

高含水比土の盛土施工と施工管理

Construction and Construction Control of Banking by High Moisture Content Soil

剣持 登*
Noboru Kenmotsu

要 約

当工事の盛土材料は、自然含水比が試験結果から推定した施工限界含水比より湿潤側で、その状態で締固めた場合の乾燥密度およびコーン指数は、締固めエネルギーの増加に伴い一様に減少傾向を示す。そのため規定の転圧方法では所要密度の確保が困難であり、重機のトラフィカビリティ確保も問題となった。最大乾燥密度の90%以上の管理基準値を満足できない事態が予測されたので、走行試験を含む転圧試験を行い、盛土材に応じた転圧方法に変更し、D値・C値管理の2種類の管理方法で試験盛土および本体盛土を実施した。

目 次

- §1. はじめに
- §2. 工事概要
- §3. 地質概要
- §4. 盛土材料の土質特性
- §5. 転圧試験
- §6. 施工方法および施工管理方法
- §7. 試験盛土
- §8. おわりに

新空港の建設場所は、島根県益田市西部に位置し、おおむね山林もしくは牧草地で標高50~80mの比較的起伏の少ない丘陵地となっている。益田市の中心部まで距離は5kmである。

石見空港の計画施設は下記の通りである。

管理面積	113ha
滑走路	長さ 2,000 m×幅 45 m
着陸帯	長さ 2,120 m×幅 300 m
誘導路	長さ 190 m×幅 30 m
エプロン	18,750 m ²

§1. はじめに

益田・浜田両市を中心とする島根県西部の石見地方および、萩・長門両市を中心とする山口県北東部は、既存の空港や新幹線への連絡が悪く、幹線交通網の利便を享受することが困難な地帯である。

本工事は、この交通空白地帯を解消し、地域の経済文化の活性化と住民生活の一層の向上を図るために、幹線高速交通網の一環として平成5年7月の開港を目指して平成元年より着工された。

全切土量は、約560万 m³であり、単年度発注で、年度別では、

平成元年度	57万 m ³
平成2年度	250万 m ³
平成3年度	216万 m ³
平成4年度	37万 m ³

*中国(支)高陽(出)工事係長

現在、平成4年度工事を鋭意施工中であるが、本文は平

成元年度に実施した転圧試験および品質管理方法について報告する。

§ 2 . 工事概要

工事名称：石見空港整備事業空港本体用地造成工事

発注者：島根県

施工場所：島根県益田市市原町地内

工期：平成元年7月～平成5年1月

施工者：間組、西松建設、錢高組、大成建設

特別共同企業体

設計：日本工営(株)

工事内容：切土	5,600,000 m ³
盛土	5,600,000 m ³
地下排水工	1,900 m
地中排水工	15,300 m
排水ボックス	1,036 m
雨水排水工	26,500 m
付替道路ボックス	309 m
法枠工	9,500 m ²

§ 3 . 地質概要

地質は弱変成を被った古生代に属する三群変成岩類を基盤岩とし、これを不整合に被覆して淡水性の第三紀鮮新世～第四紀更新世に属する都野津層が分布している。また、谷部には沖積層（谷底堆積物）および崖錐性堆積物、海岸沿いには砂丘堆積物が分布している。

三群変成岩類は空港の西側で標高10m内外に認められるが、東側に向かって漸次標高を高め、東端では標高40m程度となる。なお、三群変成岩類には顕著な起伏は見られない。

当該地区における都野津層は大観すると標高50～60mを境として上部細粒層と下部細粒層に大別できる。

上部細粒層は、粘土(Ce)、砂(Cs)、礫混じり(Cgs)、上部礫層(Wcg₂最大粒径5～10m)からなりN値は50以下である。

下部細粒層は、最大礫径15～25cmの円礫からなる下部礫層が主体であり、礫の風化が進みN値は50以下のクサリ礫(Wcg₁)と硬質礫を残存した半クサリ礫(Cg₁)層に大別できる。

都野津層を被覆する未固結堆積物としては、山腹や小谷底に分布する崖錐層(dt)と谷底平野に分布する谷底堆積物(al)、牧場造成時の人工盛土(f)に分けられる。崖錐層および谷底堆積層は、砂質土、礫質土を主体とするが、谷底堆積物には軟弱層も認められる。

