

土の締固めについて

九州大学

内田 一郎

1. 締固めの必要について.

土は道路や堤防, アースダムなどの材料として, また構造物の基礎として我々の仕事に極めて密接な關係を有するものである. この土の性質を改良して我々の目指す目的にかなうようにするためには, 例えは次のような色々な方法がとられる.

a). 締固め, b). セメント, 石灰などを混合, c). 珪酸ソーダ,

塩化カルシウムなどを混合, d). 粒度調整, e). 脱水, など.

これらの方法の内締固めは昔から用いられている方法であり, 一般に最も経済的に行われる可能性が大きい. 締固めの効果としては次の三つが考えられる.

a). 締固めによつて土粒子間の間隔をせきめ, 摩擦力及び粘着力を増加させる. 従つて荷重に対する支持力や沁りに対する抵抗などが增大する.

b). 圧縮性が小さくなり, 従つて以後における沈下が少い.

c). 吸水性及び透水性が小さくなる.

2. 締固めの方法.

締固め方法をその力の與え方によつて分けると次の三つに分けられる.

a). 圧力, b). 衝撃 c). 振動

ある締固め方法は例えは衝撃のみによるというように, たゞ一種の力の

みに基固させることは困難で、これらの3種の力が相助け合つて締固めを促進させている。しかし締固めの方法を区分すると大体次のように考えてよからう。

圧力---- フラットローラー (タンダム、マカダム)、タンピングローラー (シープスフートローラー)、ニューマテックタイヤローラー、トラクター、交通荷重、静荷重など。

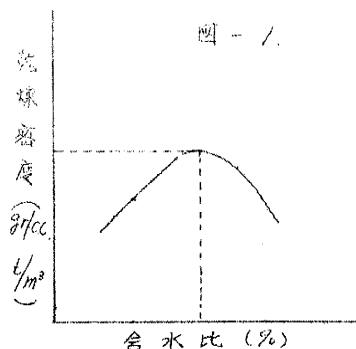
衝撃---- ランマ、杵、タンピングローラー (シープスフートローラー)、振動式手動ローラー。

振動---- バイブレーター、振動式手動ローラー。

3. 締固めに対する土の性質

土を乾かして締固めた場合と、ある程度湿らして締固めた場合とでは、その締固め方法は同じでも締固まり具合が異なることは誰でも気付いていることである。即ち締固めの難易に土の有する水量即ち含水量が大きい関係を有しており、ある一定の土に対しては、ある含水量の時に最も締固めが容易である。

締固めの程度をあらわすには、通常乾燥密度を使用する。この乾燥密度を縦軸に、含水量を横軸にとつて図を画くと、図-1のようにある含水量の所で最大の乾燥密度が得られ、この含水量より大きい含水量の時にまた小さい含水量の時に乾燥密度は小さくなっている。



この最大乾燥密度 (Maximum dry density) の得られる時の含水量を最適含水量 (Optimum moisture content) という。

この最適含水量及び最大乾燥密度は通常実験室内で決めて、現場において使用

すべき水量の基準を與えている。その試験方法は我が国においては「JIS A 1210 土の突固め試験方法」で決めてある。JIS の方法は A.S.T.M. の方法を取り入れたもので、現在我が国及び米英で用いられてゐる主なる方法をあげれば次の通りである。

