

情報化施工による森林作業道の作設技術体系

試験研究計画名：作業道の情報化施工に関する実証研究

地域戦略名：作業道の情報化施工による労働生産性の向上

研究代表機関名：（研）森林研究・整備機構

地域の競争力強化に向けた技術体系開発のねらい：

森林作業道は、安全・効率的な木材生産や森林管理に欠かせない森づくりの基盤です。この作業道の作設には、高度な知識や経験、施工に関する専門的技術を要するだけでなく、計画から施工、完成後の測量までに多くの人員を必要とします。そのため、技能レベルによらずに一定の効率や質を実現する支援システムとともに、作設作業全体の作業効率を向上することが求められています。そこで、作業道における一連の作業工程に情報化施工の技術を適用することで、作設にかかる生産性（作設された作業道延長（m）を全作業に要した人工数（人日）で割った値）を1割以上向上することを目的として開発を行いました。

情報化施工とは、GNSS（衛星測位システム）や、トータルステーションなどの測量器械からデジタルデータを取得し、これらを測量、設計、施工、維持管理などに活用して生産性や正確性を向上するものです。（写真1）。



写真1 トータルステーションによるショベル位置の計測

技術体系の紹介：

作業道の作設は、現地踏査、路線選定、施工（掘削・締固め）の順に行い、必要に応じて完成後に出来形測量を行います。情報化施工では、路線設計ソフト（FRD）を使用して路線選定を行っていますが、その他の工程は通常の作設作業と同様です。ここでは、上の工程のうち、今回開発した下線部分の技術について順に解説します。

1. 掘削作業のガイダンス

掘削作業をガイダンスするためには、バケットの位置や角度をリアルタイムで把握し、設計図や周辺地形と重ね合わせてモニタに表示する必要があります。そのため、油圧ショベルの位置を測定するためのプリズムと、バケットなどの角度や上部旋回体の方位角を測るセンサ（IMU・慣性計測装置）を取り付けました（写真1、図1）。ショベル位置を計測するためには、GNSSを用いた方がシステムを簡易にすることができますが、施工現場の環境ではGNSS測位精度が悪くなることを考慮し、トータルステーションを使用することとしました。これらのセンサによってバケットの位置をキャビンのモニタで確認することができ（図2）、設計図の中の掘削したい場所を掘削することができます。



