

General Institute Report

総研レポート

2019. 8月

vol.18

寄稿

- 国際安全規格からみたドローン安全
～ドローンビジネスの持続的発展のために～
- ダム・河川インフラ点検へのロボット導入
促進に向けたロボット性能評価手法標準化
への取り組み
- デジタルスマートコンストラクションの幕
開け
- スマートデバイスを活用した施工管理業務
の生産性向上
- 防水改修における耐久性の確保

調査研究報告

- マンションの設備改修工事費と長期修繕計
画との関連性に関する研究
- 伊能忠敬と間宮林蔵の関係が北海道地図作
成に与えた影響
- 回路図面における電気電子部品の自動認識
手法の研究開発
- 2020年 東京オリンピック・パラリンピック
開催に伴う建設需要の現状と今後の経済動向
～五輪開催後の建設需要はどうか？～
- 「個人住宅工事費の価格傾向に関する研究
(その4)」の結果概要
- 建築プライスレポート2018
- 民間企業設備投資動向調査 共通回答企業に
よる時系列データ紹介と投資意向アンケート
の傾向比較について
- 建設資材物価指数 平成23年基準改定につ
いて
- 「建設物価・建築費指数」平成23年(2011年)
基準改定について

付録

- 総研レポート掲載報文リスト



一般財団法人

建設物価調査会 総合研究所

目 次

寄稿

国際安全規格からみたドローン安全 ～ドローンビジネスの持続的発展のために～	1
長岡技術科学大学大学院 技術経営研究科 システム安全専攻 准教授 木村 哲也	
ダム・河川インフラ点検へのロボット導入促進に向けた ロボット性能評価手法標準化への取り組み	7
国立研究開発法人海洋研究開発機構 研究プラットフォーム運用開発部門 技術主任 眞砂 英樹	
デジタルスマートコンストラクションの幕明け	17
清水建設株式会社 土木技術本部 開発機械部 部長 小島 英郷	
スマートデバイスを活用した施工管理業務の生産性向上	35
前田建設工業株式会社 土木事業本部 土木技術部 ICT 推進グループ長 工藤 敏邦	
防水改修における耐久性の確保	44
芝浦工業大学 建築学部 建築学科 教授 古賀 純子	

調査研究報告

マンションの設備改修工事費と長期修繕計画との関連性に関する研究	51
前 総合研究所部長 橋本 真一 総合研究所 技術研究課 主任研究員 山本 高史	
伊能忠敬と間宮林蔵の関係が北海道地図作成に与えた影響	58
総合研究所 部長 池原 一彦	
回路図面における電気電子部品の自動認識手法の研究開発	61
第二土木調査部・企画開発部・総合研究所 株式会社 リサーチアンドソリューション	

2020 年 東京オリンピック・パラリンピック開催に伴う建設需要の現状と 今後の経済動向～五輪開催後の建設需要はどうか？～	66
--	----

総合研究所 技術研究課 主任研究員 山本 高史

「個人住宅工事費の価格傾向に関する研究（その4）」の結果概要	75
--------------------------------------	----

総合研究所 技術研究課 主任研究員 山本 高史

建築プライスレポート 2018	85
-----------------------	----

総合研究所 技術研究課 主任研究員 丸木 健

民間企業設備投資動向調査 共通回答企業による時系列データ紹介と 投資意向アンケートとの傾向比較について	90
--	----

総合研究所 経済研究課 主任研究員 伊沢 佳織

建設資材物価指数 平成 23 年基準改定について	95
--------------------------------	----

総合研究所 経済研究課

「建設物価・建築費指数」平成 23 年（2011 年）基準改定について	100
---	-----

総合研究所 経済研究課

表紙写真

工 事 件 名：新東名高速道路 川西工事
発 注 者：中日本高速道路株式会社 東京支社
所 在 地：神奈川県足柄上郡山北町向原～川西
工 事 延 長：2,583 m（向原工区：662 m, 塩沢工区：1,921 m）
土 工 数 量：切土工 82 万 m³（向原工区）、盛土工 306 万 m³（塩沢工区）
軀 体 数 量：橋台 2 基・橋脚 1 基（向原工区）、カルバートボックス 3 基（塩沢工区）
トンネル延長：上り線 1,207 m, 下り線 1,167 m（塩沢工区）
工 期：2016 年 7 月～2022 年 4 月
施 工：清水建設㈱・岩田地崎建設㈱特定建設工事共同企業体
写 真 撮 影：清水建設㈱・岩田地崎建設㈱特定建設工事共同企業体

川西工事は神奈川県山北町区域で総延長 2.6 km の新東名高速道路の新設工事で、大規模盛土、スマートインター整備、トンネル構築を行う塩沢工区と、長大のり面切土、橋梁下部工を構築する向原工区の 2 工区からなり、生産性の向上を目指し ICT 技術を積極的に活用している。

土工では、3 次元による測量・設計、施工、出来形管理・納品に至る一連の過程で、「i-Construction」に取り組んでおり、施工においては、マシンガイダンスやマシンコントロールを導入している。トンネル工事では、コンピュータジャンボを適用することで余掘りの低減による施工サイクルの効率化、切羽災害の防止などに取り組んでいると共に、液体急結剤を用いた大容量吹付機を採用し施工サイクルの短縮と坑内環境の改善、覆工コンクリート打設の自動化などにも取り組んでいる。

国際安全規格からみたドローン安全

～ドローンビジネスの持続的発展のために～

長岡技術科学大学大学院 技術経営研究科 システム安全専攻 准教授 木村 哲也

1. はじめに

近年、ドローン（小型無人航空機、Unmanned Aerial Vehicle, UAV）の著しい性能の向上と低価格化により、ドローンは「空の産業革命」として注目を集めており¹⁾、ドローンの産業応用のために官民挙げての技術開発・環境整備が進められている²⁾。建設分野でも i-Construction の中でドローンを用いた測量が示さるなど、ドローンを用いた建設作業の省力化効率化が期待されている³⁾。今後ドローンは、カメラ等による計測だけでなく、打音検査等各種のアクチュエータを備えて様々な作業を行うことが予想されている。このような作業ドローンが実用化されれば、これまで高所作業車や足場を組んでの作業がドローンで代用できるようになり、まったく新しい建設現場が生まれる可能性がある。このようなドローンイノベーションの持続的推進で欠かせないのが安全である。

日本では、ドローンの安全性を確保するために、改正航空法を 2015 年 12 月 10 日に施行し基本的なドローンの飛行ルールを定め、その後、ドローンの実情に応じた改正が行われている。しかし、一般に法律は最低限度の安全要求事項を示すものであり、ドローンを用いた各種作業において、社会の求める必要かつ十分な安全性を有しているかは、ドローンの作業者が主体的に判断することが必要である。新規性の高いイノベティブな分野では、経験に基づく安全確保は困難であり、イノベーションでの安全確保には論理的体系的なアプローチが重要である。本稿では、グローバルな安全として体系化されている国際安全規格の観点から、イノベーションを持続的に推進するのに必要なドローン安全に関して考察を行う。

2. 国際安全規格

2.1 国際安全規格とビジネスの持続的発展

規格対応というと「めんどくさい」「自由を縛るものを」といったネガティブな印象をもつ読者いるのではないと思う。しかし、規格＝標準化は「実際の問題又は起こる可能性がある問題に関して、与えられた状況において最適な秩序を得ることを目的として、共通に、かつ、繰り返して使用するための記述事項を確立する活動（JIS Z 8002 より）」と定義されている。すなわち、規格は過去の教訓の集大成であり、規格は成功を継続し、失敗を未然に防ぐために存在するものである。また、規格は合意により作成されるものであるが、規格作成での合意は「本質的な問題について、重要な利害関係者の中に妥協できない反対意見がなく、かつ、すべての関係者の見解を考慮することに努める過程及び対立した議論を調和させることに努める過程を経たうえで全体的な一致（JIS Z 8002 より）」とされ、規格は事故発生後の利害関係者間のトラブルを事前に調整する役割をもつ。事故発生後の法的責任判断の根拠として「事故の予見可能性」「事故の回避可能性」があるが、上記の規格の成り立ちから、規格は事故の予見可能性・回避可能性と強い関係があると考えられる。欧州では CE マーク制度により規格対応は法的に強制されており、米国では懲罰的賠償金制度により、規格対応はビジネスを defensive にするために必須となっている。CE マーク対応はアジア・中東でも求められる事例が増えてきている⁴⁾。

一方日本では JIS 規格は任意規格とされているが、たとえ任意であっても、JIS 規格対応を適切に行っていないと、事故発生時に JIS 規格未対応により責任が重くなる場合がある（付録参照）。よって、グローバルな展開も期待されるドローンイノベーションをビジネスとして持続的に発展させるためには、国際安全規格対応は重要と考える。

2.2 国際安全規格の示す安全

ここで言う国際安全規格とは、JIS Z 8051 を頂点とする一連の安全規格である。その体系的な安全の考え方は建設機械を含む生産設備だけでなく、医療機器の安全（JIS T 14971）や生活支援ロボットの安全（JIS B 8445）などにも利用されている。

国際安全規格に基づく機械類に対する安全設計の基本的手順は JIS B 9700 に示されており、その手順は図 1 に示すようリスクアセスメントと 3 ステップメソッドによるリスク低減方策からなる反復的なものとなる。3 ステップメソッドでは、次の優先順位でリスク低減を行うこととされている：

1. 本質的安全設計方策（機械の設計を変更することによってリスク低減を行う。例：指を挟まないよう十分な隙間を設ける）。
2. 安全防護と付加保護方策（ガードの設置や非常停止の設置）。
3. 使用上の情報（使用者への残留リスクの注意喚起）

このように機械の設計者により低減されたリスクは使用者に渡され、使用者もまたリスクアセスメントを行い（労働安全衛生法第 28 条の 2）、使用者と

して次のようなリスク低減方策を行い、作業現場で受容可能なリスクを達成することになる。

- 安全作業手順の構築，監視，作業許可システム等の組織的対応
- 設計者が予想できない現場特性に応じた追加安全防護物の準備と使用
- 保護具の使用
- 訓練

JIS B 9700 に基づく安全設計に関する解説・例は多数公表されているため（例えば文献 5）ここではその詳細は割愛する。

3. 国際安全規格から見たドローン安全の課題

国際安全規格の求めるグローバルな安全は次の 2 つの原則がある。

- State of the Art の原則：最高の技術・マネジメントで安全を達成することを求める安全のアクセル的の原則
- ALARP 原則：経済性も含め合理的な範囲でリスク低減を行い過剰な安全を防ぐ安全のブレーキ的な原則。

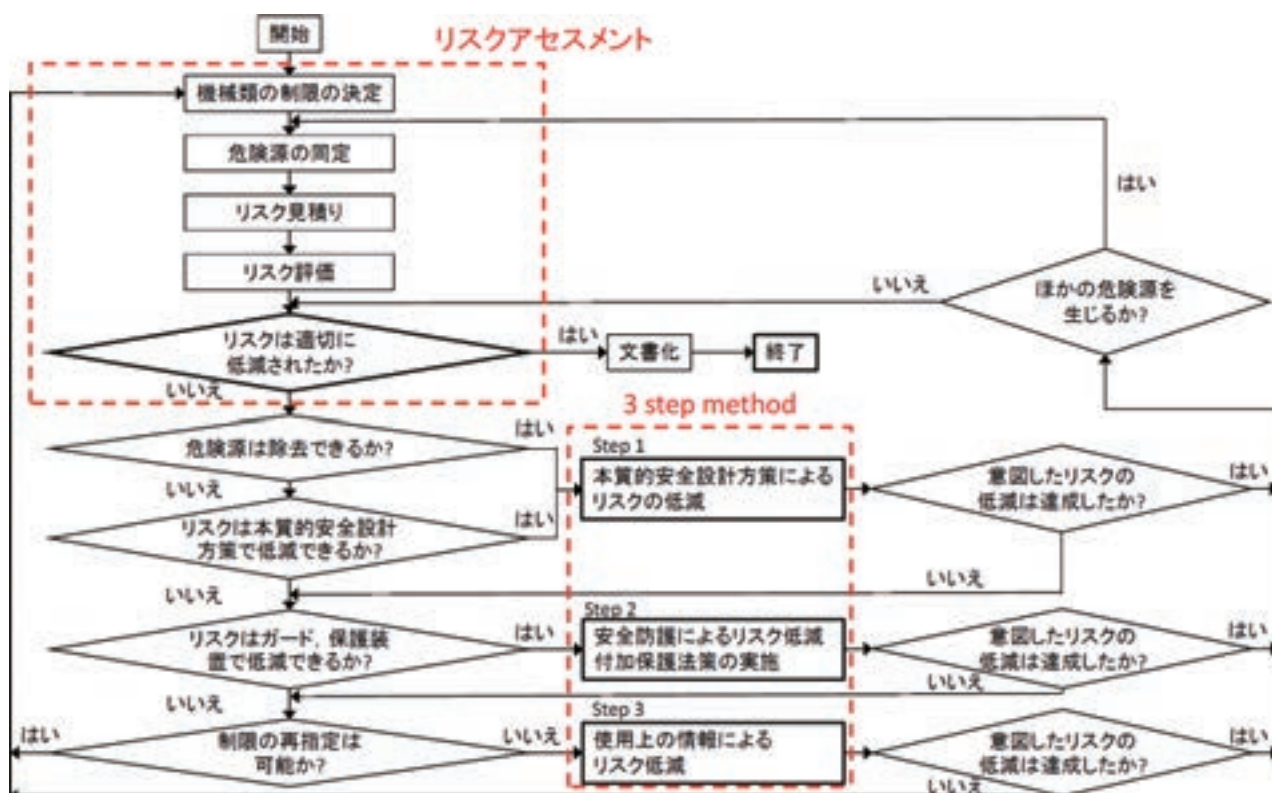


図 1 国際安全規格の求める安全設計手順（JIS B 9700 より）

前節で示した国際安全規格に基づき、この2つの原則のバランスを考慮しながらドローン安全を考えていくことが、ドローンビジネスの持続的発展のために重要である。以下では、国際安全規格から見たドローン安全の課題を考察する。

3.1 リスクアセスメントの課題

3.1.1 KY 活動とリスクアセスメント

建設現場を含め、産業界の安全管理では危険予知（KY）活動がしばしば用いられている。KY 活動は実際の作業現場で主に経験的に実施されるため、実施者の経験・能力に負うところが大きい。一方、リスクアセスメントは規格に定められた手順に基づき系統的に実施されるため、実施者の経験・能力によるバラツキが少ない事が期待される。実際の作業現場ではKY 活動の方が即応性が高くリスクアセスメントより有用しやすいことが考えられるが、ドローンを用いた新規な業務では、経験則に依存の少ないリスクアセスメントの実施が安全管理では有用である。両者は排他的に用いられるものでなく、相補的に用いられることで、適切なドローンの安全管理が実施できる。

3.1.2 リスク要素の多様性

リスクアセスメントではリスク見積りに必要な情報を「機械類の制限」として整理し、次の観点で必要な情報を特定することが望ましいとしている。

- 使用上の制限：機械の仕様／機械類の運転モード／使用者の仕様（性別、年齢、身体能力、立場、資格、経験）／ライフサイクルタスク／合理的予見可能な誤使用
- 空間上の制限：動作範囲／空間の要求事項／人間—機械間／機械—電源間
- 時間上の制限：寿命（機械構成部品など）／推奨使用間隔
- その他の制限：材料特性／環境

多様な環境で多様な利用法が期待されるドローンでは、多様なリスク要素を考慮する必要がある。同じドローンでも環境や利用法が異なる場合は、再リスクアセスメントが必要となる。再リスクアセスメントを効率的に行うためには、最終的な結果のリスクアセスメントシートだけでなく、その作成の前提

条件を機械類の制限として整理しておくことが必要であり、ドローンに適した形で機械類の制限の項目を整理することが効率的なリスクアセスメントのために望まれる。

3.1.3 ライフタイムタスク

リスクアセスメントで考慮すべきライフタイムタスクの例として、JIS B 9700 では次を挙げている：設定（段取りなど）、試験、ティーチング／プログラミング、工具／工程の切替え、起動、全ての運転モード、機械への材料供給、機械からの製品の取出し、正常停止、非常事態の場合の機械の停止、機械異常からの復帰、計画外停止後の再起動、不具合（障害）の発見／トラブルシューティング（オペレータの介入）、清掃及び維持、予防保全、事後保全。

実際のリスクアセスメントでは、これらのタスク例を個々の事例に落とし込み、リスク見積もりを行うことになる。しかし、現行の人手に頼ることの多いリスクアセスメントでは、頻度の低いタスクでのリスク見積もりは、どうしても抜け・漏れが生じる事は否めない。例えば文献6では、ドローンが飛行中に不具合が発生し、自律的に帰還している途中に障害物と衝突・墜落して怪我人が発生した事例が報告されているが、これは上記ライフタイムタスクの「機械異常からの復帰」に対応する事例と考えられる。

効率的なリスクアセスメントの実施のためには、ドローンで実施する業務のライフタイムタスクを整理し明確化することが必要である。

3.1.4 合理的予見可能な誤使用

リスクアセスメントでは、合理的予見可能な誤使用の考慮も求められており、その例として JIS B 9700 では次を挙げている：

- 機械使用中の異常事態に対する人の反射的な挙動
 - 集中力欠如や不注意、人手不足などによる個人の努力から生じる挙動
 - 作業中の最小抵抗経路（近道、手順省略など）をとった結果によって生じる挙動
 - 特定の人（子ども、高齢者、障がい者）の挙動
- ドローンでの合理的予見可能な誤使用として、例えば次のことが考えられる：立位の操縦者がバラン

スを崩して、手持ちのプロポに意図しない入力を与える(これは座位による操縦とすることで防げる)。

合理的予見可能な誤使用は、利用事例の多い産業用機械でも、リスクアセスメント時にその範囲が議論となることが多い。リスクアセスメントの効率的な実施の為には、ドローンの合理的予見可能な誤使用の範囲を整理し明確化することが必要である。

3.1.5 危険源リスト

リスクアセスメントの危険源の同定では危険源リストを利用することが多い。規格に示される危険源リストとして次のものがある：

- JIS B 9700：一般的な機械類を対象として10のカテゴリーに区分した危険源リストを附属書Bで示している。
- JIS B 8433：JIS B 9700の10区分された危険源リストをもとに、産業ロボットの重要な危険源リストを附属書Aで示している。
- JIS B 8445：生活支援ロボットの重要危険源リスト(85項目)を附属書Aで示している。派生規格のJIS B 8446-1, 2, 3でも移動作業ロボット、パワーアシストロボット、登場型ロボットの危険源リストを示している。
- JIS T 14971：医療機器リスクマネジメントでのエネルギー・生物化学的・操作・情報に関する危険源を附属書Eで示している。

よく作られた危険源リストは、経験の浅い者にも使いやすくリスクアセスメントの効率的実施を支援することになる。JIS B 8445の生活支援ロボットでの危険源リストの作成に見るよう、イノベーティブな分野でのリスクアセスメントの実施にも危険源リストは有効と考えられる。

しかし危険源リストのようなチェックリスト方式は「知っていると分かっていること」は取り上げられる、「知らないと分かっていること」「知らないという事も知らない」は取り上げられないという欠点がある。この欠点を念頭に置き、ドローンの新規性・多様性を考慮したドローン用危険源リストの作成は困難が多いかもしれないが、その整備が望まれる。

3.2 リスク低減方策の課題

3.2.1 信頼性

プレス機械等の生産設備では、機械のエネルギーをゼロにすることで安全を担保することが可能であり(ゼロメカニカルステート)、生産設備のリスク低減方策ではゼロメカニカルステートの達成が重要となる。しかし、飛行しているドローンではゼロメカニカルステートは墜落に繋がり、ドローンでのリスク低減では飛行を続ける信頼性が重要となる。一般にドローンの飛行ではIMU等を用いた制御が大きな役割を果たしているが、制御系の信頼性・安全性は制御安全規格(JIS B 9705)、機能安全規格(JIS C 0508)で規定されている。これらの規格に対応した機器は、生産設備や自動車等の比較的大きなものであり、ドローンに適した小型軽量の制御安全機器の開発が今後待たれる。

3.2.2 個人保護具

労働安全衛生法では、事業主はリスクアセスメントに基づき作業者に適切な個人保護具を提供することを求められている。著者らの実験によると、産業用ドローンのプロペラとモーター出力で、EN 388耐切創レベル5の手袋(市場で入手の容易な耐切創手袋で最高レベルのもの)を用いても容易に切創が生じる事が確認できた⁷⁾。ドローンの離発着時や低高度での作業を想定すると、作業者とドローンを完全に隔離することは難しく、ドローンに適した個人保護具が今後必要になると考えられる。

3.3 人材育成

産業現場で使用される機械による労働災害の低減のため、厚生労働省では機械の設計技術者と生産技術管理者に対し、国際安全規格を含む30時間の教育カリキュラムを明示し実施することを求めている⁸⁾。このような人材育成は、ドローン安全でも必要と考えられる。ドローンの操縦に関しては教授する機関が増えてきているが、ドローン安全に対して統一的な規格・教材を整備し、社会的合意を得る動きは限定的である。今後のドローン安全人材育成制度の整備が望まれる。

4. 性能評価

適切な安全はベネフィットとのバランスで判断されたため、ドローン安全のためにはドローンの性能評価を適切に行うことが必要である。文献9では橋梁点検にドローンを用いる場合の性能評価基準が示され、2020年に完成が予定されている福島ロボットテストフィールドの模擬橋梁で実施が期待されている。

全米防火協会(National Fire Protection Association, NFPA)では、災害対応でドローンを用いる場合の、ドローン運用団体・操縦者への要求事項をNFPA 2400としてまとめている¹⁰⁾。NFPA 2400の附属書Aでは、米国国立標準技術研究所(National Institute of Standards and Technology, NIST)が中心となり開発した標準性能試験法(STM)¹¹⁾をドローン操縦者の能力評価法として示している。ドローン用STMは、底に記号と内接円を張り付けた円筒を基本要素とし(図2)、その円筒を組み合わせる事でドローンの飛行軌道を指定している(図3)。STMによる性能評価は簡単な設備で実施でき、またその結果も定量的に示せることから、調達基準や訓練など幅広く用いられる事が期待されている。

5. おわりに

安全はビジネスの持続的発展に必要な不可欠であるが、安全に対する投資はその成果がすぐには表れないため、時として安全軽視が生じる。ドローンビジ

ネスはグローバルな広がりを見せており、国際安全規格に対応したドローン安全は今後必須と考えらる。本稿がドローン安全を向上させ、ドローンビジネスの持続的発展の一助となることを願っている。

参考文献

- 1) 日本機械学会誌, 特集 空の産業革命―「飛行ロボット」としての次世代ドローン―, Vol. 121, 2018
- 2) 経済産業省 小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会, 空の産業革命に向けたロードマップ2018, 2018
- 3) 国土交通省 i-Construction 委員会, i-Construction～建設現場の生産性革命～, 平成28年4月
- 4) 日本食品機械工業会, 食品機械のCEマーキング自己宣言マニュアル, 平成21年
- 5) 厚生労働省, リスクアセスメント等関連資料・教材一覧, <https://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzenisei14/> (2019.7.4アクセス)
- 6) 日経Robotics, “ドローンが自動飛行時に衝突し初の人身傷害事故 遠隔操作ロボットの自律性付与の難しさ浮き彫りに,” 日経Robotics, pp. 4-7, 2017.
- 7) 野明他, “小型 UAV のプロペラによる危害の基礎的評価”, 第37回日本ロボット学会学術講演会, 2019(発表予定)
- 8) 厚生労働省, 設計技術者, 生産管理に対する機械安全・能係教育実施要領, 基安発0325第1号, 平成31年
- 9) 経済産業省, 橋梁点検のための無人航空機性能評価手順書, 2018
- 10) NFPA2400: Standard for Small Unmanned Aircraft Systems (sUAS) Used for Public Safety Operations, NFPA, 2019
- 11) Adam Jacoff, et. al, Guide for Evaluating, Purchasing, and Training with Response Robots Using DHS-NIST-ASTM International Standard Test Methods, <http://www.nist>.



図2 ドローン用STMの基本要素の円筒。a) 円筒を正しい位置から見た状態(底の記号と内接円がすべて見え、円筒の中心軸の延長線上にドローンは位置していることになる)。b) 円筒を不適切な位置から見た状態(底の記号は見えているが内接円は一部が隠れており、円筒の中心軸の延長線上にドローンは位置していない)

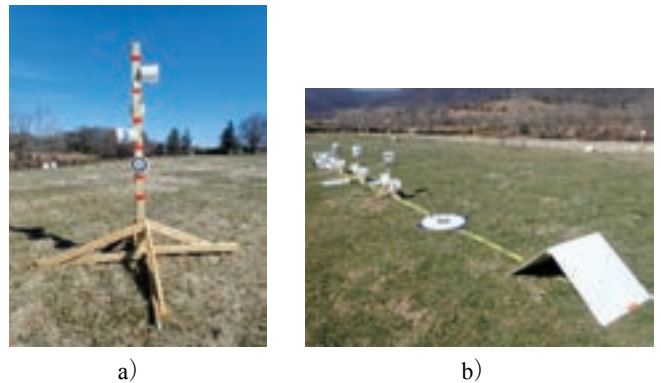


図3 ドローン用STMの基本要素で構成されたドローン用STMの例。a) 棒の周りに基本要素配置され、螺旋状の軌道を指定している。b) 平面状に基本要素が配置され、2つの基本要素の中心軸の交点によりドローンの平面上の軌道を規定している。

gov / el / isd / ks / response _ robot _ test _ methods. cfm,
(2018.2.15 access)

付録：ジェットコースターの車軸が疲労破断し、死亡事故が発生となり業務上過失致死傷罪が問われた裁判では、関連する JIS 規格対応が争点の 1 つとなった。関連 JIS 規格では 1 年に 1 回の車軸点検を要求している、事故を起こした車軸は 1 年半点検が

行われていなかった。被告側は「JIS は任意規格で順守義務なし」として、JIS 準拠の 1 年毎点検不要と主張したが、判決では「JIS は大臣認証であり、関連業界で広く使われており、法律にない点検詳細は JIS で示されると理解すべき」とし、有罪と判断した。

出典：大阪地裁判決（平成 21 年 9 月 28 日）。

ダム・河川インフラ点検へのロボット導入促進に向けた ロボット性能評価手法標準化への取り組み

国立研究開発法人海洋研究開発機構 研究プラットフォーム運用開発部門 技術主任 眞砂 英樹

1. はじめに

トンネルや橋梁などの社会インフラの老朽化は、今後確実に労働人口の減少とも併せて今や大きな社会問題となっており、それらの点検へのロボットの利活用を促進する取り組みが国土交通省・経済産業省合同で進められている。その一環として平成30年に、橋梁、トンネル・プラント、ダム・河川の3分野におけるインフラ点検ロボットの性能評価手順書が作成され、同年度よりこれら3分野それぞれについて、本手順書を用いてインフラ点検ロボットの性能評価を行える人材を養成する講座が開催されている。筆者はその内の水中ロボットを用いたダム・河川点検分野の主任講師としての立場から、インフラ点検へのロボットの導入に関する現状の問題点、そして本事業がそれを解決するのにどのように貢献し得ると考えているのかについて紹介する。

2. ダム・河川インフラ点検

2.1 インフラ老朽化問題

平成24年に発生した笹子トンネルの崩落事故は、日本中に大きな衝撃をもたらした。我が国の社会インフラには戦後の復興期から高度経済成長期にかけて造られた物が多く、この時代に急速に肥大化した社会のニーズに応えるために突貫工事で作られたものも少なくない。インフラの老朽化問題はそれ以前から言われてはいたが、この事故によって、完工時点ですら必ずしも健全な状態にあったとは言いきれない可能性がクローズアップされ、未だ想定の実用年数に達していないインフラも含め、包括的な点検の必要性が叫ばれるようになった。トンネル、橋梁、道路、鉄道、港湾などの社会インフラはいずれも我々の生活及び産業活動にとって重要であり、その健全性が損なわれれば人命及び経済に多大な影響を及ぼすものに相違ないが、万一の事故が起こった

場合の被害規模から言えば、ダムや河川管理施設の決壊・損壊はとりわけ甚大な被害をもたらすものの一つであると言えよう。ダムはその性質上、取り壊して建て直したり全面的な改修を行ったりすることが難しいが、ダム本体であるコンクリート堤体は適切なメンテナンスを行えば半永久的にもつと言われており、傷んだ箇所を逐次補修することでその寿命を延ばすことが可能である。また、適切なメンテナンス計画を立てることは、メンテナンスコストの最小化・効率化にもつながる。こうしたメンテナンス計画を立てる上で、その健全性についての点検・調査が必須であることは言を待たない。さらに言えば、こうした調査データを示すことは、補修にかかるコストを客観的に示すことにもつながる。この点は、主として税金でまかなわれているこれらの設備の維持修繕費の正当性を示す(アカウンタビリティ)際の重要な根拠となる。

2.2 総合点検要領

こうした社会的背景を受けて、国土交通省は総合的な社会インフラ点検の指針を整備し始め、トンネルの他、橋梁、ダム、河川、港湾、道路、鉄道などの点検要領が順次作成された。本稿で対象とするダム・河川に関するものとしては、平成24年に「堤防等河川管理施設及び河道の点検要領」を、次いで平成25年に「ダム総合点検実施要領」が公表された。

ダム総合点検要領では、管理開始後30年までに最初の点検に着手し、その後は30年毎に総合点検を実施することとしている。但し、経年劣化が著しい場合や大きな外力を受けた場合等(最も典型的には地震)、その他ダムの機能が損なわれる恐れがある場合は、これにこだわらず実施することとしている。同点検要領では点検のやり方として、まず点検計画を立案した上で、基本調査および必要に応じて追加調査を実施し、その結果に基づいて健全度を評価、対処方針を決定することが求められている。健

全度評価のベースとなるのが調査であるが、まず基本調査で設計と管理記録（漏水量や揚圧力の経年変化など）の調査を行う。その上で追加調査の必要ありと認められた場合には現地調査を実施する。健全度はa1, a2, b1, b2, cの5段階で評価され、a1が最も緊急度が高い。図1は平成30年3月時点での健全度評価の結果を示したものである。国土交通省・水資源機構管理のダムと都道府県管理のダムとで若干の差異はあるが、現時点で何らかの措置が必要とされるa評価のダムこそ無かったものの、中長期的に機能への影響が想定されるb2評価のものが全体の45%、さらに近い将来に影響が想定されるb1評価のものが全体の11%存在した¹⁾。河川設備の総合点検要領もダムと同様、計画立案→基本調査・追加調査→健全度評価→維持管理方針の決定、という流れになっている。但し、その実施時期については出水期の前後の他、中小規模の出水後や設備の劣化具合により、必要に応じて実施することとしている。河川施設は堤防、樋門、水門それぞれに対して評価が為されているが、平成29年8月時点の調査結果では、いずれも6割前後がダムと言うb2段階に相当する「要監視状態」、2割前後がb1相当の「予防保全段階」であった²⁾(図2)。

これらを総括すれば、全国のダム及び河川施設の健全性に関して、現時点で直に対処が必要なものこそ認められなかったものの、中長期的或いは近い

将来健全性に問題が生じる可能性のあるものが相当数あり、これらについてより詳細な調査を行って維持管理計画を立てることが今後の重要課題となると言える。

2.3 ダム・河川インフラ点検の現状

ダム及び河川インフラの点検で特に問題となるのはその水中部分である。水上に露出している部分については比較的容易に目視点検が行えるが、水中部については水上からの目視によっては観察できない。したがって水中部分の点検は、長らく人が潜って確認する方法によって行われてきた。しかしながら、この方法にはいくつかの問題点がある。まず人が水中に潜ることは安全衛生上のリスクがつきまとう。水中では深度に比例して大きな水圧がかかるため、ヘンリー則に従って大気圧下よりも多量の窒素が体組織中に溶存する。これが浮上時の減圧によって血液中で気化して血流を阻害し、様々な弊害（減圧症）を生ずる。また、窒素には麻酔作用があるため、思考能力や運動能力の低下など、いわゆる「窒素酔い」を発症することもある。さらに肺の空気が減圧によって膨張することによって引き起こされる肺破裂という現象もある。これらを防止するため、浮上速度や潜水時間、或いは一旦浮上して再度潜水を行う場合のインターバルなどについて、高気圧作業安全衛生規則で細かく定められている。した

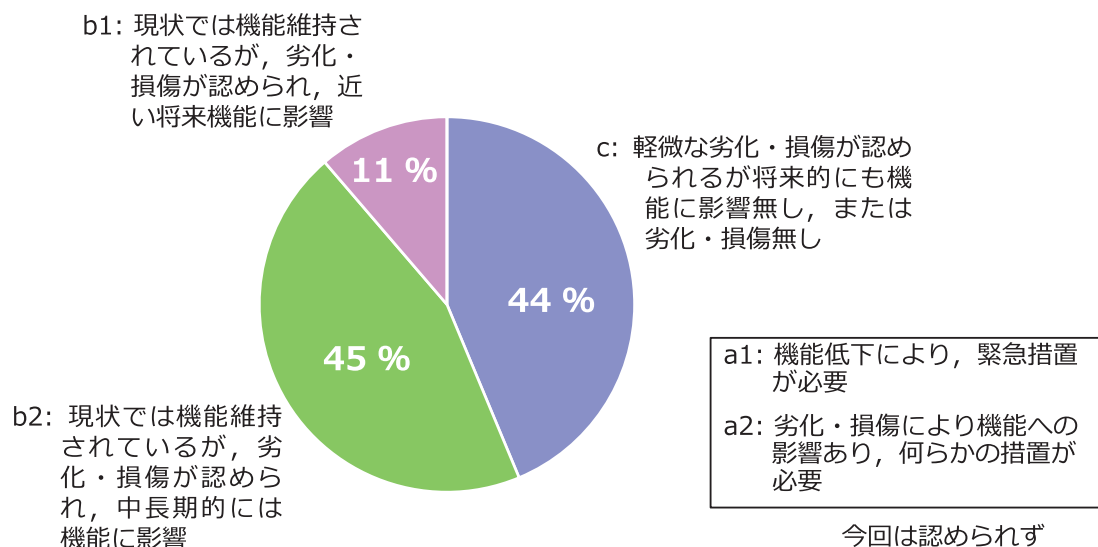
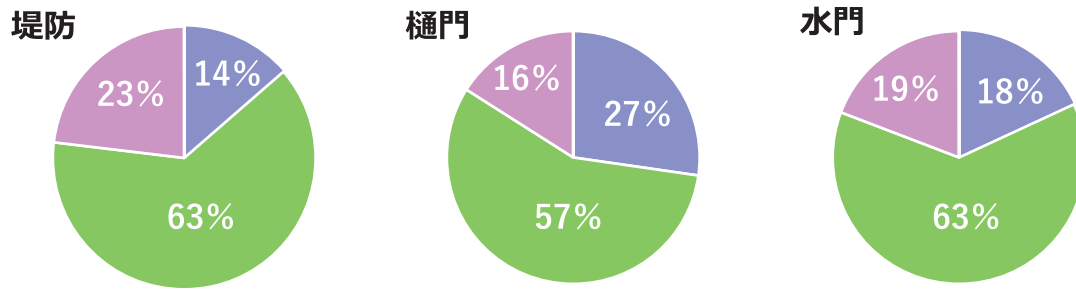


図1 全国のダム健全度評価の調査結果（平成30年3月時点）。国土交通省・水資源機構管理ダムと各地方整備局（北海道開発局と沖縄総合事務局を含む）管理ダムの合計¹⁾。



	異状無し	健全（軽微な変状を含む）
	要監視段階	機能に支障は無いが、進行の可能性のある変状があり経過観察が必要
	予防保全段階	機能に支障は無いが、進行性があり予防保全の観点から対策が望ましい
	措置段階	機能に支障、補修または更新の必要あり

図2 全国の河川管理設備の健全度評価の調査結果（平成 29 年 9 月時点）²⁾。国土交通省・水資源機構管理のものと各都道府県管理のものと合計。

がって、潜水士の1日の拘束時間の内、実際に潜水作業を行えるのは限られた時間のみとなる。さらに大きな問題として、上記の問題により通常の潜水方法で人間が潜れるのは30～40 mまでで、それ以深は飽和潜水という特殊な技術を用いなければ潜ることができない。飽和潜水は軍事やサルベージ或いは学術調査などの目的で行われることはあるが、潜水深度に応じた準備期間が必要で費用もかさむことから、通常のインフラ点検でこの方法が用いられることはまずない。したがって、通常潜水で潜れる30～40 m以深は建造後一度も点検が為されたことがないという施設も多数存在する。水中ロボットの活用は、こうした弱点を補うものとして有望視されている。平成30年に内閣官房、内閣府はじめ各省庁の連名で出された「『ロボット新戦略』の取組状況について」には、「平成29年度より水中構造物の点検ロボットの普及促進を実施」とあり、その後も更なる促進を図ることが謳われている。

とは言うものの、現状においては水中インフラ点検分野におけるロボットの活用は一般的とはいえない。実際に水中ロボットを用いてインフラ点検を行っている企業としては、パナソニック(株)や五洋建設(株)³⁾などいくつかの例がある。前者は大手電機メーカーがロボットを開発し、運用・データ処理までを一括したパッケージサービスとして提供するとい

う業務形態、後者は建設会社が自社の工事に用いるためのロボットを自社開発して利用する業務形態であり、いずれもロボットを単体で販売しているものではない。現在、空中を飛行するドローンの世界では様々な価格帯で様々なモデルが出され、その操縦を教える教育機関（ドローンスクール）も賑わいを見せ、まさに百花繚乱の体を為している。水中ロボットの分野でもドローンには遠く及ばないものの、ここ何年かで一般に市販されているモデルの数も増えてきた。その多くはマリレジャー用であるが、一部に産業利用を謳っているモデルも見られ、マニピュレータ（作業用のアーム）を有するものもある。先に空中のドローンが広く普及したせいからか、こうした市販品の水中ロボットはしばしば水中ドローンと呼ばれている。概ね価格帯としては安いもので10万円台後半から20万円台、やや本格的なものになると50～70万円程度である。速力は1～2 m/s、最大潜航深度は100 m前後、スラスタ（推進器）は4～6基のことが多い。連続稼働時間は1時間から長いものでは4時間程度である。また、その多くが中国メーカー製である。こうしたロボットを購入して産業に活用している例も一部にはあるものの、未だ一般的であるとは言えず、現状では前述のように人が潜って点検を行うことが主流となっている。

3. ダム・河川点検のためのロボット性能評価手順書

3.1 作成の経緯

こうした現状を受け、平成25年7月、国土交通省と経済産業省は合同で「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討会」を立ち上げ、インフラ点検用ロボットの導入促進に向けて動き出した。前述した「堤防等河川管理施設及び河道の点検要領」の公表が平成24年、「ダム総合点検実施要領」が平成25年なので、こうした点検にロボットを積極導入することは当初から視野に入れられていたと言える。同検討会は同年12月、インフラ用ロボットの導入を優先的に進める重点5分野を決定した。これはインフラの維持管理用途3分野（「橋梁」「トンネル」「ダム・河川」）、および災害対応用途2分野（「災害状況調査」「災害応急対応」）から成る。本稿では水中ロボットについて扱っているので、以降、水中（ダム・河川）分野に絞って話を進める。

この決定を受けて次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会・水中維持管理部会が作られ、河川・ダムにおける水中部分の維持管理に対応できる技術を広く産学界から公募した。その結果、実用技術部門（現時点で実現場での利用可能性があると判断される技術）に12件、要素技術部門（現時点では技術・システムの一部が開発段階にある技術）に

1件の応募があった。これらについて、2014～2015年にかけて現場での実証試験が実施され技術評価を行った結果、ダム点検用ロボットとしてパナソニック(株)の水中ロボット（図3a）、河川点検用として朝日航洋(株)の水上ロボット（図3b）が高い評価を受け、試行的導入へとそれぞれ推薦された⁴⁾。これに有識者団体から成る推進委員会のコメントを反映した上で、この2社が中心となって性能評価試験方法と試験に必要な環境条件の形成方法について研究し、提言をまとめることとなった。このような経緯を経て、平成30年5月、経済産業省、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の連名で「ダム・河川点検のためのロボット性能評価手順書」（以下、「本手順書」）が発行されるに至った。

3.2 性能評価手順書の特徴

まず本手順書の目的については、同手順書の冒頭に「現場環境を模擬した試験施設におけるロボットの性能評価項目、評価目的、評価試験方法、評価結果の表示等」を示すものであり、実現場での試行や導入の前段階において模擬環境下で点検作業に求められるロボットの性能を予め検証することで、ロボット開発者と点検業者との間で共通の認識を保有するとともに、ロボット開発者にとっては自社製品の性能把握を、また点検業者にとっては客観的なロボッ

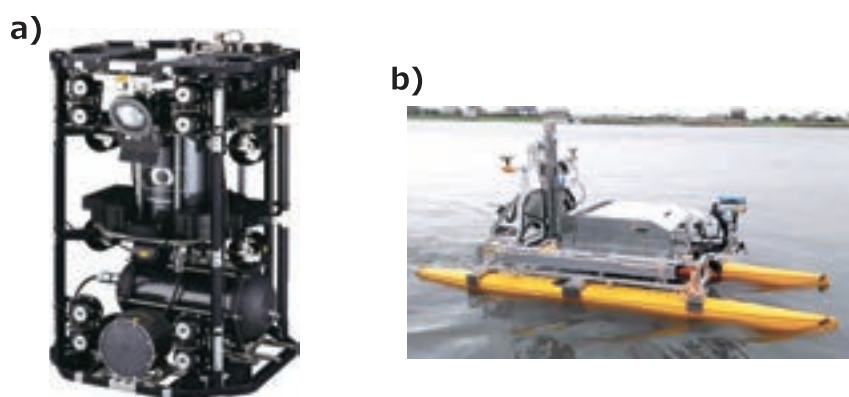


図3 水中維持管理技術の現場検証・評価で「試験的導入」に推薦された水中／水上ロボット。a) パナソニック(株)の水中インフラ点検用ロボット。12基のスラスタを持ち、水中での姿勢制御性能に優れる。また独自開発の照明技術により、特に濁った水中で観察対象を一樣に照らす際に強みを発揮する。b) 朝日航洋(株)の水上式インフラ点検ロボット。双胴式の船体前後にエレキモータを搭載し、機動性に優れる。ナローマルチビーム測深機とカメラにより河床および構造物を点検する。

トの性能比較を可能とすることを目的とする」とある⁵⁾。一口に水中／水上ロボットと言ってもその用途は多岐に亘り、用途によって求められる性能は異なる。この文章からは、ダム・河川点検という用途に絞った場合に必要となる性能の評価項目を予め示すことで、メーカ側、ユーザ側双方が同一の尺度で評価を行えることを目指したものであることが読み取れる。また、本手順書は標準的な性能評価の「やり方」について定めたものであり、例えば「流速〇〇mの流れの中で静止できること」とか「幅〇〇mmの亀裂を発見できること」といった具体的な数値的要求を示してはいない。これらは手順書を活用する側が自身の用途に則して設定すべきものであるというのが本手順書の考え方であり、「性能基準」ではなく「性能評価手順」とした意図はそこにある。

また、本手順書の大きな特徴の一つが、「ミッション型試験」を主軸としている点である。これは実際のインフラ点検を模したシナリオを作成し、そ

れに沿ってロボットを動かして模擬的な点検対象を観察してデータを取得することにより、ロボットの総合性能を評価する実戦型の試験である。この他に、ロボットそのものの基本的性能を評価する個別性能試験についても記載されており、河川点検用（水上）、ダム点検用（水中）ロボットのそれぞれについて表1の項目が設定されている。

スポーツ選手の選考試験に譬えるならば、個別性能試験は走力や筋力といった基礎体力試験、ミッション型試験は試合形式の模擬戦と言えるだろうか。本手順書がミッション型試験に重きを置いているのは、実際にインフラ点検の現場で「使える」ことの評価を重視しているからである。したがってミッション型試験のシナリオの範囲には、ロボットを水中に投入する準備から始まり、所定の点検作業を行った後、揚収するまでのすべてが含まれる。また、データ取得性能などに加え、準備・投入や揚収に掛かる時間や作業人数および作業の安全性なども

表1 「ダム・河川点検のためのロボット性能評価手順書」に記述されている水上／水中ロボットの個別性能試験項目。

試験項目	概要
水上ロボット	
運動性能評価試験	ロボットの水上での移動や計測に係る基本的な運動性能（直進性、最高速度・制動性、最小回転半径、旋回性）を確認するための試験。
連続動作性能評価試験	バッテリーの連続駆動時間を計測するための試験。
通信性能評価試験	ロボット本体と操縦者との間の命令やデータのやりとりに用いる無線通信性能を確認するための試験。間に遮蔽物が無い状態／ある状態それぞれについて確認する。
位置認識性能評価試験 （GNSS 受信環境下）	GNSS*からの電波を受信可能な環境下で、ロボットが自己位置をどの程度正確に認識できるかを確認する試験。予め設定した航路を航行させ、その航跡を陸上固定点から観測（トータルステーションを使用）したものとロボット自身に内蔵された位置認識機能によって記録されたものとを比較する。
データ取得性能評価試験 （GNSS 受信環境下／非 GNSS 環境下）	予め形状を計測した水中の模擬体（河床地形を想定）をロボットで測定し、位置と測深データがどの程度正確に取得できるかを検証する。データを取得した地点の水平座標は、通常は GNSS 電波を受信して取得するが、橋梁の下など電波状況の悪い場合を想定し、GNSS 以外の方法による自己位置認識を用いた試験も行う。
データ取得性能評価試験（構造物本体）	河川設備や河岸の変状の観察を想定した試験で、水槽壁面と一定距離を保って航行しながら、貼り付けられた観察対象（テストピース）を光学カメラで観察する試験。
水中ロボット	
濁水中視認性試験	ミッション型試験で行ったのに準じた内容のテストピースの観察を濁度を調整した水槽内で行い、濁水中での観察能力を評価する試験。

*GNSS: Global Navigation Satellite System（衛星測位システム）

評価項目に含まれる。例えば、非常に性能の優れたロボットであっても、極めて大型であるために投入・揚収に多くの人手と大型の機材などを必要とするものであれば、実際の現場作業において使い勝手が良いとは言えず、総合的な評価としてはマイナス要素となる。

河川点検用ロボットのミッション型試験の基本的なシナリオは、河岸よりロボットを投入し、陸上から目視できない点検地点まで誘導して所定の点検作業を行った後、回収地点まで移動させ揚収するというものである。点検地点を目視外の場所に設定しているのは、実際の現場の状況によっては点検したい地点の近くにロボットを投入する適当な場所が無いためにやや離れた地点から投入せざるを得ず、且つ点検地点及びそこまでの経路全体を俯瞰できる適当な場所も無いという状況を想定してのものである。目的地点までの誘導に関しては、モニタなどで確認しながらの遠隔操作のほか、予めプログラムされた自動操縦、或いは随伴船による曳航など、方法は問わない。目的地点までのルート上には浅瀬などの障害物があることも想定し、これらを避けながら目的地点まで誘導しなければならない。

ダム点検用ロボットのミッション型試験の基本的シナリオもほぼ同様である。ダム点検の対象はダム本体(堤体及びその付帯設備)及び堆砂面であるが、ダムの水は通常濁っており、数メートルも潜ればロボットを目視することはできなくなる。したがって、点検シナリオでは目視外操作を前提とする。ロボットと接続しているケーブル(テザー)の処理も同様にロボットが目視できないエリアで行う。点検対象は、堤体を構成するコンクリートブロックの縦横の目地の開きやコンクリート表面の変状(傷、凹凸など)、鉄製グレーチング部の変状(錆など)、底面の堆砂であり、これらについてそれぞれ概査と精査を行う。ここでいう概査・精査とはそれぞれ、ロボットを移動させた状態のままで行う観察と、観察対象に対してロボットを約10秒間静止させて行う観察とを指す。

前述のように、ダム点検は基本的に濁水中で行われることを前提としているが、本手順書ではこのミッション型試験は清水中で行うこととし、それを補完するために濁水中での視認性試験を別途個別性

