

# 既存のLPデータによる3次元設計について

平尾 亮二<sup>1</sup>・岩尾 憲一郎<sup>2</sup>・松本 秀一<sup>3</sup>

1/2/3九州地方整備局 遠賀川河川事務所 管理課 (〒822-0013 福岡県直方市溝堀1丁目1-1)

建設産業に従事する労働者の減少や高齢化は、社会基盤の整備や維持管理を困難な状況にしています。遠賀川流域でも建設団体から、若手の労働者が少ない為、これまで培った技術の継承や大型機械のオペレータの育成が、出来ないという意見があがっています。

こういった現状から国土交通省は、建設現場における効率化と、魅力ある職場づくりの取り組みとして「i-Construction」を推進しています。遠賀川河川事務所でも、取組の一環としてICT技術を活用した3次元測量・設計・施工を行っています。さらにこの取り組みを推進する為、既存のLPデータを用いた3次元設計を検討したので、この事について報告します。

キーワード i-Construction, LPデータ, 3次元設計, UAV, 国土技術研究会

## 1. 課題

ICT技術の活用にあたっては、予算確保が課題となります。近年では、ICT技術の活用や現場環境改善により工事費用が年々増加しています。

ICT施工の河川掘削工事（約7,000万円）で試算したところ、表-1のように従来工事から約14%程度（860万円）の増額になります。

この要因として、測量がUAV等の機器で3次元計測する事や、処理するデータが多くなる事での設計費用等のコスト増加になります。施工においても、市場に多く出回っていないICT機能を保有した建設機械をリースする為、費用が増額となっています。

これらに加え、完全週休2日制の実施や熱中症対策、労務単価の上昇費用により、年々増額傾向になっています。「i-Construction」を推進する為にも、予算確保が必要となっています。

## 2. 検討方針

課題である予算の確保の為、令和元年度に地形図作成の為に計測したLPデータ（以下「既存のLPデータ」という。）を、ICT施工の着工前測量データに変わり使用する事で、測量費用のコスト削減の可能性について検討を行いました。

検討対象の工事は、今後の遠賀川河川事務所の河川整備は掘削が主になる事から、河川掘削工事を対象としました。

## 3. 測量データの計測密度

3次元設計には、地形データの精度の高さが求められます。もし精度が低ければ、工事数量に大きな誤差が発生します。この精度に一番影響を与えるのが、測量データの計測密度になる事から、既存のLPデータとICT施工の着工前測量の計測密度を確認しました。

項目	従来内容	取り組み内容	従来費用 (万円)	取組費用 (万円)	増額
測量設計費	・横断測量、築堤設計	・UAV測量or地上レーザ測量 ・3次元設計	156	310	154
施工費	・バックホウ掘削	・ICTバックホウ掘削、機器初期設定 ・施工管理費用補正	460	942	482
週休2日	-	・労務費・機械経費補正、間接経費補正	-	150	150
熱中症対策	-	・現場管理費補正	-	20	20
労務費上昇	-	・毎年1~5%上昇※3%想定	-	54	54
増額			616	1,476	860

表-1 令和2年度河川掘削工事（約7,000万円）増額事例

### (1) 既存のLPデータの計測密度

1/2500（地図情報レベル2500）の地形図を作成する為に図-1のように航空機に搭載したレーザースキャナから河川を中心に陸上部分の地上高を計測しています。

遠賀川水系は平成30年7月に既往最大の出水に受けた事や河川整備により地形が変化している事から、令和元年度に計測を行いました。1/2500の地形図を作成する為、1m<sup>2</sup>あたり1点の計測密度により業務発注を行いました。受注業者はデータの不足が生じないように実際の計測では、1m<sup>2</sup>あたり6点以上のレーザースキャンにより地上部分を測定しています。

