## コンパクショングラウチングの液状化対策に関する設計法

Design Procedures for Compaction Grouting Method as a Countermeasure for Liquefaction

## 佐藤茂樹\* SATOU, Shigeki

\* (財)沿岸開発技術研究センター 調査部 主任研究員

A trial construction was done to introduce the compaction grouting method as a countermeasure for liquefaction at Tokyo International Airport. From the study of the trial construction, a new design procedure was proposed. Then, actual construction was done on the new B runway. The validity of the proposed design procedure was confirmed from the study of the actual construction.

Key Words : Compaction grouting method(CPG), liquefaction, SCP, Tokyo International Airport

## 1. はじめに

コンパクショングラウチング・デンバーシステム(以 下, CPG工法と略す)は、図-1に示すように流動性の 極めて小さい注入材を地盤に圧入して球根状の固結体を 連続的に造成するものである. CPG工法は砂地盤の密 度増大工法の一つに分類されており、施工機械は小型で 機動性に優れ、削孔して注入するため改良位置を自由に 設定できる特徴がある.

東京国際空港新B滑走路は、大規模地震に備えた耐震 強化施設と位置づけてサンドコンパクションパイル工法 (以下SCP工法と略す)による地盤の液状化対策を実施 している.しかし、新B滑走路の中で、供用中の新A滑 走路との交差部については航空機を運航しない間の夜間 工事となるため、大きな削孔を伴うSCP工法では翌朝 の復旧が困難であり、現実的に用いることができない. 新B滑走路既設舗装直下地盤の液状化対策としてCPG 工法を適用するにあたり、試験工事<sup>1)2)</sup>で設計及び施工法 の研究が行われ、本工事が実施された. CPG工法の設計法<sup>30</sup>について述べ,次に本工事の改良前 後の土質調査結果より,本設計法の妥当性について検討 した結果について報告する.

### 2. СРG工法の設計法の提案

#### 2.1 試験工事場所の土質特性

試験工事を実施した砂地盤(A<sub>s</sub>)は図-2に示すように細 粒分を10~15%含有するかなり不均質な砂である.図-3 は試験工事における改良前と改良後のN値の深度分布で ある.同図のCASE1~3はボトムアップ方式,CASE4はト ップダウン・ボトムアップ併用方式で施工した結果であ る.図-3より改良後のN値は改良前より明らかに増加し ており,その増加量から判断してCPG工法により十分 な改良効果が発揮されたことがわかる.ただ,必ずしも 改良率の増加分だけN値が増加しているとは言えない. これは、当該地区の砂質地盤の細粒分含有率 F<sub>c</sub>にばらつ きがあり,N値の増加は細粒分含有率の影響を受けるた めである.



本論文では、まず試験工事結果に基づいて提案された



図-1 CPG工法の概要 (トップダウン・ボトムアップ併用工法の場合を示す.)



図-3 改良前・改良後のN値の深度分布

### 2.2 設計法の検討

上述したように、CPG工法の設計法は、密度増大工 法の原理からサンドコンパクション工法(以下,SCP 工法と略す)の設計法<sup>4</sup>と同様にN値~相対密度 *D*,関係 と *D*,~間隙比 *e*関係及び改良率 *a*<sub>s</sub>~*e*の関係を用いて定 めることができるものと考えられた.また、図-2 に示し た試験工事の砂質地盤は細粒分を多く含むことから、細 粒分による改良効果の低減を考慮した設計法を提案する 必要があった.なお、SCP工法の設計法でも細粒分に よる改良効果の低減を考慮する設計法が提案されており、 CPG工法の設計法を検討する上で参考としてしている.

図-4 は提案されたCPG工法の設計フローである.以下に、東京国際空港の地盤に関する設計条件について述べる.



図-4 設計フロー

# (1)東京国際空港の砂地盤の最大間隙比 *e<sub>max</sub>~F<sub>c</sub>*及び最小間隙比 *e<sub>min</sub>~F<sub>c</sub>*の関係

 $e_{max} \sim F_c$ 及び $e_{min} \sim F_c$ の関係は参考文献 4) において一般式が提案されている.しかし, 提案されている関係式は多種多様な地盤を 対象とした一般式であり,埋立地である東京 国際空港の地盤に適さない可能性があった. このため,空港内の土質試験データを整理し, 図-5 に示す関係を求めている.



図-5 最大·最小間隙比 emax, emin と細粒分含有率 Fcの関係

## (2) 試験工事のデータに基づく細粒分による改良効果 の低減

図-6 は、細粒分の影響を受けない場合の推定改良後N 値 $N_l$ と実測の改良後N値 $N_2$ 'の比 ( $N_2$ '/ $N_l$ ) と  $F_c$ の 関係を示している. 同図の実線は回帰直線であり、 $F_c$ =10% では $N_2$ '/ $N_F$ =0.74、 $F_c$ =80%では $N_2$ '/ $N_F$ =0.4 と  $F_c$ の増 加に伴い $N_2$ '/ $N_l$ は低下する. 細粒分によるN値の増加 量の低減率 $\beta$ は、式(1)に示す細粒分の影響を受けたN値 の増加量 $\Delta$ Nと細粒分の影響を考慮しないN値の増加量  $\Delta N$ 'の比で表される.

$$\beta = \frac{\Delta N}{\Delta N'} = \frac{N_1 - N_o}{N_1' - N_o} \tag{1}$$

ここに、 $\Delta N$  : 細粒分の影響を受けたN値の増分

- ΔN':細粒分の影響を考慮しないN値の増分
- N。: 改良前地盤N值
- N, : 改良後地盤N値
- N<sub>1</sub>':細粒分の影響を考慮しない場合の改良 後のN値



試験工事の事前・事後の土質調査データから求めたβ とF<sub>c</sub>の関係を図-7に示す.同図の実線は提案された設計 線である.破線はこの設計線に対するデータの標準偏差 を表している.同図より,試験工事のデータは多少ばら ついているものの,設計線周辺にデータがプロットされ ていることがわかる.

