

Leica Geosystems TruStory GNSSモニタリングシステム

東京国際空港D滑走路における動態観測



羽田国際空港 D滑走路イメージ図

1. はじめに

東京国際空港は、**2010年10月新たに4本目の滑走路となるD滑走路が供用開始**され、離発着回数がこれまでの年間30.3万回から44.7万回に増強される事が望まれ、国際線も乗り入れる事で国内線から国際線への乗り換えといった利便性の向上や、地域経済の活性化、都市機能の国際競争力強化が見込まれている。

新しい滑走路は、多摩川の河口、東京湾の洋上に建設され、その構造は**埋立・棧橋を組み合わせた日本初のハイブリッド構造**であり、それと現空港を結ぶ連絡誘導路から成る。埋立部は軟弱な地盤における圧密沈下を防ぐために地盤改良を行なった後、土砂を盛土して形成されており、棧橋部は杭長が約100m近くある鋼管杭を決められた間隔で海中に埋め込み、その上に鋼製のジャケットを据付ける事で、多摩川の通水性を確保する環境に配慮した形で建設されている。この多用な工法によりそれぞれの構造物が異なることから、埋立部・棧橋

部をつなぐ接続部や棧橋部・連絡誘導路部の継ぎ目において経年変化による変位・沈下が想定され、特に地震時の変位量の把握がD滑走路の運行・閉鎖の判断材料の一つとなるため、**正確にデータを取得する必要がある**。

2. システムの目的と設置環境

本モニタリングは、この複雑な構造特性を持つ滑走路において、供用開始後の維持管理業務の一環として構築されたシステムであり、**滑走路上に21点の観測点を設置**し、供用開始からの**経年変化と地震発生時の動的な変動を監視**する事を目的としている。観測点は、主に接続部の異なる構造物の継ぎ目における変位を求める事を意図して接続部を挟む2点の相対変位を計測する。各観測点は図1のような位置関係で配置され、観測点の相対変位を求めるペアは表1の通りである。埋立部・棧橋部のアンテナは航空機の走行に支障がないよう着陸帯の地中に埋め込む形で設置されている(図2)。

■ Company

国土交通省 関東地方整備局

■ Challenge

GNSSによるモニタリングシステム
東京国際空港D滑走路における動態観測

■ Date

2010年10月開港

■ Project Summary

Instrument

GMX902GG GNSS Receiver

AX1203+GNSS Antenna

Software

ライカジオシステムズ社製 GNSS Spider
ジオサーフ株式会社製 変位モニタリングソフトウェア

Aim

GNSSシステムによる動態観測

■ Benefits:

- ・経年変化観測
- ・地震発生時の動的な変動監視
- ・無人常時観測

また連絡誘導路部では高さ制限にかからない位置に設置している(図3)。
基準局はD滑走路ではなく、現空港側の消防東庁舎屋上に設置され、地震による動的な変位がある状態でも基線解析処理が継続できるよう免振装置を設置し、その内部にアンテナを固定している(図4)。本システムは、アンテナを地面に埋め込む形で設置する事、飛行機による受信状況の低下がある事から、

常時計測を維持し、水平方向約 10mm の精度をできる限り保つために GLONASS も利用する。GNSS アンテナは AX1203+GNSS を使用し、受信機は 22 台全て GMX902GG を使用している。

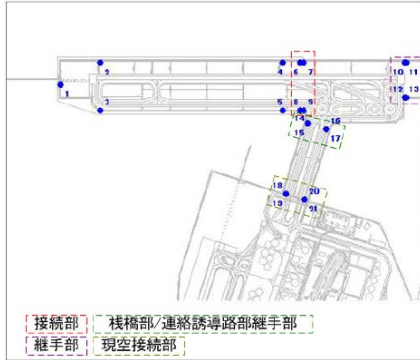


図 1 滑走路観測点設置分布

| 設置箇所 | Site NO. | Pair Site NO. |
|--------|----------|---------------|
| 埋立部 | 1 | 2 |
| | 2 | 3 |
| | 3 | 2 |
| | 4 | 5 |
| | 5 | 4 |
| | 6 | 7 |
| 継橋部 | 7 | 6 |
| 埋立部 | 8 | 9 |
| | 9 | 8 |
| 継橋部 | 10 | 11 |
| | 11 | 10 |
| | 12 | 13 |
| | 13 | 12 |
| | 14 | 15 |
| | 15 | 14 |
| 連絡誘導路部 | 16 | 17 |
| 継橋部 | 17 | 16 |
| | 18 | 19 |
| 連絡誘導路部 | 19 | 18 |
| | 20 | 21 |
| | 21 | 20 |
| | 20 | 21 |

