

# 平成29年度 先端建設技術セミナー

## 次世代社会インフラ用ロボットの現場検証(災害調査分野) および試行的導入(水中維持管理分野)について



平成29年10月11日

一般財団法人 先端建設技術センター  
企画部兼技術調査部 吉田 貴

# 本日のご説明する内容

## ①次世代社会インフラ用ロボット開発・導入の概要

- 取組の概要
- 課題と取組内容
- 5つの重点分野
- 実施フロー

## ②現場検証（災害調査分野）について

- 公募技術や応募技術
- 場面分けや評価項目・要求事項
- 現場検証
- 技術評価 etc

## ③試行的導入（水中維持管理分野）について

- 試行的導入対象や目的
- 試行的導入
- 点検の項目案と調査手法案
- 概査の内容や成果物 etc

## ④おわりに

# 次世代社会インフラ用ロボット開発・導入の概要

## ➤ 取組の概要

我が国の社会インフラを巡っては、これまで国民の安全・安心と活力を支えてきた**多くの施設で進行する老朽化**、また、年々リスクの高まる大規模地震や頻発する風水害等の**災害**、一方、社会情勢としての**人口減少・少子高齢化の進行**といった重要且つ喫緊の課題に対し、近年のICT等を活用し、**効率的・効果的な対応を可能とする技術を開発し、導入**することが求められている。

そこで、国土交通省及び経済産業省は、平成25年7月16日「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討会」を共同設置し、現場ニーズと技術シーズとの擦り合わせ等の検討を経て、同年12月25日に「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入重点分野」を策定し、今後**取り組むべき事項を提示**した。そこでは、重点分野に係るロボットについて、平成26年度、平成27年度の全国の**直轄現場等における現場検証及び評価**を通じ、開発・改良を促進し、現場検証の結果を踏まえ、**平成28年度から現場での活用を促進**していくこととしている。

次世代社会インフラ用ロボット開発・導入の推進

災害調査技術の現場検証・評価の結果（平成28年3月30日）より

# 次世代社会インフラ用ロボット開発・導入の概要

## ➤ 課題と取組内容

### 【現状と課題】

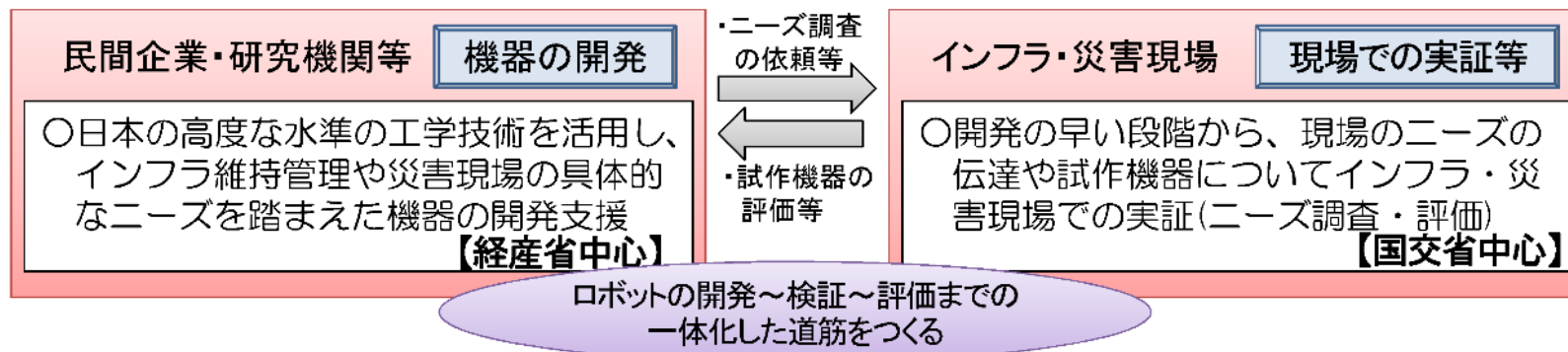
- 少子高齢化、人口減少による建設産業における**労働力不足の懸念**  
→5分野共通
- インフラの老朽化に対応した**効率的な維持管理及び更新**  
→維持管理3分野（橋梁・トンネル・水中維持管理）
- 大規模災害への**迅速な対応**  
→災害対応2分野（災害調査、災害応急復旧）

### 【取組み内容】

- 国交省と経産省が共同でロボット開発・導入が必要な「**5つの重点分野**」を策定し、これらに対応できるロボットを民間企業や大学等から公募し、**直轄現場で検証・評価**を行うことにより、**開発・導入を促進**

# 次世代社会インフラ用ロボット開発・導入の概要

## 次世代社会インフラ用ロボット開発・導入促進体制



### 次世代社会インフラ用ロボット開発・導入重点分野(平成25年12月25日 国交省・経産省公表)

国土交通省と経済産業省において、重点的に開発支援する分野を特定(平成26年度から開発支援)

#### (1)維持管理

##### ○橋梁

- ・近接目視の代替ができる装置
- ・打音検査の代替ができる装置
- ・点検者を点検箇所近づける作業台車



##### ○トンネル

- ・近接目視の代替ができる装置
- ・打音検査の代替ができる装置
- ・点検者を点検箇所近づける作業台車



##### ○河川及びダムの中筒所

- ・堆積物の状況を全体像として効率的に把握できる装置
- ・近接目視の代替ができる装置



#### (2)災害対応

##### ○災害状況調査(土砂崩落、火山災害、トンネル崩落)

- ・土砂崩落及び火山災害現場において、高精細な画像・映像や地形データ等の取得ができる装置
- ・土砂崩落及び火山災害現場において、含水比や透水性等の計測等ができる装置
- ・トンネル崩落において、引火性ガス等に係る情報の取得ができる装置
- ・トンネル崩落において、崩落状態や規模を把握するための高精細な画像・映像等の取得ができる装置



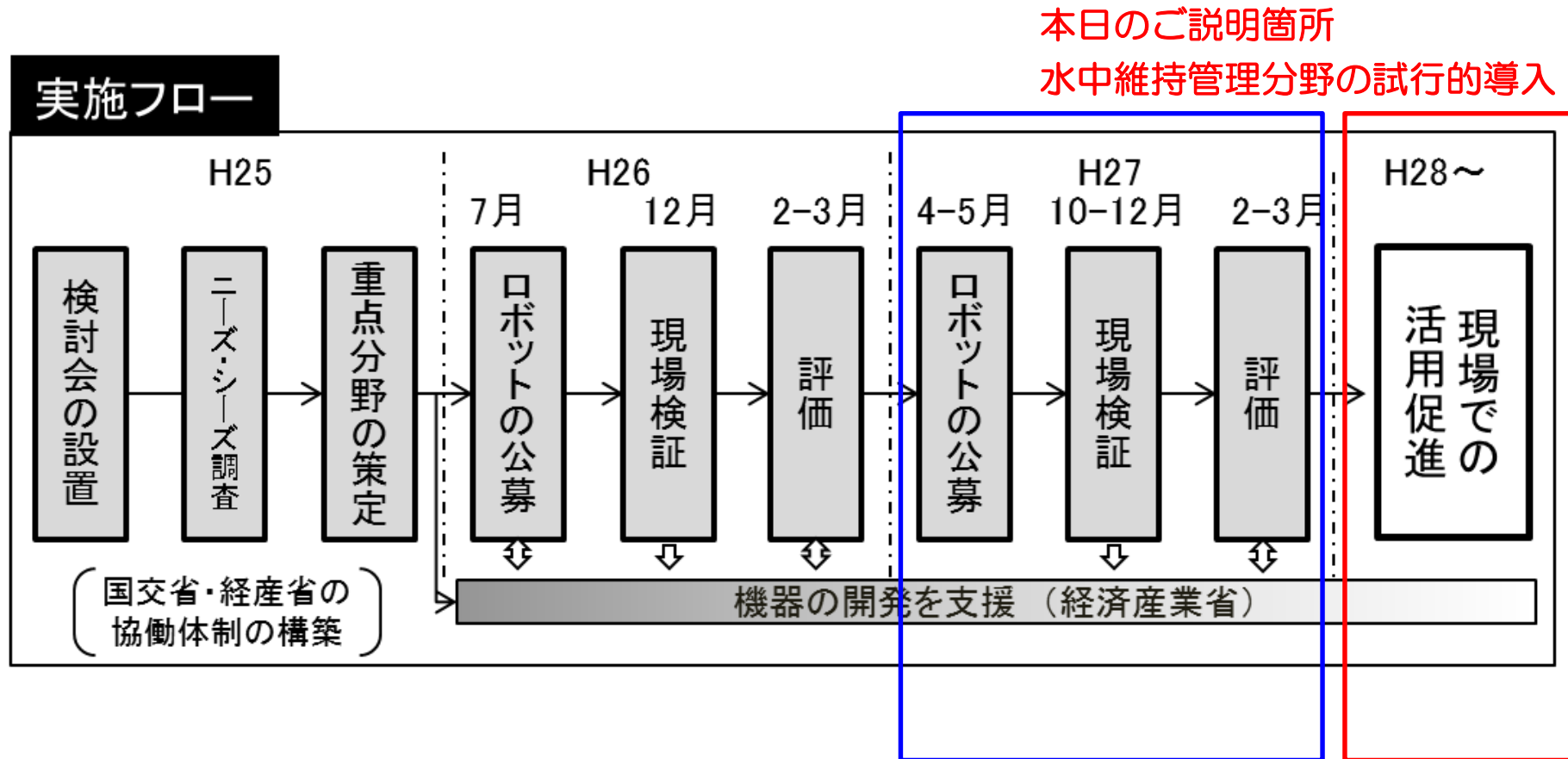
##### ○応急復旧(土砂崩落、火山災害)

