

結晶片岩を用いた第二東名盛土の締固め規定

中日本高速道路株式会社豊川工事事務所

宮澤 敏孝

中日本高速道路株式会社名古屋支社

大橋 健二 国 稲垣 太浩 前川 利彦

中日本ハイウェイエンジニアリング名古屋株式会社

林 晋

1.はじめに

第二東名高速道路の鳳来地区は、中央構造線の南側の三波川帯に位置し、切土地山から変成岩である結晶片岩が大量に発生するため、盛土はこの結晶片岩を用いて高盛土を構築する。一般に結晶片岩を用いて盛土すると水浸による沈下現象（コラプス現象）が発生することが知られている¹⁾。NEXCO中日本が管理する高速道路においても、伊勢自動車道伊勢地区や、紀勢自動車道大台地区で結晶片岩を用いた盛土が圧縮沈下した。現行のNEXCO設計要領²⁾によると、「脆弱岩等でスレーキングしやすい材料（スレーキング率約 30%以上）の締固めは空気間隙率 15%以下とすることが望ましい」としている。しかし結晶片岩のスレーキング率は、10%以下でありスレーキングしやすい材料に該当しないため、一般材料と同じ締固め規定により施工された。そこでNEXCO中日本では、第二東名高速道路鳳来地区の工事に先立ち、結晶片岩を用いた盛土の圧縮沈下対策を検討することになった。その検討内容は、

大きな圧縮沈下した盛土と変状ない盛土の実態調査、一次元圧縮試験から結晶片岩の圧縮特性を求めた。その結果、圧縮沈下対策として必要なRI計器による路体の品質管理基準値は、空気間隙率 V_a 13%かつ、突固め試験B法の最大乾燥密度を基準値とした密度比 D_c (以下「B法による締固め度 D_c 」という。)または D_s 97%であることがわかった。

大きな圧縮沈下した盛土と変状ない盛土の実態調査、一次元圧縮試験から結晶片岩の圧縮特性を求めた。その結果、圧縮沈下対策として必要なRI計器による路体の品質管理基準値は、空気間隙率 V_a 13%かつ、突固め試験B法の最大乾燥密度を基準値とした密度比 D_c (以下「B法による締固め度 D_c 」という。)または D_s 97%であることがわかった。

本文は、結晶片岩を用いた盛土の実態と圧縮沈下特性に基づいた盛土の締固め基準を設定した過程について述べる。

2. 施工実態調査

伊勢自動車道勢和多気IC～玉城ICは中央構造線の南側に位置する。地山の地質は三波川結晶片岩であり、黒色の結晶片岩（泥質片岩）と風化が進んだ褐色片岩からなる。結晶片岩は片理の発達が著しく指圧によって片理面が剥離する。この結晶片岩を用いた盛土は平成5年3月に供用したが、供用後まもなく交通に有害な沈下が生じオーバーレイ舗装による補修が数年間続いた。図-1は、そのオーバーレイ舗装厚と盛土高との関係を示した。補修箇所は、盛土が高いほどオーバーレイ舗装が

