

滞水砂層における土圧式シールドの施工に伴う間隙水圧変化と地盤変形についての考察

過剰間隙水圧 有効応力
地盤変形

(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構
(財)地域 地盤 環境 研究所

正会員 高田正治 木村宏 神田大
正会員 小山幸則 水原勝由

1. はじめに

都市鉄道つくばエクスプレスの建設に際して、常磐自動車道との交差点で直径 7.45m、延長約 300m の単線併設鉄道トンネルを外周離隔約 2m で構築するため、土被り 4~7m の滞水性砂層地盤においてスプークタイプのカッターを持つ土圧式シールド機によりUターン施工を行った。トンネル周辺地盤の間隙水圧は掘進中には上昇し、掘進を停止すると時間経過とともに低下し、切羽部で地山に作用する圧力(以下、泥土圧と呼ぶ)とほぼ連動して変化することが計測された。それらの変化に伴って地盤は変形して隆起と沈下を繰り返すことを確認した。本報告はこの施工過程を分析することにより、泥土圧の変動に伴う間隙水圧の変化と地盤変形との相関について考察したものである。

2. 計測データ¹⁾の分析

(1) 泥土圧、間隙水圧および地盤変形の挙動

図-1 に示す土被り約 4m の計測断面における地下水位はセグメント天端+1.4m である。シールド直上 2m の地盤鉛直方向変位およびセグメントから 1m 離れた SL 高さ位置での間隙水圧変化の計測データについて分析する。図-2 は計測点から切羽までの距離と間隙水圧との関係の一例を、図-3 は地盤変形と間隙水圧の経時変化を、また図-4 は泥土圧と間隙水圧の経時変化を示したものである。

- 1) 各リングの掘進に伴い間隙水圧は急速に上昇し、掘進中はほぼ一定の値を持続する。その影響範囲は、地盤の透水係数や泥土圧値にもよるが、概ね切羽前後の 25~30m 程度である(図-2)。
- 2) 掘進時には地盤が若干隆起し、停止中には沈下する(図-3)。
- 3) 掘進を停止すると間隙水圧は低下し静水圧状態に戻る。同時に泥土圧は漸減し、停止が長時間になるとその値は、ほぼ静水圧まで低下する(図-4)。

(2) 施工要因と地盤変形について

施工要因と地盤変形との相関を検討するため、1 リング分の掘進開始から停止・再発進に至る過程のデータについて分析する。図-5 は切羽が計測点の 2 リング手前に位置するときの掘進時と停止時の泥土圧、間隙水圧および地盤変形を示したものである。図-6 は泥土圧と添加材注入圧との関係を示したものである。

- 1) 1 リング分(幅 1.5m)の掘削時間は概ね 70 分であり、掘進開始から約 20 分で間隙水圧は、ほぼピーク値まで上昇する。間隙水圧の上昇と連動して地盤は些少隆起する。その後、間隙水圧はほぼ一定であるが地盤は泥土圧の変動に応じ若干の変形を繰り返す。
- 2) 掘進中の間隙水圧の静水圧からの増加量は、約 0.02MPa であり、水頭換算すると 2m に及ぶ。
- 3) 添加材を注入したところでは、間隙水圧の上昇過程において、泥土圧と間隙水圧とは連動していないように見え、掘削土量に応じた排土量の操作によりコントロールされる泥土圧の変動は、添加材の注入圧の変動と良い相関を示している(図-5,6)。

