

- 研究開発項目 : 点検・モニタリング・診断技術の研究開発
- 研究開発テーマ : 高精度かつ高効率で人工構造物の経年変位をモニタリングする技術
- 研究責任者 : 日本電気株式会社 村田 稔
- 共同研究グループ: 株式会社大林組



研究開発の目的・内容

研究開発の目的

○現場の問題点/ニーズ

- ・技能者による5年に1度の近接目視点検実施(全国69万橋対象)
→ 優先順位付けが困難なため、適切な補修(時期/箇所)が困難

○研究開発の目的

- ・広範囲に渡る管理区域内の橋梁を一度にモニタリング
→ 要点検箇所の優先順位付け(スクリーニング)の実現
- ・橋梁以外のインフラモニタリングへの適用検討

研究開発の内容(2014-2015年度の2年間で終了)

○対象橋梁の衛星画像データを解析

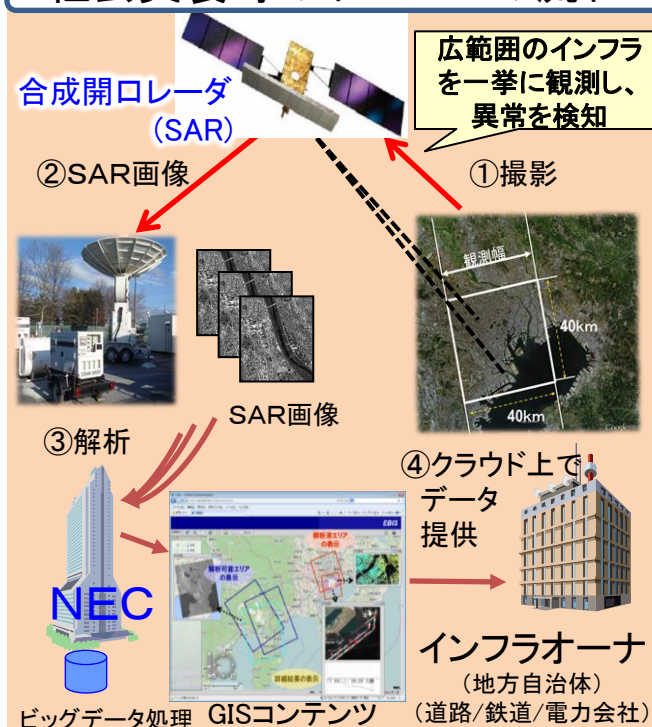
- ・橋梁上の複数の計測ポイントにおける変位割合(mm/年)を把握
- ・橋梁周りの広範囲にわたる地盤の変位傾向(沈下/隆起)を把握

○検証実験により技術の精度を確認

- ・実験場において反射体を配置し変位量を計測(誤差0.5~1mm)

高精度かつ高効率で人工構造物の経年変位を把握

社会実装時のサービスの流れ



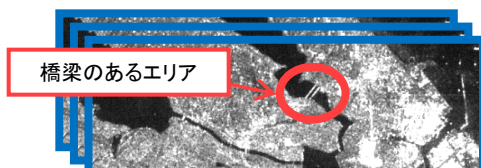
<特長>

- ・地上の人工構造物の経年変位を高精度で算出(mm/年)
- ・完全非接触、インフラ毎の維持/メンテナンス不要
- ・広域(ex: 40km x 40km)

