

シールドトンネル掘削による軟弱粘性土の長期挙動に関する実験的考察

京都大学大学院工学研究科博士後期課程 正 ○中廣 俊幸
 京都大学大学院工学研究科 教授 正 三村 衛

1. はじめに

近年ライフライン構造物のひとつである都市トンネルの支保部材の経年劣化への対応が急がれている。その中で、特に軟弱粘性土層内、または上部に粘性土層が分布する地層に敷設されたシールドトンネルや推進工法で構築されたトンネルのRC製支保工に著しいひび割れや遊離石灰、鉄筋腐食等の劣化現象が多く見られる。軟弱粘性土層の圧密現象に起因する既設シールドトンネル支保部材の劣化については、現在までに様々な研究が行われている。例えばトンネル敷設後の外的要因(地下水位低下、荷重載荷等)による粘性土層の圧密現象を対象にしたもの¹⁾や、後発的要素(トンネル内への地下水漏水)に伴う圧密現象を対象にしたもの²⁾などがある。

様々な要因による粘性土層の圧密現象が支保工の劣化要因のひとつになっていることは確かであるが、外的要因や後発的要素による圧密現象の以前に、粘性土特有の構造に起因した圧密現象³⁾があり、それが長期的なトンネル支保工の劣化要因のひとつになっている可能性がある。

本論では西大阪地盤の沖積粘性土を対象に、シールドトンネル天端の土要素に着目し、施工過程を考慮した三軸試験を行い、施工時荷重除荷後の粘性土の長期挙動について実験的考察を行った。

2. 実験概要

2.1 三軸試験による再現試験の考え方

トンネル掘削面天端の土要素に着目すると、①テールボイド部の応力解放に伴って地盤内に空隙が生じ、土が落とし戸的な沈下を生じるため、鉛直応力は減少、水平応力が増加する。この挙動を単純化すると伸張側にせん断力を与えた状態と考えられる。その後②裏込め注入圧により地山は圧縮力を受けることとなり、鉛直応力が増加する。この挙動を単純化すると圧縮側にせん断力を与えた状態と考えられる(図2.1)。このような仮定に立てば、①による地山の応力解放、②による載荷とも単純な三軸試験により近似的に再現できる。

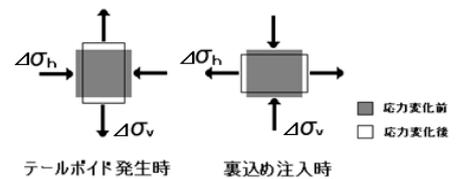


図 2.1

2.2 実験条件

- (1)実験段階: 三軸試験の段階は、図 2.2 に示す5段階とした。圧密は試料を原位置の状態に戻すことを目的として原位置の有効土被り荷重を圧密圧力とした。圧密の完了は \sqrt{t} 法、3t法で確認した。
- (2)与えるせん断力: 土被り荷重(有効応力)の約10%、20%の2種類とした。ただし、その大きさは標準圧密試験で確認した圧密降伏応力、および応力～ひずみ曲線の初期弾性範囲を超えない値とした。
- (3)載荷速度: 目標のせん断力を2分～5分で与えた(実施工と供試体の相似率を考慮)。
- (4)試料の特性: 実験に使用した粘性土は西大阪の沖積粘性土(Ac1層)で、その特性は表 2.1 に示すとおりで、全て過圧密粘性土である。

表 2.1

地層区分	採取深度(m)	N値(回)	分類	物理特性						力学特性			
				ρ_s (g/cm ³)	ρ_t (g/cm ³)	wn (%)	Sr (%)	wL (%)	Pc (kN/m ²)	Cc	σ'_v (推定)(kN/m ²)	1/mv (kN/m ²)	
沖積粘性土層(Ac1)	GL-10.0	1	シルト質粘土(GH)	2.656	1.695	48.1	96.7	53	138	0.53	72.85	1.80E+03	
	GL-13.0	1	シルト質粘土(GH)	2.63	1.614	58.7	97.4	64.8	151	0.81	90.85	2.50E+03	

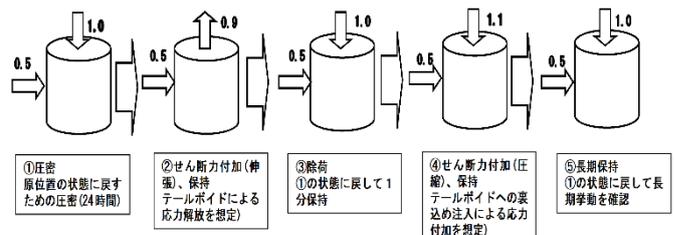


図 2.2

3. 実験結果

代表ケースの実験結果を図 3.1 に示す。このケースは有効土被り荷重の約10%(7.5kPa)の伸張せん断力、圧縮せん断力

キーワード: 粘性土、長期圧密、シールドトンネル 連絡先: 兵庫県三田市下深田、tel:746-740、080-2440-7584、fax:079-506-4795

を5分で載荷、除荷。各せん断力の保持時間は30分。せん断力除荷後約27時間、軸ひずみ、体積ひずみの挙動を測定したものである。結果を整理すると以下のとおりである。

①伸張せん断力(テールボイドの応力解放)により粘性土は軸方向に伸びて体積も大きくなる。除荷に伴って引張ひずみも体積ひずみも元に戻るが、次の圧縮せん断力(裏込め注入圧)により軸方向に圧縮し、体積は収縮状態となる。圧縮せん断力の除荷に伴って圧縮ひずみはほぼゼロに戻る。その傾向は除荷後10時間程度継続し、その後再び圧縮ひずみ、体積の収縮ひずみが増加する挙動を示している(図3.1(a),(b))。