- ・応急復旧ができる技術
- ・排水作業の応急対応ができる技術
- ・遠隔・自律制御にかかる情報伝達ができる技術



# 次世代社会インフラ用ロボット開発・導入の概要

## ➤ 実施フロー



本日のご説明箇所  
災害調査分野の現場検証

# 災害調査分野の現場検証

## ➤ 公募技術

[1] 土砂崩落もしくは火山災害において、人の立入りが困難若しくは人命に危険を及ぼす災害現場の「地形の変化や状況を把握するための高精細な画像・映像や地形データ等の取得」ができる技術・システム

[2] 土砂崩落もしくは火山災害において、人の立入りが困難若しくは人命に危険を及ぼす災害現場の「土砂等の状況を判断するため、例えば、土砂や火山灰等の含水比や透水性、密度・内部摩擦角・粘着力、貫入抵抗、火山灰については堆積深等の計測」ができる技術・システム

[3] トンネル崩落において、人の立入りが困難若しくは人命に危険を及ぼす災害現場の「爆発等の危険性を把握するための引火性ガス等に係る情報の取得」ができる技術・システム

[4] トンネル崩落において、人の立入りが困難若しくは人命に危険を及ぼす災害現場の「崩落状態及び規模を把握するための高精細な画像・映像等の取得」ができる技術・システム

# 災害調査分野の現場検証

## ➤ 要求項目

〔1〕土砂崩落もしくは火山災害において、人の立入りが困難若しくは人命に危険を及ぼす災害現場の「**地形の変化や状況を把握するための高精細な画像・映像や地形データ等の取得**」ができる技術・システム

### 【基本要件※1】

- ①災害状況の全容として地形の変化や状態を把握するための高精細な画像・映像や地形データ等の情報を、より迅速にカメラやビデオもしくはレーザー等で取得できる。
- ②土砂崩落等により道がない、段差・障害物がある、軟弱地盤、冠水箇所等の条件下でも、調査に必要な場所まで移動できる。ただし、そのアプローチ方法は、陸路や空路等を問わず、特段限定しない。
- ③災害被害の助長及び規模の拡大、あるいは、他の調査や作業等を行う者への二次災害の要因となるリスクが十分に小さいこと。
- ④公募技術・システムの導入によって、他の調査や作業等への大きな阻害要因とならないこと。また、機器の故障等により他の調査や作業等を阻害するおそれが十分に小さいこと。
- ⑤公募技術・システムの災害調査に係る効果に対して経済性（実用上の費用）が妥当である。

※1 上記の基本要件は、全てを満たすことを原則とする。（以降の基本要件も同様）



# 災害調査分野の現場検証

## ➤ 要求項目

[1] 土砂崩落もしくは火山災害において、人の立入りが困難若しくは人命に危険を及ぼす災害現場の「**地形の変化や状況を把握するための高精細な画像・映像や地形データ等の取得**」ができる技術・システム

【公募技術に期待する項目※2】

[土砂崩落・火山災害に共通して期待する項目]

- ⑥取得した画像・映像等の位置・向きを地図上に視覚的にわかりやすく表示できる。
- ⑦被災前と被災後の現地状況を迅速に比較し、変化部分を抽出できる。
- ⑧長距離で画像・映像等を即時に伝送できる。
- ⑨狭隘部で画像・映像等を即時に伝送できる。
- ⑩レーザー等により水平距離・斜距離・高さ等の計測ができる。
- ⑪調査箇所まで自動航行できる。
- ⑫拡大崩壊を推定する。
- ⑬現地で長時間の調査を可能とする（電源確保、供給、燃料供給等）。
- ⑭風雨等の悪天候下でも機能を発揮できる。
- ⑮搬入、設置及び撤去がより容易にできる。
- ⑯今回の検証現場以外でも、より多くの現場において活躍ができる。（汎用性）

[土砂崩落に期待する項目]

- ⑰土砂崩落により発生した河道閉塞の位置・形状（比高、勾配等）を計測できる。  
・・・以下省略

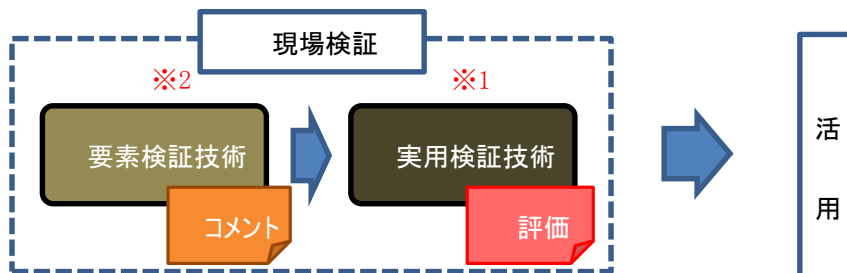
# 災害調査分野の現場検証

## ➤ 応募数他

応募数：19技術 17者（内、2技術の応募が2者）  
現場検証数

- 実用検証技術（※1）：12技術 11者
- 要素検証技術（※2）：3技術 3者
- 辞退：4技術 4者
- 選外：0技術 0者

### 『現場検証』にかかる技術の分類



※1 現段階で実現現場での利用可能性があると判断される技術であり、実際の使用を想定した現場検証を実施した技術。

※2 現時点では技術・システムの一部が開発段階にあり、本来の技術・システムとしてではなく、構成する一部の要素技術を用いたデータ収集や各要素の稼働状況などの確認を目的として現場検証を実施した技術等。

# 災害調査分野の現場検証

## ➤ 応募技術一覧

No.	技術名称	応募者	共同開発者	備考
1	高密度・高精度UAVレーザ計測システム	中日本航空(株)	(一財) 砂防地すべり技術センター	無人航空機
2	自律飛行型無人小型機(ドローン)による災害現状調査	三信建材工業(株)	(株)自律制御システム研究所	無人航空機
3/8	災害調査用地上/空中複合型ロボットシステム	(株)日立製作所	(株)エンルート 八千代エンジニアリング(株) 産業技術総合研究所	クローラ車両 +無人航空機
4	SPIDERを用いた高精度地形解析による災害調査技術	ルーチェサーチ(株)	日本工営(株)	無人航空機
5	小型無人飛行装置による地形データ取得技術	(株)アスコ		無人航空機
6	遠隔搭乗操作によるマルチクローラ型無人調査ロボット	(株)大林組	(株)移動ロボット研究所 慶應義塾大学 大学院メディアデザイン研究科	クローラロボット
7	火山災害予測用リアルタイムデータベースを実現するセンシング技術	東北大学	国際航業(株) (株)エンルート	無人航空機
9	坑内中継・モニタリングシステム	西尾レントオール(株)		重機
10	受動適応クローラロボット「Scott」による災害調査システム	愛知工業大学	エヌ・ティー・シー(株) 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株)、 サンリツオートメーション(株) (株)エーアイシステムサービス	クローラロボット
11	小型遠隔操作災害対応移動装置の研究開発	(株)移動ロボット研究所	理研計器(株)	クローラロボット
12	マルチダクトファンコプタ型調査ドローン	国立大学法人 徳島大学	(株)エンルート サンリツオートメーション(株)	無人航空機
13	火山災害予測用リアルタイムデータベースを実現するセンシング技術	(株)大林組	(株)移動ロボット研究所 慶應義塾大学 大学院メディアデザイン研究科	クローラロボット
14	土砂崩落・火山状況監視ロボットの開発	株式会社パスコ	アルウェットテクノロジー株式会社	—
15	複合センサ搭載ワーム型多関節ロボットの研究開発	株式会社 タウ技研	東京工科大学 神奈川県産業技術センター	ワーム型多関節 ロボット+車両

# 災害調査分野の現場検証

## ➤ 応募技術（抜粋） 土砂災害地形調査

### SPIDERを用いた高精度地形解析による災害調査技術

#### LIDAR計測による次世代地形計測システム

応募者： ルーチェサーチ株式会社  
共同開発者： 日本工営株式会社

#### [概要]

GPS制御された高性能無人ヘリロボットに、デジタルカメラやレーザ・スキャナを搭載し、土砂災害並びに火山災害現場を対象とした撮影を行い、災害の全容、詳細な変状、斜面の経時的变化を把握する。カメラやレーザ・スキャナ以外にも様々な計測機器を搭載できるため、総合的なモニタリングが可能。

