



ドローンによる3次元の地形・構造体 の計測と設計・防災等への活用

平成28年度 島嶼防災研究センター・報告発表会(平成28年8月12日)
NPO法人グリーンアース(島嶼防災研究センター研究開発室B)
代表理事:鈴木浩一(技術士・測量士)

1.ドローン空撮3D地形測量の概要

●従来の航空写真測量の技術を応用し、複数の写真から自動でステレオマッチング処理をして3Dモデルを生成する画期的な技術で、近年の画像解析ソフトの進歩・ドローン写真撮影技術の向上・パソコン処理能力の増強等によって急速に普及している。

●国土地理院では無人航空機(UAV: Unmanned aerial vehicle 通称ドローン)を公共測量や国土交通省が進めるi-Constructionに係る測量作業において適用することを前提に、「UAVを用いた公共測量マニュアル(案)」及び「公共測量におけるUAVの使用に関する安全基準(案)」を作成し平成28年3月30日に公表した。



ドローン空撮イメージ



ドローン空撮写真

2. i-Construction推進の流れ

●2015年11月に国土交通省はICTを積極活用し、革命的な建設生産システムを構築するため、「測量・設計から施工、維持管理に至るまでの**全プロセスにおいて、情報化を前提とした新基準を2016年度から導入**する」と表明し、この取り組みを『i-Construction』（アイ・コンストラクション）と名付け、推進していくと発表。

●2016年4月より沖縄総合事務局発注の土工事において「i-Constructionに基づき起工測量、設計照査、施工、出来形管理、検査及び工事完成関係書類について3次元データを活用する**ICT活用工事**」の工事公告【2016.8.5現在:13件】



3.平成29年度からの本格的なCIM導入

●国土交通省では平成24年度より、計画、調査・設計段階から施工・維持管理段階までの一連の建設生産システムの効率化を図ることを目的に、3D化によるCIM(Construction Information Modeling/ Management)の導入検討とモデル事業における試行を開始

●平成25年度には設計CIM、平成26年度には施工CIM、平成27年度は分野別CIM(河川CIM、ダムCIM、橋梁CIM、トンネルCIM)構築の検討

●平成28年度には「CIM導入ガイドライン」を策定し、平成29年度から本格的導入

CIMの概要

調査・測量・設計



施工(着手前)



施工(完成時)



維持・管理

◇得られる効果

設計ミス削減・構造解析・イメージの明確化・概算コスト算出・数量の自動算出

◇得られる効果

鉄筋干渉チェック・手戻りの削減・ICT建設機械による情報化施工

◇得られる効果

完成データの精微化・高度化・施工情報(出来形・品質等)の有効活用

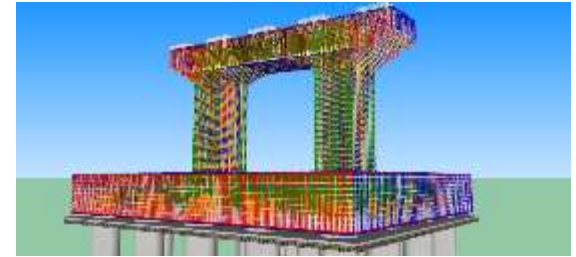
◇得られる効果

施設管理の効率化・高度化・リアルタイム変状監視・点検補修記録の明確化

4. 3Dデザインソフト: SketchUpの概要

●米Trimbleが開発・提供している3Dデザインソフト。2012年より、Googleから権利を引き継ぐ。
(日本での販売代理店: (株)アルファコックス)

●3次元空間で見たままの状態で感覚的な3Dモデリングを行うことが出来、数値による正確なモデリングも可能。



無料版と有料版の主な違い

機能	無料版 (Make)	有料版 (Pro: 約12万円)
利用対象	個人的使用 (商用使用禁止)	営利目的・営利団体で使用
3Dモデリング	○	○
JPEGイメージ入出力	○	○
DXF・DWGファイル入出力	×	○

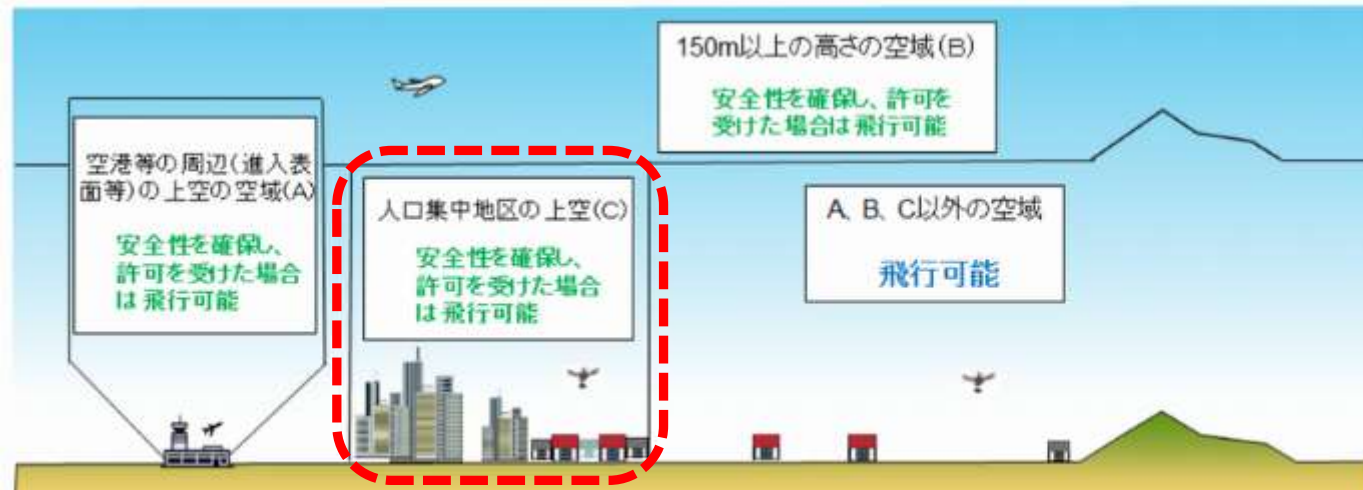
Make:30日間のProバージョンの試用期間が含まれ、試用期間の終了時に無料の機能へ
【教育機関についてはラボラトリー(教育機関)ライセンス・50ライセンス:25万円も用意】

5.ドローン及び画像解析ソフトの比較

ドローン			
機種名	PHANTOM4 (DJI)	Inspire 1 (DJI)	S1000 Spreading Wings (DJI)
重量	約1.4kg	約2.9kg	約4.0kg
価格	約19万円	約50万円	約66万円
対象者	初級者向け	中級者向け	上級者向け

画像解析ソフト			
製品名	PhotoScan	Pix4Dmapper	ContextCapture
メーカー	Agisoft	Pix4D	Bentley
開発国	ロシア	スイス	アメリカ
価格	約50万円	約100万円	約250万円

6. 無人航空機の飛行の許可が必要となる空域



(※国土交通省: 無人航空機(ドローン・ラジコン機等)の飛行ルールより)

- ドローン専用飛行支援地図サービス(<http://www.sorapass.com/map/accounts/about>)に登録すると、飛行制限区域が簡単に閲覧可能



飛行許可申請にはドローン賠償責任保険への加入も必要

7.ドローン空撮時の規定

(「UAVを用いた公共測量マニュアル(案)」より)

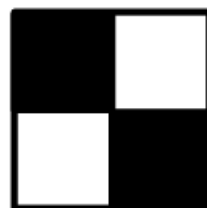
● **標定点**(座標算出の基準となる点)は、計測対象範囲の形状、比高が大きく変化するような箇所、地表面の粒度を考慮して配置。**(最低4点)**



