

建設技術の新たなステージ i-Construction



立命館大学 理工学部教授
建山 和由氏

プロフィール

学校法人立命館常務理事 兼 理工学部教授。
1985年3月京都大学大学院工学研究科土木工学専攻博士課程を修了。国土交通省のi-Construction やCIM推進委員会の委員等、多数の委員を歴任している。

はじめに

2016年4月、日本の国土交通省がi-Constructionという新しい政策を打ち出しました。今日はその背景、何故こういった政策が出てきたのか、そして、今後こういった政策がどういった方向に進んでいくのかということ、私の考えを中心にお話させていただきますと思います。

1 日本を取り巻く実情

1.1 日本における高齢化社会の実情と将来推計

最初は、日本の人口構成から入っていききたいと思います。

日本の人口は増加を続けてきましたが、2008年頃をピークに減少に転じました。この後、どんどん人口が減少していくとともに、高齢層が増えていくという話があります。しかし、図1-1の図の一番下の部分が高齢層なのですが、年齢層の高い人というのは、実はそれほど増えていきません。

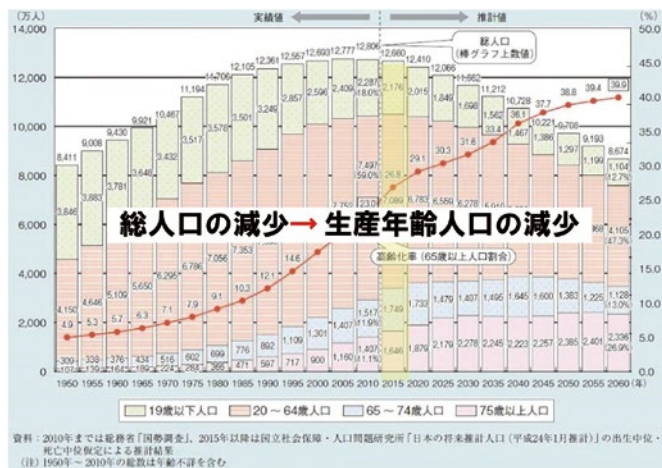


図 1-1 日本における高齢化社会の実情と将来推計

ではどの層の人口が減っていくのかというと、グラフの赤い部分、生産年齢人口である15歳から65歳までの働いて社会を支える人達の数が減っていきます。これが問題となります。

これを人口ピラミッドで見ていこうと思います(図1-2)。左側が男性、右側が女性の人口構成を表しています。青い部分が15歳から65歳、すなわち働いて社会を支える人達の生産年齢人口を表しています。この青い部分が10年毎にどう変わって行くかということ、恐ろしい勢いでやせ細っていきます。もちろん、出生率の数値をどう設定するかによって若干の差はあります。しかし、いずれにしても日本の生産年齢人口というのは、すごい勢いで減っていきます。

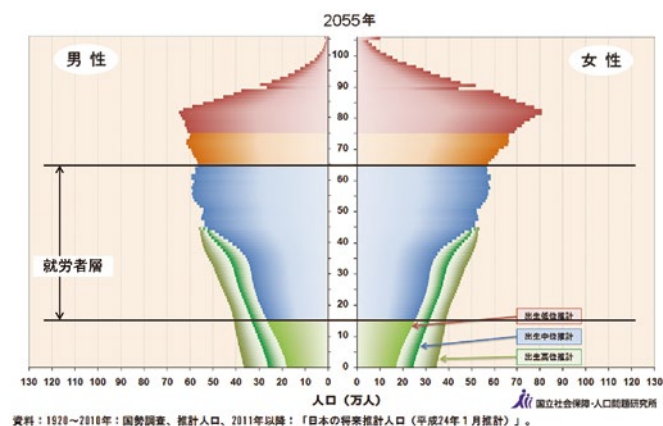
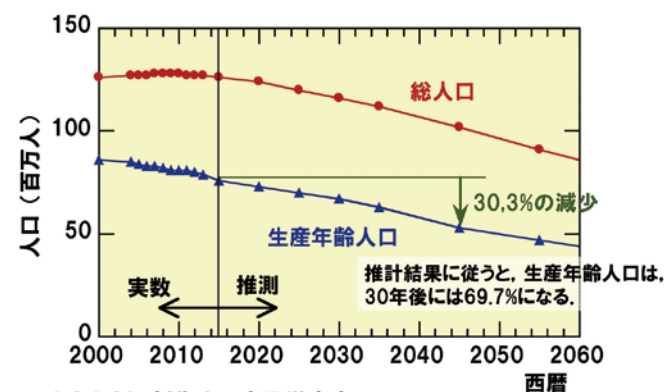


図 1-2 人口ピラミッド

さらにそれをグラフに表したものが図1-3です。赤が総人口で、青が生産年齢人口を表しています。総人口が減るということは、生産年齢人口の減少による、ということがこのグラフからも分かると思います。先ほど見ていただいたように、すごい勢いで生産年齢人口が減っていきます。今から30年すると生産年齢人口は30.3%減ると予測されています。30年で30%ということは、毎年1%ずつ生産年齢人口が減っていくということ

です。毎年だとあまり気にならないかもしれませんが、10年で10%、20年で20%、30年経つと30%というように、気がつくともんでもないことになっているということです。



- ますます深刻化する建設従事者
- 生産年齢人口減→税収・使用料減→インフラ投資予算の縮小

図 1-3 日本における生産年齢人口の推移

1.2 建設業界における問題点

(1) 建設従事者不足

生産年齢人口の減少により、どういう問題が起こってくるかというと、1つは人材確保の問題です。建設分野というのは、今でも担い手確保に苦労しているところがあります。若い人はなかなか建設業界に入ってきてくれません。これをいかにして確保していくのかということが大きな問題になっています。30%も生産年齢人口が減るということは、あらゆる分野で人が足りなくなります。そのため、建設分野では人を確保するのが益々難しくなってくるだろうというのが1点目の問題です。

(2) 予算の縮小

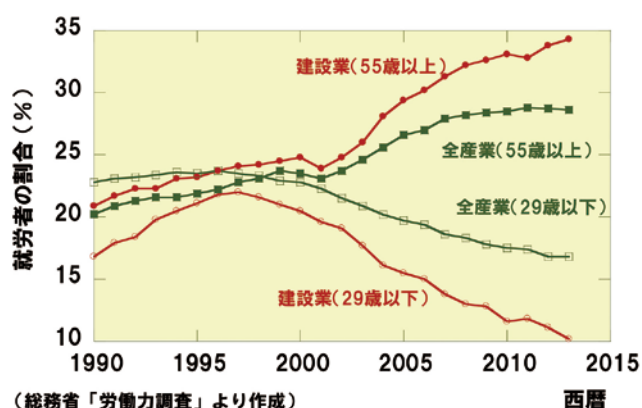
生産年齢人口が減るということは税収も減りますし、インフラを使う人も減ってきます。結果、インフラの使用料も減る。そうすると、インフラ投資の予算が縮小していくということも覚悟しておかないといけない。そういう時代になってくるだろうと思っています。これが2点目の問題です。

(3) 技術者の高齢化

さらに建設分野における大きな問題は、年齢層が高い人が多いということです。これは産業別の年齢層の違いを表したグラフです（図 1-4）。緑が全産業、赤が建設業です。また緑の塗りつぶしの点が全産業で55歳以上の人、白抜きの点が全産業の29歳以下の人を表しています。1990年からの20年間で、どの産業も年齢層が上がり若い人が減っているということがこのグラフからも分かります。全産業に渡って同じ傾向ですが、建設業は特に年齢の高い人が増えて若い人が減ってきています。