表 1 観測点とペアの関係



図 2

滑走路上に設置した AX1203+GNSS アンテナ



図 3

誘導路部に設置した AX1203+GNSS アンテナ



図 4 免振装置を施した基準局アンテナ

3. システムの機能

滑走路上に設置した GNSS 観測点の観測データは、基準局のある消防庁舎内の DR/W 監視制御室にあるサーバー機にてデータの回収・解析を行なう。サーバー機には GNSS Spider ソフトウェア(以降、Spider)と GEOSURF 社が開発した羽田 D 滑走路用変位モニタリングソフトウェアを同時に稼働させ、Spider にて常時 20Hz で解析を行い(図 5)、その結果をライカ独自の GGQ メッセージで出力し GEOSURF 社のソフトウェアでそれを瞬時に受信して、世界測地系経緯度を滑走路に準じた平面座標に変換したのち、計測データをファイル化して国が所管するサーバーへデータをアップロードする。

システムのブロック図を図 6 に示す。本システムの計測は常時計測と地震時計測・後処理地震計測の 3 種類に大別される。このうち常時計測はリアルタイムに TCP/IP によるソケット通信で観測点から LB2 データを Spider に渡して解析を行なう。常時計測は 20Hz のデータから二時間毎に三次元座標の各メジアン値を求め、更に四分位範囲(IQR:inter-quartile range)による異常値を除く処理をした後に最終的なメジアン値を求める事で解の精

度向上を図っている。地震時計測は滑走路上に設置された地震計から電気的なトリガー信号を受ける事で、地震発生・終了時刻を正確に検出し、その時間における Spider で解析した 20Hz のデータから GGQ メッセージに含まれる CQ 値が、設定した閾値以内のデータのみをファイル化する。これらの解析モードは While Moving を用いている。

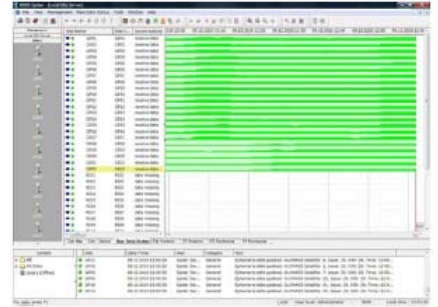


図 5 Spider の画面(GP22 は基準局を示す)

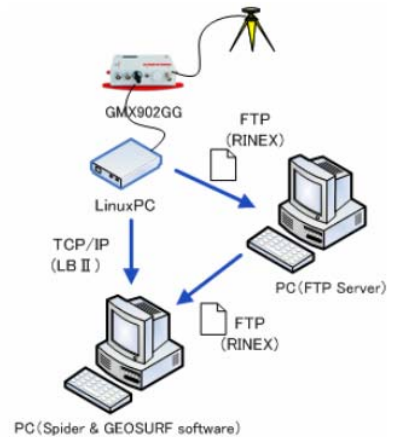


図 6 システムブロック図

また先にソケット通信で LB2 データを Spider に渡すと記述したが、各観測点には GEOSURF 社が開発した Linux 端末があり、GMX902GG からシリアル通信で LB2 データを受けて、リアルタイムに TCP/IP プロトコルに変換して Spider へ送信する機能を担っている。

更に Linux 端末では、受信した LB2 データをバッファリングして 10 分毎に RINEX ファイルの保存を行ない、RINEX ファイルは後処理地震計測で用いるためとデータのバックアップとして、定期的に 2 台の記録用パソコンへ FTP ファイル転送を行なっている。後処理地震計測は、Spider Ver4.01

