

静的圧入締固め工法における地表面隆起管理事例

(株) 大林組 正会員 ○三浦 桂子 斉藤 智 蓮花 太平

1. はじめに

東京国際空港では、大規模地震時における空港機能確保を目的とした、滑走路及び誘導路の液状化対策工事が行われている。そのうち、東京国際空港 C 滑走路南側他地盤改良工事（以降、当工事）では、静的圧入締固め工法のコンパクショングラウチング工法（以降、CPG 工法）による地盤改良工を 16 ブロック、CPG 杭総計 4,090 本の造成を行った。一般に地盤改良工は、不可視部に改良体を造成することから、確実な改良効果を得るためには、規定された改良仕様（注入量、注入速度など）に従って施工しなければならないが、改良材の注入に伴って地盤内の圧力が上昇すると、地表面の隆起を引き起こす可能性がある。滑走路を安全に供用するためには、隆起量を制御しながら施工する必要がある、品質・出来形管理の他に地表面の変状に注意した施工管理が重要となる。

当工事では工程上、多数の施工機を投じて複数のブロックを同時に施工する必要があり（最大 7 ブロック、20 セット）、各施工箇所の隆起量の把握においては計測管理の上で課題があった。本報文では、計測管理の工夫により施工時の地表面隆起監視を図った事例を報告する。

2. CPG 工法における隆起管理の現状と課題

CPG 工法の施工手順を図-1 に、空港施設内における隆起管理項目とその管理値を表-1 に示す。注入ステップごとに地表面の隆起やその要因となる注入圧力の上昇に留意しながら施工を行い、管理値を超過する場合には隆起制御を優先して当該ステップの注入を中断し次ステップへ移行するなど対処を行うこととなっている^[1]。

施工時の隆起測量は、従来からレベル測量により注入

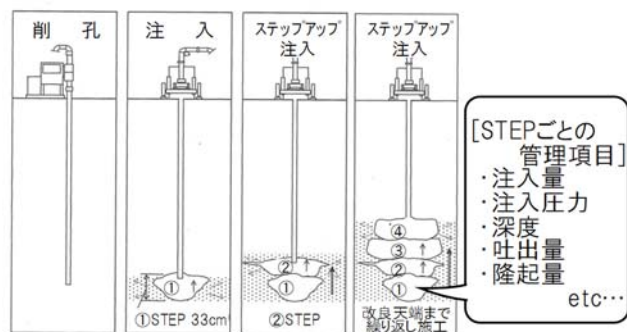


図-1 CPG 工法施工手順

表-1 隆起管理における管理項目及び管理値

施工管理項目		施工管理値
隆起量	注入ステップ別隆起量	2mm以下
	地点別隆起量	14mm以下
	累計隆起量(≦許容隆起量)	150mm以下
最大注入圧力		6MPa以下

ステップごとに測量を実施しているが、人による測量では複数箇所の注入中の隆起傾向をリアルタイムに把握することは困難であり、急な隆起が生じた際に隆起の把握が遅れる懸念もあった。また、レベル測量の計測精度は最小で 0.5mm 程度であり、夜間に 1 ステップあたり 2mm の微小な隆起量を計測するためには、注入箇所に近い位置で測量しなければならないが、レベル設置箇所周辺で隆起が生じる恐れがあるなど、計測精度に課題もあった。

3. 注入時隆起量の計測管理

(1) リアルタイム計測の実施

隆起管理における各課題を解決するために、リアルタイムで変状計測が可能な、ワイヤレス沈下・隆起計測システムを導入して隆起量の常時監視を試みた（図-2）。当該システムは、回転式レーザーレベルと複数のワイヤレス受光センサーの使用により同時に多点計測が可能であり、夜間でも 0.1mm 単位の精度で計測が可能である。また、計測データをクラウドサーバーで管理 PC に集約できるため、離れた施工箇所の隆起量の把握も容易となる。

当工事では、レーザーによるリアルタイム計測の適用性を検証するため、注入ステップ別隆起量と地点別隆起量において、レベル測量と併用して計測を実施した。



図-2 レーザー測量による隆起監視状況

キーワード：静的圧入締固め工法，隆起管理

連絡先：(株)大林組 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 TEL：03-5769-1302 FAX：03-5769-1547

(2) レーザー測量による隆起量計測結果

図-3 にレベル測量及びレーザー測量による、注入ステップ別隆起量の計測結果の一例を示す。レベル測量では、実際には 1.0mm 単位でしか計測が困難であったことから、注入ステップ別隆起量の計測結果は、当該ブロックでは 0.0mm, 1.0mm の計測値が大半を占めた。これに対し、レーザー測量では 1.0mm 以下の微小な変状を捉えることができており、また、1.0mm を超える隆起もレベル測量よりも捉えることができており、変状監視という点で有効であったと考える。なお、今回の隆起管理では、レベル測量またはレーザー測量において注入ステップ別隆起量の管理値 2.0mm を超える変状を確認した時点で当該ステップの注入を一時中止し、双方の計測結果の検証を行い地表面隆起と判断された際に次ステップに移行する隆起制御対策を実施した。

