

山口県西部地域における盛土材の土質工学特性

Geotechnical Engineering Characteristics of Earthfill Materials
in the West of Yamaguchi Prefecture

瀬原洋一 Yoichi Sehara (常盤地下工業(株)次長)

山本哲朗 Tetsuro Yamamoto (山口大学工学部社会建設工学科助教授)

山口県西部地域で実施した 200 件以上におよぶ宅地造成・道路・築堤盛土工において用いた地質系統の違う 10 種類の盛土材料について土質工学的な性質を調べた結果を記載している。また、その材料の盛土材としての適用性について若干検討した結果を述べる。

キーワード：盛土、土の分類、地質学 (IGC:D1/K4)

1. まえがき

山口県は多岐にわたる地質から構成されており、それに応じて地盤の種類も多種多様である。

著者の一人、瀬原は過去ほぼ10年間に県の西部地域においてため池・宅地造成・道路・築堤工における盛土工事に用いる盛土材料の土質工学上の諸性質を調べてきた。その盛土材は10種類の地質系統の範疇に分類され、試験個数は200個以上にも及ぶ。

本報告ではこういった地質系統の異なる現場ごとに使用した盛土材としての土の諸性質を記載するとともに、その盛土材としての適・不適について検討した結果を述べる。

2. 調査地点とその地質系統

図-1の山口県地質図¹⁾において西部地域の①～⑩の数字は盛土工事で用いた各盛土材の属する地質系統を古い年代ごとに付した番号である。表-1には調査した現場のある市町名を記す。なお、この地質図における地質系統は大別して分類されたものであり、本研究ではその目的から細分化した地質系統名を使用していることを断っておく。

図-1から分かるように、県下では多くの地質が比較的狭窄して分布する。そのため岩石の種類は豊

富であり、その風化の程度も広範にわたることが知られている。その結果、土質工学上の性質が種々異なった多岐にわたる地盤が分布する。

3. 地質系統ごとの盛土材の諸性質

各地質系統ごとに盛土材の物理定数および力学定数を測定し、それを一覧表にまとめたのが表-2である。盛土工事はため池の築堤が最も多く、その土量は3,000～5,000m³で高さ15m以下のものが多い。次いで道路の盛土工事である。それぞれの定数は地盤工学会の土質試験によって求めた。CBR値は4～5個の実験から得られた値の範囲を示すが、他の定数は表中に示した個数の実験から得られた平均値を示す。

以下に各地質系統ごとにその代表的な岩石、その風化土の盛土材の諸性質および盛土材としての適否の判定結果を述べることにする。

①周防変成岩

周防変成岩の地質年代は中生代トリアス紀である。従来用いられてきた三郡変成岩は、この周防変成岩と古生代石炭紀-シルル紀の三郡-蓮華変成岩と一緒にしたものだが、最近の研究によって両者は別々の地質系統であることが明らかにされた¹⁾。

