

未来に要求される建設生産技術（総論）

山 元 弘

未来に要求される建設技術について建設生産を中心に話題提供する。環境について、身近なところから地球環境まで、騒音、振動、粉塵、排気ガス、低燃費、再生可能、省資源、省エネ、リサイクル、国際貢献などのキーワードで述べる。建設生産は、進展が期待されており、生産性、省人・省力化、安全性、環境負荷、品質確保・向上・保証、評価、時間・工期短縮、ICT/RT、高精度測位、自動制御、全体最適化、次世代CAD、情報化、データ交換、標準化、施工ナビ、維持管理、履歴台帳、技術継承・発展などのキーワードで述べる。また、建設技術に関する計画を紹介する。

キーワード：建設生産、施工、環境、情報化、建設機械

1. はじめに

インフラ整備では、すべてのベースになるものとして、製造業以上に近未来予測を要するものと考えている。ここでは、未来に要求される技術をイメージする端緒として、建設生産を中心に、一定の大胆さをもって、読者に話題を提供しようとするものである。

2. 環境

人類文明は、有限な地球の中で、かなり危険なところまできている認識がある。身近にも環境がキーワードとされて久しい。ここでは、環境の視点から、現況を鑑みつつ今後の技術を展望する。

(1) 騒音・振動・大気質

建設工事に伴う、騒音・振動は、改善が進んできている。一方、より高い期待が持たれることも現実であり、これに役立てていくことも望まれている。工法、機械、現場管理手法などでの改善が考えられる。また粉塵、排気ガスの改善にも役立てていくことが望まれている。

ここでは、計画上の事前予測・評価技術も必要とされている。アセスメント段階と、より現場に即した工事実施段階とがあり、その適切な評価も望まれている。また、騒音・振動等で、リアルタイムに計測、評価値算出、外部掲示を行い、記録も可能な機器が普及しつつある。

その他、最近の話題では、ノズル開発が著しい噴霧

器、解体現場での自動散水、アクティブ振動制御などがある。また、個別技術の取組から、全体の最適化の取組まであり、今後後者も比重が高まっていくものと思われる。

(2) 排気ガス

NOx、PM等の改善では、機械単体を対象として、従前より国交省による指定制度があり一定の効果を上げていたが、2006年10月よりいわゆるオフロード法による規制が開始された。次期規制も迫っており、その後もさらなる改善が望まれている。今後とも、後処理装置等による対応やその改良が想定されている。

(3) 低燃費機械

エンジン関係や各種省エネモード等開発が進められている。排気ガスとも関係するが、ハイブリッド建設機械の開発が進められているところであり、今後普及に向けた展開が期待される。また、ハイブリッド建機では、動力源とアクチュエータを1対1対応とする等、操作性の向上や制御に向けた構成も考えられる。

(4) 再生可能燃料

バイオ燃料が着目されているが、当面の間の対応と思われる。世界人口とその食料を支える耕作面積は、2020年頃交差すると言われている。バイオ燃料は耕作地によらない必要があり、バイオ燃料の継続には、非耕作地や海洋の開拓も視野に入る。この他、有機廃棄物の処分を兼ねる下水道汚泥消化槽等を中心とするガスエネルギーを活用する体系もCNG代替等として考えられる。かつて製鉄所の余剰ガスを都市ガスとして供給した事例（水島→岡山市）もあり、体系は色々

と考えられる。

燃料電池も建設分野に限らない共通課題ではあるが、将来的には、水の光触媒による電気分解などの再生可能燃料であることが求められると考えられる。

(5) 省資源・省エネ・リサイクル評価と設計・工法

建設工事自体の省エネルギー・省資源・リサイクルの評価指標が整備され、多くの現場で容易に指標が用いられることが期待される。例えば、建設工事のエネルギー原単位の算出が行われたり、単体では建設機械のリサイクル評価指標のISOでの検討が最終段階となっている等、取組が進められている。これらが体系化され、消費の構造が明らかになり、精度を上げ、容易に使用できることが望まれる。

設計・工法での取組が必要であることは当然とされているが、このためにも評価指標が容易に使用できることが望まれる。施工計画と関連づけされたいわゆる次世代CADでこの機能が盛り込まれることも考えられる。

