

空港施設の液状化時挙動に関する制御発破を用いた現場実験

独立行政法人 港湾空港技術研究所 地盤・構造部 構造振動研究室 菅野 高弘
同 上 ○中澤 博志

1. はじめに

空港は地域間を直接結ぶことができる特性を活かし、地震災害時には緊急物資輸送の拠点等としての役割を果たしている。一方、現状の空港については、地盤の液状化が発生する可能性が指摘される空港が少なからず存在し、早急な空港の耐震対策が求められている。本実験は、地震による地盤の液状化現象が空港施設に及ぼす影響を把握する事を目的に実施された。

液状化による影響を把握する検討手段は、一般的には、模型実験、数値シミュレーション、地震被害調査を始めとして幾つかの手法が挙げられる。今回、計画・実施された実験プロジェクト「実物大の空港施設を用いた液状化実験」は、図-1¹⁾に示すように、実物大の空港施設直下およびその周辺において、制御発破を用い地盤の液状化現象を再現する原位置実大実験であり、上記に挙げた一般的な検討手法とは一線を画している。本実験は、実物大の空港施設を用いる事により、施設の液状化時挙動がほぼ実現象で追跡できる点で非常に大きなメリットがあると言える。

本実験を通じて実施する主な検討内容は、以下に示す4点である。

① 現象把握

地盤の液状化現象を再現し、地盤物性値と液状化の程度、液状化の継続時間、地盤沈下量等を詳細に調べ、液状化現象が滑走路、航行援助施設、地下埋設物等へ及ぼす影響を確認する。

② 液状化対策効果確認

地盤の液状化時に発生する過剰間隙水圧および滑走路面の変状測定を基に、原理の異なる液状化対策工および未改良地盤との比較を行い、液状化対策効果を確認する。

③ コスト縮減

本実験で採用された液状化対策工法は、低改良率あるいは液状化対策範囲を全層改良としない改良ケースを実施している。いずれのケースにおいても液状化効果が確認された場合、合理的な液状化対策工法の設計を念頭に置きながら、液状化対策に関するコスト縮減方法を検討する。

④ 共用の可否判断

地盤物理探査技術等を用いた被災時における滑走路やエプロン部の機能維持のための対策や判断基準、あるいは被害程度に応じ、地震発生直後～数日後に供用再開可能な判断基準について検討する。

本実験は、平成19年3月17、18日および平成19年9月29日の予備実験を経て、平成19年10月27日に行われた。本報では実験の概要を述べるとともに、若干ではあ

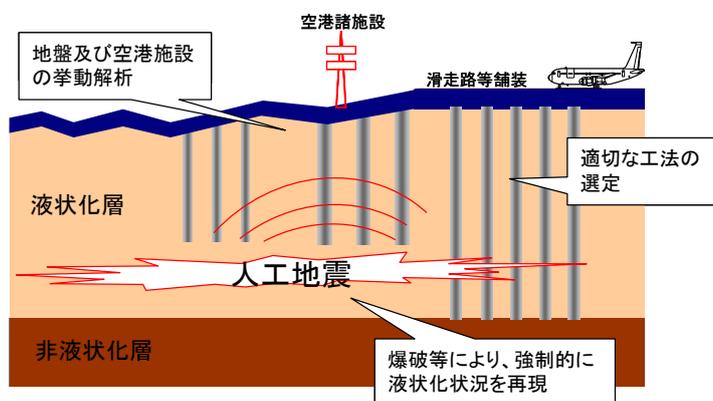


図-1 液状化実験の概要¹⁾

るが実験直後の速報について報告するものとする。

2. 研究テーマ

本プロジェクトへの参画機関は、総数で29の研究（延べ37機関）との共同研究を進めている。その内訳は、行政・大学・独法研究所4機関、協会等7機関、民間26社で構成される。

詳しい研究課題については表-1に示すとおりであり、上述した①～④の課題と直結する研究テーマを含め、サウンディング手法、舗装の共用判断、液状化対策、地下埋設管その他、挙動計測・地盤振動計および盛土補強方法等の検討も実施している。