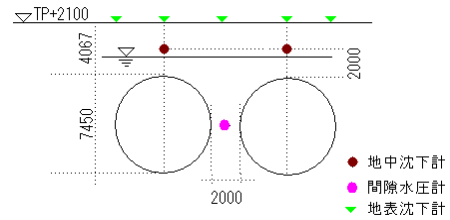


図-1 計測断面図

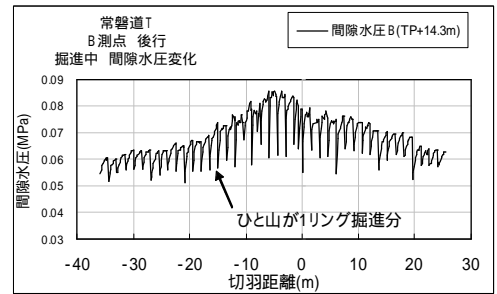


図-2 切羽距離と間隙水圧との関係

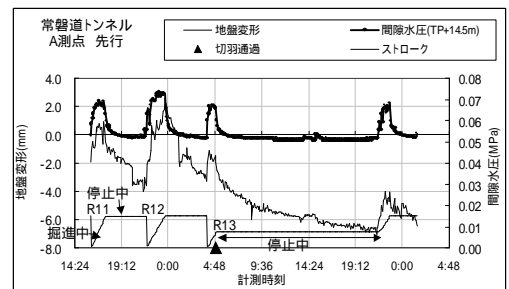


図-3 地盤変形および間隙水圧の経時変化

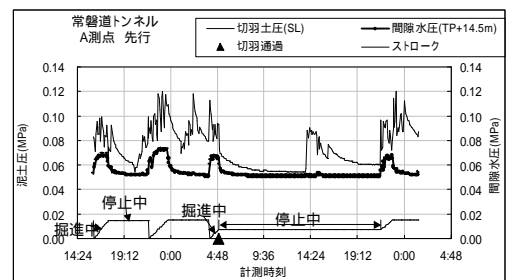


図-4 泥土圧および間隙水圧の経時変化

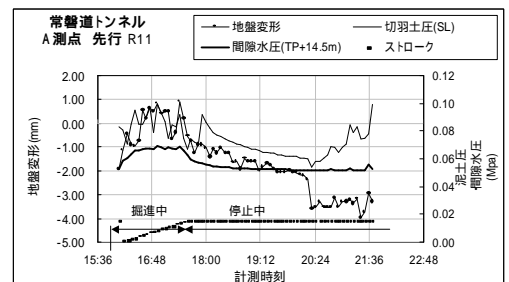


図-5 掘進中および停止中の経時変化

A consideration on the relationship between pore water pressure and ground displacement caused by an earth pressure balanced shield in sand aquifer

Masaji Takada, Koh Kimura, Hiroshi Kanda, JRIT
Yukinori Koyama, Katsuyoshi Mizuhara, GRI

4) 掘進を停止すると、間隙水圧は概ね 15 分間でいったん急速に低下したあと漸減し、その後約 2 時間でほぼ掘進開始前の静水圧と同程度になる。一方、泥土圧も漸減するが約 3 時間程度では収束していない。図-7 に示すように、間隙水圧のこの急激な低下は「推進圧力の解除による過剰間隙水圧の消散」であり、漸減は「地盤への浸透による間隙水圧の消散」を示しているものと推察される。

5) 推進圧力となるものは、「泥土圧による地山への押し付け力」、「掘進により地盤に与えられるジャッキの推力」、「カッターによる地山への押し付け力」等が考えられる。またこの間隙水圧の上昇の要因は、掘削した地盤中に存在する地下水の一部が不透水性の泥土により地盤側への押し出されることによるものと、加圧注入された添加材の一部が、参考文献 2) で述べているように「添加材は掘削した地盤中の地下水に対しては、土粒子に吸着している間隙水以外の重力により移動しうる間隙水を排除し地山側に押し出すと共に、その空隙に相当する部分に置き換わる」という状態になったものと推定される。またこの機能により添加材を含有した掘削土砂はチャンバー内の混練により塑性流動性と不透水性を有することとなる。

3. 地盤変形に影響する施工要因

先行シールドによる計測データと同一地点における後行シールド施工時のそれとを比較することにより、地盤変形に影響する施工要因と掘進管理のあり方について分析する。後行シールドの掘進時と停止時の泥土圧、間隙水圧および地盤変形の経時変化について、図-8 は数リング分を、図-9 は一リング分の詳細を示したものである。

(1) 泥土圧について

- 1) 泥土圧の変動幅は先行シールド(図-4)に比較して小さいものとなっている。その平均値は、先行シールドに比較して約 0.01MPa 程度高くなっており、この値は静止土圧+地下水圧とほぼ同等である。
- 2) 掘進停止中には、スポークシャフト部およびチャンバー内に添加材の注入を行うことにより、泥土圧の低下を抑制した。

