

新潟空港滑走路地盤改良工事について

村山 太¹・浦野 剛¹

¹新潟港湾・空港整備事務所 新潟空港出張所（〒950-0001 新潟市東区松浜町1-1038）

新潟空港における空港基本施設の液状化対策については2007年度より検討を行い、2010年度から滑走路本体において、静的圧入締固め工法（以下「CPG工法」という。）による耐震整備を進めてきた。

本稿は、2019年度に滑走路地盤改良の整備を完了したことから、供用中の空港における施工上の課題や滑走路耐震整備の効果について報告する。

キーワード 新潟空港,滑走路地盤改良, CPG工法

1. はじめに

近年、地震・津波等による災害が日本及び世界の各地で発生しており、地震対策や防災・減災体制強化などの対応が強く求められている。

2007.4『地震に強い空港のあり方検討委員会』（国土交通省航空局）報告より、新潟空港は大規模地震時において緊急物資輸送や人員輸送基地としての役割を担う全国13空港の内の一つとして、「航空輸送上重要な空港」の一つに位置づけられた。

これを受け、災害時に求められる機能の確保及び空港基本施設の耐震性の向上に向け、2007～2011に掛けて関係行政機関及び学識経験者で構成した「新潟空港技術検討委員会」において液状化対策における工法や範囲の選定等技術的な検討を行った。

この結果、液状化対策の対象となる施設・範囲とし

て、砂質土層からなる造成地であるB滑走路西側865mを設定した。耐震対策範囲を図-1に示す。なお、図に示された対策範囲の更に西側部分については、造成時に事前混合処理にて対策済みとなっている。

液状化対策工法は、工法比較検討の結果、供用している空港で適用実績のあるCPG工法（ComPaction Grouting工法）を導入することにした。

改良工事の実施にあたっては、供用中空港における施工であることに鑑み、滑走路本体部において施工する前に、ショルダー部にて試験施工を実施し、施工手順や隆起等の課題について確認したうえで、2010年度より滑走路本体部の施工を開始した。

本稿では、2019年にCPG工法による耐震整備を完了したことから、供用中の空港における施工上の課題や耐震整備の効果について報告する。

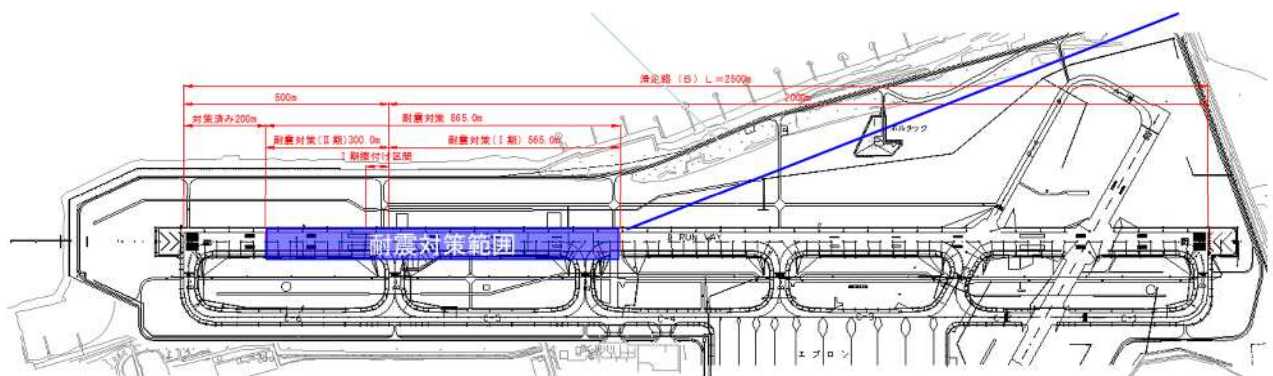


図-1 耐震対策範囲

2. 施工上の条件

(1) 時間制約

供用中の空港での施工であるため、空港の運用の支障とならねばならず夜間の工事となる。施工時間は、21:30～6:30に限定される。

(2) 勾配管理

滑走路の勾配は「滑走路勾配の設置基準」に規定されており、地盤改良工の施工に伴う勾配の逸脱により航空機の運航に支障を与えてはならない。滑走路の規定勾配を表-1に示す。

