

締固めた土の剛性・乾燥密度関係に対する飽和度の影響 (その1. 振動ローラ土槽実験)

締固め 飽和度 乾燥密度

安藤ハザマ 技術研究所 ○三反畑 勇、永井 裕之  
西尾 竜文  
酒井重工業株 眞壁 淳、小葉 はるな  
東京理科大学 龍岡 文夫、菊池 喜昭

1. はじめに

近年、自然災害による盛土構造物の被害が増えており、従来よりも高品質な盛土が実現できる「乾燥密度  $\rho_d$  と含水比  $w$  に加えて飽和度  $S_r$  を管理する方法」が注目されている<sup>1,2)</sup>。しかし、これらの物理量を施工後の現場試験で求めると、目標値を満たさなかった場合の再施工(手戻り)や、限られた点情報であることによる締固め不良の見落としといった懸念がある。

そこで、盛土材の含水比  $w$  と施工中の振動ローラの加速度応答値  $CCV$ <sup>3)</sup> から乾燥密度  $\rho_d$  や飽和度  $S_r$  を面的に推定する手法を確立することを目的として、土槽内で13t級振動ローラを用いた砂質土の実大転圧試験を実施した。また、施工後の密度試験で得られた飽和度  $S_r$  から地盤の剛性(CBR, 地盤反力係数  $K_{30}$ )を推測する手法についても検討した。ここで、 $CCV$ (Control Compaction Value)とは、振動ローラの振動輪に取り付けた加速度計によって、地盤上で振動輪を振動させたときの加速度を計測して周波数分析し、振動ローラの基本振動数成分とその他の成分の比によって算定される数値である。地盤強度との相関性があり、振動ローラに搭載したGNSSと組合わせてリアルタイムかつ面的に盛土の品質を管理するのに利用されている<sup>3)</sup>。本論では実験概要および転圧回数と主な測定結果との関係について報告する。

2. 試験概要

(1) 使用材料

使用した砂質土の物性、粒度、締固め試験結果を表-1, 図-1, 2に示す。

転圧試験は、図3に示す振動ローラによる既往の実大締固め試験結果(酒井重工業製13t級振動ローラSV620Dで盛土工の一般的な転圧回数である12回転圧した時の含水比-乾燥密度曲線)を参考にして、4種類の含水比条件(含水比①=8.5%, 含水比②=9.8%, 含水比③=10.8%, 含水比④=11.8%)で実施した。

(2) 土槽

屋内実験土槽の形状と品質試験位置を図4, 5に示す。土槽は長さ20m, 幅3m, 深さ95cmのコンクリート製ピットであるが、両端に斜路を有するため、品質試験はピット底面長と同じ15m区間で実施した。

(3) 転圧試験

土の敷均しは、土槽に備え付けの敷均し機で行い、転圧には表2に示す仕様の13t級振動ローラを使用した。転圧試験は、図4に示すように基盤層10cm×5層(目標CBR60%以上を目安)を締め固めて造成した上で、含水比条件ごとに1層30cmで実施した。

試験は、まず無振動で振動ローラを1往復させて、その状態を転圧回数0として、転圧16回まで実施した。なお、転圧試験層30cmは各含水比での試験終了後に切削撤去し、含水比を調整して次の転圧試験に再使用した。転圧中は、振動ローラの加速度応答値  $CCV$  を測定した。

(4) 品質試験

品質試験は、レベルによる地表面の沈下量測定、砂置換による現場密度試験、小型FWD試験、簡易支持力測定キャスポル、現場CBR試験を、転圧回数2, 4, 6, 8, 12, 16回で実施した(図5参照)。

表-1 物性値一覧

試験項目	
土粒子密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.779
最大粒径 $D_{max}$ (mm)	9.5
細粒分含有率 $F_c$ (%)	42.6
最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.120
最適含水比 $w_{opt}$ (%)	9.50
地盤材料の工学的分類	細粒分質砂 (SF)

