

東京国際空港における CPG 工法改良域端部から中央部の改良効果の変化について

Verification of Liquefaction Remediation Effects with Compaction Grouting Method at Tokyo International Airport

佐藤茂樹*・八木橋貢**

SATOU, Shigeki and YAGIHASHI, Mitsugu

* (財) 沿岸開発技術研究センター 調査部 主任研究員

** 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 空港設計室 室長

A field investigation at Tokyo International Airport is conducted to confirm the effectiveness of the CPG method. It is revealed that the soil improvement effect decreases near the edge of the improved area in comparison with the center of it. On the other hand, earth pressure coefficients at rest in the improved area have kept high values, e.g. over 1.0, after 3 years from the execution of improvements.

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低いモルタルを地盤中に静的に圧入して固結体を造成することによる締固め効果で、周辺地盤を圧縮強化する工法である。施工機械は小型で機動性に優れ、層ごとに注入量を変化させることができる。

著者は昨年度の論文において、供用中の東京国際空港新B滑走路交差部(図-2参照)において液状化対策として用いられたCPG工法的设计法について述べた。液状化層のN値を液状化しないN値まで上昇させるための必要改良率を算出するにあたり、密度増大工法の原理からサンドコンパクション工法的设计法と同様に、N値～相対密度 D_r 関係、 D_r ～間隙比 e 関係、改良率 a_s ～ e 関係、及び細粒分による増加N値の低減係数を用いて改良率を算出できることを述べた¹⁾。本設計法をもって平成10年度末より本工事が開始され13年度を最後に対象範囲すべての施工が完了した。

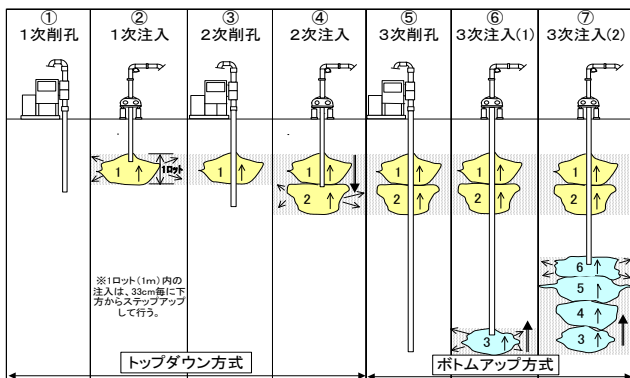


図-1 CPG工法の概要

(トップダウン・ボトムアップ併用方式の場合を示す)

これら工事施工後の改良効果の判定においては、すべてのチェックボーリング箇所で「地盤全体として液状化しない」との判定結果が得られた。ただし、地盤の緩い未改良域に接する改良域端部と改良域の中央部では改良効果が異なることが予測され、今後の適用箇所によっては改良域端部において改良率を増加させるなどの対応が必要となる可能性が考えられた。そのため、改良域端部から中央部への改良効果の違いを把握することを目的として、等価N値、繰返しせん断応力比、静止土圧係数 K_0 について、改良域端部から中央部における変化について調査を実施した。また、改良効果の詳細判定に用いている改良後の静止土圧係数 K_0 の経年変化についても追跡調査が行われたので合わせて報告するものである。

2. CPG工法の改良効果の確認方法

「東京国際空港新B滑走路地盤改良工事」ではCPG工法の改良効果を以下の三段階の手順で確認している。

①ステップ1

まず、正三角形配置である改良杭の中央部において、標準貫入試験により改良後のN値を測定し、「粒度とN値による液状化の判定」を実施する。この判定方法は「港湾の施設の技術上の基準・同解説」²⁾(以下、港湾基準と略す)と同様の判定法を用いる。ただし、詳細については割愛するが、細粒分含有率 F_c による等価N値の補正係数 C_N については東京国際空港における土質試験結果をもとに別途設定したものをを用いている。

1m間隔の深度ごとに得られたN値を用いて、各深度ごとに液状化の判定(港湾基準の液状化判定チャートI～IVの区分けを指す)を行い、地盤全体としての液状化判定は以下の方法によって行っている。

