

1. はじめに

滑走路や誘導路といった空港施設では、平面形状や勾配が規定を満足する必要がある。これらの計測は一般にレベル測量によって行われているが、一部の新しい空港施設ではGPS測量も導入されている。しかし、広大な空港施設での計測は時間と労力を要することから、効率的な計測方法が期待される。また、急速に埋め立てられた海上空港では供用開始後も沈下が生じる。このため、長期的な維持管理計画には供用開始後の沈下および不同沈下の予測が重要となる。本研究では、効率的な計測方法として車載型のレーザースキャナを選択し、2010年10月に供用を開始した羽田空港D滑走路の測量を計測的に実施してきた。ここでは、測量結果およびそれを基にした沈下予測手法について報告する。

2. 測量手法

測量はショルダー部10mを含む滑走路を対象として、長距離のレーザースキャナを搭載する機種（Geo-Scanner LISA：以下LISA）により実施した。LISAは、ユニット型移動体レーザースキャナで、自動車、ヘリ、船舶に搭載しての測定が可能である。今回は自動車に搭載して走行速度15～20km/hで測量を実施した。LISAの仕様、特徴および測量時の様子をそれぞれ表1、表2、図1に示す。測量を側方スキャンとしている



図1 測量時の様子

表1 移動体レーザースキャナ（LISA）の仕様

項目	仕様	条件、備考	
レーザースキャナ部	計測距離	300m 100m	反射率 80%以下 反射率 10%以下
	計測最短距離	2m	車載時
	精度	±6mm	
	レート	8,333/秒	
	計測範囲	80°	
	ライン数	1～20/秒	
レーザースキャナ部	方位精度	0.01°	
	ローリング	0.01°	
	ピッチング	0.01°	
	速度	0.005 m/s	
レート	100Hz		

表2 走行型レーザースキャナの特徴

項目	LISA
特徴	計測距離が300mの長距離レーザースキャナを搭載し、一度に広範囲の計測が可能。レーザースキャナ単体では±6mmの精度で高精度スキャナを使用している。ユニット型であるため、自由に搭載でき、用途によりスキャンングの方向を変更できる。計測の誤差は、GPS誤差への依存が高い。
滑走路面計測への適用性	長距離レーザーにより幅が広い滑走路では、一度に横断方向の計測が可能である。スキャンレートは、小さい(8,000/秒)が走行速度を遅くすることで高密度化が可能である。

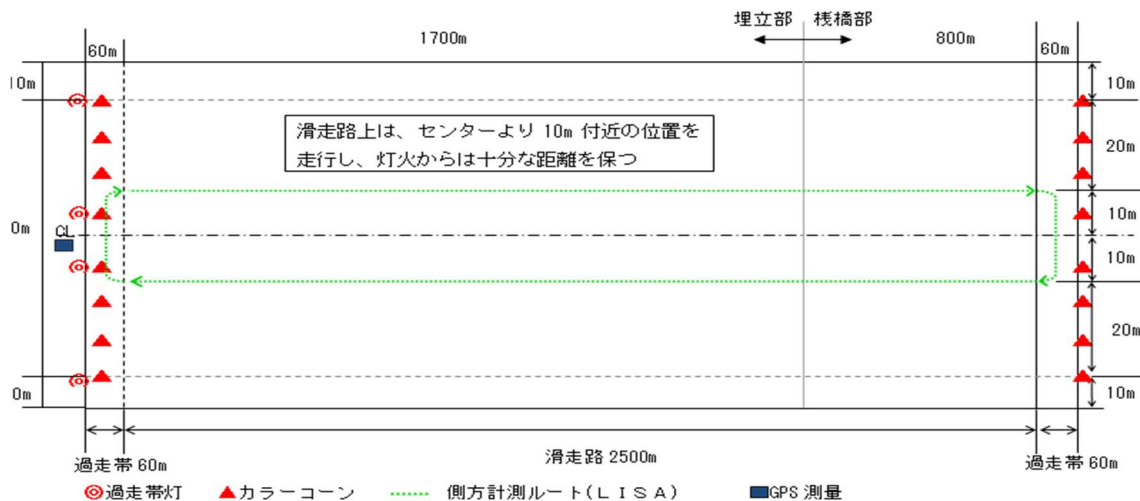


図2 D滑走路のレーザースキャナ測量ルート

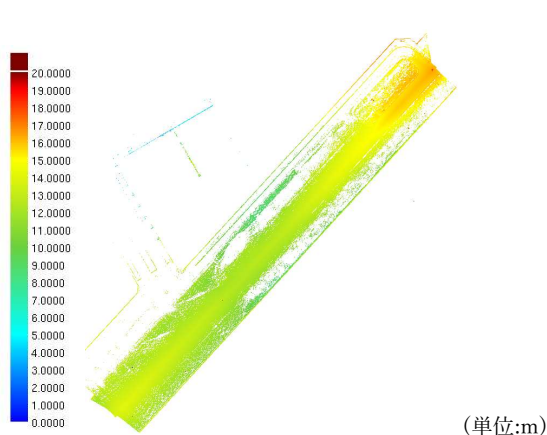


図3 レーザースキャナ測量で得られた標高データの取得点群情報 (約 324 万点)
(単位:m)