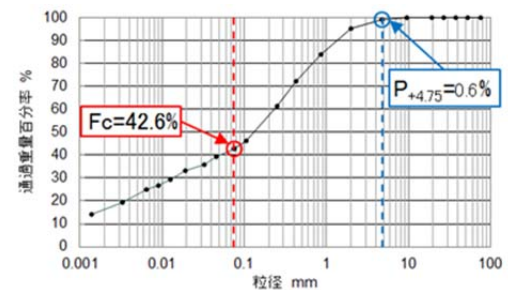


図-1 乾燥密度-含水比

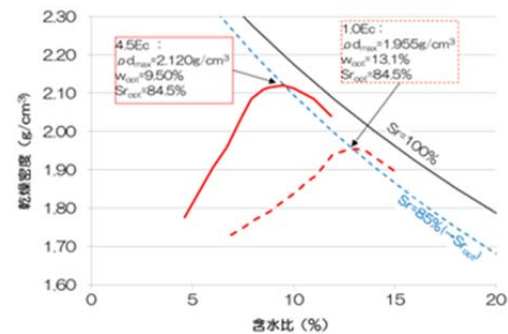


図-2 室内締固め試験結果

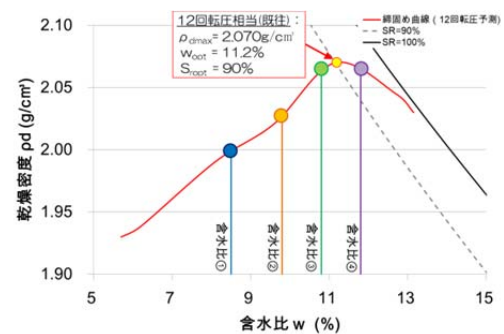


図-3 振動ローラ(13t級)による締固め試験結果

Influence of the degree of saturation to the stiffness and dry density of compaction soil (No.1-Test method)

Isamu SANDANBATA, Hiroyuki NAGAI & Tatsyumi NISHIO (Hazama Ando Corporation), Jun MAKABE, Haruna KOGUSURI (Sakai Heavy Industries), Yoshiaki KIKUCHI, Fumio TATSUOKA (Tokyo University of Science)

小型 FWD 試験は、載荷板上に重錘を自由落下させ、そのとき発生する衝撃荷重と変位量を荷重計と加速度計を用いて測定し、地盤反力係数 (K30) や変形係数 (E) を算出して地盤剛性を把握する試験である。また、キャスポルは、加速度計を内蔵した 4.5kg のランマーを地盤に落下させ、そのときに発生する衝撃加速度の最大値 (インパクト値) から地盤の支持力や締固め状態を調べる測定器 (衝撃加速度法) である。小型 FWD とキャスポルは、いずれも施工完了後の転圧面で点的にデータを取得する装置であるが、試験方法が簡易であるため比較的短時間で多点測定することも可能である。

### 3. 試験結果

本論では沈下量, 乾燥密度, 飽和度に注目して報告する。

#### (1) 転圧回数と測定結果の関係

図-6 に示すように、測定結果はいずれも転圧 4 回までの増加が大きく、その後は比較的緩やかな増加傾向を示した。また、乾燥密度 (図-6 (b)) と飽和度 (図-6 (c)) は、含水比が高いほど大きな値を示す。しかし、沈下量 (図-6 (a)) は、含水比③ (最適含水比付近) の試験結果が最も大きな値を示した。なお、最も湿潤側の含水比④において、転圧回数 12 回と 16 回で飽和度が 100% を越えている。これは、過転圧 (オーバーコンパクション) となって地表面に水が浸み出したような状態になったからではないかと推測される。(転圧後の目視観察では地表面が光沢を帯びていた。)

#### (2) 締固め曲線と測定結果の比較

室内締固め曲線と今回の測定結果との関係等を確認するために図 7 を作成した。図-2 に示す室内試験による 1Ec と 4.5Ec で締固め曲線の他に、図 7(a) には等飽和度線を、図-7(b) には等含水比線も示した。いずれの含水比条件でも、乾燥密度と飽和度は転圧回数の増加に伴って増加している。図-7(a) を見ると、含水比③, ④では 4.5Ec の室内締固め曲線にほぼ達しているが、含水比①, ②では達していない。それに対応して、図-7(b) を見ると、含水比①, ②では飽和度は室内締固め試験による最適含水比 85% (図-2 参照) に達しておらず、含水比③, ④では最終的に最適含水比を超えている。なお、同一転圧回数 (同一締固めエネルギー) の測定値を曲線で結んでみると、乾燥側では左下がり傾向が大きく、室内締固め曲線の形状が少し異なっている。これは、室内試験と土槽では試験条件などが異なるためと考えられる。

