

ISSN 0386—5878

土研資料 第1472号

土木研究所資料

第1472号

盛土の締固め管理に関する調査

昭和54年1月

建設省土木研究所
施工研究室

まえがき

道路盛土の品質として問題となるのは、その強度、圧縮沈下及びそれらのばらつきであるが、これらの特性を直接測定し、管理する方法はまだ開発されていない。そのため、一般にはこれらの特性と関係がある盛土の密度や含水比によって管理が行なわれている。

しかし、盛土の品質を密度、含水比によって管理する方法には、現位置における密度測定の精度が低いこと、道路盛土では盛土材料として均一なものを使用することが困難なことが多く、盛土材料の土質、含水比のばらつきが大きいなどの問題がある。このような密度管理による品質管理の問題点をカバーするため、盛土の締固め施工法を規定し、盛土の品質を確保する方法が改めて検討されている。

施工研究室では、盛土の密度測定の簡便化や精度の向上をはかるため、ラジオアイソトープ（以下、R.I.と呼ぶ。）を用いた密度、含水量の測定法について試験を行ない、その有効性を確認してきた。そこで、R.I.密度水分計を用いて、各種密度測定法の精度および盛土自体の密度のばらつきについて調査し、密度管理による盛土の品質管理上の問題点を明らかにするとともに、各種の締固め機械の締固め特性を調査した。

実験の結果、各種密度測定法の精度、盛土の密度のばらつき、各種締固め機械とその締固め効果についてある程度把握することができたので、ここに現在まで行った調査についてとりまとめておく。

昭和54年1月

施 工 研 究 室

千 田 昌 平

中 垣 光 弘

坂 井 田 美 晴

目 次

まえがき

1. 調査目的	1
2. 調査内容	2
2.1 盛土の密度のばらつきの調査	2
2.1.1 試験盛土の構成および転圧の方法	2
2.1.2 盛土の密度測定	3
2.2 各種機械の締固め実験	4
2.2.1 タイヤローラによる転圧実験	4
2.2.2 ブルドーザおよびトラクターショベルによる転圧実験	4
2.2.3 振動ローラによる転圧実験	4
2.3 測 定	5
2.3.1 表面の密度, 水分測定	6
2.3.2 盛土の内部の密度, 水分測定	7
2.3.3 表面の沈下量測定	7
2.3.4 盛土の内部の沈下量測定	8
2.3.5 盛土内部の沈下量の動的測定	8
2.3.6 締固め機械走行時の土圧測定	8
2.3.7 転圧速度の測定	8
3. 密度測定法	9
3.1 R I 測定法	9
3.2 砂置換法	15
3.3 水置換法	16
3.4 コアークッタ法	16
3.5 R I 測定法と各測定法の比較	16
4. 締固めに伴う密度のばらつき	19
4.1 盛土の密度および含水比のばらつき	19
4.2 各種機械の走行による密度上昇と変動係数	19
5. 締固め機械とその締固め効果	21
5.1 自走式タイヤローラによる締固め	21
5.2 ブルドーザによる締固め	26
5.3 振動ローラによる締固め	29
5.4 各種機械の締固め効果	32
5.4.1 含水比と締固め効果	33
5.4.2 機械重量と締固め効果	34

5.4.3	深さ方向の密度の変化	35
5.4.4	敷均し密度と締固め後の密度	36
5.4.5	転圧時の鉛直土圧と水平土圧	36
6.	盛土の締固め管理	39
6.1	締固め管理の手法	39
6.2	密度規定方式	40
6.2.1	締固め度規定方式	41
6.2.2	空気間隙率又は飽和度規定方式	44
6.2.3	規定値と合格判定値	46
6.3	強度特性規定方式	47
6.4	工法規定方式	49
7.	ま と め	51
8.	今後の問題点	53
9.	あとがき	54
	参考文献	55
付 録	1. 盛土材の土質試験結果	57
	2. 盛土の密度のばらつきの試験調査結果	63
	3. 各種機械の締固め効果の実験結果	73

1. 調 査 目 的

土の単位体積重量の測定には、砂置換法、コアーカット法あるいは水置換法が一般に用いられている。しかし、これらの測定法は、作業が煩雑なうえ測定値のばらつきが大きく、また結果を得るまでに長時間を要する欠点がある。これらの問題を解決する方法として、施工研究室では密度、含水量をラジオアイソトープを用いて測定する方法について調査試験を行ない、その有効性を確認してきた。しかし、道路土工現場における使用については、経済性、信頼性の点ではまだ普及した方法とはなっていない。

そこで、現場において土の単位体積重量の測定法として従来から多用されている砂置換法、コアーカット法および水置換法について、その精度を確認するとともに、道路盛土の密度および含水比のばらつきが元来どの程度のものであるか調べ、密度管理の有効性と限界について検討することとした。

道路土工で広く締固め機械として用いられている自走式タイヤローラやブルドーザは、ともに本来、土の締固めのために製作されたものではない。自走式タイヤローラは、舗装工事用締固め機械で、平坦な薄層の締固めを目的としており、30 cm以上のまき厚で、転圧面の不陸の大きい盛土の締固めには十分な効果が期待できるか疑問である。また、ブルドーザは、大きなけん引力と軟弱地での走行性を確保するため、足回りは履帯が使用され低い接地圧に設計されており、大きな締固め効果が期待できるか疑問である。近年、大型振動ローラが多く開発され、今後道路盛土にも適用されることが予想されるが、その締固め特性は明らかにされていない。そこで、タイヤローラ、ブルドーザおよび振動ローラの締固め試験を行ない、その締固め効果と現在一般に規定されている締固め度を得るための問題について調査することとした。

2. 調査内容

2.1 盛土の密度のばらつきの調査

土木研究所構内において、路体とみなしてブルドーザ、タイヤローラで試験転圧を行ない、盛土の密度のばらつきを測定した。試験は、転圧条件および密度測定方法を変えて、それらによる密度の差異とばらつきを調査するものである。

2.1.1 試験盛土の構成および転圧の方法

試験盛土の材料は、表2-1に示す新試験土を使用した。含水比は、自然含水比とし、試験が始まってからは、盛土をビニールシートでカバーして、降雨等により含水比が急変しないように努めた。試験場は、土木研究所構内の建設機械試験場とし、盛土前にブルドーザにより平坦に整地し、ブルドーザで十分に締め固めた。

試験盛土は図2-1に示すように概ね幅12m、長さ46m(約500m²)で、ブルドーザ転圧用とタイヤローラ転圧用の試験面を造成した。敷均し厚さは、締固め後約30cmとなるように調整し、敷均し機械は湿地ブルドーザ13t(D50P)を用いた。

ブルドーザ転圧およびタイヤローラ転圧は、それぞれ試験盛土の敷均しおよびその密度測定完了後、全面を平均4回転圧した。4回転圧後の密度測定が完了したのち、さらに全面を4回、計8回転圧し密度を測定した。試験転圧には、ブルドーザD60S(17.3t)、タイヤローラWP15(11.0t)を用いた。

表2-1 試験土の性質

		在来試験土	新試験土
土粒子の比重		2.68	2.72
コ テ ン シ ス	液性限界(%)	38.0	34.0
	塑性限界(%)	19.0	22.0
	塑性指数	19.0	12.0
粒 度	レキ分(%)	0	1
	砂分(%)	61	67
	シルト分(%)	19.5	25
	粘土分(%)	19.5	7
三角座標分類		砂質ローム	砂質ローム
日本統一分類		S C	S M
突 固 め 試 験	最大乾燥密度(g/cm ³)	1.668	1.665
	最適含水比(%)	20.5	19.6

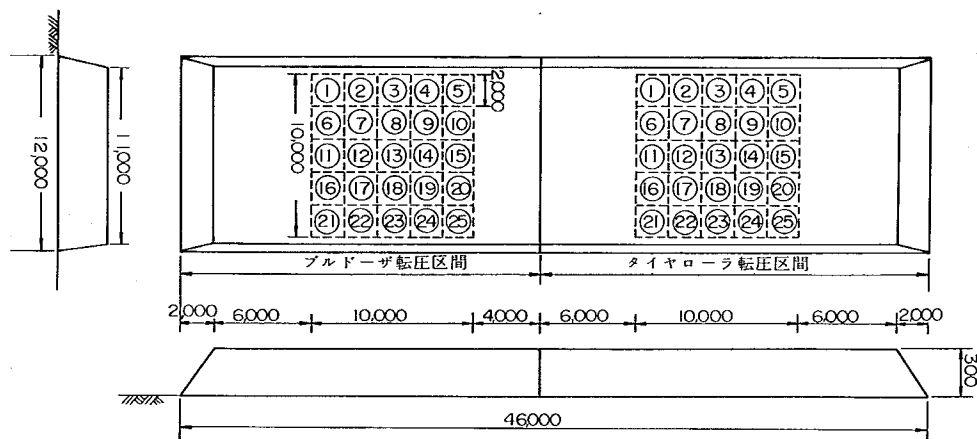


図2-1 試験盛土の平面図および断面図

2.1.2 盛土の密度測定

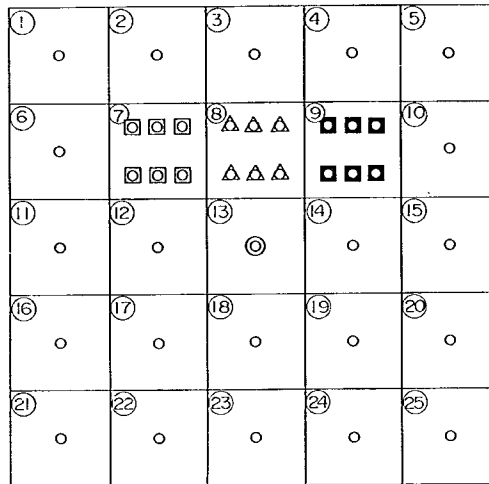
敷均し完了後、図2-2に示すように2m方眼の区画割を石灰で描き、RI密度水分計により、25区画の密度、含水量を測定した。ただし、25区画のうち1区画は測定精度を確認するため1点30回(30分)測定

とし、他の24区画は1点5回(5分)測定とした。RI密度水分計の標準体での検定回数は、測定開始前に安定した状態で5回、その後、5区画の測定完了毎に5回測定し、昼休みなどで長時間測定を中断した時は次の開始前にも測定した。

さらに、4回転圧および8回転圧後、同様に25区画の密度、含水量を測

定した。25区画のうち1区画は1点30回(30

分)、3区画は6点5回(5分)計30回、他の21区画は1点5回(5分)測定とした。6点各5回計30回測定をした3区画では、RI法と砂置換法、水置換法およびコアカッタ法の比較を1区画毎に行なった。砂置換法はJISA1214に示された方法を用い、水置換法は建設機械化研究所で開発した孔径30cmの方法とし、コアカッタ法は径15cmのものを使用した。測定は、RI法で測定した6点と対応する位置で各1回ずつ計6回、それぞれの測定法で行なった。



- RI測定位置(1点5回測定)
- ◎ RI測定位置(1点30回測定)
- 砂置換法
- △ 水置換法
- コアカッタ法
- ※ 8回転圧後⑦⑧⑨ブロックを⑰⑱⑲へ移行する。

図2-2 密度測定位置



写真2-1 RI法による密度測定

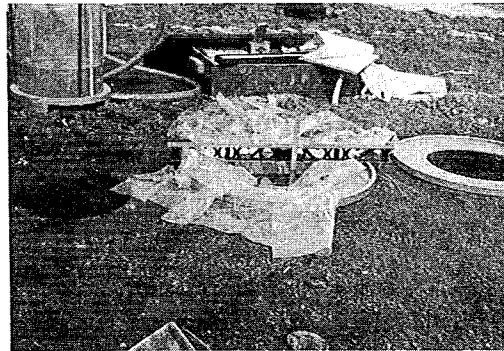


写真2-2 水置換法による密度測定

2.2 各種機械の締固め実験

締固め実験は転圧実験室を使用し、試験土をベルトコンベアで搬入し、人力により敷きならした。敷きならした試験土は足踏みにより、一層あたり平均2回程度締固め、試験土に大きなかたまりがあれば、敷きならし前にそれをほぐすか又は除去し、できるだけ均一に敷きならすようにした。試験盛土は概ね、長さ20m、幅4.5mで1層当たり約20cmで3層計60cmまき出した。

2.2.1 タイヤローラによる転圧実験

自走式タイヤローラによる土の締固め効果を確認するために表2-2に示す締固め条件により6ケースの試験を行なった。

表2-2 締固め条件

試験に使用した土は、表2-1に示す在来試験土で水資源開発公団長柄ダム(千葉県)のダムサイトから採取した砂質ロームである。含水比は、最適含水比付近にすることを目標として調整した。

タイヤローラの締固め条件は、総重量を3段階に、接地圧を2段階に変えることとした。総重量の調整は、

機 種	タイヤローラ	ブルドーザ	トラクタ ショベル	振動ローラ
型 式	WP15 (8.5~16t)	D50A(11t) D50P(13t)	D-60S	VR7
まきだし厚さ (cm)	50	60	60	40
重 量 (t)	8.5, 12.5, 14.5	11, 13	17.3	6.7
速 度	1 速	1 速	3, 5km/h	1, 3, 5km/h
試験ケース数	6	4	2	6
そ の 他	接地圧 3.4kg/cm ²	—	—	振動数 1,200vpm 1,700vpm 2,200vpm

荷重を加減することにより行なった。一方、接地圧を調整するためにタイヤ空気圧と接地圧との関係をコンクリート版上におけるタイヤの接地面積から求め、試験の接地圧は、タイヤの性能から、各総重量で取り得る値として3.0kg/cm²と4.0kg/cm²を目標として空気圧を調整した。

締固め回数は16回までとし、転圧前(0回)、1回、3回、6回、10回、16回完了後に表面の密度水分測定、内部の密度水分測定、表面沈下量、内部沈下量、土圧、速度の測定を行なった。

2.2.2 ブルドーザおよびトラクタショベルによる転圧実験

普通および湿地ブルドーザとトラクタショベルによる締固め効果を調べるために、表2-2に示す試験条件により、ブルドーザ4ケースとトラクタショベル2ケースについて試験を行なった。

試験に使用した土は、在来試験土をブルドーザに、新試験土をトラクタショベルに使用した。含水比は、それぞれの土の最適含水比付近に調整することとした。

試験条件は、試験機械として最も多く使用されている中型ブルドーザ11t級とそれより大形であるトラクタショベル17t級を用い、速度を変えて行なった。

2.2.3 振動ローラによる転圧実験

今後、道路盛土にも使用が増加すると予想される大型振動ローラの締固め効果を調査するために表2-2に示す試験条件により6ケースの試験を行なった。

試験に使用した土は、在来試験土を用い、施工能力に大きく影響すると考えられる転圧速度、振

動数と締め効果の関係を調べた。

2.3 測 定

転圧試験における測定項目および測定回数を表 2-3 に示す。また測定位置及び埋設深さを図 2-3 に示す。

表 2-3 測定項目と測定回数の 1 例

測定項目	転 圧 回 数																備 考	
	前	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		16
1. 表面密度水分 (R I 法)	○		○		○				○								○	測 定 点 数 1 8 点
2. 内部密度水分 (R I 法)			○		○				○								○	
(コアカット法)			○		○				○								○	
3. 表面沈下量	○		○		○				○								○	
4. 内部沈下量	○		○		○				○								○	9 点
5. 内 部 沈 下 (動 的 測 定)		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	ス ト ッ プ ブ ロ ッ ツ による方法
6. 土 圧		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
7. 速 度		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

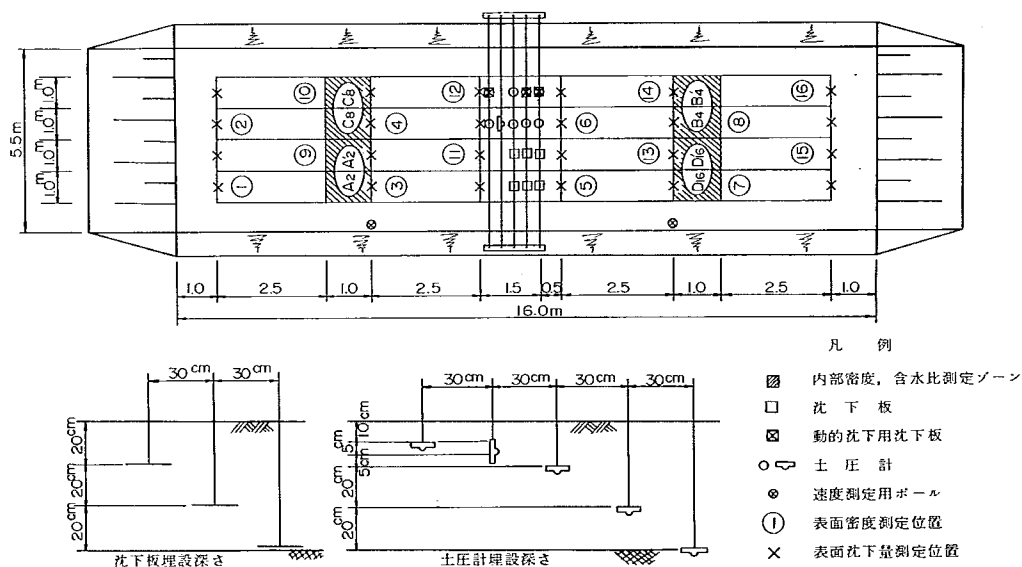


図 2-3 測定位置と埋設位置の 1 例

以下、各項目について測定方法を述べる。

2.3.1 表面の密度、水分測定

盛土の表層の密度、水分の測定は、R I 計器を用いた。

R I 計器による測定方法は、地表面を平らにし、測定点にベースプレートを置き、ガイド穴に打込棒をハンマーで垂直に打込む（写真2-3参照）。打込み完了後、ゆっくり引き、そこにできた穴に線源棒を挿入する（写真2-4参照）。スタートボタンを押して1分経過後自動的に測定完了する密度、水分の計数率を読取る（写真2-5参照）。

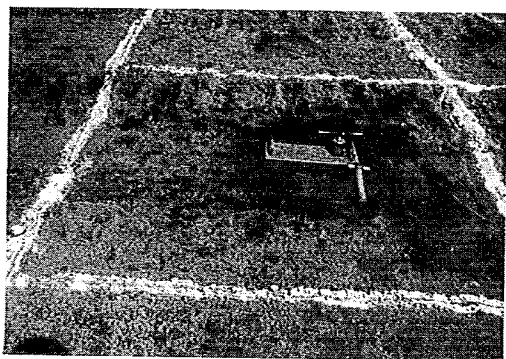


写真2-3 R I 計器による測定方法（その1）

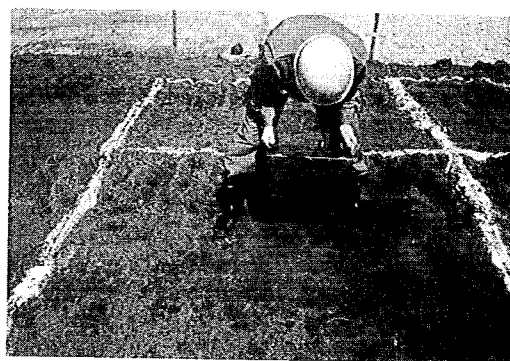


写真2-4 R I 計器による測定方法（その2）

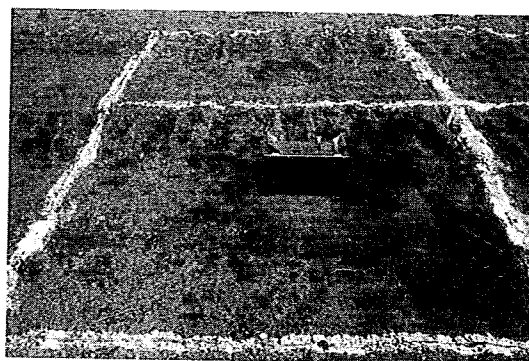


写真2-5 R I 計器による測定方法（その2）

R I 計器による表面密度、水分測定は、0, 2, 4, 8, 16 回転圧時または0, 1, 3, 6, 10 回転圧時に測定した。（ただし、1 転圧は締固め機械1 回通過とする。）各転圧時の測定は8 ブロックに分け、各ブロック2 測定点とし、1 測定点に対して2 回（2 分）測定した。

2.3.2 盛土の内部の密度、水分測定

盛土の内部の密度、水分は、盛土の表層で図2-4(a)に示すようにR.I計器とコアークッタによりそれぞれ2点測定したのち、盛土を15cm程度掘削し、(穴の大きさは底面で60cm×40cm程度)底面を平坦に仕上げたのち、表層の測定と同様に、図2-4(b)に示すように2点測定し、さらに15cm程度掘削し(穴の大きさは底面で70cm×50cm程度)、底面を平坦に仕上げた後、表層の測定と同様に、図2-4(d)に示すように2点測定する。

2.3.3 表面の沈下量測定

盛土表面の沈下量の測定は、図2-5に示すようにレベルを用いて試験盛土全面にわたって測定した。

レベルによる沈下量測定は、実験室内のB.M(ベンチマーク)を基準にして、石灰で盛土表面にマークされた位置を測定した。測定点数は18点〜24点とした。

表面の沈下量は、基礎データとして重要で正確に測定する必要があるため、広い底面積のスタッフ台を利用し、スタッフ台を盛土表面に置いた後軽く踏み固めて測定面とのなじみをよくし、ブルドーザの履帯あとななどの盛土の表面の凹凸を平均化し盛土の表面の乱れを少なくするようにした。

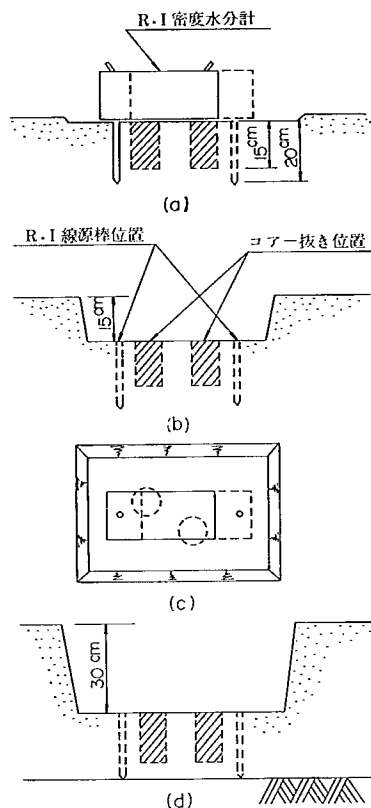


図2-4 盛土の内部の密度、水分測定

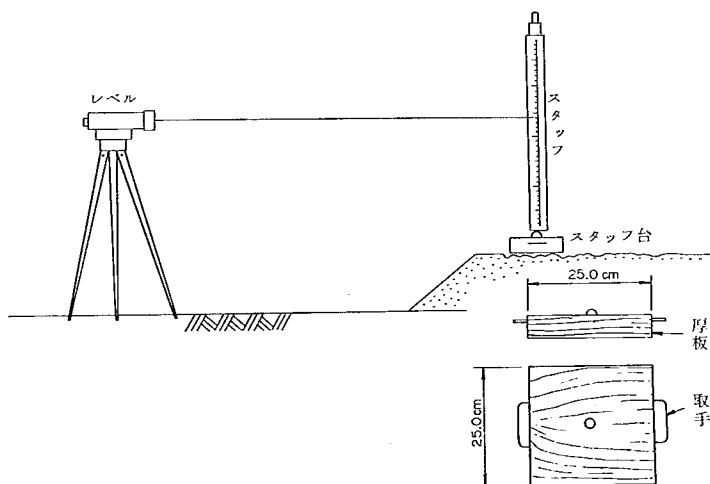


図2-5 表面の沈下量の測定

2.3.4 盛土の内部の沈下量測定

盛土内部の沈下量の測定は、盛土の内部に埋設した沈下板の沈下量を測定し、転圧時における盛土の内部の圧縮沈下量を求めた。

沈下板は図2-6に示すように、各測線に深さ10cm, 20cm, 40cm, 60cmで水平に、かつ水糸に取付けられた測定位置を示す目印の真下になるように正確に埋設した。測定は、

検測棒を垂直に挿入し、沈下板に到達したことを確認したのち、水糸の高さを読み取った。検測棒の挿入は1沈下板に数回程度行ない測定した。また、検測棒の挿入による測定方法に変えて沈下板に固定した細いピアノ線を盛土面に出して、その沈下量を測定する方法も行なった。

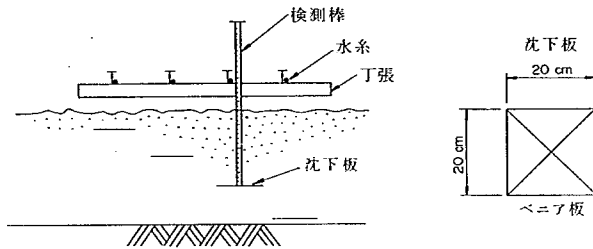


図2-6 盛土内部の沈下量の測定

2.3.5 盛土内部の沈下量の動的測定

盛土内部の沈下量の動的測定は、盛土の内部に埋設した沈下板が締固め機械の通過に際して示す沈下挙動を動的に測定するもので、盛土中に埋設した沈下板の変位をピアノ線を介して地盤中に埋設した変位計で測定した。盛土とピアノ線との摩擦を除くため、ピアノ線に油脂を塗った紙を巻きつけた。沈下板は、試験機械の軌跡の中心となる部分に、深さ方向に15~20cm間隔に3~4点を埋設した。

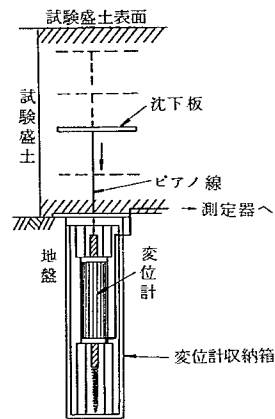


図2-7 盛土内部の沈下量の動的測定

2.3.6 締固め機械走行時の土圧測定

締固め機械走行時の土圧測定は、盛土内部に土圧計を埋設し、締固め機械の通過時の水平及び垂直土圧を動的に測定し、締固め機械の締固め機構の解析に役立てるものである。

図2-3に示したように、盛土の上部、中部、下部に土圧計を正しく転圧面の軌跡の中心になるように、また他の土圧計により測定しようとする土圧が乱されないよう十分な間隔をとり、水平および垂直方向に向けて埋設した。

2.3.7 転圧速度の測定

ボールで測定区間を設定し、締固め機械の通過時間をストップウォッチで測定し速度を求めた。

3. 密度測定法

盛土の品質として要求されるのは、強度、圧縮沈下の大きさとそれらのばらつきであるが、これらの特性を直接測定し、管理する方法は開発されていない。そのため、一般にはこれらの特性と関係がある盛土の密度、含水比によって管理が行なわれている。

密度を測定する方法には次のような方法がある。

① 定体積のサンプラーにより土を採取しその重量を測定する方法

- a. カッター（モールド）法
- b. 特殊なサンプラーによる方法

② 採取した土塊の体積、重量を測定する方法

③ 試験孔を掘削し、掘り出した土の重量を測定するとともに、試験孔の体積を測定する方法

- a. 砂置換法（JIS A 1214法）
- b. 水置換法
- c. 油置換法

④ γ -線密度計による方法（RI測定法）

など。

含水比を測定する方法には次のような方法がある。

① 110℃の炉乾燥によって湿潤土中から除去される含水量と炉乾燥土との比により測定する方法

含水量試験（JIS A 1203法）

② 乾燥させて含水量を測定する急速測定法

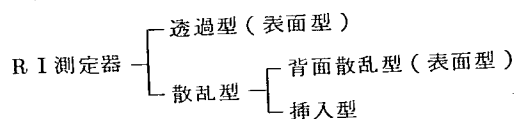
- a. フライベン法
- b. アルコール燃焼法
- c. 赤外線乾燥法
- d. 高周波乾燥法

③ 乾燥しないで含水量を測定する方法

- a. ピクノメータによる方法
- b. カーバイトによる方法
- c. 中性子水分計による方法
- d. 電気抵抗法

3.1 RI測定法

RIによる密度、含水量測定器は原理的に透過型と散乱型に分けられ、更に散乱型は挿入型と表面型からなり、次のように分けられる。



なお、施工研究室では、透過型水分密度計を使用している。この計器は、透過型密度計と透過型水分計の2組を1台の計器に収納したものであり、計数装置、バッテリーともすべて内蔵されている。密度計の線源としてはコバルト60-100 μ Ci、水分計の線源としてはカリフォルニウム252-15 μ Ciを使用している。

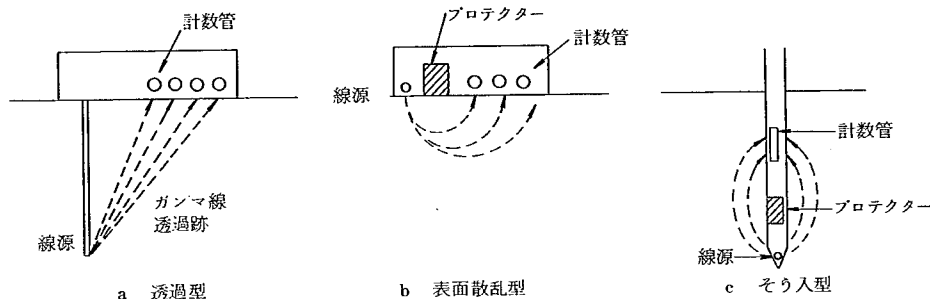


図 3 - 1 R I 計 器

γ 線密度計による方法は、 γ 線源から地盤内に放射される γ 線の散乱をG-M管で検出し、検出の度合により密度を求める装置である。また、中性子水分計による方法は、一般に土を構成している元素の中で水素だけが高速中性子を減速し、熱中性子化する能力があることにより、熱中性子のみを計数する検出器と高速中性子源とを内蔵したプローブを測定する土層内に挿入するか、地表面に定置して、単位時間内に計数される熱中性子を計数することによって土の含水量を求めようとするものである。

γ 線密度計あるいは中性子水分計の出力と密度あるいは含水量との関係は、密度、含水量が既知の物質を用いて計器の応答を校正しておき、校正曲線を作成し、現場における計器の出力から、湿潤密度または含水量を求める。校正曲線の作成方法は次のように行なう。

ガラス板を用いて校正する方法を図3-2に示す。測定手順は1枚の厚さが1cmのガラス板を水で満たされた容器の上に1枚ずつ重ねていき、そのときの計数率と図中の式より求めた透過密度より校正曲線を作成する。⁽³⁾このようにして求められた校正曲線の1例を図3-3に示す。図3-3では土で作成した供試体で校正したものを示している。これによると、土質による差異は見出せず、ガラス板と水とを組合せて作成した校正曲線とよく一致している。また、中性子水分計の場合、土を構成する諸元素の中性子に対する減速能を比較したとき、水素原子がきわだって大きな値を示す。したがって、他の元素間に多少の減速能の差があっても水分計の出力は、媒質中の水素原子によ

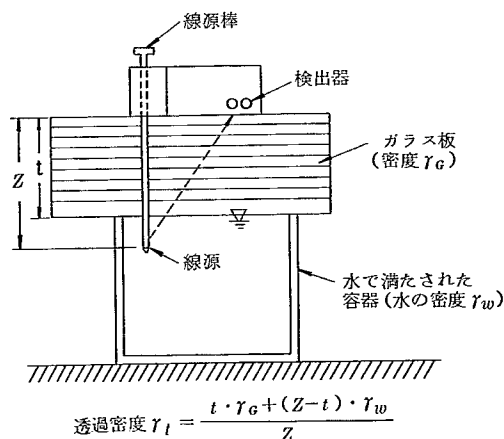


図 3 - 2 ガラス板による校正曲線作成方法 (透過型密度計)

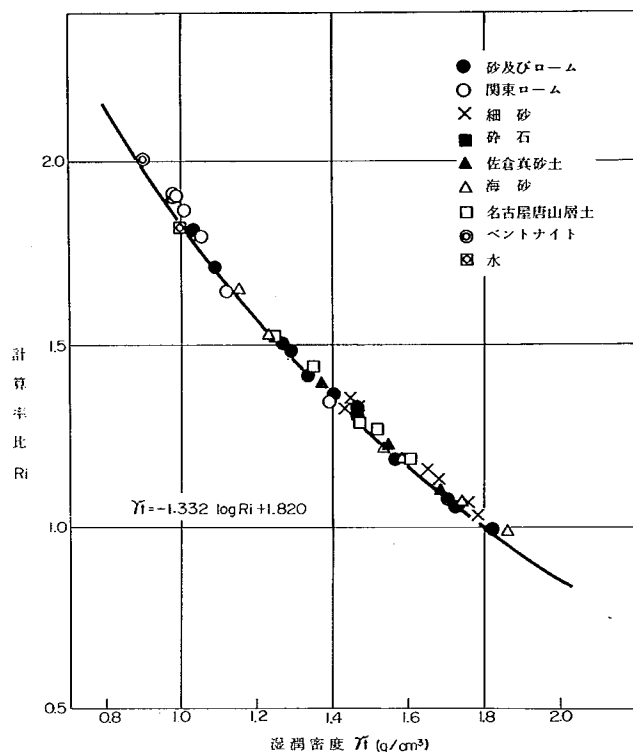


図 3-3 土質による密度応答の差異

てほぼ決定してしまうので土質によらないとされている。図 3-4 は水分計の校正曲線の 1 例であるが、諸種の材料を用いているにもかかわらずその差異は認められない。

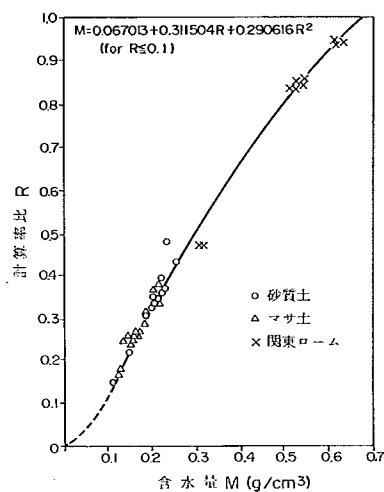


図 3-4 水分計の校正曲線

R I 法の測定値のばらつきは、放射能の壊変に伴う統計的揺動、計器自体の安定性及び自然放射能などによる。

放射能の壊変による統計的揺動は、計数値 n の平方根 $\sqrt{n}$ を標準偏差として取扱うことから、多数回の繰返し測定で計数値の平均 $\bar{n}$ の平方根 $\sqrt{\bar{n}}$ と実測標準偏差 σ_n とすると、計器自体の安定性および自然放射能に起因する標準偏差 $\sigma_1 = \sqrt{\sigma_n^2 - \bar{n}}$ となる。

この関係を調べるために密度計及び水分計について標準体について 100 回計測を行った。その度数分布を図 3-5、図 3-6 に示す。これによると密度計の場合、統計的揺動は $\sqrt{9022} \approx 95$ 、実測標準偏差 σ_n は 111 である。したがって、安定性及び自然放射能に起因する σ_1 は $\sqrt{111^2 - 9022} \approx 58$ で計数率比では $58/9022 = 0.0064$ 、

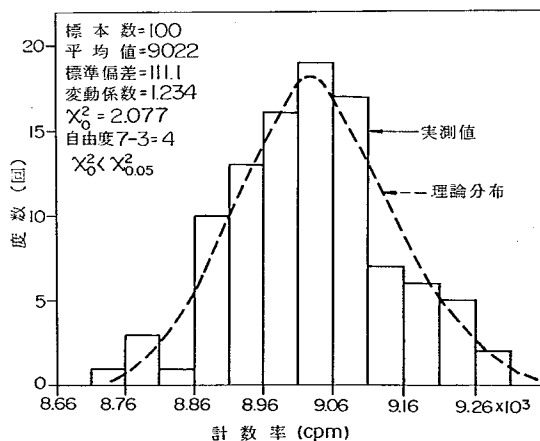


図 3-5 密度計の出力度数分布

密度に換算すると約 $0.019/\text{cm}^3$ に相当する。

含水量の場合、統計的揺動は $\sqrt{10673} \approx 103$ 、安定性及び自然放射能に起因するものは $\sqrt{121^2 - 10673} \approx 63$ で計数率比では $63/10674 = 0.0059$ 、含水量に換算すると約 $0.0059/\text{cm}^3$ に相当する。(統計的揺動/実測標準偏差)は密度では 0.86, 含水量では 0.85 となる。測定精度の面からみて特に計器の安定性には問題はないようである。