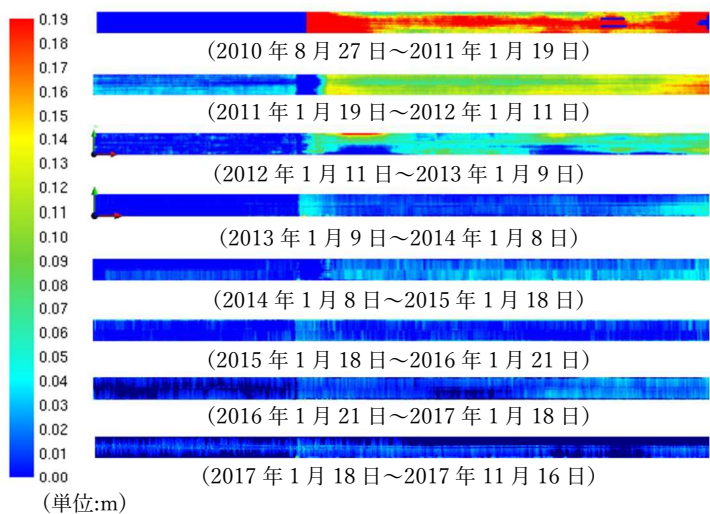


図4 期間沈下量

ため、1往復の走行で滑走路およびショルダーの幅 80m を測量した。なお、測量範囲は往路と復路で測定範囲をオーバーラップさせている (図2)。

3. 測量結果

図3に測量結果を示す。全取得点群の合計数は約 324 万点である。これまでの各測量と取得点の位置が一致しないので、データを整理する際には、計測範囲を 1m×1m のメッシュに分割し、各メッシュ内のデータを平均している。

これまで、2010年8月27日、2011年1月19日、2012年1月11日、2013年1月9日、2014年1月8日、2015年1月18日、2016年1月21日、2017年1月18日、2017年11月16日と9回の測量を行っている。各測量間の期間沈下量の分布を図4に示す。図の左側が棧橋部である。なお、2010年8月27日のデータは棧橋部と海側の一部のデータが欠損しているため、沈下速度は 0m として表示している。開港当初はほぼ全域で年間 15cm 以上の沈下が見られたが、最近ではほとんど沈下が見られなくなっている。また、これまで沈下量がやや大きかった接続部や最も沖側でも、ほとんど沈下は見られな

なくなってきた。このように、沈下量は収束傾向にあるため、今後頻繁に計測を行わなくても問題はないと考えられる。ただ、1年間の沈下量が測量精度と同程度になりつつあるため、沈下傾向を把握するためには、一定の頻度で計測を行うことが望ましい。

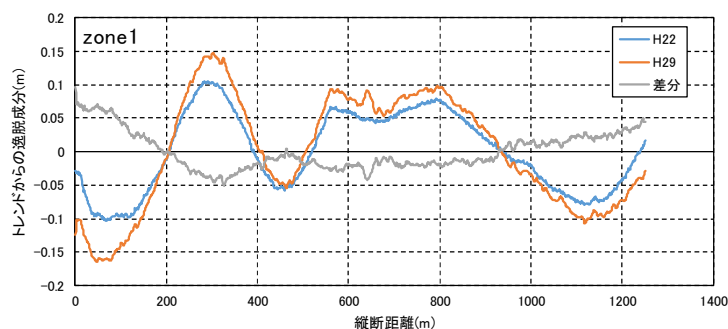


図5 標高差の縦断分布

4. 測量結果の評価及び沈下予測

4.1 スペクトル解析による表面形状変化把握

D 滑走路の不同沈下を標高変化の波長として捉え、スペクトル解析を行い、D 滑走路の表面形状変化特性を評価した。

スペクトル解析は埋立側の滑走路端から 1250m の部分を対象に行った。解析では、まず初めに横断 1m 毎の縦断面(40 断面)の標高差を算出した。ここで、標高差とは、滑走路端と 1250m 地点の表面を結んだ直線と各地点の標高の差である。この標高差の縦断方向の分布についてスペクトル解析を実施し、スペクトル解析手法としては高速フーリエ変換(FFT)を用いた。

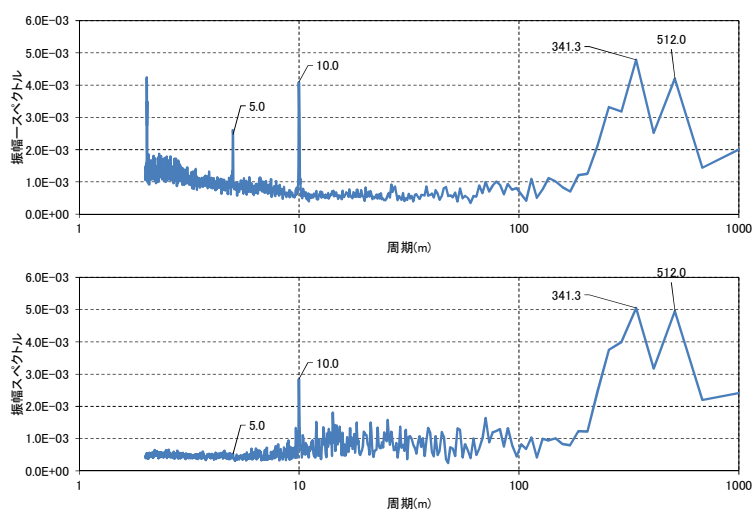


図6 滑走路表面形状のスペクトル解析結果
(上：平成 22 年度、下：平成 29 年度)