(6) 材料プラントの省エネルギー

建設工事のエネルギーでは、工事現場そのものだけでなく、物流や供用時を含めたライフサイクルも考慮対象となりトータルな最適化が望まれる。この中で個別技術としては、建設材料製造のエネルギーがポイントと考えられる。セメント、アスファルト等のプラントでの省エネ化も進められ、リユース、再生利用も進められているが、さらに低温化や材料自体の見直しも考慮すべきものと思われる。

(7) 地球環境と国際貢献

地球環境は人類共通の課題であり、国際貢献を果たすにふさわしい課題と考えられる。

砂漠化の防止については、現実的には伐採構造を止められるのが社会的な課題かもしれないが、従前より言われている砂漠緑化技術もまた真摯に取り組んでしるべき課題のひとつと考えている。

本誌ではかつて、エジプトのカッタラ窪地を内海として気候自体に働きかけようという提案の、導水工事の機械が紹介されたことがあり、印象に残っている。気候変動予測は共通の課題であるが、未来に向けて大胆な国際貢献プロジェクトがあって欲しいという気持ちである。

世界の水災害・水資源問題としては、(独)土木研究所つくば中央研究所内にユニセフのICHARMという研究機関が設立されたことを紹介する。

3. 建設生産

人類の歴史では、技術(の進歩)が社会構造を変えてきたことは否定できない。技術革新のインパクトの大きさにもよろうが、建設生産の視点から、現況を鑑みつつ今後の技術を展望する。

(1) 生産性

建設投資が大幅に減少する一方、建設労働人口の減少は小幅にとどまっております、労働生産性が低下する計算になるのが自然である。生産性向上への圧力は弱まっている現況認識であるが、いかに低価格に耐えうるかと、投資して生産性向上を目指すことは、共存している。

(2) 事例に見る未来へのキーワード

最近身近で話題となっている技術では、グレーダやブルの自動ブレード制御(3次元マシンコントロール)の導入が進みつつある。この技術は、敷均しのブレード操作を自動で行うもので、以前より回転レーザーでの高さ制御が行われており、近年のGPSまたは自動追尾トータルステーションでは位置に応じた高さ制御を行うようになっている。

従前では、作業員が計測して修正作業を行っているが、この技術では、修正作業は大幅に短縮され、計測は作業終了前の確認のみとなる。また丁張り等の施工目標の設置の省略が可能で、欠点をあげれば現場の作業員には施工現場の目印がないこととなる。ここでの効果は、丁張りの省略や作業時間が短縮されることにより、生産性の向上、計測作業員の省人・省力化、人による計測頻度が下がるため安全性が向上、運転時間が短縮されて環境負荷が低減等、複合的に効果がある。品質確保としては、所定の厚さと平坦性が、面的に、オペレータの操作技量によらずに担保され、かつ記録にとることも可能である。さらに精度向上に価値があるならば、この方向性も考えられる。また結果としての工期短縮は、受発注者がこれを生かすことができるのであれば、事業効果の早期発現、工事による社会的損失の低減、総合的環境負荷の低減、仮設等定常経費の低減、機器・技術者の次の現場への早期移動、受注機会の拡大等、好材料がそろっている。

欧米では、比較的大規模現場に恵まれている、丁張り技術者の確保に難渋することがある、工期短縮ボーナスがある、高機能機械の保有により受注が有利になる等で、大きく普及が進んでいる。日本でも大規模現場を中心に導入が進んでいるが、一定の稼働が担保されれば、普及の臨界点に到達すると考えられ、このためにも中小現場での転用先が確保されること、レンタ

ル会社からの供給などが期待される。

この例に複合的に見られる、未来に向けてのキーワードは、主なところで、生産性、省人・省力化、安全性、環境負荷、品質確保、作業時間短縮、工期短縮、個別的には、品質保証、品質向上、平坦性向上、層厚管理向上、省資源、技術的には、屋外でのリアルタイム精密位置計測、自動制御などがあげられる。

