

港湾技術資料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 711 June, 1991

現場締固め再現装置の試作と2,3の実験

八	谷	好	高
上	中	正	志
深	海	正	彦
佐	藤	勝	久

運輸省港湾技術研究所



目 次

要旨	3
1. まえがき	3
2. 現場締固め再現装置の概要	3
3. 現場締固め試験	6
3.1 試験方法	6
3.2 測定結果	7
4. 室内転圧試験	11
4.1 転圧荷重の影響	11
4.2 転圧機構の影響	14
5. 結論	16
6. あとがき	17
参考文献	17

Some Experiments on Soil Compaction with In-situ Compaction Reproductive Apparatus

Yoshitake Hachiya *
Masashi Kaminaka **
Masahiko Fukami ***
Katsuhisa Sato ****

Synopsis

Recently many airports have been and have been being constructed in mountainous areas as it becomes difficult to find huge plain areas around cities. A large amount of earth works are necessary to obtain flat land for airport construction in such areas. To conduct the earth works efficiently, construction method, especially compaction method suitable for in-situ soil has to be deployed. Mechanism of in-situ soil compaction has not been made clear until now, so the compaction method should be selected based on compaction test on site. This process is not only costly but also time-consuming. Furthermore, test condition such as climate is difficult to keep constant.

It is convenient to decide the suitable compaction method without any compaction tests on site. As the first step to understand the in-situ soil compaction process, an in-situ compaction reproductive apparatus has been developed. The maximum size of specimen used in this is 90 cm wide, 130cm long and 90cm thick. Three kinds of roller, namely tire roller, macadam roller and vibratory roller can be used. Laboratory compaction tests using this apparatus have been compared with in-situ compaction test at Shonai Airport. Judging from some compaction tests, the validity of this apparatus can be clarified.

Key Word: Earth Work, Subgrade, Compaction

* Senior Research Engineer, Geotechnical Engineering Division
** Member, Runways Laboratory, Geotechnical Engineering Division
*** Senior Engineer, Office of Investion and Design, Second Port Construction Bureau
**** Director, Geotechnical Engineering Division

現場締固め再現装置の試作と2、3の実験

八谷 好高*
上中 正志**
深海 正彦***
佐藤 勝久****

要 旨

本資料は、今回試作した現場施工機械による締固めを室内で再現できる装置（現場締固め再現装置）を用いた転圧試験の、現場の転圧状況に対する再現性について検証したものである。

広大な用地を都市周辺の平坦な地域に求めることが困難になってきている近年は、空港を起伏に富んだ山岳地に建設することが多くなっている。この空港建設にともなう地盤の造成を効率よく行うためには、土質に適した工法、特に、転圧工法を選定することが肝要である。実際の施工機械による土の締固め機構にはいまだに不明確な点が多い現状では、試験盛土を製作して実規模転圧試験を行ってから転圧工法を選定するのが一般的である。しかし、この実規模転圧試験には、膨大な経費ならびに時間を要するというのほかに、気象条件などの試験条件を一定に保つことが困難であるといった問題点がある。

このようなことを背景として、今回開発した現場締固め再現装置は、縦130cm、横90cm、高さ90cmの土槽を使用して転圧試験を行うことができるものである。現場の施工状態として3種類、すなわち、タイヤローラー、マカダムローラー、振動ローラーによるものが再現可能である。この装置による室内転圧試験を2、3行って、山形県庄内空港で実施した現場転圧試験の結果と比較した。対象土が砂質土だけで、また、試験個数も多いとはいえないが、今回開発した現場締固め再現装置の有効性は確認できたものと考えられる。

キーワード：空港土工、路床、盛土、転圧、締固め

1. まえがき

近年は、広大な空港用地を都市周辺の平坦な地域に求めることが困難になってきている。そのため、空港は、海上の埋立地や起伏に富んだ山岳地に建設されることが多くなっている。山岳地域での空港建設においては、いうまでもなく、切土・盛土をともなった大規模な土工が必要となる。

これらの大土工を、効率よく、しかも地盤の支持力が十分に確保できるように行うためには、現地の土質に適した工法を選定する必要がある。特に、盛土工事にあたっては、使用材料に適した転圧工法を選定が非常に重要である。

しかし、実際の施工機械による現場での土の締固め機構にはいまだに不明確な点が多いため、最適な転圧工法は、室内での突き固め試験のほかに試験盛土を製作して実規模転圧試験を行った上で選定しているのが現状であ

る。しかしながら、この実規模転圧試験には、膨大な経費がかかるばかりでなく多大な時間を要することともに、気象条件などの試験条件を一定に保つことが困難であるといった問題点がある。

このようなことを背景として、今回、現場施工機械による締固めを室内で再現できる装置（現場締固め再現装置）を試作した。本資料は、その現場締固め再現装置を用いた転圧試験の、現場の転圧状況に対する再現性について検証したものである。すなわち、現場締固め再現装置の概要を示したあと、現場の転圧試験とこの装置を使用した室内試験の結果を対比して、今回開発した装置の有効性を論じている。

2. 現場締固め再現装置の概要

今回開発した現場締固め再現装置は、図-1に示すように、試料を土槽に投入し、試料の表面に所要の荷重を加えながら土槽ごと前後に移動させるものである。すなわ

* 土質部 主任研究官
** 土質部 滑走路研究室
*** 第二港湾建設局横浜調査設計事務所建設専門官
**** 土質部長

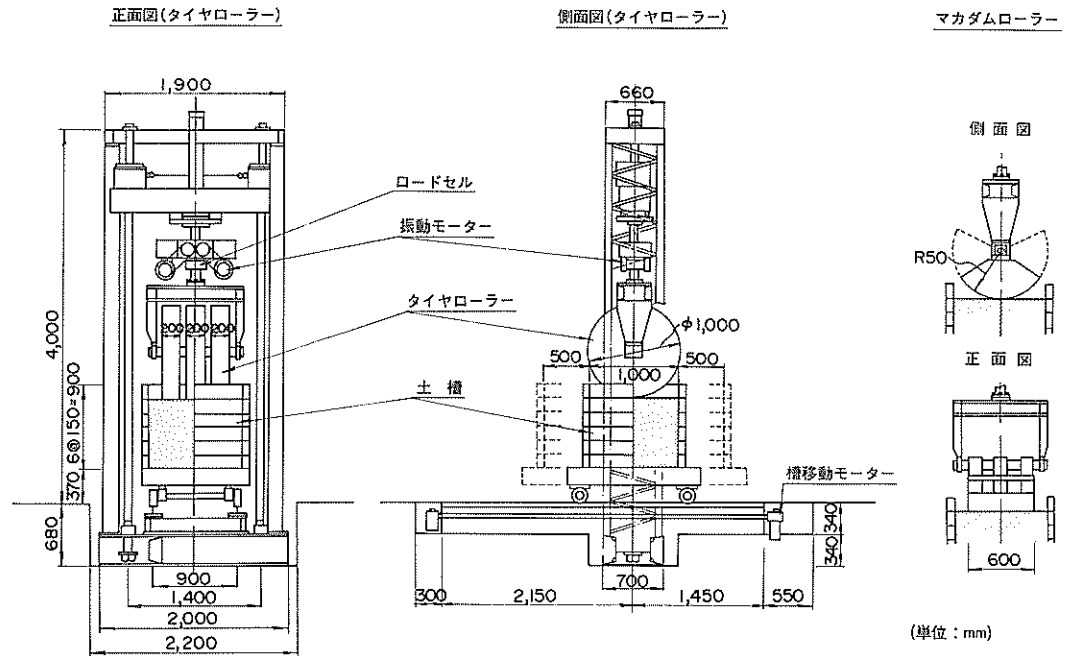


図-1 現場締固め再現装置の概略図

ち、現場施工機械による締固めでは対象土の上をタイヤや鉄輪が移動して転圧するのに対し、本装置では対象土のほうを移動させて転圧するという違いがある。この装置の全体形状を写真-1に示す。