3. 地盤改良工 (CPG工法) について

(1) CPG工法概要

CPG工法は、流動性の低いモルタルを振動や衝撃を

加えずに地盤に圧入することで、地盤に固結体を造成し、周辺地盤の圧縮による密度の増大で液状化に対して安定した地盤とする工法である。地盤改良概念図を図-2に示す。

(2) 施工手順

施工手順は次のとおりに行う。施工の前に滑走路部へ防護キャップを設置し、ボーリングマシンを打設位置にセットし、T.P.-10mまで先行削孔を行う。注入当日はT.P.-10mからT.P.±0mまで、ロッドを段階的に引き上げながら低流動性モルタルの注入を行い、高さ10mの改良杭を造成していく。なお、施工場所が供用中の滑走路であるため、先行削孔後及び注入完了後は地盤面に防護キャップの取り付けを行う。施工状況の手順を図-3に示す。

表-1 滑走路の勾配

着陸帯の等級	滑走路長	最大縦断勾配		最大横断勾配
		1. 滑走路の末端から滑走路の長さの4分の1以下の距離にある部分	2. 1に規定する部分以外の部分	
A, B, C, D	1,500m以上	0.8%	1.0%	1.5%
E, F, G	900m以上 1500m未満	1.0%		
H	500m以上 900m未満	1.5%		2.0%

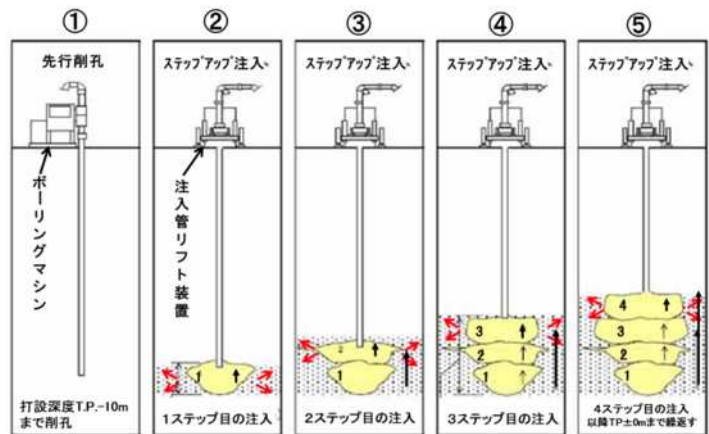


図-2 地盤改良概念図



図-3 CPG施工手順

4. 地盤改良効果

CPG工法を行うにあたって、2009年度に試験施工を行い改良効果を確認した。工事概要を表-2に、改良体の配置イメージを図-4に示す。

(1) 改良率の設定

CPG工法のマニュアルでは、8%の改良率が最低改良率と位置づけられているが、マニュアルで設定している地盤条件は、細粒分含有率が10%以上の比較的細粒分が多い地盤の施工事例に基づいて設定されている。

新潟空港の地盤は、細粒分含有率が10%以下の砂地盤であり、マニュアルの最低改良率8%で設定した場合、過大な改良率となり隆起を誘発する原因となる。

新潟空港と同様の砂地盤である石狩湾新港において改良率5%で試験施工を実施した結果、十分な改良効果が確認された事例を参考に、改良率5%、改良ピッチ2m(正三角形配置)設定した。なお、改良率とは地盤改良工において、改良体を平面上でとらえたとき、改良体1本当たりの断面積とその分担面積の比を百分率で表したものである。改良率のイメージを図-5に示す。

表-2 工事の概要

施工年度	2009年度	2010年度
工事場所	新潟空港内	
施工範囲	12m×約9m	23m×45m
打設本数	28本	286本
地盤高	T.P.約5m	
設計改良率	5%	
改良ピッチ	2m(正三角形配置)	
改良範囲	T.P.±0.0m~10.0m	

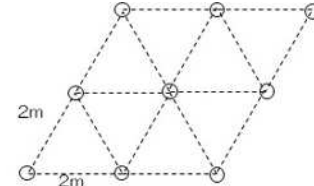


図-4 改良体配置イメージ(正三角形配置 x=2.0m)

