

高含水比火山灰質粘性土の締固めおよびせん断強度特性

Compaction and Strength Characteristics of Volcanic Cohesive Soil with High Moisture Content

もろ と のぶ ちか
諸 戸 靖 史*

1. はじめに

青森県には火山灰成の高含水比粘性土が広く分布している。大規模土工においては、現実問題として捨土は不経済であるから、できるだけ、現場にある土を活用せざるをえない。

このような状況のもとで、青森新空港の建設が行われている。盛土の際に特に問題となるのはトラフィカビリティーについてである。建設現場から発生する盛土材は高含水比の火山灰成の粘性土である。地山の状態では、 N 値にして平均5程度であるが、一度こね返すと q_c にして地山の1/3~1/10に低下する。

そこで本文は、土工において主たる作業である締固めに関する用土の基本的性状を現場と室内で調べたので報告する。

本文の試験内容の主なものは次のようである：

- (1) 現場においてブルドーザーで転圧した盛土の含水比(w)、密度(ρ_d)、コーン貫入値(q_c)を得た。この場合、含水比と密度の測定はコアカッター法とRI法の両方によった。
- (2) 地山を掘削し、そのまま搬入した土試料(これを搬入土という)と一度ブルドーザーで転圧したあとの土試料(これを転圧土という)を室内に持ち込み、締固めエネルギーを5種類変化させて一連の突固め試験を行った。結果は w 、 ρ_d 、 q_c の関係で整理された。
- (3) 現場において3種類の特徴的な火山灰成の粘性土を採取し、それぞれ含水比を変えて練り返したあとUU試験(非圧密非排水試験)を行った。その結果は $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ (破壊時の軸差応力)と w および I_L (液性指数)の関係で整理された。
- (4) 用土となった土試料の化学分析、X線分析、電子顕微鏡観察を行った。

なお、本文では締固め試験にはA材を用い、UU試験にはA材、B材、Ⅲ α 材を使用した。ここで、A材とB材は降下火山灰であり、Ⅲ α は火山灰流でできたものである。そして、A材の下にB材が位置し、その下にⅢ α 材が分布している。A材は褐色または暗褐色を示す火山灰質粘性土、B材は黄褐色を示す火山灰質粘性土であり、Ⅲ α 材は、粒

度の上からは砂質土であるが、練返しに対し非常に鋭敏であることが観察されている。それぞれの地山での自然含水比の平均値は、A材で63(%)、B材で103(%)、Ⅲ α 材で81(%)であった。

2. 本報告で用いた火山灰成粘性土の鉱物組成

2 μ m以下の粒子について鉱物組成を調べた。試料は本文で取り扱ったA材、B材、Ⅲ α 材であった。

2.1 A材について

X線分析の結果、ハロイサイト、弱くクロライト化した2:1型鉱物および雲母が認められた。

化学分析の結果、酸性シウ酸塩可溶成分の分析により非晶質粘土鉱物は含まれていないことが分かった。NaOH可溶成分の分析より、ハロイサイトが多量に含まれていることがうかがえた。

電子顕微鏡(100B型、10000倍)を用いた観察の結果、管状ハロイサイトおよび板状の弱くクロライト化した2:1型鉱物が認められた。

2.2 B材について

ハロイサイトと弱くクロライト化した2:1型鉱物が認められた。

2.3 Ⅲ α 材について

化学分析および50000倍の電顕観察により、微小の球状粒子であるアロフェンが多く含まれていることが分かった。

図-1, 2にはそれぞれA材、B材のX線分析の結果を示し、写真-1, 2, 3にはそれぞれA材、B材、Ⅲ α 材の電顕写真をのせてある。

3. 現場と室内における締固め特性の相違

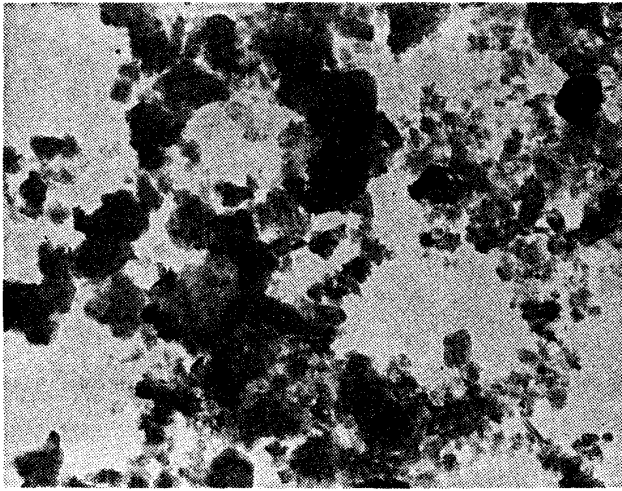
ここで対象となっている火山灰成粘性土は工事運営上A材として区分されているものである。