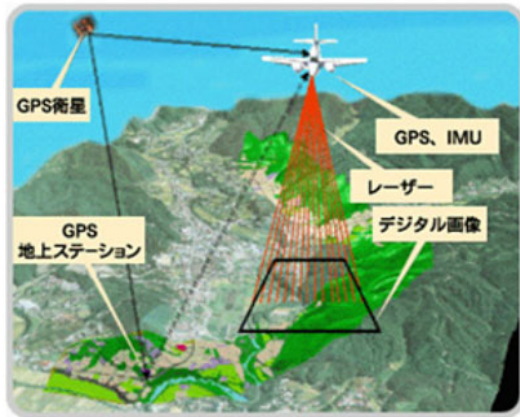


図-1 航空機による計測イメージ1より引用

### (2) ICT施工の着工前測量の計測密度

ICT施工の着工前測量は、図-2のようにUAVにより、高密度な3次元測量を実施しています。実際の工事を確認した所、1m<sup>2</sup>あたり200点以上の密度により測量を実施しています。

ドローンの性能や飛行高度により計測密度は変動しますが、航空法や風速の影響を考慮すると高度は約50m程度になり、結果として1m<sup>2</sup>あたり200点以上の密度となります。



図-2 UAVによる計測イメージ2より引用

既存のLPデータは、業務の精度を満足できるように計測密度を高めてレーザースキャンを行っている事が確認されました。ICT施工の着工前測量はUAVの飛行条件等により非常に高密度な測量が確認されました。

## 4. 既存のLPデータの3次元設計データへの適用性

続いて、既存のLPデータを3次元設計データに変換して適用性を確認しました。

### (1) オリジナルデータ

オリジナルデータは、レーザースキャン等で取得したデータを座標と標高（X、Y、Z）に変換したテキストデータになります。オリジナルデータで3Dモデルを作成すると図-3のように樹木等のレーザースキャンも含まれています。前述のとおり、既存のLPデータの計測密度は、1m<sup>2</sup>あたり6点以上になっています。

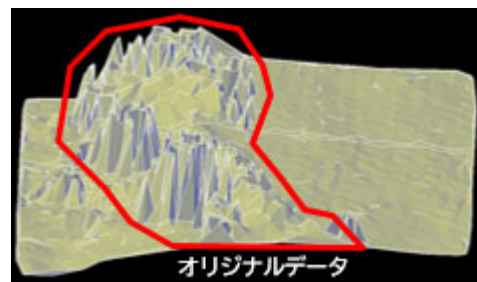


図-3 オリジナルデータの3Dモデル

### (2) グラウンドデータ

グラウンドデータは、オリジナルデータの樹木等除去（フィルタリング）を行った図-4のようなデータになります。地表面より高いデータが除外される事から図-5のような3Dモデルを作成する事ができます。既存のLPデータのグラウンドデータは、1m<sup>2</sup>あたり4点以上になっています。

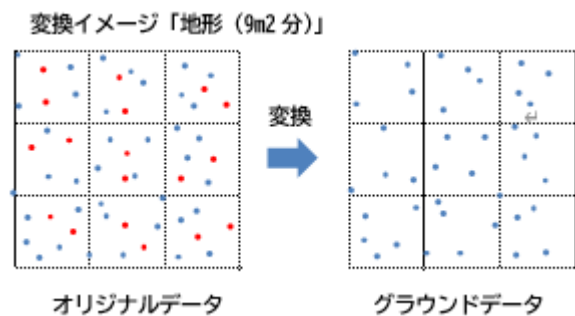


図-4 グラウンドデータへの変換イメージ

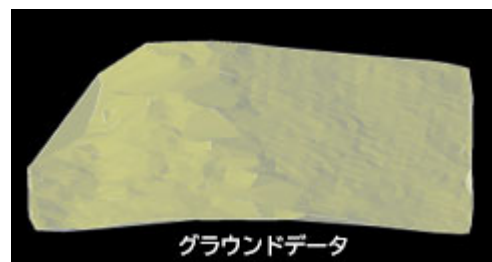


図-5 グラウンドデータの3Dモデル

### (3) グリッドデータ

グリッドデータは、地形を格子（50cm間隔※土木工事数量算出要領より）により区切った図-6, 7のようなデータであり、格子四隅の点をグラウンドデータの平均により座標・標高値を算出したデータになります。

