

## 大山クロボクの締固め特性

吉田 勲\*・河野 洋\*

昭和57年7月31日受付

### Study on Characteristics of Compacted Kuroboku Soil

Isao YOSHIDA and Hiroshi KOUNO

A locally occurring rare soil called "Kuroboku" is widely distributed over the San-in district and has many weak engineering properties. When constructing earth structures, Kuroboku has been disliked and set aside. But in recent projects of agricultural land consolidation, Kuroboku has had to be used in many cases as a construction material and a soil ground. Thus it is required to obtain knowledge about the engineering properties and how to improve Kuroboku.

The authors carried out compaction tests on Kuroboku. The results obtained from this investigation are summarized as follows.

1) It is found from the compaction tests by the methods of reusing the compacted Kuroboku and of using fresh Kuroboku that at lower initial moisture content, the influence of both compaction methods upon the optimum moisture content and the maximum dry density is small, while with increasing initial moisture content, the influence becomes clearer, that is, the optimum moisture content obtained by the reusing method is smaller than that obtained by using the fresh soil, and vice versa in case of the maximum dry density. With the moisture content approaching the natural moisture content, the influences by the both compaction methods again become small.

2) It is found from the multi-variable analysis that the optimum moisture content increases and the maximum dry density decreases with increase of the humus content and initial moisture content.

3) The compacted dry density with the vibratory smooth wheel roller is 9 percent greater than that with smooth wheel roller. Therefore, it may be said that the effect of vibration is small in Kuroboku.

#### ま え が き

鳥取県の中部および西部を中心に広く分布している大山クロボクは他の土と比較して、有機物含有量、自然含水比、コンシステンシー限界などは大きい、現場密度が小さいなどの特性のため、従来、土工に不適当な土として忌避される傾向にあったが、近年、ほ場整備事業や土地改良事業などにおいてクロボクはアースダムや農道

の建設材料として積極的に使用されつつある。火山灰土を締め固める場合、その締固め特性は初期含水比や締固め方法によって大きく影響されることは知られている。しかし、大山クロボクについては、これらの現象を定量的に解明した研究は少ない。そこで、筆者らは(1)初期含水比および締固め方法が、クロボクの締固め特性に及ぼす影響、(2)有機物含有量がクロボクの締固め特性に及ぼす影響、(3)転圧締固め特性などの解明を目的として実験

\* 鳥取大学農学部農業工学科農地造成学研究室

Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Tottori University

的に研究した。

実験方法および供試土

1. 実験方法

土の締固め試験を行う場合、JIS は採取した土が湿っている時は規定のフルイを通過することができるようになるまで空気乾燥し、乾燥法非繰返し法、乾燥法繰返し法および非乾燥非繰返し法の三方法<sup>1)</sup>で土を締め固めることを規定している。しかし、この方法のうち、前の二方法で土を締め固める場合、JIS 法は空気乾燥の程度について何ら規定していない。そこで、筆者らは、最初に初期含水比が土の締固め特性にどのように影響するかについての知見を得るために、4種類の土について、生土を風乾により徐々に乾燥させた数種類の初期含水比の土について、JIS A 1210 1.1法に従って、非繰返し法および繰返し法で締固め試験を行った。

次に有機物含有量と初期含水比が、締固め特性に及ぼす影響を知るために、10種類のクロボクの締固め試験をJIS A 1210の繰返し法で行った。

さらに、模型振動式平滑胴ローラー<sup>4)</sup>(重量70.86kg、偏心重り重860g、偏心距離  $r_e = 3\text{cm}$ , 40 cps)で30cm