るが、谷底堆積物には軟弱層も認められる。

当該地区は高津川、南田川で区切られており、後背地からの地下水はないものと判断できる。しかし、湧水地点も多く、谷底部は湿地帯となっており、蟠竜湖をはじめとして大小の溜池が散在している。したがって、当該地区は保水性の高い地盤であると判断され、都野津層内の粘土層上面や三群変成岩類上面に地下水位が形成されているものと考えられる。

上記をまとめて、Table 1 に地質総括表を示す。

本工事の対象となる土層は、ほとんどが上部細粒層である。

Table 1 地質総括表

地質時代	地質名	記号	記 事	
新 世	完 新 世	盛土層	f	谷部に分布する造成盛土、比較的ルーズで含水した所が多い。
		崖錐堆積物	dt	急傾斜を除く全域に分布、層相は礫混り砂～砂礫、水害によりもたらされたものが多い。
		砂丘堆積物	s	海岸沿いに分布、細砂で均一、層厚は約2～3m程度、ルーズである。
	中 新 世	沖積層(谷底堆積物)	al	谷地形を埋めて分布する。層相は礫混り砂(粘性土)～砂礫、層厚は1～2m。
		段丘堆積物	tr	一部(A調節池地点付近)に認められ、層相は礫混り砂～砂礫、層厚は1～2m程度。
		火山灰層	as	一部の丘陵尾根部に認められる。層相はシルト～粘土質シルト～粘土シルト、層厚は1～2m程度、赤褐色。
		粘土層	Ce	標高60m付近に分布する。層厚2～5m程度である。層相は粘土～シルト質砂、西部に多い。
	野 世	均等粒径砂	CsA	標高60m以上に分布する細～中粒砂層である。粒径が均一で風化砂層と考えられる。
		砂質土	CsB	標高60m以上に分布するシルト分を含む砂質土である。Cgs、Wcg ₂ と漸移する場合もある。
		礫混り砂層	Cgs	最大径10cm程度の礫を含む。礫の大半は風化している。N値は50以下である。
上部クサリ礫層		Wcg ₂	最大径5～10cmの円礫を含有するがチャート質の礫以外は風化し軟質化している。N値は50以下である。	
下部クサリ礫層		Wcg ₁	最大径15～25cmの円礫を含有する。礫の大半は風化軟質化している。N値は50以下である。	
代 新 世	下部細粒層	Cg ₁	N値50以上を示す。風化の程度はWcg ₁ に比べ弱い。	
	三 群 変 成 岩	緑色片岩	Gs	砂質および珪質片岩に挟まれて分布する。
		粘板岩～泥質片岩	sl	計画地南部に分布し、破砕帯部では土砂状を示すものが多い。
古 代	砂質片岩	ss	計画地南東部に分布し、概して硬質なものが露出(軟岩以上)、風化により砂質土状となる。	
	珪質片岩	Qs	計画地南東部に分布し、概して硬質、風化により粒性土状、破砕帯では軟質な細片状。	

§ 4 . 盛土材料の土質特性

本格的な土工の開始に先立ち使用盛土材料の土質特性を把握するため土取場で調査を実施した。

Table 2 転圧試験材料の物理的性質

比較項目	S63年度転圧試験調査業務 一般材 (I, II材) の材料特性 (室内)		第一工区工事土取場(2) 一般材 (I, II材) の材料特性
	I 材 (下部クサリ礫)	II 材 (上部クサリ礫)	一般材 (I, II材)
土の性質			
土粒子の比重	$G_s=2.64$ である。	$G_s=2.63\sim 2.65$ $G_s=2.64$ である。	$G_s=2.64\sim 2.66$
自然含水比 または 地山含水比	19~30%の範囲にあり、細部層によって20~15%程度と25%前後に区分される。	19~26%の範囲にあり、20~23%が多い。	20~35%の範囲にあり、平均25%、大部分は25%以上。
粒度特性	礫分7~29%、砂分44~50%、粗粒分27~47%の砂質土である。コロイド分を10%以上含む試料が多く、粒度分布の状態はあまり良くない。	礫分11~26%、砂分41~56%、粗粒分28~48%の砂質土である。I材と同様にコロイド分を10%以上含む試料が多く、粒度分布の状態は「良い」~「悪い」の範囲にばらつき、一定しない。	礫分14~17%、砂分36~40%、粗粒分43~49%。
コンシステンシー特性	$w_L=32.7\sim 37.6\%$ $w_p=23.7\sim 25.7\%$ $I_p=7.4\sim 12.3\%$ であり、自然含水比は塑性限界 (w_p) に近く、比較的安定な状態を示す。	$w_L=34.2\sim 38.3\%$ $w_p=24.1\sim 25.9\%$ $I_p=10.1\sim 13.1\%$ であり、自然含水比は塑性限界以下が多く、比較的安定な状態を示す。	$w_L=33.5\sim 44.0\%$ $w_p=24.1\sim 25.9\%$ $I_p=10.1\sim 13.1\%$ 自然含水比は塑性限界に近く、比較的安定な状態を示す。
日本統一土質分類	SM~SCに分類されるが、SMが多い。	SM	SM