土槽は、高さ15cmの鉄板を積み上げることによって組み立てられており、その大きさは、縦130cm、横100cmで、最大高さが90cmとなっている。このような構造にすることによって、試料土の層仕上がり厚さを任意に設定することができる。また、土槽の前面（移動方向と直角の面）の一方は取り外しが可能となっており、転圧時にその部分を取り外すことにより試料の移動方向の拘束を緩和することができる。なお、土槽の移動速度は、10 mm/sec~50mm/secまで任意に設定できるようになっている。

この装置で再現が可能な転圧機種は、タイヤローラー、マカダムローラー、振動ローラーの3種類である。タイヤローラーは、半径50cm、幅20cmのタイヤを3本連結したもので、マカダムローラーは、半径50cmの扇形をした鋼製のものでその幅は60cmである。振動ローラーは、マカダムローラーと同じものを使用している。

静的載荷（タイヤローラー、マカダムローラー再現時）では、装置上部の油圧シリンダーにより、最大15tfまで

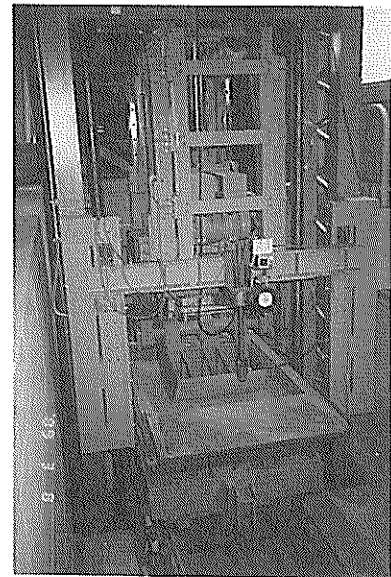


写真-1 現場締固め再現装置

試料に載荷できる。また、動的載荷時（振動ローラー再現時）は、油圧シリンダーによる静的荷重に加え、振動

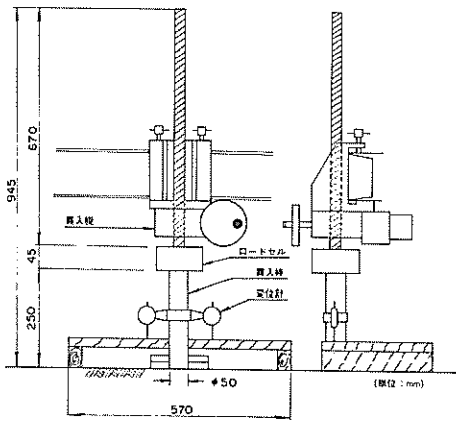


図-2 CBR測定装置

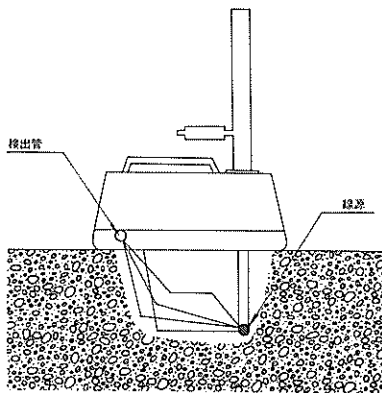


図-3 RI計器の模式図

モーターを使って振動荷重を与えることが可能である。振動荷重(加振力)は、最大で $\pm 4,500\text{kgf}$ であり、振動数は $0\sim 3,000\text{rpm}$ の範囲で任意に設定できる。なお、加振方向は垂直のみで、横振動を極力起こさない構造となっている。

転圧時の載荷重は、油圧シリンダー下部に取り付けたロードセルにより測定する。また、振動数は、ローラー部に取り付けた加速度計により計測する。

転圧後の試料の支持力を把握するために、図-2に示すCBR測定装置を本体に装備している。

試料の密度測定には、RI水分密度計を使用した。RI水分密度計とは、ラジオアイソトープ(Radio Isotope, RI)

を用いて、土の密度、水分量を原位置において短時間で測定できる計器である。その一般的な模式図を図-3に示すが、測定原理は以下のようなものである。¹⁾

密度の測定には、コバルト60などのガンマ線が用いられる。これは、ガンマ線が、物質内を透過するときに、物質を構成する原子との相互作用によりそのエネルギーを失うという原理に着目して、土中の線源から放出されたガンマ線が検出管に到達するまでに失われた強度を計量することによって、密度を測定するというものである。

水分量の測定には、カルフォルニウム252などの中性子が用いられる。これは、中性子が物質内を透過するときに、その物質を構成する原子と衝突することによってエネルギーを失うという原理に注目している。すなわち、エネルギーの大きい速中性子がエネルギーの小さい熱中性子に変化するという現象である。このエネルギーの損失は、水素原子との衝突による場合が最大であるため、土中の線源から放出された中性子が検出管に到達するまでに失われたエネルギーを計測することによって、土中の水分量を算定しようというものである。

なお、今回使用したRI水分密度計によれば、密度は地表面付近(深さ5cm)から深さ30cmまで5cmごとに測定できるが、水分量については深さ10~15cmの部分の平均的な値が得られる。図-4、写真-2には、それぞれ、模式図と写真を示す。

RI水分密度計は、空港土木施設施工要領改訂案(土工編)²⁾にも記載されているが、その中では日本道路公団の規定が示されている。今回用いたRI計器では、密度測定に比較して、水分測定の精度が悪いと思われたので、含水比は従来の炉乾燥法によって測定している。

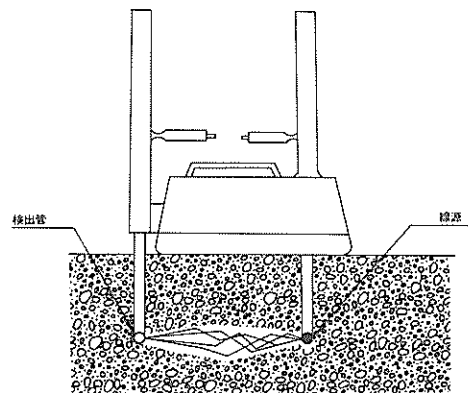


図-4 今回用いたRI水分密度計の模式図

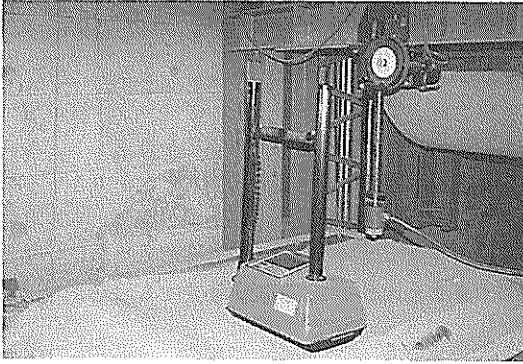


写真-2 今回用いたRI水分密度計

表-1に一般的な現場施工機械の仕様と、それぞれを今回開発した試験装置で再現するための換算値を示す。現場締固め再現装置は、載荷重、振動数に関してはすべての現場施工機械に対応できるが、加振力に関しては若干不足するようである。なお、表中の換算値の載荷重とは、試験装置のローラーまたはタイヤの線荷重（単位幅当たりの荷重）を現場施工機械のものと等しくした場合に、試料に加えらるる荷重である。

3. 現場締固め試験

今回試作した現場締固め再現装置が、実際の施工機械による転圧状況を再現できるものであるかどうかを確認することが第一に必要である。そのためには、現場での施工状況とこの装置による転圧状況とを比較しなければならない。そこで、まず、3.で現場での施工状況を検討し、4.で現場締固め再現装置による転圧状況を検討することとした。現場転圧試験の例としては、山形県庄内空港の建設にともなう現場締固め試験のデータを用いた。

表-1 現場施行機械の仕様と換算値

機種	仕 様						換 算 値		
	公称重量 (tf)	輪荷重(線圧) (kgf/cm)	タイヤ荷重 (gkf/本)	加振力 (kgf)	振動数 (rpm)	締固め幅 (cm)	載荷重 (kgf)	加振力 (kgf)	振動数 (rpm)
振動 ローラー	20.68	49.0	—	19,100	1,800	213	2,940	5,380	1,800
	15	31.4	—	7,440	2,400	199	1,884	2,243	2,400
	10	23.7	—	21,000	1,800	215	1,422	5,860	1,800
マカダム ローラー	15	58.3/64.2	—	—	—	230	3,852	—	—
	12	31.5/77.5	—	—	—	199	4,650	—	—
タイヤ ローラー	19.5	—	2,017/2,017	—	—	202	6,051	—	—
	15.5	—	1,575/1,840	—	—	202	5,520	—	—