RI 法で測定した 1 点 1 回 30 分測定による盛土密度、含水比測定値の平均値、標準偏差および変動係数を表 3-1 に示す。

盛土の密度測定値の変動係数は、0.97~1.47%, 平均 1.28% である。また含水比の変動係数は 1.80~2.13%, 平均 1.94% である。表 3-1 ではブルドーザによる転圧湿潤密度 (γ_t) がタイヤローラによる転圧湿潤密度 (γ_t) よりはるかに小さくなっているが、これはブルドーザの測定点の含水比 (約 33%) が、タイ

ヤローラの測定点の含水比 (約 23%) より約 10% 最適含水比 ($W_{opt} = 19.6\%$) から湿潤側に片よっているためと思われる。しかし、密度、含水量測定標準偏差の値は小さく密度測定の精度が高いことがわかる。

図 3-7、図 3-8 にはブルドーザ 4 回転圧後に測定した密度及び含水比の度数分布を示す。

土中の同一点における密度及び含水比の繰返し測定も標準体での繰返し測定同様、特に計器の安定性に関する問題はないようである。

前に述べたように RI 法の統計的揺動は計数値の平方根 $\sqrt{n}$ となるが、その時の変動係数は $\sqrt{n}/n$ すなわち、 $1/\sqrt{n}$ となり変動係数は計数

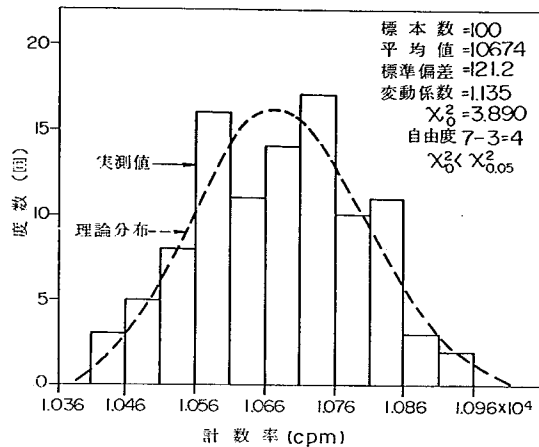


図 3-6 水分計の出力度数分布

表 3-1 RI 法による同一測定点の 30 回測定の平均値、標準偏差、変動係数

機 種 測 定 目 的	機 種 測 定 目 的	ブルドーザ			タイヤローラ		
		平均値	標準偏差	変動係数	平均値	標準偏差	変動係数
0	γ_t	(g/cm^3) 1.675	(g/cm^3) 0.021	(%) 1.25	(g/cm^3) 1.877	(g/cm^3) 0.021	(%) 1.12
	w	(%) 33.06	(%) 0.70	(%) 2.13	(%) 23.55	(%) 0.43	(%) 1.81
4	γ_t	1.700	0.024	1.41	1.859	0.027	1.45
	w	34.38	0.67	1.95	23.55	0.49	2.08
8	γ_t	1.757	0.017	0.97	1.967	0.029	1.47
	w	31.75	0.58	1.84	22.31	0.40	1.80

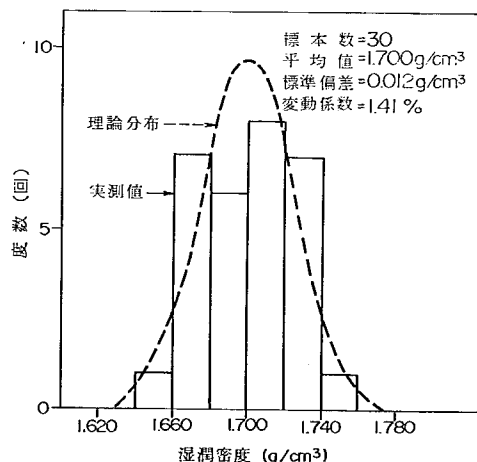


図 3-7 RI 法による現場密度測定ヒストグラム

値を大にするほど、すなわち測定時間を多くするほど小さくなることを示している。

実際の計測において計数値は1分単位で計測しているが、そのデータ処理として N 回計測の平均値を用いている。 N 回計測した時の $\sum_{i=1}^N n_i / N$ を $\bar{n}$ とすれば $n = \bar{n} \pm \sqrt{\bar{n}} / \sqrt{N}$ となる。そこで計数率比(計数値(c)/標準体の計数値(s_c))のばらつきを求めてみると(1)式のようになる。

$$\begin{aligned} \frac{n_c}{n_{sc}} &= \frac{\bar{n}_c \pm \sqrt{\bar{n}_c} / \sqrt{N_c}}{\bar{n}_{sc} \pm \sqrt{\bar{n}_{sc}} / \sqrt{N_{sc}}} \\ &= \frac{\bar{n}_c \pm \bar{n}_c \sqrt{\left(\frac{\sqrt{\bar{n}_c} / \sqrt{N_c}}{\bar{n}_c}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{\bar{n}_{sc}} / \sqrt{N_{sc}}}{\bar{n}_{sc}}\right)^2}}{\bar{n}_{sc} \pm \bar{n}_{sc} \sqrt{\left(\frac{\sqrt{\bar{n}_c} / \sqrt{N_c}}{\bar{n}_c}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{\bar{n}_{sc}} / \sqrt{N_{sc}}}{\bar{n}_{sc}}\right)^2}} \\ &= \frac{\bar{n}_c}{\bar{n}_{sc}} \pm \frac{\bar{n}_c}{\bar{n}_{sc}} \sqrt{\frac{1}{N_c \times \bar{n}_c} + \frac{1}{N_{sc} \times \bar{n}_{sc}}} \dots\dots\dots(1) \end{aligned}$$

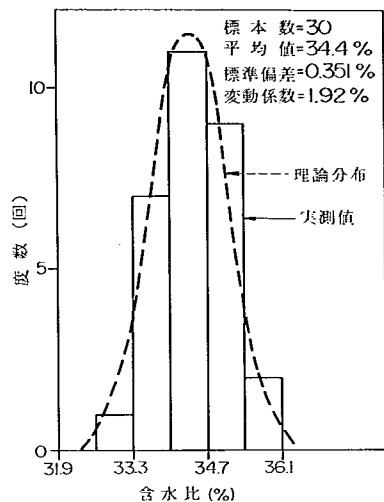


図3-8 RI法による含水比測定
のヒストグラム

図3-9、図3-10は測定回数による計数率比のばらつきを求め、それに対応する密度又は含水量のばらつきを求めた。なお、図3-9は湿潤密度について $n_{sc} = 8000$ 、 $n_c = 6200$ を入れ、図3-10は含水量について $n_{sc} = 8500$ 、 $n_c = 2000$ を入れたものである。図3-9、図3-10より、標準体の計測回数(N_{sc})5回以上、盛土において同一点の計測回数(N_c)3~5回以上に計測回数をふやしても精度はあまり良くならず、標準体の計測回数5回、盛土の同一点での計測回

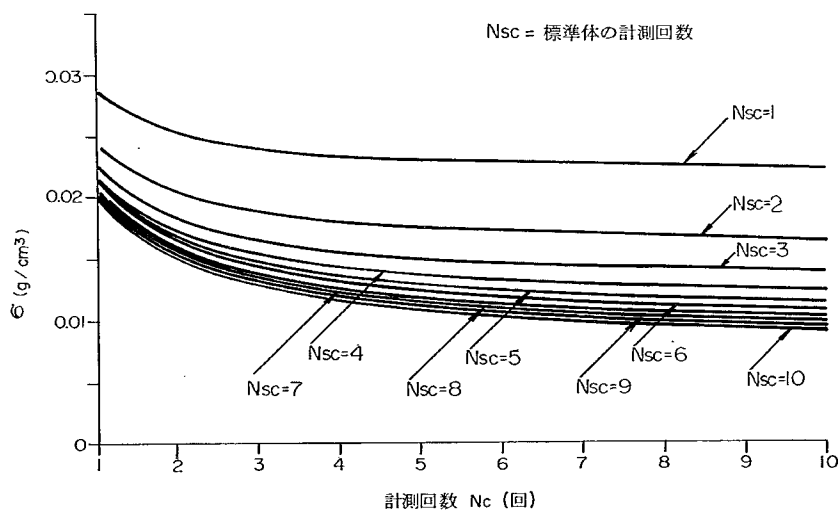


図3-9 湿潤密度に関するばらつき

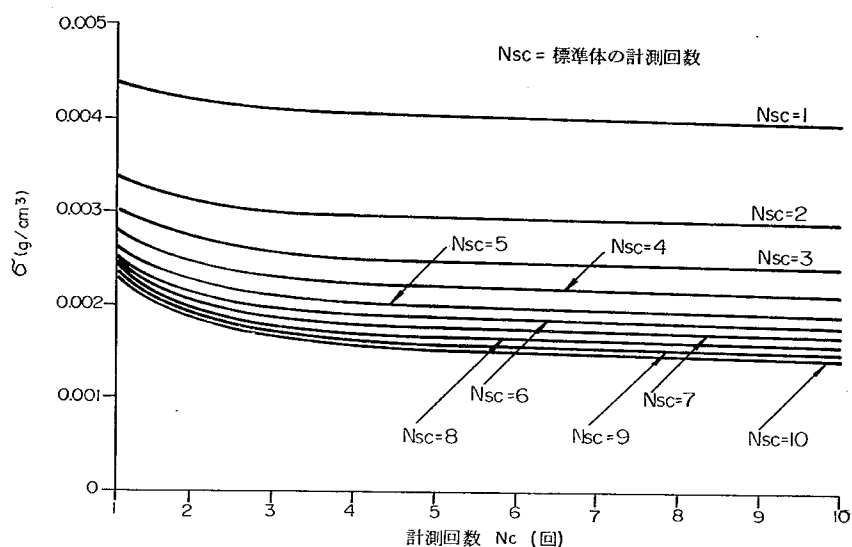


図3-10 含水量に関するばらつき

数5回で湿潤密度のばらつきは $0.013g/cm^3$ ，含水量のばらつきは $0.002g/cm^3$ 程度である。

表3-1に示されている密度測定値の標準偏差は $0.017 \sim 0.029g/cm^3$ ，平均 $0.023g/cm^3$ となり，そのときの標準体の計測回数10回と同一地点で繰返し測定回数30回から図3-9より湿潤密度のばらつきは $0.013g/cm^3$ となる。

鉄製容器に土砂を極力均一に締固めて作成した供試体の密度と含水量を基準として，RI測定器により測定した。密度と含水量のかたよりを調査した。図3-11に密度計の正確度を，図3-12に水分計の正確度を示している⁽⁸⁾

これによると，RI法による密度計のかたよりは，標準供試体に比べ負の値，負のかたむきを示している。これは，RI法による測定値は標準供試体に比べ，密度は小さく表われ，高い密度のときほど，密度が小さく表われる傾向が大となる。その傾向は最大で密度の1%程度である。

また，RI法による水分計のかたよりはほとんどないが，95%の信頼限界の幅は，含水量が少

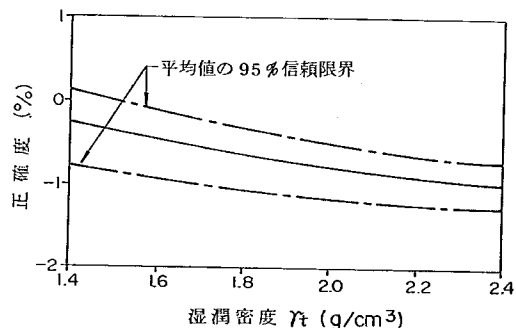


図3-11 密度計の正確度(副標準試料による校正)⁽⁸⁾

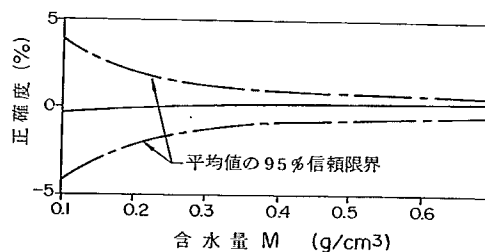


図3-12 水分計の正確度⁽⁸⁾

ないときは多いときに比べ極端に大きな幅を示し、含水量 0.1 g/cm^3 で約 5% となり約 0.005 g/cm^3 となる。

3.2 砂置換法

砂置換法はあらかじめ置換に用いる試験用砂の単位体積重量の検定を行っておき、地盤に適当な穴を掘りその穴に試験用砂をてん充し、置換することにより土の体積を間接的にはかり、穴から取り出された土の重量より現場密度を測定するものである。対象土としては、粘性土、非粘性土またはレキ混り土のいずれの場合にも適しているとされている。

砂置換法は、土質に対する適性の広さ、測定値の精度のよさ、操作が容易であることなどから、現場密度測定の方法とみなされている。この方法のうち、JIS A 1214 のジャー式装置による砂置換法が、その構造から注砂が適当に行なわれるので代表的な方法と考えられている。しかし、操作がかなり面倒なので、施工管理など迅速性が要求される現場測定においては、簡単な装置でかなりの精度が得られるという突き砂置換法を用いるのが適切であるとされている。この際の問題点としては、てん充する砂の密度を一定に近づけるため、砂の粒径、均一性、丸味、乾燥状態に応じて突き棒による突き回数を規定する必要があること、また砂の性質をどの程度に選択、管理するかなどがあげられる。

鉄製モールドに均一に締固めて作成した供試体の密度と砂置換法より求めた密度から、砂置換法におけるかたよりを調べ正確度を求めた。図 3-13 に砂置換法による密度測定の正確度を、図 3-14 に砂置換法による含水量測定の正確度を示す。

これによると、砂置換法による密度測定のかたよりは湿潤密度 1.6 g/cm^3 では 0 で、湿潤密度が大きくなるにしたがって大きくなり、湿潤密度 2.0 g/cm^3 で 1% 程度である。また、95% 信頼限界の幅は、約 1% 程度で、密度に換算すると 0.02 g/cm^3 程度となる。

また、砂置換法による含水量測定の正確度は、含水量が 0.7 g/cm^3 と大きいときは、かたよりは 0

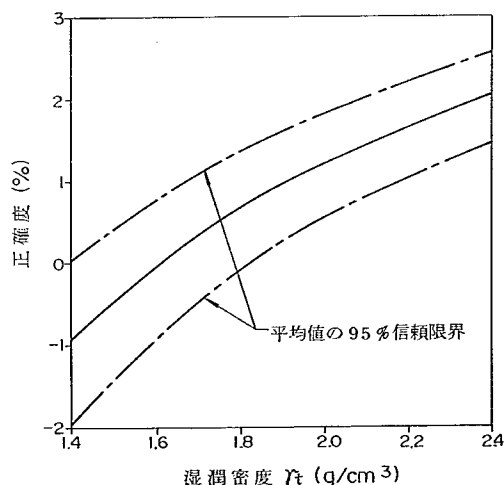


図 3-13 砂置換法による密度測定の正確度⁽³⁾

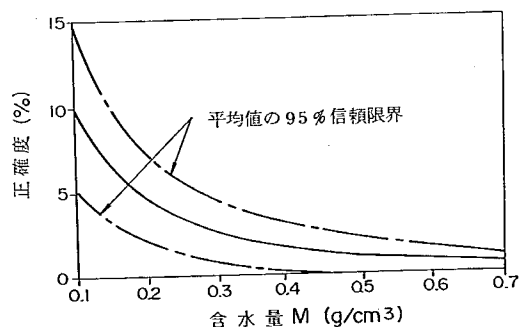


図 3-14 砂置換法による含水量測定の正確度⁽³⁾

に近く、かつ95%の信頼限界も小さく、含水量の高いときの含水量測定の有効性が伺える。含水量が $0.1 \sim 0.2 \text{ g/cm}^3$ と低いときはかたよりは大きく、かつ95%の信頼限界の幅も大きくなっている。すなわち、砂置換法における含水量測定の誤差は含水量の多少に関係なく、標準供試体に対して土砂 1 cm^3 に対して約 0.01 g 大きく測定し、そのばらつきは約 0.005 g 程度であることを示している。

3.3 水置換法

砂置換法と同様、地盤に適当な大きさの穴を掘り、その体積を水でてん充し置換することにより土の体積を間接的にはかり穴から取り出された土の重量より現場において密度測定をする。その方法は、試験孔の容積を水で測定するために、やわらかな薄いゴム膜やビニールシート等を利用する。水の単位体積重量が注入の方法にかかわらず一定であるからその検定の手間がはぶかれることは大きな利点である。しかし、ゴム膜、ビニールシート等と測定孔壁の密着がよくないとき体積を小さく測定されてしまうおそれがある。レキを含む盛土の場合、密度を正しく測定するには大量の土砂を掘削する必要があるので、容積測定が容易な水置換法が利用される。

施工研究室では、建設機械化研究所が開発した水量測定を簡便化した、孔径 30 cm の水置換法を用いた。

3.4 コアーカッタ法

体積の既知なカッタに、何らかの方法により乱さない試料を採取し、試料重量を測定し密度を求めるもので、その方法はレキを含まない粘性土に適しており、カッタなどの挿入の障害となるレキを含んだ土、カッタの中に土が残らないような非粘性土には不適當である。

また、測定精度上、カッタを挿入するにあたって、土を乱すような形式のもの、例えばカッタの厚さが極端に厚いもの、薄すぎるもの、あるいはカッタの刃先が鈍いものなどは不適當であるし、さらにモールドの大きさ、カッタの挿入方法など十分注意を払う必要がある。

土木研究所では、一端をとがらせた打込式のカッタを用い、掛矢等で打込んで、コアの体積と重量より密度を求めた。

3.5 RI測定法と各測定法の比較

砂置換法、コアーカッタ法、水置換法による測定は、試験孔を掘削し、採取した土の重量と試験孔の体積より密度を求めるもので、同一場所を繰返し測定をすることが不可能である。したがってそれらの測定値よりばらつきを求めたとき、そのばらつきは測定法によるばらつきと盛土自体のばらつきが合わさったものとなる。そのため、盛土自体のばらつきを消去する方法として図3-15のような方法を用いた。

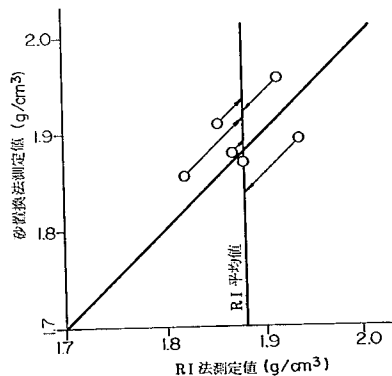


図3-15 各測定法の修正

2 m 四方の測定範囲より求めた各測定法の 6 個の測定値の差はせいぜい 0.2 g/cm^3 の範囲にある。このように密度差の小さい範囲では、図 3-15 に示すように R I 法と他の測定法では 1 : 1 の相関があるとして、R I 測定値における平均値と各測定値の差が盛土自体のばらつきとして他の測定法の値を修正した。この修正を行なった後の各測定法の標準偏差、変動係数を表 3-2 に示す。ただし、R I 法は、1 点で 1 回 5 分、6 回繰返し測定より求めたものである。

これによると、R I 法を除いた 3 測定法は、湿潤密度が約 $1.8 \sim 2.1 \text{ g/cm}^3$ の範囲でおよそ 2 % の変動係数、含水比が 20 ~ 30 % の範囲でおよそ 4 ~ 5 % の変動係数で測定精度上特に差異は認められない。これに比べ、R I 測定法は、湿潤密度 $1.7 \sim 2.0 \text{ g/cm}^3$ の範囲でおよそ 0.6 % の変動係数、含水比が 22 ~ 34 % の範囲で約 0.8 % の変動係数で密度、含水比とも他測定法に比べ、変動係数は小さく、計数値の精度の点で R I 測定法の有効性は明らかである。

R I 法と他の測定法を対応させてそれぞれ 4 条件各 6 点計 24 点測定した。このデータをもとに砂置換法、コアークッタ法、水置換法について、R I 法との比較を図 3-16、図 3-17、図 3-18 に示した。なお、コアークッタ法については当研究室における他の転圧実験のデータも付け加えている。

これらによると R I 法に比べ水置換法は大きく出ており、砂置換法は同等な値を示した。水置換法は、ビニールシートのひだ、表面付近のビニールシートと測定孔壁の間の気泡等の影響により体積を過小に評価するためと思われる。また、コアークッタ法は打込式を用いたこともあり、土の密度が低い場合は、カッター内のコアが圧縮され、重量を過大に評価したため密度が大きくなり、一方、土の密度が高い場合には、打込みの衝撃で、カッター内のコアが緩んで重量を過小に評価するため密度が小さくなった

表 3-2 各測定法の標準偏差及び変動係数

項目 測定法	測定値		標準偏差		変動係数	
	γ_t (g/cm^3)	w (%)	$S(\gamma_t)$ (g/cm^3)	$S(w)$ (%)	$C(\gamma_t)$ (%)	$C(w)$ (%)
R I 法	1.675~ 1.966	22.3~ 34.3	0.011	0.23	0.609	0.834
砂置換法	1.831~ 2.015	19.4~ 24.2	0.040	1.09	2.060	4.926
コアーク ッタ法	1.868~ 2.054	21.3~ 25.9	0.036	1.08	1.798	4.778
水置換法	1.847~ 2.072	19.8~ 29.8	0.049	1.06	2.468	4.419

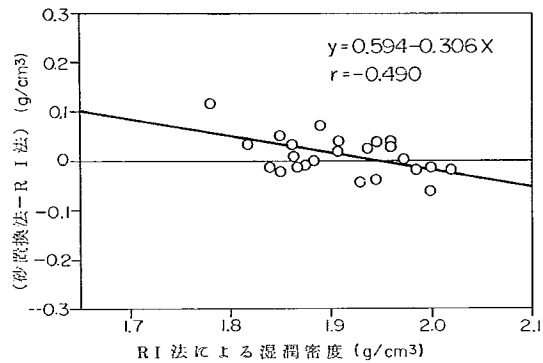


図 3-16 R I 法と砂置換法

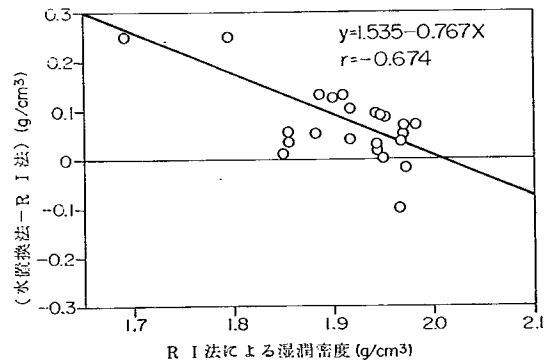


図 3-17 R I 法と水置換法

と思われる。

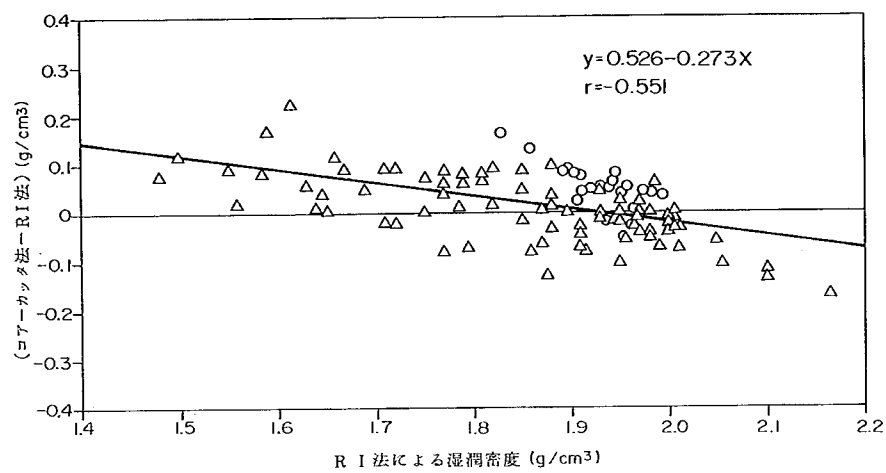


図 3-18 RI法とコアークッタ法

4. 締固めに伴う密度のばらつき

一般に締固め回数を増加することにより密度が増大し均一さが得られると考えられるが、締固めた盛土の密度のばらつきは大きく、各種の条件によって変化する。したがって、合理的な盛土の品質を進めるためには締固め密度のばらつきを知らなければならない。そこで以下に盛土の測定区域の大きさによる盛土の密度、含水比のばらつき、各種機械の走行による密度上昇と変動係数について述べる。

4.1 盛土の密度および含水比のばらつき

ブルドーザ4回転圧後におけるR1法による測定範囲を正方形とし、その一边が10m、8m、6m、4m、2m、0.6mとした時および1点測定の場合の密度および含水比の変動係数を求め図4-1、図4-2に示した。測定範囲の増大に伴い、湿潤密度の変動係数は図4-1に示すようにやや増大し、測定範囲6mで平均的には3%になっている。また、含水比の変動係数は図4-2に示すように増大し、測定範囲6mで平均的には約6%になっている。

4.2 各種機械の走行による密度上昇と変動係数

施工研究室で昭和49年度～昭和52年度までに実施した試験をもとに、湿潤密度とその変動係数をブルドーザ、タイヤローラ、振動ローラについて示したのが図4-3である。ただし、湿潤密度1点当りはほぼ測定点数8点である。

これによると、密度上昇とともに変動係数が小さくなっている。これは、転圧回数の増加に伴って、密度の低い部分がより締固められて密度がある程度均一化するためであり、点接地に近いタイヤローラや線接地である振動ローラではこのような効果が大きく、変動係数も小さくなっている。一方、ブルドーザは、覆帯による面接地であるため局部的な締固め機能は十分ではなく、そのため変動係数が大きくなったと思われる。

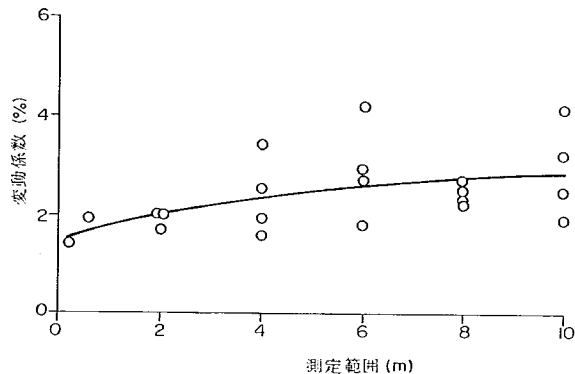


図4-1 湿潤密度の変動係数

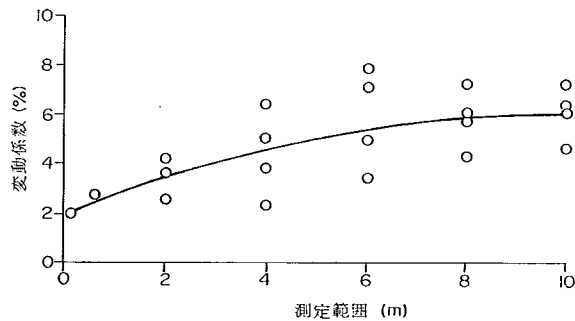


図4-2 含水比の変動係数

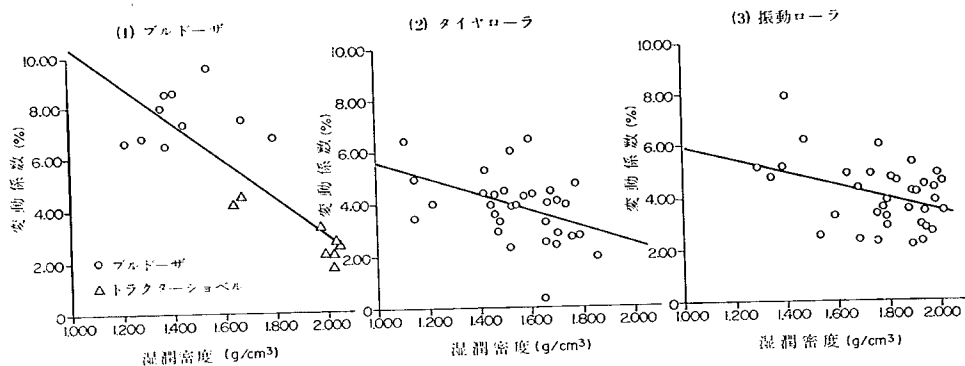


図 4-3 締固め機械と湿潤密度の変動係数

締固め回数を増加することによって密度が増加するとともに変動係数は小さくなるが、転圧回数を何回くらいを採用すればどの程度のばらつきになるか問題となる。

試料にシルト質粘土ロームを用いて、自然含水比の状態では JIS A1210 突固め試験法に準じた方法により突固め回数を変えて試験した結果が図 4-4 である。この密度のばらつきは、土質による特に含水比によるばらつきも含まれているが、その大きさは突固め回数の差には余り影響を受けないと考えられるので、ばらつきの変化は主に突固めの回数あるいは密度によるものと考えることができる。締固め密度のばらつきは締固め密度が大きくなるにしたがって小さくなっており、X 点付近をとえればばらつきが急に小さくなるようである。

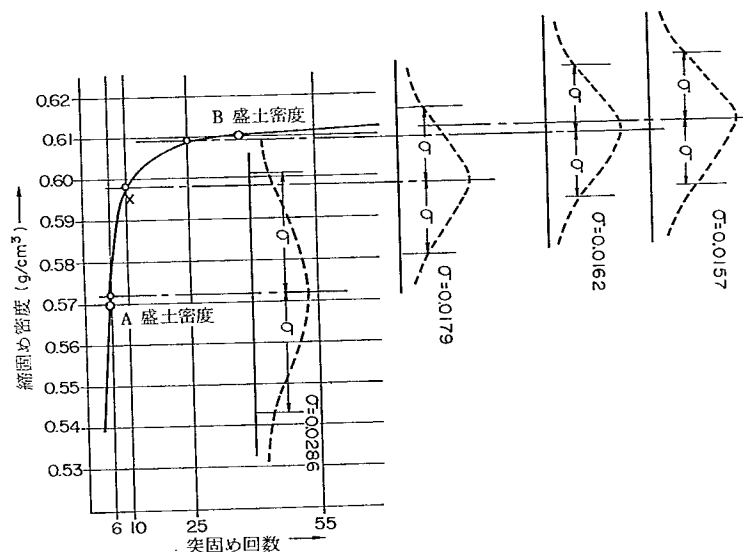


図 4-4 締 固 め 特 性⁽⁹⁾

5. 締固め機械とその締固め効果

盛土の締固めを規定する方法には、大別して品質規定方式と工法規定方式の2つがある。工法規定方式は、盛土の締固めにあたって、使用する機械、締固め回数などの工法そのものを規定する方式である。

我が国では、品質規定方式を採用しているところが多いが、工法規定は工事の監督並びに施工の管理が品質規定方式より直接的でわかり易いという長所があり、各種機械の締固め特性を知ることにより、現場の状況に応じて工法規定を採用することが可能となってくる。近年、道路工事の担当者の間には密度管理による品質管理の問題点をカバーするため、盛土の締固め施工法を規定し、その適切な管理により盛土の品質を確保しようとする方法が検討されている。

締固め機械は盛土材料の土質、工種、工事規模などの施工条件を考えて選ぶが、締固め機械は機種によって締固め機能が多様で、同一の機種の場合でも規格、性能(大きさ、重量、線圧、タイヤ圧、振動数、衝撃力など)によって締固め効果が違ってくる。したがって、それらを十分理解して、機械を選定し、効果的な締固め作業を行なうことが必要となってくる。

以下、主要な締固め機械の締固め効果について検討する。

5.1 自走式タイヤローラによる締固め

自走式タイヤローラは、盛土の品質規定として密度管理が普及するとともに、施工の結果としてある一定の密度が得られればよいとして、タンピングローラあるいは被けん引式タイヤローラに替って広く使用されるようになった。

タイヤローラには、自走式と被けん引式があり、図5-1に示すように、土の締固めには、輪荷重の大きい被けん引式タイヤローラが使われていた。これに対して、自走式タイヤローラは、走行性を確保するため、輪荷重が低くおさえてあり、平坦で薄い層の締固めには適しているが、30cm以上のまき厚で転圧面の不陸も大きい盛土の締固めには十分な効果が期待できるか疑問とされている。また更に実際の施工にあたっては、荷重を積まず標準装備の状態で転圧していることが多いが、このような状態ではどの程度の締固め効果があるか問題がある。

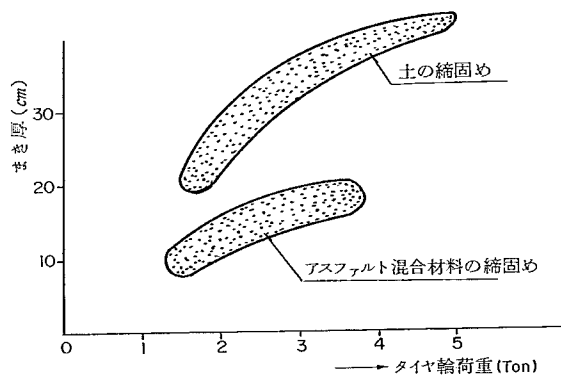


図5-1 タイヤ輪荷重とまき圧⁽¹⁰⁾

以下、主として自走式タイヤローラの締固め効果について検討する。

図5-2、図5-3は、表5-1に示す6種のタイヤについて粘性土上での転がり抵抗を示したものである。ただし、図中の $w_1 \sim w_3$ は含水比で、 $w_1 = 10.1\%$ 、 $w_2 = 98.1\%$ 、 $w_3 = 103.7\%$ を示している。図5-2は、6種のタイヤについて空気圧と転がり抵抗との関係を示したものであるが、

表 5-1 供試タイヤの一覧表

項目 \ タイヤサイズ	10.00-20 -10PR	13.5-20 -10PR	18-20 -10PR	18.00-25 -12PR	23.5-25 -12PR	64×31-25 -12PR
外 径 D(mm)	1,079	1,074	1,107	1,643	1,617	1,636
幅 b(mm)	286	360	463	537	587	757
タイヤ荷重 W(kg)	2,605	2,605	2,605	5,000	5,000	5,000
空気圧 P _i (kg/cm ²)	3.0	2.4	1.8	1.4	1.5	0.7

タイヤの幅を大きくするほど一般には転り抵抗は減少し、その効果は空気圧の低減に比べかなり顕著であることがわかる。また図 5-3 よりタイヤの直径を増加すると転り抵抗を低減することがわかる。また、タイヤ直径とわだち沈下量の関係は図 5-4 に示すようにタイヤ直径を増加するとわだち沈下量が減少することがわかる。転り抵抗というのは、一般には主として土の変形に費され、水平方向と垂直方向の変形のうち、垂直方向の変形が密度上昇に直接的に寄与すると考えられる。締固めを考えれば、タイヤの直径、幅、空気圧を転り抵抗を増加させる方向に選べばいいが、これを選ぶと沈下が大きくなり、タイヤローラの走行性が悪くなる。ゆえに、締固めと走行性より適当な値を選ぶことが必要となってくる。