厚にマキ出したクロボクを転圧し、クロボク(第2表供試土番号 No. 1)の転圧特性の解明を試みた。

2. 供試土

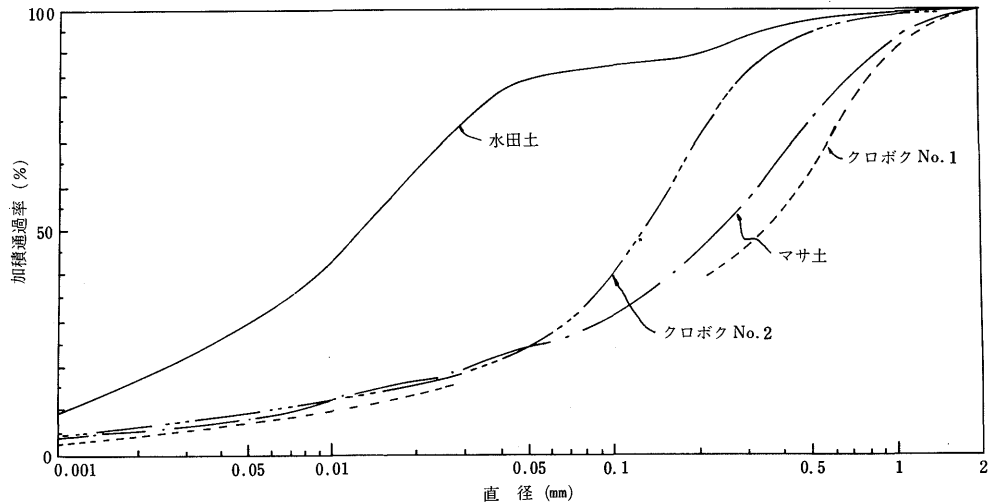
締固め方法が締固め特性に及ぼす影響を知るための実験に使用したクロボクは鳥取県東伯郡関金町および同県西伯郡赤碕町で採取した2種類の土である。クロボクの締固め特性を明確にするためにマサ土(鳥取県布勢)および水田土(鳥大農場)を比較材料として使用した。これら4種類の土の物理的諸性質を第1表に、粒度分布を第1図に示す。三角座標分類法によると、クロボクとマサ土は砂質ロームに、水田土は粘土になる。全供試土とも均等係数  $U_c$  は15以上で、すべて粒度分布が良い。クロボク No. 1, No. 2の粒度分布はマサ土のそれにほぼ等しいが、両者の有機物含有量および比重はかなり相違する。重クロム酸法で測定したクロボクの有機物含有量は16.6%~29%とかなり高く、水田土およびマサ土の有機物含有量はそれぞれ4%, 0%であった。クロボクのコンシステンシー限界は他の土に比して大きい、これは、有機物含有量およびB. E. T法で求めた外比表面積がマサ土や水田土のそれよりも大きいことにも起因すると考えられる。

第1表 供試土の物理的性質

	砂分 (%)	シルト分 (%)	粘土分 (%)	均等係数	比重	液性限界	塑性限界	有機物含有量 (%)	比表面積 ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	土の分類 (三角座標法に)
クロボクNo.1	75.9	16.6	7.5	46	2.33	97.9	89.3	29.0	30.8	砂質ローム
クロボクNo.2	57.4	30.6	12.0	75	2.51	54.9	41.3	16.6	21.8	砂質ローム
水田土	14.1	53.6	32.3	16	2.60	47.1	35.3	4.0	14.7	粘土
マサ土	73.0	19.0	8.0	44	2.70	—	—	0	10.7	砂質ローム

第2表 有機物含有量と初期含水比が締固め特性に及ぼす影響を知るために使用した土の物理的性質

	自然含水比 (%)	有機物含有量 (%)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	比重	砂分 (%)	シルト分 (%)	粘土分 (%)	土の分類
1	101.3	26.2	122.2	77.3	2.37	26	49	25	粘土ローム
2	100.3	25.0	118.8	79.5	2.42	22	55	23	シルト質粘土ローム
3	101.5	21.1	120.8	80.9	2.45	21	61	18	シルト質ローム
4	98.0	18.6	117.3	79.3	2.47	27	39	34	シルト質ローム
5	91.2	16.8	107.7	73.6	2.48	32	33	35	粘土ローム
6	88.7	13.2	97.7	73.9	2.53	30	40	30	粘土ローム
7	83.7	9.6	102.9	70.3	2.55	45	31	24	シルト質粘土ローム
8	65.0	4.4	87.6	63.5	2.60	66	13	21	砂質粘土ローム
9	66.7	2.7	77.7	49.7	2.62	54	15	31	砂質ローム
10	63.3	1.1	82.8	44.7	2.67	28	26	46	粘土



第1図 粒径加積曲線

次に、有機物含有量がクロボクの締固め特性に及ぼす影響を知るための実験に使用した土の物理的性質を第2表に示す。第2表において、有機物含有量が多いほど、比重が小、自然含水比が大、アッターベルグ限界が大などの傾向が見られる。