注) マカダムローラー、タイヤローラーに関する輪荷重、タイヤ荷重は前輪/後輪であり、換算値は後輪を対象とした。

3.1 試験方法

試験に用いられた試料は、粘着性に乏しい単粒径の砂質土であり、JIS A 1210のDあるいはE法による最適含水比は19.3%であった。転圧試験時の含水比は6~12%程度となっていた。

図-5に示すような形状の試験盛土を製作した。一層仕上り厚は20cm、30cm、40cmの3種類、施工機械は32tfブルドーザー、21tfブルドーザー、10tf振動ローラーの3種類としたので、9種類の転圧試験を実施した。なお、図中の回数は転圧回数である。

転圧にともなう試料の性状変化を把握するために、密度、含水比を測定した。力学特性としてはCBR、支持力係数(K値)の2種類について測定した。

密度と含水比の測定にはRI計器を用いた。表面での測定においては、その模式図を図-3に示したが、いわゆる公団仕様の国産RI計器（日本道路公団の規定を満足する計器）を使用した。このほか、深さ方向の密度分布を調べるために当所所有のRI計器を一部で用いた。湿潤密度から乾燥密度への換算時に必要となる含水比は、前者ではRI計器によるものを、後者では2.で述べたように炉乾燥法によるものを用いた。なお、公団仕様のRI計器による密度の測定値は、計器の模式図からもわかるように、測定面(表面)から深さ20cmまでの部分の平均値である。

3.2 測定結果

ここで示したデータは、基礎地盤の影響を受けないように、最上層(3層目)のものである。密度は、特に断らない限り公団仕様のRI計器によるものである。

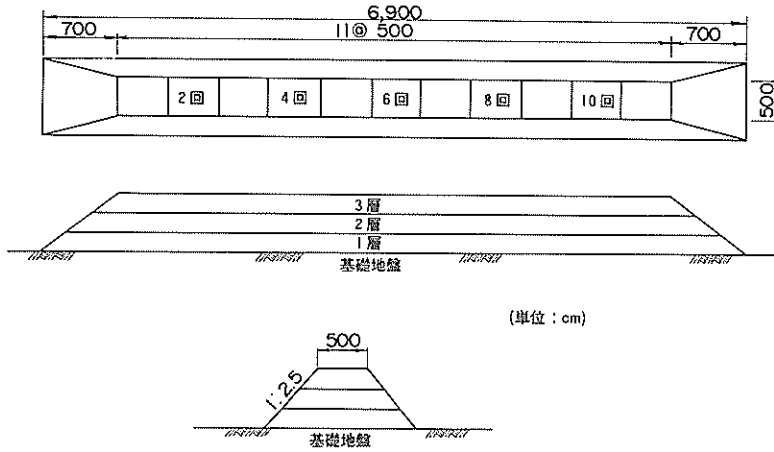


図-5 試験盛土

(1) 転圧回数と乾燥密度

転圧回数の増加による乾燥密度の変化を図-6~8に示す。施工機種や層厚によらず、転圧の進行につれて密度が増加すること、特に初期において著しいことがわかる。しかし、密度の増加程度は施工機種によって異なっており、振動ローラーによる転圧効果は、表面近傍の密度には現れにくいものと思われる。

一層仕上り厚が40cmの場合の、転圧にともなう深さ方向の密度分布の推移を図-9~11に示す。この場合の密度は当所所有のRI計器で測定した。21tfブルドーザーに比べて、32tfブルドーザー、振動ローラーのほうが下部までよく締まっているようである。層厚が40cmの場合のデータしかないため、明確なことはいえないが、層厚の大きい場合に振動ローラーではない比較的軽量の転圧機械を用いると、層全体としては転圧の効果が現れにくいものと考えられる。層全体の転圧効果として表面からの深さが0、10、20、30cmの点の乾燥密度の平均値をとり、それを転圧回数に対してプロットしたものが図-12である。表面での測定値では把握できなかった、層全体としてみた場合の転圧効果は、これによく現れていることが認められる。

(2) 転圧回数とCBR

転圧にともなうCBRの変化を、一層仕上り厚ごとにまとめて、図-13~15に示す。転圧機種によらず、密度の増加に対応してCBRも増加する傾向がみられるが、その増加程度は後述のK値にみられるものとは極めて異なっている。転圧の進行にともなうCBRの増加程度の、機種による違いをみれば、表面の乾燥密度があまり大きく

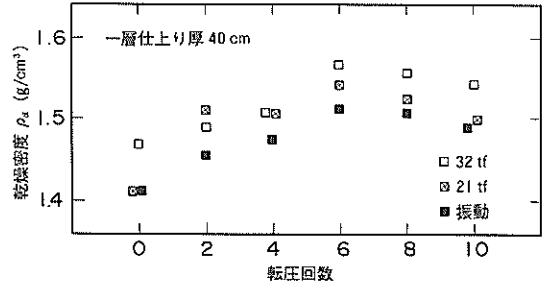


図-6 転圧回数と乾燥密度 (施工厚40cm)

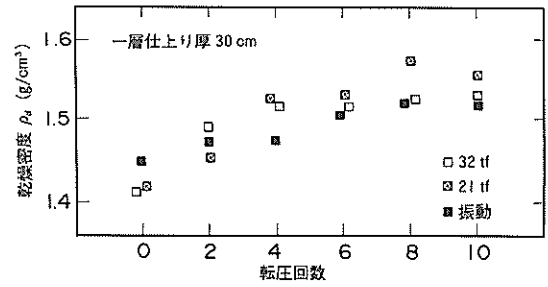


図-7 転圧回数と乾燥密度 (施工厚30cm)

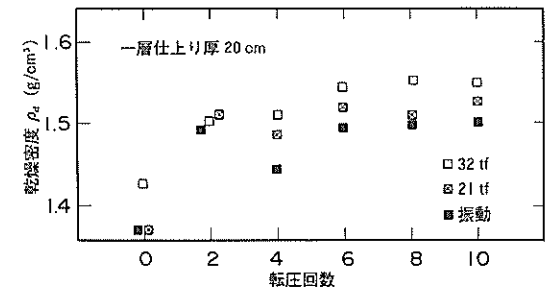


図-8 転圧回数と乾燥密度 (施工厚20cm)

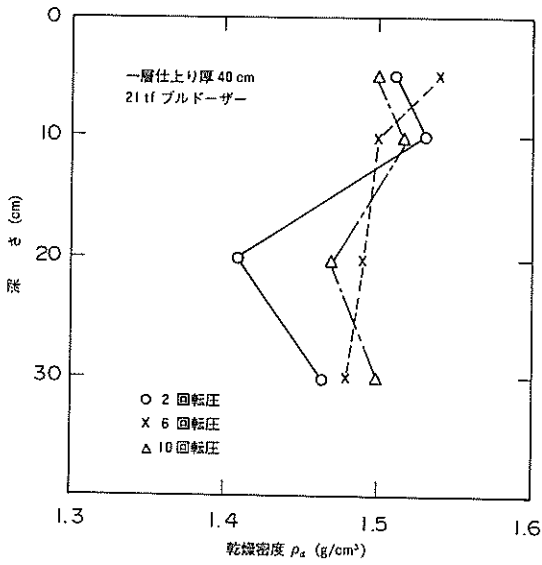


図-9 乾燥密度の深さ方向分布 (32tfブルドーザー)

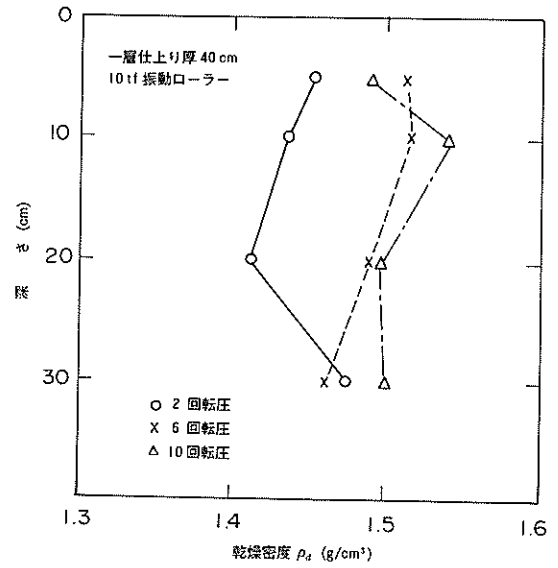


図-11 乾燥密度の深さ方向分布 (10tf振動ローラー)