3.1 16t級湿地ブルドーザーによる転圧の結果

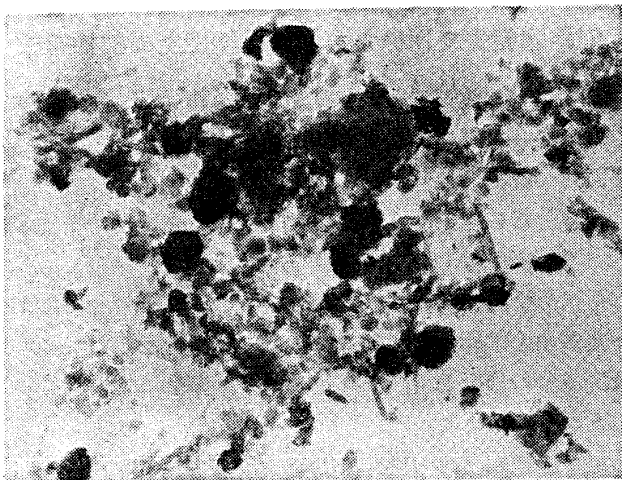
16t級湿地ブルドーザーが往復2回走行(4回転圧)した場合の盛土の密度、含水比および q_c 値を調べた。ただし、まき出し厚は30cmで1日当たり1層を盛り立てる施工速度であった。

図-3, 4にコアカッター法とRI法によって得られた締固め曲線を示した。本盛土は飽和度が非常に高い状態に作製されていることが理解できる。

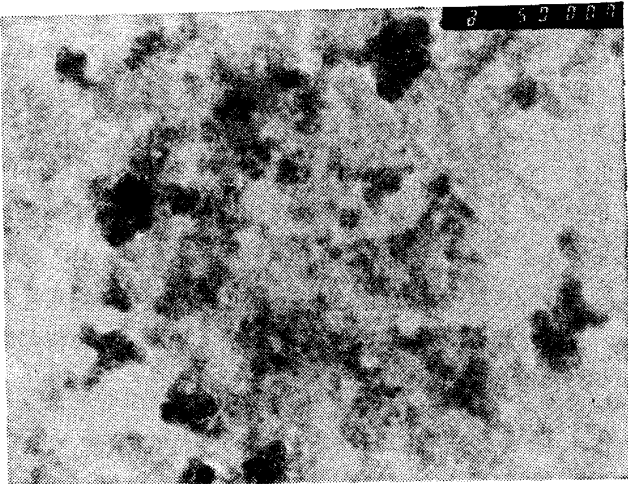
*八戸工業大学教授



写真一 電子顕微鏡写真 (A材)



写真二 電子顕微鏡写真 (B材)



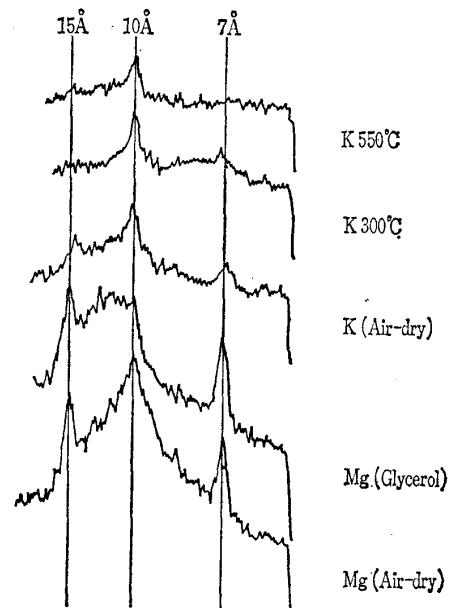
写真三 電子顕微鏡写真 (IIIv材)

図一5には $q_c \sim w$ 関係をプロットした。

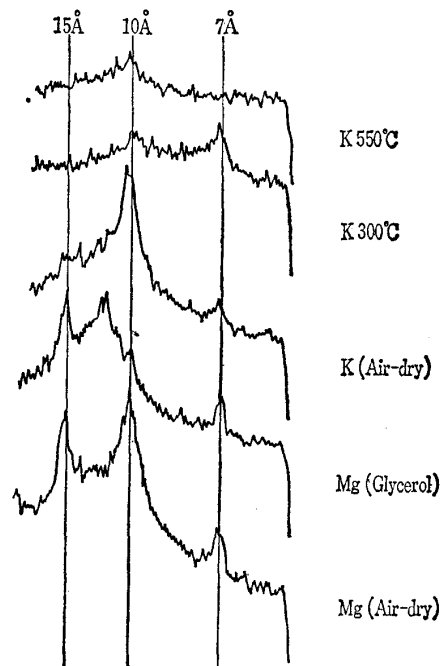
盛土材の品質管理は $S_r \geq 85(\%)$ 、土工管理（降雨後の盛土再開自主基準）は $q_c \geq 2.0(\text{kgf/cm}^2)$ で行われた。

