

公共通信網未整備地域における 広域対応型情報化施工の試みについて

森 英治¹ 松尾 健二²

¹前田建設工業(株) 関西支店 新名神高速道路切畑トンネル工事 (〒669-1241兵庫県宝塚市切畑字検見1-2)

²前田建設工業(株) 本店 土木事業本部 土木技術部 (〒102-8151東京都千代田区富士見2-10-2)

本報告は、山間部に位置する高速道路新設現場において、無線通信インフラに25GHzという周波数帯を利用し、複数の有線および無線LAN装置を複合的に配置することで、延長約4kmにわたるエリア内に光回線と同等の高速通信網を構築し、様々なICT機器の導入による施工の合理化のみならず、各種情報のマネジメントを可能にした事例を示す。ブルドーザの巻出し管理や振動ローラーの締固め管理、スマートフォンを利用したIP電話やTV電話、WEBカメラ、施工箇所での書類作成から安全管理までと様々な活用事例を紹介し、情報化施工のためのインフラ整備における、問題点および施工管理での今後の活用方法についてまとめたものである。

キーワード ICT, 生産性向上, 無線通信, WIPAS, マシンガイダンス, αシステム,

1. はじめに

山間部での高速道路新設工事は、施工延長が長く、また人口集中地域を避けていることもあり、携帯電話を含めた通信網が完備されていないことが多い。そのような条件下で情報化施工を行うには、通信インフラを自ら構築する必要がある。有線であれば光ケーブルやイーサネットケーブル、無線であれば無線LAN規格のアンテナ等で実施するものであるが、既存の光ケーブルのカバーエリアからの距離が遠く、延長のための工事費などのコスト等の問題で実用化がされていないのが現状であった。

本報告では、25GHzという周波数帯を利用した無線装置での通信インフラを構築、またこの通信装置を基とした、複数の有線LANおよび無線装置を複合的に配置することにより、延長4kmにわたるエリア内に光回線と同等の高速通信網を確立した事例を示す。

また、この高速通信網を利用することにより、現場内でのIP電話、WEBカメラの活用を基本とし、明かり工事でのブルドーザ巻出し管理、振動ローラー締固め管理、ダンプ入場管理、トンネル工事での坑内通信通話システム、タブレットによる現場管理などの情報化施工を実現した事例を示す。トンネル坑内と外部との通信方法は従来はメタル線を利用した固定電話を坑内の一定間隔で設置する方法が一般的である。近年、有線LANを利用した固定電話(IP電話)が普及しつつあり、WEBカメラや各種計測結果を事務所にて確認できるようになってきた。また

PHS利用した通信もできるようになっている。

情報化施工のためのインフラ整備における、問題点および施工管理での今後の活用方法についてまとめる。

2. 高速拠点間通信の整備

当作業所は事務所および施工ヤードとも、人家のほとんどない山間部に位置しており、切盛土工(約430万³m³)トンネル工(上下線延べ3982m)、橋梁下部工(橋脚11基、橋台10基)を含む暫定4車線の新名神高速道路本線工事であるため、施工延長も約4kmと広大であった。このような現場条件において、すべての工種を統括管理するためには地理的な制約を克服するために通信設備の整備が不可欠と考えた。また、本現場の明かり工事とトンネル工事のちょうど切替わり付近に事務所を計画していたことから、この施工延長内を高速通信で結ぶためには、拠点となる事務所までの光通信回線が必須であった。

近接の公共光回線拠点は現場内を縦断するように整備されていたが、事務所までは約1.6kmの離隔があった。また、山間部があるなどの地形的要因によりこの光ケーブルを延長して敷設することは困難であり、既存道路を使って迂回して光ケーブルを敷設する必要があった。

そこで、公共の光回線と事務所の間を通信するために無線方式で通信する方法を検討した。図-2-1に現場内の拠点通信エリアを示す。光回線拠点から山頂の見晴らしの良い場所までの約600mに光ケーブルを配線し、①無線拠点とした。そこから情報化施工区間の一つである②