周防変成岩としての泥岩ないし砂質岩起源の黒色

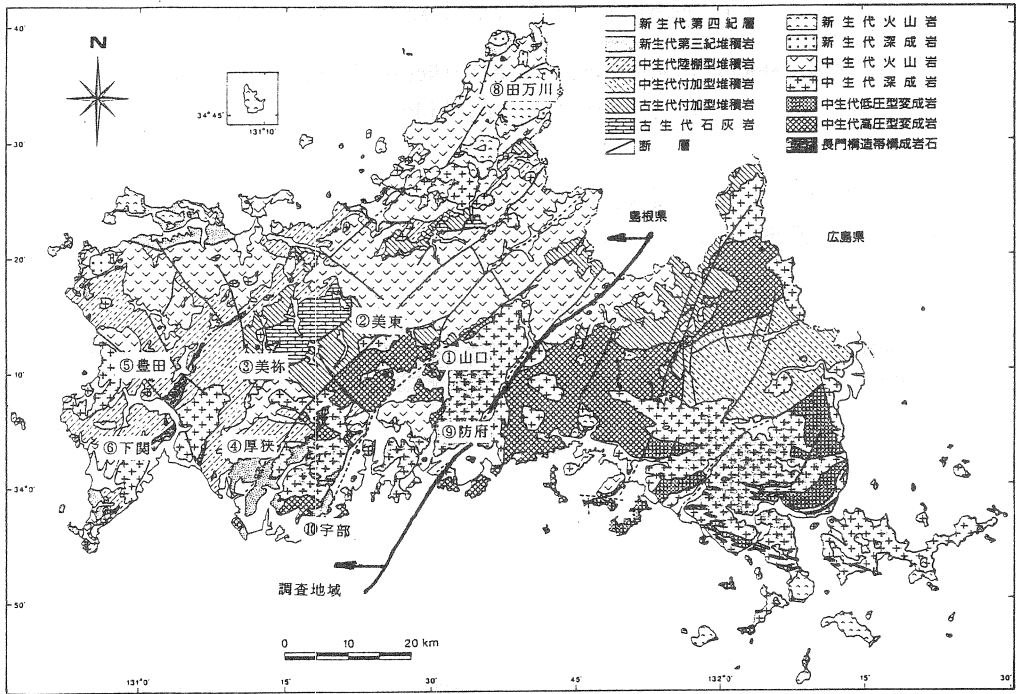


図-1 地質系統ごとの盛土材料を採取した代表的な位置
(地質図は山口地学会の承認を得て転載)

表-1 各地質系統において盛土材料を採取した市町村名

番号	地質系統	市町村
①	周防変成岩	山口・小郡・宇部
②	大田層群	美東
③	常森層	美祢
④	厚保・美祢層群	美祢・厚狭・菊川
⑤	豊浦・豊西層群	豊田・菊川
⑥	関門層群	下関・菊川・豊田・豊北・長門
⑦	周南層群	小郡・美祢
⑧	阿武層群	田万川・萩・長門・豊北・旭
⑨	広島花崗岩類	防府・宇部・豊浦・下関・厚狭
⑩	宇部層群	宇部・小野田・厚狭

片岩、塩基性ないし凝灰岩起源の緑色片岩が山口、徳山、宇部に分布する。いずれも広域変成作用を受けており、これらの岩石の風化した軟岩および地盤は盛土材として用いるには一般に問題があると言われるている。

著者らは最近、この周防変成岩帯において見られる豪雨の際の切土斜面の崩壊を調査した²⁾。

表-2は高さ20m級の高盛土の上部材料として各現場で対象にした盛土材を用いる場合の適・不適をJRの建造物設計標準(表-3)³⁾にしたがって決定した結果を示す。

表-3によると、A群は何等問題はない土、B、C群は適当な処理を施せば問題のない土、D群は問題のある土と評価される。したがって、土質分類でMH~CHの範疇にある三郡変成岩の風化した盛土材は高盛土における盛土上部材として使用するには不適当と考えられ、表-2の下から2行目の欄に×印を記した。同表で○印は適当、△印は安定処理をすれば適当と言うことを意味する。

周防変成岩の風化した土の自然含水比 w_n は30~90%と幅が大きい。また液性指数 I_L の平均値は0.85であり、トラフィカビリティーが小さいので、所定の締固めの下で施工するには問題のある土であると予測された。なお、この I_L から盛土材としての適否については改めて次節で検討する。

②大田層群

地質年代は古生代ペルム紀である。秋吉台南方に大田層群、西方に常森層が分布する。両層とも風化し難いチャートの他に、砂岩、粘板岩という堆積岩から構成される。

土質は岩塊、礫、砂といった粗粒土が主体であるので、道路および堤体の盛土材として用いる場合の評価は高い。盛土CBR値(攪乱)=25~50%が得られており、他の土よりも比較的大きい。しかし、これ自体では止水性の要求される堤防盛土材としては適当な材料ではないので、透水性の低い材料を混合したり、止水ゾーンを設けたり、あるいは被覆材を吹き付けることなどによってその対策を講じている。