若い人が入ってこないことも1つの大きな問題なのですが、もう1つの問題は、年齢層の高い人というのは建設における経験や知識を持っておられるということです。そういう人達がこ

れから次々とリタイアされる。そうすると、熟練した技術者がリタイアされることによって技術レベルの維持がますます困難になってくる。そういう時代を向え迎えていくということです。



高年齢が多い建設分野 → 熟練技術者のリタイアにより、技術レベルの維持が困難になる。

図 1-4 高齢化に起因する建設従事者不足

(4) 工事の複雑化

図 1-5 は、1995 年以降の日本のインフラ投資を表したグラフです。日本のインフラは1990年あたりから投資額が減ってきています。グラフの下部の赤い部分が新規投資額、黄色の部分が維持管理額です。新規投資はピークに比べると半減していると言われています。一方で、維持管理の工事は減ることなく、これからも増えていくだろうと予想されています。



1990年代に比べ、新設工事は1/2以下に、修繕・更新工事は増加。

建設業ハンドブック2016（一般社団法人日本建設業連合会）より

図 1-5 社会資本投資の経年変化

維持管理の仕事というのは新設の工事よりも難しいと言われています。例えば更地に家を建てる場合、材料を持ってきて組み立てていけば家は建ちます。しかし、30～40年使った家をメンテナンスしなさいと言われた場合、どこが劣化しているのかを調べて、その原因を特定し、その原因を取り除く形で補修方法を決めて、かつ、家を使いながら直していかないとはいけません。非常に難しい工事です。つまり、複雑で難しい工事がこれから増えていくということです。

1.3 自然災害

(1) 自然災害の激甚化

自然災害という観点からも、日本は厳しい局面を迎えています。このグラフは1時間に50ミリ以上の雨が降った回数が、年間に何回あったのかを表したグラフです(図1-6)。もちろん、雨が少ない年もありますし、多い年もあります。ただ、トレンドとしては、日本においては集中豪雨、時間50ミリを超えるような雨というのは間違いなく増えているということが、このグラフから分かります。雨だけではなく、地震あるいは火山も同様で、日本の自然災害は激化しているといえます。こういった自然災害に、備えていくのが防災です。

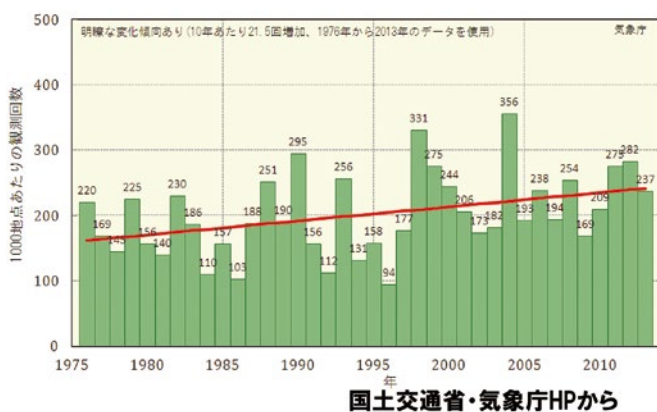


図 1-6 時間降水量 50 ミリ以上の年間観測回数

(2) 防災対策の高度化

もちろん、お金を掛ければ掛けるほど強い構造物ができます。災害に強い構造物ができるのですが、公共投資である限り、無尽蔵にお金を掛けることはできません。そのため、どこまでお金を掛けるのかという目安が必要になってきます。そして、過去最大の災害に対応できるもの、という点から基準を決めて災害に備えていくというのが、一般的な考え方だと思います。

1923年に、関東大震災という大きな地震がありました。日本では、あの前後で日本の耐震基準が作られたと思います。以降、大きな地震が起こる度に耐震基準が見直されて、基準が徐々に厳しくなっています。日本の自然災害が激化していることと合わせて考えると、今後、災害に向けての備えというのは益々ハードルが高くなり、投資も実施していかないといけない。そういう時代になっていくだろうと思っています。

1.4 まとめ

まとめますと、まず、建設従事者不足が深刻化します。特に熟練技術者がリタイアされるというのは大きな問題だと思っています。さらに税収減、あるいはインフラの使用減を想定すると、インフラ投資予算の増加はなかなか想定できません。一方で、インフラのメンテナンス、維持修繕工事、災害対策強化といった今までよりも複雑な工事を実施していかないといけない。人もお金も限られている中で、今までよりも難しい工事をこなしていかないといけない。そうした中で、社会に対して将来に渡

て安定的にインフラを提供していくことができる体制を構築するためには、今までの延長線上の議論をしていたのでは到底対応できなくなっていきます。そういう時代を迎えているのだと思います。

2 建設産業の実情

2.1 建設業の労働環境

図2-1の一番左は、産業別の年間総賃金を表しています。緑が全産業平均、青が一般製造業、ピンクが建設業です。建設業は一般製造業に比べると年間の総賃金は約20%以上低いと言われています。中央のグラフは労働時間を表しています。同じく緑が全産業、青が一般製造業、ピンクが建設業です。建設業は全産業に比べると約16%長く働いているということになります。安全性はどうかというと右端のグラフ、就労中に亡くなられた人の数です。緑が全産業で、ピンクが建設業。建設業の方が全産業より低く見えるかもしれませんが、実はこのグラフ、全産業の死者数の34%を建設業が占めているということを表しています。それぐらい危険を伴っている仕事ということだと思います。

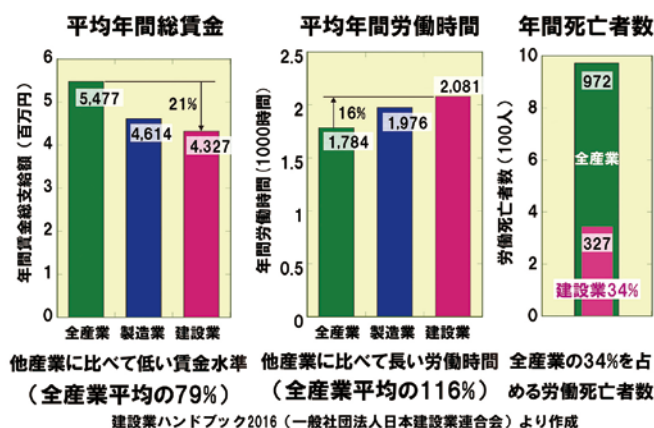


図 2-1 建設産業の実情

以前に比べると、建設業の労働環境は格段に改善されています。それでもまだ、給料、時間、安全性という観点からすると3K、3Kというのは「きつい」「汚い」「危険」、その頭文字が全てKなので3Kと呼んでいます。3Kというのは、これまでの建設業を象徴する言葉です。こういう状況から、依然として抜け出せていないというのが実情だということです。

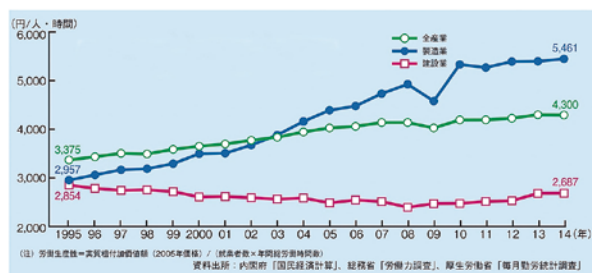
2.2 労働環境が改善されない理由

建設産業の労働環境が改善されないのには、いくつかの理由があります。その1つが、労働生産性だといわれています。

図2-2は、1人1時間あたり、お金の換算していくらの生産を上げるのかということを、産業別に表したグラフです。1995年から20年間の変化を表しています。緑が全産業、青が一般製造業、ピンクが建設業です。実は、1990年頃までは、ピンクの