・深さ20m以浅で1m間隔の深度で得られたN値のうち、2点の深度で連続して「液状化する(I)」、「液状化する可

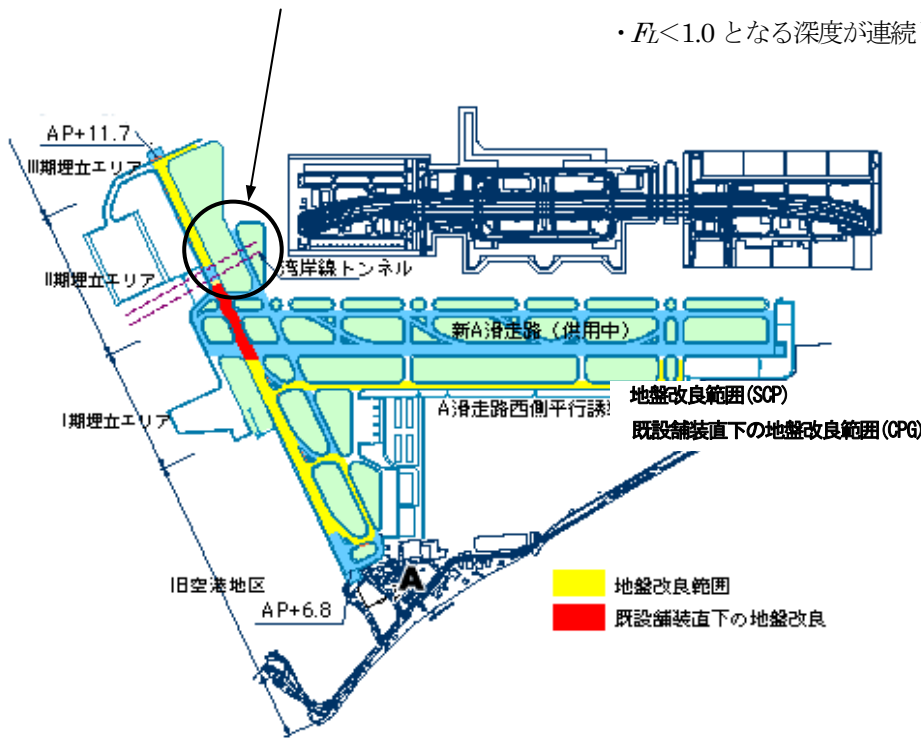


図2 CPG施工箇所

・ $FL < 1.0$ となる深度が連続しない場合でも、すべての層を見て、3点以上 $FL < 1.0$ があるものは地盤全体として液状化すると判定する。

③ステップ3

ステップ2において「地盤全体として液状化する」と判定された場合、対象深度の改良後の不攪乱試料を採取し、繰返し三軸試験を実施する。この結果とステップ2で求めた K_0 より液状化強度比 R_{max} を求め、液状化安全率 $FL (= R_{max}/L_{max})$ を求め、前述の方法によって地盤全体としての液状化判定を行う。

能性が高い(II)、「液状化しない可能性が高い(III)」と判定された場合は、地盤全体として液状化すると判定する。
 ・(I), (II), (III)と判断される深度が連続しない場合でも、すべての層を見て、3点以上あるものは地盤全体として液状化すると判定する。

②ステップ2

ステップ1において「地盤全体として液状化する」と判定された場合には、改良杭間でセルフポーリングタイプの孔内水平載荷試験を実施し、対象深度の静止土圧係数 K_0 を測定する。これまでの測定結果によれば、改良後の K_0 は改良前の0.5より増大することが明らかとなっている。事前土質調査で実施した対象土層の繰返し三軸試験結果から得られた繰返しせん断応力比 $(\tau_\theta/\sigma'_c)_{N_\theta=20}$ と測定された改良後の K_0 より、液状化強度比 R_{max} を求める。地盤の地震応答解析より求めた最大せん断応力比 L_{max} より液状化安全率 $FL (= R_{max}/L_{max})$ を求め、地盤全体としての液状化判定を行う。液状化強度比 R_{max} は式(1)により求める³⁾。

$$R_{max} = \left(\frac{0.9}{C_k} \right) \frac{(1+2K_0)}{3} (\tau_\theta/\sigma'_c)_{N_\theta=20} \quad (1)$$