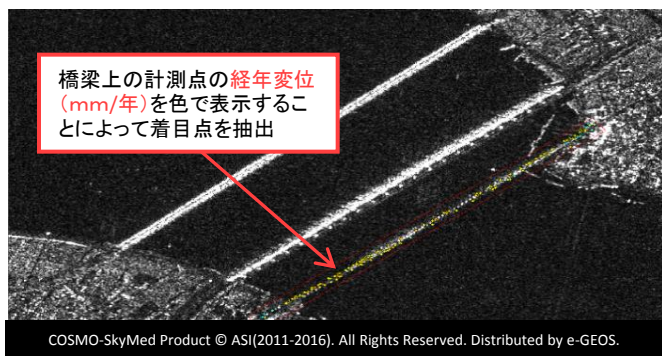
広範囲の人工構造物をSAR画像で計測

広範囲のSAR画像解析を行い、その範囲に含まれる橋梁の経年変位を一度に計測

時期の異なる複数のSAR画像を用いて解析



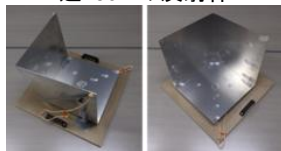
橋梁上に解析結果を重ね合わせて経年変位の大きさを色で表示



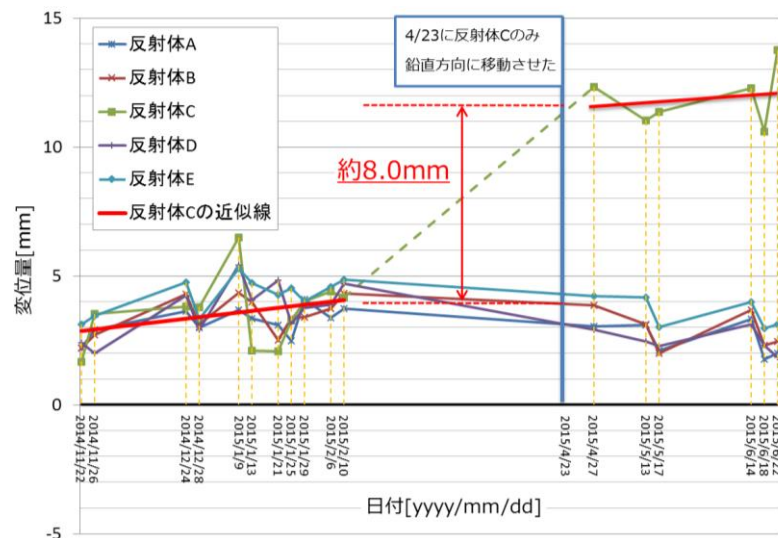
社内の実験サイトにて本手法の精度検証を実施

反射体Cのみ鉛直方向に移動させ、衛星方向に8.5mm近づけた。(注)

1辺40cmの反射体



NEC社内に設置した反射体(A~E)