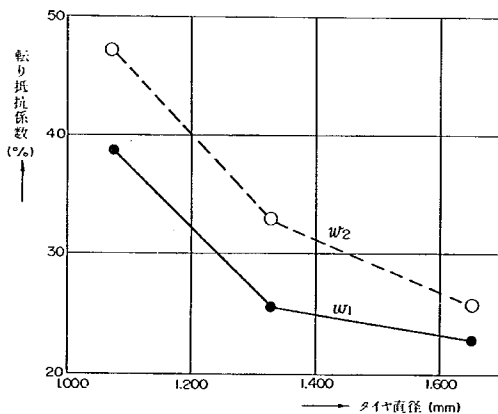


図 5-3 タイヤ直径と土上での転り抵抗係数⁽¹²⁾

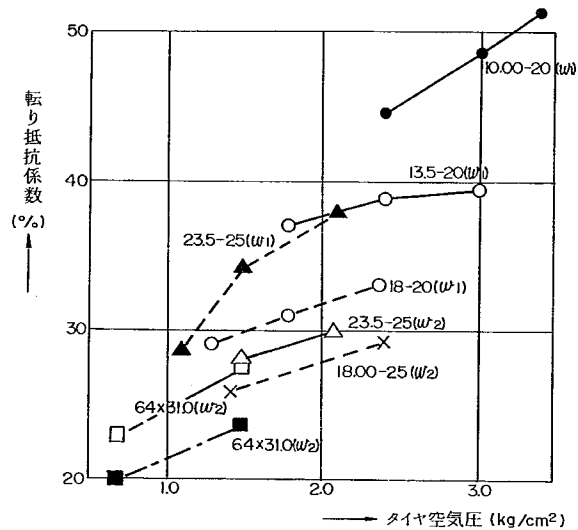


図 5-2 タイヤ空気圧と土上での転り抵抗係数⁽¹²⁾

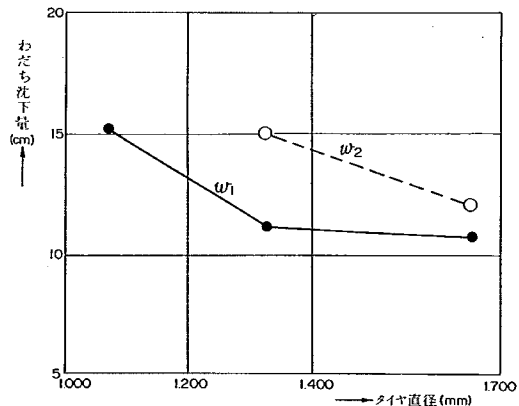


図 5-4 タイヤ直径とわだち沈下量⁽¹²⁾

タイヤ空気圧と接地圧との関係をコンクリート版上でのタイヤ接地面積から求めたものを図5-5に示す。ただし、総重量14.5tにおける値は推定値である。

これによれば、タイヤ空気圧が低いときは、空気圧より接地圧が大きく、空気圧が高くなれば空気圧より接地圧が小さくなっている。これは、タイヤの剛性又は抗張力によるものであるが、土の上における接地圧は一般に

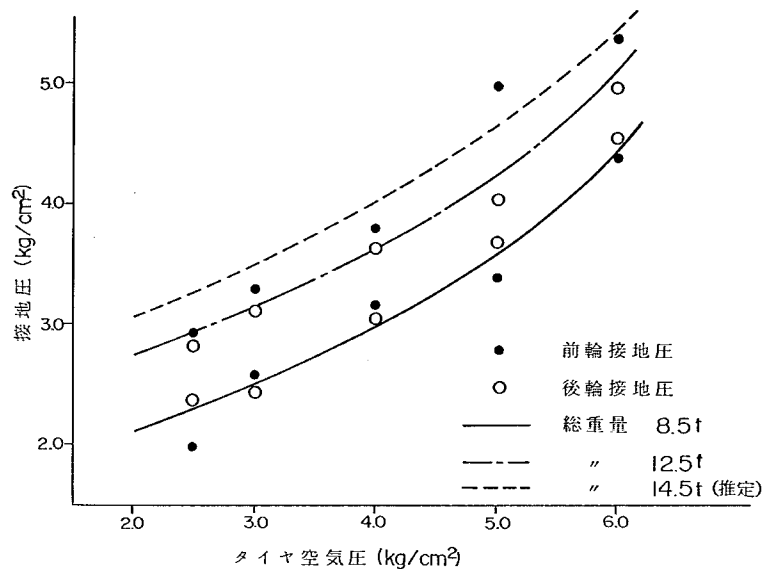


図5-5 タイヤ空気圧と接地圧 (タイヤローラWP-15)

タイヤの接地する形を円形 (半径 r_0) でその面にタイヤ空気圧 $P_0 \text{ kg/cm}^2$ が等分布するものとする、ブーシネスクの式により中心真下の深さ Z の鉛直応力 σ_z は次式で表される。

$$\sigma_z = P_0 \left[1 - \left\{ \frac{1}{1 + \left(\frac{r_0}{Z} \right)^2} \right\}^{\frac{3}{2}} \right] \dots \dots (2)$$

ここで、接地圧の円形の半径 r_0 をいかに仮定するかが問題となる。タイヤローラの総重量 ($T \text{ kg}$) をタイヤ空気圧 ($P_0 \text{ kg/cm}^2$) を接地圧として総本数 n のタイヤで支えられているとすると r_0 は次式で与えられる。

$$r_0 = \sqrt{\frac{T}{P_0 \times n \times \pi}} \dots \dots (3)$$

図5-6に転圧実験で実測したタイヤローラ通過時の鉛直土圧を示す。この図は、土圧計で測定したピーク土圧の鉛直分布をその平均と標準偏差 1σ の範囲を示したもので、タイヤローラの重量は8t, 11.5t, 21tである。なお、21tのタイヤローラのデータは東北技術事務所で行なった実験のデータを使用した。この図に、前の(2), (3)式により空気圧を 5 kg/cm^2 で一定として総重量を8t, 11.5t, 21tと変えて計算した結果も示した。実測値と計算値を比較すると傾向は同じようであるが、大きさは実測値がかなり大きくなっている。また総重量の変化による土圧の変化は計算値ではかなり小さいが、実測値では大きい。一方、総重量を変えずに空気圧を変化させた場合の鉛直土圧の変化を(2), (3)式で算定した結果を図5-7に示す。空気圧上昇の深さ方向への効果は表面付近は高いが、深さ方向に急激に減少し深層においては効果はあまり期待できそうにないと思われる。

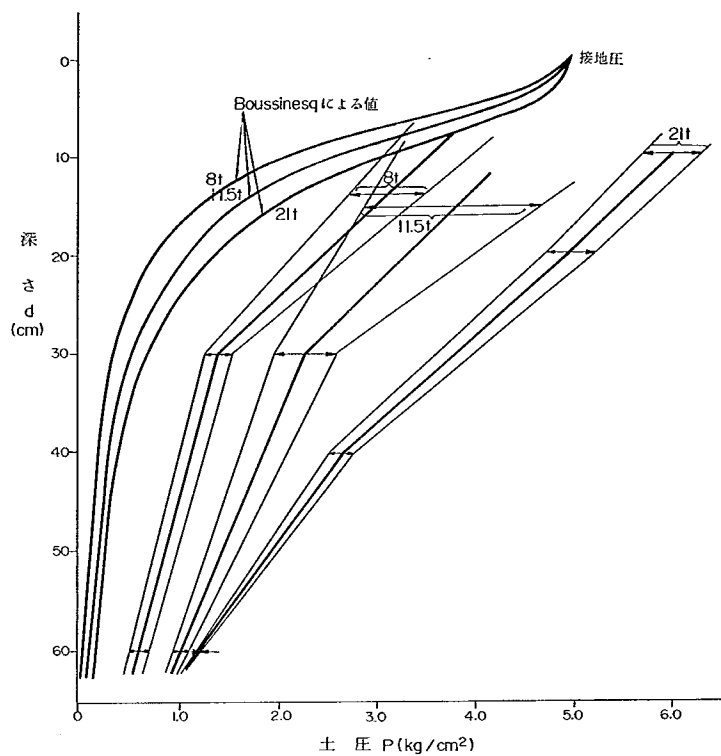


図 5 - 6 タイヤローラによる鉛直土圧(1)

垂 直 土 圧 (kg/cm²)

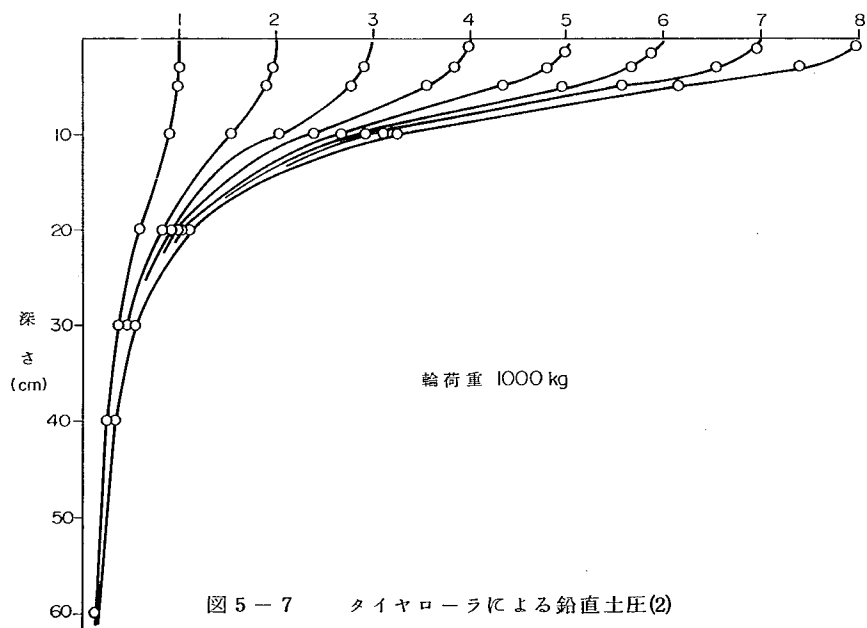


図 5 - 7 タイヤローラによる鉛直土圧(2)

タイヤローラの輪荷重を加減することにより、ある程度の深さまで締固め効果をあげることは可能であるが、自走式の場合、トラフィカビリティのかねあいもあり、輪荷重の加減にも限度があると思われる。タイヤローラの走行時における動的沈下とそれに対応する土中土圧の変化の1例を図

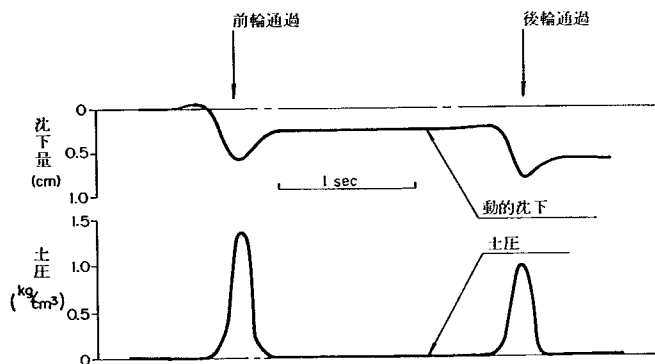


図 5-8 タイヤローラ通過時の沈下と土圧

5-8に示す。タイヤローラの通過の際には、車輪が近づくと少し盛り上がり車輪真下の沈下が最大となり、通過後一部沈下が回復する。転圧回数が増加するにしたがって、通過後に回復する沈下量がしだいに大きくなり塑性変形が小さくなり、だんだん弾性変形に近づく傾向にある。

自走式タイヤローラの締固め効果をみるため転圧回数と表層における乾燥密度の関係を示したのが図5-9である。この図をみると、自走式タイヤローラの締固め効果は必ずしも大きくなく、締固め度90%程度の乾燥密度を得るためには10回程度の転圧が必要であることがわかる。また、転圧回数が1~6回までの密度上昇に比べ、転圧回数6回以上での密度上昇はごくわずかである。

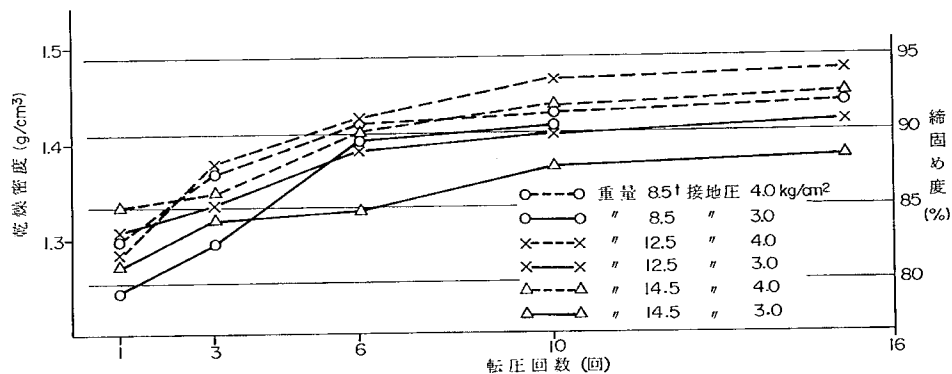


図 5-9 タイヤローラの締固め密度

自走式タイヤローラの締固めにおいて最も問題とされているのは、まき出した土の中、下層部における締固め効果である。表5-2は、タイヤローラ転圧実験の測定値をもとに表層密度を1とした時の中層下層の密度比の平均値及び最小値を示したもので、中、下層の密度は表層に比してかなり小さいことが明らかになった。

これらのことより、自走式タイヤローラの締固め効果について検討すれば、現在地方建設局等における路体の標準的な敷固めの方法は、敷きならし厚さが30cm（締固め後）で、転圧回数5回となっているが、このような場合にタイヤ空気圧5kg/cm²程度の自走式タイヤローラ（10t～15t程度）を使用すれば表層の締固め度90%程度を得られるが中層では80%強、下層では75%強しか得られないことになる。

一方、地方建設局等における路体の締固め度の規格値は大部分85%とされているが、実際の現場においてそれほどには問題となっていない理由には、土の敷均し方法あるいは密度管理方法が表層のみの測定であり今回の実験とは異なっていることにあると思われる。

5.2 ブルドーザによる締固め

ブルドーザも締固め作業に多く使用されているが、ブルドーザは本来は土の締固め機械ではなく、掘削押土作業のため大きなけん引力と軟弱地での走行性を確保するため、足回りは履帯が使用され低い接地圧に設計されている。したがって、大きな締固め効果は期待できず、通常の締固め機械では使用困難な土質や締固め機械の投入が経済的でない小規模工事にのみ使用することが望ましいとされている。

ブルドーザの締固め効果を調査するため、土圧計を埋没し、ブルドーザの走行時の土中土圧を測定した。

土圧は、締固め機械の通過の位置によって大きく変化するが、転圧回数による有意な差異は見出

表5-2 タイヤローラ締固めにおける深さ方向の密度低下

試験ケース		1	2	3
密度低下率	表層（0～20cm）	1	1	1
	中層（10～30cm）	0.97 (0.95)	0.90 (0.78)	0.92 (0.82)
	下層（20～40cm）	0.88 (0.80)	0.86 (0.74)	0.85 (0.72)
試験条件	型 式	WP 15		
	総重量(t)	12.5	14.5	
	空気圧(kg/cm ²)	2.8	3.8	2.2

（注）（ ）書は最小の低下率である。

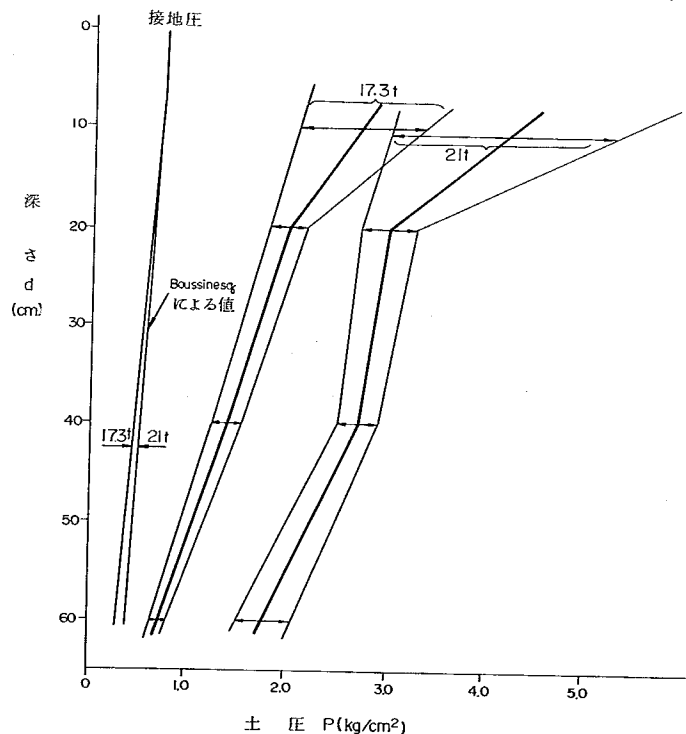


図5-10 ブルドーザによる鉛直土圧

せなかった。したがって、ブルドーザのピーク土圧の鉛直分布を調べるために、各層毎に、その平均と標準偏差 1σ の範囲を算出した。その結果を図 5-10 に普通ブルドーザ 17.3 t, 21 t について、図 5-11 に湿地ブルドーザ 13 t について示す。ブルドーザは公称接地圧 $P \text{ kg/cm}^2$ を等分布帯状荷重としたとき、履帯中心真下の深さ z の応力 σ_z は、ブーシネスクの式により次式で表わされる。

$$\sigma_z = \frac{P}{\pi} (2\varepsilon + \sin 2\varepsilon \cos 2\varphi) \dots (4)$$

$$\text{ただし, } \varepsilon = \frac{\beta_2 - \beta_1}{2}$$

$$\varphi = \frac{\beta_2 + \beta_1}{2}$$

と表わされる。(4)式より求めた値 σ_z を Boussinesq による値として図 5-10, 図 5-11 に示す。

図 5-10 では、公称接地圧 0.75 kg/cm^2 に対して約 5 倍程度の大きな接地圧が生じており、図 5-11 では、湿地ブルドーザの公称接地圧 0.28 kg/cm^2 であるが、締固め中の土圧はこれの 3 倍程度となっている。静止状態の土圧も測定し図に示しているが、これは公称接地圧をやや上回る程度であり、走行中の衝撃的な荷重がピーク土圧にきいていることがうかがえる。

ブルドーザ走行時における動的沈下とそれに対応する土圧の時間的变化を図 5-13 に示す。ブルドーザ走行により、土砂を履帯が踏み始めると沈下が急激におこり、しだいに沈下は小さくなり、履帯通過後一部沈下が回復する。

転圧回数が増加すると、タイヤローラと同様、ブルドーザ通過後に回復する沈下量がしだいに大きくなった。

ブルドーザの接地圧は、普通全重量を履帯接地面積で除して公称されている。これは、接地面に荷重が等分布していると仮定しているが、ブルドーザ走行時の土圧は図 5-13 に示すように複雑に変化しており、特に下部転輪中の前、後端の 2 輪の下で大きくなることが多い。

ブルドーザによる試験の結果を転圧回数と締固め密度について整理したのが図 5-14 である。参考として同一土質で行なったタイヤローラの実験結果も示す。

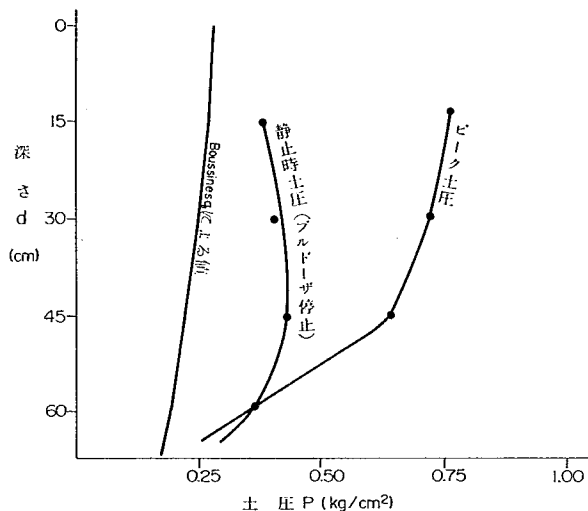


図 5-11 湿地ブルドーザによる鉛直土圧

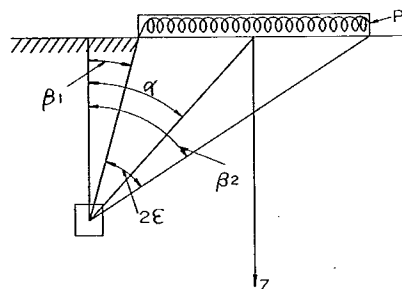


図 5-12 Boussinesq の式による求め方

ブルドーザ 11 t の締固め曲線は、含水比が最適含水比付近とやや乾燥側の 2 つの区間に分けて平均密度を求めたものを示しているが、わずか 1.2 % の含水比の相違で乾燥密度が 10 % 近く異なる結果が得られた。含水比がほぼ等しい場合には、タイヤローラの 8 t あるいは 12.5 t とほぼ同等の締固め効果が得られている。湿地ブルドーザ 13 t については、含水比がかなり低くなっており、一概に判断できないが、締固め効果は小さく、特に転圧回数 2 回以上での密度の上昇はごくわずかである。

ブルドーザの締固めにおいて、まき出した土の中、下層における締固め効果を調べるために、深さ方向に測定回数毎に穴を掘り、R I

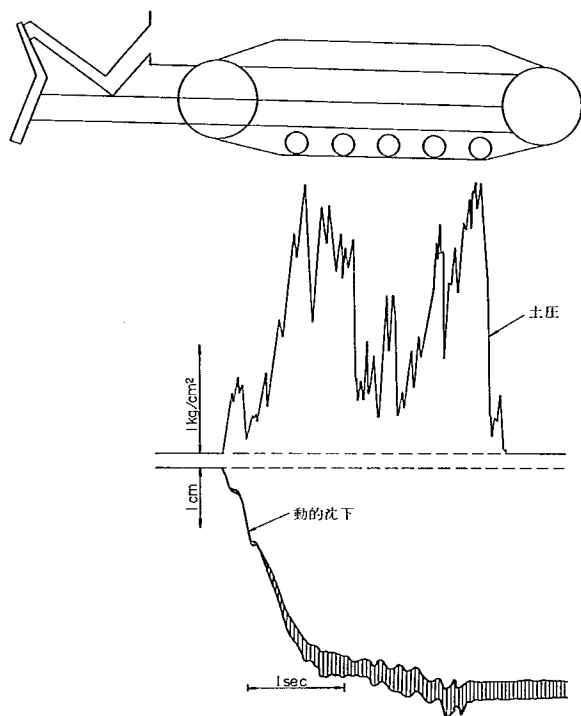


図 5 - 1 3 ブルドーザ走行時の沈下と土圧

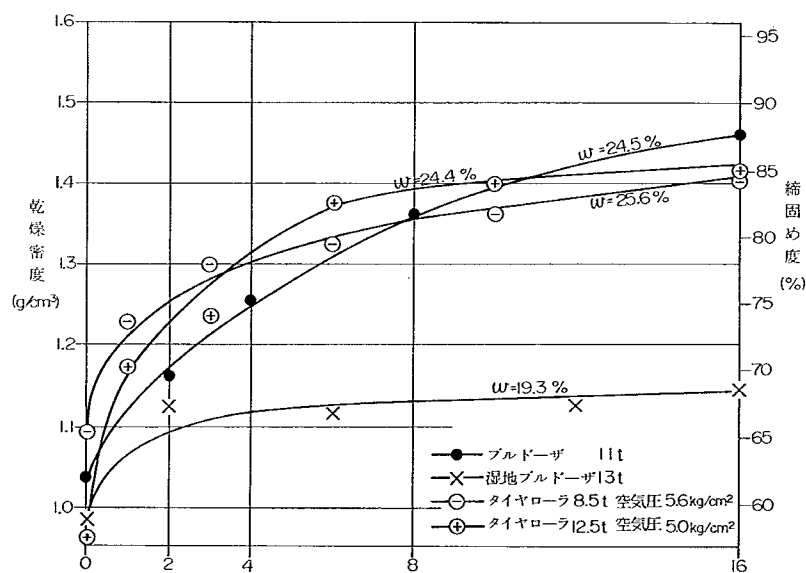


図 5 - 1 4 ブルドーザによる締固め

密度水分計により密度、含水比を求めた。転圧回数増加による中、下層の密度、締固め度の増加を図5-15にブルドーザ15tの場合について示す。

ブルドーザ15tを使用した場合、転圧回数8回で表層の締固め度の92~93%程度が得られるが、表面から15cmでは87%程度、表面から30cmでは83%程度が得られている。ブルドーザはタイヤローラに比べ、同等の重量を用いた場合、表層においては締固め効果は劣るが下層まで締固め効果が及び、下層における締固めの効果の減少の割合は少ないようである。

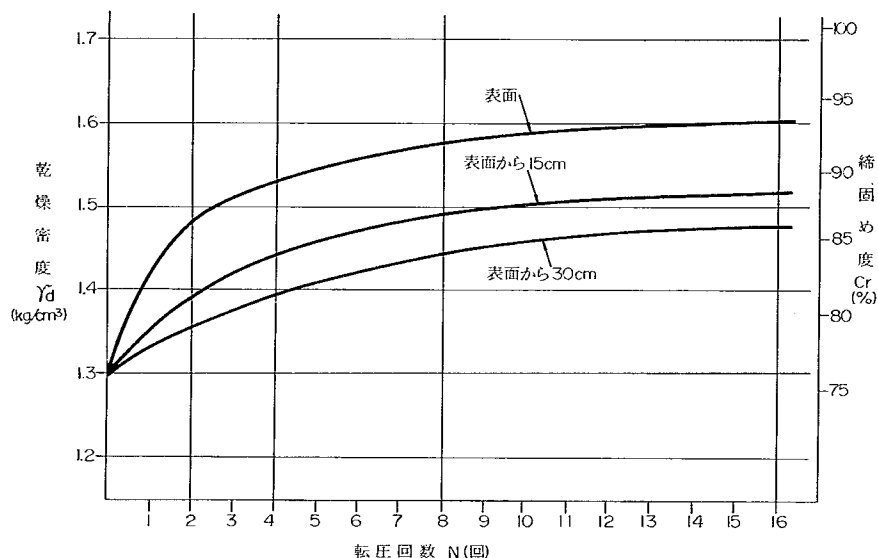


図5-15 ブルドーザによる下層の締固め (1例)

今回の実験では、ブルドーザはタイヤローラに比べ下層まで締固め効果が及ぶが、同クラスのタイヤローラの表層の締固め効果より劣る結果が得られた。現在、ブルドーザによる路体等の締固めは効果が少ないとして、その使用を制限する方向にあるが、それに替るものとして、自走式タイヤローラしか一般的でない現状では、ブルドーザの締固め機械としての使用を一概に否定できない。ただし、その施工方法については、均一な敷均し、十分に均一な転圧が確保される方法を検討しておく必要がある。

5.3 振動ローラによる締固め

振動ローラは、振動によって土の変形抵抗を小さくして、小さな重量で大きな締固め効果を得ようとするもので、一般に粘性の乏しい砂利や砂質土の締固めに効果があるといわれている。振動ローラは従来から小形のものが多く用いられているが、最近大形のものも使用される傾向になってきている。大形振動ローラは小形の振動ローラに比べ、振動数、振幅、起振力を材料に応じて広範囲に調節でき、油圧駆動の採用により走行速度を無段に調節できるなどいろいろ改良されてきた。

一般に、最近の研究によれば、非粘性土のみに振動ローラが適しているとされてきたが、必ずし

もそうではなく、振動数、含水比、まき厚を適切に選定すれば粘性土に対して十分効果があると考えられている。一般的な定性として、振動輪が土に与える圧力は振動数、振幅を大にすると集中荷重となり、小にすると分布荷重になるといわれており、これを利用し前者が砂質土に後者が粘性土と材料により条件を使い分けることができる。

きる。

振動ローラ(6.71)のピーク土圧を各層毎に、その平均と標準偏差1 σ の範囲を算出し、その結果を図5-16に示す。振動ローラは、接地圧 $P\text{ kg/cm}^2$ を線荷重とすると、図5-17に示す深さ Z の応力 σ_z は、ブーシネスクの式により次式で表わされる。

$$\sigma_z = 2P \cos^4 \alpha / \pi Z \dots\dots(5)$$

図5-16には(5)式より求めた値 σ_z (Boussinesqによる値)も示す。

(5)式による計算では、土圧はタイヤローラと同様に深さ方向に急激に減衰することになるが、実際には、図に示すようにその減衰は急激ではない。また土圧は同クラスのタイヤローラよりやや大きくなっている。

図5-18(a)に示したように土圧計を設置し、振動ローラを走らせた場合、ローラの移動に伴う土圧計A、土圧計Bの変化を示したのが図5-18(b)、(c)である。土圧計A(鉛直土圧)はローラが近づくにつれ、ローラの重量の影響、振動による影響が増大し、直下でピークを示し、通過後減少していく。これに対して土圧計B(水平土圧)はローラが近づくにつれてローラ重量、振動による影響が増大し、一度土圧は小さくなるが、ローラ通過後、再び土圧を受け、速さかるとして土圧は減少する。これはローラが真上を通過するに伴い、ローラの移動により土を押すことにより生じたものと思われる。

振動ローラ6.71を用いて締固め試験を行ない、その結果の転圧回数と表面における締固め密度との関係を有意水準 $\alpha = 0.01$ のときの信頼区間と各水準で図5-19に示す。ただし、振動ローラ $\#1$ は在来試験土を用い、振動ローラ $\#2$ は新試験土を用いたものである。振動ローラ $\#1$ と $\#2$ の違いは、土性の違い、転圧前の密度の違い、最適含水比と試験含水比の違いなどによるものと

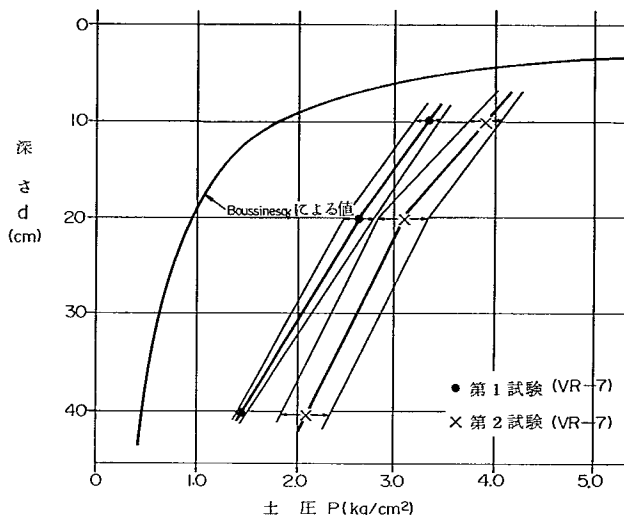


図5-16 振動ローラによる鉛直土圧

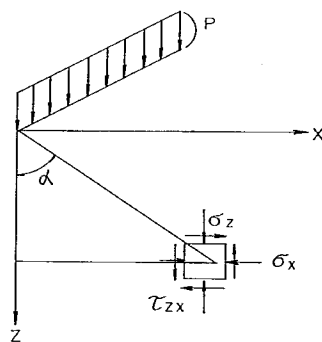


図5-17 Boussinesqの式による求め方

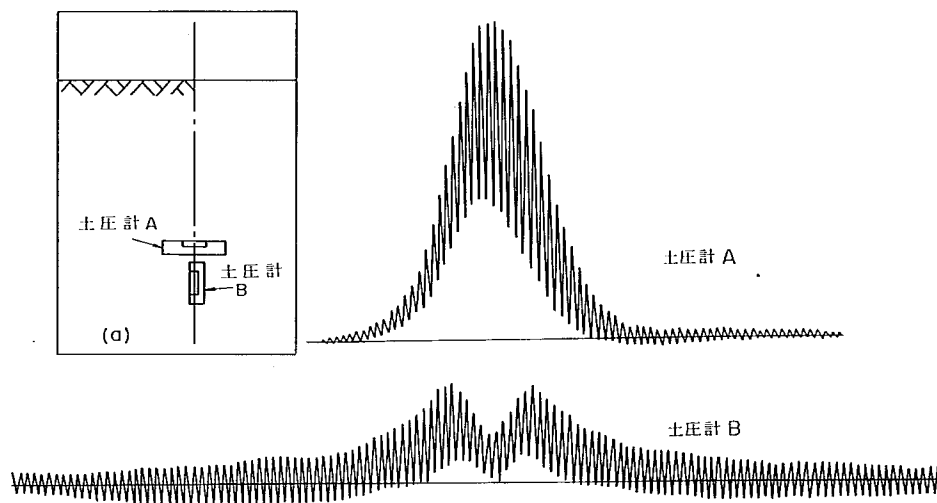


図 5-18 振動ローラによる転圧層内の土圧分布

思われるが、共に 16 回転圧後は、約 92~97% の締固め度を得た。しかし、8 回以上の転圧における密度上昇はほとんど認められない。

図 5-20 は、速度と乾燥密度との関係を深さ方向に有意水準 $\alpha = 0.01$ のときの信頼区間と各水準を示したものである。これによると表面では速度が小さい時よく締まっているが、下部では逆に速度が大きい時よく締まるという結果が得られた。

また振動数も変えて試験も行なったが、振動数 1,700 vpm で乾燥密度 1.395 g/cm^3 と最小となり 1,200 vpm, 2,200 vpm で 1.500 g/cm^3 , 1.485 g/cm^3 となった。谷本によると、土の表面振動締固め実験において、1,200~1,800 vpm の間に最大締固め効果を表わす振動数があるとされているように、ある振動数で締固め度が最大となるといった一般的傾向と異なった結果を示した。

なお、今回使用した振動ローラは本来、舗装工事用のものであり、これをもって土工用の大型振動ローラについて評価することはできないが、同重量のタイヤローラ、

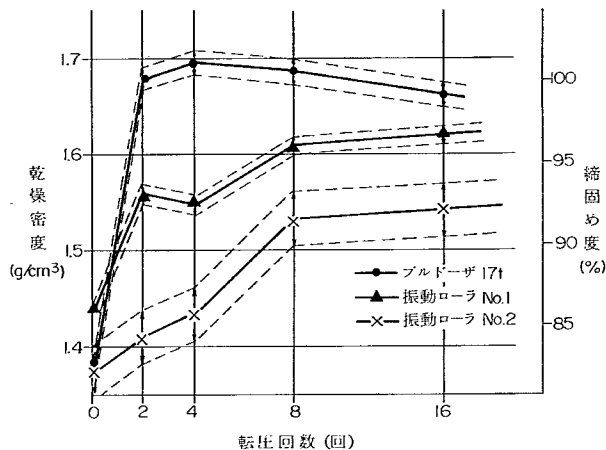


図 5-19 振動ローラによる締固め

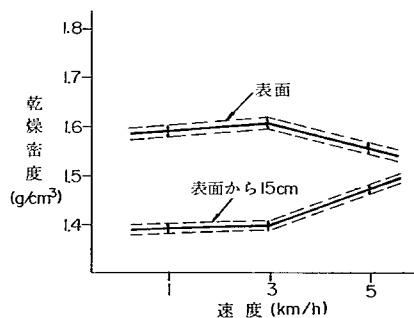


図 5-20 速度による効果

ブルドーザに比べ振動ローラは、かなり締固め効果が大きいようである。道路工事等における大型振動ローラの使用は、外国では定着しているが、我が国ではフィルダム等の工事のため導入された機械が道路工事等でも使用され始めた段階で、今後各種の土質に対する適応性を把握して、締固め作業の施工の合理化と盛土の質の向上に役立てる必要がある。

5.4 各種機械の締固め効果

締固め機械には締固め仕事を加える方法によって次のように分類される。

- (1) 静荷重によるもの………上載荷重による締固め
- (2) 転動荷重によるもの……タイヤローラ、平滑胴ローラなど
- (3) 衝撃荷重によるもの……ランマー、タンバなど
- (4) 振動によるもの………振動ローラ、振動コンパクタなど

実際の締固め作業中における各機械の土に与える作用は単一のものでなく複雑に複合された効果を与えながら締固めを行なうものである。

粒子間に働く変形に抵抗する力より大きな力を加えることによって締固めを行なう方法が(1)、(2)(3)に相当し、粒子間に働く力を少なくすることによって締固めを行なう方法が(4)に相当し、粗粒土の締固めに適していると言われている。なお、ブルドーザは静荷重による効果、機械振動による効果、衝撃荷重による効果である程度締固め効果が期待できるが、後に述べる均一性について問題を残す。