4-1 物理的性質

今回の試験に用いた一般材料の物理的特性は、昭和63年度試験調査時 (島根県コンサルタント) の物理的特性と同様であるが、高含水比状態にあるのが特徴である。

物理的特性を比較して Table 2 に示す。

4-2 締固め特性

昭和63年度実施の転圧試験材料と高含水比材料の締固め曲線 (1法: 1.6C, 2法: 2.5C) を比較して, Fig. 1 (1法), Fig. 2 (2法) に示す。

また締固めエネルギー (E_c) とコーン指数 (q_c) の関係を Fig. 3 に示す。

Fig. 1~3 から本材料の締固め材料を以下のように考察する。

(1) $w-\rho_d$ の関係

締固め特性のうち、最適含水比 w_{opt} 、最大乾燥密度 ρ_{dmax} などの値については、既調査結果と同様の傾向を示している。

(2) $E_c-\rho_d-q_c$ の関係

締固めエネルギー E_c を変化させた時の締固め密度 ρ_d およびコーン指数 q_c の変化は以下の通りである。

- ① 盛土材料の含水比状態が、高めの高含水比付近 ($w_n=22\sim 24\%$ 程度と推定) もしくはそれ以下であれば、 E_c の増加に伴い、 ρ_d 、 q_c は以下の傾向を示す。

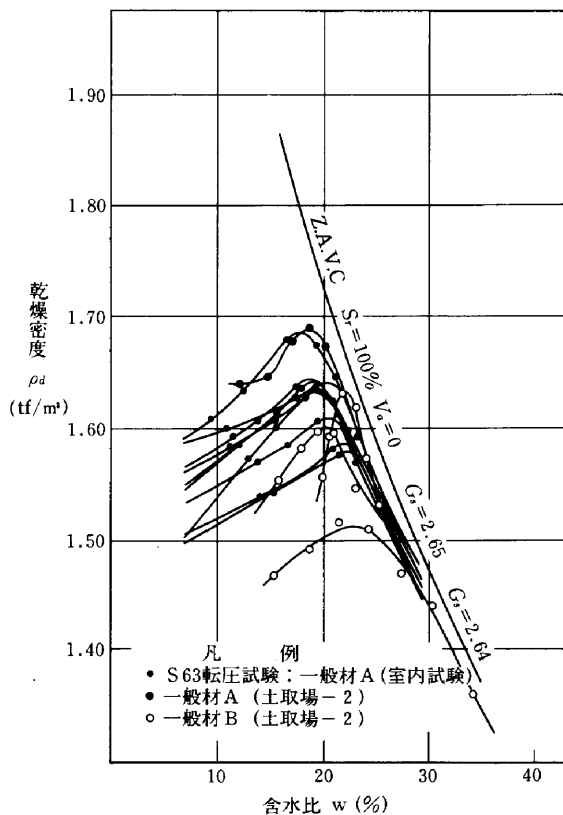


Fig.1 盛土材料の締固め曲線(第1法)