解析結果は、反射体Cの移動量が約8.0mmであることを示した。

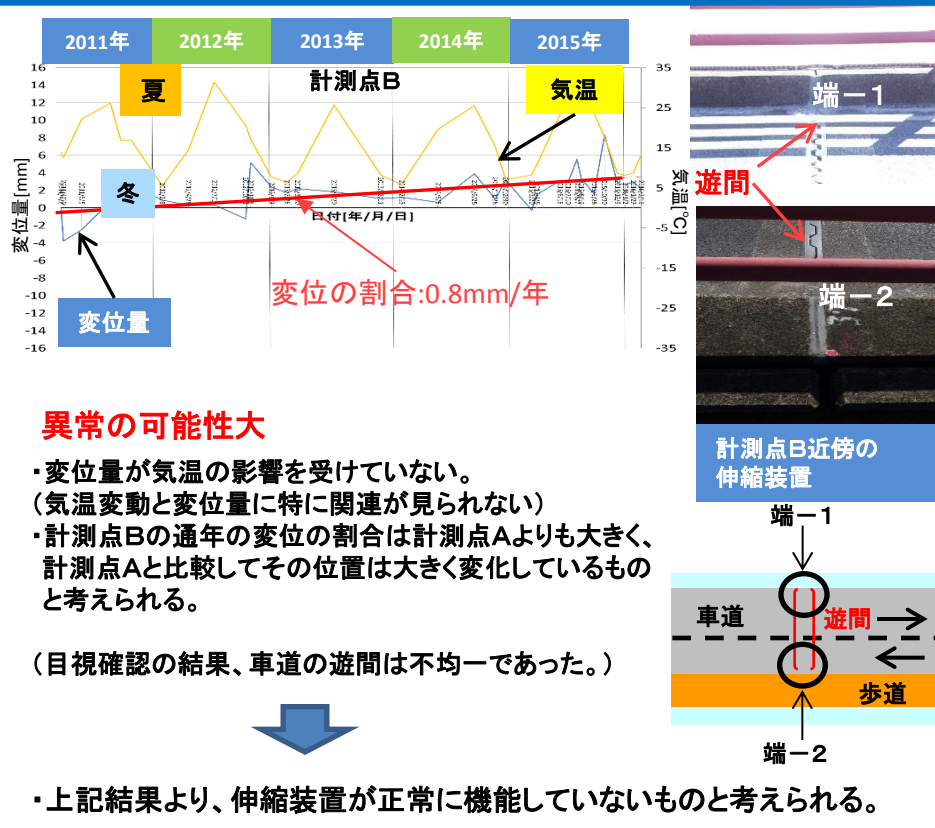
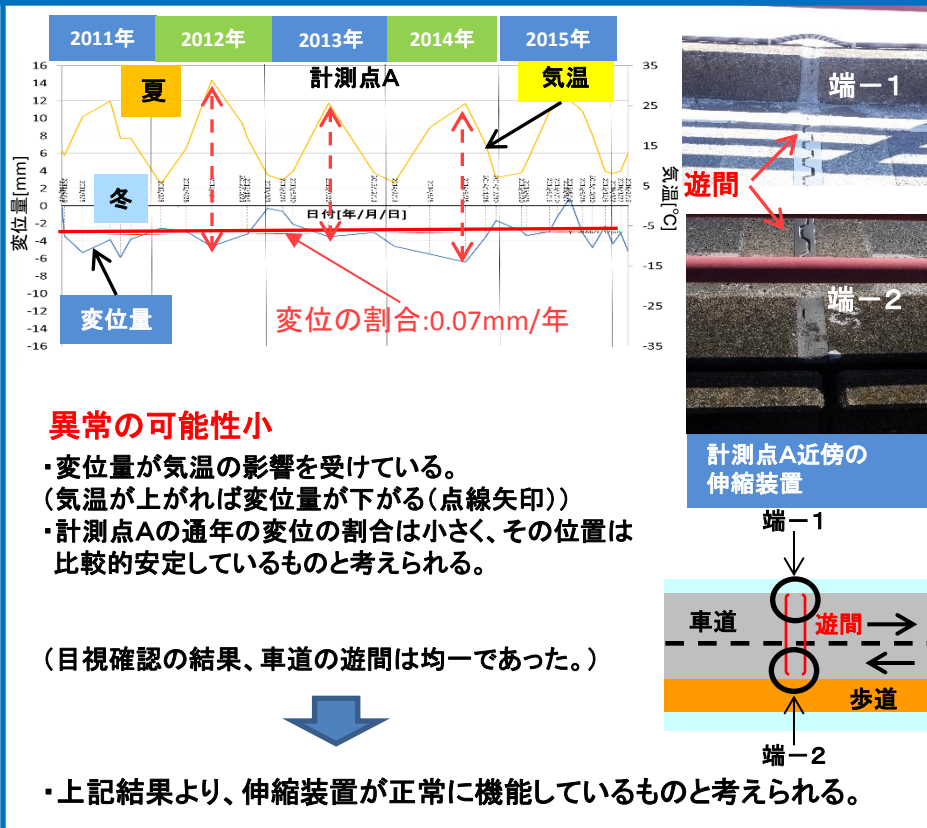
本精度検証実験によると本手法の精度は0.5~1mmと言える。

- 広範囲に分布する対象物に手を加えることなく、宇宙から一気に情報収集可能(高効率)
- 画像解析により経年変位をミリ精度で算出(高精度)
- 経年変位計測に必要な十分な精度(高信頼)

注: 実験では、反射体Cを鉛直方向に10mm移動させた。これは、衛星方向に8.5mm近づけたことに相当する。

NEC独自の技術で異常の可能性が高い箇所を検知

橋梁上のある計測点の変位と気温との関係(計測期間:2011年4月~2016年2月 データ枚数 33枚)



