

軟弱地盤箇所における盛土施工に関する マニュアル化について

諸田 恵士

関東地方整備局 常総国道事務所 調査課

(〒330-0033 茨城県土浦市川口1-1-26 アーバンスクエア土浦ビル4F)

東関東自動車水戸線（潮来～鉾田）では、軟弱地盤上の盛土施工は載荷盛土工法を採用した。本工法は、経済性が優れる一方、施工に時間を要することに加え、地盤条件や盛土材料の土質によって沈下量や沈下収束までの時間が異なることから、全体事業工程上に影響を与えることが懸念された。また、本事業は、令和7～8年度に開通を目指すことを公表している。

適切な事業工程管理と盛土管理を両立するために、施工業者を対象とする盛土マニュアルを作成し、盛土の施工方法、及び沈下の動態観測方法等を取りまとめ、各工事の盛土の条件や施工後の沈下観測の結果が統一的で整理できるように試みた。

キーワード 軟弱地盤対策工、土質調査、載荷盛土工法、盛土速度、事業工程管理

1. はじめに

東関東自動車水戸線（潮来～鉾田）（以下、「東関東水戸線」という）では、事業用地内で切土量と盛土量のバランスを考慮した土量配分の計画（以下、「土配計画」という）を検討しており、基本的には切土区間における発生土を盛土材料として使用する考え方である。切土区間の地層は、粘性土層や砂質土層があり、盛土材料となる発生土の土質は様々である。

当初設計段階で軟弱地盤上の盛土は載荷盛土工法を採用した。本工法は経済性が優れる一方、施工に時間を要する。加えて、盛土材料や地盤条件によって沈下量や沈下収束までの時間が異なることから、路体盛土の施工が事業工程上の遅延リスクとなることが懸念された。

そこで、事業工程管理の視点から、軟弱地盤上の盛土について効率的に施工を進めつつ、一定の品質管理を行うことを目的とし、沈下観測結果等の情報を事務所に収集する体制づくりを行うことを試みた。具体的には、施工業者を対象とする発生土の選定方法、盛土速度を含めた施工方法、沈下の動態観測方法及び事務所内の役割分担を取りまとめた盛土マニュアルを作成した。

2. 東関東自動車道（潮来～鉾田）の概要

東関東自動車水戸線は、常磐自動車道三郷ジャンクション（以下「JCT」という）を起点とし、北関東自動車道茨城町JCTまでの延長143kmの高速自動車国道のうち、潮来

インターチェンジ（以下「IC」という）から鉾田ICの未供用である30.9kmの区間を整備する事業である。図-1に示すとおり、霞ヶ浦と北浦との間を通るルートであり、麻生IC（仮称）と北浦IC（仮称）の2カ所のICを整備する計画である。令和7～8年度に開通を目指すこととしており、順次、切土・盛土工事に着手している。

3. 軟弱地盤箇所における盛土施工

(1) 東関東水戸線における土配計画

潮来IC～麻生IC（仮称）間の「1工区」と呼ばれる区間では、潮来IC周辺は水田がある低地が広がっており、工区全体では盛土が多い区間である。これらの低地は軟弱地盤である箇所が多い。

麻生IC（仮称）～北浦IC（仮称）間の「2工区」と呼ばれる区間は、主に台地と谷地が入り組んでいる地形が多く、切土区間と盛土区間が連続しており、工区全体では切土量と盛土量がほぼ同等である。谷地は沖積層が堆積しており、軟弱地盤である箇所が多い。台地部の地層は、表層がローム層等の粘性土層であり、その下に砂質土層が分布している。

北浦IC（仮称）～鉾田IC間の「3工区」と呼ばれる区間は主に台地上を通るため、工区全体では切土が多い区間である。台地部は表層にローム層や粘性土層等の沖積層があり、その下に砂質土層等の洪積層が分布している。台地部の地層は2工区と概ね同じである。