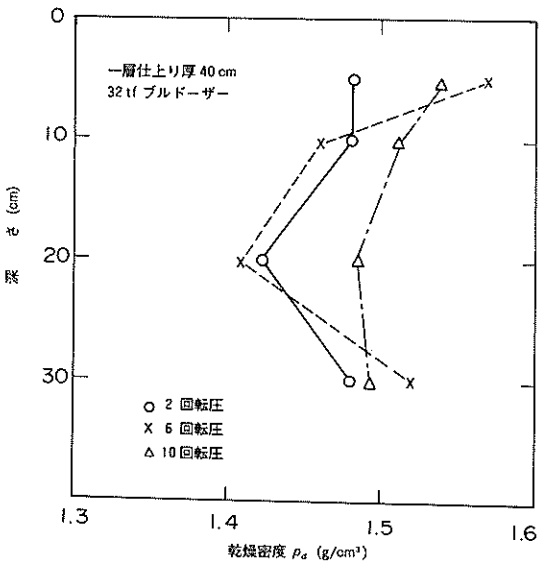


図-10 乾燥密度の深さ方向分布 (21tfブルドーザー)

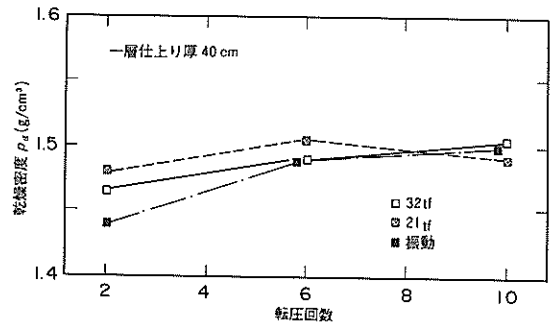


図-12 転圧回数と平均乾燥密度

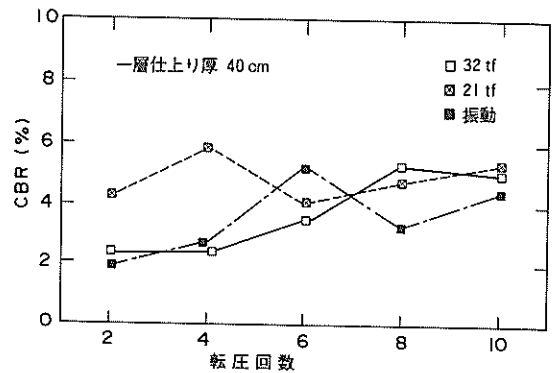


図-13 転圧回数とCBR (施工厚40cm)

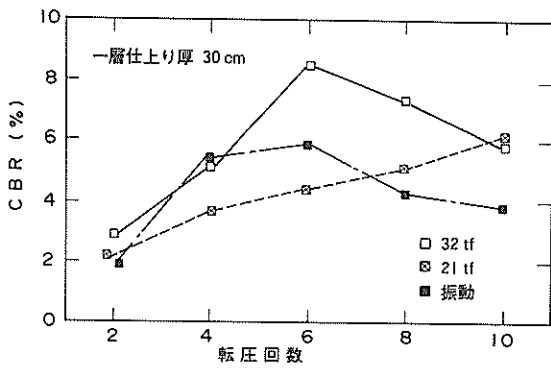


図-14 転圧回数とCBR (施工厚30cm)

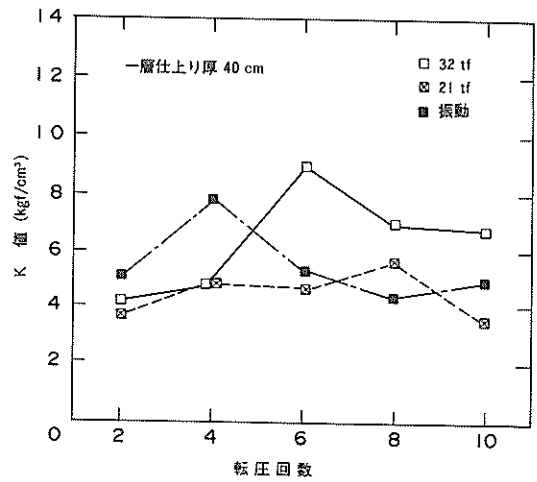


図-16 転圧回数とK値 (施工厚40cm)

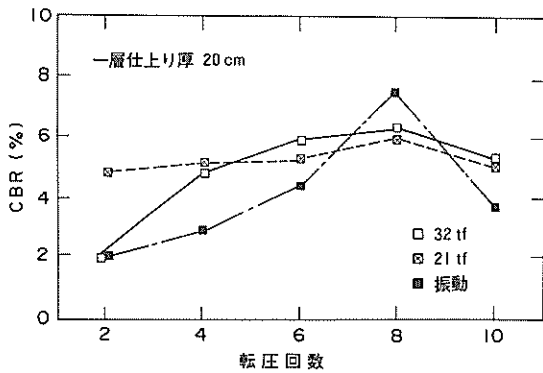


図-15 転圧回数とCBR (施工厚20cm)

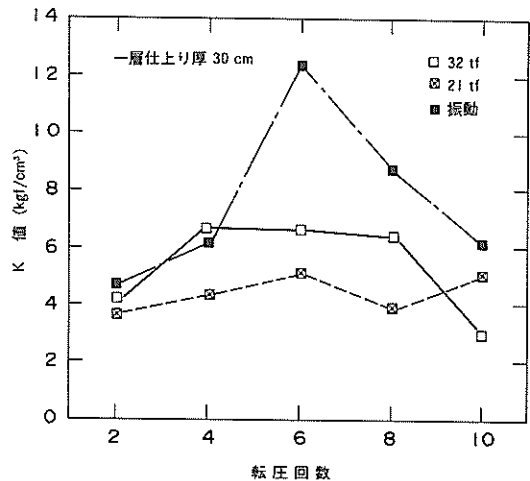


図-17 転圧回数とK値 (施工厚30cm)

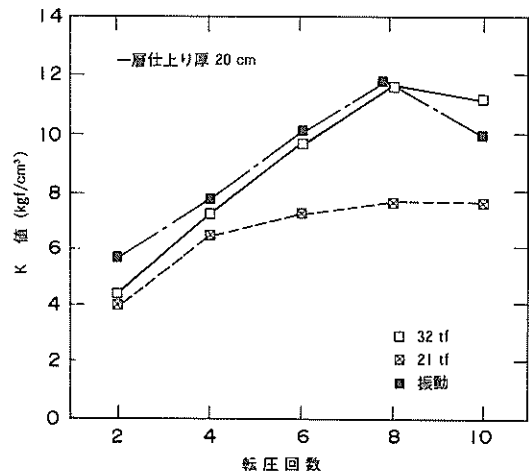


図-18 転圧回数とK値 (施工厚20cm)

はならなかった振動ローラーは、CBRでもブルドーザーに比べて小さいものとなっている。また、ブルドーザーの重量の違いによる締固め効果には、顕著な差は認められない。

(3) 転圧回数とK値

CBRの場合と同様に、転圧にともなうK値の変化を図-16~18に示す。転圧回数が同じ場合をみれば、仕上がり厚さを小さくするほど、K値も増加することがわかる。このような現象は、仕上がり厚が変わることによる表面密度の増加状況を示した図-19~21からは推定できない。

仕上がり厚さを小さくするほどK値が増加する傾向は、機種にはよらないが、特に振動ローラーにおいて顕著にみられる。また、ブルドーザーでは、重量の違いがそのままK値に反映され、重量の大きいものほどK値も大きくなることわかる。これは、重量による差があまりみられなかったCBRの場合と対照的である。このことから、CBRはK値に比べて表層部の土の状態に左右さ