➤ 近接目視点検におけるスクリーニング/優先順位付け/着目点の絞り込みに資する情報の明示

■ 想定される活用場面

No	活用場面	活用方法
1	橋梁点検	スクリーニング(近接目視点検の優先順位付け) 経年変位モニタ(注目橋梁の定点監視および将来予測)
2	大規模盛土造成地モニタ	大規模盛土造成地のスクリーニング(危険箇所特定)
3	法面モニタ	高速道路等の安全確保
4	地盤沈下モニタ	トンネル工事(シールド工事)の影響等把握 ビル(マンション等)の不同沈下状況の把握 空港/港湾施設の不同沈下状況の把握 商業施設(埋立地)の沈下状況の把握 プラント/屋外タンクの不同沈下状況の把握
5	施設/ビル/民家の点検	災害時に倒壊の危険性があるものの選別→予防保全
6	施工不良の抑止	施工の健全性モニタ(くい打ち等、手抜き工事の抑止)
7	補強工事後の効果モニタ	工事後の健全性モニタ

広域のスクリーニング

1. 橋梁点検

- ・広域スクリーニング
- ・近接目視の着眼点

2. 大規模盛土造成地モニタ

- ・スクリーニング優先順位
- ・経過観察

3. 法面モニタ

- ・法面のメンテナンス
- ・経年変位計測(mm/年)

詳細調査時の着眼点の特定

4. シールド工事による地盤沈下モニタ

- ・広域地盤変動の傾向把握(面的な把握)
- ・レベル測量ポイントの絞り込み

予防保全と補修後の健全性把握

4. 空港・港湾・プラント等の不同沈下モニタ

- ・施設の不同沈下傾向把握
- ・レベル測量ポイントの絞り込み

4. 埋立地の沈下モニタ

- ・広域地盤沈下の傾向把握

手抜き工事の抑止力

5.6. 施設・ビル・民家の変位モニタ
7. 補強工事効果のモニタ

- ・注目施設の経年変位
- ・施設周辺の地盤変動傾向把握

SIP 維持管理技術のアピールシート

平成 28 年 11 月 15 日

説明会参加者の理解を助けるため、SIP ホームページに公開されている SIP 維持管理技術の情報をもとに、メンテナンスアドバイザー (MA) のコアメンバーが事前に出した意見を記載しました。これに、技術の開発者からコメント (囲み部分) を加えていただきました。

1. 研究開発の技術名称 (研究責任者)

高精度かつ高効率で人工建造物の経年変位をモニタリングする技術 (村田稔)

2. 技術の特徴

合成開口レーダ (SAR) を用いて、広範囲に渡る管理区域内の橋梁などの経年変位を一度にモニタリングする技術である。

- ① 衛星と監視対象物の距離を求め、経年的な変化を見て異常を発見することができる。
- ② 画像解析により経年変位をミリ単位で算出することができる。

【開発者からのコメント】

- ・衛星画像の蓄積がある地域では、過去に遡って、経年変化の解析が可能です。
- ・宇宙からのデータ収集なので監視対象物に手を触れることなく、実施できます。
- ・広範囲 (一例: 40 k m × 40 k m) のデータ収集が一度に可能です。
- ・解析結果は、経年変位 (mm/年: 速度) で得られます。

3. 岐阜県内での想定される活用方法

- ① 5年に1回の近接目視点検の際の着眼点や危険な橋梁の優先順位を検討することに活用できそうである。
- ② 緊急輸送道路を確保するために高盛土など地震時に弱点となりうる個所を抽出して日常的に変状の兆候がないかを監視することに活用できそうである。

【開発者からのコメント】

- ・5年に1回の近接目視点検の前のスクリーニングに有用ではないかと考えています。近接目視点検に先立ち、点検の優先順位の設定や近接目視の際の着目個所の事前把握にも役立つ可能性があります。
- ・大規模盛土造成地のスクリーニングにも適用できます。
- ・近接目視点検の間 (5年間) の変位状況を知ることができます。

4. 活用に際しての現状での問題点

- ① 従来は行われていない調査方法であるため、行政にとっては導入をコスト増として受け取られる可能性がある。
- ② 使用する衛星、データ処理の方法など、技術を標準化して使いやすくする必要がある。
- ③ 観測された変位からどういった対策が妥当であるかの判断が明確ではない。

【開発者からのコメント】

- ・ 解析結果（対象物の経年変位の状況）が、想定範囲/許容範囲内か否かの判定や対策については、別途、専門家による判断が必要です。
- ・ 点検のガイドライン、本手法による調査が取り入れられる方向で、ご協力いただければと考えています。