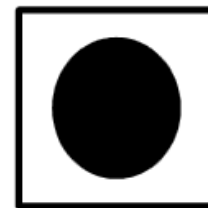
★型



X型



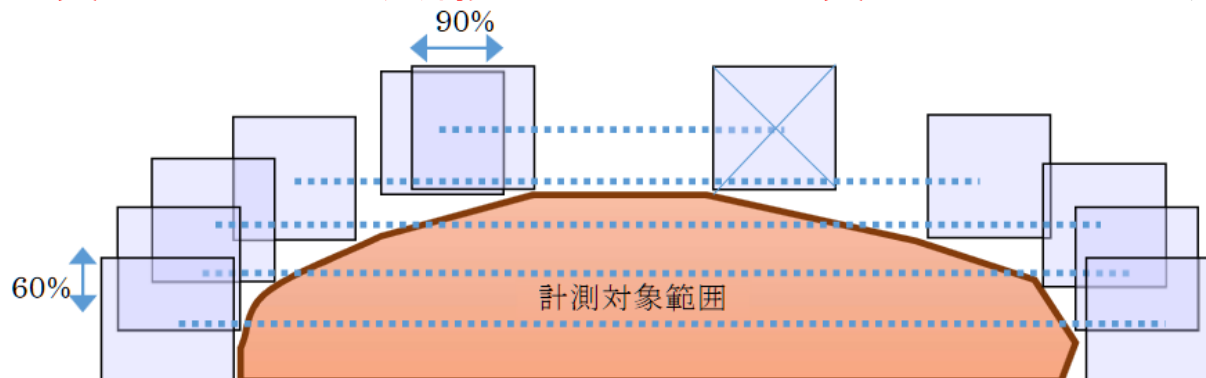
+型



○型

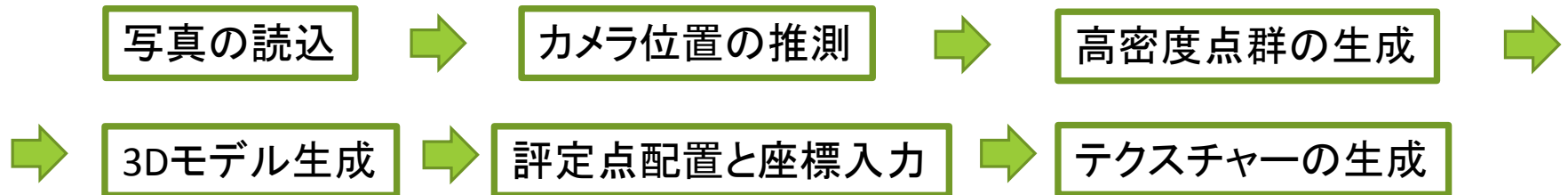
ドローン空撮時に評定点に設置する対空標識の例

● 空中写真の**重複度**は、空中写真間の整合処理の確実さに影響するため、**同一コース内の隣接空中写真間で90%以上、隣接コースの空中写真間で60%以上**とする。



● 三次元点群の平面位置及び高さの**要求精度は、誤差が最大でも0.05mを超えない**。

8.ドローン空撮画像解析ソフトの作業手順 (PhotoScanでの例)



点群モデル



テクスチャー生成後の3Dモデル

↓
設計・防災等への活用

9.熊本震災(阿蘇大橋付近)調査結果

●琉球大学島嶼防災研究センターの「2016年熊本地震第2調査団」(藍檀オメル団長)に同行し、崩落した阿蘇大橋(熊本県南阿蘇村立野～黒川)周辺の斜面崩壊及び橋梁崩落について、ドローン空撮による画像解析を行った。(調査日:H28.6.11)



10.被災地3Dモデル(震災前後の比較)

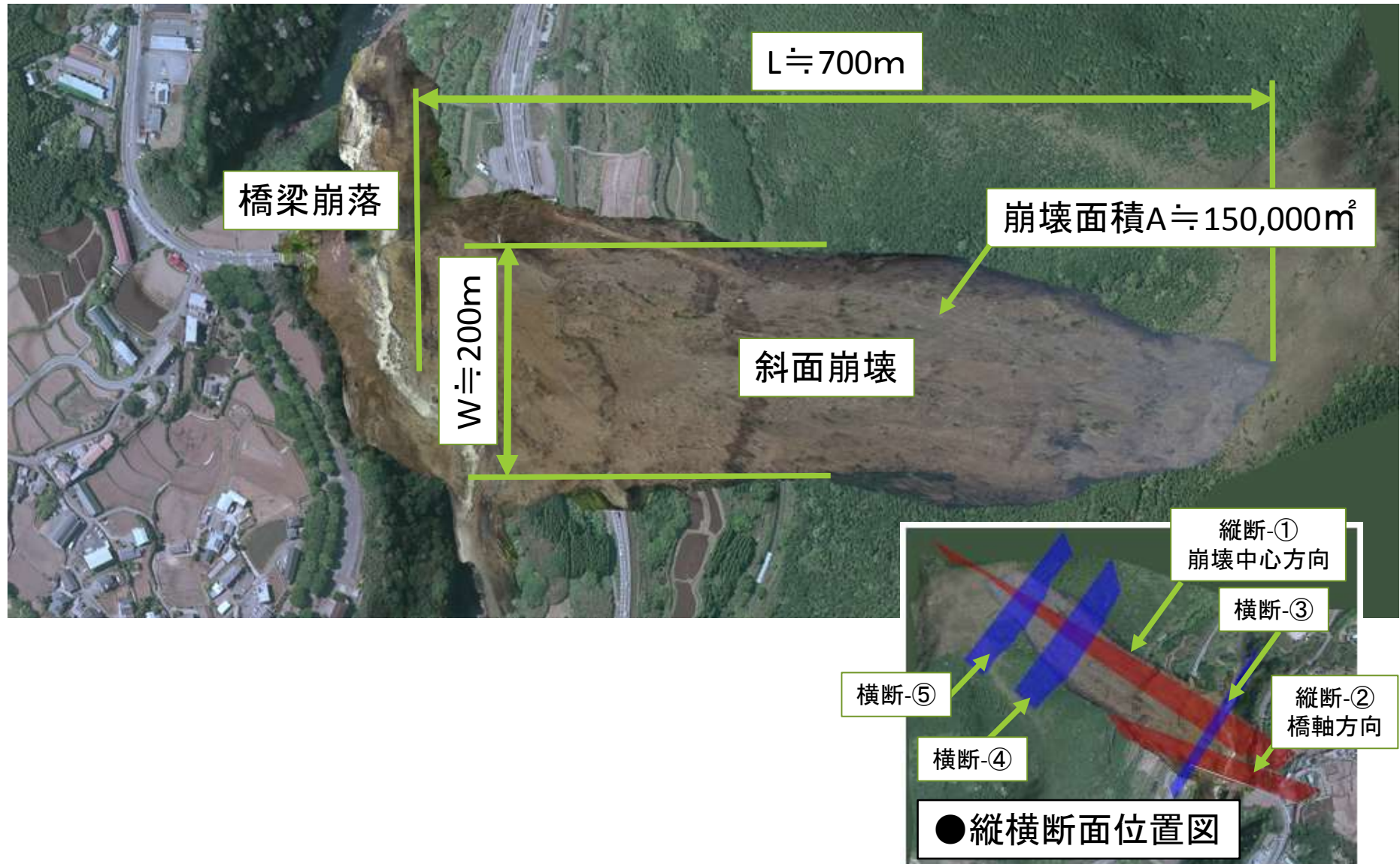


震災前
地形は国土地理院の数値標
高モデル(5mメッシュ)より
(3Dデザインソフト:SketchUp)

