吹付法枠工におけるＩＣＴ技術の活用について

板倉　勇介

兵庫県　土木部　総合治水課　（〒650-8567兵庫県神戸市中央区下山手通5-10-1）

近年，工事現場での生産性向上や品質確保を目的としたICT活用工事が幅広い分野で取り組まれており，兵庫県では2020年7月からICT法面工（吹付法枠工）を導入している．しかし，現状現地合わせによる施工を行っている法枠工の3次元設計データを作成することは難しく，3次元起工測量に基づく設計値は，従来通りの巻き尺計測による2次元図面によって定めている．

本論文では，起伏の多い自然法面対策を行った急傾斜地崩壊防止工事（朝来市和田山町寺谷地内）の吹付法枠工において，法枠工のさらなるICT化に向けた第一歩として，3次元法枠モデルを作成した取組について報告し，3次元設計データ作成への有用性について検討する．

キーワード　ICT法面工（吹付法枠工），3次元法枠モデル

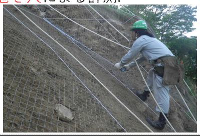
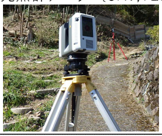
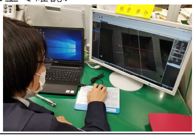
1. はじめに

吹付法枠工は工種の性質上，ほとんどが急な斜面上での作業となり，ICT法面工（吹付法枠工）（以下，ICT法枠工）導入以前は，全ての工程を作業員による手作業で行っていたため，転落や滑落等，常に危険と隣り合わせの工法であった．こうした背景から，作業効率の向上や災害リスクの低減を目的にICT化が進められている．

しかし，現地法面の凹凸に合わせて施工する吹付法枠工では，法枠形状の3次元設計データを作成することが難しく，「3次元計測技術を用いた出来形計測要領（案）[1)]」においても，「法枠工の出来形計測時に用いる設計値は従来通りとし，3次元設計データの作成は必須としない（P.18）」とされている．

そこで本論文では，近年開発が進んでいる「法枠計画支援ソフト[2)]」を応用し，法枠工の3次元設計及び出来形管理への先駆けとして，3次元法枠モデルの有用性や今後の展望について述べる．

表-1　取組概要

項目	通常（ICT法枠工）	今回（ICT法枠工）
①起工測量	・UAV等による3次元起工測量.	
②割付検討　測量・計測	・ロープによる芯出し. ・巻き尺による計測. 	・ロープによる芯出し. ・TLS測量により点群データを取得.
③施工図作成	・2次元図面の作成.	・3次元法枠モデルの作成. ・モデルを施工図として活用.
④監督員立会　割付確認	・現地でロープ位置を確認. ・必要に応じて巻尺計測. ・斜面周辺からの目視確認.	・目視確認できない場所も3次元モデルにより確認. ・任意箇所をPC上で計測可能.
⑤施工	・手作業による施工.	
⑥出来形測量　出来形確認	・3次元点群データ（UAV,TLS等）をPC上で確認. 	
メリット	・従来からの施工図作成方法であり，多数の実績がある.	・施工図作成時の法面作業が不要. ・施工前に3次元の完成イメージが持てる.
デメリット	・法面計測作業が必要. ・施工時に2次元図面から3次元形状を予測する必要があり，理解に個人差が生まれる.	・3次元モデルに関する専門知識の習得や専用ソフトの購入が必要.

2. ICT法枠工の現状と課題

現在，法枠工におけるICT技術は，主に起工測量と出来形測量で活用されている．（表-1，①⑥）具体的には施工前にドローン（以下，UAV）等による3次元起工測量を行い，設計図との整合を照査する．そして施工後の完成した構造物に対し，UAVや地上型レーザースキャナー（以下，TLS）測量により3次元点群データを取得し，PC上で出来形確認を行う．これらのICT機器を用いた測量により，斜面上での計測作業が減り，安全性の向上に繋がっている．しかし，起工測量後の現地法面に合わせた施工用図面（以下，施工図）は，従来どおり作業員がロープにぶら下がりながら危険の伴う巻き尺計測により2次元図面を作成しており，ICT技術を活用できていない．