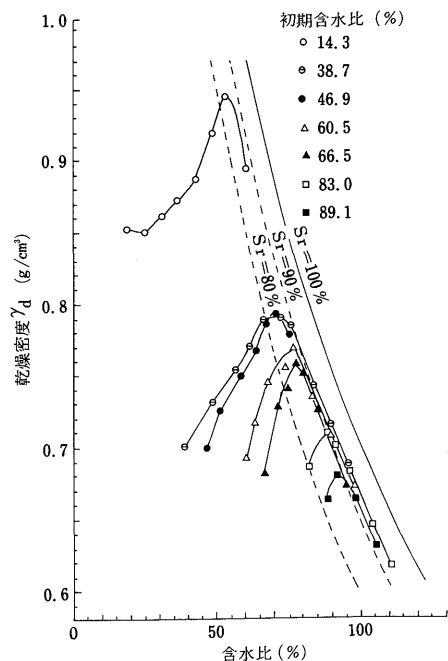
### 実験結果の考察

#### 1. 締固め曲線の形状

クロボク No. 1 について、初期含水比を7種類に変化させて繰返し法および非繰返し法で行った締固め曲線をそれぞれ第2図、第3図に示す。これらの図から、初期含水比の相違により締固め曲線は異なり、しかも、初期含水比が低くなるにつれて、最適含水比は低下し、最大乾燥密度は大きくなる事が知れる。また、繰返し法で得た締固め曲線は非繰返し法で得た曲線よりもやや鋭い形状をしている。第4図～第5図にクロボク No. 2 の試験結果を示す。クロボク No. 2 はクロボク No. 1 よりも有機物含有量は少ないが初期含水比が低下するにつれて締固め最適含水比の減少、最大乾燥密度の増加および繰返し法で得た締固め曲線は非繰返し法のそれよりも鋭い曲線となることなど、クロボク No. 1 と同様の結果を示す。繰返し法で得た締固め曲線が非繰返し法で得た締固め曲線よりも鋭い形状を示すのは、同一試料を繰返し使用することにより団粒が破壊され小粒子となり、同一体積における土粒子の占める割合が増加したためである。

第6図～第7図に水田土、第8図～第9図にマサ土の

締固め曲線をそれぞれ示す。水田土およびマサ土の場合、初期含水比の低下につれて、締固め最適含水比の減少、最大乾燥密度の増加の傾向は見られるが、繰返し法および



第2図 繰返し法で締め固めたクロボク No. 1 の締固め曲線に初期含水比が及ぼす影響

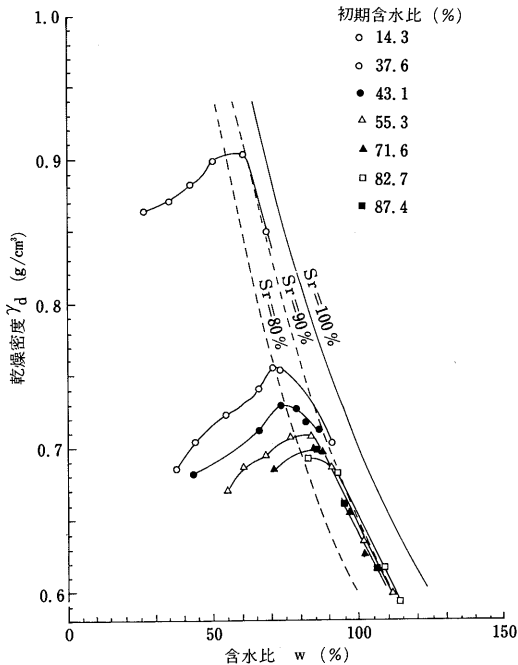
び非繰返し法による締固め曲線の形状に、顕著な相異は見られなかった。曲線形状に顕著な相異が見られないことから、水田土やマサ土を繰返しおよび非繰返し法で締固めても、土粒子の顕著な破砕が起きていないことが推定される。

2. 締固め方法による最適含水比の変化

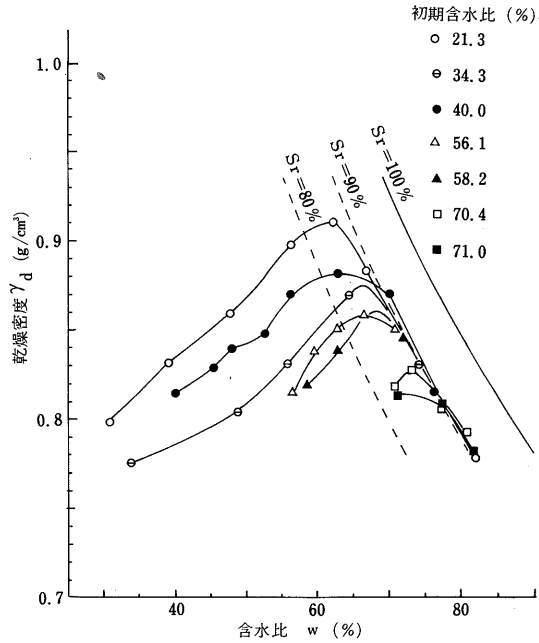
第2図～第9図から、最適含水比と最大乾燥密度を求める。これらの結果をもとに、横軸に初期含水比を、縦軸に最適含水比を第10図に示す。

クロボクについて：第10図中、最上位に位置する白丸と黒丸はクロボク No. 1 を繰返し法および非繰返し法で締固めて得た初期含水比と最適含水比の関係を示している。この関係図から、クロボク No. 1 の最適含水比は  $W_{opt} = 54 \sim 94\%$  の範囲にあり、前述したように、初期含水比の低下につれて最適含水比が減少することがわかる。これは、クロボクに含まれる有機物と水の反応が非可逆的であることに大きく起因すると考える。