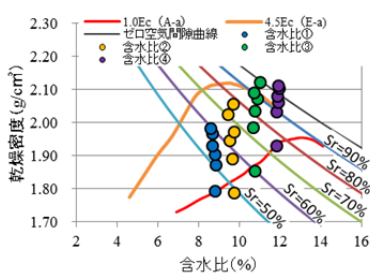
### 4. まとめ

土槽内で実施した砂質土の実大転圧試験から以下のような結果が得られた。

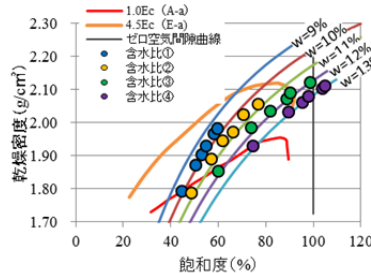
- ・ 沈下量、乾燥密度、飽和度の増加は転圧 4 回までが大きく、その後は緩やかである。
- ・ 沈下量は、含水比③ (最適含水比付近) が最も大きな値を示した。
- ・ 含水比③ (最適含水比付近) では 4.5Ec の室内締固め曲線に達した。

#### 【参考文献】

- 1) 龍岡文夫: 盛土の締固めにおける飽和度管理の重要性(技術手帳), 地盤工学会誌 2015, 63(7), pp.39-40
- 2) 龍岡文夫: 盛土締固めにおける各種重要な管理項目, 第 51 回地盤工学研究発表会, pp.777-778, 2016
- 3) 武田勇光, 北村佳則, 西尾貴至, 黒台昌弘: 加速度応答値による盛土品質管理の有効性, 第 39 回地盤工学研究発表会, pp.1331-1332, 2004



(a)  $\rho_d$ -w 関係



(b)  $\rho_d$ -Sr 関係

図-7 試験結果と室内締固め曲線 (1Ec) との比較

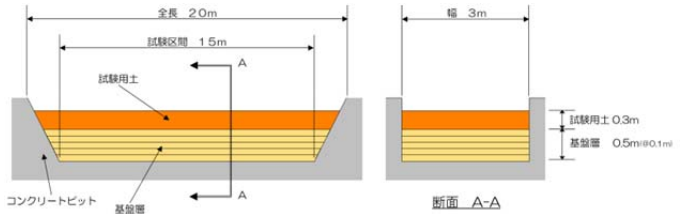


図-4 土槽の概要

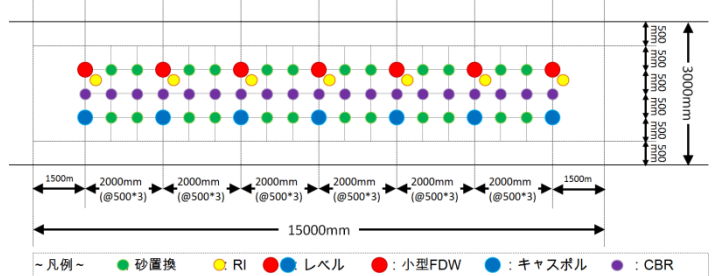
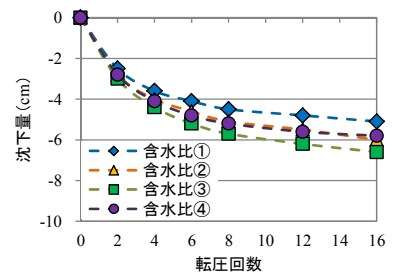


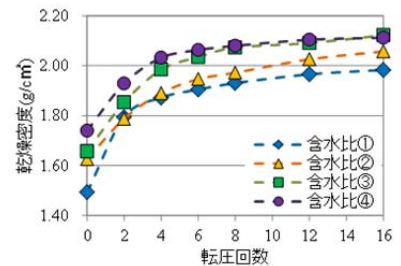
図-5 品質試験測定位置

表-2 振動ローラの仕様

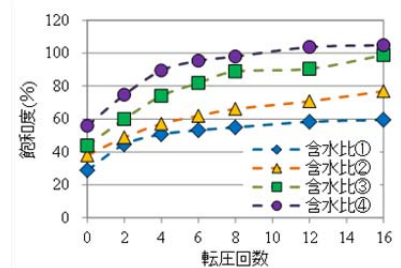
型式		SV620D
重量	t	12990
全長	m	5.840
全幅	m	2.295
全高	m	2.840
ロール径	m	1.530
ロール幅	m	2.130
起振力 (Lo/Hi)	kN	172/255
振動数 (Lo/Hi)	Hz	33.3/28.3
走行速度 (Lo/Hi)	km/h	0.6/0-10
転圧試験での走行速度	km/h	2.0



(a) 沈下量



(b) 乾燥密度



(c) 飽和度

図-6 主な品質試験結果