③常森層

前述したように、この地質年代は大田層群と同じである。表-2に示すように、常森層の土は大田層群に比較して細粒分が多いという点が特徴であろう。

④厚保・美祢層群

地質年代は中生代トリアス紀である。砂岩、頁岩

が主体であり、総じて堅固であるが、風化の多くは連続している。しかし、風化のそれほど進行していない岩塊も現存することもある。

ほとんどの土において $I_p > 20$ であるが、 $I_p < 10$ の場合の低塑性粘土も少なくないので、これらの土は盛土工において取り扱いが容易な土とは言えない。特に赤褐色の高い含水比の粘性土の取り扱いには十分な注意が必要である。

⑤豊浦・豊西層群

地質年代は中生代ジュラ紀である。砂岩、頁岩といった岩石が主体であり、豊浦郡南部における田部盆地周辺の山間部などに主として分布する。その風化した地盤は、礫から粘土までの広範な土粒子を含んだ、いわゆる粒度分布の良い土に分類される。その w_n は28.7%と小さい。また、盛土CBR値(攪乱)は5~15%である。それゆえ、総合的にはこの土は盛土材に適していると判断される。事実、実際の堤体の盛土工は比較的容易に行われた。

⑥関門層群

地質年代は中生代白亜紀前期である。凝灰岩、熔結凝灰岩、結晶凝灰岩という岩石が主体であり、その風化土は特異な性質を有する。関門層群は下関~豊浦~萩~山陰にかけて広範囲に分布する。後述する周南層群、阿武層群も同じ白亜紀に属する地質であり、関門層群よりも若い地質である。

関門層群は火山性物質の少ない脇野亜層群(堆積岩優勢層)、火山性物質の多い下関亜層群(火山岩優勢層)に分けられる。すなわち、脇野亜層群は砂岩、頁岩が主体であり、その風化土は $w_n=30\%$ 程度で、締固め度90%の締固めはきわめて容易に行うことができる。また、その土の風化の度合いは場所的にそれほど変化しない。こういった性質を有する土であるので、この土は通常の盛土材に適するものと判断される。

一方、下関亜層群は安山岩~流紋岩を主体としており、風化土の風化の度合いは場所的に大きく異なる。そのため、粒度、コンシステンシー等の諸特性が場所ごとにかなり異なる。また w_n は30~90%と幅が大きく、値そのものも大きい。このような性質を有する土は盛土材として用いるには難点がある。

⑦周南層群

地質年代は中生代白亜紀後期である。安山岩、流紋岩質凝灰岩、同質の熔結凝灰岩、結晶凝灰岩が主であるが、一部には火山角礫岩も存在する。小郡、

表-2 盛土材料の諸性質

盛土材料番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
日本統一土質分類	MH~ CH	GM~ GC	ML~ CL	ML~ MH	ML~ MH	ML~ CL	ML~ CL	MH~ CH	SM~ SC	CH~ CL
試験個数	30	16	19	21	20	34	30	28	23	30
自然含水比 $W_n(\%)$	59.0	11.5	21.4	60.4	28.7	37.3	26.5	57.4	19.4	31.1
比重	2.67	2.72	2.73	2.66	2.72	2.68	2.72	2.69	2.72	2.66
液性限界 $W_L(\%)$	63.9	NP	43.8	66.8	52.3	49.1	39.2	59.1	NP	59.5
塑性限界 $W_p(\%)$	30.5	NP	27.9	45.9	26.6	32.1	22.6	38.8	NP	26.2
塑性指数 I_p	33.4	-	15.9	20.9	25.7	17.0	16.6	20.3	-	33.3
液性指数 I_L	0.85	-	0.40	0.69	0.08	0.30	0.23	0.91	-	0.14
礫 $(\%)$	3.5	60.0	12.9	5.9	32.7	9.2	23.1	5.6	3.9	2.7
砂 $(\%)$	12.6	22.8	28.4	15.3	12.5	20.1	19.2	18.9	76.5	14.4
シルト $(\%)$	46.1	(17.2)	25.5	62.3	33.4	43.3	33.4	36.9	(19.6)	34.2
粘土 $(\%)$	37.8		33.2	16.5	21.4	27.4	24.3	38.8		48.7
最大乾燥密度 $\rho_{max}(g/cm^3)$	1.41	1.92	1.72	1.41	1.59	1.51	1.62	1.27	1.72	1.48
最適含水比 $W_{opt}(\%)$	30.0	11.5	18.6	28.7	22.7	24.6	22.2	30.2	15.4	25.7
現場CBR値 $(\%)$	5~ 10	25~ 35	15~ 25	5~ 10	15~ 20	6~ 10	7~ 15	3~ 10	5~ 10	3~ 15
盛土CBR値 $(\%)$	1~ 5	25~ 50	10~ 20	3~ 10	5~ 16	3~ 7	3~ 10	1~ 3	15~ 20	1~ 5
JRによる判定	×	○	△	△~ ×	△~ ×	△	△	×	○	○~ △
I_L による判定	×	○	○	△	○	△	△	×	○	○

