

## 衛星測位技術と災害リスク情報を組み合わせた利活用について - 防災分野における衛星測位の利活用例のご紹介 -



平成23年1月18日  
国際航業株式会社

### 話題提供 目次

1. はじめに
2. GPS自動変位計測システムの概要
3. 防災分野における計測事例
4. サービス高度化に向けた技術開発
5. 今後の展望（モニタリングから減災へ）

# 1. はじめに

## 1. はじめに

### 国際航業株式会社 会社概要



本社所在地	東京都千代田区六番町2番地
設立	1947年（昭和22年）9月12日
資本金	167億2900万円
従業員数	1178名
拠点	国内50箇所
有資格者数	博士18名、技術士296名、一級建築士10名、測量士321名、RCCM172名ほか

## 1. はじめに

- 斜面防災の分野では、地すべりや切土斜面等の挙動を精度良く計測するモニタリング技術が重要である。
- 計測情報を斜面防災の専門技術者により評価・判断し、警戒・避難の必要性有無を行政や管理者、地域住民などにいち早く周知する仕組み（システム）が必要である。

### shamen-net 災害監視サービス

「情報配信システム」  
GPS地盤変位データ  
雨量データ・地震データを  
インターネットで提供

「災害監視センター」  
データを専門技術者が24  
時間監視し、緊急通報・  
警報発令

## 1. はじめに

### shamen-net 災害監視サービスの設計思想

- ① データ配信を停止させない
- ② 停止した場合でも早期発見・早期復旧が可能
- ③ 誤報を出さない
- ④ 計測結果を直感的に判断できる
- ⑤ 利便性が高い
- ⑥ これら要求事項満足のためにコスト転嫁しない



減災支援ツールとして必要不可欠な要素

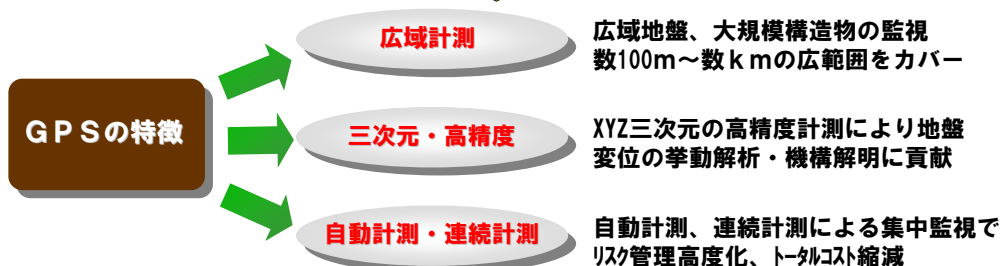
## 2. GPS自動変位計測システムの概要

## 2. GPS自動変位計測システムの概要

GPS (Global Positioning System) は、米国が運用する衛星を利用した測位技術で、ナビゲーション分野や測量分野で目覚ましい進歩を遂げている。

近年は、カーナビの普及や携帯電話への標準装備などが進み、社会インフラの一部として身近な技術となっている。

なぜ、GPSを利用するか？



## 2. GPS自動変位計測システムの概要



### 情報配信システムの特徴

- 小型軽量・安価な新型GPS
- トレンドモデルによる誤差処理で±1~1.5mmの高精度計測
- 雨量や天気予報、地震情報等も配信
- サーバーで集中処理、解析コスト軽減（専用アプリケーションが不要）
- インターネット利用で情報共有化
- PCや携帯電話でいつでもどこでもデータを確認でき、情報伝達が容易
- 常に最新の解析技術を利用出来る

### 災害監視センターの特徴

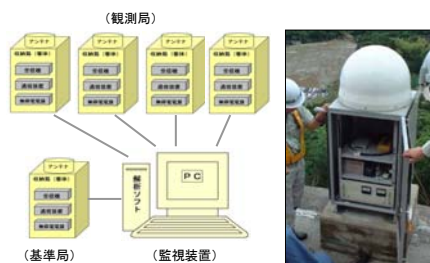
- 専門技術者による24時間常時監視で安全安心（監視を代行）
- メール、携帯メール、携帯電話で通報
- 異常発見・通報が迅速
- 気象など関連データも監視。計測データと組み合わせたコンサルティングを提供

## 2. GPS自動変位計測システムの概要

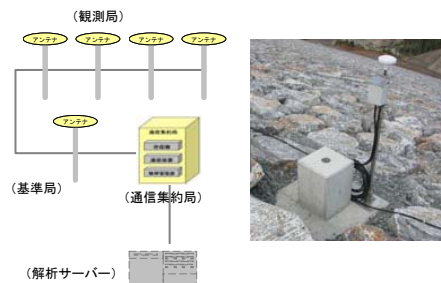
### 2.1 自動計測用GPS機器

測量用GPS機器は高価で取り扱いが難しい。そこで、  
 → 地盤計測に不要な機能や部品を省き最適な機器構成を実現  
 → 計測精度を劣化させずに小型・軽量・安価なGPS自動計測機器を開発