工区間では、3工区における切土区間での発生土を主に1、2工区の盛土区間に使用するものである。



図-1 東関東自動車道水戸線（潮来～鉾田）概要図

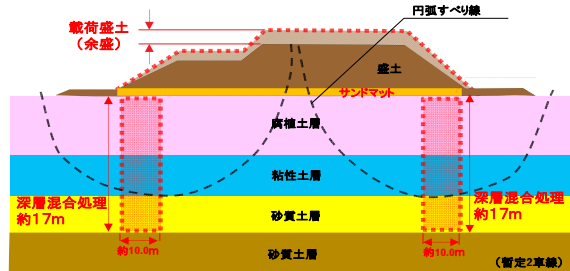


図-2 軟弱地盤対策工の例

(2) 軟弱地盤対策工法の概要

盛土構造となる谷地，低地は主に水田として利用されており，その地層は表層近くに腐植土層や粘性土層等の沖積層が堆積しており軟弱地盤である箇所が多い。

東関東道水戸線における軟弱地盤対策工法として，当初設計段階では経済性と全体工程を考慮した上で，図-2に示すとおり，円弧すべり対策として法尻部を深層混合処理工法等の地盤改良を行うとともに，盛土中央部は沈下促進として盛土載荷工法を採用した。盛土載荷工法は設計上の盛土高さに加え，交通荷重に相当する分の載荷盛土（余盛）を行い，沈下促進を図る工法である。また，盛土速度は，想定土質定数による沈下解析結果に基づき，5cm/日の緩速施工とすることとした。

(3) 軟弱地盤上の盛土施工にあたっての課題

盛土載荷工法は経済性に優れる一方，盛土開始から完了までの時間を要することに加え，完了後の沈下収束に要する時間が不確定であることがデメリットである。

盛土速度は緩速載荷（5cm/日）としており，盛土完了までの時間を要する。さらに余盛による載荷盛土工法のため，施工箇所によっては盛土施工後も沈下収束するまで放置する必要がある。また，上記(1)で述べたとおり，切土区間での発生土を盛土材料として使用するため，粘性土と砂質土等の異なる土質となる。沈下状況は地盤条件だけでなく盛土材料によっても変化するため，各施工箇所でも沈下量や沈下時間にばらつきが生じる。加えて，各施工箇所でも異なる業者により盛土が施工されるため，

盛土の施工方法や沈下状況の確認方法が施工箇所によって異なる恐れがある。以上のとおり，軟弱地盤上の盛土施工は，沈下収束の時期に関する不確定要素が多く，事業工程上の遅延リスクとなりうる。

以上を整理すると，軟弱地盤上の路体盛土の施工にあたっては，下記の2点が課題として挙げられた。

- ①盛土着手から完了までの施工に時間を要する
- ②施工箇所によって沈下収束までの時間が異なる

(4) 対応方針と対策

上記(3)で述べた課題に対しては，下記①～③の対応方針とした。

- ①切土区間の土質調査を追加し，発生土の土質や特性を把握する
 - ②上記①で把握した発生土の土質に基づき，盛土施工の安定性を確認し，通常施工の可能性を検討する
 - ③沈下について一定の品質管理を行う体制をつくる
- 具体的な対策として，発生土の土質試験を行うとともに，土質試験結果に基づく沈下量の推定を行った。これらの土質の試験結果や沈下量の推定結果に基づく施工方法や，沈下観測の方法等についてマニュアルとして作成し，各施工業者と共有することとした。さらにマニュアルには施工業者，監督官詰所及び事務所の役割分担を示し，各施工箇所の観測データを事務所で情報収集し，沈下収束の判定を行う体制の構築を試みた。

4. 盛土マニュアルの作成

(1) 盛土マニュアルの概要

盛土マニュアルは，主に下記①～⑤の内容についてとりまとめた。

- ①発生土の特性
- ②盛土の施工方法
- ③沈下の動態観測方法
- ④沈下収束の判定方法
- ⑤施工業者（監督官詰所）と事務所の役割分担

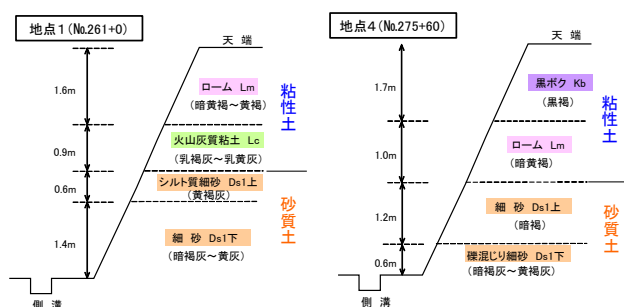


図-3 切土区間の地層の例

表-1 各土質の土質定数

土質名 (地層記号)	黒ボク (Kb)	ローム (Lm)	火山灰質粘土 (Lc)	シルト質細砂 (Ds1上)	細砂 (Ds1下)
単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	13.2	12.1~12.4	14.4~17.3	15.5~17.2	15.1~16.2
粘着土 C (kN/m^2)	37.2	41.6~48.6	37.1~53.0	0~12.0	0~7.3
せん断抵抗角 ϕ ($^\circ$)	13.7	10.3~15.5	6.8~9.7	31.5~33.8	32.5~33.2

