

粗粒材地盤転圧締め固めへの面的剛性把握システムの構築 — 加速度計による剛性計測手法の適用試験 —

平尾 秀男 * 宮本 健児*
野口 哲史 ** 新舎 博 ***

要 旨

海上空港などの大規模土工工事では、均質な良質土を使用できることはまれで、低コストで調達できることから、転石混じりの粗粒材地盤材料を路床として使用することが多い。粗粒系の材料は転圧締め固めの過程で、粉碎されるなどして地盤剛性が不均一になり易い。埋立地盤上には滑走路・誘導路などの舗装面、排水や電気・オイル等の管渠を埋設するため、地盤の均一剛性が要求されるが、この要求に対し粗粒材は施工管理上は取り扱いにくい材料である。

従来はRI(ラジオアイソトープ)試験による密度計測である一定値以上の密度があれば地盤剛性は確保されたものと見なしてきたが、①RIによる多点管理は膨大な労力を必要とすること、②含水比や、粒度構成の状態により、密度と剛性は必ずしも比例しないこと、③舗装や埋設管渠が要求するものはあくまで地盤の均一剛性であることなどから、各方面で締め固め地盤の剛性を即時、一括で計測する方法が模索されてきた。

本報告は一般に均質細粒土で用いられてきた加速度計による直接剛性把握システムを粗粒材地盤に持ち込み、粗粒材の粉碎による剛性低下を捉えることが出来るか否かの検証試験を行ったものであり、面的即時に剛性低下部を発見する仕組みとしての有効性が確認できた結果を報告するものである。

1. 実験目的

海上空港などの建設は大量に埋立柱を使用するため、転石混じりの粗粒材を用いなければならない。大量土工工事は高速道路建設に代表されるように、締め固めに適した発生材を、工法規定(締め固め方法と回数を規定して)で一定の品質を確保するという考えが主流である。ところが粗粒材の場合は、締め固めによる粒子破壊や噛み合わせの崩れなどにより施工途中の品質の変化があるため、工法規定のみの施工管理では限界がある。品質規定の確立が望まれるところである。

本報告では欧州で発達した加速度計を用いた動的剛性把握システムを粗粒材地盤に適用し、品質規定としての施工管理手法の課題を探るため、現地フィールドで締め固め実験を行った結果を報告するものである。

2. 実験概要

2. 1 実験マウンドと締め固め方法

実験は既存土取り場に図-1に示すような、縦横 20m×30m、厚さ 60cm×2層の模擬マウンドを造成した。その造成方法はブルドーザ敷き均しの後、起振力 30tの振動締め固めローラーで8~16回の転圧を掛けるもので、ここで各種の土質データを採取した。表面型RI、2孔式RI(縦型)、水平式RI、地表沈下、水置換比重試験、平板載荷試験等を実施し、動的剛性計測に関しては全面積で全回数実施した。

マウンドを築造した土砂はハンマーで叩くと壊れるような比較的崩れ易い頁岩(洲本産)と、叩いてもほとんど壊れない砂岩(由良産)を50%づつブレンドし、転圧の繰り返しによる粒子破壊を生じ易いモデル地盤を形成した。