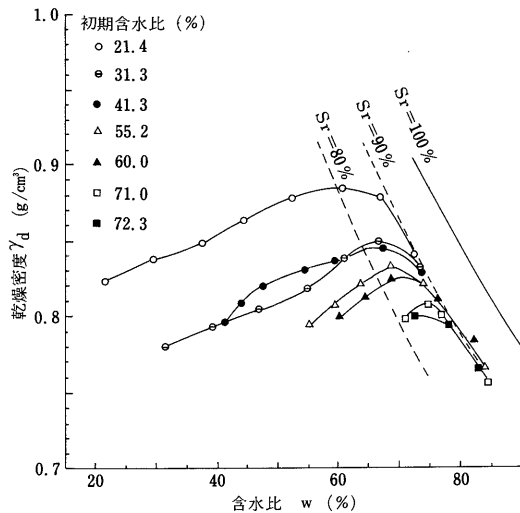
次に、繰返し法および非繰返し法による相違に注目する。初期含水比が低い場合、非繰返し法で得た最適含水比は繰返し法で得た値よりも大きい、その差は小さい。



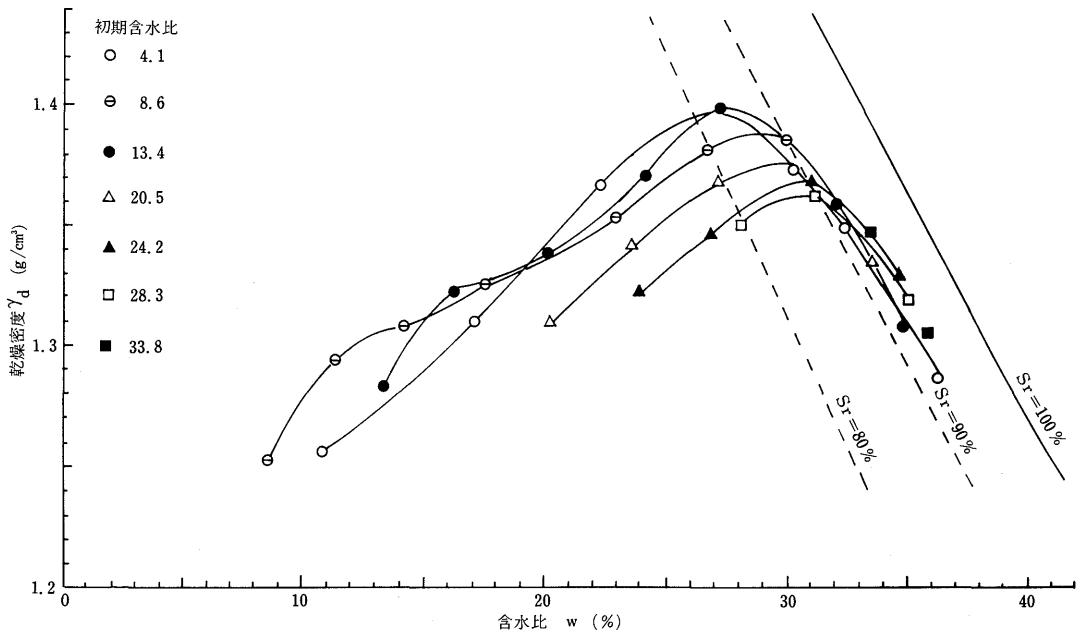
第3図 非繰返し法で締め固めたクロボク No. 1 の締固め曲線に初期含水比が及ぼす影響