図-4 に各注入ステップでの発生隆起量の傾向を整理した結果を示す。レベル測量では、各ステップの隆起量は大半が 0.0mm であったが、レーザー測量では各ステップで微小な隆起が生じていたことが分かる。また、レベル測量では、3STEP 目から徐々に隆起が確認されているが、これらは把握できなかった微小な隆起傾向が蓄積されてレベル測量で計測できるようになったものと考えられる。なお、レーザー測量では 0.5mm 程度の沈下傾向を多く計測した。これは、注入した改良材の比重が周辺土よりも大きいため、注入に伴い上載荷重が増加して下層の軟弱土層が圧密沈下を生じたものと考えられる。

次に、図-5 に地点別隆起量の計測結果を示す。当該ブロックでは、地点別隆起量の管理値 14.0mm に対し、最終 STEP におけるレベル測量での計測値は 0.5mm～9.0mm、レーザー測量では -0.6mm～8.4mm と概ね同等の結果となった。なお、レベル測量とレーザー測量とで多少の誤差は確認されたが、誤差のばらつき(σ)は±1.2mm 程度であり、地点別隆起量の管理値に対しては測量誤差の範囲と考える。

以上の結果から、レーザー測量による常時監視により、レベル測量では計測できない注入ステップごとの隆起傾向を把握することが可能となり、最終 STEP までの連続的な隆起計測においても、レベル測量と同等以上の計測管理が可能であることが確認できた。多少の測量誤差はあるが、それを考慮した自主管理値を設定し運用することで、より精度の高い隆起管理が可能と考えられる。

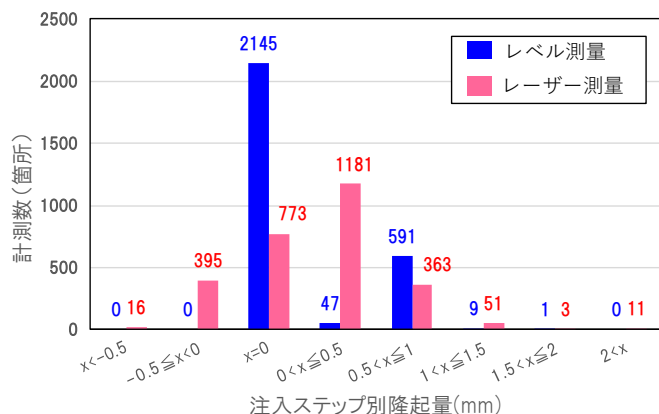


図-3 計測結果 (注入ステップ別隆起量)

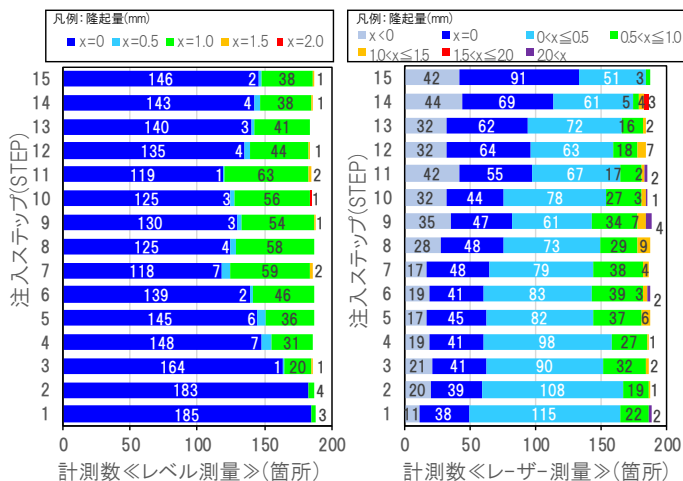


図-4 注入ステップごとの発生隆起量の傾向

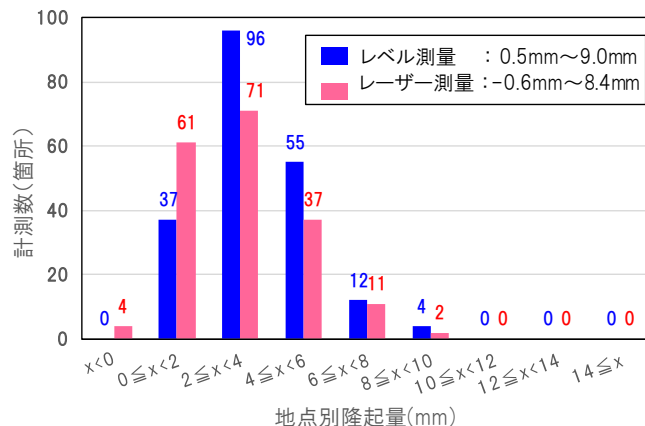


図-5 計測結果 (地点別隆起量)

4. 今後の課題と展望

本稿では、レーザー測量による常時監視の適用性を確認した。しかしながら、注入ステップ別隆起量の計測においては、計測専任者を常時配置して各班の施工状況を逐一確認しながら計測するといった、工夫が必要であった。これについては、施工機械と連動した計測システムを構築するといった改良を行うことで、計測管理の省力化が図れると考えられる。

[参考文献] [1] (財) 沿岸技術研究センター：液状化対策としての静的圧入締固め工法技術マニュアル, 2013