#### <測量用GPS機器を流用した自動計測システムの例>



#### <地盤計測用のGPS自動計測システム>

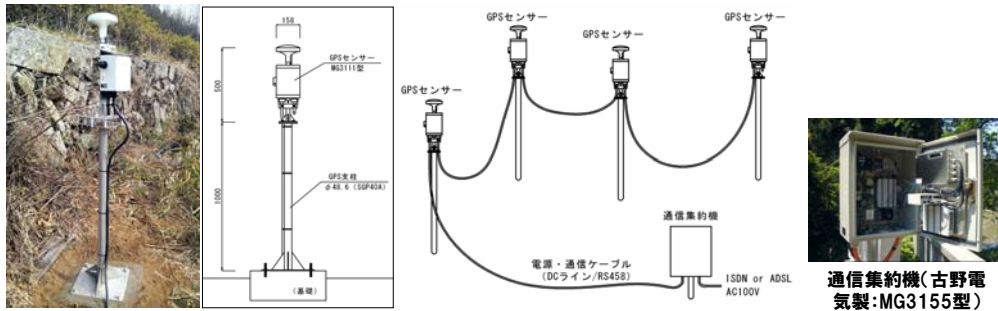


## 2. GPS自動変位計測システムの概要

- 地盤計測専用GPS機器
- 測量用GPSより安価（**機器コスト低減**）
- 小型・軽量で設置が容易（**設置コスト低減**）
- 監視PC・ソフト不要（**解析コスト低減**）



GPSセンサー(古野電気製:MG3111型)



通信集約機(古野電気製:MG3155型)

国際航業グループ  
—地球を学ぶ Solution for Our Earth—

## 2. GPS自動変位計測システムの概要

### 2.2 計測精度の向上

GPS計測では、衛星配置や上空視界、基線長（基準点と計測点間の距離）、気象条件、マルチパス（建物などの地物による反射波）等の様々な誤差要因のため計測値がバラつき、**最も高精度なスタティック測位法でもmm単位の変位判定は難しい。**

精度向上技術...



#### (1)トレンドモデルによる誤差処理

トレンドモデルによる時系列統計処理（誤差処理）を導入することで計測精度を向上させ概ね1~2mm程度の変位検出が可能となった

#### (2)対流圏補正

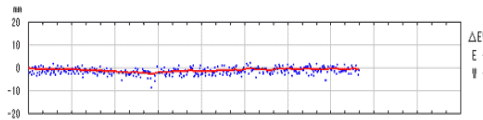
基準点と観測点の間の高低差がある程度大きい場合の大気中の影響を補正

国際航業グループ  
—地球を学ぶ Solution for Our Earth—

## 2. GPS自動変位計測システムの概要

### (1) トレンドモデルによる誤差処理

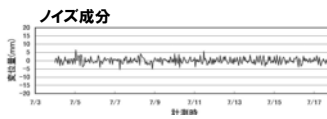
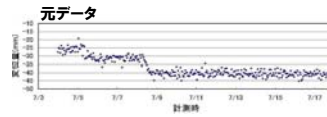
トレンドモデルと呼ばれる、確率構造を持った時系列解析モデルを用いて、ノイズを含む計測データから真の変位挙動を推定する



$$\Delta \kappa u_n = v_n \quad (\text{システム方程式}) \quad (1)$$

$$y_n = u_n + w_n \quad (\text{観測方程式}) \quad (2)$$

$v_n$ : 平均値 0, 標準偏差  $\tau$  のシステムノイズ  
 $w_n$ : 平均値 0, 標準偏差  $\sigma$  の観測ノイズ  
 $\Delta$ : 時間差分演算子  
 $\kappa$ : 回差分の次数



1~2mm程度の変位検出が可能

## 2. GPS自動変位計測システムの概要

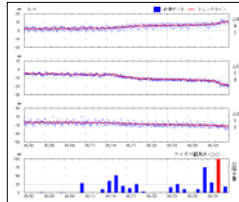
### 2.3 インターネットを利用した情報提供

いつもご利用いただきありがとうございます。  
 IDとPASSWORDを入力して下さい。  
 現場ごとに設定された IDとPW を入力!!