能試験として行うこととしている。これは本手順書の試験方法を考案するにあたり想定した福島ロボットテストフィールド(福島RTF、後述)の場合、濁度調節が可能な小型水槽ではサイズが十分でなく、上下左右にロボットを移動させながら観察を行うミッション型試験のすべてを行うことができないという設備的な制約からきている(次章参照)。別な言い方をすれば、大型水槽で濁度調整を行い、試験の都度水を入れ替えることには費用的な負担が大きいため、現実的な解決策としてこうなっていると考えられる。純粹に技術的側面だけを考えて実際のダム点検に近い環境で試験を行おうとするならば、濁度を調整した大型水槽中でフルスペックのミッション型試験を行うことが望ましいとは言える。

3.3 試験環境の整備

こうした試験方法の標準化にあたっては、試験条件の共通化が不可欠である。前述した次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会による水中／水上ロボットの評価試験は実際のダム・河川で実施されたが、試験環境の再現性という点からは試験条件をコントロールできる人工環境下での実施が望ましい。本手順書の中では、観察対象としてコンクリート表面の傷などを模したテストピースや河床地形の変化を模した模擬体が示されている(図4)。テストピースは概ね35cm四方に整形されており、位置を任意に入れ替えることで、ロボットの操作者が予めどこにどのような観察対象があるのか分からない状態で試験を行うことが可能である。

水中／水上ロボットの試験である以上、水槽は不可欠な設備である。前述の水上ロボットのミッション型試験のところで述べたような、障害物を回り込んで目視外の点検地点に移動して行うような試験の実施にはある程度の広さが必要であるし、ダム堤体の点検を再現するためにはある程度の深さが必要となる。また、ダムの水は多くの場合濁った状態であることから、人工的に濁度を調整できることも重要な要素となる。本手順書においては、JIS K 0101⁶⁾で定められたホルマジンという標準物質を用いて濁度の調整を行う手法が採用されている。

現在、このような要求事項を反映した試験環境を実現させた試験水槽が、福島県南相馬市にある福島

RTF 内に建設中である（令和元年度末完成予定）。福島 RTF は、総敷地面積 50 ha の広大なエリアにドローン試験場や橋梁、トンネル、プラントなどを模した各種インフラ点検試験設備が整備された、日本で唯一のフィールドロボットの総合試験施設となっている。水中・水上ロボット関連では、基本的な試験を行う屋内大水槽（30 m×12 m×深さ 7 m）の他、濁度調整可能な屋内小水槽（5 m×3 m×深さ 2 m）、及び屋外の大水槽（50 m×25 m×深さ 0.7 m、一部は深さ 5 m）を備える。屋外水槽は「水没市街地フィールド」と称され、洪水などで水没した家屋や水中障害物が配されており、ロボット試験の他、水中レスキュー訓練での使用も想定されている。水上ロボットは、自己位置の認識に衛星電波（Global Navigation Satellite System: GNSS）を用いることが基本であるため、それを用いた試験は屋外水槽で行う必要がある。一方、GNSS を用いる必要の無い試験については、外部環境の影響を受けにくい屋内水槽で行うことが望ましい。本手順書に記載された各種性能評価試験は基本的に福島 RTF の水槽を用いることを想定して書かれているが、標準試

験手順である以上、同等のスペックを有する設備であればどこで実施した試験であっても結果は同列に比較できる。

3.4 性能評価人材育成講座

本手順書作成の目的は、インフラ点検ロボットの評価手法が標準化され、世の中に広く認知・活用されることで様々なロボットの実現場における実的な性能を同列に比較することを可能にし、これらのロボットの開発及び現場における利活用を促進することにある。したがって、本手順書の意図や趣旨をよく理解した上でこれを使いこなして実際のロボット性能評価を行える人材の育成が次の課題となる。こうした背景を受け、NEDO からの委託を受けた一般財団法人製造科学技術センター（MSTC）が主体となり、平成 30 年度より 3 カ年の計画で本手順書の活用に向けた普及事業として「NEDO プロジェクトを核とした人材育成、産学連携等の総合的展開／ロボット性能評価手法に係る特別講座」を開催することとなった。これは、陸上（トンネル・プラント点検）、水中（ダム・河川点検）、空中（橋梁点

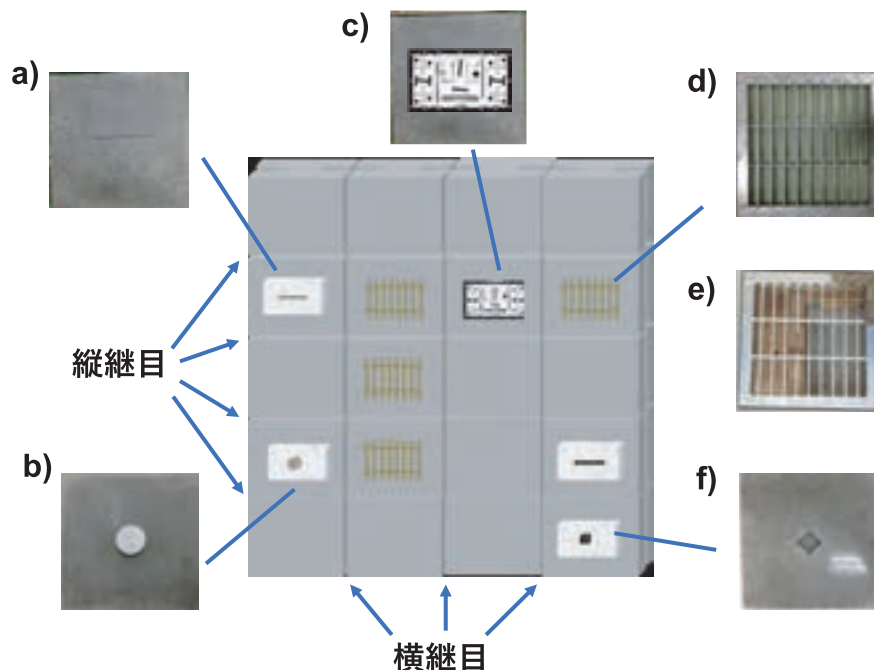


図4 「ダム・河川点検のための水中ロボット性能評価手順書 Ver 1.0」に記載されているロボット性能評価用のテストピースとその配置例。a) コンクリート表面に傷（亀裂）をつけたもの。傷は幅 2 mm のものと 5 mm のものがある、b) コンクリート表面の凸パターン、c) 解像度チャート (ISO 12233⁷⁾)、d) 取水設備に用いられるグレーチング（市販品）、e) d のグレーチングに錆風塗装を施したもの、f) コンクリート表面の凹パターン。残りのブロックは変状の無いコンクリート片。ミッション型試験では、これらのテストピースと、ブロック間の縦横継ぎ目、および底面を観察する。

検)の3分野並行で、手順書の内容についての解説(座学)ならびに福島RTFでの実機を用いた実習を行うものである。各自が持ち込んだロボットを用いて実際にミッション型試験を計画・実施することを通じて、ロボット技術そのものの理解にとどまらず、それらを実際のインフラ点検の現場で活用するための総合的なマネジメント力、提案力を発揮できる人材の育成を目的としている。その背後にあるのは、現在インフラ点検などの現場へのフィールドロボットの導入促進がいまひとつ進んでいない理由の一つに、ロボットメーカーが提供するものとユーザ側の求めるものとが必ずしもマッチしていないことがあるのではないかという考えである。すなわち、ユーザ側から言えば、現場で必要とされるロボットの性能要求を評価できるミッション型試験を計画しメーカー側に伝えられること、メーカー側から言えばユーザのニーズを理解した上で、それらを評価・実証できるミッション型試験を計画・実施しユーザに客観的判断のできるデータを提示することが重要なのであり、これらを行える人材の育成が不可欠であるということである。このような人材がメーカー・ユーザ側の双方にいて、性能評価手順書という共通の尺度を用いてロボットの性能を評価することで前述のような mismatches を減らし、インフラ点検現場へのロボットの導入が促進されることが期待されている。

このようなコンセプトに基づき、ロボットメーカー・販売者とインフラ点検業者(潜在的なユーザを含むロボットユーザ)を中心に受講者を募って人材育成講座を開催することとなり、橋梁：74名、水中：35名、陸上：21名の計130名が受講している。講座は座学と実習とに分かれるが、座学については東京、名古屋、大阪及び、福島RTFの地元である福島で、それぞれ年4回(初年度は1回)の実施を基本としている。また実習については、3年次(陸上の一部については2年次)に福島RTFで行うこととなっている。実習には受講者自身が想定する点検目的に合う点検シナリオを作成し、それに沿ってミッション型試験を実施し、取得したデータを整理して結果の評価を行うところまでが含まれる。

4. 今後に向けての可能性と課題

現在、インフラ点検現場へのフィールドロボットの導入を阻んでいる大きな要因の一つがコストである。水中ロボットに関して言うならば、潜水士を雇って点検作業を実施するよりもコスト的に優位でなければ現場への導入は進まない。但し、コスト以外のメリットが無いわけではない。最も大きな利点は、潜水士の労働安全衛生である。人が水中に潜って作業する以上、絶対に安全とは言い切れないが、ロボットであれば潜水士が危険に晒されることは無い。また、人間の目視による点検ではどうしてもピンポイントにならざるを得ないが、ロボットを用いれば広範囲に亘っての面的な調査(概査)が可能となる。巨大構造物であるダムや河川の長大な流域を考えた場合、そのすべての範囲の点検を人間の目視によって行うことには限界があり、まずロボットによる概査を行った後、特に懸念される箇所について人またはロボットによる精査を行うやり方が有効であると考えられる。よって、手順書はすべてのロボットに対して人間の目視による点検と同レベルの精度を求めているのではない。ユーザ側が「まずロボットを用いて概査を行い、然る後に人が必要な箇所を精査する」という方針であるのであれば、ロボットは概査ができるだけの性能を有することを証明すれば良い。このように現在人が行っている作業をすべてロボットに置き換えるのではなく、部分的な作業の代替を認めることでインフラ点検現場へのロボット導入のハードルを下げるという意図がある。また、人による調査では見落としや経験その他による差が生じる恐れがあるが、ロボットであればその点についてはかなりの客観性を担保できる。無論、点検の精度は画像取得能力やデータ解析能力に依存するが、少なくともこれらを第三者が検証し評価することは可能である。このようにインフラ点検現場へのロボットの導入にはコスト面以外のメリットも大きい。これらの利点を考慮してもやはりコストが導入への大きなネックになっていることは否めない。現在、市販されている水中ロボットの多くが主としてマリレジャー用であり、これらがインフラ点検という産業用途にどの程度使えるのかについては未知数である。しかしながら、空中のドローンのように

レジャー用で数万円台まで価格が下がりユーザの裾野が広がることで、メーカは産業用にも手を広げやすくなるのではないかと期待する。

ロボットの性能評価、とりわけミッション型試験を行う上では操縦者の技量が少なからず影響する。この点について性能評価手順書では、本手順書の位置づけならびに本手順書がどのように活用されるべきかを示した序文の中に、試験条件として「ロボット操縦者のスキルも明確化する」との記述があるが、具体的にどのように明確化するかについての記述は無い。例えばメーカで自社のロボットの扱いに習熟した操縦者が行ったミッション型試験の結果をユーザに提示したとしても、操作に習熟していないユーザが同じロボットを用いて同一の性能を引き出すことは容易ではなく、点検のニーズを満たせない、という状況は想定し得る。本手順書によって、試験の方法そのものはメーカ側／ユーザ側で共有化できたとしても、この点のギャップをどう埋めるかは今後の課題である。

また現在は陸上、水上・水中、空中ロボットのそれぞれについて性能評価手順書が作成されているが、これら相互の連携については考慮されていない。しかしながら実際の現場での使用状況を想定した場合、例えば河床地形の測定にドローンからのレーザー測量を用いたり、目視外で航行・作業する水上ロボットの監視にドローンを用いるなど、これらの内2種類以上のロボットを併用するケースは十分考えられる。

インフラ点検に限らず水中ロボットの利活用全体を見渡した場合、最も先行しているのは洋上資源開発（石油・天然ガス）の分野である。この分野では既に1960年代あたりからROV（Remotely Operated Vehicle）と呼ばれる水中ロボットが導入され、海底面の監視や海底に置かれた暴噴防止装置（Blow-out Preventer: BOP）の操作をアシストする役割を担ってきた。こうしたROVは大型であり、水深3,000 m位までの深海での稼働を前提としているため、ダム・河川点検用のロボットとはかなり様相が異なる。石油・天然ガス開発産業が盛んな地域は、北海周辺を中心とするヨーロッパ、中東、アメリカなどであるが、ROVのメーカもやはりヨーロッパ（特に北欧）やアメリカが強い。現在ROVに関す

るISO規格は存在せず、ISOの技術委員会（TC 8 / SC 13: Marine Technology）で規格作成に向けての議論が為されているところであるが、例えばノルウェーの国内規格でありながら業界で国際的な影響力を持つNORSOK StandardではROVの技術要求や試験方法を示している⁸⁾。また、災害対応（レスキュー、サルベージ）も水中ロボットが活躍し得る場の一つであるが、この分野ではU.S. National Institute of Standards and Technology (NIST)から、ロボットの標準試験手法を示した文書が発行されている⁹⁾。残された水中ロボットの利活用分野としては、本稿で扱ったダム・河川管理施設の他、港湾施設や漁業施設（定置網など）の点検・維持などが有力な分野と考えられる。

現在のところ、本手順書は任意のガイドラインに過ぎず、これに則った試験の実施を義務づけるものでも、またロボットがクリアすべき具体的な数値を示したものでもない。しかしながらこれが広く使われるようになり、フィールドロボット業界での性能評価のデファクトスタンダードとなれば、例えばユーザ側からの仕様要求の中に本手順書に基づく試験の実施を盛り込むことが普通になるであろう。その次の段階としては、これをJISなどの規格に格上げする、いわゆるデファクトスタンダードからデジュールスタンダードにすることが考えられる。これらの分野の水中ロボットの標準化を世界に先駆けて行い、ゆくゆくは国際規格へと昇格させることができれば、今後の水中ロボット開発において我が国が主導的な地位を確立する上で大いに有利に働くと考えられる。こういった国際標準化に向けてのプロセスとしては、我が国主導で制定されたサービスロボットの国際規格であるISO 13482¹⁰⁾が1つのモデルケースとして参考にできるであろうと思われる。インフラ点検へのフィールドロボットの普及のためには、そのロボットが国（国交省）の定める点検の要求内容（例えば「ダム総合点検実施要領」の内容）を満足できることが不可欠である。そのため本手順書に記述された性能評価試験方法は、それらの要求項目を満足することを実証できるような内容となっている（ただしすべての要求項目をカバーしているわけではない）。一方でこれらは日本国内における要求項目に特化したものであり、国際標準化を見据

えた場合には諸外国におけるインフラ点検事情に鑑みて、より汎用性の高いものにすることが求められると予想される。

5. おわりに

ダム・河川インフラ点検分野へのフィールドロボットの導入は未だ黎明期にあるが、インフラの老朽化や点検すべきインフラの長大さ、及びそれを実施するための人的資源などを考えた場合、人に代わっての、或いは人を補完する形でのロボットの利活用は大きなポテンシャルを秘めている。この分野におけるロボットの利活用を促進する目的で平成30年に発行された「ダム・河川点検のための水中ロボット性能評価手順書 Ver 1.0」は、現場における実戦的なロボットの性能評価に主眼を置いたミッション型試験を中心とする点に特徴がある。併せて同年度から始まった本手順書の普及促進に関する講座では、ロボットユーザ（点検事業者）の視点でロボットに求める性能を評価するミッション型試験を計画・実施できる人材の育成を目指しており、このような活動を通じてロボットを用いたインフラ点検の潜在的なニーズを掘り起こすことができれば、マーケットの拡大、開発促進への追い風ともなろう。実際のインフラ点検の現場でフィールドロボットが盛んに活用されるようになるためには、テクノロジーのみならず、制度、運用ノウハウなど様々な面からのアプローチが必要である。性能評価の標準

化を切り口にした本事業が、我が国のロボット産業ならびに社会インフラ維持管理分野における新たな産業革命の起爆剤となり、産業の活性化と安心・安全な社会の実現に寄与することを願うものである。

参考文献

- 1) 国土交通省：ダム健全度評価結果（平成29年度）
- 2) 国土交通省：河川管理施設の点検結果評価の試行結果について（平成29年度出水期前点検）
- 3) 五洋建設：大水深構造物の点検用水中調査ロボットを開発。 <http://www.penta-ocean.co.jp/news/2015/150622.html>. (2015年6月22日)
- 4) 次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会水中維持管理部会：水中維持管理技術の現場検証・評価の結果。 pp. 75. 2016.
- 5) 経済産業省、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：ダム・河川点検のための水中ロボット性能評価手順書 Ver 1.0., pp. 60. 2018.
- 6) 日本産業規格：JIS K 0101：1998. 工業水試験方法, 11-16.
- 7) International Organization for Standardization: ISO 12233: 2017. Photography —Electronic still picture imaging— Resolution and spatial frequency responses. pp. 49.
- 8) NORSOK Standard: U-102: Remotely operated vehicle (ROV) services. Rev. 1, pp. 44. 2003.
- 9) National Institute of Standards and Technology: Development of Standard Test Methods for Underwater Remotely Operated Vehicles. <https://www.nist.gov/el/intelligent-systems-division-73500/aquatic-robots>.
- 10) International Organization for Standardization: ISO 13482: 2014. Robots and robotic devices -Safety requirements for personal care robots.

寄稿

デジタルスマートコンストラクションの幕明け

清水建設株式会社 土木技術本部 開発機械部 部長 小島 英郷

1. はじめに

日本の目指すべき将来の社会像としている超スマート社会 Society 5.0 は、センサー、情報通信、高速演算、IoT・AI 人工知能の活用、デジタルテクノロジーの進化とともに、新たな資源としての「ビッグデータ」の活用により、時間・空間の制約から開放されたサイバー空間と現実空間の融合による全体最適化がなされ、複雑化する社会課題の解決と、社会・国民の豊かさが両立（SDGs が実現）するヒト中心の社会「デジタルスマートシティ」で実現されるとしている。

デジタルスマートシティを実現する5つのターゲット領域（都市、地方、モノ・コトサービス、インフラ、サイバー空間）において、データ分析・システム化・システム連携技術、並列処理の可能なデータ流通基盤、ロボット、自動運転、デジタルツイン基盤（モデルとデータ表現の分野間相互利用技術）、セキュリティ、デバイス・素材、法令・倫理・保障、保険事業などの領域横断・連携的な研究開発や官民保有情報の公開・共有促進、官民連携・運営、規制緩和・手続簡素化などの大規模な改革が始まろうとしている。

Society 5.0 が標榜する CPS（Cyber-Physical System）の考え方を受け、ネットビジネス、公共や医療福祉サービス、IoT 技術を通じて取得されるデータだけでなく、国土創造、災害防止やインフラ建設維持、都市活動のあらゆるデータの結びつきと循環機能により都市全体が生命体としての価値ある活動領域として成立することとなる。

これらを見据えながら、土木・建築施工での革新導入が始まった ICT デジタルツイン技術の一部について紹介する。センシング技術、情報通信技術、データクレンジング技術、コンピューティング技術、映像モニターや音声、アラート発報などのイメージングデバイス技術やシステムコントロール技術などが複合的に効率よく組み合わせられて実現するものである。

2. シミズ・スマート・トンネル（山岳編）

2.1 はじめに

山岳トンネル工事において、現場監督による管理や熟練工の経験知に依存してきた部分に ICT、IoT、人工知能（AI）などの最新技術を導入し、建設機械、地質・作業環境、人の動作行動バイタル情報な



図 2-1 山岳トンネル高度施工管理（シミズ・スマート・トンネル）

ど、あらゆる情報を集約・分析・共有しながらデジタル融合することで、生産性と安全性の両面から飛躍的向上を図る次世代型トンネル構築システム「シミズ・スマート・トンネル」(図2-1)の開発を進めている。内閣府創設の官民研究開発投資拡大プログラム(PRISM - Public/Private R&D Investment Strategic Expansion Program)の一環として、2018年度に国土交通省は、「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」を公募した。本稿では、熊本57号滝室坂トンネル西新設(一期)工事における試行業務で実施した技術内容について紹介する。

2.2 試行内容

2.2.1 行動モニタリングシステム

レーザーレーダー・サーマル・可視光センサを搭載した特殊カメラにより、狭隘な坑内で複雑に絡み合う機械と作業員の位置や動線情報を3次元で正確に捉えた。このデータを基に、機械の入替方法や非稼働時間、作業員と機械の接近状況等の行動情報を詳細に分析し、生産性と安全性向上に寄与する作業方法や作業環境の評価に繋げる分析を行っている(図2-2)。

2.2.2 生体データ解析

建設作業員は、時に作業への集中しすぎによる周囲認知レベルの低下や体調不良による意識低下が発生する場合がある。ここではヘルメット内側に取り付けた圧電センサーから得られる脈圧波形と、リストバンドの加速度センサーから得られる運動量データから、作業中のバイタルコンディションを分析することにより、作業員の集中度合い(周辺認知レベル)、ストレス度、疲労度などのバイタルコンディションを把握し、作業内容と作業環境との相関検証に有効なデータを取得した(図2-3)。

2.2.3 3Dデータによる掘削余掘り量管理

スマホなどの一般的なデジタルカメラを用いて複数枚の写真データを合成し、点群化処理および座標付け処理を行いながら、掘削精度を3Dで定量的に管理・評価するシステムを運用した(図2-4)。

また、BIM/CIMシステムへ情報統合することにより周辺地山評価を行うとともに施工情報の一元管理を可能としている(図2-5)。

2.2.4 遠隔立会システム

山岳トンネル施工の場合、工事事務所と施工現場

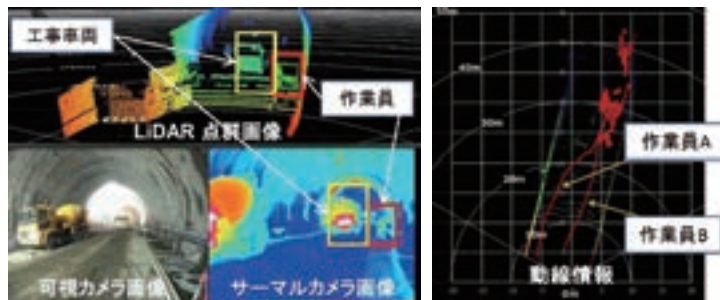


図2-2 3D特殊カメラによる位置移動把握



図2-3 圧電センサー(左)とバイタルデータ分析

が離れていることも少なくない。映像音声通話システムを応用することで、発注者の現場監督官が現場へ赴くことなく、工事事務所より遠隔地の施工状況をタブレット上でリアルタイムに確認でき、立会写真・数値帳票の承認に至る一連の検査プロセスを完

結できるシステムを試行運用した。これにより検査に関わる双方の移動待機ロスタイムを減らすとともに、結果の即時保存と、発注者様式の帳票フォーム出力機能を備えることで、施工者側のデータ管理の簡略化・書類作成の負荷が軽減できるものである

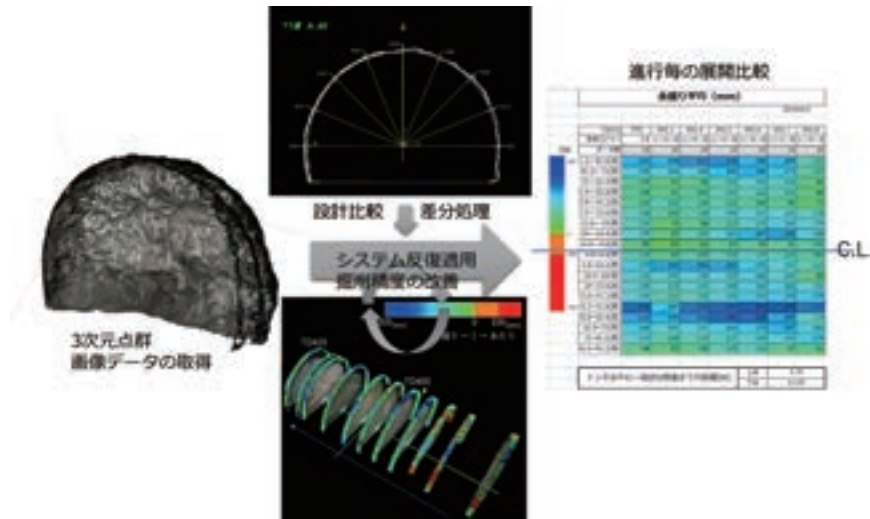


図 2-4 3D 掘削評価システム

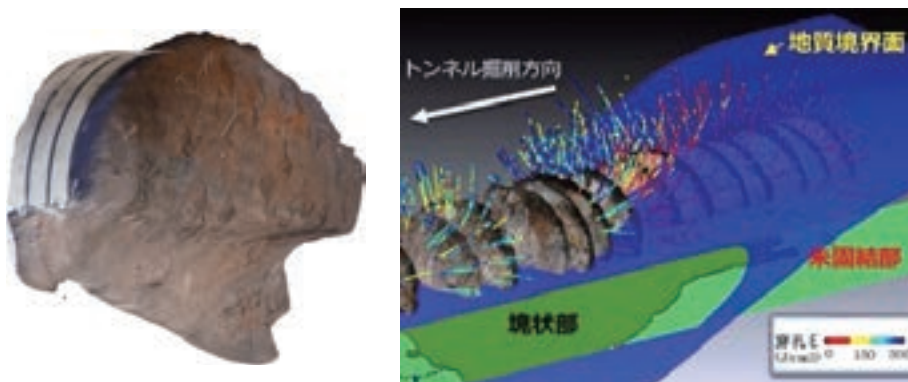


図 2-5 切羽 3D データ（左写真）と BIM/CIM による情報統合

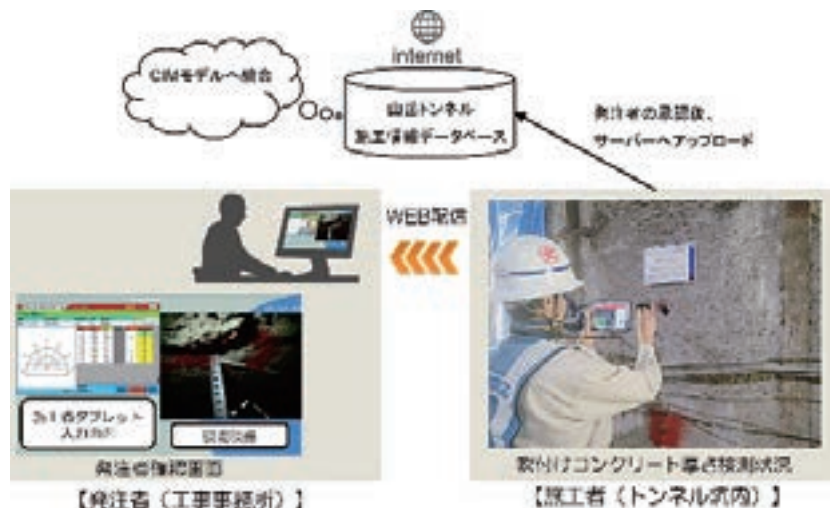


図 2-6 遠隔立会システム概念図

(図 2-6)。

3. シミズ・スマート・トンネル(シールド編)

3.1 AI によるシールド掘進合理化

3.1.1 シールド工事への AI 活用

建設業は経験工学に基づくといわれているが、「シミズ・スマート・トンネル」の開発では、想定される熟練技能労働者の大量離職や増加すると考えられる海外技能労働者を短期間で技能教育するデジタル技術の構築および通信技術の高度化による遠隔操作技術の高度化なども見込んでいる。その中で、シールドトンネル工事の施工を対象とした AI 人工知能を用いたシールドマシンの施工合理化技術の開発も進めており、シールド掘進機の操作を支援する「操作支援 AI」と、掘進計画を支援する「計画支援 AI」の 2 つに取り組んでいる。

3.1.2 操作支援 AI

シールド掘進機は本体を推進させるためのシールドジャッキを複数装備しており、その使用選択数を変化させることで、推進方向の制御を行う。

この時、計画線から掘進機が蛇行しないようにオペレーターが実施するジャッキ操作を支援するのが「操作支援 AI」である (図 3-1)。

これまで他の施工現場で教育された (経験を積んだ) AI は、新規着手する掘進現場での初期掘進区間に、熟練オペレーターの操作内容を教師データとして機械学習を行う。新規の地盤条件やシールドマシン特性を習得し、その学習内容を元に AI がジャッキ操作内容を予測し、オペレーターへ視覚的に操作内容の提案を行うものである。

この「操作支援 AI」は「AI モデル」に加え、AI へのデータの仲介や入力および予測内容を表示する「ガイダンスシステム」により構成される。既に AI モデルおよびガイダンスシステムの構築は完了しており、実際の掘進現場において検証を段階的に開始している。

九州の下水道工事 (掘進機外径: 約 3.5 m, 延長: 約 580 m) での検証においては異常な掘進ガイダンスは確認されず、熟練オペレーターの考えと概ね相違のない操作内容を AI が出力することができた。これにより最大の課題であったシステムの安全性が確認でき、有効性を確信するに至った。

現在は関東圏で施工中の道路トンネル工事 (掘進機外径: 約 12 m, 延長: 約 1,800 m) において、更なる学習 (経験) を積み予測精度の向上に取り組んでいる。

3.1.3 計画支援 AI

シールド工事では職員が計画線形に対するシールド機の運転方法と、数種類にパターン化された、形状の異なる複数のセグメントの割付け方法について事前に検討を行い、次サイクルの掘進指示書を作成

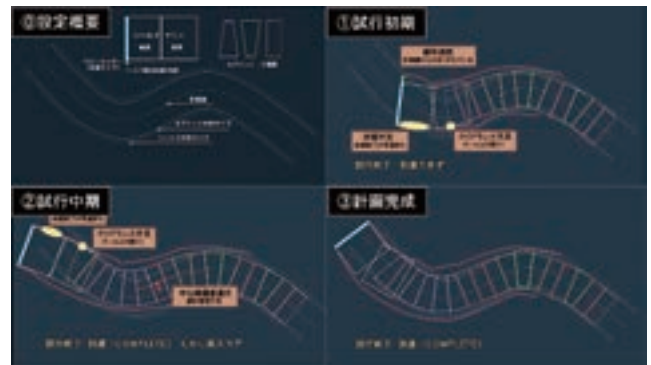


図 3-2 AI による割付けシミュレーション



図 3-1 掘進操作支援 AI

する。

「計画支援 AI」はこの検討を AI が担う。AI は複数の試行計算を繰り返しながら自己学習し最適解を導く強化学習によりトンネル線形に適したシールド機操作計画及びセグメントの配置計画を提案する（図 3-2）。

開発は、名古屋工業大学大学院工学研究科・加藤昇平教授と共同で実施しており、同教授に AI アルゴリズムの構築を担当していただいている。現在は二次元空間での試行が完了し、三次元でのシステム開発に移行している（図 3-3）。

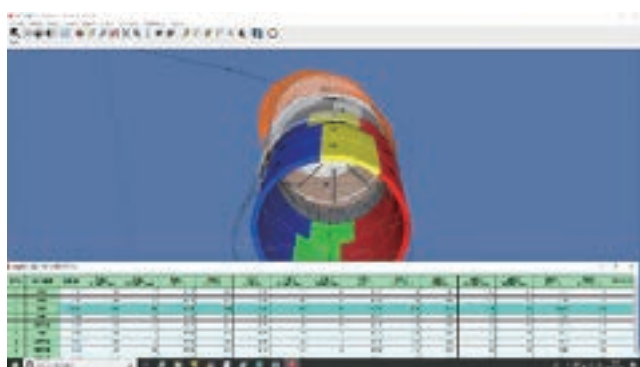


図 3-3 3D セグメント配置シミュレーター

4. ダムコンクリート施工自動化システム

4.1 はじめに

今日、建設業全体の傾向として、ICT 技術を用いた情報化施工および生産性向上を目指す動きが活発化しているが、コンクリートダム施工においてもその取り組みがいち早く進んでいる。

コンクリートダムの建設におけるコンクリート打設工事は、本体工事費の約 6 割、工期の約 5 割を占める。その作業は、コンクリートの製造・運搬・打設の繰り返し作業である。また、コンクリート打設は締固め作業や重機の操作等で多くの熟練技能者が必要であり、特にコンクリート運搬設備に軌索式ケーブルクレーンを採用した際、クレーン操作が 3 次元的に複雑になるため、より熟練の技術が必要となる（図 4-1）。

コンクリート打設の一連作業を自動化することは、繰り返し作業の効率化（生産性向上）および今後懸念される熟練技能者減少に対して大きな効果が期



図 4-1 軌索式ケーブルクレーン配置図

待される。このため、コンクリート製造設備（以下バッチャープラント）への材料供給，コンクリートの製造（練混ぜ），運搬台車（以下トランスファーク）による運搬，軌索式ケーブルクレーンによる運搬・打設の工程を一貫して自動化する「ダムコンクリート自動打設システム」を開発した。

4.2 骨材供給～コンクリート製造の自動化

本技術は、コンクリートの打設に先立ち、コンクリート打設位置の 3 次元座標，配合種別，数量等の打設計画を作成し，この計画データをシステムに入力するだけで，ダムコンクリート打設に係わる各種設備が連動して，一連の作業を自動で繰り返すことを可能としている。

コンクリートの練混ぜでは，配合種別・数量・打設位置を記入した打設計画を作成し，その計画をバッチャープラント内の制御コンピュータに入力する。計画に基づき，コンクリート構成材料（細骨材・粗骨材・セメント・練混ぜ水・混和剤）を，各骨材貯蔵ビン，セメントサイロ等からバッチャープラント内の貯蔵ビン（以下トップビン）に自動供給する。コンクリート練混ぜ時は，トップビンから各材料を計量槽に自動で投入する。この時，細骨材の表面水率を非接触式の水分計により自動測定し，細骨材量や練混ぜ水量の自動調整を行う。材料の計量完了後，各種材料は自動でミキサに投入され，コンクリートは所定の時間練混ぜられる。練混ぜ後のコンクリートは，ミキサ下のホッパーへ自動で荷下ろしされる（図 4-2）。



図 4-2 コンクリート製造設備



図 4-3 バッチャープラントからコンクリートバケットへの運搬積み込み

4.3 コンクリート運搬～打設の自動化

コンクリート練混ぜ後の運搬～打設の工程では、まず、ミキサ下のホッパからトランスファークにコンクリートを荷おろしする。

トランスファークは、打設計画に記載された各配合の練混ぜ量から積載量を認識し、計画通りの数量であることを確認後、コンクリートバケットに向けて自動発進する。続いて、コンクリートをトランスファークからバケットへ自動で荷下ろしする（図 4-3）。

続いて、コンクリートを積載したバケットを軌索式ケーブルクレーンにより、打設計画に記載された打設位置に自動運搬する。軌索式ケーブルクレーンの自動運転はケーブルクレーンのワイヤー巻出し量を 3 次元の位置座標に変換することで制御する。バケットは打設箇所へ移動、巻下げられ、打設可能な高さまでバケットを降下した後、コンクリートを放出する（図 4-4）。

ケーブルクレーン横行時の加速、減速に伴う揺動を抑制するため、クレーンの横行ワイヤー制御を行い、揺動を最小化した。なお、コンクリートを放出した際の反動による持ち上がりも、ケーブルの張力計算からバケットの高さを一定に保つアルゴリズムを構築し、高さの変化を抑制した。

緊急時には、手動操作による対応が必要であることを考慮し、オペレータが操作レバーを動かすと瞬時に自動から手動へと切り替わるシステムを採用した。このため、緊急時は何時でも対応可能であり、安全性の高いシステムとなっている。



図 4-4 コンクリート放出状況

4.4 コンクリートバケット帰還・着床の自動化

コンクリートバケットからコンクリートの放出の完了を確認した後、バケットは自動でバンカー線に設置されたバケット受台（以下ローリングストーン）へと自動で帰還・着床する。帰還動作中も、次回の打設箇所と主索が直線となるように、走行トロリーが上下流方向に移動することで、コンクリート運搬を合理化し、打設のサイクルタイムを約 10% 短縮可能とした。

バンカー線に配置されているローリングストーンは主索の位置を検知し、主索ケーブルの直下となるよう制御している。

4.5 ダムコンクリート総合管理

ダムコンクリート自動打設システムの開発に付随して、コンクリート打設状況を「見える化」する総合管理画面を製作導入した。本画面は、各設備から

出力される動作信号および作成した打設計画を基に、打設の進捗状況をリアルタイムに表示する。骨材貯蔵ビンおよびコンクリート製造設備では、各種骨材の運搬状況、コンクリート製造材料の計量状況、ミキサの練混ぜ状況、ホッパの開閉状況を表示することができ、トランスファーカでは、コンクリートの空充状態、トランスファーカの発進後退の状況を表示することができる。また、軌索式ケーブルクレーンでは、コンクリートバケットの空充状態、バケットの発進、ダム堤体への移動状況、コンクリート打設状況、バケットの帰還および着床の状況をそれぞれ確認可能である。

この画面は、タブレット端末からも確認可能で、打設担当技術者が製造・運搬中のコンクリート配合や現状の打設量を視覚的に把握することもできる。また、打設状況も記録されることから、コンクリート打設のトレーサビリティ管理にも適用可能である（図4-5）。

ダム施工管理では、これら情報の他にも地質情報やグラウト情報やコンクリート打設、養生・温度管理なども BIM/CIM 管理が行われているが、それらとの連携情報も有効活用されている。

5. AR 地下埋設物可視化システム シミズ AR eye ビュー

5.1 はじめに

都市部において埋設インフラ構造物は複雑に入り組んでおり、建設工事に伴う埋設物の損傷事故も全国で下げ止まり状況にある。一方、近年では建設現場における i-Construction への取り組み、ICT および IoT の利用が大きく推進されている。そこで汎用品である市販の iPad を利用して誰でも簡単に埋設物を精度高く AR（拡張現実）技術で可視化できる地下埋設物可視化システム（Shimz AR Eye 埋設ビュー）を展開している。

5.2 技術の概要

5.2.1 iPad に可視化表示できる AR

BIM/CIM で作成された埋設構造物のモデル図（2次元平面図、3次元立体図）をフィールド環境で実写画像に合成投影し、違和感の少ない自然な感覚で認知できる AR 表示ソフトを構築した。これにより、関係者全員が共通認識する場の醸成と確認作業ミスの減少などにより損傷事故の下げ止まりを改善・撲滅に貢献するシステムとして運用している

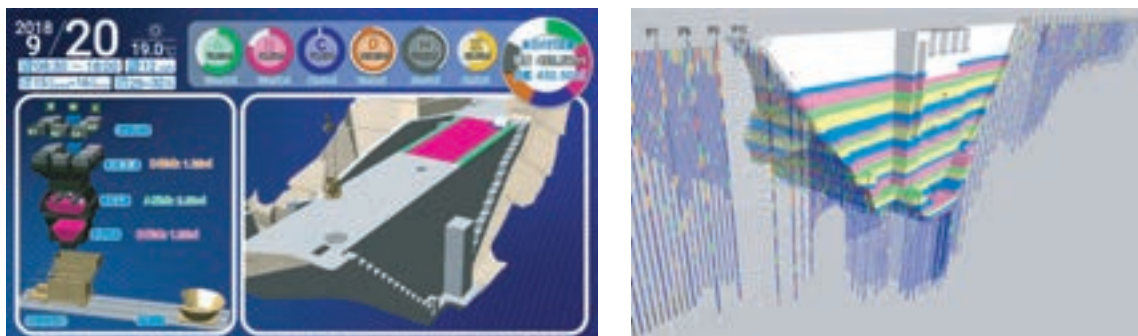


図 4-5 ダム総合管理（左；打設運転情報，右；施工管理情報）



図 5-1 埋設構造物の iPad 表示例（左 2D・右 3D）

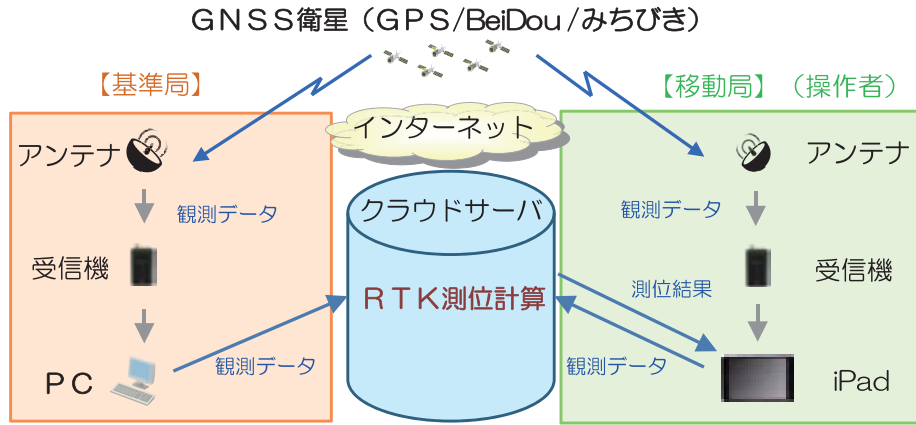


図 5-2 RTK 法による追尾システム

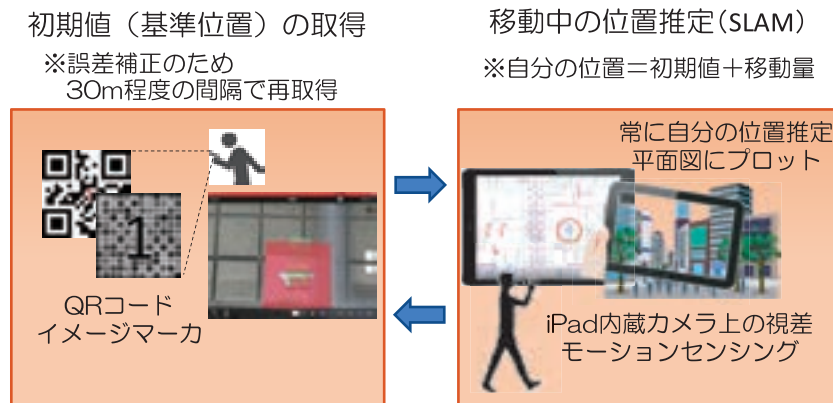


図 5-3 SLAM 方式の位置把握概念

（図 5-1）。

5.2.2 高精度な位置取得技術

サイバーモデル空間と現実フィジカル空間を施工で耐えうる精度で一致させるためには、高精度な位置情報取得技術が必要となる。ここでは iPad レベルの低ディバイスを活用しつつも GNSS（衛星測位）測位のうちリアルタイムに移動しながら高精度で位置を追跡できる RTK（Real-Time Kinematic）法を採用し、誤差 5 cm 以下の高精度測位を実現した。システム構成を以下に示す（図 5-2）。

なお、アンテナと受信機は 1 周波方式の採用により、小型化・軽量化を実現し、使用者の機動性・汎用性を確保している。

また、GNSS 測位が安定しない高層構造物周辺や山間部、地下施設や閉所空間内などの場所に対応するため、iPad のカメラ情報を利用して、マーカや映像中の特徴構造物を追跡マッピングしながら環境地図の作成と自己位置推定を同時に行い、モデルデー

タとマッピングしながら精度を確保し、自己位置推定する SLAM（simultaneous localization and mapping）を利用した技術を開発し、AR への適用を実用化した（図 5-3）。

5.2.3 埋設構造物データのクラウド管理システム

位置情報を付与した埋設構造物のモデルデータをクラウドサーバに登録保存しておき、インターネットで操作者位置近傍の埋設図を送信する。埋設図データは iPad に保存しないので、図面管理の一元化による効率化と機密性の保持が図れる（図 5-4）。

5.3 適用実績

本システムの適用例と評価について述べる。住宅街での開削工事に適用した例では、複数の事業主に係る埋設構造物が複雑に錯綜している状況であったが、事前の現地打ち合わせで施工管理者、作業指揮者や作業員等が、埋設構造物の状況把握と情報共有が簡易に行えたと同時に認知レベルが共通状態に至

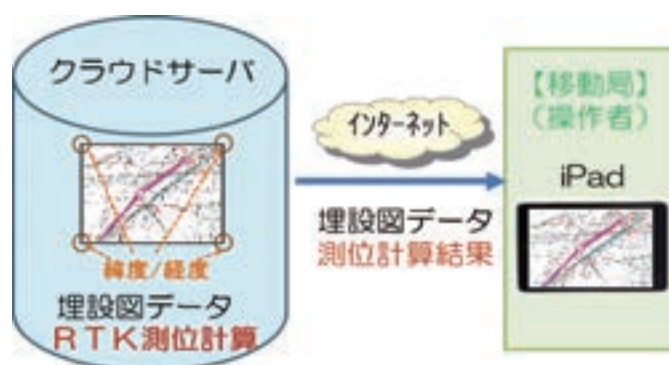


図 5-4 クラウド管理システム

ることで、各者の作業順序と行動効率を高める結果となった。

また、大規模造成現場での適用例では、周辺に目印となる構造物がなく、土砂へのマーキングも消えてしまう状況下で、埋設物の位置が自動で正確に表示できる本システムは有効であった。都市部の地下鉄開削工事では、GNSS 衛星測位が安定しなかったため、SLAM 方式を適用し、マーカを一定間隔に設置することで精度よく適切な AR 表示を行うことができ安全に施工を進めることができた。

6. デジタル施工システム BIM/CIM 施工技術

先述の AR 地下埋設物可視化システムにおいても、モデル管理が重要な位置にある。IFC（Industry Foundation Classes）など国際的にデータの標準化を進める民間団体 buildingSMART International（bSI）などの活動を見ても、BIM/CIM は今後 i-Construction のエンジンを担うものとして非常に重要な位置づけにある。

日本国内では、国土交通省が平成 29 年 3 月に「CIM 導入ガイドライン(案)」(以下、ガイドライン)を発行、平成 30 年 3 月にはガイドラインを改訂し、BIM/CIM の推進を図っている。ガイドラインは、共通編の他、土工、河川、ダム、橋梁、トンネルの各編に分かれており、それぞれの発注者・受注者に必要な CIM 活用の方向性が示されている。ガイドラインでは、調査・測量から維持管理までの BIM/CIM の取り組み方は示されているが、実際の工事進行に即した詳細な事項は記載されていないため、今後、試行工事などを通じて各種手順や手法などを蓄積していく必要がある。そのため、国土交

通省も「CIM 事業における成果品作成の手引き(案)」や「3 次元モデル表記標準(案)」を策定し、BIM/CIM の推進を促進している。

6.1 施工段階での BIM/CIM の取り組みと課題

施工分野では、ICT 施工と連動した土工分野での取り組みが特に進んでいる。これは、レーザー測量やドローンによる測量での許容誤差の範囲が比較的大きいことや、大規模な施工の場合、測量や重機の制御での省人化の効果が高いことが要因と思われる。工事全体では、属性の付与よりも 3 次元化（可視化）による設計図面の照査や協議の迅速化などの効果が非常に大きい状況である。可視化することで完成イメージ共有が迅速に図れることや、発注図面では再現しきれていない詳細部（例えば構造物間の取合いなど）の問題の顕在化、協議の迅速化、前倒しなども可視化の大きな効果である。工事着手早期に 3 次元化し顕在化させることで、低コストかつ多彩な対応を取ることが可能となっている。過密配筋部の施工検討を事前に行った例のモデルを示す（図 6-1）。

今後は、コンクリート構造物などの高い精度が要求される工事への導入が課題となる。また、検査技術の開発による検査の迅速化や自動化・遠隔化も期待される。

6.2 BIM/CIM モデルの新しい活用事例

現在、調査・設計段階から BIM/CIM モデルが作成され、工事発注段階で施工会社に提示されることは一般的ではない。そのため、施工時に必要なモデルは施工会社が作成し、施工検討などに利用することが施工段階の BIM/CIM としては一般的である。