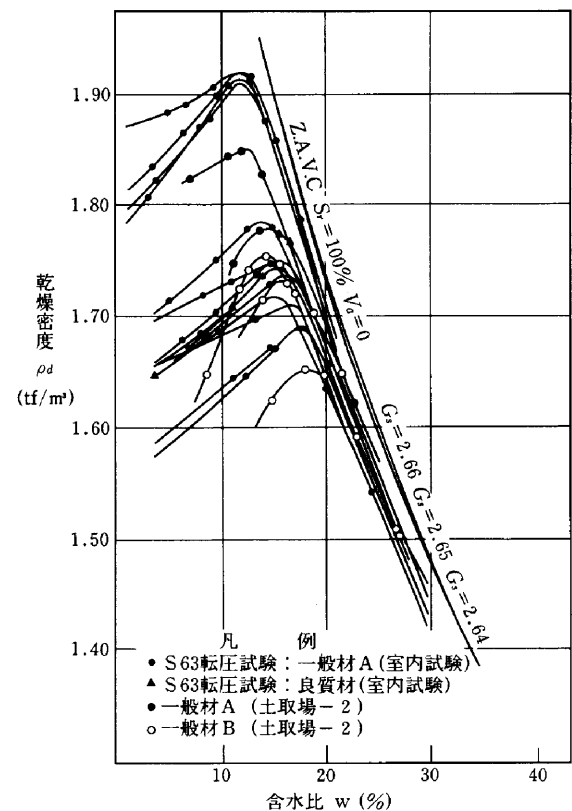


Fig.2 盛土材料の締固め曲線(第2法)

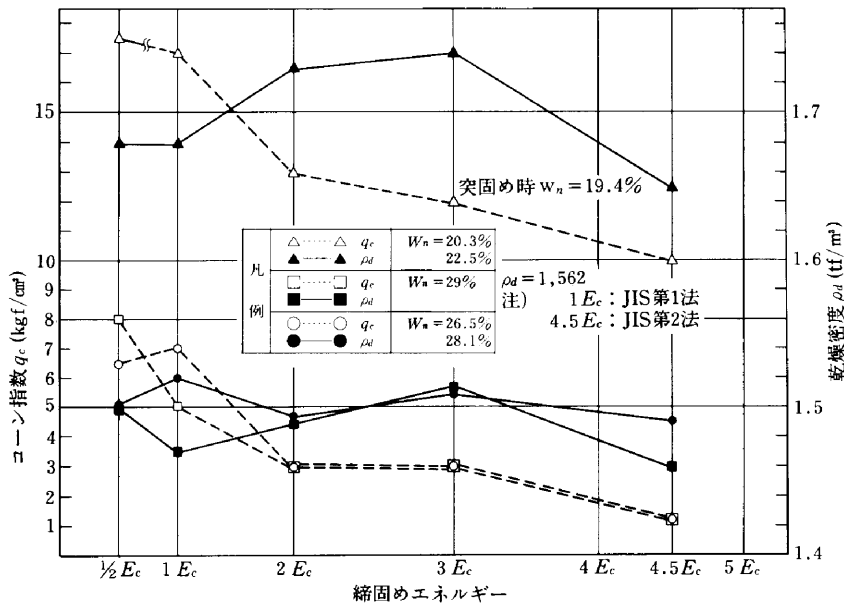


Fig.3 縮固めエネルギーとコーン指数の関係

- ・ ρ_d は増加から減少傾向である。
 - ・ q_c は減少する傾向にあるが5 kgf/cm² (0.490 MPa) 前後の値が得られそうである。
- ② 盛土材料の含水状態が、限界含水比(90% ρ_{dmax} の密度を得るための上限含水比)を超えた高含水比状態の場合には、 E_c の増加に伴い、 ρ_d は当初変化せず、以降減少傾向を示す。 $\rho_d=1.48\sim 1.51$ tf/m³の値を考えると、高含水比状態では JIS 第2法による D 値管理は困難であることが推定される。
- ③ q_c は減少傾向を示し、JIS 第2法付近での E_c では $q_c=2$ kg f/cm² (0.196 MPa) を示しており、施工機械のトラフィカビリティ確保が困難であることが推定される。

問題が生じた。

これらの問題を解決するため、高含水比状態での一般材 (I, II材) の盛土施工方法および施工管理方法を検討・確立するため、走行試験を含む転圧試験を実施した。試験ヤードの規模を Fig. 4 に示す。

5-2 調査試験内容

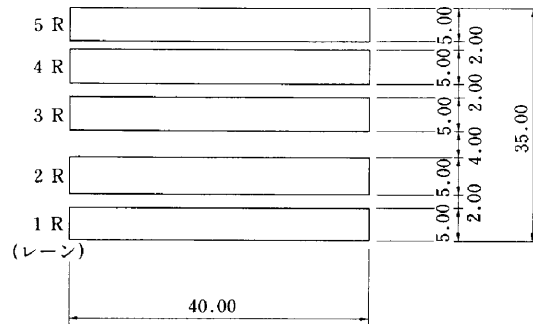


Fig.4 試験ヤードの規模

§ 5 . 転圧試験

5-1 試験目的

一般材の地山の自然含水比は、調査の結果 $w_n=20\sim 35\%$ (平均 $w_n=25\%$) であった。

縮固め試験結果から推定される施工限界含水比 $w_n=22\sim 24\%$ を超えている。

また、縮固めエネルギーを変化($1/2 E_c\sim 4.5 E_c$)させ、自然含水比状態で縮固めた場合の乾燥密度およびコーン指数は、縮固めエネルギーの増加に伴いほぼ一様に減少している。

