

改良地盤における小土被りトンネルの切羽の安定性に関する実験

京都大学

京都大学 工学研究科

(株)レールウェイエンジニアリング

(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構

学生会員 ○ 平坂友里恵, 水野裕大

正会員

岸田 潔, 木村 亮

正会員

野々村政一

正会員

井浦智実

1. はじめに

近年, NATM は補助工法の発達に伴い, その適用範囲を広げている. 2010 年 12 月に全線開通した東北新幹線や北陸新幹線の延伸工事では, 小土被り未固結地山において掘削前に地上からトンネル天端部や肩部に地盤改良を施した後(以下, 地山改良工), NATM を用いてトンネル掘削が行われている¹⁾. しかしながら, 地山改良工のトンネル掘削時における改良効果は定量的に評価されておらず, 改良範囲および改良強度の選定方法は十分整備されていないのが現状である. そこで, 筆者ら²⁾は, 地山改良工の効果とそのメカニズムを把握するため, トンネル掘削過程を模擬できる 3 次元降下床模型実験を実施し, 地盤改良の改良幅と改良深さをパラメータとし, 改良効果に及ぼす影響について検討した. ただし, そこでの検討は, 本工法が対象となる $1D$ 以下の小土被り条件ではなかった. そこで本稿では, 土被りを $1/2D$ として, 改良幅が切羽の安定性および地表面沈下抑制に与える影響について検討を行った.

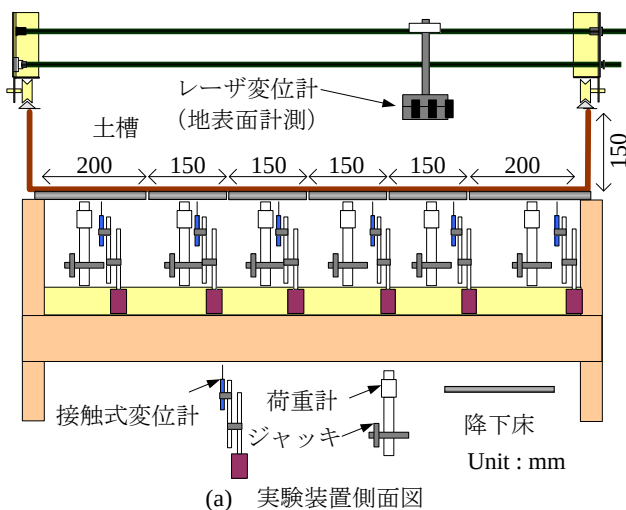
2. 模型実験の概要

図 1 に本研究で用いた 3 次元降下床模型実験装置を示す. 実験装置は, $1000\text{ mm} \times 1000\text{ mm}$ の土槽とその底部に設置された降下床 1~6, および地表面計測装置により構成される. 降下床 2~5 は $150\text{ mm} \times 150\text{ mm}$ の正方形, 降下床 1, 6 は $150\text{ mm} \times 200\text{ mm}$ の長方形である. 基礎地盤は, 土槽に珪砂 6 号を気中落下し相対密度が 70 %として作製した. 改良地盤は, 含水比が 5%となるように水を散布し作成した. 強度をポータブルコンーン貫入試験により計測し, 水を散布しない地盤に比べ 3 倍の強度であることを確認した.