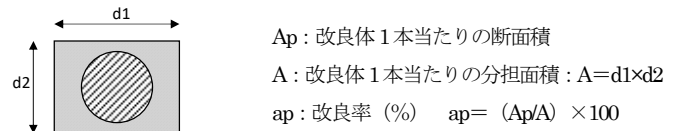


図-5 改良率のイメージ

(2) 試験結果

a) 原位置試験による検証

標準貫入試験結果を図-6に示す。事前に比べ事後はN値が1.8倍程度と増加が見られた。

b) 地震応答解析および液状化判定

地震応答解析による液状化判定のグラフを図-7に示す。

改良後の等価N値と等価加速度の関係は、IIIとIVの境界以上にプロットされ、事前調査においてIIとIIIの境界線以下と判定された土層は、改良後の地盤ではすべて「液状化しない」と判定された。新潟空港では目標N値をクリアしており、5%の改良率でも十分効果を発揮することが確認された。

c) FLIPによる検証

施工後の結果を用いてFLIPにより地表面の変形解析を行った結果を図-8, 9に示す。

レベル1地震動では、現況地盤で7cm程度の沈下を生じていたものが、改良後の地盤では沈下はほぼ抑制された。

なお、レベル2地震動では、現況地盤で40cm程度の沈下を生じていたものが、改良後の地盤では沈下は28~32cm程度に抑制された。

FLIPとは、地盤-構造物系の有限要素法による2次元動的有効応力解析プログラムであり、地震動による地盤や構造物の残留変形、構造部材に生じる応力などを求めることができる。

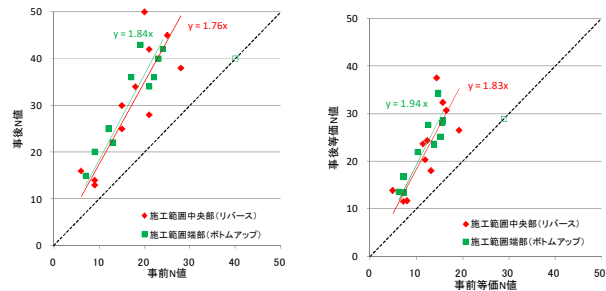


図-6 標準貫入試験結果

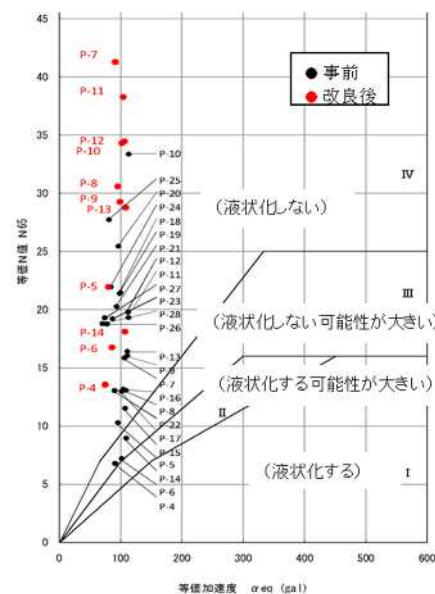


図-7 地震応答解析による液状化判定の結果

5. 施工上の課題

CPGは、モルタルを圧入して地盤の密度を増大させる施工であるため、地点隆起が問題となることがある。なお、地点隆起とはCPG工法による注入により、注入地点の現地盤に生じた隆起を示す。

2009年度の試験施工で地盤の改良効果が確認できたことから2010年から滑走路での本施工を行うこととした。「2. 施工上の条件」で前述した様に供用中の滑走路での施工であり、勾配等の条件があるため空港の運用の支障となる隆起を発生させないことが重要となる。2010年度の工事概要を表-2に、施工箇所を図-10に、改良の平面配置イメージを図-11に示す。