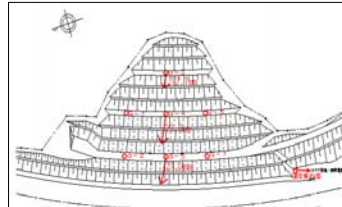
ID	X X X X
PASSWORD	X X X X X X
ログイン	

## 2. GPS自動変位計測システムの概要

### 配信データの例



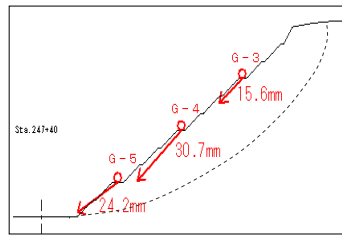
時系列グラフ



平面ベクトル図



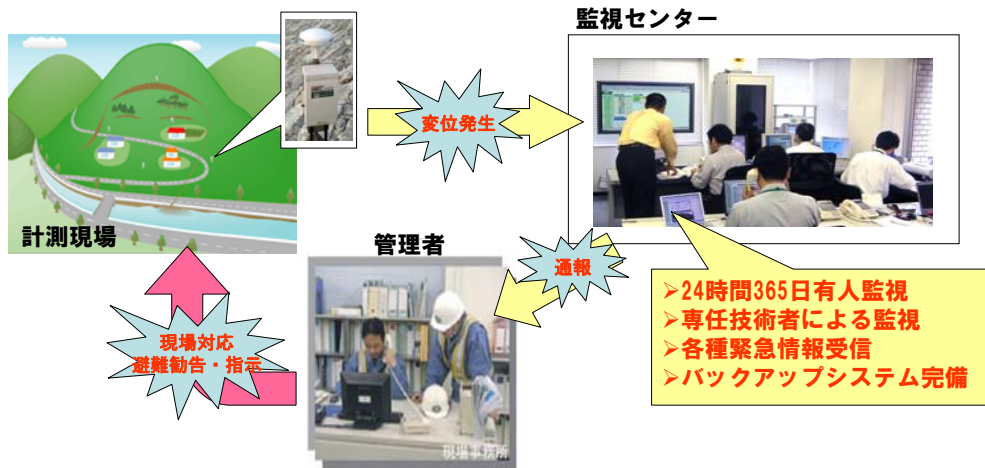
地震時変位速報



断面ベクトル図

## 2. GPS自動変位計測システムの概要

### 2.4 災害監視センターの概要





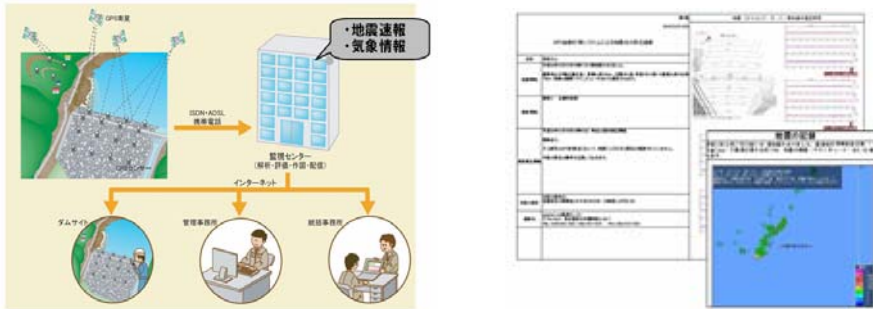
## 2. GPS自動変位計測システムの概要

### 地震等緊急時の対応（ダムの場合）

最大地震動加速度が25gal以上、震度4以上で地震スクランブル体制に移行

- ① 地震発生前後の堤体変位の増分を計算・とりまとめ
- ② インターネットを介し関係各所で**情報共有**
- ③ 地震発生3時間後や24時間後に堤体変位の**速報値・確定値**を配信

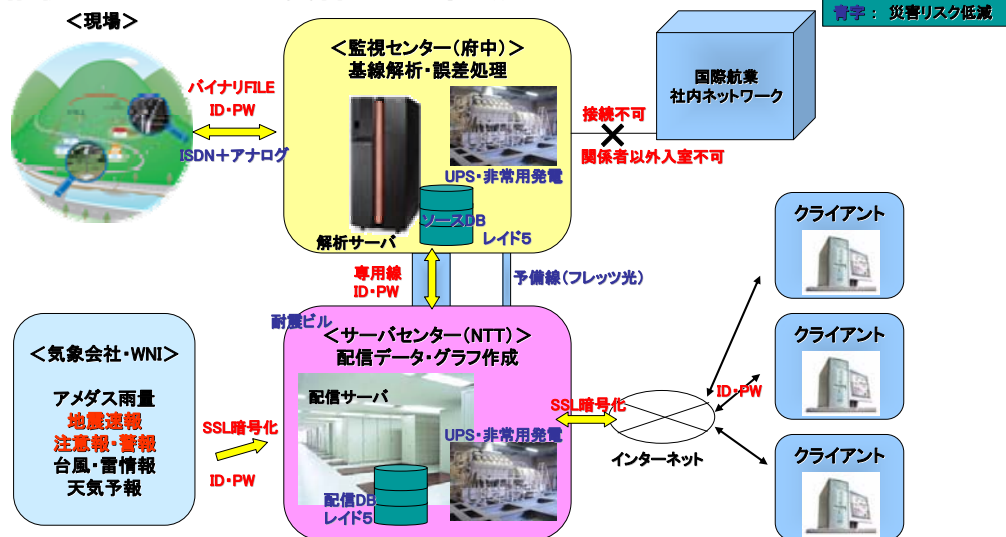
<インターネットを利用したGPS自動計測システムの概念図> <地震スクランブル時に配信される情報の例>



