

新広島空港建設における風化花崗岩による超高盛土工事

Super-high Banking with Decomposed Granite Soil in New Hiroshima Airport Construction

橋川 隆*	(Takashi HASHIKAWA)
柳生 忠彦**	(Tadahiko YAGYU)
赤司 淳也***	(Jyunya AKASHI)
村田 繁****	(Shigeru MURATA)
河西 博*****	(Hiroshi KAWANISHI)

新広島空港建設工事では、風化花崗岩による超高盛土や大規模な土工事をともなう用地造成工事が施工された。本工事では、最大盛土高が100mにも及び超高盛土となることから、風化花崗岩、特にまさ土に対する盛土対策は肝要となる。新広島空港建設工事では、盛土体構造として材料による縦型ゾーニングを採用し、さらに境界層（トランジションゾーン）や水平ドレーンを的確に配置した。施工に際しては、現地試験で得られた施工管理基準や品質管理基準を設定し、これに基づき徹底した施工管理を行うとともに、広範に盛土動態を観測して施工状況を確認し、その結果を施工に反映していった。こうした措置をとった結果、非常に安定した高盛土体を短い工期で造成できた。本工事でとられた対応や得られた知見は、この種の風化花崗岩を用いた高盛土工事や山岳地域での用地造成工事の指針となる。

キーワード：まさ土、盛土、土工、沈下、斜面安定、測定、降雨 (IGC：E2/E6/K4)

1. まえがき

まさ土を含む風化花崗岩による盛土は、降雨により異常な沈下を生じたり、地盤強度が低下したり、さらには、斜面崩壊を起し易いと言われている¹⁾。特に、高精度の平坦性と地盤の安定性が要求される空港用地を風化花崗岩地帯に建設する場合は、その設計、施工は慎重にならざるを得ない。ましてや、起伏の激しい風化花崗岩から成る山岳地域での用地造成となると、これらの技術課題は一段と厳しさを増す。

新広島空港の建設位置は、1) 空港の開発効果を広島県全域に及ぼす、2) 中国四国地方の国際拠点空港として高速道路ネットワークの要に位置させる、3) 土地利用実態からして用地を得やすい、といった観点から、現在の山岳地域に立地することとなった。その結果、新広島空港建設工事は、切・盛土量3,684万m³、硬岩発破量777万m³、最大盛土高100mといった、わが国の陸上に建設される空港としては最大規模の土工事となった。この建設工事では、風化花崗岩による超高盛土に対する技術課題を克服するために多くの検討を行ったが、なかでも、1) 盛土体の構造、2) 施工管理基準および品質管理基準、3) 施工方法、4) 発破工法、5) 盛土動態の観測、6) 盛土動態（沈下量）の予測、について重点的に検討を行った。

新広島空港は、用地造成完了後既に5回の集中豪雨に見舞われているが、盛土体に問題となるような影響は全く見られない。また、本空港は平成5年10月29日に開港し、現在何ら支障なく供用されている。こういったことから、本工事の検討で得られた成果は、今後の、1) まさ土を含む風化花崗岩による高盛土工事、2) 急峻な山岳地域での大規模土工事、に多くの指針を与えていると考えられる。以下、それらの検討内容と得られた成果を報告する。

2. 新広島空港整備計画

新広島空港の建設位置は、広島県中部の山岳地域である（写真-1参照）。その整備事業概要は表-1のとおりで、滑走路延長2,500m1本を建設するものである。なお、広島県では、この新広島空港を核としてその周辺570haにおいて、開発コンセプト「庭園空港都市」としての臨空タウンの整備を併行して展開しているところである（写真-2参照）。