施工にあたっては、対象範囲をA~Eの5つのブロックに分割し、各ブロックを滑走路縦断方向に西側、東側に2分割した。打設順序は、西側、東側それぞれの区画で東→西へと順次施工を進める分散・ローテーションとした(図中の番号は各ブロックの打設順序を示している)。これは、施工範囲が狭いこと、同時打設時の杭間の離隔距離をとる必要があるといった制約条件下で、隆起を考慮した最も効率的となる打設順序を検討し設定したものである。

(1) 地盤の隆起の状況

CPG施工による隆起については、31地点までは隆起はみられなかったが、32地点目以降の施工から、施工時の隆起が観測された。2010年度施工286地点の地点隆起毎の発生頻度を図-12に示す。最終的に施工時に地点隆起が5mmに達した地点は64地点(286地点中)であった。これは、常時観測により地点隆起が施工管理値に達した時点で注入を中止したことによる。

2010年度の地点隆起の最大値5mmは、予測される隆起量最大2mm程度に比べ非常に大きい。ただし、全地点による平均地点隆起量は2.4mmと、予測隆起量を若干上回る程度であった。

モルタル注入深度と地点隆起量の関係を図-13に示す。

施工中の隆起発生深度は、平均T.P.-3m付近で、最も深いものはT.P.-6mであった。最初の隆起が深い場所で発生するほど、地点隆起の総量は大きくなる傾向が見られた。

施工の進捗との関係を見ると以下の傾向が見られる。施工前半では地点隆起の上限に達した地点は150地点中23地点であり、それほど顕著な隆起は発生していない。施工中盤では82地点中57地点で地点隆起の上限に達しており、施工のほとんどで大きな地点隆起が見られた。

また、最初の隆起が深い場所で発生するほど地点隆起の総量は大きくなる傾向が見られた。

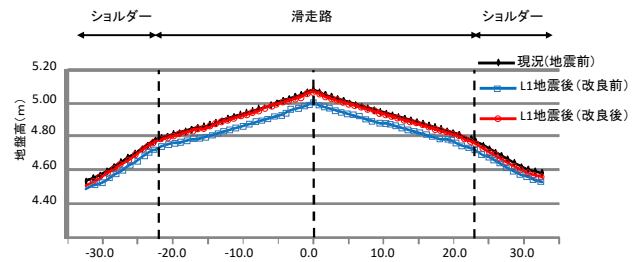


図-8 FLIP解析結果 (レベル1)

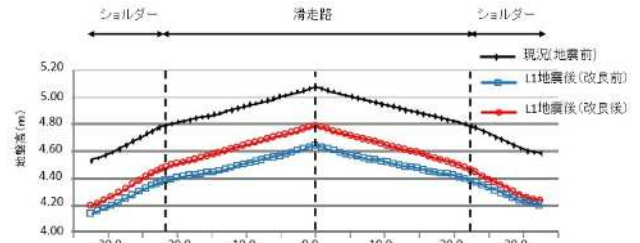


図-9 FLIP解析結果 (レベル2)



図-10 2010年度 施工箇所

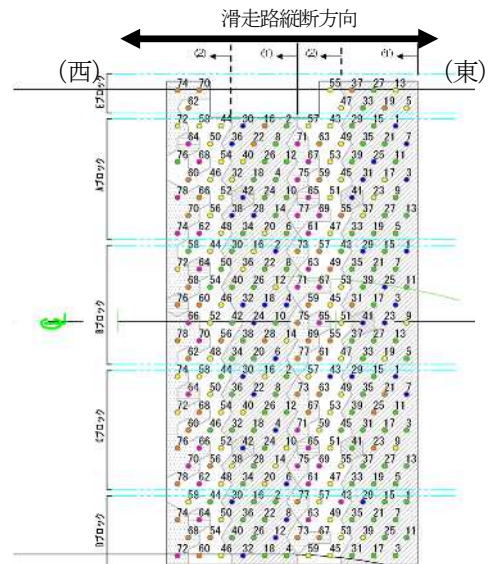


図-11 2010年度 施工箇所平面図

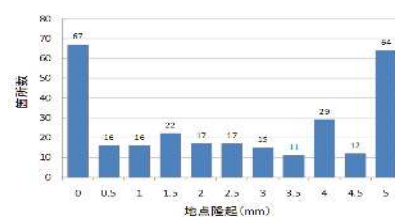


図-12 地点隆起毎の発生頻度

(2) 注入率・注入圧力

深度毎の平均注入率及び平均注入圧力を表-3に示す。全286地点の注入率は平均約55%であった。施工の進捗に従い注入率は低下し、特に施工後半ではT.P.-5m以深での注入圧力が上限値（4MPa）に達したため、注入率が20%を下回る地点が多数見られた。

