

締固めたセメント固化改良盛土材の締固め・強度特性とその管理法

株式会社フジタ ○福島伸二・小島 秋・滝口 渉・北島 明

§1. まえがき

切・盛土地造成は計画地内で切・盛土量をバランスさせ、付属する防災調整池などの土構造物も現地発生土を流用して築造するのが基本で、ここで対象とした用地造成事例もこれにあたる。地山は新第三期中新世の火山性岩で、ほぼ南北に雁行状に連なる3つの尾根に囲まれた二つの谷筋の最下流部のそれぞれに均一型フィルダム式（西側がA、東側がB）として築造し、盛土材には堤体基礎部や貯水池の掘込み掘削により発生した崩積土を流用した。盛土材は崩積土単体では基礎地盤を含む堤体全体の安定に必要な強度が不足し、セメントにより固化改良して使用した。本稿は、崩積土をセメント改良して盛土材に用いた締固め型固化改良盛土材の締固め・強度特性、現場で目標強度を達成するためのセメント

§2. 締固め型固化改良盛土材の強度パラメータ

締固め型固化改良盛土材の特徴は固化対象土に固着力 c を付加させ、かつ通常の盛土材のように締固め内部摩擦角 ϕ も期待するものである。固化改良部の強さは、周辺地盤で採用される強度パラメータとの整合性、応力表示の値 (c', ϕ) を使用すべきと考える。目標改良部内をすべり面が通るとした複合地盤的設計法に改良部とその周辺地盤も含めた全体の安定計算を (c, ϕ) をある一定値に固定し、加えた固化材量に強く関係するパラメトリックに変えて実施し、所要の安全率 F_s を満として逆算して求めた。実施工での改良盛土材の強度管理は c' と ϕ の両方について実施した。 c' は試験実施が簡単な一軸圧縮試験による一軸圧縮強さ q_u を指標に直接的に管理した。理由は q_u が固化材量に依存し、 c' と相関関係にあるからである。 ϕ は固化材量の影響が少なく、通常の盛土材と同様に、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 の比で定義される締固め度 $D_c=(\rho_d/\rho_{dmax})\times 100$ により間接的に管理した。

§3. 改良盛土材の締固め特性

盛土材は調整池部掘削による崩積土で、A調整池では流紋岩系のMM-A材、B調整池では安山岩系のMM-B材、どちらも単体では所要の強度が不足したため固化材を加えて改良盛土材として使用した。試料はそれぞれの掘削中央部の地表面からの深さ2.5 mまでの0.5 m毎の5深度位置から等量ずつ採取したすべてを加えて使用した。

MM-A材とMM-B材はほぼ同様の粒度特性にあったものの、自然含水比 w_n がやや相違していた。改良盛土材の強度は後述するように地山種類よりも地山の w_n により規定されることがわかったので、先に着工したMM-A材の室内配合試験結果を主に述べる。固化材は実施工と同じ高炉セメントBを使用し、添加量は盛土材1 m³に対する質量 ΔM_c (kg/m³)で表示する。

図1の左側にはMM-A材単体の締固め試験（JIS A1210, A-c法）から得られた締固め曲線を○印、 $\Delta M_c=100$ kg/m³を加えたまだ固まらない状態の改良盛土材の締固め曲線を◇印によりそれぞれ示す。図中には、盛土材単体と改良盛土材の締固め曲線の頂点

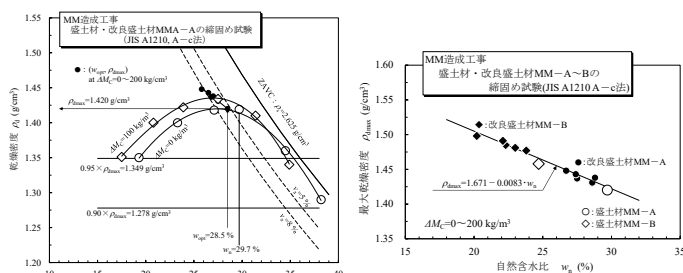


図1 盛土材と改良盛土材の締固め特性

に相当する ρ_{dmax} と最適含水比 w_{opt} を●印により示した。一般に、締固めに適した粒度状態にある盛土材は、地山種類が相違しても、 ρ_{dmax} が w_n により変化するものの、 ρ_{dmax} と w_n の関係は w_n の変動幅がある程度以下であれば直線近似できる。そこで、図1の右側には ρ_{dmax} の w_n による影響を調べるために、締固め曲線から読み取った盛土材単体の ρ_{dmax} と w_n の関係を○印、改良盛土材のものを●印によりそれぞれ示す（MM-B材の場合も、単体を◇印により、改良盛土材を◆印により示した）。図から、 $\rho_{dmax} \sim w_n$ 関係は盛土材に関係なく、盛土材単体とセメントを加えてから間もない、まだ固まらない改良盛土材の両方に共通な直線

