

乾燥密度増加による強度の減少について

吉 田 勲*

I. 緒 言

筆者ら¹⁾は水田地盤表面上でコンバイン、トラクタおよびブルドーザなどの農用車両を連続走行させ(1~50回)、車両の各回走行前後にわだち表面下の表層セン断強度、コーン指数、CBR値および乾燥密度の測定を行なった。なお、JIS法に従って、土性を調べた結果、試験地の土は粘土分20.5%(粒径<0.005mm)、シルト分49.5%(0.005~0.074mm)、および、砂分30%(0.074~2mm)で、三角座標分類では粘土質ロームとなり、液性限界、塑性限界はそれぞれ48.8%、29.1%であり、比重は2.627であった。これらの資料を整理した結果、車両走行回数の増加に伴い乾燥密度は増すのに、表層セン断強度、CBR値、コーン指数などの土の強度は減少するという事例に遭遇した。乾燥密度の増加は一般に土の強度を増加させると考えられ、上記の現象は一見したところ矛盾しているように思われる。Foster²⁾はシルト質粘土(液性限界38%、塑性指数13%)地盤上に飛行場を作るにあたり、車両走行試験を行ない、車両走行回数の増加とともに、わだち面下の乾燥密度は増加するがCBR値は減少するという結果を得た。彼はこの現象の原因を追究するために室内にて突固めた試料土で試験を行ないその結果、この現象の原因は最適含水比よりも高い含水比の時に発生するであろう間げき水圧に起因すると結論した。そこで、筆者はこの現象がシルト質粘土以外の土にもいえるかどうか粘土質ローム、砂質粘土ローム、砂質ロームについて、Fosterの手順に準じて、乾燥密度とコーン指数、一軸圧縮強度との関係を調べた。

II. 実験方法

実験に使用した試料土の番号とその土の粒径分布、比重、アッターベルグ限界などを表-1に記す。上記の試料土をJIS 1210:1969規定の突固め試験用器具を用いて、各層をランマー落下回数 $N=5$ で3層5回の突固めを行ない湿潤密度を求める。次に試料の入ったモールドに先端角 30° 、断面積 3.2cm^2 のコーンを 1cm/sec で貫入しモールド高の $1/2$ の点のコーン指数(Ic_3)を求める。同一

含水比の試料を用いて、同じ落下回数で突固め、試料土を押しだし、一軸圧縮試験用の供試体(直径約 4cm 、高さ 10cm)を作り、ヒズミ速度 $1\%/\text{min}$ で一軸圧縮試験を行なった。この操作を同一含水比の土に対し各層につきランマー落下回数 $N=25$ 、50回の3層の締固めを行ないさらに含水比を数回変えて同様の試験を繰り返した。現地試験ではCBR、表層セン断試験などを行なったが、室内にては、これらの試験の供試体を作るのが困難であるため、上記2試験に代って一軸圧縮試験を採用した。

III. 実験結果と考察

実験より得た含水比—乾燥密度の関係、含水比—一軸圧縮強度、および含水比—コーン指数の関係を図-1~4の(a)(b)(c)にそれぞれ示す。低含水比で突固めた土は硬くてコーン貫入が不能であったり、一軸圧縮試験用供試体の

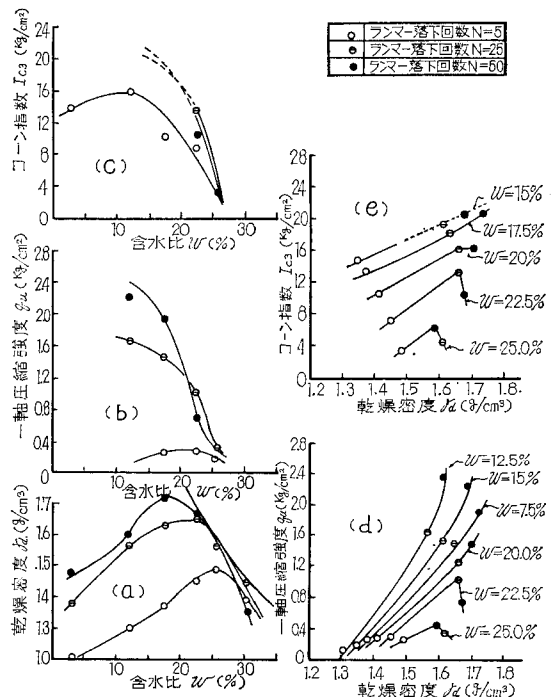


図-1 含水比が一軸圧縮強度、コーン指数に及ぼす影響 (試料土番号—1 粘土質ローム)

