

# 新東名高速道路大規模盛土における結晶片岩圧縮沈下抑制対策

Measures to Reduce Residual Settlement of Large Scale Embankment  
of Crystalline Schist for Shin-Tomei Expressway

藤原 斉 郁 (ふじわら ただふみ)

大成建設㈱技術センター 土木技術研究所  
地盤・岩盤研究室 主任研究員

藤岡 一 頼 (ふじおか かずより)

中日本高速道路㈱名古屋支社  
豊川工事事務所 新城東工事区 工事長

高山 勉 (たかやま つとむ)

大成建設㈱名古屋支店 設楽原 PA 工事作業所 所長

## 1. はじめに

切盛土工事による高速道路の建設では、新東名や新名神など中央構造線に近接する一部地域において、現地発生の中波川帯変成岩である結晶片岩による施工が実施されている。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）を示したり<sup>1)</sup>、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、現在施工中の新東名高速道路のうち愛知県新城市矢部～牛倉地区におけるパーキングエリア造成工事における状況について述べる。本工事では、盛土施工仕様を決定するためのモデル施工を実施した。また、残留沈下予測を目的とした大型一次元圧縮試験を行い、現場施工で得られた密度による圧縮沈下特性を確認した。さらに、現地での盛土沈下測定を継続して実施しており、これらの結果を基に施工後の残留沈下の見通しについて検討した。

## 2. 工事概要

図-1 に設楽原 PA の完成予想図を示す。現地は、愛知県新城市の中央を流れる豊川及びこれに沿った中央構造線の近傍北側に位置しており、当該地区を含む区間の平成26年度の開通を目指し現在工事が行われている。工事は、一部橋梁部を含む土工量約240万 m<sup>3</sup> の高速道路本線及びパーキングエリア造成のための切盛土工事であり、最大切土高さは約90 m、盛土部の最大高さは約40 m に及ぶ。

本造成工事に用いる盛土材は、敷地内の切土部からの発生分に加え、周辺のトンネル工事における掘削ズリなど一連の高速道路新設工事に伴う発生材を受け入れることによりこれらの有効利用を図っている。主な搬入材はまさ土や結晶片岩であり、このうち、本工事箇所の東に位置する鳳来地区からの三波川帯結晶片岩材を多く受け入れており、盛土全体の約35%をこの搬入結晶片岩材で盛立てる予定である。本報では、これまで盛土材とし

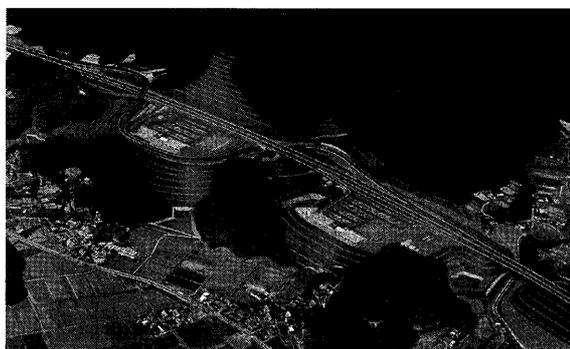


図-1 工事完成予想図（設楽原 PA）

て取り扱った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。

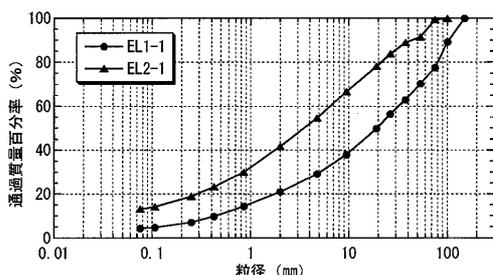
## 3. 結晶片岩による盛土施工

### 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場合、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<sup>2)</sup>、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 に盛土材に使用した結晶片岩の基本物性、図-2 に粒度分布を示す。これらはいずれも一連の高速道路建設工事に伴う搬入材であり、発生箇所が異なるものである。また、いずれも礫分を多く含んでおり、NEXCO 試験方法（109, 110）<sup>3)</sup>によるスレーキング率・破碎率とも EL2-1 の方が大きいものの、いずれも脆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<sup>4)</sup>。また、材料の扁平性に関して、細長・扁平率試験<sup>3)</sup>など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碎で扁平材が減少するほど供試体密度が上昇する<sup>5)</sup>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、相応の密度

表一 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 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )		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 <sup>3</sup> )	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



図一 結晶片岩材の粒度分布

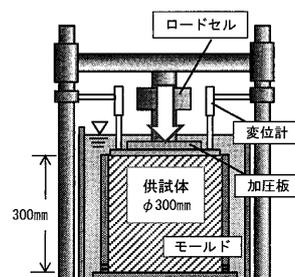
表一 施工仕様及び品質管理基準

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
破碎走行回数 $N$	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: $w=1\sim7\%$ EL2-1: $w=2\sim7\%$	散水ガンによる調整
締固め度, 空気間隙率	$D_c \geq 97\%$ , $V_a \leq 13\%$	R1密度水分計