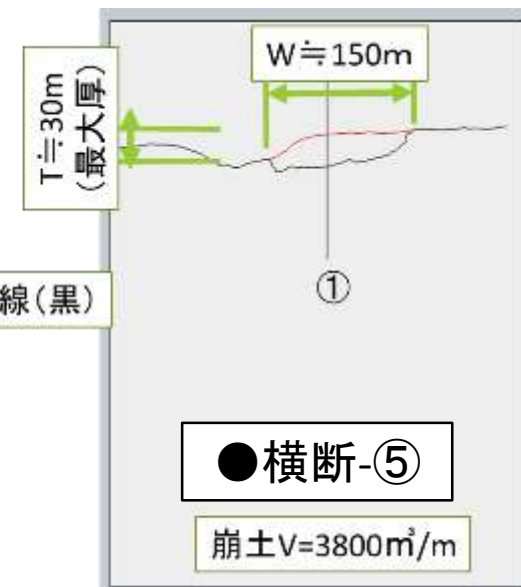
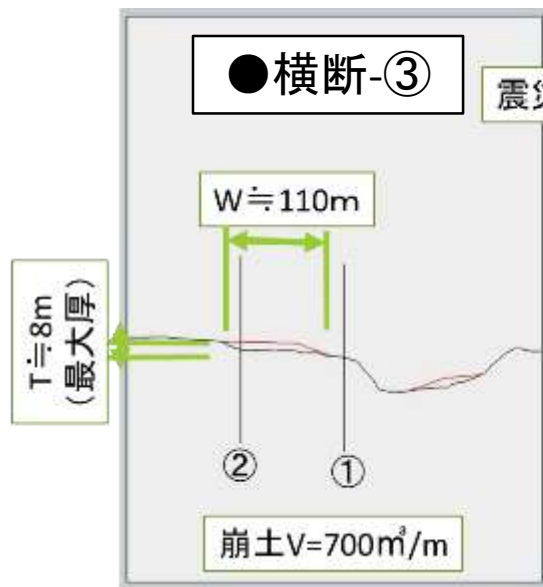
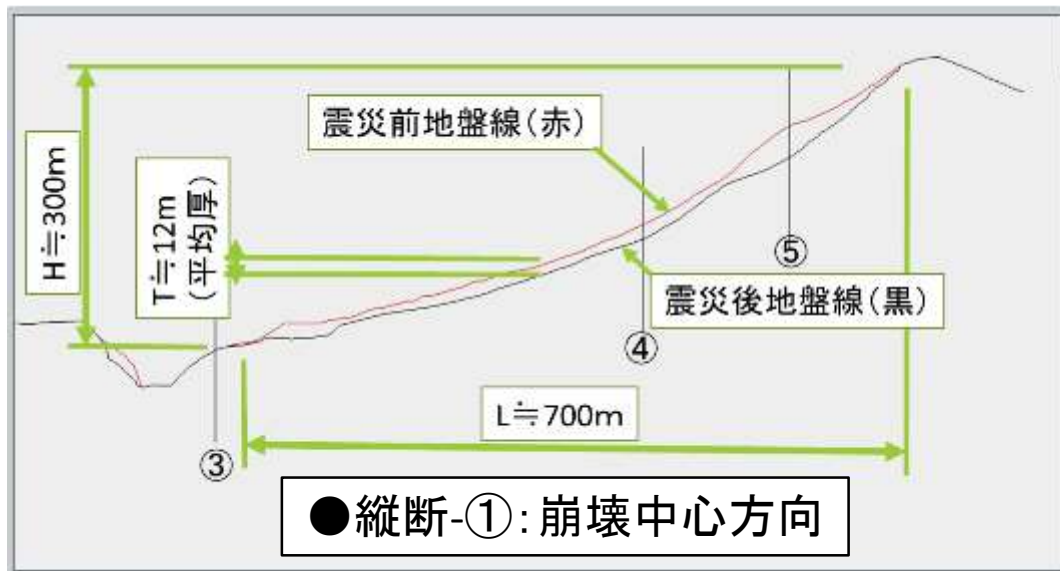


震災後
地形はドローン空撮による
3D画像解析モデルより

11.平面画像(震災後)



12.縦横断図

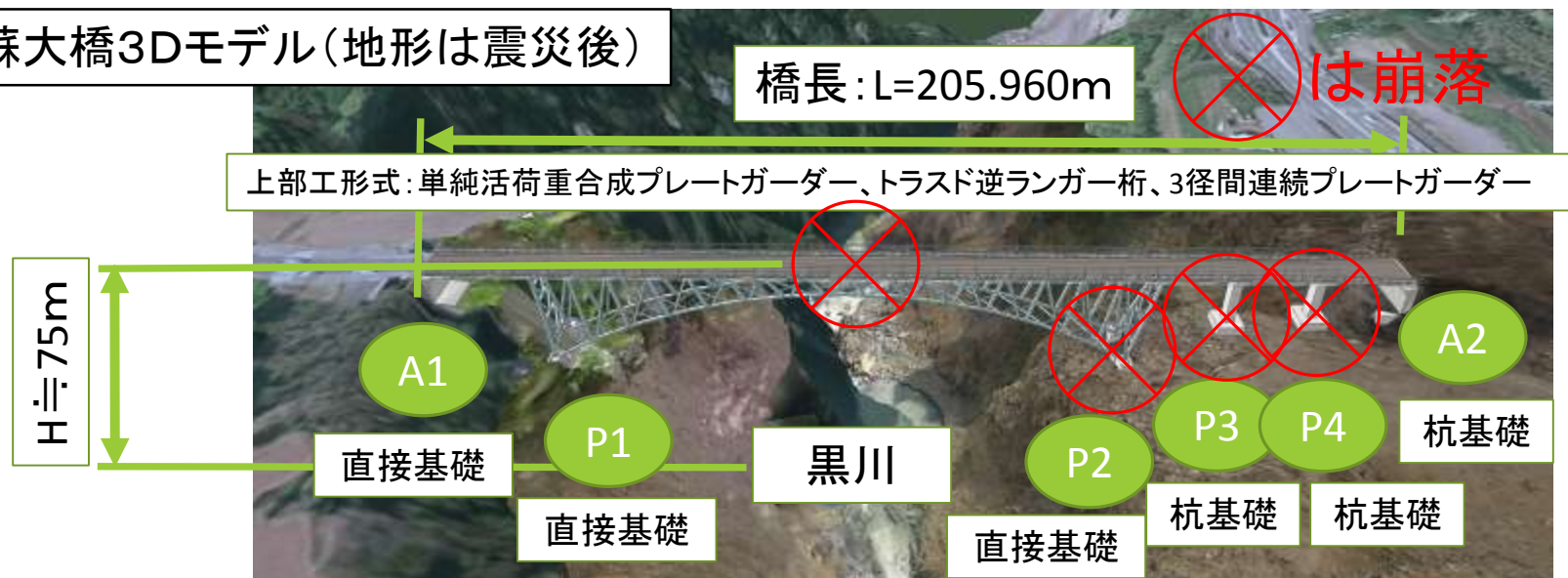


13.阿蘇大橋の概要

●縦断-②: 橋軸方向(拡大)