(2) 土質試験の実施

発生土の特性をより正確に把握するため、また、より精度を高めて沈下推定するため、切土区間となる3工区の4箇所において、地層毎にサンプリングを行い、土質試験により、盛土材料としての土質定数 (c , ϕ , γ) を改めて確認した。当該区間における現地地形から計画切土面までの地層は、図-3に示すとおり概ね黒ボクKb~ロームLm~火山灰質粘土Lc~洪積砂質土Ds1の4層で構成されている。サンプリングにあたっては跨道橋下部工事を施工中であり、橋台周りの掘削面から試料採取した。これらの4層の土質定数の算定結果は、表-1に示すとおりである。砂質土層 (Ds1) は、現地の状況から、シルト質細砂と細砂の2種類に分けて土質定数を設定した。

(3) 沈下解析結果

上記(2)で調査した4層の地層は、粘性土層と砂質土層の2つに大別される。発生土を想定し、粘性土と砂質土の2種類の土質定数を設定し、沈下解析を行った。

結果として、当初設計段階で想定した単位体積重量よ

りも土質試験に基づく単位体積重量は小さく、沈下量及び沈下収束に要する日数が少なくなる結果となった。

また、当初設計段階での解析では、通常施工の盛土速度 (30cm/日) とした場合、解析測点58カ所中15カ所において盛土のり面の安定性が満足せず緩速施工 (5cm/日) とすることとしていた。今回、土質試験結果に基づく解析では、58カ所の全ての解析箇所において通常施工の盛土速度で安全率を満足する (1.1以上) 結果となった。解析結果の一部を表-2に示す。

(4) 盛土マニュアルのとりまとめ

a) 発生土の特性

前述のとおり、切土区間は4層の地層から構成されており、各地層からの発生土について、盛土材料として利用する際は特性を把握する必要があるため、各地層の土の写真とともに色調や感触等を整理した。併せて、上記(2)で示した土質試験に基づく土質定数だけでなく、含水比やコーン指数、CBR等の指標も整理し、施工業者が盛土材料を選定する際に参考となるようにとりまとめた。

b) 盛土の施工方法

上記(3)に示した沈下解析結果に基づき、軟弱地盤上の路体盛土の盛土速度を通常施工 (30cm/日) とすることとした。ただし、動態観測を行いながら観測値に異常を確認したり、法尻部の隆起や盛土面のクラック発生等の事象が発生した場合には、直ちに盛土を中止する旨を留意事項として整理した。

通常施工の盛土速度を採用することにより、余裕がとれた事業工程になることが期待される。

c) 沈下の動態観測方法

沈下収束を判定するためには、適切な箇所及び頻度で動態観測した結果が必要であり、図-4に示すとおり沈下板や変位杭の配置例を示した。また、表-3に示すとおり盛土の施工時期に合わせた観測頻度を示した。さらに統一的に観測データが収集できるように沈下観測結果の入力用フォーマットを施工業者に配布した。