れやすいと考えられ、機種の違いは K 値ほどCBRには現れない。振動ローラーの締固め機構はブルドーザーとはまったく異なるものであることが、このことから理解できる。

(4) K 値とCBRの関係

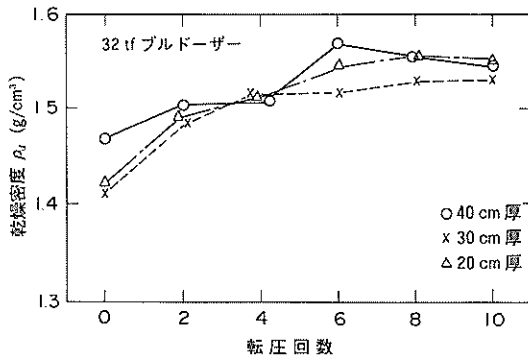


図-19 転圧回数と乾燥密度 (32tfブルドーザー)

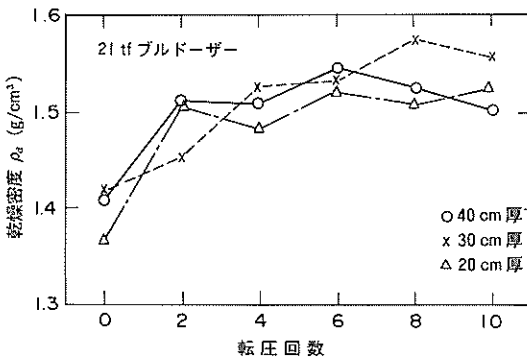


図-20 転圧回数と乾燥密度 (21tfブルドーザー)

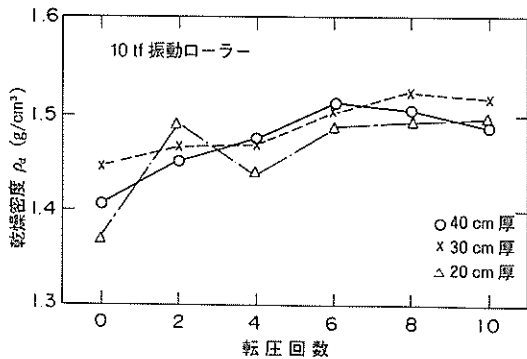


図-21 転圧回数と乾燥密度 (10tf振動ローラー)

K 値とCBRの関係をプロットしたのが図-22~24である。転圧機種や層厚によらず、CBRが増加すれば K 値も増加するという傾向が認められる。また、一層仕上り厚さを小さくした場合ほど、同じCBRに対する K 値の値が大きくなるようである。これは、転圧機械による締固めエネルギーは転圧面付近が最大で、そこから深くなるほど小さくなるという事実を考えれば理解できる。一層仕上り厚が小さいほど締固めの対象となる部分に加えらるエネルギーは大きくなり、層全体の支持力を表す K 値は上昇していくものと推測される。これに対して、表層部のみの支持力に関わるCBRは、このような未転圧部分の平均的なエネルギーの大きさに影響されないで、層厚の違いが反映されないであろう。

4. 室内転圧試験

2. でその概要を示した現場締固め再現装置を用いていくつかの転圧試験を実施して、締固め方法や試料が異なる場合の締固め特性について調べた。そして、3. で得られた現場転圧試験の結果と比較して、今回作製した装置の有効性について検証した。なお、ここで用いたRI水分密度計は当所所有のものであり、1回の測定において3分間継続して計測する方法を用いて、1箇所につき3回繰返して測定を行った。

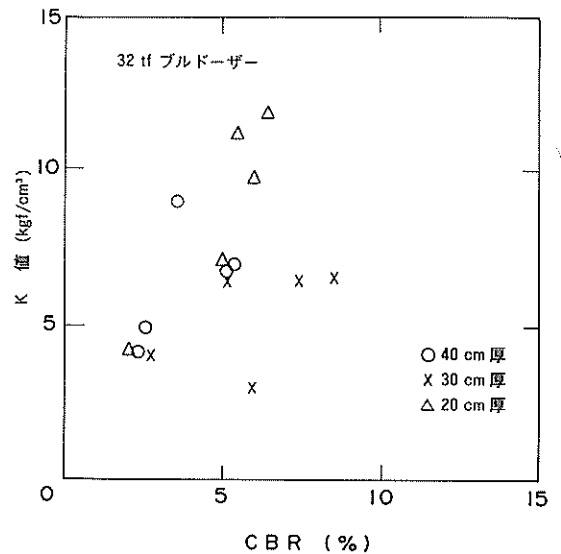


図-22 K 値とCBR (32tfブルドーザー)

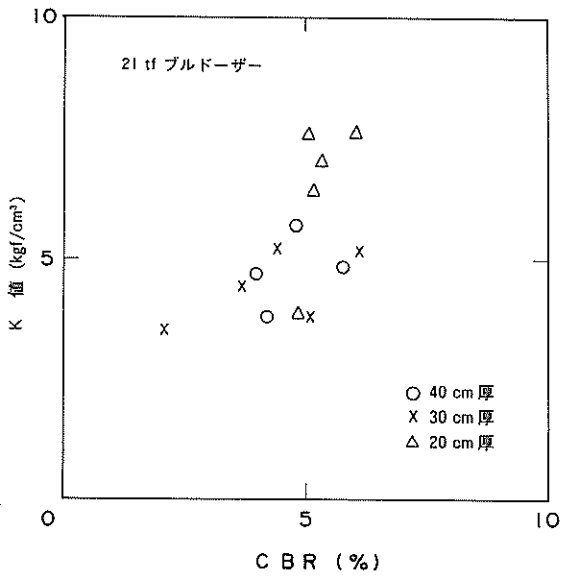


図-23 K値とCBR (21tfブルドーザー)

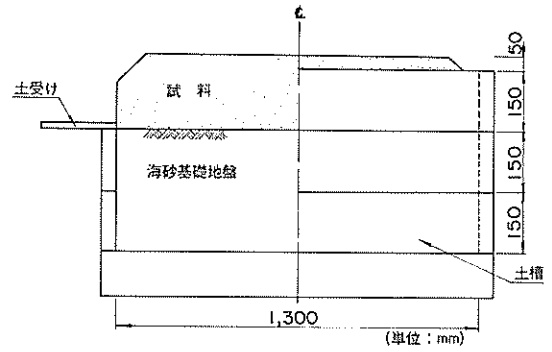


図-25 供試体の初期形状

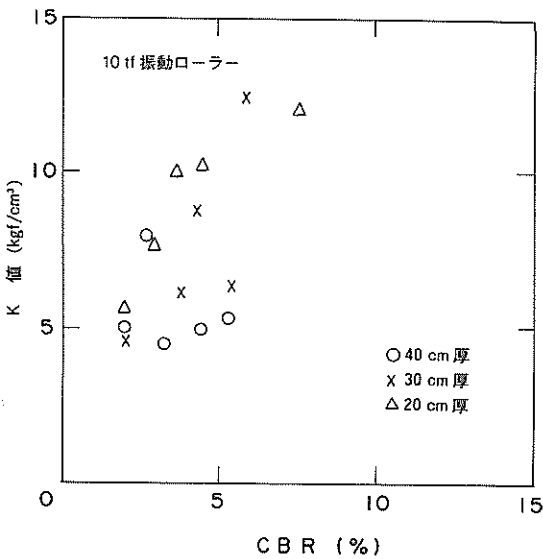


図-24 K値とCBR (10tf振動ローラー)

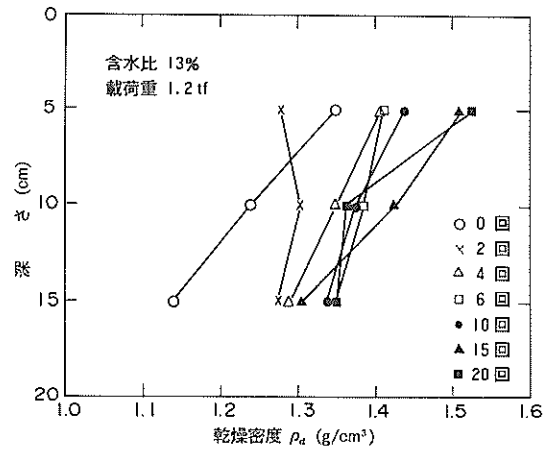


図-26 転圧回数による密度分布 (含水比13%, 荷重1.2tf)

