

仙台空港耐震化 地盤改良工事について

四戸 秀治

東北地方整備局 塩釜港湾・空港整備事務所 （〒985-0843 宮城県多賀城市明月1-4-6）

近年、東北地域では大規模な地震が頻発しており、各地区で甚大な被害が発生している。特に仙台空港が位置する宮城県は、今後 30 年以内に 99%の確率で発生するという「宮城県沖地震」が予見されており、東北の拠点空港として大規模地震に対する備えが急務となっている。そこで東北地方整備局塩釜港湾・空港整備事務所は、仙台空港を震災時の救援物資・人員などの輸送・集積をはじめとする防災拠点として、空港施設の耐震化事業を進めていくこととした。本年度はその初弾工事となる B 滑走路平行誘導路の地盤改良工事に着手した。本稿は本年度着手した地盤改良工事の内容及び工事の途中経過について報告するものである。

1. 耐震検討の経緯

東北地方の拠点であり国際空港である仙台空港は、平成 19 年 8 月に、地震時における緊急輸送・復旧支援拠点空港として、また航空ネットワークとして重要な13空港の一つとして位置付けられ、空港施設の耐震化整備を約 10 年で行う方針が示された。

耐震化整備の目的としては、大規模地震時における緊急・救命活動の拠点、復旧支援拠点としての機能の確保。発生後 3 日を目途に定期民間輸送機の運航が可能となる機能の確保。航空ネットワークの維持及び背後圏経済活動の継続性の確保であり、特に仙台空港は、今後 30 年以内に約 99%の確率で発生が想定されている宮城県沖地震や、長町-利府線断層帯の地震への対応として空港機能を確保する必要がある。このような背景を踏まえ、仙台空港は平成17～18年度に開催した「仙台空港防災拠点あり方検討委員会」で、防災拠点としての特性の検討と、災害対応シナリオによる活用ビジョンの具体化を

進めるとともに、平成 18 年度に耐震対策整備の概略検討による対策の必要性を整理、平成 19 年度に「仙台空港液状化対策検討委員会」を開催し、耐震対策整備範囲の検討、改良工法の検討を行い、本年度地盤改良工事の着工に至った。

2. 地盤特性

仙台空港の地盤特性は、大きくはB滑走路の 1,500m～2,000m付近を境として、東側が砂丘部、西側が後背湿地部と分類され、後背湿地部が液状化による影響が大きいエリアと考えられ、土質調査結果より緩い砂層、シルト層が互層状に存在している範囲もあり、地盤特性のバラツキが非常に大きくなっている。また、細粒分を多く含み、薄層で互層状になっていることから、層別に改良仕様を変更することが困難であり、工法選定に注意を要する地盤である。



図 -1 仙台空港平面図

3. 地盤改良工法の選定

滑走路・誘導路の地盤改良工法としては、比較検討した結果、経済性に優れるコンパクショングラウチング工法（以下CPG工法という）（図-2参照）を代表工法として選定しているが、対象地盤の細粒分 F_c が多く土被りも薄いため、適切な改良率、施工時の隆起量について試験施工を行い確認する必要がある。

（CPG工法の設計）

対象土層にシルト、砂の互層を含む層があり、平均すると細粒分含有率が高い結果であるが、繰返し三軸試験結果では体積ひずみが大きい結果となっている。また、層厚が薄く施工で打ち分けることが困難である。これらの条件を踏まえ、 $F_c = 40\%$ 以上として「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(コンパクショングラウチング工法)」に従い改良率を設定すると22.5%となる。一方、羽田空港での実績や石狩湾実証実験の知見を踏まえ改良率の低減化を図ると、改良率が8%となる。

改良効果検証のため、改良率 22.5%に対してCPG工法改良部の解析パラメータを設定し、FILPIによる解析を実施した結果、CPG工法の改良範囲では、過剰間隙水圧の上昇が抑制された結果となり、残留沈下、地表面傾斜の結果から対策効果があるものと判断した。

