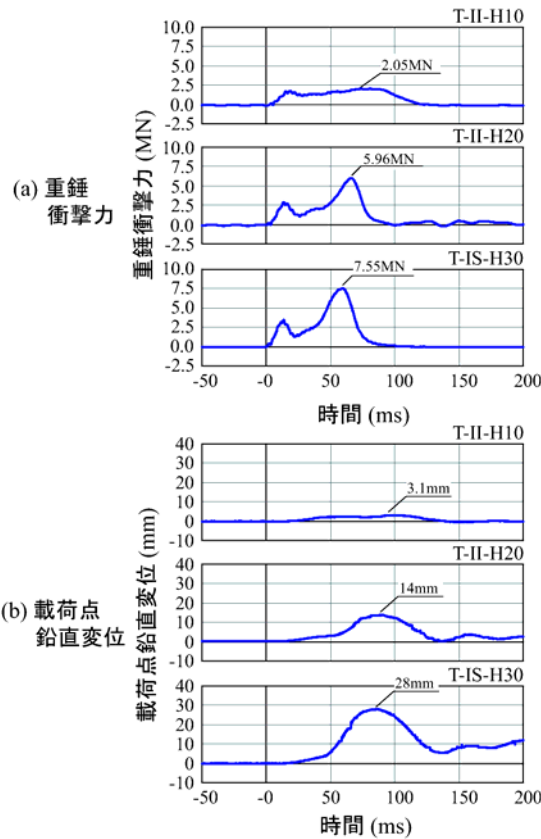


図-2 各種応答波形

(b) 図の鉛直変位波形より、 $E_k=1.0 \text{ MJ}$ の場合には残留変位は発生しないが、 3.0 MJ では 10 mm 程度以上の残留変位が発生している。このことは、本実験範囲内において、トンネル坑口部は衝突エネルギー 3.0 MJ 以上に対して塑性化す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、T-IS-H30 に関する (a) 変位分布図および (b) 外面ひずみ分布、(c) 内面ひずみ分布を示している。

(a) 図の変位分布に着目すると、変位は 60 ms 経過以降に顕著に発生していることが分かる。その後、アーチの円中心点より 45° 付近における変位が増大し、载荷点付近の変位が 100 ms までほぼ一定に推移していることが分かる。変形は 130 ms でほぼ落ち着き、最大で 10 mm 程度の残留変位が発生している。また、アーチの左右で若干異なる挙動を示している。(b) 図の外面ひずみ分布は、 50 ms から载荷点直下付近の圧縮ひずみが増大し、 60 ms 経過後にアーチの円中心点より 45° 付近で引張ひずみが発生している。なお、载荷点部とアーチ左側の円中心点より 45° の位置で残留ひずみが発生している。

一方、(c) 図の内面ひずみ分布に関しては、载荷点を中心に幅 4 m 程度の範囲において、ひずみが小さく示されている領域が確認できる。これは、本試験体が三層緩衝構造を設置したアーチ構造であるため、1) 三層緩衝構造により分散された衝撃荷重がアーチ構造に伝達され、2) アーチ作用により载荷点近傍のアーチ断面内で軸圧縮力

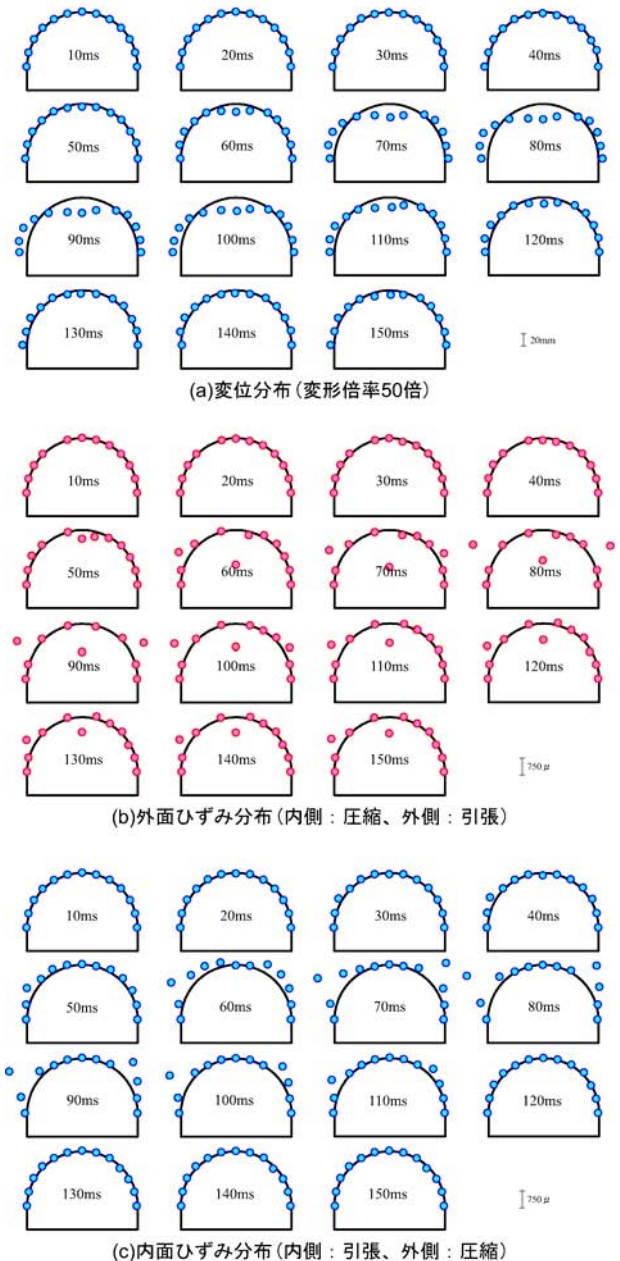


図-3 変位およびひずみ分布図 (T-IS-H30)

が発生し、3) 衝突荷重によってアーチ断面内側に発生する引張力が相殺される、ことにより小さいひずみ発生領域が示されたものと推察される。このことから、三層緩衝構造の衝撃荷重分散効果によりアーチ作用が効率よく発揮されるものと考えられる。

4. まとめ

本研究では、三層緩衝構造を設置した場合の 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。本研究により得られた事項を整理すると、以下のよう示される。

- (1) 本実験範囲内において、トンネル坑口部は衝突エネルギー $E_k=3.0 \text{ MJ}$ 以上に対して塑性化する傾向を示す。
- (2) トンネル坑口部に三層緩衝構造を設置することで、アーチ作用が効率よく発揮される。