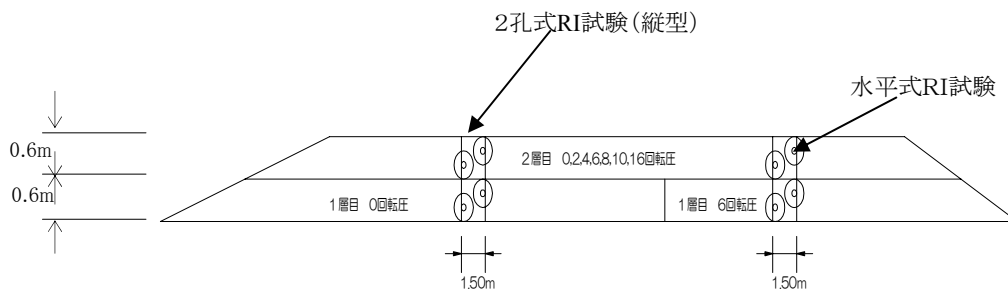


図-1 転圧試験マウンドの断面図

2.2 加速度計による剛性把握方法

今回使用した動的剛性計測装置は図-2、3に示すように転圧ローラーに装備した加速度計により、加速度の積分からローラーの縦方向変位量を、加速度とドラム質量の積から地盤の反発力を捉えるものである。変位と反発力により描かれるヒステリシスカープの面積は地盤に伝達される振動エネルギーであり、地盤条件が一定の場合は地盤剛性と強い相関を示す。この関係を利用して最大値を1000とする無次元の剛性値(ω 値)に換算し、これを10cmピッチで測定した。

注) ω 値: 動的地盤反発力より算出した地盤剛性値を反発力最大値(ローラー自重)で無次元化したもの。欧州では、BOMAG社ローラー搭載システムにより汎用化された施工管理指標。



図-2 振動ローラーと加速度計

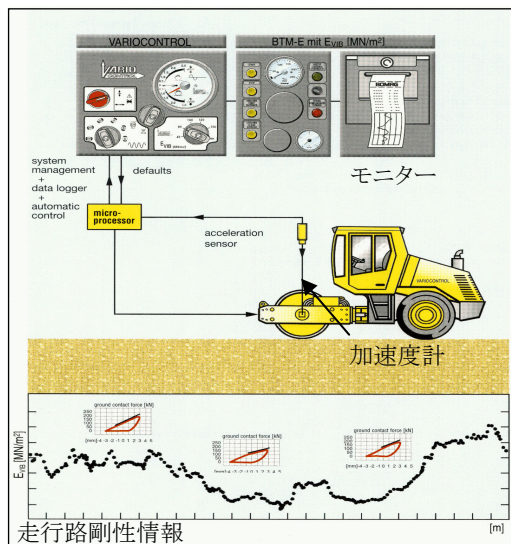
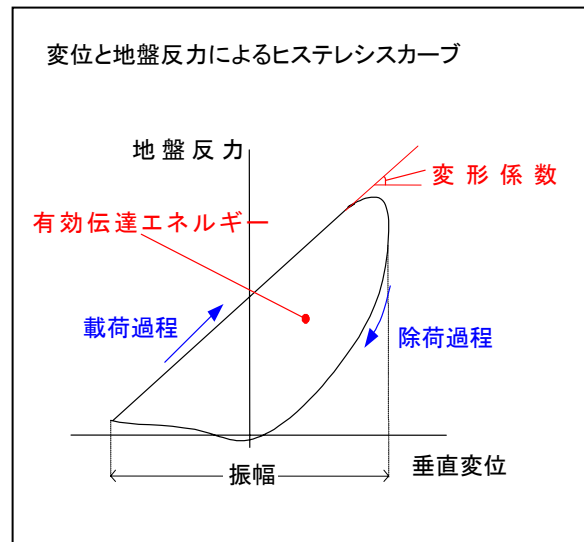


図-3 振動ローラーに取り付けた加速度計による動的剛性計測システム



3. 実験

3.1 動的剛性値の変化

振動締め固めによる動的剛性値の出現頻度の変化を図-4に示す。締め固め回数の増加に伴い、 ω 値の平均は474→603に上昇、このときRIで計測した乾燥密度も2~4回での締め固めでほぼ締め固め度90%(0.9 γ dmax)に上昇した。なお最大乾燥密度(γ dmax)は室内試験より求めた。転圧回数6回以上では既に ω 値、 γ dともほぼ上限値になっており、それ以降の転圧ではむしろ剛性が低下する部分も出現した。図-4に示すように表層部の粒子破壊の進行とともに顕著になり、8回の転圧で剛性低下域が表れ始め、16回転圧時には ω 値の分布が一山形から明らかに双山形に変化した。

