

結晶片岩を用いた高盛土の残留沈下抑制対策

中日本高速道路(株)名古屋支社豊川工事事務所 正会員 ○藤岡 一頼
 大成建設(株)技術センター土木技術研究所 正会員 藤原 斉郁
 大成建設(株)名古屋支店設楽原PA工事作業所 高山 勉

1. はじめに

新東名高速道路の愛知県と静岡県の間境付近は、三波川帯変成岩である結晶片岩が分布している。結晶片岩は、片理が発達し剥離性の高い特性を持つことから、破碎時において扁平な粒子形状となり水浸による沈下現象（コラプス現象）¹⁾や、スレーキングによる細粒化等に起因すると考えられる残留沈下の発生など、盛土材として使用する場合には取扱いに注意する必要がある。本報では、盛土材として結晶片岩を用いた事例として、現在施工中のパーキングエリア造成工事における残留沈下抑制対策の実施状況について述べる。

2. 工事概要

設楽原パーキングエリアは愛知県新城市の中央を流れる豊川およびこれに沿った中央構造線の近傍北側に位置しており、土工量約 240 万 m³、最大切土高さは約 90m、盛土部の最大高さは約 40m に及ぶ。図-1 に完成予想図を示す。

本造成工事に用いる盛土材は、パーキングエリア内の切土部からの発生土に加え、周辺のトンネル工事における掘削ズリなど高速道路新設工事に伴う建設発生土を用い有効利用を図っている。主な盛土材料はまさ土や結晶片岩であり、このうち、約 35% が三波川帯結晶片岩材による盛土となっている。

結晶片岩を用いた盛土は、前述のとおり供用後の残留沈下が懸念されることから、施工時の圧縮沈下の抑制対策が重要となってくる。本報では、現地で発生する 2 種類の結晶片岩（EL1-1：緑色片岩主体、EL2-1：黒色片岩主体）について、モデル施工状況や大型一次元圧縮試験結果、現地での盛土沈下計測結果について報告する。



図-1 工事完成予想図（設楽原PA）

3. 結晶片岩による盛土施工

3.1 盛土材料の物性

結晶片岩材による盛土施工では、一般に材料の破碎性やスレーキング性、扁平な粒子形状に起因すると考えられるコラプス現象などによる供用後の残留沈下が問題とされている。このうち、コラプス現象は緩い状態の不飽和土が水浸した時に、サクシオンによる土粒子間力の解放に伴い土粒子骨格構造が破壊され生じる圧縮変形とされており²⁾、水浸時を含めた圧縮特性を把握することが必要である。表-1 に盛土材に使用し

表-1 結晶片岩材の基本物性

項目		EL1-1 (緑色片岩主体)	EL2-1 (黒色片岩主体)
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)		2.811	2.629
自然含水比 w_n (%)		3.2	6.0
粒度組成	最大粒径 D_{max} (mm)	150	100
	石分 (%)	22.5	0.6
	礫分 (%)	56.6	57.7
	砂分 (%)	16.6	28.7
	細粒分 (%)	4.3	13.0
細長・扁平率	細長岩片3以上の含有量 (%)	17.8	15.6
	細長岩片5以上の含有量 (%)	0.9	0.5
締固め (B-c法)	最適含水比 (%)	9.3	6.3
	最大乾燥密度 (g/cm ³)	2.154	2.193
地盤材料の工学的分類		GS-F	G-S
スレーキング率 (%)		1.7	3.9
破碎率 (%)		7.7	13.3

た結晶片岩の基本物性を、図-2 に粒度分布を示す。いずれの材料も礫分を多く含んでおり、NEXCO 試験方法 (109, 110) ³⁾によるスレーキング率・破砕率とも黒色片岩が主体の EL2-1 が大きいものの、いずれもぜい弱岩材料の区分としては盛土材として不適と判定されるものではなかった ⁴⁾。