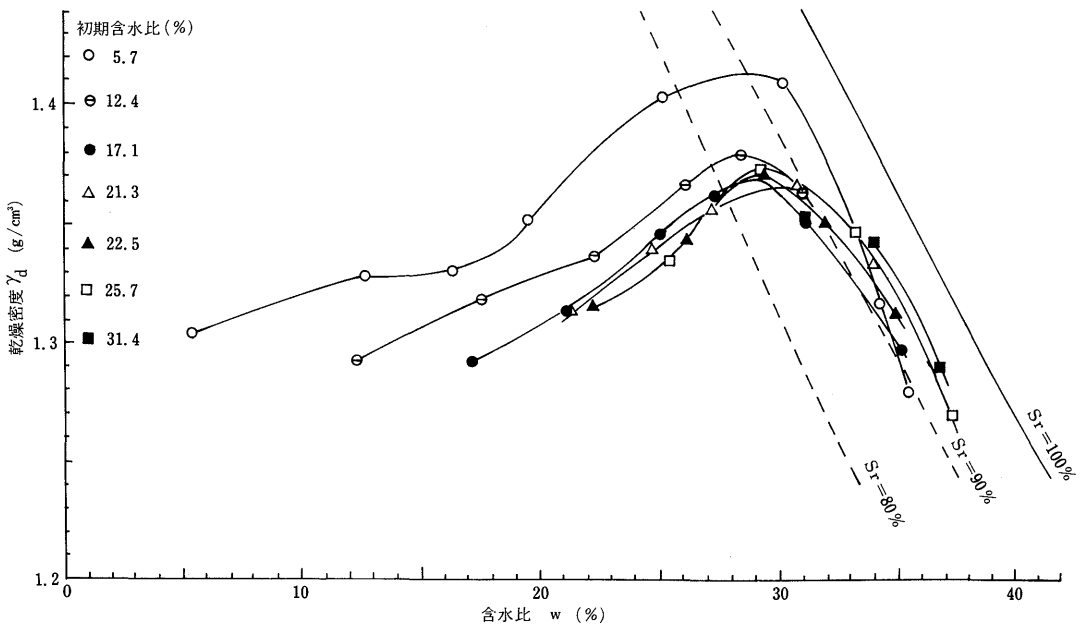
第4図 繰返し法で締め固めたクロボク No. 2 の締固め曲線に初期含水比が及ぼす影響



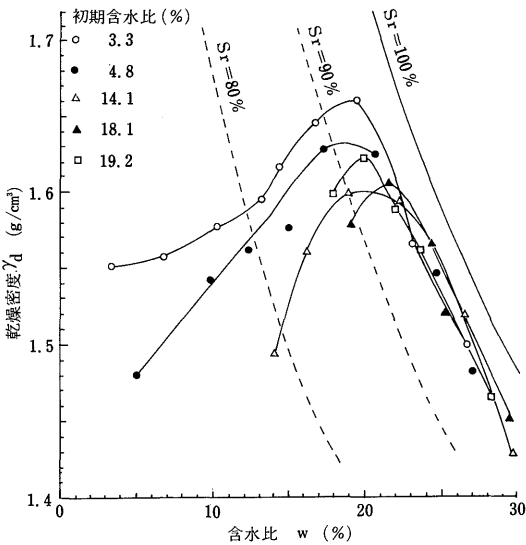
第5図 非繰返し法で締め固めたクロボク No. 2 の締固め曲線に初期含水比が及ぼす影響



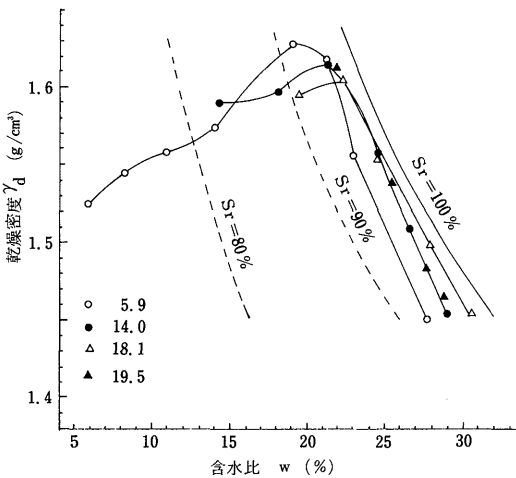
第6図 繰返し法で締固めた水田土の締固め曲線に初期含水比が及ぼす影響



第7図 非繰返し法で締め固めた水田土の締固め曲線に初期含水比が及ぼす影響



第8図 繰返し法で締固めたマサ土の締固め曲線に初期含水比が及ぼす影響



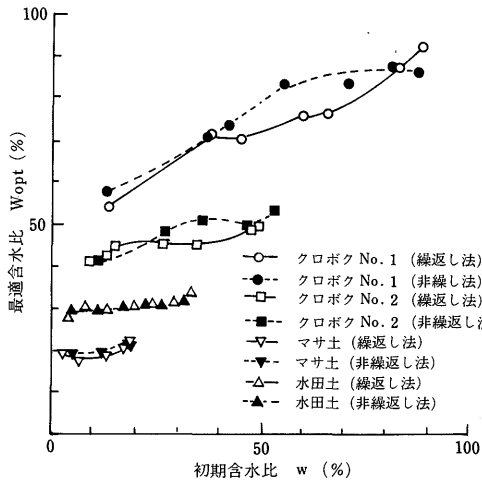
第9図 非繰返し法で締め固めたマサ土の締固め曲線に初期含水比が及ぼす影響

初期含水比がさらに増加すると両者の差は増大し、その差は $W=50\sim60\%$ で最大となる。さらに、初期含水比が増大すると、両者の差はなくなり、自然含水比近くの $W=88\%$ では、逆に繰返し法による最適含水比の方が非繰返し法による値よりも大きくなる。