ここに、 K_0 : 静止土圧係数、 C_k : 波形による換算係数、 $(\tau_\theta/\sigma'_c)_{N_\theta=20}$: 繰返し三軸試験結果より得られる、正弦波により20波で液状化が発生するときの繰返しせん断応力比である。

地盤全体としての液状化判定については、前述の方法に準じ、2点の深度で連続して $FL < 1.0$ となる場合は地盤全体として液状化すると判定する。

行う。

3. CPG改良域端部と中央部の改良効果の変化に関する調査

前述の式(1)に示すように、液状化強度比 R_{max} には地盤の拘束の程度を考慮するために静止土圧係数が組み入れられている。液状化を防止するためには、この静止土圧係数 K_0 が改良により増大し、その後もその値が維持されていることが非常に重要である。そのほか、改良後のN値、繰返しせん断応力比 $(\tau_\theta/\sigma'_c)_{N_\theta=20}$ も液状化を防止する上で重要な要素である。未改良域に接する改良域端部から改良域の中央部方向にかけてのこれら改良効果の違いを把握するため、標準貫入試験によるN値の測定、不攪乱試料を採取し繰返し三軸試験によるせん断応力比 $(\tau_\theta/\sigma'_c)_{N_\theta=20}$ の算定、セルフポーリングタイプの孔内水平載荷試験による静止土圧係数 K_0 の測定を実施した。図-3に調査位置図を示す。調査は改良域端部からの距離を変えた4箇所で行った。最も改良域の中央部に近い調査位置は端部から5本目と6本目の改良杭の間である。No.1-1, No.2-1, No.3-1の調査孔は改良杭群の外の位置にあるが、この位置は改良杭の中心から85cmと、改良杭中心間隔170cmの半分の場所であり、改良効果の有効範囲の端部すなわち改良域端部と位置付けた。

調査位置における施工時の注入圧力は平均で2MPa程度であり、地層や場所による違いはほとんど見られていない。また、改良材は全ての箇所で行った計画注入量が注入されている。