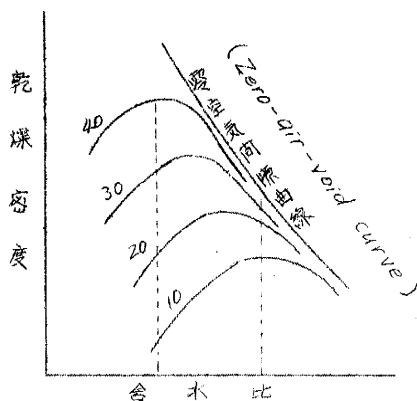
方 法	JIS	B.S., A.S.T.M. AASHO	同效果の方法	Modified AASHO	同效果の方法
ランマ重量	2.5 kg	$5\frac{1}{2}$ lb.	10 lb.	10 lb.	10 lb.
落 下 高	30 cm	12"	$6\frac{1}{2}$ "	18"	18"
層 数	3	3	3	5	7
突固め回数	25	25	25	25	55
モールドの径	10 cm	4"	4"	4"	6"
モールドの高さ	12.7 cm	4.59"	4.59"	4.59"	6"
モールドの容積	1000 cc	$\frac{1}{30}$ ft ³	$\frac{1}{30}$ ft ³	$\frac{1}{30}$ ft ³	$\frac{1}{10.2}$ ft ³
突固め仕事	$5.625 \frac{\text{cm} \cdot \text{kg}}{\text{cm}^3}$	$12375 \frac{\text{ft} \cdot \text{lb}}{\text{ft}^3}$	$12546 \frac{\text{ft} \cdot \text{lb}}{\text{ft}^3}$	$56250 \frac{\text{ft} \cdot \text{lb}}{\text{ft}^3}$	$58805 \frac{\text{ft} \cdot \text{lb}}{\text{ft}^3}$

突固め仕事 (Compactive effort) というのは次式で計算されるものである。

$$\text{突固め仕事} = \frac{\text{ランマ重量} \times \text{落下高} \times \text{突固め回数} \times \text{層数}}{\text{容 積}}$$

この突固め仕事が同じならば同一の土に対しては大体同じ最適含水比及び最大乾燥密度が得られるようである。また一般に砂質の土においては最大乾燥密度は大きく最適含水比は小さく、粘土質の土においてはその逆のようである。

次にある土に対して突固め回数だけを変えて突固め試験を行つてみる。すると、図-2 のように突固め回数の増加につれて、最適含水比は減少し最大乾燥密度は増加する。このことは現場の締固めの場合においても同様なことが云え、締固めが充分行われる時には含水量は少くてもよく、充分行われない時には含水量が比較的多い方がよい。また図-2 よりわかるように

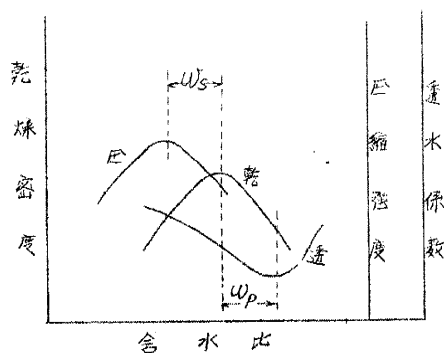


四 - 2

松尾教授が以前箱の中に砂を入れ、振動実験を行われ、その結果砂の沈下が最大加速度に比例するという結論を出されている。この実験の結果をそのまま締固めに適用することは少し早計のようであるが、大体の砂の振動に対する性質として最大加速度の大きい程締固めがよく行われると考えてよからう。最大加速度は振幅に比例し、週期の2乗に逆比例するから、結局、振幅の大きい程、また週期の小さい程、即ち振動数の大きい程振動の締固めに対する効果は大であらう。

次に最適含水比で締固めて得られた最大乾燥密度において、土の性質が最良であるかどうかについて考えてみる。一般的な傾向としては、図-3の

四 - 3



突固め回数の多少の影響は含水比の少ない時に顕著にあらわれている。

振動によつて土の締固めがうまく行われる場合のあることは我々のよく経験する所であるが、振動と締固めとの間のはつきりした関係を出した実験は未だないようである。

ように最大圧縮強度は最適含水比より低い含水比で締固めた時に生じており、最小透水係数は最適含水比より高い含水比で締固めた時に生じている。その最適含水比との差は夫々多くて3%程度のものである。