低含水比において、繰返し法と非繰返し法による最適

含水比がほぼ等しいのは低含水比においてクロボクの団粒構造が強いため、ランマー衝撃により団粒が破壊されにくいことに起因する。さらに、含水比が高くなると、土が含水したことにより、団粒構造は弱くなり、加えて、繰返し法の場合、同一試料が再使用されるから、非繰返し法の供試土よりも団粒は細粒化され、これらの細粒子は大孔ゲキを埋め、したがって、一定容積中での土粒子の占める体積は非繰返し法の場合よりも大きい。ところで、土の種類や締固め仕事量に関係なく最適含水比と最大乾燥密度の状態は飽和度  $Sr=85\sim95\%$  の範囲<sup>3)</sup>に入っているといわれている。一定容積中で土粒子の占める体積が大きい土ほど、間ゲキ比は小さくなるから、密に詰まっている土の最適含水比は疎な土のそれよりも低くなる。自然含水比近くで両締固め法による最適含水比が等しくなるのは、含水したことにより、少回数のランマーの衝撃で容易に団粒が破壊されるためと考えられる。

クロボクNo. 2の場合、最適含水比は $W_{opt}=42\sim54\%$  範囲にある。最適含水比の範囲はクロボククロボクNo. 1



第10図 初期含水比が最適含水比に及ぼす影響

よりも狭いが初期含水比と最適含水比との関係はクロボク No. 1 のそれと同様であった。クロボク No. 1 と No. 2 の最適含水比を比較すると、有機物含有量の多い No. 1 の最適含水比の方がクロボク No. 2 よりも高く、かつ、最適含水比の範囲も広い。この原因は有機物の親水性に起因すると考えられる。

水田土について：水田土の場合、第10図から、初期含水比が最適含水比に与える影響は小さく、しかも、繰返し

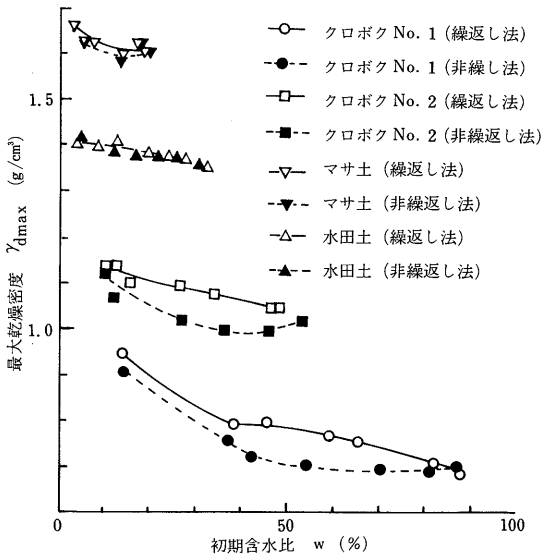
し法、非繰返し法による差はほとんどないといえる。これは、水田土は粘土分に富み、ランマー衝撃による土粒子の破壊が生じないからである。

マサ土について：マサ土の場合、非繰返し法で得た最適含水比は繰返し法で得た値よりも大きい、両者の差は小さい。

### 3. 締固め方法による最大乾燥密度の変化

第11図に初期含水比と最大乾燥密度との関係を示す。

クロボクについて：第11図から、クロボク No. 1 の最大乾燥密度は0.70~0.95g/cm<sup>3</sup>の範囲にあり、初期含水比が増加するに従って、最大乾燥密度が減少するのがわかる。また、初期含水比が増加するにつれて、繰返し法と非繰返し法による最大乾燥密度の差は大きくなり、自然含水比近くで再び等しくなっている。初期含水比が低い場合団粒は収縮し、土の強度が増すため、団粒は破壊されにくくなり、繰返し法と非繰返し法では一定容積中に占める



第11図 初期含水比が最大乾燥密度に及ぼす影響

土粒子の量に差がなくなると思われる。さらに含水比が高くなると、繰返し法により締め固める場合、含水することにより団粒構造は弱化し、外力によって容易に団粒構造が破壊されて団粒は細粒化され、一定容積中に土粒子を含む割合が、非繰返し法によるよりも大きくなるため、最大乾燥密度が大きい値を示すものとする。

クロボク No. 2についても同様の傾向が見られる。

クロボク No. 2の最大乾燥密度は1.00~1.13g/cm<sup>3</sup>の間

にある。有機物含有量の高いクロボク No. 1の最大乾燥密度はクロボク No. 2のそれよりも低い値となっている。これは、有機物含有量の大きいクロボクほど団粒が発達し、締め固め外力に抗して、その団粒が比較的安定して存在することに起因する。