なお、注入率とは、設計改良率に対する注入量と実際施工時に注入された量を除した率を示す。

注入圧力は、浅部では1~2.5MPa、深部では3~4MPa程度であった。注入圧力は、土被り（有効上載圧）に応じて浅くなるほど小さくなる傾向を示した。

注入圧力の上限値は6MPaとしていたが、注入ロッドの食い締めなどが障害となった。注入圧力は4MPa程度を上限に頭打ちとなっており、施工後の等価N値が大きくなっても注入圧力は一定となった。注入圧力と施工後等価N値を図-14に示す。

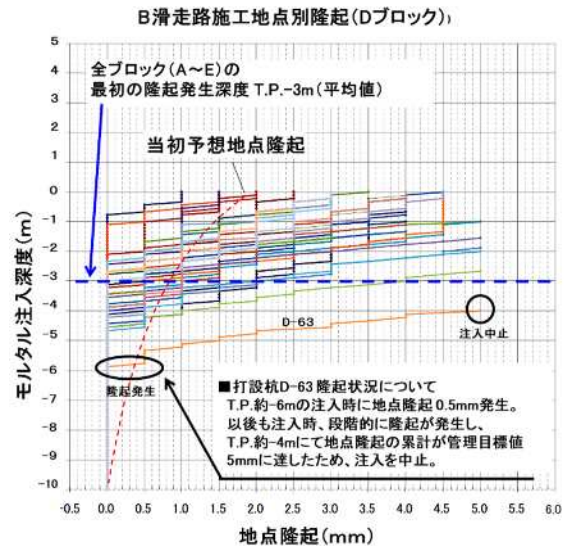


図-13 モルタル注入深度と隆起の関係

6. 地盤の隆起に対する対応

「5. 施工上の課題」を踏まえ地盤に過剰な負荷をかけず隆起を起こさせない施工方法とするため、以下の改良を行った。

(1) 設計改良率

設計改良率は、CPG地盤改良において効果発現が得られるための最小改良率に基づいて5%と設定されていたが、実施改良率が5%を下回らわり、TP-5m以深（Asd3）では3%程度の改良で効果が得られている。改良率と施工後のN値を図-15に示す。

T.P.-5m以深の地盤に高い改良率を付与すると地盤に過剰な負荷をかけることになり、隆起発生の引き金となっていることからCPG最小改良率を浅部5%、深部3%とし、注入量を調節し地盤への負荷を軽減することとした。改良率のイメージを図-16に示す。

(2) 注入圧力

注入圧力が4MPa程度に頭打ちとなっていたことから、上限値を4MPaに引き下げ、地盤への負荷を軽減させた。

(3) 分散施工

片押し施工となっていたことから、後半のエリアに偏って隆起が生じた。徐々に杭間を詰めていく配置とすることにより施工エリア内が均等に締め固められるようにした。

表-3 モルタル注入深度毎の平均注入圧力

モルタル 注入深度 TP(m)	平均注入率 (%)	平均圧力 (Mpa)
0~-1	49.9	2.0
-1~-2	63.6	2.3
-2~-3	74.9	2.6
-3~-4	74.1	3.0
-4~-5	66.7	3.2
-5~-6	39.5	3.5
-6~-7	33.5	3.7
-7~-8	39.2	3.8
-8~-9	42.1	3.7
-9~-10	65.1	3.3