5. 活用に向けての課題

- ① この技術で何が可能かを橋梁の管理者だけでなく道路や堤防の管理者、さらには消防、警察など幅広い人たちに向けた勉強会を開催して現場のニーズを把握する。
- ② ニーズを集めて開発者とコンサルタント等の技術者で社会実装の可能性を議論する。
- ③ 新たな調査を追加するための投資に対して、どのようなメリットが得られるのか（ほかの調査のコストを低減できる、これまで必要だけれどできなかった調査が可能になる、等）を明確化する必要がある。

【開発者からのコメント】

- ・ 計測可能な点には、次の条件を要します。・・・<A>
 - ① 衛星からの電磁波が、計測したい点（「PS点」と呼びます）に当たること。
 - ② PS点に当たって反射した電磁波が衛星で受信されること。
 - ③ PS点の反射の性質（反射特性）が、年月が経過しても安定していること。
- ・ 解析には、衛星データが20枚程度以上、要します。・・・

6. 課題の解決策

- ① 現場ではなにが求められているのかをヒアリング調査
- ② この技術を幅広い人達に知ってもらうための勉強会の実施
- ③ 実際の橋梁でのモニタリング試行

【開発者からのコメント】

- ・ 前問<A>について：この条件を満たさない場合、反射体を計測したい個所に置くことで、人工的にPS点を作り出すことができます。
- ・ 前問について：経年変位の速度が大きな対象物や、解析結果を短時間で得るには、観測頻度を高める必要があります（衛星の機数は、将来、増加する傾向にあります。）

7. これまでに利用されている既存技術

【開発者からのコメント】

—

(上記は記入例を示したものであり、開発者のコメントで書き添えてください)

8. 本 SIP 技術の開発状況および開発完了時期

【開発状況】

- ・ 2015年3月に終了。

【開発完了時期】

- ・ 2015年3月に終了。

9. 技術の新規性（既存技術との比較）

- 既存技術にはない、全く新しい技術である。

(上記は記入例を示したものであり、開発者のコメントで書き添えてください)

10. 技術の適用範囲や精度

計測可能な点には、次の条件を要します。

- ① 衛星からの電磁波が、計測したい点（「PS点」と呼びます）に当たること。
- ② PS点に当たって反射した電磁波が衛星で受信されること。
- ③ PS点の反射の性質（反射特性）が、年月が経過しても安定していること。

(例：樹木等の植生が密な場所の計測は適していません。)

- ・ 本技術の活用場面として、橋梁点検、大規模盛土造成地のモニタ、法面のモニタ、地盤沈下のモニタ、施設/ビル/民家の点検、施工不良の抑止、補強工事後の効果のモニタ等を想定しています。
- ・ 解析には、衛星データが20枚程度以上を要します。
- ・ 精度：ミリ精度（mm/年）

(上記は記入例を示したものであり、開発者のコメントで書き添えてください)

10. これまでの実績・成果等

- 屋外での試験により精度が確認されている。

→ 社内のテストサイトでの精度評価試験を実施済みです。

- 実構造物での試験により結果を確認している。

→ SIPで実際の橋梁で結果を確認しています。

(上記は記入例を示したものであり、開発者のコメントで書き添えてください)

12. 実業務での利用時の対応

- ① 検査機器 1 式の導入コストは、どの程度となるか。(リース or レンタル)
→「検査機器の導入コスト」は、必要ありません。
- ② 利用時のコスト
→計測/解析の広さや点数などの条件にも依りますが、
イニシャルコストとして約 10 百万程度~、ランニングコストとして数百万円程度~です。
- ③ 利用者への教育
- 利用者教育あり
 - 取扱い説明書での対応
 - 専門の体制 (会社) により実施
 - その他 (→○○○○○)
- ④ 測定機器のメンテナンス体制
→「測定機器」は、必要ありません。
- ⑤ この装置以外で、利用者側で準備すべき機器等
- 特になし
 - 準備すべき機器 (→○○○○○)
- ⑥ 既存技術では不要であったが、本技術では準備すべき事項・対応など
- 特になし
 - 準備項目 (→ ○○の規制)

(上記は記入例を示したものであり、開発者のコメントで書き添えてください)