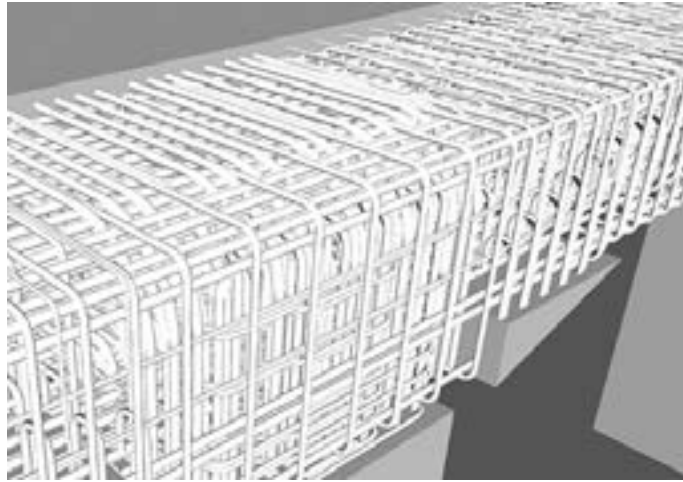


図 6-1 施工段階での BIM/CIM モデル検証（過密鉄筋モデル化）



図 6-2 高速道路盛土部 AR

複雑な構造物の可視化や過密鉄筋部分の干渉チェック、施工ステップの検討に使われることが多い。その中で、作成した BIM/CIM モデルを新たな形で活用した事例を報告する。

6.2.1 共通認識ツールとしての活用事例

現在、建設現場でも ICT 機器の活用が急速に進んでいる。作成した BIM/CIM モデルを AR システムに組み込み、現位置での工事完成イメージを可視化した事例である。3次元化の大きな効果として完成形イメージの関係者間での共有の迅速化が挙げられるが、AR システムを活用することで実際の工事箇所での完成形のイメージを共有することができる。高速道路新設工事における造成部分の拡張現実 AR の画面例を示すが、可視化することで、造成後の完成形をイメージすることが容易になり、関係者間での認識の共通化を図ることが出来る（図 6-2）。また、完成形を半透過にすることで、今後の工事の

イメージ、残工事量などを容易に把握することが出来る（図 6-3）。

図 6-2 右側の緑色部分が盛土部であり、薄茶色部は小段である。左下側から中央上部へ伸びる灰色部分が道路部である。盛土部は現地形より上部にモデルが存在するため拡張現実 AR で見た際に BIM/CIM モデルが画面上に表される。

図 6-3 図中左側の薄緑部が、盛土部である。図中右側は切土部であり現地形よりも下側に BIM/CIM モデルの表面が存在するため、拡張現実 AR で見るとモデルは隠れる。施工が進み図の右側部分の切土施工が進むと、BIM/CIM モデルが見えることになる。

6.2.2 第 3 者への説明資料としての活用事例

施工中には、第 3 者への影響が懸念されることが多数発生する。事例として、営業中の鉄道上空を横断する新設鉄道の架設工事などがある。施工検討用に作成した BIM/CIM モデルを活用し、営業線鉄道

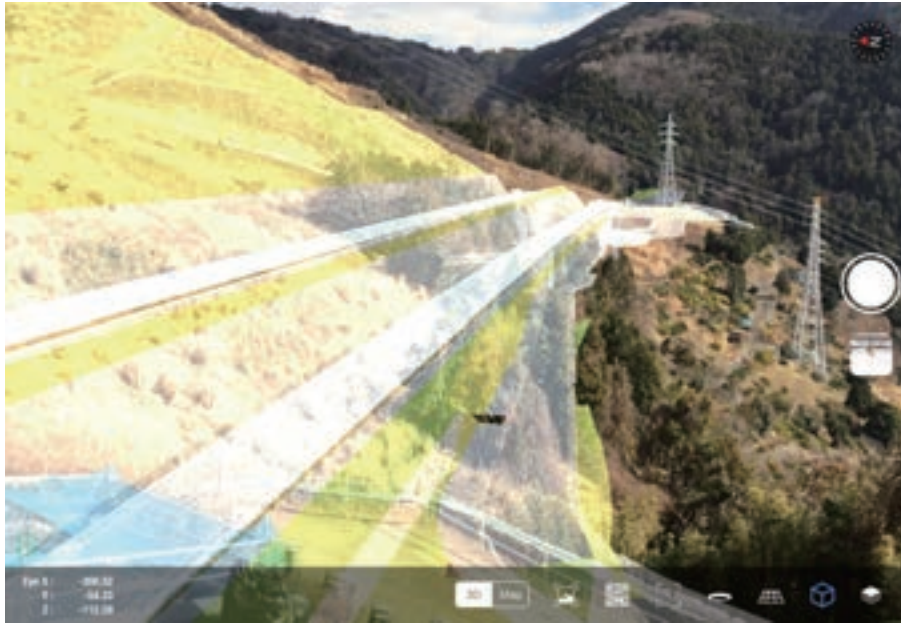


図 6-3 完成道路を半透明表示 AR

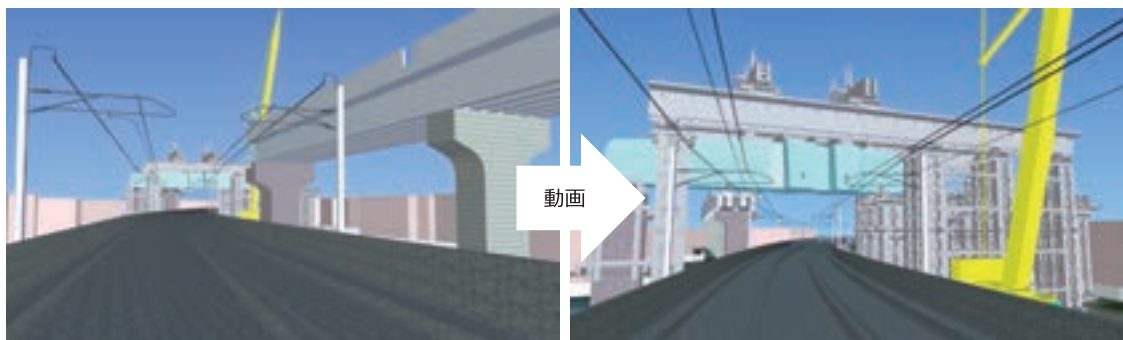


図 6-4 営業線からの架設構造物のシミュレーション映像

運転手目線の動画を作成し、協議資料とした。建設業にかかわらない第3者への説明は、図面などを用いての合意形成は難しい。本事例のように可視化することで、迅速な合意形成を進めることができる。紹介の絵図は、BIM/CIMモデルを活用して作成した営業線運転手目線の動画の一部を切り取ったものである（図6-4）。

6.3 BIM/CIMによるデジタル施工への活用事例（橋梁架設）

6.3.1 活用の内容

本工事は東京外かく環状道路（関越～東名）の約16kmの区間のうち、大泉JCTから井の頭通りまでの延長約7kmの南行本線トンネルを国内最大級のシールド工法により施工するものであった。シールド掘削土は高速道路の本線上に設置したベルトコン

ベヤにて搬送する計画である（図6-5）。本工事では、BIM/CIMやCG、情報化施工により、品質・安全の確保や生産性向上を図る活動を行っている。本稿では、ベルコン橋梁架設におけるBIM/CIMデジタル施工管理にてVR技術とCGアニメーションを活用した事例を紹介する。

交差点内ベルコン架設時の既設橋梁との干渉が懸念される区間において、クレーン架設状況の3Dモデル化を行い、クレーン運転士とクレーン配置、旋回角度、ブーム長の検討を3次元モデルにて実施。この検討結果をもって施工ステップのCGアニメーション化を行った。また、製作した3DモデルはBIM/CIMモデルへ変換し、納品への活用を検討した。工事関係者による事前個別工事検討会ではこのCGアニメーションによる工法の共有と、VRによる危険体験・クリアランスの確認と養生方法の検討

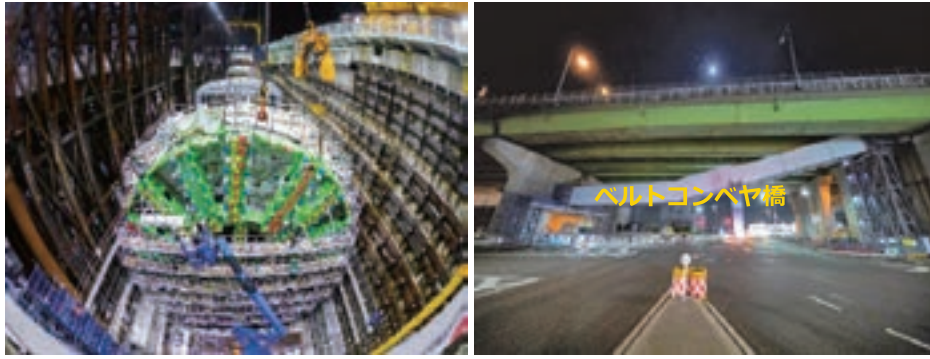


図 6-5 シールドマシン（左）とベルトコンベヤ設備（右）

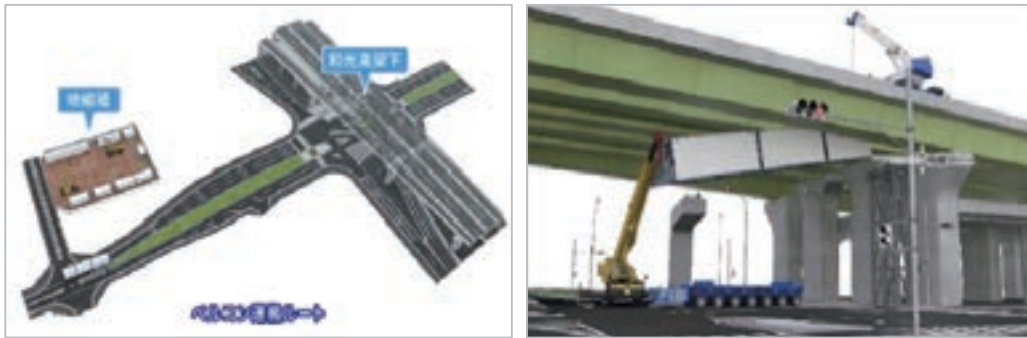


図 6-6 高精度 CG アニメーション

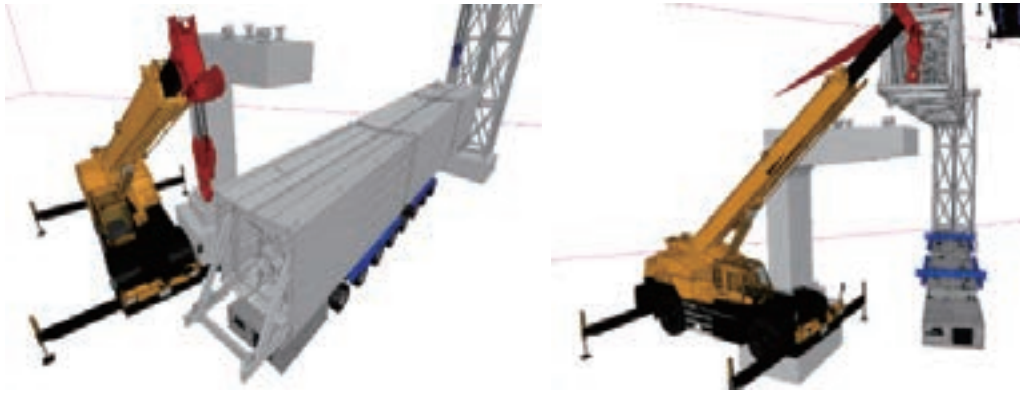


図 6-7 CG から抽出した 3D 施工モデル

を行い、安全な環境下で施工を行うことができた。

デル構築の効率化を図ることとした（図 6-6）。

6.3.2 各施工段階のステップイメージを CG アニメーション化

本設・仮設を高精度でモデリングするには、クレーンや多軸運搬台車など、使用する機種を決定後、実機寸法通りにモデリングし精度を上げる。

クレーンの配置やブーム長、旋回角度などはクレーン運転士と 3D ソフト上で協議し決定した。ただし、既設構造物については、設計図書からのモデリングでは現地との不整合が生じるため、点群測量データと差し替えて精度を向上すると共に、3D モ

6.3.3 CG のモデルを抽出し 3D モデルを作成
使用する 3D モデルは CG のモデルを BIM/CIM モデルに変換。効率的な 3D データの活用を進めた（図 6-7）。

6.3.4 現況点群と 3D モデルにより施工上の課題を確認

既設構造物と計画モデルの比較には、現況の点群測量データを利用した。3D モデルの高精度化を図ると共に、モデル作成作業の効率化が図れた（図 6-8）。

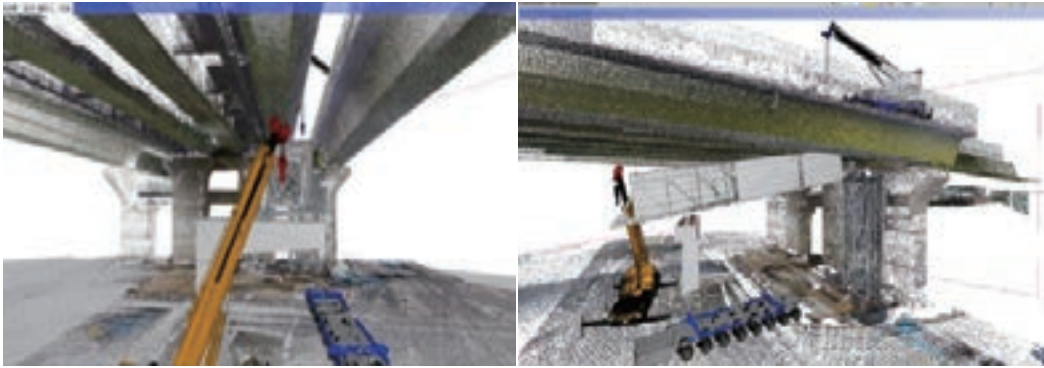


図 6-8 現地取得した点群モデルと 3D 施工モデルの合成

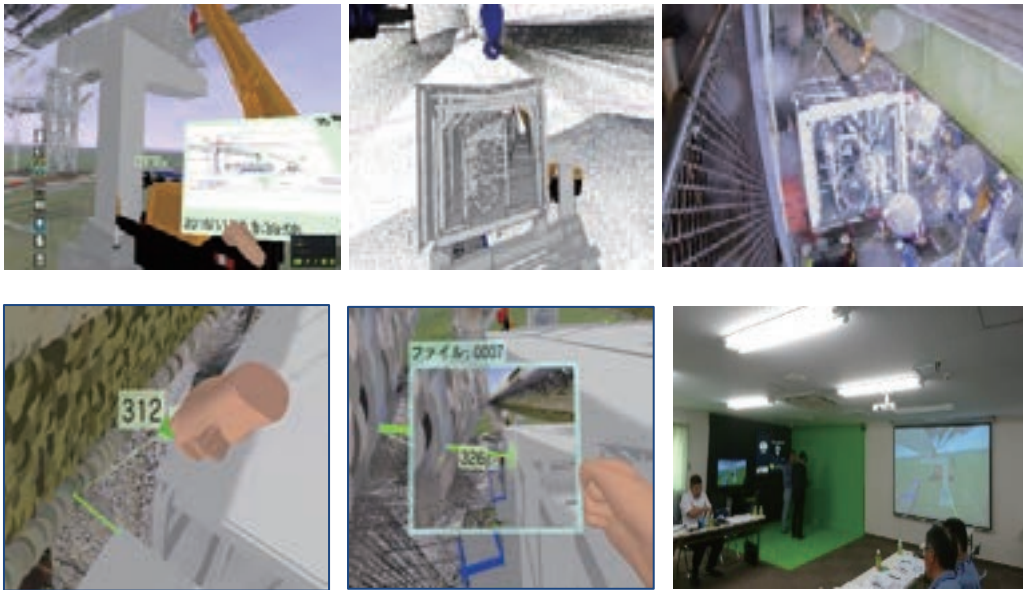


図 6-9 VR 空間内での事前施工体感を確認

6.3.5 3D-CAD から出力した VR データにて関係者が確認

各施工段階の 3D モデルを VR データに変換し、工事関係者全員が事前に体感することで、危険箇所への適切な対応や、最適な人員配置で施工を終えることができた（図 6-9）。

- ① VR 内で図面を確認しながら施工の流れを確認
- ② VR 内で狭隘な箇所を確認し 2 点間距離計測
- ③ 課題箇所を VR 内で撮影し検討会・協議に活用

6.3.6 デジタル施工の効果

施工前に関係者全員が各段階の施工ステップを CG アニメーション視聴や、VR 内で体感する「気付き」、「意見」、「改善」のフロントローディングと共通認識により、品質・安全の確保や生産性を飛躍的に向上を図ることが出来た。

6.4 建設会社における BIM/CIM モデル活用の課題

ここまで活用事例を含めて述べてきたが、建設施工会社での BIM/CIM 活用は施工フェーズに限定されており、部分最適なモデルとなっている。さらに、工事発注・受注後のモデル化となるため、施工計画・施工検討に取り掛かるタイミングが遅れることになる。工期が長期に渡る工事であれば一定の効果はみられるが、工期の短い工事ではモデル化の時間を確保することが難しい。調査・設計から施工・維持管理までを BIM/CIM モデルで受け渡し建設業界全体の生産性を高めることが必要である。そのためには、BIM/CIM を促進する ECI（Early Contractor Involvement）方式などの早期の活用も必要である。

7. ヒト協調型ロボット 配筋アシストロボ

ここでは、センシング技術とロボット技術を用いた重量鉄筋の組立作業をアシストするロボットの活用例について述べる。

7.1 開発の背景

建設業においては、コンクリート構造物が構造体として広く用いられている。コンクリート構造物を作るときには、一般的に鉄筋を組み立ててから生コンクリートを打設する。近年の耐震化基準の強化により、この鉄筋が太径化し、高密度になる傾向があり、鉄筋組立作業の負担が増加している。さらに、施工条件によっては、クレーン等の揚重機械が使えず、人力で鉄筋組立をおこなわなくてはならない場所も少なくない。このような場合には非常に大きな負担となり、生産性が低下している。

そこで、センシング技術・ロボット技術を使って鉄筋組立作業をアシストできる、人間の腕のようなロボットアーム型の作業支援ロボットを開発した。

(図 7-1)

7.2 技術の概要

このロボットは、接圧センシング技術により、先端の操作用グリップを動かしたい方向に押すだけで、まるで自分の腕のようにアームを自由に動かせる。鉄筋の重量はアームが持ってくれるため、重い鉄筋でも軽々と移動することができる。さらに、手の微妙な動きも操作用グリップに内蔵した6軸力覚センサーの感知量に応じて、アームが自動連動で動作する。したがって、まるで自分の手のように自由自在にロボットアームを動かせるので、操作者の意

図の従ったノウハウを生かした動きが可能である。図 7-2 に構造概要、表 7-1 に諸元を示す。なお、このロボットは、人で運べる重量以下に分割可能とし、クレーンが使用できない場所でも分割して持ち運ぶことができる仕様とした。したがって、クレーンの使用が厳しい空間で作業負担の大きい場所での使用が効果的な能力を発揮するものである。また、現状では H 鋼材に取り付けて使用するが、H 鋼材以外でも取り付けることは可能である。

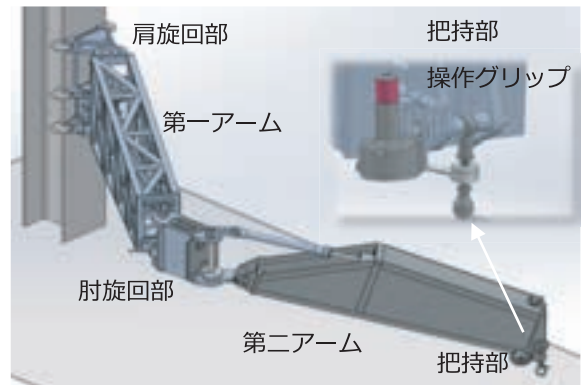


図 7-2 構造概要図

表 7-1 諸元表

定格荷重	250 kg
作業半径	約 5.3 m
揚程	約 2.0 m
分割数	4 分割
入力電源	三相 AC 200 V
水平方向 操作方法	操作グリップ式 (6 軸センサー内蔵)



図 7-1 配筋アシストロボ

7.3 効果

本技術により、人は重量物を自分自身の体力を使うことなく持ち上げ移動させることが可能となった。これにより、建設業においても力仕事はロボットが行い、運搬設置ノウハウは人が判断するという「人とロボットの協働作業」が可能となった。

また、重量のある鉄筋作業において、現場実証を4件ほど行った結果、最大約1.4倍の生産性向上効果を確認した。D51等の太径鉄筋を多量に使用する現場などは、運搬作業性を高めるために短鉄筋とし継手手間が増える傾向にあるが、これら課題を解決できることも検証できた。

鉄筋配筋時の鉄筋重量はロボットが負担するため、人が鉄筋重量を荷役負担することはほぼないことから、従来よりも少ない人数での作業、休憩回数の減少が可能となった。

本技術においては、自分自身の操作で作業を行うので、挟まれなどの危険性を感じた場合には、グリップから手を放すだけで操作動作が停止する機能となっている。また、駆動部にはクラッチ機能を装備し、所定荷重異常時は、滑り停止する機能となっている。これらにより労働環境の改善につながるとの意見を多数得ている。

8. シミズ・スマート・サイト 次世代ロボット施工

建築工事においては、躯体構築資器材の物流システム構築が生産性を決定づけるといっても過言ではない。究極の生産性向上と将来の担い手確保において、課題解決の取り組みのひとつとして、BIM/CIMとICTをベースに、自律型ロボットやアシスト機械等が連携する次世代生産システム、Shimz Smart Site[®](シミズスマートサイト)を展開している。本稿では、既に建築現場に適用されている、シミズ・スマート・サイトの構成要素の一部紹介する。

8.1 全天候カバー

建設中の建物全体を覆う全天候型の軽量屋根システムを開発している。油圧式センターホールジャッキを装備し、躯体工事の進行とともにカバー全体がクライミングすることで、内部では天候に左右され

ることなく工事を進めることができるものとなっている(図8-1)。



図8-1 全天候カバー

8.2 水平スライドクレーン EXTER

EXTERは、全天候カバーの中や、稼働高さに制限のある敷地での稼働可能な、世界初の水平伸縮型クレーンを開発した。定格荷重：12t 作業半径：3m-25mで、アーム部が水平スライドしながら規定空間内での移動が可能なものとなっている(図8-2)。



図8-2 水平スライドクレーン EXTER

8.3 搬送ロボット ROBO-CARRIER

建設現場は、製造工場や物流倉庫の搬送システムとは異なり、工事進捗により日々の環境条件が変化していくことが特徴である。そのような条件下において搬送ルートを最適に設定することと、搬送環境認識技術、不測条件に対応する能力を有するシステム技術が重要となっている。ROBO-CARRIERは、レーザーセンサで取得した躯体の位置情報とBIM情報の照合により自分の所在位置を認識し、垂直搬送装置と連携して指示された作業場所まで資材を自動搬送するシステムとなっている。1,000 kgまでの

荷物を搬送することが可能となっている（図 8-3）。



図 8-3 搬送ロボット ROBO-CARRIER

8.4 溶接ロボット ROBO-WELDER

ROBO-WELDER は、鉄骨柱にロボットをセットし、スタートボタンを押せば、最後まで溶接してくれるロボットである。パス毎にレーザーセンサでビードの形状を計測し、次パスの狙い位置や溶接条件を計画パスに近くなるよう演算修正を適宜かけながら作業を続けるシステムとなっている（図 8-4）。



図 8-4 溶接ロボット ROBO-WELDER

8.5 作業ロボット ROBO-BUDDY

ROBO-BUDDY は、移動台車の上に 2 本のロボットアームがセットされたロボットで、天井作業や OA フロアの施工を指示内容に応じて自律的に作業を行うことが出来るシステムとなっている。指示された作業場所まで自動で移動し、画像センサとレーザーセンサで施工部位を認識した上で、2 本のロボットアームを駆動させながら作業を行うもので、ロボットアーム先端の手先部（エンドエフェクタ）を取り換えることでそれぞれ多様な機能を発揮することが出来るものとなっている（図 8-5）。



図 8-5 作業ロボット ROBO-BUDDY

8.6 総合管理システム ROBO-MASTER

全天候カバーからスライドクレーン、各ロボットは、それぞれがシステム連動しながら稼働するもので、認識・認知、判断・稼働情報からその履歴までがデジタル情報として集約されるシステム上で稼働している。**ROBO-MASTER**での、現場全体でどのように稼働しているかを中央管理する統合管理システムが、我々人間との信頼関係を生み出す重要なインターフェースとなっている。

9. 高頻度高精細モニタリングシステム

最後に開口レーダーによる施工管理を紹介する。

9.1 計測システム概要

あるシールド工事では、重要構造物の沈下変位挙動を、常時非接触でモニタリングする必要があり、17 GHz 帯を使用した地上設置型合成開口レーダー GB-SAR 装置を利用した、広範囲地表面の高精細挙動モニタリングシステムを構築運用している。観測距離は 50 m～4,000 m、観測距離数平方 km²、合成開口長最大 2 m、分解能はクロスレンジ 1 km 先で 4.4 m、変位抽出制度 0.1 mm オーダーとなっている。モニタリング対象領域にプリズムの設置が必要なく、最大 4 Km 先にある領域の測定がノンプリズムで測定可能である。火山、斜面崩壊、大規模データモニタリングの変位監視など直接観察下へアクセスせずに設定時観測、データの自動取得・演算処理を行い、あらかじめ設定した閾値を超えた場合、警告アラームを発信し、注意喚起を行うものとなって

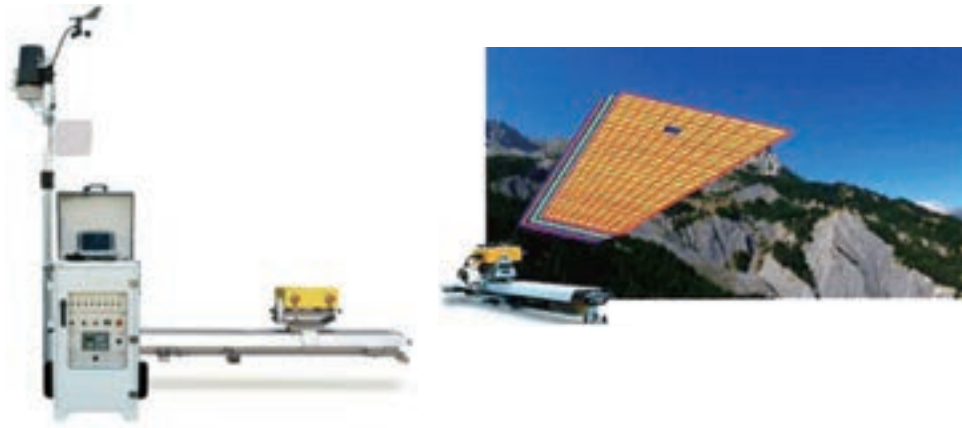


図 9-1 合成開口レーダー装置（左）と照射イメージ（右）

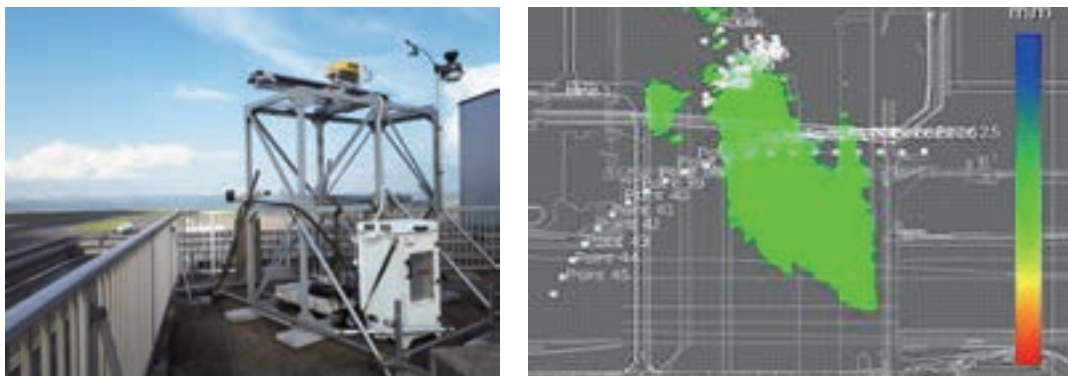


図 9-2 観測状況（左）と測定モニタ出力（右）

いる（図 9-1）。

9.2 シールド掘進に伴う計測工

シールド工事では、シールド機前面の掘削により地中の応力が解放され緩みが発生する事で、地表面が沈下することが判っている。この沈下量については、土質条件などを元に事前解析を行い、推定値が算出されるが、施工時には実際に生じる沈下量を計測により把握し、事前計算に則した沈下が生じているか確認しながら施工を行う必要がある。通常のシールドトンネルの地表面沈下計測は、路線上の地表面を人力にてレベル測量を行う方法や、水圧式計測器などを設置してリアルタイムで変状を把握する方法がある。本工事は、重要構造物敷地として立ち入りが許可されない条件となっており、唯一夜間の施設閉鎖時間のみ立ち入ることができる条件となっている。また、重要構造物を使用する車両機の運行等に支障を来すような機器の設置には制限がある。

この厳しい条件下において、遠方から電磁波を照

射し、その反射波の解析により高い精度で地表面の変化を測定ができる「合成開口レーダー」を採用し、隣接ビルの屋上に設置し、シールド路線上部の地表面の計測を行っている。

導入に際して、事前に合成開口レーダーの計測を行い、1 mm 単位の精度が確認。十分に実用に耐えうる精度を有している事を確認し実機の計測を開始した（図 9-2）。

現在は、合成開口レーダーによる地表面計測、高性能カメラによるシールド通過部の目視監視、及び施設閉鎖時間中のレベル測量を併用する事で、掘進の影響による変状が適正範囲内である事を確認しながら掘進を行っている。

10. 終わりに

センシング技術、情報通信技術、データクレンジング技術、コンピューティング技術、イメージングデバイス技術やシステムコントロール技術などの建設生産への複合的活用例を示してきた。

今後、センシング技術の爆発的な進化により、はるかに桁数の超えた膨大なデータを取得することが可能となる時代となるが、データが膨大になるほどデータのノイズ処理やクレンジング技術が重要となってくる。また、通信負荷や帯域利用を考慮すると、クラウド処理ではなくエッジコンピューティング技術も重要な時代となっている。

建設業は、他の生産産業に比べて時間に依存した変化項目を多く含むシチュエーションが多く、人の技術能力に頼らざるを得ない事柄が多い。また、ビ

ルの高層部やダム現場、山岳トンネル工事など、当該エリアの通信インフラのレベルに規定されるところがあり、アナログとデジタルの両技術を有している必要もある。

今、ICT 技術導入がデジタルスマートシティへの入り口であるが、サイバー空間とフィジカル空間の間には、必ず誤差とひずみが生まれることを忘れてはならず、その収めどころを知る技術こそが、われわれ技術者の使命であると感じる。

寄稿

スマートデバイスを活用した施工管理業務の生産性向上

前田建設工業株式会社 土木事業本部 土木技術部 ICT推進グループ長 工藤 敏邦

1. はじめに

国土交通省では、ICTの活用等により調査・測量から設計、施工、検査、維持管理・更新までのあらゆる建設生産プロセスにおいて、抜本的な生産性向上を目指す「i-Construction～建設現場の生産性革命～」の取組みを推進している¹⁾。「i-Construction」では、特に土工分野でICTの活用が大きく進展している。測量におけるUAVの活用、施工計画や検査における3次元データの活用、ICT建機のマシンコントロールによる丁張レス施工などは確実に施工現場に浸透し、作業時間の短縮や人員の削減に大きく寄与している。

ICTにより施工の効率化が進展する一方、帳票作成、打合せ、品質管理、安全管理など職員が直接関与する施工管理業務においては、いまだに従来の業務方法が根深く残っており、効率化が遅れているのが現状である。従来はこれらの業務を残業でカバーしているのが実態であったが、労働環境の悪化により建設就業者数が減少し、それによりさらに残業が増加するという負のループから脱するためにも、施工管理業務の効率化は喫緊の課題である。

また、近年、生産性向上や業務の効率化を目的として、様々な産業分野において、スマートフォンやタブレット端末などのスマートデバイスが急速に普及している。このことは、建設業においても例外ではなく、スマートデバイスを現場の施工管理業務に活用して生産性の向上を図り、「建設現場の働き方革命」につなげる事例も数年前から増加してきている。当社では、2017年よりスマートデバイスとして、スマートフォンおよびタブレット端末を全現場職員に配布するとともに、施工フィールドの通信環境を整備することで、施工管理業務の生産性向上を加速させる取組みを推進している。

本報告では、施工管理業務へのスマートデバイスおよび施工管理アプリケーションの導入による生産性向上事例について紹介する。

2. スマートデバイスの導入方針

2.1 基本方針

スマートデバイスの社内展開は、以下の導入方針に基づき実施した。

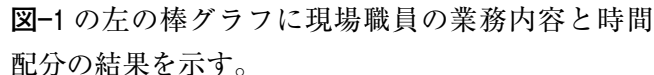
- ①施工管理部門への業務調査およびニーズ調査等により、効果的なアプリケーションを社内標準として選定し、全社員にスマートデバイスとセットで配布。
- ②土木、建築、情報システムなどの部門を横断したワーキンググループ（以下、WG）を構築し、導入教育、活用支援およびアプリ使用状況のモニタリングを実施。
- ③スマートデバイス導入と並行して、施工フィールドの通信環境の整備も実施

2.2 アプリケーションの選定

(1) アプリケーションの選定手順

施工管理の生産性向上を図るにあたり、全社員にスマートデバイスを配布するだけでは、職員はどの業務に、どのような方法で活用すればよいか分からず、忙しい日々の中でスマートデバイスの活用が進展しないことが想定された。そのため、まず始めに施工現場の業務構成を調査して、ターゲットとなる業務を明確にし、それを解決するための適切なアプリケーションを選定するところから取組んだ。

(2) 施工管理業務の分析結果

まず、土木11現場、建築18現場に対して、現場職員の労働時間分析のアンケート調査を実施した。図-1の左の棒グラフに現場職員の業務内容と時間配分の結果を示す。

最も多くの時間を占めているのは、「現場管理・点検」で36%であった。現場では協力会社への指示、進捗管理、品質管理、安全管理、発注者立会などを実施する必要があるため、現場での滞在時間は長くなってしまうことが多い。また、土木現場を中



図-1 アプリケーション・ツールの選定

心に現場と事務所が離れている現場も多く、移動に車で片道30分以上かかる現場も存在するなど、移動時間も大きな負担になっていることが想定される。また、「資料作成」(18%)、「書類整理・保存」(8%)などの書類作成業務は、現場作業が終了してからの残業時間で行われることが多く、作成する書類の量が多いことから、長時間勤務を増長させる原因となっている。「会議打合せ」(14%)は発注者、協力会社、現場内の打合せを含んでおり、様々な関係者が別々の場所で業務する中、時間を合わせて1か所に参集して打合せを行うため、移動時間などにより非効率となっている部分が多く見受けられる。

調査の結果、「現場管理・点検」、「資料作成」、「会議・打合せ」、「書類整理・保存」の主要4業務での業務時間は、1日の3/4を占めていることが確認できた。そのため、施工管理業務のアプリケーションは、これら主要4業務に対して選定するものとした。

(3) アプリケーションの選定

前述した主要4業務のそれぞれの課題を抽出し、さらに移動時間の短縮など各業務に共通する課題も整理した。その結果、ICTの活用による生産性向上対策は「コミュニケーションの高度化」、「移動時間の削減」、「検査・安全書類作成手順の削減」の3分類に分けて検討することとした(図-1)。

これら3分類の対策を解決するための主要なアプリケーションを図-1の右側に示す。スピード感のある全社展開を実現するため、自社開発済のアプリケーションに加え、汎用性が高い市販アプリケー

ションの選定・改良を行い、全社展開を図るものとした。なお、これらのアプリケーションの選定にあたっては、複数の現場に対してICTツールに関するヒアリングを行い、現場のニーズと導入するアプリケーションの機能に齟齬が生じないようにした。

2.3 スマートデバイス推進支援

スマートデバイスを導入し、業務に展開していくためには、ただスマートデバイスを配布するだけではなく、職員への教育を継続して実施することが重要である。そこで、本店の土木・建築の部門長を責任者とし、情報システム部門および土木、建築のICT推進部門と支店で組織化したWGを立ち上げた。WGは展開状況の情報交換を行うとともに、各種講習会などの支援を企画している。WGで実施した支援を以下に示す。

(1) スマートデバイス導入教育

スマートデバイスを配布する際には、スマートデバイス導入方針、社内標準となったアプリケーションの活用方法、業務への適用方法、セキュリティに関する知識などを習得するための講習会を全国の支店で各複数回実施し、全社員のリテラシーの向上を図った(写真-1)。

(2) オンラインマニュアルの整備

現場業務への積極的な導入を推進するため、オンラインマニュアルを整備した。マニュアルは「打合せ」「帳票作成」などの使用するシーンごと、また、アプリケーションごとに整理されており、1手順ご



写真-1 スマートデバイス導入教育



1手順ごとに分かりやすいマニュアル

図-2 オンラインマニュアルの整備



図-3 活用状況モニタリング



写真-2 現地コンサルティング

とにコマ送りで見ることができる作りになっている
(図-2)。オンラインマニュアルには好事例が随時
追加され、様々な問題点の解決に寄与している。

(3) 活用状況モニタリングと可視化

スマートデバイスの活用率を向上させるため、月ごとに活用状況を集計し、活用率ごとに個人、作業所、支店をランク付けして、社内 HP で公開した（図-3）。また、支店の責任者が集まる会議で活用率を公表し、支店ごと、現場ごとに競わせることで活用を促進した。

(4) 協力会社用スマートデバイスの貸与

現場で施工管理を行う際には、一緒に施工を行う協力会社との連携は不可欠である。そのため、現場の生産性向上には、元請け会社だけでなく、協力会社も含めてスマートデバイスを導入し、活用していくことが重要である。そこで、情報システム部門が中心となり、協力会社用の共有機を現場に貸与する仕組みを構築している。なお、この共有機には、職

員用と同じ社内標準アプリケーションがインストール済みであり、現場職員とのコラボレーションにより生産性向上が図れるようになっている。

(5) 現地コンサルティング

導入時の集合教育では、アプリケーションの基本操作についての教育を実施した。しかし、実業務に導入する際には、現場の置かれている環境が複雑、アプリケーションの詳細な操作方法が不明などの理由により、導入が進まなくなった作業所が存在していた。そのため、前述のWGが主体となり、実際に現場に赴いて施工管理業務の課題を聞き、スマートデバイスを活用した解決方法を一緒に考える「現地コンサルティング」を実施した（写真-2）。

WGが実際に現場に赴くことで、様々な問題点が解決できるとともに、現場職員のスマートデバイス活用意欲が増加するため、現場コンサルティングを実施した現場での活用は大幅に進展した。また、活用が進んだ現場の事例を取集し、遅れている現場に展開することも可能となった。

また、現地コンサルティング実施後にもスマートデバイスが活用が進展しない現場に対しては、1ヶ月おきにWeb会議で状況や課題をヒアリングし、活用できるまで継続的なフォローを実施している。

3. スマートデバイスの活用事例

以下には、現場施工業務に導入した社内標準アプリケーションなどを活用した生産性向上事例を紹介する。

3.1 電子野帳

現場職員は、測量結果や現場管理状況の記録を野帳と呼ばれるメモ帳に記録している。また、記録した情報を共有する際は、現場事務所などに移動し、別途、デジカメ等で撮影した画像と組み合わせるなどして回覧や周知資料を作成して、打合せすることが一般的である。

一方、電子野帳では、説明のためのメモ書きの追記だけでなく、スマートデバイスで撮影した写真・動画の貼付も簡単である。また、作成した野帳はクラウドで共有できるため、いつでも職員間で情報共有が可能であり、施工管理業務におけるコミュニケーションの高度化に効果的である。

■事例①：電子野帳の活用による施工計画の高度化・効率化

当工事は夜勤作業があることもあり、職員の残業時間が長いことが問題となっていた。そこで、施工管理業務における働き方改革と生産性向上に関して、現場の全職員で定期的にブレインストーミングを実施して現状分析と対策を議論し（写真-3）、そ

の結果としてスマートデバイス活用に取り組んでいる。現場全体で導入の理由と意識付けが明確になったため、スマートデバイスはスムーズに導入することができた。

当工事で特に活躍しているツールは電子野帳である。作業手順書、施工計画書、各種点検帳票、KY用紙、所内スケジュール、工事進捗図等を電子野帳に取り込み、現場全体の情報共有ツールとして活用を進めている。また、当現場では協力会社職員に共有iPadを貸与しており、元請け職員と協力会社職員が電子野帳でイラストや写真をシェアしながら、離れた場所で施工計画の打合せをするなど(図-4)、大幅な効率化を実現している。なお、当現場での毎日の工事打合せは、会議室ではなく、立ち席でiPadを活用して実施している（写真-4）。これもブレインストーミングから生まれたアイデアではあるが、立って打合せをすることで、無駄話が減り、打合せ時間の削減に寄与している。

3.2 プロジェクト掲示板

施工現場では、社内外の関係者とコミュニケーションを密にとり、意思決定を迅速に行うことが重要である。プロジェクト掲示板は社内SNSのような機能を持つツールであり、セキュリティが確保されたグループチャットで複数関係者と同時連絡が可能である。工事現場の写真や動画なども迅速に情報共有できるため、意思決定のスピードアップが実現する。

■事例②：プロジェクト掲示板の活用による職員間のコミュニケーション向上

導入した「プロジェクト掲示板」は、現場巡視結



写真-3 ブレインストーミング実施状況



図-4 電子野帳を活用した施工計画



写真-4 立ち席での打合せ状況



図-5 プロジェクト掲示板

果、施工計画、指示事項、引き継ぎ事項の共有における現場内関係者のコミュニケーションの高度化に活用されている（図-5）。

例えば現場巡視結果を是正してもらうケースでは、これまでは、巡視時にデジカメで撮影した写真を事務所に戻って印刷し、昼礼や終礼での社内外との全体会議で共有し、その後、対応を行うというワークフローであった。一方、プロジェクト掲示板を活用することにより、写真とペンによる追記で、指摘事項がスピーディかつ正確に伝達可能となり、さらに是正後の対応も写真を添付することで確認が容易になった。そのため、是正事項発見から対応、確認までの時間の大幅な削減につなげることができている。

3.3 帳票作成アプリケーション

検査安全書類作成手順の削減では、スマートデバイスを活用し、現場にて検査および安全書類等を作成するアプリケーションを導入した。このアプリケーションは、表計算ソフト等で事前作成した検査書類等のフォーマットを、現場でスマートデバイスにて入力しやすいように変換する機能を有している。また、データはCSV形式で出力可能であるた



図-6 帳票作成アプリケーションを活用したパトロールの電子化

め、収集したデータを分析し、AI、ディープラーニングなどに活用することも可能である。

■事例③：安全パトロールの電子化

本アプリケーションを、現場と本支店での安全パトロールで活用した事例を図-6に示す。従来は現場パトロール時に指摘箇所の写真を撮影、指摘事項を野帳等にメモして、事務所に戻り安全パトロール用の帳票を作成していた。帳票作成アプリケーションを活用することにより、現場巡視時に、写真を撮影しメモを入力することで安全帳票が完成するため、事務所に戻った際にすぐにパトロールの講評に取り掛かれるなど、業務の迅速化、省力化に大きく寄与している。また、クラウド上で帳票の共有が可能となったため、従来実施していたメールでの是正報告および関係者閲覧が不要になるなどの効果が認められている。

3.4 Web 会議システム

土木現場では事務所と現場が離れていることも多く、打合せや現場管理等のために移動時間がかかることが課題となっていた。また、現場が本支店とも離れていることが多いため、本支店が技術支援を実施する際にコミュニケーション不足となり、効率の良い支援ができないなどの事例もあった。そのためコミュニケーションの高度化を目的として、タブ

レット端末やスマートフォンを活用して、全社員がいつでも Web 会議に参加できる環境を導入している。

Web 会議システムは、参加者の移動時間を考慮する必要がないため、お互いの距離が離れた状況でも、気軽にコミュニケーションをとることが可能である。そのため、本支店または他現場の職員も含めた Web 検討会を頻繁に開催することが可能となり、施工上の安全、品質における不具合を未然に発見するなどの効果を生んでいる。また、デバイスを選ばず、どこからでも会議に参加できるため、意思決定の迅速化に関しても効果が得られている。

■事例④：距離が離れた拠点をもつ現場でのコミュニケーションの向上

対象工事は施工箇所が離れた箇所に存在しており、移動に時間がかかるため、翌日の作業の調整をする夕礼は、それぞれの施工箇所では実施せざるを得ない状況であった。そのため、現場代理人をはじめ職員は双方の施工箇所の状況を把握することが困難であり、協力会社の割振り、材料の手配、機器の手配等で非効率な状態になっていた。

そこで、当工事では夕礼を電子野帳や工事打合せシステムにて施工情報を共有しつつ、Web 会議システムで実施する方法に切り替えた（図-7）。電子野帳では参加する職員全員がスマートデバイスや PC で同じ画面を見ることができ、Web 会議にて複数の職員での会話ができるようになったため、移動

時間をかけて職員が集合しなくても、効率的な打合せが可能となった。

3.5 電子小黒板

従来、施工写真、検査写真や出来形写真などでは黒板に必要事項を記入して、写真に映りこませる必要があった。しかし、黒板は持ち運びが不便であり、黒板の自立が困難な場所では、黒板を保持するために別途職員が必要となるなど、施工現場の省力化を妨げる原因となっていた。

近年登場した電子小黒板は、デジタル写真と必要な情報を記載した電子小黒板データを合わせて保存するものであり、改ざん防止機能が付与されている（写真-5）。また、電子小黒板に入力したデータにより写真整理や帳票作成を自動化するアプリケーションも出てきており、平成 29 年に国土交通省で活用が認められたことを追い風に活用が広がっている。



写真-5 電子小黒板の活用

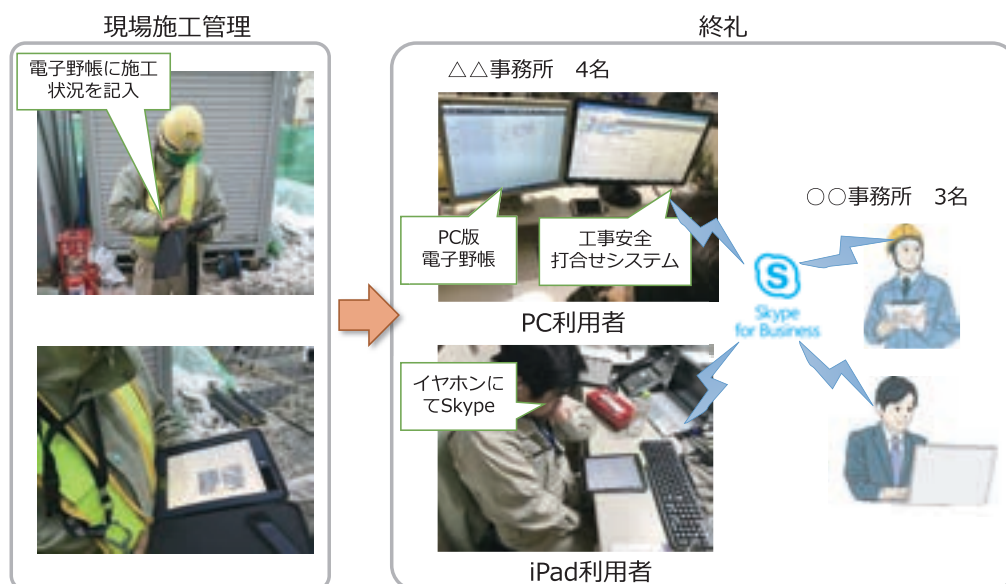


図-7 離れた拠点間での電子野帳、Web 会議システムを活用した打合せ

る。当社においてもスマートデバイス展開と合わせて必須ツールとして導入を進めている。

■事例⑤：電子小黒板の活用による日常管理の効率化

該当工事では着工と同時に電子小黒板に取り組んだため、スムーズに導入が進んでおり、施工管理に欠かせないツールとなっている。特に自動写真整理、帳票の自動作成の機能は業務の効率化に寄与しており、従来、現場から戻ってきた後に実施していた作業の大幅な削減を実現し、残業時間の低減にもつながっている。