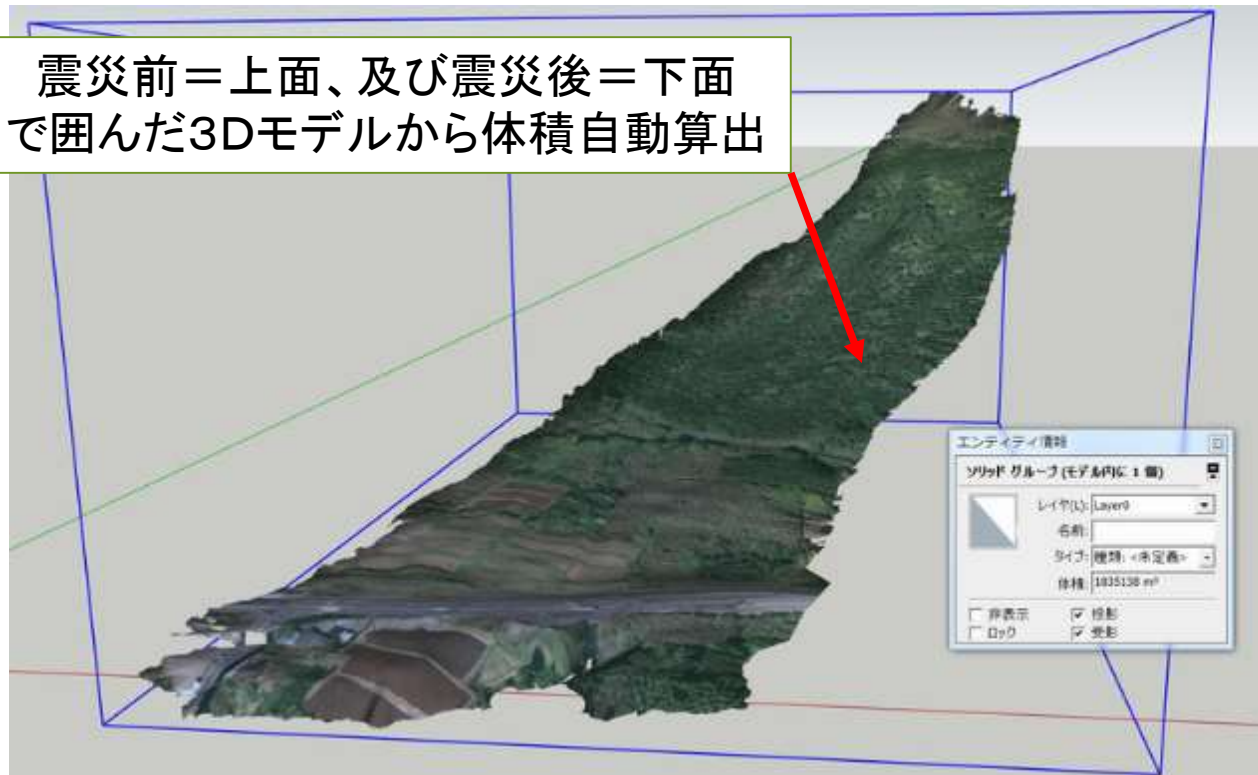


●阿蘇大橋3Dモデル(地形は震災後)



14.斜面崩壊土砂量の算出

震災前＝上面、及び震災後＝下面
で囲んだ3Dモデルから体積自動算出



震災前後の地盤面で囲まれた体積＝ $1,835,138\text{m}^3 \div 180\text{万}\text{m}^3$
 $1,800,000 \div 150,000$ (崩壊面積)＝12m (平均崩土厚)

阿蘇大橋斜面崩壊土
砂量推定の経緯
(参考)

4月30日の報道発表。
国土交通省への取材
では土砂量は約50万
 m^3 と推定。



5月に公表された熊本地震の省庁別要望事項において、国土交通省では土砂量は阿蘇大橋付近の山腹崩壊だけでも百数十万 m^3 と推察。

15.崩壊土砂の流下

●斜面の地質は火山性の堆積物や溶岩類より構成されており、比重の小さいこれらの土砂が「岩せつなだれ」となって下流まで流下していった可能性が高い。
(以下に崩壊土砂の流下に関する参考資料を示す。)

●毎日新聞記事(2016.7.18)

「岩せつなだれ」現象…緩斜面の土砂災害

毎日新聞 2016年7月18日 10時40分 (最終更新 7月18日 12時01分)

岩せつなだれの起きるイメージ

火山灰から成る
土壌の層

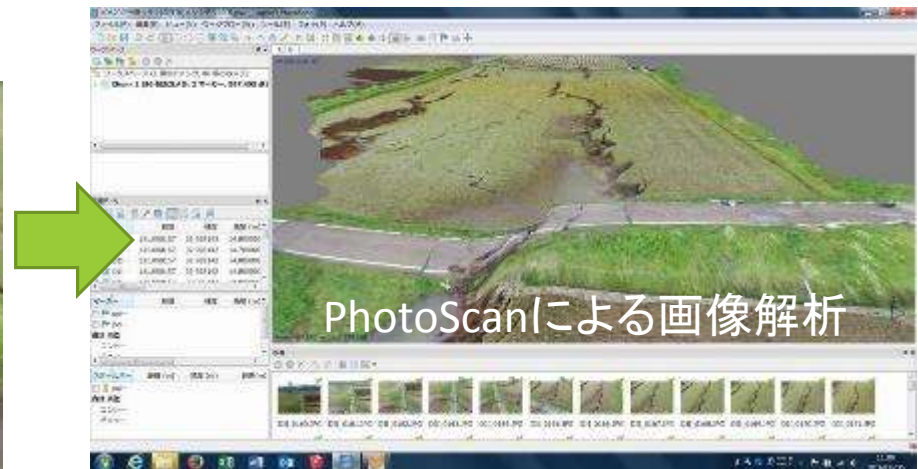
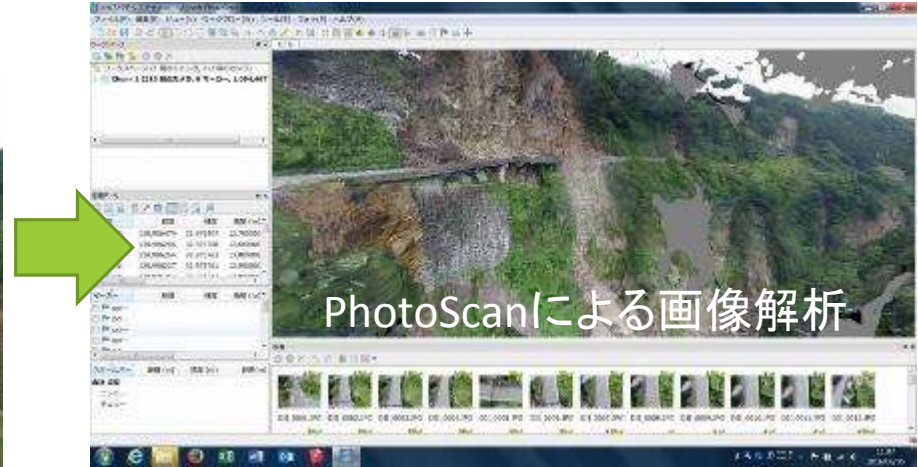


熊本地震で5人が犠牲になった熊本県南阿蘇村河陽の高野台団地を襲った土砂災害について、雪崩のように高速で土砂が流れ下る「岩せつなだれ」と呼ばれる現象が発生していたとする調査結果を、熊本大の宮縁育夫准教授（火山地質学）がまとめた。火山とその周辺では緩斜面でも起こる可能性があり、注意を呼びかけている。

地盤災害に詳しい京都大防災研究所の千木良（ちぎら）雅弘教授（応用地質学）によると、岩せつなだれは火山灰からなる土壌の下の軽石の層が地震の強い揺れなどによって崩れ、泥状になることなどで発生。一般に土砂が流れ下る速度は時速100キロを超え、東日本大震災などでも起きたという。