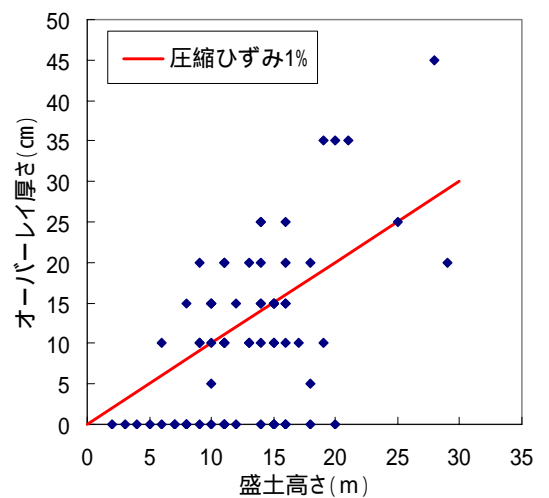


図-1 オーバレイ舗装厚と盛土高の関係

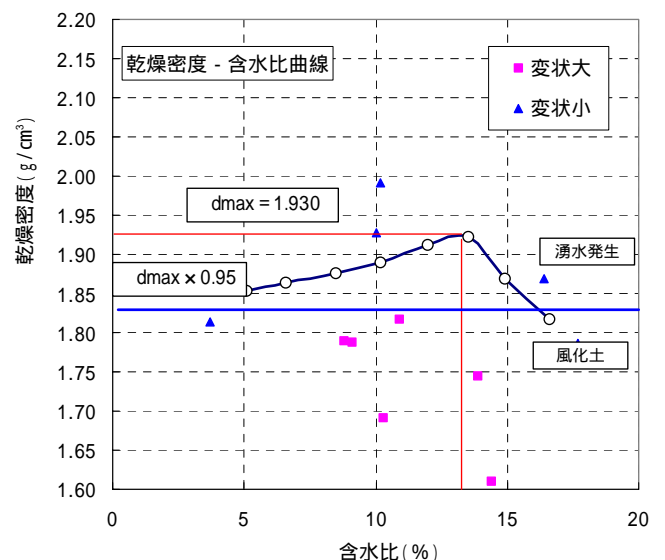


図-2 盛土の変状有無と乾燥密度の関係

Compaction Standard of Expressway Embankment using Crystalline Schist Material

Central Nippon Expressway Company Limited :T.Miyazawa,K.Oohashi,M.Inagaki,T.Maekawa,

Central Nippon Highway Engineering Nagoya Company Limited: S.Hayashi

厚い傾向がみられる。高速道路盛土の盛土完成から1年以降の残留圧縮沈下は、圧縮ひずみ0.5%未満であることが知られている。図-1の図中には圧縮ひずみ1%のラインを超えた補修箇所が多数ある。一方、図-1には、オーバーレイ舗装厚が0cmの盛土の圧縮沈下による問題が生じてない箇所もある。この圧縮沈下による補修の有無は、盛土の施工密度の違いが影響していると考えられる。そこで、変状した盛土6箇所と変状なしの盛土5箇所の現場密度を調べた。現場密度試験は、地盤工学基準(JGS1612-1995)水置換による土の密度試験方法に従い盛土のり面の表土を剥いで測定した。その結果を乾燥密度と自然含水比の関係図の中に変状の大、小に区分してプロットして図-2に示した。盛土構築後既に約10年を経過しているため、現場密度は、経年変化や、その間の降雨等で緩んでいることが考えられ、施工時よりやや低めな値と想定される。図-2より変状が大は、乾燥密度が低く、一方変状が小は、乾燥密度が高く、分布が分かれた。図-2中に示す締固め曲線は、紀勢自動車道大台地区で採取した褐色片岩を用いて突固め試験JIS A 1210-1990 B法³⁾により求めた図-4と同じである。これを基準値として変状の大と小の境界の締固め度を求めるとほぼ $D_c=95\%$ であることがわかる。

3. 結晶片岩の圧縮特性
結晶片岩の締固め特性(乾燥密度 d_d 、空気間隙率 V_a)の違いによる盛土の圧縮沈下特性の変化を評価するため突固め試験と中型一次元圧縮試験をした。

3. 結晶片岩の圧縮特性

結晶片岩の締固め特性(乾燥密度 d_d 、空気間隙率 V_a)の違いによる盛土の圧縮沈下特性の変化を評価するため突固め試験と中型一次元圧縮試験をした。

(1) 材料

試験に用いた材料は、紀勢自動車道大台地区で採取した黒色片岩と、風化が進んだ褐色片岩の2種類とした。それぞれの物性値を表-1に示した。褐色片岩の自然含水比 w_n は11.8%であるのに対して黒色片岩の自然含水比 w_n は3.1%と小さく乾燥している。スレーキング率は両材料とも10%以下でスレーキングしやすい材料には該当しない。

(2) 突固め試験

突固め試験、中型一次元圧縮試験に用いた試料は、図-3に示す最大粒径37.5mmに調整したせん頭粒度を使用した。

突固め試験は、JIS A 1210-1990 B法³⁾により求めた。図-4はその突固め試験結果である。最大乾燥密度は黒色片岩で 2.15g/cm^3 、に対し褐色片岩は 1.93g/cm^3 と低い。一方、最適含水比は、黒色片岩で8.4%、に対して褐色片岩は13.8%と大きい。両材料の自然含水比は、ともに最適含水比の乾燥側にある。

表-1 物性値一覧表

試料番号	褐色片岩	黒色片岩
2mmふるい通過量 (%)	69.3	73.6
0.425mmふるい通過量 (%)	25.6	21.3
0.075mmふるい通過量 (%)	5.1	5.1
均等係数 (D60 / D10)	26	50
液性限界 WL (%)	39.6	23.6
塑性指数 PI	14.0	6.7
自然含水比 w (%)	11.8	3.1
岩のスレーキング率 (%)	6.8	1.3
岩の破砕率 (%)	56.6	36.4
試験方法	B-b 法	B-b 法
最大乾燥密度 d_{max} (g/cm^3)	1.930	2.145
最適含水比 (%)	13.1	8.4
地盤材料の工学的分類	(GS - F)	(GS - F)

