

石炭灰埋立地盤に対する静的締固め工法の適用性（その2） ～有効締固め係数および相対密度と液状化強度の関係について～

不動テトラ株式会社 正会員 ○尾形 太，正会員 鵜野 雅明
中部電力株式会社 市橋 豊隆，喜多 千砂子
大成建設株式会社 正会員 広重 敬嗣，正会員 西野 日出樹

1. はじめに

前報¹⁾では、石炭灰埋立地盤の液状化対策として、クリンカッシュ（CA）を杭芯材に用いた静的締固め工法（SAVE）の試験施工を実施し、締固め改良率に応じた改良後地盤の液状化を検討した。本報では試験施工結果に基づく有効締固め係数 R_c の検証、及び相対密度と液状化強度の関係について検討したので以下に報告する。

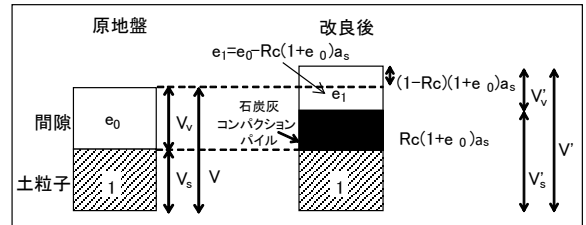


図 1 有効締固め係数 R_c と盛上りの関係

2. 有効締固め係数 R_c

当該地区での試験施工の結果から、締固め改良工法の設計（D法）で用いる有効締固め係数 R_c について検討を行った。 R_c は杭材として投入した改良材体積に対する地盤中に圧入された体積の比により算定され、締固め効率を示す指標となる。

試験施工において得られた改良前地盤の空隙比 e_0 、RI 検層結果より得られた改良後の杭間地盤の空隙比 e_1 、平面改良率 a_s を用い、 $R_c = (e_0 - e_1) / a_s \cdot (1 + e_0)$ の関係より R_c を求めた。改良前後の性状と有効締固め係数 R_c の算出結果を表-1 に示す。

図-2 には他地区の石炭灰埋立地盤で実施された過去の試験工事及び今回工事（H28 試験工事）の R_c と改良率 a_s ・改良前の空隙比 e_0 との関係を示す。図を見る限り、 R_c は改良率・改良前の空隙比とも相関性が低いが、1つの工事の中でのバラツキは小さい。また R_c は、細粒分含有率 F_c に対して相関があると言われており、 $R_c = 1.05 - 0.46 \log F_c$ の関係式²⁾から石炭灰地盤を $F_c \approx 70\%$ として算出すると $R_c \approx 0.20$ となるが、いずれの試験工事においても R_c は大きめの値を示している。つまり石炭灰地盤の有効締固め係数 R_c は、改良率や改良前の空隙比よりも石炭灰地盤の特性に依存し、 $R_c = 1.05 - 0.46 \log F_c$ で求められる R_c よりも大きいことが分かる。

3. 改良効果の検証

有効締固め係数 R_c は石炭灰地盤の特性に依存すると考えると、同じ特性の石炭灰地盤であれば、有効締固め係数 R_c を一定の値とすることができる。

キーワード 石炭灰，液状化，静的締固め工法

連絡先 〒460-0008 愛知県名古屋市中区栄5丁目27番14号（株）不動テトラ中部支店 TEL052-385-0803

表 1 改良地盤の物理試験結果

	改良ピッチ (改良率)	細粒分 含有率 F_c (%)	粘土分 含有率 C_c (%)	塑性 指数 I_p	土粒子 密度 ρ_s (g/cm ³)	乾燥 密度 ρ_d (g/cm ³)	空隙比 e	相対 密度 D_r^* (%)	締固 め度 D_c (%)	有効 締固め 係数 R_c
改良前	—	64.6	10.5		2.20	0.85	1.54	55.5	81.2	—
改良後 (杭間)	□1.6m(15.0%)	67.6	17.7	N.P.	2.24	0.94	1.38	74.5	89.8	0.399
	□1.4m(19.6%)	85.9	21.0		2.22	0.99	1.26	85.1	94.9	0.549
	□1.2m(26.7%)	77.9	21.3		2.23	1.02	1.20	92.8	97.5	0.493

