

### 33. 振動ローラと突固め試験との対応関係とその利用

京都大学： 畠 昭治郎・建山 和由

#### 1. まえがき

土の締固めは、最も一般的かつ有効な土質改良工法として、古くから数多くの土構造物の造成において利用されてきた。反面、この工法は、経験に頼るところが多く、必ずしも合理的な施工が行われてきたとは言い難い。図-1は、締固めた土の密度と強度との関係を簡易的な原位置強度試験により調べたものである<sup>1)</sup>。この図より、締固めた土の強度は、密度の変化に対して非常に敏感で、密度が10%小さくなると強度は半減してしまう場合もあり、従来のD値管理法に見られるような密度にのみ依存した締固め施工管理法では、十分とはいえない。また、現在の締固め施工では、締固め機械の多様化にともない、標準突固め試験は土の締固め特性の評価、ならびに締固め施工基準の決定に利用されるにとどまり、現場で重機を用いて行われる締固めとの関連も明確でないのが現状である。

本報告では、合理的な締固め施工の考え方について著者の考え方とこれに関する研究の概要を述べる。なお、紙面が限られているため、研究内容について詳細に述べることができない。この部分については、論文の最後に参考文献を載せておくので、それらを参照されたい。

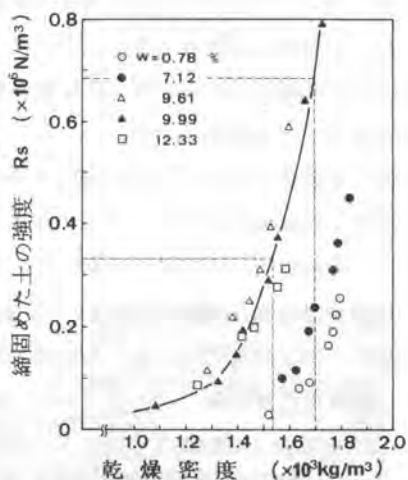


図-1 締固め土の強度と密度の関係

#### 2. 合理的な締固め施工の考え方

図-2に今回、提案する締固め施工のフローチャートを示す。簡単に説明すると、①土構造物の設計から盛土が安定を保つために必要とする締固めた土の強度等の力学特性が決まる。②この強度を満たすためには、土をどこまで締固めなければならないかという締固め施工基準が決まる。③締固め施工基準を達成するためにはどのような締固め施工を行えばよいのか(転圧回数、まき出し厚さ等の施工条件)を室内試験より決定する。④決定した施工条件に従い施工を行う。

図-3は、水浸時の強度低下と体積変化を考慮した締固め施工管理基準であり、図-2のフローチャートでは、②に相当する部分である。この図は、締固めにより造成される土構造物が一般には不飽和の状態にあり、これが施工後、水浸を



図-2 合理的な締固め施工

受けると強度低下、体積変化を引き起し、崩壊等の危険性が高くなることを考慮して作成した基準である。詳細については、述べないが、図の縦軸は締固めた土の間隙比、横軸は、盛土中の対象としている点の土かぶり圧を対数で表現したものである。締固め後の土の状態が図のハッチをほどこした部分に入っていれば、この盛土は、降雨などの水浸を受けても崩壊につながるような体積変化、強度低下を引き起さないというわけである<sup>2)</sup>。図-2のフローチャートに従えば、施工基準が決定されたなら、次にこの基準を達成するための施工法を決定することになる(フローチャート③)。従来、この施工法の決定には、実機を用いた現場試験か経験に頼るところが多かったが、本報告では、室内試験のレベルでこの施工法の決定を行うことにする。以下に、これに関する研究内容の概略を記す。

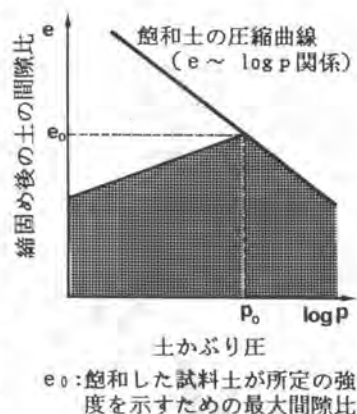


図-3 水浸時挙動を考慮した締固め施工基準

### 3. 現場締固めと突固め試験との対応について<sup>3)</sup>

JIS A 1210 で規定されている標準突固め試験は、ランマ重量、落下高さなどの試験方法が細かく規定されているため、この試験結果から、多様化した現場での締固めに関する情報を得ることは困難である。そこで、ここでは、現場での締固めに合わせて突固め試験の試験条件(ランマ重量、落下高さ等)を変化させ、室内試験により現場での締固めを予測する手法について検討を行うことにする。