これらの結果より、本年度の地盤改良工事において、解析上効果が確認された改良率 22.5%と低改良率の8.0%により改良を行い、両ケースで施工時の周辺影響や改良効果を調査・比較し、仙台空港の地盤特性に対して適切な、そして、より経済的な改良仕様を設定することとしている。

木引堀ボックスカルバート、県道地下道の改良工法については、構造物の近接部の改良ということで浸透固化処理工法、クロスジェット工法（以下 X-jet工法という）を代表工法として選定した。経済性はほぼ同程度であるため、詳細設計で改良仕様を設定し決定している。（木引堀ボックスカルバートの設計（X-jet工法））

浸透固化処理工法、X-jet工法とも対策効果は同様な結果となり、残留沈下量、地表面傾斜の結果から、対策効果があるものと判断した。両工法を比較検討した結果、最終的に経済性に優れるX-jet工法を採用した。

4. 工事の概要

本工事は、図-1に示す位置でCPG工法とX-jet工法の施工を実施する。供用中の誘導路での施工となるため、工事は全て夜間施工となる。また、緊急待避に対応出来るよう車載式プラントにより施工を行い、作業終了後は施工機械を約1.5km離れた仮設ヤードに移動し待避させることになる。本工事のCPG工法は仙台空港の地盤に対し

て、今後最適な改良率の設定を行うことを目的に2種類（22.5%・8%）（図-3参照）の改良率で実施している。対象土層は、B層、Am層、As1-0層となり下端深度はGL-6m～7m程度である。

調査工は、改良効果の確認のために行うものとして、改良エリア中央付近で標準貫入試験、孔内水平載荷試験、繰返し三軸試験を改良の事前・事後で行う。その他に、施工中の影響調査として、鉛直変位の計測を格子状の点を設けて注入ステップ毎計測するほか、地中の水平変位や間隙水圧、地下水位の変化を詳細に計測することとしている。

