破砕性岩砕による変電所基礎盛土の試験と施工

Some Tests and Construction Procedure of High Embankment using Easy-Crashed Coarse Grained Material for Electric Power Translation Station

> 柳沢 一俊* 宮崎 啓一** Kazutoshi Yanagisawa

Keiichi Miyazaki

修** 吉野 Osamu Yoshino

斎藤禎二郎*** Teijiro Saitoh

要 約

盛土の各位置で盛土高が異なり、最大盛土高が30mを越えるような高盛土を施工した工 事の報告である.この盛土は構造物の基礎として用いられ,その構造物の機能上から盛土施 工後の不同沈下を極力小さくする必要があった.盛土の基礎地盤は比較的良質の岩盤である が、盛土材は比較的良質の塩基性片岩および破砕性(スレーキング)の顕著な泥質片岩を主 体としたものであり盛土の沈下のほとんどは盛土自体の圧縮沈下によって生じると想定され た、施工に当たっては、数回にわたり転圧試験を主体とした試験盛土を行い、施工方法およ び施工管理基準を検討した。また、盛土材の室内圧密試験等を行い、予想される盛土の圧縮 沈下について早期に把握することを試みると共に、盛土内に層別沈下計を設置して、実測沈 下量に基づき沈下量の検討を行った。

Ħ 次

- §1. はじめに
- § 2. 工事概要
- §3. 盛土材料
- §4. 試験施工による検討
- § 5.施工
- §6. 盛土の圧縮沈下
- §7. おわりに

* 四国(支)阿波(出)張所

** 技術研究所土木技術課

*** 土木設計部設計課

§1. はじめに

我が国の地質構造には、糸魚川ー静岡構造線および中 央構造線のような大きな破砕帯が存在し,周囲から大き な地質営力を受けてきた結果として、土木工事を行う場 合に問題となるような地質が各所に存在している.

四国においては、中央構造線がほぼその中央部に位置し ており,その地殻変動に起因する構造異方性の強い地層 が帯状に構造線の周囲に分布している.

ここに報告するものは、中央構造線付近で行った切盛 り土工を主体とした工事の報告である。施工した盛土を 基礎地盤とする変電所構造物の構造上の制約から,施工 後の沈下を極力小さくすることが要求された.しかし,高 盛土個所の存在、平面的な盛土荷重の不均一、脆弱な盛 土材料の存在等の問題があり,試験施工を行いながら施 工を進め、盛土の性状特性の把握を行った。施工中およ び企業先が事前に行ったものなど試験施工は3回行ってい るが、ここではそれらをまとめて述べることとする。

また,盛土内に沈下計および間隙水圧計等を設置し, 施工中の状況を測定して将来沈下を検討したのでそれら についても述べる.

§ 2. 工事概要

四国における電力幹線構築の一環として行われるもの で,徳島市に隣接する神山町において,沢部を盛土によ って埋め立て,その上に変電所を構築する工事における 基盤盛土部の工事である.

工 事 名:阿波変電所用地造成工事

工 期:1995年9月1日~1997年8月29日

企業先:四国電力株式会社工事数量:切土量

目・切工重	515,340 m 3
盛土量	52 9,1 20 m ³
不良土処理	9,000m ³
法面保護工	$7,483m^2$
擁 <u>壁</u> 工	6,592m ³
計測工	1式

この工事は, 図ー1に示すように凹地形の沢部を盛土す るもので,施工ヤード内の各位置で施工する盛土の高さ が変化し、最大盛土高は30mを超える高盛土となる.

切土により発生する盛土材料は比較的低強度の岩砕で あり、中には乾燥と吸水の繰り返し等によって材料が細 粒化する脆弱なものが含まれている.

盛土完了後に構築する変電所に設置を予定している機 械設備は、その構造上から許容(不同)沈下量が小さい ため、盛土も施工後の沈下量を極力小さくすることが要 求された。

§3.盛土材料

現場は四国をほぼ東西に走る中央構造線と御荷鉾構造 線との間に分布する三波川帯に位置している(図-2). 切土によって発生する材料は,表層部の土砂の他はほと んど岩盤等級D~CMの緑色片岩(塩基性片岩),黒色片 岩(泥質片岩)である.

これらの材料の物性を表-1に示した.緑色片岩は切土 位置によらずほぼ同じ物性であったが,黒色片岩はスレ ーキングの顕著なもの,ほとんどスレーキングしないも のなど切土位置によって変化が見られた.したがって,表 中にはスレーキング率の大きなもの(A)と小さなもの (B)を示してある.なお,黒色片岩は,スレーキングが 顕著にはみられなくても,外力によって容易に層状に割 れ,破碎性は緑色片岩よりも顕著であった.



図ー1 施工個所平面および断面

No.1~No.6は沈下等の測定位置を示す.