また、細長・扁平率試験 ³⁾結果を示す。材料の扁平性に関して、粒子形状を示す指標の明確な規定はないが、突固めによる粒子破砕で扁平材が減少するほど供試体密度が上昇する ⁵⁾ことから、扁平材が少ない方が盛土材としては好ましい。今回の盛土材は細長岩片 3 以上の扁平材を平均で約 17% 含んでおり、圧縮沈下抑制対策が必要な材料といえる。

3.2 モデル施工

結晶片岩材による盛土では残留沈下の発生が懸念されることから、高密度な盛土施工が必要とされている ⁶⁾。そこで、本工事では盛土施工の品質管理目標を締固め度 97% 以上かつ空気間隙率 13% 以下 ⁸⁾とし、なおかつ転圧効果が十分発揮されるように、通常一層 30 cm で締め固めるところを 20 cm の施工層厚として、目標の管理基準を満足するかを検証するため、実際の施工機械によりモデル施工を実施した。

施工手順としては、ダンプトラックによる搬入、ブルドーザによる敷均し後、最大粒径を 200 mm までに破砕調整するため、タンピングローラによる盛土材の破砕、大型振動ローラによる転圧を実施し、転圧回数ごとに密度、沈下量などを測定した。なお、施工時の含水比は、CBR5% 以上、かつ締固め度 97% 以上が確保できるよう、必要に応じて散水ガンによる加水調整を実施した。表-2 に試験により決定した施工仕様を示すが、いずれの材料も約 20cm の撒き出し厚にて所定の締固め度・空気間隙率を達成することが確認された。

4. 結晶片岩の圧縮沈下特性

4.1 大型一次元圧縮試験

結晶片岩による盛土の残留沈下に関し、大型モールドによる一次元圧縮試験を実施し、上載荷重の増加および水浸の有無による沈下量を測定した。図-3 に試験装置の概要を示す。試験は、堅固な鋼製フレーム内に油圧ジャッキを配し、内径 300 mm × 高さ 300 mm の大型モールド内に自然含水状態の盛土材料を静的荷重により締固め度 97% となるように詰め、載荷板を介し載荷による沈下量を測定した。なお、モールド内側には材料との摩擦を低減するためグリスを塗布した後にゴムメンブレンを設置し、供試体を水浸させるためモールド外周部に透明な塩ビパイプを配して水槽構造とした。表-3 に室内試験時の最大乾燥密度 (試験値、礫補正後の密度) および、モデル施工での 16 回転圧時の最大乾燥密度とその時の最大粒径を示す。ここでは、

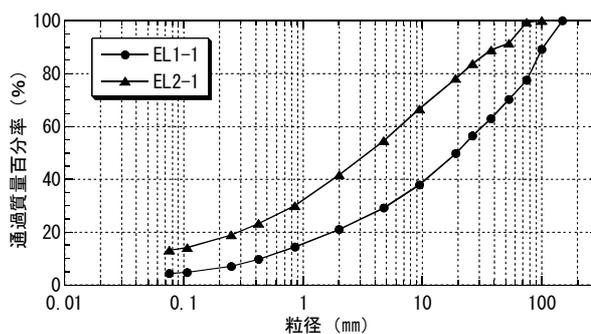


図-2 結晶片岩材の粒度分布

表-2 施工仕様および品質管理基準

項目	管理基準	施工機械他
撒き出し厚 t	21cm	16t級ブルドーザ
破砕走行回数 N	4回	30t級タンピングローラ
仕上がり厚 t	20cm	19t級振動ローラ (起振力320kN)
転圧回数 N	6回以上	
施工時含水比	EL1-1: w=1~7% EL2-1: w=2~7%	散水ガンによる調整
締固め度, 空気間隙率	Dc ≥ 97%, Va ≤ 13%	RI密度水分計