4.1 転圧荷重の影響

転圧機種と試料を同一として、荷重を変えて転圧試験を実施した。また、含水比を変えた試料に対しても、試験を実施した。

(1) 試験方法

図-25に示すように、土槽の下部30cmに単粒径の海砂を十分に転圧した基礎地盤を作製し、その上に厚さ20cmの山砂を盛り立て、人力により供試体の初期形状を整理した。なお、2.で述べたように、転圧試験時には供試体の前部は開放した。

この試験の条件は次のとおりである。

- ①対象土 千葉山砂 (JIS A 1210のD法による最適含水比は16.5%で、最大乾燥密度は1.82g/cm³)

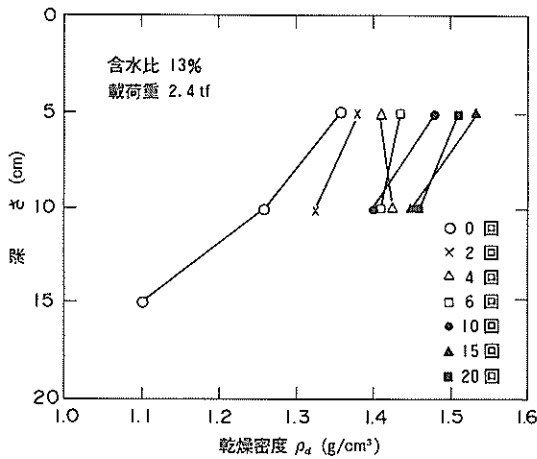


図-27 転圧回数による密度分布
(含水比13%, 荷重2.4tf)

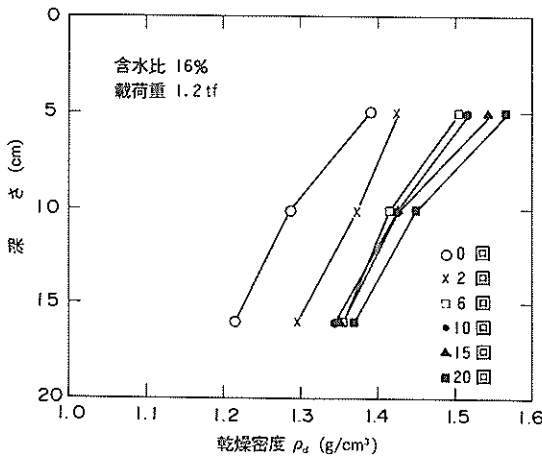


図-28 転圧回数による密度分布
(含水比16%, 荷重1.2tf)

- ② 締固め機種 タイヤローラー
- ③ 含水比 13%, 16%の2種類
- ④ 載荷重 1.2tf, 2.4tfの2種類
- ⑤ 転圧回数 20回

(2) 試験結果

a) 転圧にともなう密度の変化

試料の表面から5cm, 10cm, 15cmの点の乾燥密度分布を転圧回数ごとに示したものが、図-26~28である。まず、試料の含水比が同一で、載荷重が異なる場合を比較して

みる(図-26と図-27)。20回の転圧で到達し得る乾燥密度は、地表面付近(深さ5cm)ではそれほど変わらないが、深い場所(深さ10cm)では載荷重2.4tfのほうが大きいことがわかる。これは、転圧回数が同一の場合、載荷重の大きい場合のほうが、深い部分まで締固められることを意味している。

次に、転圧荷重が同一で試料の含水比が異なる場合について考察してみる(図-26と図-28)。まず、含水比によらず、転圧の初期段階で乾燥密度が著しく増加することがわかる。そのほか、含水比が16%の場合には、転圧回数の増加にともない、密度は試料のほぼ全厚にわたって増加していくのに対して、含水比が13%の場合には、必ずしも均一には締まらないこともわかる。また、20回の転圧で得られる試料の乾燥密度は、含水比16%の試料のほうが大きい、これはこの試料の最適含水比が16.5%であることによって説明できる。

転圧回数にともなう深さごとの乾燥密度の推移を図-29~31に示す。試料の乾燥密度は転圧荷重や含水比の違いによらず、転圧の進行につれて増加していくことがわかる。図-26~28でもみられたが、密度の増加は、転圧の初期段階で顕著であることがこれらの図からも明らかである。荷重の大小に注目すれば、荷重の小さいものでは転圧の効果は深部にまでは及びにくいことがわかる。これは、3.で述べた現場転圧試験でみられたものと同じ傾向である。

b) 転圧回数と CBR

転圧回数と CBR の関係を図-32に示す。試料の含水比が同一で載荷重が異なる場合は、全般的に載荷重の大きいほうが CBR も大きいことがわかる。これは、a) で記したように、表面付近(5cm)では荷重の影響は小さいものの、深部(10cm)では荷重の大きいもののほうが締固められるという事実を反映しているのであろう。このことから、今回の試験条件下では、ある CBR を確保したい場合、載荷重を大きくしたほうが少ない転圧回数で達成できることを意味する。

載荷重が同一で、試料の含水比が異なる場合は、転圧初期においては、CBR がほぼ同じであるものの、それ以降は、含水比13%のほうが全般的に CBR が大きいようである。

c) CBR と乾燥密度の関係

一般に、締固めの施工管理には密度(乾燥密度)による方法が用いられているが、この背景には、密度が確保されれば支持力も確保されるという考え方があろう。表面付近(深さ5cm)の乾燥密度に対して CBR をプロットしたものが図-33である。含水比が13%と同一の場合、載

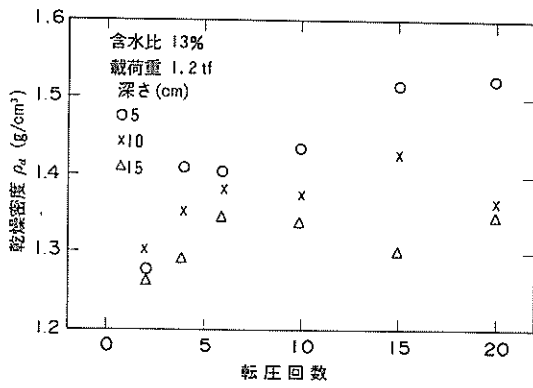


図-29 転圧回数と乾燥密度
 (含水比13%, 載荷重1.2tf)

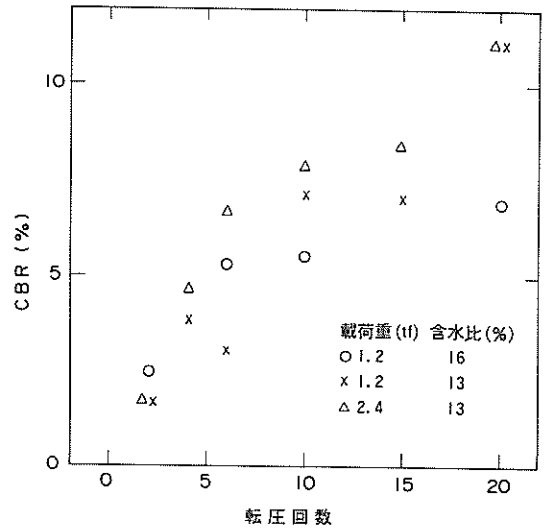


図-32 転圧回数とCBR

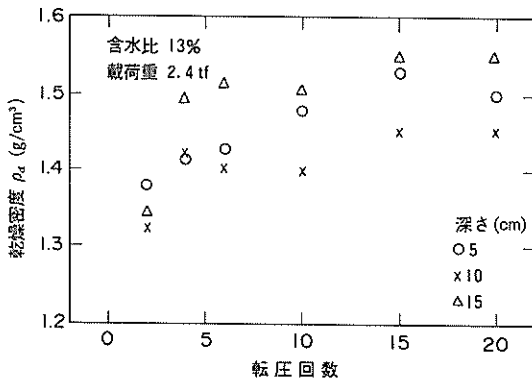


図-30 転圧回数と乾燥密度
 (含水比13%, 載荷重2.4tf)