13. 開発者から特に付記したい項目など

【開発者からのコメント】

—

SIP 維持管理技術へのアドバイスシート整理結果

平成 29 年 1 月 23 日

研究開発の技術名称（研究責任者）

高精度かつ高効率で人工建造物の経年変位をモニタリングする技術（村田 稔）

岐阜大学 SIP 実装プロジェクトの説明会（2016/1/7）における参加者の立場

MA（メンテナンスアドバイザー）：自由に意見を述べ、アドバイスシートに記入する。
8 人

オブザーバー：制約はあるが、意見を述べ、アドバイスシートに記入する。
3 人

聴講者：意見を述べず、アドバイスシートにも記入しない。

合計 11 人

以下、MA の回答を（→）で、オブザーバーの回答を（⇒）で表記する。

1. 実業務への適用範囲

- 提案されている技術のみで、実業務に適用できると思う。（5 人）
- 既存技術の一部を補完する要素技術として適用できると思う。（4 人）
- 他の要素技術や既存技術との組合せによって利用の可能性は広がると思う。（2 人）
- その他（ ）

2. 提案技術の利用についての実務面からの印象

- 積極的に利用したいと思う。（4 人）
 - 変形が懸念される地形でのモニタリングでも使用可能では。
 - スクリーニングや災害時の事前事後把握など。
 - 研究者は使用方法について下記の提示をされています。
 - ① 繰り返しの定点観測で変位量と変位範囲の変化を過去から将来へ蓄積する。
 - ② 変位箇所の有無を広い範囲から抽出する：スクリーニング
 - ・5 年間、10 年間の差分をとることで変位量の大きい箇所を抽出し、インフラメンテナンスに関係する箇所に対して詳細な調査手法で精緻な調査を行う。
 - これまでに提供されたことのないデータ群になると思われる。河川災害の前後の変化など、利活用方法を検討したいから。
- 発注者からの指示であれば利用する。（5 人）
 - 人工建造物の変位モニタリングによる危険予知・変位検知システムとしての活用が期待できる。
 - 定期点検及び健全度評価の支援というよりも異常・変状の早期発見のための監視システムとの位置づけが適切と考える。
 - ⇒ミリ単位精度で比較できるということあったが、全国分の過去データはあるのか。
 - ⇒時間、緊急時の場合にどれくらいで結果が提示できるのか。
 - ⇒高効率で人工建造物の経年変位も把握できること。

→局所的ではなく、面的・マクロ的な観測に向くように思われる。

□ 使えない（使いたくない）と思う。（0人）

3. 提案技術が優れていると思った項目

既存技術に比べて、提案技術が優れていると思われる項目、機能等

→広範囲の人工構造物を安価にモニタリングできる点が素晴らしい。（2人）

→SAR 計測データの処理、解析技術に独自性がある。

→過去から評価できる。

- ・調査の起点を事案発生時より以前にすることが可能。通常の調査技術は事案が発生した以降から計測を開始するが、この手法は過去に撮影したデータがある限り、過去の撮影時点を起点とすることができる。

- ・事案が発生するまでの変化のプロセスも確認することができる。

- ・衛星データは有償で購入し、解析で結果を出せるので現場負担が無い。

→条件さえ揃えば、どこにでも利用できると思われる。ゆっくりした変位も把握できるかもしれない。

⇒宇宙から一気に情報収集が可能なこと。

⇒経年変位の精度レベルが高い点。

4. 提案技術への改良提案

岐阜県内での実装に際して、充実させて頂きたい項目、機能等

→説明の中での例は、①事故が起こった橋梁を後から分析。②変化が予期可能な地盤沈下。一方、橋梁点検の法面モニタを広域スクリーニングに用いるとすると、無数の橋梁、盛土や法面を対象とせざるを得ず、「スクリーニングのスクリーニング」が必要となってしまうのでは。

→レスポンスを早くする。

→提供できる計測処理技術のメニューと費用の提示。

→計測点で囲んだ区域（橋梁、ダム、河川堤防、危険斜面など）の変形、移動方向などを把握できるような機能の開発。

→精度の向上

- ・説明の事例では 3mメッシュ当たり 1 点の解像度です。これでは変状が発生しても取りこぼす、若しくは不鮮明な結果になります。解像度の向上がないと、使用が困難だと思います。