図1 システムの概要

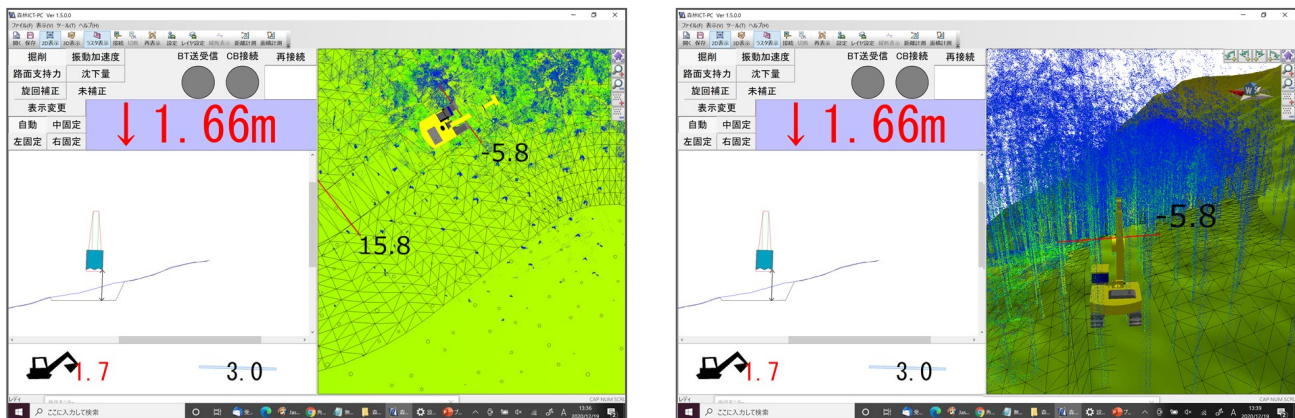


図2 ガイダンスモニタ（左：2D表示，右：3D表示）

2. 締固め作業の評価システム

路面の締固めは主にショベルの走行によって行いますが、この作業をガイダンスするため、締固め程度を評価する三種類の機能を開発・装備しました。

まず、路面支持力の計測装置です（図1、写真2）。これは載荷試験装置による計測方法を応用したのですが、載荷はショベルの油圧で行い、路面沈下量の計測は装置のプリズムをトータルステーションが視準することで行うため、キャビン内にて計測操作および計測値の確認ができます。路面支持力値を直接計測することで締固めの確認を行うことができます。

次に、走行時の沈下量を計測する機能です。ショベルのプリズムの高さを走行前後で比較することで計測します。そのため、同一箇所の繰り返し走行における2回目以降の走行から計測値を得ることができます。締固めが不十分な間は走行による沈下量が大きいため、この値が小さくなるまで締固めを行うことで必要十分な締固めを行うことができます。

最後に、締固め走行時の振動加速度を計測する機能です（図1、写真3、図3）。路面の硬軟によって走行時の振動加速度に特徴が表れるため、これを油圧ショベルに応用しました。走行しながら判定することで、締固め不足箇所を抽出することができます。



写真2 路面支持力計測装置



写真3 振動加速度計測装置

3. 簡易な出来形測量手法

施工後に出来形測量を行う場合は、コンパス測量や横断測量を二人で行うのが一般的です。本開発では一人作業を可能とするため、撮影した画像を用いて三次元の点群モデルを作成する技術（SfM・多視点ステレオ写真測量）を利用し、必要な図面を作成しました。SfMで

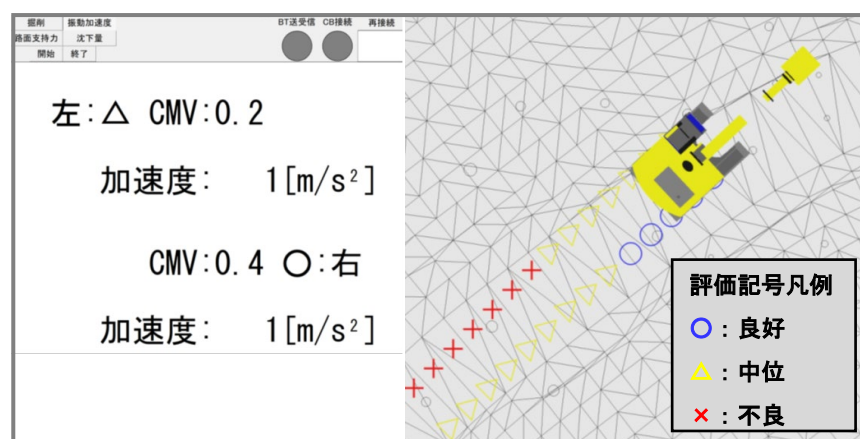


図3 振動加速度による路面締固めの評

は、画像がオーバーラップするよう多量の画像を撮影しなければなりません。これを効率よく行うため、動画から静止画を抜き出すことで効率的に撮影できることが分かりました。家庭用のビデオカメラ（4K 画質）で作業道を2往復撮影し、作成した点群から横断面図を作成したところ、据置型地上レーザ計測から得た高精度の横断面図と変わらない精度で図面を作成することができました。

技術体系の経済性は：

経営改善効果

支障木伐倒を含む作業道作設作業（掘削、締固め、路面・のり面の整形作業）について、初心者および熟練者のオペレータを対象として生産性（1時間あたりの作設延長）を計測すると、どちらのオペレータでも通常施工に対して生産性が約1割向上しました（図4）。また、作設作業だけでなく路線設計から掘削、出来形測量までの一連の生産性についても、同様に約1割向上しました（図5）。