表-1 研究課題

種目	研究課題
サウンディング	各種サウンディング手法を用いた液状化前後の地盤物性値の評価に関する共同研究
	液状化による空港施設への影響に関する現場実大実験
	各種地盤調査による耐震設計に関する地盤物性の比較に関する研究
舗装の共用判断	液状化による舗装体の挙動把握および供用性の評価方法の研究
	人工液状化実験における舗装被害の評価に関する研究
	自走式FWDを用いた支持力調査および沈下量調査
	舗装体内部の変状計測システム
	実験ヤードの発破試験前後の舗装の路面性状と構造評価
	舗装平坦性調査
	高強度RCプレキャスト舗装版の地震時挙動及び早期供用性の評価
	港湾・空港施設のヘルスマonitoringに関する研究
	地中レーダーを用いた地震災害時の舗装の供用判断に関する実験的検討
	レーザープロファイラーを用いた舗装面変状・地盤面変状に関する研究
	舗装積算・現場監理
液状化対策	人工液状化実験における合理的な液状化対策(CPG工法)範囲検討に関する実大現場実験
	人工液状化実験における合理的な液状化対策(浸透固化処理工法)範囲検討に関する実大現場実験
	液状化対策工法(超多点注入工法)における合理的な設計・施工法に関する研究
	ゲル状注入材による地盤改良効果の評価法の検証
	交差噴流式高圧噴射工法を用いた格子状改良による既設舗装直下での液状化対策効果の確認
	マイクロバブル水を利用した不飽和化による液状化対策工法に関する実大現場実験
	高圧噴射攪拌工法(ジオバスタ工法)を用いて、杭状の改良体をランダムに配置することによる液状化対策効果の確認
地下埋設管その他	地下埋設物の液状化時の浮き上がりに関する実大現場実験
	液状化に伴うマンホール浮上抑制装置の効果確認
	異種地下構造物接続にともなう地震時挙動の解明
挙動計測・地盤振動計測	各種計測手法を用いた地盤および各種構造物の液状化挙動の評価
	液状化による空港施設への影響に関する現場実大実験
	高精度GPS計測技術を用いた液状化現象に伴う地盤変動量計測に関する共同研究
	発破時地盤振動計測による周辺環境への影響評価
盛土	液状化地盤上の盛土補強技術に関する研究

3. 実験概要

3.1 予備実験

本実験に至るまでに、福島県相馬港3号埠頭付近（平成19年3月17日、18日実施、以下相馬予備実験と称す）および北海道石狩湾新港西地区（平成19年9月29日実施、以下、石狩予備実験と称す）において、延べ2回の予備実験を実施した。以下にその要点を示す。

3.1.1 相馬予備実験

実験計画策定にあたり、滑走路の直下における液状化現象を再現させるため、図-2に示す従来の鉛直削孔発破による方法では、滑走路面上からの装薬となり液状化時の噴砂の水みちになる可能性があった。したがって、図-3に示すように、舗装面に削孔せず液状化現象を再現させるための曲がり削孔を用いた発破方法の実大液状化実験への適応性について検討した。

この予備実験では、曲り削孔ケーシング設置の施工性および施工精度、火薬間の間詰め材および注入方法、火薬挿入方法（火薬、雷管脚線養生方法および保安方法）について検討するため小規模発破を実施し、滑走路面を削孔せず下層を液状化させることができることを確認した。

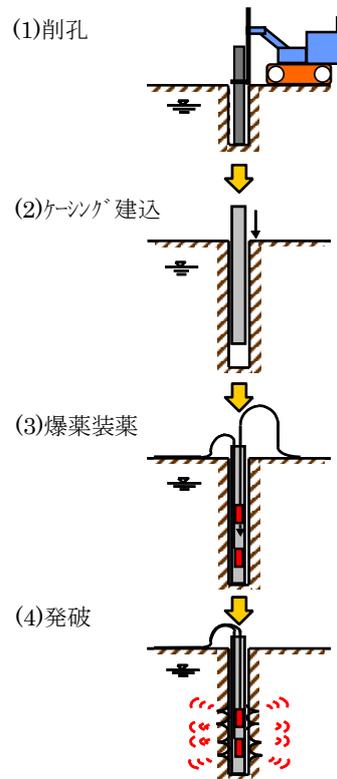


図-2 従来法による発破の方法

3.1.2 石狩予備実験

本実験に先立ち、本実験と同じ土質条件の下、単発発破の振動および液状化後のアスファルト舗装への影響、本実験時の多段発破による振動・過剰間隙水圧調査のためのデータ収集を目的に実施した。なお、試験舗装に関しては、本実験と同じ設計仕様で10m×10mの範囲で施工し、舗装直下4箇所において発破を実施した。

図-4に液状化一日後のアスファルト舗装の変状、図-5に過剰間隙水圧による液状化発生状況を示す。発破後の観測結果より、図-4より発破直後から30cm弱の沈下量が舗装面に発生するこ

