

ハーモニカ工法函体間切開き時の地山崩壊防止対策の要素実験 (2)

大成建設株式会社	正会員	○西尾	成夫
大成建設株式会社	正会員	川北	潤
大成建設株式会社	正会員	麻	泰宏
大成建設株式会社	正会員	藤井	翔平

1. はじめに

非開削トンネル工法のうち、自由な寸法で矩形断面を設計できる大断面分割シールド工法（ハーモニカ工法）はこれまで多数の実績を重ねてきた。今後はさらに、高水圧・長距離・変断面への対応が望まれている。高水圧下では函体間切開き時の出水に伴う周辺地山の崩壊防止対策が重要となる。これまでの推進方式のハーモニカ工法では、函体間に設けた継手が係合され、継手内の空間に特殊ベントナイトを充填することで地山崩壊対策を達成してきた（図 1）。長距離施工への対応はシールド方式の採用が優位となるが、シールド方式では函体間の継手をスライドして係合させることができない。また、変断面施工においても函体間離隔を調整することで断面変化に対応するため、従来の継手では対策が難しい。したがって、函体間に離隔がある場合でも、高水圧下で確実に切開き作業を行うための工法が必要となる。

筆者らは、函体間離隔が大きくなった場合の対策の一工法として、斜めパイプルーフを用いた地山防護を考案した（図 2）。本稿では、この工法の実現性評価のために実物大の載荷実験を実施したので、その結果について報告する。

2. 実験概要

供試体概要を図 3、実験状況を写真 1～3 に示す。函体間離隔を 1m とし、パイプルーフ鋼管を交互に傘状に配置する（500mm ピッチ）。パイプルーフは鋼殻内側にエントランス金物を模擬したソケットに差し込み固定する。模擬地盤は薬液注入で改良された砂層（一軸圧縮強度 80kN/m^2 程度）を想定し、土槽内に珪砂を 10cm 厚で撒き出し、水ガラス系注入材を散布・浸透させて改良地盤を再現した。模擬地盤上に平板状のウォーターバッグを配置し、パイプルーフ下部を掘削した状態で、加圧ポンプで水を注入することで土水圧による鉛直載荷を表現した。

模擬地盤中に配置した土圧計により地盤内の圧力分布およびパイプルーフへの載荷荷重を確認する。また、パイプルーフに設置したひずみ計および変位計からパイプルーフの土留め効果を把握するとともに、パイプルーフ間には改良土のせん断強度に期待することからパイプルーフ周りの地盤崩壊がないかを確認する。

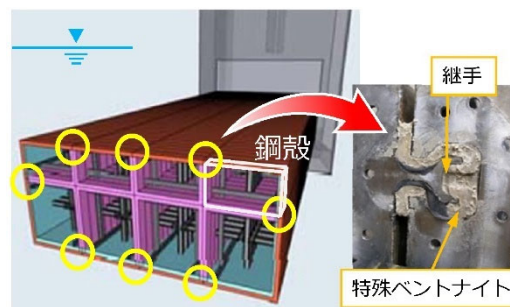


図1 ハーモニカ工法：推進方式の函体間継手

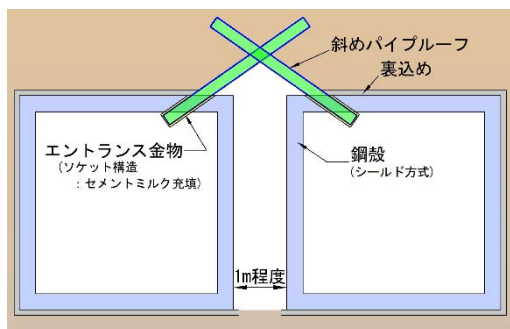


図2 斜めパイプルーフ配置イメージ

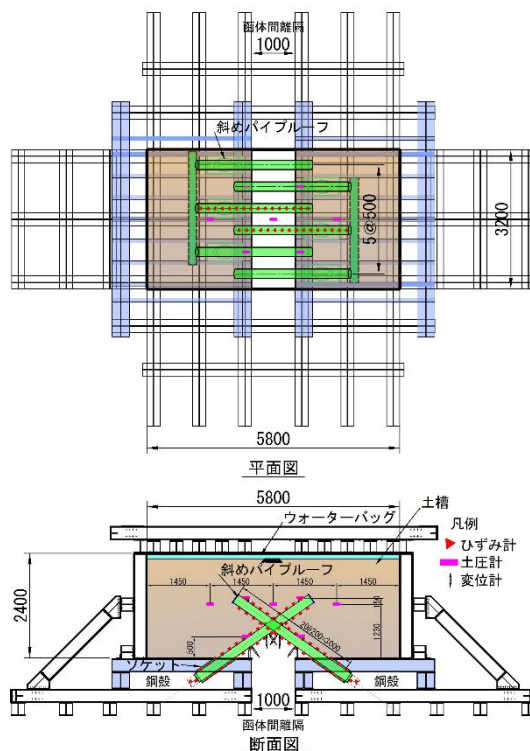


図3 実験供試体概要図

キーワード 非開削，高水圧，大断面分割シールド工法，斜めパイプルーフ，函体間土留め，鋼殻間止水
連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 新宿センタービル 大成建設株式会社 TEL 03-5381-5284