* 運輸省第三港湾建設局 局長 ** 元運輸省第三港湾建設局 神戸調査設計事務所 所長

*** 運輸省第三港湾建設局 工務第二課 課長 **** 同 広島港工事事務所 所長 ***** 同 係長



写真一 1 着工前の新広島空港建設地域（昭和63年3月撮影）

表一 1 新広島空港整備事業計画概要

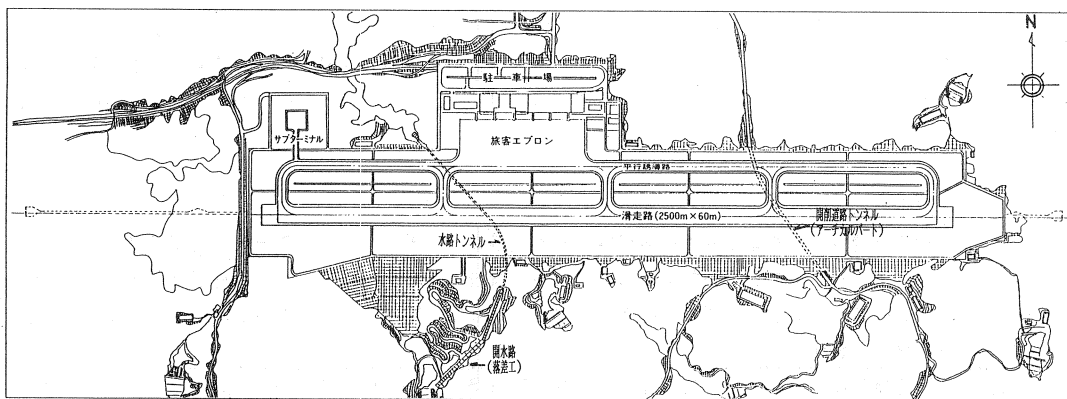
項目	計画概要
空港用地面積	約167ha
着陸帯規模	長さ2,620m×幅300m
滑走路規模	長さ2,500m×幅60m
誘導路規模	延長2,783m
供用開始日	平成5年10月29日
総事業費	約710億円



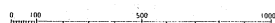
写真一 2 開港した新広島空港（平成5年12月撮影）

2. 1 用地造成計画

空港施設の配置と空港用地の範囲を図一1に示す。また、滑走路センターでの縦断面を図一2に示す。空港用地面積は167haで、滑走路中央の標高を示す標点の高さは331.4mである。滑走路の方向は、気象条件からして急峻な地形を東西に横断せざるを得ない。このため、最大切土高は54m、最大盛土高は100mとなる。一方、滑走路は航空機が高速で離着陸することから、精度の高い平坦性が要求される。ちなみに、天端幅400mの谷部中央での許容残留沈下量は10cmである。また、航空機自体が舗装の不陸に対して弱いことから、誘導路や駐機場の舗装についても平坦性が要求される。さらに、急峻な谷部での盛立てをとまなうことから、長大な斜面を有するのり面が必要となる。そののり天端とのり尻の標高差は約125mにもなる。また、空港用地の下を、アーチカルバート工の道路トンネル、NATM掘削工の水路トンネルが通っている。長大斜面には、水路の落差工も併設されている。



図一 1 空港用地と施設配置



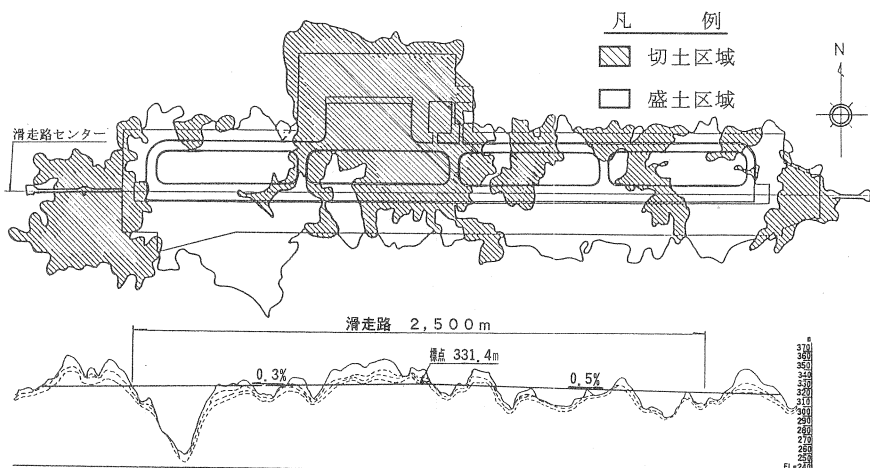


図-2 滑走路センター部縦断面図

2.2 地質・土質

建設地周辺における地質分布を図-3に示す。この地域の基盤岩は、中生代白亜紀から新生代古第三紀に形成された広島型花崗岩類である。一般的に尾根や緩斜面部でまさ状風化が著しく、中でも、地表附近では強風化して部分的に粘土化している。これらの基盤岩を覆って谷部や斜面部には、花崗岩質の転石や移動まさ土から構成される崖錐堆積層が分布している。特に、最も深い善入寺の谷部には、非常に厚くてルーズな崖錐層が形成されている。建設区域での土質を把握するために、74本のボーリングと7測線での弾性波探査を実施した。切土区域での土層構成を図-4に示している。この分布状態を考慮して盛土ゾーニングを検討した。

