

事前混合処理地盤における割増係数と設計強度比による改良強度の適合率の評価について

事前混合処理工法協会 正会員 ○四宮 圭三
 日本国土開発（株） 山仲 徹
 九州大学工学研究院 正会員 笠間 清伸

1. はじめに

事前混合処理工法は、主に港湾・空港施設での液状化防止や岸壁への土圧低減を目的とした工事に適用されるが、割増係数(現場強度と室内強度の違いを補正する係数)は2.0～2.5で設定することが多く、施工配合における固化材添加量は、設計強度に割増係数を乗じた強度に対して決定される。本工法は実施に導入以来30年が経過し、施工技術が向上するにつれ、割増係数を安全側に大きめに設定すると固化材の添加量が多くなり、改良地盤強度が過大となる傾向が顕著になってきた。そこで本論文では、事後調査で得られた改良地盤強度を設計強度との比(設計強度比)で整理し、統計的手法により適合率(設計強度比 ≥ 1.0 となる確率)から事前混合処理地盤の強度のばらつきを考慮した適切な割増係数を提案するものである。

なお、本工法の土砂と固化材の混合方法には、使用土砂性状に応じてベルトコンベア、機械練りミキサ、自走式土質改良機、回転式破碎混合機の4種類の方法がある。近年は使用土砂が多様化し、現地発生土や浚渫土等の幅広い土質に適用できる自走式土質改良機(以下、自走式)、回転式破碎混合機(以下、回転式)が混合プラントに使用されており、工法開発初期に砂を対象に使用事例の多かったベルトコンベア、機械練りミキサは平成21年以降、使用されていない。

自走式は、施工量が1万 m^3 以下の工事で、粒径が小さい砂質土に適用されることが多い方法で、回転式は、粗粒材を含む土砂の破碎・細粒化と同時に固化材を混合できるため、施工量が1万 m^3 以上の工事で、粘性土も含めた幅広い土砂を対象とするときに適用されることが多い方法である。

2. 処理地盤強度実績の整理

自走式及び回転式を用いて混合処理した地盤強度の実績データを平成21年以前と以後に分けて以下の手順で整理して比較した。

まず、現場の事後調査で判明した改良強度を用い、各工事で設定された割増係数で除すことで、割増係数を1.0とした場合の強度に換算する。次に換算強度比として1.5、2.0、2.5を乗じることで、割増係数を1.5、2.0、2.5に設定したときに期待できる改良強度を算定し、これらを設計強度との比(設計強度比)で整理

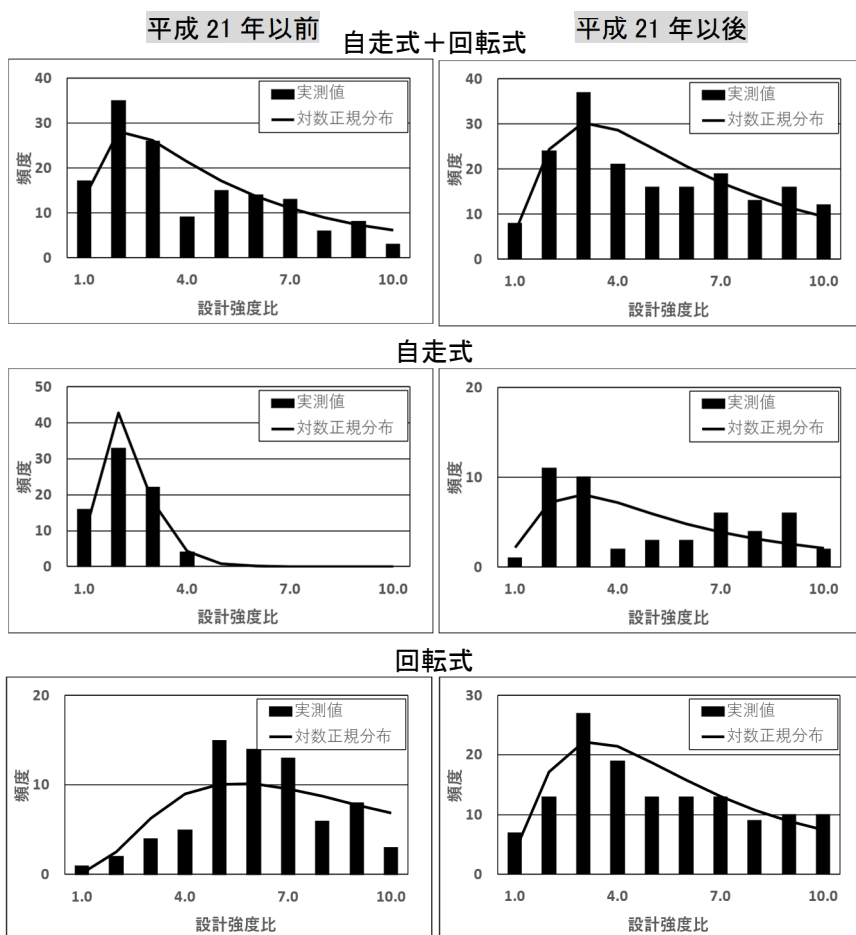


図-1 設計強度比(換算強度比=1.5の時)