*九州大学農学部 1971.7.2. 受理

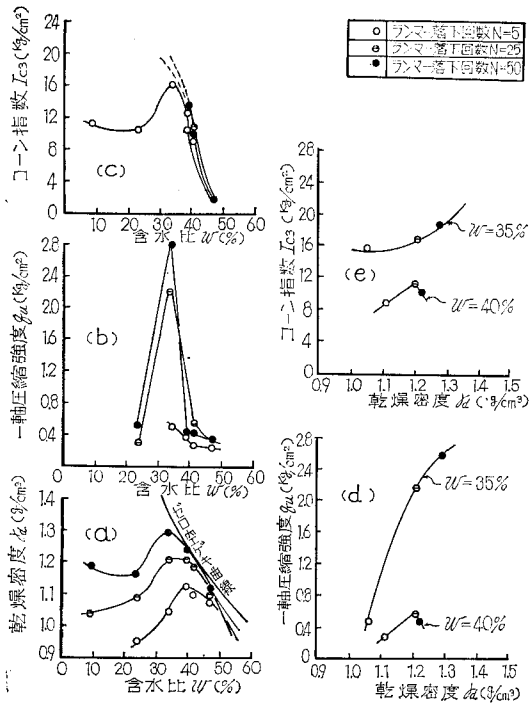


図-2 含水比が一軸圧縮強度，コーン指数に及ぼす影響 (試料土番号-2 粘土質ローム)

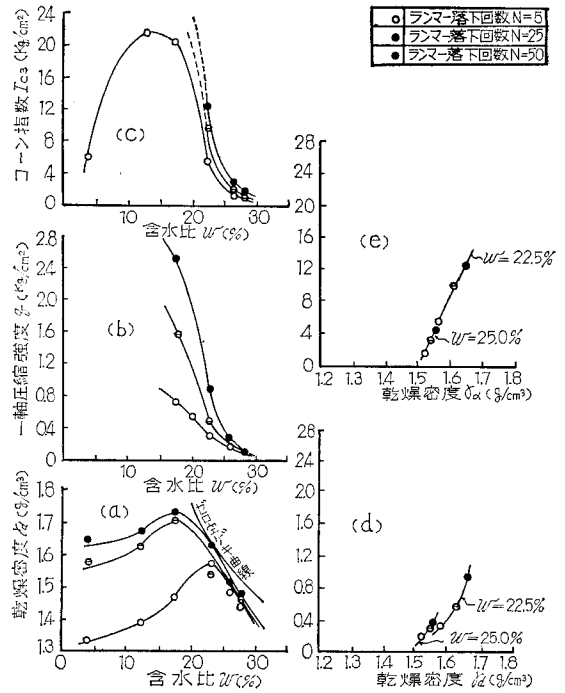


図-4 含水比が一軸圧縮強度，コーン指数に及ぼす影響 (試料土番号-4 砂質粘土ローム)

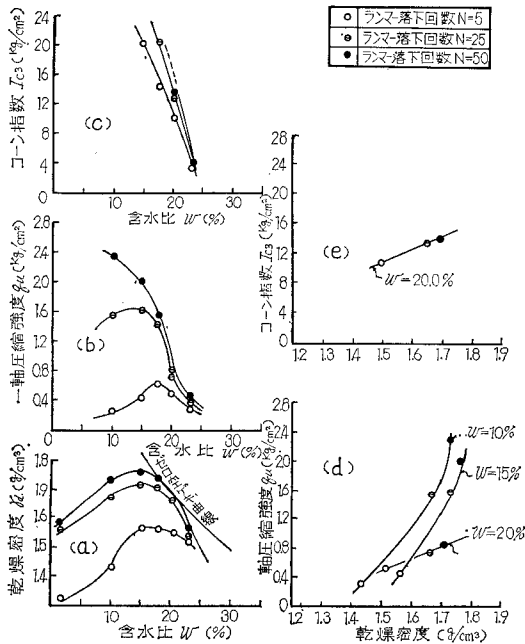


図-3 含水比が一軸圧縮強度，コーン指数に及ぼす影響 (試料土番号-3 砂質ローム)