3.6 全天球ウェブカメラ

土木現場では事務所が現場と離れているケースも多いため、数年前より現場を確認するためにウェブカメラの活用が進んでいる。従来のウェブカメラは、カメラで撮影した画像をクラウドに転送して、ウェブ上で画像を閲覧する方式であるが、確認したい箇所を見るために、物理的にカメラを回転させる必要があった。

近年、カメラの周囲 360° を同時に撮影するデジタルカメラ(全天球カメラ)が一般的になっている。そこで、当社ではこの全天球カメラを現場の監視用カメラとして活用する取組みを始めている。カメラ前後の魚眼レンズで撮影された映像は合成されてウェブ上にアップされ、マウスでドラッグすることで好きな方向の映像を見ることが可能である。また、通常のカメラのように一方向ではなく、常に全周を撮影しているため、撮り逃しがなく、監視カメラとしても有効である(図-8)。

■事例⑥：全天球カメラによる現場監視効率化

橋梁上下部工の施工現場にて、橋梁下の資材ヤ-

ードおよび上部工施工用のタワークレーンに全天球 Web カメラを設置している。現場に向かわずとも現場の状況が把握できるため、現場への移動時間の節約に寄与している。また、全天球カメラはカメラ周囲の状況を自由に閲覧可能であるため、事務所での打合せ時にも必要な個所を確認しながら打合せできると好評である。

映像配信プラットフォームには、録画機能がついているため、24 時間 360° を監視することが可能であり、防犯対策としても期待できる。

4. 施工現場の通信環境の整備

土木工事においては、トンネル坑内や山間部など、依然として、通信環境の利用が困難であり、公共 LTE 回線も使用できない現場も少なくない。そのため、施工管理業務の生産性向上を図るためには、スマートデバイス自体の導入だけではなく、Wi-Fi 環境等の通信環境の構築が必要となる。従って、上記を踏まえた通信環境の整備についても、ハードとソフトの両面を一体に進めることで、全社展開のスピード感を確保した。

通信環境の整備では、すべての現場にて大容量データ通信が可能な環境の構築を目的として、通信環境が課題となる施工フィールドごとに Wi-Fi 環境の推奨仕様を検討している。通信環境が問題となる施工フィールドとしては、公共 LTE 回線が届かない「トンネル」、および公共 LTE 回線を確保するアンテナも設置されていない「広域造成、ダム」、都市部にありながら高層であるため公共 LTE 回線が届かず、アクセスポイントが固定しづらい「リニューアル工事」が考えられ、これらの施工フィールドごとに対策を検討した(表-1)。

図-9 は山岳部の広域工事における通信環境として、WiPAS(ワイヤレス IP アクセスシステム)による高速無線リンクを施工フィールドに配置した事例である。本事例では、公共 LTE の入らない山岳部の広範囲にわたる施工フィールドにおいて、WiPAS による無線通信網を配置し、従来の屋外用長距離通信より通信速度が速く、天候の影響を受けずに複



図-8 全天球 Web カメラシステム

表-1 施工フィールド毎の通信環境の課題

施工フィールド	通信環境の課題
トンネル	無線環境のないトンネル坑内
広域造成・ダム	山間部等での広域通信環境の確保
リニューアル	アクセスポイントの常設不可工事



図-9 広域工事における無線通信設備配置

数人が同時に活用できる環境を構築した。

また、従来、トンネル坑内では、200 m おきに設置した無線アクセスポイントまで有線 LAN ケーブルを敷設して、WiFi 環境を確保していたが、坑内で頻繁に稼働する重機による LAN ケーブルの破損が課題となっていた。そこで、長距離無線中継器を用いた完全無線環境を構築することとし、さらに覆工コンクリート施工時に設置するセントルを挟んでの無線通信についても確認した（図-10）。

山岳部、トンネル坑内のいずれにおいても、検証の上で決定した通信仕様を社内マニュアルとしてまとめ、全国の現場に展開する計画である。

5. おわりに

本報告では、業務分析～生産性向上に向けた対策の策定～アプリケーションの選定～スマートデバイスの展開方法～アプリケーション導入・通信環境の

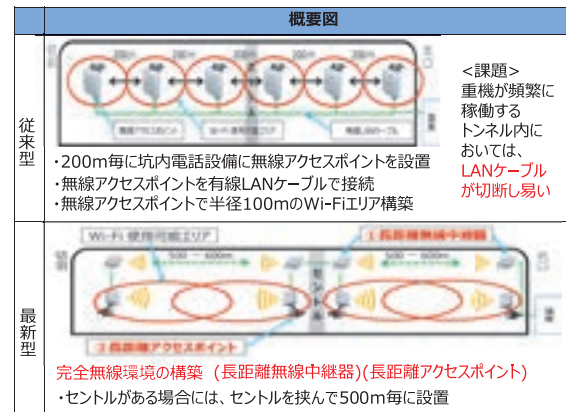


図-10 トンネル坑内での無線通信設備配置

整備事例といった当社の生産性向上に向けた一連の活動の流れを紹介してきた。これらの取組みを受けて、スマートデバイスの活用率は向上しており、最近では施工現場で当たり前のように活用するツールとして浸透してきている。

しかし、当社においてもスマートデバイスの導入直後から、現場施工管理での活用がスムーズに進んだわけではない。当初は「日常業務が忙しすぎてスマートデバイスに取り組む時間がない」、「現状の仕事のやり方で十分できているからスマートデバイスを導入する必要がない」、「スマートデバイスなんて触ったことないから使えない」などという声も多く、最初から積極的に活用する現場は一部にとどまっていた。その状況を打開したのは、各種アプリケーションの活用による生産性向上事例を周知するための社内発表会や、支店と本店が現地まで赴いて現場と一緒にスマートデバイスの活用方法を検討する現地コンサルティングなどの普及活動の地道な継続である。そして、現場に何とか取り組んでもらって「なんだ、やればできるじゃないか」という自信をつけてもらうことが重要である。当社においては、ある程度スマートデバイスの活用が浸透したところで、職員間の口コミなどにより加速度的に活用が広まってきた。導入初期は現場の抵抗もあり厳しい状況であるが、あきらめずに取り組むことが重要であったと思う。現在では活用が進んだ現場のメンバーが集まった「支店 ICT リーダー会」も組織され、周辺の活用が遅れた現場に指導したり、研修で好事例を紹介したりと、支店内の ICT 推進活動を自治する状況にもなっている。

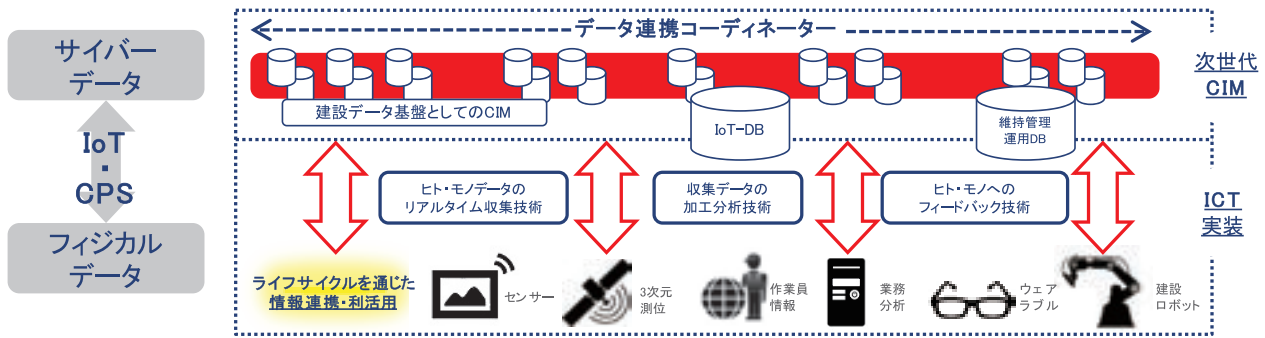


図-11 ICTの実装と次世代CIMのイメージ（出展：産業競争力懇談会 2015年度プロジェクト最終報告）

また、今後の建設業の将来像としては、ICTの活用により、大容量のデータを設計から維持管理にわたって利活用することも期待されている。例えば、産業競争力懇談会²⁾では、建設データ基盤としてのCIMに、建設時や運用時の情報をIoTにより連携することで（次世代CIM）、3次元計測/測位、ネットワーク、デバイス、ビッグデータ解析、人工知能、ロボット自動化などの先端ICTを有効に活用する革新的なシステム（スマート建設生産システム：図-11）が検討されている。したがって、今後、施工フィールドでスマートデバイスを活用することで得られる情報に関しても、単なる施工管理業務の効率化に留まらず、それらのデータを収集・分析し、建設プロセス全体としての生産性向上を目的と

したデータ活用も求められる。そのため、今後は発注者、施工会社、コンサル会社、専門工事会社などの全ての関係者が、それぞれの業務の全般のICT化を積極的に進めるとともに、集積されるビッグデータにAIやディープラーニングを導入して、飛躍的な生産性向上を実現するよう取り組んでいくことが重要と思われる。

参考文献

- 1) 国土交通省 i-Construction 委員会：i-Construction～建設現場の生産性革命～，国土交通省，2016. 4
- 2) 産業競争力懇談 COCN：IoT，CPSを活用した建設生産システム，2015年度プロジェクト最終報告書：2016. 3

防水改修における耐久性の確保

芝浦工業大学 建築学部 建築学科 教授 古賀 純子

1. はじめに

少子高齢化社会を迎え、国や地方公共団体、その他民間企業等が管理するインフラを対象に、長寿命化計画を核としてメンテナンスサイクルを構築すること、トータルコストを縮減すること等を目的として、インフラの戦略的な維持管理・更新を推進するため、「インフラ長寿命化基本計画」が平成25年に策定された。

建築分野においては、建設から30年以上が経過した建築物ストックが増加しており、これらの老朽化した建築物ストックに対し適切に補修・改修を行っていくことが求められている。また、建築物の長寿命化、維持管理の効率化は資源循環や専門技術者等の担い手不足等により従前から喫緊の課題である。少子高齢化社会を迎えた中、既存建築物が量的に充足し、その長期活用が一層の課題となっている。

建築物の長寿命化にあたっては、新築時に構造躯体に高い性能を保有させることで耐久性の向上が図られてきた。一方で、建築物の外装・防水は構造躯体と比して耐久性が低いことから、補修・改修を適時実施することで躯体保護性能を維持することが求められる。建築物の長い供用期間、効率良く運用するためには外装や防水の長寿命化を図り、補修・改修の実施回数を減らすことが望まれる。

外装・防水の品質確保および耐久性の向上のためには外装および防水自体の性能だけでなく、その下地との付着が確保されることが重要であるものの、改修工事においては、構造躯体および既存の外装・防水が下地となるため不確定要素が大きい。本稿では、既往の研究^{1),2)}を基に、防水改修における品質確保に向けた考え方と課題を述べる。

2. 既往の防水層の耐久性推定手法

新築の防水層の耐久性推定手法は1980年代に建設省建築研究所（当時）で検討され、劣化診断手法

等とともに提示された³⁾。その後、材料の製造者や製造者で構成される工業会にて20年程度にわたり蓄積された、耐久性に関する技術情報を基に、独）建築研究所（当時）で耐久性の参照値である Reference Service Life（以下 RSL）の見直しが図られた⁴⁾。

一方、改修された防水層については1990年代に補修・改修後の耐用年数が（式1）⁵⁾のように提案され、基本的な品質確保の考え方が示されているものの、改修後の劣化程度に関するデータの蓄積は進んでいない。既往の研究では、当時、式1とともに示された改修工事制約係数（表1）⁵⁾を具体的に検討することで、改修防水層の耐久性に影響する要因の抽出が模索された。

$$Y = RSL \times s \times r \times b \times c \times D \times M \quad \cdots \cdots \text{式1} \quad 5), \text{一部修正}$$

RSL: リファレンスサービスライフ c: 施工時の気象係数
 （文献³⁾では Ys: 標準耐用年数） D: 劣化外力係数 ($D = d_1 \times d_2$)
 s: 改修防水工法・種別の選択係数 d₁: 断熱係数
 r: 改修工事制約係数 d₂: 地域係数
 b: 施工係数 M: 維持保全係数

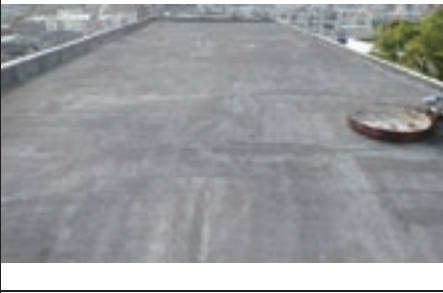
表1 改修工事制約係数 r⁵⁾

下地状態 \ 納まり具合	優	良	可
優	1.3	1.1	0.8
良	1.2	1.0	0.7
可	1.1	0.8	0.5

3. 改修防水層の耐久性に影響する要因

ここでは、防水層の工法のうち露出のアスファルト系防水を対象とし、材料製造者や防水工事業者が保有する既存建築物の防水層の状況について事例を収集し、抽出された耐久性に影響する要因を記す。収集された事例について、改修工事制約係数の2つの要素として示された“下地状態”及び“納まり具合”の観点から整理した。表2に要因ごとに整理された既存防水層の状況を示す。

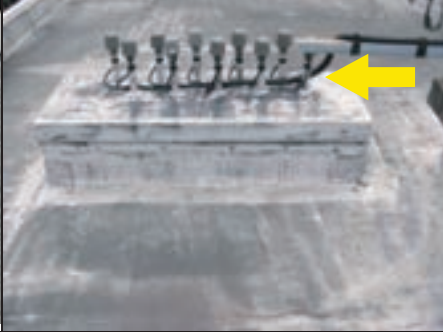
表 2 改修防水層の耐久性に影響する既存防水層の状況（例）

既存防水層の状態・経年変化		
i (良好)	ii (部分的な膨れ)	iii (全体にわたる膨れ)
		
立上り納まり		
i (良好)	ii (高さは良好、水切りが不十分)	iii (立上り高さが不十分)
		
勾配不良		
i (良好)	ii (部分的な水たまり)	iii (広範囲にわたる水たまり)
		

まず，“下地状態”としては，防水層の経年による変化があげられる。既存の防水層の上に改修防水層を設置する場合，その防水性能は既存防水層の状態に依存する場合がある。例えば，防水層の膨れが広範囲に認められる場合，改修防水層と既存アスファルト防水の密着性が確保されても，防水層全体としての下地との密着性が確保されないままであり，防水層の破断等の不具合が発生した場合に漏水につながる恐れを内包している。一方で，表面仕上げの劣化など，改修防水層が設置されることにより，防水層のその後の性能確保に影響を及ぼさない

変状もある。

次に，“納まり具合”としては，立上り部分の高さの確保や水切りの納まり，適切な勾配の確保などの新築時の設計に起因する要因がある。立上り高さが不十分な場合は豪雨時等に雨水が屋上に滞留し，壁との取合い部等から浸水の恐れがある。水切り部をシーリング材のみで処理している場合にはシーリング材に不具合が発生した場合に防水性を確保できない。また，手摺や設備類等の設置により，既存の防水層に下地まで貫通する不連続部分が生じている場合がある。貫通部分が平場の場合には，立上り部

防水層貫通配管等		
i (貫通配管無し)	ii (立上り部分に貫通)	iii (平場に貫通)
	 	 
屋上設置物		
i (移動が比較的容易)	ii (移動が困難)	iii (移動が非常に困難)
		

の貫通部と比較して漏水への懸念が高まる。一方、防水層の上に配管や空調設備等が設置された場合は改修防水層の施工時にそれらを移動させる必要があり、移動の可否が改修の容易さ、防水性能の確保に影響すると予想される。

抽出した改修防水層の耐久性に影響する要因について、補修・改修時に必要な対応の観点から、以下の3段階に分類された。

- i) 既存防水層に対し清掃等を行い、改修防水層を施工する
- ii) 既存防水層を残し下地作りや軽微な補修を行っ

た後に改修防水層を施工する

- iii) 既存防水層を撤去した後に下地作りを行った後に改修防水層を施工する、または納まり等に起因する防水上の要因を解消するための補修を行った後に改修防水層を施工する

表2中で、各要因についてi)～iii)の3段階に分類し表示している。改修防水層の耐久性を確保するためには、改修工事において下地作りや納まりの不良の解消等の工事を適切に実施することが重要である。

以上のように改修時の防水層の品質確保手法の考

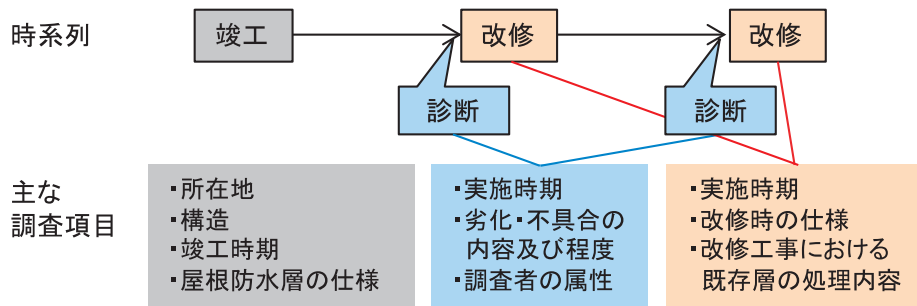


図1 主な調査項目

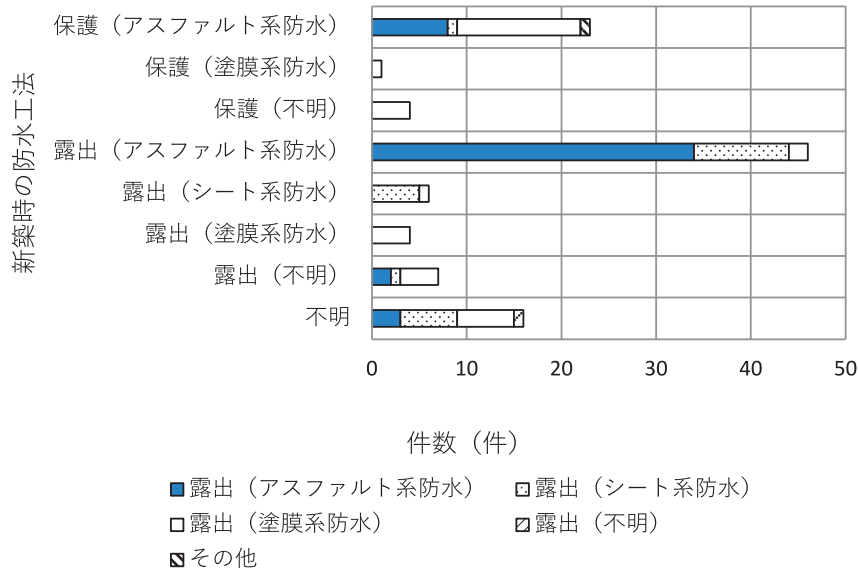


図2 新築時と改修後の防水工法

え方が整理されたものの、実際の工事においては「納まり等に起因する防水上の要因」を解消するのは困難である。勾配、立ち上がりの不足を解消するためには構造躯体に係る工事が必要で、防水工事業者以外の工事業者を新たに投入することとなる。工事の費用が増加することに加え、改修工事の場合は居ながら工事の場合が多く、工期の長期化や騒音の発生など解決すべき事項が多い。このため、改修後の防水の品質に影響することがわかっていても、納まり上の問題が解消されないまま工事が実施される場合がほとんどであるのが実情であろう。

4. 改修防水層の耐久性

既往の研究¹⁾では、式1に提示された改修防水層の耐用年数を推定するための考え方を整理するために3.で示した要因の検討が行われた。各々の影響程度を推定し、3.で設定した3段階の水準に対応させ、

表1の係数を新たに設定することを企図していた。

このため、改修後の防水層の劣化の実態を把握する目的でアンケート形式による調査を実施している²⁾。主な調査項目を図1に示す。

有効な回答が得られた107件の防水層の新築時の工法および各々の改修後の工法について、内訳を図2に示す。この他、所在地、竣工年代について属性を確認している。このうち、改修防水層（露出アスファルト系）の経年後の不具合発生数を図3に示す。

経過年数を10年未満および以降の5年ごとに区切り、漏水、破断等の不具合現象について“有り”または“著しい”と回答のあった件数を提示している。各々の母数は図中に赤の縦線で示した。27件の回答が得られた“経過年数10-15年”においては、7割に相当する19件で立上りの隅角部の浮き、ふくれ・浮きの発生が確認された。また、接合部のはく離・ずれも18件と多く、次いで約半数で保護仕上げ層の劣化、端末はく離などが発生している結果

防水改修における耐久性の確保

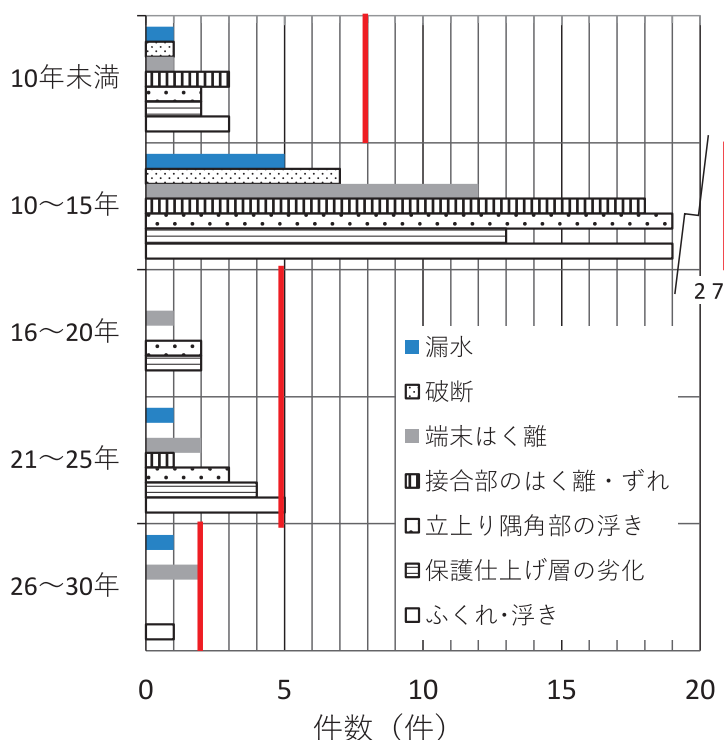


図3 改修防水層（露出アスファルト系）の経年後の不具合発生数

であった。これらの現象が直ちに補修や改修等を要する状況ではないものの、年数の経過により不具合の発生があることが確認された。その他の経過年数帯については、母数が少ないため経過年数に応じた明確な傾向を把握するのは困難であるものの、図3中に不具合の発生件数を示した。

同調査においては、改修の実施状況とともに劣化の発生について調査が行われたが、改修の内容と防水層の劣化の発生との関係の把握には至っていない。また、新築後の劣化の発生年数、発生状況との明確な違いも確認されなかった。改修後の防水層の耐久性の把握および耐用年数の推定は端緒についたところであり、今後のデータの蓄積が待たれる。

5. まとめ

本稿では露出アスファルト系防水の改修後の耐久性に影響する既存防水層の状態に関する要因の提示と耐久性の検討結果について紹介を行った。

現状の防水改修における問題意識から写真を収集し、表2のように改修後の性能に影響する要因が整理された。しかし、今後建築物のさらなる長寿命化が期待されていることを鑑みると、3回、4回と多

数回の防水改修に備える必要がある。現状で終了である既存の防水層を残し、防水層を追加して改修する方法では、複数回の改修後に防水層が積層され、パラペットあご部分までの立ち上がり高さをどの程度想定すべきなのか、ドレン改修においては改修用ドレンの設置により排水口の経が狭められるのが一般的であるが、複数回のドレン改修を行うための方策は如何、など課題が多い。

3. で述べたように納まりに起因する要因を改修時に解消することが困難なことから、新築時点から建築物の長寿命化時代に対応した屋根防水の設計が求められる。

本稿は、総合技術開発プロジェクト「地域安心居住機能の戦略的ストックマネジメント技術の開発」（2015-2017年度）の一環として実施された「改修防水層の耐久性検討委員会」（主査：田中享二東京工業大学名誉教授）の成果を基に作成しました。

参考文献

- 1) 古賀純子他、改修防水層の耐久性予測手法の開発（その1）改修防水層の耐久性への影響要因の抽出、日本建築学会学術講演梗概集（材料）、pp. 715-716, 2017. 7
- 2) 古賀純子他、改修防水層の耐久性予測手法の開発（そ

- の2) 改修された露出アスファルト系屋根防水層の経年変化, 日本建築学会学術講演梗概集 (材料), pp. 1245-1246, 2018. 7
- 3) 建設大臣官房技術調査室監修, 建築防水の耐久性向上技術, 技報堂出版, 1987. 4
- 4) 古賀純子他, 建築物の長期使用に対応した外装・防水の品質確保ならびに維持保全手法の開発に関する研究, 建築研究資料 No. 145, 建築研究所, 2013. 8
- 5) 建設大臣官房技術調査室監修, 屋根防水の補修・改修技術, 経済調査会, 1993. 2

調査研究報告

マンションの設備改修工事費と長期修繕計画との関連性に関する研究

前 総合研究所部長 橋本 真一
総合研究所 技術研究課 主任研究員 山本 高史

1. はじめに

マンションの居住環境と資産価値を維持するためには、大規模修繕工事を適切に実施することが必要であり、分譲マンションにおいては区分所有法に基づき組織された管理組合が長期修繕計画を策定し、改修工事を実施している。このような大規模修繕工事は、外壁や屋根防水等の建築を主体とした工事が周期的に行われているが、近年では経年マンションが増加しており、建築と比較して修繕周期の長い設備改修工事も多く発生するようになってきた。築30年以上のマンションは、平成28年末時点で既に172.7万戸に達しており、今後、設備改修工事の需要は急増する傾向にある。

本研究はこのような現状を踏まえ、これまで事例が少なかった給排水等の機械設備改修工事に着目し、工事の実施内容や工事費の傾向把握を目的として調査を行い、その結果を取りまとめたものである^(注1)。また、修繕周期の長い設備改修工事が長期修繕計画に及ぼす影響についても考察した。なお、本論文は日本建築学会第34回建築生産シンポジウム(2018年)の論文¹⁾の内容を加筆修正したものである。

2. 調査・分析方法

調査は、首都圏の一都三県(東京、神奈川、千葉、埼玉)の分譲マンションにおいて、2014年から2016年に長期修繕計画に基づき実施された契約金額2,500万円以上の機械設備改修工事を対象とし、建物概要、設備改修工事内容、および工事費について自記式アンケート調査票を用いて実施した^(注2)。

建物概要は、所在地、立地環境、竣工年、築年数、棟数、戸数、階数、EVの有無、廊下形式、多用途施設の有無、工期等の状況を調査した。

一方、工事内容と工事費は、仮設、機械設備(給

水・給湯・排水・ガス・消火・付帯建築工事)、発生材処分、屋外設備、諸経費、総工事費の科目について調査し、施工部分(共用部、専有部)や給水方式、工法(更新、更生等)、配管方法(隠ぺい、露出)などの状況も尋ねた。

収集した標本は100件であり、建物概要と工事費をそれぞれ集計して傾向を確認した。

3. 建物概要

所在地は東京と神奈川がそれぞれ39%を占めており、この2地区で約8割となっている。

立地環境は住宅地60%、市街地26%、竣工年は1981~1990年が55%、1971~1980年が40%を占め、98%が築年数26年以上となっている。

棟数は単棟型が34%、それ以外は複数棟となっており、6棟以上の団地型は32%であった。戸数はカテゴリー別では51~100戸が28%と最も多く、50戸以下は9%と少ない。101戸以上のマンションは63%であり、大規模の事例が多い。階数は3~5階が34%と最も多いが、それ以外は6階以上の高層であり13階以上も15%あった。エレベーターは69%が設置されているが、5階以下の中層はほとんど設置されていない。

共用廊下の形式は、片廊下型が45%と最も多く、次いで階段室型35%、中廊下型10%、スキップ型6%となっている。

標準的な間取りは3LDKが54%と最も多く、次いで2LDK・3DKが33%となる。戸当たり専有面積は70~80m²が33%、60~70m²が28%であり、これらを中心に大小の専有面積が分布している。

他の用途施設は87%が未設置であり、マンション単一用途の事例が9割近くを占めた。また、他用途の多くは店舗であった。

全体的には築26年以上の単一用途による複数棟タイプが主体となり、101戸以上、高層片廊下型の

ファミリータイプマンションが多数を占めていた。
1980 年以前では 5 階以下、50 戸以下の標本が多い。

4. 改修工事実施科目

調査対象とした機械設備改修工事は、工事範囲を共用部と専有部に区分し、各部分の給水・給湯・排水・ガス・消火・付帯建築工事の実施状況を調査した。その結果、工事範囲と工事科目の組合せパターンが多岐に亘っていることが確認できた。

工事範囲は共用部、専有部、両方の 3 つに区分され、工事内容のパターンは共用部のみは 7 種類、専有部のみは 6 種類、両方では 32 種類に及んだ。

(1) 全区分の工事実施科目

表 1 に 2 件以上の標本が確認できた工事範囲と工事科目との組合せパターンの傾向を示す。

上位 3 パターンは、共用部のみを対象とした給水、あるいは排水工事であり全体の 38% を占めた。科目の組合せ数は付帯建築工事を加えて 2 つまでとなる。

4 番目は給水と排水の組み合わせ工事であり工事範囲を共用部と専有部双方を対象としている事例もある。その場合の科目組合せ数は 3 と 7 になる。6 番目以降は標本数が 3 件以下と少なくなり、組合せ数は 2～9 と広範囲になる。

また、標本全体に対する各工事科目の発生率をみると、共用部の給水、排水、付帯建築工事と専有部の給水、建築付帯工事が 55% 以上となり、専有部では給湯が 30% を超えているのが特徴的である。

マンションの長期修繕計画は、一般的に共用部を対象として計画されるものであるが、専有部との関

表 1 工事科目の組合せ傾向（全体）

順位	工事範囲	共用部						専有部					組合せ数	標本数	構成比	標本数	構成比
		給水	給湯	排水	ガス	消火	建築	給水	給湯	排水	ガス	建築					
1	共用部のみ	○											2	16	16.0%	16	16.0%
2	共用部のみ	○											1	11	11.0%	27	27.0%
2	共用部のみ			○									2	11	11.0%	38	38.0%
4	共用部のみ	○		○									3	4	4.0%	42	42.0%
4	両方	○		○				○	○	○	○	○	7	4	4.0%	46	46.0%
6	専有部のみ							○					2	3	3.0%	49	49.0%
6	両方			○				○					3	3	3.0%	52	52.0%
6	両方	○						○					4	3	3.0%	55	55.0%
9	専有部のみ							○					2	2	2.0%	57	57.0%
9	専有部のみ							○	○				3	2	2.0%	59	59.0%
9	専有部のみ							○		○			4	2	2.0%	61	61.0%
9	両方	○						○					2	2	2.0%	63	63.0%
9	両方	○						○	○	○	○	○	5	2	2.0%	65	65.0%
9	両方	○						○	○				5	2	2.0%	67	67.0%
9	両方	○		○				○		○			5	2	2.0%	69	69.0%
9	両方	○		○				○	○	○	○	○	9	2	2.0%	71	71.0%
	発生率	64.4%	2.2%	60.0%	8.9%	2.2%	55.6%	62.2%	31.1%	42.2%	8.9%	68.9%	合計	100	100.0%		

連性が強い機械設備改修においては、管理組合の判断で専有部も工事対象に含める場合もある。事例からは、そのような施工範囲の拡張性が窺えた。

(2) 共用部の工事実施科目

表 2 に共用部を工事範囲とした標本による組み合わせパターンの傾向を示す。

1 番目は給水と付帯建築工事の組合せ、2 番目は給水の単独工事、3 番目は給水、排水、付帯建築工事の組合せ、4 番目は排水と付帯建築工事の組合せであり、これら 4 パターンの累計は全体の 80.9% となる。5 番目は排水の単独工事であり、共用部においては 3 番目を除くと給水、あるいは排水のみを改修目的とした工事が多い。

各工事の発生率は、給水が 75.3% と最も多く、次いで付帯建築工事 66.3%、排水 52.8% となる。全体的には給水の実施事例が多い。

表 2 工事科目の組合せ傾向（共用部）

順位	共用部						組合せ数	標本数	構成比	標本数	構成比
	給水	給湯	排水	ガス	消火	建築					
1	○					○	2	22	24.7%	22	24.7%
2	○						1	19	21.3%	41	46.1%
3	○		○			○	3	16	18.0%	57	64.0%
4			○			○	2	15	16.9%	72	80.9%
5			○				1	7	7.9%	79	88.8%
6	○		○	○		○	4	4	4.5%	83	93.3%
7	○		○				2	3	3.4%	86	96.6%
8	○		○		○		3	1	1.1%	87	97.8%
8	○			○		○	3	1	1.1%	88	98.9%
8	○	○	○			○	4	1	1.1%	89	100.0%
発生率	75.3%	1.1%	52.8%	5.6%	1.1%	66.3%	合計	89	100.0%		

(3) 専有部の工事実施科目

表 3 に専有部を工事範囲とした標本による科目組み合わせパターンの傾向を示す。

1 番目は排水と付帯建築工事、2 番目は給水、給湯、排水と付帯建築工事の組合せ、3 番目は給水、排水と付帯建築工事の組合せであり、それぞれ付帯建築工事を伴っている。4 番目は給水の単独工事、5 番目は給水と付帯建築工事、及び給水、給湯と付帯建築工事であり、上位 5 パターンの累計は全体の 85.5% となる。

各工事内容の発生率は、付帯建築工事が 85.5% と最も多く、次いで給水 72.7%、排水 60.0% となる。また、給湯は 38.2% と共用部と比較して極めて多くの工事が実施されている。このような傾向か

ら、専有部は給水や排水、及び給湯を主体とした機械設備改修工事と、住空間に直結する付帯建築工事の割合が多いことが窺える。

以上、機械設備改修工事は給水、排水、付帯建築工事が主たる工事科目であり、専有部にはそれに給湯が加わる。また、それらの工事範囲や科目の組合せは多様であり、標準的な範囲や科目構成を絞り込むことは困難である。

表3 工事科目の組合せ傾向（専有部）

順位	専有部						組合 せ数	標本 数	構成比	標本数 累計	構成比 累計
	給水	給湯	排水	ガス	消火	建築					
1			○			○	2	12	21.8%	12	21.8%
2	○	○	○			○	4	10	18.2%	22	40.0%
3	○		○			○	3	8	14.5%	30	54.5%
4	○						1	7	12.7%	37	67.3%
5	○					○	2	5	9.1%	42	76.4%
5	○	○				○	3	5	9.1%	47	85.5%
7	○	○	○	○		○	5	3	5.5%	50	90.9%
8						○	1	2	3.6%	52	94.5%
8	○	○		○		○	4	2	3.6%	54	98.2%
10		○					1	1	1.8%	55	100.0%
発生率	72.7%	38.2%	60.0%	9.1%	0.0%	85.5%	合計	55	100.0%		

5. 科目別戸当り単価の傾向

表4に給水、給湯、排水、付帯建築工事に関する科目別工事費の戸当り単価の統計量を示す^{注3)}。最大値の影響を受け、平均値は専有部の給湯設備工事費を除き、いずれも中央値よりも高めの価格水準にある。なお、築年数と戸当り工事費との相関分析を行ったが、相関性は見られなかった。また、配管方法別の設備工事費単価（平均値・中央値）は露出方式が高額であったが、これは配管カバーや器具脱着、部分解体等の費用が含まれるためと考えられ、一方、隠ぺい方式では配管が主体となるため設備工事費は安価となるが、仕上げの解体復旧に伴い共用部の付帯建築工事が高額になっていた。

(1) 給水設備工事費

調査では、工事費と併せて給水システム変更の有無や工法、配管方法の状況を確認した。

給水システムは、54%が給水直結化へ変更しており、40%は変更なしであった。工法は、共用部では96%が更新工法を採用し、更生工法は4%であるのに対して専有部は更新工法80%、更生工法20%となり、更生工法の採用割合が増えている。

表4 戸当り単価の傾向

科目		標本数	戸当り単価(円/戸)			
		(件)	最小値	中央値	平均値	最大値
共用部	給水設備工事費	67	37,380	249,495	267,799	639,004
	隠蔽のみ	52	37,380	234,242	248,925	639,004
	露出のみ	15	147,264	296,375	333,229	598,000
	給湯設備工事費	1	1,503	1,503	1,503	1,503
	隠蔽のみ	1	1,503	1,503	1,503	1,503
	露出のみ	—	—	—	—	—
	排水設備工事費	47	1,474	237,520	243,138	588,095
	隠蔽のみ	40	1,474	231,521	237,548	556,522
	露出のみ	7	31,017	273,000	275,085	588,095
	付帯建築工事費	59	1,384	46,773	103,861	493,406
隠蔽のみ	30	5,138	101,857	159,930	493,406	
露出のみ	6	3,500	65,196	81,328	185,714	
その他	23	1,384	28,570	36,605	156,000	
専有部	給水設備工事費	40	66,922	182,181	256,810	843,388
	隠蔽のみ	28	66,922	175,905	238,842	843,388
	露出のみ	12	128,090	280,470	298,736	746,399
	給湯設備工事費	21	34,098	138,100	136,749	303,333
	隠蔽のみ	14	34,098	120,919	124,619	223,208
	露出のみ	7	39,130	179,873	161,009	303,333
	排水設備工事費	33	22,593	146,552	205,569	873,978
	隠蔽のみ	32	22,593	132,768	204,567	873,978
	露出のみ	1	237,625	237,625	237,625	237,625
	付帯建築工事費	47	21,385	255,377	314,594	1,543,389
隠蔽のみ	33	27,330	275,894	295,387	956,842	
露出のみ	1	445,782	445,782	445,782	445,782	
その他	13	21,385	216,222	353,260	1,543,389	

配管方法は、共用部は隠ぺい方式が78%、露出方式が22%、専有部は隠ぺい方式70%、露出方式30%であり、全体的には隠ぺい方式が多い。

これらの要因は、資材価格や施工方法に寄与しており、本稿で示す全ての工事費にも影響を及ぼすことに留意する必要がある。共用部の戸当り単価は平均値267,799円、中央値249,495円、専有部は平均値256,810円、中央値182,181円であり、最大値や最小値は広範囲に分布している。

(2) 給湯設備工事費

給湯設備工事は、主に専有部にて実施されている。

専有部の配管方法は、隠ぺい方式が67%、露出方式が33%であった。戸当り単価は平均値136,749円、中央値138,100円であった。

(3) 排水設備工事費

調査では、排水システム変更の有無や工法の状況を確認した。排水システムは87%が変更なし、13%が特殊継手排水化への変更であった。工法は、共用部は98%が更新工法、2%が更生工法を採用。一方、専有部は85%が更新工法、15%が更生工法

を採用し、給水と同様に専有部での更生工法採用が増加している。配管方法は、共用部が隠ぺい方式 85%，露出方式 15%，専有部が隠ぺい方式 97%，露出方式 3% であり、給水と同様の採用傾向にある。

これらの要因の影響を受け、単価は広範囲に分布している。共用部の戸当り単価は、平均値 243,138 円、中央値 237,520 円、専有部は平均値 205.569 円、中央値 146,552 円であった。

(4) 付帯建築工事費

付帯建築工事は、給水、排水共に多くの標本で実施されていた。共用部の戸当り単価は平均値 103,861 円、中央値 46,773 円、専有部は、平均値 314,594 円、中央値 255,377 円であり、専有部は共用部の 3～5 倍の価格水準となっている。

6. 戸当り単価の価格差

表 5 に戸当り単価の四分位(標本全体の 25% 値、中央値、75% 値)の傾向を示す。機械設備改修工事の戸当り単価は、様々な要因により広く分布しており、その単価水準は、工事範囲や科目により異なる。

中央値に対する四分位の価格差は、給水は共用部で上下約 3 割の値差であるが、専有部では 25% 値は約 2 割に対し 75% は約 7 割の値差となった。専有部の給湯は、25% 値は約 4 割、75% は約 3 割の値差である。排水は共用部、専有部とも上下で約 5～6 割の値差となり、給水と比較して値差は大きい。付帯建築工事は共用部の 25% 値が約 6 割であるのに対し、75% は約 2.5 倍と大きな値差が生じた。専有部は 25% 値が約 5 割、75% 値が約 7 割の値差であった。このように全体的には 75% 値の値差が大きくなる傾向にある。

また、中央値単価合計に対する各科目の構成比をみると、共用部の給水と排水、及び専有部の付帯建築工事が約 20%，専有部の給水が約 15%，専有部の給湯と排水が約 11～12% であった。各科目とも一定の構成比を占めており、僅かな組合せの相違により全体の工事費は大きく変動することが見える。

表 5 戸当り単価の価格差

科目	標本数 (件)	戸当り単価(円/戸)				四分位比率			
		平均値	25%値	中央値	構成比	75%値	25%値	中央値	75%値
共用部	67	267,799	176,324	249,495	19.9%	317,724	0.71	1.00	1.27
給水設備工事費	47	243,138	131,818	237,520	18.9%	362,000	0.55	1.00	1.52
排水設備工事費	59	103,861	19,510	46,773	3.7%	117,469	0.42	1.00	2.51
付帯建築工事費	40	256,810	143,728	182,181	14.5%	313,448	0.79	1.00	1.72
専有部	21	136,749	84,092	138,100	11.0%	183,468	0.61	1.00	1.33
給湯設備工事費	33	205,569	66,970	146,552	11.7%	237,625	0.46	1.00	1.62
排水設備工事費	47	314,594	133,204	255,377	20.3%	424,796	0.52	1.00	1.66
付帯建築工事費									

7. 組合せ単価の価格差

各科目の組合せにより、どの程度の価格差が生ずるか、その傾向を確認した。表 6 に戸当り単価の四分位の累計値(基準値は共用部給水)と価格変動率、四分位比率を示す。

共用部の全ての科目を施工した場合、中央値では給水単体の約 2.1 倍の単価となる。また、専有部の全ての科目を施工した場合は約 5 倍になり、25% 値では約 4.3 倍、75% 値では約 6.2 倍になる。

一方、中央値に対する四分位の価格差をみると、共用部の給水単体では上下約 3 割の値差であるのに対し、共用部排水の組合せ以降、25% 値は約 4 割程度の値差、75% 値は約 4～6 割程度の値差となった。四分位の値差は、給水や排水等の工事費ウエイトの高い科目の値差に収斂されていく傾向にある。

また、表 1 の上位組合せパターンから抜粋した内容に応じて表 6 の単価を集計した結果を表 7 に示す。価格差は中央値で約 1.8～4.3 倍、四分位比率は 25% 値で約 4 割、75% 値で約 5 割程度に分布している。

表 6 組合せによる戸当り単価の価格差

科目	戸当り累計単価(円/戸)			価格変動率			四分位比率		
	25%値	中央値	75%値	25%値	中央値	75%値	25%値	中央値	75%値
共用部	176,324	249,495	317,724	1.00	1.00	1.00	0.71	1.00	1.27
給水設備工事費	308,141	487,015	679,724	1.75	1.95	2.14	0.63	1.00	1.40
排水設備工事費	327,651	533,788	797,193	1.86	2.14	2.51	0.61	1.00	1.49
付帯建築工事費	471,378	715,969	1,110,640	2.67	2.87	3.50	0.66	1.00	1.55
専有部	555,470	854,069	1,294,108	3.15	3.42	4.07	0.65	1.00	1.52
給湯設備工事費	622,440	1,000,621	1,531,733	3.53	4.01	4.82	0.62	1.00	1.53
排水設備工事費	755,644	1,255,998	1,956,529	4.29	5.03	6.16	0.60	1.00	1.56
付帯建築工事費									

表 7 組合せパターンの価格差

パターン	共用部			専有部			戸当り単価(円/戸)				価格変動率			四分位比率		
	給水	排水	付帯	給水	排水	付帯	平均値	25%値	中央値	75%値	25%値	中央値	75%値	25%値	中央値	75%値
1-1	○	○	○				371,659	195,833	296,268	435,193	1.00	1.00	1.00	0.56	1.00	1.47
4-1	○	○	○				614,798	327,651	533,788	797,193	1.67	1.80	1.83	0.61	1.00	1.49
4-2	○	○	○	○	○	○	1,528,520	755,644	1,255,998	1,956,529	3.86	4.24	4.50	0.60	1.00	1.56

8. 長期修繕計画への影響

(1) 100 年長期修繕計画の必要性

機械設備改修工事は、工事科目の多様な組合せや配管方式、仕様、管理組合の専有部負担の有無などマンションごとの個別性が強く、工事費も大きく異なる。そして、それらの要因は長期修繕計画で想定した工事費にも影響を与えることとなる。

給水や排水の改修（更新）工事の修繕周期は国土交通省公表の「長期修繕計画作成ガイドライン」、「長期修繕計画標準様式」²⁾には参考値として 30 年と記され、マンション大規模修繕工事費の実態調査資料^{3) 注4)}でも同様の傾向が見られる。

機械設備改修工事により、マンションの機械設備インフラの寿命が 30 年間延長されることとなるが、長期的周期で実施される機械設備改修工事は、25～30 年の期間で作成される長期修繕計画では、12 年程度の周期で実施される建築系の大規模修繕工事と比較して実感に乏しかったのが現状であろう。しかし、入居から 30 年を経たマンションは急増しており、さらに管理組合を構成する区分所有者の高齢化も大きな社会問題となってきた。建物の長寿命

化が一般的となり、かつ人生 100 年時代といわれる現在、マンションと区分所有者双方を見据えた超長期修繕計画の考え方もこれからは重要と考える。

そのような観点から、本稿ではマンションの経年と大規模修繕回数、区分所有者の年齢変化を考慮した 100 年程度の修繕計画を想定して、機械設備改修工事の影響度を検証した。

(2) 超長期修繕計画の試算

表 8 に実態調査データと本稿調査データ（表 7 の組合せパターン）の戸当り単価、想定修繕周期を併記した試算表を示す^{注5)}。

修繕周期は長期修繕計画標準様式や実態調査の結果を参考に任意設定した。表には概ね 12 年周期で行われる大規模修繕工事と 6 年程度で行われる小規模修繕工事の想定シナリオも示した。

実態調査データの単価は広範囲に分布しているが、施工範囲や詳細科目との関連性は不明確である。給水設備や排水設備の価格水準を本稿調査データと比較すると、給水設備は本稿調査データの共用部の給水と建築付帯の合計、排水設備は共用部の排水と付帯建築の合計に概ね対応している。

表 8 長期修繕計画試算表

科目	摘要	戸当り単価（円/戸）					修繕回数	修繕周期（年）																	
		標本数	平均値	25%値	中央値	75%値		備考	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102
実態調査データ																									
仮設工事	鉄部塗装用		59,420	43,119	57,969	73,728	大規模修繕×0.3	6	○		○		○		○		○		○		○		○		○
		182	198,068	143,731	193,231	245,760		12		○		○		○		○		○		○		○		○	
屋根防水	部分補修		29,436	10,167	24,685	44,538	全面改修×0.3	12		○				○				○				○			
	全面改修	166	98,121	33,890	82,284	148,461		24				○				○				○			○		
床防水		152	154,165	93,430	153,078	200,246		12		○				○				○			○			○	
外壁塗装等		178	315,696	213,994	304,249	397,299		12		○		○		○		○		○		○		○		○	
鉄部等塗装		103	51,392	30,753	44,741	58,968		6		○		○		○		○		○		○		○		○	
建具金物等	部分補修		48,178	7,271	24,590	62,507	更新×0.3	24				○				○							○		
	更新	49	160,593	24,237	81,967	208,357		36					○					○							
共用内部		47	30,902	5,029	13,249	37,606		12		○				○		○		○		○		○		○	
給水設備	部分補修		61,875	27,332	58,738	92,095	更新×0.2	24				○						○							
	更新	17	309,376	136,662	293,692	460,476		30				○					○					○			
排水設備	部分補修		47,677	7,411	34,818	93,025	更新×0.2	24				○				○				○			○		
	更新	14	238,385	37,055	174,089	465,125		30					○				○					○			
ガス設備		5	62,707	28,907	65,204	73,770		30				○											○		
空調換気設備		6	90,690	16,834	21,990	95,948		12		○		○		○		○		○		○		○		○	
電灯設備		27	165,879	23,389	167,138	258,103		24				○				○				○			○		
情報通信設備		2	136,955	113,268	136,955	160,642		24				○								○			○		
消防用設備		5	25,070	6,780	7,063	19,905		24				○				○				○			○		
昇降機設備		7	10,464	7,727	9,665	11,995		36					○												
駐車場設備		9	36,505	4,687	35,783	69,440		24				○				○				○			○		
外構・付属設備		24	54,038	14,774	35,717	64,642		24				○				○				○			○		
本稿調査データ（機械設備改修工事）																									
組合せパターン	1-1		371,659	195,833	296,268	435,193		30						○					○					○	
	4-1		614,798	327,651	533,788	797,193																		○	
	4-2		1,528,520	755,644	1,255,998	1,956,529								○										○	