一方、締固め機械と締固め土の種類によって締固め密度が定まってしまうと言われているが、この締固め機械と締固め密度とそのばらつきについて調べたのが表5-3である。この場合のまき厚は30cmであるが、タイヤローラ転圧はブルドーザ転圧より高い乾燥密度が得られており、かつ変動係数も小さく締固めの均一性においてもブルドーザ転圧より良い結果が得られている。まき厚30cm程度までの範囲ではタイヤローラ転圧とブルドーザ転圧と両方締固めが可能な場合、タイヤローラの方が望ましいと思われる。また、最近ではほとんど使われることのないダンピングローラが高い締固め度と均一な締固め密度が得られており、施工性等も考慮して再評価することが必要であろう。

表5-3 締固め機械と締固め密度⁽⁹⁾

	ブルドーザ転圧	タイヤローラ転圧	タンピングローラ転圧
資 料 数	18	8	5
最大乾燥密度 $\bar{\gamma}_{dmax}$ 範囲	1.31~1.57g/cm ³	1.31~1.57g/cm ³	1.35~1.47g/cm ³
締固め乾燥密度 $\bar{\gamma}_d$ (平均)	1.31g/cm ³	1.40g/cm ³	1.32g/cm ³
変動係数 $\sigma/\bar{\gamma}_d \times 100$ (平均)	5.64%	3.01%	2.87%
平均締固め度 $\bar{\gamma}_d/\bar{\gamma}_{dmax} \times 100$ (平均)	90.2%	97.7%	95.9%

5.4.1 含水比と締固め効果

突固め試験における締固め曲線から考えても、土の含水比が締固め機械の締固め効果に大きく影響することが容易に推測される。したがって、同じ土を使った転圧実験でも、含水比が変われば試験結果にあらわれる締固め度を同等に評価することができない。しかし、転圧実験において各実験ケースの土の含水比を同じにすることは困難である。

図5-21は建設機械化研究所における各種締固め機械の性能試験報告書をもとに各種機械の締固め曲線を描いたものであるが、締固め機械による締固め曲線と突固め試験による締固め曲線は似た形をしている。したがって、締固めのエネルギーを変えた数本の締固め曲線を描き、各転圧実験の結

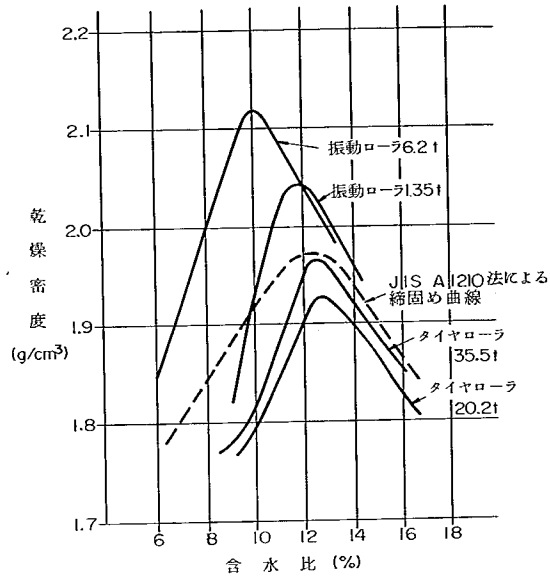


図5-21 締固め機械と締固め曲線

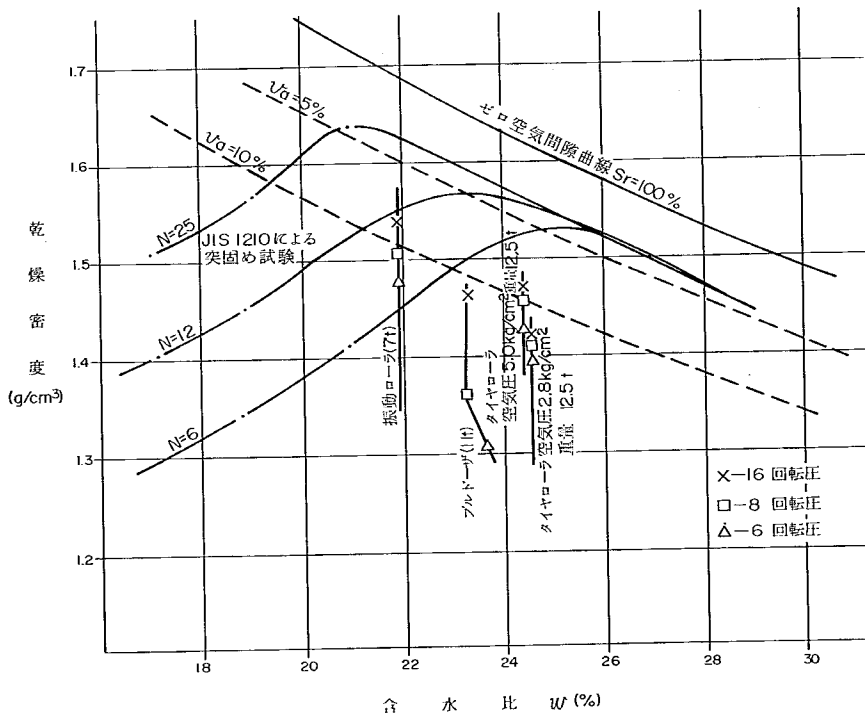


図5-22 含水比と締固め密度

果が締固めエネルギーのどこに位置しているかによって締固め効果を比較することができると思われる。

図5-22は突固め試験JIS 1210, 1.1-b法に準じて突固め回数を変えた締固め曲線を描き、これにブルドーザ、タイヤローラ、振動ローラの転圧実験結果をプロットしたものである。

この図によれば、振動ローラはブルドーザやタイヤローラよりもはるかに大きな締固め効果を有することになり、ブルドーザとタイヤローラでは余り差がないように見られる。

5.4.2 機械重量と締固め効果

図5-23, 図5-24は建設機械化研究所における各種の締固め機械の性能試験報告書をもとに整理したものである。

建設機械化研究所では締固め機械の性能試験として、試験土に砂質ロームを使用した転圧実験を行なっている。この試験においては、JIS A 1210の突固め試験の1.1-a法による最適含水比を中心として4種の含水比の条件を設定して、転圧を行なっているため、図5-21に示すような各転圧回数毎の締固め曲線が得られている。

図5-23は各機種について、2, 4, 8, 16回の転圧回数における最大の乾燥密度とJISA 1210, 1.1-a法の rd_{max} との比を示したものである。これによれば、振動ローラは重量の増加に伴い急激に締固め効果が上がっている。また、転圧回数の増加による締固め度の上昇も著しい。

これに対して、

タイヤローラは重量増加によって締固め効果上がる傾向はみられず、1機種を除いてほぼ同じ締固め度になっている。表層の密度に関する限り、タイヤローラ15~21tと振動ローラ2~3tがほぼ同じ締固め効果を発揮している。

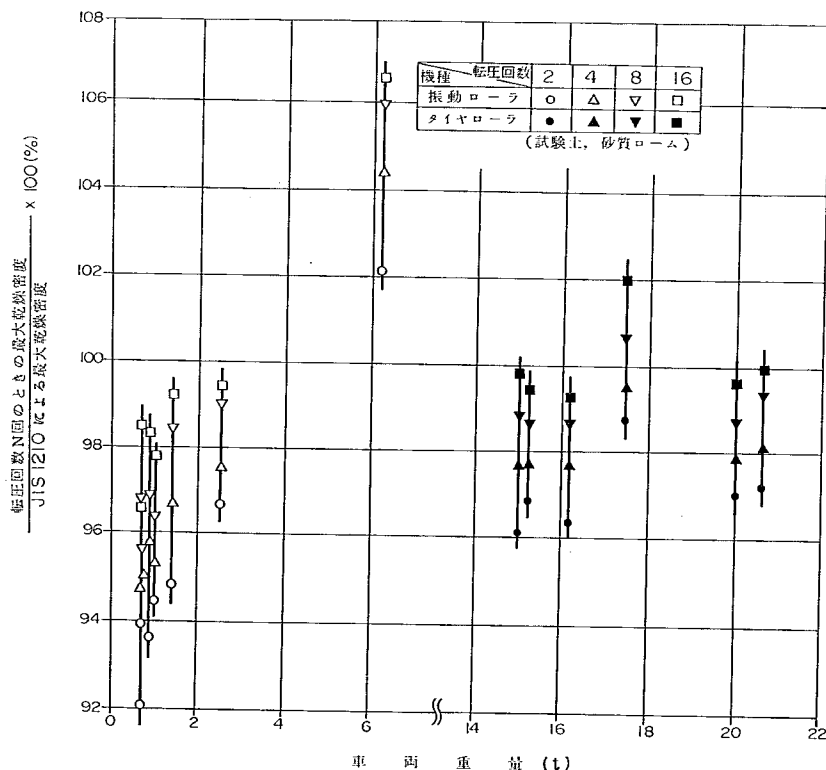


図5-23 締固め機械の重量と締固め度

図5-24は図5-23と同じ機種について、各転圧回における最大の乾燥密度に対応する含水比とJIS A 1210の1.1-a法の最適含水比との比を示したものである。最大の乾燥密度を得る含水比は、突固め試験における最適含水比が締固めエネルギーの増加によって、最大乾燥密度が大きくなるとともに

乾燥側に移動するものと様様に転圧回数の増加とともに乾燥側に移動する。

したがって、振動ローラの場合は機械重量の増加とともに最大の乾燥密度を得る含水比は湿潤側から乾燥側に移るが、タイヤローラの場合はwopt付近からやや湿潤側で最大の締固め効果を発揮している。

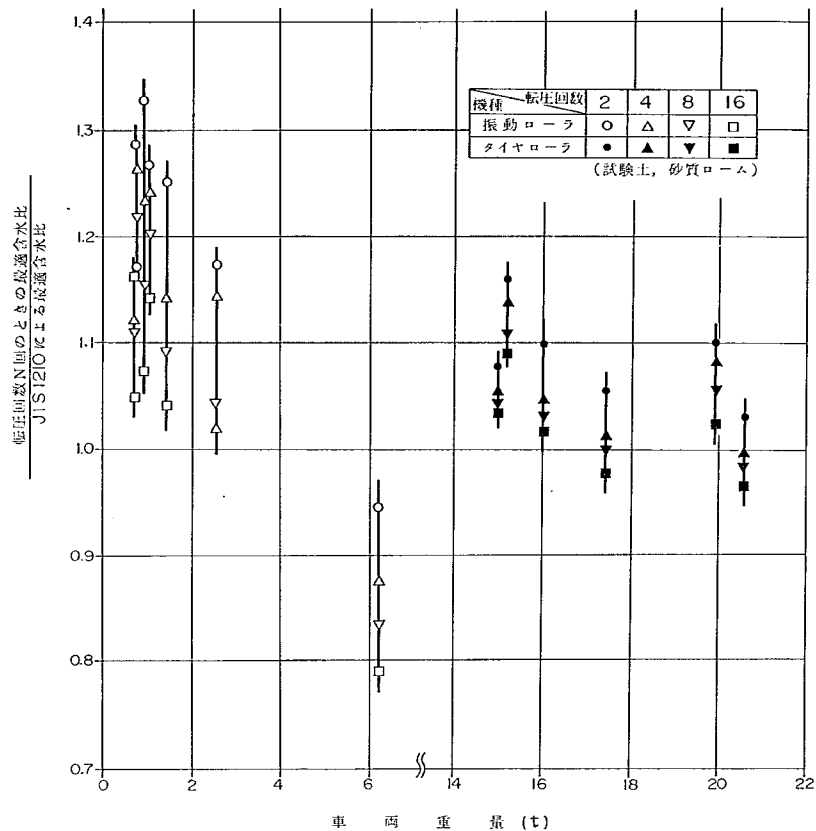


図5-24 車両重量と最大の締固め効果を得る含水比

5.4.3 深さ方向の密度の変化

ブルドーザとタイヤローラの転圧試験の結果から深さ方向の締固め度の変化を示したのが図5-25である。

5.1及び5.2節で述べたように、タイヤローラの鉛直土圧は表面近くは高いが、深くなると急速に減衰するのに対して、ブルドーザの場合、表面近くではタイヤローラよりはるかに小さいが、深くなると同等以上の大きくなる。

図5-25では、表面近くにおいてはブルドーザに比べタイヤローラが高い締固め度を示したが、深さが大きくなるに従ってタイヤローラとブルドーザとの締固め度の差は小さくなり、深さ40cm程度ではブルドーザの方が高い締固め度を得られる。

厚い土層の締固めに関してはブルドーザ転圧の有効性が伺えるが、道路盛土における締固めは層厚30cm以下を原則としているので、このような条件のもとではブルドーザよりタイヤローラが高

い締固め度を与えるものと考えられる。

なお、道路工事においては 15~20 t 級のブルドーザが多く使用されるようになっており、このクラスのブルドーザの締固め効果を今後調査する必要がある。

5.4.4 敷均し密度と締固め後の密度

図 5-9, 5-14, 5-20 によると敷均し後の密度が転圧後の密度に影響している傾向が見られる。そこで、東北、九州両技術事務所における転圧実験の結果をも交えて敷均し後の密度と 8 回転圧後の締固め度の関係をプロットしたのが、図 5-26 である。

敷均し後の密度と 8 回転圧後の密度には正の相関がある。すなわち、締固め易い土は敷均し時の軽い締固め作用によっても容易に締固められて高い密度が得られ、締固め難い土はその逆になる。締固め易いか否かは、土の粒度分布あるいは含水比の条件によって変ると考えられるが、それらの関係は明確でない。

5.4.5 転圧時の鉛直土圧と水平土圧

締固め機械の転圧時の鉛直土圧については、5.1, 5.2, 5.3 で述べたように、転圧回毎のばらつきは大きい、転圧回数に關係すると思われる変化は見られなかった。

土の締固めは、ある荷重状態で作られた土粒子の配列を前とは

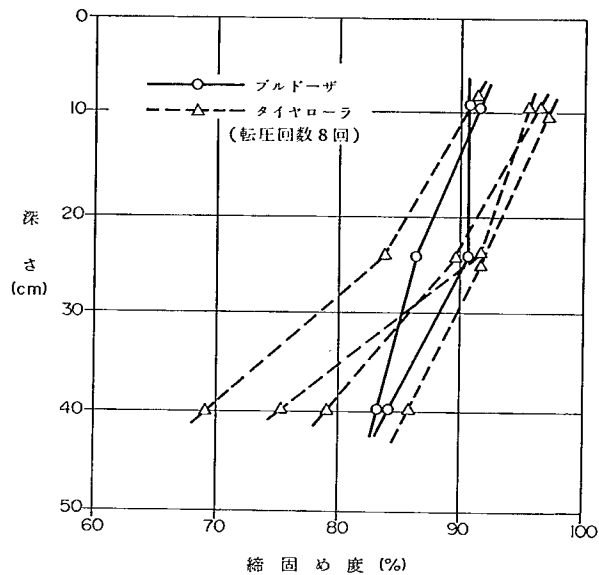


図 5-25 深さ方向の締固め度

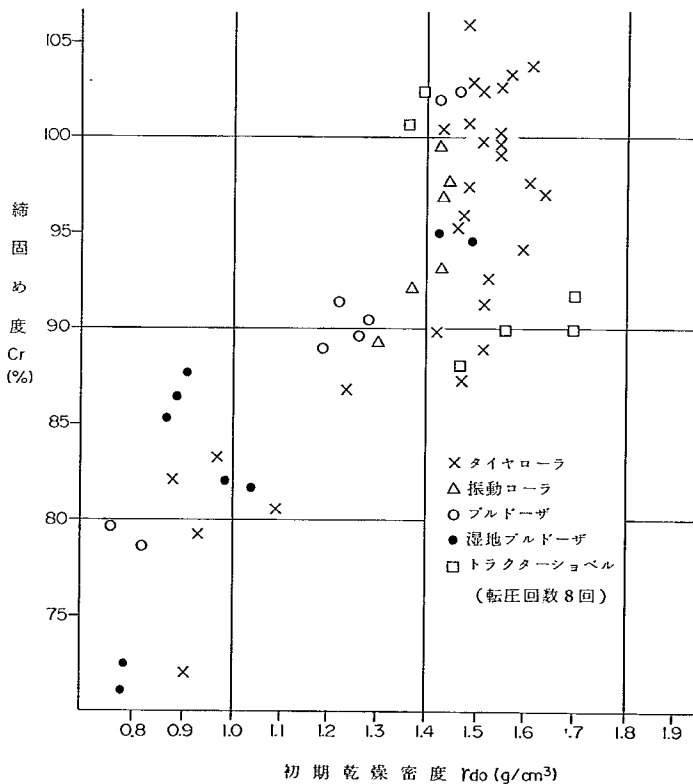


図 5-26 初期密度の締固め度

異なる荷重を加えて、土粒子の配列を破壊し、さらに密度の高い状態に再配列することである。この荷重としては一般に鉛直力が加えられるが、それに伴って発生する水平力も土粒子の配列を変える要因として大きなものと考えられる。

そこで、転圧実験では締固め機械の走行に伴う土中の水平土圧を調査するため、試験盛土の上部に水平方向の土圧を測定する土圧計を埋設した。

水平土圧としては締固め機械の推進力によって生じるものと鉛直土圧に対応するものが考えられ、一般に後者の要素が大きい。そこで水平土圧 P_h と鉛直土圧 P_v の比を水平方向土圧係数 k として、各実験の結果を図 5-27, 5-28 に示した。なお、 P_h , P_v には転圧回毎のピーク値を用いた。

$$k = \frac{P_h}{P_v} \dots\dots\dots(6)$$

タイヤローラの試験と振動ローラ、トラクタショベルの試験では水平土圧計の埋設深さが異なるので、一概に比較できないが、 k の大きさはタイヤローラが深さ 10 cm ではほぼ 0.5 以上と推定されるので、タイヤローラとトラクタショベルが大きく、振動ローラがそれより小さい。

k は各機種とも転圧回数が増すごとに大きくなる傾向にある。鉛直土圧は前に述べたように、転圧回数が増加しても変わらないので、水平土圧が転圧回数の増加とともに大きくなっていることを示すものと解釈できる。

水平土圧の要因のうち、締固め機械の推進力については、転圧回数の増大とともに盛土のわだちの沈下が小さくなるので走行抵抗、すなわち推進力は小さくなるのである。

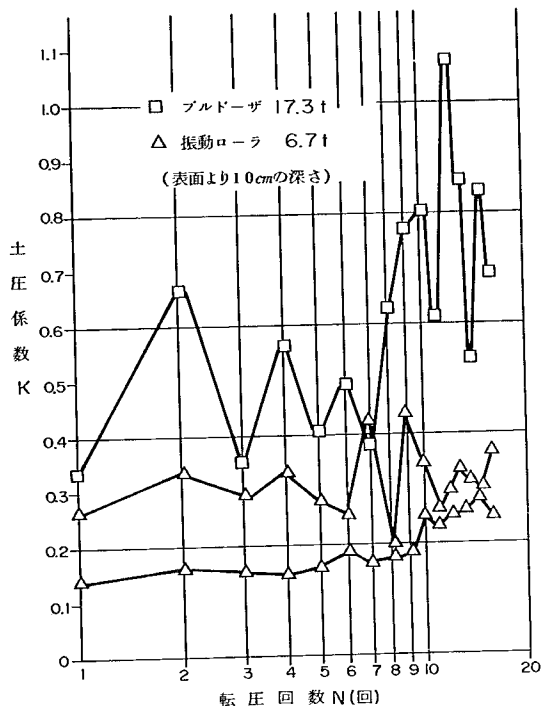


図 5-27 機種による K 値の違い

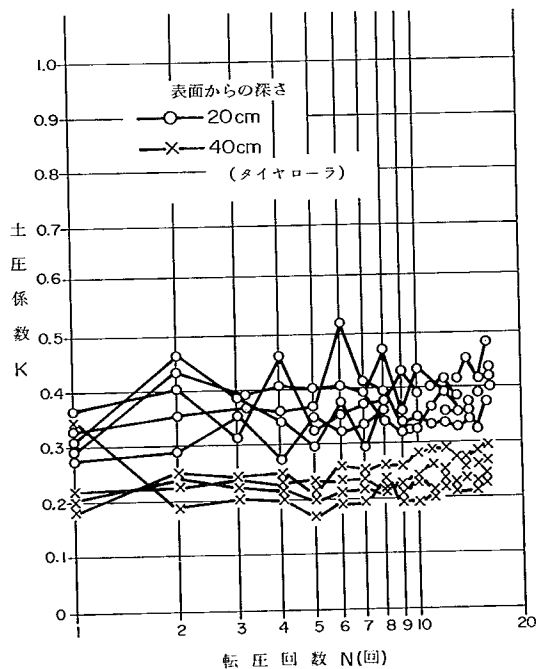


図 5-28 深さ方向の K 値の違い

う。一方、鉛直土圧によって生じる水平土圧は、土の密度の小さいときには土粒子は容易に水平方向に移動できるため、水平方向の土圧は主働土圧的なものであるが、密度の上昇とともに土粒子の水平方向への移動は拘束され、水平方向の土圧は次第に静止土圧的なものになり、水平方向土圧が次第に大きくなるものと考えられる。

転圧に伴う水平方向土圧の上昇が締固め効果にどのような影響をもつのか、あるいは土と深さの関係、機種による土の差異などについては今後更に検討してみたい。

6. 盛土の締固め管理

盛土の施工に関しては、盛土の出来形の管理、法面保護のための植生の管理、基礎地盤が軟弱な場合には基礎地盤の沈下量の管理など多数の品質に関する管理項目があげられるが、それらの中で最も重要なものが盛土自体の品質の管理である。

盛土の品質管理を大きく分けると1つは盛土材料の管理であり、もう1つが盛土の締固めの管理である。近年における道路盛土においては、盛土材料として良質な土砂を選択して使用することは困難な状況にあり、現地に発生する土砂がある場合には、それが盛土材料として極度に悪い場合を除き、その発生材を用いるのが一般的になっている。すなわち、道路盛土においては良質なれき質土から締固めが容易でない高含水比粘性土まで多種、多様な土砂が盛土材として使用されている。したがって、盛土材料の管理として実施できることは、大径のれきや木根などの有害物を含まないように、あるいは含水比が施工不能になるまで高くならないように管理する程度であり、現在行なわれている管理作業は、使用する盛土材がどのような土質であるかを確認することといえる。

このように盛土材料を選択することができず、多種多様な土砂が利用される状況において、盛土に対して必要な強度、非圧縮性、安定性を得るためには盛土の締固めが重要であり、それを確保するための締固め管理もまた重要であるといえる。

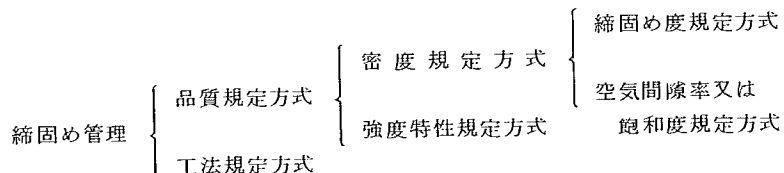
6.1 締固め管理の方法

道路盛土の締固め管理として、現在、最も多く採用されている方法は密度管理方式であり、今後ともこれが締固め管理の主流であることは間違いのないであろう。しかし、盛土材料に発生材を用いる現状にある道路盛土に対しては、密度管理に種々の問題が生じている。

そこで、道路盛土における締固め管理を再検討するために、各種の締固め管理方法について問題点を調査する。

締固め管理方法としては表6-1に示すものがあげられる。

表 6-1 締固め管理方法の分類



締固め管理において何を規定して管理するかにより大きく品質規定方式と工法規定方式に分けられる。

品質規定方式は盛土に必要な品質を規定し、締固めの方法については施工者にゆだねる方式で、管理の対象となるのは品質の規定に対する適否である。最近の請負工事においては、請負契約の性

格上最も合理的な方式と目され、内外の多くの機関においてこの方式が採用されている。

品質を規定する方式には表 6-1 に示すように、盛土の密度で規定する方式と強度特性で規定する方式があり、前者は締固め度すなわち盛土の乾燥密度と基準試験の最大乾燥密度の比で規定する方式と盛土の空気間隙率又は飽和度で規定する方法が利用されている。

工法規定方式は盛土の締固めにあたって、使用する締固め機械の機種、締固め回数などの工法そのものを規定する方式である。

以下各締固め管理方法について調査する。

6.2 密度規定方式

品質規定方式ではどの品質を規定するかが重要な問題となる。盛土の機能と直接に関係する強度、非圧縮性、安定性等の特性を規定することが考えられるが、現在のところこれらの特性を直接調査し管理する方法は開発されていない。そこで、これらの特性と関係がある盛土の密度によって管理する方法が最も多く採用されている。

建設省においてもこの方式が採用されており、各地方建設局などでは表 6-2 に示すように規定して管理を行なっている。

表 6-2 道路盛土（路体）の締固め管理状況

地建名	規格値又は合格判定値	試験頻度	備 考
東 北	最大乾燥密度の 85% 以上 監督員の指示する含水比において飽和度 85% 以上、空気間隙率 10% 以下	1,000m ³ に 1 回	土量 5,000m ³ 未満 1 工事当り 3 回以上 1,000m ³ 未満 1 工事当り 1 回以上
関 東	最大乾燥密度の 85% 以上 飽和度 85~95%, 空気間隙率 10~2% 特記仕様書の数値 (K 値等) 以上	1 ロット 2,000m ³ を 標準として 5 回の割合で実施する。	
北 陸	締固め度 $\bar{X}_{10}$ 85% 以上	100 m 毎	
中 部	最大乾燥密度の 85% 以上	1,000m ³ に 1 回 (3 個)	
近 畿	最大乾燥密度の 85% を 10 回に 1 回以上の確率で下ってはならない。飽和度は 85~95% の範囲で 10 回に 1 回以上の確率で下ってはならない。	1,000m ³ に 1 回	土量 5,000m ³ 未満 1 工事当り 3 回以上 1,000m ³ 未満 1 工事当り 1 回以上
中 国	最大乾燥密度の 85% 以上 飽和度 85~95% の範囲	1,000m ³ に 1 回	土の含水量試験 (降雨後又は含水比の変化が認められるとき) 最大乾燥密度の 85% に対応する含水比の間
四 国	最大乾燥密度の 85% 以上	1,000m ³ に 1 回	
九 州	最大乾燥密度の 85% 以上	1,000m ³ につき 1 回	転圧機種 ブルドーザ 11t 以上 仕上げ厚 20~30 cm 転圧回数 5 回以上
北海道 開発局	最大乾燥密度の 90% 以上	500m ³ に 1 回	凍上抑制層の施工に先き立ち、コーン指数が 15kg/cm ² 以下又は同程度以下の支持力しか得られないと視認される部分は、監督員と協議の上コーン指数の測定を行う。

全ての地方建設局および北海道開発局が締固め度規定を採用し、半数の地方建設局が空気間隙率又は飽和度を副の規定として採用している。

締固め度規定の場合には、その規定値は全地方建設局が最大乾燥密度の 85% として統一されて

あり、北海道開発局では90%以上とされている。空気間隙率又は飽和度規定は各地方建設局とも締固め度規定の採用が困難な粘性土等を盛土材とする時に採用することとし、その規格値は飽和度が85%以上、空気間隙率が10%以下としている。このように規格値に関しては各地方建設局とも大差ないが、規格の判定方法及び試験の頻度に関しては表-11、12にみられるように統一されたものにはなっていない。

6.2.1 締固め度規定方式

締固めた土の乾燥密度 γ_d と基準の締固め試験の最大乾燥密度 γ_{dmax} の比を締固め度 C_r と呼んでいる。

$$C_r = \gamma_d \div \gamma_{dmax} \times 100(\%) \dots\dots\dots(7)$$

締固め度規定方式は締固め度が規定値以上になっていること、及び施工含水比が基準試験の最適含水比 w_{opt} を基準として規定された範囲内にあることを要求する方法である。

基準の締固め試験としてはJIS A 1210「突固めによる土の締固め試験方法」の1.1方法及び2.4方法が選ばれることが多い。1.1方法の突固めエネルギーは $5.625 \text{ kg} \cdot \text{cm} / \text{cm}^2$ であるのに対し、2.4方法のそれは $25.209 \text{ kg} \cdot \text{cm} / \text{cm}^2$ と格段に大きい。そのため、締固め曲線は図6-1に1例を示すように2.4方法の最大乾燥密度が1.1方法のそれより5%程度大きく、最適含水比は2.4方法の方が1.1方法より小さくなる。

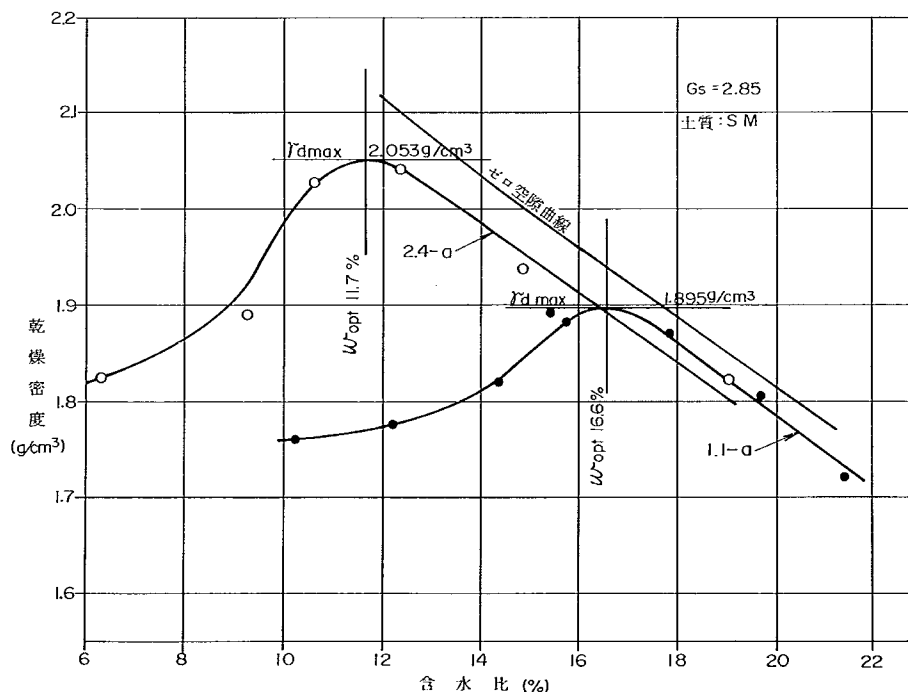


図6-1 突固め試験の1.1法と2.4法の締固め曲線の例

したがって、「道路土工—施工指針」では道路盛土（路体）の締固め度及び施工含水比の規定値を次のように示している。

締固め度 $C_r \geq 90\%$ （1.1法の場合）

あるいは

$C_r \geq 85\%$ （2.4法の場合）

施工含水比 w_{opt} と 90% （又は 85% ）の C_r の得られる湿潤側の含水比の範囲

この規定法は前に述べたように建設省をはじめとして多くの機関で採用されているものであるが、道路盛土等に採用する場合にはいくつかの問題点がある。

(1) 土質によって基準密度が大きく変る。

種々の土に対する締固め曲線の一例を図6-2に示す。土の粒度組成のうち細粒分が多くなるほど最大乾燥密度が低下し、最適含水比が大きくなる。その差は図よりわかるように極めて大きなもので、粒度組成の変化によって基準密度が鋭敏に変化することが伺える。したがって、土質の変化の大きい盛土工事においては、

土質が変化する都度基準

密度を設定し直す必要が

あり、均一な盛土材が得

られない工事では1層の

盛土においても基準密度

に大きな差が生じる。図

6-3は河川堤防の1層の

盛土現場より採集した

土砂について突固め試験

を行なった例である。

(2) 最大乾燥度の大き

いものは高い締固め度を

得やすく、最大乾燥密度

の小さいものは締固め度

が低くなる傾向がある。

図6-4は道路及び河

川工事の盛土現場にお

いて調査した締固め後の乾

燥密度とその土の最大乾

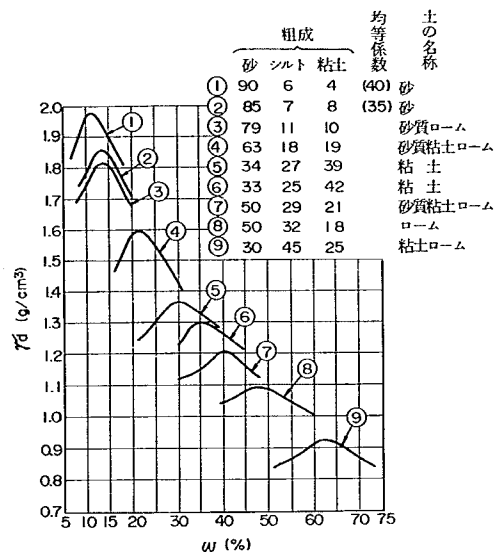


図6-2 土の種類と締固め曲線の実例（河上）

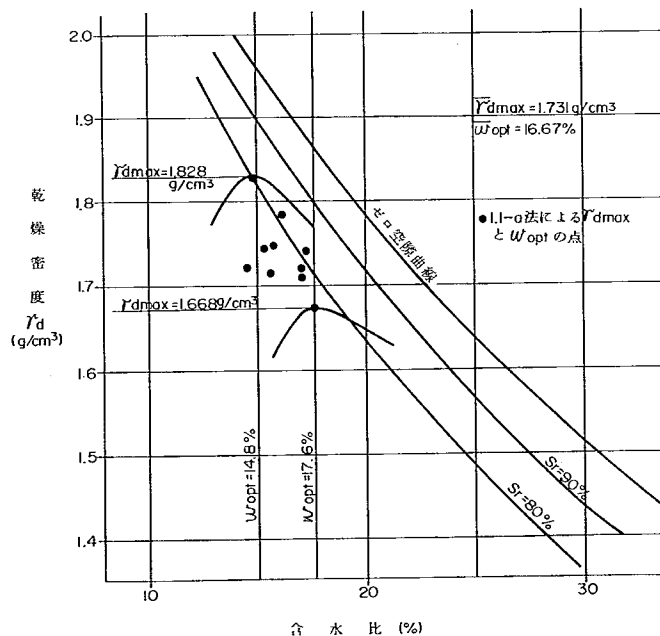


図6-3 盛土現場における γ_{dmax} と w_{opt} のばらつきの例

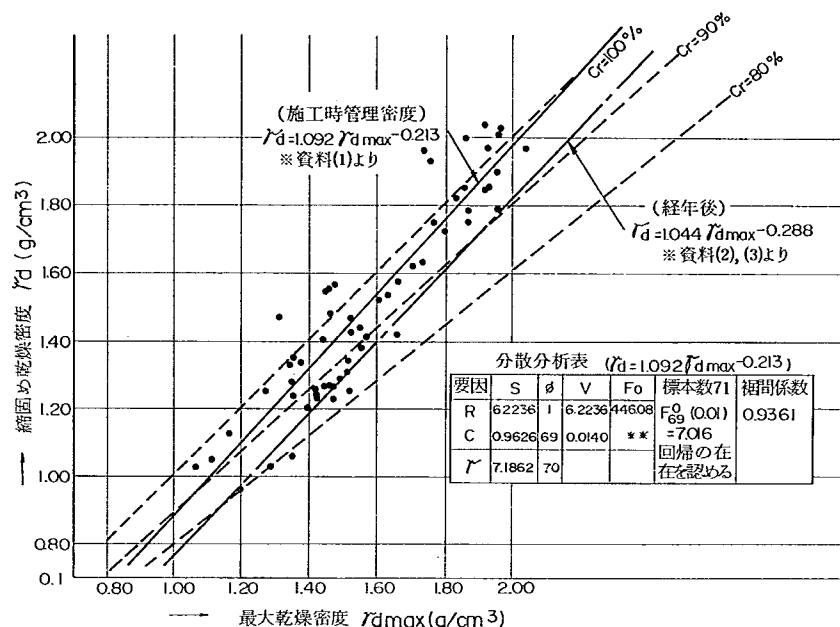


図 6-4 締固め密度と最大乾燥密度の関係⁽⁹⁾

乾燥密度の関係を示したものである。両者には直線関係が認められ、締固め密度は最大乾燥密度の高い方の土質では締固め度の高い領域に入り易く、最大乾燥密度の低い土質になるにつれて締固め度の低い領域に入りやすい傾向がある。