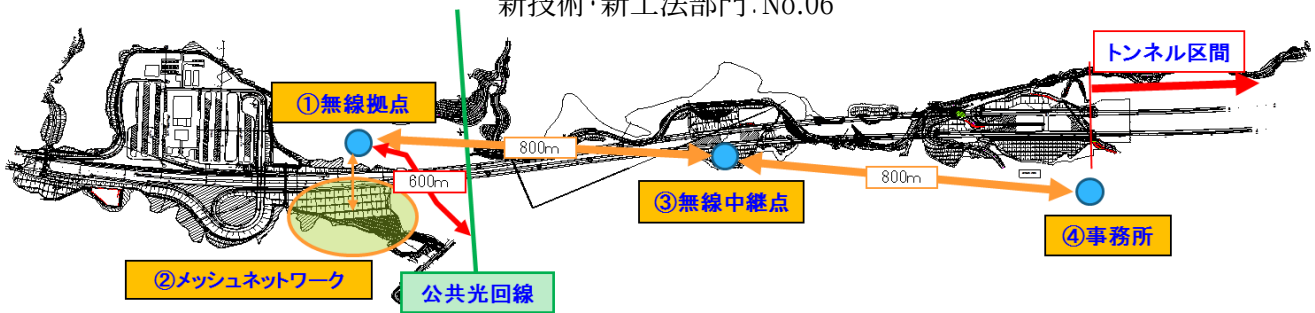


図-2-1 現場内の拠点通信計画

メッシュネットワーク区間への無線通信網を確立し、①無線拠点から③無線中継点を中継して④事務所までを無線で繋いでいく計画を検討した。この設備の中で、①無線拠点、③無線中継点、④事務所の通信において最初は市販の無線通信を設置したが、通信速度に不具合を生じたためにWIPAS¹⁾への設備変更を行った。

(1) 市販無線通信設備の設置

①無線拠点、③無線中継点、④事務所の各所に2.4GHz帯 (IEEE802.11n) を利用した市販無線通信設備を設置し、運用を行った。①無線拠点から②メッシュネットワークへの通信は問題がなかったが、情報化施工の情報を事務所の管理PCと通信を行う際には、本中継ネットワークでは最大通信速度は20Mbps程度であり、気象条件の影響も受け、データ通信の遅延や音声通話の途切れ等の不具合が発生した。

(2) 高速無線通信設備の設置 (WIPAS)

代替通信設備として、NTT社が開発した高速無線通信設備WIPAS(写真-2-1、表-2-1)を採用した。このシステムはNTT研究所が開発し、海外の広大な鉱山等の実績はあるものの国内では使用実績はあまりなく、建設業では初めての採用であった。このWIPASは25GHzというレーザー光線のような直線性を持つため(照射幅4°)、見通しがよく遮蔽物がない状態で設置する必要がある。天候不順による通信遮断(不稼働率)も懸念されたが、現在までの4年間特に大きな問題は発生していない。

中継位置は同様として、無線通信設備だけを交換することで通信速度は180Mbpsまで向上することができた。性能は光ケーブルに近いので、速度が速いだけでなく、通信も安定し、複数の大容量情報通信も可能となった。

表-2-2、表-2-3に、市販無線通信設備と高速無線通信設備の比較を示す。高速無線通信設備ではWIPAS以外にも4.9GHz帯の設備の検討も行ったが通信速度に関してWIPASほどの性能が確認できなかった。

表-2-2 市販無線通信設備

	2.4GHz帯 (IEEE802.11b/g/n)	5.6GHz帯 (IEEE802.11a/n)
距離※	約300～500m	約200～300m
スループット※ (数値は最大)	11Mbps(11b) 54Mbps(11g) 600Mbps(11gn)	54Mbps(11a) 600Mbps(11an)
電波免許	不要	不要
暗号化方式	WPA/WPA2	WPA/WPA2
メリット	・低コスト	・低コスト
課題	・周辺の2.4GHz帯 機器との干渉でスループット低下	・伝送距離短い ・気象レーダー 付近で使用不可

表-2-3 高速無線通信設備

	25GHz帯 (WIPAS)	4.9GHz帯 (IEEE802.11j)
距離※	約2～10km (気象条件による)	約50km
スループット※ (数値は最大)	180Mbps	250Mbps
電波免許	不要	必要
暗号化方式	非公開プロトコル	WPA/WPA2
メリット	・高速・高品質な伝送 ・干渉の影響を受けにくい	・比較的高速・高品質な伝送
課題	・比較的高コスト	・高コスト ・免許必要