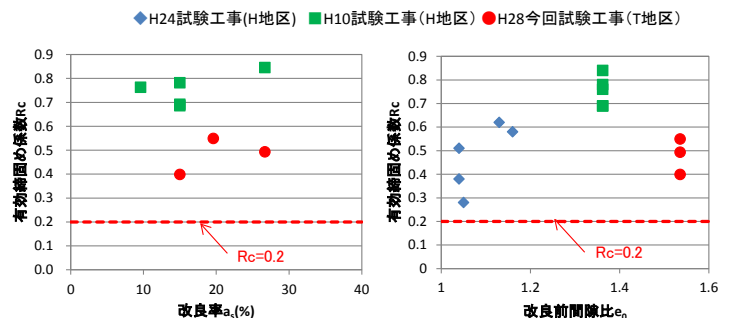


図 2 有効締固め係数 R_c と改良率・空隙比の関係

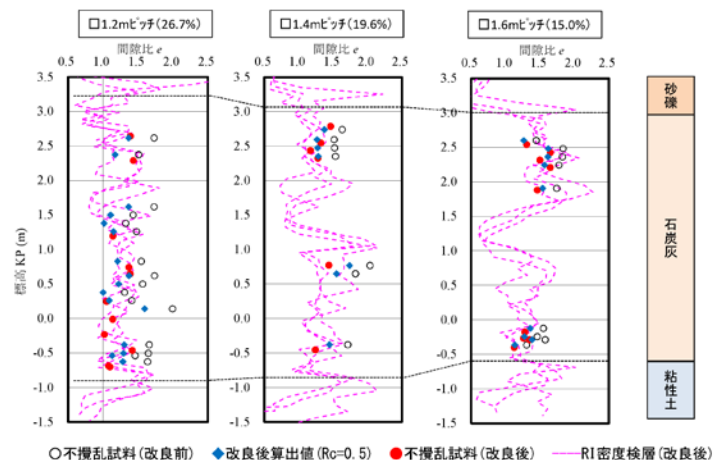


図 3 改良後空隙比の算出値と実測値の比較

そこで当該地区では有効締固め係数 $R_c=0.40\sim0.55$ (平均 0.5 程度) の改良効果が得られていることから、 $R_c=0.5$ と設定し、改良効果を検証した。

図-3 に示す通り、改良前の不攪乱試料の間隙比から $R_c=0.5$ と設定して算出した改良後間隙比と、改良後の不攪乱試料の間隙比は同等の値を示しており、また深度方向に連続的に測定した RI 密度検層から求めた間隙比とも良く一致している。以上から、 $R_c=0.5$ と設定して求めた改良後の間隙比は比較的精度が高いと言える。

4. 相対密度と液状化強度の関係

石炭灰地盤では、同じ相対密度を有する沖積砂層よりも N 値が小さくなる傾向があることから、沖積砂層に対して設定された N 値と液状化強度の関係を用いて液状化強度を求めるよりも、改良後の間隙比から求めた相対密度を用いて液状化強度を算出する方が合理的である。

表 2 石炭灰埋立地盤の物理試験結果

試料名	土粒子密度 ρ_s (g/cm^3)	含水比 w_n (%)	細粒分含有率 F_c (%)	粘土分含有率 C_c (%)	最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm^3)	最大乾燥密度 ρ_{dmax}^* (g/cm^3)	最小乾燥密度 ρ_{dmin} (g/cm^3)	最大間隙比 e_{max}	最小間隙比 e_{min}	最小間隙比 e_{min}^*
南側細粒 (S-F)	2.145	58.2	81.9	15.8	0.944	1.011	0.752	1.852	1.272	1.122
北側粗粒 (N-C)	2.244	54.7	60.1	10.4	1.100	1.076	0.853	1.631	1.040	1.086