従来の作業道作設作業では、締固め作業を評価するための計測などは行っておりませんが、今回開発した情報化施工システムではこの評価を簡易かつ迅速に行えることがメリットとなっています。そこで、これを加味した条件でも生産性を比較してみました。従来の締固め評価手法として、一点載荷試験、簡易貫入試験、沈下量の人力による計測（水系+コンベックス）を行いながら作設する場合と、開発したシステムで評価しながら作設する場合で一連の生産性を比較したところ、開発したシステムでは約5割向上しました（図6）。このシステムを活用することで、適切な締固めによって十分な強度を付与することが可能となり、効率だけでなく品質を向上する作設を実現します。

作設費についても検討しました。まず、従来の作設における費用を、人件費

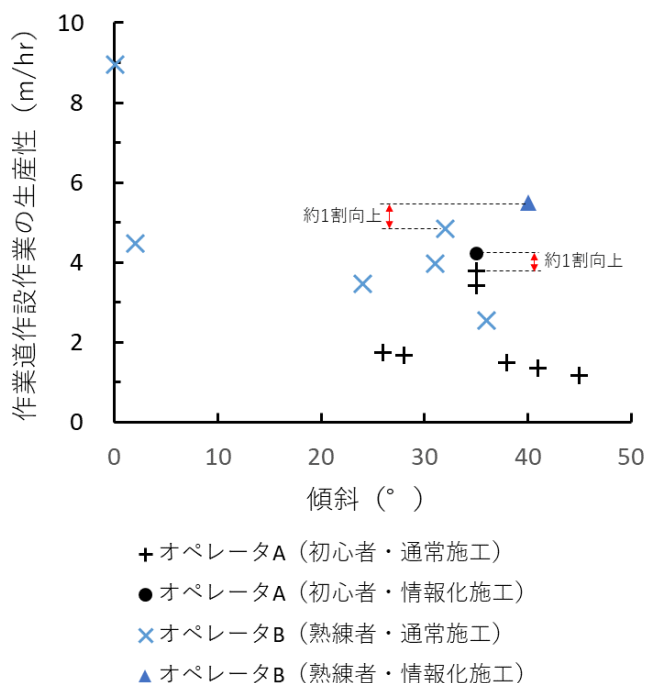


図4 作業道作設作業の生産性

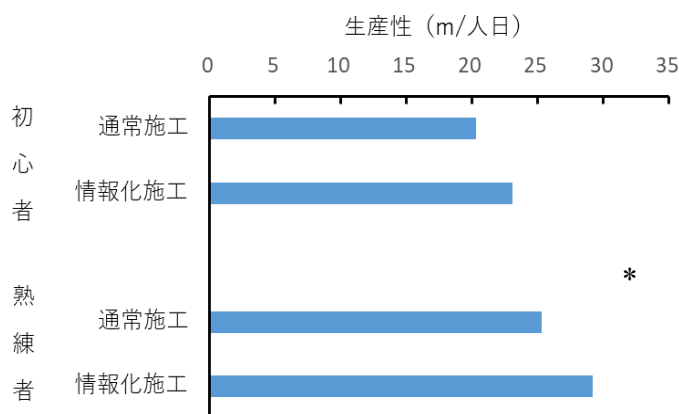


図5 情報化施工による作業道作設の生産性

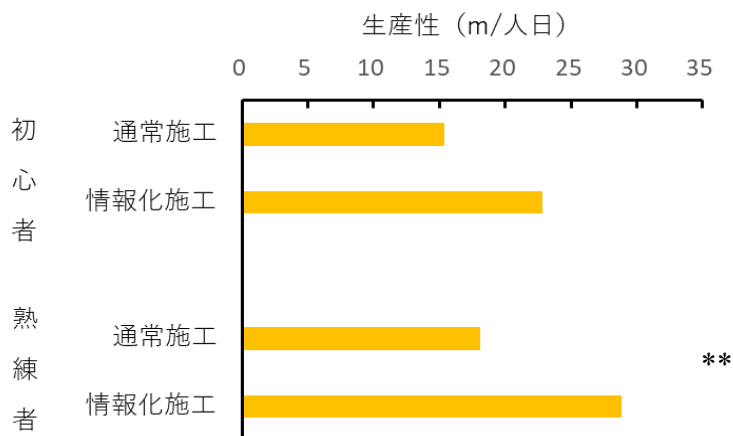


図6 情報化施工による作業道作設の生産性（締固め評価時間を含む）

18,000 円/日、ショベルの減価償却費・管理費 10,000 円/日、燃料費 2,500 円/日とします。これらの合計額に図 5・熟練者・通常施工(*)の生産性を適用すると、従来の作設費が約 1,200 円/m と試算されます。情報化施工では、この他に必要な装置の価格が追加され、トータルステーションなどの測量機器 300 万円、センサ類やこれらのデータを処理するための制御装置 600 万円、ソフトウェア 200 万円とすると、耐用年数を考慮した単価が合計約 6,800 円/日と試算されます。これを追加した費用に図 6・熟練者・情報化施工(**)の生産性を適用すると、情報化施工による作設費は 1,290 円/m となります。情報化施工にすることで 1m あたりの作設費が約 100 円増となり、作設コストは低減できませんが、締固め評価による道の強度向上が期待できますので、将来の崩壊や補修の頻度を減らすことができます。これによって長期的な経済効果を見込むことができます。

経済的な波及効果