表-3 (a) 盛土材料の適用区分

	適用区分 I	適用区分 II
上部盛土	[A群] 安定処理をした [A群] [B群] [V群]	[A群] [B群] 安定処理をした [C群] [V群]
下部盛土	[A群] [B群] [C群] 安定処理をした [V群]	[A群] [B群] [C群] 安定処理をした [V群]

表－ 3 （ b ） 盛土材料の群分類

群記号	土質および岩質
[A 群]	(GW)(GP)(G-M)(G-C)(G-V)(GM)(SW)(S-M)(S-C) 硬岩ずり（はく離性の著しいものを除く）
[B 群]	(GO)(GC)(SV)(SO)(SP)(SM)(SC) 硬岩ずり（はく離性の著しいもの）、難岩ずり、 ぜい弱岩ずり（[D 群] に含むものを除く）
[C 群]	(GO)(GV)(SV)(ML)(CL)
[D 群]	(SO)(MH)(CH)(OL)(OH)(OV)(Pt)(Mk) ぜい弱岩（粘土化しているもの、施工後風化が 進行し、あるいは転圧により泥土化するもの）
[V 群]	(VH ₁)(VH ₂)

吉部地区に分布する。

岩石の種類の多いことに起因して土質の種類も多岐にわたり、盛土材としての品質管理が容易ではないが、この面を解決できれば粒度分布が良いので所要の締固めは容易に行うことができる。

⑧阿武層群

地質年代は周南層群と同じ中生代白亜紀後期である。安山岩質・流紋岩質凝灰岩、同種の熔結凝灰岩、結晶凝灰岩を主体にする。阿武郡一帯を初め、長門、豊北に分布する。

安山岩質な岩石の風化した土は盛土材としては最も問題の大きいものであり、一般に土工期間がきわめて遅延する傾向がある。その理由は以下に述べるとおりである。1)地山の w_n が非常に高くで平均でも $w_n=57.4\%$ であって、 $w_L=59.1\%$ にきわめて近い。2)攪乱によってCBR値が低下することから推察されるように、こね返した後の土の強度低下が著しい。3)転圧効果が悪く、所要の締固めを行い難い。4)施工後、スレーキング現象を生じる。

⑨広島花崗岩類

地質年代は白亜紀後期である。花崗岩を代表とする花崗閃緑岩、閃緑岩、はんれい岩という深成岩が主体である。

花崗岩類の風化土はまさ土として広く知られている。土の工学上の分類ではまさ土は特殊土と称されるが、山口県下では盛土材として最も需要の高い土である。それはまさ土が以下の性質を有するためである。1)施工機械のトラフィカビリティーが確保できる。2)所要の締固めが容易に行われ、その時の土の強度も大きい。3)土の諸特性のバラツキが小さくて均質な盛土材である。なお、本調査で対象にしたまさ土もこの3つの特性を有するものであった。