表-2-4 通信設備整備のコスト比較

	市販無線通信設備費	高速無線通信設備費	光ケーブル延長費
コスト比	1.0	3.0	6.3

表-2-4に本工事における通信網設備工事におけるコスト比較結果を示す。市販の無線通信設備を基準にコスト比を示す。市販無線通信設備の施工費に比べると高速無線通信設備のコストは特別な周波数帯のアンテナを用いていることもありコストは3倍程度かかっているが、光ケーブルのコストに比べると半分程度に収まっている。光ケーブルは1.6kmではなく既設道路を迂回して敷設する必要もあったために施工費が高くなっている。

表-2-1 WIPAS仕様

周波数	25GHz
利用チャネル数	20CH
伝送方式	180/120/60Mbit
送信電力	3mW
セキュリティ	AES 同等
消費電力	13W以下
QoS	8クラス優先制御
サイズ	190×190×52 2kg



写真-2-1 WIPAS

3. 明かり工事における情報化施工

明かり工事には、サービスエリア（以下SA）盛土工事があり、広さは11万 m^2 、盛土最大高70m、盛土量360万 m^3 と大規模・高盛土となっている。特に高盛土部の出来形や品質への要求が高くなっており、施工時の工夫が求められている。

(1) 明かり工事の通信環境

前章の②メッシュネットワークのエリアにおいては2.4GHzと5.6GHzの両方を使用した通信システムアクセスポイント（以下、AP）をメッシュ状に配置し、盛土範囲内どこでも無線通信ができる設備を構築した。

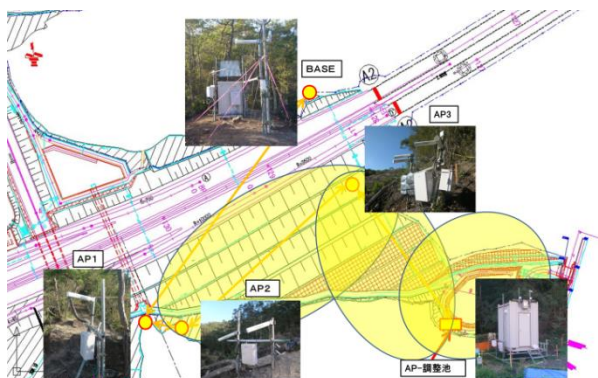


図-3-1 高盛土メッシュネットワーク配置図

(2) ブルドーザ巻出し管理（マシンガイダンス）

本工事の高盛土は法面から30～40mの幅で硬岩で盛土する設計になっており、硬岩材料の出来形の確保が品質確保の重要項目となっている。そこで、ブルドーザ巻出し管理（マシンガイダンス）を導入し、事務所パソコンとブルドーザ端末でデータを送受信し、リアルタイム監視することで確実な出来形の確保を行った。



図-3-2 ブルドーザ巻出し管理

(3) 振動ローラ締固め管理（GNSS+ α システム²⁾）

マシンガイダンスと同様に事務所からリアルタイム監視し、運搬されてくる土の土質に変更に応じて、転圧回数を瞬時に変更指示できる。また α システムは加速度応答法による管理手法であり、加速度応答値も確認しながら地盤の品質を監視した。



図-3-3 振動ローラ締固め管理

(4) ダンプ入場管理システム

盛土材料のうち、300万 m^3 は他工事からの受け入れでありすべて10tダンプによる搬入である。1日に入場するダンプ台数は約1,200台であり、そのダンプを材料ごとに盛土場まで誘導する必要があった。

この車両を効率よく誘導するため、ダンプ入場管理システムを構築した。

ダンプにBluetooth（以下BT）通信のICタグを取付け、入場ゲートにICタグ読取機設置を設置した。データ記録用PCと行先表示板上のLEDランプによる運転手への運搬先の指示を行った。