や空気間隙率の管理が求められた。

### 3.2 モデル施工

前述のように、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<sup>6),7)</sup>。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<sup>8)</sup>とし、これに対する施工仕様を決定するための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に調整するためのタンピングローラによる盛土材の破碎、大型振動ローラによる転圧とし、まき出し厚及び転圧回数をパラメータとした。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。表一 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20 cmのま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。



図一 3 大型一次元圧縮試験装置の概要

表一 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 <sup>3</sup> )	
		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

## 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、上載荷重の増加及び水浸の有無による沈下量を測定した。図一 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。表一 3に室内試験時の最大乾燥密度 (試験値、礫補正後の密度)、及びモデル施工での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、いずれの試料も室内突固め試験の礫補正值<sup>9)</sup> (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、載荷は初期状態から24時間毎に段階的6段階 (40, 80, 160, 320, 640, 1 280 kN/m<sup>2</sup>) に増加させ、最終ステップ (盛土高約60 m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製後・載荷前の段階から供試体を水浸させた場合 (全水浸)、及び最終ステップの載荷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。図一 4に試験結果として載荷応力と圧縮ひずみの関係を示す。その結果、いずれも荷重増加に伴い沈下が進行するものの、載荷応力500 kN/m<sup>2</sup> 以下の初期段階では EL2-1 の方が沈下が大きく、640 kN/m<sup>2</sup> を超えると逆に EL1-1 の方が大きくなる結

報告

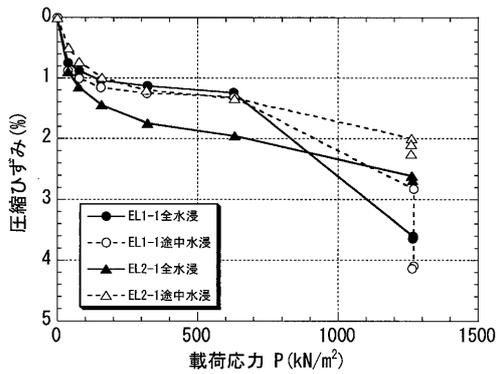


図-4 大型一次元圧縮試験結果 (応力～ひずみ関係)

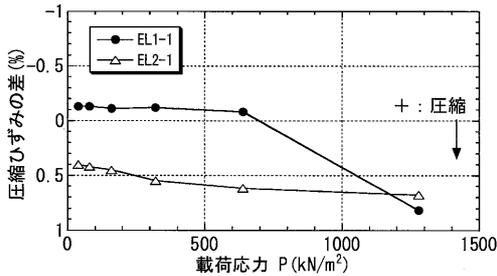


図-5 水浸と非水浸における圧縮ひずみの差

果であった。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、載荷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た。なお、別途実施した破砕率試験<sup>3)</sup>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(口絵写真-1)。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状況も示しているが、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については初期の載荷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にコンスタントな差が見られた。これらはいずれも前述の載荷応力～圧縮ひずみと同様の傾向であり、載荷による粒子破砕の影響が考えられた。

4.2 試験結果の考察

ここでは、大型モールドによる一次元圧縮試験結果について、既往の試験結果との比較による考察を行う。中島ら<sup>6)</sup>による種々の材料に対する一次元圧縮試験結果と今回の結果を図-6に示す。比較した試験結果は、いずれも締固め度を変化させた場合に対し非水浸の状態で載荷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、今回の試験の圧縮ひずみは既往の結果の範囲内であり、全水浸状態においても著しく大

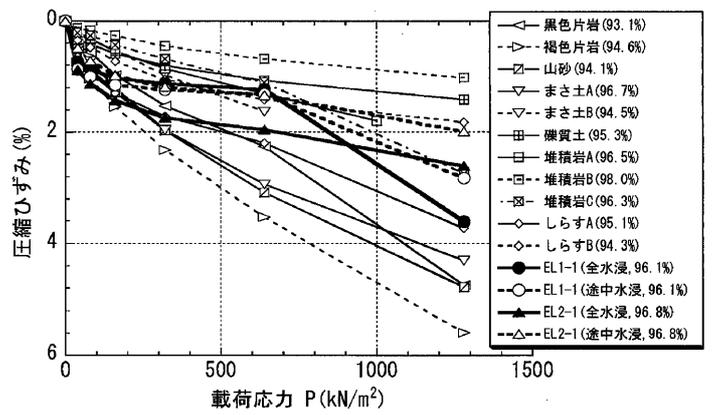


図-6 既往の試験結果との比較 (凡例内の数字は締固め度)