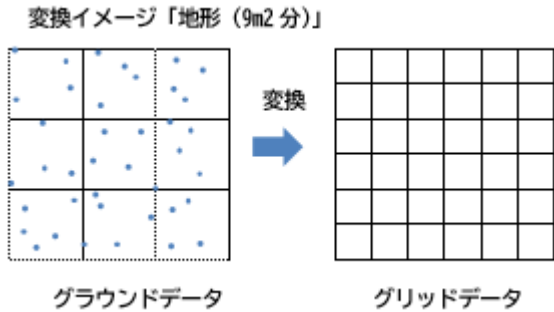
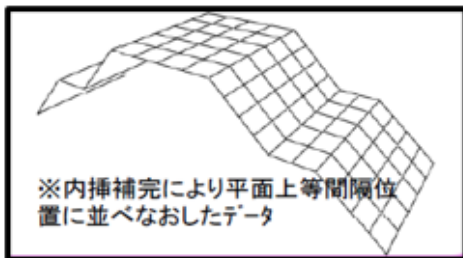


図-6 グリッドデータへの変換イメージ



グリッドデータ2)より図引用

図-7 グリッドデータのイメージ

### (4) TINデータ

TINデータは、グリッドデータを三角形で地表面を表現した図-8, 9のようなデータであり、土木工事数量算出要領の3次元CADソフトを用いた算出方法に必要なデータになります。

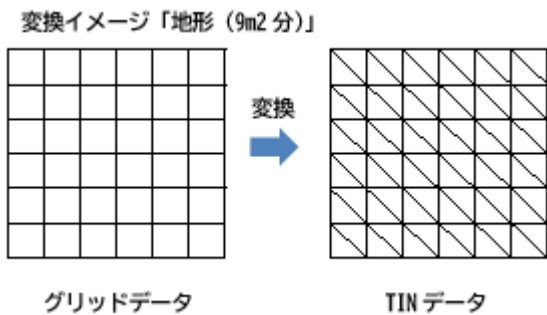
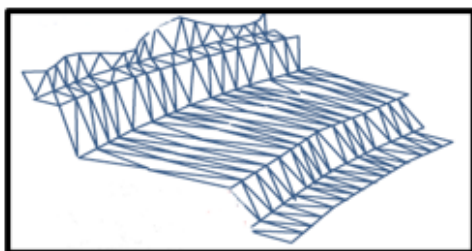


図-8 TINデータへの変換イメージ



TINデータ2)より図引用

図-9 TINデータのイメージ

ICT施工の着工前測量はUAVで高密度な計測を行ったとしても、最終的には同じように50cm格子に変換するので、既存のLPデータもフィルタリングにより正確に樹木を除外できれば、ICT施工の着工前測量と同程度の設計モデルになる可能性があります。

加えて既存のLPデータの計測密度6点以上は、3次元計測技術を用いた出来高管理要領3)でも定められている起工測量の計測密度（1 m<sup>2</sup>あたり4点以上）以上であり、このことから3次元設計データに適用しても問題ないと考えられます。

## 5. 竣工済みのICT工事で比較検討

ICT施工の着工前測量と既存のLPデータでは、測量密度が大きく違うことから工事成果による比較検討を行いました。

### (1) 工事数量による比較

既存のLPデータとICT施工の着工前測量の各々で、図-10のような設計モデルを作成して、土木工事数量算出要領にも記載のあるプリズモイダル法で、表-2のとおり掘削・盛土の設計数量を算出して数量の比較を行った結果、工事全体量に対して、掘削で3.9%、盛土で4.5%の数量差が確認されました。