写真1 実験供試体全景



写真2 斜めパイプルーフ設置状況

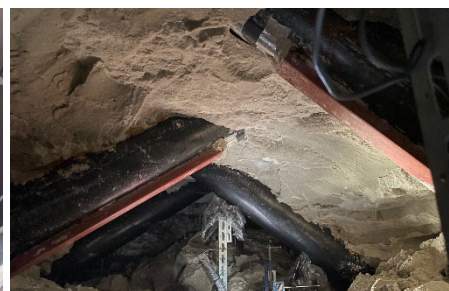


写真3 斜めパイプルーフ下掘削状況

4. 実験計測結果および考察

図5に示す土圧計測結果から、模擬地盤中に設置した3か所の土圧計 DDD-001～003 はいずれも最大値が 200kN/m^2 程度であり、地盤に均等な荷重を作用出来ていることが分かる。鋼管に設置した土圧計 (RPD および LPD) はその1.5～1.9倍の値を示しており、鋼管間隔に応じて荷重が集中していると推定される。

図6にパイプルーフ上下に設置したひずみ計測結果から算出した曲げモーメント・軸力分布図を示す。曲げモーメント分布はパイプルーフが鋼殻内に貫入する支持点付近 (L-11 付近) で負曲げが最大、鋼管交差部付近で正曲げ最大となった。この分布からパイプルーフは鋼殻側ではソケットによって曲げを拘束されており、鋼管交差部より先の地盤貫入側では弾性床上の梁として地盤に支えられていると推定できる。また、軸力は鋼殻側の支持点より下方では発生しておらず、ソケットや鋼殻に力が流れていると推定される。パイプルーフ鋼管は当初想定した断面力値や変位量 (図7 土圧－変位関係) よりも小さな値であり、より合理化できる可能性を確認できた。そのためには鋼殻やソケットがパイプルーフから伝達される曲げモーメントおよび軸力に対して構造が成立し、確実に支持できるよう設計することが重要となる。

パイプルーフ間の模擬地盤について、荷重載荷過程で一部肌落ちも見られたが、パイプルーフを支点としたアーチ効果が発揮され、地盤全体としては安定した状態であったと想定される。実工事では荷重が既に作用している状態でパイプルーフ下部を掘削するため、掘削過程での肌落ちが懸念される。そのため、鋼殻間を鉄板などで塞ぎながら順次掘削を抜けるなど、安全対策を講じる必要がある。

5. おわりに

ハーモニカ工法における高水圧下での函体間切開き作業に際し、安全かつ効率よく施工を実施するため、土留め部材として交互に打設した斜めパイプルーフを用いた地山防護対策を考案した。この実現性評価を目的に実物大の要素実験を実施した結果、パイプルーフの発生断面力は当初設定した設計モデルに比べて十分小さな値となることを確認できた。今後は安全性を確保した上で、さらなる合理化および最適化を目指して検討を重ねていきたい。

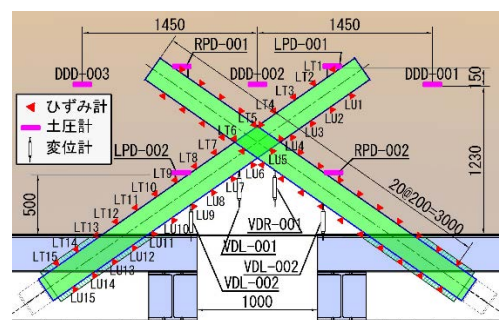


図4 計測機器配置図

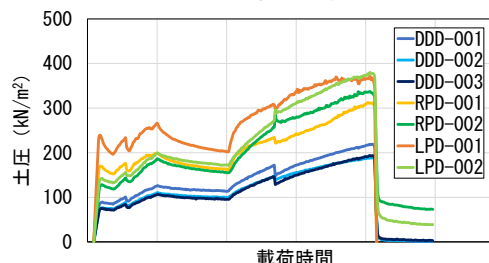


図5 土圧計測結果

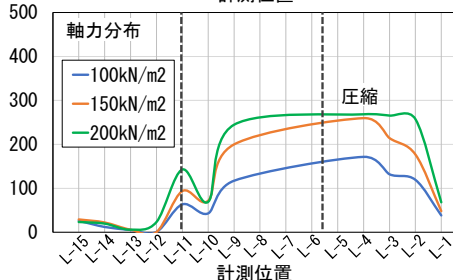
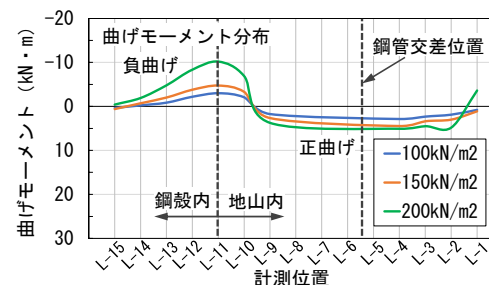


図6 パイプルーフ断面力分布 (左鋼管)

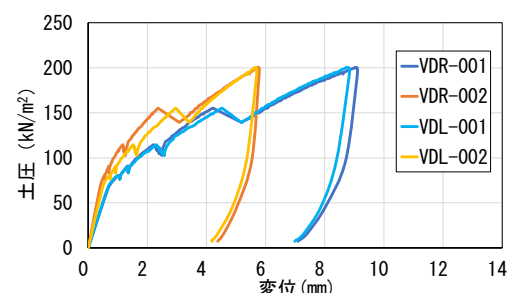


図7 土圧－変位量関係