3.2 剛性上昇部分と剛性低下部分の土性比較

図-5(左)は8回転圧終了時の ω 値の平面分布図である。 ω 値の高い場所の深さ方向密度勾配と ω 値の経時変化の一例を図-5(中)に、 ω 値の低い場所の結果を図-5(右)に示す。 ω 値が高くなるようなところ(No1地点)は深さ方向60cmに渡り均一に密度が上昇したが、低くなるようなところ(No2地点)は深部の密度上昇が小さく、 ω 値も上昇後急激に低下する傾向(剛性の低下)が観察された。

3.3 粒子破壊の進行と粒度分布

転圧回数の増加とともに、転圧に伴い頁岩の多くの部分が粒子破壊を起こし、粒子構造が変化したことは明らかである。(後述参照: 図-7は試験用に混合した土砂が転圧回数とともにサンプリングした土砂の粒径加積曲線を描いたものである。図-8はこれの現場写真である。)

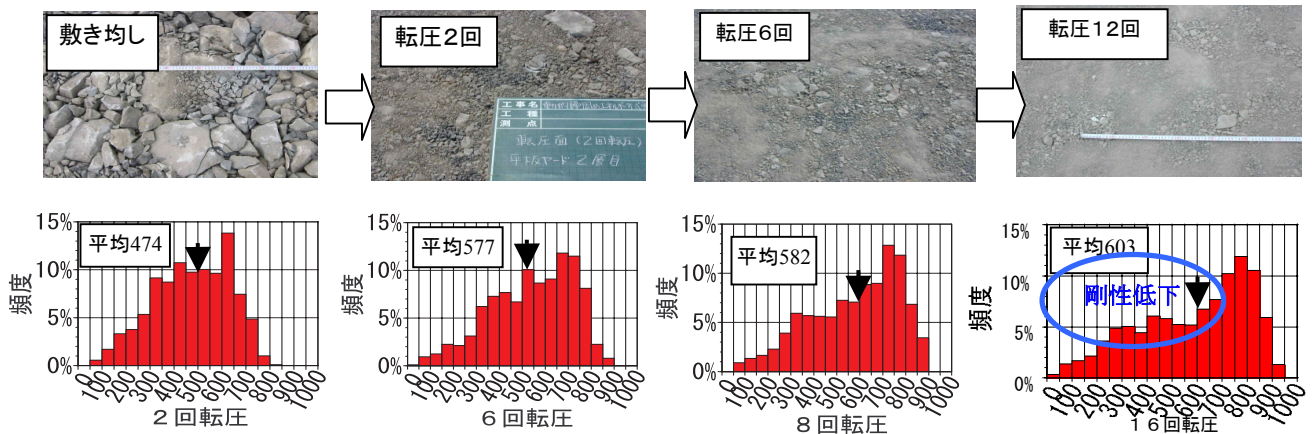


図-4 転圧に伴う地表面の変化と剛性値(ω 値)の分布

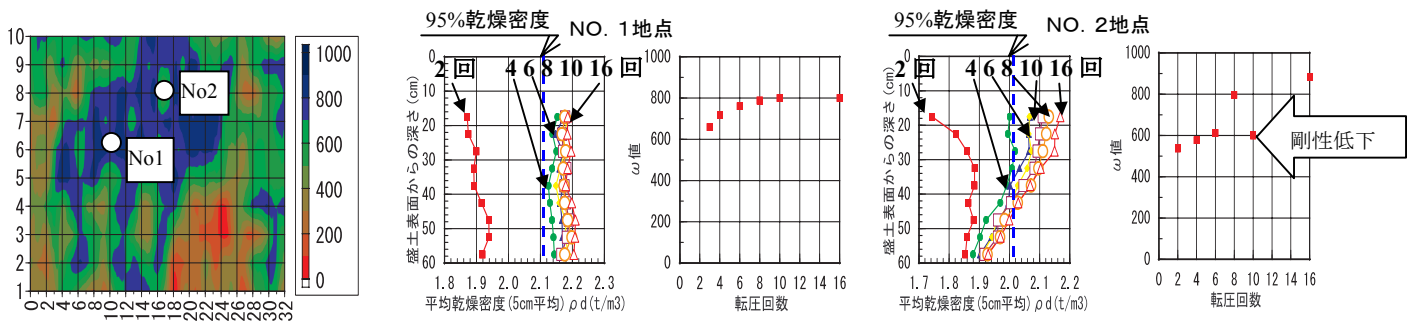
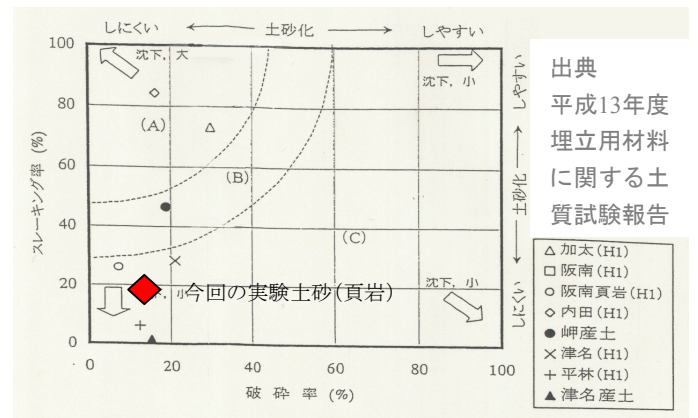


図-5 剛性値(ω)の平面分布と深度方向密度分布