図-3-4 ダンプ入場管理システム概要図

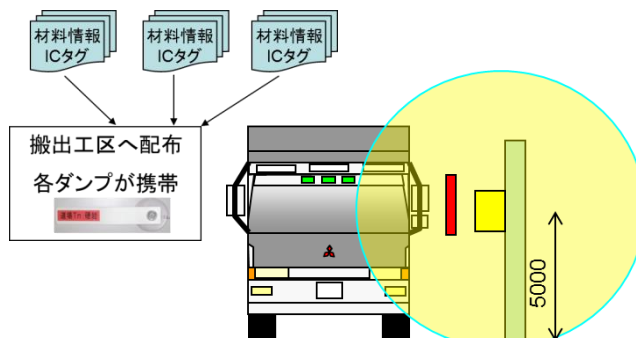


図-3-5 ICタグと読み取り装置の位置関係

ICタグは運搬する材料に応じて他工区の担当者から運転手へ配布した。助手席の窓側に装着し、データの読み取りを行った。行先指示と同時にゲートを通過するダンプとその材料が記録されているために、事務所PCでの運搬のサイクルタイムの分析や工区別、材料別の数量の記録から運搬帳票の作成を自動で行った。

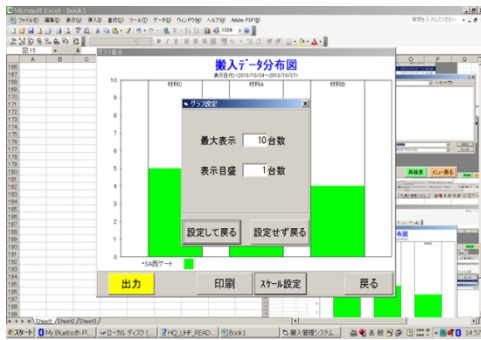


図-3-6 入場管理データ分析例

ダンプに取り付ける電源の不要なICチップは大量に配布でき、安価で通信距離も長いものを選定し、BTの電波を使用した。ICタグの読み取り精度に課題を残したため、今後の改良点となった。

(5) WEBカメラ・気象観測装置

高盛土の法尻側にWEBカメラを設置、盛土の挙動監視と地下排水工の排水状況確認を行った。カメラは事務所パソコンのみでなく職員のスマートフォンでも遠隔操作ができ、異常時職員誰もが盛土の状況を確認できる。

また、気象観測装置も設置し、盛土箇所の気象も事務所にて把握した。



図-3-7 WEBカメラ画像（タブレット画面）

4. トンネル工事における情報化施工

本トンネル工事は、上り線(1,975m)、下り線(2,007m)のNATMトンネルであり、上下線の施工が並行して進んでいくことから、坑内の人員管理も含め施工管理が難しく、情報の一元管理が課題となっていた。

(1) トンネル工事の通信環境

当現場では坑内の通信線として有線LANを敷設、そこから200m毎に固定電話を設置した。また、固定電話には無停電装置、600m毎にバックアップ（以下、BP）の位置付けでAPを設置した。坑内全域において有線と無線BPアンテナによるネットワークを構築した。このネットワークにアクセスできるスマートフォンを職員及び職長が携帯する。（図-4-1）

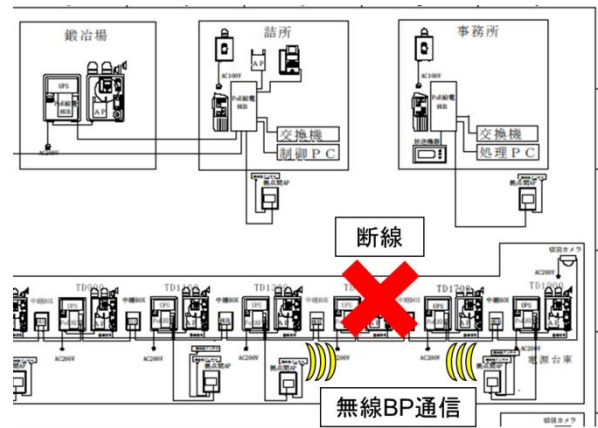


図-4-1 入場管理データ概要図

(2) 坑内通信通話システム

(a) 坑内警報システム

坑内火災や災害等で坑内、坑外へ警報を出したり、連絡を取る手段として固定電話が使用されているが、有線設備が切断されると坑外と坑内の連絡が途絶される恐れがあるため、無線BPアンテナを補助的に位置付け、断線化でも無線のリレーにより切羽までの通信を補強した。

