

仙台空港の誘導路における液状化対策について

国土交通省 東北地方整備局 塩釜港湾・空港整備事務所 法人会員 ○大友 正悦, 齊藤 聡洋
 (株) 日本空港コンサルタンツ 正会員 久野 了史
 基礎地盤コンサルタンツ (株) 東北支社 非会員 諏訪 朝夫
 (株) 不動テトラ 東北支店 非会員 鈴木 亮彦
 応用地質 (株) 東北支社 非会員 青池 邦夫

1. はじめに

東北地方の拠点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・復旧支援の拠点、航空ネットワークの維持、背後圏経済活動の継続性確保の観点から重要な全国13空港のひとつとして位置付けられ、災害時に求められる機能を確保するために、空港施設の耐震性向上が求められている。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対応するために、東北地方整備局において、防災拠点空港としての活用方針の具体化と必要な液状化対策についてとりまとめを行い、さらに、仙台空港の耐震整備について、空港運用へ与える影響を考慮し、地盤条件に適した、より経済的な液状化対策改良仕様の設定を行った。本報告は、仙台空港の誘導路における地盤改良工事の、調査・計測結果に基づくコンパクショングラウチング工法(以下CPG工法という)の評価と、今後の滑走路への適用に関する検討結果について報告する。

2. 仙台空港の地盤条件

仙台空港の地盤特性は、B滑走路の1,500~2,000m付近を境として、東側が砂丘部、西側が後背湿地部に分類され(図-1参照)、後背湿地部の緩い砂層(As1-0層)、シルト層(Am層)が特に厚く分布するエリアで、空港の運用に支障をきたすような液状化による被害が想定されている。対象地盤は、浅部では砂層、シルト層が薄層で互層状に堆積しており、土質のバラツキが非常に大きく、また、舗装直下では当初の造成工事で乱され、盛土材(B層)の礫が混入するなど、N値のみでは評価できない地盤である(表-1、図-2参照)。



図-1 仙台空港の液状化対策範囲

キーワード 液状化, 空港, 基本施設, 液状化対策工
 連絡先 〒985-0843 宮城県多賀城市明月1-4-6
 東北地方整備局 塩釜港湾・空港整備事務所
 TEL 022-362-6204

表-1 液状化対象層の地盤物性値

土層	平均N値	飽和湿潤密度 ρ sat (g/cm ³)	細粒分含有率(%)	液状化強度比 R120
B層	9.6	1.978	24.5	0.218
Am層	3.8	1.770	30.7	0.179
As1-0層	12.3	1.934	10.7	0.329

また、液状化対象層の分布を詳細に把握するため、「石狩湾新港における現場液状化実験¹⁾」において効果が確認された表面波探査を実施し(図-3)、既存ボーリング間の土層構成を調査した。その結果、誘導路

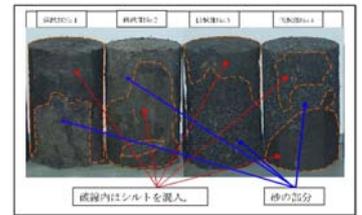


図-2 Am層の土質

中央部で礫の混入の影響がみられ、縁部では緩い砂層が堆積していることが判明した。礫を混入するマトリクスの液状化強度が低く、縁部の液状化強度も低いことから、礫のインターロッキング効果は期待できず、地下水位以下の盛土層、緩い砂層、シルト層の液状化対策が必要となった。

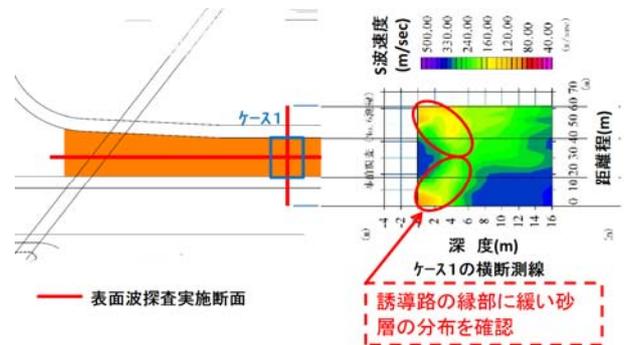


図-3 表面波探査の調査結果

3. 誘導路における液状化対策工と調査・計測結果

本年度の誘導路の施工範囲、対策断面を図-4に示す。同図より、土被りが2m程度と非常に薄い条件となっている。滑走路へのCPG工法の適用性と改良仕様を検討するため、2ケースの改良率による施工を行い、各々事前・事後の土質調査と隆起等の動態観測を行った。改良ケースは、①ケース1:改良