※ここで ρ_{dmax}^*, e_{min}^* は突固め試験による最大乾燥密度 ρ_{dmax} から得られる最小間隙比 e_{min}^* と定義する。

当該地区で採取した石炭灰 (表 2 に示す) を再構成して密度調整した試料の室内試験結果より相対密度と液状化強度 R_{L20} の関係について整理すると図 4 となる。図 4 では粒度の違う南側細粒(S-F)と北側粗粒(N-C)で相対密度 Dr のバラツキが大きいため、文献⁴⁾を参考に突固め試験の ρ_{dmax} を用いて e_{min}^* を算出し、相対密度 Dr^* と液状化強度 R_{L20} の関係を図 5 にまとめた。相対密度 Dr^* で整理することで相対密度のバラツキが減り、相関性が高くなる。また改良後の不攪乱試料での液状化強度試験の結果も図-5 に示すが、再構成した密度調整試料の液状化強度に対して、改良後に現地でサンプリングした不攪乱試料の液状化強度の方が大きい。この要因として石炭灰地盤のポゾラン反応による強度増加の影響が考えられる。

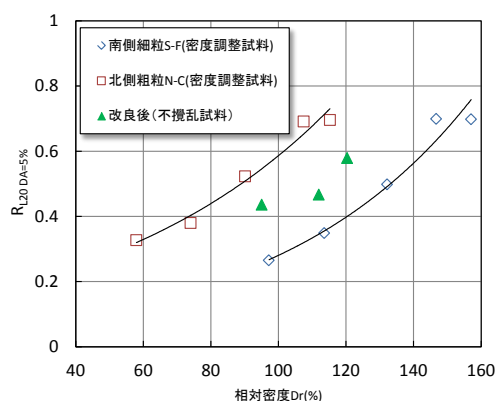


図 4 相対密度 Dr と液状化強度 R_{L20} の関係

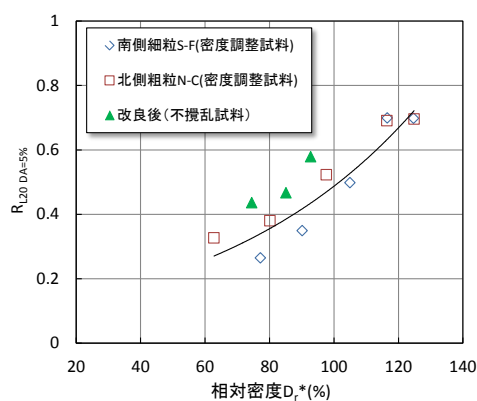


図 5 相対密度 Dr^* と液状化強度 R_{L20} の関係

5. まとめ

石炭灰埋立地盤における静的締固め工法 (SAVE) の試験施工結果から得られた知見を以下にまとめる。

①当該地区の石炭灰地盤での有効締固め係数は $R_c=0.40\sim0.55$ (平均 0.5 程度) であり、 $R_c=1.05-0.46\log F_c$ で求めた値よりも大きい。

②石炭灰地盤では、突固め試験の ρ_{dmax} を用いて整理した相対密度 Dr^* と液状化強度の関係の相関性が高い。

③相対密度 Dr^* で整理すると再構成した密度調整試料に比べ、現地でサンプリングした試料の液状化強度が高い。

今後もデータを蓄積し、石炭灰地盤での相対密度 Dr^* と液状化強度の関係について更なる検証を行うと共に、締固め改良の効果的な予測方法の確立を目指したい。

【参考文献】 1)天野ら：石炭灰埋立地盤に対する静的締固め工法の適用性 (その 1) ～試験施工結果に基づく液状化評価と締固め改良率について～, 第72 回年次学術講演会(投稿中), 2017. 2)打戻し施工によるサトコパ・クシヨパ・イル工法設計・施工マニアル地盤工学会, pp.98,2009. 3)市橋ら：石炭灰埋立地盤の物理・力学特性, 第51回 地盤工学研究発表会発表講演集, pp.745-746, 2016. 4) 原田, 石原：細粒分を含む土の最小間隙比と相対密度についての一考察, 日本地震工学会梗要集, pp.276-277.2012.