また、長距離リアルタイム画像伝送装置を搭載しているため、地上でパソコン画面を確認しながら、ピンポイントの撮影や計測が可能である。

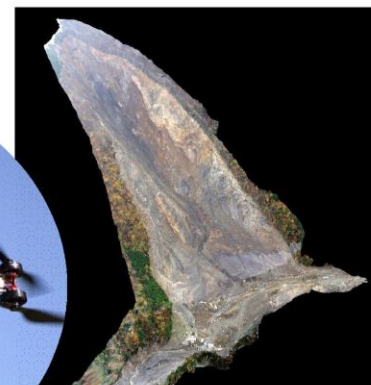
#### [特徴]

- 1秒間に50万発の高速スキャンとオンライン波形処理を行うことにより、**樹木下の地盤面を高精度・高密度に取得**する。
- 最大500mの測定距離により、直下だけではなく、広範囲のデータ取得がより確実に行える。
- 取得した写真・レーザプロファイルより三次元点群データを作成する。この点群データを利用し、**断面や等高線の作成、土砂量の算出、平面図化が可能**である。

#### [前回からの改良点]

- 航空レーザを搭載することで、写真測量では計測できない**樹木下の地盤面**の計測が可能。

#### [写真・イメージ]



三次元点群データ ~ 2014年 赤谷

フライト時間	15分
アイセーフクラス	レーザークラス1
最大測定距離	550 m
最短距離	3m
精度/ 確度	10mm / 5mm
有効測定レート	50万測定/秒まで
視野角(FOV)	330°

問い合わせ先： ルーチェサーチ株式会社

Tel: 082-209-0230

Mail: info@luce-s.jp

URL: <http://www.luce-s.net>

# 災害調査分野の現場検証

## ➤ 応募技術（抜粋） 土砂災害地質調査

### 遠隔搭乗操作によるマルチクローラ型無人調査ロボット

～崩落地盤の地盤性状を安全・迅速に収集～

#### 【概要】

崩落土砂等の調査が遠隔操作によって直ちに行える「無人調査ロボット」を開発する。これまで得られなかった崩落地盤の地盤性状を早期に取得することで、二次災害リスクの低減、応急復旧工の精度向上、工期短縮、コスト削減を目指す。

#### 【特徴】

- 遠隔貫入試験により危険箇所に立ち入ることなく地盤性状・地下水位・滑り面深さを調査可能
- 調査データはドローン等の3D地形データと連携し、復旧工の設計に利用可能
- 軽量な車体とマルチクローラ方式の採用により、遠隔操作重機では登坂困難な勾配、段差、軟弱地盤が走破可能
- テレイグジスタンス技術による両眼視差及び運動視差で臨場感ある画像及び周辺音観察を行い、落石・湧水・亀裂・地盤構成材料を観察可能
- 俯瞰カメラ設置による有人作業リスクを排除し、速やかに調査が開始可能
- 無線中継アンテナによる通信障害の回避・長距離通信が可能

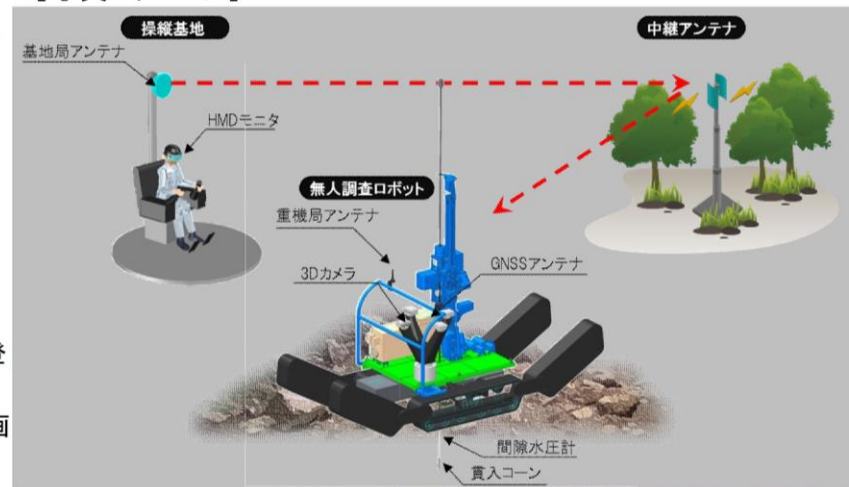
#### 【前回からの改良点】 ※前回は要素試験のため全て新規製作

- ロボットヘッド画質改善・HMD内情報表示・手元確認機能付加
- 2D全方位カメラ・貫入点局所カメラ・貫入集音マイク付加
- 貫入装置の起倒機構追加（走行時の障害物回避）・遠隔操作化
- スウェーデン式サウンディングロッドに間隙水圧計付加
- 中継アンテナ自動天頂・伸縮・追跡機能付加

応募者：株式会社大林組

共同開発者：慶應義塾大学大学院・株式会社移動ロボット研究所

#### 【写真・イメージ】



問い合わせ先：株式会社大林組機械部技術開発課 栗生暢雄

Tel: 03-5769-1069

Mail: kuriu.nobuo@obayashi.co.jp

# 災害調査分野の現場検証

## ➤ 応募技術（抜粋） 火山災害調査

### 火山災害予測用リアルタイムデータベースを実現するセンシング技術

～ 地形データの収集技術の現場検証

応募者：東北大学 未来科学技術共同研究センター  
共同開発者：国際航業株式会社・株式会社 エンルート

#### [概要]

活動中の火山における立入制限区域内のデータ収集は、土石流予測を行う上で非常に重要である。そこで、本技術は、複数台マルチロータ機を用いたa)地形データの収集技術、b)遠隔土砂サンプリング技術、c)遠隔含水率・透水性の計測技術、といったセンシング技術を開発し、d)火山災害予測用リアルタイムデータベースシステムの実現を目指している。

#### [特徴]

- 高精細な現場画像を、GPSを搭載した複数台の無人マルチロータ機により、自動航行で**迅速に取得**。
- ステレオマッチング手法により、画像データから**三次元地形データ**を生成でき、**水平距離・斜距離・高さ計測**が可能。
- 取得したデータは、**リアルタイムデータベースシステムに集約**され、**地図上に視覚的に分かりやすく表示**。

#### [前回からの改良点]

- マルチロータ機の飛行可能距離が増加
- 観測用長距離飛行タイプの雨天対応化
- 複数台マルチロータ機の時間同期飛行の実現
- 土石流氾濫シミュレーションシステムの試作

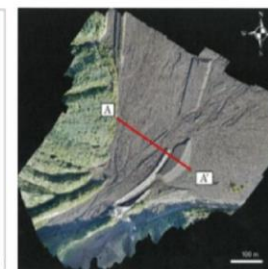
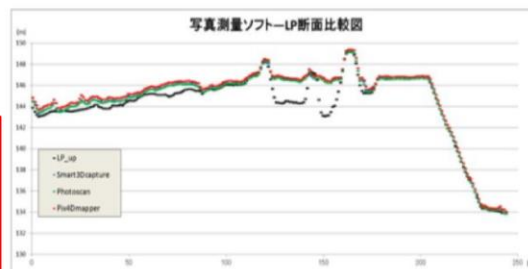
#### [写真・イメージ]



マルチロータ機（複数台利用予定）



2014年に取得した三次元地形図



三次元地形図の精度検証（航空レーザ測量と写真測量の比較）

問い合わせ先：東北大学 未来科学技術共同研究センター 永谷 圭司 Tel: 022-795-4317 Mail: keiji@ieee.org

# 災害調査分野の現場検証

## ➤ 災害調査における場面分け（土砂災害）

- 災害発生後の対応を**経時的に「フェーズ」という**場面で整理。
- 各フェーズにおける**調査目的やニーズ等**を整理。
- 直轄現場にて**各フェーズに応じた現場条件**で検証を実施。
- フェーズ1は、広域調査であるため、**対象外**とした。