【開発者のコメント】現在、主として使用している衛星画像の分解能（解像度）が 3m です。衛星と対象点までの直距離の変位（mm/年など）は 3m×3m エリアの局所的な反射高度分布を加味した平均変位となります。従って、盛土の上に建てられた建造物上に対象点がある場合には、水平位置精度は 3m 程度ですが、3m 四方エリアの平均的な直距離の変位は、ミリの精度で求めることができます。

→GIS に載せるデータ

- ・高盛土の位置はデータベース化ができています。この部分だけ 5 年 10 年ピッチの差分を

求めて図として県域統合 GIS に載せたい。

→利活用しやすい索引（GIS との連動）

5. 提案技術の別な用途での利用提案

開発意図とは異なる方面での利活用ができると思われる項目等

→各種構造物，地表面，火山など幅広い対象物の長期変形モニタリング，危険予知システムとして活用できる。

⇒ミリ単位で計測できるのなら，舗装の亀裂などを観測できるのでは。

6. 提案技術と他の新技術との組み合わせの提案

実装に際して他の技術と組み合わせると，更に使いたくなると思うこと等

→モニタリング技術としては使えるが，何を見るのかが自分としてもわからない。

→データ（変位）を，施設管理者や調査研究，商品開発者に低コストで提供する仕組み。

7. 提案技術に対する技術的発展の期待度

本技術提案は，インフラ維持管理・更新・マネジメント技術として，システム化されたインフラマネジメントを構築でき，インフラの事故を未然に防ぎ，維持管理やメンテナンスの負担軽減を図ることが期待できますか。

□ 大いに期待できると思う。（6人）

→維持管理の効率化に大きな期待ができると思うが，現状のシステムでは実装困難である。維持管理の ICT 戦略として，仕組みを変えるつもりでやる必要がある。

→これまでになかったデータ群であると思うので，モニタリングに活用すれば，新たな効果や展開が期待できる。

→自治体が必要とする時間に観測できるのか。

□ 改良等を行えば期待できると思う。（4人）

→SAR 計測データ処理の高度化により，構造物，地表面などの高精度長期変形モニタリングとしての活用が期待できる。

→技術はすごいと思うがコストが心配。橋梁の上下振動（特に桁の中央部）の影響を排除する手法を聞いたかった。

□ 本日の説明だけでは，期待できないと思う。（1人）

→分析する主体が不明：自治体での解析と使用は無理では。

【開発者のコメント】解析サービス業務は，NECでの実施を考えています。

① データの入手先と費用，使用許可の有無が不明：データを入手する手続き及び経費を含めて一般の行政が実用できるのかが不明。

② 解析の委託先が不明：RESTEC，JAXA等の研究機関限定ではないか？民間企業ではパスコ，国際航業に限定ではないか。

- ③ 解析手法が専門的：研究者用に開発された衛星技術で一般的ではなく、技術者も限定的。
- ・説明者は、「電離層の見かけ上の速度上昇」+「大気の遅延」の補正と、移動体の映り込みによるエラー排除の手法を説明されました。この手法は非常に高度な内容です。村田様は優れた開発者でかつ研究者なので NEC システムを含めて手足のように操作自在に操作されています。他の技術者で同様な解析が出来るのでしょうか。
- 【開発者のコメント】**高い御評価をいただき、大変恐縮しております。現在、解析人口を増強しており、多くの技術者が解析可能となっております。
- ④ 解析結果の取扱いが難しい：衛星画像解析結果をインフラマネジメントに応用するためには「技術成果の翻訳」が必要と思われるが、その翻訳者をどのように求めるのか不明。
- ☆非常に優れた技術ですが、もっと山の裾まで下りてこないと使えないと考えます。