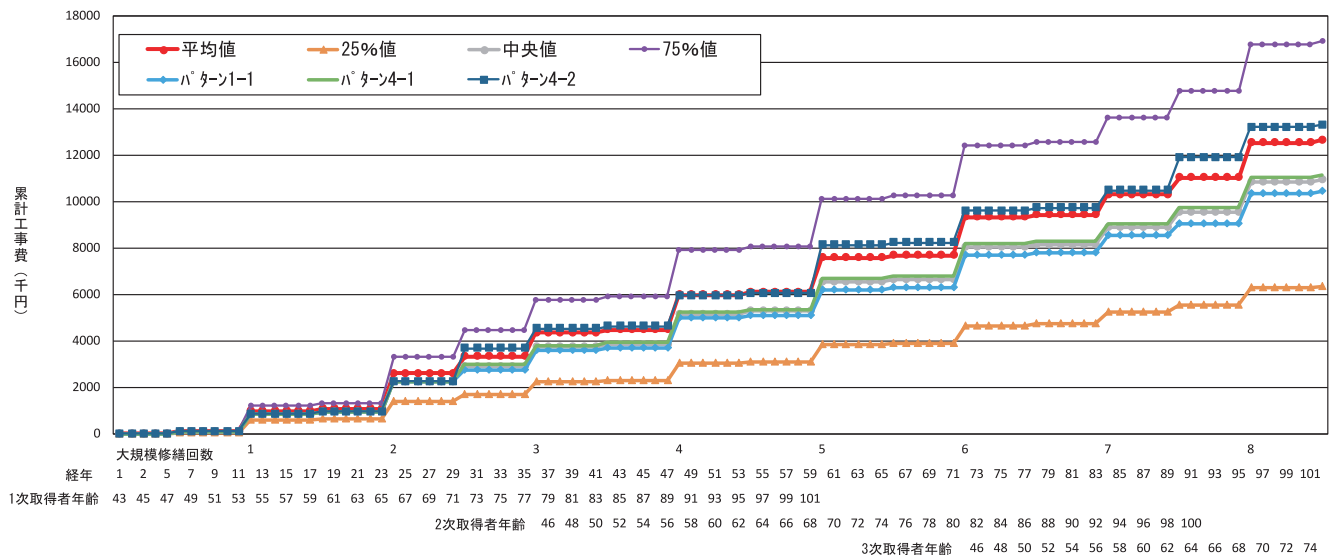


図1 大規模修繕工事戸当り単価累計額

図1は表8に示す実態調査データの平均値と四分位、及び本稿調査データの組合せパターンに応じた中央値を用いた工事費累積グラフである。

横軸には経年、大規模修繕回数、取得者年齢（1次～3次）を併記し^{注6)}、経年と区分所有者年齢との関係を示した^{4)注7)}。

試算では3回目の大規模修繕工事後に区分所有者が変更になるというシナリオを想定し、表9には1次取得者と2次取得者が負担する大規模修繕工事費の累積金額と月額単価を示した。1～36年（3回目までの大規模修繕工事）の中央値試算による月額単価は8,700円、37～72年では9,900円、1～72年までの期間では9,300円となり、2次取得者の期間の負担額が1,200円ほど上昇したが、これは建具更新等の大規模修繕工事が含まれるためである。本稿調査のパターン4-1の組合せは、中央値の試算値に概ね近似している。また、パターン1-1や4-2の中央値試算値との乖離は、パターン1-1は約4～5%、パターン4-2は約20%であり、実態調査の四分位と比較して、乖離幅は小さかった。

平成25年度のマンション総合調査⁵⁾の結果によ

ると、修繕積立金の戸当り月額単価平均値は10,783円（駐車場使用料充当額除く）であり、試算値を賄える水準にある。

9. まとめ

本稿では、機械設備改修工事の実施科目と戸当り単価に着目した調査結果をとりまとめた。

調査で得た標本は、築26年以上の比較的大規模な中高層単一用途、複数棟タイプのものが多いものの、改修工事の実施科目は100件の標本に対し45のパターンが存在し、専有部も含めた工事事例も多くみられた。その結果、戸当り工事単価も広範囲に分布し、科目別の四分位では中央値に対して最大2.5倍。実施科目の組合せパターンによっては、4倍以上の値差が生じることが分かった。

一方、長期修繕計画に及ぼす影響については、建築工事との総合的な累計工事費で見ると、本稿調査ほどの価格差はみられず、実施件数の多い組合せパターンでの検証では、推計中央値に対して20%程度の乖離に収まっている。

機械設備改修工事は多額の費用を要する大規模修繕工事であり、組合せパターンにより大きな価格差が生じるが、長期修繕計画全体の費用で考えると、機械設備改修工事ほどの価格差にはならないことを確認することができた。

しかし、今後は小規模の高層、単棟タイプの機械

表9 大規模修繕工事戸当り単価累計額比較表

	1～36年			37～72年			1～72年		
	累計金額	月額単価	対中央	累計金額	月額単価	対中央	累計金額	月額単価	対中央
平均値	4,369	10.1	1.16	4,967	11.5	1.16	9,336	10.8	1.16
25%値	2,227	5.2	0.60	2,449	5.7	0.58	4,676	5.4	0.58
中央値	3,753	8.7	1.00	4,292	9.9	1.00	8,050	9.3	1.00
75%値	5,784	13.4	1.54	6,646	15.4	1.56	12,430	14.4	1.55
パターン1-1	3,586	8.3	0.95	4,121	9.5	0.96	7,707	8.9	0.96
パターン4-1	3,824	8.9	1.02	4,358	10.1	1.02	8,182	9.5	1.02
パターン4-2	4,546	10.5	1.21	5,080	11.8	1.19	9,626	11.1	1.19

設備改修工事の需要も増大し、必ずしも本稿の傾向が今後の工事費に適合する訳ではない。

また、本稿では区分所有者の年齢に着目した 100 年レベルの長期修繕計画シナリオを設定して試算した。人生 100 年時代といわれている昨今であるが、マンションのハードと高齢化する区分所有者との関係を考慮する時代になりつつあることから、引き続き、大規模修繕工事に関する実態調査を行い、適切なマンション管理に資する情報構築に取り組む所存である。

参考文献

- 1) 橋本真一、山本高史：マンションにおける設備改修工事費の傾向と長期修繕計画との関連性に関する考察，日本建築学会第 34 回建築生産シンポジウム pp. 111～116, 2018. 7
- 2) 国土交通省，長期修繕計画標準様式・長期修繕計画作成ガイドライン，2008. 6
- 3) 建設物価調査会総合研究所，改修工事（集合住宅）のマクロ的価格傾向に関する研究（その 6），2014. 8
- 4) 国土交通省，平成 28 年度住宅市場動向調査報告書，2017. 3
- 5) 国土交通省，平成 25 年度マンション総合調査結果報告書，2014. 4

注 1) 調査は一般財団法人建設物価調査会と一般社団法人マンションリフォーム技術協会（marta）との共同研究として 2017 年度に実施した。

注 2) 契約金額は税抜き価格。調査先は marta 会員の施工会社を対象とした。

注 3) 国土交通省の長期修繕計画ガイドラインでは，設備関係の推定修繕工事においては，仮設工事と諸経費を単価に含めることとなっているため，本稿に示した戸当り単価にも相当額を加算した。

注 4) マンション改修工事の内容や工事費に関する基礎情報収集を目的とした建設物価調査会総合研究所の自主研究データ。直近の調査は 2010 年から 2013 年に完了したマンションの大規模修繕を対象に実施しており，243 件の標本を分析した。調査科目は国土交通省の長期修繕計画標準様式に準じている。

注 5) 実態調査データの仮設工事以外の科目については，発生材処分費と諸経費相当分を加算。仮設工事（鉄部塗装用）、部分補修の単価は調査値を係数にて補正。

注 6) 組合せパターンは，実態調査中央値の給水・設備単価をパターン中央値と入れ替えて試算した。

注 7) 取得者年齢は，国土交通省「平成 28 年度住宅市場動向調査報告書」の取得世帯主平均年齢を用いた。平成 28 年度調査の分譲マンション取得世帯主の平均年齢は，新築 43.3 歳，中古 46.0 歳であった。本稿では 2 次，3 次取得者は中古の平均年齢を使用した。

伊能忠敬と問宮林蔵の関係が北海道地図作成に与えた影響

総合研究所 部長 池原 一彦

1. はじめに

先日、千葉県香取市にある伊能忠敬記念館を訪れた。伊能忠敬は50歳を過ぎて日本全国の測量を行い、最初の日本地図を作図した人物である。その偉業を記念館では見ることができた。その後、興味を持ち調べる中で、2014. 8. 18 付の日本経済新聞に「伊能忠敬の地図 問宮林蔵が北海道全域測量か」という見出しが目にとまった。それによると、今までは北海道の北岸部分が問宮林蔵、南岸は伊能忠敬の測量によるとされていたものに対し、伊能忠敬研究会¹が標記の発表を行ったというものだ。研究会は、伊能忠敬が1800年に北海道南岸を測量し作成した地図データと、約20年後に完成した全国地図の画像を比べた結果から問宮林蔵の関与が浮かび上がったとしている。研究会によれば、忠敬の地図は火災で多くが失われたが、2001年に米国で最終版の写しが見つかり、研究会が発見資料と、日本の国立公文書館が所蔵する地図の電子データを比較、分析した結果なのだそうです²。

この「問宮林蔵の関与」とはどのような意味なのか。私は、伊能忠敬も問宮林蔵も優れた測量家で、今まで学校の授業でも両者の精緻な地図や実績は何度も目にし、そして学んできた。この2人の関係が地図作成にどのような影響を与えたのだろうか。問宮林蔵の関与を出会いや技術伝承の面からこれを探りたい。

2. 生い立ち

2.1. 伊能忠敬

伊能忠敬は、延享2年1月11日(1745. 2. 11)、上総国(千葉県中央部)に生まれる。17歳で、親戚の養子となり、商売を行ったが49歳で隠居する。そして50歳で江戸へ行き、天文学者・高橋至時に入門している。ここでは天文や暦学を勉強した。やがて、第一次の蝦夷地測量で、根室の近くまで往復3,200キロを180日で歩測、途中81ヶ所で天体観測を実施。この蝦夷地の実測図は高く評価された。今の地図と比べても少しの補正で地形が一致するほどであった。第二次測量では測量方法を改善し、問縄を使って本州東海岸の測量を始める。(第一次の蝦夷地測量では全行程とも歩測だった)。第三次測量で出羽から日本海沿岸、第四次測量で東海道・北陸道沿海、と測量を実施し、文化元年に東日本の地図が完成している。このあと、忠敬は幕府測量隊として多くの部下をつれて、西国の海岸と主要街道を測量している。忠敬の測量日数の約八割は幕府事業として遂行され、1818. 5. 17 忠敬は、自宅で73歳の生涯を閉じている³。

2.2. 問宮林蔵

問宮林蔵は、安永9年(1780)に常陸国筑波郡上平柳村(茨木県)に生まれる。江戸に出て測量や土木技術を身に付ける。寛政11年(1799)師の村上島之允について19歳で蝦夷に渡っている。それから文政5年(1822)43才まで蝦夷地を中心に活躍した。林蔵はその半生で蝦夷地測量を行っている。伊能忠敬の大日本沿海輿地全図の北海道部分の完成に貢献している⁴。

3. 出会いと二人の関係

伊能忠敬と問宮林蔵の二人の出会いはどうだった

1 伊能図と伊能忠敬の調査研究を行い、伊能忠敬の実像を普及して社会に貢献することを目的に平成8年に設立、研究発表会、講演会、見学旅行などの開催、年3回の会報「伊能忠敬研究」発行、その他研究会の目的達成に必要な事業を行っている。

2 「伊能忠敬の地図 問宮林蔵が北海道全域測量か」『日本経済新聞』2014年8月18日、朝刊

3 伊能忠敬研究会「伊能忠敬はどんな人か(忠敬略伝)」
<http://www.inopedia.tokyo/01ino/>, 2019年5月25日

4 問宮正孝「問宮林蔵の世界へようこそ」<http://www.asahi-net.or.jp/~XC8M-MMY/index.htm>, 2019年5月25日

のか。忠敬は、1800 年には蝦夷地の測量を行っており、林蔵も 1799 年に師と共に蝦夷にわたっている。接点があったのか。

伊能忠敬側の研究会資料のなかで、忠敬の「測量日記原文」⁵に基づき、「測量日記を読み解く」⁶として公表されている。その中で、函館の様子が次のように記されている。

六月朔日朝六ツ後出立。此日朝より七ツ後迄晴天、夜四ツ後より雨、夜半より大雨。四里四町、(四里四町四十間と有)内浦ダケの桮、スクノツベという山の間に休所一家あり。此前に大沼、小沼あり。それより四里、(合八里半という。)鶯の木村に七ツ半頃に着。止宿。大野村より少し先に一の渡り有り。村上嶋之丞殿在宅に付見舞⁷

とあり、この「村上嶋之丞」は、「2.2.」の林蔵の生い立ちで述べた間宮林蔵の師匠である。林蔵はこの師匠に同行していたはずであるから、当然、この時伊能忠敬に出会っていたはずで、研究会もその解釈で、次のようにその時の出会いに注目している。

忠敬の方からは林蔵の印象は薄かったかもしれないが、あとで、林蔵は忠敬に無心して小方位盤二個を譲りうけており、間宮側の印象は強かったようである。後年、忠敬は間宮を門人といっているが、この時の出会いがキッカケだったと思う

また、「伊能忠敬の測量日記」(藤田元春著)の「蝦夷地測量」⁸の章中では、以下のとおり記されて

いる。

忠敬は幕府の事業として蝦夷地の測量を行っていたが、北海道は広く物資が測量を続けるには不足気味で、幕府の方針も、蝦夷地の測量は国防上重要だが、それ以上に本州の測量も重要ということから方針が転向になり、蝦夷地の測量が中止となっている。その時、蝦夷にいた林蔵に出会い、文化8年には江戸で忠敬から林蔵は「緯度実測法」を習得し、その年の12月に蝦夷に向かい実測、文化14年以降に江戸に出てきて、忠敬の屋敷に出入りし、伊能の日本図に蝦夷を加えて完成させることができた。文化12年の忠敬の書簡には「間宮林蔵儀も今以蝦夷地に罷在候、(中略)御賢知の通年来の門人に候へ共偏人にて文通も無之候」とあり、ここで、林蔵を門人として記している

間宮林蔵側から見た場合はどうか。林蔵は伊能忠敬から測量に必要な器具を譲り受けている。林蔵の御子孫 間宮正孝氏⁹によれば、林蔵が忠敬に師事したのは、文化8年(1811年)5月8日から同年11月25日の期間で、この間に林蔵は、忠敬を訪問し測量の最新技法を学んだそうだ。

忠敬は、彼が使用していた測量器具を林蔵に譲り与えている。これらの測量器具は、大変高価なものであったが、忠敬は格安で譲っていたらしい。林蔵は、測量を学ぶと、蝦夷地に出発するが忠敬は林蔵と別れる際、「贈間宮倫宗序」¹⁰を林蔵に贈っている。

4. 測量技術および測量器具

次は、地図作成のための測量技術や器具について

5 伊能忠敬の測量日記は、伊能忠敬が測量しながら書いた「忠敬先生日記」という表題の51冊と、彼自身が後に清書した「測量日記」という名称の清書本28冊の2種類があり、現在、千葉県香取市の伊能忠敬記念館に保存されている、2010年6月29日に、いずれも国宝に指定された。

6 伊能忠敬研究会「測量日記を読み解く『箱館役所で煩雑な手続、間宮林蔵との出会い』」https://www.inopedia.tokyo/salon01/mamiya/r_1078115712img20120115212937.pdf, 2019年5月25日

7 同上 p4

8 藤田元春 昭和16年『伊能忠敬の測量日記』日本放送出版協会 PP. 44~46

9 林蔵には実子がいなかった。林蔵の生前から上平柳村の生家は、同じ分家筋の鉄三郎が跡を継ぐことが決まっていた。江戸では、林蔵の死を極秘にし、相続についての伺書を幕府に提出していた死後6ヶ月を経過した後に、正式に相続が決まり、林蔵が生前から懇意にしていた鉄次郎が養子となる。その後の系図は次の通り。茨城間宮家(林蔵)―正平(鉄三郎)―梅吉―正倫―正倫―林蔵―雅章―正孝(林蔵の情報を発信している)

10 漢文でPDF化されたものがあるが、今回は残念ながら判読できなかった。資料の注釈には「忠敬と林蔵の間に師弟を越えた深い繋がりを感じ取ることが出来る内容」とある。

述べる。

伊能忠敬の測量方法について、「伊能忠敬の測量日記」（藤田元春著）の「蝦夷地測量」¹¹の中に記載がある。それによれば、忠敬の蝦夷地測量に持参した器具は、象限儀¹²、新製方位盤、杖先羅針盤¹³、垂球儀、間竿、間縄¹⁴、磁石、コンパスであったようだ。そして、その測量方法は江戸を出てからは、歩数によって距離を決め、杖先羅針盤で進行方向の角度、遠方に見える山の方位を計測して野帳に記したとある。そして、宿に着くと、象限儀を据え付けて、恒星の高度を測定している。函館に着くと、間縄により距離を測定し、杖先羅針盤で方位を確認して進むが、時間がかかりすぎるため、間縄をやめて歩数により進んだとある。

間宮林蔵はどうだったのか。間宮正孝氏によれば、2回の樺太探検で用いた器具についての記録は残っていないそうであるが、その後の蝦夷地測量は忠敬から譲り受けた器具で測量していて、その器具は、間縄・間竿・鎖縄・量程車・杖先羅針盤・象限儀であったようだ。

そして林蔵は、忠敬から譲り受けたこれらの測量器具を使い、蝦夷地を測量する。忠敬が測量することの出来なかった根室、知床、稚内、松前にかけての海岸を林蔵が測量し、この結果を基に、忠敬の大日本沿海輿地全図蝦夷地部分が出来上がる。これに関し、「1. はじめに」での日本経済新聞記事では「林蔵が全域を測量」と研究会が発表している。

5. まとめ

間宮林蔵は間宮海峡の発見や、樺太の探検等の輝かしい実績をもちながら、自分よりも優れた測量技術を持った伊能忠敬に師事する。そこでは、測量技術を短時間に学びとっている。一方の忠敬は幕府の

事業として日本全国の測量を最新技術と物資をもって行い、やがて大日本沿海輿地全図を完成させるのだが、唯一蝦夷地の一部の測量はできていなかった。

この優れた知識と技能を持った二人が、「3. 出会いと二人の関係」で述べたように函館で偶然出会い、上記でみてきたとおりお互いに信頼し師弟関係が生まれ、測量技術の伝承が生じている。さらに、忠敬が使用した測量器具を林蔵は譲り受け、その器具を使い忠敬が未測量に終わった蝦夷地の測量を成し遂げるのである。蝦夷地の測量後も林蔵は忠敬の屋敷を訪れ、自分の測量結果を忠敬の結果と合わせ、大日本沿海輿地全図の完成に協力している。

こうしてみると、この二人の成し遂げた偉業は、各自が単独では成しえなかったことがわかる。今でこそ、間宮林蔵、伊能忠敬と称えられる二人であるが、当然個人のすぐれた能力もあったろうが、その背景には、師弟関係と測量技術の伝承、測量器具の融通といった協力関係があったからだと考える。

— 以 上 —

参考文献

- ・伊能忠敬研究会「伊能忠敬はどんな人か（忠敬略伝）」
http://www.inopedia.tokyo/01_ino/, 2019年5月25日
- ・間宮正孝「間宮林蔵の世界へようこそ」<http://www.asahi-net.or.jp/~XC8M-MMY/index.htm>, 2019年5月25日
- ・藤田元春 昭和16年『伊能忠敬の測量日記』日本放送出版協会
- ・公益社団法人 東京地学協会 地学雑誌 第16巻 および 2) 間宮正孝氏 資料
- ・伊能忠敬研究会「測量日記を読み解く『箱館役所で煩雑な手続、間宮林蔵との出会い』」https://www.inopedia.tokyo/salon/01/mamiya/r_1078115712_img_20120115212937.pdf, 2019年5月25日

11 同 PP. 30～31

12 緯度を算出するために、星の南中高度を測定する用途

13 支柱の先に羅針盤があり、支柱の傾きに関係なく、磁石が水平になるようになっている。

14 距離を測定するために、主に用いた道具で間縄・間竿。間縄は、現在の巻尺に相当する。間縄は、1間ごとに目盛を付けた全長60間の縄。間竿は、長さ1間か2間の木の竿に半間の目盛を振った木製や竹製の竿。短距離を測るときに用いる。

回路図面における電気電子部品の自動認識手法の研究開発

第二土木調査部・企画開発部・総合研究所
株式会社 リサーチアンドソリューション

1. はじめに

当会では、各種資機材に係る価格調査を実施している。それらのうち多くの資機材が市場で価格形成され、調査業務により価格の妥当性が確認できる中、受配電盤類はその使用目的などから特注品が多く、製品としての市場価格が存在していない。そのため、調査においては妥当性の確認を適切に行う必要がある。

この妥当性の確認を行うための第一段階として、調査対象機器の回路図面（以下「図面」という。）を判読し、その装置を構成する電気電子部品（以下「部品」という。）を抽出する必要がある。そのため図面に記載されている部品を適切に判読する作業が発生するが、専門知識と経験が必要である。そのため当部では以前から研修等により担当職員の能力向上を図ってきたところであるが、今後の業務量の増加や経験豊富な職員の高齢化を考えると作業効率の向上や経験知識に依存しない手法の開発が必要との判断に至った。

そこで着目したのが、AI（ディープラーニング）による画像認識技術を図面へ適用することで上記の課題を解決しようとする試みである。しかし、図面は、設計者個人のクセや、企業による描画の違い、慣例や慣習などから省略される部品があるなど、一様でない。それらの図面をどのように認識させて、認識精度を高められるかが課題となった。そのため、様々な手法をテストしながら認識精度の向上を探った。結果、実用化に向けての成果が得られたことから、以下にその取り組みを報告する。

2. 古典的手法

2.1. テンプレートマッチング

図面に使用される、いくつかの図面記号をテンプレート画像として、その画像との近さでマッチング

する手法を試みた。その結果、特徴量の多いものは、大きさと閾値の調整を細かく行えば認識は可能であったが、少しの値変化でも全く認識できなくなることから、この手法による実用は難しいと判断した。

2.2. 特徴量抽出による古典的マッチング

次のテストでは、上記のような単純マッチングではなく、テンプレート画像とサンプル画像の両方から特徴量を抽出し、その特徴量の近さによってマッチングする手法を試みた。

この場合、特徴量抽出アルゴリズムとして、ORB, BRISK, KAZE, AKAZE を用いて実験したところ、AKAZE での認識が比較的良好であった。

この AKAZE は、はじめに、画像が内部処理により平滑化されるため、低解像度の場合はそこで特徴量が失われてしまう。（図1の赤色部分が特徴量）

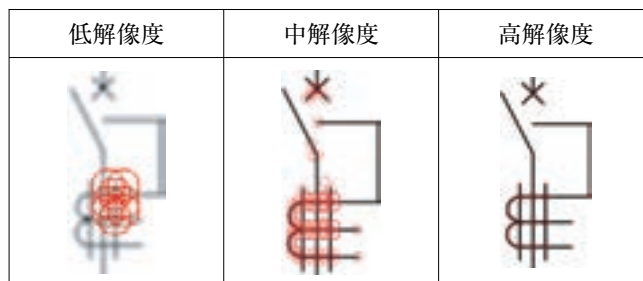


図1 解像度の違いによる特徴量の認識状況（AKAZE）

今回の画像は、特徴量が少ないため、テンプレート画像の大きさある程度に保ち、それと図面内の部品の大きさを合わせることで、特徴量の抽出精度を高める。そのために、図面を拡大する必要があるが、図面を拡大することにより、特徴量マッチングにかかる時間が種類の部品について5秒程度増加し、これを全ての部品で行うと時間がかかるといった問題がある。しかし、テンプレート画像の部品の大きさと図面内の部品の大きさを厳密ではなくても、概ね合わせることでマッチングは可能であった。

2.3. ハフ変換¹による円検出

ハフ変換による円検出を試みた。その結果、ほぼ全ての円で囲まれた部分の部品が検出可能であった。あとは、この円の部分をSVM²で分類すれば良いので、円で囲まれた部品は古典的手法だけでも検出可能になる。

2.4. 長方形検出

長方形検出はハフ変換ではなく頂点検出の手法で試みた。こちらは画像の解像度が高い場合は良好な検出結果であった。解像度が高ければ、長方形で囲まれた部品も検出可能になる。

3. Deep Learning を応用した手法

以上、試行した古典的手法のテンプレートマッチングでは、一部検出が可能な場合もあったが、部品の大きさの変化や解像度の変化への対応が難しかった。また、特徴量によるマッチングにおいては、もとの画像の特徴量が少なく検出の精度も向上しなかった。そこで、サイズの違いへの対応や、より効果的な特徴量抽出を行うために、深層学習モデルを通した特徴量抽出によるテンプレートマッチングをする手法を試みた。

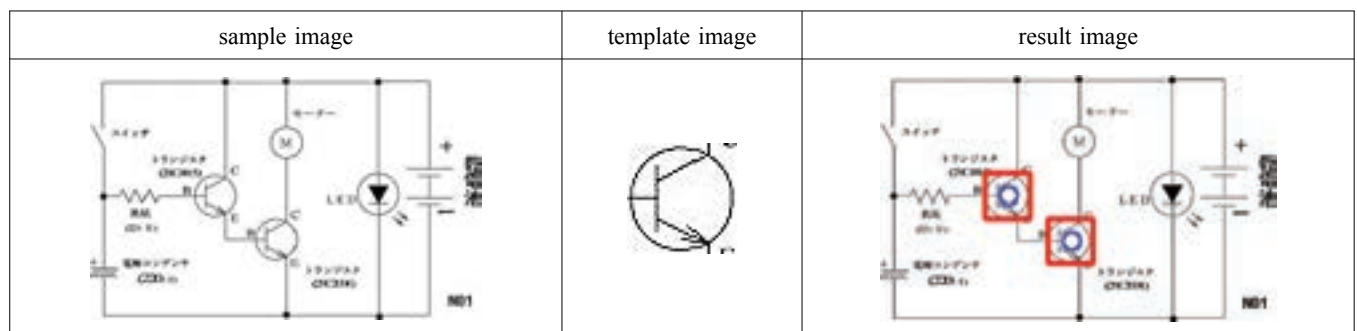
3.1. Robust Template Matching Using Scale-Adaptive Deep Convolutional Features

[Jonghee et al., APSIPA 2017]

この手法は、テンプレート画像と入力画像をそれぞれCNN (Convolutional Neural Network)³に入れ、それぞれ途中の層の特徴量を抽出する。その特徴量を、NCC (normalized cross-correlation)⁴を使い、テンプレート画像と入力画像の特徴量マップ間の距離を計算し、マッチングする。

その結果、テンプレート画像に対して適切な特徴量を計算し良好なマッチングに成功した(図2)。

一方で、このテンプレートマッチングを実行した場合に、いくつかの問題も発生した。まず、1回のマッチング処理に10秒ほどかかってしまう。さらに、サンプル画像1枚とテンプレート画像1枚を照らし合わせながら実行するので、複数のテンプレート画像を同時にマッチングすることができない。そのため、テンプレート画像の種類が多い場合には実行時間がその分だけ長くなる。また、サンプル画像にはテンプレート画像が含まれていることを前提としているため、含まれていない場合が考慮されていない。そのため、閾値を設けてマッチングしない場合を分別することも可能であるが、その代わり、検出能力が低下する可能性もある。



(出典画像 <http://www.geocities.jp/y80000000218129/densikairo.html> 2019. 3. 31)

図2 入力画像とテンプレート画像のマッチング結果 (1:1 対応)
(Robust Template Matching Using Scale-Adaptive Deep Convolutional Features)

1 画像の中から直線や円などの図形を検出したい際によく用いられる手法の一つ。
2 サポートベクターマシン (Support Vector Machine, SVM) と呼ばれるパターン認識手法

3 画像認識で利用されるディープラーニングの手法。
4 正規化相互相関という。2つの画像中の比較対象ブロック同士が似ているかどうかの相関を計算する方法。

3.2. QATM (Quality-Aware Template Matching For Deep Learning)

[Cheng et al., arXiv 2019]

QATM は、2019 年 3 月 18 日発表された、新しい Deep Learning を用いたテンプレートマッチングの手法である。上記の方法では難しかったサンプル画像 N 枚とテンプレート画像 M 枚でのマッチングを可能にしている。この手法では、サンプル画像の中にテンプレート画像に一致するものが存在しない場合も考慮される。図 3 において、template 1_1.png から template 1_4.png はサンプル画像に存在しているものの、template 1_dummy.png は存在していないが、正しく、同時に複数種類の検出ができた。

4. 全部品の検出

以上、様々な手法をテストした結果、部品の抽出は QATM によるものが最適であると判断し、実際に抽出する流れを述べる。

4.1. テンプレート画像の作成と入力画像の調整

最初にテンプレート画像となる部品の画像を作成する。検出精度はテンプレート画像の大きさに依存するので、少なくともそれぞれのテンプレート画像の大きさの比は、実際の大きさの比に合わせておく必要がある。次に、テンプレート画像の大きさに合

わせて、入力画像の大きさを統一するため、ハフ変換による円検出を行ない、該当する部品のサイズをもとに入力画像をリサイズする。リサイズした入力画像を QATM に入力し、特徴量の計算を行う。

4.2. テンプレート画像とのマッチング

各テンプレート画像も同様に QATM に入力して特徴量を計算し、それを先ほどの入力画像の特徴量と組み合わせ、スコアを計算する。このスコアは実際に存在する部品のスコアは高くなる一方、存在しない部品はスコアが低く出るので、低スコアの部品は、入力図面中には存在しないものとして省く処理を行う。その上で、各テンプレートのスコアが高い部分を部品が入っている可能性がある枠として取り出す。そして、その取り出した部品を NMS (Non-Maximum Suppression)⁵ によりマッチングしている可能性の高いものだけを残すと検出ができる (図 4)。

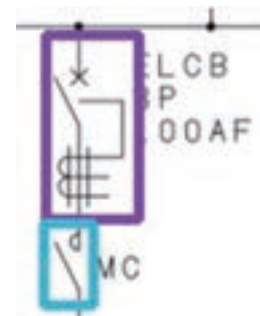


図 4 部品画像の抽出状況

template 1_1.png	template 1_2.png	template 1_3.png	template 1_4.png	template 1_dummy.png

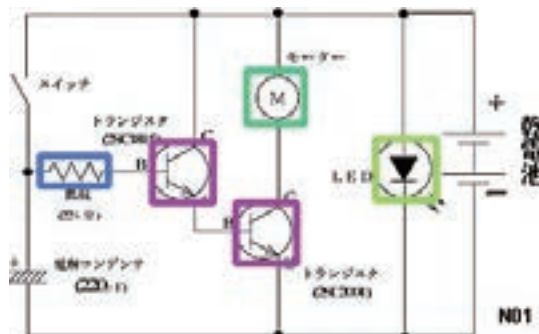


図 3 QATM を用いた複数種類のテンプレート画像による抽出結果

5 重なり合って検出されるのを制御するアルゴリズム

5. ラベルの検出と部品のマッチング

以上の段階で、部品画像の検出はできたが、その部品画像が、どのラベル（部品の規格名称）に該当するのか対応を取る必要がある。そこで、その部品画像に記載されているラベルの検出を行い、その後に部品画像との対応を行う。

5.1. ラベルの検出

この検出は、Google の OCR API を使い文字認識を行った。ただし、例えば本来「100 AF」というラベルが「100」と「AF」と別々のラベルであると認識される場合もある。そのため、一旦横方向に連なるラベルは一つのラベルであると認識する処理をするが、それによって、例えば「30 AF 30 AF 30 AF」のように本来は複数のラベルなのに一つのラベルになるものが発生する。それを解消するために、単位の部分で区切るようにした。これにより全てのラベルが正しく検出可能になった（図5）。

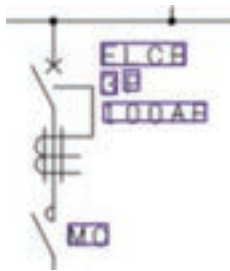


図5 ラベルの抽出状況

5.2. 部品とのマッチング

次は、どのラベルがどの部品に対応しているかマッチングを図る必要がある。

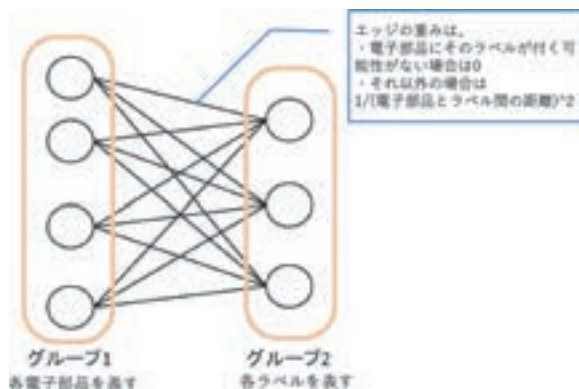


図6 部品とラベルのマッチング方法

そのために、二部グラフの最大マッチングを実施した。まず、図6におけるグループ1のノード（点）は、先ほど検出した各部品を表すとし、グループ2のノードは先ほど検出したラベルを表すものとする。そのうえで、グループ1のノードとグループ2のノードの間にエッジ（辺）を繋げる。そのエッジの重みは図に記載してあるとおり部品とラベル間の距離として定義する。そして、最大マッチングを行い、エッジの合計が最大になるものだけを残す。

以上の処理を行った結果、全ての部品と、ラベルの対応関係が構築でき、それを画像に反映する。ここまでの処理時間は検証に使用した GPU 環境では全て合わせて10秒ほどでできる。図の着色部が処理済の部分で、全て抽出が出来た（図7）。

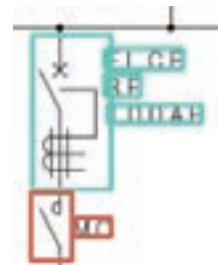


図7 部品とラベルの抽出状況

6. 汎用性の確認

上記4項、5項で行ったテスト図面での抽出は成功したが、他図面を使って抽出を行い、汎用性の確認を行った。その結果、一部抽出できていない部品もあった。これはサイズや閾値の調整を行っていないことが理由と考えられることから、図形や図面のサイズ調整や、閾値を調整することで図の着色部の

とおり部品、ラベルとも良好な精度で検出が出来た（図8）。

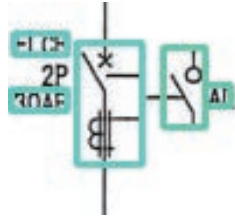


図8 テスト図面以外の抽出状況

7. まとめ

実際の業務で扱う図面のフォーマットは種類が多く、その全てに対応する場合、各フォーマットに応じたテンプレート画像を、正しい大きさに、正しい閾値で用意する必要がある。

そのためには、アプリケーションとして、閾値、大きさのパラメーター、新たなテンプレート画像の追加はGUIで変更できるようにし、さらに「図面から選択した部分を切り取りテンプレートにする」というインターフェースにすると、「正しい大きさで」テンプレート画像を保存することが可能になる。また、誤検出したものは人間が修正できるようなインターフェースの準備も必要と思われる。

また、「6. 汎用性の確認」では、「特徴量マッチングの特徴量抽出を Deep Learning を用いておこなう」という手法を用いれば、サイズや閾値といったパラメーターを調整することで、認識精度が高まることがわかった。

しかし、パラメーターの調整を行わなければ、高い検出精度を出すのは難しい。そこで、別の方法として、時間と費用は掛かるが教師ラベルを作成して、通常の Deep Learning により検出する手法も考えられる。そうすれば、パラメーターの調整は必要なく、高い検出精度が保証できると思われる。この2つの方法（案1；特徴量マッチング、案2；通常の Deep Learning）について、長所、短所をまとめ

表1 実用化に向けての検討案比較

	【案1】 特徴量マッチングの特 徴量抽出をDeep Learn- ingによった場合	【案2】 通常の Deep Learning
メリット	・教師ラベルがいらない ・新しいフォーマット図面への対応はテンプレートを追加すれば可能	・高い検出精度が期待できる ・画像の大きさの変化に対する頑健性は高い ・新しいフォーマット図面への対応を考慮する必要なし。
デメリット	・パラメーターの調整が必要 ・スケールの変化に対応できない ・実行時間が物体検出の手法に比べれば遅い ・テンプレートを追加しないと新しいフォーマットに対応できない	・教師ラベルが必要（具体的には、最低でも2~300枚くらい。理想は1000枚以上必要）

ると次のとおりである（表1）。

「案1」では、教師ラベルが不要である反面、抽出対象の図面に合わせたパラメーターの調整を伴う、「案2」では個別にパラメーター調整が不要となる反面、教師ラベルが相当量必要となる。今後は、案1、案2の比較において、どちらが実務上、効果的か検討を行い、次の開発段階に進みたい。

参考文献

- 1) Jonghee K., Jinsu K., Seokeon C., Muhammad A.H., and Changick K. Robust Template Matching Using Scale-Adaptive Deep Convolutional Features. APSIPA 2017
- 2) Cheng, J., Wu, Y., Abd-Elmageed, W., Natarajan, P. QATM: Quality-Aware Template Matching For Deep Learning. arXiv 2019

調査研究報告

2020 年 東京オリンピック・パラリンピック開催に伴う建設需要の現状と今後の経済動向
～五輪開催後の建設需要はどうなるのか？～

総合研究所 技術研究課 主任研究員 山本 高史

1. はじめに

現在、首都圏では、2020 年に開催される東京オリンピック・パラリンピック（以下「東京五輪」という。）の開催に向けた建設事業が急ピッチで進んでおり、一部の競技施設においては既に完成しているものもある。

五輪関係の建設特需に沸く一方で、2020 年以降、五輪開催に起因する財政悪化によって日本経済が低迷し、建設需要も減少するのではないかと懸念されている。

そこで、2000 年以降の夏季五輪開催国における概要と経済成長率の推移を分析することで、五輪開催後の日本経済の動向を考察する。

まず第 2 項で、2020 年の開催に向けた東京五輪関連の建設需要の現状を俯瞰し、第 3 項・第 4 項にて五輪開催による経済的影響とその費用について述べる。第 5 項では、2000 年以降の五輪開催国における開催年前後の経済成長率の推移を考察し、第 6 項にて、東京五輪開催後の日本経済の動向の見通しについて述べる。

2. 五輪関連の建設需要の現状

五輪関連事業で、現在進行中の主なプロジェクトの概要は次のとおりである。

(1) 競技施設等

①新国立競技場

総工費 1,490 億円が投じられた新国立競技場は、8 万人の観客が収容可能な五輪のメインスタジアムとして、開・閉会式などが行われる予定である。法隆寺の五重塔など日本の伝統的な木造建築から着想を得て、国産木材を大胆に使用したデザインは建築家隈研吾氏の手によるものであり、日本らしさを広く国内外にアピールするものとなっている。その完

成は 2019 年 11 月末に予定されている。

②その他の競技施設

新国立競技場の他には、「東京ベイゾーン」と呼ばれる湾岸エリアを中心に、有明アリーナや海の森水上競技場、若洲オリンピックマリーナなど、12 の競技施設の建設工事が進められている。

③選手村

晴海・豊洲地区には、約 18 ヘクタール（東京ドーム約 4 個分）の土地に 24 棟、合計 5,632 戸の選手用宿泊施設（選手村）が建設されており、2019 年 12 月の完成が予定されている。この選手村は、東京五輪開催後にマンションに転用される予定となっている。総戸数 5,632 戸のうち、分譲マンションとして売り出されるのが 4,145 戸あり、そのうちの 600 戸が 2019 年 7 月に第一期分譲として発売された。さらに 2020 年以降には、2 棟の超高層マンションが建設され、商業施設などを含めた巨大な街区「HARUMI FLAG」（晴海フラッグ）として生まれ変わる事となる。

(2) 交通インフラおよび付帯施設

参加国の選手団、メディア関係者、国内外から訪れる観客らの足となる交通インフラの整備として、羽田空港の発着枠の拡大、首都圏 3 環状道路（圏央道・外環道・中央環状線）の整備、晴海と銀座を専用レーンで結ぶバス高速輸送システム（BRT：Bus Rapid Transit）の整備などが進んでいる。それに加えて、公共交通機関や観光案内所における多言語対応、ユニバーサルツーリズムに対応したバリアフリー化、無料公衆無線 LAN 環境の整備、公衆トイレの洋式化や多目的トイレの設置など、誰もが利用しやすいパブリックスペースの整備も進んでおり、国内外を問わず多くの旅行者が期待される 2020 年に向けて、東京の街は大きく変わろうとしている。

3. 五輪開催の経済的影響

(1) 五輪運営の商業化のはじまり

1976年のモントリオール五輪（カナダ）では、過剰な建設投資やコスト意識の欠落、杜撰な管理体制、オイルショックによる物価の高騰などにより、大幅な赤字を記録した。このことにより、その後30年間、モントリオール市民は27億ドルという巨額の負債を抱えることとなった。

その失敗を教訓に、1984年のロサンゼルス五輪（米国）では、完全民営化による大会運営となった。大会自体をショービジネス化し、TV放映権の入札、スポンサー料の徴収、公式マスコットの商品化の管理などを徹底して行い、結果として2億ドルを超える黒字の計上に成功した。この画期的な商業主義の手法は「ロサンゼルス方式」と呼ばれ、それ以降の五輪開催に大きな影響を及ぼし、経済的效果が期待されるようになった。これが、一部のメディアなどで報じられる「オリンピックは儲かる」との認識のはじまりである。

五輪開催の真の意義とは、国際的なスポーツの祭典を通して世界平和と国際交流を図ることであり、「近代オリンピックの父」と呼ばれたピエール・ド・クーベルタン男爵の有名な言葉として「オリンピックとは、勝つことではなく、参加することに意義がある」とあるが、現在では、その経済効果から「自国で開催することに意義がある」状況となっている。

(2) 経済的影響

開催国が主要国（フランス、アメリカ、イギリス、ドイツ、日本、イタリア、カナダの7ヶ国）である場合と、新興国（ブラジル、ロシア、インド、中国、南アフリカ共和国など主要国以外の国々）である場合とでは、その経済的影響力の種類や規模は大きく異なっている。

①新興国における五輪開催の経済的影響

経済成長過程にある新興国にとって、自国での五輪開催は、経済的に更なる成長を誘発させるための起爆剤としての期待が大きい。五輪開催に向けて、道路や鉄道、空港などの交通インフラの整備や、競技

施設や宿泊施設の建設などによって建設需要が増加し、国内景気の高揚が期待される。このように新興国にとっては、五輪開催は経済浮揚効果（フロー効果）が発揮される機会であるといえるだろう。

②主要国における五輪開催の経済的效果

一方、主要国が五輪開催都市に立候補する目的は、国や都市を国際的にアピールするため、つまり国威発揚であると考えられる。五輪が開催されれば、世界中に自国の文化や国力を知らしめることができ、国際的地位も向上する。世界中の多くの人々がその国、その都市を訪れ、その国の文化に触れて、その国を知る。2016年のリオデジャネイロ五輪の閉会式において、安倍総理が世界的人気ゲームキャラクター「マリオ」の扮装で現れた時、世界中の多くの人々が「マリオは日本が生んだ文化」であることを認識した。それだけ五輪開催における文化発信の影響力は絶大なものがある。

さらに、観光客によるインバウンド消費や、その後の外国人観光客のリピート訪日も期待できる。観光立国を目指すわが国においては、これ以上に東京という都市、日本という国を知ってもらう絶好の機会はない。

4. 五輪開催に係る費用

五輪の運営が商業化したことによって、経済的な効果ばかりが注目されるようになり、開催都市の招致合戦が繰り広げられるようになった。開催都市の決定には、その国のスポーツ振興のレベルに関係なく、政治力や経済力が重視されるようになり、誘致運動だけで巨額の金銭が投入されるようになった。これらのことは、近代オリンピック開催100周年の記念大会の開催都市が、アテネ（ギリシャ）ではなくアトランタ（米国）に決定したことからも伺える。

21世紀に入り、中国やブラジルといった新興国での開催が決定するようになると、開催規模の巨大化に伴って、開催都市または開催国の経済的負担も次第に大きくなっていった。

五輪の開催運営費は、施設整備費や大会運営費といった直接経費と、インフラ整備費とソフト面に係る整備費といった間接経費の2つが発生するとされ

ている（表 1）。

表 1. 五輪の開催運営費

区分	費 目	内 容
直接 経 費	施設整備費	メインスタジアム、各種競技施設、選手団宿泊施設、国際放送センター、メディアプレスセンター など
	大会運営費	会場運営費、式典費用、警備費用、テロ対策費用 など
間 接 経 費	インフラ整備費	交通インフラ整備費、情報インフラ整備費、観光客向け宿泊施設 など
	ソフト面の整備費	訪日外国人旅行者の受入体制の整備費、観光プロモーション費用 など

(1) 直接経費

五輪開催に係る直接経費は、競技施設などの建設に係る施設整備費と、大会運営費に大きく分かれる。

①施設整備費（建設工事費）

五輪開催都市は、大会開催に係る施設として、開・閉会式を行うメイン会場、各種競技施設、選手団の宿泊施設（選手村）、国際放送センター、メディアプレスセンターなどを準備する必要がある。

前回の 1964 年の東京五輪では、メイン会場として国立競技場、競技施設として代々木体育館、駒沢オリンピック公園総合運動場、日本武道館、江の島ヨットハーバーなどが建てられた。

②大会運営費

大会運営費には、会場運営費、式典費用、警備費用、テロ対策費用などが含まれる。

1972 年のミュンヘン五輪（ドイツ）において、パレスチナ武装勢力のテロ行為によってイスラエル選手団 11 名が殺害されたことから、テロ対策に係る費用が計上されるようになった。また、2004 年のアテネ五輪では、大会準備期間の 2001 年 9 月 11 日に米国同時多発テロが発生したことから、五輪開催期間中の警備費用は、当初の 4 億ドルから 15 億ドルにまで跳ね上がったと言われる。

2020 年の東京五輪では、2 億 1,300 万ドル（約 187 億円）のテロ対策費用および警備費用が計上されている。

(2) 間接経費

五輪開催に係る間接経費としては、インフラ整備費とソフト面の整備費に大きく分かれる。

間接経費は、直接経費と比べると規模が大きくなる分、巨額になる傾向にある。特にインフラが未熟な新興国の場合には顕著である。

①インフラ整備費

国内外から訪れる観戦者のための交通インフラの整備や宿泊施設の整備は当然のことながら、近年の五輪開催では、情報インフラとして、パブリックスペースにおける無料 Wi-Fi 環境の整備や多言語による案内表示、キャッシュレスによるショッピング環境の充実も必須事項となりつつある。

1964 年の東京五輪では、交通インフラとして、首都高速道路や東海道新幹線、東京モノレールといった現在にも残るレガシーが整備され、外国人旅行者の玄関口となる羽田空港は拡張された。また、観戦に訪れた外国人旅行者向けの宿泊施設としては、ホテルオークラや東京ヒルトンホテル、ホテルニューオータニ、東京プリンスホテルといった国際的なホテルが開業した。