建設業の労働生産性は青の一般製造業よりも高い状態を保っていました。その後、一般製造業は、ファクトリーオートメーションと呼ばれる生産工程等の自動化技術であったり、様々な合理化技術を生産ラインに導入して生産性を2倍にまで上げました。一方で、建設業はインフラ投資が減る中で、企業数や労働者数がそれほど減らなかったため、結果として、労働生産性を上げる必要性が認識されず、逆に低下させていきました。しかし、これからは、労働生産性を上げていかないと建設業は成り立ちません。そういう状況になってきているということです。

このグラフをどう見るかということですが、建設業は労働生産性を上げることができない産業と見るのか、今まで努力していなかっただけで、努力をすれば労働生産性を上げることができる余地を多分に残した産業だと見るのか、どちらと見るのかです。もちろん、我々はその余地、可能性を持った分野だと考えて、建設分野における労働生産性を伸ばしていこうというスタンスの基、昨年始まったのがi-Constructionという国交省の動きです。



建設業ハンドブック2016（一般社団法人日本建設業連合会）より

図 2-2 低迷する労働生産性

3 i-Constructionとは

3.1 i-Constructionの目指すところ

i-Constructionというと、ICTを導入することで効率化を図って生産性を上げることだと受け取れがちですが、決してそれだけではありません。土木の工事というのは、一般的に単品生産です。現場ごとに設計してモノを作っていきます。例えばコンクリート工で標準化を進め、工場でのプレキャスト化を進めて効率化を図っていくような取り組みもi-Constructionです。あるいは発注の平準化です。日本では、年度ごとに工事を発注するので、年度初めの4月は工事が少なく、年度終わりの1～3月に工事が集中します。つまり、企業は1～3月の工事が多い時期に受注できるように人や機材を用意しておかないといけません。そうすると4～5月の工事が少ない時には仕事がない状態になってしまいます。これを避けるために、年間を通じて安定した発注をしていこうという取り組みが進められています。これによって、「きつい・汚い・危険」という3Kを、「給料・休日・希望」という明るい展望を持つことができる新しい3K、これで象徴される産業に体質を変えようというのが、i-Constructionの目指すところです。これを実現するためにいろんな努力をし

ていこうということで、昨年、国が動き出しました。とはいえ、私は主にはICTを使った効率化の話をしてきましたので、このところを中心に今日ご紹介したいと思います。

3.2 ICTの活用

(1) 土木工事におけるICTの活用

まずは土工についてお話しします（図 3-1）。土工というのは土、例えば山を削って土を運び、それを使って道路を作ったり空港を作ったり、そういう工事の総称です。この土工では、これまで生産性があまり上がっていなかったということから、ICTの導入が進められてきました。一般的に土工というのは、測量をしてそのデータを二次元の平面的な図面に落とす。その二次元データを使って設計して施工計画を立て、その二次元の図面を使って工事を行い、最後に二次元の図面を使って検査を行います。一方でi-Constructionでは、ドローンや3Dレーザースキャナを使い、三次元データとして測量を行います。その三次元データを使って設計や施工計画を立て、検査を行います。機械の制御などにも利用します。このようにICTを活用して三次元データを横断的に共通で使うことによって、工事全体の効率化を図るのがi-Constructionの基本的な考え方です。続いて、少し、測量、設計施工計画、施工におけるICTの活用例をご紹介します。

ICT技術の全面的な活用(土工)

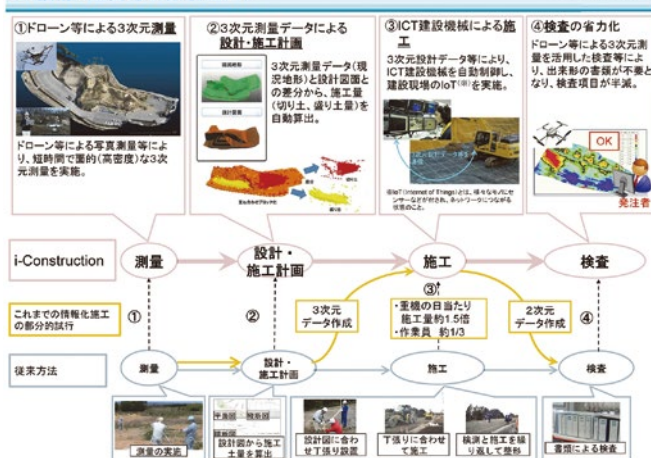


図 3-1 土工におけるICT技術の全面的な活用

(2) 測量におけるICTの活用

測量では、今までトータルステーションなどの測量機器を使っていました。しかし、最近はUAV（小型の無人飛行体）を使った測量が行われるようになりました。UAV測量では、図 3-2 に示すように上空からオーバーラップをさせて写真を撮り、専用の画像ソフトを使って三次元の空間座標が特定された点群データを作り、それを三次元データに落とし込むという測量です。

図 3-2 の下の表は、UAV、ドローンを使った場合と3Dレーザースキャナを使った場合、そして従来の測量方法を使った場合で、それぞれ時間や人がどの程度違うのかを比較した結果を表しています。一番下、従来の光波を使った測量の場合、2ha

程度の敷地を測量するのに3日ほどかかりました。人は10人
工ほどかかります。それに対して3Dレーザースキャナを使うと、
同じ広さを測量するのに2人で1日。ところがUAV、無人航
空体ドローンを使って測量すると、1人1時間で測量ができて
しまいます。かつ、費用を大きく抑えることができる。ドロー
ン測量を行うと時間と人を大幅に削減することができるとい
うことです。もちろん精度の話もあるので、どこでも使えるわけ
ではありませんが、こうしたものを積極的に使った三次元デー
タでの測量が動き出しているということです。こうして得られ
た三次元データを使って、設計や施工計画を立てていきます。

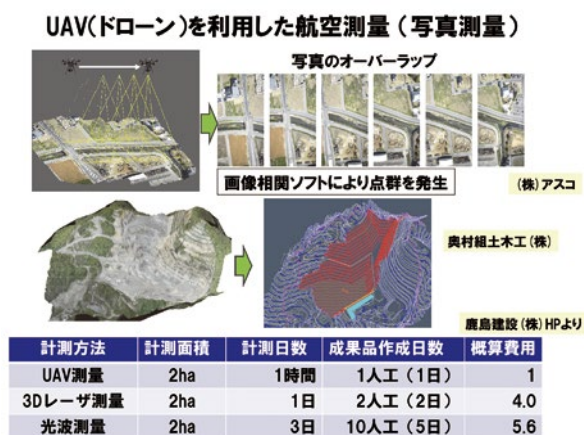


図 3-2 UAV (ドローン) を利用した航空測量(写真測量)

(3) 設計・施工計画の策定における 3D データの活用

ここに示しました三次元的な図(図 3-3)は鳥観図ではなく、
一点一点が座標を持った点の集合体です。集合体から作った高
速道路の設計図です。これに時間の要素を入れると、時間とと
もに高速道路の橋脚がどう作られていくのか、あるいは橋梁の
橋げたをどう敷設していくのか、ということを正確にシミュレ
ーションすることができます。あるいは、鉄筋の干渉などもチェ
ックすることができるので、実際の施工の時に鉄筋が上手く組め
ないといったようなことも、事前のチェックで解決しておくこ
とができます。一番下の例はインターチェンジの図です。地域
の人たちに工事の説明する際、時間とともにこの地域がどう変
わって行くのか、というビジョンを提示することができ、こう
いった手法がよく使われています。なぜ三次元がいいのか、そ
のあたりをもう少し詳しく見ていこうと思います。