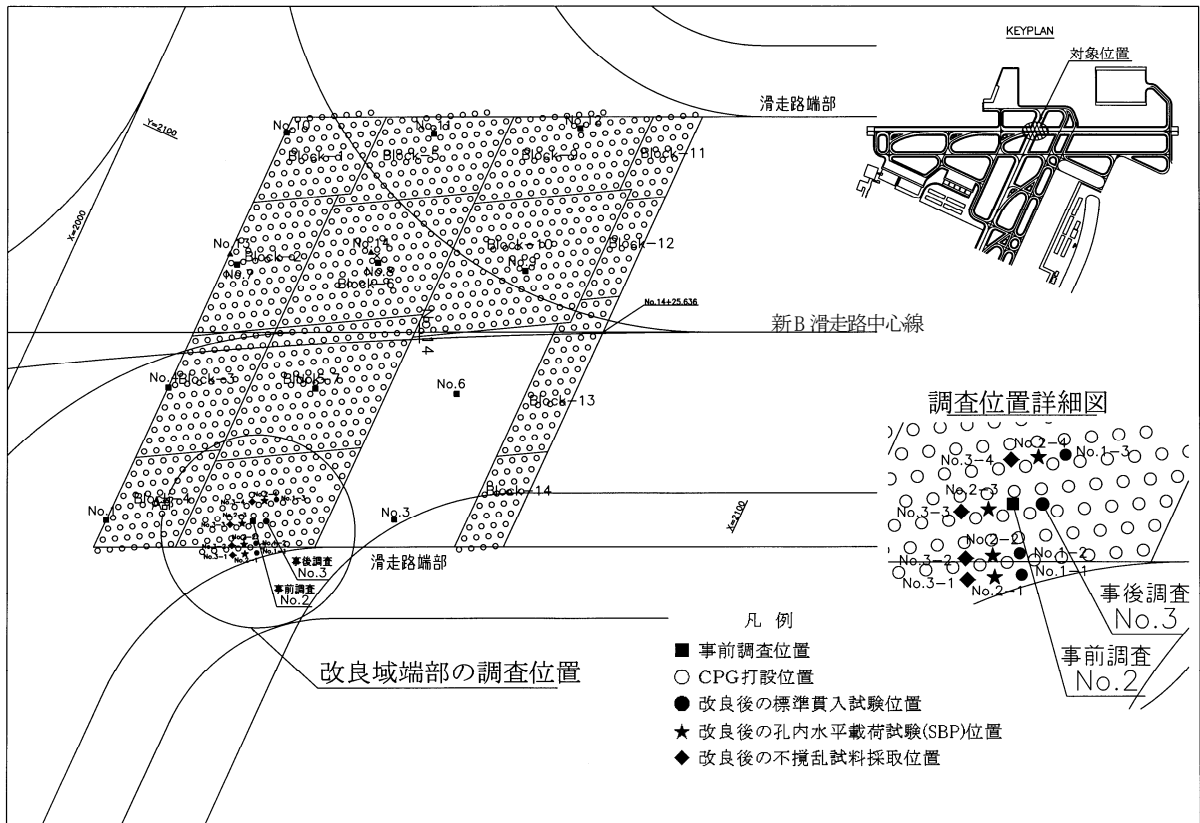


図-3 調査位置図

砂地盤の液化強度に関する等価N値，繰返しせん断応力比 $(\tau_0/\sigma_c)_{N_0=20}$ ，静止土圧係数 K_0 について，改良域端部からの距離との関係を図-4に整理した。

図-4(a)より，等価N値は改良域端部から改良域内にかけて増加が見られる。一方，改良域内ではN値の増加は見られない。

図-4(b)より，繰返しせん断応力比 $(\tau_0/\sigma_c)_{N_0=20}$ については顕著な違いは見られない。

図-4(c)より，静止土圧係数 K_0 は改良域端部から改良域内に向けて増加が見られる。端部から2箇所目（端部から約1.4m）までは K_0 が1.0より小さい。端部から3本目の改良杭より改良域中央部にはいると K_0 は平均で

1.0以上となる。

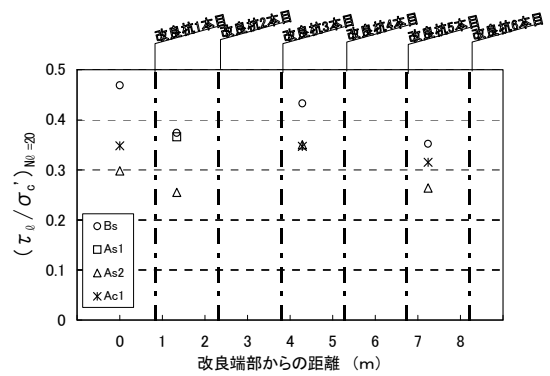


図-4(b) 繰返しせん断応力比と改良域端部からの距離の関係

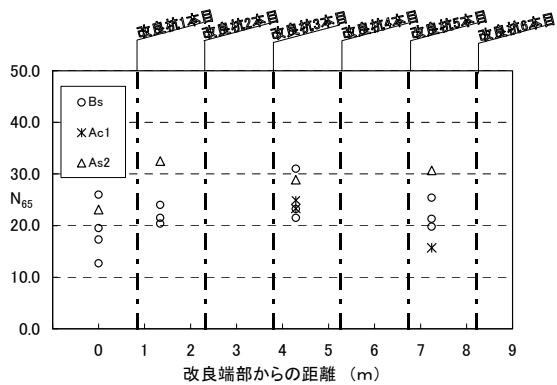


図-4(a) 等価N値と改良域端部からの距離の関係

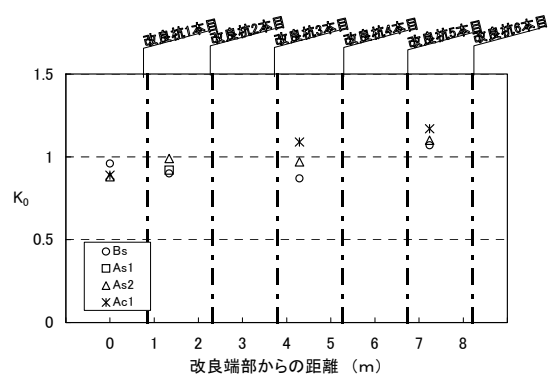


図-4(c) 静止土圧係数と改良域端部からの距離の関係

これらの結果から見ると、改良域端部から改良杭3本分あるいは改良域端部から4m付近より中央側では、改良効果が十分に発揮されていると考えられる。一方、これより端部側においては、中央部と同等の改良効果を得るためには改良率を大きくする必要があることを示している。なお今回、これら改良域端部においても、地盤全体としての液状化を防止することに対しては、十分な改良効果が得られていることを確認している。