（表-1，通常②③）また，最新の「法枠計画支援ソフト」を用いて3次元モデルを作成した場合においても，完成イメージの共有や概算数量の算出はある程度可能であるが，実施工における施工図としては現地との乖離が大きく，まだ活用できていないのが現状である．

3. 吹付法枠工における3次元法枠モデルの作成

(1) 今回の取組概要

今回ICT法枠工を実施するにあたり，これまでICT技術を活用できていなかった施工図作成において，ICT機器による測量を試みた．さらに，取得した3次元点群データを基に「法枠計画支援ソフト」を応用し，より詳細な3次元法枠モデルの作成に試行的に取り組み，施工図及び出来形管理を行うための設計データとして活用可能か検証した．今回は，受注者及び下請け測量業者協力のもと，急傾斜地崩壊防止工事の吹付法枠工A＝166m2を対象に検証を行った．

通常の ICT 法枠工と今回の取組概要を表-1 に示す．起工測量（①）と出来形測量（⑥）については，通常取り組まれている ICT 機器を用いた測量を実施した．割付検討（②）についても，今回は 3 次元法枠モデルの作り込みに重点を置いたため，従来通りロープ等を用いて設計条件に基づく概ねの法枠配置位置を斜面上に明示（以下，芯出し）した．相違点としては，通常であればその後，ロープ間隔や梁の位置などを巻き尺により手作業で計測し，2 次元展開図等の施工図を作成するが，今回は巻き尺による計測は行わず，TLS 測量を実施し 3 次元法枠モデルを作成した．そして，その 3 次元法枠モデルを施工図として実際に施工を行い，梁の割付確認や材料発注などの施工管理に活用した．