締固め度を規定する場合、盛土の種別（路体、路床、築堤）などによって一率に規格値が定められるが、粗粒土では容易に合格するが、組粒土では簡単には合格しないことが起り得るわけであり、多少問題があるように思われる。

(3) 含水比の高い土は所要の締固め度まで締固めることができない。

盛土材料の含水比が前に述べた施工含水比の制限値よりも高い場合には、その土を十分に締固めても締固め度を規定の値まで高めることは困難であり、締固めすぎると過転圧（over compaction）の状態になりかえって盛土の強度、安定性等をそこなう結果となる。

一方、我が国では土の含水比が最適含水比より高いことが一般的であり、天候も湿潤で乾燥が困難な時期も多く、土を乾燥させて含水比を調整することは難しい。よって、極端に含水比が高い土の場合には締固め度規定は使えなくなる。

(4) 突固め試験によって基準となる最大乾燥密度を決定できない土質がある。

図 6-2 にみられるように細粒土になるほど、締固め曲線が平坦になってピークが明瞭でなくなり、土質によっては全くピーク値の表われないものもある。また、関東ロームでは突固め試験を始めるときの試料の乾燥状態によって締固め曲線が著しく変化する。そのため、基準となる最大乾燥密度を決定することができない。図 6-5 は自然含水比 177% の関東ロームを、それぞれの締固め

曲線の左端に相当する含水比になるまで乾燥し、その含水比を始点として突固め試験を行なった結果である。

なお図中の曲線①は乾燥試料であり、②～⑤は気乾試料である。⁽²⁾

以上の問題点のうち(1)及び(2)は運用上のものであるが、(3)及び(4)は締固め度規定が適用できない場合であってこのような場合は次に述べる空気間隙率又は飽和度規定方式が適用されることが多い。

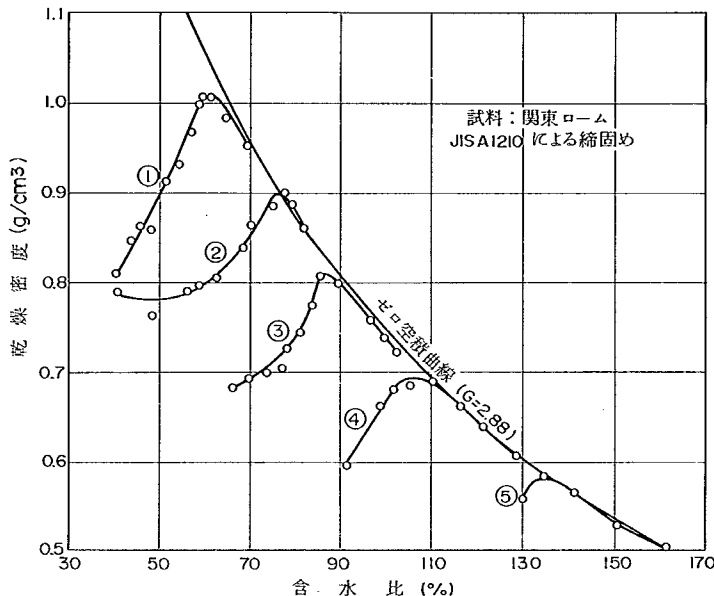


図 6-5 試験開始時の乾燥状態が締固め密度に及ぼす影響⁽²⁾

6.2.2 空気間隙率又は飽和度規定方式

締固めた土の性質を確保する条件として、空気間隙率又は飽和度を規定し、一方では締固めた土の強度および変形特性が設計を満足する範囲に施工含水比を規定する方法である。

空気間隙率 v_a (%) 及び飽和度 S_r (%) は現場の締固め土の湿潤密度 γ_t (g/cm^3) 及び含水比 w (%) を測定することによって次式から算出する。

$$\gamma_d = \frac{100\gamma_t}{100+w} \quad (g/cm^3) \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$v_a = 100 - \frac{\gamma_d}{\gamma_w} \left(\frac{100}{G_s} + w \right) \quad (\%) \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$S_r = \frac{w}{\frac{\gamma_w}{\gamma_d} - \frac{1}{G_s}} \quad (\%) \quad \dots\dots\dots (10)$$

ここに、 γ_d は乾燥密度、 γ_w は水の単位体積重量 $\approx 1 g/cm^3$ 、 G_s は土粒子の比重である。

空気間隙率や飽和度を求めるためには、土の湿潤密度と含水比及び土粒子の比重を知ることが必要であるが、土質の変化に伴う土粒子の比重の変動は、突固め試験の γ_{dmax} w_{opt} の変動に比べればはるかに小さい利点がある。

空気間隙率及び飽和度の規定値として、「道路土工—施工指針」は表 6-3 を与えている。

図 6-6 は十分安定していると思われる盛土

表 6-3 空気間隙率、飽和度の規定値

土 質	土 質	
	粘 性 土	砂 質 土
名 称		
空 気 間 隙 率 (v_a)	10 % 以下	15 % 以下
飽 和 度 (S_r)	85 % 以上	(適用不適當)

注 1： 砂質土で粗粒分の多い土は、空気間隙率の上限を 20 % に拡張しても良い。

注 2： 粘性土について、 v_a の下限は 2 % 程度、 S_r の上限は 95 % 程度とみなすべきである。それを越えると過転圧の状態になるので、目視によって締固めを止めれば良い。

の乾燥密度と含水比の関係を示したものである。これから飽和度 100~80% の領域に、細粒土 (CH, MH) はだいたい収まっているが、粗粒土 (SW, SM) はかなりはずれている。これを空気間隙率の 0~15% の領域についてみると、含水比が低い部分を除けば比較的一様に収まっている。このことから飽和度よりも空気間隙率で規定する方が広い範囲の土質について一律の値を適用し得るということが考えられる。⁽⁹⁾

転圧試験の結果から空気間隙率と締固め度の関係を示したのが図 6-7 である。締固め度の規定値は 90% であり、砂はほとんど上回っているが、砂質ロームではかなりのものがこれに達していない。トラフィカビリティを確保するため、灰土のうえにシルトを薄く敷均して転圧したものは、締固め度は 90% に達していないが、このような高含水比の火山灰質粘性土ではもともと締固め度を適用することが困難な土である。一方、空気間隙率でみると、砂の場合は 20% 以下と規定すれば、締固め度と同様ほとんどが合格する。砂質ロームの場合には 15% 以下と規定すれば、締固め度の場合よりややゆるく、合格するケースがやや増える。灰土の場合は 10% 以下と規定されるが、このデータでは半数が不合格となっている。これは締固め機械として、トラフィ

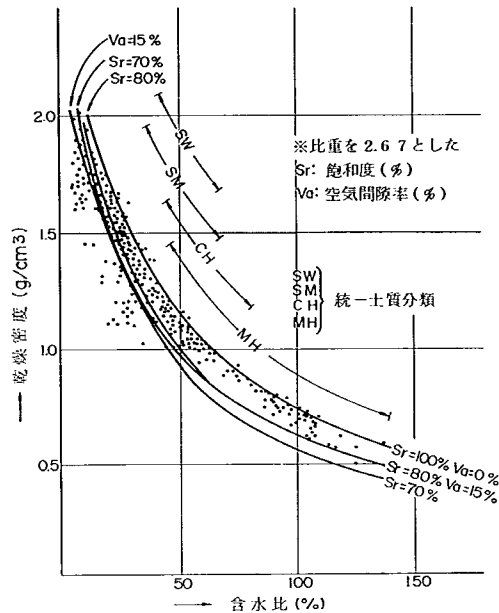


図 6-6 安定している盛土の密度と含水比の関係⁽⁹⁾

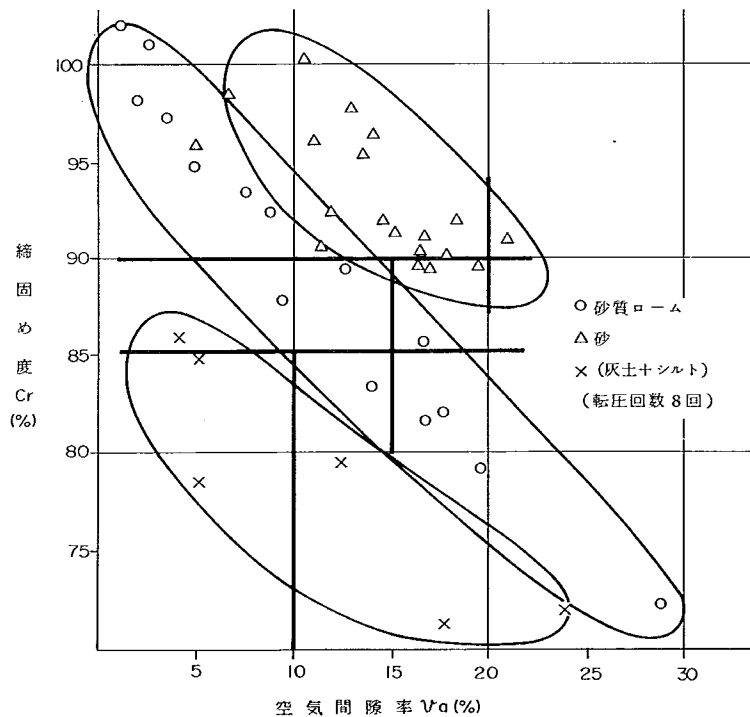


図 6-7 空気間隙率と締固め度

カビリティの関係から湿地ブルドーザを使用したため十分な締固め効果が得られなかったのである。図 6-7 によれば土質 CH, MH では空気間隙率 15% 以下ではほぼ全数が適合しており、締固め管理の規格値としてはこれよりも高い 10% 以下が妥当な値と考えられる。

空気間隙率及び飽和度規定の最大の問題点は、空気間隙率及び飽和度が算定式からもわかるように含水比 w によって容易に変化することである。したがって、この規定方法を用いるには含水比の範囲を定め、それを厳密に管理しなければならないわけであるが、前項で述べたように我が国では含水比の高い土が多く、気候的にも降雨等により含水比が高くなりやすく、一方、それを乾燥側に調整することが難しい。すなわち、施工者が善良な管理を行なっているにもかかわらず、含水比が高くなりすぎ、それを改善することが困難な場合も起り得る。このような場合にどのように対応するかが重要な問題になる。

含水比の管理は、この規定法だけでなく、締固め度規定、強度特性規定さらに工法規定においても重要な問題であり、各土質について標準的な含水比を定め、現場条件、あるいは気候条件によってその運用上の幅を定めることが必要であろう。また、施工にあたって施工者が良心的な含水比の管理を行うためにどのようなことを行なうべきかということも明確にしておく必要がある。

6.2.3 規格値と合格判定値

これまでの調査結果をもとに、盛土の密度管理、特に最も多く採用されている締固め度管理について考察する。

一定の土質で均等な施工を行なった場合でも盛土自体の密度及び含水比のばらつきは大きく、その大きさを正しく把握するには、6 m 以上の範囲において測定することが必要であることが明らかになった。また、盛土の密度及び含水比のばらつきは RI 法による測定で $\sigma'(r_t) = 0.06 \text{ g/cm}^3$, $\sigma'(w) = 1.2\%$ 程度という結果を得たが、RI 法による測定の場合は $\sigma_{RI}(r_t) = 0.011 \text{ g/cm}^3$, $\sigma_{RI}(w) = 0.23\%$ 程度であるから RI 法による測定の場合は無視して、盛土自体のばらつきを $\sigma(r_t) = 0.06 \text{ g/cm}^3$, $\sigma(w) = 1.2\%$ と考えてよい。

土の湿潤密度と含水比より乾燥密度を求めるとそのばらつき $\sigma(r_d)$ は次式で求められる。

$$\bar{x}(r_d) \pm \sigma(r_d) = \frac{\bar{x}(r_t)}{\bar{x}(1+w)} \pm \frac{\bar{x}(r_t)}{\bar{x}(1+w)} \sqrt{\left(\frac{\sigma(r_t)}{\bar{x}(r_t)}\right)^2 + \left(\frac{\sigma(w)}{\bar{x}(1+w)}\right)^2} \dots\dots\dots(11)$$

いま、上式に $\bar{x}(r_t) = 1.90 \text{ g/cm}^3$, $\sigma(r_t) = 0.06 \text{ g/cm}^3$, $\bar{x}(w) = 2.0\%$, $\sigma(w) = 1.2\%$ を代入すると $\bar{x}(r_d) \pm \sigma(r_d) = 1.58 \pm 0.05 \text{ g/cm}^3$ となり、乾燥密度の変動係数は約 3% となる。

締固め度算定の分母となる最大乾燥密度のばらつきは明らかにされていないが、図 6-3 に示すように同じ土質に分類されても、粒度組成の差異により最大乾燥密度は異なっている。しかし、一般的には、土質が変らなければ最大乾燥密度は一定であるといわれている。したがって、締固め度の変動係数も乾燥密度の変動係数と同じ 3% となる。

密土の密度のばらつきは正規分布となるので、いま、仮に、締固め度の不良率を $\frac{1}{3}$ とすると、締固め度の平均値は規格値（例えば 90%）から $0.43\sigma = 1.3\%$ かさ上げする必要がある、不良率を

$\frac{1}{10}$ とすると $1.28\sigma \approx 3.8\%$ かさ上げする必要がある。

盛土の締固め管理を締固め度で行なう場合、締固め度の規格値に対して、検査のための合格判定値、あるいは品質管理のための品質管理基準値は不良率 $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{100}$ に応じて $1.3 \sim 3.8\%$ 大きな値にすればよいことになる。しかし、この値は均一な盛土材で行なった転圧試験の盛土自体の密度のばらつきをもとに算定したものである。これに対して実際の盛土工事では、盛土材料として均等なものが容易に得られないこと、含水比の変動も大きいこと、敷均し、転圧の施工も転圧試験のように一様でないこと、さらに密度測定精度が低いことを考えると測定される盛土密度のばらつきはかなり大きいと考えられる。したがって、実際の規格値及び合格判定値又は品質管理基準値の設定は、現場における密度測定の実態を十分に調査のうえ行なわなければならない。

6.3 強度特性規定方式

締固めた盛土の強度、変形特性を貫入抵抗、現場 CBR、支持力、ブルーローリングによるたわみなどの値によって規定しようとする方法である。路床面におけるブルーローリングは多数の機関で採用されているが、これは締固め管理というより路床の完成後の品質検査といえる。現在、北海道開発局において球体落下試験を砂質土砂の盛土の締固め管理に活用されているが、強度特性規定方式を盛土の締固め管理に一般的に使用している例は極めて少ない。

この方法は規定値が直接盛土の供用性と関連が強く、測定が簡単である長所があるが、測定値が土質、含水比、れきの混入などによって容易に変化し、安定した測定値が得られないため、締固め管理の目標値を定めることが容易でない。

図 6-8 は建設機械化研究所で行なった振動ローラの転圧試験のデータの 1 つであり、転圧回数

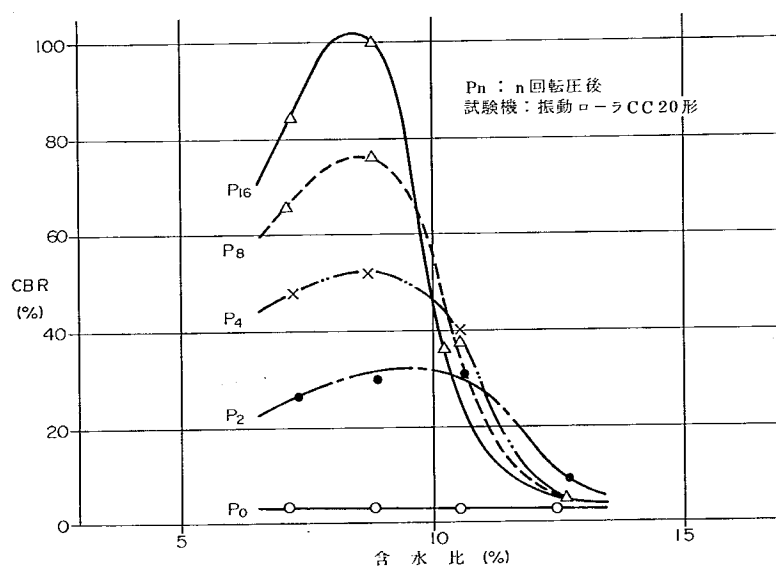


図 6-8 含水比と CBR

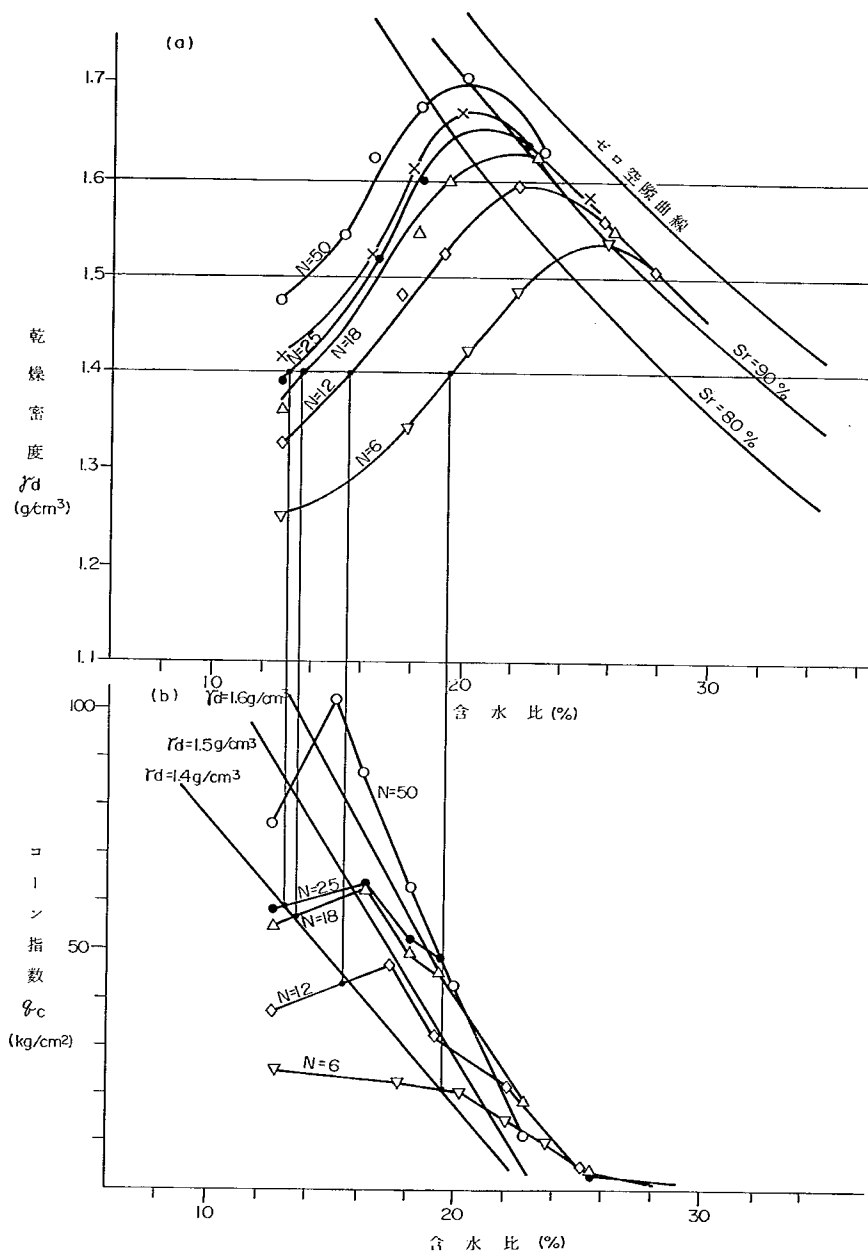


図 6-9 突固め試験とコーン指数

によるCBRの変化を示している。これによると、含水比の低い側では転圧回数に対してCBRは大きく変化しているが、含水比が高くなるとCBRは小さくなり変化も極めて小さくなっている。

図6-9はJIS A 1210の突固め試験の1.1-a法に準じて、突固め回数を変えて締固め、この貫入抵抗 q_c を測定したものである。図6-9の(b)の q_c は図6-8のCBRと同様な傾向を示している。また、図6-9(b)に乾燥密度 γ_d をパラメータとして含水比と q_c の関係を示しているが、一定の γ_d に対して含水比が大きくなると q_c が急激に小さくなることがわかる。

含水比が乾燥側にあり、その変動が小さい場合には強度特性は密度以上に締固め程度を鋭敏に表わすので、有効な管理方法である。しかし、含水比が湿潤側にあると締固め程度による強度特性の変化は極めて小さい。また含水比が変動する場合には、それによって強度は大きく変化し、締固め程度を判定することが困難になる。

我が国の土質は一般に湿潤でかつ、含水比の変化も大きいので、強度特性による盛土の締固め管理は特殊な場合を除き採用することは難しいと考えられる。

6.4 工法規定方式

盛土の締固めにあたって、使用する締固め機械の機種規格、締固め回数、敷均し厚さなどの工法そのものを規定する方式である。

工法規定は工事の監督並びに施工の管理が品質規定の場合より直接的でわかり易いという長所がある。また、締固め機械も性能のよいものも多くなり、土質に適合した締固め機械を選べば十分な締固め効果が得られる。また、土質条件が複雑で、構造物工事と錯綜した盛土現場で経験の浅い施工者に対して品質規定方式を適用した場合よりも、工法規定によって間違いなく所定の締固め機械が作業している実態を確認した方が結果的に質の良い盛土が得られる可能性がある。

工法規定方式の問題は施工実態の確認である。施工実態としては次の3項目を確認しなければならない。

(1) 締固め機械

締固め機種は監督時における目視あるいは写真記録によって確認する。タイヤローラの場合には総重量を規定し、荷重状態を確認する必要がある。ブルドーザは転圧のほか各種の作業が行なえるため転圧回数の確認が困難であるから工法規定方式では使用することは適当でない。

(2) 転圧回数

転圧回数を直接確認することは困難である。転圧回数は作業時間と転圧面積と締固め作業能力から判定しなければならない。

作業時間はタスクメータを使用して事後に確認することができるようになければならない。

転圧面積は作業日報による記録、1日の盛土量からの逆算などが考えられる。また、締固めは全体を均一に行なうことが重要であり、これは現場における監督により確認するとともに、オペレータに対する指導によって確保しなければならない。

締固め作業能力は算定式による算出も可能であるが、工事初期における試験施工あるいは実際の施工能力を調査して確認する必要がある。

(3) 敷均し厚さ

敷均し厚さは監督員による確認あるいは写真記録による確認も行なえるが確実でない。国鉄では法面に沿って敷均し層毎に幅の狭い網を敷込み、敷均し層の確認と網による法面付近の補強により重機による十分な転圧を可能にしていると聞いている。

工法規定方式を採用するとき、どのような締固め方法を採用すべきかは、我が国には土質が複雑多岐で、含水比の変化が著しいので一概に決めることはできない。やはり、施工に先立ち、試験転圧によってそれを確認する必要がある。

7. ま と め

道路盛土を中心として、盛土の締固めにおける各種締固め機械の締固め効果、盛土の密度測定法の精度及び盛土自体の密度、含水比のばらつき、各種締固め機械の締固め効果、さらに盛土の締固め管理方法について転圧試験を中心として述べた。これらの結果から結論として次のようにとりまとめることができる。

(1) 透過型の R I 密度水分測定器が製品化され、普及しつつある。R I 測定法では土質による校正曲線の変動が懸念されているが、その傾向はほとんど見られない。また、R I 法の精度は原理的に生じる放射能の壊変による統計的揺動によるばらつきのほかは自然放射能あるいは計器の安定性によるばらつきは極めてわずかであり、計数値 n の平方根 $\sqrt{n}$ を測定値の標準偏差として取扱ってよい。したがって、R I 測定法では標準体と盛土における計測回数を増加させることにより容易に精度を上げることができる。なお、実用的な測定を考えたとき、密度及び含水量測定値の標準偏差は湿潤密度で $0.01 \sim 0.03 \text{ g/cm}^3$ 、含水量では $0.001 \sim 0.004 \text{ g/cm}^3$ 程度である。

(2) 砂置換法、水置換法、コアーカット法の各測定法の測定値のばらつきについて調査した結果、各測定法のばらつきはほぼ同じで、湿潤密度の測定値の変動係数は 2 % 程度、含水比の変動係数は 4 % 程度であった。

(3) 盛土自体の密度、含水比のばらつきを転圧実験より求めた結果、測定範囲が大きくなると密度、含水比のばらつきも大きくなり、測定範囲 6 m ではほぼ一定値となり、湿潤密度の変動係数が 3 %、含水比の変動係数が 6 % となった。

(4) 各種締固め機械による転圧試験の結果、転圧回数の増加によって密度が上昇するとともに密度のばらつきは小さくなる。この傾向はタイヤローラや振動ローラの方が顕著で、ブルドーザの場合は密度が高くなってもばらつきは余り小さくならない。

(5) 自走式タイヤローラの土中の鉛直土圧は深さ方向に急速に低下することが明らかになった。このため、締固め効果も表層では比較的大きな締固め度が得られるが、中、下層の締固め度は小さい。中、下層における締固め効果を上げるには車両総重量を大きくすることが必要である。

(6) ブルドーザの走行時の土中の鉛直土圧のピーク値は公称接地圧よりはるかに大きくその 5 倍程度になっている。また、深さ方向の土圧低下の割合は比較的小さい。このため、ブルドーザの締固め効果は表層では締固め度が同クラスのタイヤローラと比較して小さいが深さ 30 cm 以上では、タイヤローラと同等以上の効果を表わす。

(7) 湿地ブルドーザの走行時の土中の鉛直土圧のピーク値は公称接地圧の 3 倍程度 (0.75 kg/cm^2) と小さい。そのため、締固め効果も極めて小さく、転圧回数が 2 ~ 3 回以上になってもほとんど密度の上昇がない。

(8) 振動ローラによる鉛直土圧はタイヤローラ同様深さ方向の減少は著しいが、土圧の大きさは総重量が 2 倍のタイヤローラと同程度である。振動ローラの締固め効果は表層ではかなり大きなものが期待される。

(9) 品質規定方式のうち、密度規定方式の場合、盛土の密度のばらつきが大きいことから、品質

を管理する場合にどのような基準値により管理するのが妥当であるか、検討されなければならない。密度測定方法については、盛土自体の密度のばらつきが大きいため、砂置換法等の測定法で十分であるが、測定個数については現状の各地建等の規定では少ないので、十分な品質管理は困難でないか。

(10) 密度規定方式のうち、締固め度規定については、突固め試験における γ_{dmax} が分類上の同一土質でも粒度組成により変動することに注意しなければならない。また、 γ_{dmax} の大きい土ほど、大きな締固め度が容易に得られ、 γ_{dmax} の小さい土ほど、大きな締固め度が得にくい傾向にある。よって、土質に拘らず一率の締固め度規定は問題がある。

(11) 密度規定方式のうち、空気間隙率及び飽和度規定は含水比の管理が有効に行なえれば、前項の問題点を補える方式であり、実用性の高いものである。また、締固め度規定方式が適用できない細粒土については品質規定方式としてはこの方式を採用せざるを得ない。

空気間隙率と飽和度を比較した場合、空気間隙率の方が広い土質に対して一率の規定値を適用できるので有利である。

(12) 強度規定方式は乾燥側で含水比の変動の少ない土の場合は採用できるが、一般的な使用は困難である。

(13) 工法規定方式は国鉄の例等を参考に敷均し厚さを管理する方法が確立されれば土質の変化の多い盛土工事においては有効な方法である。ただし、工法規定方式では締固めに専用締固め機械を使用することが必要であり、現状では自走式タイヤローラしか実用的なものがないという問題がある。

8. 今後の問題点

今回の報告は構内あるいは室内における転圧実験の結果を主体として述べたものである。したがって、盛土材料の土質的なばらつきが小さく、また、転圧方法も均一となるよう丁寧に行なっている。これをもって現場での盛土の密度、含水比のばらつきを考えることには問題がある。したがって、品質管理基準値あるいは合格判定値を規定するためには、実際の現場における多数の測定データが必要である。これらについては、地方建設局などの協力を得てさらに調査して行きたい。

締固め機械の締固め効果を判定する上で問題となるのは、密度測定と試験土の含水比である。

密度測定については、R I 測定法によりかなりの精度で密度及び含水量を測定することが可能になったので、これを利用することができれば、多数の測定点で精度よく測定できるので比較的問題は少ない。

試験土の含水比が異なると、転圧実験の結果を締固め度などで同列に評価することができなくなる。一方、多量の試験土の含水比をほぼ同程度に調整することは困難なことが多い。そのため、含水比の影響を消去した締固め効果の評価方法が望まれるわけであるが、現在のところ適当な方法が見出されていない。現状では含水比の調整が可能な土質の場合には、建設機械化研究所が行なっているように、含水比を4条件程度に変えた試験を行なって評価するのも1つの方法であろう。

盛土の締固め管理方法の得失について検討したが、今後は、現場の土質、含水比、施工規模、施工速度などの条件によって、どのような締固め管理方法を採用するのが妥当であるか、その管理方法は如何にあるべきかについて検討し、盛土の条件に応じた適切な方法を示すことが必要であると考える。

9. あ と が き

今回の報告は、盛土の密度、含水比のばらつき、各密度測定法の精度、各種締固め機械の締固め効果及び盛土の締固め管理について、当研究室における試験結果と既存の文献によって、問題点を抽出したに留まっている。当研究室ではこの報告をもとに、新たに視点を定めて、土の締固め機構の論理的な追求と現場の実態に即応した締固め管理方法の提案を目標として、さらに調査、研究を進める所存である。

なお、今回の報告に関しては、東北技術事務所、関東技術事務所、九州技術事務所から有益な試験データを提供していただいた。ここに、感謝の意を表します。

参 考 文 献

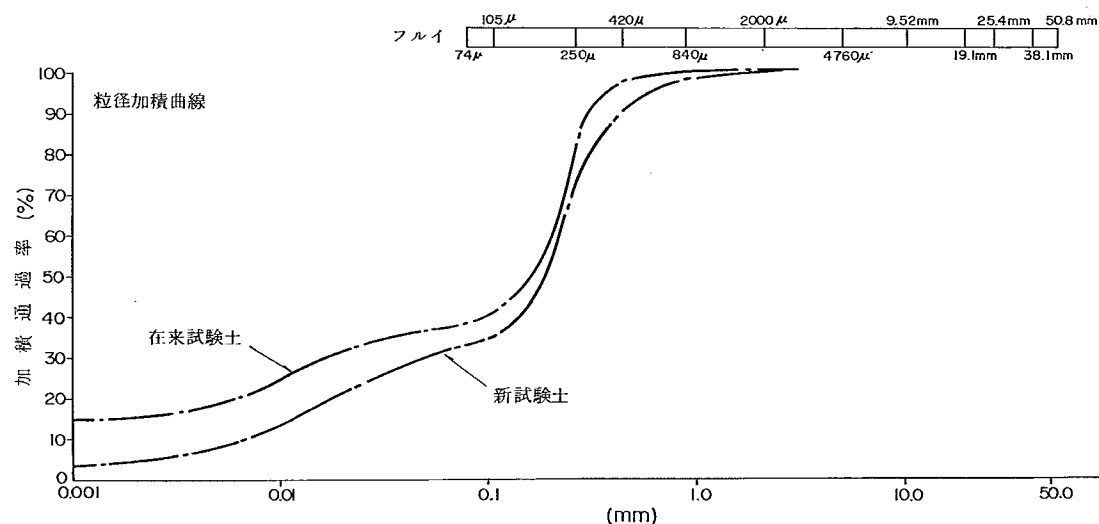
- (1) 土質工学会, 土質工学ハンドブック, 昭40. 11, 技報堂
- (2) 久野悟郎, 土の締固め, 昭38. , 技報堂
- (3) 土質工学会, 土工管理とラジオアイソトープ, 昭49. 10
- (4) 沢田健吉, 車輪の走行により土中に生ずる応力(続報), 昭40. 8, 土の基礎13-8
- (5) 土質工学会, 土質試験法, 昭44. 10
- (6) 土質工学会, 土質調査法, 昭47. 3
- (7) 熊谷恒一郎他, 礫混り土の盛土施工管理, 昭50. 6, 土木研究所資料第1040号
- (8) 渡部努, 土工における締固め管理規定の問題, 昭42. 12, 土木技術資料9-12
- (9) 建設機械と土質編集委員会編, 建設機械と土質, 昭51. 9 日本工業出版株式会社
- (10) 日本道路協会, 道路土工—施工指針, 昭52. 1, 丸善株式会社
- (11) 日本建設機械化協会建設機械化研究所, 創立10周年記念論文集, 昭和49. 10
- (12) 山口柏樹, 土質力学, 昭44. 9, 技報堂

付録 1 盛土材の土質試験結果

- (1) 粒度試験
- (2) 締固め試験
- (3) コーン貫入試験一覧表
- (3) 空気間隙率およびコーン指数と含水比

(1) 粒 度 試 験

試 科 番 号			在 来 試 験 土	新 試 験 土
深 さ m			～	～
粒 度 特 性	レキ分(2000 μ 以上)	%	0.0	1.0
	砂分(74～2000 μ)	%	61.0	67.0
	シルト分(5～74 μ)	%	19.5	25.0
	粘度分(5 μ 以下)	%	19.5	7.0
	最 大 粒 径	mm	3.00	4.76
	均 等 係 数 U_c			29.8
	曲 率 係 数 U'_c			1.9
	60 % 粒 径	mm	0.19	0.23
	30 % 粒 径	mm	0.014	0.058
	10 % 粒 径	mm		0.0078
コンシステンシー 特 性	液 性 限 界 w_L	%		34.0
	塑 性 限 界 w_p	%		
	塑 性 指 数 I_p			
分 類	粒土による分類		砂質ローム	砂質ローム
土 粒 子 の 比 重 G_s			2.680	2.716
自 然 状 態	含 水 比 w	%	14.6	20.1
	湿润単位体積重量 γ_t	g/cm^3		
	間 ゲ キ 比 e			
	飽 和 度 S_r	%		

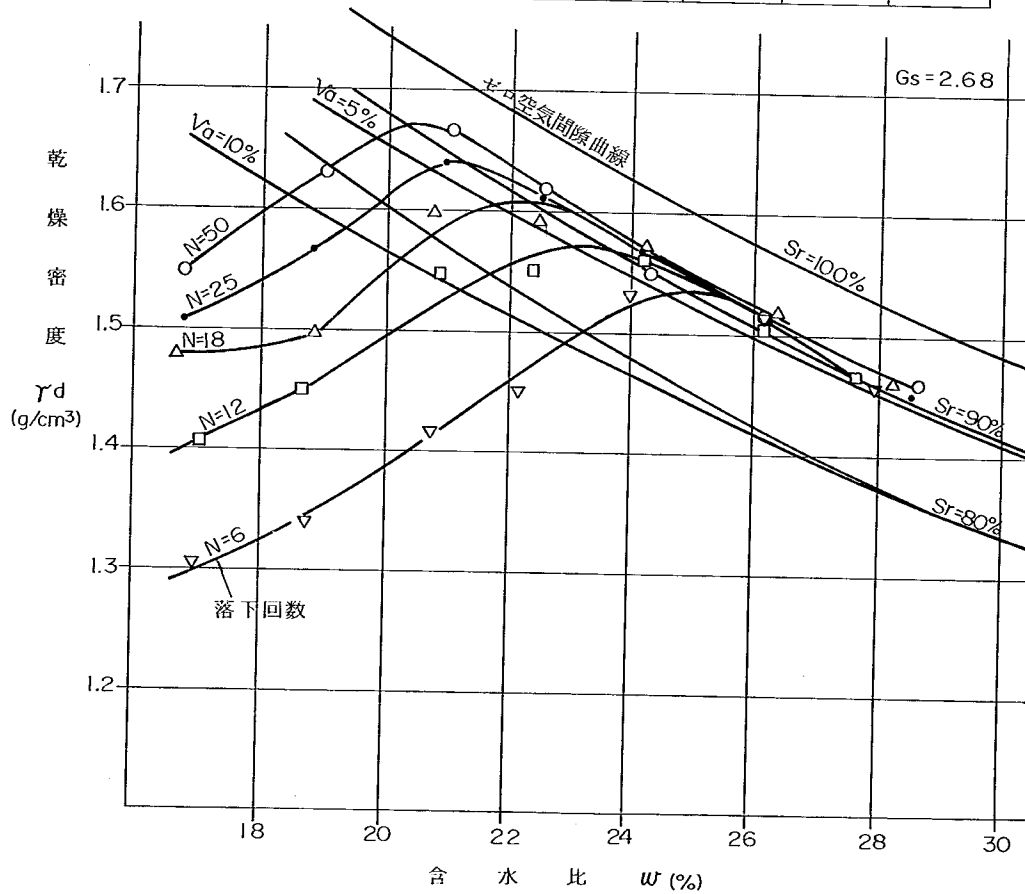


コロイド	粘 土	シルト	砂	レキ
0.001	0.005	0.074	2.0	

(2) 締固め試験 (在来試験土)