図-8 は改良後の実測N値 $N_2$ , と細粒分の影響を考慮 した改良後目標N値 $N_2$ の比と改良前の実測N値 $N_0$ の関 係を示している. プロットデータは $0.5 \sim 1.5$ の範囲にあ り、概ね1.0付近にある.

1.2 凡 例 Ο CASE 1 1.0 05.0 CASE 2 Δ CASE 3 0.8 ☆ CASE 4 Φ ф 低減率。 0.6 Δ 0.4  $\widehat{\underline{\epsilon}}^{10}$ 0.2 T J 0. 0<sup>L</sup> 2 20 100 獣15 50 5 10 細粒分含有率 F。(%) 図-7  $\beta \geq F_o$ の関係



図-8  $N_2'/N_2 \geq N_0$ の関係

## 3.提案法の本工事における妥当性の検討

#### 3.1 本工事場所の土質特性

)

本工事に際し,改良前の対象地盤では,標準貫入試験 および物理試験を16箇所で行った.そのうち改良対象地 盤の土質特性として(a) N値,(b) 細粒分含有率,(c) 塑性 指数の深度分布を図-9 に示す.図-9 には試験工事の4箇 所の試験データも併せて示している.また,これらの結 果のうち両対象地点(試験・本工事)に共通である Aso 層 について平均値,標準偏差,変動係数を表-1 に示す.こ れより,本工事対象地盤では,試験工事対象地盤と比べ てN値は小さく,細粒分含有率,及び塑性指数は大きい ことが分かる.

表-1 A<sub>30</sub>層のN値、細粒分含有率、塑性指数一覧表

Aso	N値		細粒分含有率(%)		塑性指数	
	試験工事	本工事	試験工事	本工事	試験工事	本工事
平均值	14	8	21	27	NP	3
標準偏差	6	5	13	16	-	12
変動係数	42%	66%	63%	58%	-	-



#### 3.2 提案法の妥当性の検討

本工事の設計法の妥当性の検討は以下の2点により行った.

①低減率βと細粒分含有率F。の関係

②改良後実測N値 $N_2$ 、と改良後目標N値 $N_2$ の関係 (1)低減率 $\beta$ と細粒分含有率 $F_c$ の関係

改良前・後の試験工事および本工事対象地盤の土質調 査結果を用いて低減率βと細粒分含有率F<sub>c</sub>の関係を図 -10 に示す.この図には、東京国際空港内のSCPの結果も 併せてプロットしている.

図中には、試験工事に際して提案した設計線(太線), 及びこの設計線に対する標準偏差(破線(太線))を示して いる.また、参考として、SCP、試験・本工事データの回 帰直線(細線),及びこの回帰直線に対する標準偏差(点 線:σ=±0.26)を示した.これより、プロットしたデータ の設計線周辺のばらつきはSCPよりも試験工事、試験工 事よりも本工事の方が小さい.また、改良前地盤では細 粒分含有率が10%程度以上であること、この範囲( $F_c \ge$  10%)での設計線と回帰直線の相違は小さいことから、試験工事で提案した設計線が妥当であったと考えられる.



図-11 改良後実測N值 $N_2$ ' ~ 改良後目標N值 $N_2$ 

(2) 改良後実測N値N<sub>2</sub>'と改良後目標N値N<sub>2</sub>の関係 改良後実測N値N<sub>2</sub>'と改良後目標N値N<sub>2</sub>との関係を 図-11に示す.試験工事・本工事ともにプロットはおおむ ね1:1の直線上にばらついている.また,図中の実線は, 試験工事および本工事のデータの回帰直線である. 点線 は、この回帰直線に対するデータの標準偏差を示してい る. これより、回帰直線も1:0.92 であり提案法が妥当 であると判断できる.

## 4. あとがき

試験工事において事前・事後の土質データに基づきC PG工法の設計法が提案された.提案法に従って設計さ れた本工事において,改良前後の土質調査結果に基づい て提案法の検証を行い妥当性が明らかになった.今後は、 継続する本工事においてさらにデータの蓄積を図るとと もに,施工方法についても検討を行う予定である.

なお、交差部の液状化対策の検討に当たっては国土交 通省関東地方整備局横浜港湾空港技術調査事務所により 「東京国際空港既設舗装直下地盤液状化対策工法検討調 査委員会(委員長:善功企 九州大学大学院工学研究院 教授)」が設置され、ご助言及びご指導をいただいている. ここに記して厚く御礼申し上げます.

#### 参考文献

- 2)野上富治・松下信夫・内山甲一・足立雅樹・仲家純次:コンパクショングラウチング工法の既設舗装直下での施工管理に関する検討,第35回地盤工学研究発表会,pp.2415~2416,2000.
- 3) 善功企・野上富治・菅野秀樹・滝昌和・菅野雄一:コンパク ショングラウチングの液状化対策に関する設計法,第35回地 盤工学研究発表会,pp.2413~2414,2000.
- 4) 水野泰男・末松直幹・奥山一典:細粒分含有率を多く含む砂 質地盤におけるサンドコンパクションパイル工法の設計法, 土と基礎, Vol. 35, No. 5, pp. 21~26, 1987.