

車両踏圧による土壤沈下量の実験的測定 —含水率と沈下量の関係—

山田健・遠藤利明（森林総研）

Abstract : Value of soil sinkage depth caused by the ground pressure of vehicles is appropriate index of soil compaction because of its logarithmic relation to the number of pressed times. We did soil compaction experiments using a hydraulic vibrator to know relation between soil sinkage depth and soil water contents. Soil water contents were set 7 steps from less than Atterberg's shrinkage limit to more than Atterberg's plastic limit. The hydraulic vibrator presses the soil for 100 times, of which each press was simulating the ground pressure wave of an excavator measured beforehand. We measured transition of soil sinkage depth depending on pressed times. The results show that there is certain value of soil water contents on which sinkage becomes minimal. We also found that sinkage becomes very large while soil water contents are between the liquid limit and the plastic limit because soil flows out from pressed area to side being liquefied by pressure. While soil water contents are less than the plastic limit, sinkage is caused only by soil compaction.

Keywords : forest machinery, forest vehicle, soil compaction, consistency, ground pressure

要旨：車両踏圧による土壤の沈下量は、踏圧を加えた回数と対数関数的関係にあるため、締固めの指標として適切であると考えられる。土壤の沈下量と含水率の関係を把握するため、含水率を段階的に変えて、油圧加振機による締固め試験を行った。供試土壤のアッターベルク限界を測定して、収縮限界よりも低い値から塑性限界よりも高い値まで7段階に含水率を設定し、バックホー走行時の踏圧波形を100回繰返し加圧した。沈下量を測定してその推移を解析したところ、沈下量が極小となるような含水率が存在することが判明した。また、含水率が液性限界と塑性限界の間にあるとき土壤が流動化し、加圧されている部分から側方に移動して沈下量が非常に大きくなる現象が見られた。液性限界以下の含水率でも、加圧により土壤が流動化があると考えられた。塑性限界以下の含水率では、沈下は締固めのみによって生じるものと推測された。

キーワード：林業機械、林業用車両、締固め、コンシステンシー、踏圧

I はじめに

森林作業のもたらす環境インパクトのうち、林業用車両の踏圧による土壤の締固めは、林地の生産性や公益的機能に大きく影響を及ぼす点で重要である。土壤の締固めの度合いと土壤の理学性や車両の走行条件などの要因の関係は、これまで実際の車両を用いた現地試験により研究されてきたが、環境要因のばらつきが原因となって明確になりにくいため、より条件をコントロールできる室内での締固め試験を行っている。日本森林学会関東支部57回大会にて、油圧加振機を用いた土壤締固め試験装置の概要と、予備試験結果について報告した。密度や貫入抵抗と同様、沈下量と加圧回数との間には、加圧回数が増すに従って沈下量も増加するが、増加率は遞減していく対数関数的関係にあることが示され、土壤の沈下量は締固めの度合いの指標として適切であると考えられた(3)。ここでは、土壤のコンシステンシーが締固めに

及ぼす影響について検討するために、供試土壤の含水率を段階的に設定し、前回と同じ方法で締固め試験を行ってその結果を解析した。

II 試験方法

構内土質別走行試験路から採取し、含水率を調整した砂質壤土を透明土槽に充填し、あらかじめ測定したバックホーの走行踏圧を、油圧加振機と波形出力装置からなる土壤締固め試験装置により約20秒間隔で100回繰返し加圧した。供試土壤の粒径分布、試験装置の制御方法や信号の流れなどは、(3)に詳細に報告した。加圧ごとに同期信号により土槽をデジタルカメラで撮影し、画像をコンピュータ上で読み取って沈下量を測定した。すでに加圧回数と沈下量が対数関数的関係にあることが判明しているので、加圧回数の対数が等間隔に近くなるように、0, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 50, 100回について測定