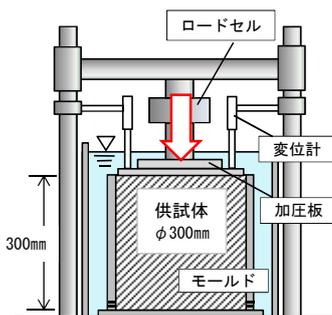


図-3 大型一次元圧縮試験装置の概要

表-3 基準となる乾燥密度値

試験名 (**は補正值)	最大粒径 (mm)	最大乾燥密度 (g/cm ³)	
		EL1-1	EL2-1
①室内試験 (B-c法)	37.5	2.154	2.193
②室内試験補正值*	200	2.348	2.196
③現場転圧	200	2.373	2.283
④一次元圧縮試験*	53	2.237	2.254

いずれの試料も室内突固め試験の礫補正值⁹⁾(表中②)よりも現場転圧試験(同③)による密度値の方が大きいことから、締固め基準を現場転圧試験結果による値とし、大型一次元圧縮試験の初期密度もこれに従い設定した。なお、各供試体の初期含水比はEL1-1でw=3.2%, EL2-1でw=6.0%であった。また、荷重は初期状態から24時間毎に段階的6段階(40, 80, 160, 320, 640, 1280kN/m²)に増加させ、最終ステップ(盛土高約60mに相当)については沈下の収束を確認した後に試験を終了した。

試験は、各材料に対し供試体作成後・荷重前の段階から供試体を水浸させた場合(全水浸)、および最終ステップの荷重終了後に水浸させた場合(途中水浸)の2種類の条件について実施した。図-4に試験結果として荷重応力と圧縮ひずみの関係を示す。

図より、いずれも荷重増加に伴い沈下が進行するものの、荷重応力500kN/m²以下の初期段階ではEL2-1の圧縮ひずみ量が大きく、640kN/m²を超えると逆にEL1-1の方が大きくなる結果であった。この理由としては火山噴出物を母材とした緑色片岩と泥を母材とした黒色片岩との強度の違いが考えられ、荷重初期の段階では母材強度の比較的小さなEL2-1で粒子破砕が発生し、EL1-1については最終の応力段階において粒子破砕したものと思われる。なお、別途実施した破砕率試験³⁾では、試験後試料の目視によりEL1-1では節理とは関係なく母材が破砕したのに対し、EL2-1では母材粒子内の節理に沿って剥離するような破砕でありこのことを伺わせる状況であった。また、図中には途中水浸ケースの供試体に対し、最大応力ステップ到達後において水浸させた時の圧縮ひずみ量も示しているが、EL1-1では全水浸と同程度まで沈下し、EL2-1については水浸による沈下はあまり見られなかった。

図-5にコラプス現象による沈下の目安として、各応力段階における水浸と非水浸条件における圧縮ひずみ量の差を示す。EL1-1については初期の荷重段階では両者に差はなく、最大応力ステップにおいて0.8%程度、EL2-1については初期段階から比較的コンスタントな差が見られた。この差は、EL2-1の粒度が比較的荒いことも考えられるが、緑色片岩においても粒子破砕による残留沈下が懸念され、破砕転圧により粒径を細かくすることが有効であるといえる。

4.2 試験結果の考察

大型モールドによる一次元圧縮試験結果について、中島ら⁹⁾による種々の材料に対する一次元圧縮試験結果と比較したものを図-6に示す。いずれ材料も締固め度を変化させた場合に対し非水浸の状態では荷重応力の増加に伴う沈下測定を行っており、図はこのうち突き固めB法による締固め度95%付近の結果について示している。その結果、今回の材料の圧縮ひずみは既往の圧縮ひずみ量の範囲内であり、全水浸状