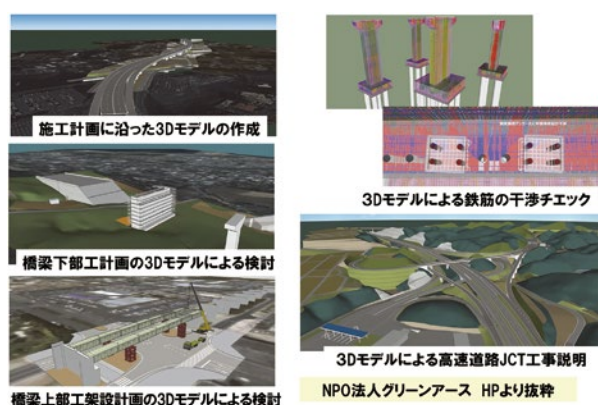


図 3-3 三次元データによるインフラ整備の統一管理

(4) 3D データの優位性

例えば、図 3-4 の一番左上の図は、上から見た平面図です。
その他、横から見たところと側面図です。この図を見てどうい
う形の物体か、すぐにお分かりになるでしょうか。私はなかなか
分からないのですが、これを三次元で見るとすぐに分かります
(図 3-5)。

二次元の図面を組み合わせると頭の中で構成するよりも、三次
元で見ればすぐに分かる。今までだと、二次元の図面を一所懸
命見て、どういうものが作られているのかが分かるようになる、
というのが技術者のスキルだったかもしれません。

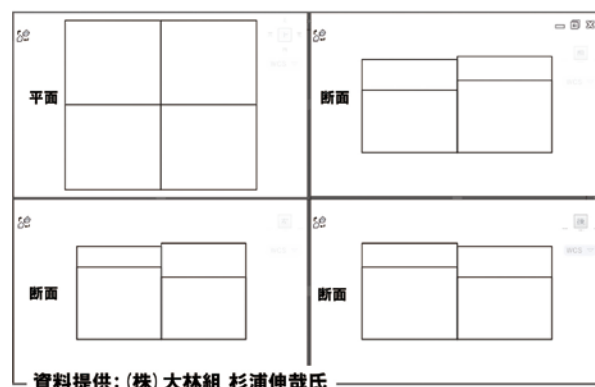


図 3-4 この図面から 3D 図形が分かりますか?

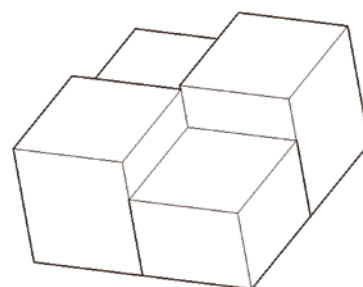


図 3-5 図 3-4 の 3D 図形

しかし今の時代、それを育成するだけの時間も余裕もなくなっ
てきています。そうすると、こういう三次元を使って、より分
かりやすく理解できるような、そんな仕組みをすることによっ
て育成のための時間を出来るだけスキップしていくというのも
1つの考え方だと思っています。

これは橋脚の鉄筋をどういう手順で組んでいくのか、とい
うのを検討した時の図です(図 3-6)。

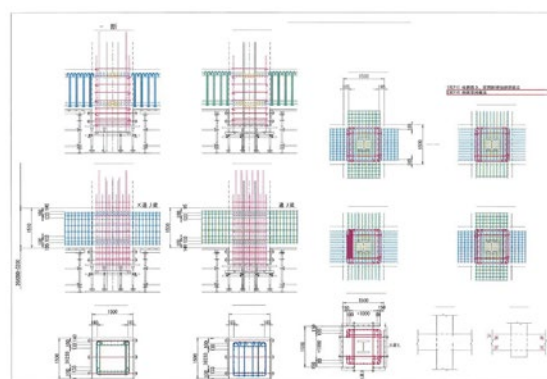


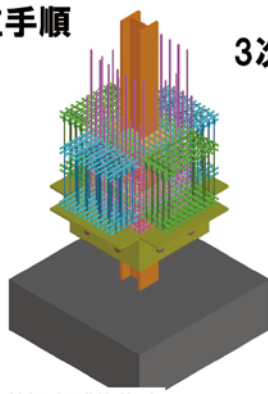
図 3-6 鉄筋組立手順の検討 二次元図面

今までは、こういった二次元図面がたくさんありました。この図面を見ながら、鉄筋を組み立てていきます。1 つずつ鉄筋の組み立て手順を確認していくわけです。これが難しく、時間も当然かかります。しかし三次元だと、どこにどう鉄筋を置くのか、手順が非常に分かり易くなります（図 3-7）。

設計・施工計画

鉄筋組立手順の検討

3次元データの利用



資料提供: (株)大林組 杉浦伸哉氏

図 3-7 鉄筋組立手順の検討 三次元データの活用

(5) 大林組の事例

大林組という建設会社が、実際に三次元の鉄筋組立手順を導入すると、どの程度組立手順の確認が早くなるのかを調べられました（図 3-8）。従来法であれば、前日に図面を精査、全体説明、打ち合せをして、当日に図面確認と鉄筋を組む作業、という手順で全部で 25.5 時間かかっていました。これが三次元の図面を使うと、全部で 7.6 時間ほどで組むことができました。時間が短縮されるだけでなく、職員の理解度もアップ、間違いも少なくなるという効果が得られています。

【従来】

前日

時間

- ・図面精査・・・15
- ・全体説明・・・1
- ・打合せ・・・2
- ・準備・・・2

20時間

当日

時間

- ・図面確認・・・0.5
- ・実施・・・5

5.5時間

【3次元導入後】

前日

時間

- ・図面精査・・・2
- ・全体説明・・・0.5
- ・打合せ・・・1
- ・準備・・・1

4.5時間

当日

時間

- ・状況確認・・・0.1
- ・実施・・・3

3.1時間

資料提供: (株)大林組 杉浦伸哉氏

時間短縮・理解度アップ

図 3-8 鉄筋組立手順の検討 三次元データの活用

今後、今までのように時間をかけて技術者やワーカーを育成するということが難しくなってきます。三次元を上手く使っていくことで、この問題をクリアしていくことができる、ということだと思います。三次元のデータは施工でも活用されています。

(6) 施工における ICT の活用

図 3-9 の左上の写真は下水管の埋設工事です。下水管は自然流下ですから、トレンチを掘って下水管を埋設するときも深さ

と勾配をしっかりとっておかないといけません。現在は写真のような形で測量を行い、ここをもう少し掘る、ここは土が足りない、といったことをオペレータに伝えて、オペレータが調整しながら所定の溝を作っていきます。あるいは左下の写真のように法面を整形するとき、今までは測量して、丁張と呼ばれる目印の板を設置して、これを見ながらオペレータは所定の法面が作られるよう機械を操作していました。

GNSSとチルトセンサを用いたバケット操作補助



写真: 山辰組

図 3-9 マシンガイダンス (MG) の例

これに対して、右側にある機械は MG（マシンガイダンス）機能を備えたショベルです。ガイダンスというのはガイドですから、オペレータに操作に必要な情報を提供してくれる、そういう機能を持った機械です。この機械には、バケットやブーム、アームと呼ばれる機械の腕にセンサーがついています。このセンサーで、バケットがどういう姿勢で土を掘っているのかを計測して、それを画面上に表すことができます。さらにコンピューターの中には、トレンチや斜面の設計データが入っています。オペレータは画面上で設計データに合うようにバケットを動かせば、溝を掘り、斜面を整形することができます。測量作業がいらなくなり、人を減らすことができるというだけでなく、作業も早く終わることができます。