3.2 搬入土および転圧土の室内締固め試験の結果

搬入土および転圧土について、2.5 kgf のランマーをつけた自動突固め試験機を用いて締固め試験を行った。10 cm モールドにその都度新しい試料をつめて試験をした（非繰返し法）。突固めのエネルギー E_r を表一1のように5種類



図一 X線分析結果 (A材)



図二 X線分析結果 (B材)

変えて行った。

搬入土の締固め曲線は図一6、転圧土の締固め曲線は図一7～図一11のようであった。

転圧土の $q_c \sim w$ 関係は図一12のようであり、搬入土の $q_c \sim w$ 関係は図一13のようであった。

3.3 考察

ちなみに、 $w=56\%$ の時の ρ_a の値を室内試験、現場試験においてまとめてみたのが表一2である。この結果をみると、転圧土の ρ_a は $E_r=0.5 \sim 2.5$ まではほとんど同じ値を示しており、搬入土では $E_r=0.5$ と $E_r=1.0 \sim 2.5$ の間に ρ_a の値の開きがみられる。しかし、乾燥密度についていえば、表一2に示されている室内試験および現場試験の

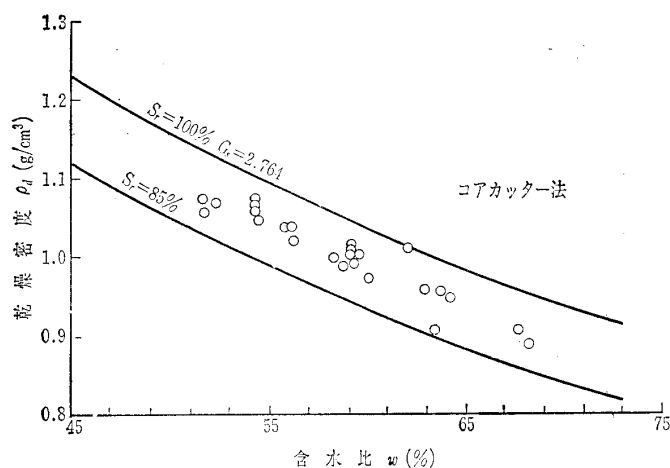


図-3 現場締固め試験 (16 t 級湿地ブル往復 2 回, コアカッター法で調査)

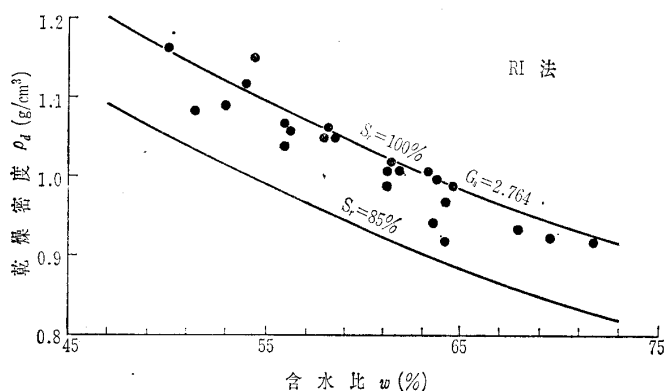


図-4 現場締固め試験 (16 t 級湿地ブル往復 2 回, RI 法で調査)

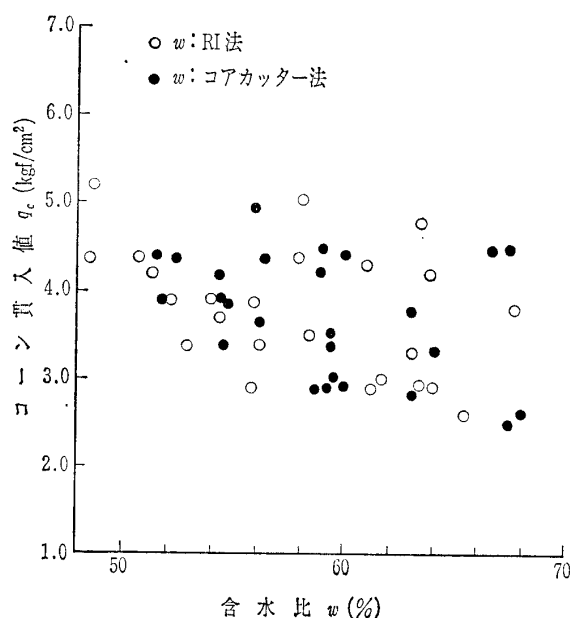


図-5 現場における $q_c \sim w$ 関係

区別なくほとんど同じ値をとっている。

次に、 $q_c \sim w$ 関係について考案してみる。図-12の転圧土についての室内試験と図-5の現場試験の結果を比較すると、両者にはあまり差がない。一方、図-13に示す搬入