(2) 3次元法枠モデルの作成方法

3次元法枠モデルの作成は，以下の手順により行った．

①ロープによる芯出しまで行った斜面に対してTLS測量を実施し，3次元点群データを取得する．

↓

②取得した点群データからロープ位置をトレースし，法枠配置位置を決定する．（図-1）

↓

③トレース線から法枠の交点位置を抽出し，交点のポイントと地山の点群をすり合わせ，交点間を繋いだ枠形状を作成する．（図-2）

↓

④平面図、横断図、展開図間で設計条件との整合を図りながら，梁1本1本を調整し，現況地形に合わせた3次元法枠モデルに仕上げる．（図-3）

3次元法枠モデルは，単に芯出しを行ったロープを立体的に表現した訳ではなく，ロープ位置を目安に設計条件と現況地形に合わせたモデリングを行った．

今回の場合，枠断面300×300(mm)，枠スパン1,500×1,500(mm)を基本とし，法枠交点は地山と接するよう作成した．

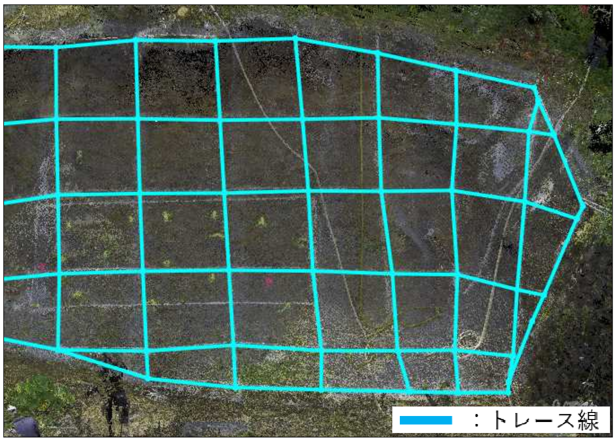


図-1 ロープ位置トレース図

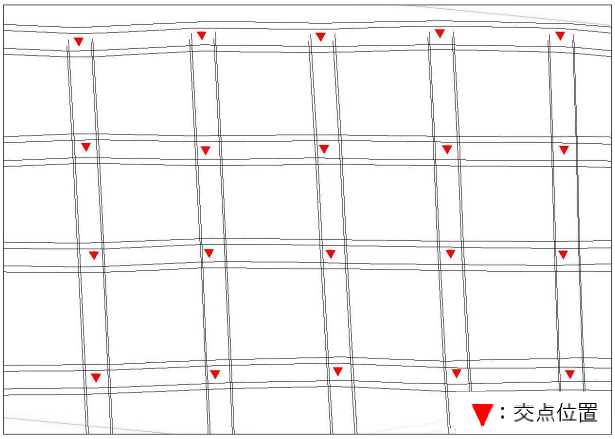


図-2 交点位置抽出図

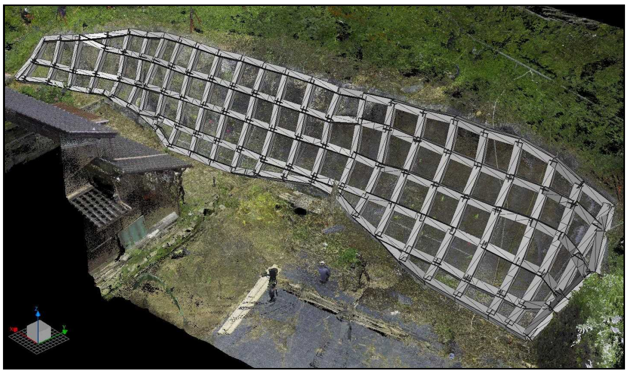


図-3 3次元法枠モデル

(3) 3次元法枠モデルと出来形点群データとの比較

作成した 3 次元法枠モデルの現地との整合を確かめるため，出来形点群データとの比較を行った．3 次元法枠

モデル（薄い灰色）と出来形点群データ（濃い灰色）を座標により重ね合わせた合成図を図-4 に示す．両者の重なり具合から，一部斜面の凹凸が大きかった区間で差異が見られたものの，全体的な法枠配置位置や梁の延長，端部の施工状況に関しては概ね一致していた．各全体数量で比較しても，表-2 のとおり大きな開きはなかった．特に，写真-1 のような斜面の勾配変化が少ない区間では，交点位置のずれが 10cm 程度であり，法枠工枠中心間隔の出来形管理基準が±10cm であることを踏まえると十分現地と整合がとれているといえる．（図-5）一方，実際の施工において，現場状況から枠厚さを 300(mm)以上確保した場所や交点間で地山に沿って折れを設けた箇所については差異が生じた．（図-6）

原因としては，モデル作成時に交点間を直線で繋いだことや，枠断面，枠スパン等の設計条件を反映させることにこだわりすぎたため，現場合わせによる施工とのずれが大きくなったと考えられる．起伏の多い自然斜面の場合，どうしても写真-2 のような法枠の屈曲・湾曲部が生じ，3 次元法枠モデルと完成した法枠は完全には一致しなかったが，交点間の梁 1 本 1 本を調整しモデルを作成したことで，概ね現地との整合が図れており，3 次元法枠モデルを施工図として活用することは十分可能であった．

表-2　数量比較表

項目	3次元モデル	出来形	差
面積（m2）	162.4	168.1	＋5.7
外周枠長（m）	75.6	74.6	－1.0
横枠長（m）	98.1	95.7	－2.4
縦枠長（m）	118.9	114.4	－4.5