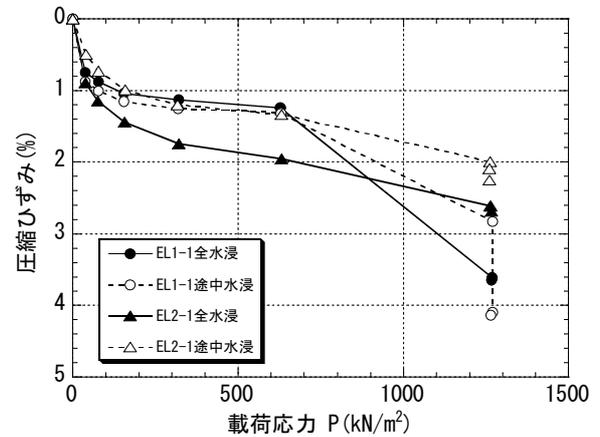


図-4 大型一次元圧縮試験結果(応力~ひずみ関係)

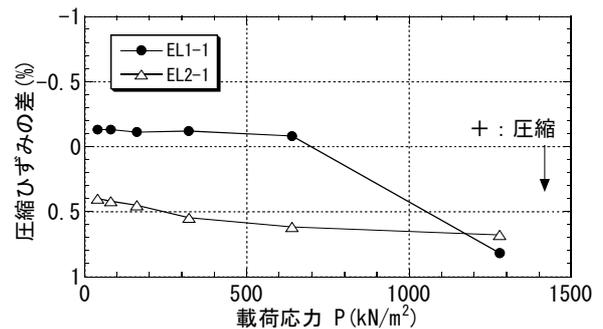


図-5 水浸と非水浸における圧縮ひずみの差

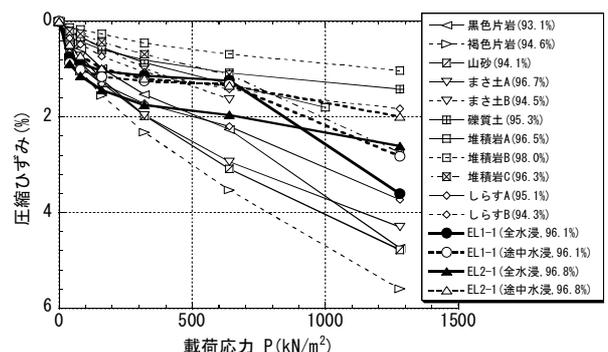


図-6 既往の試験結果との比較(凡例内の数字は締固め度)

態においても著しく大きな圧縮ひずみは発生しなかった。なお、他材料には見られない特徴的な傾向として、EL1-1材の載荷応力 640kN/m^2 を超える範囲での圧縮ひずみ増加が見られる。これは、粒子破碎による影響によるものと思われる。

次に、施工後の盛土残留沈下に関する比較として中島ら⁶⁾が示している沈下の経時変化から即時ひずみ a 値（載荷開始から所定荷重到達時までの圧縮ひずみ）、クリープひずみ係数 b 値（所定荷重到達時から最終荷重保持時間までのひずみ勾配）を算出し、既往の図に加筆した結果を図-7、図-8に示す。図は載荷応力 640kN/m^2 の載荷条件を示している。締固め度 97%付近で比較した場合、他材料に比べ即時ひずみ、クリープひずみ係数とも特筆すべき大きな沈下は見込まれない。また、水浸させた場合についても EL2-1 材の即時沈下で 0.6%程度の圧縮ひずみが見込まれるものの、クリープひずみについてはほとんど発生しない。

なお、この結果を基に Logt 法により試算した。施工開始から瞬時に高さ 60m の盛土が完成したと仮定した場合、残留沈下は施工完了後 1 年で 9.8cm、5 年で 11.2cm と見込まれる。また、施工完了後、高さ 60m の盛土体全体を水浸させた場合、水浸後 1 年で 6.0cm、5 年で 6.8cm となった。実際には、盛立て施工期間中のクリープひずみなどを考慮すると、いずれも数 cm オーダーの沈下に留まる結果であった。