有線、無線の環境下でスマートフォンからでも坑外と連絡や一斉警報ができるようにした。また、発破警戒の警報装置とも連動し、一斉放送を行える。（図-4-2）

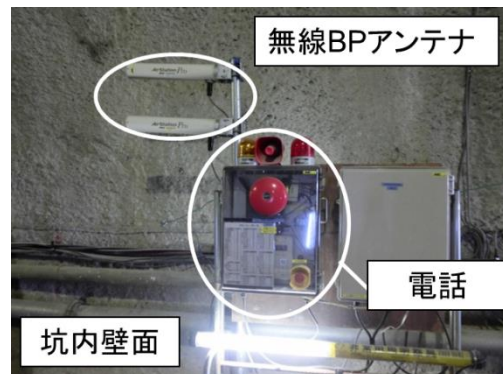


図-4-2 入場管理データ概要図

(b) トンネル入場管理

従来のトンネルの入退管理では入り口で入坑している人数を管理していた。本現場では、作業員については非接触型ICカードを保持し、入坑タッチパネルにタッチすることで入出坑の記録を行った。この情報は通信設備を通じて事務所あるいは職員のスマートフォンで入坑状況が確認できる。また、職員や職長のスマートフォンについては、固定電話のAPとの通信を解析することにより現在位置が管理されている。

以上より、入退者の人数や位置などの情報をどの端末からも確認できるため、災害時などの対応でも入坑人数、作業位置が迅速に把握でき、対応が迅速に行える。（図-4-3）

上り線 入坑監視情報

・更新日付:
2015/05/27 18:13:23

名前	入坑状態
臨床トンネル工学研究所	
新名神兵庫事務所	
企業体	
田中 拓一	TD100
田中 ひかる	電源台車
平野電気工業(株)	
海通建設(株)	
平塚 靖浩	入坑
小川 潔仁	入坑
丸山 朋也	入坑
渡辺 隆夫	入坑
(有)ニッソ	

坑内の現在位置を表示

図4-3 入場管理状態確認画面

(c) レーザープロッターの遠隔操作

トンネル掘削断面をオペレータに指示するためにレーザープロッターを使用しているが、通信異常等によりプロッターのパソコンにエラーが出た場合、職員が現地に行きパソコンをチェックする必要があった。図4-4のようにスマートフォンでパソコンをリモートコントロールし、遠隔にてプロッターの修正を行った。結果、エラー発生時の対処時間の短縮、職員業務の低減となった。

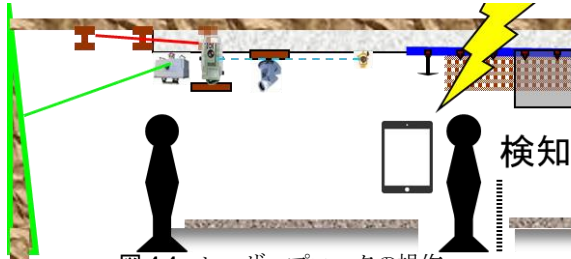


図4-4 レーザープロッターの操作

(3) 切羽WEBカメラ

上下線の2本のトンネルのそれぞれの切羽近くにWEBカメラを設置し、PCやスマートフォンで確認できる。

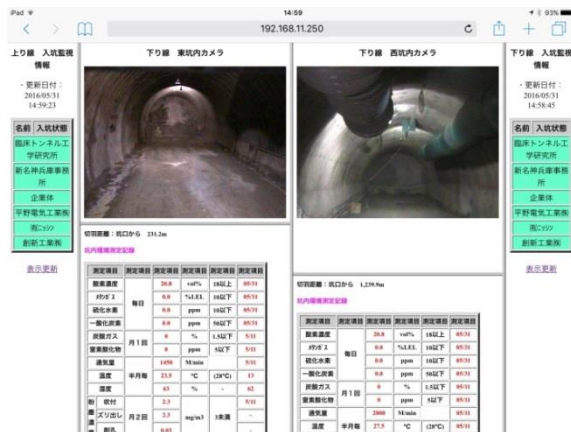


図4-5 切羽WEBカメラ（タブレット画）

(4) タブレットによる現場管理

現場管理のうち品質管理や出来形管理は日常業務のうち多くの時間を必要としている。これらの業務は現場と事務所それぞれで行う必要があり、移動時間等の制限もあり、同時にこなすことは不可能であった。当現場においては、事務所内と現場内は同じネットワークで構成さ