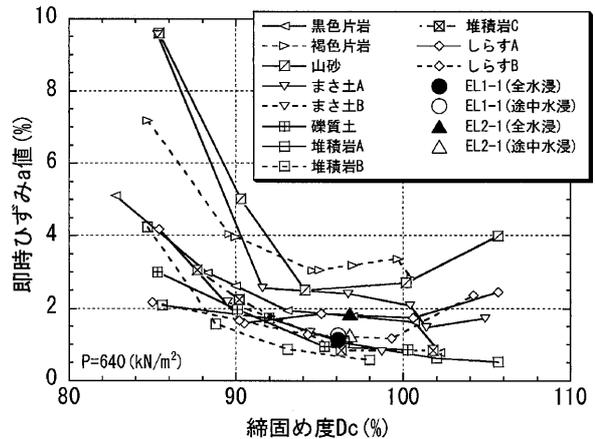


図-7 即時ひずみ算出結果

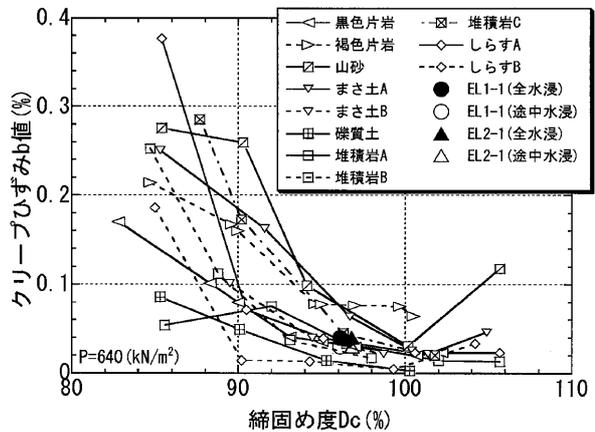


図-8 クリープひずみ係数算出結果

きな圧縮ひずみは発生しなかった。なお、EL1-1材について、粒子破砕による影響と思われる載荷応力640 kN/m<sup>2</sup>を超える範囲での圧縮ひずみ増加は、他材料には見られない特徴的な傾向であった。

次に、施工後の盛土残留沈下に関する比較として中島ら<sup>6)</sup>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)を算出した。載荷応力640 kN/m<sup>2</sup>について、参考文献<sup>6)</sup>に今回の結果を加筆した結果を図-7、図-8に示す。今回の試験条件の締固め

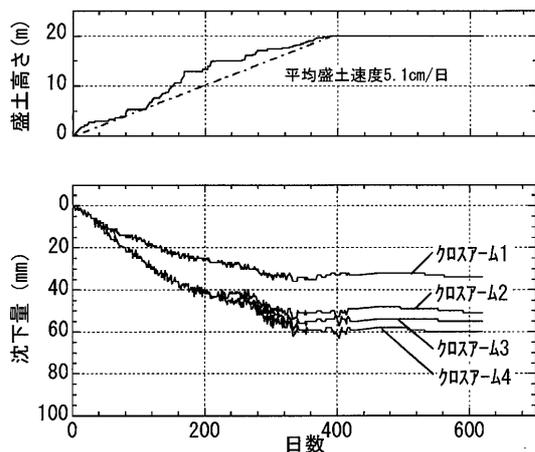


図-9 沈下測定結果

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結果となった。なお、この結果を基にしたLogt法による試算では、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オーダーの沈下が見込まれる結果であった。

#### 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60mm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-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<sup>7)</sup>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

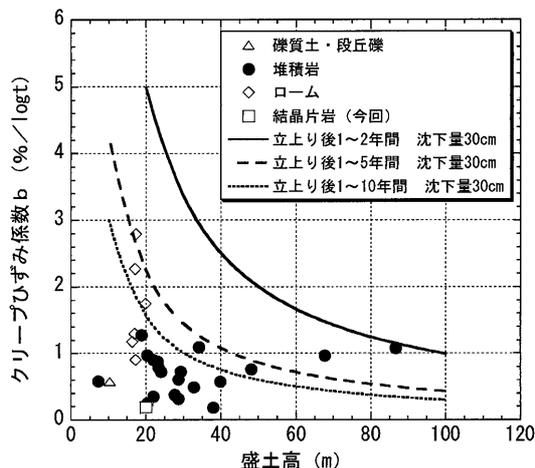


図-10 盛土高とクリープひずみ係数の関係

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。

#### 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。また、結晶片岩材に対する室内試験及び現場測定など一連の成果については、今後得られるデータも加え、妥当性について検証する予定である。

#### 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): 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): 設計要領 第一集土工編, p. 2~22, 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): 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.

(原稿受理 2012.4.6)