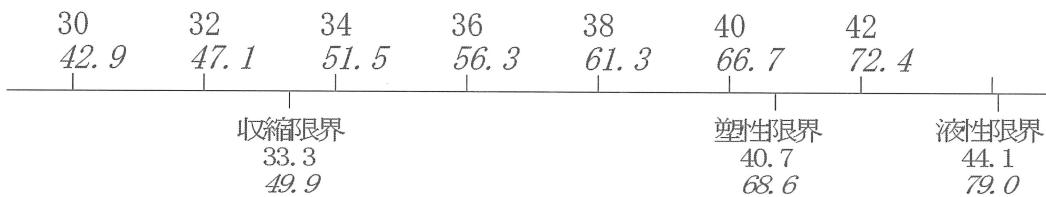


図-1 供試土壤の設定含水率とアッターベルク限界
(正立体はウェットベース含水率, 斜体はドライベース含水比)

を行った。土槽内の土壤には深さ50mmごとにマーキングをしたので、各層位の沈下量を知ることができる。画像をCAD上に読み込んで50mmメッシュの格子を重ね、格子の縦線と各層位のマーカの交点の座標を画像上で測定して記録した。

本試験に先立って、加圧時の土壤の沈下量と、締固めの指標として認知されている密度の関係を求めるため、以下のような予備試験を行った。土槽に充填した土壤に50mm角の正方格子のマーカを設け、本試験と同様の方法で加圧した。締固めに伴う正方格子の面積の減少量から密度を計算し、同時に測定した沈下量と比較した。その結果、加圧ごとの密度と沈下量の間には高い相関が見られ、沈下量を締固めの指標とすることの妥当性が確認できた。

供試土壤についてあらかじめアッターベルク限界を測定したところ、各測定値は図-1のようになった。自然状態の森林土壤の含水率は、土質にもよるが、おおむね塑性限界と収縮限界の間にあると考えられる。試験時には、土壤の含水率と沈下量の関係を把握するために、含水率を収縮限界よりも低い30%～塑性限界よりも高い42%（ウェットベース）の間で2%おきに設定した（図-1）。土壤の充填密度は含水率40%時に1.00とし、すべての含水率において絶乾密度が等しくなるように(0.60)設定した。なお、土質を表すときには一般的にドライベースの含水比が用いられるが、これまで土壤学で一般に用いられるウェットベースの含水率を使用してきたおり、表現を一貫させた方が理解しやすいので、本研究では土質について検討するときにもウェットベース表記を行い、必要に応じて付帯的にドライベース表記(DB)もすることとする。

III 試験結果

含水率ごとの加圧回数と加圧プレート下の表層における沈下量を図-2に示す。いずれの含水率においても、対数関数的関係が得られた。独立変数を変えて、含水率と加圧プレート下の表層における沈下量の関係を図-3に示す。加圧回数にかかわらず上に凸な関係が得られ、沈下量が極小となる含水率が存在することが推測された。そこで、含水率-沈下量曲線を2次関数で回帰したところ、いずれも0.9以上の相関係数を得られ、極値を示す

含水率はいずれも34%台（DB51.5～53.8%）となった。

含水率42%では、沈下量が非常に大きくなり、また加圧回数が増すごとにいつまでも沈下する傾向が見られた。マーカの変位を見ると、プレート下より外側の部分で土壤が盛上がっているのが観察された（図-4）。含水率が低い場合と異なり、土壤が流動してプレート下から側方に逃げることと締固めの双方によって、沈下していると考えられる。含水率40%以下では土壤が流動する現象は見られず、締固めのみにより沈下していると考えられた（図-5）。

IV 考察

踏圧による沈下量が極小となるような含水率があることが、見いだされた。アッターベルク試験結果と比較すると、この含水率は収縮限界よりもやや高い値に当たる（図-1）。一般に、含水比を変えながら土壤の締固め試験を行うと、密度が極大を示すような含水比（最適含水比）が存在するとされるが⁽¹⁾、この結果はそれと合致しない。今回試験を行った含水率は、林地の自然含水率およびアッターベルク限界を意識したため、土質学的な締固め試験を行う領域よりもかなり高かったこと、試験材料とした土壤の粒径分布が比較的特定範囲に偏ったもの（いわゆる粒度が悪い土）であったことなどが関係していると考えられる。