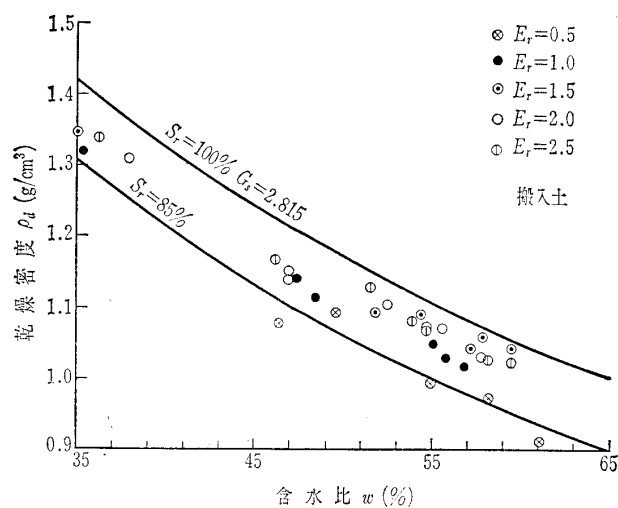


図-6 室内試験における $\rho_d \sim w$ 関係 (搬入土)

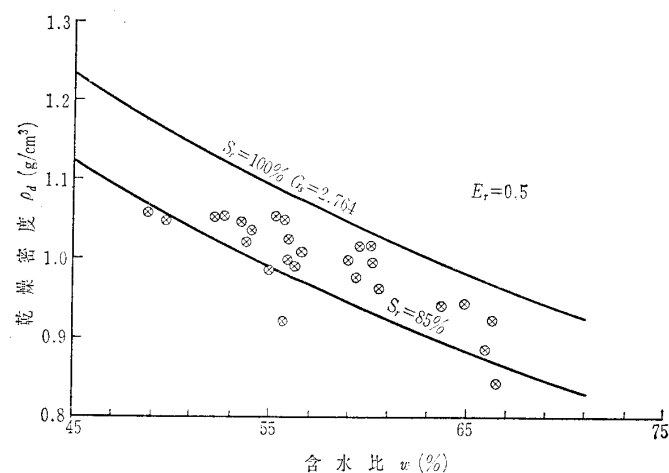


図-7 室内試験における $\rho_d \sim w$ 関係 (転圧土)