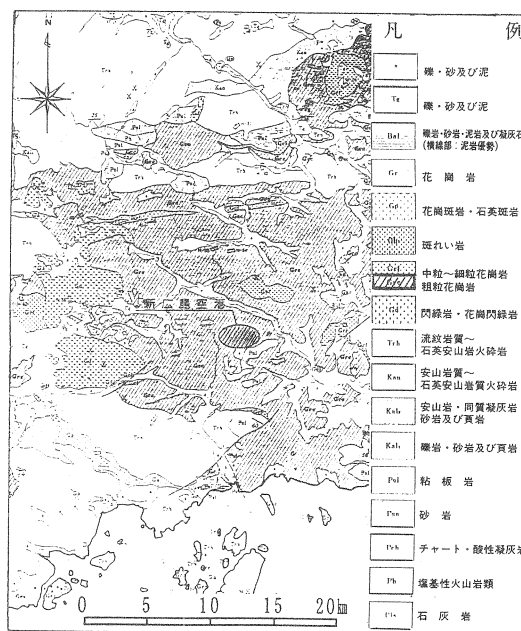
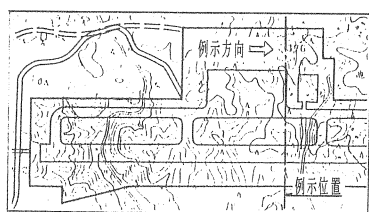


図-3 新広島空港周辺の地質



土層構成の例示位置

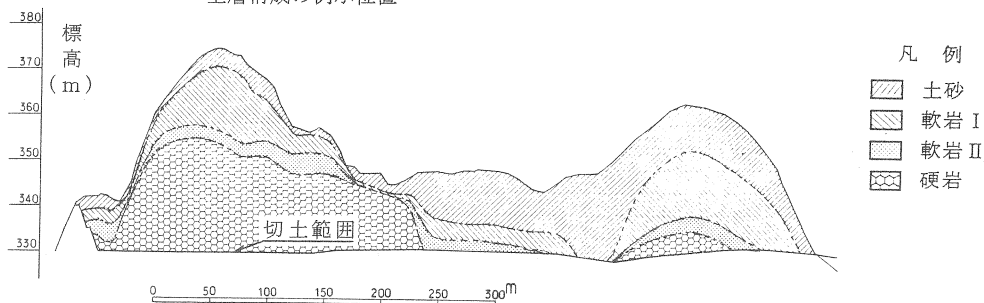


図-4 土層構成の例 (切土区域)

2. 3 盛土体の構造

2. 3. 1 盛土ゾーニング

盛土上に配置される施設が機能を発揮する上で、盛土地盤には次の要件が必要となる。

- 1) 滑走路や誘導路などの舗装構造物の地盤部では、上載荷重を支持するとともに変形や沈下量が小さくて地盤が安定していること
- 2) 斜面部では、のり面の安定に必要なせん断強度を有して斜面崩壊を防ぐこと
- 3) その他の区域では、施工機械のトラフィカビリティーを確保できること

こういった要件に加えて、沈下管理を容易にするとともに沈下予測の信頼性を高めるために、盛土のゾーニングは鉛直方向に材料が均質になる縦型ゾーニングとした。また、各ゾーニング材料の要件としては、次のようなものがあげられる。

- 1) 舗装帯地盤部のゾーンは、圧縮強度が大で十分な締固めが得られること
- 2) 斜面部を含む外側のゾーンは、圧縮強度が大でかみ合わせによるせん断強度が期待でき、かつ、摩擦角が大きく、さらに、のり面の侵食や土砂の流出に強いこと
- 3) 1)、2) 以外の着陸帯部などは、施工機械のトラフィカビリティーに対して十分な強度（コーン指数）を有していること²⁾

これらの要件とともに施工性や切・盛土の土量バランスを考慮して、縦型ゾーニングの配置は図-5のように設定した。ここで、各ゾーンは凡例で示すような材料構成である。また、のり表面は、侵食や土砂の流出に強い硬岩材（粒径80cm以上）を用いたリップラップ工とした。なお、盛土の表層部2m厚には表面の整形上から良質な土砂を盛立てた。また、Aゾーン下部にあるN値30以下の崖錐層は、斜面安定の観点から除去することとした。この盛土ゾーニングに対応した切・盛土の土量バランスは表-2のとおりである。