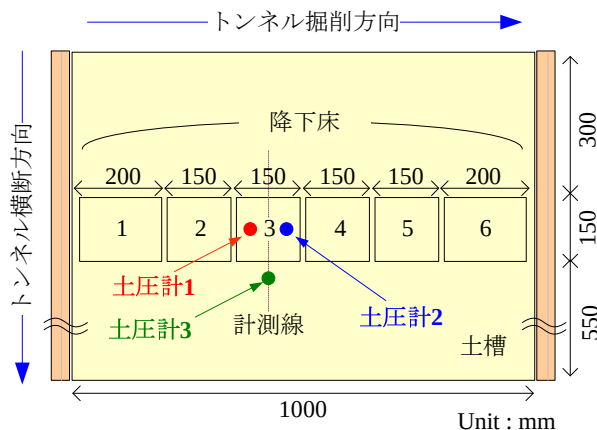
トンネル掘削時の切羽の進行は, 降下床を 1 から 4 まで順番に 2.0 mm ずつ下降させることにより表現した. 本実験での計測項目は, 図 1 に示す通り地表面沈下量と降下床 3 および周辺に作用する鉛直土圧である. 図 2 に図 1 で示す計測線に沿った断面での改良地盤の位置関係を示す. また, 実験ケースを表 1 に示す. 降下床幅 150 mm をトンネル径の $1D$ に相当すると考え, 土被りが 75 mm ($1/2D$)について検討した. 地盤改良を施さない Case-1, 改良深さが 50 mm , 改良幅をそれぞれ, 150 mm (Case-2), 250 mm (Case-3)とした 3 ケースにより改良幅の効果について報告する.

3. 地表面沈下抑制効果

図 3 は図 1(b)に示す地表面計測線(降下床 3 中央上)における降下床 3 までの下降終了時の地表面沈下形状



(a) 実験装置側面図



(b) 土槽底部図および土圧計の配置

図1 実験装置概要図

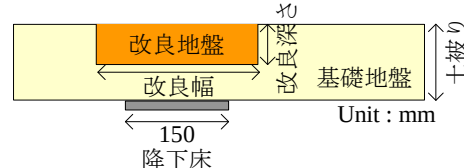


図2 改良地盤の位置および範囲

表1 実験ケース

	改良幅	改良深さ	土被り
Case-1	-	-	75
Case-2	150	50	75
Case-3	250	50	75

Unit : mm

キーワード トンネル, 降下床実験, 地山改良, 抑制効果

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C クラスター 1-4-291 075-383-3136

を示す。横軸に降下床3の中央からの距離、縦軸に地表面沈下量を示す。図より、改良を施していないCase-1では、2.0 mmの降下に対して、最大約1.9 mmの沈下が生じており、降下床と地表面で同程度の沈下が生じている。一方、改良幅が1D、5/3DであるCase-2およびCase-3では、最大沈下量がそれぞれ約0.5 mm(約70 %沈下抑制)、約0.35 mm(約80 %の沈下抑制)となり、Case-1に対して地表面沈下が抑制されていることが分かる。これより、地盤改良を施すことにより、地表面沈下は抑制され、改良幅を広げると改良効果が大きくなることがわかる。改良幅の効果は、土被りを1Dとした既往の実験²⁾では確認されなかった。しかし、土被りを1/2Dとした本実験においては改良幅の改良効果が確認された。

4. 降下床土圧および降下床周辺土圧

図4に降下床3上に設置された土圧計1、2における鉛直土圧(以下、土圧)の推移を示す。横軸は降下床1～4の連続的な下降過程を表しており、縦軸はそれぞれの計測値を初期値で除した規準化土圧を表している。図4は、地盤改良を施していないCase-1、地盤改良を施したCase-3を表している。

まず、土圧計1に着目し、図4(a),(b)を比較すると、降下床2の下降時、つまり切羽通過前では、改良を施しているCase-3の方がCase-1に比べて、規準化土圧が大きく増加している。これより、地盤改良によって土圧の再配分が広範囲に及んだことが確認できる。降下床3の下降時、つまり切羽通過中においてCase-1の規準化土圧は、一度は増加するが、その後は減少し一定ではない。一方、Case-3の規準化土圧は降下床3の下降直後から約0.4~0.5まで減少しほぼ一定値を示す。図1(b)に示す土圧計3より、Case-2やCase-3の改良を施したケースでは、横断方向への土圧の再配分が確認された。つまり、地盤改良により降下床下降時の降下床に作用する土圧を小さく保つことができるため、トンネル掘削時における切羽の安定が確保されていると考えられる。つぎに、土圧計2に着目し、図4(a),(b)を比較する。降下床4の下降時、つまり切羽通過後においては、Case-1の規準化土圧は約2.2まで大きく増加する。一方、Case-3の規準化土圧は切羽通過中と同様に一定である。地盤改良を施すことでトンネル掘削後方の安定性が向上する。