作成が困難な場合が多くランマー落下回数が増せばさらにこのケースが増した。

1. 突固め回数と最大乾燥密度，最適含水比の関係

突固め回数 $N = 5, 25, 50$ に対する最大乾燥密度と最適含水比を各試料ごとに、図-1(a)~図-4(a)から求めてその結果を表-2に示す。表-2より試料番号1, 2の粘土質ロームでは突固め回数が増すにつれて最適含水比は減少し、最大乾燥密度は増大している。しかし、同じ粘土質ロームでも、両者の最適含水比、最大乾燥密度には大きい差がある。これは試料番号1の土は水田土であり、試料番号2の土は福岡市春日原の火山灰土(黒ボク)であり、同じ粘土質ロームでも前者は沖積土、後者は火山灰土(低密度で吸水性などの特性がある)と成因が異なることが突固め最大乾燥密度と最適含水比の大きい差を与える最大の原因であると思われる。他方試料番号3, 4の砂質ローム, 砂質粘土ロームの場合、突固め回数が $N = 5$ から $N = 25$ に増した場合、最大乾燥密度は両試料ともに $0.15\text{g}/\text{cm}^3$ 増し、最適含水比は砂質ロームで 0.8% 、砂質粘土ロームでは 5% 減少している。突固め回数が $N = 50$ になると最適含水比、最大乾燥密度とも $N = 25$ のそれらと大差がなかった。

2. 乾燥密度増加による強度の減少

最初に乾燥密度と一軸圧縮強度の関係を調べる。図-1粘土質ロームについて見ると、(a), (b)を用いて含水比一定時の密度とこの含水比に対応する一軸圧縮強度との

表一 試料土の諸性質

試料土番号	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	砂分 (%)	シルト分 (%)	粘土分 (%)	比重	土性区分
1 (水田土)	44.0	30.3	45	26	29	2.598	粘土質ローム (壤土)
2 (火山灰土)	58.0	41.4	45	34	21	2.552	粘土質ローム (砂壤土)
3 (畑土)	33.3	27.1	70	19	11	2.648	砂質ローム (砂土)
4 (山土)	45.5	23.7	51	25	24	2.683	砂質粘土ローム (砂壤土)

()内は日本農学会法による土性区分

関係を各含水比に対して図示したのが図(d)である。この図より含水比 $W=12.5\% \sim 20.0\%$ の間では乾燥密度の増加とともに一軸圧縮強度は増大していることがわかる。しかし、含水比が JIS 規定の突固め試験で求めた ($N=25$ 回) 最適含水比よりも高い 22.5% 以上になると乾燥密度が増しても一軸圧縮強度は減少している。試料番号2の粘土質ロームでも(図一2(d)), 図一1の場合と同様に最適含水比よりも高い含水比で乾燥密度増加に対して一軸圧縮強度の減少がおきている。試料土番号3, 4の砂質ローム, 砂質粘土ロームについても同様の操作を行ない検討した結果(図一3, 4(d)), 実験範囲内の含水比では、乾燥密度の増加とともに一軸圧縮強度は増大し、乾燥密度増加による強度の減少はおこらなかった。次に乾燥密度増加とコーン指数の関係を調べる。図一1(e)は同図の(a), (c)図から、乾燥密度へ一軸圧縮強度の関係を示す図(d)を求めたと同様の方法で求めたもので乾燥密度とコーン指数の関係を任意の含水比について示したものである。この図より含水比が 20% 以下では乾燥密度の増加とともにコーン指数も増大し、 22.5% 以上では乾燥密度は増加するのにコーン指数は減少し、これは、まったく乾燥密度と一軸圧縮強度との関係と一致していた。試料番号2, 3, 4の場合も乾燥密度と一軸圧縮強度との関係と一致している。以上をまとめると粘土質ロームの場合、突固め最適含水比を越える高い含水比では乾燥密度は増加しても一軸圧縮強度、コーン指数は増加せずに減少する。他方、試料番号3, 4の砂質ローム, 砂質粘土ロームでは本実験範囲内の含水比において乾燥密度の増加とともに一軸圧縮強度、コーン指数は増大した。この原因として、高含水比において発生する間げき水圧説とLambe³⁾ や Seed^{4), 5)} らによる粒子配向説とが考えられる。前者は粘性土では含水比がある値以上に高くなると土の間げきは水で飽和し、試験中に間げき水圧が発生すると考えるもので、砂質土(ここでは砂質粘土ローム, 砂質ローム)で乾燥密度増加による土の強度の減少がおこらないのは強度試験速度よりも間げき水圧の消散速度が早いためである。Lambe らは土の強度を説明するに