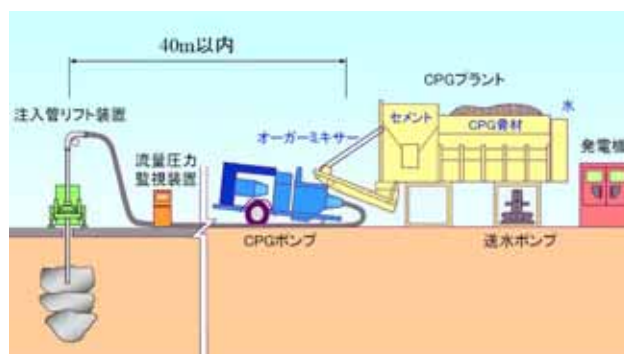


図-2 CPG工法イメージ図

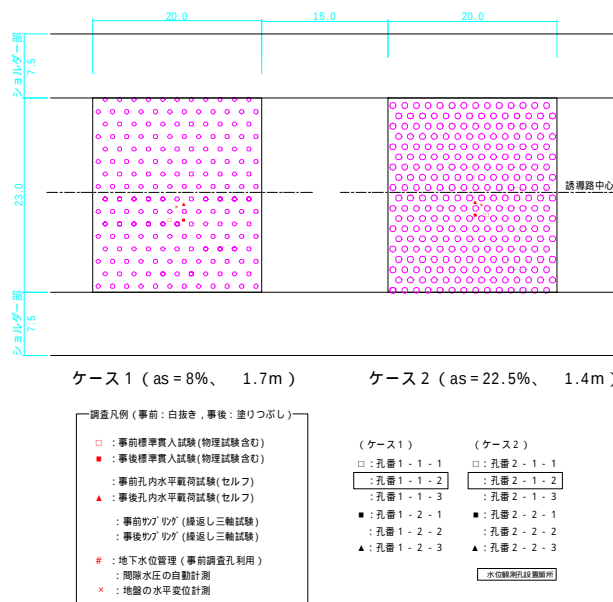


図-3 CPG工法平面図

工事内容（CPG工法）

【CASE 1】改良率 8.0%（φ0.5m,杭長 5.3m）

施工本数 184本（延長20m×幅23m）

【CASE 2】改良率22.5%（φ0.7m,杭長 4.9m）

施工本数 266本（延長20m×幅23m）

X-jet工法は超高压ジェットを交差させることで、改良範囲をコントロールし、従来のジェット工法に比べ、一定径の均一なソイルセメントパイルを高効率で造成する工法である。三重管タイプの高圧噴射工法であり、施工時に周辺構造物に与える変位の影響が少ない特徴を有している。地震時の液状化現象により埋設構造物（水路ボックス）が沈下することを防ぐため、構造物の側面と下部に密着するように改良体を造成する。（図-4参照）

改良効果の確認は、改良後の採取コアによる一軸圧縮強度を確認する。また、施工時の影響調査として、格子状の計測点を設定している。加えて、X-jet工法で造成される改良体が誘導路供用時に航空機の荷重を支えられる強度を有しているかについても現地で確認することとしている。

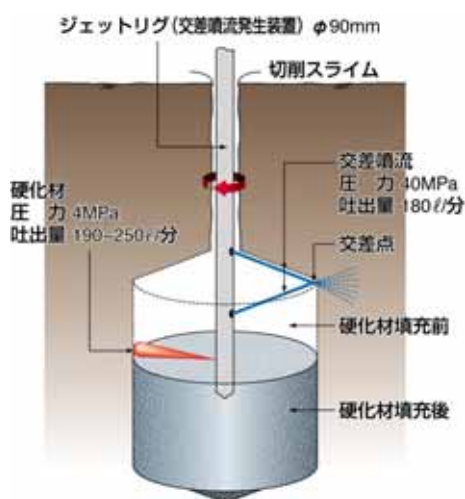


図-4 X-jet工法イメージ図

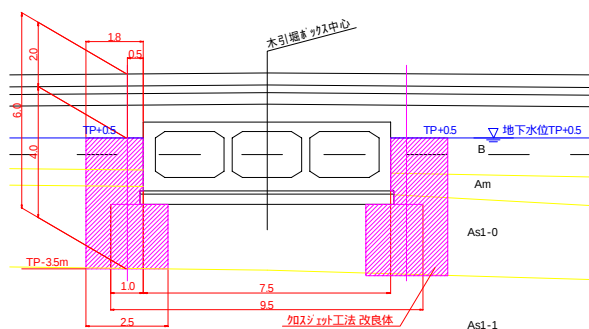


図-5 X-jet工法断面図

工事内容（X-jet工法）
杭径2.5m、杭長4.1m
施工本数 40本

5. 途中経過報告

工事は平成20年11月上旬にCPG工に着手し、施工が進められており、進捗率は11月18日現在、13%程度である（X-jet工法は11月末 着手予定）。

CPG工の施工により、地盤の隆起が発生するが、供用中の誘導路であるため、日々の運用に支障が無いように、隆起量と注入圧力の動態観測を行っており、そのための管理値と管理フローを設定している。

(1)隆起量管理値

施工時の勾配の許容値は、表-1の規程を元に誘導路の舗装面すり付け最大勾配（3%）としている。ただし、勾配の管理のままでは施工時に煩雑となるため、計測測点の許容隆起量に換算して管理を行っている。

施工前からの舗装面の勾配と、CPG施工による勾配の変化があるため、許容隆起量は日々の打設前に随時設定されることになる。

また、許容隆起量に対して一次管理値を50%、二次管理値を70%と設定し、それぞれ管理を行っている。

（表-2、表-3参照）

表-1 航空保安業務処理規程（第10） 抜粋¹⁾

1, (3) 工事期間中における舗装面のすり付け及び地盤面の処理

①舗装面のすり付け最大勾配（既設舗装面を基準とする。）

種別	横断方向		縦断方向
	中央部（滑走路幅の2/3）	縁部	
滑走路	1.5%	1/2勾配	1.0%
誘導路	3%		1.5%
エプロン	航空機が通行する方向3%、その他の方向1/2勾配		