		緑色片岩	黒色片岩	黒色片岩
			Α	В
土粒子密度	g/cm ³	2.957	2.834	2.746
自然含水比	%	2.9	2.3	
粒度れき	%	80	62	81
砂	%	15	30	14
細粒分	%	5	8	5
れき積比重		2.690	2.453	2.54
吸水率	%	1.66	3.76	1.90
スレーキング率	%	2.0	94.0	1.6
締固め密度	g/cm ³	2.391	2.223	2.223
含水比	%	7.2	5.8	6.8





図-2 四国の地質構造の概要1)



§4. 試験施工による検討

施工に先立って行ったボーリング調査を主体とした調 査では把握しきれなかったが、準備工および試験施工の 実施時点で露頭観測等から黒色片岩の中にはスレーキン グ率が数%のものから90%以上のものまであることが判 明した.現場には数箇所に断層破砕帯と思われる個所が 見られ、調査によって、スレーキングの著しい黒色片岩 はその破砕帯部分に分布していると推定された。





図-5 粒度分布

これらの材料を用いて盛土施工を行うにあたり,施工 方法および盛土体の圧縮沈下に関する検討を行うために, 試験施工を行った.試験施工は転圧試験を主体として, 実施工に使用する施工機械を考慮して,表-2の機種を使 用して行った.

試験施工では,現場の施工状況を考慮して,黒色片岩 および緑色片岩を1:1で混合したものも使用したが,こ こでは主に緑色片岩および黒色片岩に関して述べる.

試験は図-6のような試験ヤードを設定して,1層の施 工厚さ(敷き均し厚さ)を約40cmとして,同一材料を用 いて3層(40cm×3=120cm)の施工を行った.試験期間 は実質約1ヶ月間を要した.

転圧試験から,図-7に示したように,転圧回数の少な い初期には転圧により盛土体に生じる圧縮沈下が大きい

表-2 試験施工での使用機種

工種	機種
切土	バックホー (0.6m ³ 級)
運搬	ダンプトラック (11t)
敷均し	ブルドーザ (普通, 21t 級)
転圧	振動ローラ (起振力 30t 級)



図-7 試験施工結果(圧縮沈下量)

が,転圧回数が16回以上ではほとんど圧縮沈下が増加し ないことがわかる.

転圧回数のあまり大きくない範囲でみると,緑色片岩 が15~20mm程度(約5%)の圧縮沈下を示しているのに 対して,破砕性に富む黒色片岩盛土では30~35mm程度の 圧縮沈下を示している.しかし,転圧回数を40回程度ま で増加させると,緑色片岩も破砕を生じてくるためと考 えられるが,両者共に35~40mm(約10%)の沈下を生 じ,沈下量の差異は少なくなるようである.

図-8に転王による締固め密度(RI法)を示した²⁾.密 度測定には同一試験ヤードでRI法(線源深さ40cm)およ び水置換法(掘削孔径60cm)の2種類を用いて行った. 盛土材が粗粒材であることから,これらの測定結果の信 頼性には問題がないわけではないが³⁾,指標としては十分 に使用可能と考えられる.測定値としては,水置換法に よるものがやや大きな値が得られた.

転圧回数の増加に伴い密度は漸増する傾向がみられる が、転圧回数が10回以上では増加傾向はあまり顕著では なくほぼ一定となる。この材料は突固めエネルギーを変 化させて行った室内突固め試験の結果(図-9)からも、 締固めエネルギーの増加による密度増加が小さいことが わかる。

なお、粗粒土ではれき補正の考え方もあるが、ここで

の基準値としては、れき補正のないものを用いている.

転圧試験終了後に「道路の平板載荷試験法 JIS A1215」 に準拠して平板載荷試験を行なった.平板載荷試験では 使用する載荷板の大きさと形状によって,直接得られる 試験結果が異なるが,ここでは載荷板は径30cmの円形板 を用いた.測定結果から沈下量1.25または5mmで算出した 地盤反力係数を表-3に示した.破砕性およびスレーキン グ性の小さな緑色片岩に比べて,黒色片岩の地盤反力係 数が小さく,スレーキング率の大きなものでは小さくな っている.しかし,この小さな値でも,盛土としては十 分な支持力を示していることがわかる.

転圧試験後に試料を採取して、粒度変化を調べた結果 を図ー10~12に示した.緑色片岩は転圧による粒度変化



図-8 試験施工結果(密度変化)



表-3 地盤反力係数

(単位はkgf/cm³)

	緑色片岩	黒色片岩 A	黒色片岩 B
6 回転圧後	18.0	$5.6 \sim 6.1$	$9.0 \sim 10.4$
8 回転圧後	18.7	$4.0 \sim 6.1$	$6.9 \sim 12.5$

が少ないが,黒色片岩はスレーキング率の大小に関わら ず,転圧によって粒度分布が変化していることがわかる. この変化は全体が細粒化するのではなく,1~8m程度の 砂分が増加するものであり,0.1mm以下の粒子量はほとん ど変化していない.