土壤は、含水率が液性限界以上のときは、間隙水圧が土壤粒子の凝集力を上回って液状化し、流動することが知られている。また、水分で飽和した砂は、繰返し動的荷重をかけることにより液状化するという実験結果が報告されているが、これは荷重により体積が減少して間隙水圧が上昇することによる⁽²⁾。今回の試験では、液性限界以下でも踏圧をかけることにより土壤が流動化する現象が見られたが、これは加圧による間隙水圧の上昇に起因すると考えられる。塑性限界を下回る含水率では、流動化は見られなかった。加圧回数を重ねた場合には、締固めによる土壤の沈下がゼロ孔隙状態に漸近するのに対し、流動化による沈下は際限なく進行すると考えられる。加圧による流動化が、液性限界より低く塑性限界より高い含水率で見られたことが、一般的現象なのかどうか、土質や踏圧を変えてさらに実験を重ねて検討する必要がある。土壤が流動化する可能性がある含水率におい

ては、沈下量を締固めの指標とすることはできない。

V おわりに

轍の深さを測定することは、土壤の密度や貫入抵抗を測定することと比較して容易である。含水率が一定以下であれば、踏圧による沈下量は、現場で締固めの度合いを簡便に知る指標とすることができます。また、土壤含水率が塑性限界以上かどうか、比較的容易に現場で試験することができるため、塑性限界が踏圧による土壤の流動化の限界点であるとすれば、踏圧による沈下が一定以上進行するかどうかの現場での判定が容易であることになる。

今後、土質、加圧条件等を変えて実験を重ね、今回得られた知見がより広範に適用できるものかどうか、検討してゆきたい。

引用文献

- (1) 土質工学会 (1985) 土質試験法, 5-1-18~19, 土質工学会, 東京
- (2) 杉山昇 (1982) 建設機械と土の諸問題, 61~62, 鹿島出版会, 東京
- (3) 山田健・遠藤利明 (2006) 車両踏圧による土壤沈下量の実験的測定, 日林関東支論57:77~78