このような各種インフラの整備は、五輪開催という大きな目標がなければ、短期間では実現できないプロジェクトであると考ええる。

②ソフト面に関する整備費

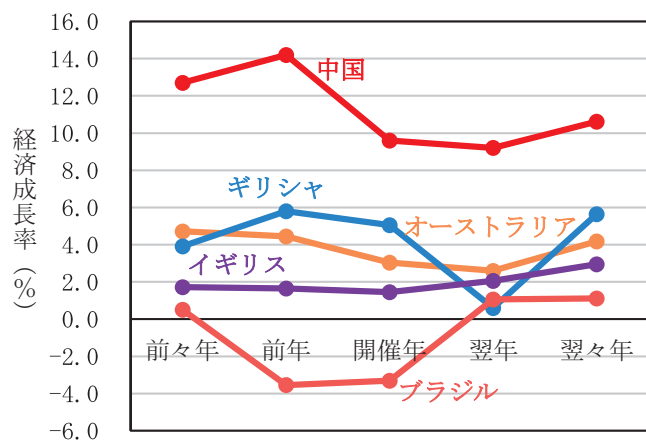
開催国となると、訪日外国人旅行者向けに観光プロモーションや受入体制の整備を行う必要がある。

特に、2020 年の東京五輪では、2013 年の IOC 総会における五輪招致大使の滝川クリステル氏のスピーチでの「お・も・て・な・し」が話題になったこともあり、すべての外国人旅行者が快適に東京五輪を満喫できるように注力しなければならない。例えば、多言語対応の改善・強化や、通訳やガイドの配置、宗教的・文化的な習慣への対応が挙げられる。特にムスリムの選手や観光客への食事や礼拝施設の提供は、適切な理解のうえで行う必要がある。

こういったソフト面の充実に係る費用も広義での間接経費であると考ええる。

(3) 五輪開催の経済的懸念

以上、五輪開催の経済的影響や開催費用について述べてきたが、2000年以降の五輪開催国における開催年前後の経済成長率を見ると、開催の翌年に経済成長率が下がった国が存在している（図1）。



(出典：IMF International Money Fund)

図1. 五輪開催国の経済成長率の推移

〈経済成長率の算出式〉

$$\text{経済成長率} = (\text{当年のGDP} - \text{前年のGDP}) \div \text{前年のGDP} \times 100$$

このように、五輪開催後に経済成長率が下落する可能性もあるなか、各国が熾烈な誘致合戦を繰り返している。これは、新興国と主要国では五輪開催に期待する様々な効果は、「3. (2)」で記述しているとおり異なるものの、その根底には「3. (1)」で述べたとおり、「オリンピックは儲かる」との認識があるためであると思われる。この認識については、多くの経済学者が論文を執筆しており、そのほとんどが「一方では利益がないが、他方では利益がある」と結論付けている。

このようなことから、東京五輪開催後の日本経済の景気の動向が、建設関係者のみならず、日本国民全体の懸念事項となっている。

5. 近年の開催国の経済推移

東京五輪開催後の景気動向を考えるにあたって、前述した2000年以降の夏季五輪開催国における開催前後の経済成長率の推移とその要因について検証する。

(1) 開催年前後の各国の経済成長率

オーストラリア（シドニー五輪）、ギリシャ（アテネ五輪）、中国（北京五輪）では、開催年とその翌年に経済成長率が減少したことが分かる（表2）。

表2. 五輪開催国の経済成長率の推移

(単位：%)

開催都市 (国)	前々年	前年	開催年	翌年	翌々年
シドニー (オーストラリア)	1998年 4.72	1999年 4.45	2000年 3.04	2001年 2.60	2002年 4.18
アテネ (ギリシャ)	2002年 3.92	2003年 5.80	2004年 5.06	2005年 0.60	2006年 5.65
北京 (中国)	2006年 12.70	2007年 14.20	2008年 9.60	2009年 9.20	2010年 10.61
ロンドン (イギリス)	2010年 1.71	2011年 1.65	2012年 1.45	2013年 2.05	2014年 2.95
リオデジャネイロ (ブラジル)	2014年 0.51	2015年 -3.55	2016年 -3.31	2017年 1.06	2018年 1.11

(出典：IMF International Money Fund)

以下では表2の各国について2000年以降の五輪開催の概要と経済動向を示す。

①オーストラリア（2000年 シドニー五輪）

2000年に開催されたシドニー五輪は、政府が約70%、民間が約30%の資金調達を行い、総額約75億ドル（約8,175億円）と、2000年以降の五輪開催国の中で最も少ない費用で開催し、かつ成功した大会として評価されている（表3）。

その成功の要因は、BOOT（Build, Own, Operate and Transfer）方式を活用し、施設整備費を最小限に抑えたことである。BOOT方式とは、民間企業が政府や自治体に代わって公共施設を建設・取得して、リスクを負いながら自らの施設として運営を行い、一定期間経過後に政府や自治体に所有権を譲渡する義務を負う方式のことで、日本でいうPFI方式のようなものである。

一方、オーストラリアの経済成長率は、1995年以降、五輪開催前々年の1998年の4.72%をピークに下落傾向に転じ、開催年である2000年は3.04%、翌年の2001年も2.60%と右肩下がりとなっている。これは建設投資の減少による景気の低迷であろうと考えられる。経済規模が小さな新興国においては、建設投資が大きな影響力を持つため、建設需要の減少は直接的に景気に反映される。

日本においても、前回の東京五輪の翌年の 1965 年には、「証券不況」や「昭和 40 年不況」と呼ばれる不況が発生し、国内経済は低迷した。当時はまだ日本も高度経済成長を迎えようとしている新興国だったため、五輪特需が消えた途端に景気は失速したと考えられている。

オーストラリアの場合、逆説的に言えば、五輪開催の準備に BOOT 方式を採用して民間資金を上手く利用し、過剰な建設投資を行わなかったため、この程度の落ち込みで済んだとも言える。巨額な建設投資を行っていたとしたら、その後の建設需要の冷え込みとの格差によって、国内経済は大打撃を受けた可能性もある。

さらに、2001 年に発生した IT バブル（ドットコム・バブル）の崩壊もオーストラリア経済に影響を及ぼしたものと考えられる。インターネットの普及によって、1999 年から 2000 年の 2 年間に、世界中の IT 関連のベンチャー企業によって急激に株価が高騰し、その株価高騰に危機感を感じた投資家達の「売り抜け」をきっかけに、株価は急速に暴落した。しかし、不幸中の幸いとも言えるべき事象として、オーストラリアは、元々 IT バブルの恩恵を強く受けていなかったため、景気の落ち込みは最小限で済んだ。

また、2001 年 9 月 11 日に発生した米国同時多発テロ事件による株式市場の混乱と株価の大暴落からも影響を受けていると思われる。

シドニー五輪開催後の経済成長率の下落は、国内での建設需要の冷え込みだけでなく、全世界的な経

済要因によるものも含まれており、一概に「五輪開催後、開催国の経済は低迷する」というジンクスの証左にはならない。

②ギリシャ（2004 年 アテネ五輪）

ギリシャは、2004 年のアテネ五輪開催の翌年、急激な国内経済の冷え込みに見舞われた。ユーロ加盟と併せて、アテネ五輪の開催が、その後のギリシャの深刻な財政危機の遠因になったと言われている。

ギリシャでは、統一通貨ユーロの導入に向けて、歳出を抑制し、財政赤字の削減を目指していたが、アテネでの五輪開催が決定した 1997 年から、財政拡大路線に大きく舵を切った。多くの競技施設と関連施設が計画されたが、その建設は計画よりも概ね 2 年ほど遅れており、開催の 2 年前の段階で 4 割程度の進捗率しか得られていなかった。工期の遅れから、工事の見直しを図る度に建設費は膨れ上がり、最終的には施設整備費は当初計画額の 2 倍近くになった。

それでもギリシャ国民は自国の明るい未来を信じて疑わなかった。元々、ギリシャにとってユーロの導入は念願のひとつであった。1999 年のユーロ発足時には経済状況の悪さから参加基準を満たすことができず、国際的に信用が低い自国通貨ドラクマを使用せざるを得なかったという苦い歴史があった。2001 年に統一通貨ユーロの導入が認められると、簡単に資金調達（借金）ができるようになり、建設投資に拍車がかかった。

2001 年には新国際空港が開業し、地下鉄ネットワークが強化された。アテネ郊外に高速道路が新設され、大規模なインフラ整備はアテネ五輪の開催ギリギリまで続いた。

スペインの建築家サンティアゴ・カラトラヴァ氏デザインのメイン会場アテネ・オリンピック・スポーツ・コンプレックスは、スタジアム・プール・ホールからなる総合運動施設で、度重なる工期延長を経て、開会式直前の 2004 年 7 月にやっと完成した。オリンピック水泳センターは、当初は屋根付きプールとなる予定であったが、工事の遅れで屋根の設置が間に合わず、結局屋外プールとして競技が行われた。現在では、多くの鉄骨に錆が付き、敷地内は雑草が生え、至る所にスプレー缶による落書きが

表 3. 都市別の開催運営費

開催年	開催都市（国）	開催運営費用
2000 年	シドニー （オーストラリア）	約 75 億ドル （約 8,175 億円）
2004 年	アテネ （ギリシャ）	約 150 億ドル （約 1 兆 6,350 億円）
2008 年	北京（中国）	約 430 億ドル （約 4 兆 6,870 億円）
2012 年	ロンドン （イギリス）	約 400 億ドル （約 4 兆 3,600 億円）
2016 年	リオデジャネイロ （ブラジル）	約 130 億ドル （約 1 兆 4,170 億円）

（出典：AP 通信ほか 1\$ = 109 円換算）

された廃墟となっている。

ギリシャの財政運営は、過去から問題視されていた。財政赤字の削減のための改善計画を実行しているにもかかわらず、公務員の人件費が、ユーロ圏の他国と比べても高く、見直しが求められていた。また、歴史的に贈収賄が習慣化されており、社会的なガバナンス意識が欠如していることから、表に出てこない経済活動（＝地下経済）が蔓延していた。法秩序が徹底されていなかったことから、頻繁に税法が改正されたが、時効制度の存在によって、脱税が日常茶飯事となっていたことも、財政悪化の原因である。

こうしたことから分かるように、アテネ五輪開催後のギリシャ経済の失速は、五輪特需の終了による建設投資の激減からくる反動と、それ以上に財政管理の杜撰さが招いたものだったと言える。

③中国（2008 年 北京五輪）

中国は、主要国ではなく新興国に分類されているが、通常の新興国のように貿易赤字を抱えておらず、海外資本への依存率は高くない。日本の財務省では、中国・メキシコ・ブラジル・タイ・マレーシアを、経済援助が必要な新興国というカテゴリーから除外している。

世界人口の約 2 割を占め、米国に匹敵する広大な国土を持つ中国は、現在、世界第二位の経済大国である。

五輪開催がきまった翌年の 2002 年から開催前年の 2007 年までの 6 年間の経済成長率の平均値が 11.23% と驚異的な経済成長をみせた。その後、開催年には 9.60%、開催翌年には 9.20% と経済成長率が減少傾向にあったものの、毎年 10% 近い経済成長率をマークしており、経済的な低迷とは程遠いといえる。

中国は、2008 年の北京五輪の開催に合わせて大規模な都市づくりを計画した。2002 年から 2008 年までの 7 年間で約 430 億ドルの予算計上を行い、その半分以上を社会インフラの整備費用に費やした。競技は、北京市内に散在する 37 会場で行われ、そのうち 22 会場が新設された競技施設であった。

北京五輪のメインスタジアムとして使われ、「鳥の巣（Bird's Nest）」の愛称で親しまれた北京国家

体育場は約 513 億円の建設費が投じられたものの、コンサートなどによって数回使用されただけで、現在では、壁が崩れ落ち、廃墟同然になっている。

また、約 160 億円を投じて建設された北京国家水泳センターは、現在はアジア最大の屋内ウォーターパーク「ウォーターキューブ」として生まれ変わっているものの、その入場料は一般庶民の手が届く設定になっておらず、専ら外国人観光客や富裕層のみが利用する施設になっている。

このように、五輪開催に向けて多額のインフラ投資を行い、巨額の費用を投じて建設されたスタジアムでも、その国がスポーツ振興に力を入れていなければ、無用の長物になることが多い。

幸いなことに 2022 年には、北京で冬季五輪を開催することが決まっており、同一都市における夏季・冬季五輪の開催は史上初である。2022 年の冬季北京五輪では、北京市内における社会インフラを整備する必要は少なく、より効率のよい大会運営が可能になると思われる。

④イギリス（2012 年 ロンドン五輪）

イギリスでは、ロンドン五輪開催の翌年の 2013 年の経済成長率は僅かなプラスを見せており、大きな経済的効果は見られなかったことが伺える。

ロンドンでの五輪の開催は 1908 年、1948 年に続き 3 回目であり、世界中にロンドンという都市の魅力を大々的に発信する必要はなかった。長い歴史と成熟した経済を持つロンドンでの五輪開催の目的は、荒廃した東部エリアの再開発にあった。

このエリアは、産業廃棄物処理施設や重化学工場、倉庫などが立ち並び、土壤汚染などから他用途への転用が難しい地域であった。また貧困層が多く住むことから、治安の悪さが社会問題になっていた。そこで当時のロンドン市長は、このエリアに五輪関連施設を誘致すると共に、住宅、オフィス、商業施設、公園などを整備することで、治安改善に向けた都市の再開発を進めようとした。

こうして 2005 年にロンドン五輪の開催が決定されると、エリザベス女王即位 60 周年の記念事業として、東部エリア再開発プロジェクトは進められることとなった。約 230 万 m³ にも及ぶ大規模な土壤改良には約 17 億ポンド（約 9,530 億円、£ = 180 円

換算)が投じられ、約 80 億ポンド(約 1 兆 4,400 億円)の整備費用が投じられて、約 220 ヘクタール(東京ドーム 48 個分)のオリンピック・パークとして生まれ変わった東部エリアは、現在では年間 900 万人が訪れるランドマークとなっている。また、メイン会場となったロンドンスタジアムは、五輪開催時には約 8 万人が収容できる競技施設として約 4 億 3,000 万ポンド(約 774 億円)を投じて建設されたが、五輪開催後は収容人員を約 6 万人にする減築工事(約 2 億 7,000 万ポンド、約 486 億円)を行い、現在ではサッカー・プレミアリーグのウェストハム・ユナイテッドの本拠地として使用されている。

このようなインフラ整備を含むロンドン五輪の開催費用は、2008 年に起きたリーマンショックによる景気後退の影響で、建設コストも大幅に下がり、五輪関連施設への建設投資を最小限に抑えることができた。

2000 年以降に開催された五輪のなかでも、北京五輪に次ぐ開催費用が投じられたロンドン五輪では、開催前の建設投資による景気の上振れが少なかったため、開催後の反動による下落も少なく、結果として、大きな変動もなく、定常的な成長率と同様に 2.0% 前後に収斂したと考える。

ロンドン五輪開催の目的は、東部エリアの再生であったことから、その成果を短期的な経済浮揚効果で測れるものではない。ストック効果で測るとした場合、建設投資された社会インフラが、今後、どのような経済効果を生み出すか、しばらく時間がかかるものと思われるが、少なくとも、ロンドン五輪は「失敗」ではなかったと考える。

⑤ブラジル(2016 年 リオデジャネイロ大会)

直近のリオデジャネイロ五輪が開催されたブラジルにおける経済成長率は、開催前年の 2015 年は -3.55%、開催年の 2016 年は -3.31% と、2 年連続のマイナス成長をみせたあと、開催翌年の 2017 年に 1.06% と V 字回復をみせた。

本稿で検証している「五輪開催後の不況」とは、五輪特需の建設投資によって順調な経済成長をみせていた国が、五輪開催後の建設投資の激減によって景気低迷に陥る事象を指していたが、ブラジルの場合は、五輪開催前に不況に陥っている状態であった。

ブラジルの経済成長を支えてきたのは、鉄鉱石をはじめとする豊かな鉱物資源である。世界最大の鉄鉱石の消費国である中国向けの輸出量が、2004 年から 2011 年の間に 3 倍近くまで膨れ上がった。しかし中国の鉄鋼産業の失速により、中国向けの輸出量が激減すると景気は一気に冷え込み、経済成長率はマイナスにまで落ち込んだ。

失業率の悪化による治安の悪化、国内消費の低迷に加え、大統領や官僚の汚職事件の発覚、後任の大統領の失策など、ブラジル国民の心情としては五輪を開催している場合ではなく、各地で五輪反対のデモが起きるようになった。

このような政治的・経済的背景によって、五輪開催直前に、開催都市であるリオデジャネイロは財政難によって非常事態宣言を発動し、ブラジル政府は 29 億レアル(約 890 億円)の緊急支援を行うまでになった。

こうしたなかで開催された五輪が大成功を収めることもなく、南米大陸初の五輪は不満が残るものとなった。

本項の冒頭で、リオ五輪開催後の経済成長率を「マイナス成長からの V 字回復」と記述したが、それは政権交代によって最悪な状態から脱しただけに過ぎなかった

⑥日本(2020 年 東京五輪)

前述のとおり、東京での五輪開催は 2 回目であり、前回の東京五輪とは異なり、開催に必要な基本的な都市機能および交通インフラは整っていると言える。

競技施設などの施設建設は必要ではあるが、五輪開催のために新たに整備しなければならない交通インフラは多くない。特に今回の東京大会では、半径 8 km 圏内に競技施設の 85% を配置したことにより、東京の中心部をダイナミックに使いながらも、非常にコンパクトな会場配置となっていることから、五輪開催のためのインフラ整備は比較的少なくて済むと言える。そのため、新興国ほど建設投資が経済全体に与える影響は大きくなく、開催後の建設投資の急激な落ち込みによる景気の反動も少ないことが予想される。

現在の日本の経済成長率は、2017 年は 1.93%、

2018年は0.81%と、依然として低い水準で推移している（図2）。

これまで見てきた新興国のセオリーでいえば、開催2年前の2018年が建設投資のピークであることから、経済成長率も上伸傾向にあると予想できるが、若干の下落をみせているところからも分かります。五輪特需は日本経済に大きなインパクトを与えていないということである。

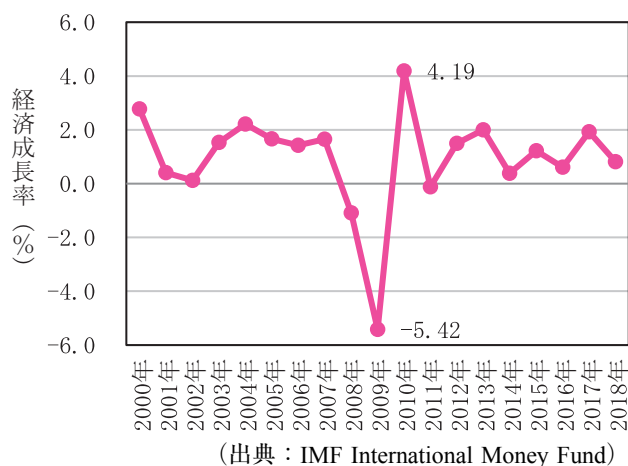


図2. 日本の経済成長率の推移

6. まとめ

五輪開催後に発生する不況の原因とは、開催前の建設投資・建設需要の急激な増加と、開催後の急激な減少のギャップにあると考えられる。最近の開催各国の傾向として、建設投資が集中する開催2年前をピークに、徐々に景気の減速は始まり、五輪開催と同時に建設特需は終わりを迎えている。そこで発生する建設需要の山と谷のギャップがその国の経済全体に与えるインパクトとなり、インパクトが大きいと景気は低迷し、インパクトが小さいと経済成長率の下振れ程度で済むと考えられる。

(1) 開催後の景気低迷の理由

五輪開催後、深刻な景気低迷に陥るのは、新興国である場合が多い。その理由としては、以下のことが考えられる。

①イチからインフラ整備

元々、社会インフラの整備が遅れており、交通インフラをはじめとする近代的な都市機能をイチから

整備するため、その規模および投資額は膨大にならざるを得ない。そのため、五輪開催までの建設特需が大きければ大きい程、特需が終わった後の失業率の増加などによって景気は後退する。

②短期間における整備

本来、中長期的な見通しのもとに行うべきインフラ整備を、数年で行おうとするため、投資計画の十分な吟味がなされず、過剰な建設投資を生む可能性が大きい。その結果、開催後の建設投資の激減によるギャップに起因する経済の低迷が引き起こされる。

③不安定な内政

経済が成長期にあるのと同様に、政治も成長期にあり、成熟した内政ではないことから不安定さが露呈する。賄賂や汚職といった犯罪も発生しやすく、またそれらの外的要因に大きな影響を受けやすい。

④開催後の明確な都市運営計画の無さ

開催後の用途に対する明確なビジョンがないまま、自国のスポーツ振興レベルにそぐわない大規模なメインスタジアムや競技施設を建設し、維持費が膨大になって財政を圧迫するか、適切な維持管理がされずに廃墟化する。

(2) 五輪開催とインフラ整備

五輪開催は、ある種の公共事業であるから、五輪開催に向けて多くの費用が投入され、様々なインフラ整備事業が前倒しで進むため、五輪開催後には前倒しした分の反動で、緊縮財政が待ち構えている。

しかし、ロンドン五輪における東部エリアの再開発のように、「五輪開催のために整備した」のではなく、「元々整備しなければならなかった整備を、五輪開催に併せて前倒しで行った」と考えると、インフラ整備によるストック効果を早く発現させることができるというメリットがある。

交通インフラ整備の効果は、短期的な経済の活性化（フロー効果）ではなく、ヒトの移動やモノの輸送にかかる費用と時間を低減することで生産性を向上させる長期的なストック効果である。そのため、開催翌年に一時的に経済成長率が下がったとして

も、整備された交通インフラが機能することで、国民生活の質や安全・安心性が増し、中長期的な経済効果が発揮される。

これが五輪開催におけるインフラの整備であると思われる。

(3) 五輪開催後の日本経済

ロンドン五輪の検証にもあったとおり、主要国における五輪特需の建設投資がもたらす経済的効果は、通常の経済活動によって得られる経済的効果と比べて微々たるものであることが多い。そのため、五輪特需が終わっても、大きく影響を受けることはないと考えられる。

G7 という主要国の一角を占め、世界第三位の経済大国である日本の経済が、2020 年の東京五輪開催後に停滞・低迷する可能性は非常に低いと考える。

もし、2020 年以降、日本経済が低迷した場合、その原因は五輪開催に起因するものである可能性は低いと思われる。

(4) 五輪開催後の建設需要

前述のとおり、東京五輪開催後に日本経済が低迷することはないため、日本国内における建設需要は急激には落ち込むことはないと考える。

現在進行形あるいは計画されているプロジェクトとしてはリニア中央新幹線、大阪万博、北海道・九州・北陸の 3 本の新幹線の延伸、各地での新線や新駅の建設といった鉄道ネットワークの充実・強化、渋谷駅・虎ノ門駅・東京駅周辺の大規模な再開発事業や、北梅田駅（仮称）周辺や名古屋駅周辺の再開発事業も進んでいる。

またこれ以外にも多くの公共事業、民間投資の発注が見込まれることから、五輪開催後の建設需要の大幅な減少はないものとする。

以上のとおり、五輪開催が景気に与える影響は、開催国の総体的な成熟度によって左右されることが

考えられる。つまり、自国の経済規模や開催規模に見合わない背伸びをした建設投資やインフラ整備は、国内経済の浮揚策として一時的な経済成長率の増加に効果を発揮するが、それはあくまで見かけの経済成長にすぎず、五輪特需の建設投資の終了と同時に国内経済は失速し、景気低迷を引き起こす可能性を孕んでいると考えられる。

そのなかで、日本、特に東京を含む首都圏においては既存の社会インフラは充実しており、五輪開催後の景気変動は少ないことが予想できる。また、東京以外の地方部では、現在進行中や五輪開催後に計画されている大型プロジェクトもあり、建設需要も比較的旺盛なことから、首都圏も含め、日本全体として考えた場合、五輪開催後の景気変動は僅かなものとする。

〈参考資料〉

- 国土交通省「2020 年東京オリンピック・パラリンピック競技大会に向けた国土交通省の取組」
<http://www.mlit.go.jp/common/001113047.pdf>
- 東京都オリンピック・パラリンピック準備局「新規恒久施設の施設運営計画」
<https://www.2020games.metro.tokyo.jp/taikaijyunbi/torikumi/riyou/uneikeikaku/index.html>
- 東京都オリンピック・パラリンピック準備局「東京都が整備する競技会場等の整備スケジュール」
<https://www.2020games.metro.tokyo.jp/taikaijyunbi/torikumi/facility/kyogi/index.html>
- 国立国会図書館 調査及び立法考査室 専門調査員 経済産業調査室主任 坂田和光「オリンピックと経済」
http://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo_9880033_po_078103.pdf?contentNo=1
- SankeiBiz「新興国でのオリンピック開催はなぜ増加？背景に“3つの理由”」
<https://www.sankeibiz.jp/macro/news/161121/mcb1611210500005-n1.htm>
- 日経 BizGate「五輪や W 杯、どれだけ開催国の経済に効くか」
<https://bizgate.nikkei.co.jp/article/DGXMZO3115155030052018000000>

調査研究報告

「個人住宅工事費の価格傾向に関する研究（その4）」の結果概要

総合研究所 技術研究課 主任研究員 山本 高史

I. 調査概要

1. 調査の目的

本研究は、個人住宅（戸建て住宅）の建物概要と新築工事費等のデータを収集・分析して、わが国の住宅建築に関する価格情報の充実を図ることを目的としている。

わが国の建築物に係る単価情報は、資材単価、労務単価、あるいは材工共の複合単価が主流であり、建物全体の単価情報は必ずしも十分とは言えない。これらのことから、当会では、2005年（平成17年）に「個人住宅工事費のマクロ的価格傾向に関する研究」を実施した。その後、不定期で調査を継続しており、今回は4回目の調査となった。

近年の住宅市場は、省エネルギー性能に優れた高機能住宅が注目を集めており、求められる性能も高度化している。それに伴い、建築工事費の構成も変わってきている。本調査では、住宅性能や設計仕様と建築工事費の関係把握を目的とし、実際に建築された個人住宅の建物概要とその価格情報を収集・分析し、その結果をとりまとめた。また、前回調査（2016年着工物件）の結果との比較を行い、この間の傾向についてもとりまとめた。

2. 調査の方法と内容

個人住宅に係る情報を収集するため、自記式のアンケート調査票を作成し、全国の建設会社、工務店、ハウスメーカー等に配布し、調査協力を依頼した。そこで得られたデータを集計・分析し、その結果をとりまとめ、報告書を作成した。

調査の主な内容は以下のとおりであった。

(1) 建物概要

建物概要では、建築工法、施工場所、供給方式、住宅の種類、設計者属性、工期、長期優良住宅認定制度の利用、ZEH補助金の活用、エネルギー供給方式、法定延床面積、建築面積、敷地面積、階数、

軒高について調査を行った。

(2) 主な仕様・仕上

屋根、外壁については、代表的な仕様・仕上を例示し、選択してもらった。

(3) 工事費

工事費は、当初契約分の金額を対象としている。内訳の科目は、公益社団法人日本建築士会連合会の木造工事用の参考書式の分類に基づき、調査を行った（表1）。

表1 工事費の科目分類

大科目	科 目
01. 仮設	仮設
02. 基礎(地盤改良・杭)	基礎、地盤改良、杭
03. 躯体(主要構造材)	木工事(躯体)
04. 屋根(樋除く)	屋根
05-1. 金属製建具(ガラス含)	金属製建具、ガラス
05-2. 木製建具	木製建具
06. 防水	屋根防水、バルコニー防水
07. 仕上	石、タイル、左官、木工事(仕上・造作)、金属、塗装・吹付、外壁(サイディング)、内装、断熱・気密、雑
08. 住宅設備	キッチンユニット、バスユニット、洗面化粧台ユニット
09. 建築その他	その他
10. 電気設備	電気設備、照明・弱電含む(インターネット等)、エコキュート
11. 給排水設備	給水、排水、トイレ
12. ガス設備	ガス給湯設備(エコジョーズ等含む)、ガス床暖房
13. 冷暖房・換気設備	エアコン、換気設備、床暖房設備
14. 昇降機設備	ホームエレベーター
15. 省エネルギー設備	太陽光発電設備、
16. 設備その他	耐震設備、防災・防犯設備、等
17. 外構・造園	フェンス、カーポート、ウッドデッキ、植栽、等
18. 解体・撤去	古家の解体・撤去、等
19. 発生材処分費	発生材処分費
20. その他	その他(上記に分類されないもの)
21. 諸経費等	現場管理費、一般管理費等
22. 出精値引・端数処理	出精値引、端数処理
23. 総工事費	上記合計※

※. 上記のうち、17～20の付帯工事費は総工事費の集計対象から除外した。

(4) 設計費等費用

設計費は、まず計上の仕方（工事費との分離）を確認し、続いて設計費、設計監理費に区分して、その内訳金額の調査を行った。

3. アンケート調査の実施

調査は、2018年に着工した全国47都道府県の個人住宅新築工事を対象に実施した（表2）。

表2 調査結果

調査項目	内 容
調査対象物件	2018年以降に着工した個人住宅（戸建）の新築工事 ・二世帯・三世帯住宅や事務所・店舗・賃貸併用を含む ・既存住宅への増築やリフォームは含まない
調査対象地域	47都道府県
調査先	建設会社、工務店、ハウスメーカー、設計事務所、 不動産会社、発注機関
回収標本数・回収率	451件、8.6%（183社/2,134社） 参考：前回調査568件、9.2%（169社/1,838社）
調査対象工事費	工事当初の契約金額
調査対象金額	消費税を除く総工事費および各科目、設計費

II. 調査結果の概要

収集したデータを元に、建物概要、仕様・仕上の傾向、総工事費単価の傾向、科目単価の傾向、設計費の傾向について集計を行った。

1. 建物概要

(1) 所在地

全国を10地区に分けて集計を行った。標本分布の内訳は、東北が85件（18.8%）、関東が83件（18.4%）、中部が73件（16.2%）となった（表3）。

表3 所在地別の標本数

地域区分	2016年調査		2018年調査	
	標本数 (件)	構成率 (%)	標本数 (件)	構成率 (%)
北海道	32	5.6	25	5.5
東北	79	13.9	85	18.8
関東	171	30.1	83	18.4
北陸	23	4.0	25	5.5
中部	72	12.7	73	16.2
近畿	61	10.7	57	12.6
中国	41	7.2	24	5.3
四国	15	2.6	13	2.9
九州	69	12.1	61	13.5
沖縄	5	0.9	5	1.1
合計	568	100.0	451	100.0

(2) 工法

工法は、木造軸組工法が315件（69.8%）、続いて2×4・2×6工法が111件（24.6%）となった（図1）。

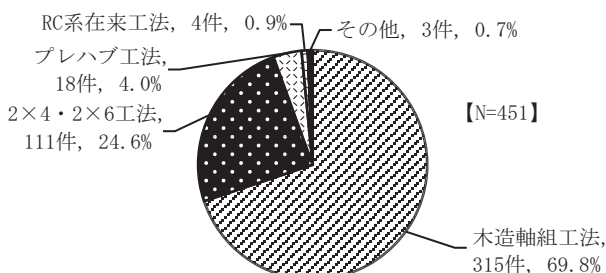


図1 工法別の標本数

(3) 供給方式

供給方式は、注文建築が406件（90.0%）、建売建築が44件（9.8%）となった（図2）。

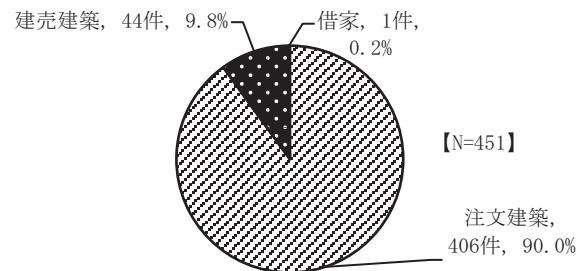


図2 供給方式別の標本数

(4) 住宅の種類

住宅の種類は、専用住宅が424件（94.0%）、二世帯・三世帯住宅が10件（2.2%）となった（図3）。

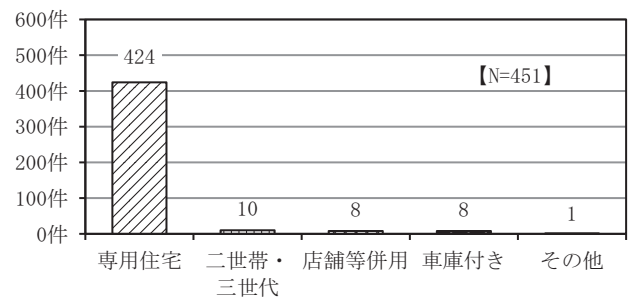


図3 住宅の種類別の標本数

(5) 設計者属性

設計者属性は、設計事務所が43件（9.5%）、施工会社が404件（89.6%）となった（図4）。

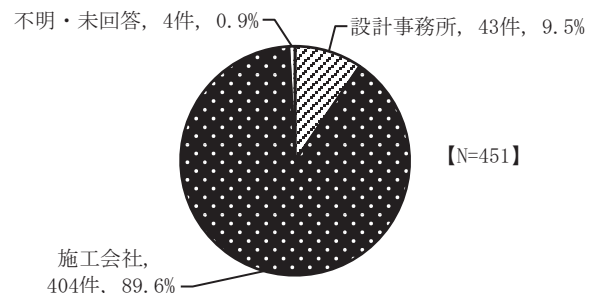


図4 設計者属性の標本数

(6) 工期

工期は、約4ヶ月が168件（37.3%）、約5ヶ月が102件（22.6%）、約3ヶ月が86件（19.1%）となった（図5）。

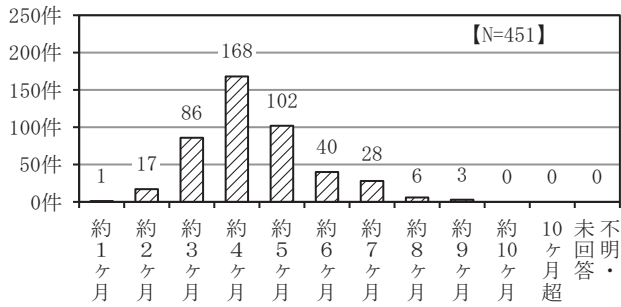


図5 工期

(7) 長期優良住宅認定制度

長期優良住宅認定制度は、利用が122件(27.1%)、未利用が329件(72.9%)となった(図6)。

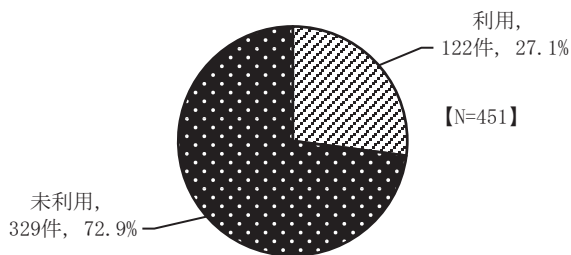


図6 長期優良住宅認定制度

(8) ZEH 助成金制度

ZEH 助成金制度は、利用が14件(3.1%)、未利用が437件(96.9%)となった(図7)。

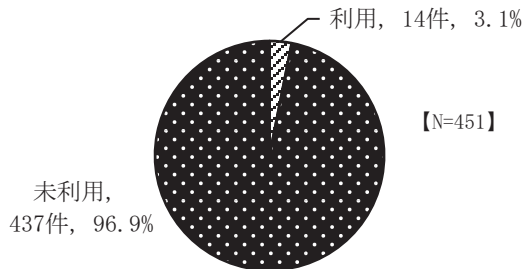


図7 ZEH 助成金制度

(9) エネルギー供給方式

エネルギー供給方式は、ガス電気併用が183件(40.6%)、オール電化が268件(59.4%)となった(図8)。

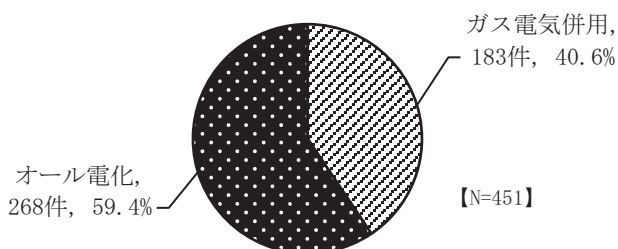


図8 エネルギー供給方式

(10) 敷地面積

敷地面積は、150～200㎡が101件(22.4%)、200～250㎡が75件(16.6%)、250～300㎡が68件(15.1%)となった(図9)。最小値は29.2㎡、中央値は229.2㎡、平均値は281.0㎡、最大値は3,279.0㎡となった。

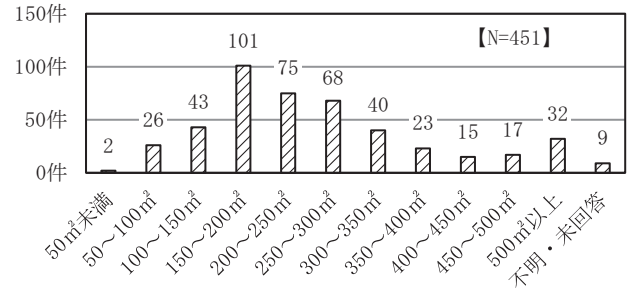


図9 敷地面積

(11) 建築面積

建築面積は、60～70㎡が98件(21.7%)、50～60㎡と70～80㎡が69件(15.3%)となった(図10)。

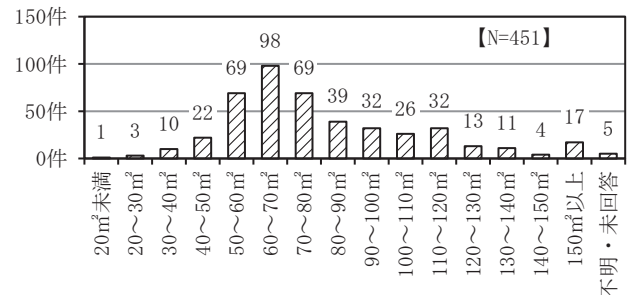


図10 建築面積

(12) 延床面積

延床面積は、100～110㎡が85件(18.8%)、110～120㎡が79件(17.5%)、120～130㎡が77件(17.1%)となった。最小値は53.7㎡、中央値は116.1㎡、平均値は126.5㎡、最大値は503.9㎡となった。2016年調査の傾向と比較すると、狭くなる傾向にシフトしていることが分かった(図11)。

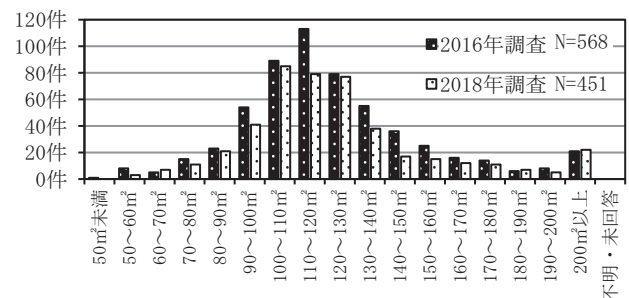


図11 延床面積 (2016年調査との比較)

(13) 地上階数

地上階数は、2階建てが373件（82.7%）、1階建て（平屋）が57件（12.6%）、3階建てが20件（0.2%）となった（図12）。過去調査では上がらなかった4階建ての標本が1件あった。

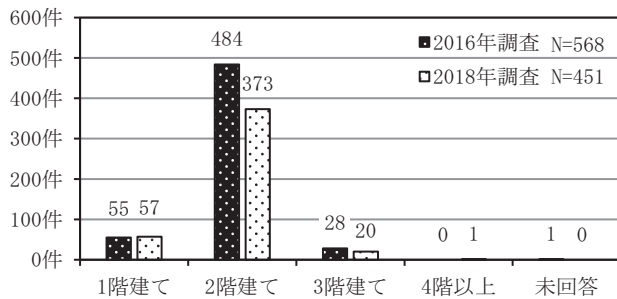


図12 地上階数

(14) 地下階数

地下階数は、なしが449件（99.6%）であった（図13）。

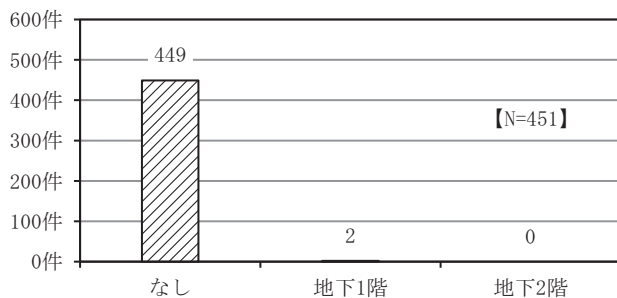


図13 地下階数

(15) 1階建て（平屋）の軒高

1階建ての軒高は、3.4～3.6mが23件（40.4%）、3.6～3.8mが9件（15.8%）、3.2～3.4mが8件（14.0%）となった（図14）。

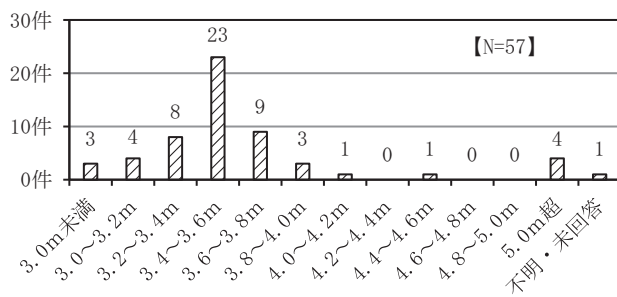


図14 1階建ての軒高

(16) 2階建ての軒高

2階建ての軒高は、6.0～6.2mが76件（20.4%）、6.2～6.4mが73件（19.6%）、6.4～6.6mが69件（18.5%）となった（図15）。

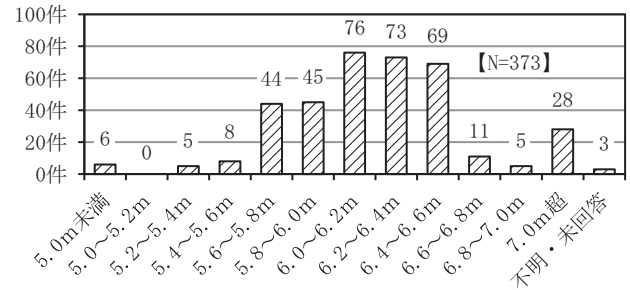


図15 2階建ての軒高

(17) 3階建ての軒高

3階建ての軒高は、8.6～8.8m・8.8～8.9m・9.0～9.2mが各4件（20.0%）となった（図16）。

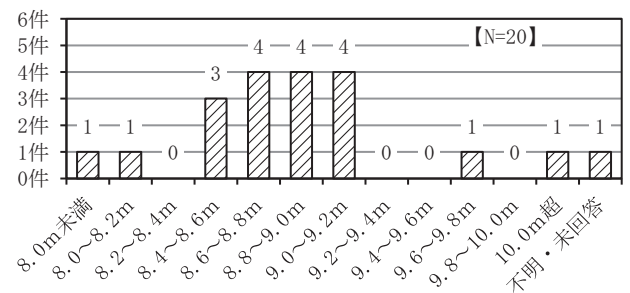


図16 3階建ての軒高

2. 仕様・仕上の傾向

(1) 地盤改良・杭工事

地盤改良・杭工事は、なしが306件（67.8%）、地盤改良工事が92件（20.4%）となった（図17）。

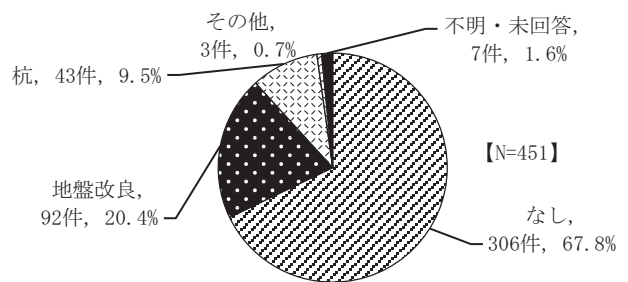


図17 地盤改良・杭工事

(2) 基礎工事

基礎工事は、ベタ基礎が352件(78.0%)、布基礎が90件(20.0%)となった(図18)。

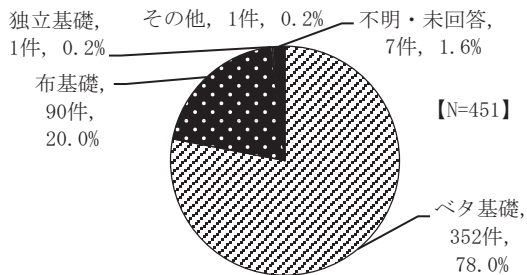


図18 基礎工事

(3) 金属製建具

金属製建具は、樹脂製が197件(43.9%)、樹脂製+アルミ製が180件(39.9%)、アルミ製が58件(12.9%)となった(図19)。

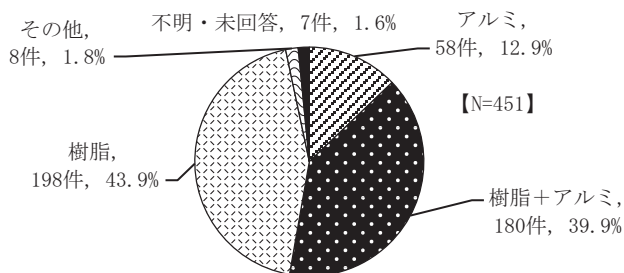


図19 金属製建具

(4) 主要窓ガラス

主要窓ガラスは、Low-Eが338件(74.9%)、ト複層(Low-E以外)が64件(14.2%)、トリプルガラスが37件(8.2%)となった(図20)。

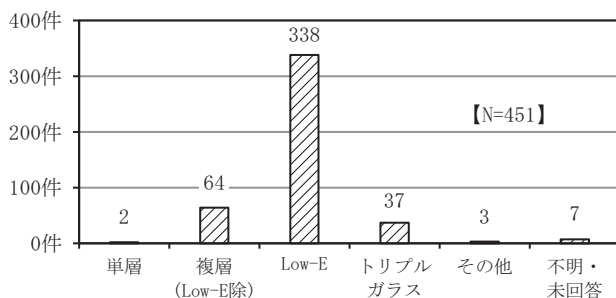


図20 主要窓ガラス

(5) 屋根仕上材

屋根仕上材は、ガルバリウム鋼板が176件(39.0%)、カラーベスト・スレート系が119件(26.4%)、洋瓦が59件(13.1%)となった(図21)。

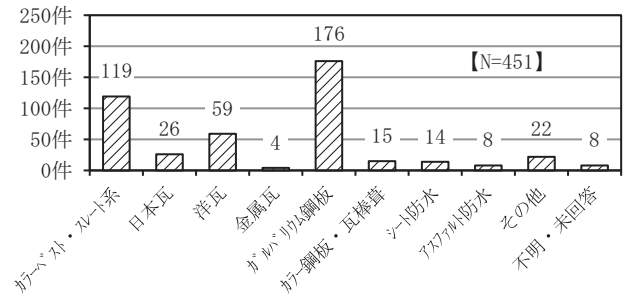


図21 屋根仕上材

(6) 外壁仕上材

外壁仕上材は、窯業系サイディングが290件(64.3%)、金属系サイディングが45件(10.0%)となった(図22)。

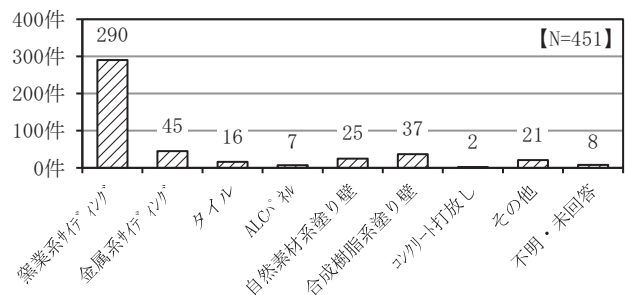


図22 外壁仕上材

(7) 主要柱材

主要柱材は、複数選択可能で、スギが118件(27.2%)、SPFが95件(21.9%)、ヒノキが69件(15.9%)、ホワイトウッドが60件(13.8%)となった(図23)。