試験方法 1-1-b

N		1	2	3	4	5	6	7
50	γ_d	1.546	1.629	1.666	1.617	1.549	1.515	1.458
	w	16.8	19.1	21.1	22.6	24.3	26.2	28.7
	va	16.35	8.11	2.690	3.13	4.57	3.780	3.76
	γ_d	1.508	1.565	1.639	1.611	1.568	1.520	1.449
25	w	16.8	18.9	21.0	22.5	24.2	26.3	28.6
	va	18.4	12.03	4.43	3.65	3.55	3.31	4.50
	γ_d	1.480	1.495	1.598	1.594	1.573	1.520	1.462
	w	16.7	18.9	20.8	22.5	24.3	26.4	28.3
18	va	20.07	15.97	7.140	4.66	3.09	3.16	4.08
	γ_d	1.406	1.449	1.548	1.551	1.562	1.506	1.466
	w	17.1	18.7	20.9	22.4	24.2	26.2	27.7
	va	23.5	18.84	9.890	7.390	3.92	4.35	4.70
12	γ_d	1.304	1.338	1.415	1.448	1.529	1.513	1.455
	w	17.0	18.8	20.8	22.2	24.0	26.2	28.0
	va	29.18	24.92	17.77	13.83	6.26	3.91	4.970

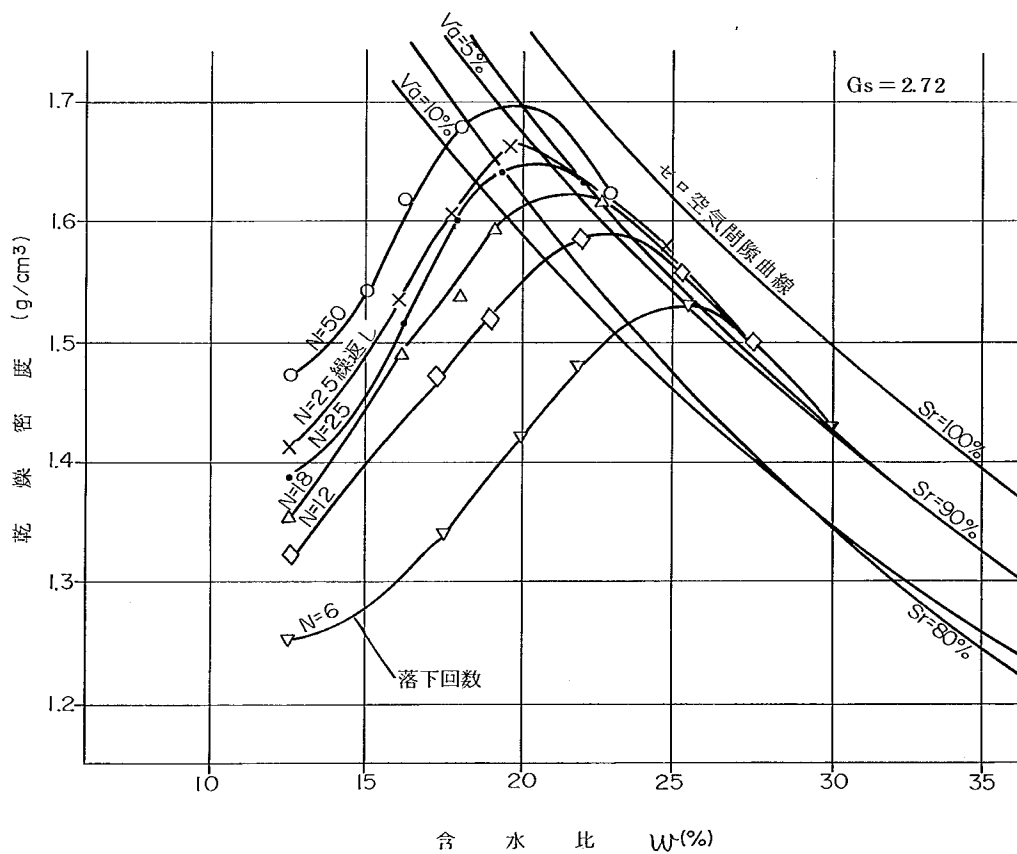


締め固め試験（新試験土）

試験方法 1-1-b

N		1	2	3	4	5	6
50	γ_d	1.471	1.540	1.618	1.680	1.699	1.623
	w	12.6	15.1	16.2	18.1	19.8	22.9
	va	27.39	20.13	14.30	7.83	3.90	3.16
25	γ_d	1.389	1.515	1.595	1.642	1.632	1.551
	w	12.6	16.3	18.1	19.3	22.3	25.3
	va	31.43	19.61	12.49	7.94	3.61	3.74
18	γ_d	1.359	1.492	1.540	1.594	1.619	1.543
	w	12.6	16.2	18.0	19.2	22.7	25.6
	va	32.92	20.98	15.66	10.80	3.73	3.77
12	γ_d	1.323	1.478	1.520	1.587	1.560	1.502
	w	12.6	17.3	19.0	21.9	25.1	27.4
	va	34.69	20.09	15.24	6.89	3.49	3.63
6	γ_d	1.249	1.340	1.422	1.480	1.531	1.430
	w	12.6	17.6	20.0	21.9	25.5	30.1
	va	38.34	27.16	19.28	13.18	4.67	4.39
25	γ_d	1.415	1.535	1.608	1.665	1.625	1.580
	w	12.6	16.1	17.8	19.6	22.7	24.7
	va	29.34	18.86	12.27	6.17	3.38	2.91

1-1-a



(3) コーン貫入試験一覧表 (在来試験土)

	cm \ w(%)	14.6	15.5	17.0	18.3	20.1	21.5	22.6	24.3
繰り返し (N=25)	0	54.5	51.9	58.4	51.9	29.9	16.2	9.0	4.1
	2.5	100.6	97.4	89.6	71.4	42.9	21.4	9.0	5.2
	5.0	102.6	111.0	91.6	74.7	43.5	23.4	9.3	5.0
	7.5	103.2	123.4	92.2	70.1	42.9	22.7	9.6	4.1

	cm \ w(%)	16.8	19.1	21.1	22.6	24.3	26.2	28.7	
非繰り返し (N=50)	0	16.0	29.6	12.5	5.7	5.8	3.2	1.5	
	2.5	48.2	43.3	20.5	10.3	9.1	4.5	1.6	
	5.0	56.1	49.0	21.7	11.4	9.7	5.2	1.8	
	7.5	69.5	54.7	19.4	11.4	9.7	5.2	2.0	

	cm \ w(%)	16.8	18.9	21.0	22.5	24.2	26.3	28.6	
非繰り返し (N=25)	0	25.1	22.8	13.7	6.3	6.5	5.2	1.5	
	2.5	44.5	36.5	19.4	9.1	6.5	5.2	1.9	
	5.0	53.6	42.2	20.5	11.4	11.0	5.2	1.9	
	7.5	59.3	44.5	21.7	12.5	12.3	5.8	2.0	

	cm \ w(%)	16.7	18.9	20.8	22.5	24.3	26.4	28.3	
非繰り返し (N=18)	0	22.8	17.1	13.7	7.4	7.1	4.9	1.5	
	2.5	40.5	18.2	17.1	9.7	10.4	6.0	1.8	
	5.0	44.5	30.8	21.7	13.7	11.0	6.5	1.6	
	7.5	44.5	36.5	22.8	14.8	11.7	7.3	1.7	

	cm \ w(%)	17.1	18.7	20.9	22.4	24.2	24.2	27.7	
繰り返し (N=12)	0	17.1	14.8	13.7	9.7	8.6	4.2	1.4	
	2.5	29.6	20.5	17.3	12.7	7.2	6.6	1.5	
	5.0	33.1	28.5	19.1	13.9	14.0	7.0	1.6	
	7.5	34.2	33.1	20.9	15.0	14.9	7.3	1.6	

	cm \ w(%)	17.0	18.8	20.8	22.2	24.0	26.2	28.0	
繰り返し (N=6)	0	3.2	3.9	4.5	3.1	10.4	4.5	1.5	
	2.5	9.1	7.8	7.0	5.2	14.3	7.5	1.5	
	5.0	9.7	7.8	7.5	6.2	15.6	8.1	1.8	
	7.5	10.4	8.4	7.9	6.0	16.9	8.7	1.8	

コーン貫入試験一覧表 (新試験土)

	cm \ w(%)	12.6	15.1	16.2	18.1	19.8	22.9
N=50	0	31.7	46.8	53.1	42.2	33.5	7.1
	2.5	75.4	101.4	85.8	62.5	41.9	10.5
	5.0	119.6	126.1	122.7	84.7	47.9	11.4
	7.5	131.1	140.7	139.1	97.6	52.3	12.2

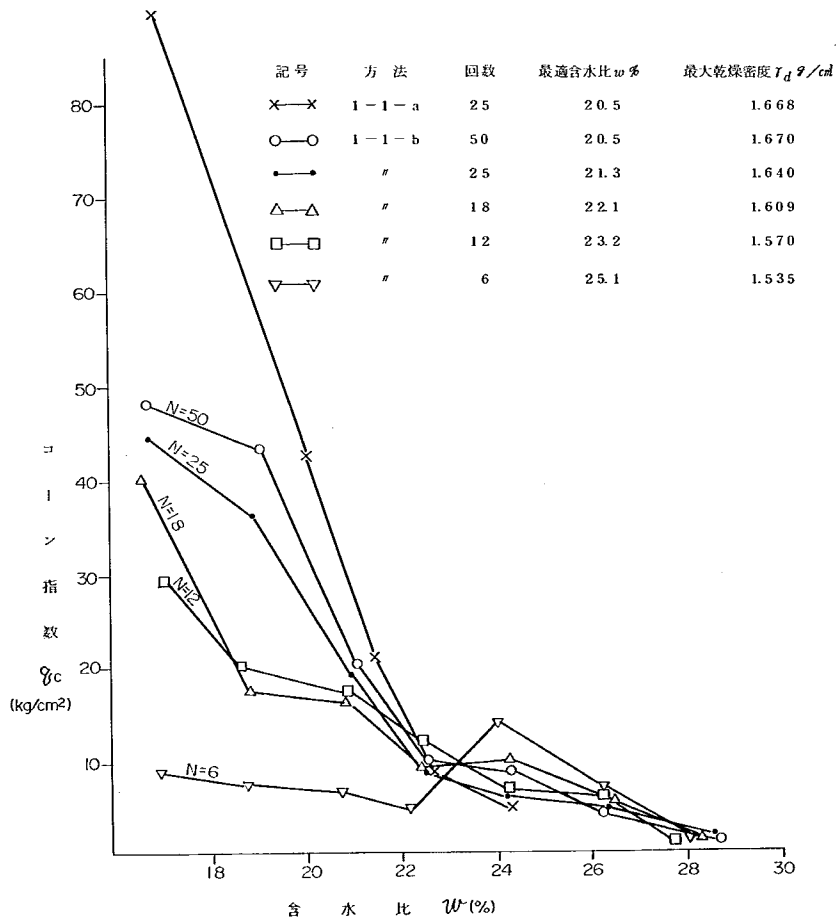
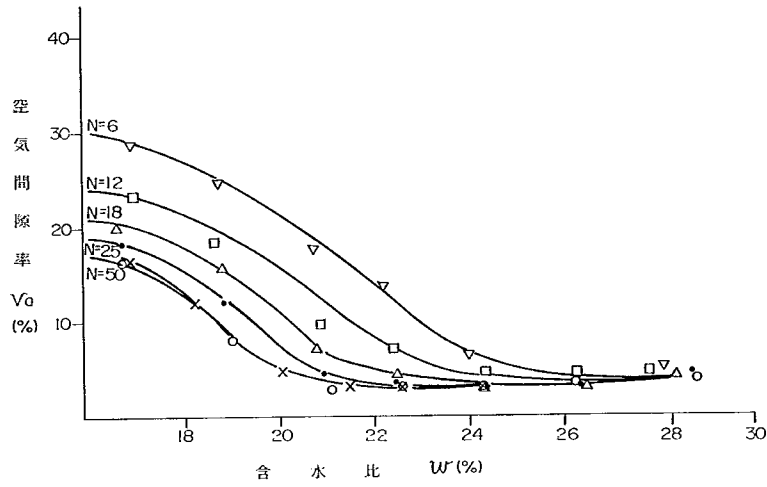
	cm \ w(%)	12.6	16.3	18.1	19.3	22.3	25.3
N=25	0	19.5	36.4	34.0	32.0	8.3	2.8
	2.5	57.2	63.7	52.4	46.8	13.7	3.8
	5.0	89.7	83.2	70.1	60.3	15.6	4.5
	7.5	94.9	88.4	77.2	68.9	17.2	4.5

	cm \ w(%)	12.6	16.2	18.0	19.2	22.7	25.6
N=18	0	18.5	39.0	33.6	30.9	15.1	2.8
	2.5	54.6	62.4	48.6	44.2	17.9	3.8
	5.0	66.6	78.0	55.6	50.7	18.7	4.0
	7.5	77.5	91.3	56.3	54.4	18.7	4.2

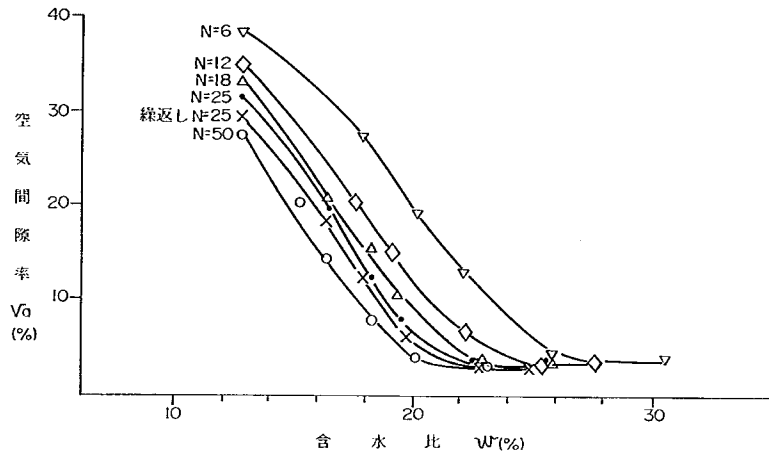
	cm \ w(%)	12.6	17.3	19.0	21.9	25.1	27.4
N=12	0	13.0	28.3	24.1	17.7	2.9	1.3
	2.5	36.9	46.6	31.5	20.8	4.2	1.6
	5.0	53.3	61.9	40.2	29.1	4.2	1.6
	7.5	63.5	70.0	49.7	29.9	3.8	1.5

	cm \ w(%)	12.6	17.6	20.0	21.9	25.5	30.1
N=6	0	9.1	11.7	12.6	9.1	1.9	0.7
	2.5	24.7	22.1	20.1	14.4	2.9	0.8
	5.0	28.3	26.5	24.0	20.0	4.6	0.9
	7.5	29.6	29.9	26.0	21.6	5.0	0.8

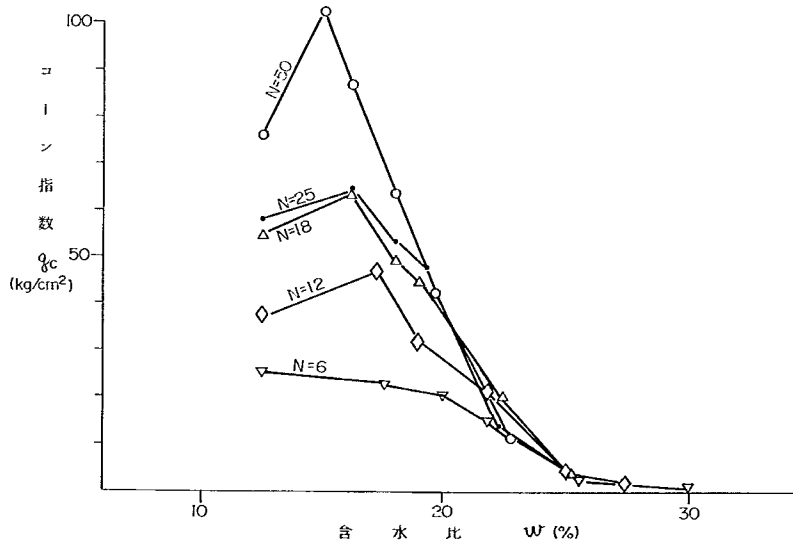
(4) 空気間隙率およびコーン指数と含水比（在来試験土）



空気間隙率およびコーン指数と含水比（新試験土）



記号	方法	回数	最適含水比 $w\%$	最大乾燥密度 $\gamma_d \text{ g/cm}^3$
○—○	1—1—b	50	19.8	1.699
●—●	"	25	20.4	1.650
△—△	"	18	21.6	1.625
◇—◇	"	12	22.6	1.592
▽—▽	"	6	25.0	1.532



付録 2 盛土の密度のばらつきの 試験調査結果

- (1) くり返し測定点(13)のRI測定値
- (2) RI測定値
- (3) RI法と各測定法

(1) くり返し測定点(13)におけるRI測定値

(No.1)

機 種	試 料 名	測定 項目	測定回数	湿潤密度 γ_t (g/cm ³)	水分量 M (g/cm ³)	含水比 w (%)	乾燥密度 γ_d (g/cm ³)
タ イ ヤ ロ ー ラ	吸 均 し	1	1.870	0.355	23.4	1.515	
		2	1.890	0.357	23.3	1.533	
		3	1.868	0.359	23.8	1.509	
		4	1.877	0.357	23.5	1.520	
		5	1.851	0.357	23.9	1.494	
		6	1.861	0.362	24.1	1.504	
		7	1.842	0.362	24.5	1.480	
		8	1.906	0.356	22.9	1.550	
		9	1.879	0.361	23.8	1.518	
		10	1.906	0.361	23.4	1.545	
		11	1.866	0.359	23.9	1.507	
		12	1.817	0.357	24.4	1.460	
		13	1.868	0.359	23.8	1.509	
		14	1.910	0.351	22.6	1.559	
		15	1.870	0.356	23.5	1.514	
		16	1.879	0.357	23.4	1.522	
		17	1.892	0.359	23.4	1.533	
		18	1.859	0.356	23.7	1.503	
		19	1.862	0.359	23.9	1.503	
		20	1.908	0.364	23.6	1.544	
		21	1.870	0.355	23.4	1.515	
		22	1.879	0.356	23.3	1.523	
		23	1.906	0.357	23.0	1.549	
		24	1.881	0.357	23.5	1.524	
		25	1.870	0.361	24.0	1.509	
		26	1.862	0.357	23.8	1.505	
		27	1.870	0.359	23.8	1.511	
		28	1.892	0.356	23.1	1.536	
		29	1.901	0.357	23.2	1.544	
		30	1.899	0.356	23.0	1.543	
$\bar{x}$ 平均値			1.877	0.358	23.6	1.519	
s $\sqrt{\text{不偏分散}}$			0.021	0.003	0.426	0.022	
$\frac{s}{\bar{x}} \times 100$ 変動係数			1.1	0.8	1.8	1.5	

(No.2)

機 種	転 圧 回 数	測定 項目	測定回数	湿潤密度 γ_t (g/cm ³)	水分量 M (g/cm ³)	含水比 w (%)	乾燥密度 γ_d (g/cm ³)
タ イ ヤ ロ ー ラ	4 回 転 圧		1	1.853	0.355	23.7	1.498
			2	1.870	0.354	23.4	1.516
			3	1.857	0.352	23.4	1.505
			4	1.877	0.352	23.1	1.525
			5	1.806	0.354	24.4	1.452
			6	1.787	0.349	24.3	1.438
			7	1.846	0.354	23.7	1.492
			8	1.825	0.358	24.4	1.467
			9	1.894	0.359	23.4	1.535
			10	1.892	0.358	23.3	1.534
			11	1.875	0.347	22.7	1.528
			12	1.886	0.359	23.5	1.527
			13	1.838	0.356	24.0	1.482
			14	1.844	0.353	23.7	1.491
			15	1.855	0.353	23.5	1.502
			16	1.894	0.356	23.1	1.538
			17	1.890	0.349	22.7	1.541
			18	1.862	0.356	23.7	1.506
			19	1.834	0.361	24.5	1.473
			20	1.875	0.359	23.8	1.516
			21	1.846	0.353	23.7	1.493
			22	1.862	0.349	23.0	1.513
			23	1.855	0.353	23.5	1.502
			24	1.838	0.355	23.9	1.483
			25	1.875	0.353	23.2	1.522
			26	1.886	0.356	23.3	1.530
			27	1.890	0.354	23.1	1.536
			28	1.894	0.356	23.1	1.538
			29	1.834	0.355	24.0	1.479
			30	1.844	0.358	24.1	1.486
$\bar{x}$ 平均値				1.859	0.355	23.6	1.505
s $\sqrt{\text{不偏分散}}$				0.027	0.003	0.490	0.027
$\frac{s}{\bar{x}} \times 100$ 変動係数				1.5	0.9	2.1	1.8

(№ 3)

機 種	測定 項目	測定 回数	測定回数	湿潤密度 γ_t (g/cm ³)	水分量 M (g/cm ³)	含水比 w (%)	乾燥密度 γ_d (g/cm ³)
タ イ ヤ ロ ー ラ	8 回 転 圧	1	1	1.983	0.355	21.8	1.628
		2	2	1.967	0.363	22.6	1.604
		3	3	2.004	0.362	22.0	1.642
		4	4	2.013	0.357	21.6	1.656
		5	5	1.967	0.359	22.4	1.608
		6	6	1.973	0.358	22.2	1.615
		7	7	1.973	0.357	22.1	1.616
		8	8	2.013	0.362	21.9	1.651
		9	9	1.994	0.359	21.9	1.635
		10	10	1.987	0.359	22.1	1.628
		11	11	1.957	0.355	22.1	1.602
		12	12	1.951	0.358	22.5	1.593
		13	13	2.011	0.363	22.0	1.648
		14	14	1.964	0.356	22.1	1.608
		15	15	1.964	0.356	22.1	1.608
		16	16	1.939	0.352	22.1	1.587
		17	17	1.983	0.363	22.4	1.620
		18	18	1.939	0.360	22.8	1.579
		19	19	1.992	0.357	21.9	1.635
		20	20	1.899	0.357	23.1	1.542
		21	21	1.935	0.359	22.8	1.576
		22	22	1.969	0.355	22.0	1.614
		23	23	1.951	0.357	22.4	1.594
		24	24	1.928	0.356	22.6	1.572
		25	25	1.939	0.364	23.1	1.575
		26	26	1.951	0.362	22.8	1.589
		27	27	1.941	0.358	22.6	1.583
		28	28	2.013	0.361	21.8	1.652
		29	29	1.967	0.351	22.3	1.608
		30	30	1.930	0.359	22.8	1.571
$\bar{x}$	平均値			1.967	0.359	22.3	1.608
s	√不偏分散			0.029	0.003	0.401	0.028
$\frac{s}{\bar{x}} \times 100$	変動係数			1.5	0.8	1.8	1.7

(№ 4)

機 種	測定 項目	測定 回数	測定回数	湿潤密度 (g/cm ³)	水分量 (g/cm ³)	含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm ³)
ブ ル ド ー ザ	敷 均 し	1	1	1.690	0.411	32.1	1.279
		2	2	1.645	0.417	33.9	1.228
		3	3	1.645	0.422	34.5	1.223
		4	4	1.684	0.417	32.9	1.267
		5	5	1.672	0.416	33.1	1.256
		6	6	1.692	0.414	32.4	1.278
		7	7	1.680	0.417	33.0	1.263
		8	8	1.647	0.417	33.9	1.230
		9	9	1.634	0.421	34.8	1.213
		10	10	1.688	0.415	32.6	1.273
		11	11	1.670	0.417	33.3	1.253
		12	12	1.700	0.415	32.3	1.285
		13	13	1.672	0.413	32.8	1.259
		14	14	1.666	0.416	33.3	1.250
		15	15	1.643	0.414	33.7	1.229
		16	16	1.688	0.421	33.3	1.267
		17	17	1.708	0.413	31.9	1.295
		18	18	1.664	0.415	33.2	1.249
		19	19	1.682	0.417	32.9	1.265
		20	20	1.706	0.413	32.0	1.293
		21	21	1.710	0.420	32.5	1.290
		22	22	1.690	0.413	32.4	1.277
		23	23	1.706	0.416	32.2	1.290
		24	24	1.690	0.421	33.2	1.269
		25	25	1.664	0.411	32.7	1.253
		26	26	1.666	0.416	33.3	1.250
		27	27	1.684	0.413	32.5	1.271
		28	28	1.647	0.417	33.9	1.230
		29	29	1.657	0.417	33.6	1.240
		30	30	1.678	0.420	33.3	1.258
$\bar{x}$	平均値			1.675	0.416	33.1	1.259
s	√不偏分散			0.021	0.003	0.715	0.022
$\frac{s}{\bar{x}} \times 100$	変動係数			1.3	0.7	2.2	1.7

(№ 5)

機 種	転 圧 回 数	測定 項目	測定回数	湿潤密度 γ_t (g/cm ³)	水分量 M (g/cm ³)	含水比 w (%)	乾燥密度 γ_d (g/cm ³)
ブル ド 圧 機	4 回 転	ザ	1	1.744	0.433	33.0	1.311
			2	1.674	0.436	35.2	1.238
			3	1.724	0.433	33.6	1.291
			4	1.643	0.429	35.3	1.212
			5	1.682	0.434	34.8	1.248
			6	1.690	0.440	35.2	1.250
			7	1.724	0.437	34.0	1.287
			8	1.674	0.434	35.0	1.240
			9	1.676	0.434	35.0	1.242
			10	1.724	0.436	33.9	1.288
			11	1.690	0.435	34.7	1.255
			12	1.666	0.427	34.5	1.239
			13	1.706	0.436	34.4	1.270
			14	1.666	0.433	35.1	1.233
			15	1.692	0.442	35.4	1.250
			16	1.680	0.433	34.7	1.247
			17	1.722	0.432	33.5	1.290
			18	1.716	0.441	34.6	1.275
			19	1.702	0.430	33.8	1.272
			20	1.700	0.436	34.5	1.264
			21	1.702	0.425	33.3	1.277
			22	1.718	0.430	33.4	1.288
			23	1.736	0.441	34.1	1.295
			24	1.724	0.439	34.2	1.285
			25	1.706	0.435	34.2	1.271
			26	1.698	0.434	34.4	1.264
			27	1.734	0.437	33.8	1.297
			28	1.708	0.439	34.7	1.269
			29	1.670	0.442	35.9	1.234
			30	1.708	0.437	34.4	1.271
$\bar{x}$	平均値		1.700	0.421	34.4	1.265	
s	√不偏分散		0.024	0.025	0.69	0.024	
$\frac{s}{\bar{x}} \times 100$	変動係数		1.4	6.0	2.0	1.9	

(№ 6)

機 種	転 圧 回 数	測定 項目	測定回数	湿 潤 密 度 γ_t (g/cm ³)	水 分 量 M (g/cm ³)	含 水 比 w (%)	乾 燥 密 度 γ_d (g/cm ³)
ブ ル ド 圧 機 ザ	8 回 転		1	1.787	0.432	31.9	1.355
		2	1.752	0.419	31.4	1.333	
		3	1.768	0.432	32.3	1.336	
		4	1.768	0.424	31.6	1.344	
		5	1.781	0.421	31.0	1.360	
		6	1.770	0.419	31.0	1.351	
		7	1.746	0.426	32.3	1.320	
		8	1.758	0.426	32.0	1.332	
		9	1.779	0.421	31.0	1.358	
		10	1.762	0.422	31.5	1.340	
		11	1.738	0.426	32.5	1.312	
		12	1.781	0.416	30.5	1.365	
		13	1.758	0.419	31.3	1.339	
		14	1.750	0.421	31.7	1.329	
		15	1.724	0.420	32.2	1.304	
		16	1.760	0.425	31.9	1.335	
		17	1.750	0.424	32.0	1.326	
		18	1.752	0.416	31.1	1.336	
		19	1.744	0.429	32.6	1.315	
		20	1.734	0.421	32.1	1.313	
		21	1.728	0.422	32.4	1.306	
		22	1.795	0.425	31.0	1.370	
		23	1.773	0.425	31.6	1.348	
		24	1.754	0.421	31.6	1.333	
		25	1.758	0.434	32.8	1.324	
		26	1.742	0.420	31.7	1.322	
		27	1.746	0.427	32.4	1.319	
		28	1.754	0.416	31.1	1.338	
		29	1.750	0.427	32.3	1.323	
		30	1.754	0.422	31.7	1.332	
$\bar{x}$		平 均 値	1.866	0.358	23.6	1.334	
s		√不偏分散	0.021	0.003	0.426	0.017	
$\frac{s}{\bar{x}} \times 100$		変 動 係 数	1.1	0.8	1.8	1.3	

(2) RI測定値

タイヤローラ0回転圧時

機 種	転 圧 回 数	測定 項目	測定回数	湿潤密度 γ_t (g/cm ³)	含 水 量 M (g/cm ³)	含 水 比 w (%)	乾燥密度 γ_d (g/cm ³)
タ イ ヤ ロ ー ラ	0	回 転 圧	1	1.855	0.356	23.7	1.499
			2	1.840	0.339	22.6	1.501
			3	1.802	0.347	23.8	1.455
			4	1.857	0.343	22.7	1.514
			5	1.838	0.359	19.5	1.479
			6	1.919	0.360	23.1	1.559
			7	1.930	0.371	23.8	1.559
			8	1.937	0.359	22.8	1.578
			9	1.926	0.361	23.1	1.565
			10	1.901	0.366	23.8	1.535
			11	1.978	0.352	21.6	1.626
			12	1.944	0.357	22.5	1.585
			13	1.878	0.358	23.6	1.520
			14	1.937	0.357	22.6	1.580
			15	1.917	0.378	24.6	1.539
			16	1.919	0.356	22.8	1.563
			17	1.908	0.356	22.9	1.552
			18	1.897	0.357	23.2	1.540
			19	1.919	0.358	22.9	1.561
			20	1.935	0.368	23.5	1.567
			21	1.892	0.331	21.2	1.561
			22	1.908	0.367	23.8	1.541
			23	2.015	0.359	21.7	1.656
			24	1.908	0.360	22.2	1.620
			25	1.967	0.362	22.6	1.605

タイヤローラ4回転圧時

機 種	転 圧 回 数	測定 項目	測定回数	湿潤密度 γ_t (g/cm ³)	含 水 量 M (g/cm ³)	含 水 比 w (%)	乾燥密度 γ_d (g/cm ³)
タ イ ヤ ロ ー ラ	4	回 転 圧	1	1.953	0.351	21.9	1.602
			2	1.983	0.354	21.7	1.629
			3	1.932	0.368	23.5	1.564
			4	1.990	0.357	21.9	1.633
			5	1.890	0.361	23.6	1.529
			6	1.971	0.359	22.3	1.612
			7	1.976	0.361	22.4	1.615
			8	1.944	0.359	22.7	1.585
			9	1.940	0.360	22.8	1.581
			10	1.999	0.381	23.6	1.618
			11	1.946	0.357	22.5	1.589
			12	1.928	0.365	23.3	1.563
			13	1.860	0.355	23.5	1.505
			14	1.960	0.365	22.9	1.595
			15	1.962	0.371	23.3	1.591
			16	2.006	0.363	22.1	1.643
			17	1.980	0.361	22.3	1.619
			18	1.955	0.365	23.0	1.590
			19	1.948	0.361	22.7	1.587
			20	1.890	0.377	24.9	1.513
			21	1.967	0.344	21.2	1.623
			22	1.985	0.369	22.8	1.616
			23	1.987	0.354	21.7	1.633
			24	1.997	0.369	22.7	1.628
			25	1.964	0.361	22.5	1.603

タイヤローラ 8 回転圧時

機種	測定項目 回転回数	測定回数	湿潤密度 γ_t (g/cm ³)	含水量 M (g/cm ³)	含水比 w (%)	乾燥密度 γ_d (g/cm ³)
タイヤローラ	8 回転圧	1	1.949	0.348	21.8	1.598
		2	1.906	0.334	21.2	1.572
		3	1.944	0.335	20.8	1.609
		4	1.439	0.326	20.2	1.613
		5	1.985	0.356	21.9	1.629
		6	1.955	0.350	21.8	1.605
		7	1.941	0.363	23.0	1.578
		8	1.976	0.359	22.2	1.617
		9	1.953	0.348	21.7	1.605
		10	1.793	0.384	27.3	1.409
		11	1.973	0.359	22.2	1.614
		12	1.941	0.359	22.7	1.582
		13	1.966	0.358	22.3	1.608
		14	1.899	0.341	21.9	1.558
		15	1.883	0.377	25.0	1.506
		16	1.903	0.359	23.3	1.544
		17	1.946	0.362	22.8	1.584
		18	1.900	0.347	21.8	1.611
		19	1.959	0.365	22.9	1.594
		20	1.844	0.369	25.0	1.475
		21	1.939	0.345	21.6	1.594
		22	1.962	0.374	23.6	1.588
		23	1.908	0.350	22.5	1.558
		24	1.892	0.358	23.3	1.534
		25	1.844	0.361	24.3	1.483

ブルドーザ 0 回転圧時

機種	測定項目 回転回数	測定回数	湿潤密度 γ_t (g/cm ³)	含水量 M (g/cm ³)	含水比 w (%)	乾燥密度 γ_d (g/cm ³)
ブルドーザ	0 回転圧	1	1.802	0.394	28.0	1.408
		2	1.781	0.375	26.7	1.406
		3	1.798	0.366	25.6	1.432
		4	1.819	0.376	26.1	1.443
		5	1.921	0.378	24.5	1.543
		6	1.853	0.392	26.8	1.461
		7	1.783	0.391	28.1	1.392
		8	1.793	0.364	25.5	1.429
		9	1.901	0.378	24.8	1.523
		10	1.944	0.366	23.2	1.578
		11	1.917	0.376	24.4	1.541
		12	1.827	0.394	27.5	1.433
		13	1.675	0.416	33.0	1.259
		14	1.773	0.408	29.9	1.365
		15	1.946	0.375	23.9	1.571
		16	1.935	0.377	24.2	1.558
		17	1.773	0.399	29.0	1.374
		18	1.985	0.366	22.6	1.619
		19	1.967	0.375	23.6	1.592
		20	1.923	0.373	24.1	1.550
		21	1.894	0.361	23.5	1.533
		22	1.946	0.373	23.7	1.573
		23	1.615	0.350	27.7	1.265
		24	1.812	0.354	24.3	1.458
		25	1.892	0.373	24.6	1.519