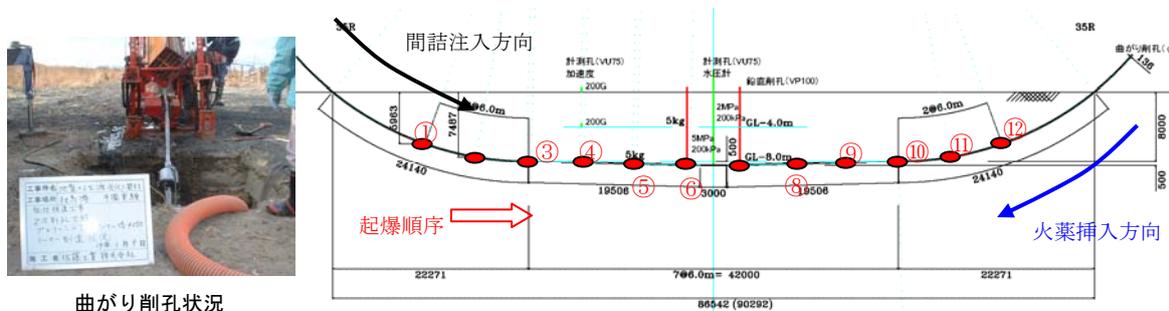


図-3 曲がり削孔による装薬位置と起爆順序

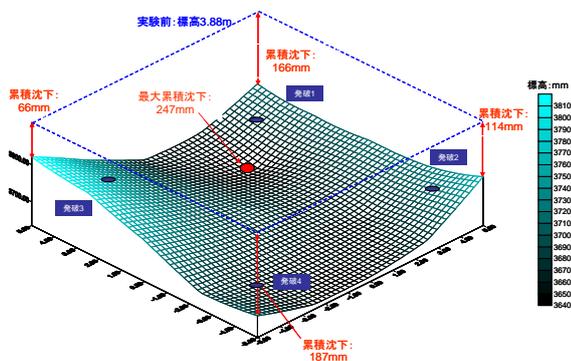


図-4 試験舗装の発破一日後の変状

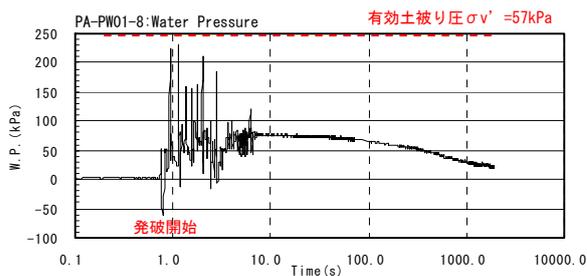


図-5 過剰間隙水圧の測定例

と、図-5より過剰間隙水圧が有効土被り圧相当に達し初期液状化が確認され、予備実験における発破仕様で完全に液状化を発生させることが出来る事を確認した。

3.2 本実験

3.2.1 本実験の概要

本実験における発破は、鉛直削孔 253 孔、曲り削孔 8 孔、総火薬量 1760kg、斉発数 583 段、発破時間 139 秒間の大規模な段発破を行った。図-6に発破順序および経過時間について示す。また、同図には実験ヤード内（約 1.65ha）において滑走路として施工したアスファルト舗装 50m×60m のほか、グライドスロープ、ローライザー、各種埋設物や誘導灯などの航空施設、盛土（地盤改良、補強土）が示されている。なお、詳しい報告は別の機会に譲るが、アスファルト舗装下には液状化対策工法 3 工法（CPG 工法、浸透固化処理工法、超多点注入工法）が施工された。

3.2.2 実験結果の概要

図-7, 8 に発破後の実験ヤード全体の様子と発破時の過剰間隙水圧結果の例および実験ヤード内の様子を示す。図-8 には GL-4m の深度に設置した間隙水圧計のデータを掲載しているが、発破後に過剰間隙水圧が上昇、初期液状化に達し完全に液状化している様子がわかる。また、図-8 に示す写真 1～3 に示すように、発破直後より至る所に、噴砂が発生している様子がわかる。