表-2 地点別隆起量設定例

（2m間）

	地点別隆起量	備考
一次管理値	8 mm （許容値の50%）	管理勾配 1.5 % 現況勾配 1.1 %
二次管理値	20 mm （許容値の70%）	管理勾配 2.1 % 現況勾配 1.1 %
許容値	38 mm	打設前の勾配から3%勾配までの差分により設定

表-3 CPG隆起量 用語の定義²⁾

項目	定義
注入ステップ別隆起量	1 ステップ分の圧入に伴う隆起量。右図内のは固結体 a の注入ステップ別隆起量。[は固結体 b の注入ステップ別隆起量。]
地点別隆起量	1 地点の全深度の圧入に伴う隆起量で、注入ステップ別隆起量の総和。右図内のは、地点 A の地点別隆起量。
累計隆起量	1 地点の地盤改良前から隆起計測時までの隆起量。周辺地点の地盤改良による隆起も含む。右図内のは、地点 A の累計隆起量。

(2)管理フロー

前項で設定された値による，動態観測の管理フローは図-6 に示すとおりとなっている．注入圧力は 6MPa 以下，ステップ別隆起量を 2mm 以下とし，最終的には地点別隆起量で判断を行っている．

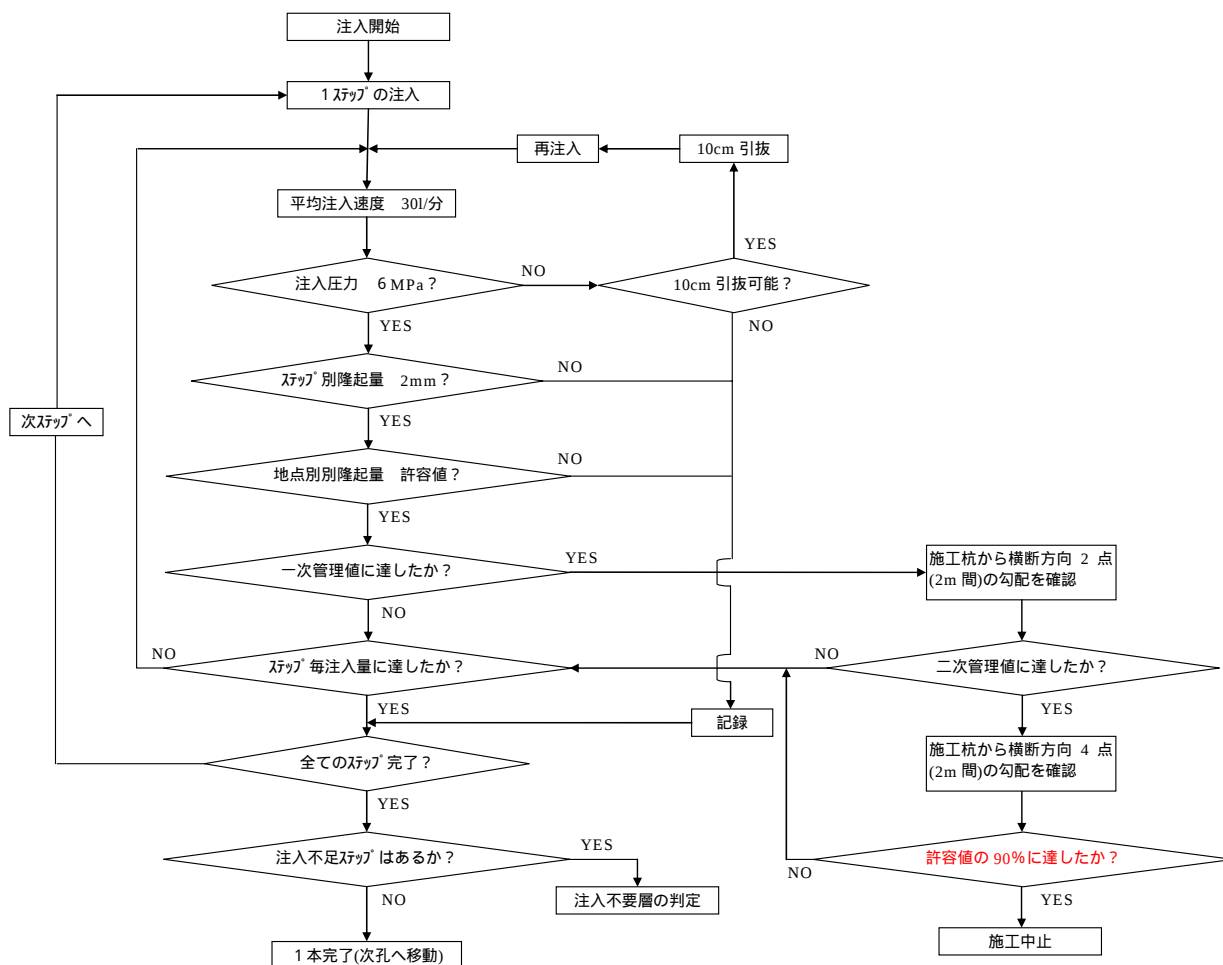


図-6 CPG 工法 管理フロー図

(3)計測結果(中間)

CPG 施工エリアにおいて，日々の計測は隆起量の他に，地中に埋設した間隙水圧計と変位傾斜計も行われている．以下は計測されたデータであるが，現時点での途中経過であり，これらは今後随時更新されることとなる．

a)隆起量

図-7 は施工開始 2 日後に打設された CPG 杭の地点別隆起量（1 本打設終了時の隆起量）である．CASE-1 と CASE-2 を比較すると，換算径の大きい CASE-2 の方が，隆起量が大きい結果となっている．打設による影響範囲は，CASE-1 で 4～5m，CASE-2 で 7m 程度となっている．

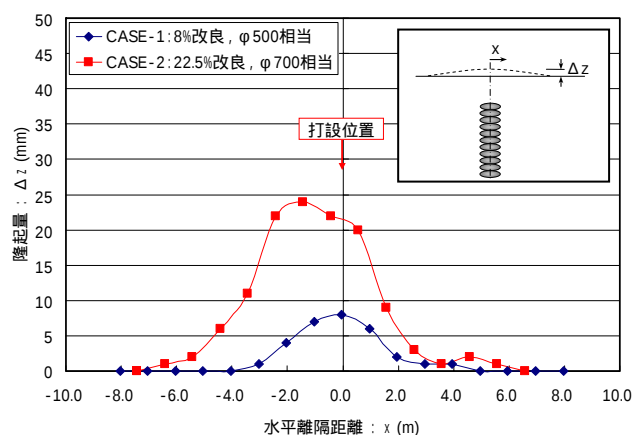
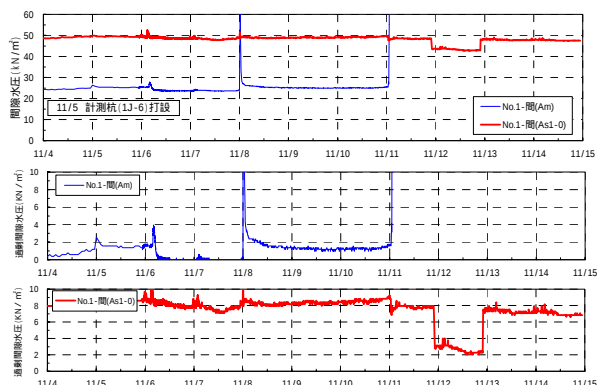