図 3-10 はもう少し進んだ機械で、マシンコントロール、MC と呼んでいますが、その機能を持ったブルドーザーです。ブルドーザーのブレードと呼ばれる排土板に GPS、衛星で位置を特定するアンテナがついています。かつ、傾きを調べるセンサーなどもついています。例えば、排水勾配をつけて所定の道路を整形していくときにこのブルドーザーを使用すると、ブレードが自動で動いて所定の排水勾配を持った道路を作ってくれます。このため、オペレータはブルドーザーのブレードを操作する必要がありません。ブルドーザーを前後進させるだけで所定の道路が作られていきます。

この機械を使うとどれぐらい効率が上がるのかを、ある研究所が試験を行い調べられました。MC 機能を持ったブルドーザーを導入した場合、土を所定の厚さに敷き均す作業のための時間が、どの程度短くなるのかを調べた結果です（図 3-11）。オペレータの能力によって結果が異なる可能性があるため、熟練の

オペレータと初心者のオペレータの両方で比較を行っています。それぞれ、MC 機能を持った機械で敷き均しを行う場合と、MC を使わずに敷き均しを行う場合で作業時間を調べたということです。丁張と呼ばれる目印を設置する時間が青い部分で、MC を使わない場合にはその時間を含んでいます。経験のあるオペレータも経験のないオペレータも、MC 機能を使うと作業時間が約半分に減っています。こういう形で効率化が図れるということです。

3D-NAVI オートブレードシステム

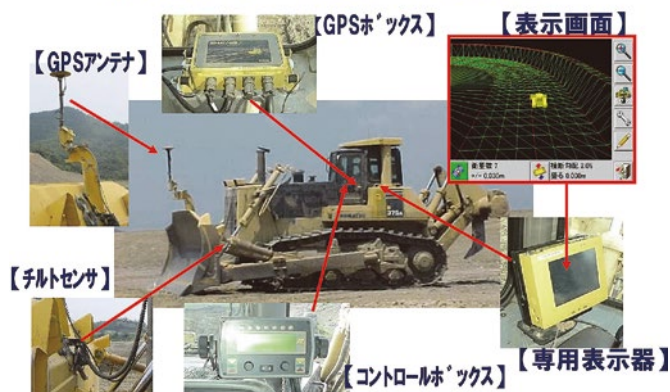
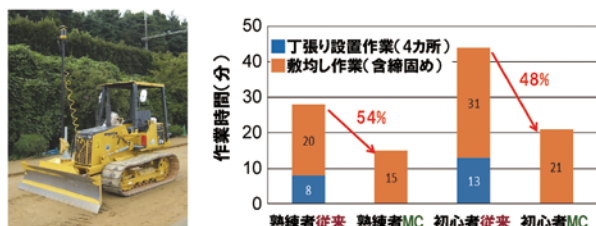


図 3-10 ICT を利用した重機制御の高度化

MCブルドーザの導入効果（施工技術総合研究所）



個々の導入効果を工事全体で活かす視点が重要。
⇒ ICTを導入することが目的ではない。
目的を達成するためにICTをいかに利用するかが重要。

図 3-11 建設施工における ICT 導入の効果

(7) 目的と手段を考える

このように、ICT を使えば、時間を大きく短縮することができます。ただし問題は、その短縮した時間をどう使うかということです。例えば、早く工事が終わったからといって、オペレータが事務所に戻ってタバコを吸ってコーヒーを飲んで一服をしたら、作業時間の短縮で得られた時間の余裕は消えてしまいます。高いお金を出して ICT を導入しても、導入の効果が無くなってしまいます。つまり、浮いた時間をどう使うかが大事なのです。こういう機械を導入するとどれぐらい効果があるのか、よく聞かれます。しかし、どういう効果があるのか、どれぐらい時間が短くなるのかを問うのではなく、工期の短縮や人員の削減などの具体的な目標を定め、そのためにどの ICT をどう使うのかを考えるべきといえます。一週間かかっていた工事を 4 日で終わらせようとか、10 人必要だった工事を 6 人でできるようにしよう、そういった目的のために、機械をどう使うのかを考える

ことが重要です。決して、高価で高性能な機械を導入する必要はありません。目的を決めて、それを達成するために必要最小限の機械を最大限使う、これが多分正解だろうと思います。ICT を使うことを目的とするのではなく、目的を決めて、その目的を達成するために ICT の使い方を考えることが重要だと思います。そうしないと、高性能な機械の性能に見合った効果が得られません。2016 年の 4 月から、こうしたことに日本は取り組んでいます。

(8) ICT 活用の今後の展開

土工から始めた ICT の活用ですが、今年から舗装にも拡大しよう、海工事の浚渫にも拡大しようという流れが出てきています。また、橋の工事にも合理的な管理方法を取り入れようということで、i-Bridge という取り組みも今年から始めることになりました。さらに、下水です。下水施設は、日本では作られてから 30 ～ 50 年経っています。そのため、様々なところで劣化がみられます。特に地方の都市では多くの下水、水道も同様ですが、劣化が進んでいます。それを地方自治体の限られた職員が少ない予算でどう管理していくのか、非常に切実な問題になってきていると思います。そういったものも ICT を使って合理化していく取り組みが、2017 年から始められる。これが大きな国の動きです。

4 ICTで広がる建設技術の可能性

4.1 情報化施工

ICT を活用すると、現場で様々な情報が得られます。それを使って、過剰を減らして生産性を上げていく、そういう考え方もあると思っています。ここからは、関西国際空港の建設に関わり大規模土工現場において ICT を使って合理化を図った事例を紹介します。関西国際空港は、海を埋め立てて作った空港です。埋め立てのための土を、山を削って採る工事を行った現場です。この現場では、山の上で土を掘削して、それをダンプで運び、クラッシャーと呼ばれる破砕機で砕く。砕いた土をベルトコンベアで運んで、土運船に積み込みました（図 4-1）。