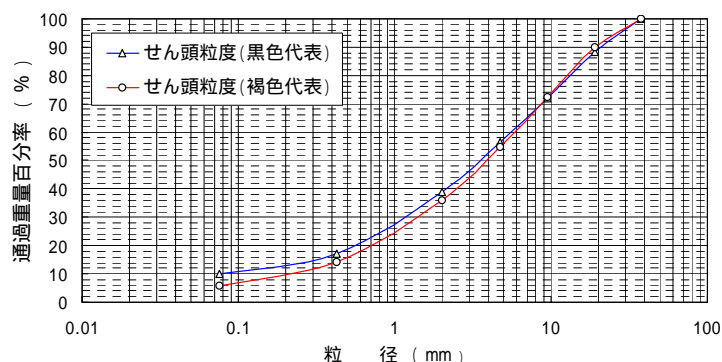


図-3 突固め・一次元圧縮試験に用いた粒度分布

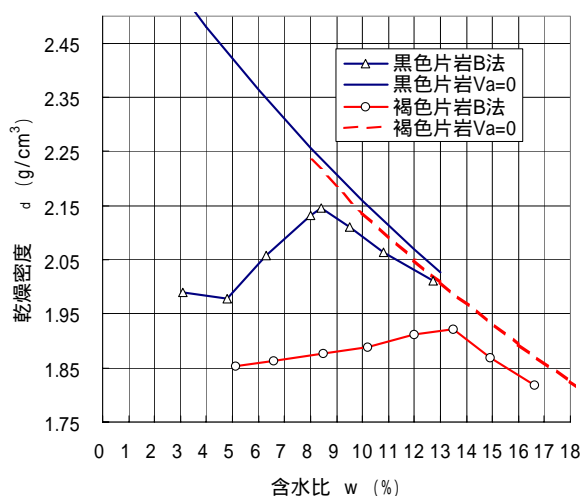


図-4 突固め試験結果

(3) 中型一次元圧縮試験

試験供試体は、乾燥密度がB法による締固め度 $D_c=100\%$ 、 95% 、 90% 、 85% にそれぞれなるよう3層に分けて自然含水比の状態で作製した。なお、突固め方法は、動的な突固めに伴う破碎による粒度変化を避け、アムスラーによる静的締固めを採用した。また試験に使用したモールドの寸法は $150\text{mm} \times h125\text{mm}$ である。水浸条件は、途中水浸と全水浸の2種類とした。「途中水浸」は、自然含水比の不飽和状態で盛土構築した後、盛土内に水が浸透して飽和状態になるケースを想定した。一方、「全水浸」は盛土構築とともに水が浸透して飽和状態になるという最悪の状態を想定した。図-5 は中型一次元圧縮試験機の模式図である。載荷は、高さ60mの盛土を対象としたので、載荷荷重を $40, 80, 160, 320, 640, 1280\text{kN/m}^2$ の6段階とした。1段階の載荷時間は24時間である。載荷終了後その荷重を保持したまま4日間水浸させた。なお全水浸は載荷前4日間、 2.78kN/m^2 上載した状態で水浸させた。表-2 に示す試験条件は、供試体作製時の値である。

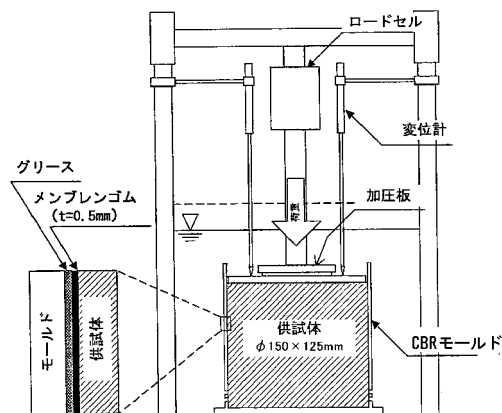


図-5 一次元圧縮試験機模式図

図-6.1 に示す一次元圧縮試験の結果は、黒色片岩の全水浸の各載荷段階ごとに求めたクリープ沈下係数と空気間隙率 V_a の関係である。なお図-6.1 のクリープ沈下係数は、載荷開始~2.5分間の圧縮ひずみは即時圧縮ひずみとして考慮せず、その後圧縮ひずみと載荷時間(対数)の $\log t$ の直線勾配とした。クリープ沈下係数は、空気間隙率 V_a が小さくなると減少するが、図中に示しB法の締固め度 $D_c95\%$ では収束せず、空気間隙率 V_a が15%で収束している。これは、NEXCO設計要領²⁾に記述がある「脆弱岩等でスレーキングしやすい材料の締固めは空気間隙率15%以下とすること」と符号した結果となった。