表-2 土質試験に基づく沈下解析結果の一例

工区	測点 No.	計画 盛土厚 H0 (m)	沖積層厚 (軟弱層厚)	余盛厚 H1 (m)	盛土 速度 VE (cm/日)	当初設計段階の解析結果										土質試験後の解析結果									
						当初想定土質定数 ($\gamma=19\text{kN/m}^3$, $\phi=25^\circ$, $C=0\text{kN/m}^2$)										発生土の土質定数(試験結果反映) - 砂質土 ($\gamma=17.5\text{kN/m}^3$, $\phi=32^\circ$, $C=0\text{kN/m}^2$)					発生土の土質定数(試験結果反映) - 粘性土 ($\gamma=14.5\text{kN/m}^3$, $\phi=3^\circ$, $C=22\text{kN/m}^2$)				
						盛土の日数					沈下量					盛土の日数					沈下量				
						圧密度					最小安全率					圧密度					最小安全率				
						盛土 日数 t (day)	ΣS (cm)	U (%)	左	右	Sr (cm)	盛土 日数 t (day)	ΣS (cm)	U (%)	左	右	Sr (cm)	盛土 日数 t (day)	ΣS (cm)	U (%)	左	右	Sr (cm)		
1	2+00	8.499	3.80(3.80)	0.1	30	31	8.7	99.0			0.1	31	8.6	99.0	-	-	0.1	31	8.0	99.0	-	-		0	
1	8+80	9.900	7.68(11.78)	0.6	30	37	57.7	100.0			0.0	37	55.5	100.0	-	-	0.0	38	50.7	100.0	-	-		0	
1	9+60	10.378	6.72(7.27)	0.5	30	38	43.7	92.9			3.3	39	45.3	93.3	-	-	3.0	39	41.5	93.4	-	-		2	
1	11+80	8.271	6.91(6.91)	0.3	30	31	21.8	94.0			1.4	31	22.3	94.2	-	-	1.3	31	20.5	94.8	-	-		1	
1	14+80	7.987	3.80(3.80)	0.4	30	30	30.6	89.9			3.4	30	32.6	90.0	-	-	3.3	31	29.5	90.8	-	-		2	
1	16+60	10.030	5.31(5.31)	0.3	30	36	22.0	93.6			1.5	37	22.6	94.2	-	-	1.3	37	20.8	94.8	-	-		1	
1	21+00	8.140	3.81(3.81)	0.2	30	30	10.8	99.9			0.0	30	10.5	99.9	-	-	0.0	31	9.8	99.9	-	-		0	
1	23+00	5.544	7.80(7.80)	0.2	30	21	8.3	71.9	1.870	1.897	3.2	22	11.0	73.1	2.382	2.418	3.0	22	10.1	73.9	3.177	3.231	2.2	0	
1	29+80	7.770	4.98(4.98)	0.2	30	28	11.9	97.4			0.3	29	11.7	97.7	-	-	0.3	29	10.7	97.8	-	-		0	
1	45+20	5.577	8.73(10.74)	2.2	30	28	54.5	25.1	1.074	1.059	162.8	28	209.4	25.7	1.171	1.154	155.7	29	191.8	27.3	1.433	1.422	139.3	0	
1	50+40	3.280	14.81(14.81)	2.6	30	22	83.1	32.8	1.342	1.352	169.9	22	245.3	33.2	1.449	1.459	164.0	22	219.8	34.3	1.767	1.795	144.5	0	
1	51+60	5.650	13.94(13.94)	3.4	30	32	74.7	22.6	1.045	1.056	255.9	33	319.8	23.2	1.139	1.158	245.5	33	295.6	24.3	1.372	1.403	223.8	0	
1	52+40	6.760	9.08(6.53)	2.8	30	34	102.9	37.4	1.058	1.053	172.1	34	267.4	37.8	1.187	1.159	166.2	35	245.5	39.4	1.484	1.484	148.7	0	
1	54+80	8.346	7.49(7.49)	2.4	30	38	72.2	30.8	1.040	1.038	162.1	38	227.9	31.4	1.128	1.124	156.4	39	213.3	33.0	1.303	1.303	142.9	0	
1	62+40	8.443	5.87(7.77)	1.7	30	36	55.5	34.6	1.139	1.197	105.0	36	155.9	35.2	1.267	1.335	101.1	37	145.5	37.0	1.433	1.482	91.7	0	
1	65+20	8.341	11.55(11.55)	3.6	30	42	79.2	22.2	1.048	1.048	277.2	42	345.6	22.8	1.146	1.159	267.0	43	320.9	24.2	1.467	1.493	243.2	0	
1	66+40	8.567	13.43(7.88)	3.3	30	41	112.1	35.0	1.033	1.065	208.3	42	311.3	35.8	1.123	1.146	199.8	42	290.8	37.2	1.309	1.249	182.6	0	
1	68+40	12.403	7.09(9.40)	1.4	30	48	89.6	65.7	1.061	1.073	46.7	48	132.9	66.7	1.263	1.182	44.3	49	125.2	69.3	1.102	1.231	38.5	0	

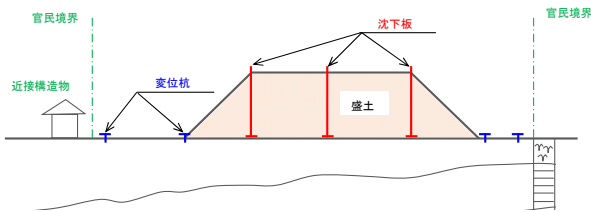


図4 沈下版・変位杭の設置例

表-3 動態観測の測定頻度と期間と目安¹⁾

計器の名称	盛土期間中	盛土完了後 1ヵ月まで	盛土完了後 1～3ヶ月まで	3ヶ月以降
沈下版	1回/1日	1回/2～3日	1回/1週	1回/1ヵ月
変位杭	1回/1日	1回/2～3日	必要の都度	