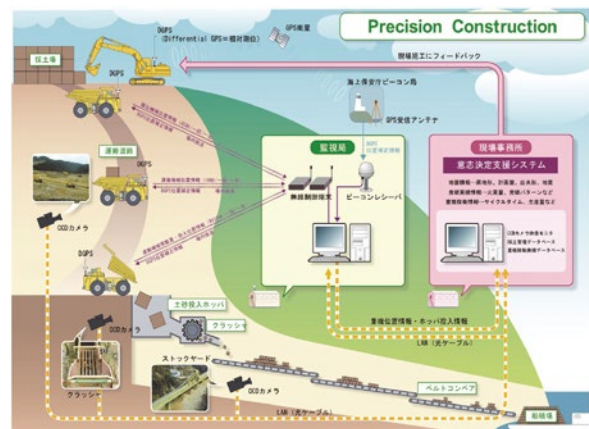


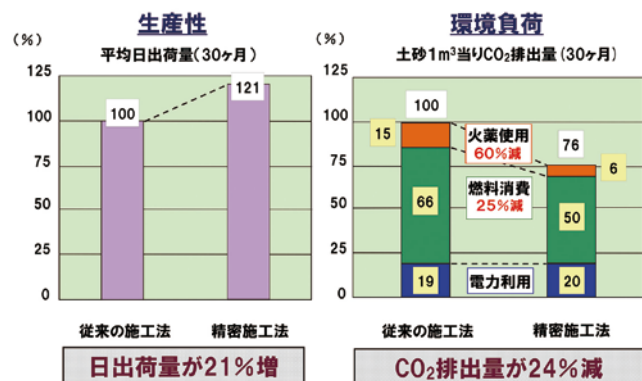
図 4-1 関西国際空港の土工における ICT 活用事例

(1) 大規模土木工事における ICT 導入事例の概要

この現場では、様々な ICT を導入しました。例えば重機には GPS を取り付けて、広い現場内のどこでどの重機が動いているのかが分かるようになっています。ダンプには重量計がついて、どのダンプが土を何トン運んでいるのかが分かります。そのほか、クラッシャーにはどれだけの負荷がかかっているのか、ベルトコンベアにはどれぐらいの土が乗っているのか、こういった情報をセンサーやカメラを使って集めて、メインの事務所のパソコンに送ります。そこでデータベース化して、各事務所のパソコンにデータを送っていきます。従来なら、例えば土運船に積み込む土の質が悪いということになると、事務所に電話して「土の質が悪い」という連絡をします。そうすると事務所の所長は現場の方々に電話をしてどこに問題があるのかを調べます。問題を特定できたら、次にまた電話をして修正の指示を出します。つまり、情報の収集と作業改善の指示に多大な時間と手間を要していたということです。一方で、ICT を活用した仕組みを入れると、どこにいても、現場の人たちは同じ情報を画面上で確認することができます。どの現場の人も、現場全体がどう動いているのかを同時に知ることができます。そうすると何か問題が起こった場合でも、同時に現場全体の状況を確認できるので、問題をすぐに突き止めて、改善することができます。そんな仕組みを作ることができるのです。

(2) ICT を活用した仕組みの導入による効果

図 4-2 は、ICT を活用した仕組みを導入した結果、どの程度の効果があったのかを表したグラフです。左が生産性です。1 日あたり約 21%、出荷量つまり生産性が上がりました。一方で、右図では重機や大きなダンプ、あるいは火薬を使うので CO₂ が出ることが示されています。CO₂ は、この仕組みを導入することで約 24% 減りました。生産性向上と環境負荷、CO₂ の削減が両立できたと言えます。こういう話を工場などで CO₂ を減らそうとしている人たちに話すと、何故だという話になります。彼らは、乾いた雑巾を絞るようにして CO₂ を減らしています。それ以上減らすためには、お金をかけて省エネ型の機械を入れるか、生産量を落とすしかありません。でも建設の現場では、これができるのです。

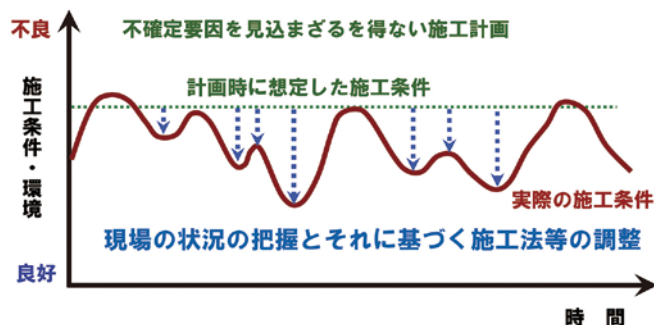


「生産性向上」と「環境負荷低減」の両立

図 4-2 情報化施工導入の効果

なぜ両立ができるのか。その理由は、建設現場には不確定要因が多いということです。雨が降ったら工事ができないし、トンネルは掘ってみたいと支保工が正確に決められません。

図 4-3 は建設現場の作業条件や環境の良し悪しをイメージで表した図です。縦軸の上が不良、下が良好であることを表現しています。建設の現場では、雨が降って工事ができない、逆に晴天が続いて工事がはかどる、あるいは土が悪くて工事できない、非常にいい土で仕事がしやすいなど、日時や場所によって条件が異なります。一方で計画や設計は、多少条件が悪くても工事ができるよう、少し余裕を持たせてあります。設計における安全率は、正しくそのものです。しかし、現場の条件は悪いときばかりではありません。条件の良いときにまで、悪い場合を想定して作成した計画や設計で工事をする、過剰なインプットをしていることになります。これに対して、ICT を使って現場の情報を集めて柔軟に施工方法を変えていくことができれば、必要以上の資材や機材、エネルギーや人工の投入を防ぐことができます。その結果、CO₂ を減らすことができ、生産性を上げることがもできます。さきほどご紹介した関西国際空港の土工の現場では、徹底してこれを実施していました。そのため、生産率向上と環境負荷低減の両立が実現できたのです。



現場の状況に応じた柔軟な対応 過剰なエネルギー、資材、労働力の削減

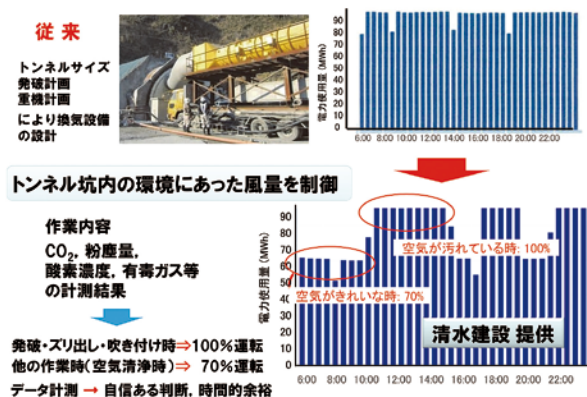
図 4-3 精緻なマネジメントによる生産性の工場

(3) 21 世紀型のインフラ整備

日本における 20 世紀のインフラ整備は、基準や設計方法を体系化して、その通りに作れば効率的に一定品質のインフラが出来上がるような仕組みを作ってきました。そのおかげで急速に品質の高いインフラを作ることができました。一方で、あまり厳格に基準やマニュアルを作成してしまったため、現在は、そこから抜け出すことができなくなっているのだと思います。もちろん従来の基準やマニュアルを否定するものではありません。しかし、21 世紀型のインフラは、従来の基準やマニュアルを標準としながらも、現場の条件に応じて若干柔軟に調整していくような仕組みを入れることによって過剰を減らして生産性を上げていく。そういったことが普通に行われる産業に土木がなってくれるといいなと思っています。

(4) 様々な作業における ICT 活用の可能性

このような話は、大きな現場で ICT を多く導入しないと実現できないかという、必ずしもそうではありません。これはある山岳トンネルの現場で行った精緻なマネジメントの例です（図 4-4）。



山岳トンネルなので、発破をしたり吹き付けコンクリートをしたりするため、空気が汚れます。対策として送風機で空気を送る必要があります。この送風機は、トンネルの大きさや使う重機、施工方法に応じて設計されます。当然、空気が汚れている時でも作業ができるよう、十分な換気能力を持った送風機が設計されて使われています。しかし、トンネルの中は常に空気が汚れているわけではありません。測量時や H 鋼を立て込んでいるときなどは、あまり空気が汚れていません。そういう時にまで、最大出力で空気を送る必要はありません。作業内容や CO₂ 量など環境をセンサーで測り、それにに応じて送風機を動作させればいいのです。空気が汚いときには当然 100%で空気を送り、空気が綺麗と判断されたら 70%の出力で空気を送る。こういう精緻なマネジメントをすることで、電力量を大幅に減らしました。

こういう事例は、いくらでもあると思います。我々は、どうしても今までのやり方やマニュアル、基準に従って物事を進めがちです。しかし、ほんの少し工夫するだけで、精緻なマネジメントはできていくのだと思います。ただ、工夫をするためには、現場の状況を知らないといけません。そのために ICT や情報技術を上手く使い、現場がどうなっているのかを把握して、それにに応じて柔軟に施工方法を変えていく。こういうことも 1 つのやり方かなと思っています。