表-2 試験条件

	B法による締固め度 $D_c(\%)$	乾燥密度 $\rho_d(\text{g/cm}^3)$	空気間隙率 $V_a(\%)$
黒色片岩 途中水浸	83.9	1.80	28.9
	87.9	1.89	25.5
	93	1.99	21.3
	100.2	2.15	15.1
黒色片岩 全水浸	84	1.80	29
	88.1	1.89	25.6
	93	1.99	21.3
	100.3	2.15	15.1
褐色片岩 全水浸	84.9	1.64	20.4
	90	1.73	15.8
	95	1.83	11
	99.9	1.92	6.8

一方、図 6.2 に示す一次元圧縮試験の結果は、褐色片岩の全水浸の各載荷段階ごとに求めたクリープ沈下係数と空気間隙率 V_a の関係である。褐色片岩のクリープ沈下係数は、黒色片岩と同様に空気間隙率 V_a が小さくなると減少する。しかし、空気間隙率 $V_a15\%$ ではクリープ沈下係数は収束せず、図中に示したB法による締固め度 $D_c95\%$ で収束している。褐色片岩が、空気間隙率 $V_a15\%$ で収束しないのは、黒色片岩に比べ、褐色片岩の方の含水比が大きいため、同じ空気間隙率 $V_a15\%$ でも乾燥密度が低くなるのが起因している。

図-7 に黒色片岩の全水浸の間隙比と載荷圧力の関係を示した。乾燥密度が低いものは、載荷圧力の増加による間隙比の減少は大きい。また同じ乾燥密度で全水浸と途中水浸を比較すると全水浸の方が載荷圧力の増加による間隙比の減少は大きい。

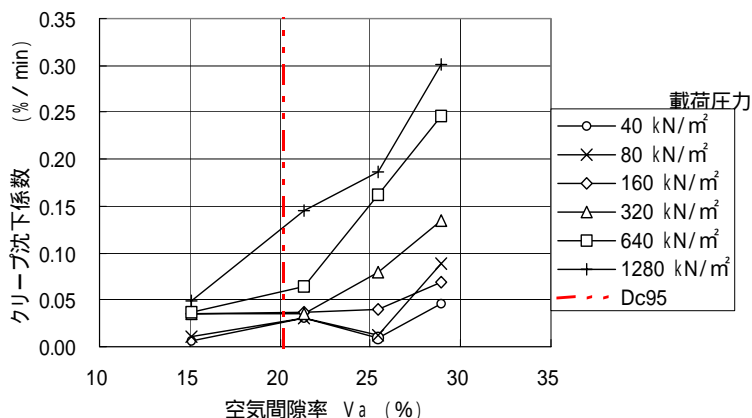


図-6.1 クリープ沈下係数と空気間隙率の関係(黒色片岩)

ただし、乾燥密度が 2.15g/cm^3 と高いものは、大きな載荷荷重を与えも間隙比の減少はほとんどなく、盛土の圧縮沈下は問題とならないことがわかる。

次に図-8 は、黒色片岩の最大荷重 1280kN/m^2 載荷後、その荷重を保持して4日間水浸させた間隙比減少量 e と乾燥密度の関係である。

載荷段階では全水浸の方が間隙比の減少は大きい、放置段階では逆に途中水浸の方が間隙比の減少が大きい。ただし、乾燥密度が 2.15g/cm^3 と高く密実になると、途中水浸と全水浸の条件の違いによる間隙比の変化みられなくなる。

以上から低密度のものは、途中水浸による圧縮沈下量は大きい。一方、高密度のものは、たとえ自然含水比が最適含水比の乾燥側にあっても、途中水浸による圧縮沈下はほとんど生じていないことがわかる。

3.まとめ

結晶片岩を用いた盛土の実態調査の結果から変状の大と小の境界はほぼ B 法による締固め度 $Dc95\%$ であった。中型一次元圧縮試験から黒色片岩のクリープ沈下係数は B 法による締固め度 $Dc95\%$ では収束せず、空気間隙率 V_a が 15% で収束する。一方、褐色片岩のクリープ沈下係数は B 法による締固め度 $Dc95\%$ では収束するが、空気間隙率 V_a が 15% では収束しない。よって、両材料の締固めを規定するには、空気間隙率 $V_a = 15\%$ と B 法による締固め度 Dc (または Ds) 95% の双方でしる必要がある。