国際航業グループ  
—地球とすむ。 Solution for Our Earth—

## 2. GPS自動変位計測システムの概要

### 情報セキュリティと災害リスク低減



国際航業グループ  
—地球とすむ。 Solution for Our Earth—

## 3. 防災分野における計測事例

### 3. 防災分野における計測事例

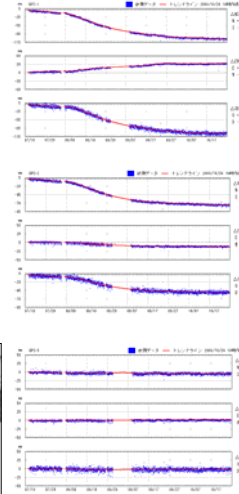
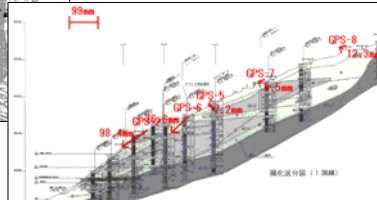
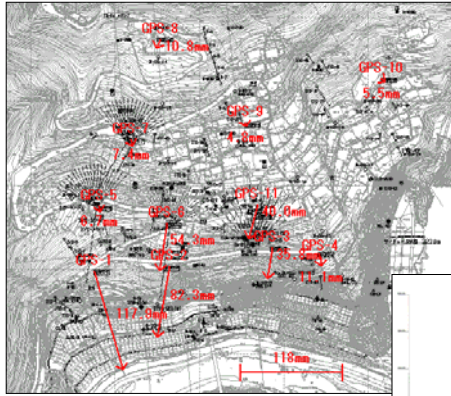
#### 3.1 ダム貯水池周辺地すべり