4.2 建設ロボット

近年、日本ではロボットの導入が進んでいます。ただ、建設分野のロボットというのは、一般製造業に比べると 20～30 年遅れているといわれています。一般製造業では工場の中で決められた仕事をするため、ロボット、自動化技術を導入しやすいのですが、建設現場というのは、屋外で物性が決まっていない土や岩を対象に仕事をするため、導入が難しい。状況に応じて自分で判断する機能を持たせる必要があるため、導入が遅れて

いるのです。とはいえ様々な分野で、徐々にではありますがロボットが使われ始めています。

(1) メンテナンスに用いられるロボット

例えば、メンテナンス、維持管理の分野です（図 4-5）。人が入ることができない下水道や上水道には、狭隘な管の内部に入り、内壁面を調査するロボットが使われています。



右下の写真はタコの吸盤のようなものでガスタンクの表面に張り付いて移動し、溶接部等の健全性を調査するロボットです。あるいはドローン、UAV もメンテナンスで使われています。橋上の高所など、なかなか人が近づくことができないような場所の調査で、ドローンが使われるようになってきています。

(2) 災害現場で用いられるロボット

災害現場でもロボットは使われています。例えば大雨で土砂災害が起こり、埋まった人を助けに行かないといけなとき、あるいは孤立した村を繋ぐための道路を作らないといけなとき。そういった場面で無人化施工のロボットが使われます（図 4-6）。



土砂災害時には、またいつ次の土砂崩れが起こるか分かりません。そのような危険な状態では現場に人を入れて作業することができないため、ロボットが使われているのです。写真に写っ

ている重機は全て無人です。離れたところから、テレビの画面を見ながら遠隔操作で作業を行うようなロボットが使われています。

ただし、これは専用機のため、数が多くありません。そこで最近開発されているのが、人型のロボットです。人型のロボットは、小さいので車に積むことができます。災害が起こると、こうした人型のロボットを災害地に持って行きます。そして、現地にあるショベルやブルドーザーの運転席にこのロボットを座らせて、腕や足を機械のレバーに固定してロボットを遠隔で操作することによって、普通の重機を遠隔操作仕様に変える。こういう技術も使われるようになってきています。特に九州では大雨の災害が多いため、こうしたロボットを各要所に置いておき、いざ災害が起こったときに即座に使えるような体制をとっています。

(3) 建設分野におけるロボット開発の特徴

図4-7は、技術開発にどれだけ投資しているかということを産業別に表しているグラフです。産業の中で一番お金を使っているのは製薬業でしょう。医療製薬業界では、平均で総売上上の12%ほど投資をしています。一般製造業では約4%、全産業は平均3.3%です。それに対して建設業は、0.4%しか技術開発に投資していません。ほとんど投資をしていないにも関わらず、日本ではロボットをはじめとした様々な技術開発が行われています。投資をせずにどうやって技術開発を行っているのかというと、多くの場合、技術開発のための予算ではなく、実際の工事の予算を使って技術開発を行っているのです。工事プロジェクトの予算を使っているため、確実に該当工事の役に立たないといけません。結果として、高度さよりも実用性が重視された技術が開発されているのが特徴です。これが日本の建設分野における技術開発の特長だろうと思っています。

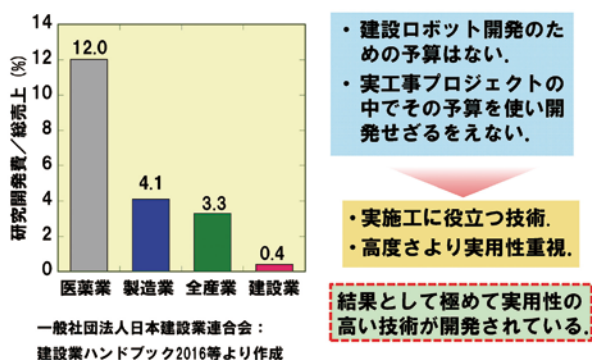


図 4-7 日本における建設分野の技術開発の特徴

(4) 現場での技術開発事例

日本型建設技術開発の良い事例が、雲仙普賢岳の砂防事業という事業です。1990年に九州の長崎県島原半島で大きな火山災害が起こりました。その際、流れてくる火砕流や土石流から周りの人を守るために、砂防堰堤と呼ばれる土砂災害を防ぐ施設を作る必要がありました(図4-8)。

1990年11月 噴火、1991年2月再噴火、5月火砕流発生
死者・行方不明者:43名の、負傷者:9名



国土交通省 九州地方整備局 雲仙復興事務所 HPより

図 4-8 雲仙普賢岳 砂防事業

しかし、いつまた噴火が起こるか分からないので、人がこのエリアに入って工事を行うことができませんでした。このため、遠隔操作で工事を行うようなシステムを導入し、延々と20年間に渡って工事を行ってきました。こういうプロジェクトの中で技術を磨いてきたのです。(図4-9)



図 4-9 遠隔操作による無人化施工

そのおかげで、6年前の福島原子力発電所の災害時に、この技術を現場に持って行ってすぐに使うことができました(図4-10)。原子力発電所は非常に重要な施設だということで、もし、事故に備えて高度な機械を用意しておいても使えなかったでしょう。なぜなら、いざ事故が起こった際に倉庫に大事に保管されていた機械を引き出して使おうと思っても、普段使っていなければ使い方が分わからないことでしょう。

福島で即座に使えたのは、雲仙普賢岳をはじめとする様々なプロジェクトで、使いながら技術を磨いてきたためです。その結果、事故が起こった時に即座に使うことが出来ました。非常時には、普段当たり前のように使っている技術が有効です。そういう意味では、技術は現場で使いながら磨いていく、そういう仕組みを作っていくことが大事だと思っています。

ただし、ロボットは高価です。なかなか一般工事では使えま

せん。そのため、今、私が委員長を務める土木学会の「建設用ロボット委員会」では、一般工事でも収支のバランスをとりながらロボットを使えるような仕組みを作ろうとしています。その仕組みをどう作ればいいのか、ということ議論しているところです。

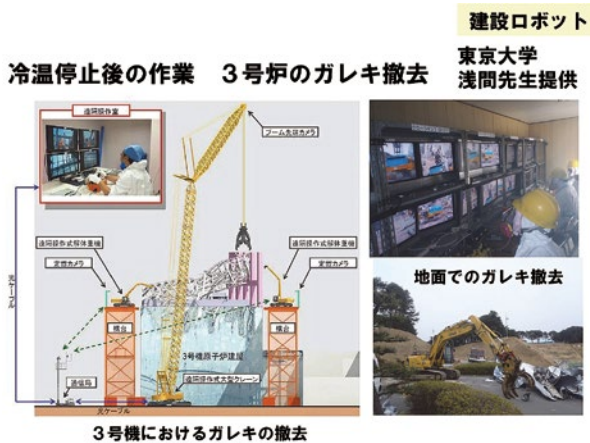


図 4-10 福島第 1 原子力発電所事故での活用

5 i-Constructionの実現に向けて

5.1 i-Construction の実現に向けて

今日は i-Construction という話をしました。「きつい・汚い・危険」の 3K から、「給料、休日・希望」という新しい 3K で代表される建設産業に体質を変えていこうという話です。しかし、3K から新 3K へと自然に移行できるかといえば、そうではありません。やはり山があります（図 5-1）。設備を導入しないといけない、技術力もつけないといけない、という山があります。ここをどう越えるのが問題です。越えさえすれば、生産性を上げて環境負荷を低減できるような世界が広がっています。それをどう越えるのが、今の日本の課題であり、国も様々な制度を実施しています。こういう制度があるうちに、導入が進むといいなと思っています。