(3) 品質確保と品質向上の評価

品質確保では、発注者側からは、公募型指名から一般競争への制度的な移行、近年の改ざん事件などからの、性悪説に耐えうる、監督・検査の技術的向上がある。これは、発注者責任と考える。施工後の非破壊検査の他、特に、事後に確認できない、施工中の確認技術の向上が期待されている。受注者側は、積極的な意味で品質証明・品質保証をどう行うべきか、その技術も課題となろう。

品質向上では、国民にかわって公共財を購入する賢い消費者としての発注者は、要求性能と品質向上と価格のバランスをとる方向性と思われるが、技術的にも制度的にも課題である。上述では精度向上を例としたが、耐久性の価値の評価も容易ではないと考えられる。しかし、品質向上を評価できないと、改善圧力としては不利になり、行うべきものと考えている。

「設計方法や施工の規格値と、それが経験的にも妥当であること」に対して、規格値に対して大きく施工精度が向上してかつ面的データが担保された場合に、設計改善にフィードバックされて経験的にも妥当なのかデータ蓄積が行われうるのか、課題である。この他に、性能規定の議論やこれを裏付けるデータ収集・蓄積の議論もある。また例えば、道路の場合、路盤の平坦性が向上した場合に、苦情発生までの期間の関係で統計的な差異があるのか等、色々な見方がなされるようになっている。

(4) 全体最適化

一工程とその機材に着目した事例を紹介したが、全体工程の中でその効果が活かされ、いわゆる全体最適化につながるべきである。

しばしば事例とされるプレハブ建築では、設計のモジュール化、受注と調達・工場の連動化、運搬・組み立ての連動化等、全体最適化に努めている。また通常の木造でも、プレカット工場で柱加工しており、考慮すべき事例である。

始まりから終わりまで、多数の関係者が存在し、一貫した最適化のために、情報共有、連携の強化とその実現手法、運用手法が重要である。

土木では資材調達との連携が重要と説かれることが

多い。例えば、鉾山、原石山、長期の土取り場での事例からも、砕石業、残土のリユース調整での連携は、難しい一方、今後ますます力を入れるべきものと考えられる。

(5) 次世代 CAD と改善

従前より 4 次元 CAD では、3 次元のプロダクトモデルに加えて、施工段階の時間的要素を加味したものとして検討がなされ、一定の効果が報告されている。

製造業での CAM 等のアナロジーからは、以下のようなイメージが想定される。

モジュール化された標準部品（と許容される寸法の伸縮等）の組み合わせにより設計がなされる。標準部品とは構造物の構成要素であって、現場の作業標準と資機材・仮設等と対応している。標準部品は、作業標準の改善がなされる最小単位となっており、標準施工手順や代替改善手法等が記述されている。現場の進捗の変化による段取り替えや手配の最適化を支援する。打合せはいつでもビジュアルに可能。標準部品は、資機材・仮設の調達と対応している。ここでは、設計と施工改善、全体最適化は連携されるものとの立場に立っており、この支援はシステムの要件になる。

改善では、CE（コンストラクティブ・エンジニアリング）の提唱があり、紹介する。工場的な時間研究を主体におくと、マテハン時間より作業時間が主体となる土木では不利であるとされているが、生産性、苦渋性、安全性の観点で、総合的システムティックに分析し、改善を立案・試行するものである。この他、各工程の余裕を圧縮・集約し、工期短縮を図る手法が注目されている。

十数年前 CALS 以前に語られていた CAD 標準データ構造は難渋し、日の丸 CAD エンジンも製造業でも困難となり、ここで、アプリケーションを主眼にしっかりとした取組が期待される。

(6) データ交換と標準化

ここまで述べたことから、ICT/RT は、キーテクノロジーである。情報化では、データ交換は必ずある。標準化は（それが審議中の ISO15143 であろうとデファクトであろうと）避けられない。ここでは、拡張、保守が容易でしっかりと管理されることが必要である。

初めにあげた例では、ブレード制御のための施工図データを渡すのにベンダー、メーカーを問わず、次に 3 次元フィニッシャでデータ項目が増えれば追加管理が容易で、資機材調達への拡張も齟齬が生じない、などを標準が備えるべき要件として想定している。