ダムの試験湛水により発生した地すべり災害。当該地区の住民は全戸避難を余儀なくされた。災害発生直後からGPS計測を開始した。



### 3. 防災分野における計測事例

地すべり活動領域と非活動領域を早期に判定、地すべり抑止のための対策工設計に大きく貢献した。



国際航業グループ  
— 地球をずっと Solution for Our Earth —

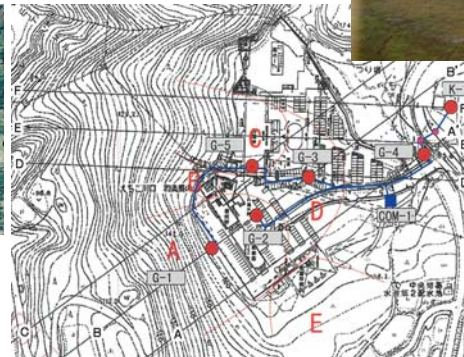
### 3. 防災分野における計測事例

#### 3.2 新潟県中越地震による地すべり

大規模地震で発生した地すべり箇所立地する建造物の動態監視。地震で建物基礎が損傷し地盤変位発生。斜面下方には集落が存在し、地すべり拡大有無の監視が必要。



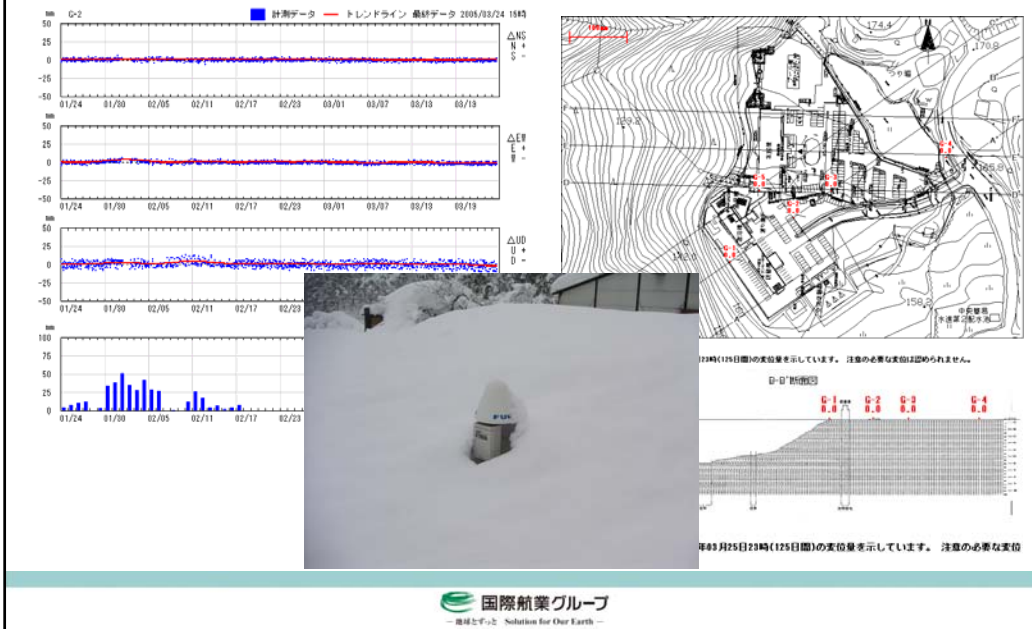
被災状況



GPS配置図

国際航業グループ  
— 地球をずっと Solution for Our Earth —

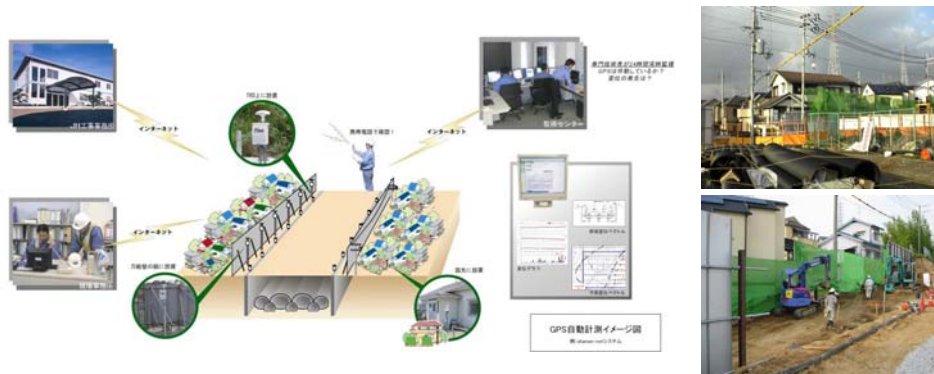
### 3. 防災分野における計測事例



### 3. 防災分野における計測事例

#### 3.3 住宅地におけるトンネル工事

本計測事例は、四連めがねトンネルが施工される現場で、施工箇所周辺には住宅が密集しているうえ小土被り（概ね1D程度）の施工となるため、施工時の安全確保および周辺家屋への影響が懸念された。また、施工範囲内には比較的軟弱な沖積層が分布し、施工による地下水位の変動に伴う地盤沈下も懸念された。



### 3. 防災分野における計測事例

施工中～施工後に際しては十分な地盤変形計測を実施し、トンネル直上および周辺地盤の変形挙動を常時把握して、施工の安全性確保と周辺地盤・家屋等への影響に配慮した情報化施工を行うためshamen-netサービスが利用された。



国際航業グループ  
— 地球と共生 Solution for Our Earth —

### 3. 防災分野における計測事例

#### 3.4 高速道路における盛土崩壊



国際航業グループ  
— 地球と共生 Solution for Our Earth —

### 3. 防災分野における計測事例

#### 3.5 ダム堤体の安全管理

大量の貯水からの荷重を受けるダム堤体の安全管理は非常に重要であり、変位計測によりダムの健全性を把握することが取り決められている。今後、ダム完成から50年を超えるダムが急激に増加し、老朽化に伴う機能低下を早期に判定するためにも、shamen-netサービズに大きな期待が寄せられている。



国際航業グループ  
— 地球をずっと Solution for Our Earth —

### 3. 防災分野における計測事例

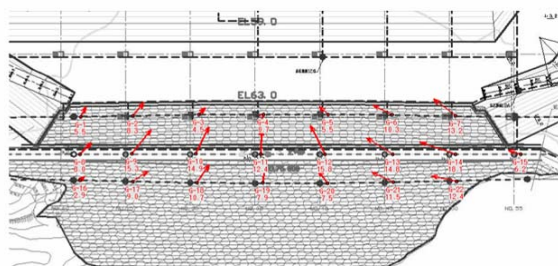


図-20 GPS計測による平面変位ベクトル図  
2006年12月29日～2008年1月3日(370日間)

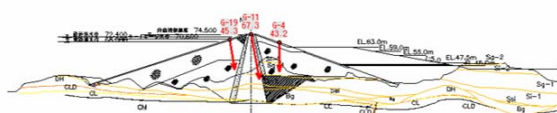


図-21 GPS計測による断面変位ベクトル図  
2006年12月29日～2008年1月3日(370日間)

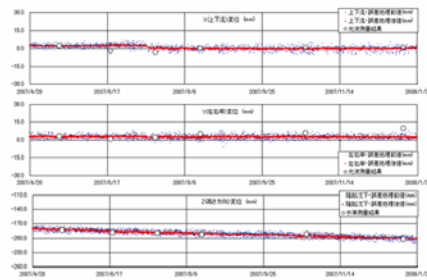


図-18 GPS計測と光波・水準測量の結果(G-4)