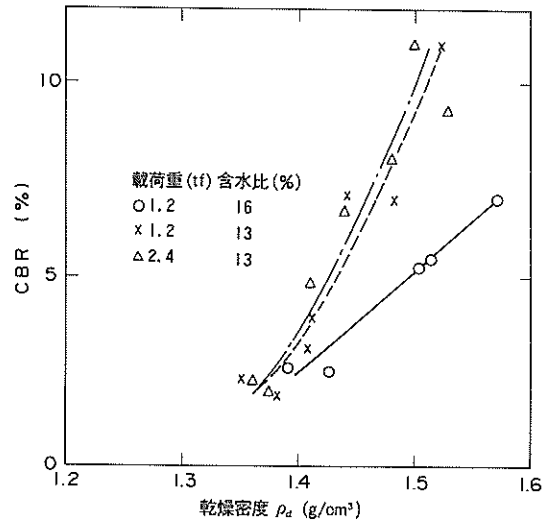


図-33 CBRと乾燥密度

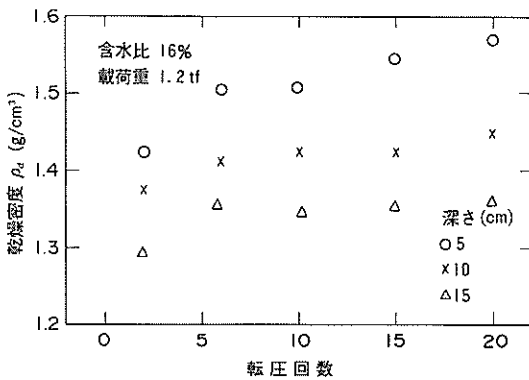


図-31 転圧回数と乾燥密度
 (含水比16%, 載荷重1.2tf)

荷重の大小にかかわらず乾燥密度と CBR の関係はほぼ同様の傾向、すなわち、密度に対する CBR の増加割合はほぼ同一であるという傾向がみられる。したがって、含水比が同じ場合は、転圧機種が違って密度が同じになれば、比較的浅い部分の支持力を表す CBR も同じ値が確保できることになろう。一方、転圧荷重は同じでも含水比が異なる場合をみれば、高い含水比(16%)では乾燥

密度が増加しても CBR は必ずしもそれと同程度には増加しないことがわかる。このことから、含水比にばらつきの大きい材料を使用する場合に所定の強度を確保するためには、その含水比に応じて転圧工法を変更する必要があると結論づけられる。

4.2 転圧機構の影響

4.1では、転圧機構を同一として転圧荷重の影響を観察したが、ここでは、荷重はほぼ同じであるが、機構の異なる転圧が締め固め特性に及ぼす影響を調べた。なお、供試体初期形状の整正方法は、4.1で説明したものと同一方法である。

(1) 試験条件

ここで実施した試験の条件は以下のとおりである。

- ①対象土 千葉県砂 (4.1と同じ試料)
野比海砂 (JIS A 1210のD法による最適含水比9.0%、最大乾燥密度1.84g/cm³)
- ②締め固め機種 タイヤローラー
マカダムローラー
振動ローラー
- ③含水比 千葉県砂：13.5%
野比海砂：10%
- ④載荷重 タイヤローラー：1.2tf
マカダムローラー：1.2tf
振動ローラー：0.9tf±0.5tf(振動数1, 020rpm)
- ⑤転圧回数 20回

(2) 試験結果

a) 転圧回数にともなう密度変化

転圧回数にともなう深さ5、10、15cmの乾燥密度の変化を図-34、35に示す。深さ15cmの乾燥密度の値は、野比海砂で作製した基礎地盤の影響を含むものと考えられるため、解析から除外した。

千葉県砂の場合、タイヤローラー、マカダムローラーによる転圧では、地表面付近(深さ5cm)の締め固めが先行して、下部(深さ10cm)がその後締まるという傾向がある。すなわち、厚さ方向の密度勾配は転圧回数の増加につれて急になるようである。また、振動ローラーによる締め固めは、深さ方向に均一に、すなわち同じ密度勾配で進行するという傾向のあることがわかる。

野比海砂の場合には、層下部においては転圧回数による密度の増加がみられるが、表面付近での密度の増加はみられない。これは、人力による供試体の初期形状整正時に表面付近がかなり締め固められてしまったこと (JIS A 1210のD法によるこの材料の最大乾燥密度は1.84g/cm³

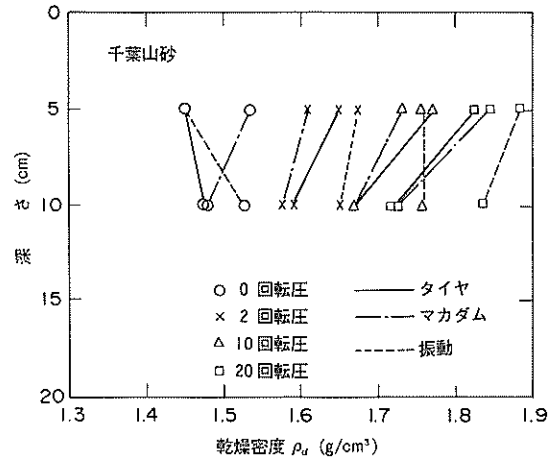


図-34 転圧にともなう密度分布の変化 (千葉県砂)

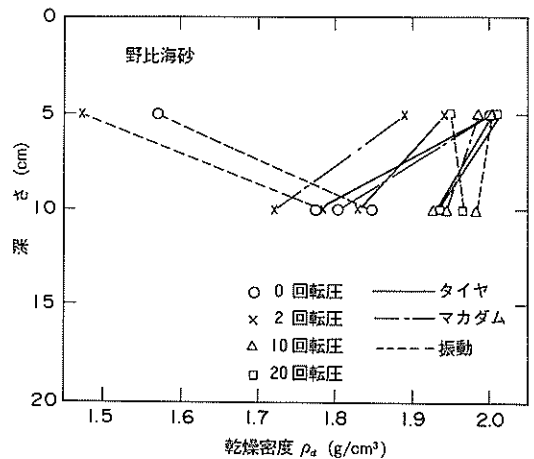


図-35 転圧にともなう密度分布の変化 (野比海砂)

cm³である) が原因であると考えられる。

図-36に転圧にともなう地表面付近(深さ5cm)の乾燥密度の推移を示す。この図と図-37に示した深さ10cmの点の密度を比較すると、転圧によって表面に近い部分がよく締まることわかる。転圧機構の違いをみれば、振

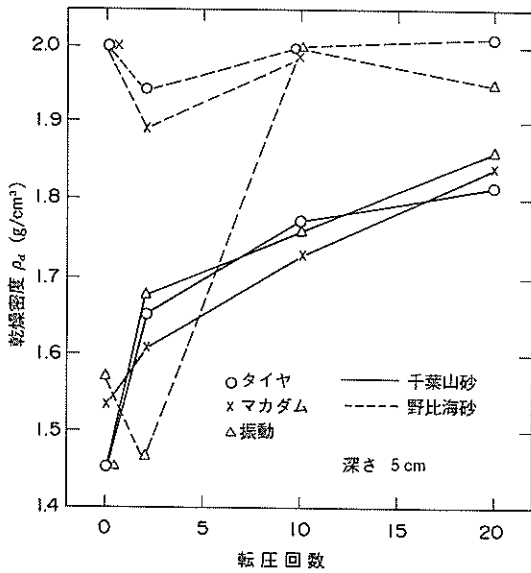


図-36 転圧回数による乾燥密度の推移 (深さ5cm)

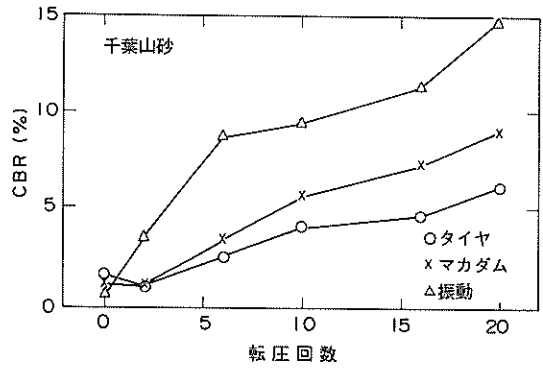


図-38 転圧回数によるCBRの推移 (千葉山砂)