実施工にあたっては,岩砕を用いた<u>盛土</u>ではスレーキ ング現象の発生が問題とならなければ,十分な転圧を行







図-12 転圧による粒度変化(黒色片岩B)

うことで、施工後の盛土体の圧縮沈下を小さくすること が可能であろうと判断される.スレーキング性の材料で もその程度が小さければ、空気間隙率15%以下となるよ うに締固めることで、スレーキング等に起因する沈下を 小さくできるとされている^{3).4)}.試験施工の結果を空気間 隙率で整理したものを図ー13に示した.転圧回数の少な い時点では空気間隙率の大きなものがあるが、転圧回数 が増加すると空気間隙率は15%以下となっている.



図-13 試験施工結果 (空気間隙率)



写真一1 試験施工状況

§5.施工

盛土の施工品質管理基準としては、密度管理,飽和度 管理,施工規定による方法等の幾つかの考え方があるが、 ここでは試験施工の結果から表-4に示したものを管理基

表-4 施工管理基準

	緑色片岩	黒色片岩	土砂	混合土
締固め度	95%以上	同左	同左	同左
施工含水比	自然含水比	同左	同左	同左
空気間隙率	(参考値)	同左	同左	同左
地盤反力	(参考値)	同左	同左	同左

準とした.なお,施工に当たっては盛土材を選定し,黒 色片岩のうちスレーキング率の大きい材料は今回施工を 行うヤードには使用せずに,将来施工ヤードに盛土する こととした.

試験施工によって,使用盛土材は比較的容易に大きな 締固め度が得られ,締固め度が95%以上であれば空気間 隙率も15%以下まで小さくできることがわかっているの で,施工での品質管理は,締固め密度の管理を主体とし て,盛土体の強度把握のために平板載荷試験による地盤 支持力(K₃₀)を参考的に測定することとした.

施工後の日常管理における乾燥密度の測定結果を図-14に示した.この測定値はRI法によって求めたものであ る.同じ施工含水比でも測定値にばらつきが見られるが, 締固め密度は十分に管理目標を達成していることがわか る.施工管理上ではRI法により得られた密度を盛土の密 度として扱っているが,RI法と同時に水置換法を併用し て検討した結果では,試験施工結果と同様に,RI法の方 が低めの値が求まっている(図-15).

スレーキング等に起因する盛土の将来沈下を小さくす るには、空隙の少ない盛土を作ることが重要であるが、施 工結果では空気間隙率は十分に小さく押さえられていた. 計画では、沢の下流部の長大法面付近の盛土は、一般部 の盛土と法部盛土に区分されており、法部盛土は一般部 (一次盛土)終了後に二次盛土として施工するようになっ ている.

二次盛土部分では盛土法面の安定上から,使用する盛 土材の内部摩擦角として35度以上が必要とされた.**図ー** 17にCD条件で行った供試体の径が10~30cmの中型三軸 圧縮試験結果を示した.図中には緑色片岩,黒色片岩の 他に,実施工時に予想される両者の混合したものおよび 土砂も記入してある.この試験は相似粒度に調整した試 料を用いて行ったものであるが,緑色片岩の試験結果が, 粒度調整の過程で細粒化した比較的低強度粒子によって



図ー14 施工時の測定密度分布

構成されたものであるために、やや低い値となっている 可能性がある。図中の矢線はこれを考慮して推定した数 値である。この結果からみると、緑色片岩は∮>35度を満 足するが、スレーキング率の大きい黒色片岩では必要な 内部摩擦角を確保できないことがわかる。しかし、同じ 黒色片岩でもスレーキング率の低いものでは、十分な締 固めを行うことによって必要な内部摩擦角を確保できる ことがわかる。



図-15 RI法と水置換法による乾燥密度



図ー16 施工時の地盤反力係数



§6. 盛土の圧縮沈下

この盛土では施工中の締固めに関する品質管理が問題 なく行われたとしても、その後に生じる沈下量の大小で 最終的な判断がなされることになる.

盛土は硬質な基盤岩上に施工されており,盛土基礎地 盤の圧縮沈下によるひずみは弾性計算から最大10⁻⁴程度 と推定され,非常に小さく問題とならないと考えられる. しかし,盛土は破砕性の岩砕による施工であり,事前に その圧縮沈下量を推定することは困難である.