4. CPG改良域における K_0 値の追跡調査

先に述べたように、液状化を防止するためには、改良により増大した静止土圧係数 K_0 が保持されていることが重要である。

平成10年度の試験工事のCPG改良区域において静止土圧係数 K_0 の追跡調査が行われた。図-5に測定位置を示す。追跡調査は改良率15%のエリアで実施されている。

図-6に K_0 値の深度分布を示す。図中には改良前の測定値、改良率15%のエリアでの改良直後、1年半後及び3年後の測定値をプロットしている。図より、下記のことわかる。

- ①改良前の K_0 値はほぼ0.5に対し、改良後の K_0 は全深度でほぼ1.0以上である。
- ②改良後の K_0 値は、改良後3年経過しても維持されている。

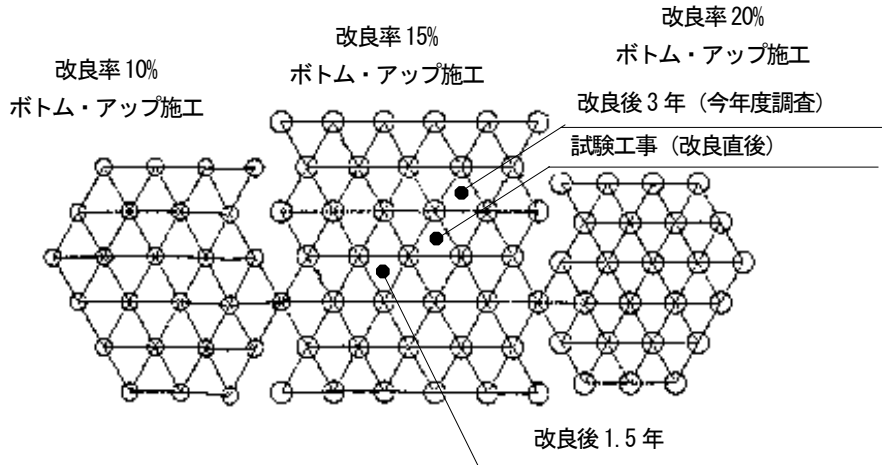


図-5 静止土圧係数測定位置図

5. あとがき

改良域端部においても液状化に対する改良効果があるが、中央部に比べ改良効果が減少することが明らかになった。一方、 K_0 値については改良後3年経過しても維持されていることが明らかとなった。今後は、他のCPG工法施工時についてもさらにデータの蓄積を図る必要があると考えられる。

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

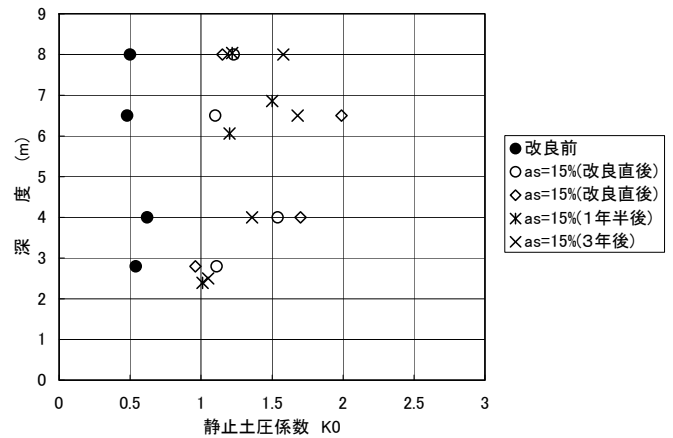


図-6 静止土圧係数の深度分布

「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

- 1) 佐藤茂樹：コンパクトシロウチングの液状化対策に関する設計法，沿岸センター研究論文集，No. 1，pp. 33～36，2001。
- 2) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，pp. 281～288，1999。
- 3) (財) 沿岸開発技術研究センター：埋立地の液状化対策ハンドブック（改訂版），pp. 114～131，1997。