いま、現場で用いる締固め機械として、振動ローラを取り上げる。まず、室内突固め試験と振動ローラによる締固めとの対応関係を求めるのであるが、ここでは、1) 振動ローラとランマ重量・落下高さとの対応関係、2) 振動ローラの転圧回数とランマの突固め回数との対応 という2種類の対応関係を考え、それぞれ、個別に検討していく。個々の対応関係の求め方は、18種類の振動ローラに対して行なわれた締固め試験結果と、同じ土を用いて行った突固め試験結果(ランマ重量、落下高さなどの試験条件を変えて実験、1000 cc モールド・3層を適用)を比較し、同程度の締固めが得られるところを対応するとし、両者の対応関係を求める方法によった。このとき、振動ローラの締固めでは、締固め土の密度～転圧回数関係に、また、突固め試験においては、締固め土の密度～突固め回数関係に双曲線近似法を適用することにより、1)、2) 2種の対応関係に分けて議論を行った。

図-4は、この結果得られた振動ローラの動線圧と突固め試験における落下エネルギー(ランマ重量×落下高さ)との対応関係を示したもので、前述の1)の対応関係である。この図より、振動ローラの動線圧とそれに相当するランマの落下エネルギーとは比例することがわかる。この関係を式に表わすと(1)式ようになる。なお、動線圧とは、振動ローラの振動輪荷重と起振力との和を転圧幅で除した値であり、振動ローラ能力を表わす指標の一種である。

$$\text{ランマの落下エネルギー (N・m)} = 0.16 \times \text{振動ローラの動線圧 (kN/m)} \quad (1)$$

対応関係2)の転圧回数と突固め回数との関係についても同様の検討を行ったところ、振動ローラの転圧回数1回にランマの落下3回が対応することが明らかになった。

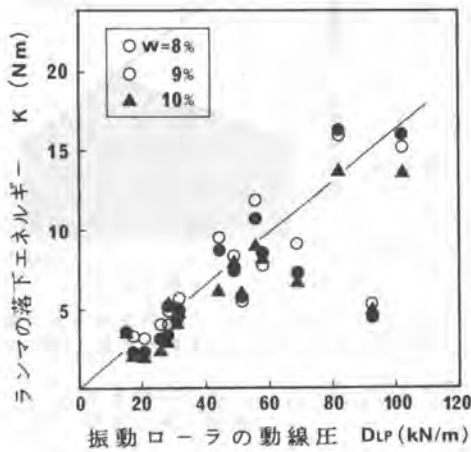


図-4 振動ローラの動線圧とランマの落下エネルギーの対応

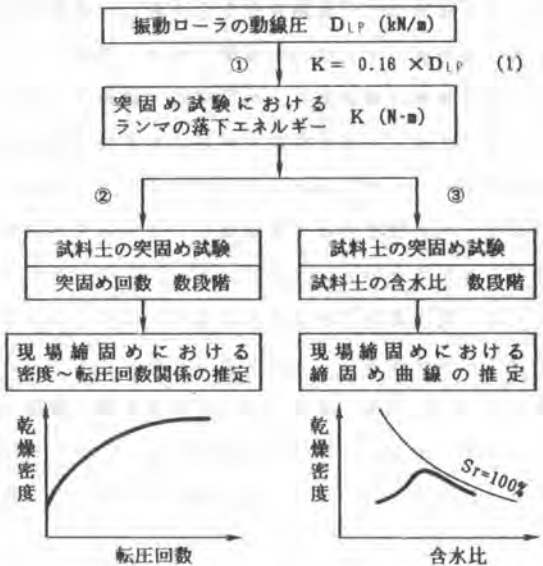


図-5 現場締固めの予測に関するフローチャート

これらの対応関係を利用すると、振動ローラを用いた現場での締固めを室内試験により予測することができる。図-5はこれをフローチャートに表わしたものである。簡単に説明すると、①現場で用いられる振動ローラの動線圧から(1)式により、それに相当するランマの落下エネルギーを求める。②現場での締固め密度～転圧回数関係を予測する場合には、試料土の含水比を一定にして突固め回数を変化させる。ただし、この場合には、振動ローラの転圧1回がランマの落下3回に対応するものとする。③現場で重機を用いた場合の締固め曲線を求めたい場合には、突固め試験における突固め回数を一定にして、試料土の含水比を変化させればよい。