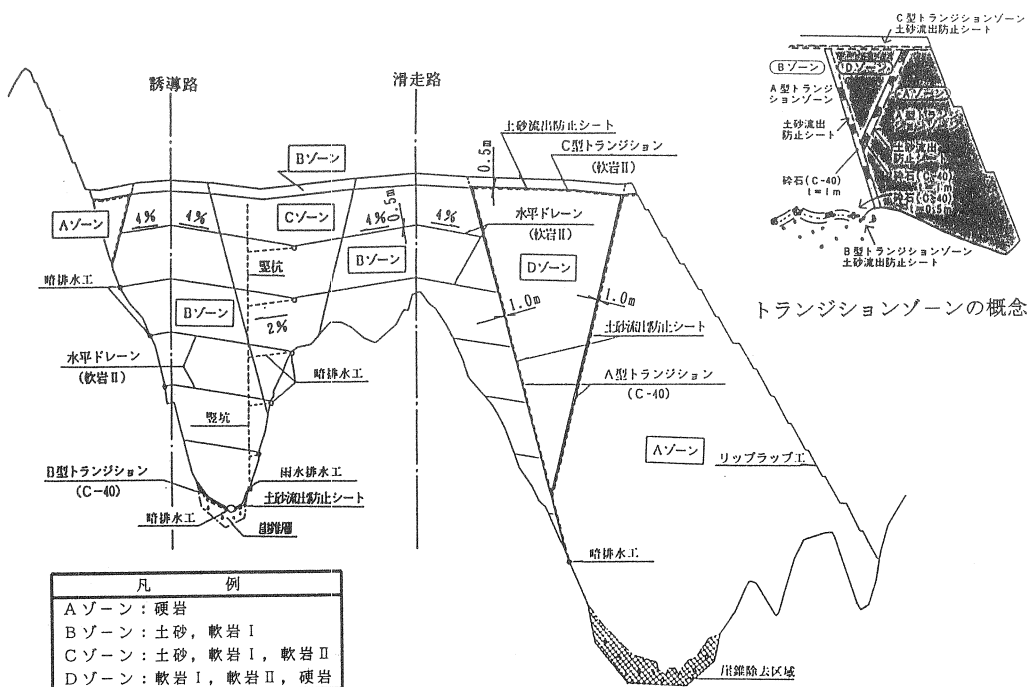


図-5 縦型ゾーニングによる盛土体構造

2.3.2 排水対策

まさ土である土砂や軟岩は、最適含水比付近で締固めを行えば十分な支持地盤を形成できる盛土材であるが、雨水や地下水が浸透すると強度低下や水浸沈下などの特性を示す。このため、土砂や軟岩Ⅰで滑走路や誘導路の基盤を構成するBゾーンでは、雨水や浸透水に対する十分な排水対策が肝要となる。

ここでは、Bゾーンの盛土体内に鉛直方向に10m間隔で水平ドレーン層を配置した。また、各ゾーンの盛土材の粒径が異なることから、ゾーニングの境界で細粒分が粗粒径側へ抜け出し、盛土体内に空隙を生じる恐れがある。この現象を防ぐため、ゾーニング間に境界層（トランジションゾーン）を配置した。これらの具体的な配置は図-5のとおりである。さらに、地山からの湧水を円滑に排水するために、谷筋に有孔塩化ビニール管を碎石で巻き立てた暗排水工を随所に設置した。なお、盛土施工中の雨水は、釜場、堅坑、雨水排水工を適切に配置して場外へ排水した³⁾。

3. 用地造成工事

3.1 施工管理基準および品質管理基準

本工事に先立って、切土工法、盛土工法を検討するとともに、施工管理および品質管理基準を設定するために、現地で転圧試験工事および掘削試験工事を実施した。その結果、転圧工法や発破工法とともに土量変化率（表-3参照）、さらには、施工管理基準および品質管理基準（表-4参照）が得られた。特に、軟岩Ⅱ、硬岩の締固め度の基準値は、十分な支持力を得るために95%以上とした。

3.2 用地造成工

用地造成工事においては切土工、運搬工、盛土工の3つの工種がそれぞれにおいて効率的に進捗すると同時に、3工種間において施工内容やその進捗はお互いに連動したものでなければならない。例えば、Aゾーンの盛土工では早目に硬岩を必要とするが、切土工では硬岩は土砂や軟岩の後にしか切出せない。これを丁場のやりくりで全体工程で待ちが生じないよう工夫して切土していかなければならない^{3)~4)}。

3.2.1 切土工

硬岩発破のパターンは、破碎効率や環境への影響の面からも検討して選定した。最大で5~6万m³/日の切土を行なうため、最盛期には11セットの重機を投入した。

3.2.2 運搬工

切土材を効率的に運搬するために、場内工事用道路は77tの重ダンプ専用道（幅員24m）と、工事用一般車専用道とに分離して配置した。このことは場内交通安全対策の面でも効果があった。

3.2.3 盛土工

盛土工の前処理として、まず立木伐開や除根を行なった。続いて盛土の不等沈下を防ぐため、不良土や崖錐の除去を行なった。さらに、盛土厚が2m未満となる箇所や、切土と盛土との境界となる附近については表土の除

表-2 切・盛土量バランス (単位: 万m³)

	土 砂	軟 岩 Ⅰ	軟 岩 Ⅱ	硬 岩	不良土等	合 計
切土量	443	198	289	927	39	1,896
盛土量	428	196	291	873	0	1,788
取扱土量	871	394	580	1,800	39	3,684