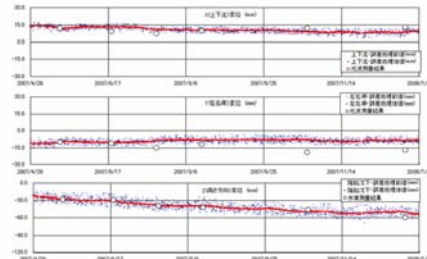


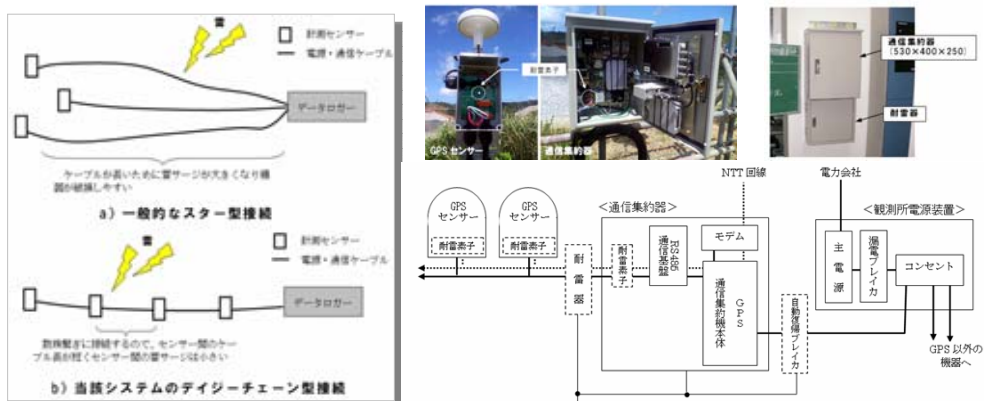
図-19 GPS計測と光波・水準測量の結果(G-11)

## 4. サービス高度化に向けた技術開発

## 4. サービス高度化に向けた技術開発

### 4.1 耐雷性の向上

**ディジーチェーン型**を採用、センサー間の雷サージを小さくし耐雷性を向上。  
また、管理事務所の直前にも耐雷器を設置し**二重の雷対策**を採用。



## 4. サービス高度化に向けた技術開発

### 4.2 積雪対策

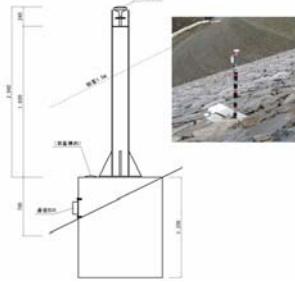
積雪地域では雪によるGPS機器の破損や計測不能が問題。積雪対策を講じた。

#### (1) 埋設型GPSセンサー



積雪が圧雪の場合で10mm程度、新雪の場合なら数10mm程度まで計測可能

#### (2) 支柱を用いる方法



金属製の鋼管支柱を設置する方法。積雪のある冬期でも計測可能。積雪深に十分注意

#### (3) 外部標的コンクリート埋設型GPS



積雪期は計測不能だが、除雪作業を行えば計測可能。上面の保護用FRP製板で積雪や除雪作業による機器破を防止

## 4. サービス高度化に向けた技術開発

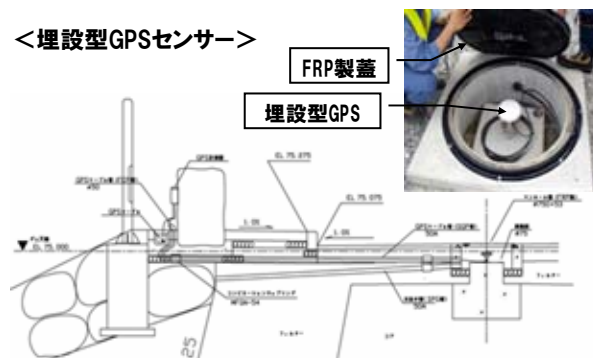
### 4.3 特殊な計測環境における設置の工夫（埋設型GPSセンサー）

供用中の多くのダムでは、ダム天端を管理用道路として利用されているため、防水機能を付加した埋設型GPSセンサーを開発し電波が透過し易いFRP製マンホール蓋に変更し、常時の自動計測を可能にした

#### <フィルダム天端の標的>



#### <埋設型GPSセンサー>



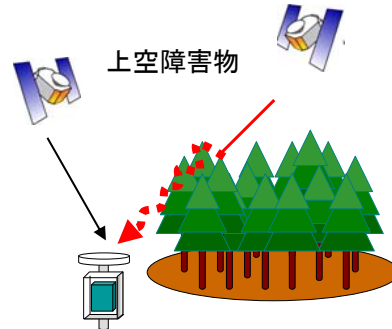
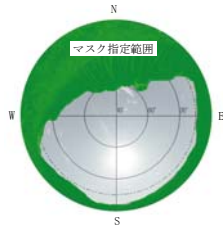