この自然含水比状態の材料を仕様で定められた転圧機種で転圧した場合、所要密度を得ることが困難であるとともに、盛土施工時の重機のトラフィカビリティ確保の

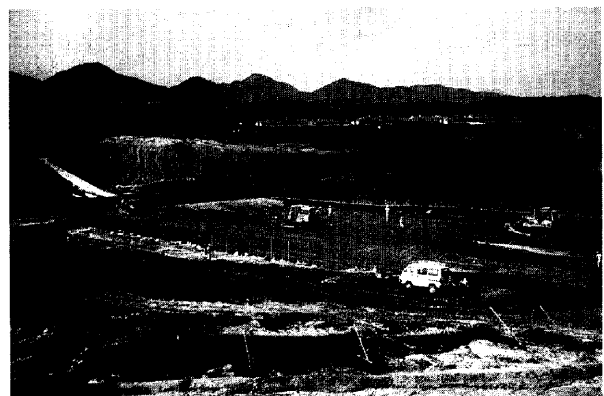


Photo 1 試験ヤード全景

調査試験の内容を Table 3 に示す。

締固め機械については、第1層で4機種種の走行試験を行い、その状況から2機種種を選定し、第2、第3層はその2機種種により行った。

Table 3 調査試験内容

	締固め機械	巻出層	調査・試験内容
第1層	①タンピングローラ ②振動ローラ ③乾地ブルドーザ ④湿地ブルドーザ	30 cm, 40 cm	・走行性
第2層	①タンピングローラ ②湿地ブルドーザ	同上	・走行性 ・コーン指数, 沈下量
第3層	①タンピングローラ ②湿地ブルドーザ	同上	・走行性 ・コーン指数, 沈下量 ・現場密度試験 ・現場CBR試験

5-3 重機の走行性試験

走行試験は、タンピングローラ、振動ローラ、ブルドーザ(湿地、乾地)の4種類について実施した。

Table 4 に観察事項をまとめて示す。

Table 4 走行試験結果 (1層目)

転圧機種区分	数均し厚	1層目 走行状況	評価
ド ー ザ	30 cm	沈下量は少ないが、走行は安定。	良
	40 cm	同上。 撤出し厚による差は顕著でない。	良
系	30 cm	走行時の沈下量は大きい、隣接走行時に浮上りや側方流動がみられる。 輻揺れは、約20 cmでなんとか走行可。	難
	40 cm	走行状況は上記と同じであるが、変形量は大きい。 輻揺れは、約30 cm、走行はなんとか可。	難
ロ ー ラ	30 cm	ウェーピングがあるが、走行は可、沈下量は湿地ブルと同様少ない。	やや難
	40 cm	ウェーピングの程度は、上記より大、8回転圧時より駆動輪の空転現象があったが、走行は可能であった。	難
系	30 cm	シュウは完全にめり込む。	難
	40 cm	上記よりめり込みが激しく、4回転圧以降、車体下面が土と接触を始め、6回転圧以降では、土を若干削る現象が見られた。走行可。	やや難

5-4 転圧試験

転圧機種としては、タンピングローラおよび湿地ブルドーザを選定し、撤出し厚さとしてはタンピングローラ(40cm)、湿地ブルドーザ(30cm, 40cm)とした。

第2層目では、2機種種について走行状況観察と所定転圧回数後、コーン指数の測定と沈下量の測定を実施した。

第3層目では、同様に走行状況観察、コーン指数、沈下量の測定を実施するとともに、現場密度測定(砂置換、RI法を併用)および現場CBR試験を実施した。

走行中の概要は、Table 5の通りであった。

沈下量測定結果を Fig. 5 に示す。

Table 5 走行試験結果 (2層目, 3層目)