水田土の場合：最大乾燥密度は1.35~1.41g/cm<sup>3</sup>の範囲にあり、初期含水比が4.1%から33.8%に変化した場合の最大乾燥密度の差は0.06g/cm<sup>3</sup>であった。また、繰返し法および非繰返し法が最大乾燥密度に及ぼす影響には、差はほとんどないことがわかった。

マサ土の場合：マサ土の最大乾燥密度は $\gamma_{dmax}=1.58\sim 1.66\text{g/cm}^3$ の範囲にあり、繰返し法による最大乾燥密度は非繰返し法によるそれよりも少し大きくなっている。これは、繰返し法の場合、土粒子がランマーの衝撃により破碎されて、小粒子になったことに起因すると推定される。しかし、両法による差は顕著でない。

以上のことから、クロボクは水田土、マサ土に比較して最大乾燥密度が小さいことがわかる。これは、前述した様に、有機物含有量が多くなるにつれて、団粒構造が発達し、間ゲキが大きくなることや、有機質土の比重が小さくなることに起因すると考えられる。

### 4. 有機物含有量と締固め特性

自然含水比、それを風乾した風乾状態1（平均含水比49.9%）、さらに乾燥させた風乾状態2（平均含水比約9.4%）の3種類の初期含水比で、第2表に示す10種類のクロボクの締固め試験を行い。それらの締固め曲線を第12図に示す。

第12図において、自然含水比の土（生土）を締め固めた場合、全供試土の含水比-乾燥密度曲線にはピークが見られなかった。また、前述したように、初期含水比が低くなるにつれて、最大乾燥密度は増大し、最適含水比は低下する傾向が見られた。次に、有機物含有量および初期含水比が締固め最適含水比および最大乾燥密度に及ぼす影響を知るために、締め固め最適含水比および最大乾燥密度を目的変数に、有機物含有量( $h_c$ )と初期含水比を説明変数として、重回帰式<sup>2)</sup>を求めると、それぞれ次式を得た。

$$W_{opt}=30.7+0.949h_c+0.426w_i \quad (\gamma=0.98) \quad (1)$$

ここで、 $2.1\% \leq h_c \leq 26.2\%$ 、 $7.0\% < W_i \leq 62.0\%$

$\gamma$ : 重相関係数

$$\gamma_{dmax}=1.220-0.0172h_c-0.0324w_i \quad (\gamma=0.95) \quad (2)$$

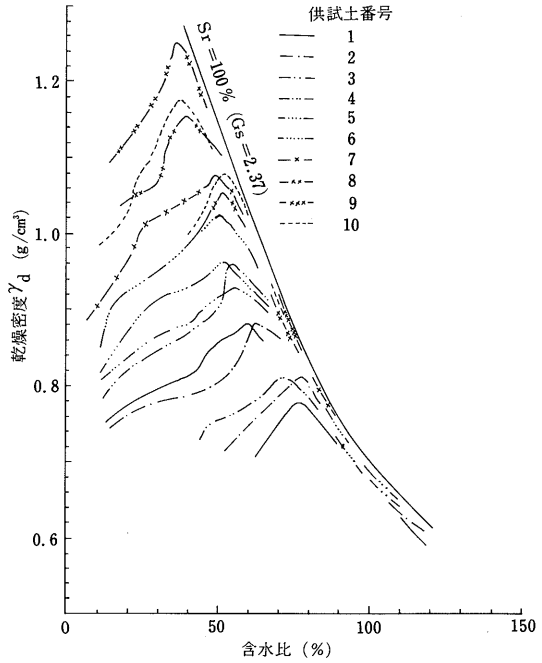
ここで、 $2.1\% \leq h_c \leq 26.2\%$ 、 $7.0\% < W_i \leq 62.0\%$