4. 考察

- (1) 今回の試験土砂は図-6に示すように、スレーキング、破砕率から見れば本来土砂化による沈下の恐れがほとんどない土砂といえる。ところが工法規定により転圧回数を固定して、ある一定回数以上の転圧を掛けることとすると、強度の弱い部分では過転圧となって、一時的に破砕が進行する。
- (2) 粗粒材地盤では転圧回数の増加に伴う剛性のばらつきが非常に大きくなる原因の1つとして、このように粒子破壊の進行および粒子かみ合わせの崩れによる部分的な剛性低下が影響していると考えられる。今回はその両方、もしくは地表面近くでの粒子破壊の進行が影響したと見られる。
- (3) このような土砂でも図-5(左)のように、リアルタイムに面的に剛性を表示できることは施工管理上非常に有効である。特に空港舗装や高速道路舗装などの舗装地盤としての路床を形成する際には、路床剛性を均一に仕上げる必要があり、大量の土工面の品質表示を迅速に可能とする方法は非常に効果的である。



- A領域:** 乾湿繰り返しによる圧縮ひずみが10%以上となり圧縮性の大きな材料。
- B領域:** 圧死ひずみが5~10%の範囲で圧縮性は中位
- C領域:** 圧縮ひずみが5%以下となり圧縮性の小さな材料