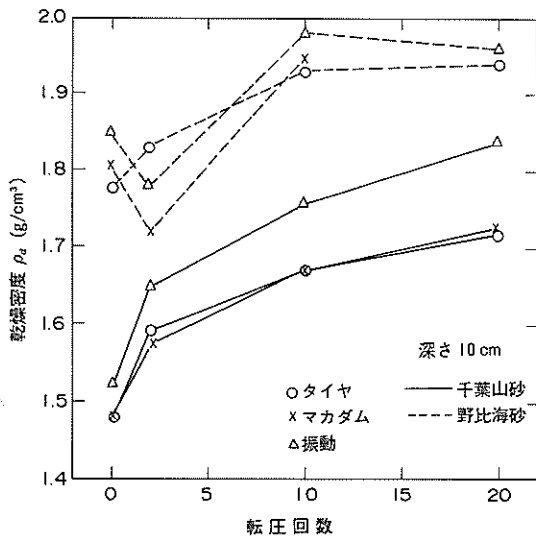


図-37 転圧回数による乾燥密度の推移 (深さ10cm)

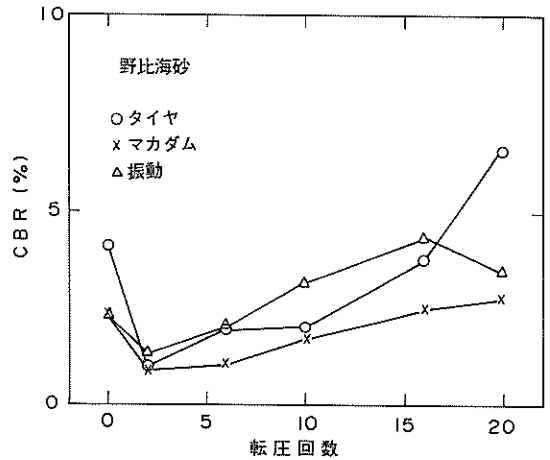


図-39 転圧回数によるCBRの推移 (野比海砂)

動ローラーの効果がより深部にまで及んでいると思われる。このような傾向は、野比海砂の場合より千葉山砂で顕著である。

b) 転圧回数と CBR

図-38、39は、転圧の進行につれて CBR が変化する状

況である。千葉山砂に関していえば、密度は、転圧機種によらず、転圧回数の増加につれて増加するが、CBR は転圧機種の違いに大きく影響され、振動ローラー、マカダムローラー、タイヤローラーの順に大きい。今回の試験条件に限れば、千葉山砂でより大きな CBR を得るためには、振動ローラーによるのが効果的といえそうである。

野比海砂では、千葉山砂に比較して、転圧回数にともなう CBR の増加程度は小さい。転圧機種による効果の違いをみれば、この試料に対してはマカダムローラーはあまり有効とはいえないようである。

c) CBR と乾燥密度の関係

CBR と乾燥密度 (深さ5cm) の関係を図-40、41に示す。千葉山砂、野比海砂とも、両者の関係は、締めめ機構が

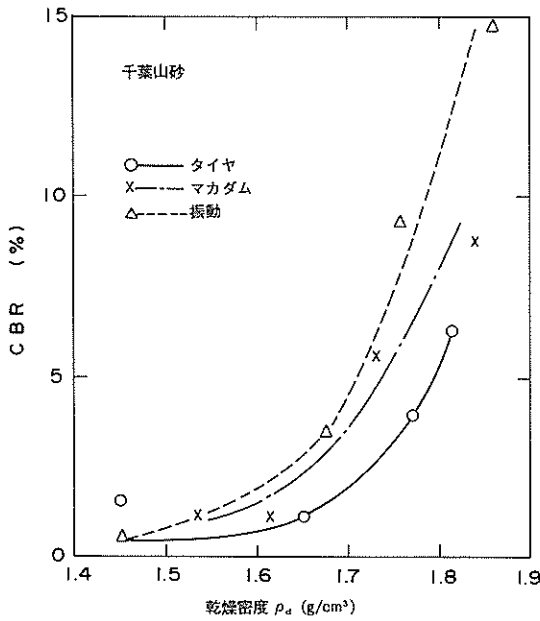


図-40 乾燥密度とCBRの関係 (千葉山砂)

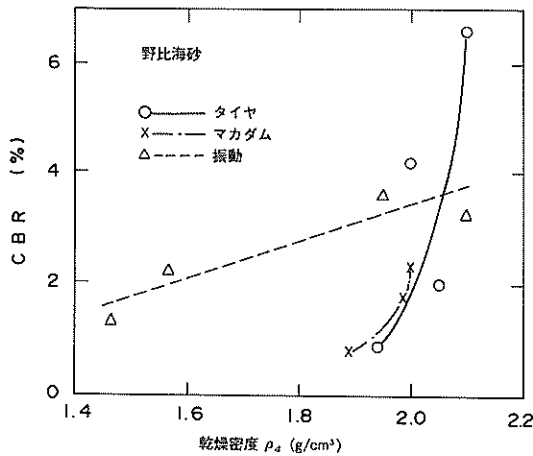


図-41 乾燥密度とCBRの関係 (野比海砂)

違えば異なるものとなっている。特に、野比海砂ではその傾向が著しい。千葉山砂の場合は、図-37に示したように、深さ10cmとやや深い点の密度増加の著しいことが、CBRの増加に結びついていると考えられる。3.で示した現場試験においても、CBRはこの程度の深さの密度に依存していた。

5. 結論

今回開発した現場締固め再現装置は、次のような特徴を有している。

(1)縦130cm、横90cm、高さ90cmの土槽を使用して現場の施工状態とほぼ同じ締固め試験ができる。

(2)載荷方法は、タイヤローラー、マカダムローラー、振動ローラーの3種類が可能である。

砂質土を対象として、室内転圧試験と現場転圧試験の結果を比較して、今回開発した現場締固め再現装置の有効性を確認した。現場転圧試験は山形県庄内空港で実施した。この試験から以下の点が明らかになった。

(1)振動ローラーの効果は表面で測定した密度には表れにくい³⁾が、層全体の密度には顕著に認められる。

(2)同一転圧回数の場合、重量の大きいもののほうが転圧効果がある。

(3)CBRは比較的浅い部分の密度につれて増加する。

(4)K値は比較的深い部分をも含めた範囲の密度に密接に関係している。

(5)K値は転圧機種の影響を大きく受けるため、CBRとの関係も層厚や転圧機種といったものに影響される。

現場締固め再現装置を用いた室内試験からは以下の点が明らかになった。

(1)比較的深い部分は、重量の大きい転圧機械を用いるほど締固められる。また、振動ローラーの効果も著しい。

(2)CBRは10cm程度までの密度と密接な関係があるようだ。

(3)密度とCBRの関係は、試料によって異なったものとなるが、転圧機種や含水比が違っても異なったものとなる。

6. あとがき

実際の転圧機械による現場での締固め状況を室内で再現することを意図して、現場締固め再現装置を試作した。この装置は、土槽を十分大きくとることができなかったため、当初は外枠の影響を心配していた。試験の数が十分とはいえないが、そのような影響もみられず、この装置の有効性が確認できたものと思っている。

今回は、現場施工のデータのみならず、室内試験のデータも少ないため、現場転圧の状況について一般化することはできなかったが、今後データを収集するとともに、室内試験を実施してデータを蓄積していきたい。また、土質の違いや含水比の違いといった点についても検討しなければならないのはいうまでもない。さらに、小さな供試体を使用する突き固め試験によって得られる締固め

特性との相関性についても検討したいと思っている。庄内空港の現場施工は山形県が実施したものである。記して感謝します。

参考文献

- 1) (財) 高速道路技術センター：ラジオアイソトープによる盛土管理手法の研究報告書、142p.、1984.
- 2) 運輸省航空局飛行場部建設課：空港土木施設施工要領改訂案（土工編）、441p.、1990.

港湾技研資料 No.711

1991.6

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所

横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 阿部写真印刷株式会社

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.

Copyright © (1991) by P.H.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.H.R.I.

この資料は、港湾技術研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複写は、港湾技術研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。