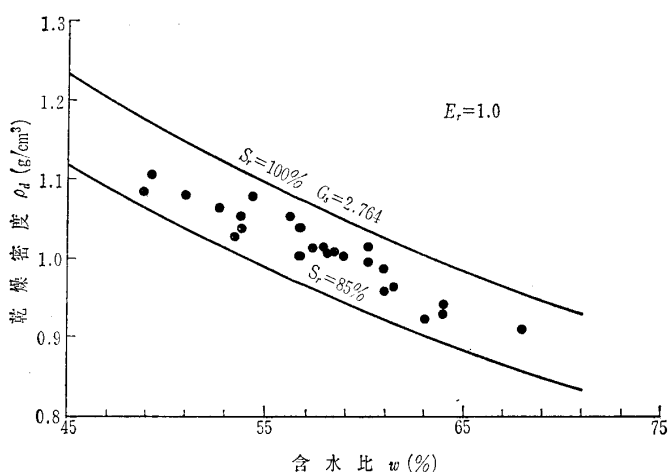
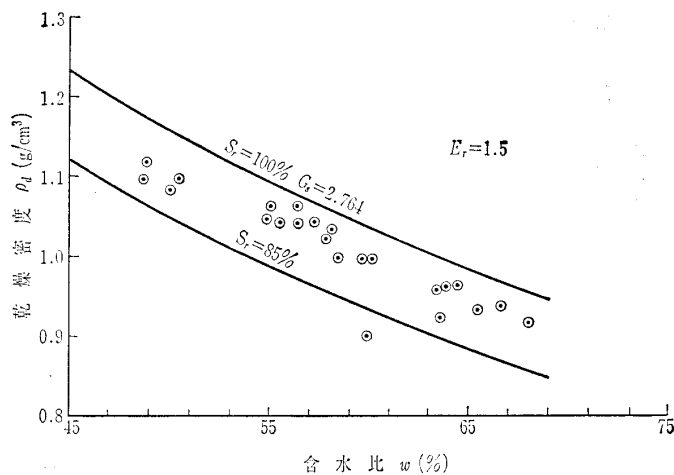
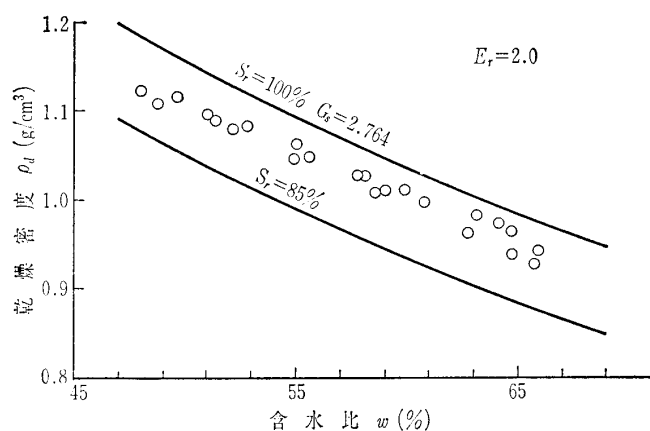
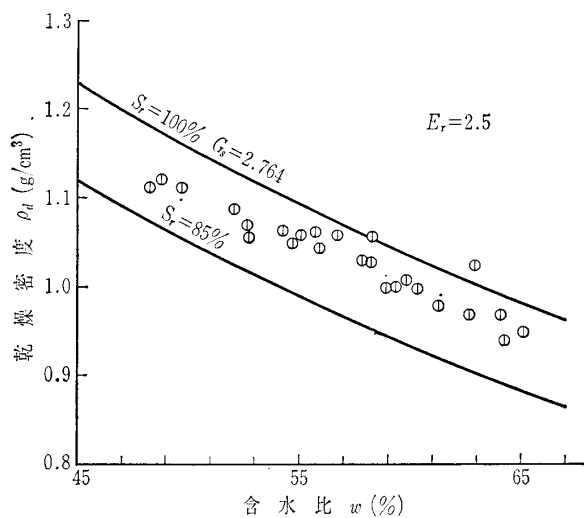


図-8 室内試験における $\rho_d \sim w$ 関係 (転圧土)

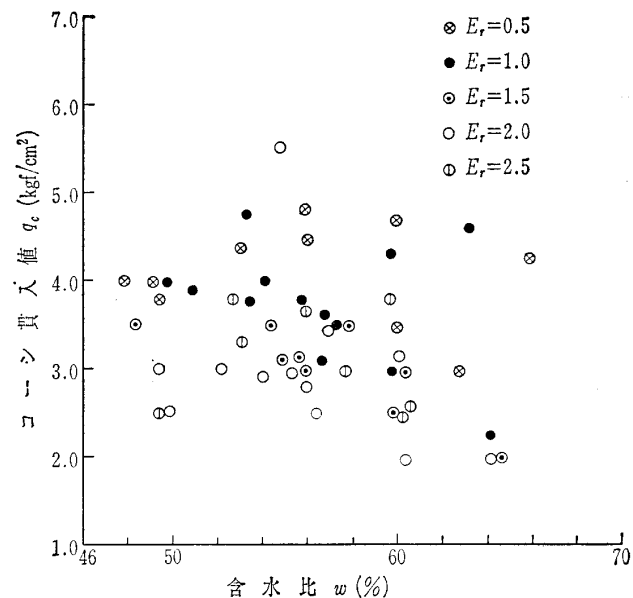
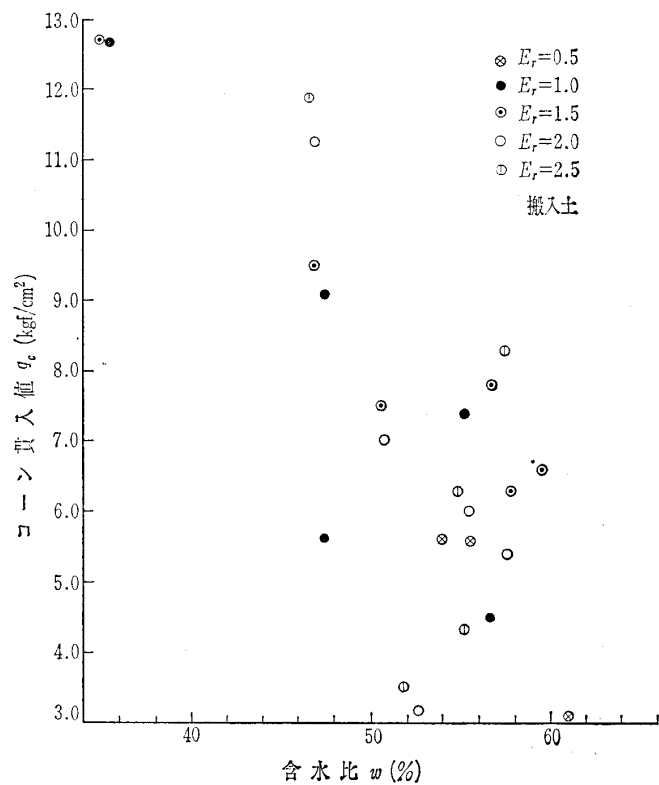
土と図-5、図-12の結果を見比べてみると搬入土の方で q_c の値がかなり大きくており、この傾向は w が低い領域において顕著である。これらのことから次のことがいえる。