なお、塩基性鉱物を多量に含む、はんれい岩、かんらん岩の風化土には一般に粘土分が多く存在する。

⑩宇部層群

地質年代は新生代第三紀であり、軟質の砂岩、頁岩、石炭、礫岩が主体である。厚狭、宇部、小野田に分布する。このうち、地質年代のもっとも新しい宇部夾炭層風化土の盛土材としての特徴を述べる。

宇部夾炭層は続成作用が短いので砂および粘性土の各単層ごとに土質特性が明確に異なり、盛土材として土質の区分が簡単であり、それに対応して盛土工が決められる。

その内、砂は粒径は均一であり、転圧効果は悪い。また、含水比の幅が小さいので、トラフィカビリチの確保は天候に作用される点に留意せねばならない。

これに対して、粘性土は高塑性～低塑性のものがあ
るが、高塑性粘土の方が多い。土工は容易な土であ
る。

4. 液性指数から見た盛土材としての適否

地質系統ごとに盛土材のすべての液性指数 I_L と自然
含水比 w_n の関係を調べた結果を図-2に示す。 I_L
は式(1)で与えられ、自然土を乱した際にどの程度液
体状になり易いかを示す指数であって、自然含水比
が液性限界と塑性限界の範囲にあれば、 $0 < I_L < 1$ 、
液性限界以上では $I_L > 1$ となる。

$$I_L = (w_n - w_p) / (w_L - w_p) \quad (1)$$

日本の一般の沖積粘土では $I_L=1$ 、埋め立て間もな
い粘土では I_L は1以上、洪積世の過圧密粘土の I_L は1

よりかなり低い値を示して、そのような粘土は安定
していると言われている⁴⁾。

図中の直線は式(1)の I_L と w_n との関係を示す。例え
ば周防変成岩の風化土の場合には表-2に示すよう
に $w_L=63.9\%$ 、 $w_p=33.4\%$ であるので、 $I_L=(w_n-33.4)/$
 $(63.9-33.4)=0.033w_n-1.10$ が得られ、この直線関係
が図中に示されている。それぞれの盛土材の測定値
がこの直線上に乗っていないのは、同一の地質系統
に属する土であってもそのコンシステンシー限界値
に幅があり、また w_n は自然土に対する値であってコ
ンシステンシー値を求める際のように粒径 $420\mu m$ 以
下の土に対して得られた値ではないためである。