フェーズ	フェーズ1	フェーズ2	フェーズ3	フェーズ4
時期	災害発生 <b>初日</b>	災害発生後 <b>1日～3日</b>	災害発生後 <b>1週間程度</b>	対策工開始後適宜 再被災予測前
場面	<b>災害発生場所</b> の把握	<b>被災状況</b> の把握	<b>対策工等の検討</b> のための地形調査	動態観測（維持管理） <b>出来形・出来高計測</b> 再被災後の準備
目的	<b>広範囲</b> にわたる被災箇所の「把握」と「特定」	被災箇所の把握と特定後の <b>各被災地</b> の「被災状況」の確認	各被災地の初動対応後、 <b>本格的な対策工等</b> を検討するための「地形調査」を実施	本格的な対策時における安全確保のための「動態観測」、 <b>定期的な「出来形・出来高計測」</b> 、再被災に備えた「準備調査」
ユーザ	施設管理者、地方自治体、指定行政機関等	施設管理者、地方自治体、指定行政機関等 <b>（防災系担当者）</b>	施設管理者、地方自治体、指定行政機関等 <b>（調査設計担当者）</b> 設計者（建設コンサルタント）等	施工管理者、地方自治体等 <b>（工務・工事担当者）</b> 施工者（建設会社）等
ニーズ	より迅速に調査開始が可能 安全な場所から調査が可能 <b>広範囲な調査が可能</b> <b>被災箇所の把握が可能</b> 調査開始から成果提出まで迅速	より迅速に調査開始が可能 安全な場所から調査が可能 <b>（フェーズ1より危険度は下がる）</b> <b>初動対応レベルの調査が可能</b> 調査開始から成果提出まで迅速	より迅速に調査開始が可能 安全な場所から調査が可能 <b>（フェーズ2より危険度は下がる）</b> <b>概略設計レベルの調査が可能</b> 調査開始から成果提出まで迅速	より迅速に調査開始が可能 安全な場所から調査が可能 <b>（フェーズ3より危険度は下がる）</b> <b>詳細設計レベルの調査が可能</b> 調査開始から成果提出が迅速 <b>調査費用が安価であること</b>
成果物	静止画・動画 （被災箇所の把握特定ができること）	静止画・動画 （各被災地の被災状況がわかること）	静止画・動画 地形データ（三次元地形図等含む）	静止画・動画 地形データ（三次元地形図等含む）
条件	<b>広域的かつ迅速</b> に被災箇所の把握が不可欠	被災地へ直接の接近はできないが、安全なエリアの把握はできている。また、安全なエリアから被災地を直接視認できる場合と <b>できない場合</b> がある。	被災地へ直接の接近はできないが、安全なエリアの把握はできている、 <b>フェーズ2より近傍まで接近可能</b> 。初動対応により被災地の <b>直接視認は可能</b> となっている。	被災地へ直接の接近はできないが、安全なエリアの把握はできている、 <b>フェーズ3より近傍まで接近可能</b> 。被災地の <b>直接視認も可能</b> 。
現状	ヘリコプタによる広域的な調査	【被災地の直接視認可能】車両および徒歩にて接近し、安全なエリアから被災地の調査を実施 【被災地の直接視認不可能】ヘリコプタによる狭域的な調査	航空または地上からのLP測量や調査	地上からのLP、TS測量や調査

# 災害調査分野の現場検証

## ➤ フェーズに留意した現場設定や現場検証を実施するうえでのポイント

- 「フェーズによって」導入時期が異なる（迅速性も含む）。
- 「以後：フェーズ割愛」場面（用途）が異なる。
- 目的が異なる。  
どこで何が起きたのか→どんな状態なのか→どんな対策をするのか  
→対策中の施工管理や再被災のための準備
- ユーザが異なる（災害すべてに当てはまるわけではないが）。  
→管理者等全般→防災系→調査・設計系→工務・工事系
- 調査範囲が異なる。  
→より広域（対象外）→狭域
- 危険度が異なる（経時的に危険度は下がる傾向）。
- 求めるレベルが異なる。  
→把握→初動レベル→概略設計レベル→詳細設計レベル
- 成果物が異なる（提出までの時間も含む）。  
箇所把握、特定→状況把握→設計に供するもの→施工管理に供するもの
- 調査距離や現場条件が異なる。  
→より広域→長距離、直接視認不可→短距離、直接視認可



現場検証後の評価の内容・基準・ポイントとなる



# 災害調査分野の現場検証

## 具体的な評価項目や要求事項

### フェーズ2の要求事項

A	運搬性	現地への運搬方法（航空機、鉄道、普通自動車、貨物自動車、トレーラー）に係る制約が少なく、要請を受けてから <b>1日以内に現地に到着</b> できる。
B	現場適用性	搬入完了から <b>1時間以内に調査を開始</b> し、土砂崩落災害現場の対応力（気象条件、地形条件、管理点の制約等）が高い。また、指定した箇所への <b>臨機応変な調査</b> が可能である。
C	迅速性	基地において <b>即時に状況が把握</b> でき、取得したデータを <b>半日で処理</b> し、 <b>報告が可能</b> である。
D	取得情報の量・質	被災地全体（崩落法面、崩落土砂、湛水池）の状況、崩落土砂や崩落法面の状況（土質、安定状況、岩塊の大きさ等）、湧水の有無、河道閉塞の天端と湛水位の差（越流までの高さ）、湛水面積と水位、河道閉塞までの進入路の有無を把握できる。
E	移動性	長距離・長時間の調査が可能である。
F	経済性	航空機による <b>空中写真測量よりも安価</b> である。
G	安全性	操作無線等の通信が途絶した場合においても安全である。

### フェーズ4の要求事項

A	運搬性	現地への運搬方法（航空機、鉄道、普通自動車、貨物自動車、トレーラー）に係る制約が少なく、要請を受けてから <b>1週間以内に現地に到着</b> できる。
B	現場適用性	搬入完了から <b>1日以内に測量を開始</b> し、土砂崩落災害現場の対応力（気象条件、地形条件、管理点の制約等）が高い。
C	迅速性	取得したデータを <b>2日で処理</b> し、 <b>報告が可能</b> である。
D	取得情報の量・質	<b>対策工周辺の状況（法面、水位等）把握・監視や対策工の施工状況の把握</b> ができる詳細な地形データ（航空LP測量と同等な精度）が取得できる。
E	移動性	長距離・長時間の調査が可能である。
F	経済性	<b>地上LP測量よりも安価</b> である。
G	安全性	操作無線等の通信が途絶した場合においても安全である。

#### 【ポイント】

- ・評価項目（7つ）は、フェーズが異なっても同様。
- ・要求事項は、フェーズで異なる。

# 災害調査分野の現場検証

## ➤ 現場検証場所

名称：赤谷地区

場所：奈良県五條市大塔町地内

管理：近畿地方整備局

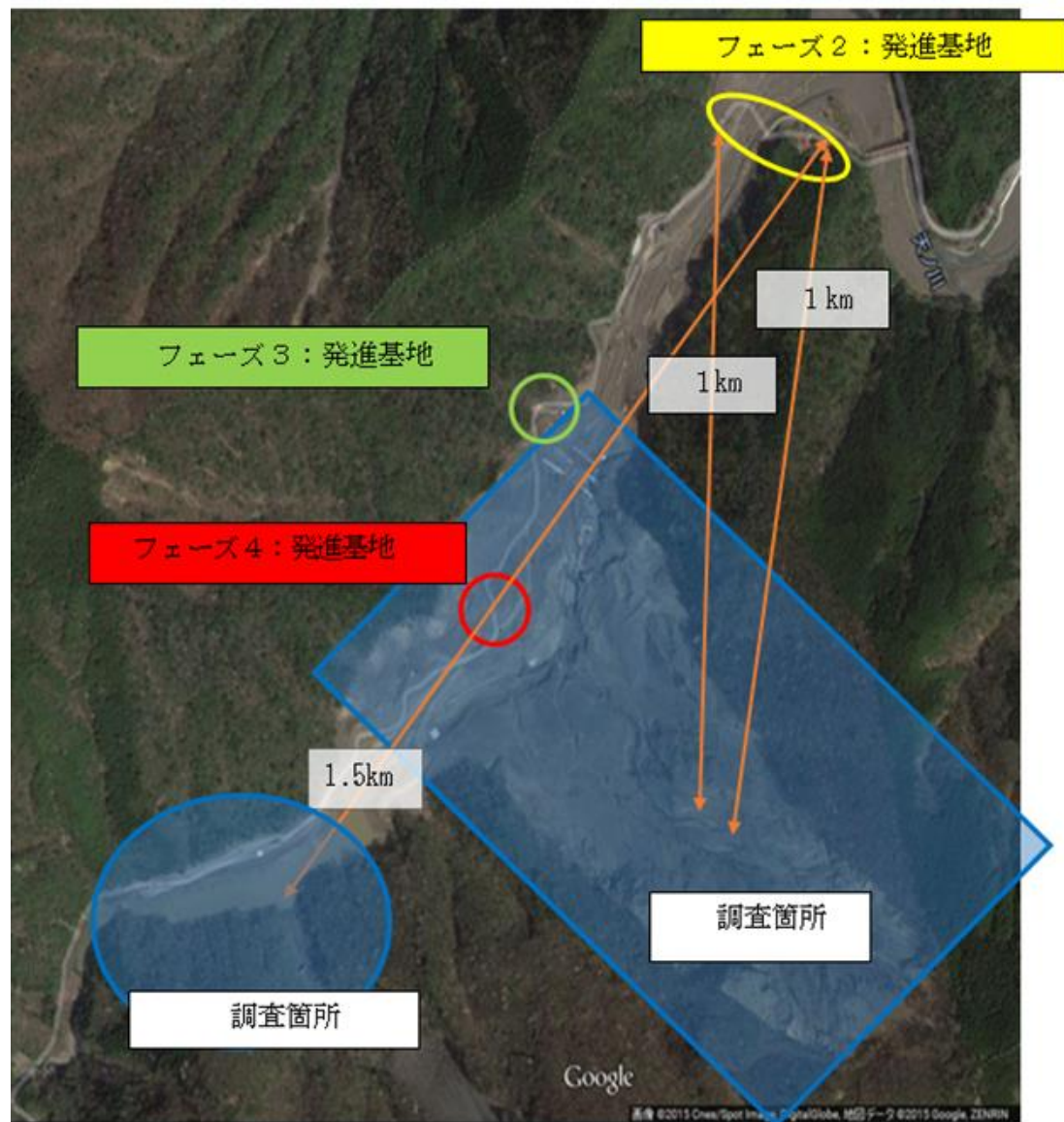
紀伊山地砂防事務所

対象技術：土砂崩落災害

災害状況等：

平成23年8月末に発生した台風12号による大雨により、紀伊半島の各所で土砂崩壊が発生した。赤谷地区では、長さ1,000m×幅600mの深層崩壊が発生し、上流部では、河道閉塞が発生した。