- (1) 搬入土と転圧土の結果から、一定のエネルギーで突き固めても過去にこね返しを受けた土 (転圧土) とそうでない土とは、 $q_c \sim w$ 関係が大きく変わってくる。

図-9 室内試験における $\rho_d \sim w$ 関係 (転圧土)図-10 室内試験における $\rho_d \sim w$ 関係 (転圧土)図-11 室内試験における $\rho_d \sim w$ 関係 (転圧土)

(2) 転圧土では搬入土のような $q_c \sim w$ 関係を示さないが、現場でえられた q_c の値と大差がないことから、現場でのブルドーザーによるこね返しの作用を室内試験では一般に再現できないようである。このことは、ブルドーザーによって転圧した場合のこね返し作用を、室内の突固め試験によって、広い含水比の領域にわたって得ることが不可能であることを意味する。

(3) したがって、現場における重機のトラフィカビリティ

図-12 室内試験における $q_c \sim w$ 関係 (転圧土)図-13 室内試験における $q_c \sim w$ 関係 (搬入土)

の確保には、現場における重機のこね返しの程度の把握が重要な意味をもっているといえる。

4. 非圧密非排水三軸圧縮試験における強さと含水量特性の関係

ここでは、こね返した土の強度を簡単な三軸試験で調べてみた。こね返しによる土の強度低下は土工の際の施工機械のトラフィカビリティの問題と密接に関係している。実際の土工におけるこね返しの程度は各種の要因により複

表一 突固めエネルギー E_r

E_r (*)	突固め層数	層当たりの突固め回数(1層, 2層, 3層)
0.5	3層	(12回, 13回, 12回)
1.0	3	(25, 25, 25)
1.5	3	(37, 38, 37)
2.0	3	(50, 50, 50)
2.5	3	(62, 63, 62)

(*) E_r の数字は3層25回の突固めエネルギーを1としたときの各試験の突固めエネルギーの相対的な大きさを示す無次元量である。

表二 $w=56\%$ の時の ρ_d の値

室内試験			現場試験		
E_r	転圧土	搬入土	RI法	コアカッター法	
0.5	(g/cm^3) 1.02	(g/cm^3) 0.97			
1.0	1.03	1.04			
1.5	1.04	1.05	(g/cm^3) 1.06	(g/cm^3) 1.03	
2.0	1.05	1.06			
2.5	1.05	1.05			

(注) ここで, $w=56\%$ の時の ρ_d の値は各 E_r についての試験値を w の変化に対してなめらかに結び, 内挿して読みとって求めたものである。ほかの含水比に対してもここで試験した含水比の範囲内では表二の意味する傾向が認められる。

表三 UU試験に用いた火山灰土のコンシステンシー

火山灰土	自然含水比 $w_n(\%)$	液性限界 $w_L(\%)$	塑性限界 $w_p(\%)$	塑性指数 $I_p(\%)$
A	67.1	123.0	49.3	73.7
B	97.4	108.5	72.0	36.5
IIIu	65.8	66.0	42.6	23.4

