

大深度かつ高粘着力土層における地盤改良工の課題と検討について

横山 惇泰

関東地方整備局 東京空港整備事務所 第六建設管理官室（〒144-0041 東京都大田区羽田空港3-3-1）

平成30年に発生した台風21号により関西国際空港で被害が出たことを受け、閣議決定された「防災・減災・国土強靱化のための3か年緊急対策」に基づき、東京国際空港では「護岸嵩上げ」を緊急対策項目とし、多摩川護岸の整備を進めている。東京都大田区と協議し、周辺と調和のとれた良好な景観を創出するため、盛土した上部に展望テラスを設置する。しかし、施工箇所の近辺には環状八号線や東京モノレールが整備されており、展望テラスの設置により周辺構造物に影響を与える恐れがあるため、対策として展望テラス下部の地盤改良を行うが、現地の地層に高粘着力土層が確認されたため、地盤改良工の施工方法について再度検討した。

キーワード 東京国際空港 多摩川護岸 地盤改良工 高粘着力土層

1. はじめに

東京国際空港では、多摩川護岸の整備を進める際、盛土した上部に展望テラスを設置するにあたり、周辺構造物に影響を与えぬよう、埋立て地である軟弱な地盤を強固な地盤にするため地盤改良を行っている。以下に施工位置を示す(図-1)



(図-4) 施工位置図

多摩川護岸の整備では、展望テラス設置範囲についてをAP-20.0m付近まで改良する。地盤沈下対策及び周辺構造物への影響を抑制する効果が期待でき、新技術を活用しながら経済性にも優れる工法として、深層混合処理工

のエポコラム-Loto工法を採用することとした。この工法は、スラリーと呼ばれる改良材（高炉セメントB種と海水を混ぜ合わせたセメント系固化剤）を攪拌翼の先端と翼中の2箇所から吐出し、改良範囲(1本あたり直径2.3m)全域に改良材を注入拡散する工法である。

しかし、今回の施工では、後の調査で改良深度をAP-47.5mまで行うことが必要となり、AP-20.0m以深は高粘着力土層であることが判明し、従来の工法では供回り現象(土と改良材が同方向に回転し、攪拌混合されない現象)を起こし、強度不足が生じることが懸念されたため、エココラムTaf-Pls工法(強制的に排土しながら改良材置換を行う工法)を用いて、改良材置換前に原地盤のほぐしを目的とした水切削孔による試験施工を実施することで、供回り現象を抑え、均一な改良を可能とするか検証した。

2. 高粘着力土層の改良における課題

(1) 従来工法

エココラム-Loto工法は、前項で述べたように先端と翼中の2箇所から改良材を吐出しながら攪拌混合するため、改良範囲全域に改良材の注入拡散が可能で、経済性に優れた工法である。(図-1)(写真-1)

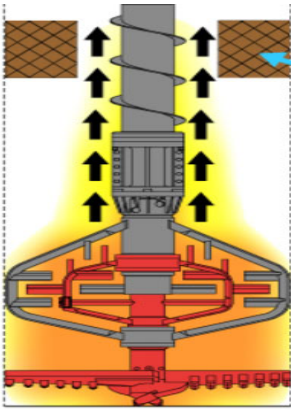


(図-1) 攪拌翼拡大図

(写真-1) エポコラムLoto工法

(2)新たに提案した工法

前項で述べた懸念事項を解消すべく、新たな工法としてエポコラムTaf-Pls工法を選定した。(図-2) (写真-2)



(図-2) 攪拌翼拡大図

(写真-2) エポコラムTaf-Pls工法

今回、エポコラムTaf-Pls工法を選定した理由は、冒頭で述べた期待できる効果はそのままに、従来使用してきたエポコラムLoto工法とケーシング形状が異なり、スパイラル形状となっていることで強制的に排土しながら改良材置換を行い攪拌混合することができる工法だからである。そのため、現地盤下で供回り現象を起こすことなく、均一に攪拌された良好な改良体を製作でき、施工性に優れており、現場条件に最適な工法であると考えます。

3. 具体的な施工方法の検証(試験施工)

(1)試験施工の概要

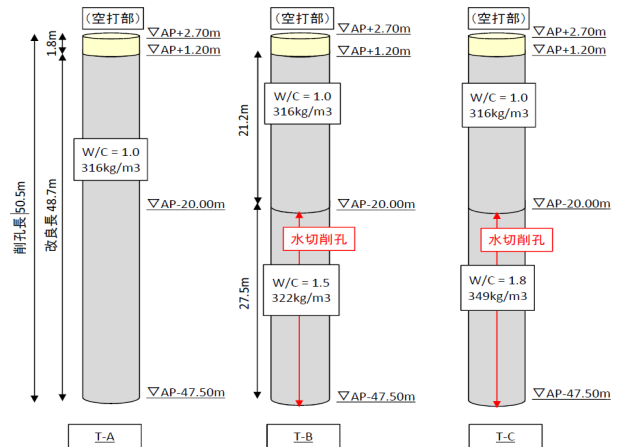
大深度かつ高粘着力土層における地盤改良は東京国際空港での施工実績がなく、施工の確実性や改良品質の確保が懸念されるため、本施工で採用する前に、現地盤の条件でより適正な施工方法を検討することを目的とした試験施工を行った。検証にあたり確認した内容は次のとおりである。