現在、砂防堰堤構築など災害対応の工事が施工されているが、上流部は河道閉塞が残り、毎年、降雨による土砂崩壊が発生している状況である。



# 災害調査分野の現場検証

## ➤ 基本要件の判定（達成度）

### 【基本要件】

- ①災害状況の全容として地形の変化や状態を把握するための高精細な画像・映像や地形データ等の情報を、より迅速にカメラやビデオもしくはレーザー等で取得できる。
- ②土砂崩落等により道がない、段差・障害物がある、軟弱地盤、冠水箇所等の条件下でも、調査に必要な場所まで移動できる。ただし、そのアプローチ方法は、陸路や空路等を問わず、特段限定しない。
- ③災害被害の助長及び規模の拡大、あるいは、他の調査や作業等を行う者への二次災害の要因となるリスクが十分に小さいこと。
- ④公募技術・システムの導入によって、他の調査や作業等への大きな阻害要因とならないこと。また、機器の故障等により他の調査や作業等を阻害するおそれが十分に小さいこと。
- ⑤公募技術・システムの災害調査に係る効果に対して経済性（実用上の費用）が妥当である。

### 基本要件判定と評価項目の関係

評価項目		運搬性	現場適用性	迅速性	取得情報の量・質	移動性	経済性	安全性
基本要件	①	—	●	—	●	—	—	—
	②	●	●	●	●	●	—	—
	③	—	—	—	—	—	—	●
	④	—	—	—	—	—	—	●
	⑤	—	—	—	—	—	●	—

- 基本要件について技術特性の各評価項目から要求事項の満足度を以下のように判定した。

○：要件を満たす △：要件を満たすが課題が残る ×：不可

なお、期待する項目については、各フェーズの評価項目（7項目）の具体的な要求事項に含めて判定

# 災害調査分野の現場検証

## ➤ 活用に向けた技術の位置付け（総合評価）

### 【活用の推薦の判断】

#### ①活用を推薦する

今回の検証において、**公募要件の要求事項を満足し、活用によって求める成果が取得できることが確認された技術。**

（基本要件が全て「○」の技術）

#### ②課題が解決されれば活用を推薦する

今回の検証で、課題が明確となり、その**課題が解決されれば要求事項を満足し、活用によって求める成果が取得できることが確認された技術。**

（基本要件に「×」はないが「△」がある技術）

#### ③活用に向け今後の技術開発を期待する

今回の検証で、技術の状況が**基本要件を満足するに至らず、活用に向け技術開発を期待する技術。**

（基本要件に「×」がある技術）

# 災害調査分野の現場検証

## ➤ 活用に向けた技術の位置付け（総合評価）

### 【技術の有用度】

①「活用を推薦する」と評価した技術にはその有用度に応じて、「★★★★」「★★」「★」を付与した。

★の数は、評価項目の評価項目（運搬性、現場適用性、迅速性、取得情報の量・質、移動性または保守性、経済性・安全性）を総合的に判断し、技術の有用度の高いものから「★★★★」「★★」「★」とした。

★★★★：事務局が設定した要求事項に対して、非常に高い満足度を示し、活用により非常に高い効果を得られる技術

★★：事務局が設定した要求事項に対して、高い満足度を示し、活用により高い効果を得られる技術

★：事務局が設定した要求事項を満足し、活用により効果を得られる技術

②「課題が解決されれば活用を推薦できる」と評価した技術には、その有用度に応じて、「（★★★★）」「（★★）」「（★）」「－」を付与した。

今回の検証で明確となった課題が解決されれば、（ ）内の★の数で示した有用度が発揮されることが期待できる技術である。ただし、「－」は現時点で有用度が低いと判断される技術とする。

③「活用に向け今後の技術開発を期待する」と評価した技術には、「－」を付与する。

# 災害調査分野の現場検証

## 技術特性の評価

### 【各評価項目の評価】

各評価項目の評価は、下記のとおり。

- 比較対象は、**従来技術または事務局で定めたシナリオ**とし、各項目での比較対象に対する**優位性の有無**について評価。
- 評価は、**委員の評価を考慮**し、事務局が実施。
- 評価にあたっては、各場面による評価項目の**重要度（重み）※**を考慮。  
**※フェーズによって、評価項目の重要度を変えている！（ポイント！）**  
**（例）現場適用性：フェーズ2のほうがフェーズ4より比重が高い**
- 評価の基準と結果は下記のとおり。  
◎：優れている    ○：比較対象と同等である  
△：劣っている    ×：著しく劣っている

### 評価項目と対象

評価項目	土砂崩落災害	火山災害	トンネル災害
運搬性	●	●	●
現場適用性	●	●	●
迅速性	●	●	●
取得情報の質・量	●	●	●
移動性	●	●	—
保守性	—	—	●
経済性	●	●	—
安全性	●	●	●

# 災害調査分野の現場検証

## 現場検証の評価結果

## 土砂災害対応の推薦技術：4社4技術

○技術名称	高密度・高精度UAVレーザ計測システム		
●評価結果			
フェーズ2	活用を推薦する	★★	
フェーズ3	活用を推薦する	★★★	
上記の適用範囲	フェーズ2:無人航空機を(ドローン)を用いた可視化画像による被災状況の把握。 フェーズ3:無人航空機を(ドローン)を用いた航空レーザ測量・可視化画像を用いた被災地の状況把握。		
留意事項	フェーズ2:カメラやビデオを搭載しておらず、静止画・動画によるリアルタイムの状況把握は不可。		
期待される改良・開発事項(課題)	フェーズ2:無人航空機(ドローン)に搭載したカメラやビデオにより取得した静止画・動画と併用して、より迅速かつ詳細に被災状況を把握できること。		
【基本要件】			
基本要件		判定	判定の根拠(技術特性)
基本要件①	被害状況の全容として地形の変化や状態を把握するための高精細な静止画・動画や地形データ等の情報を、より迅速にカメラやビデオもしくはレーザー等で取得できる。	○	B・D
基本要件②	土砂崩落等により道がない、段差・障害物がある、軟弱地盤、冠水面所等の条件下でも、調査に必要な場所まで移動できる。ただし、そのアプローチ方法は、陸路や空路等を問わず、特段限定しない。	○	A・B・C・D
基本要件③	災害被害の助長及び規模の拡大、あるいは、他の調査や作業を行う者への二次災害の要因となるリスクが十分に小さいこと。	○	F
基本要件④	公募技術・システムの導入によって、他の調査や作業等への大きな障害要因とならないこと。また、機器の故障等により他の調査や作業等を阻害するおそれが十分に小さいこと。	○	F
基本要件⑤	公募技術・システムの災害調査に係る効果に対して経済性(実用上の費用)が妥当である。	○	経済性(自己申告による)
○:要件を満たす △:要件を満たすが、課題が残る ×:不可			
【技術特性】			
【基本要件】及び【公募技術に期待する項目】について、現場検証を通して、下記の評価項目により示す。			
フェーズ2 比較対象技術:航空機による空中写真測量			
評価項目	判定	コメント	
A 運搬性	◎	システム全体はワゴン車にて運搬可。無人航空機(ドローン)は2名で人力運搬可。分割して宅配便での運搬可。	
B 現場適用性	◎	自律航行により機体を直接目視できない箇所の調査が可。 自律航行から手動操縦への切り替えが可能のため、臨機応変な調査が可。	
C 迅速性	○	データ処理は20分と速く、詳細な地形データにより迅速な被災地の状況把握が可。 カメラやビデオを搭載しておらず、静止画・動画によるリアルタイムの状況把握は不可。	
D 取得情報の量・質	○	独自のデータ処理システムにより取得データの精密な可視化が可。 取得した可視化画像から被災地全体や崩落土砂・崩落法面の状況把握が可。 樹木を透過して地表の地形データの取得が可。 カメラやビデオを搭載しておらず、静止画・動画と同等な情報(色・湧水等)の取得が不可。	
E 移動性	○	離陸箇所から1.5km先の状況把握が可。	
F 安全性	○	操作無線の途絶時に自動的に離陸場所までの帰還が可。	
フェーズ3 比較対象技術:航空LP測量			
評価項目	判定	コメント	
A 運搬性	◎	フェーズ2と同じ	
B 現場適用性	◎	フェーズ2と同じ	
C 迅速性	◎	データ処理は1日程度(処理は8時間程度)と速く、詳細な地形データにより迅速な被災地の状況把握が可。	
D 取得情報の量・質	◎	独自のデータ処理システムにより取得データの精密な可視化が可。 取得した可視化画像から被災地全体や崩落土砂・崩落法面の状況把握が可。 樹木を透過して地表の地形データの取得が可。	
E 移動性	○	離陸箇所から1km先の状況把握が可。	
F 安全性	○	フェーズ2と同じ	
判定凡例 ◎:良好 ○:可 △:課題が残る ×:不可			
総評	フェーズ2 運搬性、現場適用性に優れ、独自に開発したデータ処理システムにより20分で取得した点群データの精密な可視化ができる。可視化画像から被災地全体や崩落土砂・崩落法面の状況把握が可能な技術である。初期に精密な地形データを短時間で取得できることは有意義であり、今後、静止画・動画と同等な情報(色・湧水等)の取得が可能となればさらに有意義なシステムとなる。 フェーズ3 運搬性、現場適用性、迅速性に優れ、独自に開発したデータ処理システムにより、短時間で取得した点群データの精密な可視化ができる。迅速な応急対策・復旧計画立案に有意義であり、航空LP測量と同程度の地形データの取得が可能な技術である。		