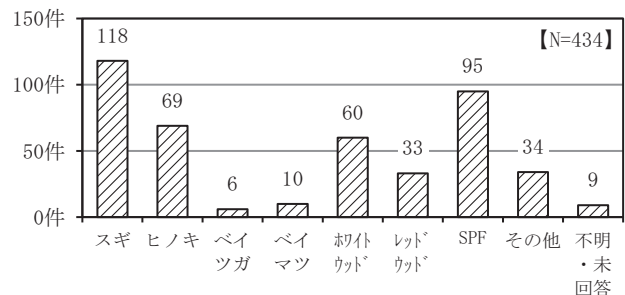


図23 主要柱材

(8) 主要横架材

主要横架材は、複数選択可能で、ベイマツが133件(30.6%)、スギが88件(20.3%)、SPFが79件(18.2%)となった(図24)。

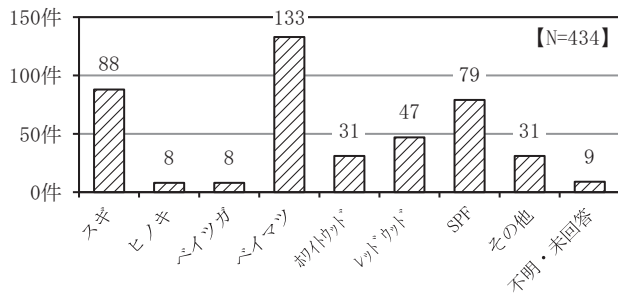


図24 主要横架材

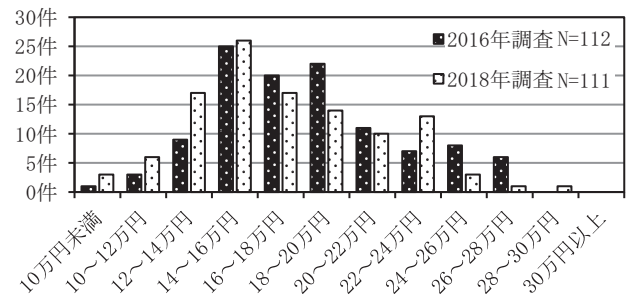


図27 2×4・2×6工法の総工事費単価

3. 総工事費単価の傾向

総工事費単価は、付帯工事費を除いた総工事費を延床面積で除して求めた。なお、他の標本と著しく離れた標本については、外れ値として排除して集計を行った。

(1) 概要

工法毎に総工事費単価の分布について集計を行い（図25～28）、2016年調査との比較によって経年的な変動を把握した（表4）。

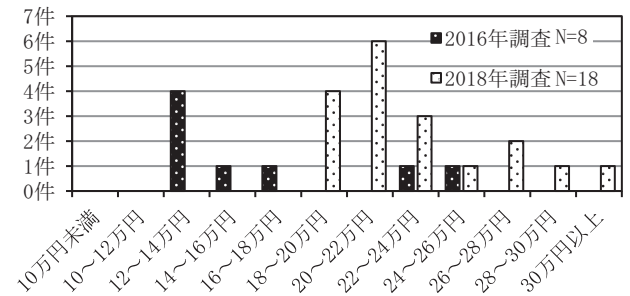


図28 プレハブ工法の総工事費単価

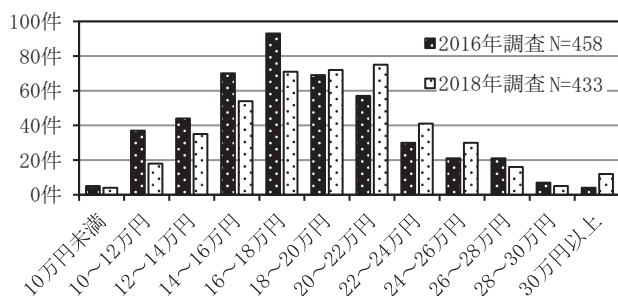


図25 全工法での総工事費単価

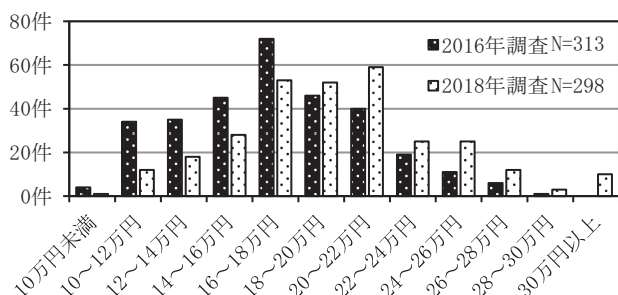


図26 木造軸組工法の総工事費単価

表4 工法別の総工事費単価の集計値

(単位：円/㎡)				
数値	調査年	全工法	木造軸組工法	2×4・2×6工法 プレハブ工法
標本数	2016年	458件	313件	112件
	2018年	433件	298件	111件
最小値	2016年	93,974	93,974	97,539
	2018年	89,791	97,500	89,791
中央値	2016年	175,070	169,259	178,774
	2018年	189,647	193,603	163,725
平均値	2016年	180,548	171,893	182,489
	2018年	192,020	196,658	171,032
最大値	2016年	308,711	281,048	278,317
	2018年	383,749	383,749	282,179

(2) 総工事費単価の傾向

工法毎に、延床面積に対する総工事費単価の分布の傾向をまとめた（図29～32）。図中の破線は、それぞれ延床面積と総工事費単価の平均値を示す。

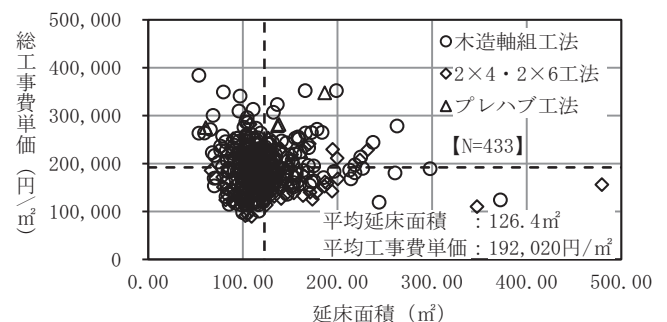


図29 3工法の総工事費単価の傾向

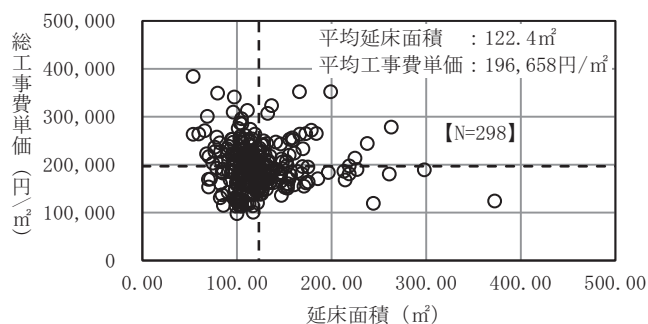


図30 木造軸組工法の総工事費単価の傾向

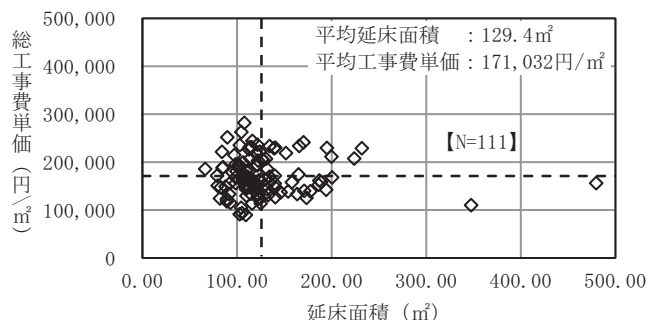


図31 2×4・2×6工法の総工事費単価の傾向

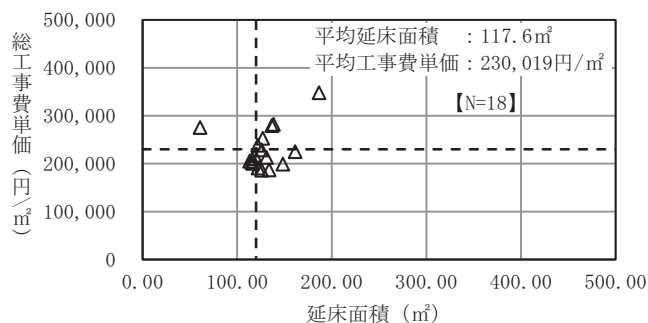


図32 プレハブ工法の総工事費単価の傾向

平均延床面積は、2×4・2×6工法が129.4㎡となったのに対し、プレハブ工法は117.6㎡と10㎡以上の差となった。一方、平均総工事費単価は、プレハブ工法が230,019円/㎡となったのに対し、2×4・2×6工法は171,032円/㎡と50,000円/㎡以上の差となった。

(3) 地域別の総工事費単価

地域別の総工事費単価の傾向をまとめた(表5)。全工法においては全地域で上伸となった。北海道・四国・沖縄では変動率10%以上の上伸となった。木造軸組工法においては、四国以外で上伸、近畿・中国以外では10%を超える大幅上伸となった。2×4・2×6工法においては、変動が確認できなかった

北陸・四国・沖縄を除き、東北以外の地域において下落となった。プレハブ工法においては、変動が確認できた2地域のうち、中部では10%以上の下落、九州では20%以上の上伸となった。

表5 地域別・工法別の総工事費単価の傾向

		(単位: 円/㎡)							
地域	調査年	全工法		木造軸組工法		2×4・2×6工法		プレハブ工法	
		総工事費単価	変動率	総工事費単価	変動率	総工事費単価	変動率	総工事費単価	変動率
北海道	2016年	166,537		126,729		180,384		—	
	2018年	186,436	11.9%	193,233	52.5%	176,240	▲2.3%	—	—
東北	2016年	177,641		178,042		161,182		213,836	
	2018年	188,745	6.3%	196,442	10.3%	171,813	6.6%	—	—
関東	2016年	180,328		164,584		199,219		—	
	2018年	193,362	7.2%	195,800	19.0%	163,147	▲18.1%	235,542	—
北陸	2016年	178,633		162,458		—		—	
	2018年	179,700	0.6%	185,784	14.4%	164,490	—	—	—
中部	2016年	190,838		184,753		168,590		240,809	
	2018年	200,669	5.2%	205,464	11.2%	184,846	9.6%	216,478	▲10.1%
近畿	2016年	177,594		172,597		176,302		—	
	2018年	184,322	3.8%	184,084	6.7%	166,040	▲5.8%	219,153	—
中国	2016年	193,975		189,165		173,228		—	
	2018年	201,265	3.8%	206,961	9.4%	163,292	▲5.7%	—	—
四国	2016年	139,530		139,530		—		—	
	2018年	166,695	19.5%	123,878	▲11.2%	185,045	—	—	—
九州	2016年	186,550		180,438		178,939		223,629	
	2018年	194,652	4.3%	201,436	11.6%	146,963	▲17.9%	275,275	23.1%
沖縄	2016年	143,941		143,941		—		—	
	2018年	245,016	70.2%	245,016	70.2%	—	—	—	—
全国	2016年	180,155		171,345		180,874		207,238	
	2018年	192,020	6.6%	196,658	14.8%	171,032	▲5.4%	230,019	11.0%

(4) 供給方式別の総工事費単価

供給方式別の平均の総工事費単価の傾向とまとめた(表6)。注文建築においては、木造軸組工法が10%を超える大幅上伸となり、建売建築においては2×4・2×6工法が20%を超える大幅下落となった。

表6 供給方式別の総工事費平均単価

		(単位: 円/㎡)					
工法	調査年	注文建築		建売建築		借家	
		総工事費単価	変動率	総工事費単価	変動率	総工事費単価	変動率
全工法	2016年	183,863		145,595		190,176	
	2018年	198,519	8.0%	135,525	▲6.9%	—	—
木造軸組工法	2016年	179,697		138,461		164,835	
	2018年	202,499	12.7%	140,340	1.4%	—	—
2×4・2×6工法	2016年	187,595		160,300		215,517	
	2018年	178,667	▲4.8%	127,097	▲20.7%	—	—
プレハブ工法	2016年	233,143		—		—	
	2018年	230,019	▲1.3%	—	—	—	—

4. 科目単価の傾向

(1) 概要

科目別に集計を行い、2016年調査の統計値と比較を行った（表7）。冷暖房・換気設備、省エネルギー設備は、すべての統計値において上伸傾向を示し、仕上、住宅設備、ガス設備、諸経費率は、すべての統計値において下落傾向を示した。特に冷暖房・換気設備と諸経費率については、平均値で10%を超える上伸率となり、ガス設備については、平均値で20%を超える下落率となった。

表7 科目単価の傾向

(単位：円/㎡)

科目	区分	標本数	最小値	25%値	中央値	平均値	75%値	最大値
仮設	2016年	457件	1,200	3,999	5,297	5,627	6,944	13,419
	2018年	418件	943	3,784	5,471	5,704	7,338	13,414
	変動率	—	▲21.4%	▲5.4%	3.3%	1.4%	5.7%	▲0.0%
	2016年	444件	5,073	10,811	13,501	14,502	17,403	30,245
基礎	2018年	422件	4,748	11,320	14,201	15,609	18,895	34,514
	変動率	—	▲6.4%	4.7%	5.2%	7.6%	8.6%	14.1%
	2016年	467件	10,615	30,758	40,133	43,709	53,003	107,793
	2018年	417件	16,039	31,932	41,879	45,027	55,301	103,643
躯体	2016年	444件	1,203	4,249	5,603	6,002	7,363	17,065
	2018年	414件	1,182	4,314	5,944	6,445	8,174	15,892
	変動率	—	▲1.7%	1.5%	6.1%	7.4%	11.0%	▲6.9%
	2016年	435件	1,045	7,491	9,867	10,997	13,199	114,761
金属製 建具	2018年	421件	3,773	8,004	9,767	10,516	12,548	27,834
	変動率	—	261.0%	6.8%	▲1.0%	▲4.4%	▲4.9%	▲75.7%
	2016年	396件	1,035	3,776	5,498	6,193	7,520	23,067
	2018年	389件	1,365	4,194	5,594	6,032	7,129	15,414
木製 建具	2016年	345件	80	794	1,261	1,774	1,995	19,223
	2018年	315件	74	757	1,266	1,621	2,067	9,722
	変動率	—	▲6.9%	▲4.7%	0.4%	▲8.6%	3.6%	▲49.4%
	2016年	461件	13,024	32,165	44,181	45,344	55,368	130,375
仕上	2018年	421件	11,819	29,776	38,730	43,183	53,934	119,188
	変動率	—	▲9.2%	▲7.4%	▲12.3%	▲4.8%	▲2.6%	▲8.6%
	2016年	451件	3,047	8,481	11,402	12,393	14,927	97,981
	2018年	429件	1,790	8,127	10,474	11,182	13,496	28,247
住宅 設備	2016年	133件	205	1,263	3,069	5,304	5,415	63,282
	2018年	231件	244	3,164	6,686	8,371	12,034	28,103
	変動率	—	19.1%	150.5%	117.9%	57.8%	122.3%	▲55.6%
	2016年	460件	2,563	5,809	7,710	8,171	9,911	41,524
建築 その他	2018年	427件	2,020	6,979	9,116	9,441	11,515	33,913
	変動率	—	▲21.2%	20.1%	18.2%	15.5%	16.2%	▲18.3%
	2016年	460件	999	6,741	9,292	9,953	12,466	25,167
	2018年	415件	2,083	6,796	9,139	9,543	12,091	20,333
電気 設備	2016年	415件	2,083	6,796	9,139	9,543	12,091	20,333
	2018年	415件	2,083	6,796	9,139	9,543	12,091	20,333
	変動率	—	108.6%	0.8%	▲1.6%	▲4.1%	▲3.0%	▲19.2%
	2016年	198件	1,041	2,597	3,824	4,444	5,522	15,643
給排水 設備	2018年	139件	351	2,032	2,970	3,361	4,184	4,581
	変動率	—	▲66.3%	▲21.7%	▲22.3%	▲24.4%	▲24.2%	▲70.7%
	2016年	356件	122	1,272	3,550	4,322	5,951	15,032
	2018年	359件	142	1,763	4,114	4,922	7,537	17,624
冷暖房 換気 設備	2016年	3件	5,724	6,133	6,542	9,882	11,961	17,381
	2018年	6件	4,862	6,175	9,640	9,339	12,609	13,271
	変動率	—	▲15.1%	0.7%	47.4%	▲5.5%	5.4%	▲23.6%
	2016年	142件	1,490	2,543	4,245	7,919	12,374	30,930
省エネ 設備	2018年	77件	1,576	8,526	11,481	13,045	15,873	32,071
	変動率	—	5.8%	235.2%	170.5%	64.7%	28.3%	3.7%
	2016年	38件	1,337	2,027	3,109	3,104	3,870	5,755
	2018年	31件	1,235	2,235	2,889	3,223	3,907	5,954
設備 その他	2016年	360件	1.1%	4.7%	8.0%	8.7%	11.3%	27.0%
	2018年	375件	1.0%	4.2%	6.8%	7.8%	10.5%	22.2%
	変動率	—	▲11.8%	▲10.1%	▲14.7%	▲10.3%	▲7.0%	▲17.6%
	2016年	205件	0.0%	0.4%	2.6%	3.9%	6.7%	13.6%
諸経費 率	2018年	181件	0.0%	0.3%	1.4%	2.5%	3.3%	11.4%
	変動率	—	▲1213.3%	▲32.6%	▲43.9%	▲35.6%	▲50.1%	▲16.0%
	2016年	205件	0.0%	0.4%	2.6%	3.9%	6.7%	13.6%
	2018年	181件	0.0%	0.3%	1.4%	2.5%	3.3%	11.4%
出精 値引率	2016年	205件	0.0%	0.4%	2.6%	3.9%	6.7%	13.6%
	2018年	181件	0.0%	0.3%	1.4%	2.5%	3.3%	11.4%
	変動率	—	▲1213.3%	▲32.6%	▲43.9%	▲35.6%	▲50.1%	▲16.0%
	2016年	205件	0.0%	0.4%	2.6%	3.9%	6.7%	13.6%

5. 設計費の傾向

(1) 設計費の計上方法

設計費が工事費に含まれているか集計した結果、工事費に含むが6割以上となった（図33）。

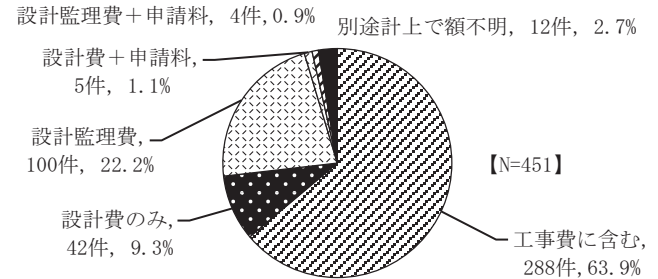


図33 設計費の計上方法

(2) 設計費の分布

工事費とは別に計上された設計費の分布の傾向をまとめた（図34）。最頻価格帯は50～60万円となり、最小値は72,120円、中央値は490,000円、平均値は568,593円、最大値は1,500,000円となった。

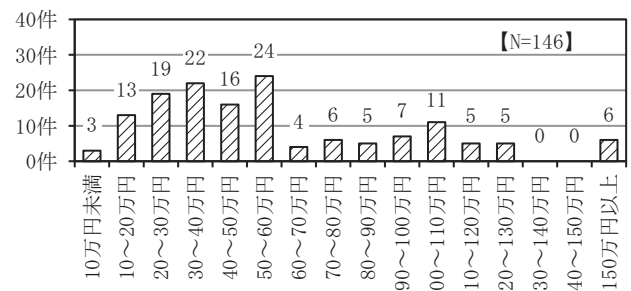


図34 設計費の分布

(3) 設計費単価の分布

工事費と別途計上された設計費単価の分布の傾向をまとめた（図35）。全工法における最頻価格帯は2,000～3,000円/㎡となり、最小値は907円/㎡、中央値は3,732円/㎡、平均値は4,593円/㎡、最大値は12,108円/㎡となった（表8）。

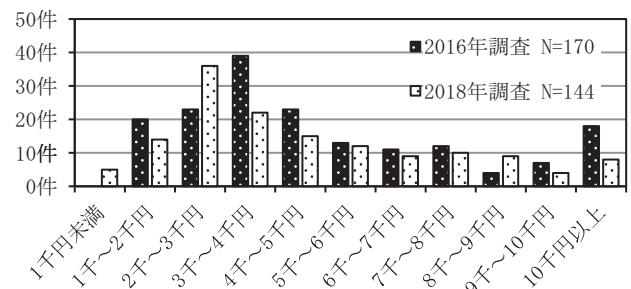


図35 設計費単価の分布

表 8 工法別の設計費単価

(単位：円/㎡)									
集計値	全工法		木造軸組工法		2×4・2×6		プレハブ		
	2016 年調査	2018 年調査	2016 年調査	2018 年調査	2016 年調査	2018 年調査	2016 年調査	2018 年調査	
最小値	873	907	873	1,165	900	907	—	2,000	
中央値	4,350	3,732	4,348	3,732	3,472	3,078	—	3,004	
平均値	5,168	4,593	4,893	4,767	3,935	3,729	—	4,506	
最大値	13,817	12,108	12,838	12,108	10,046	8,354	—	8,697	

(4) 設計者属性による設計費の傾向

平均設計費単価は、全工法の設計事務所の設計費単価は 5,753 円/㎡であったのに対し、施工会社の設計費単価は 4,525 円/㎡となった（表 9）。

表 9 設計者属性による設計費単価

設計者属性	区分	全工法		木造軸組工法		2×4・2×6 工法	
		2016 年調査	2018 年調査	2016 年調査	2018 年調査	2016 年調査	2018 年調査
設計事務所	標本数	14 件	11 件	11 件	6 件	2 件	5 件
	設計費単価	6,790	5,753	8,093	5,089	3,458	6,550
施工会社	標本数	156 件	129 件	106 件	94 件	34 件	23 件
	設計費単価	5,007	4,525	4,561	4,747	3,963	3,116

(5) 設計者と供給方法および工法の関係

設計者と供給方式および工法についてクロス集計を行った（表 10）。施工会社における設計費率は、木造軸組工法、2×4・2×6 工法ともに 2016 年調査から下落していることが分かった。

表 10 設計者と供給方式のクロス集計

工法	区分	設計事務所				施工会社			
		注文建築		建売建築		注文建築		建売建築	
		2016 年調査	2018 年調査	2016 年調査	2018 年調査	2016 年調査	2018 年調査	2016 年調査	2018 年調査
全工法	有効標本数	19 件	10 件	1 件	1 件	135 件	113 件	23 件	16 件
	設計費単価	12,211	5,773	3,083	5,555	5,318	4,754	4,273	2,909
	総工事費単価	199,251	214,384	100,012	147,012	179,169	191,745	141,617	135,113
	設計費率	6.1%	2.7%	3.1%	3.8%	3.0%	2.5%	3.0%	2.2%
木造軸組工法	有効標本数	17 件	5 件	1 件	1 件	90 件	84 件	18 件	10 件
	設計費単価	13,241	4,996	3,083	5,555	4,928	4,951	4,699	3,037
	総工事費単価	204,257	214,837	100,012	146,966	173,341	195,538	141,098	139,805
	設計費率	6.5%	2.3%	3.1%	3.8%	2.8%	2.5%	3.3%	2.2%
2×4・2×6 工法	有効標本数	2 件	5 件	0 件	0 件	40 件	17 件	4 件	6 件
	設計費単価	3,458	6,550	—	—	6,237	3,264	3,169	2,696
	総工事費単価	156,705	198,740	—	—	184,456	174,805	133,458	128,313
	設計費率	2.2%	3.3%	—	—	3.4%	1.9%	2.4%	2.1%
プレハブ工法	有効標本数	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	9 件	0 件	0 件
	設計費単価	—	—	—	—	—	4,909	—	—
	総工事費単価	—	—	—	—	—	220,001	—	—
	設計費率	—	—	—	—	—	2.2%	—	—

6. まとめ

2016 年調査と異なる傾向が見られた項目についてとりまとめた。

(1) エネルギー供給方法

2016 年調査では、ガス・電気併用が 47.7%、オール電化が 49.6% とほぼ同率であったが、今回調査では、ガス・電気併用が 40.6%、オール電化が 59.4% となり、オール電化が約 10% も増加した。これは、東日本大震災以降、激減したオール電化住宅の需要が復活傾向にあるからであると見られる。

(2) 延床面積

2016 年調査の最頻値帯 110～120 ㎡に対し、今回調査では、100～110 ㎡が最頻値帯となり、若干ながら延床面積が縮小傾向にあることが示された。これは、核家族化や少子高齢化による世帯構成人数の減少や、子供の独立後を見据えたコンパクト仕様の住宅の増加等により、延床面積が縮小傾向にあるためと考えられる。

(3) 地上階数

今回調査では、2016 年調査では挙げられなかった 4 階建ての標本が 1 件あった。従来から 4 階建ての建築実績はあったであろうが、本調査の対象となることはなかった。現在では、強度と耐火性能を高める特殊加工を施した木材により、2000 年改正の建築基準法に適合した 4 階建て木造住宅も建てられるようになっている。用途地域による建ぺい率や容積率、高さ制限といった様々な法規制の範囲内となるが、今後、木造 4 階建ての個人住宅も徐々に増えていくものと考えられる。

(4) 総工事費単価

全工法における総工事費単価の傾向は、2016 年調査では、16 万円以上 18 万円未満が最頻値であったが、今回調査では、20 万円以上 22 万円未満が 17.6% を占めて最頻値となり、上伸傾向が見られた（表 4）。割合を占める上位 3 つの価格帯で比較をしても、全体的に高値方向にシフトしているのが分かった（図 25）。これは、近年の建設労働者の不足による人件費の増加が大きく影響していると思われる。

(5) 設計費単価

全工法における設計費単価の傾向は、2016 年調査では 3,000 円以上 4,000 円未満が最頻値だったが、

今回調査では、2,000 円以上 3,000 円未満が最頻値となり、下落傾向が見られた（図 35）。ただし、図 33 のとおり、設計費は工事費に含むと回答した標本が 63.9% を占めており、半数以上が設計費を別途計上していない。そのため、この集計結果だけで設計費の傾向を表している訳ではないことを留意いただきたい。

7. おわりに

本調査では、多くの方々のご理解とご協力により、貴重な情報を得ることができた。これらのデータにより、多様な建築工事費、設計費に関する詳細な分析が可能になり、個人住宅の建築工事費等の現

状を確認することができた。しかし、工法によっては十分な標本が得られていないものもある。今後も継続して調査を実施し、さらなる価格情報の充実を図る所存である。

【本調査に関する問い合わせ先】

一般財団法人 建設物価調査会 総合研究所
〒103-0011

東京都中央区日本橋大伝馬町 11 番 8 号

（フジスタービル日本橋）

TEL：03-3663-7235 FAX：03-3663-0966

E-mail：soken-info@kensetu-bukka.or.jp

調査研究報告

建築プライスレポート 2018

総合研究所 技術研究課 主任研究員 丸木 健

はじめに

建築着工統計（国土交通省）、JBCI（一般財団法人 建設物価調査会）、建築費指数（一般財団法人 建設物価調査会）などの統計資料を用いて、非木造建物の直近の着工量の傾向や建築費の動向等を把握することを目的とし、各種データを作成した。

使用データについて

使用した各統計のデータの概要を表 1-1～4 に示す。なお、すべてのデータには消費税は含まれない。

〔建築着工統計について〕

建築着工統計は、国土交通省が 1950 年から公表している建物に関する統計データで、建築工事届を元に集計した情報であり、日本国内の全建物の着工状況を把握することができる。

表 1-1 建築着工統計 使用データ

項目	内容
期間	2009～2018年
対象建物	非木造
地域	全国（都道府県別）
データ	工事費予定額、建築単価（工事費予定額/床面積）

〔JBCI について〕

JBCI は、一般財団法人建設物価調査会総合研究所が 1999 年から実施している非木造建物の契約価格に関する実態調査の結果をまとめた情報である。

用途別や地域別の建築費の分布傾向や、躯体・仕上・設備等の構成割合など、建物の概算価格の把握や再調達原価の算出の参考となる情報である。

表 1-2 JBCI 使用データ

項目	内容
期間	2009～2018年
対象建物	非木造
地域	全国（地域別）
データ	総工事費単価、科目別単価 ※法定延床面積当りの単価

〔建築費指数について〕

建築費指数は、一般財団法人建設物価調査会が 1980 年から作成している建築費に関する物価指数で、主に建設物価調査会が調査した資材価格や工事費の情報を基に作成した情報である。

投入コスト（原価）から算出した建物全体の建築費、科目別工事費の動向を把握することができる。

表 1-3 建築費指数 使用データ

項目	内容
期間	2009～2018年
対象建物	住宅RC造、事務所S造
地域	東京、大阪
データ	工事原価指数（2011年基準）

〔建設資材物価指数について〕

建築費指数が建築費に関する物価指数であるのに対し、建設資材物価指数は一般財団法人建設物価調査会が作成している建設資材に関する物価指数で、建設物価調査会が調査した資材価格の情報を基に作成した情報である。

表 1-4 建設資材指数 使用データ

項目	内容
期間	2009～2018年
地域	東京、大阪
データ	建設部門

建築着工状況の傾向

建築着工統計を基に、東京圏(東京都、神奈川県、千葉県、埼玉県)、大阪圏(大阪府、京都府、兵庫県)、全国(東京圏、大阪圏除く)の地域ごとに、建物用途別の着工状況(工事費予定額)をまとめ、図1に予定額の推移、表2に用途別の工事費予定額を示す。

[東京圏の傾向]

東京圏は2017年までは増加傾向が続いていたが、2018年は2010年以来の減少となった。しかし、2018年の予定額は2010年前後の低迷時期に比べ約1.4倍まで増加した。

[大阪圏・全国の傾向]

大阪圏は2017年まで緩やかな増加傾向であったが、2018年は7%減少した。東京圏に比べ増加の幅は小さく、2018年は2010年比の約1.2倍である。

全国(東京圏・大阪圏除く)では、2018年は1%増加となり、2010年以降の増加傾向は続いている。

[用途別の傾向]

用途別にみると、住宅は2011以降増加していたが、東京圏では2018年約-20%と大幅に減少した。また、事務所についても東京圏では、2018年約-30%と大幅に減少した。

一方、宿泊施設はインバウンドによるホテル需要を背景に2010年以降、大幅な増加傾向が続いており、2018年は2010年比で全国は約7倍、東京圏は約10倍、大阪圏では20倍まで増加している。

また、倉庫もネット通販等による大型倉庫の需要を背景に増加傾向が続いており、2018年は、2010年比で3~5倍程度に増加している。

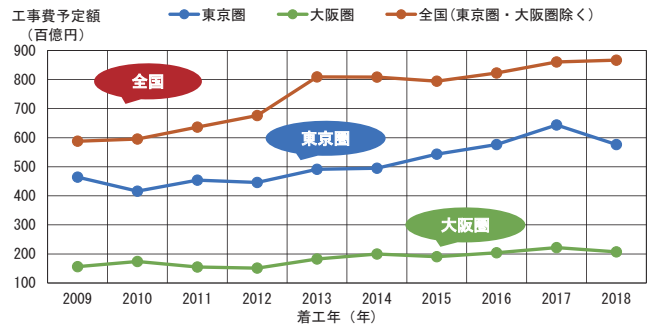


図1 工事費予定額の推移 (非木造)

表2 地域別の工事費予定額の推移

地域	用途	着工年									
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
東京圏	住宅	188	193	220	224	232	231	242	248	271	227
	事務所	128	78	76	57	60	57	90	83	117	84
	店舗	22	21	15	25	33	34	34	43	24	31
	倉庫	11	10	17	17	16	33	34	31	35	49
	工場	15	14	16	20	25	18	22	26	22	27
	宿泊業施設	9	3	1	3	3	8	9	24	29	34
	その他	91	97	109	100	122	113	113	122	146	123
大阪圏	合計	464	416	454	446	491	495	543	576	644	576
	住宅	67	67	69	72	84	81	81	82	83	83
	事務所	13	32	12	13	15	18	20	11	16	18
	店舗	13	13	7	7	10	14	15	9	15	10
	倉庫	7	5	7	7	9	11	14	20	17	14
	工場	11	10	10	8	9	11	13	10	14	15
	宿泊業施設	2	1	1	1	4	3	4	13	25	23
全国 (東京圏・大阪圏除く)	その他	42	46	48	44	52	63	44	60	51	44
	合計	157	174	155	151	183	200	190	204	222	207
	住宅	217	212	218	235	271	253	257	270	274	261
	事務所	42	45	42	52	77	63	65	73	75	77
	店舗	34	35	32	44	56	57	45	53	50	50
	倉庫	22	20	24	28	35	41	45	48	51	55
	工場	63	58	63	79	77	90	124	109	133	158
全国 (東京圏・大阪圏除く)	宿泊業施設	13	6	6	6	8	8	11	25	37	42
	その他	197	219	252	233	284	297	247	245	240	224
	合計	588	595	637	676	809	808	795	823	861	867

建築プライスの動向 (建築着工統計による傾向)

着工棟数が多い住宅と事務所について、着工年別の建築単価(工事費予定額/床面積)を算出し、時系列傾向をまとめた。時系列グラフを、図2-1、図2-2に示す。

[住宅（非木造） 建築費の動向]

東京圏は2011年から上昇し、2017年まで上昇傾向が続いていたが、2018年は下落し、工事費予定額の傾向と一致している。また、大阪圏、全国ともに2012年以降、上昇傾向が継続しているが、近年は大阪圏の上昇幅が大きく、全国と差が生じている。

2011年と2018年の変動率を地域別に比較すると、東京圏132%、大阪圏131%、全国121%と、都心ほど上昇幅が大きいことが確認できる。

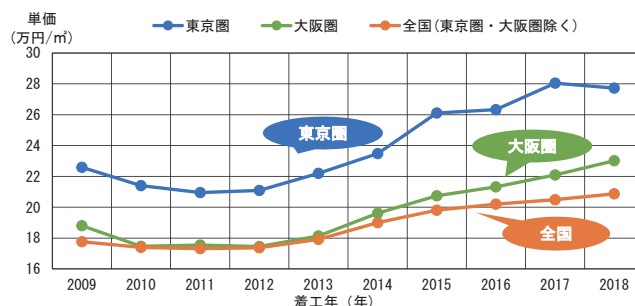


図2-1 住宅（非木造） 建築単価（万円/㎡）の時系列傾向

[事務所（非木造） 建築費の動向]

事務所は建物の個別性が住宅より強いいため、動向が読み取りにくい結果となっている。

東京圏は住宅と同様に、2012年以降上昇し、2018年は下落する傾向が読み取れる。

全国（東京圏・大阪圏除く）については、2012年以降、上昇している傾向が確認できたが、大阪圏は乱高下し、時系列傾向が読み取れない。

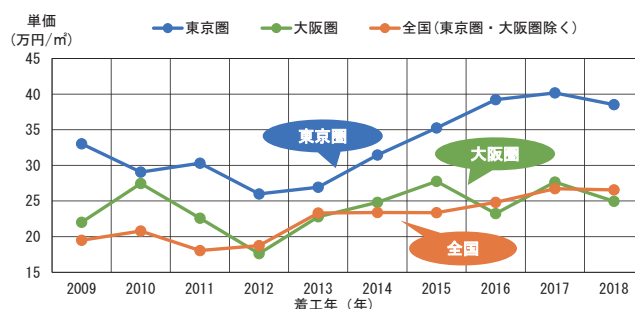


図2-2 事務所（非木造） 建築単価（万円/㎡）の時系列傾向

建築プライスの動向（JBCIによる傾向）

マンションは東京都23区内、近畿（大阪府、京都府、兵庫県、奈良県、和歌山県）、事務所は東京都・神奈川県、全国（東京都・神奈川除く）について、着工年別の建築単価（万円/延床㎡）を集計し、図3-1～2に示す。

なお、一般的に、建築単価は高額なデータの影響を受け、平均値は中央値より高くなる傾向にある。よって、標準的な単価の指標としては中央値を採用し、バラツキをとらえる指標として25%値、75%値を採用した。

[マンション 東京都23区内 建築費の動向]

建築着工統計と同様に、2017年までは上昇傾向が続いていたが、2018年は中央値と75%値が下落した。過去の傾向を見ると、下落局面では25%値と75%値の差が小さくなり、上昇局面では差が大きくなる傾向にある。単価差は2017年が最も差が大きくなっていたが、2018年はやや差が縮まった。このことから、上昇傾向から下落または横ばい傾向への転換点と捉えることもできる。

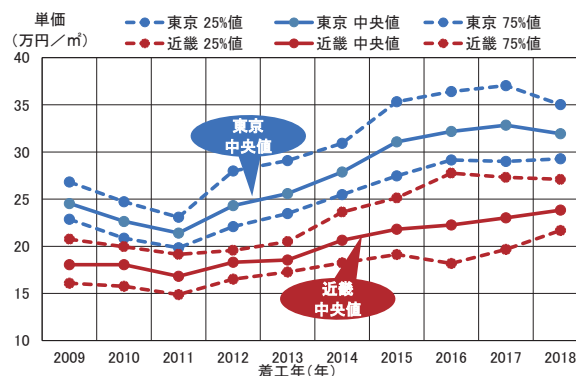


図3-1 JBCIによるマンションの動向

[マンション 近畿 建築費の動向]

建築着工統計と同様に、中央値で見ると、2012年以降の上昇傾向は継続しており、過去10年で2018年が最も高くなっている。

[事務所 建築費の動向]

建築着工統計と同様に、事務所の場合は個別性が強く時系列傾向が読み取りにくいですが、東京・神奈川、全国（東京・神奈川除く）ともに、2012～2017年にかけて続いていた上昇傾向が、2018年は東京・神奈川県、全国の中央値ともに下落した。

25%値と75%値の単価差は、マンションではおよそ2割程度なのに対し、事務所では5割程度と大きく、特に75%値と中央値の単価差が大きい。これは、一般的な事務所とグリーンビルディングなどのハイグレードの事務所の格差が大きいことが影響していると考えられる。

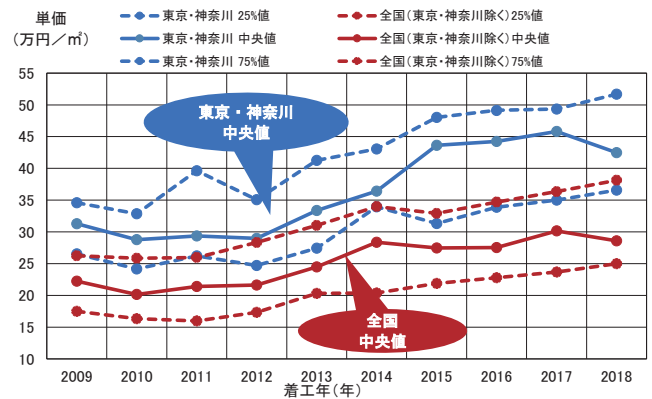


図3-2 JBCIによる事務所の動向

表3 JBCIのデータ数

地域	用途	着工年									
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
マンション	東京23区内	92	62	67	71	62	56	50	64	53	34
	近畿	45	50	32	52	55	30	26	23	22	25
事務所	東京・神奈川	33	31	25	19	30	24	23	21	23	18
	全国(東京・神奈川除く)	105	112	89	82	78	78	85	81	106	59

科目別工事費の動向（JBCIによる傾向）

マンションの東京都23区内、近畿（大阪府、京都府、兵庫県、奈良県、和歌山県）について、躯体（仮設・土工・地業含む）、仕上、設備、諸経費の科目別工事費の中央値を集計し、2011年の値を100として各年の指数を算出したグラフを図4-1～2に示す。

[マンション 東京都23区内 科目別工事費の傾向]

躯体（仮設・土工・地業含む）、仕上、設備の動向はほぼ類似しており、2012年以降上昇し、2018年は2011年を100とした場合の指数は、各科目ともに約150となっている。

諸経費のみ、躯体などの他の科目よりも大きく上昇し、2016年は約190、2018年下落したが、約180となっている。

これは、2016、17、18年度の決算で最高益を更新するゼネコンが多く見受けられ、リーマンショック後の低迷期から脱却した状況とも一致している。

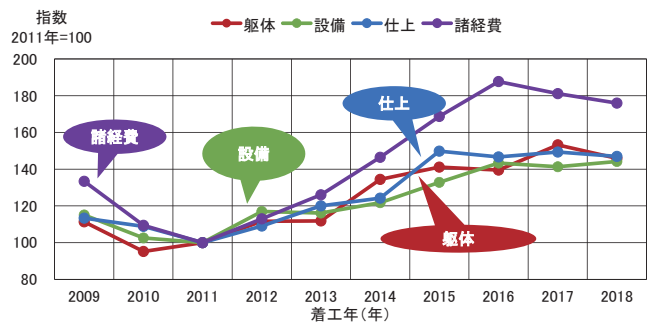


図4-1 科目別工事費の傾向 マンション 東京都23区内

[マンション 近畿 科目別工事費の傾向]

東京都 23 区内と類似した傾向を示した。

諸経費を除く躯体、仕上、設備の動向はほぼ類似しており、2018 年はやや傾向が異なるが、2012 年以降上昇し、2017 年は各科目ともに約 125 となっている。

諸経費については、東京都 23 区内同様、上昇幅が大きく、2017 年約 210、2018 年はやや下落したが約 180 となっている。

東京都 23 区内と値を比較すると、躯体、仕上、設備は上昇率が小さくなっているが、諸経費の上昇率はほぼ同様の値となっている。

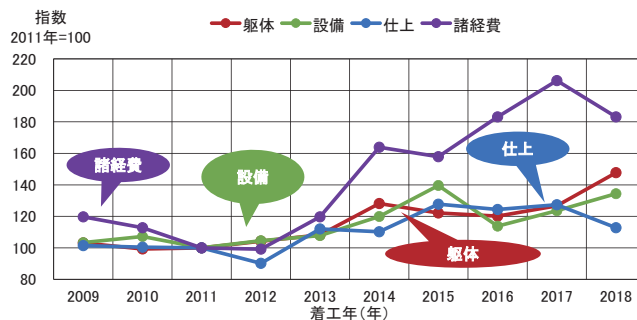


図 4-2 科目別工事費の傾向 マンション 近畿

建築コストの動向（建築費指数・建設資材物価指数による傾向）

東京について、建築費指数の集合住宅 RC 造、事務所 S 造、建設資材指数の建設部門のデータの傾向を図 5 に示す。

[東京 指数の傾向]

建築費指数、建設資材物価指数ともに動向は建築着工統計や JBCI と概ね類似し、2011 年以降上昇傾向が続いている。

建築費指数は原価の指数であるため、上昇率は建築着工統計や JBCI のプライスよりも小さくなっており、2019 年 5 月の指数は集合住宅で 120、事務所で 117 となっている。さらに、建設資材物価指数の上昇幅は 2019 年 5 月で 106 と、建築費指数よりも小さいことから、資材価格よりも労務費の上昇幅が大きいことが読み取れる。

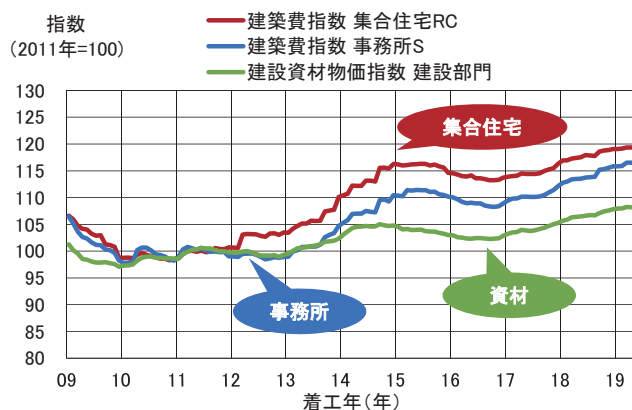


図 5 東京 建築費指数、建設資材物価指数の傾向

調査研究報告

民間企業設備投資動向調査 共通回答企業による時系列データ紹介と投資意向アンケートとの傾向比較について

総合研究所 経済研究課 主任研究員 伊沢 佳織

一般財団法人建設物価調査会 総合研究所では、民間企業における建設投資等の設備投資の実績や計画を四半期ごとに調査し、「民間企業設備投資動向調査」として公表している。当調査は、民間企業の設備投資のうち主に建設投資を対象としているところが特色となっている。

この調査は、国内に本社または主たる事業所をもって企業活動を営む資本金1億円以上の民間企業を調査母集団とし、そこから約2,000社前後の企業を抽出して調査対象企業としているが、各回ごとの調査結果の公表に当たっては、回答企業のうち当期と前年同期調査の共通企業について単純集計を行い、前年同期比を算出する方法を採用している（なお、母集団への復元による統計的推測は行っていない）。このように、各回ごとに集計対象となる共通の回答企業が異なることから、各回の前年同期比の結果を時系列に従い列挙しても、正確な意味での時系列データにはならないと考えられる。このため、今回、過去5年間20回分（第128回から147回）にわたる時系列データを分析するにあたっては、この計20回にわたる調査の全てに回答のあった企業（以下「共通回答企業」という）を抽出し、再集計を行い、新たに時系列データとして整理しなおした。

さらに、毎四半期の定期的な調査では公表してこなかった、投資に対しての意識調査（投資意向アンケート）を今回集計したので、再集計した時系列データと合わせて紹介したい。なお、再集計対象企業数と投資意向アンケート集計年度は表1のとおりである。

調査対象：民間企業設備投資動向調査のうち、国内に本社または主たる事業所をもって企業活動を営む民間企業で、資本金1億円以上の企業を調査母集団としている。今回再集計対象の20調査回それぞれの調査対象企業数は表1のとおり

となっている。うち、集計対象は20調査回の共通回答企業474社。

調査方法：各回の調査は郵送または電子調査によるアンケート方式

集計方法：2013年度から2017年度までの5箇年間について、各年度ごとに各調査回の四半期実績値を足し合わせ、各年度の実績値とした。投資意向アンケートについては第131回調査から調査を開始したためそこからの集計となっている。記入なしを除いた共通回答企業の全回答数を100%として、各年度の投資について「前年度より大幅に増加する・増加する」、「前年度並み」、「前年度より大幅に減少する・減少する」の回答割合を集計した。

注意事項：

1. 本調査の母集団は、「会社情報ファイル」(ダイヤモンド社)による資本金1億円以上の企業である。
2. 設備投資の範囲は、自社の固定資産に対する国内投資としている。ただし、リース資産への新規計上額は含まれない。
3. 調査は、資金ベース【「有形固定資産（建設仮勘定を含む）」、「無形固定資産のうちソフトウェア（仕掛品を含む）」の減価償却前増加額】で行っている。
4. 消費税を除いた金額で調査を行っている。
5. 集計上の産業分類は、株式会社ダイヤモンド社の業種コードを基準とする企業ベースでの主業分類に基づいている。

その他、四半期毎に行っている民間企業設備投資動向調査の調査方法に準ずる。

表 1 再集計対象企業数と投資意向アンケート集計年度一覧

調査回	調査対象 企業数	うち製造業	うち非製造業	回答数	再集計年度	投資意向アンケート 集計年度
第128回	2,052	691	1,361	1,408	2013年度	調査なし
第129回	2,048	690	1,358	1,354		
第130回	2,040	687	1,353	1,250		
第131回	2,031	685	1,346	1,304		
第132回	1,969	682	1,287	1,270	2014年度	2013年度と比較した 2014年度の投資意向
第133回	1,963	678	1,285	1,220		
第134回	1,960	677	1,283	1,088		
第135回	1,956	676	1,280	1,170		
第136回	1,950	676	1,274	1,140	2015年度	2014年度と比較した 2015年度の投資意向
第137回	1,949	676	1,273	1,109		
第138回	1,942	674	1,268	1,103		
第139回	1,939	673	1,266	1,104		
第140回	1,935	672	1,263	1,078	2016年度	2015年度と比較した 2016年度の投資意向
第141回	1,933	671	1,262	1,044		
第142回	1,929	670	1,259	1,001		
第143回	1,926	669	1,257	1,061		
第144回	1,920	665	1,255	1,024	2017年度	2016年度と比較した 2017年度の投資意向
第145回	1,916	663	1,253	987		
第146回	1,917	662	1,255	950		
第147回	1,912	661	1,251	972		

1. 共通回答企業の内訳

共通回答企業 474 社を産業別に分類すると、製造業は 158 社、非製造業は 316 社となった。

なお、本稿で紹介する時系列データ及びその分析結果は、あくまでも共通回答企業 474 社に係るものであり、調査母集団についてのものではないので、注意されたい。

2. 共通回答企業の近年の投資動向

全共通回答企業と、そのうちの製造業、非製造業の設備投資総額（建設投資＋機械投資 土地・ソフトウェア除く）、建設投資額、機械投資額の 2013 年度から 2017 年度までの 5 年間の推移は表 2、図 1、図 2、図 3 のとおりとなっている。