## 4. サービス高度化に向けた技術開発

### 4.4 上空視界の悪い計測環境における工夫

上空が樹木等で阻害される地すべり箇所や、都市域におけるビル等の構造物による上空視界阻害への対策として、**マスク処理による精度向上**を実現した。

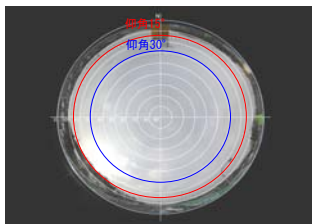
指定したマスクにかかる衛星のデータは使用しない



国際航業グループ  
— 地球をずっと Solution for Our Earth —

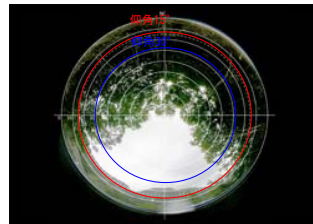
## 4. サービス高度化に向けた技術開発

### 上空視界の良い例

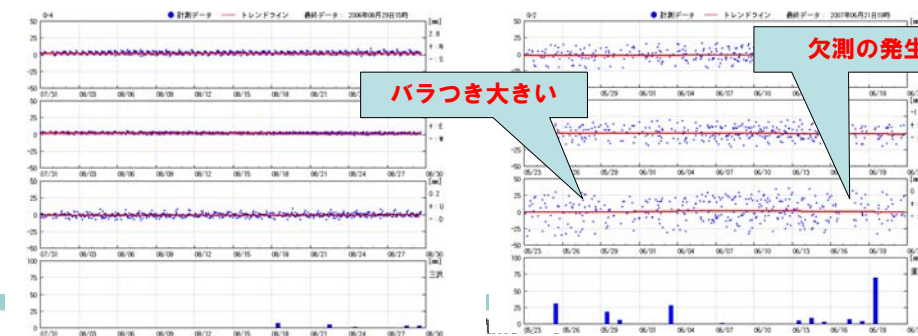


標準偏差  
 $\sigma x=2.1\text{mm}$   
 $\sigma y=1.1\text{mm}$   
 $\sigma z=3.6\text{mm}$

### 上空視界の悪い例



標準偏差  
 $\sigma x=8.2\text{mm}$   
 $\sigma y=5.5\text{mm}$   
 $\sigma z=19.2\text{mm}$



## 4. サービス高度化に向けた技術開発

### 4.5 マルチGNSSへの対応による抜本的な技術改革

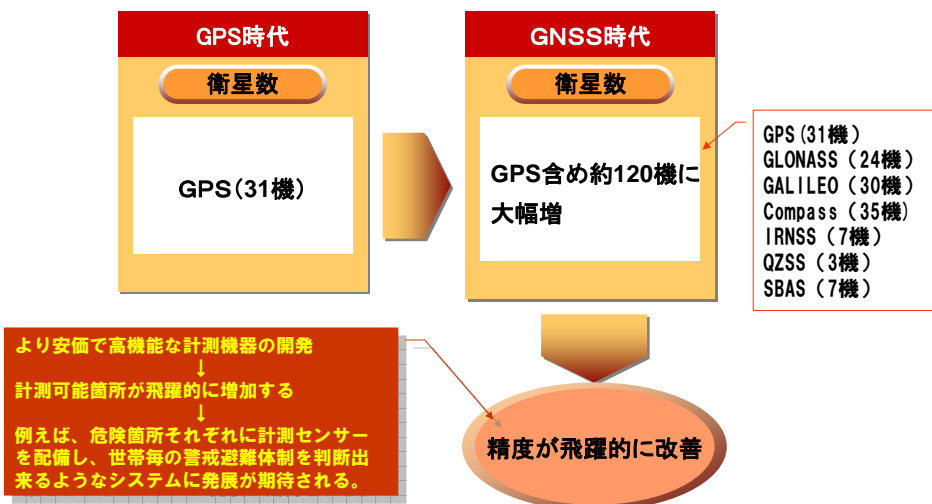
多種・多数の衛星を利用するGNSS (Global Navigation Satellite Systems) の実用化を進め、より高精度で安定した計測の実現に取り組む