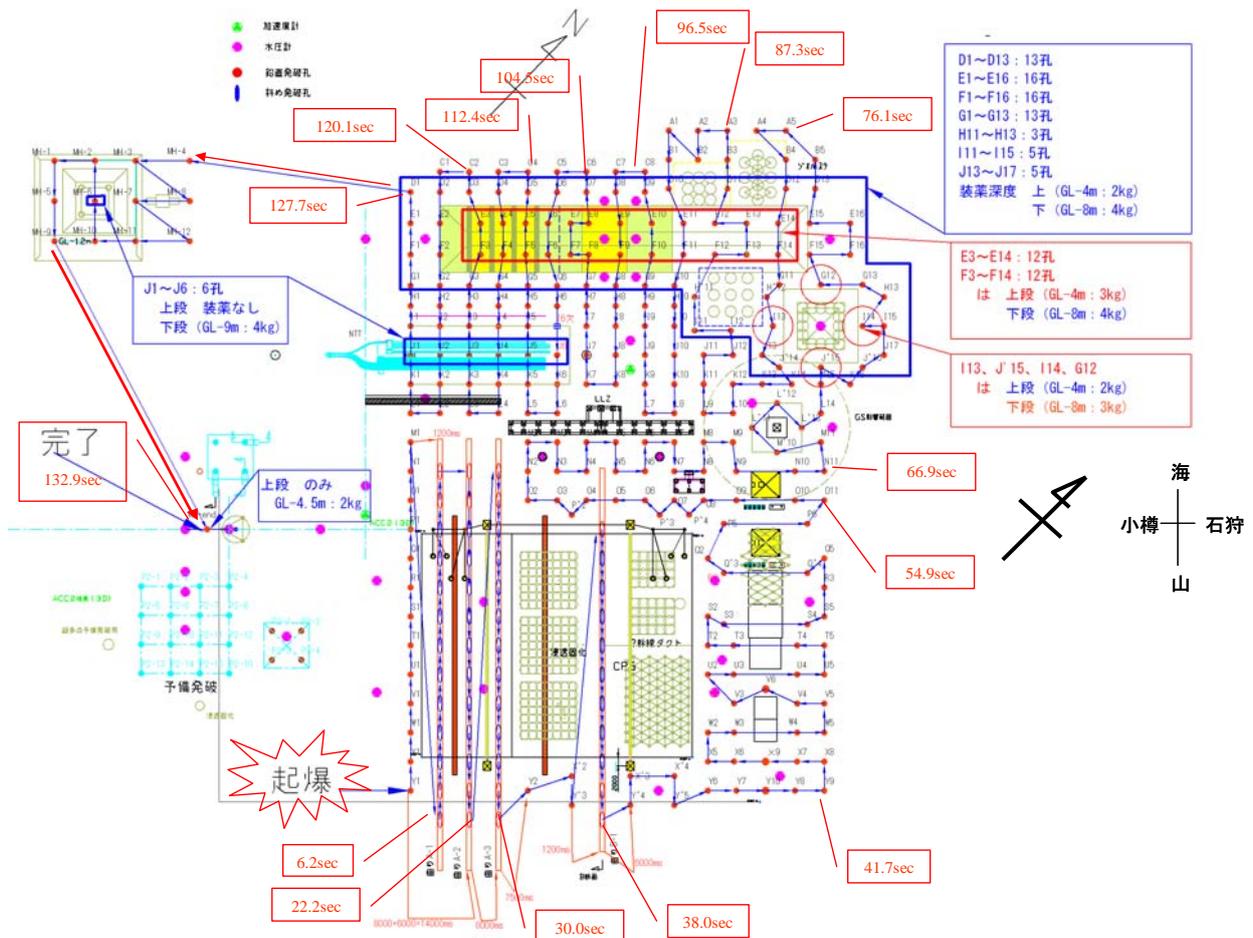


図-6 実験ヤード内施設配置および起爆順序

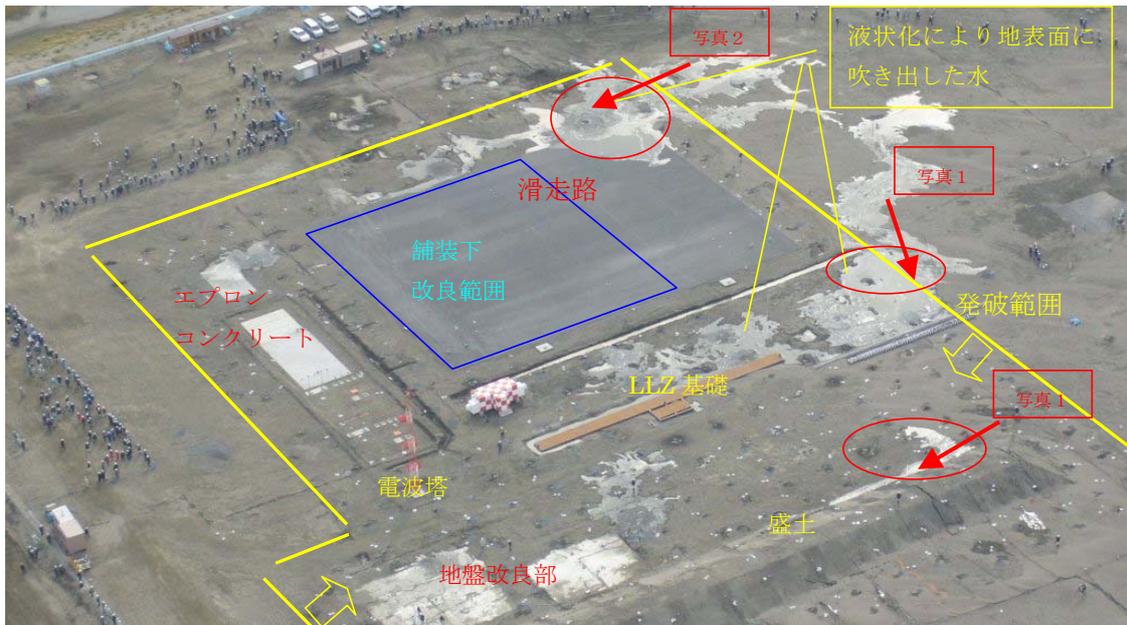


図-7 実験ヤード全体の実験後の様子