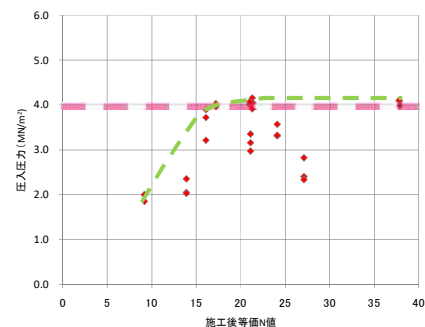


図-14 注入圧力と施工後等価N値

(4) 隆起管理

施工箇所が供用中の滑走路であり、前述した条件があるため、限られた時間の中で対策を講じ、翌日の運航に支障がないことが求められる。このため、隆起管理を目的とした管理目標値（鉛直変位・勾配・平坦性）を定め、リアルタイムで計測を行い管理するものとした。隆起した場合の対応としては、一次管理目標値に達する変位を確認したら直ちに注入をやめ、隆起量を超えていないことを確認し、継続施工を行った。管理目標値を表-4に示す。地点隆起量計測状況を図-17に示す。

7. 対応に対する結果

上記の対応を踏まえ、2010年から2019年まで新潟空港滑走路の耐震整備を行った。供用中の空港であり厳しい作業条件、隆起等に対する管理項目がある中で、空港の運用に支障を来すことなく無事に整備を完了することが出来た。

(1) 隆起管理

管理目標値を超えることのないよう、リアルタイムで計測管理を行った結果、目標値内に隆起量を抑えることが出来た。

(2) 地盤改良の効果

新潟空港の地盤改良工事の標準貫入試験では、事前よりも事後の方が概ね大きくなっており、液状化抵抗率はどの地震動においても増加し、液状化予測判定区分では、「液状化する（Ⅰ）」あるいは「液状化する可能性がある（ⅡⅢ）」が減少し「液状化しない

（Ⅳ）」が増加する傾向が認められ改良効果が発揮されると判断できる。

8. おわりに

昨今、様々な自然災害が発生しており、いつどこで地震・津波等による災害が起こるか分からない状況となっている。地震災害時には、新潟空港が本整備により緊急物資や人員輸送基地など空港に求められる役割を果たし、復旧活動に寄与できれば幸いである。

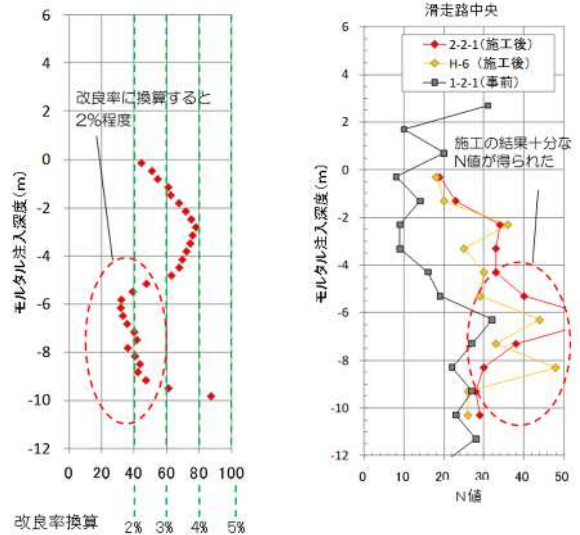


図-15 改良率と施工後のN値

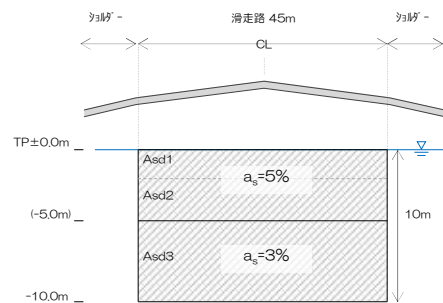


図-16 改良率イメージ

表-4 管理目標値

管理項目	隆起の管理			摘要
	管理目標値	一次管理値	二次管理値	
面結体1本当りの隆起量	10mm	5mm	8mm	
累積隆起量	30mm	15mm	23mm	
勾配	縦断	1.0%	0.9%	断面計測(週1回の計測)
	横断	1.5%	1.44%	
平坦性	施工中	3.64mm未満	-	路面の凹凸の標準偏差
	施工後	-	-	

一次管理値: 密な測定頻度による計測管理の強化

二次管理値: 監督職員への速やかな報告

管理目標値: 工事中断



図-17 地点隆起量計測状況（注入作業時）