8. その他（自由な意見を記入してください）

→既にある技術（SAR）をいかに活用するかに着目した技術と考えればよいのか。

- ・解析のためのソフトに開発があるのか。
- ・PS 点のためのターゲットを介して精度向上させる技術か。

→NEC としては、どのようなビジネスを考えているのか。

- ・解析用プログラムを販売するのか。
- ・解析自体を行う、インフラ維持管理の受注をするのか。
- ・SAR データの中間販売をするのか。

⇒価格の問題があると思う。

→どの場所が変位したのか、判りやすく把握できるシステムでないと、構造物との位置関係、構造物周辺のモニタリング、詳細点検前のスクリーニングに利用しづらいと思う。また、分解能によって、利活用方法が変化すると思う。

【開発者のコメント】衛星搭載 SAR の分解能（解像度）は、良くなる傾向にあり、Xバンドでは、現在、主として本解析用に 3m 分解能の画像データを使用していますが、すでに 1m 分解能の SAR 衛星も運用されており、（価格が高くなりますが）その利用も可能です。また、将来、さらに分解能が向上する計画がございますので、その状況に応じて活用方法は大きく変化すると考えられます。

→測量に関して説明された数字と用語について（質疑時間後に個別に確認し説明を頂きたい内容）

【開発者のコメント】当方の専門外の用語について、詳しくご指導いただき、ありがとうございます。感謝いたしております。

① レベル測量：通常の呼び方は水準測量。

記載場所：説明書の P4 最終目標、4. 空港・港湾・プラントなどの不同沈下モニタの下段に「レベル測量ポイントの絞込み」を「水準測量ポイントの…」としたらどうでしょうか。

- ・ご承知のとおり、水準測量にはレベルを使用する直接水準測量と、それ以外の計測機器、たとえばトランシットで鉛直角と斜距離を計測して高低差を求める間接水準測量があります。
 - ・精度は使用する機器と観測方法によるため、直接水準測量が常に高精度とはいえません。
- ②当日の PPT で説明された長大橋での水平方向のズレの検出：精密水準測量で高さを確認
- ・精密水準測量は国土地理院が行う基本測量です。基本測量の目的は実用水準測量成果の維持と新しい水準測量路線の開設による実用水準測量成果の確定が主なものです。地理院がこの様な測量を行うことは非常に稀です。
 - ・NEC 様から、「2 級水準測量で確認しました」との回答をいただきましたので、「精密な水準測量で確認しました」もしくは観測精度を明確にした「2 級水準測量で確認しました」と表現してはいかがでしょうか。「2 級水準測量」は水準測量の精度を示す用語です。
- ③当日発表された海津市木曾三川公園の沈下量：5 年間で 12cm は間違いではないか。
- ・東海農政局，中部地方整備局，国土地理院中部地方測量部，岐阜県，愛知県，三重県，名古屋市，津島市等で構成される東海三県地盤沈下調査会は，一等水準測量及び 1 級水準測量を毎年繰り返し観測し，結果を毎年 8 月に公表しています。
 - ・その結果、年間沈下量が 1cm 未満の箇所が大半になっている状況が数年前から継続しています。2011-2016 のデータから 5 年間で 12cm の沈下の発表に異議をお伝えしました。
 - ・NEC 様は発表の誤りを確認し、年間 6.3mm という数字を提示されました。
- 【開発者のコメント】国定公園内の 1 点をサンプル的に取り出して，その点の経年変位の様子を 2 次元のグラフで発表時に提示させていただきました。その 1 例では，2011 年 7 月～2016 年 3 月までの平均変位速度が，-6.3mm/年となっていました。従って，5 年間では，この点の変位量は，3cm 程度ということになります。12cm/5 年とお話ししてしまったとすると（発言の記憶は残ってなくて恐縮ですが，誤解を与えてしまったことは確かです。お詫び申し上げます。）それは明らかに誤りです。
- ☆SIP の説明に影響の無い事項ですが，他の技術分野と同様に，測量の分野では使用する用語が技術そのものを意味します。適正な技術用語の使用は重要と考えますので説明者に確認をさせていただきました。
- ☆説明者の村田様はリモセンの画像写真からインテリジェンス判別方法の講義をされている専門の方です。3m メッシュの点密度のデータから設置した反射体のデータ抽出できるのは，村田様の優れた専門性によるものです。SIP が要求する汎用性の提供は難しいと感じております。
- 【開発者のコメント】本技術が社会実装され，広く我が国や世界で利活用いただけるように体制を構築中です。

以上