以上より、未改良の場合では、切羽の通過中、および通過後に初期土圧を大きく超える土圧が作用するのに対し、地盤改良を施した場合では、切羽の通過前において初期土圧より大きくなるものの、切羽の通過中と通過後では初期土圧の半分程度の土圧しか作用しておらず、切羽の安定性が高まっていると考えられる。

5. まとめ

本稿では、トンネル掘削過程を模擬できる3次元降下床模型実験を実施し、以下の知見を得た。

未改良の比べ改良を施した地盤では、切羽前方の土圧の集中は軽減されている。これにより、地盤改良が切羽の安定に寄与しているものと考えられる。また、掘削進行方向後方に作用する土圧も小さくなることから、支保へ作用する土圧も軽減されることが考えられる。また、地盤改良を施すことで、地表面沈下を抑制する。改良幅を1Dから5/3Dに広げることで沈下抑制効果は大きくなる。1Dでは、5/3Dと同様のメカニズムにより改良効果が得られていると考えられる。降下床の端部での改良効果のメカニズムを明らかにすることを今後の課題とする。

参考文献

- 1) 北川 隆：地山改良とサイドパイルで小土かぶり土砂地山を掘削
東北新幹線 牛鍵トンネル、トンネルと地下、Vol.35, No.4, pp. 255-262, 2004.
- 2) 平坂友里恵、他：改良地盤における小土被りトンネルの掘削挙動に関する実験的研究、トンネル工学報告集、第20巻、pp.199-204, 2010.

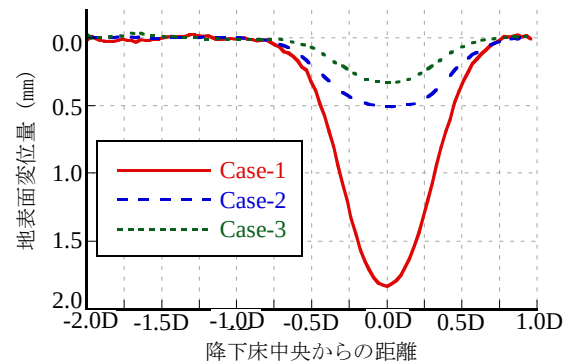
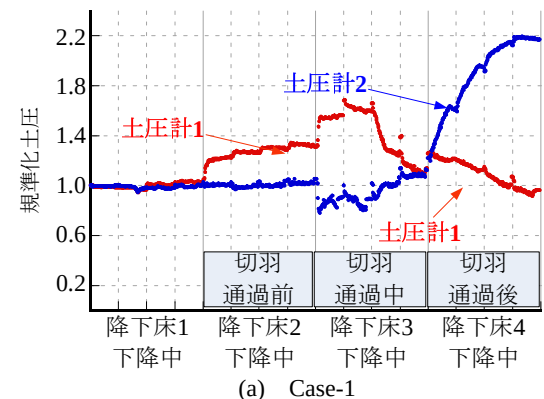
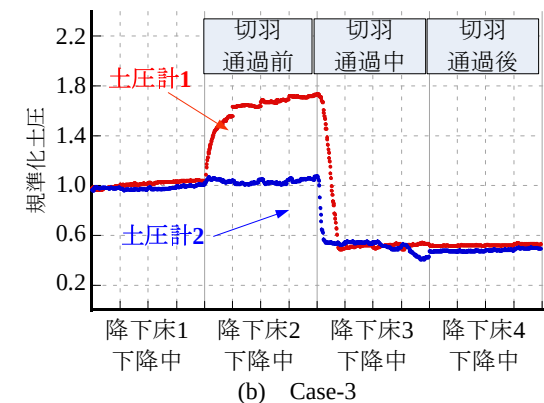


図3 地表面沈下形状



(a) Case-1



(b) Case-3

図4 降下床上の土圧変化