この手法を用いれば、簡単な室内試験の結果から、現場での施工条件を決定することができる。

#### 4. 最適まき出し厚さの簡易的決定方法<sup>4)</sup>

締固め施工において、まき出し厚さの大きさは、施工上、非常に重要な要因である。最適なまき出し厚さの条件としては、1)まき出し層全体にわたって均一な締固めが得られること、2)施工速度を大きくするために、できるだけ大きくとること、という2つの相反する条件を満足しなければならず、その決定に際しては、経験か実機を用いた現場試験に頼っているのが現状である。そこで、ここでは、突固め試験を利用して、簡易的にまき出し厚さを決定する手法について述べる。

まき出し厚さを決定する際には、当然、地中の締固め状況を十分考慮する必要がある。地中の締固め状況は、主に振動ローラの能力と土の締固め特性により決定される。ここでは、土の締固め特性を突固め試験を利用して評価する。具体的には、突固めエネルギーを種々に変えた突固め試験を行い、それにより得られる密度(縦軸)と突固めエネルギー(横軸)との関係をグラフに表わす。次に、このグラフの初期接線勾配の逆数 $\alpha$ を求め、これをその土の締固め特性とする(図-6参照)。

図-7は、前述の振動ローラを用いた締固め試験結果をここで述べた土の締固め指標 $\alpha$ について整理したものである。縦軸は、振動ローラにより締固められた地中の密度分布をもとに『地表面の95%の密度を生じる深さ』を推定したものである。プロットした点の違いは、振動ローラの実験能力の違いを表わしており、動線圧 $D_{LP}$ により大、中、小、3段階の振動ローラに分けてプロットしている。一般に、締固められた地中の密度分布は、地中では、深さとともに減衰するため、最適まき出し厚さを『均一な締固めを得る』という考えから『地表面密度の95%密度を生じる深さ』と定義する。このとき、図-7を用いれば、簡単にまき出し厚さを決定することができる。すなわち、まず、現場で用いられる土に対し、突固めエネルギーを変えた突固め試験を行い、土の締固め特性の指標 $\alpha$ を求める。次に、図-7において、現場で用いる振動ローラの動線圧に相当するクラスの下限值と実験で求めた $\alpha$ の値により、最適まき出し厚さを求めるわけである。

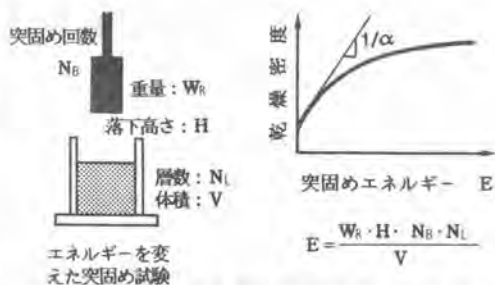


図-6 土の締固め特性 $\alpha$ の求め方

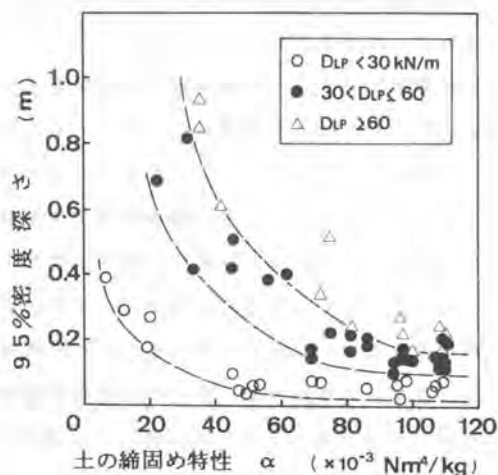


図-7 最適まき出し厚さと $\alpha$ との関係

## 5. おわりに

以上、現在の締固め施工の問題点と提案する合理的な締固め施工について述べてきた。紙面の都合上、十分な説明を行うことができなかつた。詳細については、参考文献を参照されたい。なお、ここで用いた振動ローラの締固め試験結果は、社団法人日本建設機械化協会附属建設機械化研究所より提供を受けたものである。

## 6. 参考文献

- 1) 建山和由、島昭治郎、納多 勝：比偏剛抵抗 $R_s$ による締固め施工管理について、第37回土木学会年次学術講演会議録概要集、1982年
- 2) 島昭治郎、建山和由、藤木直昭：水浸時挙動を考慮した土の締固め施工基準の決定方法について土木学会論文集、第382号、Ⅲ-7、pp.227~235、1987年
- 3) 島昭治郎、建山和由、石澤利昭：振動ローラを用いた現場締固めにおける密度予測に関する研究土木学会論文集、第384号、Ⅲ-4、pp.229~237、1985年
- 4) 島昭治郎、建山和由：締固め施工におけるまき出し厚さの決定方法について、土木学会論文集、第378号、Ⅲ-6、pp.85~91、1986年