れており、特にトンネル坑内はAPが全線にあり、事務所内と同じ環境となっている。この特性を生かし、現場にタブレットパソコンを持ち込み、書類作成から写真撮影、立会サインから提出書類作成までをすべて坑内で処理することを試行してみた。

a) 従来の立会検査業務

従来までの立会検査業務のフローを以下に示す。このように事務所内の業務と現場の業務を異なった時間に行う必要があり、日中の現場業務の多忙により、残業時間に行うことが多い。この場合発注者のサインは翌日以降になるため、電子書式の提出が遅延する傾向にある。

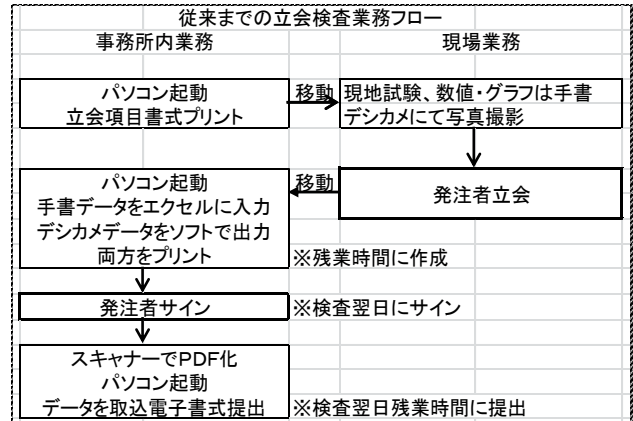


図4-6 立会検査業務フロー図（従来）

b) ICTを利用した立会検査業務

ICTを利用した立会検査業務のフローを以下に示す。最初から現場にタブレットパソコンを持参すればほとんどの立会検査業務がその場で完結し、アップロードした電子データは担当職員以外でも電子書式で提出ができるため、職員業務の大幅な効率化が図ることができ、残業時間低減、生産性向上にもつながっている。また、書類や写真は現場で確認できるため、撮影ミスや入力間違い、提出間違いも防ぐことができ、エラーチェックにもなっている。

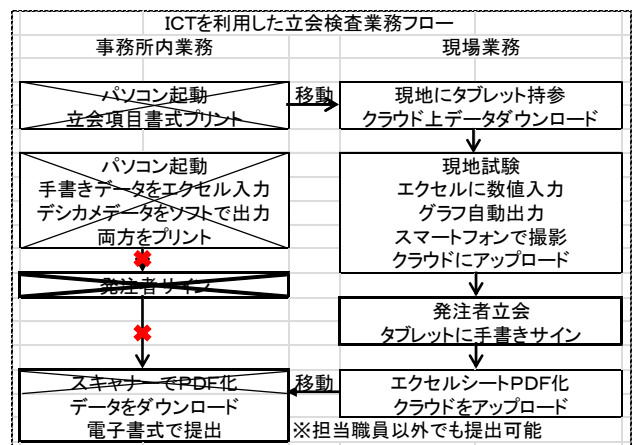


図4-7 立会検査業務フロー図（ICT化後）

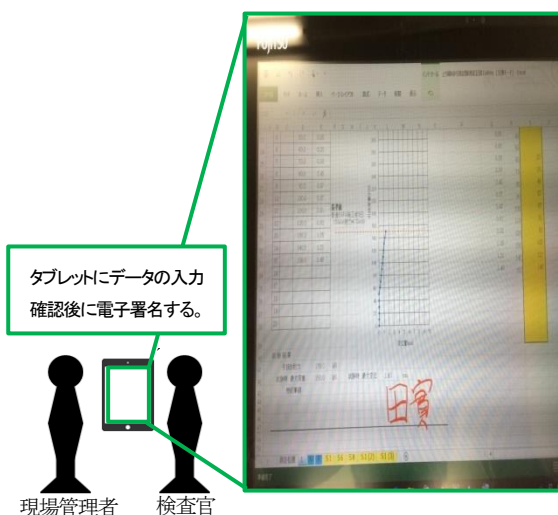


図-4-8 立会検査業務フロー図（ICT化後）

さらに立会い結果はその場でタブレット画面で確認し、タッチペンを使用して電子署名を行う。電子署名受領後はその場でPDF化し、データサーバにアップロードすることで立会い検査業務を終了する。



