

自然含水比が広範囲に変化する盛土材の $\rho_{dmax}-w_n$ 法による締固め管理法の適用性

株式会社フジタ 土木本部

FJF-会員

福島伸二

§1. まえがき

近年、再生可能エネルギー利用の高まりから太陽光発電所の建設が増加しており、広い用地を経済的に確保するために丘陵地や山間地を、地形をうまく利用しながら切土・盛土して日照に適した傾斜地を造成している例が多い。太陽光発電用地の造成は傾斜地利用が主なため、地山を深く切土して厚く盛土して平坦な用地を確保するのを基本とする工業団地などの用地造成に対して、浅く切土して低く盛土することが基本になる。このため、盛土材は地山深部の風化程度の低い岩砕より表層部の強風化した土砂の割合が高く、岩砕から土砂までの締固め特性の変化の大きい条件での締固め管理が必要となる。堆積岩類地山の切・盛土工事では、盛土材が同一の地山からのものであっても切土位置による風化程度により締固め特性が相違することを、自然含水比 w_n を指標にして評価した締固め管理法 ($\rho_{dmax}-w_n$ 法)¹⁾²⁾が提案されている。そこで、本稿は岩砕や土砂から高含水比粘性土までの w_n が広範囲に変化する盛土材を用いたある太陽光発電所建設工事における切・盛土造成に $\rho_{dmax}-w_n$ 法による締固め管理法の適用性を調べた結果を報告す。

§2. 盛土造成に用いた盛土材の締固め特性

本稿で対象とした切・盛土工事は、栃木県大田原市の JR 那須塩原駅から東に約 18km の平地から丘陵地に移行する部分に立地したゴルフ場跡地を利用して、切土約 47.6 万 m^3 、盛土約 44.0 万 m^3 により敷地約 22ha (発電容量約 25 万 kW) を造成したものである。地山は約 1 億 6,000 万年前の先白亜紀に堆積した八溝層群の泥岩やシルト岩からなる基盤を崩積土、崖錐堆積物、火山灰質粘性土、表土が覆い、一部にゴルフ場造成時の盛土が載っている。そのため、盛土材はゴルフ場造成時の盛土を含む、各種地山からの切土発生した岩砕、土砂から高含水比の火山灰質粘性土まで w_n が広範囲に変化するものを使用することになり、限定された盛土材の締固め試験による最大乾燥密度 ρ_{dmax} に対する現場密度 ρ_d の比で定義される

$$D_c = (\rho_d / \rho_{dmax}) \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

による密度管理法では対応が難しいことが想定された。

本格的な土工事開始前に、盛土材の実施工時の変動範囲をカバーできるように、岩砕だけでなく土砂、高含水比粘性土も含む切土地山の複数箇所から盛土材試料を採取して締固め試験 (JIS A1210) を実施した。盛土材試料は、図 1 に粒度曲線を示すように、細粒土から粗粒土まで多様である。締固め試験は、粗粒分を多く含む岩砕①、②、④は B-b・c 法により、粗粒分の少ない土砂⑤は A-b・c 法により、高含水比粘性土③は A-b 法によりそれぞれ実施した。図 2 は試験から得られた 5 種類の盛土材の締固め曲線を示す。図中に示したゼロ空気間隙曲線 ZAVC は盛土材の土粒子密度の平均値 $\rho_s = 2.639 g/cm^3$ を用いて描いた。横線は各締固め曲線における $D_c = 90\%$ 線を、縦線は w_n の位置を示す。図から、盛土材の締固め曲線は w_n の範囲が岩砕や土砂から、これらと大きく相違する高含水比粘性土まで $w_n = 15 \sim 70\%$ と広範囲に変化しており、 w_n が低いほど凸形状が鋭くなるものの、ZAVC に沿ってほぼ平行に移動することがわかる。すなわち、盛土材が締固めに適した粒度分布にあれば、締固め曲線の (ρ_{dmax}, w_{opt}) 点は土の種類