実証試験を行った長野県で波及効果を検討しました。県の施策目標では令和 4 年度の路網延長を 14,719km にするよう設定しています。令和元年度の延長（実績値）が 14,471km ですので、この不足分約 250km を情報化施工システムで作設することとします。従来の作設（図 5・熟練者・通常施工(*)）では、250km の作業道を作設するために約 9,880 人日を要します。これを情報化施工（図 6・熟練者・情報化施工(**））に置き換えることで、締固め評価による品質向上に加え、所要日数は約 8,650 人日となり、約 1,230 人日の余剰が生まれることになりました。この余剰人員を素材生産に振り向けるとすると、労働生産性約 5m³/人日のもとでは約 6,150m³の生産量が純増します。スギ・カラマツの素材（丸太）価格を平均 12,000 円/m³ とすれば経済波及効果は約 7,400 万円と見込まれます。

こんな経営、こんな地域におすすめ：

情報化施工のためには路線設計データを作成する必要があります。このために FRD を使用し、設計に必要な地形データは航空レーザデータから作成しました。事業者が地上レーザによって独自に計測してデータを作成することもできますが、計測に時間を要することや、歩行型の地上レーザ計測は足場の悪い林内に不向きであることなどから、まずは航空レーザ計測データが整備された地域から導入することをおすすめします。

技術導入にあたっての留意点：

現在のシステムでは、FRD で事前に計画した線形に基づいてガイダンスを行うこととしています。そのため、施工中に現場で線形を修正することができません。実際には、湧水などの出現や土質の状況によって線形をその場で修正することも多々ありますが、現在のシステムではまだこの修正に対応していません。今後の改修で対応できるようにしていく予定です。

また、地形データが整備されてない地域では、地上レーザ計測などを独自に行う必要があります。この計測だけでなく、地形データの作成にも専門的な知識やノウハウが必要となることから、専門のデータ処理業者に委託するなどして業務を分担して行うことが現実的といえます。

研究担当機関名：（研）森林研究・整備機構 森林総合研究所、（株）前田製作所、（株）ジツタ、アジア航測（株）、（国）岩手大学、（国）東京農工大学、長野森林組合

お問い合わせは：（研）森林研究・整備機構 森林総合研究所

電話 029-829-8377

E-mail QandA@ffpri.affrc.go.jp

執筆分担（（研）森林研究・整備機構 森林総合研究所 林業工学研究領域 鈴木秀典）