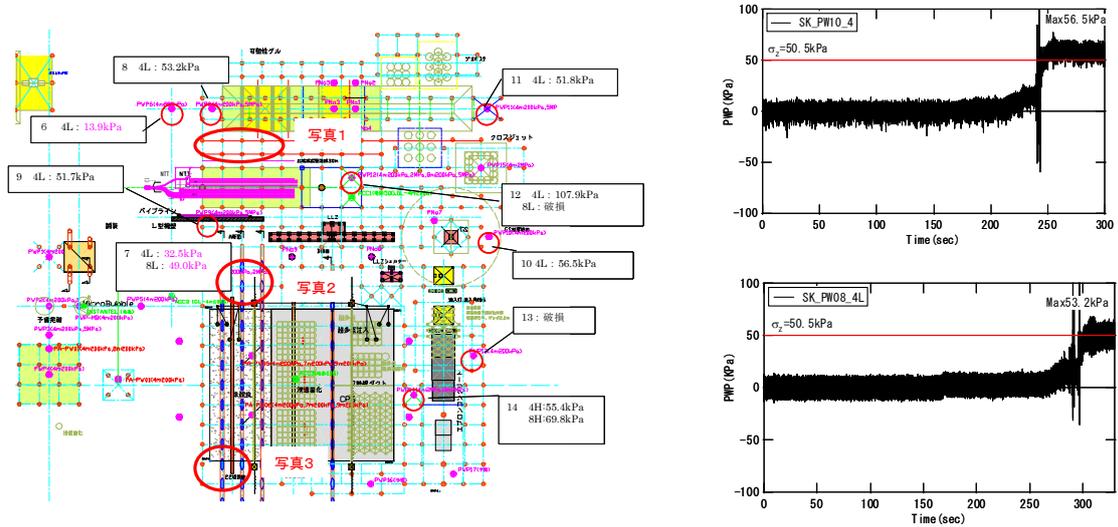


図-8 発破後における液状化の様子

3.2.3 発破領域全体の沈下

発破後、実験ヤード内全域にかけて水準測量を実施し、液状化の発生から過剰間隙水圧消散過程における沈下量を測定した。その結果を図-9 に示し、沈下状況について説明する。