②図3.1(c)より、せん断力載荷により伸張時、圧縮時とも0.1%弱の偏差ひずみを生じているが、除荷によってその量は小さくなり、除荷後10時間でほぼゼロになっている。

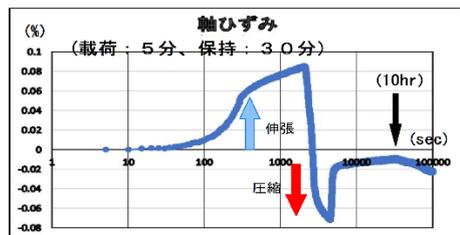


図 3.1(a)

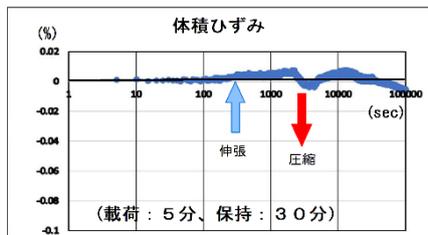


図 3.1(b)

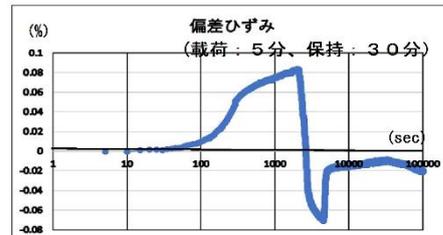


図 3.1(c)

4. 考察

前項までに示した実験結果から、以下のような考察がなされる。

①伸張、圧縮せん断力除荷後、時間が経過してから再び圧縮ひずみが増大し、体積収縮が大きくなる要因は、当該粘性土の元来の二次圧密特性に加えて、伸張せん断力、圧縮せん断力を連続的に受けたことで粘性土の構造骨格に変形が生じたことによる圧密現象が生じたと推察される。

このように推察する理由は、ひとつは伸張時、圧縮時にそれぞれ偏差ひずみが生じているが、それらは除荷に伴ってほぼゼロに戻っており、塑性ひずみが生じているとは言えないこと。もうひとつは二次圧密係数 $C\alpha$ に着目すると、前出の実験ケースでは図4.1(a)に示すように、除荷後10時間以降の $C\alpha$ は0.031、同等の粘性土の三軸試験による長期圧密試験結果(図4.1(b))では $C\alpha$ は0.009となり、前者のほうが1桁大きい。これはせん断力を受けたことによって粘性土の構造が変化し、同一の圧密圧力に対して二次圧密量がより大きくなることを示している。

②前項で示したケース以外に条件(与えるせん断力の大きさ、載荷速度、保持時間)を変えた実験を数ケース行った。その結果から伸張時、圧縮時の最大偏差ひずみと $C\alpha$ の相関を整理したものが図4.2である。図中の赤星印は三軸試験による長期圧密試験結果から推定した $C\alpha$ である。この図から明確な相関関係があるとは言えないが、少なくとも伸張時、圧縮時に生じた偏差ひずみが大いほど、それが除荷によって回復しても $C\alpha$ は大きくなる傾向が確認できる。

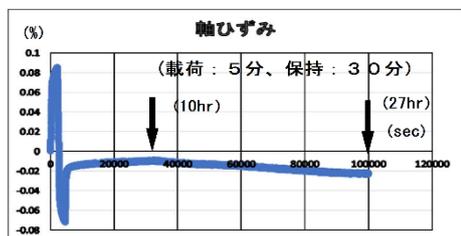


図 4.1(a)

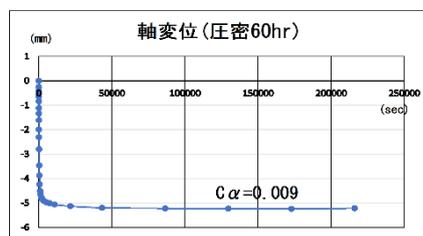


図 4.1(b)

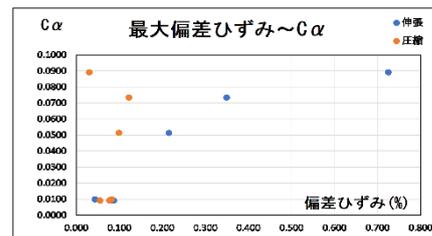


図 4.2

5. まとめ

今回の実験結果から、シールドトンネル掘削時の施工時荷重(テールボイドの応力解放、裏込め注入圧)により、掘削面近傍の軟弱な粘性土にせん断力を与えた場合、外的あるいは後発的な要因の存在の有無に関わらず、また塑性変形を生じさせなかったとしても、粘性土の構造変化によって二次圧密量が大きくなる可能性があることが推察できる。

参考文献

- 1) 有泉 毅、五十嵐 寛昌、金子 俊輔、永谷 英基、山崎 剛、日下部 治: 周辺地盤の圧密沈下に伴う既設シールドトンネル作用荷重の変化メカニズム、土木学会論文集 No.750/III-65、115-134、2003.12
- 2) 有泉 毅、金子 俊輔、塩治 幸男、山崎 剛、日下部 治: 軟弱粘性土地盤の圧密に伴うシールドトンネルの長期荷重に関する解析的研究、土木学会論文集 No.799/III-72、89-108、2005.9
- 3) 森 麟、赤木 寛一: シールド工事に伴う軟弱粘性土の乱れに基づく圧密沈下、トンネルと地下、第11巻8号、1980.8