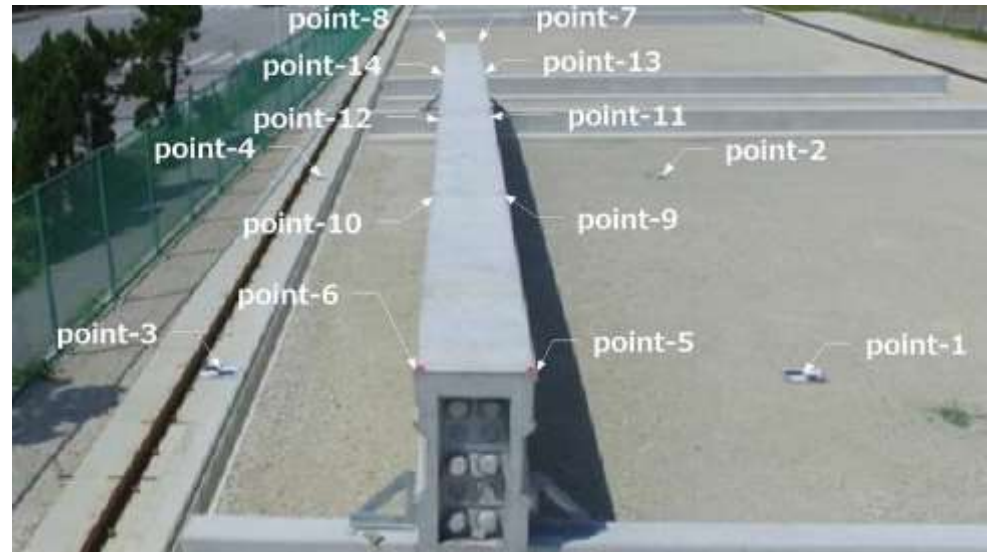
16.その他の震災調査

この他に崩落寸前の長陽大橋や落石による道路寸断現場、及び阿蘇西小学校近くの活断層地溝での画像解析を実施中であり、調査結果がまとまり次第公表する予定である。



17.画像解析ソフトによる精度検証実験

●沖縄都市モノレールのPC軌道桁製作ヤードにて製作された試験桁(L≒19m)の天端10点(端部4点、中間部6点)と、試験桁周囲に設置した評定点をトータルステーション及び自動レベルで測量し、そのXYZ座標値と画像解析ソフトPhotoScanで得られた推測値との比較を行った。



ドローン空撮状況



デジカメ地上撮影状況



各ポイントの測量状況

18.画像解析からの3Dモデル

●画像解析による3Dモデルについては、ドローン空撮では低い位置での撮影が困難であったため、桁側面に穴が開いた状態となり、地上デジカメ撮影では上方からの撮影写真が少なかったために、桁上面に穴が開いた状態であった。一方、ドローン空撮とデジカメ写真を合わせた作業では、3Dモデルに穴が開くことはなく、SketchUpでの3Dトレース作業でも鮮明なモデルが完成した。



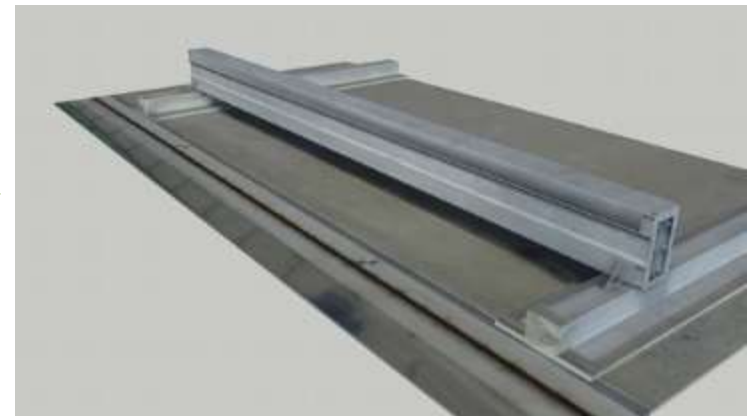
ドローン空撮での解析モデル



デジカメ地上撮影での解析モデル



ドローン+デジカメでの解析モデル



SketchUpでの3Dトレース後モデル

19.TS(トータルステーション)測量座標値との誤差確認

●TS測量で得られたXYZ座標値と画像解析ソフトでの推測値との誤差

ドローン空撮写真での座標誤差(m)

point1	0.0042	point4	0.0012	point7	0.0031	point10	0.0049	point13	0.0051
point2	0.0023	point5	0.0038	point8	0.0009	point11	0.0041	point14	0.0037
point3	0.0049	point6	0.0014	point9	0.0021	point12	0.0048	平均	0.0036

デジカメ地上撮影写真での座標誤差(m)

point1	0.0067	point4	0.0094	point7	0.0076	point10	0.0053	point13	0.0067
point2	0.0027	point5	0.0012	point8	0.0069	point11	0.0030	point14	0.0048
point3	0.0039	point6	0.0025	point9	0.0022	point12	0.0054	平均	0.0054

ドローン空撮写真+デジカメ地上撮影写真での座標誤差(m)

point1	0.0051	point4	0.0032	point7	0.0045	point10	0.0054	point13	0.0058
point2	0.0031	point5	0.0017	point8	0.0033	point11	0.0020	point14	0.0043
point3	0.0053	point6	0.0020	point9	0.0028	point12	0.0044	平均	0.0040

20.精度検証結果と構造物測量調査への応用

●画像解析において、ドローン空撮・地上デジカメ撮影及びそれらの2つのカメラの組み合わせのいずれにおいても、**4～6mmとトータルステーション測量に劣らない精度を確保**出来ることが確認された。今後は下部工支承位置座標確認測量や、支承の変位調査等、幅広い分野での有効活用が考えられる。



下部工座標確認
測量への応用



支承変位調査
への応用

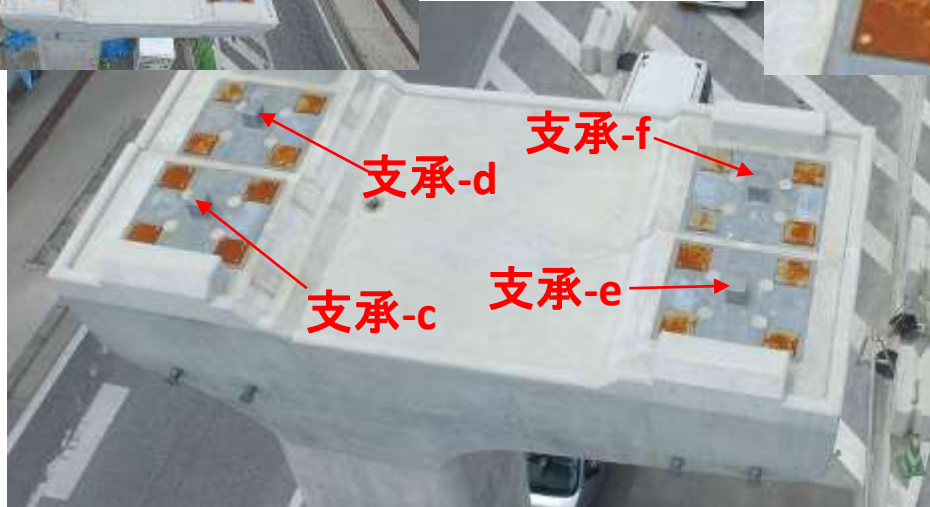
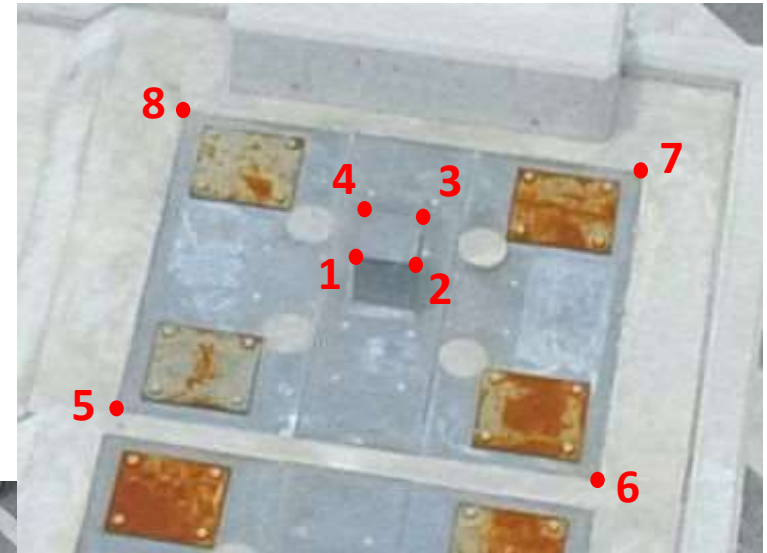