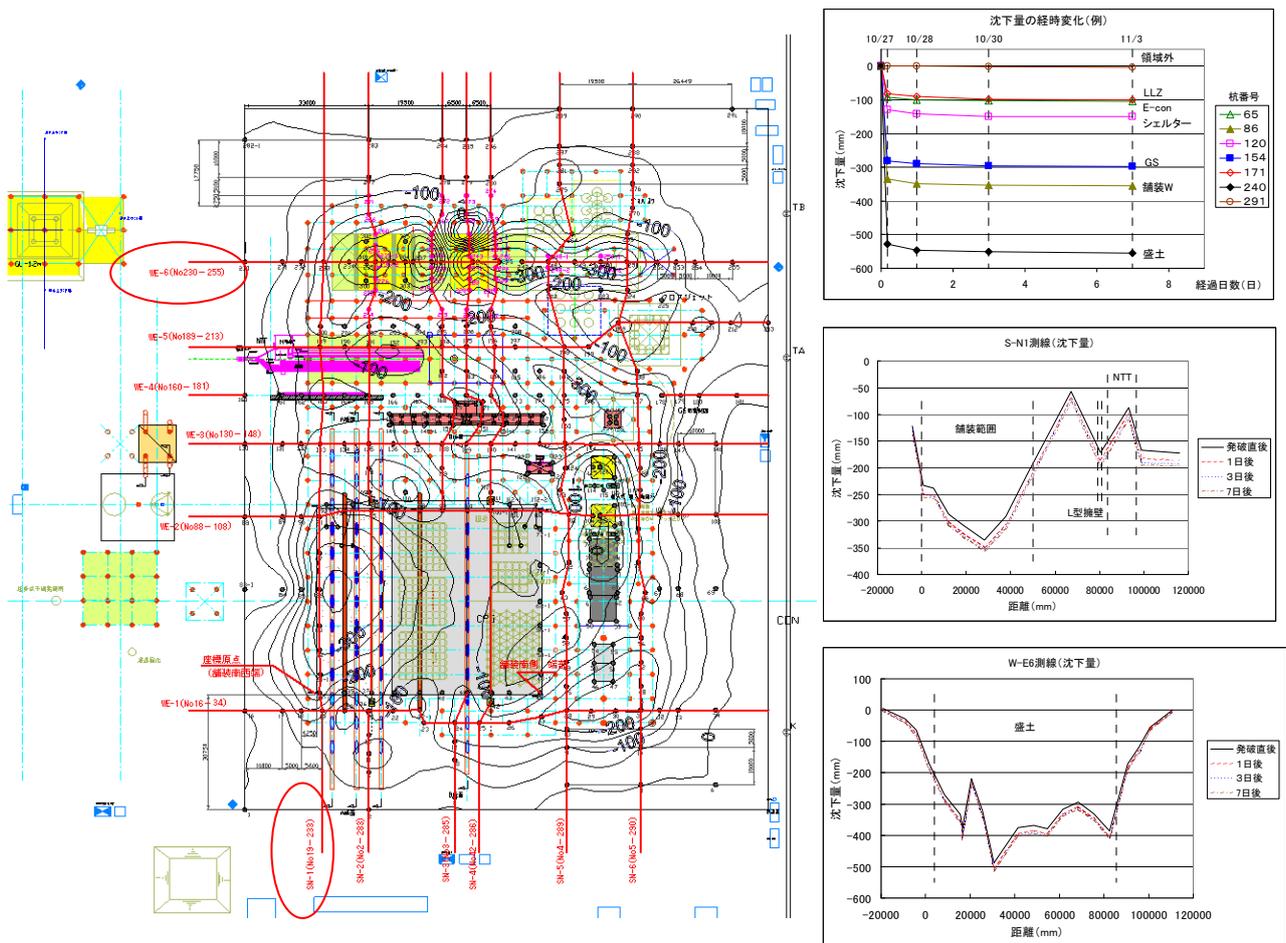


図-9 実験ヤード全域における地盤沈下量

地表面沈下は盛土中央，発破領域南西（舗装未改良部端），南東エプロンコンクリート端部で発生量が大きく，盛土部で最大 500mm を超える沈下量が確認された。図中に併記した各測点の沈下の経時変化を見ると沈下量大部分が発破翌日までに発生し，翌日以降，概ね沈下が収束している傾向が確認出来る。なお，同図では，滑走路における測量結果を除きコンター図を作成しており，液状化対策効果を含めた滑走路の詳細な沈下挙動については，本報では割愛させていただく。

4. まとめ

本報では，平成 19 年 3 月 17, 18 日および平成 19 年 9 月 29 日の予備実験，平成 19 年 10 月 27 日に実施した本実験の概要と得られたデータを速報として紹介した。現段階では，取得したデータの詳細な分析を実施中であり結論には至っていないが，本実験で得られた結果を基に，まず滑走路を始めとする個々の施設，構造物の液状化時挙動を把握し，続いて液状化対策効果確認ならびに施工コスト削減，最終的には共用の可否判断について検討して行く予定である。

最後になるが，本実験時には約 800 名の見学者が訪れ，世界最大級と報道されたように極めて大規模な発破を無事完了することができた。関係者各位に謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 港湾空港技術研究所HP：プレスリリース資料 (<http://www.pari.go.jp/>)