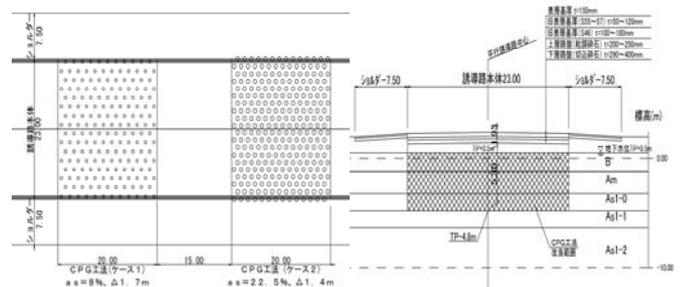


図-4 誘導路の施工範囲, 対策断面

率8.0% (κ 法による事後N値推定結果と空港の既往実績の最低改良率より設定した), ②ケース2: 改良率22.5% (C法による推定結果であり目標値として設定した. 仙台空港において施工可能な限界改良率を確認するため実施) の2ケースとし, 両ケースの中間に適正な改良率が存在すると判断された場合には, それぞれの事後調査結果に基づき適切な改良率の検討を行うことを想定した.

事後調査結果(表-2)より, 液状化強度, K_0 値とも上昇し, 締め固めによる改良効果を確認した.

表-2 事前・事後調査結果 (比較)

ケース	地層	事前調査			事後調査					
		N値	液状化強度比 R_{20}	K_0	N値		液状化強度比 R_{20}		K_0	
					測定値	増加比率	測定値	増加比率	測定値	増加比率
ケース1	B	21	0.218	0.43	13	0.62	0.378	1.73	0.97	2.26
	Am	9	0.166	0.46	20	2.22	0.344	2.07	1.27	2.76
	As1-0	18	0.336	0.53	36	2.00	0.385	1.15	1.23	2.32
ケース2	B	11	0.139	0.53	17	1.55	0.379	2.73	0.79	1.49
	Am	18	0.179	0.53	14	0.78	0.416	2.32		0.00
	As1-0	18	0.329	0.57	19	1.06	0.323	0.98	1.29	2.26

※ケース1B層のN値は最小打撃回数の3倍 ※ケース1As1-0層のN値は改良材の境が混入している影響がある ※ケース2Am層の K_0 値はSBP損傷のため測定不能(再計測)

一方, 隆起は下記のとおりであり, 誘導路における施工時の管理規定は満足しているものの, 図-5 に示すように航空機通過時に機体が大きく動揺し, 運用上の問題が生じた.

- ケース1: 最大隆起量 13.2cm, 最大勾配 3.0%
- ケース2: 最大隆起量 21.1cm, 最大勾配 3.0%

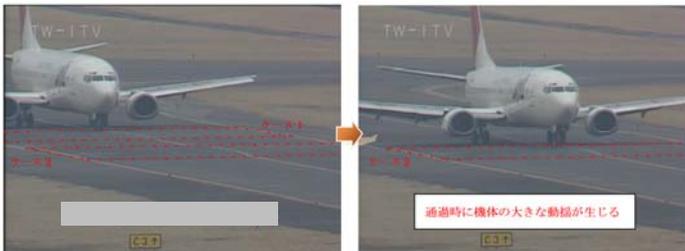


図-5 CPG 施工部通過時の航空機の動揺

4. 対策効果検証結果と隆起の再現解析の結果

CPG 工法による液状化対策効果検証は, 事後調査結果に基づき地震応答解析 (FLIP) を行い, 残留変形や地盤の支持力の低下が抑制でき, 誘導路の耐震性能が確保できたことを確認した. 一方, 隆起については, 図-6 の概念図に示すように, 静的軸対称三次元弾塑性解析を用いて, 工事の打設パターンに基づく施工途中段階の隆起量, 最終隆起量の再現解析を行い, 実測値と整合することを確認した (図-7 参照).