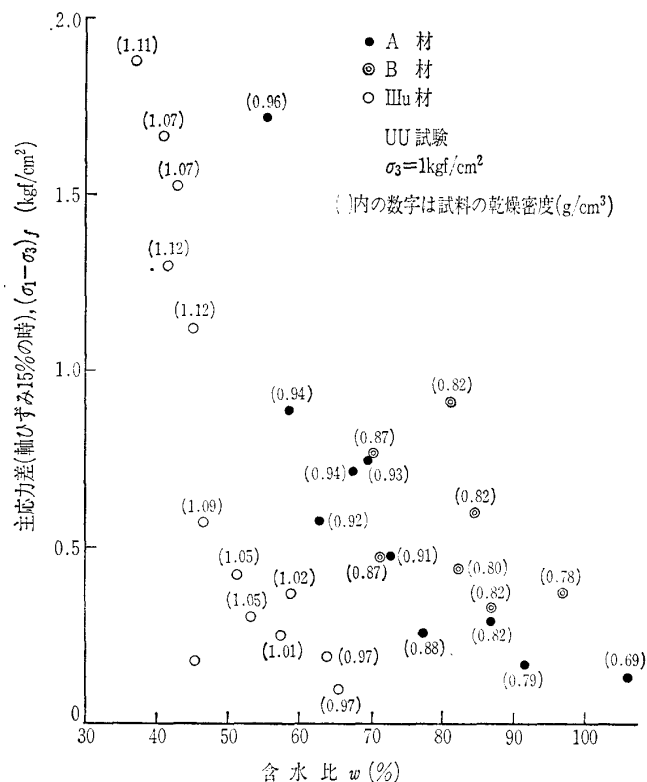
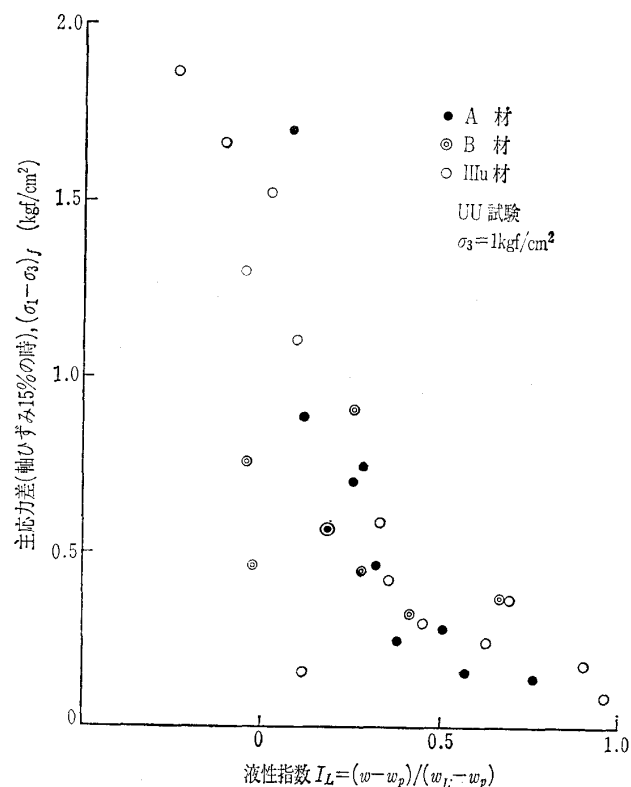
雑に変化し把握することが難しいが, 十分こね返した場合の強度はその土固有の特性を示すはずである。そこで, 現場から3種類の火山灰土を採取した。それらのコンシステンシーは表三のようであった。そして試料をビニール袋に入れて30分練り返し, 高さ11cm, 直径5cmの供試体成形モールドに均質につめ, 1時間放置したのち, ひずみ速度1%/minでUU試験を行った。ただし, ねり返した試料をモールドに詰める操作は突き棒によった。側圧 $\sigma_3 = 1.0 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ の下で軸ひずみ $\varepsilon_a = 15\%$ の時の主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ によって試料のせん断強度の目安となる値とした。以上の操作を試料A, B, IIIuについて, 練返し時の含水比を変えて行った。

結果を練返し時の含水比 w と $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ および液性指数 I_L と $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ の関係で示したのがそれぞれ図一四と図一五である。ここで

$$I_L = \frac{w - w_p}{w_L - w_p}$$

ここで判明することは

- (1) 3種類の十分こね返した試料のUU試験におけるせん断強さと含水比の関係は, 土の種類によって異なっている。
- (2) しかし, $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ と I_L の関係で整理すると, 土の種類にかかわらずほとんど同じようになる。

図一四 三軸 UU試験における $(\sigma_1 - \sigma_3)_f \sim w$ 関係図一五 三軸 UU試験における $(\sigma_1 - \sigma_3)_f \sim I_L$ 関係

- (3) したがって, こね返しによる強度低下をきたした火山灰成の粘性土の強さを扱うのには, 含水比よりも, 液性指数を用いる方が合理的である。
- (4) つまり, 現場の施工では均質な土を扱うことはほとんどなく, 物性値にばらつきのある土を混合させる場