工事全体量に対しては、大きな差ではないが、原因が地形全体なのか、一部の違いによるものか、さらに詳細な検討を行いました。

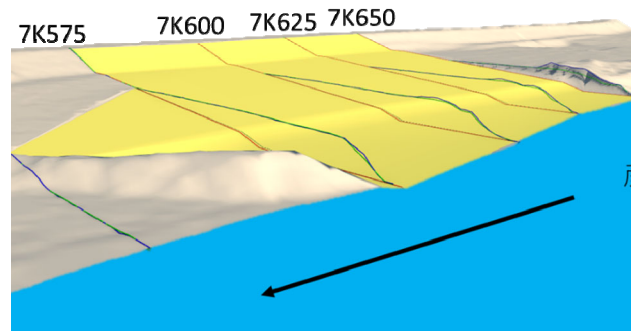


図-10 設計モデル

工種	既存のLPデータ	着工前測量	精度差
掘削	10569.9 m <sup>3</sup>	10170.1 m <sup>3</sup>	399.8 m <sup>3</sup> 3.9%
盛土	1288.7 m <sup>3</sup>	1233.6 m <sup>3</sup>	55.1 m <sup>3</sup> 4.5%

表-2 工事数量比較

## (2) 工事断面図による比較

数量の差異が、地形全体なのか、一部の違いによるものかを検討する為に、4断面の重ね合わせ図により、地形の確認及び定量的な比較する為に地表高比較を行いました。

この結果、図-11と表-3のとおり7k575、600、625の3断面は重ね合わせ図及び断面積の大きな違いは確認出来ませんでした。標高差は、3mm~22mmの差異であり、UAV測量基準±100mm以内で測量誤差といえる程度でした。7k650の断面は、高水敷は他の断面と同様に大きな違いは確認出来ませんでした。河岸際で地表高が+1,405mmと大きい差が確認されました。

この事から、全体の違いではなく、7k650の河岸際の違いより、数量の差異が発生していると考えられます。

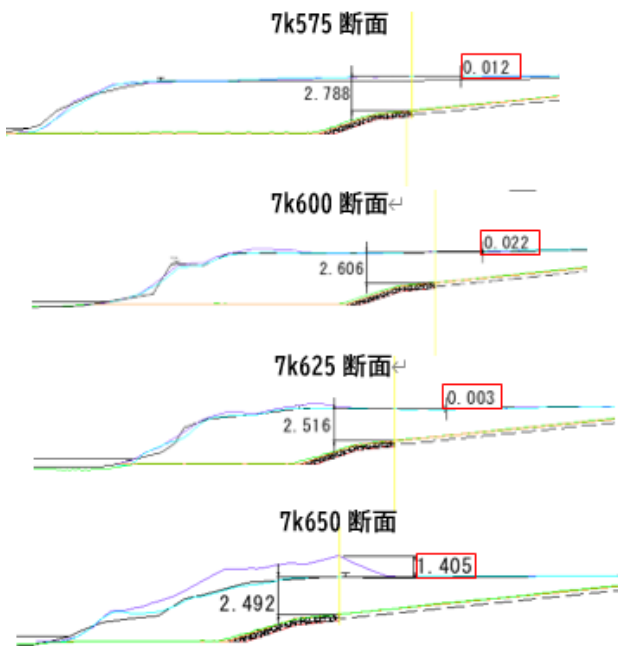


図-11 重ね合わせ横断面図

掘削断面

距離標	既存のLPデータ	着工前測量	精度差	
7 k 575	149.5 m <sup>2</sup>	149.5 m <sup>2</sup>	-0.1 m <sup>2</sup>	0.0%
7 k 600	130.6 m <sup>2</sup>	127.9 m <sup>2</sup>	2.6 m <sup>2</sup>	2.1%
7 k 625	101.7 m <sup>2</sup>	97.9 m <sup>2</sup>	3.7 m <sup>2</sup>	3.8%
7 k 650	90.5 m <sup>2</sup>	74.9 m <sup>2</sup>	15.6 m <sup>2</sup>	20.9%