ブルドーザ 4 回転圧時

機種	測定項目	測定回数	湿潤密度 γ_t (g/cm ³)	含水量 M (g/cm ³)	含水比 w (%)	乾燥密度 γ_d (g/cm ³)
ブルドーザ	4 回転圧時	1	1.870	0.399	27.1	1.471
		2	1.897	0.387	25.6	1.510
		3	1.888	0.381	25.3	1.507
		4	1.879	0.383	25.6	1.497
		5	1.912	0.366	23.7	1.546
		6	1.888	0.410	27.7	1.478
		7	1.848	0.396	27.3	1.452
		8	1.953	0.381	24.2	1.572
		9	1.925	0.373	24.0	1.552
		10	1.939	0.370	23.6	1.569
		11	1.935	0.378	24.3	1.557
		12	1.910	0.381	24.9	1.529
		13	1.701	0.435	34.4	1.266
		14	1.795	0.435	32.0	1.360
		15	2.006	0.387	23.9	1.619
		16	1.932	0.379	24.4	1.553
		17	1.955	0.381	24.2	1.574
		18	1.999	0.374	23.0	1.625
		19	1.951	0.371	23.5	1.580
		20	2.006	0.379	23.3	1.627
		21	1.883	0.370	24.5	1.513
		22	1.912	0.380	24.8	1.532
		23	1.802	0.398	28.3	1.404
		24	1.846	0.381	26.0	1.465
		25	1.948	0.375	23.8	1.573

ブルドーザ 8 回転圧時

機種	測定項目	測定回数	湿潤密度 γ_t (g/cm ³)	含水量 M (g/cm ³)	含水比 w (%)	乾燥密度 γ_d (g/cm ³)
ブルドーザ	8 回転圧時	1	1.873	0.409	27.9	1.464
		2	1.903	0.398	26.4	1.505
		3	1.919	0.380	24.7	1.539
		4	1.875	0.378	25.3	1.497
		5	1.917	0.371	24.0	1.546
		6	1.892	0.390	26.0	1.502
		7	1.894	0.382	25.3	1.512
		8	1.626	0.410	33.7	1.216
		9	1.810	0.374	26.0	1.436
		10	1.857	0.364	24.4	1.493
		11	1.903	0.366	22.4	1.537
		12	1.810	0.399	28.3	1.411
		13	1.760	0.422	31.5	1.338
		14	1.783	0.426	31.4	1.357
		15	1.864	0.356	23.6	1.508
		16	1.910	0.382	25.0	1.528
		17	1.874	0.378	25.3	1.496
		18	1.884	0.395	26.5	1.489
		19	1.890	0.368	24.2	1.522
		20	2.001	0.381	23.5	1.620
		21	1.937	0.378	24.2	1.559
		22	1.908	0.373	24.3	1.535
		23	1.712	0.433	33.9	1.279
		24	1.840	0.363	24.6	1.477
		25	1.886	0.359	23.5	1.527

(3) R I 法と各測定法

R I 法 と 砂 置 換 法

機種	転送回数	測定方法 測定位置	測定項目	R I 法				砂 置 換 法			修 正 砂 置 換 法		
				湿潤密度 γ_t (g/cm ³)	含水量 M (g/cm ³)	含水比 w (%)	乾燥密度 γ_d (g/cm ³)	湿潤密度 γ_t (g/cm ³)	含水比 w (%)	乾燥密度 γ_d (g/cm ³)	湿潤密度 γ_t (g/cm ³)	含水比 w (%)	乾燥密度 γ_d (g/cm ³)
ブルード ザ	4	7-A	7-A	1.840	0.399	27.7	1.414	1.823	24.1	1.469	1.831	23.7	1.480
			7-B	1.862	0.393	26.8	1.469	1.892	23.3	1.535	1.878	23.9	1.516
			7-C	1.851	0.390	26.7	1.461	1.927	24.2	1.551	1.920	22.5	1.568
			7-D	1.781	0.401	29.1	1.380	1.896	25.2	1.514	1.963	23.5	1.590
			7-E	1.868	0.399	27.2	1.469	1.858	22.9	1.512	1.838	23.1	1.493
			7-F	1.883	0.395	26.6	1.488	1.880	23.2	1.525	1.845	24.0	1.488
	8	17-A	17-A	1.875	0.375	25.0	1.500	1.863	23.9	1.509	1.862	24.2	1.499
			17-B	1.930	0.384	24.8	1.546	1.884	23.4	1.527	1.828	23.9	1.476
			17-C	1.908	0.379	24.8	1.529	1.947	22.3	1.592	1.913	22.8	1.558
			17-D	1.864	0.356	23.6	1.508	1.872	20.9	1.549	1.882	22.6	1.535
			17-E	1.851	0.384	26.2	1.467	1.901	20.3	1.580	1.924	19.4	1.611
			17-F	1.817	0.391	27.4	1.426	1.849	22.0	1.515	1.906	19.9	1.590
タイヤ ローラ	4	7-A	7-A	1.960	0.368	23.1	1.592	1.985	21.1	1.640	2.001	20.4	1.663
			7-B	1.985	0.359	22.1	1.626	1.967	22.0	1.613	1.958	22.3	1.601
			7-C	1.946	0.350	21.9	1.596	1.905	22.2	1.559	1.935	22.7	1.578
			7-D	1.960	0.363	22.7	1.597	1.998	20.9	1.652	2.014	20.6	1.671
			7-E	2.001	0.362	22.1	1.639	1.938	21.3	1.598	1.913	21.6	1.573
			7-F	2.001	0.366	22.4	1.635	1.985	20.6	1.646	1.960	20.6	1.625
	8	17-A	17-A	2.020	0.359	21.61	1.661	2.002	20.2	1.665	1.928	21.41	1.588
			17-B	1.937	0.361	22.91	1.576	1.961	20.3	1.630	1.970	20.21	1.639
			17-C	1.890	0.350	22.73	1.540	1.959	19.7	1.636	2.015	19.79	1.682
			17-D	1.948	0.361	22.75	1.587	1.986	21.0	1.646	1.984	21.07	1.639
			17-A	1.973	0.370	23.08	1.603	1.973	21.7	1.622	1.946	21.44	1.596
			17-F	1.906	0.368	23.93	1.538	1.924	21.0	1.590	1.964	19.89	1.638

R I 法 と 水 置 換 法

機 種	転 子 回 数	測定位置	測定方法 測定項目	R I 法				水 置 換 法			修 正 水 置 換 法		
				湿潤密度 γ_t (g/cm ³)	含 水 量 M (g/cm ³)	含 水 比 w (%)	乾 燥 密 度 γ_d (g/cm ³)	湿潤密度 γ_t (g/cm ³)	含 水 比 w (%)	乾 燥 密 度 γ_d (g/cm ³)	湿潤密度 γ_t (g/cm ³)	含 水 比 w (%)	乾 燥 密 度 γ_d (g/cm ³)
ブ ル ド ー ザ	4		8-A	1.917	0.375	24.3	1.542	1.957	26.2	1.551	1.993	26.1	1.580
			8-B	1.951	0.390	25.0	1.561	1.954	24.7	1.567	1.956	24.0	1.578
			8-C	1.967	0.395	25.1	1.572	1.861	25.4	1.484	1.847	24.5	1.484
			8-D	1.973	0.381	23.9	1.592	1.954	25.1	1.562	1.934	25.4	1.542
			8-E	1.944	0.381	24.4	1.563	1.963	24.8	1.573	1.972	24.7	1.582
			8-F	1.967	0.364	22.7	1.603	2.004	23.2	1.627	1.990	24.7	1.596
	8		18-A	1.855	0.402	27.7	1.453	1.892	29.2	1.464	1.921	28.2	1.499
			18-B	1.849	0.421	29.5	1.428	1.863	32.7	1.404	1.898	29.8	1.462
			18-C	1.855	0.405	27.9	1.450	1.911	30.4	1.465	1.940	29.1	1.503
			18-D	1.883	0.396	26.6	1.487	1.935	28.6	1.505	1.936	28.6	1.506
			18-E	1.944	0.378	24.1	1.566	1.973	26.2	1.563	1.913	28.6	1.487
			18-F	1.917	0.367	23.7	1.550	2.018	22.2	1.651	1.985	25.1	1.587
タ イ ヤ ロ ー ラ	4		8-A	1.951	0.368	23.3	1.583	2.035	22.3	1.664	2.028	21.73	1.666
			8-B	1.901	0.358	23.2	1.543	2.024	20.6	1.678	2.067	20.08	1.721
			8-C	1.948	0.351	22.0	1.597	2.037	20.6	1.689	2.033	21.30	1.676
			8-D	1.969	0.365	22.8	1.604	2.038	21.8	1.673	2.013	21.72	1.654
			8-E	1.983	0.359	22.1	1.624	2.052	21.2	1.693	2.013	21.77	1.653
			8-F	1.910	0.354	22.8	1.556	2.038	22.3	1.666	2.072	22.23	1.695
	8		18-A	1.795	0.354	24.57	1.441	1.408	20.9	1.694	2.188	19.76	1.760
			18-B	1.971	0.366	22.80	1.605	2.021	22.0	1.657	1.905	22.63	1.553
			18-C	1.692	0.334	24.59	1.358	1.944	21.2	1.604	2.107	20.04	1.755
			18-D	1.886	0.352	22.95	1.534	2.018	20.8	1.671	1.987	21.28	1.638
			18-E	1.842	0.355	23.87	1.487	1.937	22.0	1.588	1.950	21.56	1.604
			18-F	1.941	0.347	21.77	1.594	2.037	20.3	1.689	1.951	21.96	1.600

R I 法 と コ ア ー カ ッ タ 法

機種	測定回数	測定位置	測定方法 測定項目	R I 法				コ ア ー カ ッ タ 法			修 正 コ ア ー カ ッ タ 法		
				湿潤密度 (g/cm^3)	含 水 量 (g/cm^3)	含 水 比 (%)	乾燥密度 (g/cm^3)	湿潤密度 (g/cm^3)	含 水 比 (%)	乾燥密度 (g/cm^3)	湿潤密度 (g/cm^3)	含 水 比 (%)	乾燥密度 (g/cm^3)
ブル ド ザ	4		9-A	1.901	0.367	23.9	1.534	1.984	22.0	1.626	2.008	22.0	1.646
			9-B	1.912	0.366	23.7	1.546	1.957	22.9	1.592	1.970	23.1	1.600
			9-C	1.912	0.374	24.3	1.538	1.957	23.9	1.579	1.970	23.5	1.596
			9-D	1.957	0.381	24.2	1.576	1.900	26.2	1.506	1.868	25.9	1.484
			9-E	1.906	0.376	24.6	1.530	1.931	25.0	1.545	1.950	24.3	1.569
			9-F	1.962	0.375	23.6	1.587	1.940	24.5	1.558	1.903	24.8	1.525
	8		19-A	1.919	0.382	24.9	1.537	1.970	22.2	1.612	1.941	21.5	1.591
			19-B	1.857	0.360	24.1	1.497	1.992	23.1	1.618	2.025	23.2	1.642
			19-C	1.890	0.363	23.8	1.527	1.976	23.0	1.607	1.976	23.4	1.601
			19-D	1.827	0.365	25.0	1.462	1.991	22.1	1.631	2.054	21.3	1.693
			19-E	1.908	0.363	23.5	1.545	1.981	22.6	1.616	1.963	23.3	1.592
			19-F	1.937	0.374	23.9	1.563	1.992	23.2	1.617	1.945	23.5	1.576
タ イ ヤ コ ロ ラ	4		9-A	1.941	0.359	22.69	1.582	2.006	21.9	1.646	2.005	21.96	1.644
			9-B	1.944	0.357	22.50	1.587	2.024	20.8	1.675	2.020	21.05	1.669
			9-C	1.894	0.363	23.71	1.531	1.983	22.5	1.619	2.029	21.54	1.669
			9-D	1.983	0.354	21.73	1.629	2.023	22.5	1.679	1.980	21.52	1.629
			9-E	1.957	0.362	22.70	1.595	2.012	21.6	1.655	1.995	21.65	1.640
			9-F	1.921	0.362	23.22	1.559	1.976	21.2	1.630	1.995	20.73	1.652
	8		19-A	1.932	0.360	22.90	1.572	1.986	21.3	1.637	2.013	21.28	1.660
			19-B	1.935	0.373	23.88	1.562	1.912	26.2	1.515	1.936	25.20	1.546
			19-C	1.964	0.378	23.83	1.586	1.975	23.8	1.595	1.970	22.85	1.604
			19-D	1.994	0.356	21.73	1.638	2.031	20.5	1.685	1.996	21.65	1.641
			19-E	1.976	0.362	22.43	1.614	2.022	20.9	1.672	2.005	21.35	1.652
			19-F	1.951	0.359	22.55	1.592	1.990	21.4	1.639	1.998	21.73	1.641

付録 3 各種機械の締固め効果の実験結果

- (1) 各種ケースの試験条件の一覧表
- (2) 表面密度
- (3) 内部密度
- (4) 土圧

(i) 各種ケースの試験条件一覧表

試験 ケースNo	転圧機械	重量(空気圧) (t)(kg/cm ²)	土質	測定項目	測定締固め回数	まき厚 (cm)	備考	年度
1	タイヤローラ	8.5(4.0)	砂質ローム	単位体積重量 (RIコア-カ) 含水比(RI法炉 乾燥)	0, 1, 3, 6	50	土研	49
2	"	8.5(5.6)	"	"	10, 16	"	"	49
3	"	12.5(5.0)	"	表面沈下量	"	"	"	49
4	"	12.5(2.8)	"	土圧(鉛直水平 の2方向)	"	"	"	49
5	"	14.5(2.2)	"	締固め速度	"	"	"	49
6	"	14.5(3.8)	"	圧縮試験	"	"	"	49
7	湿地ブルドーザ	13.	砂質ローム	内部沈下量	0, 2, 6, 12, 22	50	土研	50
8	(普通)ブルドーザ	11.4	"	(沈下版, 沈下試)	0, 2, 4, 8, 16	"	"	50
9	湿地ブルドーザ	13	ローム	速度測定	0, 2, 4, 8, 16	30, 60	東北技術	50
10	(普通)ブルドーザ	11	"	"	"	"	"	50
11	タイヤローラ	8.0(3.0)	ローム	"	"	"	"	50
12	"	8.0(5.0)	"	"	"	"	"	50
13	"	8.0(7.0)	"	"	"	"	"	50
14	"	15.0(3.0)	"	"	"	"	"	50
15	"	15.0(5.0)	"	"	"	"	"	50
16	"	15.0(7.0)	"	"	"	"	"	50
17	トラクターショベル	12.3	砂	"	0, 2, 4, 6, 8, 16	"	九州技術	50
18	タイヤローラ	8.0(5.0)	"	"	"	"	"	"
19	"	11.5(5.0)	"	"	"	"	"	"
20	タイヤローラ	15(5.0)	砂	"	"	"	"	"
21	振動コーラ	6.7	砂質ローム	"	0, 2, 4, 8, 16	40	土研	51
22	"	6.7	"	"	"	"	"	"
23	トラクターショベル	17.3	"	"	"	60	"	"
24	ブルドーザ	16	砂	"	0, 2, 4, 8, 16	30, 60	東北技術	"
25	"	23.8	"	"	"	"	"	"
26	タイヤローラ	13.6(5.0)	"	"	"	"	"	"
27	"	20.0(5.0)	"	"	"	"	"	"
28	湿地ブルドーザ	12.65	灰土	"	0, 2, 4, 6, 8, 16	30, 60	九州技術	"
29	"	"	灰土+シラス	"	"	30, 60	"	"

(2) 表面密度

上段：乾燥密度 (g/cm^3)
 下段：締固め度 (%)
 (RI 法による密度測定)

試験 ケース No	転圧機械	土質	年度	転圧回数						含水比 ω (ω_{opt}) %	$\gamma_{d\text{max}}$ (g/cm^3)	まき厚 (cm)
				0	1	3	6	10	16			
1	タイヤローラ 8.5t, 4.0kg/cm ²	砂質 ローム	49	1.242	1.331	1.314	1.436	1.492		24.4 (20.5)	1.668	50
				74.5	79.8	78.8	86.1	89.4				
2	タイヤローラ 8.5t, 5.6kg/cm ²	"	49	1.092	1.228	1.297	1.323	1.361	1.403	24.8 (20.5)	1.668	50
				65.5	73.6	77.9	79.3	81.6	84.1			
3	タイヤローラ 12.5t, 5.0kg/cm ²	"	49	0.961	1.171	1.234	1.375	1.400	1.411	24.8 (20.5)	1.668	50
				57.6	70.2	74.0	82.4	83.9	84.6			
4	タイヤローラ 12.5t, 2.8kg/cm ²	"	49	0.927	1.168	1.233	1.294	1.345	1.333	23.7 (20.5)	1.668	50
				55.6	70.0	73.9	77.6	80.6	79.9			
5	タイヤローラ 14.5t, 2.2kg/cm ²	"	49	0.913	1.179	1.136	1.139	1.279	1.239	22.2 (20.5)	1.668	50
				54.7	70.7	68.1	68.3	76.7	74.3			
6	タイヤローラ 14.5t, 3.8kg/cm ²	"	49	0.889	1.220	1.185	1.357	1.373	1.334	23.2 (20.5)	1.668	50
				53.3	73.1	71.0	81.4	82.3	80.0			
7	湿地ブルドーザ 13t	砂質 ローム	50	0	2	6	12	22		23.5 (20.5)	1.668	50
				0.981	1.124	1.116	1.123	1.143				
8	ブルドーザ 11t	砂質 ローム	50	0	2	4	8	16		23.9 (20.5)	1.668	50
				6.20	6.96	7.51	8.15	8.75				
9	湿地ブルドーザ 13t	ローム	50	1.497	1.520	1.567	1.533	1.499		24.2 (21.0)	1.620	30
				92.4	93.8	96.7	94.6	92.5				
10	ブルドーザ 11t	ローム	50	1.424	1.577	1.547	1.537	1.589		23.0 (21.0)	1.620	60
				87.9	97.4	95.5	95.0	98.1				
11	タイヤローラ 8t	ローム	50	1.458	1.643	1.605	1.655	1.656		22.6 (21.0)	1.620	30
				90.0	101.4	99.1	102.2	102.2				
12	タイヤローラ 8t	ローム	50	1.432	1.568	1.551	1.652	1.699		23.3 (21.0)	1.620	60
				83.4	96.8	95.7	102.0	104.9				
13	タイヤローラ 8t	ローム	50	1.553	1.639	1.619	1.667	1.677		23.1 (21.0)	1.620	30
				95.9	101.2	99.9	102.9	103.5				
14	タイヤローラ 15t	ローム	50	1.507	1.621	1.611	1.657	1.661		23.5 (21.0)	1.620	60
				93.0	100.0	99.4	102.3	102.5				
15	タイヤローラ 15t	ローム	50	1.477	1.628	1.574	1.628	1.628		23.2 (21.0)	1.620	30
				91.2	100.5	97.2	100.5	100.5				
16	タイヤローラ 15t	ローム	50	1.547	1.611	1.669	1.609	1.633		23.7 (21.0)	1.620	60
				95.6	99.4	103.0	99.3	100.8				
17	タイヤローラ 8t	ローム	50	1.546	1.597	1.617	1.614	1.648		23.7 (21.0)	1.620	30
				95.4	98.6	99.8	99.6	101.7				
18	タイヤローラ 8t	ローム	50	1.512	1.601	1.614	1.609	1.613		24.3 (21.0)	1.620	60
				93.3	98.8	99.6	99.3	99.6				
19	タイヤローラ 15t	ローム	50	1.426	1.599	1.637	1.650	1.633		22.1 (21.0)	1.620	30
				88.0	98.7	101.0	101.9	100.8				
20	タイヤローラ 15t	ローム	50	1.571	1.606	1.632	1.630	1.624		22.8 (21.0)	1.620	60
				97.0	99.1	100.2	100.6	100.2				
21	タイヤローラ 15t	ローム	50	1.475	1.665	1.706	1.714	1.683		21.4 (21.0)	1.620	30
				96.0	102.8	105.3	105.8	103.9				
22	タイヤローラ 15t	ローム	50	1.591	1.668	1.670	1.674	1.647		22.9 (21.0)	1.620	60
				98.4	103.0	103.1	103.3	101.7				

試験ケ ース 名	転 圧 機 械	土 質	年 度	転 圧 回 数						含水比 ω (ω_{opt})%	γ_{dmax} (γ/cm)	まき厚 (cm)
				0	2	4	8	16				
16	タイローラ 15t 7kg/cm ²	ローム	50	1.542	1.677	1.637	1.662	1.675		22.9(21.0)	1.620	30
				95.2	103.5	101.1	102.6	103.4				
			50	1.492	1.704	1.681	1.660	1.694		22.0(21.0)	1.620	60
				72.1	105.2	103.8	102.5	104.6				
17	トラクターショベル 12.3t	砂	50	0	2	4	6	8	16	10.2(10.8)	1.985	30
				1.625	1.782	1.743	1.798	1.828	1.830			
			50	81.9	89.8	87.8	90.6	92.1	92.2	12.8(10.8)	1.985	60
				1.568	1.695	1.730	1.798	1.775	1.965			
			50	79.0	85.4	87.2	90.6	89.4	99.0	14.4(10.8)	1.985	30
				1.600	1.648	1.778	1.790	1.785	1.828			
			50	80.6	83.0	89.6	90.2	89.9	92.1	9.8(10.8)	1.985	60
				1.445	1.692	1.798	1.765	1.768	1.817			
			50	72.8	85.2	90.6	88.9	89.1	91.5	13.1(10.8)	1.985	30
				1.507	1.703	1.772	1.862	1.775	1.805			
18	タイヤロープ 11.5t	砂	50	75.9	85.8	89.3	93.8	89.4	90.9	12.9(10.8)	1.985	60
				1.502	1.677	1.753	1.818	1.800	1.818			
			50	75.7	84.5	88.3	91.6	90.7	91.6	12.8(10.8)	1.985	30
				1.458	1.665	1.758	1.733	1.815	1.808			
			50	73.5	83.9	88.6	87.3	91.4	91.1	13.9(10.8)	1.985	60
				1.493	1.650	1.747	1.773	1.813	1.845			
			50	75.2	83.1	88.0	89.3	91.3	92.9	18.0(10.8)	1.985	30
				1.592	1.825	1.932	1.912	1.945	2.000			
			50	80.2	91.9	97.3	96.3	98.0	100.8	17.2(10.8)	1.985	60
				1.605	1.773	1.883	1.933	1.897	1.943			
19	タイヤロープ 11.5t	砂	50	80.9	89.3	94.9	97.4	95.6	97.9	10.5(10.8)	1.985	30
				1.420	1.617	1.747	1.793	1.887	1.903			
			50	71.5	81.5	88.0	90.3	95.1	95.9	14.1(10.8)	1.985	60
				1.602	1.683	1.765	1.880	1.792	1.877			
			50	80.7	84.8	88.9	94.7	90.3	94.6	18.3(10.8)	1.985	30
				1.613	1.700	1.293	1.670	1.253	1.388			
			50	81.3	85.6	65.1	84.1	63.1	69.9	14.1(10.8)	1.985	30
				1.787	1.852	1.902	1.988	1.978	1.977			
			50	90.0	93.3	95.8	100.2	99.6	99.6			
				0	切転圧	2	4	8	16			
20	タイヤロープ 15t	砂	50	1.137	1.435	1.586	1.551	1.614	1.605	22.6(20.5)	1.668	40
				68.2	86.0	95.1	93.0	96.8	96.2			
			51	1.241	1.443	1.585	1.561	1.630	1.631	23.0(20.5)	1.668	40
				74.4	86.5	95.0	93.6	97.7	97.8			
			51	1.186	1.424	1.513	1.526	1.576	1.601	22.4(20.5)	1.665	40
				71.1	85.4	90.7	91.5	94.5	96.0			
			51	1.131	1.430	1.492	1.453	1.554	1.579	21.6(20.5)	1.665	40
				67.9	85.9	89.7	87.3	93.3	94.8			
			51	1.061	1.304	1.344	1.372	1.491	1.471	22.2(20.5)	1.665	40
				63.7	78.3	80.7	84.2	89.5	88.3			
21	振動ローラ 2100vpm6.7t	砂 質 ローム	51	1.097	1.374	1.414	1.456	1.537	1.568	2.1(19.6)	1.665	60
				65.9	82.5	84.9	87.4	92.3	94.2			
			51	0	2	4	8	16		2.1(19.6)	1.665	60
				1.394	1.696	1.704	1.697	1.680				
			51	83.7	101.9	102.3	101.9	100.9		2.1(19.6)	1.665	60
				1.367	1.659	1.659	1.673	1.636				
			51	89.4	99.6	99.6	100.5	98.3		2.1(19.6)	1.665	60
			51	1.394	1.696	1.704	1.697	1.680		2.1(19.6)	1.665	60
				83.7	101.9	102.3	101.9	100.9				
22	振動ローラ 1200 vpm 3km/h 6.7t 1700vpm 2200vpm	砂 質 ローム	51	1.061	1.304	1.344	1.372	1.491	1.471	2.1(19.6)	1.665	60
				63.7	78.3	80.7	84.2	89.5	88.3			
			51	1.097	1.374	1.414	1.456	1.537	1.568	2.1(19.6)	1.665	60
				65.9	82.5	84.9	87.4	92.3	94.2			
			51	0	2	4	8	16		2.1(19.6)	1.665	60
				1.394	1.696	1.704	1.697	1.680				
			51	83.7	101.9	102.3	101.9	100.9		2.1(19.6)	1.665	60
				1.367	1.659	1.659	1.673	1.636				
			51	89.4	99.6	99.6	100.5	98.3		2.1(19.6)	1.665	60
23	トラクターショベル 17.3t (3km/h)	砂 質 ローム	51	1.394	1.696	1.704	1.697	1.680		2.1(19.6)	1.665	60
				83.7	101.9	102.3	101.9	100.9				
			51	1.367	1.659	1.659	1.673	1.636		2.1(19.6)	1.665	60
				89.4	99.6	99.6	100.5	98.3				
			51	0	2	4	8	16		2.1(19.6)	1.665	60
				1.394	1.696	1.704	1.697	1.680				
			51	83.7	101.9	102.3	101.9	100.9		2.1(19.6)	1.665	60
				1.367	1.659	1.659	1.673	1.636				
			51	89.4	99.6	99.6	100.5	98.3		2.1(19.6)	1.665	60

試験ケース	転圧機械	土質	年度	転圧回数						含水比 ω (ω_{opt})%	γ_{dmax} (g/cm^3)	まき厚 (cm)
				0	2	4	8	16				
Gs=2.74	24 ブルドーザ 16t	砂	51	1.233 7.20	1.488 86.9	1.520 88.8	1.568 91.6	1.585 92.6		15.7 (18.2)	1.712	30
		"	51	1.290 75.4	1.493 87.2	1.510 88.2	1.552 90.7	1.630 95.2		14.6 (18.2)	1.712	60
	25 ブルドーザ 23.8t	砂	51	1.206 70.4	1.417 82.8	1.511 88.3	1.527 89.2	1.451 84.8		18.0 (18.2)	1.712	30
		"	51	1.270 74.2	1.367 79.8	1.468 85.7	1.538 89.8	1.540 90.0		16.7 (18.2)	1.712	60
	26 タイヤローラ 13.6t	砂	51	1.487 86.9	1.612 94.2	1.592 93.0	1.670 97.5	1.669 97.5		15.6 (18.2)	1.712	30
	5kg/cm ²	"	51	1.452 84.8	1.603 93.6	1.645 96.1	1.632 95.3	1.733 101.2		16.5 (18.2)	1.712	60
	27 タイヤローラ 20t	砂	51	1.533 89.5	1.589 92.8	1.644 96.0	1.711 99.9	1.719 100.4		15.4 (18.2)	1.712	30
	5kg/cm ²	"	51	1.468 85.7	1.562 91.2	1.620 94.6	1.642 95.9	1.630 95.2		15.6 (18.2)	1.712	60
				初転 期圧0	2	4	6	8	16			
	28 湿地ブルドーザ 12.65t 1速	灰土	51	0.961 76.3	0.855 67.9	0.991 78.7	0.976 77.5	1.284 101.9	1.182 93.8	53.0 (35.8)	1.260	30
Gs=2.631	(砂置換法) 1速	"	51	0.825 65.5	0.939 74.5	0.918 72.9	0.923 73.3	0.988 78.4	0.970 77.0	57.7 (35.8)	1.260	60
	2速	"	51	0.870 69.0	0.970 77.0	1.031 81.8	1.099 87.2	1.070 84.9	1.086 86.2	50.2 (35.8)	1.260	30
	2速	"	51	0.885 70.2	0.885 70.2	1.039 82.5	0.921 73.1	1.083 86.0	1.112 88.3	49.9 (35.8)	1.260	60
	29 湿地ブルドーザ 12.65t 1速	灰土+ シラス	51	0.785 62.3	0.816 64.8	0.892 70.8	0.867 68.8	0.898 71.3	0.914 72.5	53.9 (35.8)	1.260	30
	(砂置換法) 1速	"	51	0.790 62.7	1.016 80.6	1.003 79.6	1.005 79.8	0.914 72.5	1.079 85.6	45.6 (35.8)	1.260	60
	2速	"	51	0.767 60.9	0.879 69.8	0.972 77.1	0.994 78.9	1.003 79.6	0.921 73.1	49.2 (35.8)	1.260	30
	2速	"	51	0.900 71.4	0.995 79.0	1.030 81.7	0.985 78.2	1.099 87.2	1.232 97.8	43.7 (35.8)	1.260	60

(3) 内部密度

上段：乾燥密度 (g/cm^3)

下段：締固め度 (%)

(RI 法による密度測定)

試験ケース	転圧機械	土質	表面からの深さ (cm)	転圧回数					含水比 ω (ω_{opt}) %	γ_{dmax} (g/cm^3)	まき厚 (cm)
				0	2	6	12	22			
7	湿地ブルドーザ (13t)	砂質ローム	15	0.926	0.963	1.000	1.042	0.994	23.4 (20.5)	1.668	50
				55.5	57.7	60.0	62.5	59.4			
			30	0.906	0.893	0.932	0.926	0.968	24.1 (20.5)	1.668	50
				54.3	53.5	55.9	55.5	58.0			
8	ブルドーザ (11t)	砂質ローム	15	0	2	4	8	16	23.8 (20.5)	1.668	50
				1.089	1.166	1.239	1.332				
			30	65.3	69.9	74.3	79.9		23.6 (20.5)	1.668	50
				0.892	1.012	1.084	1.170				
9	湿地ブルドーザ (13t)	ローム	15	1.329	1.349	1.539	1.505	1.206	24.2 (21.0)	1.620	30
				82.0	83.3	95.0	92.9	74.4			
			15	1.410	1.585	1.496	1.581	1.483	23.0 (21.0)	1.620	60
				87.0	97.8	92.4	97.6	91.5			
10	ブルドーザ (11t)	ローム	15	1.508	1.282	1.545	1.369	1.491	23.0 (21.0)	1.620	60
				93.1	79.1	95.4	84.5	92.0			
			15	1.438	1.539	1.556	1.644	1.679	22.6 (21.0)	1.620	30
				88.8	98.1	96.0	101.5	103.6			
11	タイヤローラ (8t) ($3kg/cm^2$)	ローム	15	1.332	1.616	1.420	1.522	1.544	23.3 (21.0)	1.620	60
				82.2	99.8	87.6	94.0	95.3			
			40	1.332	1.462	1.249	1.440	1.289	23.3 (21.0)	1.620	60
				82.2	90.2	77.1	88.9	79.6			
12	タイヤローラ (8t) ($5kg/cm^2$)	ローム	15	1.424	1.694	1.627	1.671	1.652	23.1 (21.0)	1.620	30
				87.9	104.6	100.4	103.2	102.0			
			15	1.585	1.370	1.425	1.579	1.515	23.5 (21.0)	1.620	60
				97.8	84.6	88.0	97.5	93.5			
13	タイヤローラ (8t) ($7kg/cm^2$)	ローム	15	1.504	1.282	1.466	1.310	1.419	23.5 (21.0)	1.620	60
				92.8	79.1	90.5	80.9	87.6			
			15	1.272	1.506	1.476	1.599	1.583	23.2 (21.0)	1.620	30
				78.5	93.0	91.1	98.7	97.7			
14	タイヤローラ (15t) ($3kg/cm^2$)	ローム	15	1.363	1.421	1.378	1.326	1.605	23.7 (21.0)	1.620	60
				84.1	87.7	85.1	81.9	99.1			
			40	1.080	1.567	1.531	1.509	1.589	23.7 (21.0)	1.620	60
				66.7	96.7	94.5	93.1	98.1			
15	タイヤローラ (15t) ($5kg/cm^2$)	ローム	15	1.593	1.534	1.555	1.616		23.7 (21.0)	1.620	30
				98.3	94.7	96.0	99.8				
			15	1.643	1.609	1.568	1.338		24.3 (21.0)	1.620	60
				101.4	99.3	96.8	82.6				
16	タイヤローラ (15t) ($5kg/cm^2$)	ローム	15	1.643	1.609	1.455	1.545		24.3 (21.0)	1.620	60
				101.4	99.3	89.9	94.4				
			15	1.542	1.671	1.578	1.671	1.676	22.1 (21.0)	1.620	30
				95.2	103.1	97.4	99.8	103.5			
17	タイヤローラ (15t) ($3kg/cm^2$)	ローム	15	1.561	1.583	1.631	1.671	1.539	22.3 (21.0)	1.620	60
				96.4	97.7	100.7	103.1	95.0			
			40	1.528	1.583	1.461	1.598	1.571	22.8 (21.0)	1.620	60
				94.3	97.7	90.2	98.6	97.0			
18	タイヤローラ (15t) ($5kg/cm^2$)	ローム	15	1.592	1.487	1.688	1.604	1.649	21.4 (21.0)	1.620	30
				98.3	91.8	104.2	99.0	101.8			
			15	1.583	1.688	1.682	1.724	1.694	22.9 (21.0)	1.620	60
				97.7	104.2	103.8	106.4	104.6			
19	タイヤローラ (15t) ($5kg/cm^2$)	ローム	40	1.552	1.671	1.699	1.588	1.629	22.9 (21.0)	1.620	60
				95.8	103.2	104.9	98.0	100.6			