転圧機種区分	数均し厚	2層目 走行状況	評価	3層目 走行状況	評価
ド ー ザ	30 cm	1層目とはほぼ同じ状況であるが、6回目より側方へ土の移動が若干見られる。	良	2層目とはほぼ同じ状況である。走行速度は2.2~3.0 km (V=2.7 km)、沈下量は2層目より若干多い。	良
	40 cm	同上、4回目より側方へ土の移動が見られる。走行時の沈下量は大きい、隣接走行時に浮上りが見られる。	良	2層目とはほぼ同じ状況である。沈下量は2層目より若干多い。	良
ロ ー ラ	40 cm	1層目よりめり込みが若干大きい。ボディ下面の土との接触は6回目より顕著。走行はなんとか可能。走行速度は1.7~1.8 km。	難	走行状況は2層目と同じ。走行速度は2.1~3.4 km。(平均2.8 km)。	やや難 難
	予備 レーン 30 cm	8回目よりボディ下面が地面をすり始める。	やや難		

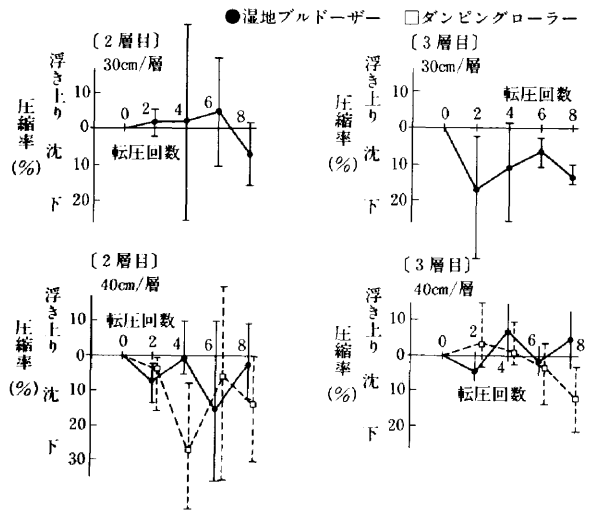


Fig.5 沈下量測定結果

5-5 転圧試験結果のまとめと評価

転圧試験の実施ケース毎の走行性、密度、出来上がり品質および支持力・強度の比較評価を Table 6 に示す。

この結果から高含水比の一般材料の転圧方法としては、

転圧機種：湿地ブルドーザ (18t級)

撤出し厚：30 cm

転圧回数：6回

が、良いと判断した。

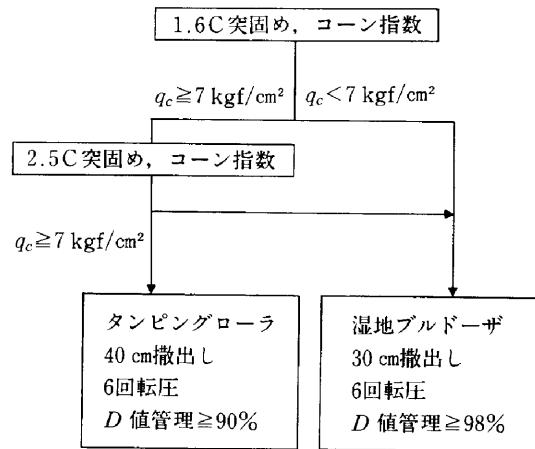
また、高含水比の一般材については、JIS 第1法を基準とする場合でも、 D 値管理は困難であると判断した。 C 値管理については、転圧回数 4, 6 回についての調査結果を Fig. 6 に示すが、6 回転圧で 95% 以上は確保できる。

- ① JIS 第2法を基準とする D 値管理は困難である、この D 値管理を行う場合は、強制的に盛土材の含水比低下を図る必要がある。
- ② JIS 第1法を基準とする D 値管理は、湿地ブルドーザ転圧 (30 cm) の場合に可能性があるが、満足しないものが多い。
- ③ C 値管理では、 C 値 > 95% は確保できる。

§ 6 . 施工方法および施工管理方法

今回の転圧試験と既調査時 (島根県) との大きな相違は、盛土材料の施工含水比である。この相違が、締固め密度、施工機械のトラフィカビリティなどの結果に大きな差異を生じさせている。