21.モノレール延伸工事での活用

●沖縄都市モノレール延伸工事での橋脚(8径間)の支承座標・径間距離等の照査を目的として、ドローン空撮写真より画像解析を実施し、設計値との誤差を確認した。



橋脚
(8径間測量)



支承-d 支承-f
支承-c 支承-e

支承中心のXY座標:
ダボ四隅(1~4)の交点
から算出

中心のZ座標(標高):
プレート四隅(5~8)の
平均値から算出

22.画像解析結果

●ドローン空撮写真:254枚をPhotoScanに取り込んで画像解析・座標算出



評価点誤差(平均)
=0.003086m=3mm

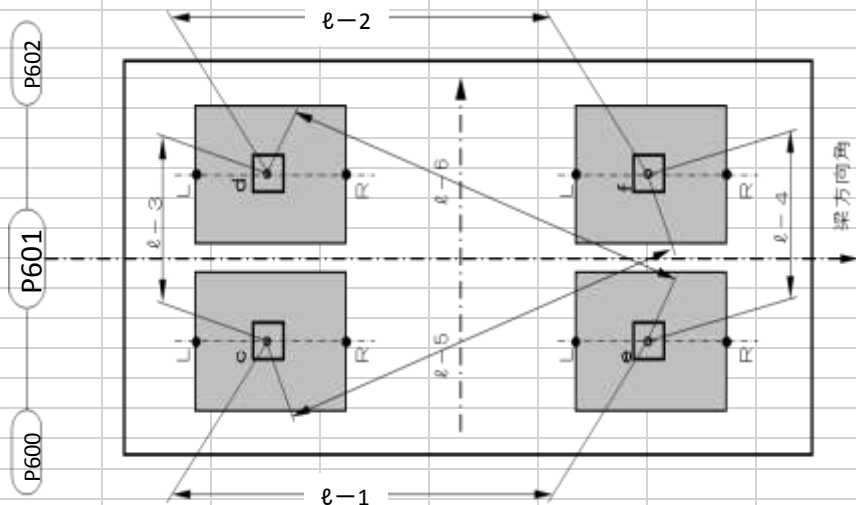
23.座標値誤差の確認

●ドローン空撮からの座標と設計値の誤差は規格値内に収まっていることが確認された。

支承位置	ポイント	ドローン空撮からの算出座標			設計値との誤差確認					規格値 (参考)
		X	Y	Z	項目	X	Y	Z	ベクトル方向	
P601-c	P601-c-1	24685.5568	22720.8908	119.565	支承中心座標	24685.5934	22720.9658	119.408		
	P601-c-2	24685.5190	22721.0014	119.565						
	P601-c-3	24685.6302	22721.0406	119.572	設計値	24685.5880	22720.9628	119.410		
	P601-c-4	24685.6675	22720.9303	119.568						
	P601-c-5	24685.3653	22720.4049	119.409	水平方向誤差	0.0054	0.0030		0.006	≤13mm
	P601-c-6	24685.0527	22721.2929	119.404						
	P601-c-7	24685.8392	22721.5517	119.409	標高誤差			-0.002		+5mm、-10mm
	P601-c-8	24686.1352	22720.6537	119.410						
P601-d	P601-d-1	24686.4456	22721.1871	119.553	支承中心座標	24686.4819	22721.2613	119.396		
	P601-d-2	24686.4054	22721.2976	119.555						
	P601-d-3	24686.5197	22721.3360	119.557	設計値	24686.4802	22721.2587	119.396		
	P601-d-4	24686.5571	22721.2243	119.554						
	P601-d-5	24686.2423	22720.6894	119.402	水平方向誤差	0.0017	0.0026		0.003	≤13mm
	P601-d-6	24685.9449	22721.5860	119.394						
	P601-d-7	24686.7292	22721.8432	119.397	標高誤差			0.000		+5mm、-10mm
	P601-d-8	24687.0354	22720.9487	119.392						
P601-e	P601-e-1	24684.3867	22724.3988	119.567	支承中心座標	24684.4259	22724.4733	119.405		
	P601-e-2	24684.3504	22724.5107	119.567						
	P601-e-3	24684.4649	22724.5459	119.569	設計値	24684.4234	22724.4747	119.410		
	P601-e-4	24684.5017	22724.4380	119.566						
	P601-e-5	24684.1839	22723.9010	119.406	水平方向誤差	0.0025	-0.0014		0.003	≤13mm
	P601-e-6	24683.8885	22724.8009	119.404						
	P601-e-7	24684.6730	22725.0594	119.404	標高誤差			-0.005		+5mm、-10mm
	P601-e-8	24684.9712	22724.1652	119.405						
P601-f	P601-f-1	24685.2791	22724.6950	119.548	支承中心座標	24685.3186	22724.7698	119.394		
	P601-f-2	24685.2423	22724.8071	119.549						
	P601-f-3	24685.3583	22724.8431	119.551	設計値	24685.3156	22724.7706	119.396		
	P601-f-4	24685.3948	22724.7340	119.550						
	P601-f-5	24685.0750	22724.1954	119.399	水平方向誤差	0.0030	-0.0008		0.003	≤13mm
	P601-f-6	24684.7807	22725.0974	119.394						
	P601-f-7	24685.5640	22725.3576	119.391	標高誤差			-0.002		+5mm、-10mm
	P601-f-8	24685.8640	22724.4587	119.394						

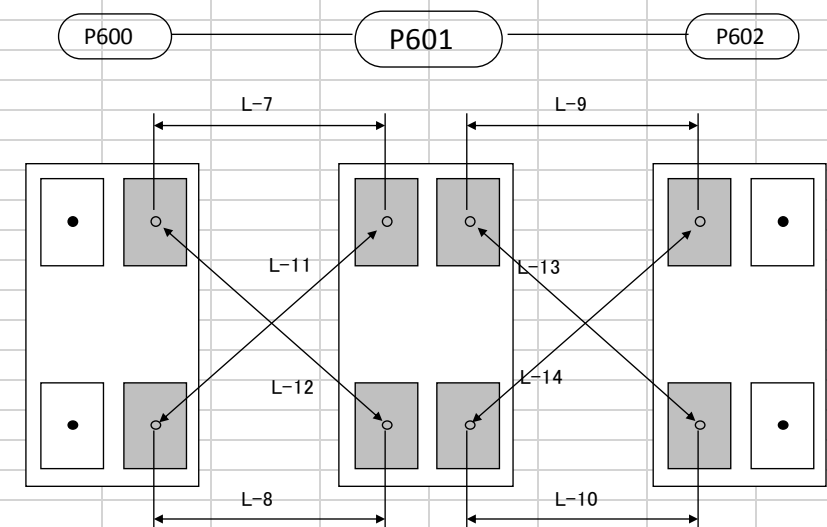
24.支承間距離・径間距離の確認

●支承間距離・径間距離についても設計値との誤差は規格値内であった。



支柱上の縦・横・交差距離：同一支柱上支承間距離

項 目		値 (mm)	誤差(mm)	規格値
ℓ-1	設 計	3,700	-3	±5mm
	実 測	3,697		
ℓ-2	設 計	3,700	-4	
	実 測	3,696		
ℓ-3	設 計	940	-4	
	実 測	936		
ℓ-4	設 計	940	-1	
	実 測	941		
ℓ-5	設 計	3,818	-4	
	実 測	3,814		
ℓ-6	設 計	3,817	-3	
	実 測	3,814		