表-3 掘削断面積比較

## (3) 航空写真、3Dモデルによる比較

数量への影響が大きかった7k650の河岸際を確認する為、それぞれの測量時点の図-12の航空写真と図-13の3Dモデルで比較しました。この結果、既存のLPデータ測定時は、樹木が河岸際に繁茂しており、ICT施工の着工前測量前に樹木を伐採していることが確認されました。航空写真からも特に樹木が繁茂している7k650河岸際は

測量に影響を与えていると考えられます。グラウンドデータで作成した3Dモデルで比較しても地表面がICT施工の着工前測量と比較して高い事が確認されました。

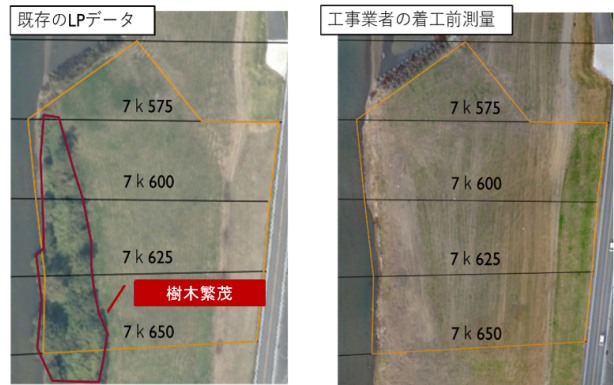
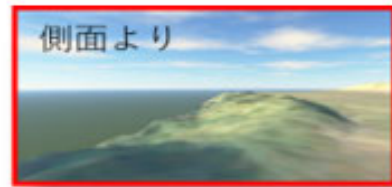


図-12 航空写真

既存のLPデータ



工事業者の着工前測量



図-13 河岸際3Dモデル

## (4) 令和元年度ICT施工の工事4件による検討

これまでの検討により、1件の工事で樹木影響が確認されましたが、更に令和元年度発注のICT施工工事3件を加えて表-3のとおり検討しました。

	既存LPデータ	着工前測量	数値	精度差
事例工事① (樹木範囲が一部)				
掘削	10,569.9m <sup>3</sup>	10,170.1m <sup>3</sup>	399.8m <sup>3</sup>	3.9%
盛土	1,288.7m <sup>3</sup>	1,233.6m <sup>3</sup>	55.1m <sup>3</sup>	4.5%
事例工事② (樹木範囲がない)				
掘削	9,627.3m <sup>3</sup>	9,681.0m <sup>3</sup>	-53.7m <sup>3</sup>	-0.6%
盛土	3,773.5m <sup>3</sup>	3,856.6m <sup>3</sup>	-83.0m <sup>3</sup>	-2.2%
事例工事③ (樹木範囲が大部分)				
掘削	12,627.1m <sup>3</sup>	10,334.7m <sup>3</sup>	2292.4m <sup>3</sup>	22.2%
盛土	施工なし			
事例工事④ (樹木範囲が一部)				
掘削	7,751.9m <sup>3</sup>	7,106.0m <sup>3</sup>	645.9m <sup>3</sup>	9.1%
盛土	1,732.7m <sup>3</sup>	1,639.6m <sup>3</sup>	93.1m <sup>3</sup>	5.7%

表-4 4件工事による数量比較

事例工事②の工事範囲に樹木が含まれていない場合は、工事全体の数量差-0.6%~-2.2%で数量差が非常に少ない結果となりました。一方、樹木が大部分を占める事例工事③では、数量差22.2%、樹木範囲が一部の事例工事①④でも3.9%~9.1%と樹木の影響が確認されました。