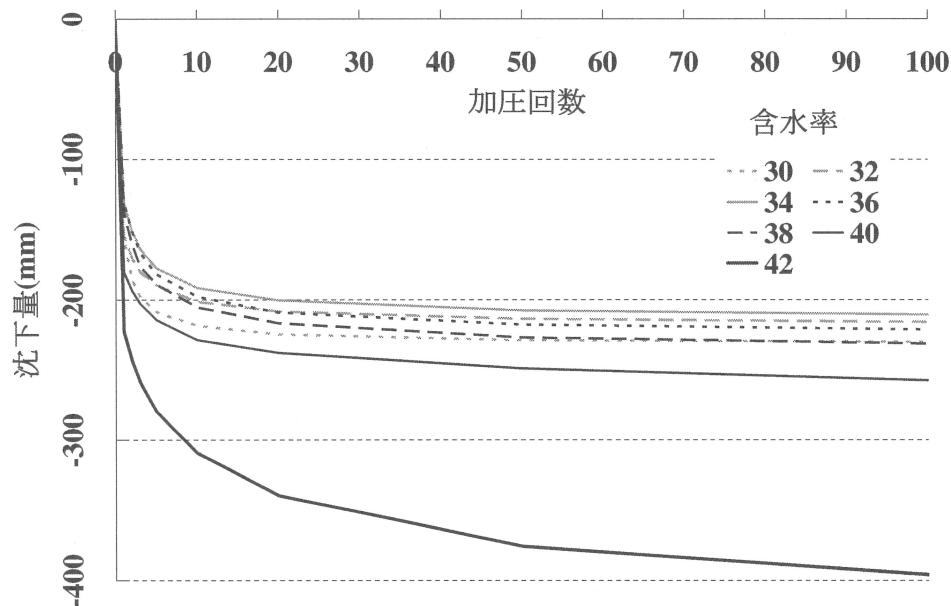


図-2 加圧回数と表層の沈下量

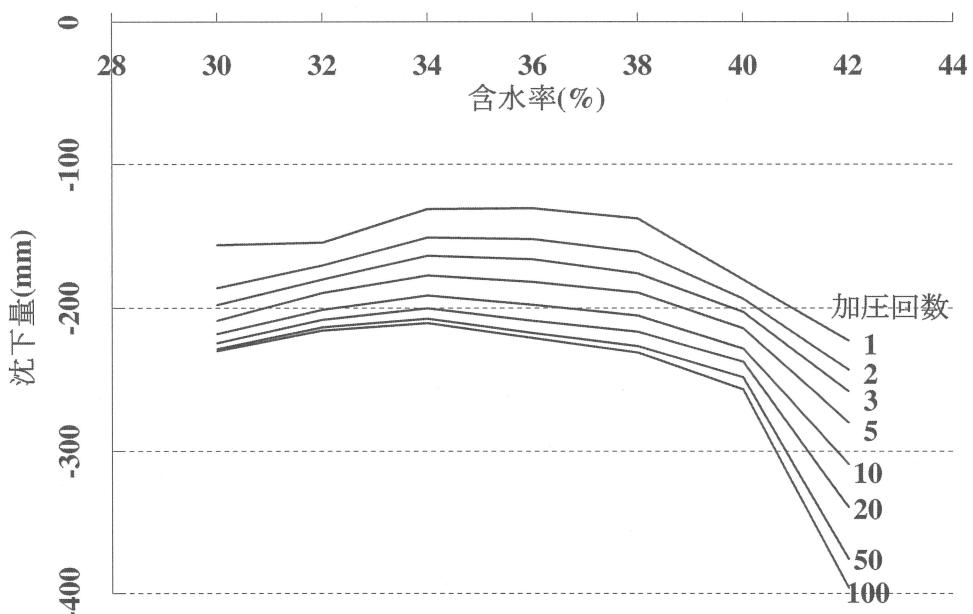


図-3 含水率と表層の沈下量

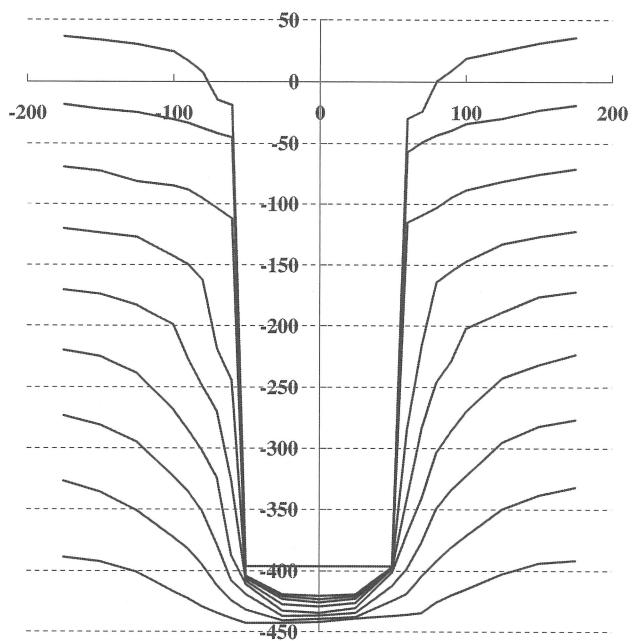


図-4 含水率42%（DB72.4%）時の各層の変位

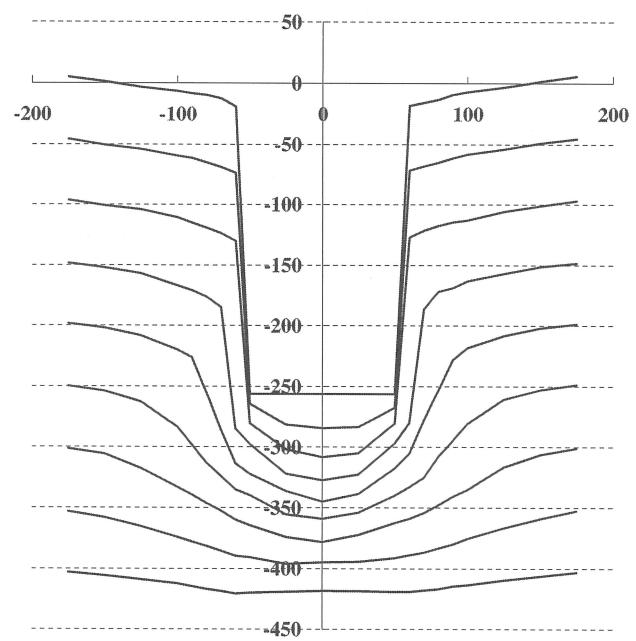


図-5 含水率40%（DB66.7%）時の各層の変位