- ・原地盤掘削(貫入)時の高粘着力土層部における水切

削孔(水のみを吐出し攪拌すること)によるほぐしの効果。

- ・設計改良強度1,500 k N/m²を満足する固化剤を添加した実機での改良効果。
- ・1本あたりの施工時間が長時間(約5時間)となるため、遅延剤を添加することによる強度への影響確認。

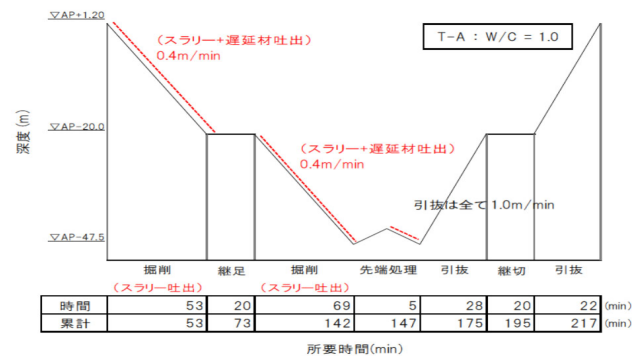
これらを確認するため、事前調査ボーリングを行った結果、AP-20.0m以浅を一般部、AP-20.0m以深を高粘着力部として、次に示すA～Cの3パターン(図-3)で試験施工を行った。



(図-3) 改良模式図

a)試験施工A

水切削孔は行わず、固化剤の水セメント比を1.0とし、AP-47.5m(最下端)までセメントスラリーを吐出しながら攪拌を行う。施工フローは以下のとおり。(図-5)



(図-5) 施工フロー

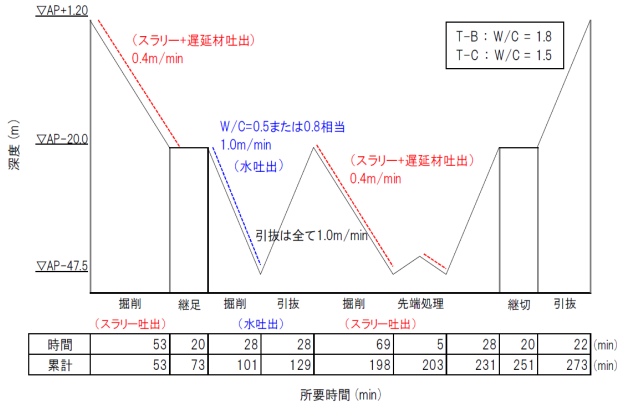
b)試験施工B

AP+1.20～-20.0mまでは固化剤水セメント比1.0のセメントスラリーを吐出しながら攪拌し、AP-20.0m以深を水切削孔後、水セメント比1.5のスラリーを吐出しながら攪拌を行う。

c)試験施工C

AP+1.20～-20.0mまでは固化剤水セメント比1.0で攪拌

していき、AP-20.0m以深を水切削孔後、水セメント比1.8のスラリーを吐出しながら攪拌を行う。b)試験施工Bの水切削孔後の水セメント比を1.5から1.8に変更しただけのため、施工フローはb)と同様。(図-6)



(図-6) 施工フロー

(2) 試験施工結果

試験施工後、試験杭毎にオールコアボーリングを行い、1本の試験杭について上層、中層、下層からそれぞれ3供試体(計9本)を採取し、材齢14日での一軸圧縮強さよりσ28強度を推定するとともに、採取したコア全長を目視で確認し、改良帯としての均質性を確認することで、施工仕様を確定する。試験施工A～Cの結果をそれぞれ下記に示す。

a) 試験施工A



(写真-3) 改良体写真

一般土層部については均一に攪拌されており良質な状態であったが、高粘着力土層部はほぐしが出来ず、Dc層(AP-40.8～47.5m部)においてセメントスラリーと混合できていない未固結土層部が確認された(写真-3)

b) 試験施工B



(写真-4) 改良体写真

a)では未固結部が確認されたDc層でも均一に攪拌されており、AP-47.5mに到達するまでの全地層で未固結部は確認されず、良質な試料を採取することが出来た。

c) 試験施工C

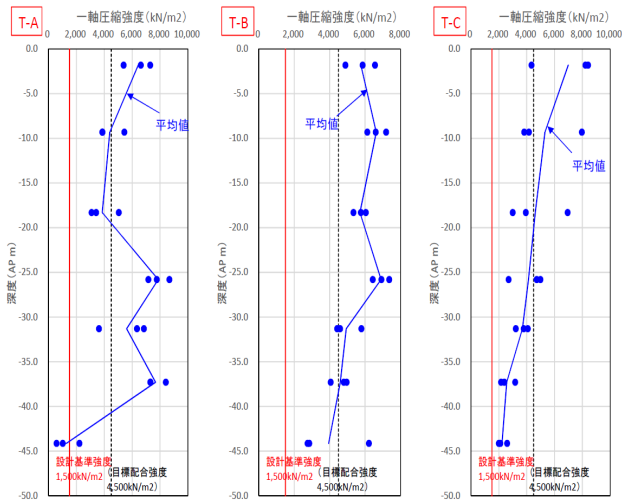


(写真-5) 改良体写真

b)同様に水切削孔を行っているため、再下端までの全地層で均一に攪拌されており、良質な改良体を形成できた。(写真-5)