表-5に既存の文献等から粗粒材盛土の沈下を集めて 示したが、データ数が少ないこともあり、ばらつきが大 きく明瞭な傾向は見られない。

したがって、盛土内に沈下計を設置し、施工時の盛上 の沈下状況を測定することによって、将来の沈下量を予 測することを試みた. その平面配置は図ー1に示してあ るが、配置断面例を図ー18に示した. 盛土の挙動観測と しては、層別沈下測定個所での盛土底面部の間隙水圧測 定および盛土の法面部の安定チェックのための沈下計側 と傾斜計測が行われた. 層別沈下測定は、所定の盛土高 まで盛土後に、図ー19に示したようなひずみゲージタイ プのものをボーリングによって設置した. これらの測定 は図ー20に示したようなシステムにより行い、測定頻度 は毎日1回とした.

沈下測定結果の例を図ー21および図ー22に示した。計 器が盛土の進捗にともなって設置されるため、測定期間 の長さは同じではないが、測定された沈下量は盛土高の 低いNo.1測点(約15m)で15~50m,盛土高が最大と

表-5 粗粒材盛土の沈下事例5,6,7,8,9

盛土高 盛十材 最大径 沈下量 cm 備考 施工時 施工後 m mm 凝灰岩 ? 13.5 $4 \sim 16$ 6.5 ? 1.2 $4 \sim 16$ 泥岩 15.0 脆弱岩 300 ? $0 \sim 20$ 道路 $5 \sim 25$ 9 $5 \sim 25$ 脆弱岩 300 $0 \sim 65$ 道路 れき質土 20.9 28 70 7.2 宅地 流紋岩 $0 \sim 1$ 35 10 64 凝灰角は岩 1000 $25 \sim 41$ $1 \sim 2$ ダム 83 ロック材 $\mathbf{25}$ ダム ダム ロック材 300 90 90





なるNo.4測点(約30m)で60~130mmである.盛土材は 粗粒材であり、一定荷重(盛土高)下でのクリープ的な 沈下量の増加は少ない.

沈下量の大きいNo.4測点での各盛土深度での測定値よ り,盛土開始から盛土終了後約2ヶ月までに盛土全体とし ては約300mmの沈下が生じていることになる.この沈下の ほとんどは,盛土施工中に生じており,長期沈下の量は 小さいことがわかる.

沈下測定素子での測定値から,盛土内での沈下測定素 子間での沈下量を分離して,図ー23に示した.沈下の多 くは,荷重度の大きい盛土中層部以深で生じ,盛土の表



図-19 層別沈下計



図-20 沈下計測システム

20





図-21 盛土の圧縮沈下測定結果 (No.1)



図-22 盛土の圧縮沈下測定結果 (No.4)

層部(上部層)では小さいことがわかる.

実測沈下量から将来沈下を推定することは、軟弱地盤 上に盛土する場合の基礎地盤の将来沈下推定によく行わ れている、この場合に使用されている手法を準用して, No.4測点での盛土体の最終沈下量の推定も行った。推定 に当たっては双曲線法を用いたが、盛土完了後の日数が 約30日と少ないため、実測値とに一致程度はあまり良好 ではなく、推定精度はやや低いものと思われた、これは、 継続する沈下データを用いて推定することで精度の向上 が期待できると思われる。

§ 7. おわりに

将来沈下を極力少なくすることが要求された破砕性の 片岩を用いた高盛土の施工を行うにあたり、施工方法お



図ー23 盛土体各層間の沈下量

よび品質管理手法を検討するために転圧試験を主体とし た施工盛土を行いその結果を施工に反映すると共に、沈 下等の測定を行いながら施工を行った。

盛土の沈下量を早期に予測するために、施工途中で室 内圧縮試験結果等を行って沈下量の早期予測に努めたが、 実測沈下量からの推定値とは食い違いを生じ、将来沈下 を精度良く予測することは困難であった、これに関して は今後更に検討を行う必要があると考えている。

最後に,調査,試験および施工にあたっては,四国電 力株式会社阿波幹線建設所の各位にご助言。ご指導をい ただいた、ここに深謝いたします。

参考文献

- 1)長谷川修一、斎藤 実:四国の自然環境と地形・地 質, 土と基礎, 39-9, pp.19-24,1991.
- 2) 地盤工学会: 地盤調査法,1995.
- 3) 地盤工学会:土の締固めと管理,1991.
- 日本道路公団:設計要領第1集,1983.
- 5) 土質工学会:ロックフィル材料の試験と強度設 計.1982.
- 6) 土質工学会: 粗粒材料の変形と強度,1986.
- 7) 堆積軟岩による盛土の工学的諸問題に関する研究委 員会:委員会報告、堆積軟岩による盛土の工学的諸問 題に関するシンポジウム,地盤工学会,1995.
- 8) 発電協会編:最新フィルダム工学,1972.
- 9)島 博保:スレーキング材料(ぜい弱岩)の圧縮沈 下と対応策,土と基礎,Vol.28,No.7,pp.45-52,1980.