国際航業グループ  
— 地球と人と Solution for Our Earth —

## 4. サービス高度化に向けた技術開発

準天頂衛星をはじめとした各種GNSS衛星の相互利用が進むと・・・



国際航業グループ  
— 地球と人と Solution for Our Earth —

## 5. 今後の展望 (モニタリングから減災へ)

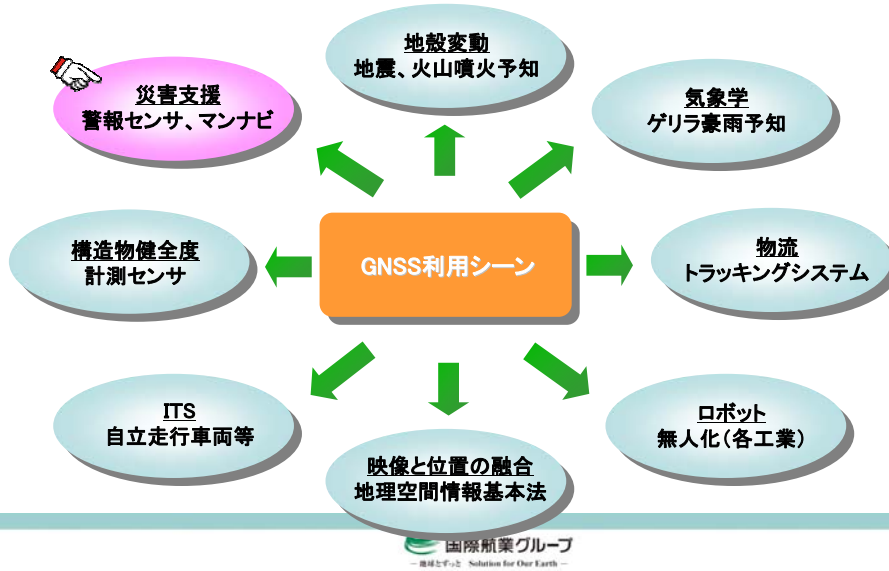
## 5. 今後の展望 (モニタリングから減災へ)

### 2010年代中頃にはユビキタス社会の実現

	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年
衛星測位技術	GPS時代 成熟期				
		GNSS時代 黎明期・成長期			
IT技術	ワイヤレスブロードバンド時代 成長期・成熟期				
	次世代IPネットワークの実現、無線技術の普及、端末技術の進化				
マクロ環境・政治	地理空間情報活用推進基本法(2008年8月施行・衛星測位と地理空間システムの利活用)				
				土砂災害防止法 改正	
その他	地上デジタル放送(双方向通信)				
	太陽光発電技術の進化、燃料電池の普及				
自社	shamen-net方式(1周波・GPS対応) 成熟期			新しいshamen-net	
	新しい防災ビジネス				

## 5. 今後の展望（モニタリングから減災へ）

次世代衛星測位システムの普及で拡大する市場 ⇒ ユビキタス社会の実現



## 5. 今後の展望（モニタリングから減災へ）

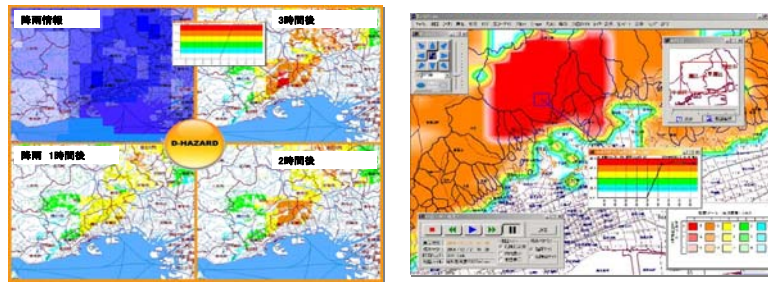
人々が暮らすあらゆる所に、GNSS受信機をはじめとしたモニタリングセンサーが！



## 5. 今後の展望（モニタリングから減災へ）

### ダイナミックハザードマップ(土砂災害バージョン) ⇒ リスク評価

降雨による土砂災害の危険度をリアルタイムに表示するシステムで、ピンポイントで危険な場所を特定することができる。システムのアルゴリズムは、地形、地質条件を降雨指標と組み合わせ、対象地域の災害発生危険度を評価するもので、GIS機能を活用して避難支援の情報提供も可能である。また、モニタリングと組み合わせることによりリスク評価も可能である。導入先は市町村の業務支援ばかりでなく、病院、学校、老人ホームの自主避難支援やホームセキュリティとしてセキュリティ会社との連携、また情報提供先としてマスメディアや携帯電話会社も考えられる。



## 5. 今後の展望（モニタリングから減災へ）

### 安否確認、緊急速報通知、BCP支援(ほっ！とマップメール) ⇒ リスク回避、業務支援

緊急速報(地震、津波、台風、注意報・警報)のメール通知に避難経路を付加した地図を配信するサービス。また家族や社員の安否確認の機能ももち、BCP支援のためのASPサービスとして提供中。防災関連の実績が豊富な当社ならではのハザードマップを活用した情報や、各地のモニタリング情報を付加することにより、方がーのときの減災に強力な武器になる。