注) 切土量は盛土量換算で示している。

表-3 土量変化率

	土 砂	軟 岩 Ⅰ	軟 岩 Ⅱ	硬 岩
C 値	0.90	1.00	1.00	1.15
L 値	1.15	1.35	1.45	1.65

注) 硬岩の土量変化率 C 値については、施工実態を踏まえて1.20に変更している。

表-4 施工管理基準および品質管理基準

1層毎の管理項目		土 砂	軟 岩 Ⅰ	軟 岩 Ⅱ	硬 岩
施	最大粒径	30cm	30cm	30cm	80cm
	仕上り厚	30cm	40cm	60cm	100cm
工	転圧回数	4回	6回	8回	10回
	最大転圧回数(第2方眼)に対する 初期の度の転圧回数	90%以上	90%以上	95%以上	95%以上
質	品質管理 (d/目)	R1法	1,000	1,000	1,000
		砂置換法	2,000	2,000	2,000
		水置換法			

去を行なった。次に、谷筋にそって暗排水工および雨水排水工を施工した。

ここでの用地造成工事は、高盛土であることに加え、用地造成を短期間で施工し、その後直ちに滑走路、誘導路等の舗装を施工しなければならない。このため、盛土の施工に際しては、1層ごとの盛土材を十分に締固めていった。施工および品質の管理は、現地試験工事から得られた表-4の基準に基づいて実施した。また、のり面工の進捗が用地造成工事全体のクリティカルパスとなることから、リップラップ工をできるだけ先行して施工した。さらに、締固め度の測定は、土砂、軟岩Ⅰ、軟岩Ⅱについては、続く盛土工に支障とならないように、即時性の高いRⅠ密度水分計による方法を主体に、砂置換法(JIS A 1214)を併用して実施した。なお、硬岩については水置換法で測定した。

4. 盛土動態

今回のような超高盛土工事はわが国でも経験がなく、造成地盤が設計どおりの挙動を示すかどうか不明な点が多い。また、盛土地盤の安定や沈下の検討において事前に十分に把握できない、例えば崖錐層強度の評価などの不確定な要素も多くある。こういった問題は、盛土の規模が大きくなるほど顕著となる。これらの問題に対処するため、施工期間を通して盛土の動態や地盤の挙動を把握し、観測結果を随時解析して設計内容と対比しながら施工管理、品質管理に活用するとともに、問題があれば施工にフィードバックできる盛土動態観測体制を導入した。このシステムの導入によって、効率的かつ確実な施工が可能となった。

一方、盛土に続く舗装工の着手時期や造成用地の供用時期を見極めるには、残留沈下量を予測して地盤の安定動向を把握する必要がある。このような観点からも、沈下量やその他の地盤挙動についての盛土動態観測は不可欠である。

これらのことから、今回大規模かつ広範にわたる盛土動態観測調査を行った。この観測調査は、本事業の達成に寄与するとともに、今後の高盛土の研究、とりわけ風化花崗岩の高盛土の研究に資すると思われる多くのデータと知見をもたらしている。

4.1 動態観測調査

動態観測項目、使用した観測計器およびこれらの配置を表-5および図-6に示す。超高盛土となる善入寺谷区域には、測点を重点的に配置した。この動態観測は、盛土施工の全期間をとおして実施した。なお、開港後の現在でも、空港供用に支障となる一部の測点を除き、継続して実施している。

表-5 盛土動態観測項目と観測点の配置

観測項目	観測計器	平面配置	鉛直方向の配置
層別沈下	層別沈下計	8	5 m 間隔にクロスアームを設置し、沈下量を計測
地表面沈下	沈下杭	37	
地中変位	挿入式傾斜計	7	50 cm 間隔で変位を計測
のり面変位	移動杭	40	
	伸縮計	14	
地下水位	層別沈下計と	15	
	挿入式傾斜計		
間隙水圧	間隙水圧計	2	10 m 間隔で、計9個の計器を設置