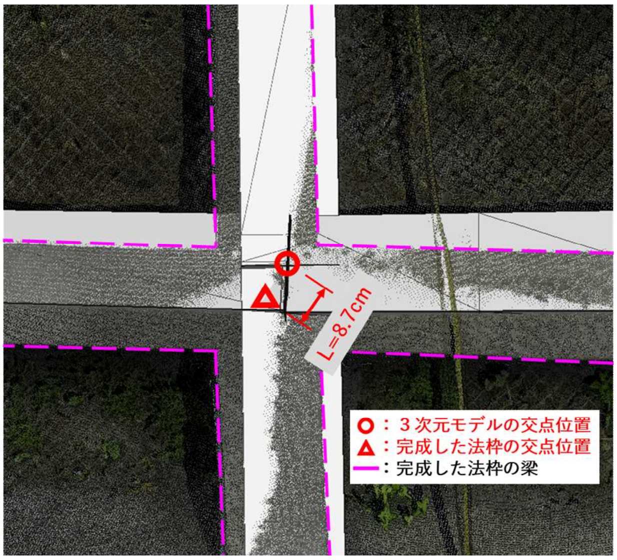


図-5　交点位置ずれ計測図

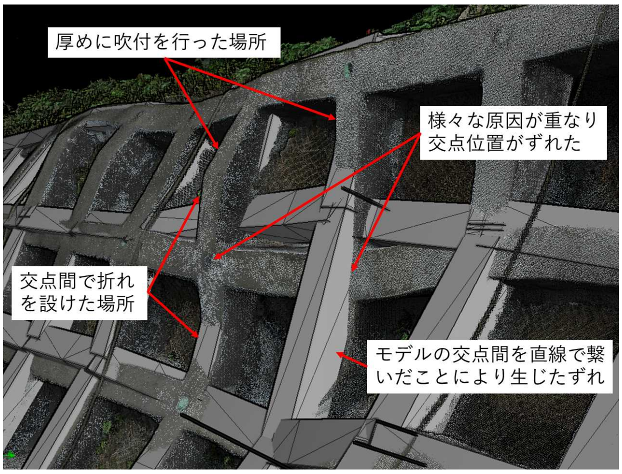


図-6　ずれ原因概要図

写真-1　法枠直線部

写真-2　法枠屈曲・湾曲部

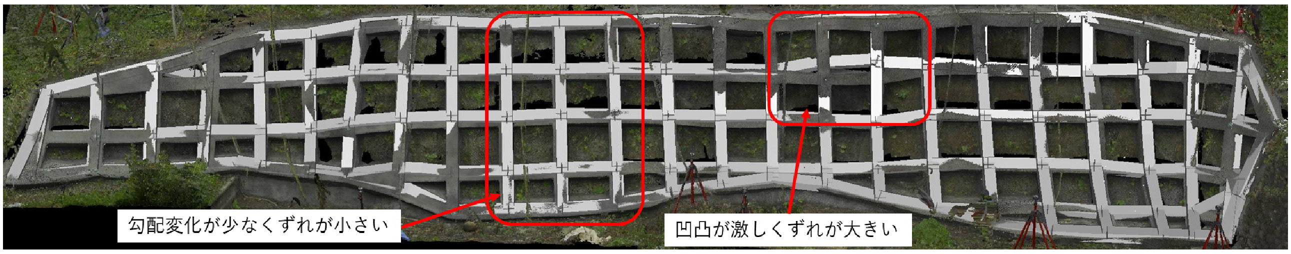


図-4　3次元法枠モデル出来形合成図

4. 3次元設計データへの有用性

(1) 3次元設計データとしての活用

3次元設計データは，設計図書を基に作成し，出来形の良否判定の基準となるものである．今回は，施工管理基準に定められた項目及び全ての枠延長の設計データとして3次元法枠モデルの活用を試みた．結果は前述のとおり，芯出し作業後のロープ位置を目安にしたにも関わらず，3次元モデルと出来形で数メートル程度の差異が生じたため，従来通り出来形を最終の設計値に反映させることとなった．以上より，今回の方法では，3次元法枠モデルを最終の設計値（3次元設計データ）として3次元出来形管理を行うことは困難であった．

(2) 施工管理への対応

今後，3次元法枠モデルを設計値として施工管理を行うためには，以下のような課題を解決する必要がある．

a) 斜面の凹凸、法枠の屈曲・湾曲

現況地形に沿った梁の屈曲，湾曲部への対応として，今回使用した「法枠計画支援ソフト」では，交点間を直線で繋ぐことで梁1本1本の調整を可能としたが，今後は，斜面の凹凸も踏まえて湾曲形状で微調整ができるよう機能を改善する必要がある．

今回は図-7に示すとおり，交点位置が地山と接するよう調整したが，斜面の凹凸により特に梁の中間部において現地との乖離が大きく生じた．現時点での対応策としては，地山の点群データの凹凸に合わせて，調整が可能な短い直線モデルを繋ぐことで，より起伏を反映した3次元法枠モデルが作成可能と考える．

b) 吹付厚さ

今回は，法枠の吹付厚さを全て設計値の300(㎜)として3次元モデルを作成したが，実際の施工においては，縦梁と横梁の枠スパンの調整により梁を厚めに吹付けた箇所が存在したため，3次元法枠モデルとの間に差異が生じた．