スペクトル解析は、2010 年度、2017 年度に実施している。図 5 に標高差の縦断方向の分布を示す。図 5 を見ると、両年度の標高差の縦断分布形状には差が見られず、絶対値は 2017 年度の方が大きくなっている。2017 年度の方が標高差が大きくなっている部分（例えば、縦断距離 300m 付近）があるが、これは隆起を意味するのではなく、滑走路端の沈下により標高差算出の基となる直線自体が下がっているためである。これらのことから、沈下が進行するにつれて、各地点の沈下特性の影響が拡大していることがわかる。また、縦断分布形状の経年的な変化が見られないことから、これらの結果は、今後の補修作業に関する重点監視地区の抽出の参考情報として活用できると考えられる。

図 6 にスペクトル解析結果を示す。両年度において 5m、10m、341.3m、512m の卓越周期が見られ、標高差の縦断分布と同様、年度による卓越周期の違いは見られない。

4.2 沈下予測

長期的な維持管理の計画のためには、滑走路表面形状の変化、埋立による海上空港の場合は沈下の予測が必要となる。数値解析による沈下も有効であるが、構成モデル自身の誤差のほか、土質特性の評価時の誤差、海底地盤や埋立地盤、施工履歴のモデル化の誤差などが含まれるため、実測データによる見直しが必要となる。

図4に示したように、継続的なレーザースキャナ測量による追跡から平面的な沈下の傾向が得られている。ここでは、実測データのみフィッティングによる沈下予測を示す。

各メッシュにおいて沈下カーブを描くと図7の例ようになる。図にはこれまでの計測結果及びそれを基にした予測の沈下カーブを示している。予測沈下カーブは、計測結果をフィッティングした対数関数を時間軸方向に延長したものである。対数関数の各係数は測量ごとに変化するが収束傾向にあり、1年前の前回測量時とほとんど同一の値で、その変化は1.5~1.6%であった。このことから現時点のフィッティングによる沈下予測カーブは、ある程度長期の沈下予測に有効であると考えられる。

図8は埋立部の沈下予測の平面分布である。

5. おわりに

今回報告した測量方法は簡便で効率的に平面的な沈下データの取得が可能である。フィッティングによる沈下予測手法については、ある程度の沈下の進行、データの蓄積が必要となるが、概略的な維持管理計画の策定には有効ではないかと考えている。

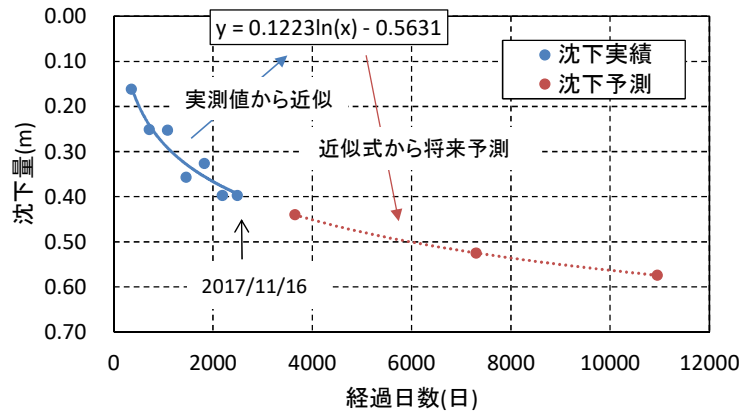


図7 沈下カーブ (計測結果, 予測結果)

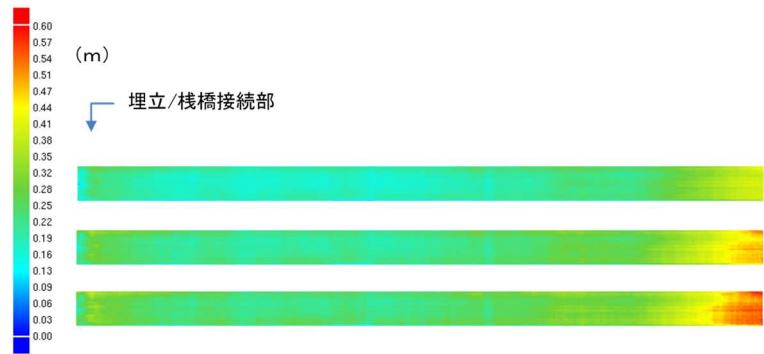


図8 沈下予測分布 (上:10年後、中:20年後、下:30年後)