**a) 事例工事②（樹木範囲がない）**

図-14のような工事範囲に樹木が含まれていない工事は、表-5のように数量の差異が非常に少なくなります。

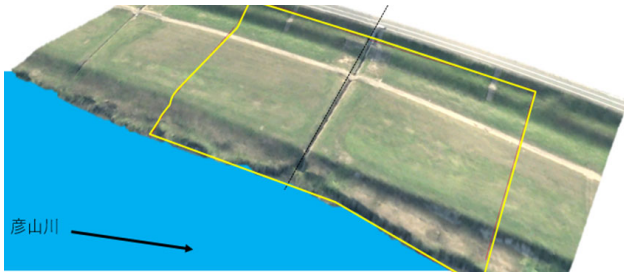


図-14 事例工事②の航空写真

掘削断面

距離標	既存のLPデータ	着工前測量	精度差	
0 k 950	57.5 m <sup>2</sup>	57.3 m <sup>2</sup>	0.2 m <sup>2</sup>	0.3%
1 k 000	74.0 m <sup>2</sup>	74.2 m <sup>2</sup>	-0.2 m <sup>2</sup>	-0.2%
1 k 050	84.1 m <sup>2</sup>	84.6 m <sup>2</sup>	-0.5 m <sup>2</sup>	-0.6%
1 k 050+20	84.1 m <sup>2</sup>	84.6 m <sup>2</sup>	-0.5 m <sup>2</sup>	-0.6%

表-5 事例工事②の掘削断面面積比較

**b) 事例工事③（樹木範囲が大部分）**

図-15のような工事範囲が河岸際で大部分に樹木が含まれている工事は、表-6のように数量の差異が大きくなります。



図-15 事例工事③の航空写真

掘削断面

距離標	既存のLPデータ	着工前測量	精度差	
23 k 850	19.3 m <sup>2</sup>	17.3 m <sup>2</sup>	2.0 m <sup>2</sup>	11.6%
23 k 900	18.2 m <sup>2</sup>	15.6 m <sup>2</sup>	2.6 m <sup>2</sup>	16.7%
23 k 950	14.5 m <sup>2</sup>	12.3 m <sup>2</sup>	2.2 m <sup>2</sup>	17.9%
24 k 000	14.5 m <sup>2</sup>	11.2 m <sup>2</sup>	3.3 m <sup>2</sup>	29.5%
24 k 050	23.4 m <sup>2</sup>	18.5 m <sup>2</sup>	4.9 m <sup>2</sup>	26.5%
24 k 100	25.4 m <sup>2</sup>	21.6 m <sup>2</sup>	3.8 m <sup>2</sup>	17.6%
24 k 150	0.0 m <sup>2</sup>	0.0 m <sup>2</sup>	0.0 m <sup>2</sup>	0.0%

表-6 事例工事③の掘削断面比較

**c) 事例工事③（樹木範囲が大部分）のフィルタリング事例**

既存のLPデータの樹木を含んでいる400m<sup>2</sup>範囲のフィルタリングを確認した所、図-16のオリジナルデータの2,756点より、図-17のグラウンドデータより河岸際の樹木の1,036点が、除去されている事が確認できました。



図-16 樹木範囲400m<sup>2</sup>のオリジナルデータ

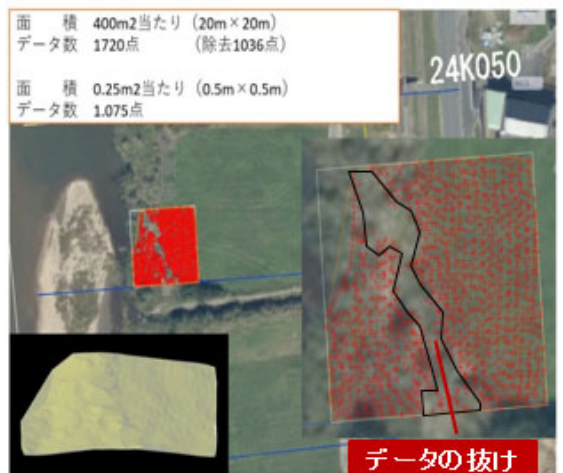


図-17 樹木範囲400m<sup>2</sup>のグラウンドデータ

4件工事により検討した結果、ICT施工の着工前測量が樹木伐採後に実施している事を踏まえても、全ての工事で樹木が影響している事を確認されました。

## 6. 樹木の影響について

### (1) 樹木範囲の確認方法

前項までの事から、既存のLPデータを3次元設計に活用する場合は、樹木範囲を確認する必要があります。確認方法として、図-3オリジナルデータの3Dモデルや図-18の航空写真により確認できます。