支承の縦・横・交差距離：径間距離

項 目		値 (mm)	誤差(mm)	規格値
L-7	設 計	21,064	5	± 10mm
	実 測	21,069		
L-8	設 計	21,064	2	
	実 測	21,066		
L-9	設 計	21,062	-6	
	実 測	21,056		
L-10	設 計	21,062	-1	
	実 測	21,061		
L-11	設 計	21,386	6	
	実 測	21,392		
L-12	設 計	21,386	2	
	実 測	21,388		
L-13	設 計	21,385	0	
	実 測	21,385		
L-14	設 計	21,385	-8	
	実 測	21,377		

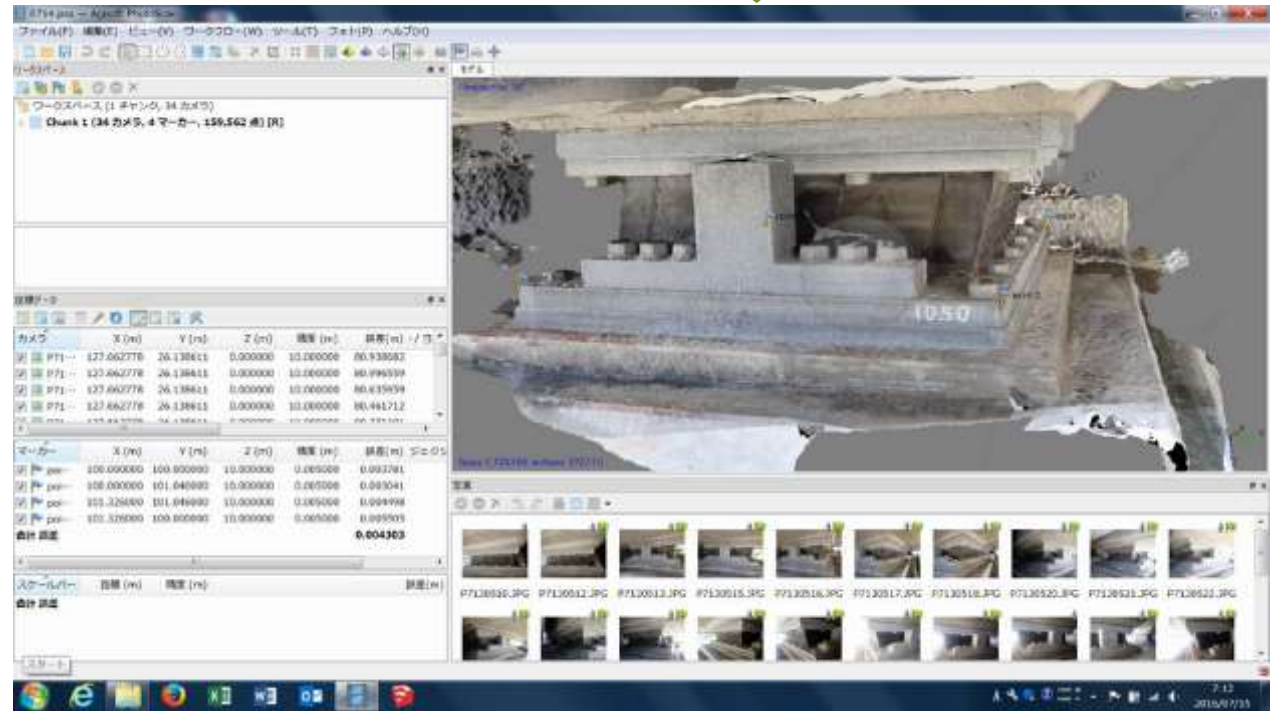
25. 支承変位調査への応用



支承部写真(全34枚から抜粋)



● 支承の変位をデジタルカメラ写真の画像解析により確認するために、支承部写真: 全34枚をPhotoScanに取り込み、3Dモデル化して実証実験を行った。



PhotoScan解析による支承の3Dモデル

26. 支承変位量の確認



SketchUpにインポートした支承の3Dモデル

●SketchUpに支承の3Dモデルをインポートし、橋軸直角方向の変位量を計測したところ、
現地での計測値: 46mmと一致した。3D化により3軸方向の定期的変位観測も可能である。

27.ひび割れ調査への応用

●コンクリートブロックのひび割れ幅を詳細に計測するために、ひび割れ写真:全9枚をPhotoScanに取り込み、3Dモデル化した結果、**スケール誤差は0.1mm**であった。

PhotoScan解析によるひび割れの3Dモデル

The screenshot shows the PhotoScan software interface. The main window displays a 3D model of a crack in a concrete block, with a ruler placed next to it for scale. The left sidebar shows the project structure, including the workspace, cameras, markers, and the 3D model. The bottom-left panel shows a table of marker data, with a red arrow pointing to the 'Scale Error' (スケール誤差) value of 0.000106m.

マーカー	X (m)	Y (m)	Z (m)	精度 (m)	誤差 (m)
point 1	0.000000	0.300000	0.000000	0.000000	0.000122
point 2	0.000000	0.400000	0.000000	0.000000	0.000124
point 3	0.000000	0.500000	0.000000	0.000000	0.000113
point 4	0.000000	0.600000	0.000000	0.000000	0.000054
point 5	0.000000	0.700000	0.000000	0.000000	0.000093
point 6	0.000000	0.800000	0.000000	0.000000	0.000094
point 7	0.000000	0.200000	0.000000	0.000000	0.000125
合計 誤差					0.000106

スケール誤差=0.000106m=0.1mm

ひび割れ写真(全9枚)

ひび割れ写真(全9枚)

28. ひび割れ幅の確認

●SketchUpにひび割れの3Dモデルをインポートし、ひび割れ幅を計測したところ、現地計測値：2.0mmとほぼ一致した。スケール誤差より**0.1mm単位での計測も可能**である。



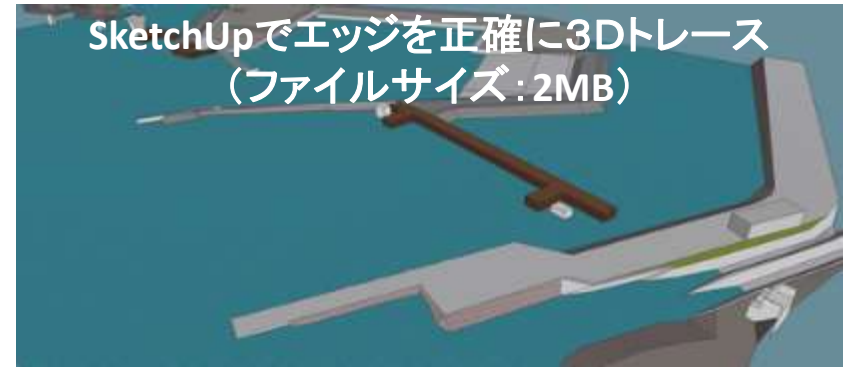
SketchUpにインポートしたひび割れの3Dモデル

29.i-Construction/CIM対応への技術開発:3Dトレース



拡大

(海の部分は波や光の影響で上手くモデリング出来ない)