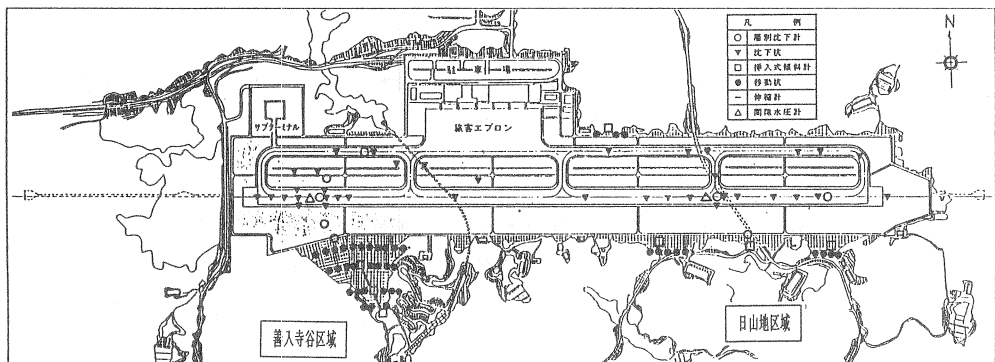


図-6 盛土動態観測点の配置

4. 2 観測動態と残留沈下量

観測された動態を代表測点での主要項目について例示する。

4. 2. 1 沈下量

高盛土地域での、まさ土を主体とするBゾーン（土砂、軟岩I）から成る滑走路地盤部、誘導路地盤部での沈下量の経時変化を図-7に示す。この図は、上層から5層（層厚約2.5m）までの各層別沈下計の、基盤から各層別沈下計までのトータル沈下量を示している。これによると、盛土が概ね天端に到達した以降は、沈下は安定化の傾向にあり、用地造成が完了した時点では沈下はほぼ収束している。さらに、5回の集中豪雨を経験しているにも拘らず、その影響は沈下曲線には現われていなく、また、水位も盛土体まで上昇していない。

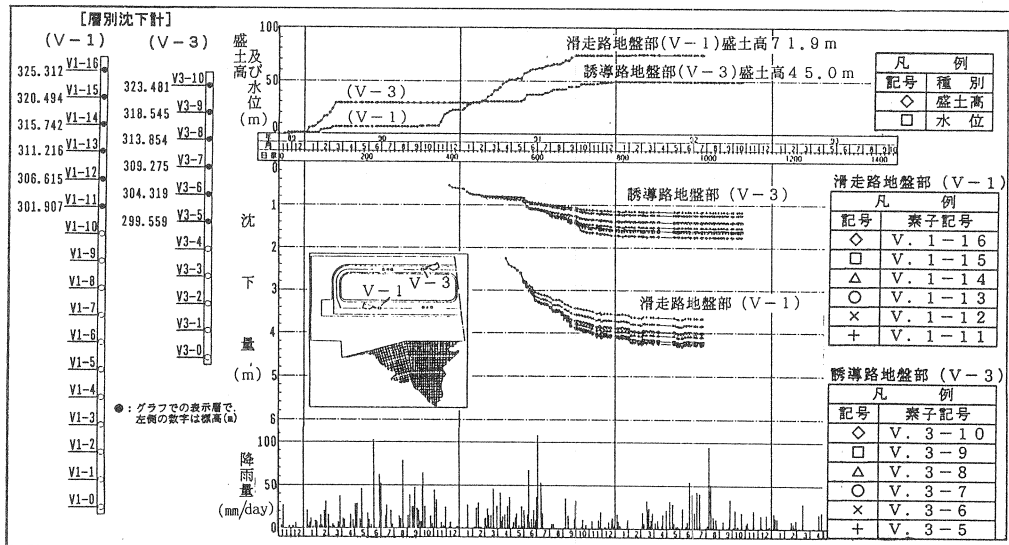


図-7 沈下量の経時変化 (Bゾーン)

4. 2. 2 のり面水平変位

長大のり面のほぼ中央部でののり面水平変位の経時変化を、盛土高と降雨量の関係において示したものが図-8である。全変位量でみてもわずか1cmで、これは盛土が立上る初期の段階でほとんど発生し、その後は変位していない。このことは、リップラップ工の効果が出ているためと思われる。降雨の影響もほとんど生じていない。

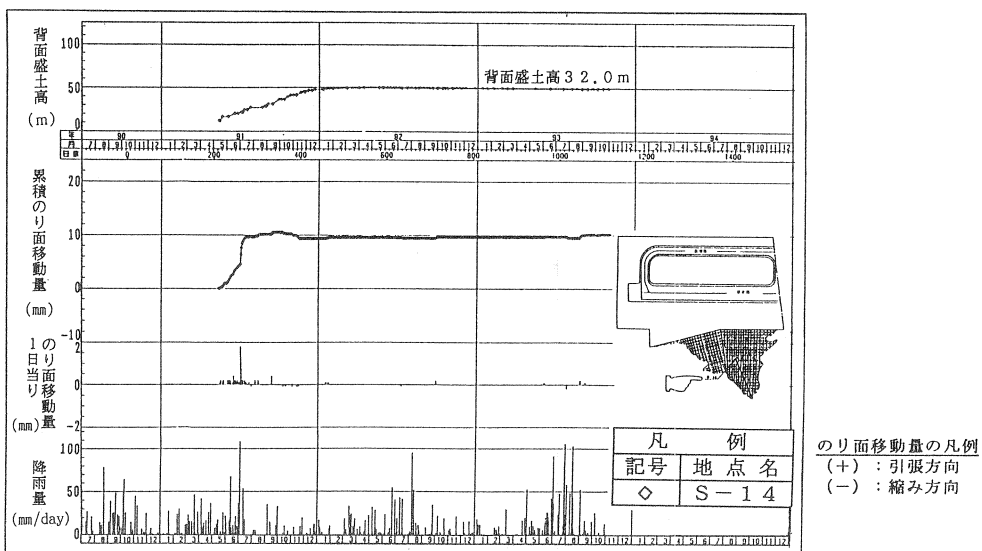


図-8 のり面水平変位の経時変化 (のり面中央部)