ただし、フィルタリングで除去できる場合もある為、どの程度、樹木が密集していたら影響するのか、検討する必要があります。



図-18 航空写真

### (2) 樹木範囲の補完方法

樹木の影響が確認できた場合は、地形データを補完する必要があります。

補完方法として、図-19の樹木を囲う地上高測量と、樹木部の横断測量により計測した地上高のデータを繋いで、図-20のような簡易的な3Dモデルを作成する方法があります。

ただし、この補完方法は、精度がどの程度なのかを、検討する必要があります。

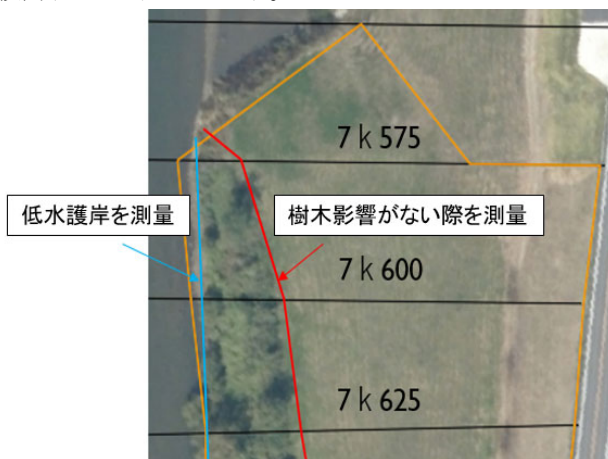


図-19 測量イメージ

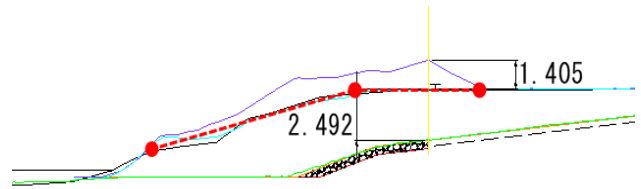


図-20 簡易3Dモデル

## 7. まとめ、今後の方針

検討の結果、既存のLPデータは、業務の計測密度に不足が無いように、起工測量基準以上の密度で計測していました。また、重ね合わせ断面図でICT施工の着工前測量と比較しても、樹木が影響しない範囲では測量誤差の範囲内でした。これらの事から、河川掘削工事の3次元設計に、既存のLPデータを活用できる可能性を確認できました。

ただし、樹木が影響する為、その範囲のデータを補完する必要があります。どの程度樹木が密集した場合に影響するのかと、簡易3Dモデルの精度について、引き続き検討を続ける必要があります。

今後の河川掘削工事において、樹木が含まれる範囲を中心に、既存のLPデータとICT施工の着工前測量のそれぞれのデータを3次元設計に使用して、検討を行う予定です。

最後に遠賀川河川事務所では、ICT施工の工事成果を河川CIMモデルに毎年度反映しており、地形データが最新版になるように更新を行っています。精度の高い地形モデルを次年度以降に引き継ぐ事により、設計や検討に活用する事を期待しております。「i-Construction」推進と共に既存のLPデータの活用や河川CIM等により、建設産業の魅力アップや職場の効率化にも貢献できるように、これらの取組を継続していきたいと考えています。

### 参考文献

- 1) 国土交通省：水管理・国土保全ホームページ
- 2) 国土交通省：ICT導入協議会資料
- 3) 国土交通省：3次元計測技術を用いた出来高管理要領