上述したように、埋め立て直後の粘性土では $I_L >$
1であり、著者らの長期にわたる施工経験に照らして

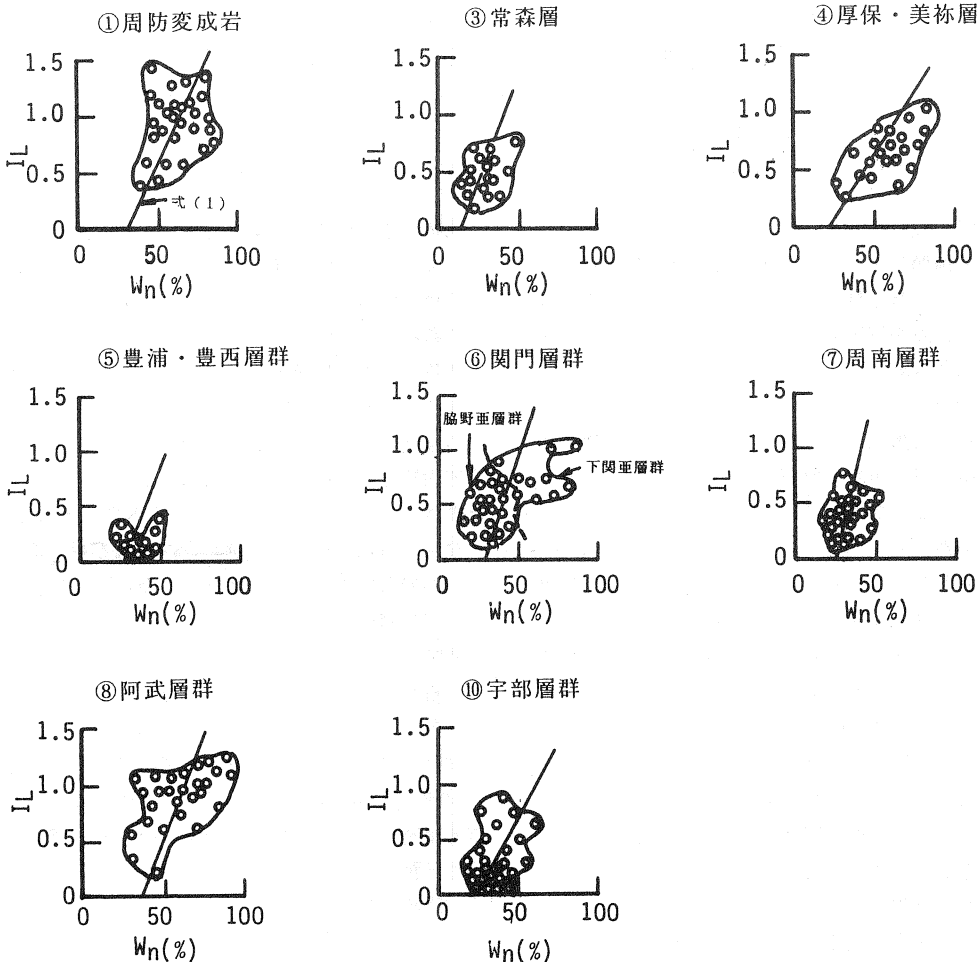


図-2 地質系統ごとの盛土材料の I_L と w_n の関係

みても、そういう状態にある盛土材は施工が難しいと考えられる。言い換えると $w_n > w_L$ にある盛土材の場合には施工が困難である。この判断基準によれば I_L 値が1以上にある盛土材、すなわち周防変成岩帯、阿武層群の土は盛土材には不適當であると判断される。

これに対して I_L 値が1以下の常森層群、豊浦～豊西層群、周南層群の土は適當であると判断される。 I_L が両者の間にあるような美祢層群、下関亜層群、脇野亜層群および宇部層群の土は条件によって適・不適になると考えられる。このようにして判断した施工の難易度の結果は表-2の最下段の欄に示す。

表-2から I_L による判定結果はJRの高盛土上部材料としての判定結果とおおむね一致することが示された。この I_L 値が盛土材として適否を判定する簡易な指標となるのかは今後の課題である。

5. 結論

山口県西部地域において過去ほぼ10年間における200件以上の盛土工で用いた土の土質工学的性質を地質系統ごとに分類して調べるとともに、それを盛土材として用いる際の適否について検討した。得られた結論は次のようにまとめることができる。

1) 地質系統ごとに岩種が違うことに起因して盛土材の物理的・力学的性質がかなり異なる。

2) 高盛土材の盛土上部土として利用できると判断された土は広島型花崗岩の風化したまさ土および大田層群の土であり、両方の土とも粗粒分に富み、粒度が良いという特徴をもつ。

3) 土の液性指数 I_L の値から比較的小規模の盛土工に用いる盛土材としての適否を調べた。それによると、 $I_L > 1$ となる土の多い三郡変成岩帯、阿武層群の土は不適であり、 $I_L < 1$ に入る常森層群、豊浦～豊西層群、周南層群の土は適する。美祢層群、下関亜層群、脇野亜層群および宇部層群の土はその中間であると判断された。

参考文献

- 1) 山口地学会編：山口県の岩石図鑑、第一学習社、1991
- 2) 山本哲朗・大原資生・西村祐二郎・島 敏史・高本直邦・瀬原洋一：山口県下の三郡変成帯における切土斜面に見られる豪雨時崩壊の特徴、地盤と建設、Vol. 12、No. 1、pp. 35～48、1994
- 3) 土質工学会編：盛土の調査・設計から施工まで、土質工学会、pp. 53、1981
- 4) 土質工学会編：土質工学ハンドブック、土質工学会、pp. 42、1982