の新機能である Passive RINEX 機能を使用し、記録用パソコンの IIS による FTP サーバーを常時稼働させ、地震発生時刻に該当する RINEX ファイルを弊社のアプリケーションで検出し、自動的に Spider が稼働するパソコンへ FTP によるファイル転送を行なう。これにより、地震時にネットワークの障害などでサーバー室までデータが行き渡らずリアルタイムに計測出来ない場合でも、通信復旧後に自動で RINEX データを観測点からサーバー室まで転送し、更に Spider にて自動的に RINEX ファイルをダウンロードして PP Positioning によるキネマティック解析をして 20Hz の地震時データを生成する事ができる。

本システムは無人かつ常時稼働させる事が前提であるため、このような冗長化を図っている。地震時のみ Passive RINEX モードが働くようにしているのは、常に FTP サーバーに RINEX ファイルをアップロードすると、常時後処理解析が行なわれ、1 台の Spider で 21 サイト・20Hz のリアルタイム解析 (RT Positioning モード) と 21 サイト後処理解析 (PP Positioning モード) が行なわれパソコンに相当負荷がかかるため、地震発生時刻に該当する

データのみ後処理にかけ処理を自動化させる事で、負荷の軽減を図っている。

また GEOSURF 社が開発したソフトウェアは、時には担当者によるオペレーションも発生する事から、極力シンプルな視認性となるよう配慮し、メイン

画面には計測状態、次の計測時刻、現在の警告発生状況、21 点それぞれの受信ステータスを色別で表現するようにしてあり、特別な設定や操作が発生しないような操作性に配慮している (図 7)。

| 観測点名 | 受信状況 | 観測点名 | 受信状況 |
|-------|------|-------|------|
| GPS01 | OK | GPS11 | OK |
| GPS02 | OK | GPS12 | OK |
| GPS03 | OK | GPS13 | OK |
| GPS04 | OK | GPS14 | OK |
| GPS05 | OK | GPS15 | OK |
| GPS06 | OK | GPS16 | OK |
| GPS07 | OK | GPS17 | OK |
| GPS08 | OK | GPS18 | OK |
| GPS09 | OK | GPS19 | OK |
| GPS10 | OK | GPS20 | OK |
| GPS21 | OK | GPS22 | OK |

図 7 GEOSURF 社製ソフトウェアのメイン画面

4. 現状の課題と今後の展望

Spider の新機能である Passive RINEX を利用した後処理自動解析処理は、人の操作が介在する事無く解析できるため遠隔地や災害箇所など無人で運用するケースにおいては非常に有効であるが、現状では過去の全てのデータを処理できる訳ではなく時間的・データ数量的な制限がある。本システムでは大地震の後に起こる地震も考慮して、地震発生時間を最長 5 分と想定し、また負荷の軽減を図るべく RINEX ファイルの時間単位を 10 分としているが、10 分の RINEX ファイルでは、最長 50 時間までしか遡って解析できないという制限がある。この制限がもう少し緩和されれば、更なる冗長化を目指すモニタリングシステムにおいて非常に有用な機能であると思われる。

Spider は世界各地で利用されるツールであるが、解析で得られた経緯度を弊社のソフトウェアで滑走路に準じた平面座標へ変換している。国が管理するサーバー機では、2 時間毎の結果を時系列グラフで表示できる (図 8) が、本システムでも三次元でのグラフィカルなモニター表示機能を構築すれば、20Hz のリアルタイムなプロット表示や地震時の動的な変位・挙動が即座に確認でき、更に利便性が増すものと思われる。リアルタイム性を損なわないシステム化を図っているのも、そこまで機能化できるとよい良いモニタリングシステムとなるであろう。

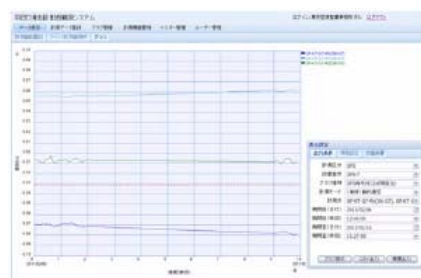


図 8 関東地方整備局のシステムプロットイメージ

取材協力: 関東地方整備局
写真及び図の提供元: 関東地方整備局
原稿協力: ジオサーフ株式会社