4. 2. 3 残留沈下量

盛土層厚が大きいBゾーンの2測点での、双曲線法による残留沈下量の予測結果を表-6に示す。全層厚8.2. 1mの滑走路地盤部では、用地造成完了時点で4.2m沈下している。用地造成完了時点より4か月後までの計測データに基づき、双曲線法によって残留沈下量を予測したところ、4.2cmとなった。同様にして、同じ材料で盛立てられた他の3測点での予測値も加味すると、Bゾーンでの4測点での残留沈下量は、概ね1~4cmの範囲に収まる。これらのことから判断して、本工事では非常に安定した超高盛土を構築できたと言える。

表-6 残留沈下量の予測結果 (Bゾーン)

区分	層厚 (m)	計測沈下量 (m)	最終沈下量 (m)	残留沈下量 (cm)
		(残留沈下量予測時点)	(予測値)	
滑走路地盤部 (V-1)	崖錐層	10.2	0.1	0
	盛土層	71.9	4.2	4.2
	全層	82.1	4.3	4.3
誘導路地盤部 (V-3)	崖錐層	2.8	0	0
	盛土層	45.0	1.7	1.5
	全層	47.8	1.7	1.5

備考：滑走路地盤部の残留沈下量予測時期は、用地造成完了後4か月の平成4年6月である
 誘導路地盤部の残留沈下量予測時期は、用地造成完了後5か月の平成4年6月である

5. 高盛土動態検討のための指針

今回の観測調査で得られた計測データを整理・解析したところ、この種の風化花崗岩を用いた高盛土に対する次のような指針が得られた。

(1) 盛土体沈下ひずみと盛土高の関係

新広島空港建設工事における、まさ土を含むBゾーン(土砂、軟岩I)、Cゾーン(土砂、軟岩I、軟岩II)での全層厚に対する沈下ひずみのデータに、比較的似かよった材料で盛土された新岡山空港建設工事と新高松空港建設工事での実測データを加味して、盛土体沈下ひずみと盛土高の関係をみてみた。その結果を示したものが図-9である。これから、盛土体沈下ひずみは $S_p = 0.078 H$ (S_p : 盛土体沈下ひずみ、 H : 盛土高 (m)) で推定できる^{5)~6)}。

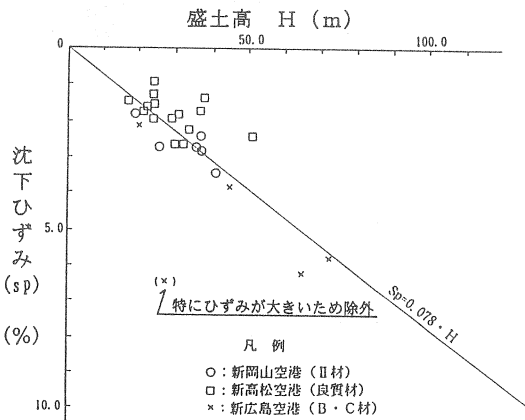


図-9 盛土体沈下ひずみと盛土高 (Bゾーン)

(2) 地中変位と背面盛土高の関係

挿入式傾斜計の各観測点における最大水平変位量と、その時点の背面盛土高との関係を示したものが図-10である。最大水平変位量は、背面盛土高とほぼ直線的な関係にあつて、弾性的な挙動を示している。しかし、背面盛土高が40~50m以上になると、最大水平変位量は増加しないで一定となる傾向になる。このことから、背面盛土高が40~50m以上となっても、盛土荷重は地中変位量に影響しないと見える。