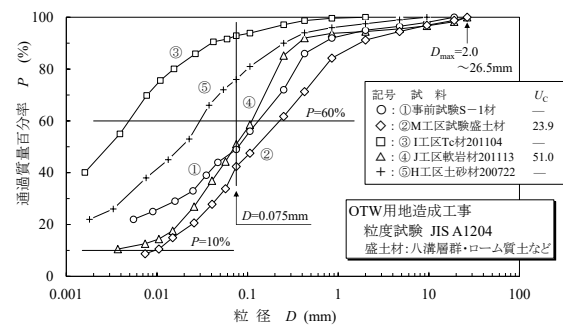


図1 締固め試験に使用した盛土材試料の粒度曲線

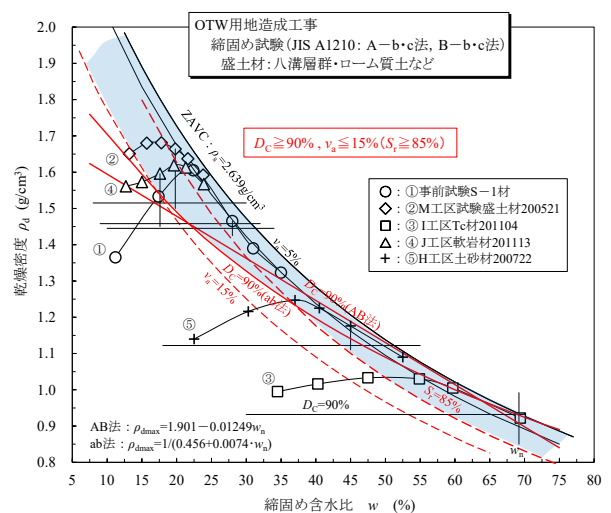
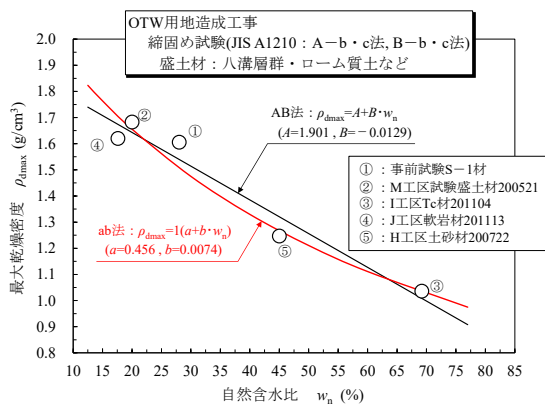


図2 盛土材の自然含水比と締固め特性の関係

に関係なく w_n が低いほど ρ_{dmax} の増加と w_{opt} の減少により左上方に、逆に w_n が高いほど ρ_{dmax} の減少と w_{opt} の増加により右下方に位置し、ZAVC に対してある一定以下の空隙状態になることがわかる³⁾⁴⁾。また、盛土材の締固め曲線は w_n が w_{opt} に対して乾燥側にある場合 ($w_n < w_{opt}$)、ほぼ同水準にある場合 ($w_n \approx w_{opt}$)、湿潤側にある場合 ($w_n > w_{opt}$) に分けられる。以上の挙動は堆積軟岩地山にお

キーワード：盛土材、自然含水比、最大乾燥密度、締固め管理

連絡先 〒151-8570 渋谷区千駄ヶ谷4-25-2 株式会社フジタ 土木本部 土木エンジニアリングセンター ☎ 03-3796-2299

図3 盛土材の $\rho_{dmax} \sim w_n$ 関係

る切・盛土工事において、盛土材が示す締固め特性¹⁾²⁾と同じである。特に、注意が必要なのは高含水比粘性土では w_n が w_{opt} よりかなり高く w_n の状態では $D_c \geq 90\%$ に締固められないことである。いずれにせよ、盛土材は ρ_{dmax} が w_n により大きく変化するため、 ρ_{dmax} に及ぼす w_n の影響を考慮する必要がある。図3は図2に示した締固め曲線から読み取った ρ_{dmax} と w_n の関係を示す。これまでに、堆積岩類地山での盛土工事において、同一の地山からの盛土材の $\rho_{dmax} \sim w_n$ 関係は切土位置により w_n が相違しても、その分布幅が限定的でほぼ直線により近似できることがわかっている¹⁾²⁾。図3から、 ρ_{dmax} と w_n の関係は盛土材が必ずしも同一地山からのものでなくても

$$\rho_{dmax} = A + B \cdot w_n \quad (A = 1.901, B = -0.0129) \quad (2)$$

のように直線により近似できなくはない。しかしながら、図2に式(2)による $D_c = 90\%$ 相当の ρ_{d90} ($= 0.9 \times \rho_{dmax}$) $\sim w$ 関係(AB法²⁾)を示すが、 w_n の分布範囲が広く $\rho_{dmax} \sim w_n$ 関係を直線近似するAB法では $\rho_{d90} \sim w_n$ 線がZAVCと交差してしまうなど不都合が生じる。図3には $\rho_{dmax} \sim w_n$ 関係をZAVCに類似した曲線