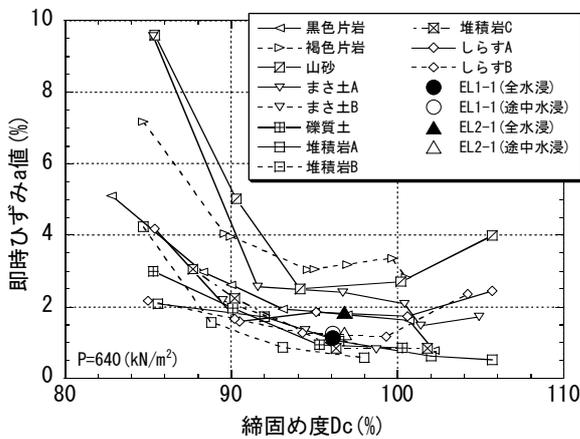


図-7 即時ひずみ算出結果

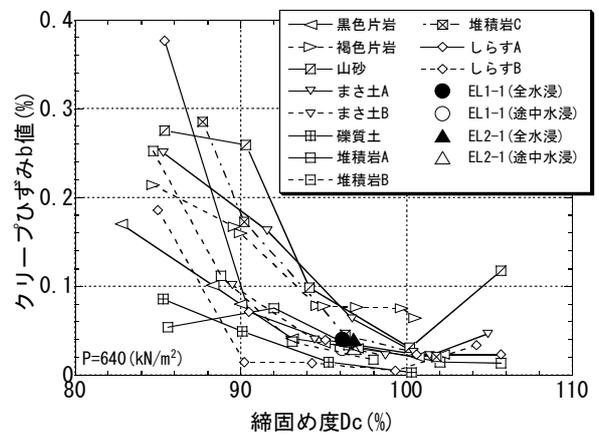


図-8 クリープひずみ係数算出結果

4.3 沈下計測結果

本工事では、盛土部の沈下状況を把握するため盛土法肩部付近に設置したクロスアームによる層別沈下の測定を行っている。ここでは、施工途中段階ではあるが、これまでの結果について報告する。図-9に測定結果の一例を示す。図は盛土法肩部にて盛土と基礎地盤の境界部から約 5m ピッチでクロスアームを設置し（下から順にクロスアーム 1~4）、盛土高さ 20m まで達している箇所の結果であり、図中には測定箇所近傍の施工高さを示した。その結果、盛立ての進行と共に沈下が発生しており、盛土高 20m に対し約 60 mm 程度の沈下であった。なお、図中の後半では上載荷重の変化しない状況であり、これに伴い沈下が収束していることがわかる。

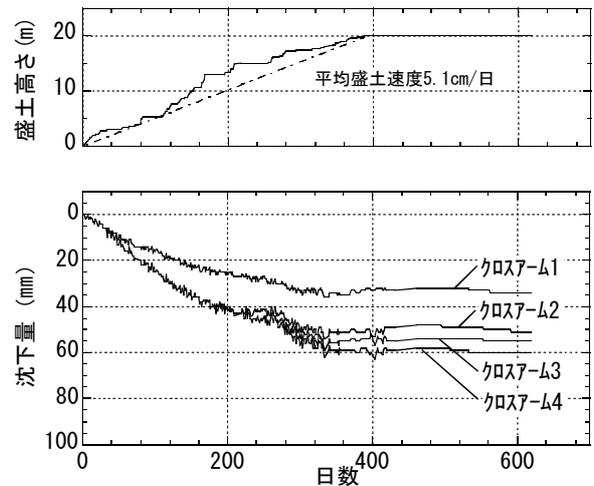


図-9 沈下測定結果

図-10にこの上載荷重が一定となる期間におけるクリープひずみに関して、既往のデータによる盛土高さとの関係を整理した図⁷⁾に今回の結果を加筆した。図は、クロスアームによる動態観測結果として全国 25