図-6 スレーキング・破砕率から見た土砂化のし易さ

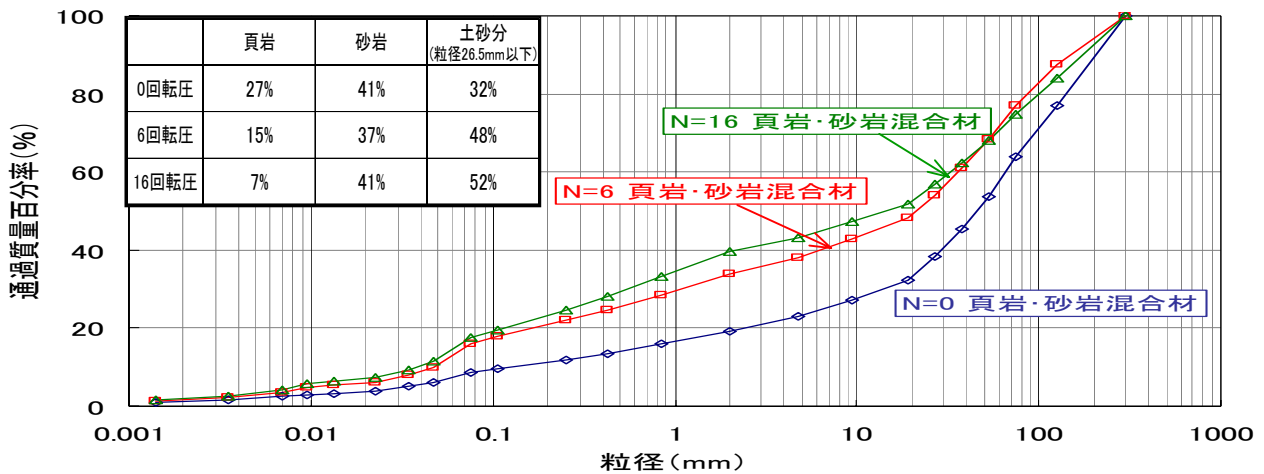


図-7 振動転圧による粒度分布曲線の変化

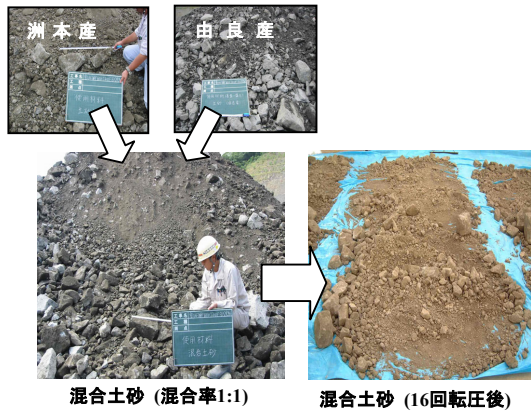


図-8 過転圧により破碎した試験土砂

(4) 今回用いた ω 値は動的締め固めのヒステリシスカーブで囲まれた面積を示すものであり、転圧ローラーが地盤に与えた総エネルギーを示すと考えられる。土性状態が一定ならば ω 値は乾燥密度、剛性と比例関係にあり、密度や剛性の代用値として有効である。

5. 今後の課題

(1) 加速度計を利用した面的な剛性の把握は、これまでのRIや平板載荷試験等の点指標に比べ、地盤脆弱部を見つける手法として圧倒的に効率的であり、しかも無駄な過転圧を未然に防ぐことにも利用できると考えられる。現場で実際に施工管理に用いるためにはGPSを活用した位置計測システムとの連動が必要であり、現在技術研究所にて開発中である。

(2) 土砂を破碎して、締め固めることはこれにより間隙を埋めるので一般に密度上昇させる効果があると考えられているが、これが過度になると、①施工中降雨時に土砂の泥濁化を招き、施工効率が著しく低下する。②供用後に海底面下に沈む地盤は、潮位の干満の繰り返しにより、間隙の微細粒子部分が吸出されて地表面陥没を招く恐れがあるなど、必ずしも歓迎すべきことではない。したがって転圧された地表面土砂の状況を見ながら過転圧をなるべくさせないような配慮は、現場の状況に応じて必要な判断の1つであると考えられる。

(3) 実際の地盤は今回のように粒子破壊を生じ、降雨により含水比が変化する。粒子構造や含水比の状態が変化すれば密度と剛性は比例しない。したがって粗粒材地盤の締め固め施工の品質規定を確立するには、RIによる乾燥重量と ω (転圧エネルギーの総量)もしくはE (図-1: E vib=直接剛性を計測したもの)を同時に計測し、粒子破壊や含水比の変化が地盤の密度と剛性の関係にどのような影響を与えるかを検証する必要があると考えられる。別途大量土工の現場においてこれらの関係を検証中であり、別報にて報告できる予定である。

参考文献

- 1) 「粗粒材料の現場締め固め」地盤工学会 P65-70
- 2) 建山和由・藤山哲雄・西谷誠之「締め固め施工における振動ローラーの挙動に関する考察」土木学会論文集 No544、III-37、P231-237, 19