4. その他の話題

最近、身近で語られた、語った話題を紹介する。

(1) 建設労働災害の減少

一例として、先に述べたキーワード、建設生産の安全について、具体的に記述する。

近年の建設労働死亡者数は、労働人口ベースで他産業平均の4倍近い。人的要因や、屋外危険作業だからやむを得ないとする一方、技術による改善が目指されることが自然と考える。転落等で約半数、建設機械等で約2割となっており、これを中心として、建設労働の安全を目指す。また、既存技術も含めて生かす、ヒューマンエラーを前提とした取組体制が望まれ、事業者、施工者の労働安全確保に対する基本的な姿勢が変わることも期待される。

これまでの事例としては、転落の危険性のある作業の無人化、省人化（例：無人玉掛け、遠隔のり面施工機械）、有人作業での転落防止技術（例：危険箇所位置ガイダンス、手摺り先行足場）、建設機械周辺作業の無人化、省人化（例：機械作業中計測を人力によらない、計測機器や作業装置の自動制御）、特に危険な作業での遠隔無人化施工（例：雲仙・有珠等）などがあげられ、今後の発展が期待される。また、ロボットテクノロジーの活用とその機能を生かす施工方法・施工体制、屋外での機械や人の位置特定技術と必要ならばそのインフラ化、危険防止にかかる施工・資機材・人的資源等の管理方法などがあげられる。

(2) 建設機械

最近、ICチップ入り自動車運転免許証でエンジン始動と連携可能なものが発表された。建機では、20年前ICカードの機能として準備された。今後、操作性のカスタマイズ登録も可能とされている。オペレータの操作意図をバケットの先まで伝えようとする、開発側の指向があり、技能者の働き甲斐や心も意識している。

主力機種で、車載液晶モニタ（7インチ程度）が標準装備になりつつある。今後、オペレータに施工指示や参考情報を提供する（設計図と計測結果を建設機械に搭載し通信する）「施工ナビ」として、遠隔も含めて期待されるが、施工法とセットでなければ受け入れ難いことが認識されている。

稼働管理では、衛星通信等で蓄積する方法も標準装備になりつつある。機器としての管理の他、個別の色々な単位での生産性数値化へ展開が可能で、例えばオペレータ単位も可能となる。データ交換標準は緩やかなイーグルJCMA（建機協規格）がありISO15143

（審議中）との整合もとられている。

我田として筆者のチームでは、2台を1人で操作できるマシンと、その（自動機能を活用する）施工を提示し、「プログラマブル・バックホウ」の技術仕様や組合せ施工モデルが、発展できるような仕組みを準備したいと考えている。ただし、自動制御に向く油圧系や、双腕のような構造等は範囲に入っていない。

(3) 維持管理

履歴台帳のデータ項目として蓄積されるべきものが何か、維持管理の計画・管理技術から明らかにされつつある。経過過程により千差万別な状態となる維持管理は、今後の技術発展が期待されている。

経験に重みのある土木の技術継承にあって、情報の蓄積が質・量とも大きく進めることが可能となってきた現在、継承だけでなく、技術自体が発展してもおかしくない。前述の品質向上の評価での例で言えば規格値と設計基準がなぜそうなっているか、経験・データ蓄積・技術判断記録等多くの人が共有できる体制があり得る。情報化による技術継承・発展へのアプローチでは、このような議論もあると聞く。

5. 建設技術に関する計画

今後要請されるであろう、建設技術についての総論としては、国によりいくつかの計画がなされており、これが参考となるので概略を紹介する。

(1) 国土交通省技術基本計画（平成15年11月）

現行の国土交通省技術基本計画（H15～19）では、技術研究開発の戦略について、その方向性に関する「開発戦略」では、以下の5つの目標に向かって、重点的に推進することとしており、具体化するためのテーマのうち10を重点プロジェクトとして位置づけている。