基本要件がすべて○であるため、「活用を推薦する」技術になっている。

フェーズにより星の数が違う！なぜ？



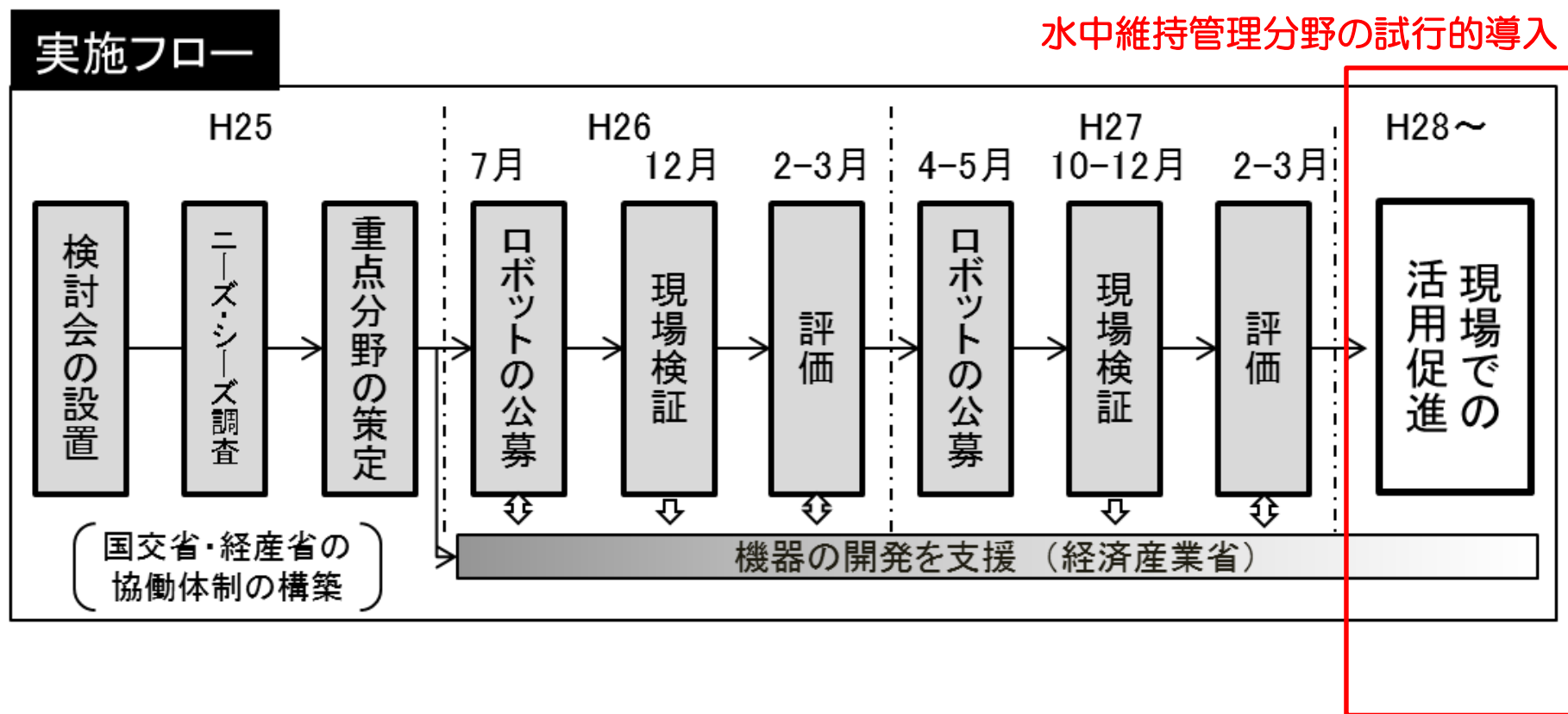
フェーズごとの要求項目のうち、「迅速性」と「取得情報の量・質」が**良好ではなく可**となっている。フェーズ2で求めている静止画・動画の取得が不可。3D地形データを取得する技術。災害状況の把握段階であるフェーズ2では、3D地形データのみでは、**状況の把握性が若干劣ると判断**。ただし、概略設計段階であるフェーズ3では**非常に有効**であると判断。これより、フェーズごとの総合点が変わり、**星の数に違い**がでた。

# 次世代社会インフラ用ロボット開発・導入の概要

## ➤ 実施フロー

次のご説明

水中維持管理分野の試行的導入





# 水中維持管理分野の試行的導入

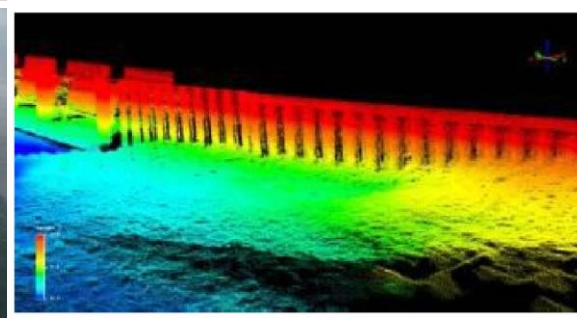
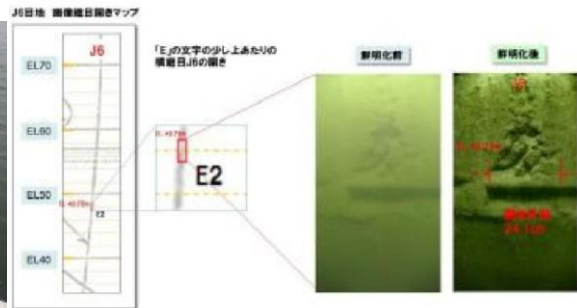
## ➤ 試行的導入対象

### 【ダム点検に関する項目】

- (A) ダムの総合点検における堤体の損傷調査を想定したロボットの試行的導入
- (B) ダムの総合点検におけるダム堤体の継目やクラックからの漏水調査を想定したロボットの試行的導入
- (C) ダム放流設備の点検を想定したロボットの試行的導入

### 【河川点検に関する項目】

- (D) 河川の護岸や護岸基礎の点検を想定したロボットの試行的導入
- (E) 河川の河床洗掘調査を想定したロボットの試行的導入



# 水中維持管理分野の試行的導入

## ▶ 試行的導入の目的

- 水中ロボットの**完成度が業務を遂行できるレベル**であることを確認する。
- **点検業務として成立**することを確認する。
- **点検の内容や方法（後述）**に問題がないかを確認する。
- **点検の流れ（準備～点検～成果物提出）**を確認する。
- **点検時の体制、作業能力、精度等**を確認し、その結果をもとに**費用を算出**する。
- **水中点検の範囲**を明確にする。
- 試行的導入をふまえ、**点検マニュアル案**を作成する。
- 試行的導入の結果を**広く周知し、今後の普及**を図る。
- 水中点検を全国で実施することにより、水中構造物の**維持運用管理の効率化**に資する。
- 点検に必要な標準的な**要求性能・仕様**を取りまとめ、ロボット開発者に対して**開発目標**を示す。
- 併せて、水中ロボットを使用した**点検者の新規参入**を促す。
- ユーザ側（施設管理者等）へ水中点検ロボットの標準的な実力等を示し、**点検の採否**をしやすくする。
- 併せて、**水中点検の普及**を図る。
- マニュアルで定める**点検内容以外**の使用場面を探る。

# 水中維持管理分野の試行的導入

## ➤ 水中ロボットを使用した点検マニュアル案

### 【マニュアル案の種類】

- ダム2種類：堤体編、放流設備編
- 河川1種類：河川編

### 【マニュアル案の利用者（ダムの場合）】

#### ○点検技術需要者（ユーザー）

- 政府直轄事業者ダム施設管理者（国交省、農水省、水資源機構）
- 地方自治体ダム施設管理者
- 電力事業者（各電力、電源開発等）ダム施設管理者
- 民間企業ダム施設管理者