No. 1689

合が多いことを考えると、含水比そのもののほかに液性指数をも考慮に入れる方がより有効ではないかと考えられる。ただし、実務においては q_c を用いるのが有用である。なぜならば、 q_c を用いると値が瞬時に求められ、いそがしい現場においては管理を行うのには時間的にみて有利である。また q_c の値は重機のトラフィカビリティと関係づけられているからである。

液性指数を地山の状態で考える場合、本工事の調査の段階で求められている各材料の属する層の平均的な液性指数はA材で0.51、B材で0.83、III α 材で0.93であった。事実、実際に土を手で握ったときの感触や土工の時の経験から、III α 、B、Aの順に土のしまつの悪さがランクづけられるが、このことは液性指数の値とよく対応していることがいえる。

5. おわりに

ハロイサイトを多く含む高含水比火山灰成の粘性土が大規模土工に用いられた。現場と室内における締固め試験から次のようなことがいえる。

- 1) 16 t 級湿地ブルドーザーの走行往復2回のこね返し作用を室内試験で再現することは、液性指数が1に近い

いところを除いてはできない。つまり、室内の突固め試験では広い含水比領域にわたって、現場においてブルドーザーが土に与えるだけのこね返し作用を一般にうみ出しえないようである。したがって、室内試験のモールドにおいて測定された q_c の値を用いて、現場において重機で締め固める時の q_c の値とすることは一般にはできない。

三軸UU試験をよくこね返した現場の土について行った結果次のようなことがいえるように思われた。

- 2) こね返された土の強さは含水比よりも液性指数とよく対応しており、物性値に開きがある土を混合させて施工する時の問題を基本的に処理するには液性指数が有用である。

さらに、地山の状態の調査結果と施工時に技術者が感じた体験から次のことがうかがえた。

- 3) 地山の状態における液性指数と乱した同じ土の施工性との間には相関関係がある。

最後に、室内締固め試験および三軸圧縮試験は八戸工業大学昭和59年度卒業研修として当時4年生の水戸部杉郎、早坂康、三浦章博が行ったことを記す。

(原稿受理 1986.8.13)

＜講習会テキスト在庫一覧＞

○N 値 および c と ϕ の 考 え 方
 ○設 計 に お け る 土 質 定 数 の 考 え 方
 ○シ ー ル ド 工 法 と 土 質
 ○杭 施 工 の 問 題 点 と そ の 対 策
 ○土 質 ・ 基 礎 工 学 に お け る 有 限 要 素 法 の 適 用
 ○土 と 基 礎 の 設 計 計 算 演 習 (第 3 回 改 訂 版)
 ○構 造 物 基 礎 の 設 計 計 算 演 習
 ○土 質 工 学 に お け る SI の 使 い 方
 ○地 盤 の 液 状 化
 ○土 を 測 る — 現 場 計 測 と 施 工 管 理 —
 ○連 続 地 中 壁 工 法 (第 1 回 改 訂 版)
 ○設 計 ・ 施 工 上 の 留 意 点 を さ ぐ る
 ○地 震 応 答 解 析 の た め の 土 の 動 的 性 質
 ○わ か り や す い 土 質 力 学 原 論

B 5 判	110頁	定価 ¥2,000	会員特価 ¥1,500	〒 ¥300
B 5 判	62頁	定価 ¥1,000	会員特価 ¥ 800	〒 ¥300
B 5 判	123頁	定価 ¥2,000	会員特価 ¥1,600	〒 ¥300
B 5 判	72頁	定価 ¥1,000	会員特価 ¥ 800	〒 ¥300
B 5 判	203頁	定価 ¥3,900	会員特価 ¥3,000	〒 ¥300
B 5 判	418頁	定価 ¥6,100	会員特価 ¥4,700	〒 ¥350
B 5 判	368頁	定価 ¥6,200	会員特価 ¥4,800	〒 ¥350
B 5 判	117頁	定価 ¥2,000	会員特価 ¥1,500	〒 ¥300
B 5 判	134頁	定価 ¥2,400	会員特価 ¥1,800	〒 ¥300
B 5 判	118頁	定価 ¥2,600	会員特価 ¥2,000	〒 ¥300
B 5 判	226頁	定価 ¥4,900	会員特価 ¥3,800	〒 ¥350
B 5 判	75頁	定価 ¥1,800	会員特価 ¥1,400	〒 ¥300
B 5 判	104頁	定価 ¥2,500	会員特価 ¥1,900	〒 ¥300
A 4 判	243頁	定価 ¥5,800	会員特価 ¥4,500	〒 ¥350