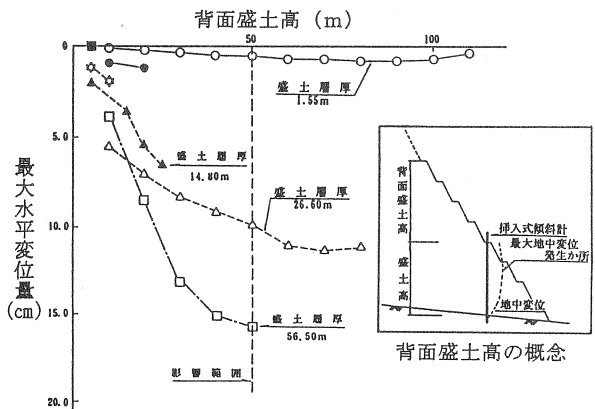


図-10 最大地中水平変位と背面盛土高

(3) 最終沈下量の予測精度と盛土放置期間

本調査では盛土完了後、沈下量の経時変化が計測された時点ごとに最終沈下量を予測してきた。これら一連の予測最終沈下量を将来沈下量と呼び、最も遅い時点での将来沈下量を最終沈下量とみなした。また、各将来沈下量の予測時点と盛土完了時点との時間差を盛土放置期間とみなして、この盛土放置期間と将来沈下量と最終沈下量との差の関係をプロットしたものが図-11である。この図から、精度良く最終沈下量を予測するには、盛土放置期間は4～6か月あれば良いことがわかる。即ち、盛土完了後4～6か月までのデータを用いれば、残留沈下量を精度良く予測できると言える。

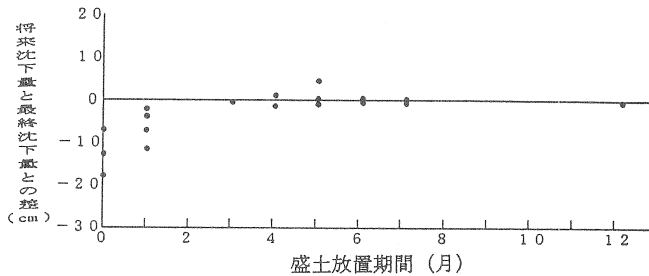


図-11 最終沈下量と盛土放置期間

6. まとめ

新広島空港建設工事では、大規模な土工事であったにも拘らず、残留沈下量がわずか1～4 cmの非常に安定した超高盛土用地を、3年2か月の短い工期で造成することができた。この盛土の安定性は、用地造成完了後に5回の集中豪雨を経験したにも拘らず、堤体への影響は全くみられなかったことから実証できる。これら本工事において得られた風化花崗岩を用いて安定した高盛土を造成するための知見は以下のとおりである。

- (1) 盛土材の特性を生かし、また、施工管理が容易で、かつ、切・盛土量のバランスがとれた材種に応じた縦型ゾーニングは、安定した盛土を造成する上で非常に有効である。
- (2) 均質な縦型ゾーニングにより、残留沈下量予測の信頼性が大幅に向上する。
- (3) ゾーン間の土砂移動を防止するトランジションや、堤体内の浸透水を排出する水平ドレーンを的確に配置することにより、盛土体の安定性は向上する。
- (4) のり面工としてのリップラップは斜面崩壊に対して非常に有効である。
- (5) 現地試験から得られる施工管理基準および品質管理基準を適切に設定し、これによって施工を管理していくことは肝要である。
- (6) 全施工期間を通して盛土の動態を観測することは、施工管理や品質管理に役立つとともに残留沈下量の予測には不可欠である。

また、本工事では大規模な切・盛土工事や付帯工事を施工しているが、これにより、山岳地域での用地造成工事が可能な領域が拡大されたと言えよう。

さらに、盛土動態観測結果から得られた知見をもとに、次のような指針を示すことができる。

- (1) まさ土や軟岩の風化花崗岩による高盛土体の沈下ひずみは、概ね $S_p = 0.078H$ (S_p : 沈下ひずみ、 H : 盛土高 (m)) で推定できる。
- (2) 背面盛土高が高くなることによって地中水平変位が増大するのは、背面盛土高が概ね40～50 mまでの範囲で、これ以上高くなっても地中水平変位は増大しない。
- (3) 双曲線法を用いて最終沈下量を予測するには、盛土完了後4～6か月後のデータを用いて行なうのが最も適切である。

謝辞

建設技術課題や盛土体の構造の検討、さらには盛土動態の観測など広範にわたって新広島空港建設技術検討委員会 (委員長: 吉國広島大学教授) の御指導を得た。また、本稿の執筆にあたって吉國広島大学教授の御指導を得た。ここに記して深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) 土質工学会編(1974):「日本の特殊土」, pp.85-140
- 2) 日本道路協会(1986):「道路土工・施工指針」, pp.47
- 3) 村田 繁(1991):新広島空港建設にみる大土工事,「土木施工」,VOL.32,NO.12,
pp.29-40
- 4) 村田 繁(1993):開港間近の新広島空港,「土木技術」,VOL.48,NO.3,pp.32-41
- 5) 岡山県(1990):「新岡山空港工事誌(技術編)」,pp.402-403
- 6) 運輸省第三港湾建設局高松港工事事務所(1990):「新高松空港建設工事の記録」,pp.452