目標①安全で不安のない暮らしを実現します

目標②良好な環境を取り戻し美しく持続可能な国土を子や孫に引き継ぎます

目標③快適で生活コストの安い暮らしを実現します

目標④国際競争力を高める活力ある社会を実現します

目標⑤誰もが社会の一員であることを実感できる社会をつくります

重点プロジェクト

①東海、東南海・南海地震を中心とした地震防災対策の強化

②陸・海・空の事故防止／削減のための総合的技術の開発

③地球に優しい低公害交通機関等の開発

- ④自然共生型国土基盤整備技術の開発
- ⑤循環型社会を構築する技術の開発
- ⑥地球規模の環境変動再現データベースの構築と地球温暖化メカニズムの解明
- ⑦安全で低コストな大深度地下利用を可能にする技術の開発
- ⑧建設ロボット等による自動化技術の開発
- ⑨非破壊検査等による社会資本の健全度評価技術の開発
- ⑩宇宙・海洋などのフロンティア分野の開拓

この他、開発成果を確実に実用化していくための仕組みとしての「推進戦略」、技術振興のための「人材・基盤戦略」、国民に理解を得る「コミュニケーション戦略」があげられている。

(2) 建設産業技術戦略（平成12年3月）

ここでは方向性が、以下のように述べられている。

近い将来、住宅・社会資本の更新時期が集中的に来ることや、環境問題の認識の高まり、少子・高齢化、情報化、国際化、国民の価値観の多様化が進む中で、これまでに蓄積された世界的に優れた建設技術の一層の高度化に努めるとともに、以下に述べる技術課題を解決することが、今後のわが国の社会経済活動の基礎となる21世紀の住宅・社会資本整備に必要である。

また、建設産業技術は他産業技術を広く包含し、国民の生活基盤の形成を担うとともに、新たな技術市場の創出を推進する力を有している。このため、住宅・社会資本整備だけでなく、建設産業技術領域にとどまらない広範な学際・業際領域における技術革新を創出し、21世紀におけるわが国の産業技術力強化に貢献する。

- ①ストックの利活用によるバランスある住宅・社会資本整備に資する技術
- ②自然や環境と調和した住宅・社会資本整備に資する技術
- ③住宅・社会資本の高度情報化推進に資する技術
- ④性別・年齢を問わない住宅・社会資本整備に資する技術
- ⑤安全で豊かな国土基盤整備に資する技術
- ⑥人文・社会科学に立脚した国土基盤整備に資する技術
- ⑦未利用空間の高度利用に資する技術
- ⑧国際市場に対応した技術
- ⑨コスト低減や投資効率・耐久性向上に優れた技術

(3) その他

- (a) 科学技術基本計画分野別推進戦略社会基盤分野・フロンティア分野（平成18年3月）

総合科学技術会議でまとめられたもので、社会基盤分野では、防災、テロ対策・治安対策、都市再生・生活環境、ストックマネジメント、国土の管理・保全、交通・輸送システム、ユニバーサルデザインの観点から課題が整理されている。社会資本整備審議会・交通政策審議会技術部会の提言（平成17年12月）がベースとなっており、国土交通技術会議の「社会的技術」（社会的課題を早急に解決するための技術）の提言（平成17年4月）を反映するものとされている。

- (b) 「国土交通分野イノベーション推進大綱」

（仮称）

現在、国は「イノベーション25」を打ち出しており、検討中のこの大綱では、ヒト・モノ・クルマの流れの円滑化、地域の活性化の推進、安全・安心で豊かな生活環境の実現、社会資本整備・管理の効率化の4つの視点で、ICTの活用も踏まえつつ、取りまとめが進められている。

- (c) 協会の活動

（社）日本建設機械化協会では、「建設生産システム研究会報告書」（平成15年3月）を取りまとめている。ここでは、建設技術の将来に向けて、協会会員を中心とする関係者が、協会の場も活用し、何を念頭に進めるべきかの観点で、取りまとめが行われたとされている。

6. おわりに

最近身近で、土木関係のイノベーションについての提案を聞く機会があり、多様性が存在しているか確認されていることを再認識した。

教えをいただいている多くの方々に感謝するとともに、ここでの記述の文責は当方にあり、議論の話題提供のための私見であることを確認する。

技術について、熱く語る場が多くあることが望まれていると思う。

JICMA

【筆者紹介】

山元 弘（やまもと ひろし）
独立行政法人土木研究所
技術推進本部
先端技術チーム
主席研究員