#### ○点検技術提供者（サプライヤー）

- 建設コンサルタント（ユーザーにもなりうる）
- 水中ロボット開発者または提供者

# 水中維持管理分野の試行的導入

## ➤ 水中ロボットを使用した点検マニュアル案

### 【対象とする点検（ダム堤体編の場合）】

- **ダム総合点検**の追加調査実施時
- ダム管理における第2期から第3期へ移行する際の**定期点検実施時**（初期値取得）
- これまでの定期点検における点検結果より水中部に損傷や漏水が予想される場合の**次回定期点検実施時**
- **定期検査時**、維持管理状況検査において、水中部に損傷や漏水が予想され、検査官より検査結果の通知の際、水中点検の実施を求められた場合
- 一定規模以上の地震または洪水が発生した場合に実施する**臨時点検での実施**（点検結果報告までの時間があり、水中ロボットを保有している場合に限られる）

### 【点検マニュアル案を作成する目的】

- ユーザーに対して、**水中点検技術情報が提供**できること。
- ユーザーに対して、サプライヤーの**点検技術・品質が画一化・均一化**すること。
- サプライヤーが水中ロボットを**開発するための技術的な指針**になりえること。
- サプライヤーが点検後に納品する**成果物が画一化・均一化**すること。
- ユーザーが**成果物を効果的に運用**できるようになること。
- ユーザー、サプライヤーに対して、**点検の流れ、方法等**について示すこと。
- ユーザー、サプライヤーに対して、**点検時の協議事項**（各種担保含む）について示すこと。
- 点検時の**事故等が防止**できること。

# 水中維持管理分野の試行的導入

## ➤ 試行的導入場所（ダム）

名称		矢作ダム	野村ダム	大渡ダム
管轄		中部地方整備局	四国地方整備局	四国地方整備局
現場状況				
ダム 緒元	所在地	愛知県豊田市、岐阜県恵那市	愛媛県西予市野村町	高知県吾川群仁淀川町
	河川名	矢作川水系矢作川	肱川水系肱川	仁淀川水系仁淀川
	型式	放物線アーチ式コンクリートダム	重力式コンクリートダム	重力式コンクリートダム
	ゲート	コンジット（バーチカルローラゲート）× 3門 クレスト（テンターゲート）× 4門	ラジアルゲート × 2門 高圧ラジアルゲート × 1門 ジェットフローゲート × 1門	ラジアルゲート × 4門 高圧ラジアルゲート × 5門 ホロージェットバルブ × 1門
	堤高／堤頂長	100m／323m	60m／300m	96m／325m
	総貯水容量	8,000万m <sup>3</sup>	1,600万m <sup>3</sup>	6,600万m <sup>3</sup>
	本体着工年／完成年	1966年／1971年	1973年／1982年	1973年／1986年
試行的導入技術	放流設備における概査 放流設備における精査	総合点検における概査 総合点検における漏水調査（精査） 放流設備における概査	総合点検における概査 総合点検における損傷調査（精査）	
試行的導入対象者	パナソニック 大林組	パナソニック 五洋建設	パナソニック 大林組	

# 水中維持管理分野の試行的導入

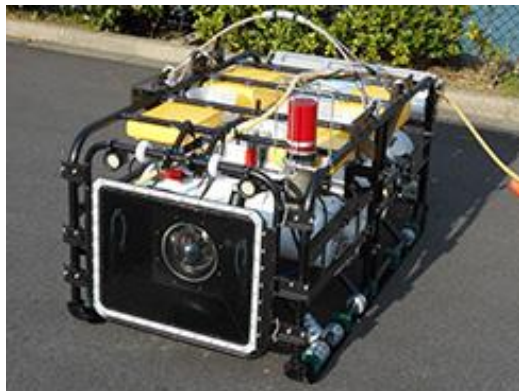
## ➤ 試行的導入場所（河川）

名称	信濃川下流域	多摩川上流域	鶴見川	紀ノ川	
管轄	北陸地方整備局	関東地方整備局	関東地方整備局	近畿地方整備局	
現場状況					
河川 緒元	水系	信濃川水系信濃川	多摩川水系多摩川	鶴見川水系鶴見川	紀ノ川水系紀ノ川
	種別	一級河川	一級河川	一級河川	一級河川
	延長	367km	138km	42.5km	136km
	平均流量	518m <sup>3</sup> /s	36.6m <sup>3</sup> /s	10.1m <sup>3</sup> /s	37.4m <sup>3</sup> /s
	流域面積	11,900km <sup>2</sup>	1,240km <sup>2</sup>	235km <sup>2</sup>	1,750km <sup>2</sup>
	河口・合流先	日本海	東京湾	東京湾	紀伊水道
	流域	新潟県・長野県・群馬県	山梨県・東京都・神奈川県	東京都・神奈川県	奈良県・和歌山県
試行的導入技術	概査(ALB)(評価対象外) 護岸点検(精査) 護岸基礎・河床点検(精査)	護岸点検(精査) 護岸基礎・河床点検(精査)	護岸点検(精査)	概査(ALB)(評価対象外) 護岸点検(精査) 護岸基礎・河床点検(精査)	
試行的導入対象者	朝日航洋 アーク・ジオ・サポート いであ	アーク・ジオ・サポート	いであ	朝日航洋 いであ	



# 水中維持管理分野の試行的導入

## ➤ 試行的導入対象技術



大林組



五洋建設



パナソニック



アーク・ジオ・サポート



朝日航洋



いであ

試行的導入にご協力いただいた6社の関係者の皆様！大変お世話になりました。  
この場をお借りして御礼を申し上げます。



# 水中維持管理分野の試行的導入

## ➤ 点検の項目案（ダム堤体編）

点検項目は、「**損傷調査**」と「**漏水調査**」とした。

### 【損傷調査】

損傷調査は、横継目を除く管理上懸念されるコンクリート面の損傷状況を記録し、把握するものとする。損傷としては、ひび割れ（クラック）、遊離石灰および剥離・剥落などがある。これらを把握し、現時点での堤体の安全性を確認するとともに河川管理施設等構造令で定められている性能要件が長期にわたり保持されるように維持管理するための判断材料の一つとして使用されることを目的とする。

### 【漏水調査】

漏水調査は、横継目の状況等に着目し、横継目からの漏水箇所の特定制または推定を行うものとする。横継目は、ダム軸と直交（上下流）方向に作るものであり、堤体の止水性を確保するために止水板を設置する。漏水調査は、この横継目の状況（開きや異状等）や水の吸込みの有無も確認し、漏水箇所の特定制等を行うことを目的とする。

なお、水平打継目（堤体リフト間の継目）の漏水調査は、意味がないとは言えないが、ここからの漏水は、堤体の一体性や安全性の観点での問題であると考える。

水中ロボットによる点検マニュアル（案）より

# 水中維持管理分野の試行的導入

## ➤ 調査手法案（ダム堤体編）

調査手法は、「概査」と「精査」とした。

### 【概査】

概査は、堤体水中部の損傷等の有無を確認し、その位置を把握するために行うものとする。概査の結果、損傷等が見つからない場合においても、次回点検時のための基礎データを記録するためのものという目的を持つ。また、この調査は、堤体面や横継目なども含むある範囲全面が対象となる。これより、概査は、損傷調査と漏水調査を兼ねたものであると考えている。