$$\rho_{dmax} = A + B \cdot w_n \quad (A=1.671, B=-0.0083) \quad (1)$$

により近似できる。このことは、固化前の改良盛土材は盛土材に固化材が加わった分の w が低下しただけで、同様の締固め特性にあり、同様に扱えることを示している。

§4. 改良盛土材の一軸・三軸圧縮強度特性

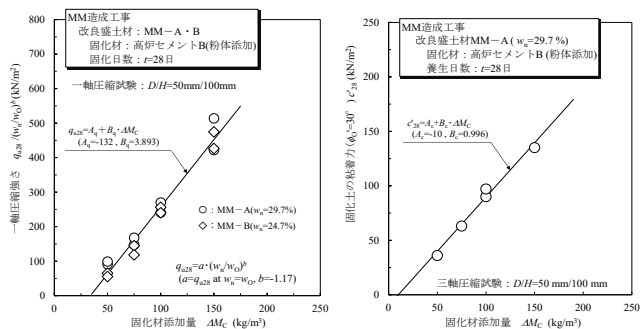
改良盛土材の q_u と c' が ΔM_c から受ける影響を調べるために、一軸圧縮試験と三軸圧縮試験を実施した。一軸圧縮試験は ΔM_c を変えて $D_c=90\%$ を目標に突固め、 $t=28$ 日間固化させたMM-A改良盛土材について実施して一軸圧縮強さ q_{u28} と ΔM_c の関係を求めた。改良盛土材の q_{u28} は、別途実施した固化材添加前の含水比 w が q_{u28} に及ぼす影響を調べた試験から、 q_{u28} は盛土材の地山種類よりも w により決まり、基準含水比を w_0 とすると

$$q_{u28} = a \cdot (w/w_0)^b \quad (a=q_{u28} \text{ at } w=w_0, b=1.17) \quad (2)$$

により近似できることがわかった。そこで、図2の左側には改良

キーワード：固化改良盛土材、締固め、粘着力、内部摩擦角

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2 改良盛土材の $q_{u28}/(w/w_0)^b \sim \Delta M_C$ 関係と $c'_{28} \sim \Delta M_C$ 関係

盛土材の q_{u28} と ΔM_C の関係を示すが、縦軸は式(2)を用いて q_{u28} に及ぼす w の影響を除くために、MM-A材の $w_0=29.7\%$ を採用した $q_{u28}/(w/w_0)^b$ として示す(MM-A改良盛土材を○印、MM-B改良盛土材を◇印によりそれぞれ示した)。図から、 $q_{u28}/(w/w_0)^b$ は盛土材の種類に関係なく直線的に増加し

$$q_{u28}/(w/w_0)^b = A_q + B_q \cdot \Delta M_C \quad (A_q=132, B_q=3.89) \quad (3)$$

により近似できることがわかる。

図2の右側には ΔM_C を変えた改良盛土材の三軸圧縮試験により得られた c'_{28} と ΔM_C の関係を示す。図から、 $c'_{28} \sim \Delta M_C$ 関係は、 $q_{u28} \sim \Delta M_C$ 関係と同様に直線的関係にあり

$$c'_{28} = A_c + B_c \cdot \Delta M_C \quad (A_c=10, B_c=0.996) \quad (4)$$

により近似できることがわかる。

§5. 改良盛土材の $c' \sim q_u$ 関係と固化材量の決定法

改良盛土材の目標強度は、A調整池とB調整池の標準断面について、改良盛土材の強度パラメータを $c'=30 \text{ kN/m}^2$ 、 $\phi=30^\circ$ として実施した堤体全体の安定計算により安全率 $F_s \geq 1.20$ を満足できる $c'^* \geq 30 \text{ kN/m}^2$ 、 $\phi'^* \geq 30^\circ$ に設定した。改良盛土材の ϕ'^* は、MM-A材とMM-B材がともに単体状態で $D_c \geq 90\%$ で締固めれば $\phi=30^\circ$ を達成できることから採用した値である。