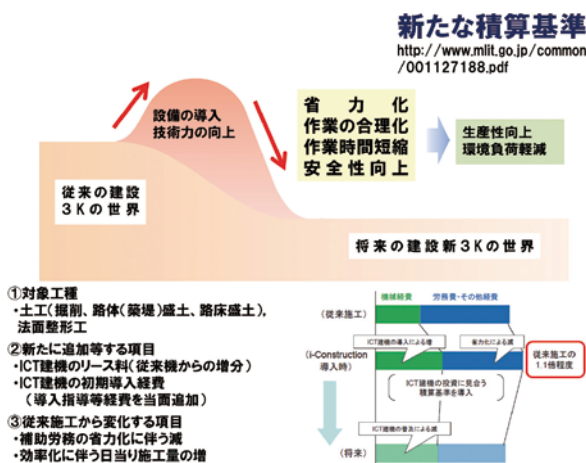


図 5-1 i-Construction の実現に向けて

5.2 基準やマニュアルが大幅に改定

今回の i-Construction に関連して是非お話ししたいのが、基準やマニュアルが大きく改訂されたということです。今までは、基準やマニュアルがほとんど改訂されてきませんでした。実は、日本では 10 年以上前から ICT を建設分野に導入しています。情報化施工がその代表です。けれども、思ったほど広がらなかった。なぜなら、基準やマニュアルが、人が手で実施することを前提に作られていたからです。そこに ICT を導入しても、ICT が持っているポテンシャルを活かすことができませんでした。しかし今回、基準やマニュアルが、ICT を使うことを前提に大きく改善されました。いくつものマニュアルが変更されています。つまり、様々な技術が導入される可能性が出てきたということです。一方で、基準やマニュアルは改善されましたが、どの技術を使うのかという点は未だ確立されていません。新しい基準やマニュアルを満たすために、こういった技術を使うべきなのか。この点を、現場ごとに考えて作っていくことになります。そういう意味では、これから現場の中で技術開発が活性化される、そういう段階に入ってきたのではないかと、私は非常に期待をしています（図 5-2）。



Point

ICTを導入することを目的とせず、目的を決めて、それに対してICTを活用することを考えた方が確実な効果が得られ易い。

→ 現場における技術開発の機運が高まることを期待。

図 5-2 技術開発機運の高まり

5.3 技術者への現場回帰のススメ

(1) 管理の仕事は ICT の得意分野

次に、技術者には是非、現場回帰をして欲しいと思っています。

図 5-3 は日本のインフラ整備の推移を表したものです。

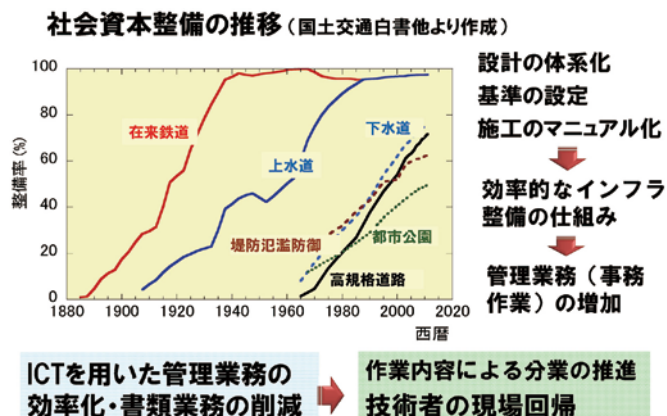


図 5-3 インフラ整備の推移

1880 年頃から鉄道ができて以降、水道、下水道、高速道路と順次、日本は非常に効率的に様々なインフラを作ってきました。なぜこれが実現できたかという点、設計を体系化し、基準を作り、施工マニュアルを整備し、この通りに実行すれば、一定品質のモノが効率的に整備できる、そのような仕組みを作ってきました。その結果、基準やマニュアル通りに工事が行われているかどうかをチェックすることが仕事になってしまいました。基準やマニュアル通りに本当に実施されているのか、その管理が中心になってきたのです。つまり、技術者があまり現場に出ていかなかったのです。特に発注者側は、そういう傾向が強いのではないのでしょうか。

管理の技術というのは、ICT が得意とするところですから ICT に管理の仕事は担ってもらい、浮いた時間で技術者はどんどん現場に出て行く。そこで新しい技術の開発を進めていただく。そうすればいいなと思っています。その事例を 1 つ紹介しましょう。

(2) 技術者の現場回帰を実現した事例

九州の大分県というところで測量を専門に行っている会社の事例です (図 5-4)。



図 5-4 (株)コイシの事例

この会社は、社員の約半分が女性です。かつ、その多くが近所のお母さん方です。子供さんが小学校に上がり、子育てから少し手の空いたお母さん方が社員の多くを占めておられます。そういうお母さん方に、3DCAD を覚えてもらっています。皆が皆、できるわけではないのですが、結構できる人もおられるそうです。そういう人に測量データの整理をしてもらっています。従来は、技術者の人が現場に出て測量をし、データを自ら持って帰って整理をした上で、3D の CAD データを作っていました。こういった作業を全て自分でやっていたのです。現在は、後半のデータを整理して CAD データを作るところをお母さん方が担ってくれています。その分、技術者の時間が空きますから、その空いた時間を使って別の現場を見ることができるようになります。つまり、ICT を使うことで、今まで建設業界に入れなかつ

た方々にも仕事をしてもらえるようになり、技術者はより付加価値の高い仕事に集中できるようになった。結果、会社全体の生産性を上げることに成功しています。こういうやり方もあるのかなと思っています。

6 まとめ

建設を取り巻く課題に対処するためには、業界が変わっていかないといけません。その手段として、情報化施工やロボット、そして今日はお話することができませんでしたが、CIM というものがあります。これらを使うと今までできなかったことが、できるようになる。これが大事だと思っています。その際、ICT を導入することが目的ではなく、目的を決めて、それを達成するために ICT をどう使うのかということを考えないといけません。また、むやみに機械を導入すればいいというわけでもありません。人が実施する方がいいところもありますし、機械が得意とするところもあります。それぞれの良いところを上手く活かして融合していくことが大事です。さらに大事なことは、現場でもう一段上を目指すような雰囲気と仕組みができてくるとだと思います。

ICT を活用していこうという考え方は、アメリカをはじめ世界中で起こっています。ただ、日本は世界と少し違った形をとっており、モノづくりだけではなくあらゆる分野に ICT を導入して合理化を図ろうとしています。例えば、数年前にロボット革命実現会議というものがありませんでした。そこでは、日本のどの分野にロボットを集中的に投資していくのか、という議論がなされました。有識者の方が大勢委員としておられ、私は建設分野のロボットの専門家として説明に行きました。その会議に、北陸の温泉旅館の女将さんが有識者の委員として参加しておられました。その理由を聞くと、「これからのサービス業は人身では絶対に対応できなくなるから、ICT 技術を入れていかないといけない」と。今は、厨房、キッチンから、仲居さんが豪華な料理を大きなお盆に載せて客室まで運んでいます。しかし今後は、厨房から客室の近くまではリフトやベルトコンベアが料理を運び、最後のところだけ仲居さんがサーブするような仕組みを作っていくことになるという話をされていました。

人口が減っていくということは日本にとって大きな弱点です。けれども、その弱点を様々な技術を上手く利用することで人と融合した方法に変えていくことができれば、逆に日本の強みになるのではないかと考えています。そして、その流れを建設業がリードする。建設業がそういう産業になればいいなと思っています。

本内容は 2017 年 9 月 5 日に開催した、第 28 回日韓セミナーにおける特別講演によるものです。