試験 コース名	転圧機械	土質	表面より の深さ (cm)	転 圧 回 数						含水比 ω (%)	γ_{dmax} (g/cm ³)	まき厚 (cm)
				0	2	4	8	16				
16	タイヤローラ (15t) (7kg/cm ²)	ローム	15	1.571	1.604	1.648	1.682	1.636		2.29 (21.0)	1.620	30
				98.2	99.0	101.7	103.8	101.0				
			15	1.621	1.679	1.592	1.723	1.665		2.20 (21.0)	1.620	60
				99.5	103.6	98.3	106.4	102.8				
			40	1.563	1.613	1.526	1.591	1.690		2.20 (21.0)	1.620	60
				96.5	99.6	94.2	98.2	104.3				
17	トラクターショベル (12.3t) (1速)	砂	10	0	2	4	6	8	16	10.4 (10.8)	1.985	30
				1.576	1.688	1.732	1.768	1.812	1.706			
			15	79.4	85.0	87.3	89.1	91.3	85.9	10.1 (10.8)	1.985	60
				1.420	1.580	1.632	1.672	1.686	1.828			
			30	71.5	76.9	82.2	84.2	84.9	92.1	8.6 (10.8)	1.985	60
				1.337	1.360	1.403	1.413	1.370	1.687			
			10	67.4	68.5	70.7	71.2	69.0	85.0	14.1 (10.8)	1.985	30
				1.492	1.660	1.668	1.646	1.732	1.790			
			15	75.2	83.6	84.0	82.9	87.3	90.2	9.6 (10.8)	1.985	60
				1.442	1.628	1.678	1.684	1.648	1.730			
			30	72.6	82.0	84.5	84.8	83.0	87.2	8.9 (10.8)	1.985	60
				1.310	1.437	1.443	1.517	1.487	1.497			
18	タイヤローラ (8t) (1速) (5kg/cm ²)	砂	10	6.60	7.24	7.27	7.64	7.49	7.54	12.0 (10.8)	1.985	30
				1.478	1.572	1.666	1.652	1.732	1.684			
			15	74.5	79.2	83.9	83.2	87.3	84.8	11.6 (10.8)	1.985	60
				1.440	1.454	1.678	1.702	1.674	1.670			
			30	72.5	73.2	84.5	85.7	84.3	84.1	9.9 (10.8)	1.985	60
				1.330	1.423	1.377	1.397	1.393	1.360			
			10	67.0	71.7	69.4	70.4	70.2	68.5	12.4 (10.8)	1.985	30
				1.370	1.612	1.628	1.688	1.678	1.644			
			15	69.0	81.2	82.0	85.0	84.5	82.8	12.8 (10.8)	1.985	60
				1.416	1.612	1.606	1.640	1.652	1.730			
			30	71.3	81.2	80.9	82.6	83.2	87.2	10.5 (10.8)	1.985	60
				1.223	1.373	1.317	1.363	1.440	1.447			
19	タイヤローラ (11.5t) (1速) (5kg/cm ²)	砂	10	6.16	6.92	6.63	6.87	7.25	7.29	17.7 (10.8)	1.985	30
				1.582	1.838	1.888	1.860	1.960	1.884			
			15	79.7	92.6	95.1	93.7	98.7	94.9	16.1 (10.8)	1.985	60
				1.442	1.760	1.822	1.820	1.798	1.870			
			30	72.6	88.7	91.8	91.7	90.6	94.2	14.8 (10.8)	1.985	60
				1.273	1.527	1.653	1.610	1.513	1.703			
			10	64.1	76.9	83.3	81.1	76.2	85.8	10.9 (10.8)	1.985	30
				1.418	1.638	1.726	1.672	1.718	1.736			
			15	71.4	82.5	87.0	84.2	86.5	87.5	14.0 (10.8)	1.985	60
				1.514	1.686	1.724	1.804	1.878	1.835			
			30	76.3	84.9	86.9	90.9	94.6	92.5	12.3 (10.8)	1.985	60
				1.357	1.437	1.433	1.490	1.540	1.590			
20	タイヤローラ (15t) (1速) (5kg/cm ²)	砂	10	6.84	7.24	7.22	7.51	7.76	80.1	19.3 (10.8)	1.985	30
				1.530	1.688	1.298	1.722	1.274	1.554			
			10	77.1	85.0	65.4	86.8	64.2	78.3	14.7 (10.8)	1.985	30
				1.736	1.784	1.866	1.966	1.986	1.886			
			10	87.5	89.9	94.0	99.0	100.1	95.0			
				0	初転圧	2	4	8	16			
21	振動ローラ (2100rpm) (6.7t) (1km/h) (3km/h) (5km/h)	砂質 ローム	15			1.375	1.406	1.413	1.366	21.4 (10.8)	1.985	40
						82.4	84.3	84.7	81.9			
			15			1.408	1.336	1.441	1.393	21.7 (10.8)	1.985	40
						84.4	80.1	86.4	83.5			
			15			1.403	1.425	1.419	1.429	22.1 (10.8)	1.985	40
						84.1	85.4	85.1	85.7			

試験ケースNo	転圧機械	土質	表面よりの深さ (cm)	転 圧 回 数						含水比 ω (ω_{opt})%	γ_{dmax} (g/cm^3)	まき厚 (cm)		
				0	初転圧	2	4	8	16					
22	振動ローラ (3km/h) (6.7t)2100rpm 1700rpm	砂質 ローム	15			1.321	1.243	1.316	1.239	21.7(20.5)	1.668	40		
						79.2	74.5	78.9	74.3					
			15			1.246	1.211	1.329	1.369	20.9(20.5)	1.668	40		
						74.7	72.6	79.7	82.1					
23	トラクターショベル (17.3t)(3km/h)	砂質 ローム	15			1.230	1.251	1.308	1.384	20.6(20.5)	1.668	40		
						73.7	75.0	78.4	83.0					
			15			1.483	1.609	1.588	1.595	21.3(19.6)	1.668	40		
						88.9	96.5	95.2	95.6					
			30			1.388	1.430	1.406	1.459	22.6(19.6)	1.668	40		
						83.2	85.7	84.3	87.5					
			15			1.536	1.580	1.584	1.616	21.3(19.6)	1.668	40		
						92.1	94.7	95.0	96.9					
			30			1.453	1.461	1.481	1.475	21.9(19.6)	1.668	40		
						87.1	87.6	88.8	88.4					
24	ブルドーザ (16t)	砂	15	0	2	4	8	16		15.2(18.2)	1.712	60		
						1.450	1.430	1.470	1.678					
			30			84.7	83.5	85.9	98.0	15.4(18.2)	1.712	60		
						1.325	1.428	1.438	1.475					
			15			77.4	83.4	84.0	86.2	17.7(18.2)	1.712	60		
						1.365	1.398	1.545	1.350					
			30			79.7	81.7	90.2	78.9	17.3(18.2)	1.712	60		
						1.290	1.448	1.433	1.365					
26	タイヤローラ (13.6t) (5kg/cm ²)	砂	15			75.4	84.6	83.7	79.7	16.3(18.2)	1.712	60		
						1.547	1.630	1.540	1.650					
			30			90.4	95.2	90.0	96.4	16.5(18.2)	1.712	60		
						1.523	1.428	1.358	1.553					
27	タイヤローラ (20t) (5kg/cm ²)	砂	15			89.0	83.4	79.3	90.7	15.7(18.2)	1.712	60		
						1.475	1.543	1.555	1.628					
			30			86.2	90.1	90.8	95.1	16.2(18.2)	1.712	60		
						1.490	1.425	1.463	1.683					
28	湿地ブルドーザ (12.65t)1速	灰土	20	0	2	4	6	8	16	53.6(35.8)	1.260	30		
						0.808	0.849	1.068	1.134					
			15			64.1	67.4	84.8	90.0	57.5(35.8)	1.260	60		
						0.734	0.822	0.844	0.909					
		1速	15			58.3	65.2	67.0	72.1	52.7(35.8)	1.260	60		
						0.735	0.853	0.894	1.024					
		1速	40			58.3	67.7	71.0	81.3	53.7(35.8)	1.260	30		
						0.843	0.851	0.964	0.951					
		2速	灰土	15			66.9	67.5	76.5	75.5	50.8(35.8)	1.260	60	
							0.862	0.883	0.911	0.900				
		湿地ブルドーザ (12.65t)2速	灰土	15			68.4	70.1	72.3	71.4	49.3(35.8)	1.260	60	
							0.786	0.906	0.996	1.025				
		2速	"	40			62.4	71.9	79.0	81.3	53.8(35.8)	1.260	30	
							0.823	0.897	0.847	0.899				
		29	湿地ブルドーザ (12.65t)1速	灰土+ シラス	20			65.3	71.2	67.2	71.3	48.9(35.8)	1.260	60
								0.811	0.854	0.954	0.981			
1速	"				15			64.4	67.8	75.7	77.9	44.5(35.8)	1.260	60
								1.019	0.974	1.099	1.056			
1速	"	40			80.9	77.3	87.2	83.8	52.5(35.8)	1.260	30			
					0.806	0.838	0.958	0.965						
30	2速	灰土+ シラス	20			64.0	66.5	76.0	76.5	43.0(35.8)	1.260	60		
						0.883	0.944	0.965	0.892					
			2速	"	15			70.1	74.9	76.6	70.8	44.3(35.8)	1.260	60
								0.865	0.927	1.015	0.988			
2速	"	40			68.7	73.6	80.6	78.4						
					80.9	77.3	87.2	83.8						

(4) 土 圧

単位 (kg/cm²)

試 験 ケースNo	転 圧 機 械	表面より の深さ	初転圧1	初転圧2	転 圧 回 数																含水比 ω (ω_{opt})	r_{dmax}	まき厚	土 質	場所
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16					
1	タイヤローラ 8.5t, 4.0kg/cm ² ↑ 重量 空気圧	20 前			0.68	0.80	0.66	0.85	1.18	0.63	0.31	0.63	0.85	0.46											
		垂直 後			0.97	0.77	1.10	0.84	0.79	1.24	1.29	1.11	0.97	1.20											
		45 前			0.30	0.47	0.48	0.55	0.49	0.40	0.47	0.52	0.50	0.49											
		垂直 後			0.44	0.61	0.69	0.64	0.68	0.74	0.63	0.63	0.64	0.55											
		20 前			0.23	0.22	0.29	0.30	0.26	0.74	0.32	0.32	0.28	0.28											
		水平 後			0.35	0.43	0.25	0.48	0.37	0.33	0.29	0.50	0.34	0.44											
2	タイヤローラ 8.5t, 5.6kg/cm ²	45 前			0.10	0.08	0.10	0.11	0.10	0.08	0.12	0.11	0.11	0.09											
		垂直 後			0.13	0.12	0.15	0.15	0.13	0.13	0.14	0.14	0.14	0.13											
		20 前			0.31	0.50	0.53	0.41	0.93	0.63	0.68	0.61	1.06	0.70	0.96	0.56	1.21	1.01	1.30	0.96			50 cm	砂 質 ローム	土研
		垂直 後			0.29	0.90	0.72	0.60	0.47	0.67	0.74	0.53	0.59	0.56	1.13	0.70	1.03	0.56	0.55	1.15					
		20 前			0.35	0.41	0.39	0.40	0.39	0.39	0.38	0.40	0.39	0.40	0.38	0.41	0.38	0.36	0.37	0.39					
		水平 後			0.48	0.45	0.52	0.42	0.54	0.50	0.53	0.49	0.51	0.52	0.54	0.52	0.51	0.45	0.44	0.49					
3	タイヤローラ 12.5t, 5.0kg/cm ²	20 前			0.13	1.18	1.01	1.27	1.00	1.51	0.99	1.23	1.07	1.07	1.07	1.12	1.13	1.20	1.20	1.21			50 cm	砂 質 ローム	土研
		垂直 後			1.08	1.19	1.35	1.20	1.32	1.28	1.49	1.37	1.43	1.45	1.60	1.48	1.60	1.86	1.49	1.35					
		45 前			0.76	0.83	0.80	0.78	0.77	0.87	0.80	0.77	0.77	0.86	0.83	0.86	0.85	0.85	0.85	0.88					
		垂直 後			0.88	0.94	1.02	0.67	0.97	0.99	1.01	1.00	0.97	0.94	1.01	1.00	1.04	1.01	1.06	1.01					
		20 前			0.24	0.41	0.32	0.48	0.33	0.53	0.34	0.47	0.37	0.41	0.34	0.47	0.33	0.55	0.47	0.58					
		水平 後			0.46	0.41	0.52	0.37	0.53	0.47	0.66	0.39	0.69	0.55	0.69	0.62	0.71	0.59	0.63	0.53					
4	タイヤローラ 12.5t, 2.8kg/cm ²	45 前			0.15	0.19	0.18	0.16	0.16	0.19	0.16	0.20	0.17	0.24	0.17	0.24	0.17	0.24	0.18	0.19					
		垂直 後			0.19	0.21	0.21	0.15	0.18	0.21	0.18	0.23	0.18	0.20	0.19	0.23	0.20	0.22	0.20	0.23					
		20 前			0.84	1.13	0.77	1.29	0.73	0.71	—	—	—	—	1.26	1.32	0.75	0.68	1.28	0.77			50 cm	砂 質 ローム	土研
		垂直 後			0.77	0.94	1.10	1.12	1.18	1.32	—	—	—	—	0.90	0.76	1.28	1.54	0.92	1.06					
		45 前			0.63	0.74	0.70	0.75	0.74	0.78	0.68	0.68	0.72	0.70	0.62	0.68	0.75	0.78	0.60	0.78					
		垂直 後			0.74	0.75	0.67	0.82	0.82	0.84	0.80	0.85	0.79	0.86	0.86	0.86	0.75	0.70	0.67	0.82					
5	タイヤローラ 14.5t, 2.2kg/cm ²	20 前			0.15	0.26	0.23	0.26	0.26	0.29	0.24	0.30	0.25	0.31	0.32	0.37	0.32	0.38	0.36	0.39					
		垂直 後			0.33	0.33	0.42	0.43	0.43	0.38	0.45	0.38	0.47	0.41	0.53	0.45	0.52	0.39	0.55	0.48					
		45 前			0.14	0.16	0.15	0.14	0.14	0.16	—	—	—	—	0.15	0.17	0.13	0.17	0.16	0.16					
		垂直 後			0.17	0.18	0.18	0.12	0.12	0.18	—	—	—	—	0.72	0.17	0.17	0.19	0.17	0.19					
		20 前			1.28	1.15	1.27	1.16	1.16	1.65	1.40	1.65	1.35	1.39	1.27	1.33	1.36	1.41	1.36	1.51			50 cm	砂 質 ローム	土研
		垂直 後			0.95	1.15	1.29	1.33	1.33	1.06	1.26	1.02	1.33	1.90	1.86	1.90	1.87	1.84	1.92	1.72					
		45 前			0.99	0.90	0.89	0.90	0.90	0.96	0.89	0.93	0.90	0.93	0.90	0.93	0.91	0.92	0.91	0.94					
		垂直 後			1.06	0.91	1.00	0.95	1.00	0.96	0.97	0.95	0.98	0.07	0.96	0.95	0.97	0.95	0.98	0.95					
		20 前			0.27	0.44	0.41	0.47	0.43	0.44	0.36	0.39	0.33	0.42	0.42	0.44	0.40	0.42	0.40	0.46					
		垂直 後			0.42	0.61	0.57	0.59	0.57	0.67	0.45	0.60	0.44	0.07	0.62	0.68	0.62	0.70	0.62	0.70					
		45 前			0.21	0.22	0.21	0.21	0.20	0.22	0.19	0.18	0.21	0.21	0.31	0.21	0.20	0.21	0.20	0.21					
		水平 後			0.22	0.23	0.22	0.23	0.22	0.23	0.21	0.23	0.21	0.23	0.21	0.22	0.21	0.23	0.21	0.22					

単位 (kg/cm²)

試験 ケース名	転圧機械	表面より の深さ	転 圧 数 回																含水比 ω (ω_{cpt})	r_{dmax}	まき厚	土 質	場所
			初転圧1	初転圧2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
6	タイヤローラ 14.5t, 3.8 kg/cm ²	20 前			0.72	0.57	0.97	1.25	1.11	1.25	1.16	1.12	0.51	1.28	1.46	1.22	1.10	1.09	1.18	1.28			
		垂直 後			1.46	1.58	1.34	1.24	1.46	1.39	1.54	1.48	2.05	2.01	1.54	1.97	1.79	1.80	1.54	1.32			
		45 前			0.85	0.98	0.85	0.94	0.91	0.96	0.86	0.98	0.85	0.85	0.82	0.84	0.93	0.88	0.86				
		垂直 後			1.21	1.01	1.06	1.04	1.00	1.06	1.00	1.03	1.04	1.08	0.89	1.05	1.02	1.03	0.92	1.08			
		20 前			0.26	0.29	0.31	0.33	0.30	0.33	0.30	0.46	0.26	0.35	0.43	0.33	0.26	0.35	0.35	0.38			
		水平 後			0.45	0.63	0.52	0.54	0.46	0.66	0.44	0.53	0.53	0.71	0.31	0.72	0.48	0.68	0.36	0.72			
		45 前			0.22	0.25	0.23	0.26	0.21	0.26	0.22	0.25	0.23	0.28	0.21	0.27	0.24	0.25	0.25	0.29			
		水平 後			0.23	0.25	0.24	0.23	0.25	0.27	0.25	0.28	0.26	0.27	0.24	0.27	0.26	0.27	0.26	0.27			
7	湿地ブルドーザ 13 t	15 cm 垂直	初転圧1 17	初転圧2 18	19	20	21	22															
					0.57	0.71	0.55	0.58	0.69	0.65	1.02	0.95	0.95	1.42	1.02	0.95	1.05	0.73	0.87	0.84			
		15 cm 垂直	0.59	0.91	0.56	0.84	0.66	0.59															
		15 cm 水平	0.31	0.44	0.29	0.61	0.27	0.33	0.31	0.33	0.35	0.50	0.35	0.47	0.44	0.47	0.40	0.44	0.34	0.48			
		30 cm 垂直	0.72	0.79	0.54	0.60	0.80	0.91	0.73	0.77	0.66	0.73	0.66	0.73	0.62	0.88	0.75	0.72	0.75	0.82			
		45 cm 垂直	0.72	0.78	0.52	0.60	0.47	0.50	0.67	0.72	0.62	0.67	0.61	0.75	0.66	0.73	0.60	0.73	0.77	0.71			
		60 cm 垂直	0.34	0.38	0.23	0.26	0.29	0.54	0.38	0.40	0.31	0.34	0.43	0.34	0.39	0.36	0.51	0.38	0.40	0.38			
					0.32	0.34	0.36	0.36															
8	ブルドーザ 11 t	15 cm 垂直	初転圧1	初転圧2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
					1.58	1.58	1.99	2.17	2.35	2.51	1.92	2.44	2.60	2.81	2.63	2.84	2.68	2.70	2.65	2.76			
		15 cm 水平			0.70	1.70	0.80	1.23	1.02	1.20	1.00	1.32	1.47	1.45	1.29	1.37	1.21	1.40	1.08	1.23			
		15 cm 垂直																					
		30 cm 垂直																					
		15 cm 水平			0.46	0.48	0.58	1.35	1.25	0.46	0.30	1.64											
17	トラクターショベル 12.3 t	30 cm 垂直			0.60	0.75	0.92	0.76	0.52	0.94	0.53	0.89	0.57	0.54	0.36	0.61	0.83	0.85	0.89	0.88			
		60 cm 1速																					
		60 cm 1速																					
		30 cm 水平																					

単位 (kg/cm²)

試験 ケースNo	転 圧 機 械	表面より の 深 さ	転 圧 回 数																含水比 ω (ω_{cpt})	r_{dmax}	まき厚	土 質	場所		
			初転圧1	初転圧2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14						15	16
	トラクターショベル 12.3t	60cm 水平			0.34	0.38	0.33	0.36	0.28	0.41	0.35	0.42	0.40	0.58	0.40	0.57	0.52	0.58	0.56	0.61			60 cm 1 速	砂	九州
		15cm 垂直			3.00	2.37	2.10	4.40	4.40	2.93	0.13	4.47	3.58	0.82	3.11	1.27	2.58	1.72	3.58	1.26			60 cm 1 速		
		30cm 垂直			1.91	2.34	3.16	3.09	2.25	2.89	2.17	2.64	2.34	2.16	2.71	1.85	2.29	1.84	1.89	2.09			60 cm 1 速		
		60cm 垂直			1.20	1.31	1.14	1.45	1.03	1.31	1.27	1.99	1.25	1.35	1.66	1.20	1.36	1.25	1.42	1.23			60 cm 1 速		
		15cm 水平			0.90	1.11	0.24	0.20	0.23	0.74	1.78	1.43	0.43	0.31	1.24	2.20	0.37	0.42	0.85	0.62			30 cm 2 速		
		30cm 水平			0.42	0.50	0.49	0.46	0.59	0.55	0.30	0.50	0.56	0.60	0.33	0.35	0.61	0.48	0.69	0.65			30 cm 2 速		
		15cm 垂直			0.99	1.78	3.24	3.50	1.06	0.99	2.45	0.41	4.39	0.86	2.98	3.14	3.30	3.57	3.69	3.72			30 cm 2 速		
		30cm 垂直			1.80	1.80	0.56	1.34	0.58	0.80	2.53	1.73	1.19	0.77	2.45	2.50	1.22	1.75	1.92	1.50			30 cm 2 速		
		15cm 水平			1.65	2.50	1.10	1.99	1.88	3.02	0.72	0.78	0.05	2.52	0.18	1.49	2.80	2.57	0.30	0.98			60 cm 2 速		
		30cm 水平			1.04	1.36	0.54	1.00	1.05	1.89	0.78	0.78	0.11	1.54	0.22	1.55	0.94	1.30	0.39	0.88			60 cm 2 速		
		60cm 水平			0.45	0.48	0.33	0.41	0.46	0.60	0.48	0.12	0.11	0.60	0.14	0.64	0.41	0.39	0.19	0.41			60 cm 2 速		
		15cm 垂直			2.80	4.15	1.60	2.69	4.62	4.64	1.75	0.58	0.05	4.84	0.60	0.83	4.30	2.42	0.93	1.20			60 cm 2 速		
		30cm 垂直			3.19	2.99	2.14	3.00	3.99	4.00	2.70	1.65	0.01	3.45	0.35	3.44	3.35	3.40	0.56	2.30			60 cm 2 速		
		60cm 垂直			1.54	1.25	1.42	1.39	1.90	2.07	2.26	1.35	0.58	2.31	0.53	2.54	1.39	1.81	0.50	1.90			60 cm 2 速		
18	タイヤローラ 8t(5kg/cm ²)	15cm 水平			0.35	0.58	0.61	0.86	—	0.52	0.50	0.86	0.43	0.45	0.50	0.60	0.44	0.56	0.69	0.90			30 cm 1 速	砂	九州
		30cm 水平			0.35	0.26	0.33	0.35	0.26	0.28	0.40	0.36	0.24	0.33	0.35	0.35	0.26	0.30	0.39	0.42					
		15cm 垂直			2.44	1.99	1.41	3.19	3.22	3.21	3.00	1.54	3.20	2.15	1.92	2.55	2.60	2.35	3.18	3.19					
		30cm 垂直			0.73	0.93	1.35	1.26	0.65	1.03	1.26	1.54	1.00	1.13	1.40	1.10	1.05	1.25	1.64	1.43					

単位 (kg/cm)

試験 ケースNo.	転圧機械	表面より の深さ	転 圧 回 数																含水比 ω (wept)	r_{dmax}	まき厚	土質	場所
			初転圧1	初転圧2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
	タイヤローラ 8t(5kg/cm ²)	15 cm 水平			1.98	1.14	1.75	1.88	—	—	0.91	2.70	2.06	1.11	1.98	1.78	1.38	0.85	2.58	2.15		60 cm 1速	
		30 cm 水平			0.29	0.20	0.20	0.32	0.80	0.26	0.30	0.29	0.30	0.21	0.28	0.28	0.39	0.30	0.29	0.25			
		60 cm 水平			0.10	0.13	0.12	0.15	0.35	0.20	0.20	0.20	0.13	0.21	0.15	0.21	0.19	0.18	0.19	0.20			
		15 cm 垂直			0.35	0.25	0.30	0.73	2.08	0.23	0.42	0.45	0.45	0.24	0.14	0.48	0.49	0.20	0.48	0.38			
		30 cm 垂直			1.10	1.10	0.85	0.56	0.46	0.18	1.34	1.04	1.68	1.38	1.24	1.01	1.20	0.10	1.34	1.02			
		60 cm 垂直			0.50	0.60	0.50	0.58	0.43	0.59	0.59	0.58	0.60	0.55	0.55	0.55	0.49	0.63	0.55	0.63			
		15 cm 水平			0.61	0.91	0.52	0.85	0.69	0.40	0.50	0.60	0.24	0.85	0.64	0.40	1.06	0.30	0.43	1.02		30 cm 2速	
		30 cm 水平			0.13	0.13	0.13	0.13	0.12	0.10	0.15	0.10	0.10	0.12	0.10	0.12	0.14	0.13	0.10	0.14			
		15 cm 垂直			0.69	2.29	3.24	1.53	3.89	1.75	2.59	3.69	3.94	3.99	2.19	3.35	3.97	2.89	2.00	1.55			
		30 cm 垂直			0.89	1.14	1.18	1.25	1.26	1.59	1.40	1.31	1.04	1.79	1.21	1.30	0.99	1.99	0.95	1.25			
		15 cm 垂平			0.39	0.70	0.28	0.24	0.55	0.66	0.55	0.77	0.35	0.50	0.60	0.59	0.97	0.52	0.43	0.74		60 cm 2速	
		30 cm 垂平			0.31	0.46	0.40	0.35	0.18	0.39	0.20	0.50	0.20	0.30	0.40	0.33	0.18	0.20	0.50	0.34			
		60 cm 水平			0.20	0.16	0.14	0.54	0.20	0.58	0.20	0.14	0.22	0.15	0.15	0.14	0.20	0.16	0.18	0.14			
		15 cm 垂直			2.00	1.90	2.45	1.12	3.10	0.34	0.95	0.52	3.72	1.05	2.08	2.55	3.70	1.57	1.33	3.31			
		30 cm 垂直			0.87	1.12	1.08	1.36	1.90	1.02	1.69	0.62	1.19	1.80	1.39	1.58	1.34	1.93	1.74	1.50			
		60 cm 垂直			0.56	0.53	0.38	0.36	0.90	0.83	0.99	0.59	—	—	—	—	—	—	—	—			
19	タイヤローラ 11.5t(5kg/cm ²)	15 cm 水平			0.13	0.62	0.60	0.65	0.60	0.54	0.42	0.49	0.64	0.45	0.64	0.63	0.49	0.74	0.61	0.31		30 cm 1速	九州
		30 cm 水平			0.44	0.30	0.03	0.29	0.35	0.38	0.43	0.28	0.43	0.39	0.53	0.35	0.36	0.40	0.35	0.40			

単位 (kg/cm)

試験 ケースNo	転 圧 機 械	表面よりの深さ	転 圧 回 数																含水比 ω (ω_{cpt})	T_{dmax}	まき厚	土 質	場所		
			初転圧1	初転圧2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14						15	16
19	タイヤローラ 11.5t(5kg/cm)	15 cm 垂直			1.34	3.18	3.42	4.29	2.83	4.03	4.29	2.81	4.29	3.24	3.95	4.29	2.94	3.75	4.30	2.44				砂	九州
		30 cm 垂直			1.12	1.33	1.10	1.31	1.31	1.13	1.50	1.60	1.70	1.66	1.45	1.48	1.15	1.68	1.37	2.05					
		15 cm 水平			0.53	2.18	1.25	0.18	1.62	1.82	1.46	2.47	0.99	0.78	0.80	2.19	1.06	0.65	1.71	1.52		60 cm 1速			
		30 cm 水平			0.56	0.38	0.47	0.48	0.60	0.89	0.54	0.69	0.85	0.45	0.54	0.45	0.56	0.72	0.80	0.63					
		60 cm 水平			0.34	0.28	0.20	0.25	0.29	0.25	0.32	0.28	0.24	0.25	0.23	0.30	0.23	0.26	0.24	0.30					
		15 cm 垂直			2.42	4.24	5.02	0.33	5.03	4.27	4.95	5.00	3.03	3.78	3.84	1.40	3.58	2.93	5.04	5.05					
		30 cm 垂直			1.41	1.01	1.93	1.19	2.68	2.43	2.14	2.38	2.52	1.59	2.28	1.94	2.59	2.38	2.84	2.41					
		60 cm 垂直			0.56	0.79	0.66	0.80	0.99	0.96	0.78	0.99	0.96	0.96	0.89	1.02	1.07	1.06	0.99	0.80					
		15 cm 水平			0.81	0.64	0.62	0.43	0.45	0.29	0.58	0.48	0.68	0.34	0.46	0.33	0.34	0.53	0.39	0.41		30 cm 2速			
		30 cm 水平			0.52	0.64	0.44	0.56	0.40	0.49	0.34	0.60	0.35	0.40	0.30	0.49	0.40	0.57	0.33	0.57					
		15 cm 垂直			2.29	4.20	1.48	1.99	2.50	1.29	3.23	3.33	4.42	1.58	2.31	1.70	2.38	3.89	1.68	2.45					
		30 cm 垂直			1.31	1.98	1.55	2.11	1.42	1.79	1.17	2.41	1.69	1.44	1.35	2.00	1.84	2.20	1.20	2.25					
		15 cm 水平			0.52	2.17	1.24	1.08	0.32	0.18	0.36	1.27	0.61	0.54	0.32	0.99	0.48	0.25	0.65	0.90		60 cm 2速			
		30 cm 水平			0.33	0.33	0.45	0.49	0.51	0.51	0.49	0.53	0.54	0.48	0.40	0.44	0.43	0.44	0.59	0.88					
		60 cm 水平			0.25	0.25	0.19	0.19	0.24	0.24	0.23	0.22	0.20	0.20	0.16	0.23	0.70	0.20	0.25	0.25					
		15 cm 垂直			1.72	4.22	4.02	3.24	3.63	0.72	1.77	2.03	4.45	1.53	2.52	1.88	1.68	0.55	3.81	3.51					
		30 cm 垂直			1.14	0.94	0.90	2.50	2.10	2.17	2.24	2.93	1.45	1.90	2.80	1.86	1.79	1.90	2.88	3.56					
		60 cm 垂直			0.65	0.75	0.62	1.02	1.00	1.11	1.01	1.08	1.15	1.31	0.94	1.00	1.06	1.36	1.02	1.23					

単位 (kg/cm²)

試験 ケースNo	転圧機械	表面よりの 深さ	転 圧 回 数																含水比 ω (ω_{opt})	r_{dmax}	まき厚	土 質	場所		
			初転圧1	初転圧2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14						15	16
20	タイヤローラ 15t(5kg/cm ²)	15cm 水平	ブルドーザ使用 1.15	0.18	0.70	0.15	0.66	0.09	0.64	0.18	0.73	0.11	0.69	0.19	0.64	0.24	0.65	0.19	0.75	0.20			30 cm 1 速	砂	九州
		30cm 水平	0.63	0.34	0.55	0.20																			
		15cm 垂直	1.08	0.09	1.88	0.00	2.88	0.00	2.58	0.00	2.57	0.00	3.91	0.00	3.34	0.00	3.09	1.19	2.87	0.00					
		30cm 垂直	1.07	0.34	0.82	0.10	1.02	0.00	0.92	0.00	0.94	0.00	0.90	0.00	0.84	0.00	1.00	1.19	0.78	0.00					
		15cm 水平	1.98	1.99	2.01	0.00	2.00	0.00	2.00	0.00	2.00	0.00	2.00	0.08	1.99	1.22	1.99	3.00	2.00	0.45			30 cm 2 速		
		30cm 水平	0.75	0.71	0.89	0.04	0.83	0.03	0.84	0.02	0.74	0.01	0.70	0.05	0.89	0.13	0.83	0.87	0.70	0.10					
		15cm 垂直	1.23	1.91	0.91	0.05	1.23	0.03	1.08	0.05	1.38	0.05	0.89	0.14	1.25	0.41	0.70	1.23	1.03	0.04					
		30cm 垂直	1.77	1.70	2.40	0.00	2.31	0.00	2.33	0.00	2.00	0.00	2.13	0.02	2.39	0.10	1.64	1.95	2.11	0.44					
21	振動ローラ (1200vpm) 1km/h (6.7 t) 3 km/h	10cm 垂直	1.72	2.27	3.07	3.44	3.30	3.26	3.29	3.05	3.29	3.20	3.08	2.74	3.18	3.03	3.13	2.93	3.13	2.93			40	砂質	土研
		10cm 垂直	1.55	2.26	3.22	4.08	1.18	3.98	4.03	4.15	3.83	4.33	3.58	3.63	3.53	3.83	3.68	—	3.49	3.73					
		10cm 水平	0.20	0.22	0.45	0.66	1.53	0.61	0.64	0.77	0.66	0.84	0.64	0.89	0.82	0.96	0.91	—	1.00	0.89					
		20cm 垂直	1.11	1.11	2.02	2.37	2.48	2.37	2.07	2.83	2.04	2.65	2.18	2.65	2.00	2.32	2.37	2.28	2.14	2.69					
		40cm 垂直	0.59	0.68	1.09	1.23	1.29	1.44	1.20	1.39	1.29	1.39	1.20	1.48	1.39	1.48	1.24	1.48	1.34	1.44					
		10cm 垂直	2.00	2.79	1.65	3.12	3.02	3.16	0.64	3.10	3.05	2.95	3.24	3.34	3.24	3.19	3.19	3.29	2.93	3.19					
		5km/h 垂直																							
22	振動ローラ (3km/h) 1200vpm (6.7 t) 1700 vpm 2200 vpm	10cm 垂直	2.15	2.82	2.37	3.28	3.07	2.87	3.03	2.63	—	3.84	4.70	3.05	5.05	3.99	3.93	4.40	4.11	4.23			40	砂質	土研
		10cm 垂直	1.69	2.67	2.74	2.92	2.81	3.07	3.14	2.87	2.38	3.46	2.67	3.50	3.56	3.03	3.80	3.74	3.44	3.09					
		10cm 垂直	1.67	1.50	1.63	1.84	1.34	1.38	1.57	1.74	1.10	2.84	1.54	2.31	1.95	2.72	1.33	2.54	2.04	2.54					
		10cm 垂直																							
		10cm 水平	—	—	0.44	0.60	0.39	0.46	0.44	0.44	0.46	0.52	0.63	0.78	0.50	0.78	0.43	0.78	0.61	0.93					

単位 (kg/cm²) * 静止時の最大値を示す。

試験 ケースNo.	伝圧機械	表面より の深さ	単位 (kg/cm ²) * 静止時の最大値を示す。																含水比 ω (ω_{opt})	γ_{dmax}	まき厚	土質	場所		
			初伝圧1	初伝圧2	伝		圧		回		数														
	2200vpm	20cm 垂直	1.11	1.32	1.94	2.11	0.63	1.35	2.51	2.74	1.94	1.59	2.76	3.36	2.59	3.02	(0.82)	3.28	2.80	3.02					
	"	40cm 垂直	3.15	5.04	1.05	1.29	0.81	1.73	1.20	1.37	1.10	3.26	1.84	2.20	1.63	2.20	1.74	2.30	1.69	2.25					
23	トラクターショベル 17.3t(3km/cm ²)	10cm 垂直			3.37	1.54	3.51	2.03	2.68	2.03	2.74	1.59	1.37	1.31	1.75	1.04	1.26	1.86	1.10	1.10*		60cm	砂質 ローム	土研	
		10cm 水平			1.15	1.03	1.22	1.16	1.08	1.00	1.04	1.00	1.06	1.06	1.06	1.14	1.08	0.97	0.94	0.76*					
		20cm 垂直			1.85	1.66	2.03	1.68	2.28	1.82	1.89	1.63	1.45	0.96	1.05	1.53	1.05	1.23	1.18	0.70*					
		40cm 垂直			0.87	0.97	0.59	0.89	1.06	1.23	1.14	1.23	1.15	1.25	1.29	1.58	1.29	1.55	1.32	1.21*					
		60cm 垂直			0.50	0.55	0.44	0.62	0.55	0.67	0.59	0.72	0.63	0.82	0.63	0.77	0.63	0.63	0.67	0.53					
	(5km/cm ²)	10cm 垂直			2.76	1.89	2.46	2.21	2.08	1.04	3.51	2.08	1.46	1.25	2.00	1.25	2.60	1.03	1.03	1.14					
24	ブルドーザ 16t	10cm 水平			0.67	0.78	0.55	0.60	0.29	0.78	0.60	0.92	0.25	0.94	0.66	0.82	0.83	0.94	1.05			60cm	砂	東北	
		10cm 垂直			2.37	2.87	1.01	2.34	4.74	3.81	1.73	3.99	0.20	2.01	2.99	4.03	1.17	1.37	1.95						
		20cm 垂直			1.52	1.76	1.09	1.34	0.42	1.79	1.90	1.32	0.72	2.76	2.48	2.48	3.03	3.75	2.10						
		40cm 垂直			1.03	0.99	1.53	1.21	0.58	1.57	1.44	1.72	0.28	1.70	1.51	1.60	1.86	1.48	1.86						
		60cm 垂直			0.75	0.93	0.91	0.79	0.83	0.98	0.87	0.79	0.64	1.08	1.02	0.93	0.95	0.91	0.82						
25	ブルドーザ 23.8t	10cm 水平			0.85	1.55	1.46	1.52	0.94	1.30	2.60	1.12	1.12	0.52	1.28	0.36	0.09	0.31	0.57			60cm	砂	東北	
		10cm 垂直			1.77	4.25	0.96	0.92	0.52	5.16	3.10	2.93	2.24	0	5.88	0	0.86	0.17	0.86						
		20cm 垂直			1.68	2.84	3.27	2.66	2.68	2.83	2.68	3.19	2.70	1.53	2.76	0.23	1.26	0.29	1.94						
		40cm 垂直			1.76	2.13	2.56	2.91	1.42	2.83	2.20	2.20	2.43	1.13	2.75	0.65	1.46	0.29	1.29						
		60cm 垂直			1.19	1.53	0.95	0.84	1.39	1.84	2.20	1.49	1.38	0.72	1.79	0.72	1.33	0.50	1.33						

[illegible]