表二 突固め回数と最適含水比, 最大乾燥密度の関係

試料土の番号	ランマー落下回数	最適含水比 $W_{opt}(\%)$	最大乾燥密度 $rd. \max (g/cm^3)$
1	5	25.2	1.49
	25	21.0	1.65
	50	17.8	1.72
2	5	40.0	1.12
	25	36.0	1.22
	50	32.5	1.29
3	5	15.8	1.57
	25	15.0	1.72
	50	15.0	1.77
4	5	22.8	1.56
	25	17.8	1.71
	50	18.8	1.72

あたり粒子の模式図を用いて、粒子の配向説を強く主張しているようである。そこで筆者は試料土の薄片を作成して、偏光顕微鏡によって土の配向を観察したが、本実験の試料土の土粒子の形状は彼らの主張するように細長くもなく、粒子配向説をうらずけるに十分の証拠は得られなかった。もちろん、強度試験中、試料土内に発生する間げき水圧を測定していないので間げき水圧発生説にも実験的証明はあたえられない。車両走行により土の構造が変化し、配向のおこるのは想像できるけれども、粒子の配向の因子を土の強度の表現式に入れることが無理な現状から、筆者は間げき水圧の発生がこの現象の大きい因子であると考えたい。

IV. 結 語

現地実験にて乾燥密度増加によるコーン指数などの強度減少という事例に遭遇し、この問題追究のために実験室内において突固めた試料土について、Fosterの手順に準じて実験を行ない以下のような結果を得た。粘土質ロームでは最適含水比よりも高い含水比で、乾燥密度増加に対しコーン指数、一軸圧縮強度の減少が見られ、他方砂質粘土ローム、砂質ロームではこの現象はみられず、本実験の範囲内では乾燥密度の増加とともに土の強度は増大した。この原因として、粘質土の高含水比において発生する間きき水圧発生説と粒子配向説とがあるが、筆者は間きき水圧発生により、主としてこの現象が起きたと考えたい。

引 用 文 献

- 1) 藤川武信他4名：農作業車両の走行による水田地盤の挙動について、土質理工研報，11号 p. 34～37 (1967)
- 2) Charles R. Foster : Reduction in Soil Strength With Increase In Density, Transactions American Society of Civil Engineers, Vol. 1, pp. 803—815, (1955)
- 3) T. Willam Lambe : The Engineering Behavior of Compacted Clay, J. of The Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol. 84, No. SM2, pp. 1—35, (1958)
- 4) H. B. Seed and C. K. Chan : Structure and Strength Characteristics of Compacted Clays, J. of The Soil Mechanics and Foundation Division, Vol. 85 No. SM 5, pp. 87—128, (1959)
- 5) H. B. Seed, an R. L. Mcheill and J. De Guenin : Increased Resistance to Deformation of Clay Caused by Repeated Loading, J. of The Soil Mechanics and Foundation Division, Vol. 84, No. SM 2, pp. 1—28, (1958)

1) 藤川武信他4名：農作業車両の走行による水田地盤の