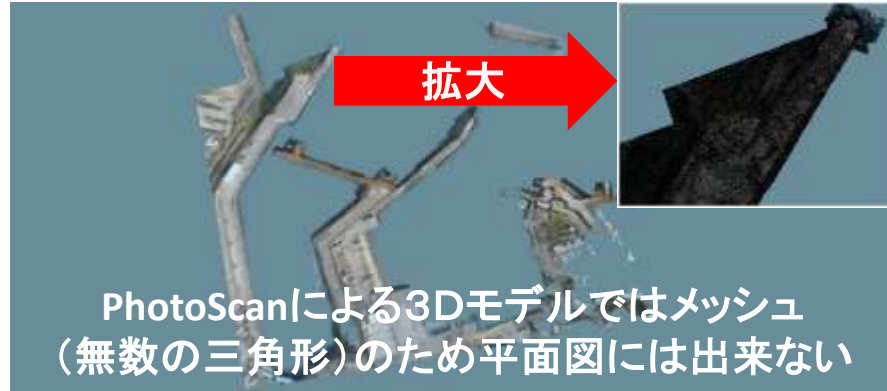


●PhotoScanで作成された3Dモデルはメッシュ(無数の三角形の集合体)であるためファイルサイズが膨大で、そのままではCIM等での活用が難しいが、エッジを正確に3Dトレースすることにより、データの軽量化と写真テクスチャーの鮮明化を図った。

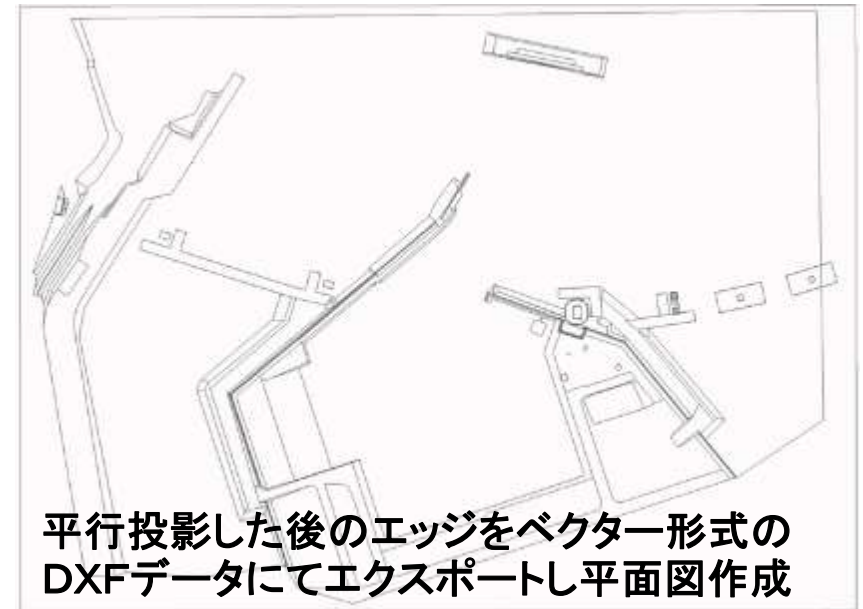


拡大

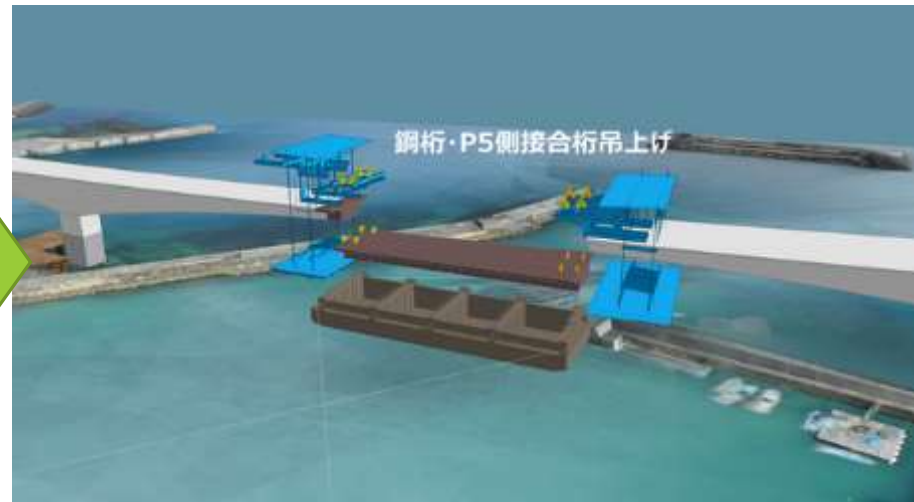
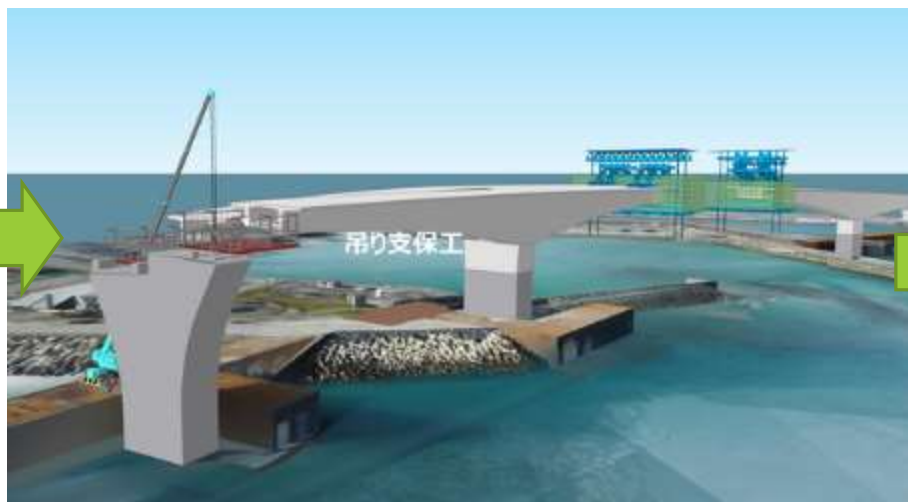
30.i-Construction/CIM対応への技術開発:2D平面図作成



●前スライドと同様にPhotoScanで作成された3Dモデルはメッシュであるため、そのままでは平面図を作成することが出来ない。ここではエッジの正確な3Dトレースにより完成した3Dモデルを上方から平行投影し、ベクター形式のDXFデータによってエクスポートすることで、2D平面図の作成が可能となった。
(「i-Construction」でのUAV等を用いた公共測量では、納品が必須となるものとして、3D測量データの他に2D現況図(平面図・縦断図・横断図)が求められている。)



31. 施工CIMでの活用事例（施エイメージ動画作成）



32.施工CIMでの活用事例(工事完了後イメージパース)



i-Constructionが順次拡大しているスピードからは国交省の本気度を実感します。
ドローンや3D-CADの建設業への導入は、建設現場での生産性を画期的に向上すると共に、全国的に不足している若手技術者にとって、大きな魅力を感じる技術革新であるかもしれません。今後もこれらのテーマの新たな技術開発と、幅広い有効活用を目指して努力していきます。
御清聴、ありがとうございました。 鈴木 浩一