$\gamma$ : 重相関係数

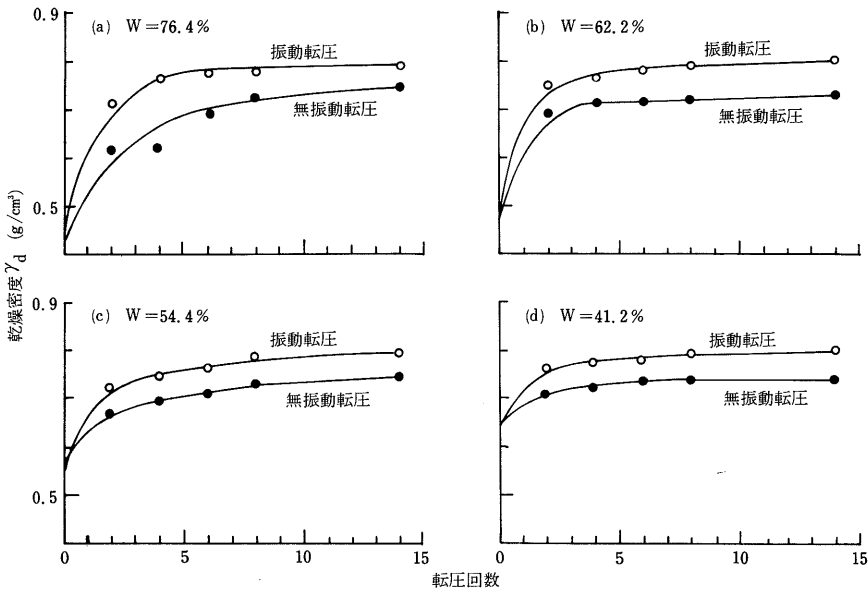
(1)式と(2)式の重相関係数は0.95以上と高く、求めた重回帰式の有意性を有意水準  $\alpha = 0.01$  にて分散分析法を使用して検定したところ、両式とも、危険率99%で受け入れることが可能と判定された。(1)式から、最適含水比は有機物含有量および初期含水比の増加に比例して増大すること、(2)式から、最大乾燥密度は有機物含有量および、初期含水量の増加に逆比例することがわかる。

5. 転圧締固め

自然含水比76.4%のクロボクを徐々に風乾させた4種類の含水状態のクロボクについて転圧実験を行った。直径40cm、幅17.5cmの模型振動式平滑胴ローラーを用いて、30cm厚にマキ出したクロボク(第2表、供試土番号1)を40 cpsで振動転圧および無振動転圧し、その結果を第13図に示す。第13図にて、振動転圧により得られた最大乾燥密度は含水比  $W = 41.2$ 、および62.2%のクロボクを  $N' = 14$  回振動転圧した時の  $0.80 \text{ g/cm}^3$  であった。次に大きい乾燥密度は  $W = 54.4\%$  の  $0.79 \text{ g/cm}^3$  ( $N' = 14$ 回)、 $W = 76.4\%$  の  $0.78 \text{ g/cm}^3$  ( $N' = 14$ 回)である。しかし4種類の含水比のクロボクの最大転圧密度は  $0.78 \sim 0.80 \text{ g/cm}^3$  にあり、4本の振動転圧回数-乾燥密度曲線は大差なかった。無振動転圧の場合の転圧回数-乾燥密度曲線も、振動転圧のそれと同様の



第12図 有機質土の締固め曲線



第13図 模型振動式平滑胴ローラーによるクロボクの転圧試験結果

ローラー直径=40cm、ローラー幅=17.5cm、ローラー重量=70.86kg  
振動数=40cps、マキ出し厚さ=30cm



傾向を示す。振動転圧による密度は無振動転圧のその約1.09倍であった。以上のことから、クロボクの場合、振動転圧はそれほど有効でないこと、また、転圧効果は、初期含水比に大きく影響されないといえる。

#### ま と め

1) 低初期含水比のクロボクを繰返し法および非繰返し法で締め固めた場合、締め固め法が最適含水比、最大乾燥密度に及ぼす影響は小さいが、初期含水比が増加すると両法による影響が現われ、繰返し法で得た結果と比較して非繰返し法による最適含水比はより大きく、最大乾燥密度はより小さくなる。さらに、初期含水比が高くなり、自然含水比に近づくと再び、両法による締め固め特性の差はなくなる。水田土、マサ土では締め固め方法の違いによる差は顕著でない。

2) クロボクの最適含水比、最大乾燥密度を目的変量に、初期含水比、有機物含有量を説明変量として多変量解析を行ったところ、最適含水比は、初期含水比と有機物含有量の増加とともに増大するが、最大乾燥密度は逆に、

有機物含有量と初期含水量の増加に逆比例することがわかった。

3) 自然含水比76.4%のクロボクを徐々に風乾させて、初期含水比を62.2%、54.4%、41.2%とし、これらのクロボクについて転圧実験を行った。その結果、模型振動式平滑胴ローラーによる転圧密度は、本研究における初期含水比の範囲内において、 $0.78\sim 0.80\text{g}/\text{cm}^3$ の間にあり、初期含水比の影響は大きくないこと、模型振動式平滑胴ローラーで転圧して得られる乾燥密度は模型平滑胴ローラーの1.09であることがわかった。

#### 参 考 文 献

- 1) 土質工学会編：土質試験法。土質工学会，東京  
(1979) pp. 284-285
- 2) 川口至商：多変量解析入門。森北出版，東京  
(1973) pp. 3-14
- 3) 久野悟郎：土質工学。理工図書，東京(1967) pp. 62-63
- 4) 吉田勲：模型振動ローラーによる砂質土の締め固め。農業土木学会誌，41 318-327 (1973)