図-4-9 立会検査業務フロー図（ICT化）

また、検査においてスマートフォンを使用した電子黒板を採用し、一部検査業務にて試行的に導入を行った。通常黒板に手書きする内容はデータサーバ上に事前に準備され、検査時に得られた結果などはその場でスマートフォンに値を入力し、立会い状況撮影時に画面上で重ね合わせて撮影、保存する。

5. まとめ

本報告では、山間部における高速道路道路の新設工事であり、携帯電話等の通信インフラが未整備な条件下での工事において、施工延長が4kmと広大な施工ヤード内の通信設備の検討を行った。施工ヤード付近には光ケーブルが縦断し、活用が可能であったが、4kmもの施工ヤードに通信インフラを構築する際に光ケーブルでは施工費用が増大し、市販の無線通信設備では光ケーブルの高速通信より遥かに遅い通信網となり課題であったが、

WIPASの採用により光ケーブルの無線拠点から工事事務所の拠点間の通信速度が飛躍的に向上し、明かり工事やトンネル工事の通信インフラの整備につながった。

この通信インフラの整備は、広大な施工ヤード全体を管理する上で、携帯電話の代替としてIP電話の利用を可能とし、WEBカメラやファイルサーバへアクセスするなどの現場にいながらにして、設計図書の確認などの様々な情報の共有が行えた。

明かり工事での情報化施工では、品質管理が重要な高盛土の施工において、出来形管理、転圧回数の管理、 α システムによる加速度応答法による品質の監視などをリアルタイムに共有し、変更指示などの対応も即座に対応できた。また、入場してくる他工区のダンプの場内走行路の指示を行うだけでなく、他工区の車両のサイクルタイムや運搬台数の管理を行うことができた。

トンネル工事での情報化施工では、無線通信を坑内固定電話のバックアップ設備としてAPを増設することで、災害時に有線設備が断線した際にも坑内外へ情報が発信でき、緊急対応の確実性を向上させた。また、ICタグやスマートフォンを人員に携帯させることで、入退管理と坑内での人員の配置状況をリアルタイムに把握することが出来るようになった。さらに、タブレットPCを活用することで、従来では現場と事務所を往復して完結する立会い検査業務が現場にいながら提出書類の作成する業務効率の改善に寄与することができた。

このように、広域な現場内で、拠点間の通信設備を整備することで、連絡、情報共有において、空間的な制約を克服することができた。同時に、様々な施工体系に対して、確実な連絡体制を構築し、情報の一元管理を可能にした。これは、スマートフォンやタブレットを有効に活用することで業務を効率化する可能性を十分に示した。

土木の工事現場では本現場のように、通信インフラが整備されていないために現場と事務所間の移動を強いられたり、連絡がスムーズでないために施工効率を低下させている現場が少なくない。WIPASのように拠点間通信を高速化させることで、どのような現場環境でも高速通信を整備できる可能性を確認した。ただし、同じ条件の現場は存在せず、対象の現場での最適かつ低コストな通信インフラは必ず存在するため、単純なWIPASの普及ではなく、現場条件と現場施工の課題を十分理解できる通信インフラのコーディネータの存在も不可欠である。

情報化施工のさらなる活用の為にも、通信インフラも含めた情報化機器をコーディネートできる人材の育成にも務めていきたい。

【参考文献】

- 1) WIPAS : <http://www.ntt-at.co.jp/product/WIPAS/> 2016.5入手
- 2) ローラ加速度応答法を用いた盛土の品質管理(案) : 「土工施工管理要領」平成25年7月 日本高速道路株式会社