(2) 間隙水圧の変動と地盤変形

- 1) 掘進中の地盤変形と泥土圧との相関のモードは、先行シールド施工時(図-5)とほぼ同様である。
- 2) 掘進停止後の地盤は、泥土圧の低下が抑制されない場合(図-4,5)と比較すると、より緩やかではあるが、沈下が継続する。
- 3) 掘進停止に伴って、間隙水圧はほぼ静水圧まで漸減し、その減少が収束するまでの間は沈下が継続している。この結果から、掘進により上昇した間隙水圧が 2-(2)-4) で推定したメカニズムに従って低下するのに連動して沈下が生じるものと考察される。

4. 結論

シールド掘進に伴う泥土圧と地山の間隙水圧および地盤変形との関係を分析した結果、判明したことは次のとおりであり、掘削する地山が有効応力の原理に基づいた挙動をしていることが明らかになった。

- 1) チャンバー内の泥土が適切に塑性流動化され不透水性が確保された状態にあれば、掘進に伴い地山中の間隙水圧は上昇する。
- 2) 停止中には間隙水圧と泥土圧の低下に応じて地盤は沈下する。泥土圧の低下を抑制する方策をとった場合においても、間隙水圧の消散に応じて地盤沈下が継続する。
- 3) 掘進中では、間隙水圧の上昇に伴って有効応力が低下することにより地盤の隆起が生じる。

また今後の課題としては、以下の点が挙げられる。

- 1) シールド掘進に伴う地盤の全応力、有効応力の変化と地盤変形の定量的相関性を明らかにすること。
- 2) 地盤変形に影響を及ぼすと推定される過剰間隙水圧の発生と消散メカニズムを有効応力的に明らかにすること。

【参考文献】1) 鉄道・運輸機構：常磐新線常磐自動車道 T に係る設計・施工技術の研究報告書，2001.3～2003.3

2) 斎藤 優：泥土圧シールド工法における砂質掘削土の土性改良に関する研究，2000.3

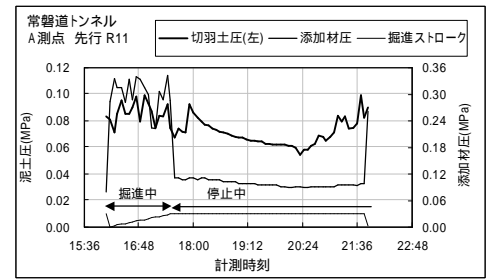


図-6 泥土圧と添加材注入圧との関係

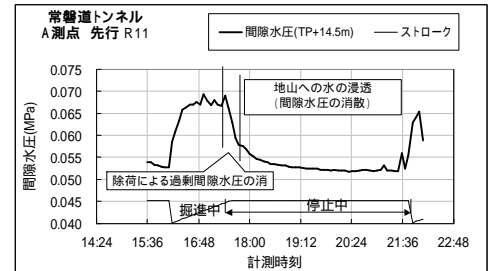


図-7 間隙水圧の変化の詳細

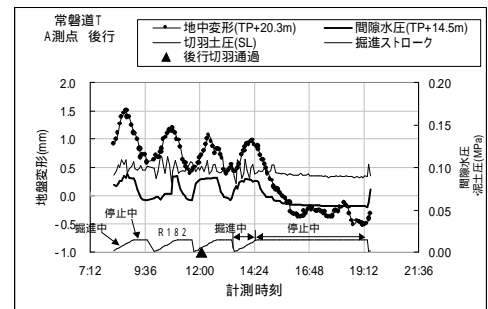


図-8 泥土圧、間隙水圧および地盤変形(後行)

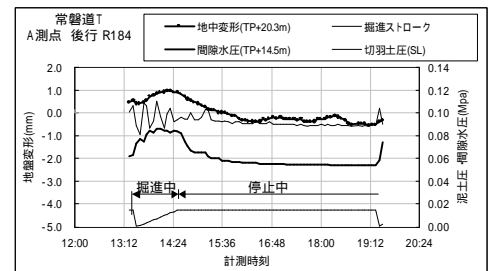


図-9 一リング分の経時変化(後行)