さらに低密度のものは、盛土構築後の水浸による圧縮沈下が生じる可能性は高いが、高密度のものは、自然含水比が最適含水比の乾燥側でも、盛土構築後に水浸しても盛土の圧縮沈下はほとんど問題とならない。

4.結論

現場の品質管理は RI 計器を使用した平均値管理するため、それを補正した路体の締固め基準値は、空気間隙率 $V_a = 13\%$ かつ、B 法による締固め度 Dc (または Ds) 97% を規定することとした。

参考文献 1)Dudley,J.H.:Review of Collapsing Soils,Proc.ASCE,Vol.96,No.SM3,pp.925 ~ 947,1970.
2)NEXCO 東日本・中日本・西日本設計要領第1集平成18年4月 p2-22 3)NEXCO 東日本・中日本・西日本試験方法 JHS 平成19年8月 p80

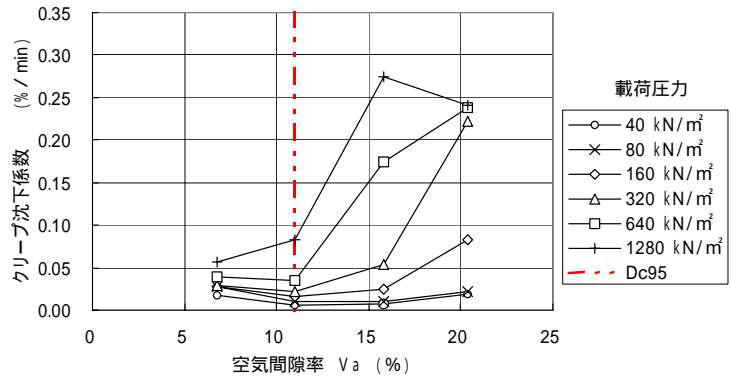


図 6.2 クリープ沈下係数 と空気間隙率の関係(褐色片岩)

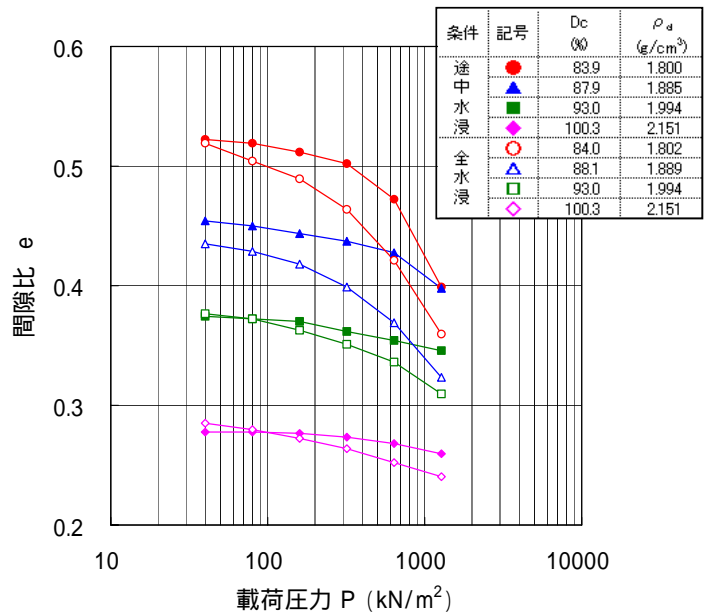


図-7 間隙比と載荷圧力の関係(黒色片岩)

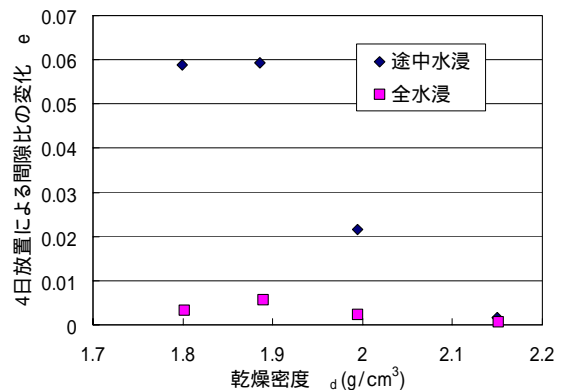


図-8 4日間水浸させた間隙比減少量 e と乾燥密度の関係