以上の試験結果から、一般の転圧仕様が以下のように変更された。



工学的区分として q_c 値を用いたのは一般材を含水比のみで施工性を区分することは問題があるため、施工性を直接的に評価することができるためである。

§ 7 . 試験盛土

用地造成の設計や施工計画に関する調査の最終段階として、事前調査の諸条件の検証確認を趣旨とし、実規模の盛土施工を実施し、施工性と施工品質の確保を目的と

Table 6 転圧方法の比較評価法

転圧機種	敷均し厚	施工性 (走行性) 評価	締 固 め 密 度	出来上がり品質の評価	支持力・強度の評価	総合評価
湿地ブルドーザ (18 t級)	30 cm	<ul style="list-style-type: none"> ・走行速度：約 3 km で安定走行が可能。 ・6 回目以降より若干の土の側方移動が見られる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・測定値のバラツキが大きい。 ・含水比は 23.9~29.9% 平均 26.1% ・転圧による密度増は認められないが、N=6 回以上で上下層の逆転傾向が見られる。 ・JIS 第2法 90% ρ_{max} をほとんど満足しない。 ・JIS 第1法 90% ρ_{max} も満足しないものが多い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・転圧後の土の状態はバラツキの程度が、他のケースより少ない。 ・転圧による密度の増加は認められないが、6 回目以降で品質の収束化が見られる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・CBR 値は転圧回数が増加してもほぼ横這い。 ・コーン指数 q_c は微増の傾向がある。 	○
	40 cm	<ul style="list-style-type: none"> ・30 cm のケースとはほぼ同じであるが、ブルドーザ通過後のリバウンド現象は、30 cm の時よりも目立つ。 	<ul style="list-style-type: none"> ・測定値のバラツキが大きい。 ・含水比は 22.9~27.3% 平均 25.4% ・転圧による密度増は認められないが、N=6 回以上で上下層の逆転傾向が見られる。 ・JIS 第2法 90% ρ_{max} をほとんど満足しない。 ・JIS 第1法 90% ρ_{max} も大部分満足しない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・品質のバラツキが目立ち、転圧回数の増加に伴う品質の高度化および収束化が認められない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・CBR 値は転圧回数の増加に伴い減少する傾向が見られる。 ・コーン指数 q_c は転圧回数が増加しても、横這い傾向。 	△
タンピングローラ (20 t)	40 cm	<ul style="list-style-type: none"> ・走行は可能であるが、シュウは完全にめり込み、4 回以降より車体と土の接触が始まり、6 回以降は明らかに車体が土を削る。 	<ul style="list-style-type: none"> ・初期値が他の転圧ヤードに比して小さい。 ・含水比は 23.9~30.7% 平均 25.2% ・転圧による密度増は認められないが、N=6 回以上で上下層の逆転傾向が見られる。 ・JIS 第2法 90% ρ_{max} をほとんど満足しない。 ・JIS 第1法 90% ρ_{max} も大部分満足しない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・品質のバラツキが目立ち、転圧回数の増加に伴う品質の高度化および収束化が認められない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・CBR 値は転圧回数の増加に伴い減少する傾向が見られる。 ・コーン指数 q_c は転圧回数が増加しても、横這い傾向。 	×

[注記] ※JIS 第2法 90% ρ_{max} = 1.562
 ※JIS 第1法 90% ρ_{max} = 1.438~1.470 (今回実施の値を使用)