「3. 具体的な施工方法の検証(試験施工)」で述べた確認事項を検証するため、一軸圧縮試験を実施した。一軸圧縮試験結果を以下の図に示す。

採取深度	材齢14日における一軸圧縮強度σ14(kN/m ²)				
	T-A		T-B		T-C
As1-1層 (AP+1.2～-4.8m)	6,624.8	6,437.5	4,884.3	5,765.9	4,345.7
	5,393.0		5,858.3		8,404.8
	7,294.7		6,555.2		8,221.7
Ac2-2層 (AP-4.8～-13.8m)	5,441.7	4,392.7	6,122.7	6,635.3	7,962.4
	3,872.8		6,597.1		4,156.7
	3,863.6		7,186.1		3,819.9
Ac2-2層 (AP-13.8～-22.8m)	3,088.0	3,849.5	6,040.6	5,714.4	6,937.3
	5,043.0		5,343.4		3,932.2
	3,417.6		5,759.1		2,994.8
Ac2層 (AP22.8～-28.8m)	7,766.3	7,870.2	6,920.9	6,905.1	2,695.4
	7,168.7		6,430.6		4,716.4
	8,675.7		7,363.8		4,986.6
Ac2層 (AP-28.8～-33.8m)	6,350.3	5,604.9	4,586.4	4,932.5	3,215.8
	6,843.8		5,789.9		4,080.3
	3,620.5		4,421.2		3,782.6
Dc層 (AP-33.8～-40.8m)	8,417.7	7,680.4	4,054.5	4,601.4	2,382.6
	7,309.5		4,794.5		2,154.4
	7,314.1		4,955.3		3,168.6
Dc層 (AP-40.8～-47.5m)	1,019.4	1,273.0	6,215.3	3,937.5	1,995.0
	2,220.4		2,847.3		2,586.5
	579.2		2,750.0		2,097.7
全深度平均	5,301.2		5,498.9		4,220.8



設計基準強度は1,500kN/m²であり、試験時の基準強度は設計基準強度の85%以上かつ3供試体毎の平均値は設計基準強度以上とした。ここで、今回の事前配合試験結果より、 σ_{28}/σ_{14} ＝約1.2であることを考慮すると、材令14日における一軸圧縮強度は、 $1,500 \times 85\% \div 1.2 = 1,063$ kN/m²以上を発現している必要がある（1,063kN/m²以下の場合、設計基準強度の85%に達しない可能性が高い）と考える。

試験の結果、試験施工AのDc層（AP-40.8～-47.5m）では σ_{14} の段階で設計基準強度まで強度が達していなかった。1,019.4kN/m²や579.2kN/m²の供試体については、事前配合試験における伸び率（ σ_{28}/σ_{14} ＝約1.2）を考慮しても、設計基準強度を超える可能性は低い。一方で試験施工B及びCでは σ_{14} の段階で設計基準強度を満足する強度が確認された。

この結果から、水切削孔を行うことによるほぐしは良好な改良体を製作するのに有効であること、設計基準強度を満たす固化材配合量で施工を行うことの妥当性、遅延材を使用することによる強度への影響は少ないこと。が

結論付けられる。

5. 試験施工成果の本施工への反映

大深度かつ高粘着力土層における地盤改良への課題の対応として、新たに提案したエポコラムTaf-Pls工法を採用することで、スパイラル形状のケーシングを使用し強制的に排土しながら改良材置換を行うことができ、また、高粘着力土層部においては改良材吐出前に水切削孔を行うことでほぐしの効果を得られ、良質な改良体を製作できることの有効性を試験施工にて検証し、本施工に適用する取り組みを行った。

設計基準強度を満足する強度が確認された試験施工B及びCの中で、品質の確保及び経済性を考慮した試験施工Bを採用し、対象範囲における深層混合処理工の施工が完了した。施工完了から約半年が経過しているが、環状八号線や東京モノレールといった周辺構造物への影響や地盤沈下等の事案は確認されていないため、試験施工Bを採用した成果が表れていると考える。なお、周辺構造物への影響や地盤沈下等については今後の施工期間においても継続的に確認を行っていく必要がある。

今回、監督職員として試験施工の立会や検討結果の確認を行っていたが、過去に同様の施工事例がなかったことで、改良材配合量の決定に苦慮したことがとても印象深い。一方で、大深度までの改良を行うことで東京国際空港では初の継杭施工を実施した。他にない初の事例となりながらも、事故や問題無く施工を終えられたことは今後の自信に繋がると思う。また、今回の取り組みで得た成果は、今回の地盤改良工だけでなく今後の空港運用にも広く活用できるものだと思う。今後の安全な空港運用のため、それぞれの現場条件に合った技術を提案し、空港利用者が安心して利用できるような取り組みを続けていきたい。