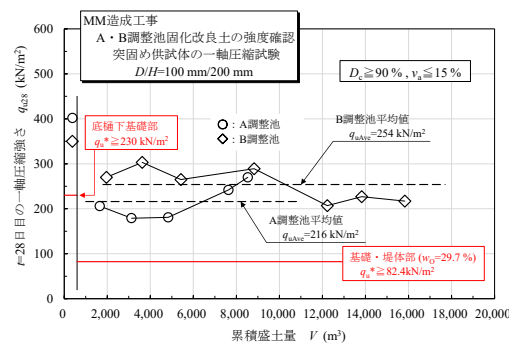
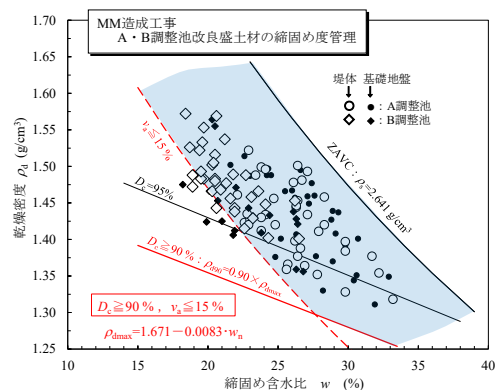
改良盛土材の施工中の強度管理は、 ΔM_C に強く依存する q_u を指標に実施されことから、 c' と q_u の関係が必要になる。 c' と q_u の関係は、図2の右側に示した三軸圧縮試験による $c'_{28} \sim \Delta M_C$ 関係と図2の左側に示した一軸圧縮試験による $q_{u28} \sim \Delta M_C$ 関係を対比させて、同一の ΔM_C により発揮される c'_{28} と q_{u28} を読み取ると

$$c'_{28} = \alpha + \beta \cdot q_{u28} \quad (\alpha=17.34, \beta=0.259) \quad (5)$$

により近似できることがわかった。 $c'^* \geq 30 \text{ kN/m}^2$ に相当する q_u 表示の目標強度 q_u^* は式(5)を用いて、 q_u^* を現場で達成できる ΔM_C^* は式(3)を用いてそれぞれ算定する。 q_u^* と ΔM_C^* は基準含水比 $w_0=29.7\%$ にあるMM-A盛土材における値である。 ΔM_C^* の算定には、現場施工・室配合試験間の混合条件の相違を補正する現場/室内強度比 $\alpha_{FL}^{(2)}$ により強度割増しをした室内配合強度 q_u^*/α_{FL} を用いる必要がある。 α_{FL} は、現場での盛土材への固化材混合を後述のようにスケルトンバケットにより実施したので、推奨値の平均的な値 $\alpha_{FL}=1/2.0$ を採用した。改良盛土材の q_u^* と ΔM_C^* は以上の関係式(2)～(5)を用いて算定した。

§6. 改良盛土材の強度管理法とその事例

改良盛土はダンプ台数により計量した盛土材量 ΔV に q_u^* を達成できる質量の固化材を1ト詰めフレコンバッグにより散布し、ス

図3 q_u と累積盛土量 V の関係(c' の管理)図4 施工中の改良盛土材の ϕ' の管理結果

ケルトンバケットにより攪拌混合し、まだ固まらないうちに仕上り厚30cmを目標に撒出し・敷均してから、200kN級土工用振動ローラを用いて試験盛土により決定した $D_c \geq 90\%$ を達成できる6回で転圧して一層毎に築造した。

図3は施工中に一定土量毎に実施した改良盛土材の q_u 値管理試験から得られた q_{u28} と累積盛土量 V の関係を示す。 q_{u28} は転圧前の改良盛土材を採取し、直径10cm×高さ20cmの円柱形モールド内で5層に分け、各層を $D_c=90\%$ 相当で突き固めて3本の供試体を準備し、28日後に実施した一軸圧縮試験の平均値として求めた。図から、 q_{u28} はバラツキがやや大きいものの、 q_u^* を十分満足していることがわかる。改良盛土材の施工中の ϕ' 値管理は築堤日での日常管理として、転圧後の、まだ固まらないうちにRI計器により現場の (ρ_b, w_n) を計測し、その結果を図4に示す。図から、 (w_n, ρ_b) は $D_c \geq 90\%$ 、 $v_s \leq 15\%$ をほぼ満足していることがわかる。

§7. あとがき

本稿は、調整池の築造に用いた切土発生の崩積土に固化材を加えた固化改良盛土材について締固め特性と強度特性を室内配合試験により調べ、複合地盤的設計法に対応した有効応力表示の強度パラメータ(c' 、 ϕ')の求め方、現場で目標強度を達成できる固化材量決定法、施工中の強度パラメータ管理法とこれを用いた実施工での強度管理の事例を紹介した。

【参考文献】1) 福島伸二・香東光秀・西本浩司：盛土造成地盤の標準貫入試験による地盤工学的特性とその特徴，地盤工学会誌，Vol. 69, No. 5, pp. 40-44, 2021. 2) 固化材協会編：固化材系固化材による地盤改良マニュアル第5版，技報堂出版，pp. 134-135, 2021.