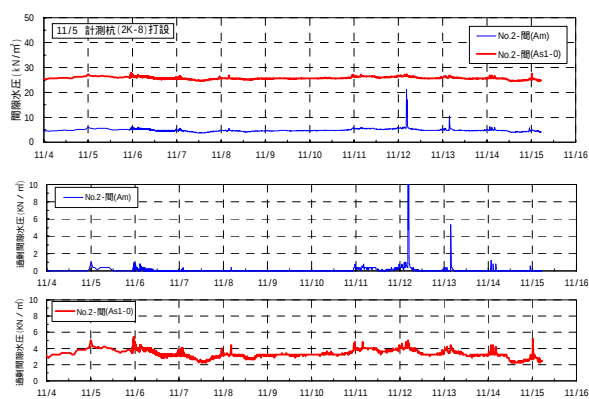
図-7 CPG 地点別隆起量（1 本打設終了時の隆起量）

b)間隙水圧

図-8 は間隙水圧計の計測値であり、周辺の CPG 杭打設による水圧の上昇と、時間経過による水圧消散が観測されている。



(a) CASE-1 8%改良

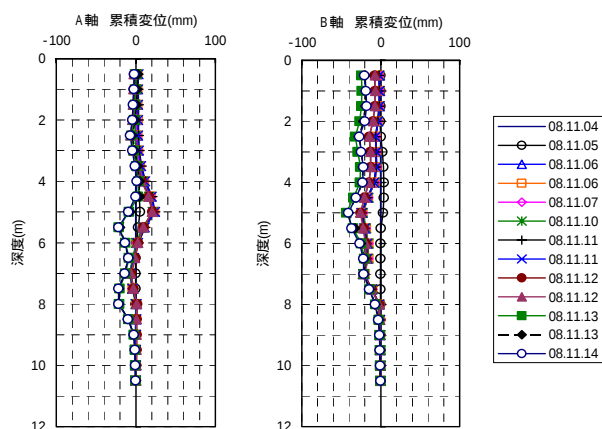


(b) CASE-2 22.5%改良

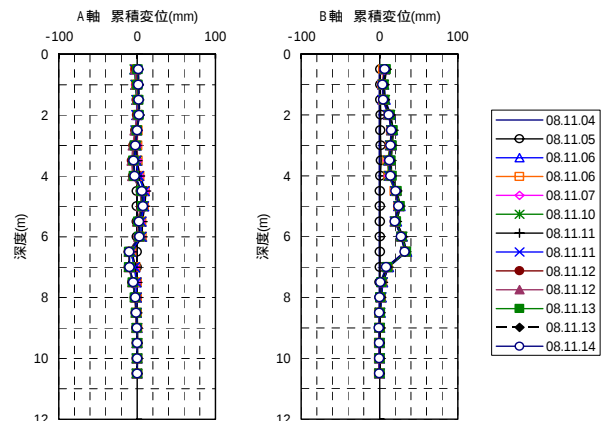
図-8 間隙水圧計計測結果 (H20.11.17 までの結果)

c)傾斜計

図-9 は傾斜計の計測値であり、周辺の CPG 杭打設による地中変位の傾向が確認されている。



(a) CASE-1 8%改良



(b) CASE-2 22.5%改良

図-9 傾斜計計測結果 (H20.11.14 までの結果)

6. おわりに

本工事の CPG 工法は 11 月上旬に着手し約半月経過したところであり、2 月上旬まで施工を予定している。また、X-jet 工法は 11 月下旬に着手し 12 月下旬まで 施工を行う予定である。

本工事と並行して、有識者を交えた委員会を開催し、本工事 で得られた調査結果及び施工データの解析や評価について、検討を進める予定となっている。供用中の施設直下での施工は、非常に厳しい管理が必要となるが、本工事の施工データを蓄積し、仙台空港の各特性に対し最適な設計・施工できるよう役立てたい。

参考文献

- 1) 港湾空港建設技術サービスセンター：空港土木工事共通仕様書(H20.4)
- 2) 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 - コパクショングラウジング工法 -