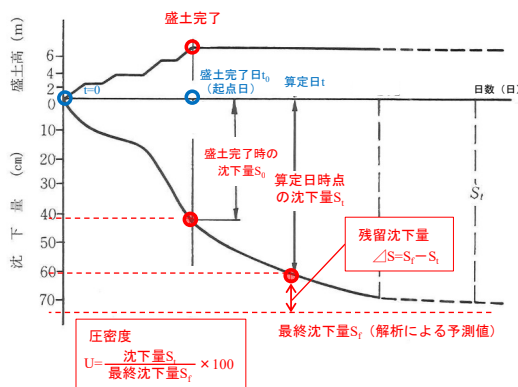


図5 動態観測値に基づく沈下曲線¹⁾

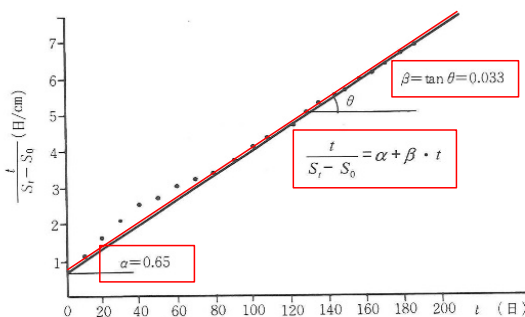


図6 双曲線法によるパラメータ推定¹⁾

d) 沈下収束の判定方法

沈下収束は、残留沈下量10cm以下かつ圧密度90%以上となった時点で判定することとした。そのため、各工事から収集した観測データに基づき、双曲線法により下記①～⑤の手順で将来の沈下挙動を推定を行うこととした。

- ①図-5の時間－沈下量曲線より「起点日」を決定し、その時の沈下量を S_0 とする。（起点日は一般に盛土完了日とするが、データの精度を考慮して決定）
- ②時間 t ごとに沈下量の実測値 S_t を用いて $t/(S_t-S_0)$ を計算し、時間 t と $t/(S_t-S_0)$ の関係をプロットする（図-6）。
- ③近似式から定数 α と β を求める。これにより、将来の予測沈下量（最終沈下量） S_f を推定する。
- ④現在の実測沈下量と推定した最終沈下量の関係から残留沈下量 ΔS と圧密度 U を求める。

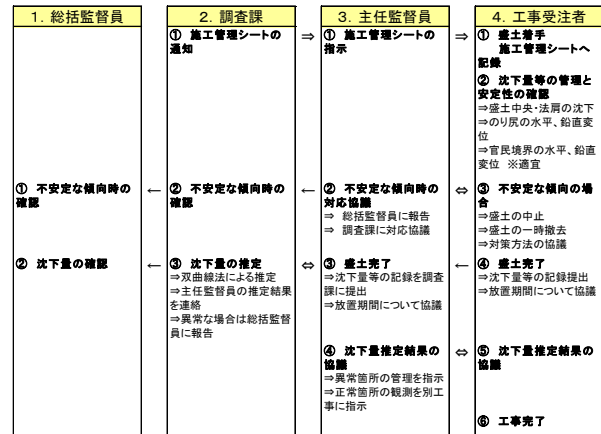


図7 盛土施工にあたっての役割分担

⑤沈下収束の判定は以下を基本とする。

- ・圧密沈下曲線が緩やかな一定の傾向になる。
- ・残留沈下量が10cm以下になる。
- ・圧密度が90%以上になる。

e) 施工業者（監督官詰所）と事務所の役割分担

沈下収束の判定は上記c)で観測された沈下状況のデータを収集し、事務所調査課において上記d)の方法で沈下収束の判定を行うこととした。盛土マニュアルには図-7に示すような施工業者、監督官詰所及び事務所調査課の役割分担を示し、沈下について一定の品質管理を行うための体制づくりを試みた。

5. まとめ

軟弱地盤上の路体盛土施工において、載荷盛土工法は経済性に優れるものの、施工に時間を要すること、沈下収束までの時間が不確定なことから、事業工程管理上で遅延リスクとなりうる。適切な事業工程管理と盛土管理を両立するために、盛土の施工方法、沈下の観測方法及び事務所内の役割分担を示したマニュアルを作成した。

マニュアルでは、盛土施工を発生土の土質による沈下解析結果に基づき、通常施工（30cm/日）で行うこととした。また、統一的に観測データを取得できるように観測方法を示した。さらに、施工業者、監督官詰所及び事務所の役割分担を示し、観測データを事務所で収集し、同一の方法での沈下収束判定の実施を試みている。

現在は、施工業者に対して盛土マニュアルを展開し、疑問点や改善案等について意見照会しながら、盛土工事に着手している段階である。今後、盛土工事が本格的に施工される予定であり、沈下観測結果が統一された様式で収集され、速やかに沈下量が推定されるように、マニュアルの内容やデータのやりとりについて、関係者間で意見交換しながら更新していく予定である。

参考文献

- 1) 日本道路協会:道路土工-軟弱地盤対策工指針(平成24年度版)