4. 現場における締固め及び締固め効果の判定方法

締固めに対して土の含水量が極めて大きな影響を與えることは前述のことより明らかであるが、我が国においては、多くの場合土が最適含水比より多くの水を含んでおり、一般になるべく乾燥するようにして使用することが望ましい。また土の種類に応じて締固め方法を変えることが必要である。例えば粘着性の小さい砂質の土に対しては振動を併用して転圧するがよく、粘土質の土に対してはフラットローラーや、ニューマテックタイヤローラー、タンピングローラーのような圧力を加えて行うものがよい、また中間のものに対してはタンピングローラーやランマのような衝撃を加味したものが良いようである。

またどのような機械を用いても、始めの内はその効果が顕著であるが、ある程度締固まつてしまうと、それ以上は仲々締固めが進まない、通常締固め効果をあらわすに乾燥密度を用いてするが、乾燥密度と締固め回数との関係を画くと大体図-4のようになり、締固めの大部分は20回位で終

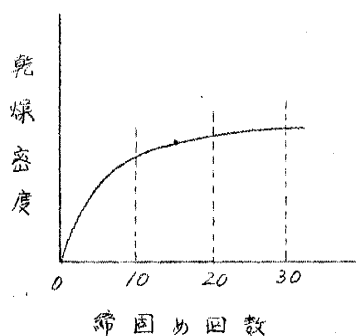


図-4

てしまう。

乾燥密度と締固め回数との関係を示す曲線の形は機械の種類に応じて、また土の種類に応じて種々異なり、はつきり定めることは困難である、粘土質の土においては、必要以上の締固めを行うことは土をこね回してかえつて弱くすることになることもある。なお現場の締固めの場合において、

乾燥密度と含水比との向には図-1のような関係が成立する、また1回の締固め厚さは通常15~30cm、粘土質の土程薄くし、15~20cm位とすることが望ましい。

現場の締固めの程度を判定する方法としては、次のようなものが考えられる。

a). 乾燥密度による方法。

b). 支持力試験による方法。

i). 平板載荷試験 (JIS A 1215)

ii). CBR 試験 (JIS A 1211)

iii). 円錐貫入試験 (静的, 動的)

iv). Proctor needle による貫入試験。

v). 杭の打込試験 など。

c). 締固め作業中の沈下により判定する方法

乾燥密度によつて締固めの程度を判定するには、室内において行った突固め試験の結果と照合して見る必要がある。例えば図-5のように突固め

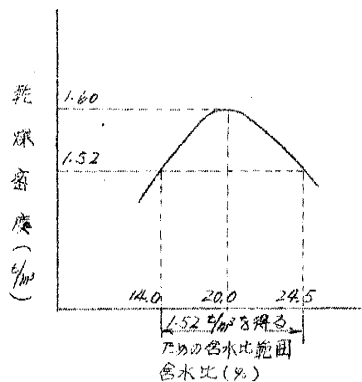


図 - 5

試験の結果、最高乾燥密度 1.60 g/cm^3 だったとする。この 1.60 g/cm^3 という値を基準にして、その何%まで締固まつていなければならぬかということの規定しておけば、現場における締固まり具合が調節できるわけである。通常その%としては 90~100% という値を採用している。

AASHTO ではその試験によつて求めた最

大乾燥密度の大小に応じて次のように%を定めている。

図-5において、もしその要求される締固まり

試験によつて得たる 最大乾燥密度	要求される締固 まりの程度 %
90~99.9 $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	1.44~1.59 $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ 100
100~119.9	1.60~1.91 95
120以上	1.92以上 90

の程度も 95% とすれば 1.52 t/m^3 以上乾燥密度があればよいわけであり、この乾燥密度を得るためには含水比は 14.0~24.5% という相当広い範囲にあつてよく、従つて水の調節が極めて容易となる、但し突固め試験の方法には前に述べたように色々あり、従つて現場において使用する締固め機械あるいは方法に適合した突固め試験を行うことが肝要である。

次に現場密度の測定方法であるが、これは結局現場において孔を掘り、その孔の容積とその中に入つてゐた土の重量を測れば良いわけである。孔の容積を測定する方法としては砂を使用する方法 (JIS A 1214)、水を使用する方法、リングを使用する方法、あるいは風船による方法などある。