今後は，図-8に示すように交点位置を調整するため，部分的に任意で吹付厚さを設定できるようソフトの機能改良も含めて対応する必要がある．

(3) 今後の展望

上記の課題を改善し，3次元法枠モデルの詳細な作り込みが可能となれば，3次元モデルに各施工段階の3次元データを重ね合わすことで，視覚的に法枠位置のずれなどが判断でき，法枠工の出来栄え向上に繋がることが期待できる．また，今回斜面の勾配変化が少ない区間では，出来形とのずれが小さかったことから，図-9に示すような切土法面への法枠工においては，3次元モデルでの設計，出来形管理が実現可能であり，将来的にはICT土工と関連づけ，最新のICTツールを応用することで，ロープによる芯出し作業の簡素化が可能と考える．

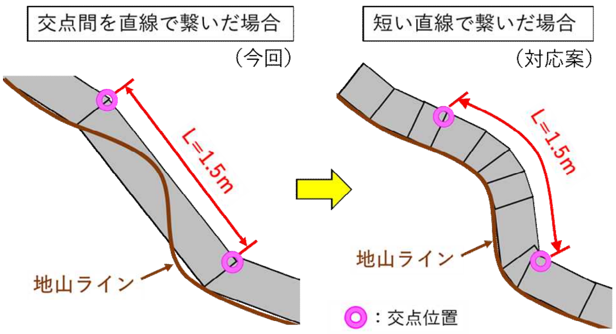


図-7　屈曲・湾曲部法枠モデル模式図

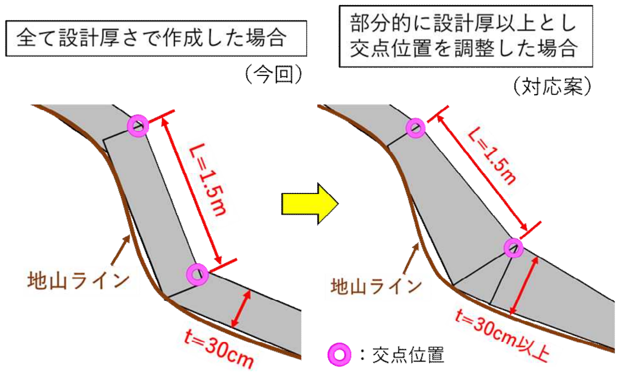


図-8　吹付厚さ法枠モデル模式図

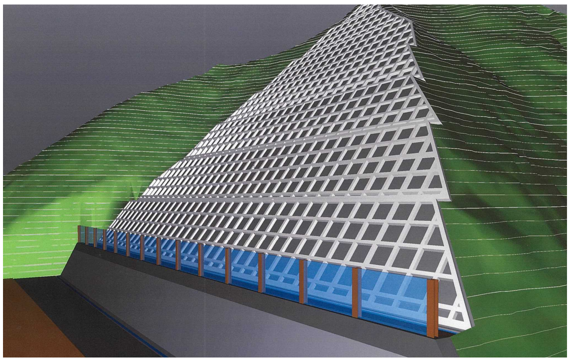


図-9　切土法面の3次元法枠モデルの例

5. おわりに

今回の取組は，現状難しいとされていた自然法面対策における法枠工の3次元設計データ作成に対し，試行的に3次元モデリングに挑戦したものである．本論文においても多くの課題が浮き彫りとなったが，今後の技術発展の一助となるよう努めていきたい．

参考文献

1) 国土交通省：3次元計測技術を用いた出来形計測要領（案）（令和2年3月）
2) 3次元モデルを利用したBIM/CIMコミュニケーションシステム TREND-CORE 法枠計画支援プログラム（オプション）

※本論文の内容は，従前の所属である兵庫県但馬県民局養父土木事務所河川砂防第2課における業務に基づくものである．