事前混合処理工法、改良強度、割増係数、設計強度比、適合率

〒107-8466 東京都港区赤坂 4-9-9 日本国土開発（株） TEL 03-5410-5750

した。図-1は上から順に、換算強度比 1.5 の場合の自走式と回転式を合わせたもの、自走式、回転式について、平成 21 年以前と以後で整理した結果を示す。グラフは、横軸に設計強度比、縦軸にその設計強度比となった頻度を示している。10 以上の設計強度比が観測されているデータも中にはあるが、グラフには 10.0 までの設計強度比を示した。合わせて、実測された設計強度比の対数が対数正規分布と仮定した理論値を実線で示している。

平成 21 年以前は、自走式は設計強度比 4.0 以下、回転式は 4.0 以上となることが多かったが、平成 21 年以降は、その傾向は見られなくなった。

ここで、対数正規分布の頻度が 5.0 以上となる設計強度比について、実測された頻度に対しカイ 2 乗検定を有意水準 5% で実施した。表-1 に、カイ 2 乗検定の結果を示す。平成 21 年以降は、設計強度比は対数正規分布に適合する結果となった。また、自走式+回転式、回転式においては、平成 21 年以降は、それ以前に比べて、より対数正規分布に適合した。これは、施工実績が蓄積され、施工技術の改善、品質の向上に繋がったものと考えられる。

また事前混合処理土は通常水中に投入されることから、水深 5m 以浅とそれ以深に分けて投入方法を規定しているので、投入水深・方法の違いが適合性に及ぼす影響についても検討したが、明瞭な差は認められなかった。

以上のことから、平成 21 年以降では、事前混合処理土は水深の大小に関わらず、設計強度比は対数正規分布で近似できることが分かった。

3. 割増係数の提案

事前混合処理土の設計強度比が対数正規分布に近似できるものとして、表-2 に、設計強度比 1.0 以上となる確率(以下、適合率)を示す。平成 21 年以降になると、適合率は、対数正規分布と実測頻度がほぼ同一の値となるとともに、向上している。なお、回転式は適合率が減少しているが、平成 21 年以前は実績が少なく、適合率が非常に高かったためであり、平成 21 年以降も自走式と同等以上の高い適合率が発揮されている。

ここで、本工法が適用された改良地盤の強度の空間的な不均質性を考慮して地盤全体の安定性を考える。既往の研究¹⁾から、固化地盤全体の要求品質を確保できる確率を 99%以上とするためには、許容できる適合率は、85～95%程度以上である。なお、本工法の変動係数は 0.9 程度と大きい、これは使用土砂性状のばらつきが大きい影響によるもので、換算強度比 1.5 の場合でみると、発現する強度の平均値は設計強度の 4 倍以上と大きく、変動係数の影響をほぼ受けない。したがって、ここでは適合率から最適な割増係数を考えてみる。

平成 21 年以降を見ると、換算強度比が 1.5 の場合、適合率は 96.3～97.9%であり、95.0%以上となる。1.0 の場合は 90.8%以上となり、許容できる適合率を下回る可能性がある。また、2.0 の場合は 98.3%以上となり、やや過大設計となる可能性がある。したがって、従来割増係数は 2.0～2.5 と設定されることが多かったが、投入水深の大小に関わらず、換算強度比 1.5、つまり割増係数に 1.5 を適用することで、固化材添加量の低減を図り、工事費用を抑制しつつ、設計強度を十分に確保することができるものと考えられる。

参考文献

1)笠間・善;強度不均一性を考慮した固化処理地盤の支持力に関する信頼性解析, 材料, Vol.59, No.1, pp. 44-49,2010.

表-1 カイ 2 乗検定適合結果

	自走式+回転式			自走式			回転式		
	判定		自由度	判定		自由度	判定		自由度
	検定値		カイ2乗	検定値		カイ2乗	検定値		カイ2乗
平成20年以前	○		10	×		2	○		9
	15.0	<	18.3	9.1	>	6.0	13.6	<	16.9
平成21年以降	◎		12	○		3	◎		10
	13.8	<	21.0	7.7	<	7.8	10.1	<	18.3

表-2 適合率

上段：対数正規分布		換算強度比		
下段：実測頻度		1.0	1.5	2.0
自走式+ 回転式	～H21	86.0%	93.1%	96.2%
		87.0%	91.2%	98.4%
	H21～	93.1%	97.5%	98.9%
		92.1%	96.7%	98.8%
自走式	～H21	58.4%	88.4%	97.1%
		70.7%	78.7%	96.0%
	H21～	90.8%	96.3%	98.3%
		93.2%	98.3%	100.0%
回転式	～H21	99.2%	99.8%	100.0%
		97.5%	99.2%	100.0%
	H21～	93.9%	97.9%	99.1%
		91.8%	96.2%	98.4%