Photo 2 タンピングローラによる転圧状況

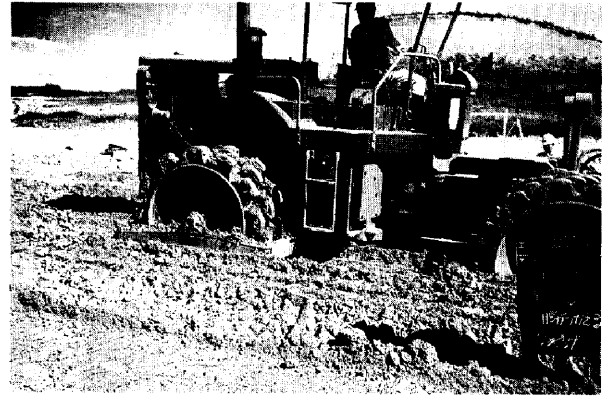


Photo 3 タンピングローラの腹こすり状況

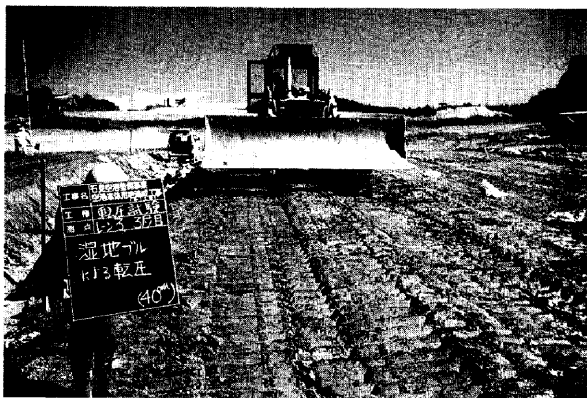


Photo 4 湿地ブルドーザによる転圧状況



Photo 5 コーン貫入試験状況

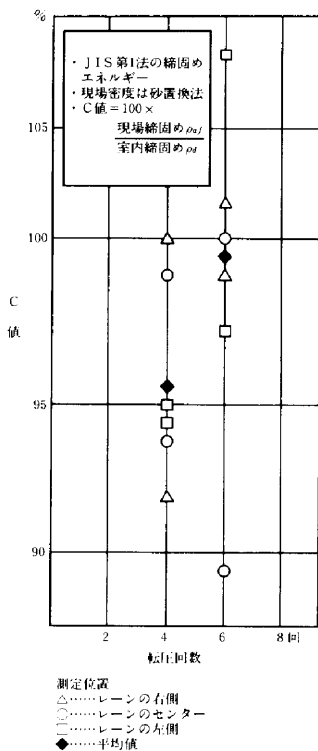


Fig.6 転圧回数とC値の関係 (湿地ブルドーザ $t=30\text{cm}$)

して、平成元年度工事の一部として行われた。

試験盛土の調査業務は、島根県よりコンサルタント(日本工営株)へ別途発注されており、当方は試験施工とともに調査・試験を協力して行った。試験盛土の結果、本格的な本体盛土へのフィードバックとしてその要点を下記に列挙する。

- ① 土工事は降雨の影響を直接的に受ける宿命にあるが、クサリ礫が主体の盛土材料は含水状態によって土質が急変する特徴があるので、工事中の排水対策が重要となる。降雨、地下水の流入により土の含水状態が大きく変化し、重機のトラフィカビリティは急激に悪くなり、施工効率が低下する。
- ② 工事の要となる工事用道路は、確実に機能できる計画をたてるとともに、重ダンプに耐えられる構造を必要とする。また、降雨後の工事用道路の早期確保のための維持補修体制の確立が重要である。
- ③ 盛土品質については、C値 $>98\%$ 、D値 $>90\%$ は概ね満足しており、不良率は6~7% (全体)であった。ただし、施工月によって変動幅がかなりあり、材料が旧盛土や水成砂、また、降雨量の影響を受けたと思われる。

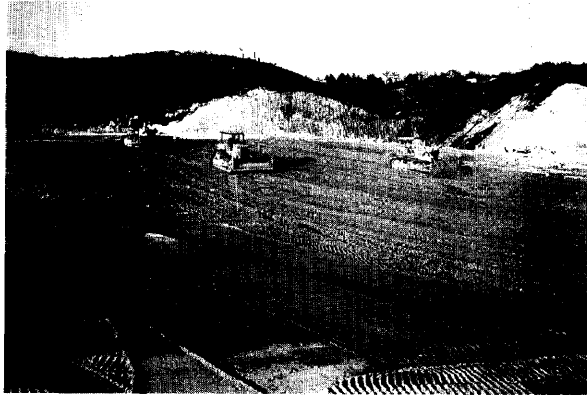


Photo 6 砂フィルターおよび盛土状況



Photo 7 試験盛土 (完了全景)

§ 8. おわりに

工事の着手は、8月からであったが、高含水比土の転圧試験および転圧試験の結果に基づく転圧方法の検討・法面の安定性の評価等のデータ分析の後、重要事項の決定を（県委託の）石見空港技術検討委員会に諮り、問題点の検討と承認をお願いした。このため、本格的な盛土工事に着手したのは11月からであった。

降雨、降雪等水の流入に対して敏感に土性を変える特徴のクサリ礫の土工は、断続した雨の影響を受けて、工事は予想以上に厳しい事態だった。石見空港技術検討委員会皆様、島根県、日本工営㈱、間組技術本部の御指導、御援助のもとに、厳寒期の昼夜作業で元年度工事を無事

終了することができた。

元年度工事の経験を踏まえ、継続して2年度、3年度工事を施工したが現在最終年度の4年度工事も土工事がほぼ完了し、平成5年7月の開港に向けて職員一丸となって施工中である。

最後に当たり、御協力・御指導を戴いた関係各位に対して深く感謝するとともに、企業者のニーズである「りっぱな空港建設」に向け、無災害完工へ全力ダッシュする所存である。

参考文献

- 1) 地質調査総合解析要約版：島根県。
- 2) 会議資料：石見空港技術検討委員会。