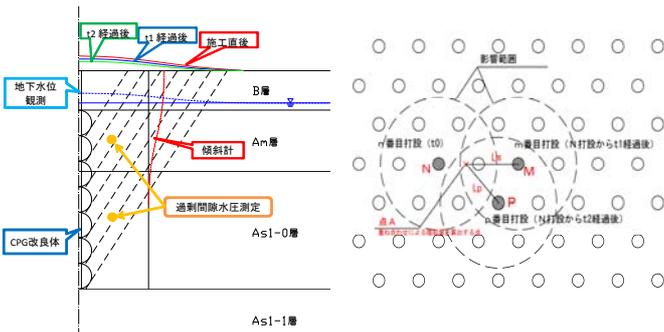


図-6 隆起の再現解析と重ね合わせの概念図

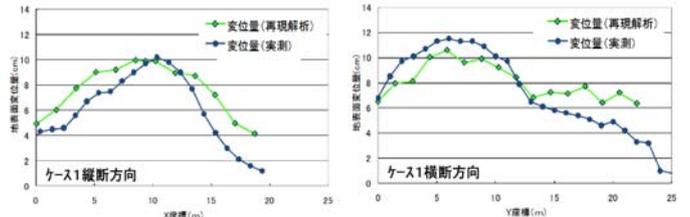


図-7 隆起の再現解析(ケース1 施工途中段階)

5. 滑走路における CPG 工法の施工の課題

誘導路における隆起の再現解析をもとに, 滑走路の地盤条件(図-8)により隆起量の解析を行った. その結果, 滑走路において現在の誘導路と同様の施工を行った場合, 土被りが 2.5m と薄いため, 隆起量は 13cm, 縦断勾配 2.6% となり規定勾配(表-3)を超過す



図-8 滑走路の対策断面

表-3 滑走路の規定勾配

	規定勾配		最小曲率半径 (m)
	勾配(標準)	部分勾配	
横断方向	1.5%		-
縦断方向	1.5%	1/2勾配(すり付け)	-
縦断方向	0.8%	1.0%	30,000m ※航空機が高速走行するため, 竣工後では確認する必要がある.
上記以外	1.0%	1.0%	

る結果となった. 高速走行する滑走路で, 図-5 の航空機の動揺が生じた場合, 航空機の安全性に大きな問題が生じることから, より隆起を抑えるための隆起管理および勾配管理を実施する必要があるが, 規定勾配を満足するためには注入量が制限され, 所定の改良率を満足することは困難であると考えられた. また, 解析結果のような隆起が生じた場合, 滑走路の規定勾配, 縦断の最小曲率半径 ($R=30,000m$) を満足する補修として約 400m の擦りつけが必要となることが想定された. したがって, 隆起が運用へ与える影響が大きく, 規定勾配を逸脱した場合は滑走路閉鎖も想定される事から, 仙台空港の滑走路への CPG 工法の適用は困難であると判断された. 上記結果より, 滑走路においては, 低変位型の工法について今後検討を進める必要性が生じた.

6. おわりに

仙台空港の誘導路における地盤改良工事の調査・計測結果に基づく, CPG 工法の滑走路施工時の隆起の解析の結果, 仙台空港の地盤特性, 土被り条件では CPG 工法の滑走路への適用は困難であると判断された. 土被りの薄い条件での CPG 工法の適用にあたっては, 試験施工等により詳細の隆起検討を行い, 空港の運用に与える影響について検討を行う必要があると考えられる. 今後, さらなる隆起を低減する施工方法が確立され, 適用の可能性が拡大することを期待するものである.

参考文献

1) 菅野高弘ら: 実物大の空港施設を用いた液状化実験に関するシンポジウム, 2008. 10.