地区の盛土について計 109 地点の盛土沈下データを整理・分析したものであり、盛土材としては礫質土、堆積岩、ロームなど多岐にわたっている。また、図中には参考として所定期間内にて残留沈下量が 30cm となるラインも示している。今回の測定結果（盛土高 20m に対し $b=0.19$ ）から、盛土立ち上がりから 10 年後までの残留沈下量が約 14cm、このうち立ち上がり 1 年後から 10 年後までは約 3cm と、過去の実績に対し少ない残留沈下に収まることが見込まれる結果となった。ただし、最終的な残留沈下量については、今後の沈下測定結果を踏まえ検証する必要がある。

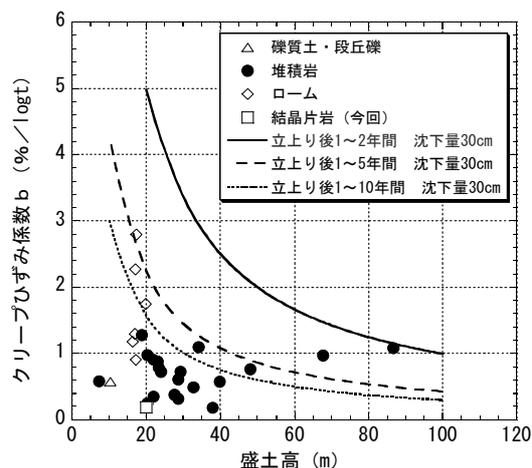


図-10 盛土高とクリープひずみ係数の関係

5. おわりに

本工事では、結晶片岩材による高盛土施工において、盛土材を破碎転圧し空気間隙率を少なくすることで大きな残留沈下が発生しておらず、大型一次元圧縮試験においてもこのことを裏付ける結果が得られた。これまでの施工では密度達成状況なども特に問題ないことから、引き続き現状の施工・品質管理体制にて工事を進めていく予定である。

新東名高速道路の愛知県区間は、平成 26 年度供用に向けて鋭意工事を実施している。新東名高速道路を利用されるお客様に対して快適な走行空間を提供することは我々の使命である。供用後の残留沈下を極力無くし、高品質の高速道路を構築していく所存である。

参考文献

- 1) Dudley, J. H.: Review of Collapsing Soils, Proc. ASCE, Vol.96, No.SM3, pp.925-947, 1970.
- 2) 西垣 誠: マサ土系材料による盛土地盤の浸水に対する安定性, 建設と地盤, Vol.4, No.1, pp.1-9, 1986.
- 3) 東日本, 中日本, 西日本高速道路株式会社: NEXCO 試験方法 第1編 土質関係試験方法, 平成 22 年 7 月.
- 4) 東日本, 中日本, 西日本高速道路株式会社: 設計要領 第一集 土工編, p2-22, 平成 22 年 7 月.
- 5) 奥原正由, 井上琢弥, 篠田雅男, 塚本周一, 黛 廣志: 黒色片岩の締固め特性 (室内試験と現地施工における差異について), 第 38 回地盤工学研究発表会, pp.1331-1332, 2003.
- 6) 中島雅之, 北村佳則, 藤岡一頼, 新井新一: 高速道路盛土の圧縮沈下特性について(その 1), 第 40 回地盤工学研究発表会, pp.1377-1378, 2005.
- 7) 藤岡一頼, 長尾和之, 新井新一, 大賀政秀: 高速道路盛土の圧縮沈下特性について (その 2), 第 40 回地盤工学研究発表会, pp.1379-1380, 2005.
- 8) 東日本, 中日本, 西日本高速道路株式会社: 土工施工管理要領, 平成 22 年 7 月.
- 9) Walker, F.C. and Holtz W.G.: Control of Embankment Material by Laboratory Testing, Proc., ASCE, No.108, pp.1-25, 1951. 三笠正人 (1964): 土の工学的性質の分類表とその意義, 土と基礎, Vol.12, No.4, pp.17-24.