$$\rho_{dmax} = 1 / (a + b \cdot w_n) \quad (a = 0.456, b = 0.0074) \quad (3)$$

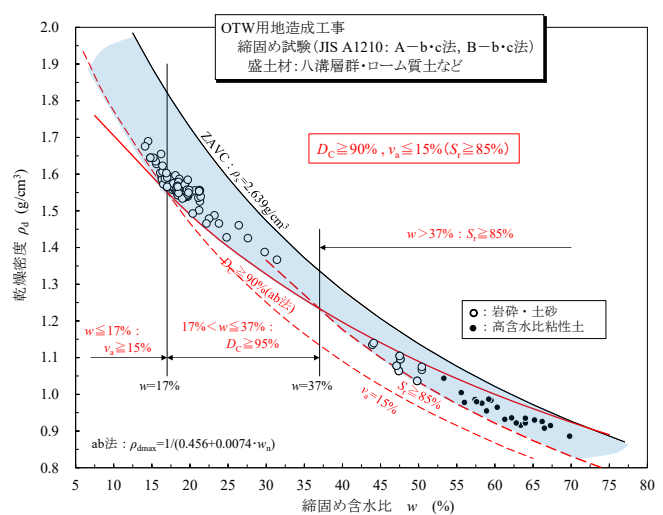
を用いて近似したab法²⁾による結果も示した。ab法による $\rho_{d90} \sim w_n$ 線は図2にも示したが、ZAVCとの関係においてAB法よりも適用性が高いことから、ここではab法を採用することにした。高含水比領域の粘性土系の盛土材は、図2からわかるように、締固め転圧をしても過転圧現象により所定の D_c 値にならない。そのため、高含水比領域の盛土材では、ある一定以下の空隙状態になるように締固めるために飽和度 S_r

$$\rho_d = \rho_w (\rho_s / \rho_s + w / S_r) \quad (4)$$

による管理基準としてZAVCに沿った ρ_{dmax} に近い密度状態を達成できる $S_r = 85\%$ ³⁾を採用し、これに相当する $\rho_d \sim w$ 線を図2に併せて示した(ρ_w は水の密度)。すなわち、盛土地盤の ρ_d に対する管理基準は、 $D_c \geq 90\%$ と $v_a \leq 15\%$ が満足されることを基本とし、図4に示すように、 $w_n \leq 17\%$ では $v_a \leq 15\%$ 、 $17\% < w_n \leq 37\%$ では $D_c \geq 90\%$ により規定し、密度管理が不可能な $w_n \geq 37\%$ では $S_r = 85\%$ により規定し、盛土材の w_n に関係なくZAVCに対してある一定以下の空隙状態に締固められるように設定した。

§3. 盛土造成中の締固め管理

試験盛土は岩砕と土砂からなる盛土材について実施し、仕上り

図4 施工中の密度管理試験による $\rho_d \sim w_n$ 関係

厚約30cmになるように敷き均してから $D_c \geq 90\%$ を達成できる締固め転圧回数を求めた。締固め機械は、盛土材に高含水比粘性土も含むなどトラフィカビリティを確保しにくいことも想定し、敷均し作業にも兼用できる200kN級ブルドーザ(乾地キヤタ)を採用することにした。

図4は、施工中の密度管理試験により計測した盛土地盤の(ρ_d, w_n)をプロットした結果である。図から、現場での ρ_d は w_n に応じて大きく変化しているものの、 w_n の範囲に応じて設定した管理基準 $v_a \leq 15\%$ 、 $D_c \geq 90\%$ 、あるいは $S_r \geq 85\%$ を満足していることがわかる。このことは、締固め曲線は、岩質の相違する地山からの岩砕や土砂、あるいは高含水比粘性土まで変化する盛土材であってもZAVCに沿ったある位置し、それに応じて ρ_{dmax} も変化する性質にあり⁴⁾、このことを w_n により考慮すればZAVCに対してある一定以下の空隙状態にある盛土を造成できることを示している。

§4. あとがき

本稿は岩砕から高含水比粘性土までの w_n が広範囲に変化する盛土材を用いた盛土造成の締固め管理に $\rho_{dmax} - w_n$ 法の適用性を調べたもので、以下の結論が得られた。盛土材は切土地山の種類により w_n が大きく変化するのに応じて締固め特性値である ρ_{dmax} も変化するが、 ρ_{dmax} と w_n の間に認められる直線、あるいは曲線関係を用いることである一定以下の空隙状態に盛土地盤を造成できる。 w_n が大きく変化する盛土材の $\rho_{dmax} \sim w_n$ 関係は $\rho_{dmax} \sim w_n$ 関係を直線近似したAB法よりも曲線近似したab法の方が全体的な $\rho_{d90} \sim w_n$ 関係をうまく評価できる。

【参考文献】

- 1) 福島伸二: 堆積軟岩盛土材の自然含水比を考慮した締固め管理法($\rho_{dmax} - w_n$ 法)の検討, 第55回地盤工学研究発表会, 2020.
- 2) 福島伸二: 堆積軟岩盛土材の自然含水比の影響を考慮した締固め管理法($\rho_{dmax} = A + B \cdot w_n$ 法), 第16回地盤工学会関東支部発表会 GeoKanto2019, pp.207-210, 2019.
- 3) 地盤工学会編: 地盤工学・実務シリーズ 30 土の締固め, 地盤工学会, 26-27, 2012.
- 4) 河上房義, 柳澤栄司: 土の締固め, 鹿島出版会, pp.22-29, 1975.