### 【精査】

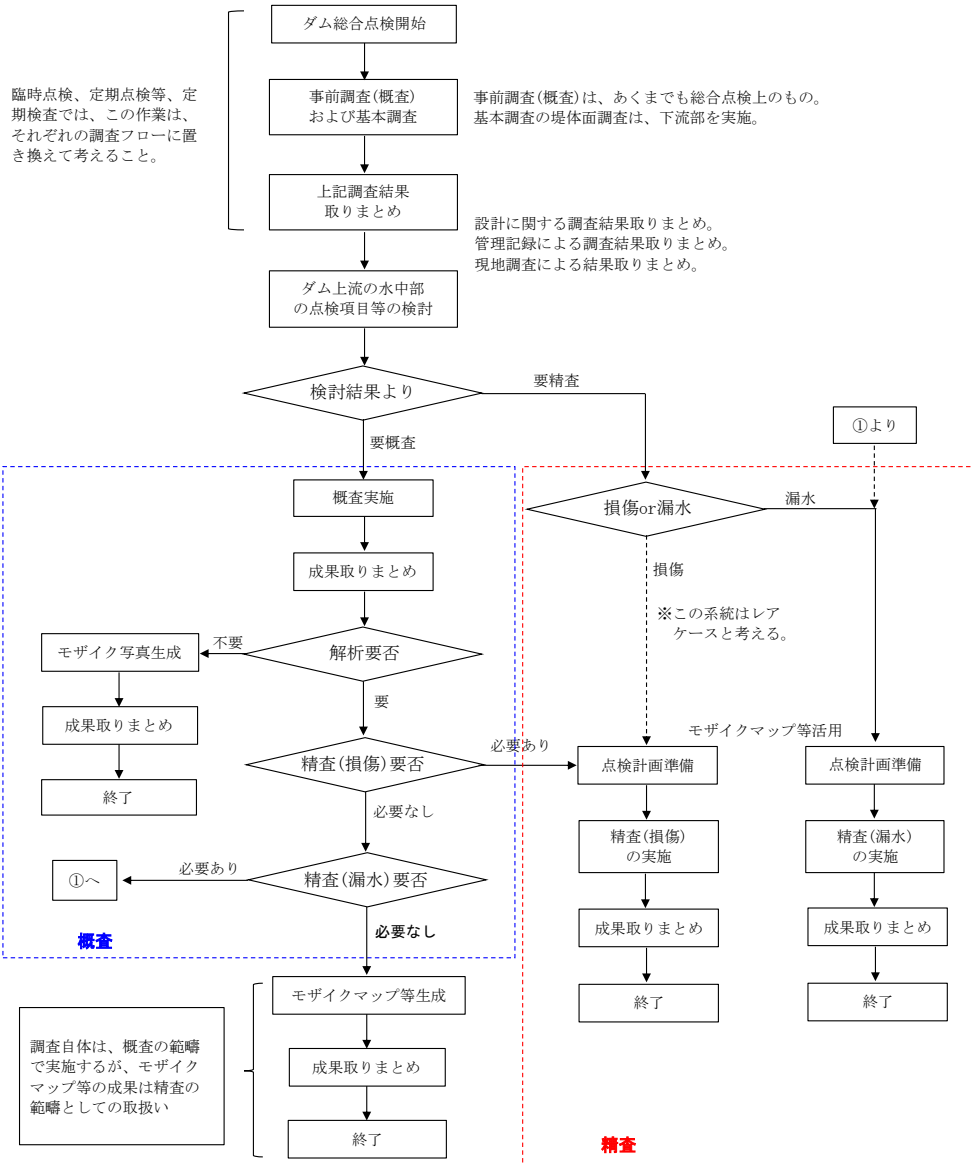
精査は、概査の結果、堤体水中部に何らかの損傷等（損傷、漏水）が発見された場合、堤体下流面や監査廊表面へ水の染み出しや漏水が確認されている場合（漏水）、監査廊内の計器類の異常値が計測されている場合（漏水）などにおいて、その要因の詳細な把握や今後の対策の立案のため、詳細に計測や観察を実施するものとする。なお、概査で取得した精細な画像データの解析による分析等についても精査に含めるものとする。

精査は、この調査の性質上、ピンポイントまたはある部分に特化した範囲が対象となる。また、調査項目は、概査と違い、兼用ではなくそれぞれに必要なものを実施する。

水中ロボットによる点検マニュアル（案）より

# 水中維持管理分野の試行的導入

## ➤ 水中点検フロー案（ダム堤体編）

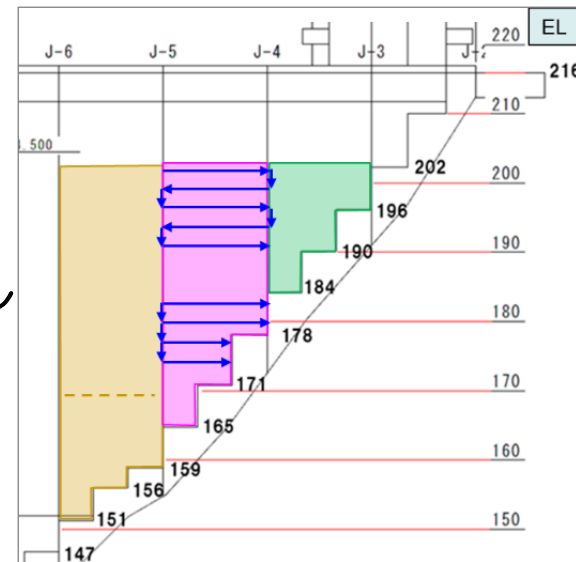


# 水中維持管理分野の試行的導入

## ➤ 概査（ダム堤体編）

概査は、水中部点検ロボットに搭載したデジタルビデオカメラ等により、堤体面と一定の離隔を保持しながら一定速度で移動して動画を撮影するものとする。点検調査の管理単位は、ダム堤体のジョイント間である1ブロック（15m）を基本とする。

ROVを使用した点検方法としては、水深の浅い箇所から開始し、同一水深を水平方向に移動して点検を行い、15m分（1ブロック分）である継目～継目間の点検を終えると1段分（約50cm程度）潜降して、潜降した水深で再度水平移動して15m分の点検を実施する。この水平移動と潜降を繰り返して、深度が浅い箇所から深い方向への調査を実施する。



概査の点検方法

### 概査で必要とする測定精度等（現段階）

点検目的		①記録的意味合い ②損傷や漏水が懸念される場合のその要因の有無
調査項目		①— ②損傷、漏水（成果兼用）
測定精度	位置精度	±10（cm）以内
	変状度合いの精度	±10（cm）以内
	ひび割れ幅	1（mm）以上が計測可能
	横継目	1（mm）以上が計測可能

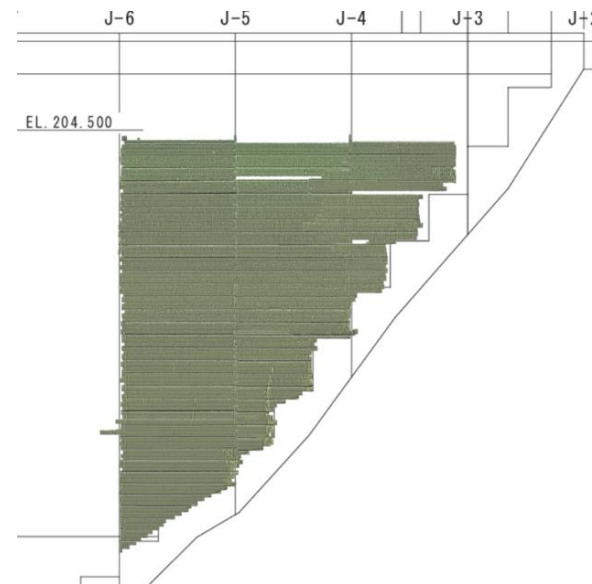
# 水中維持管理分野の試行的導入

## ➤ 概査の成果物（ダム堤体編）

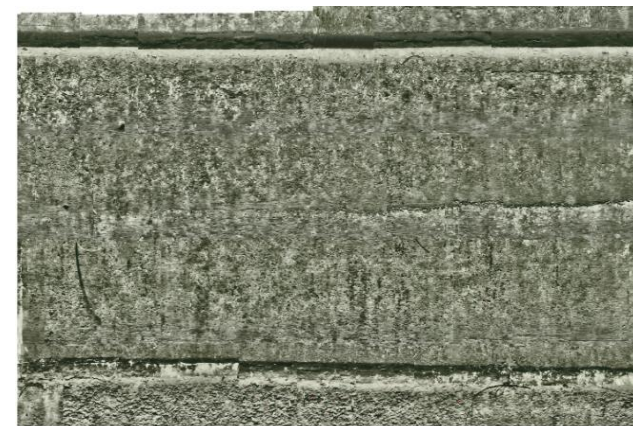
概査の成果物は、点検対象範囲のモザイク図、堤体面の静止画およびその根拠となる動画とする。モザイク図は、解析・処理およびその後の運用を考え、解像度を落としてもよい。しかし、静止画と動画は解像度を落としてはならない。

### 【解説（抜粋）】

概査の成果物は、点検調査時に記録した動画をもととすることが多い。その動画から静止画を書き出し、この静止画をつなぎ合わせてモザイク図を作成する。この際、電子計算機の処理能力が不足することがある。また、モザイク図は、点検を実施した範囲全体を示す記録であり、この図で堤体面の状態を判断するものではない。これより、モザイク図については、解像度を落としてもよいこととする。その一方で、堤体面の静止画は、堤体面の状態把握をするために使用する。このため、静止画は、解像度を落していない写真データとする。動画も成果物として提出する。動画も解像度は落とさず記録したままの原画の状態とする。



モザイク図例



写真データ例

# おわりに

## 【災害調査技術】

災害調査技術のその後の状況（代表例）を下記に示す。

- ①各地方整備局や各技術事務所の災害協定の締結
- ②各種工事での施工管理で活用
- ③i-Constructionの測量機械として各地で採用
- ④H28.4に発生した熊本地震において、国道57号線（南阿蘇村立野）の土砂崩落現場で、災害状況把握のため、複数の技術が適用（下図参照）
- ⑤その後の災害復旧工事における測量に採用

## 【水中維持管理技術】

水中維持管理技術の今年度の検討状況（代表例）を示す。

- ①水中点検マニュアル案の策定
- ②標準的な要求性能・仕様の策定
- ③新たな使用場面についての検討
- ④点検技術の普及のための検討
- ⑤点検成果物の納品要領の検討