建設投資額は、図 1 に示すとおり非製造業は 2013 年度から 2015 年度まで投資額は増加し、2016 年度に減少するものの、2017 年度に再び増加して

表 2 設備投資総額（土地・ソフトウェア除く）、建設投資額、機械投資額の推移

単位：百万円					
	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度
設備投資総額（共通回答企業474社）	2,628,008	2,759,003	3,051,777	2,966,168	2,994,215
うち製造業(158社)	408,112	456,677	513,279	528,666	466,167
うち非製造業(316社)	2,219,896	2,302,326	2,538,498	2,437,502	2,528,048
建設投資額(共通回答企業474社)	825,824	849,724	924,147	941,589	953,526
うち製造業(158社)	74,548	76,750	67,866	102,663	71,638
うち非製造業(316社)	751,276	772,974	856,281	838,926	881,888
機械投資額（共通回答企業474社）	1,802,184	1,909,279	2,127,630	2,024,579	2,040,689
うち製造業(158社)	333,564	379,927	445,413	426,003	394,529
うち非製造業(316社)	1,468,620	1,529,352	1,682,217	1,598,576	1,646,160

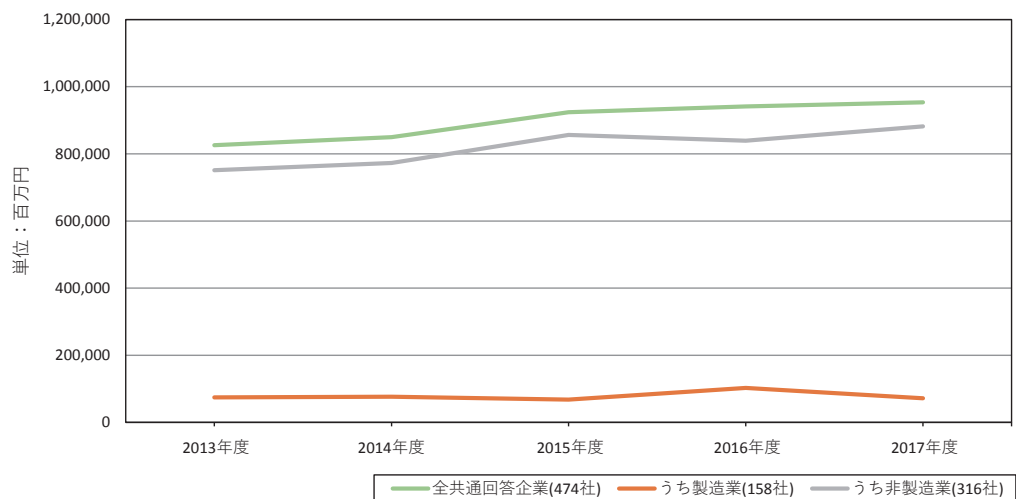


図1 建設投資額（共通回答企業，うち製造業，うち非製造業）の推移

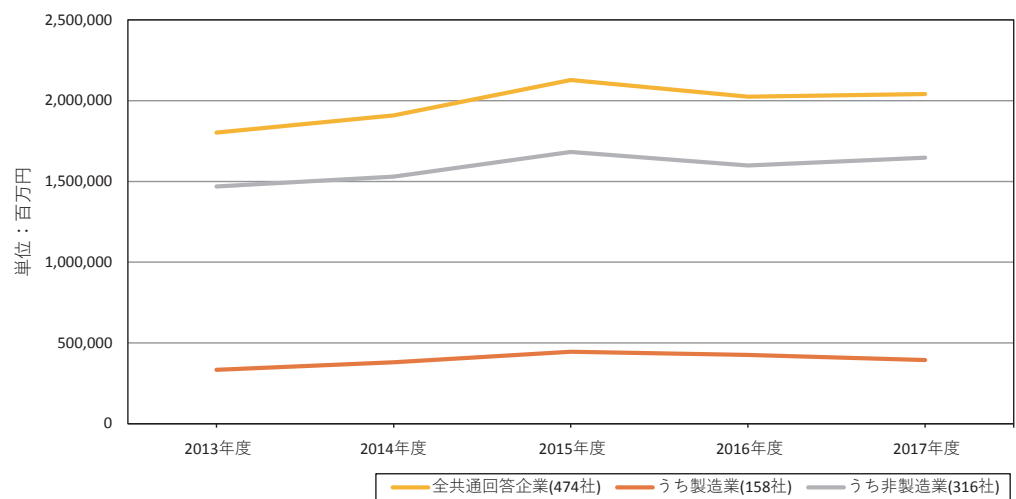


図2 機械投資額（共通回答企業，うち製造業，うち非製造業）の推移

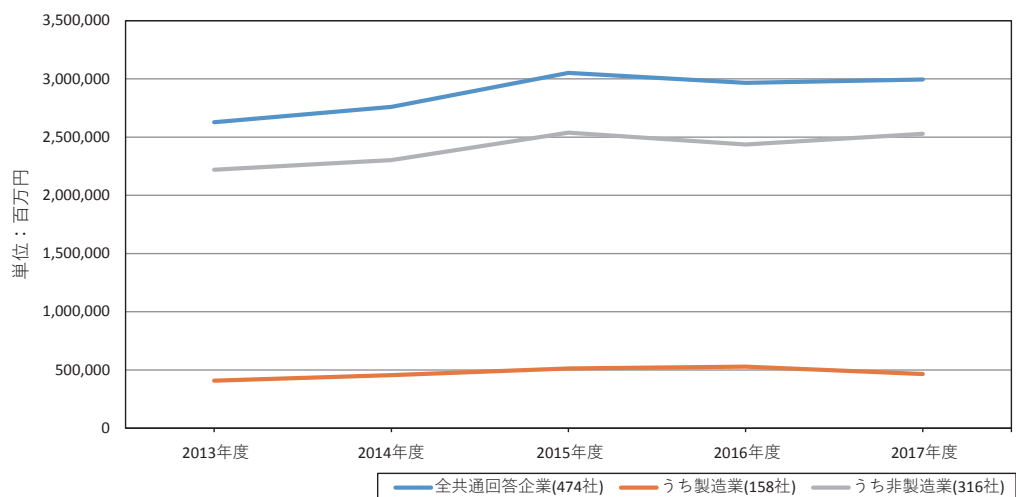


図3 設備投資総額（共通回答企業，建設投資額＋機械投資額 土地・ソフトウェア除く）の推移

いる。製造業は2013年度から増加と減少を繰り返しているが、2016年度の投資が好調だったことが寄与して、非製造業のマイナスをカバーして押上げ、共通回答企業全体としては全ての調査年度で前年度比増加している。

機械投資額は、図2に示すとおり2015年度までは製造業、非製造業ともに増加していたが、2016年度に減少している。2017年度には製造業ではさらに減少しているが、非製造業は増加に転じた。

設備投資総額（建設投資＋機械投資）は、図3に示すとおり製造業と非製造業は2015年度までは増加しているが2016年度、2017年度は製造業が増加して減少、非製造業は減少して増加、と逆の動きとなっている。

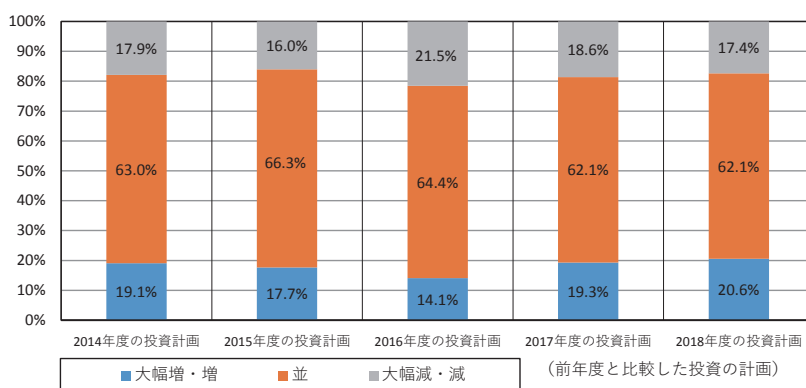
3. 投資意向アンケート調査の結果と動向調査結果との比較

四半期毎の定期調査で行っている投資意向アンケートでは、回答時の年度とその前年度の投資状況を比較した当該年度の投資の意向を調査している。第131回調査よりこのアンケートを開始しており、2014年度から2018年度の共通回答企業の投資意向について取りまとめた。なお、各調査回での集計年度は表1のとおりとなっている。また、集計結果については無回答を除いた総回答数を100%として、その回答割合で結果を示している。

建設投資額を投資意向アンケート結果からみると（図4）、共通回答企業全体で、2016年度の投資予定だけが前年度に比べて「大幅に減少する・減少する（大幅減・減）」が「大幅に増加する・増加する（大幅増・増）」の割合を上回っているが、それ以外の年度では「大幅増・増」の割合が「大幅減・減」の割合を上回っている。この結果を図1の実際の建設投資額の推移でみると、2016年度は当てはまらないものの、投資意向アンケートにおいて「大幅増・増」の割合が「大幅減・減」の割合を上回った年度では、前年度比増加となっている。

設備投資総額を投資意向アンケート結果からみると（図5）、共通回答企業全体で2014年度から2018年度まですべてで「大幅増・増」が「大幅減・減」の割合を上回っており、投資に積極的な様子が読み取れる。この結果を図3の実際の設備投資総額の推移でみると、2016年度に前年度比減少しているものの、それ以外の年度では増加しており、ほぼ意向に沿った投資状況となっていると思われる。

建設投資と設備投資の投資額をみるとほぼ同じような動きを示している。しかし、各企業の投資動向をみると先に建設投資に動きがあってから機械投資が動く傾向が伺える。これはさらに分析を進める必要があるが、機械投資を伴う建設投資については一企業の設備投資の傾向として先に上屋などの建設投資があってから、その後上屋に設置する機械への投資があることが影響しているのではないかと推察さ

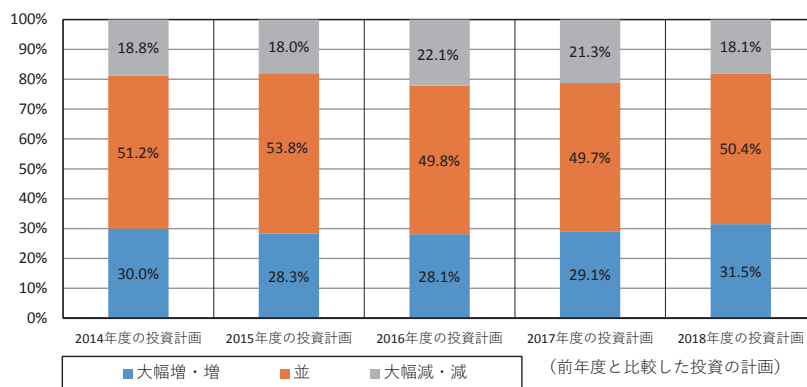


注）記入なしは上記に含めず、回答数からも除外している。

	2014年度計画	2015年度計画	2016年度計画	2017年度計画	2018年度計画
「大幅増・増」と「大幅減・減」の差	1.2	1.6	-7.5	0.7	3.2

単位：ポイント

図4 投資意向アンケートの結果（建設投資額：共通回答企業 474 社）



注）記入なしは上記に含めず、回答数からも除外している。

	2014年度計画	2015年度計画	2016年度計画	2017年度計画	2018年度計画
「大幅増・増」と「大幅減・減」の差	11.3	10.3	6.0	7.8	13.4

単位：ポイント

図5 投資意向アンケートの結果（設備投資総額：共通回答企業 474 社）

れる。

以上、2013年度からの5年間の共通回答企業による時系列データと投資意向アンケートの結果を紹介した。このような結果になった原因を追究し、様々な角度から分析することを今後の課題に引き続き研究を進めていきたい。

~~~~~

「民間企業設備投資動向調査」は四半期ごとの国内における投資動向を把握するために行っています。どなたでも当会ホームページ「建設navi」で結果はご覧いただけますので、ご興味のある方はぜひご覧ください（無料会員登録が必要です）。

[https://www.kensetu-navi.com/construction/construction\\_economy/minkan.html](https://www.kensetu-navi.com/construction/construction_economy/minkan.html)

## 調査研究報告

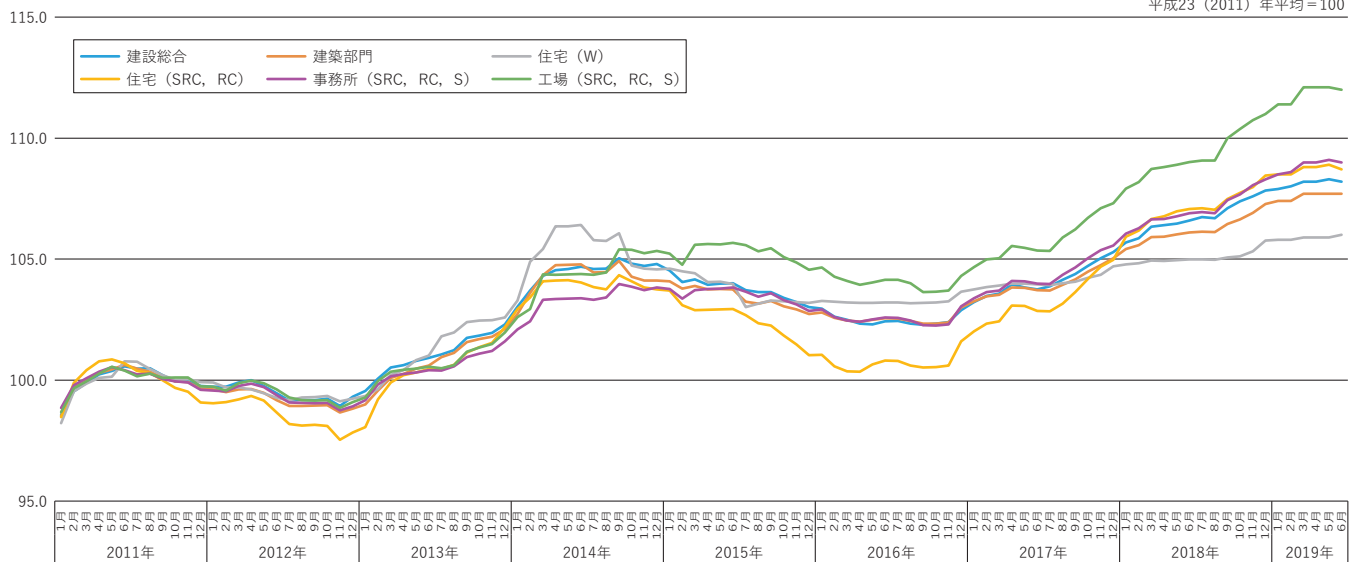
## 建設資材物価指数

## 平成 23 年基準改定について

総合研究所 経済研究課

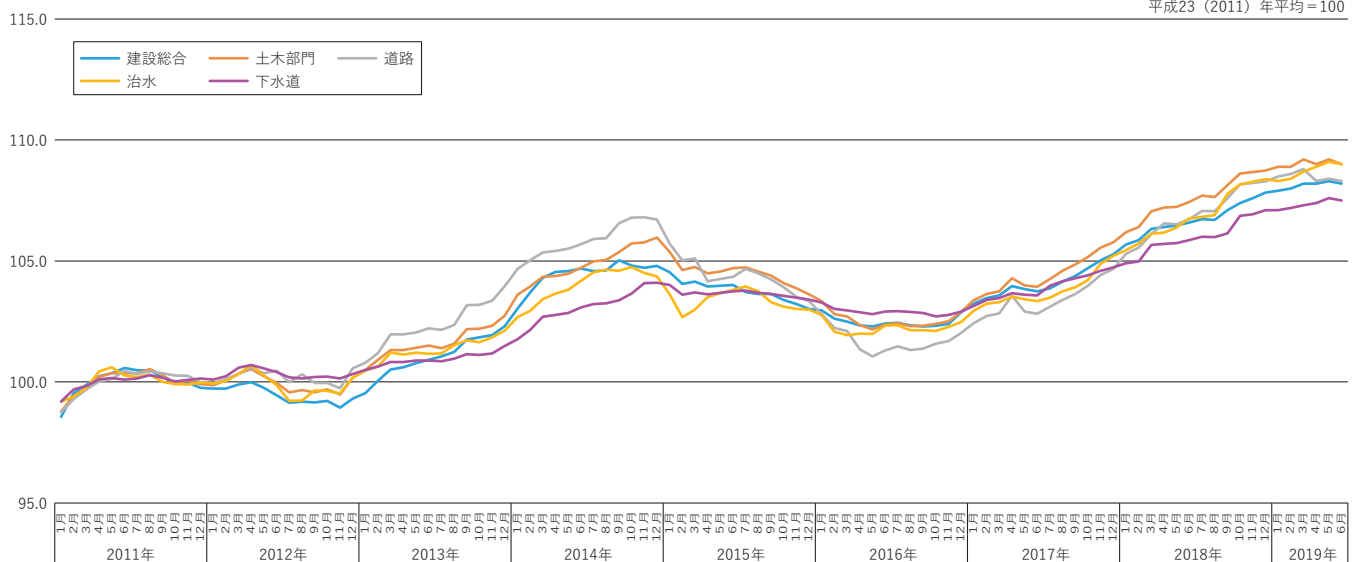
建設資材物価指数 建築部門（東京都区部）

平成23（2011）年平均＝100



建設資材物価指数 土木部門（東京都区部）

平成23（2011）年平均＝100



## I. 基準改定について

## 1. 改定の趣旨

建設資材物価指数は、一般的な建設工事に使用する直接資材の物価変動をよりの確に反映させるため、指数作成の基礎資料である最新の「平成 23 年建設部門分析用産業連関表(国土交通省)」にあわせ、指数の構成品目の見直しを行い、投入構造を表すウエイトを更新している。この度、前回の改定発表(平成 17 年基準)以来 6 年を経過したため、このほど基準時およびウエイト算定年次を平成 23 年とする指数に改定したものである。

## 2. 主な改定点

## (1) 基準時およびウエイト算定年次の改定

基準時およびウエイト算定年次を平成 17 年（2005 年）から平成 23 年（2011 年）に改めた。

## (2) 指数系列

建設資材物価指数の指数体系は、建設総合、建築部門、土木部門から構成されているが、ユーザーの利便性、分析ニーズを考慮して、ウエイト（投入構造）が異なる建築部門の用途・用途別の一部および土木部門の事業別の一部の指数系列も作成している。建築部門では、住宅（W）、住宅（SRC、RC）、事務所（SRC、RC、S）、工場（SRC、RC、S）の 4 つの指数系列、土木部門では、道路、治水、下水道の 3 つの指数系列の合わせて 10 の指数系列を作成している（図 1 参照）。

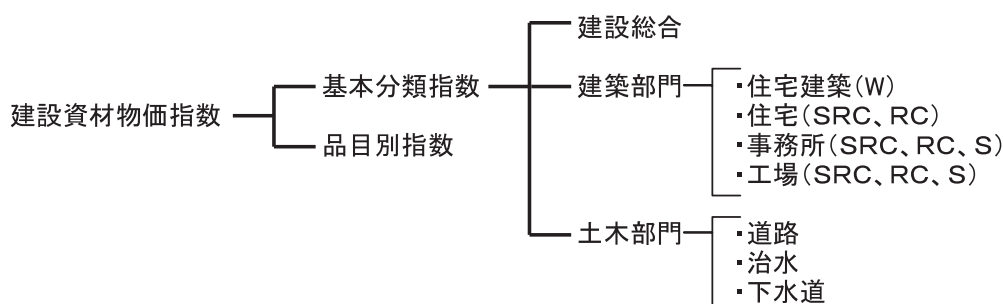


図 1 建設資材物価指数体系図

表 1 指数品目増減表

| 大分類          | 平成23年基準 | 平成17年基準 | 増減 | 追加 | 廃止 | 代替品 |
|--------------|---------|---------|----|----|----|-----|
| 合計           | 394     | 393     | 1  | 7  | 6  | 31  |
| 1. 農産物       | 15      | 15      | 0  | 0  | 0  | 8   |
| 2. 鉱産物       | 7       | 6       | 1  | 1  | 0  | 2   |
| 3. 繊維製品      | 13      | 12      | 1  | 1  | 0  | 0   |
| 4. 紙・木製品     | 23      | 20      | 3  | 3  | 0  | 11  |
| 5. 化学製品      | 25      | 25      | 0  | 0  | 0  | 0   |
| 6. 石油製品・舗装材料 | 14      | 14      | 0  | 0  | 0  | 3   |
| 7. 窯業・土石製品   | 53      | 55      | -2 | 0  | 2  | 7   |
| 8. 鉄鋼        | 44      | 43      | 1  | 1  | 0  | 0   |
| 9. 非鉄金属      | 23      | 23      | 0  | 0  | 0  | 0   |
| 10. 金属製品     | 85      | 84      | 1  | 1  | 0  | 0   |
| 11. 一般機械     | 22      | 22      | 0  | 0  | 0  | 0   |
| 12. 電気機械     | 32      | 36      | -4 | 0  | 4  | 0   |
| 13. 他の製造工業製品 | 38      | 38      | 0  | 0  | 0  | 0   |

## (3) 代替品目

類を代表する採用品目が都市によって流通していない、または生産していない場合の都市別代替品目の採用を新基準では全面的に見直し、31 品目とした。

## (4) 指数品目の追加および廃止

最近の建築・土木工事の工法・技術革新、建設資材の使用構造をよりの的確に反映させ、指数の精度を向上させるため、工事に直接使用される資材で重要度が高まった品目を追加した。

一方、「建設物価」非掲載となった品目、類似品目とほぼ同一の価格推移をしている品目、重要度が低くなった品目を廃止した。

この結果、平成 23 年基準指数に用いる品目数は 6 品目廃止、7 品目追加をした結果、394 品目となった。

また、追加・廃止とは別に 17 品目については市場の動向等を勘案し銘柄の変更を行った。



## 3. ウエイトの改定

新基準と旧基準のウエイトの比較を表2に示す。

表2 ウエイト比較表

(単位:1万分比)

| 大・中分類              | 平成23<br>年基準 | 平成17<br>年基準 | 増減    | 増減率<br>(%) |
|--------------------|-------------|-------------|-------|------------|
| [総 合]              | 10,000      | 10,000      | 0     | —          |
| 1. 農産物             | 85          | 71          | 14    | 19.4       |
| 農産物                | 85          | 71          | 14    | 19.4       |
| 2. 鉱産物             | 334         | 397         | ▲ 63  | ▲ 15.9     |
| 砂利・砕石              | 334         | 397         | ▲ 63  | ▲ 15.9     |
| 3. 繊維製品            | 87          | 88          | ▲ 1   | ▲ 0.7      |
| 畳・わら加工品            | 17          | 16          | 1     | 4.8        |
| 繊維工業製品             | 71          | 72          | ▲ 1   | ▲ 1.9      |
| 4. 紙・木製品           | 1,781       | 1,730       | 52    | 3.0        |
| 製材                 | 543         | 496         | 46    | 9.3        |
| 合板                 | 276         | 267         | 9     | 3.3        |
| 建設用木製品等            | 538         | 439         | 98    | 22.4       |
| 家具・建具・装備品          | 331         | 433         | ▲ 101 | ▲ 23.4     |
| 紙・紙加工品             | 94          | 94          | ▲ 1   | ▲ 0.6      |
| 5. 化学製品            | 168         | 134         | 34    | 25.1       |
| 塗料                 | 119         | 94          | 25    | 26.6       |
| その他の化学製品           | 49          | 40          | 9     | 21.4       |
| 6. 石油製品・舗装材料       | 564         | 432         | 132   | 30.5       |
| 石油製品               | 208         | 201         | 7     | 3.4        |
| 舗装材料               | 356         | 231         | 125   | 54.1       |
| 7. 窯業・土石製品         | 2,258       | 2,248       | 10    | 0.4        |
| 耐火物                | 60          | 39          | 21    | 53.0       |
| 他の建設用土石製品          | 125         | 127         | ▲ 1   | ▲ 1.2      |
| ガラス・ガラス製品          | 97          | 63          | 34    | 53.9       |
| 陶磁器                | 127         | 158         | ▲ 32  | ▲ 20.0     |
| セメント               | 79          | 55          | 24    | 43.9       |
| 生コンクリート            | 849         | 863         | ▲ 14  | ▲ 1.6      |
| セメント製品             | 778         | 798         | ▲ 21  | ▲ 2.6      |
| その他の窯業・土石製品        | 142         | 144         | ▲ 2   | ▲ 1.2      |
| 8. 鉄鋼              | 988         | 833         | 155   | 18.6       |
| 熱間圧延鋼材             | 644         | 550         | 95    | 17.2       |
| 鋼管                 | 175         | 144         | 31    | 21.4       |
| 冷間・メッキ鋼材           | 93          | 75          | 18    | 23.8       |
| 鋳鍛造品・他の鉄鋼製品        | 75          | 64          | 12    | 18.0       |
| 9. 非鉄金属            | 346         | 258         | 88    | 34.0       |
| 電線・ケーブル・光ファイバーケーブル | 304         | 229         | 76    | 33.1       |
| その他の非鉄金属           | 42          | 29          | 12    | 41.6       |
| 10. 金属製品           | 2,359       | 2,838       | ▲ 479 | ▲ 16.9     |
| 建設用金属製品            | 1,003       | 1,213       | ▲ 210 | ▲ 17.4     |
| 建築用金属製品            | 823         | 1,045       | ▲ 221 | ▲ 21.2     |
| ガス・石油機器・暖厨房装置      | 164         | 212         | ▲ 48  | ▲ 22.7     |
| その他の金属製品           | 369         | 368         | 1     | 0.2        |
| 11. 一般機械           | 182         | 173         | 9     | 5.2        |
| 一般機械               | 182         | 173         | 9     | 5.2        |
| 12. 電気機械           | 301         | 307         | ▲ 6   | ▲ 2.0      |
| 重電機器               | 62          | 54          | 9     | 16.1       |
| その他の電気機械           | 239         | 253         | ▲ 15  | ▲ 5.8      |
| 13. 他の製造工業製品       | 547         | 490         | 57    | 11.6       |
| プラスチック製品           | 411         | 366         | 45    | 12.3       |
| その他の製造工業製品         | 136         | 124         | 12    | 9.5        |

(注)ウエイトは四捨五入しているため計や増減の値と一致しない

#### 4. 新・旧指数の接続

各指数系列について長期的な時系列比較が可能となるように、新・旧指数の接続を行った。新・旧指数の接続は、都市別、大分類別の各系列ごとに、各基準年を 100 とする指数について次の基準年に当たる年の年平均指数が 100 となるよう換算することにより行った。平成 23 年基準接続指数では、平成 2 年までさかのぼって作成した。

##### ■新旧指数の接続方法

平成 2 年基準指数を平成 23 年基準指数に接続する場合は以下のとおりとなる。

平成 23 年基準接続指数 = 平成 2 年基準指数  
 × 平成 2 年基準指数の平成 7 年基準へのリンク係数  
 × 平成 7 年基準指数の平成 12 年基準へのリンク係数  
 × 平成 12 年基準指数の平成 17 年基準へのリンク係数  
 × 平成 17 年基準指数の平成 23 年基準へのリンク係数

平成 2 年基準指数の平成 7 年基準へのリンク係数  
 = 100 / 平成 2 年基準指数の平成 7 年平均指数  
 平成 7 年基準指数の平成 12 年基準へのリンク係数  
 = 100 / 平成 7 年基準指数の平成 12 年平均指数  
 平成 12 年基準指数の平成 17 年基準へのリンク係数  
 = 100 / 平成 12 年基準指数の平成 17 年平均指数  
 平成 17 年基準指数の平成 23 年基準へのリンク係数  
 = 100 / 平成 17 年基準指数の平成 23 年平均指数

#### 5. 全国平均指数の作成

全国平均指数は、建設総合、建築部門、土木部門(以下 3 部門別という)都市別指数に、ウエイトとして、国土交通省作成平成 23 年度地域別 3 部門別建設投資額(名目値)を札幌は北海道、仙台は東北等の 10 地域投資額に対応させ、加重平均した指数である。

## Ⅱ. 建設資材物価指数の作成方法

### 1. 建設資材物価指数の種類

指数には、時系列指数と都市間格差指数があり次のような構成となっている。

#### ① 時系列指数

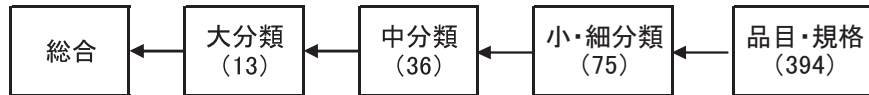
わが国全体の建設工事に使用される建設資材の動向を集約的に表す時系列指数(月別)で、東京都区部以下主要 10 都市について、固定ウエイトにより費目別および品目別に算出している。

#### ② 都市間格差指数

東京都区部 = 100 として主要 9 都市の建設資材物価格差を表す指数である。全国ウエイトにより、年 1 回、年平均指数として算出している。

### 2. 指数の費目(資材)分類

指数の費目(資材)分類は、以下のような構成となっており、本誌には都市別・部門別指数(10 都市)および建設総合中分類指数(東京)を掲載している。



### 3. 指数の算式と基準時

本指数は、ラスパイレス算式により算出している。また、指数の基準時およびウエイトはいずれも平成 23 年（2011 年）である。

$$I_{jkt} = \frac{\sum_i \frac{P_{ijkt}}{P_{ijko}} \cdot W_{iko}}{\sum W_{iko}}$$

I：総合（又は類）指数

Pit/Pio：品目別価格指数

i：各品目

o：基準時

j：各都市

t：比較時

P：品目の価格

W：ウエイト（建設資材投入額）

k：各部門

### 4. 使用データ

#### ① ウエイト

大分類・中分類のウエイトは「平成 23 年建設部門分析用産業連関表（国土交通省）」の「特別分類建設部門取引額表（購入者価格）」により、建設部門別（建設総合、建築部門、土木部門等）に作成している。

小分類は、「産業連関表」の「基本分類投入表（購入者価格）」をベースに作成している。

品目別ウエイトは、各種統計資料によっている。

#### ② 価格

価格データは、本誌「建設物価」の約 390 品目・規格の価格によっている。

### 5. 指数の作成地域

作成している都市は、次の 10 都市と全国平均である。

東京都区部、大阪市、名古屋市、福岡市、那覇市、広島市、高松市、新潟市、仙台市、札幌市

なお、本指数の詳細については、建設 navi を参照されたい。

建設 navi 『建設経済情報』

<https://www.kensetu-navi.com/construction>

※閲覧には無料会員登録が必要です（2019 年 7 月現在）

## 調査研究報告

## 「建設物価・建築費指数」平成23年（2011年）基準改定について

総合研究所 経済研究課

## 1. 改定の趣旨

「建設物価・建築費指数」は、建物を建築する際の工事価格の動向を把握することを目的として作成しているものであり、新商品への代替、建築工法の変化によるウエイト（投入構造）の変化に対応するため、5年ごとに指数の構成品目の見直しとウエイトの更新をしている。今回は指数作成の基礎資料の一つである「建設部門分析用産業連関表（国土交通省）」が平成23年作成となったため、基準時及びウエイト算定年次をこのたび平成17年（2005年）から平成23年（2011年）に改めた。

また、「連鎖基準ラスパイレス方式による建築費指数」（以後、連鎖方式による建築費指数と呼ぶ）を今回も参考指数として作成することとした。

〔2018年11月12日に2011年基準指数を公表しました。〕

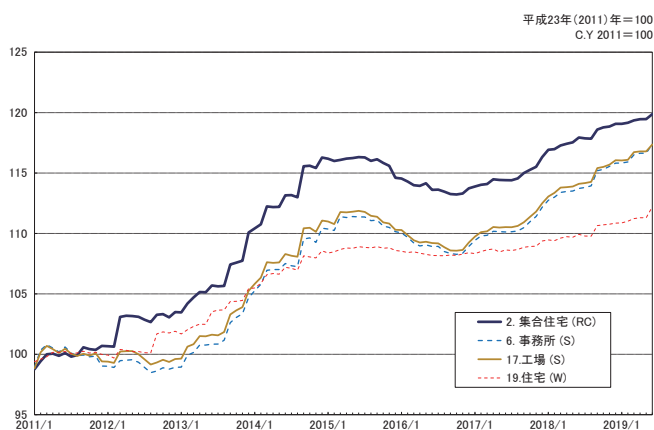


図-1 主要建物・工事原価指数の推移

## 2. 主な改定点

## (1) 基準時およびウエイト算定年次の改定

基準時およびウエイト算定年次を平成17年（2005年）から平成23年（2011年）に改めた。

## (2) 標準指数について

今回は、新規追加、廃止等はせず、2005年基準と同様に19建物種類を作成した。（表-1 参照）

## (3) 構造別平均指数について

2005年基準と同様に、非木造の3建物種類（SRC、RC、S）とした。

## (4) モデル指数の入れ替え

旧基準のモデル指数は17建物種類であったが、新基準では、4建物種類を廃止し、新たに6建物種類を加え、合計19建物種類とした。（表-1 参照）

## (5) ウエイト

標準指数のウエイトは、科目ウエイトについては、「JBCI（ジャパン・ビルディング・コスト・インフレーション）[当会]」のデータを使用した。科目ウエイトの内訳となる細目ウエイトは、旧基準を踏襲し、「平成23年建設部門分析用産業連関表（国土交通省）」および別途収集した資料を使用した。また、モデル指数のウエイトは、当会発行の「建築コスト情報」に収録された実在の建物の工事費内訳書から作成している。

## (6) 細目データの見直し

細目データは、当会発行の「建設物価」「建築コスト情報」の最新価格を使用して、平成23年（2011年）=100で指数化している。これらは、工事費に占めるウエイトの大きいもの、各建物種類に共通して使用頻度が高いものを代表細目に選定し、前回と同様223品目とした。また、使用材料・工法の変化を反映させるため、設備機器、電気機器等の型番変更が頻繁にある資材は、2005年当時から変更があったものを、その後継機種に品目を変更した。

## (7) 連鎖方式による建築費指数（参考指数）の作成

従来の固定基準ラスパイレス指数は、基準時のウエイトを次回基準改定までの5年間にわたり固定するため、法改正や仕様の変化、工法の多様化などにより、実際の建物のウエイト（投入構造）の変化と乖離することもあり、建物の仕様や技術的变化、市場動向を適切に反映することが困難になると考えられる。今回、それを補完する試みとして、日本銀行「連鎖方式による国内企業物価指数」や総務省統計局「ラスパイレス連鎖基準方式による消費者物価指



表-1 建物種類（指数系列）の変更

| 2005年基準 |      |                |       |          |     | 2011年基準 |                |       |          |  |     |
|---------|------|----------------|-------|----------|-----|---------|----------------|-------|----------|--|-----|
| 標準指数    | 建物番号 | 用途             | 構造    |          |     | 建物番号    | 用途             | 構造    |          |  |     |
|         | 1    | 集合住宅           | SRC   |          |     | 1       | 集合住宅           | SRC   |          |  |     |
|         | 2    | 集合住宅           | RC    |          |     | 2       | 集合住宅           | RC    |          |  |     |
|         | 3    | 集合住宅           | S     |          |     | 3       | 集合住宅           | S     |          |  |     |
|         | 4    | 事務所            | SRC   |          |     | 4       | 事務所            | SRC   |          |  |     |
|         | 5    | 事務所            | RC    |          |     | 5       | 事務所            | RC    |          |  |     |
|         | 6    | 事務所            | S     |          |     | 6       | 事務所            | S     |          |  |     |
|         | 7    | 店舗             | RC    |          |     | 7       | 店舗             | RC    |          |  |     |
|         | 8    | 店舗             | S     |          |     | 8       | 店舗             | S     |          |  |     |
|         | 9    | 医院             | RC    |          |     | 9       | 医院             | RC    |          |  |     |
|         | 10   | 病院             | RC    |          |     | 10      | 病院             | RC    |          |  |     |
|         | 11   | 老人福祉施設         | RC    |          |     | 11      | 老人福祉施設         | RC    |          |  |     |
|         | 12   | ホテル            | RC    |          |     | 12      | ホテル            | RC    |          |  |     |
|         | 13   | 体育館            | RC    |          |     | 13      | 体育館            | RC    |          |  |     |
|         | 14   | 体育館            | S     |          |     | 14      | 体育館            | S     |          |  |     |
|         | 15   | 学校             | SRC   |          |     | 15      | 学校             | SRC   |          |  |     |
|         | 16   | 学校             | RC    |          |     | 16      | 学校             | RC    |          |  |     |
|         | 17   | 工場             | S     |          |     | 17      | 工場             | S     |          |  |     |
|         | 18   | 倉庫             | S     |          |     | 18      | 倉庫             | S     |          |  |     |
| 構造物指数   | 20   | 構造物平均          | SRC   |          |     | 20      | 構造物平均          | SRC   |          |  |     |
|         | 21   | 構造物平均          | RC    |          |     | 21      | 構造物平均          | RC    |          |  |     |
|         | 22   | 構造物平均          | S     |          |     | 22      | 構造物平均          | S     |          |  |     |
| モデル指数   |      |                |       | 基準年月     |     |         |                |       | 基準年月     |  |     |
|         | 23   | 店舗付集合住宅        | RC/S  | 2008年10月 |     | 23      | 大学実習棟          | RC    | 2011年10月 |  | ※新規 |
|         | 24   | 小劇場付ワンルームマンション | RC    | 2009年04月 |     | 24      | 店舗付住宅          | S     | 2012年10月 |  | ※新規 |
|         | 25   | 事務所ビル          | S/SRC | 2006年10月 |     | 25      | 小学校（教室棟）       | RC    | 2013年10月 |  | ※新規 |
|         | 26   | 事務所・店舗ビル       | RC    | 2007年10月 |     | 26      | 総合保育施設         | RC    | 2014年10月 |  | ※新規 |
|         | 27   | 体育館            | RC/S  | 2010年04月 |     | 27      | ホテル            | S     | 2016年10月 |  | ※新規 |
|         | 28   | 大学（情報系）        | SRC   | 2008年04月 |     | 28      | 店舗・事務所付マンション   | RC/S  | 2017年04月 |  | ※新規 |
|         | 29   | 化学製品工場         | S     | 2009年10月 |     | 29      | 店舗付集合住宅        | RC/S  | 2015年04月 |  |     |
|         | 30   | 大規模倉庫          | RC    | 2007年04月 |     | 30      | 事務所ビル          | S/SRC | 2013年04月 |  |     |
|         | 31   | 低層集合住宅         | RC    | 2004年11月 |     | 31      | 事務所・店舗ビル       | RC    | 2014年04月 |  |     |
|         | 32   | 事務所ビル          | SRC   | 2003年11月 |     | 32      | 化学製品工場         | S     | 2016年04月 |  |     |
|         | 33   | 店舗             | S     | 2006年04月 |     | 33      | 低層集合住宅         | RC    | 2012年04月 |  |     |
|         | 34   | 総合病院           | RC    | 2003年05月 |     | 34      | 事務所ビル          | SRC   | 2011年04月 |  |     |
|         | 35   | ホテル（ビジネス系）     | S     | 2005年05月 | ※廃止 | 35      | 小劇場付ワンルームマンション | RC    | 2009年04月 |  |     |
|         | 36   | 図書館            | RC    | 2004年05月 |     | 36      | 体育館            | RC/S  | 2010年04月 |  |     |
|         | 37   | 保育園            | w     | 2005年10月 | ※廃止 | 37      | 大学（情報系）        | SRC   | 2008年04月 |  |     |
|         | 38   | 寄宿舎            | RC    | 2000年06月 | ※廃止 | 38      | 大規模倉庫          | RC    | 2007年04月 |  |     |
|         | 39   | 小学校            | RC    | 2002年05月 | ※廃止 | 39      | 店舗             | S     | 2006年04月 |  |     |
|         |      |                |       |          |     | 40      | 総合病院           | RC    | 2003年04月 |  |     |
|         |      |                |       |          |     | 41      | 図書館            | RC    | 2004年05月 |  |     |

表-2 主な建物の2011年基準ウエイト

| 用途          | No.2   | No.6   | No.17  |
|-------------|--------|--------|--------|
|             | 住宅     | 事務所    | 工場     |
| 構造          | RC     | S      | S      |
| [工事原価]      | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| 1 純工事費      | 0.9567 | 0.9712 | 0.9636 |
| 2 現場経費      | 0.0433 | 0.0288 | 0.0364 |
| [純工事費]      | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| 1 建築        | 0.7728 | 0.6865 | 0.6501 |
| 2 設備        | 0.2272 | 0.3135 | 0.3499 |
| [建築純工事費]    | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| 1 仮設        | 0.0956 | 0.0892 | 0.0931 |
| 2 土工        | 0.0383 | 0.0260 | 0.0302 |
| 3 地盤        | 0.0698 | 0.0479 | 0.0530 |
| 4 コンクリート    | 0.1068 | 0.0376 | 0.0694 |
| 5 型枠        | 0.1033 | 0.0179 | 0.0301 |
| 6 鉄骨        | 0.1256 | 0.0321 | 0.0576 |
| 7 鉄骨        | 0.0045 | 0.2707 | 0.2605 |
| 8 既製コンクリート  | 0.0056 | 0.0420 | 0.0202 |
| 9 防水        | 0.0212 | 0.0136 | 0.0193 |
| 10 石工       | 0.0080 | 0.0069 | 0.0011 |
| 11 タイル      | 0.0286 | 0.0085 | 0.0016 |
| 12 木工       | 0.0397 | 0.0042 | 0.0014 |
| 13 金属       | 0.0482 | 0.0781 | 0.1242 |
| 14 左官       | 0.0271 | 0.0092 | 0.0124 |
| 15 木製建具     | 0.0211 | 0.0065 | 0.0013 |
| 16 金属製建具    | 0.0597 | 0.0971 | 0.0840 |
| 17 ガラス      | 0.0150 | 0.0285 | 0.0070 |
| 18 塗装・吹付    | 0.0119 | 0.0096 | 0.0171 |
| 19 内外装      | 0.0748 | 0.1002 | 0.0799 |
| 20 仕上ユニット   | 0.0952 | 0.0502 | 0.0366 |
| 21 カーテンウオール | 0.0000 | 0.0240 | 0.0000 |
| [設備工事費]     | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| 1 電気        | 0.3760 | 0.4412 | 0.3920 |
| 2 給排水・衛生    | 0.4609 | 0.1808 | 0.2170 |
| 3 暖冷房・空調    | 0.1071 | 0.2863 | 0.3695 |
| 4 昇降        | 0.0560 | 0.0917 | 0.0215 |

数」において参考指数として公表されている「連鎖基準基準ラスパイレス方式」による指数を、旧基準で導入したが、新基準から参考指数として公表する。連鎖方式による建築費指数は、前年のJBCIによる科目ウエイトを用いて、毎年ウエイトを更新して指数を算定するものであり、集合住宅（RC）、事務所（S）、工場（S）の指数を作成した。

### 3. 公表する指数の種類について

#### ①標準指数（東京）：19 建物種類

建物を使用、構造によって分類し、19 建物種類の指数を作成している。

#### ②構造別平均指数：3 建物種類

標準指数を「2011 年建築着工統計（国土交通省）工事費予算額の金額ウエイトで鉄骨鉄筋コンクリート造（SRC）、鉄筋コンクリート造（RC）、鉄骨造

(S) の 3 種類に分類，総合した指数である。

### ③モデル指数

当会発行の「建築コスト情報」に掲載された 19 建物種類の実在の建物をモデルとして取り上げ，それぞれのモデルごとに算出した指数である。また，基準時の建築費（純工事費）を掲載しているのので，比較時の建築費指数を乗じることにより，概算建築費を求めることができる。

### ④地域指数：11 建物種類

標準指数の主な建物種類および構造別平均指数について，全国主要 9 都市（大阪，名古屋，福岡，広島，高松，金沢，新潟，仙台，札幌）の価格データを使用して算出した指数である。都市別指数と都市間格差指数（東京＝100）がある。なお，今回より 47 都道府県の指数計算も行った。（図-2 参照）

追加都市の指数入手については，総合研究所経済研究課へ連絡願いたい。

### ⑤連鎖方式による建築費指数（参考指数）

参考指数として，集合住宅(RC)，事務所(S)，工場

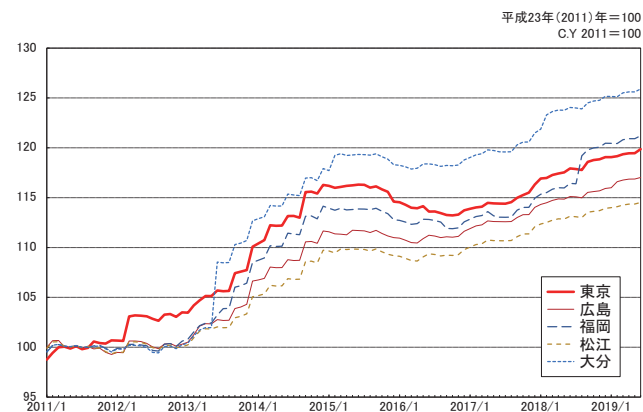


図-2 建築費指数（地域指数）の推移グラフ 集合住宅 RC（参考）

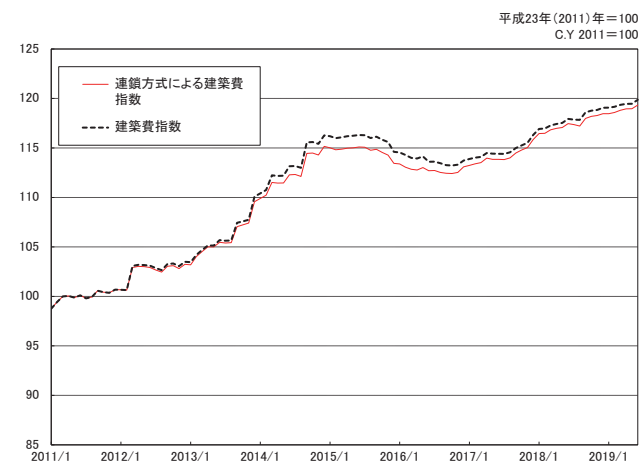


図-3 連鎖方式による建築費指数の推移グラフ 集合住宅 RC

(S) について，東京の指数を公表する。（図-3 参照）

## 4. 接続指数

平成 23 年（2011 年）基準建築費指数は平成 23 年（2011 年）以降を指数として作成している。したがって過去にさかのぼるためには，基準年ごとに一定係数を乗じて計算しなければならない。これを接続指数という。接続指数は，標準指数，構造別平均指数については，昭和 55 年（1980 年）まで，地域指数のうち都市別指数の一部については平成 2 年（1990 年）までさかのぼって計算し，平成 23 年（2011 年）基準接続指数として公表している。

例えば，昭和 55 年（1980 年）基準建築費指数は平成 23 年（2011 年）基準に接続する場合には，下記の算式により算出される。

### 平成 23 年基準接続指数

$$\begin{aligned}
 &= \text{昭和 55 年基準指数} \times \frac{100}{\text{昭和 55 年基準の昭和 60 年平均指数}} \\
 &\quad \times \frac{100}{\text{昭和 60 年基準の平成 2 年平均指数}} \\
 &\quad \times \frac{100}{\text{平成 2 年基準の平成 7 年平均指数}} \\
 &\quad \times \frac{100}{\text{平成 7 年基準の平成 12 年平均指数}} \\
 &\quad \times \frac{100}{\text{平成 12 年基準の平成 17 年平均指数}} \\
 &\quad \times \frac{100}{\text{平成 17 年基準の平成 23 年平均指数}}
 \end{aligned}$$

なお，建築費指数の基準改定では，基準年ごとに規模・内容の異なる建物で指数化しているのので，上記の算式はあくまで便宜的なものである。

したがって，長期の時系列として利用される場合はこのことに留意願いたい。また，モデル指数と地域指数のうち都市間格差指数，連鎖方式による建築費指数は，接続指数の計算は行っていない。

当会では，今後とも，建築費指数を充実させ，定期的な提供を図っていく予定である。ご利用の皆様には，建築費指数に関するご意見ご要望等を，お寄せいただければ幸いです。

(e-mail : econ@kensetu-bukka.or.jp)

## 【参考】寄与度からみた指数変動について

### 1. 建築費指数の寄与度について

建築費指数を公表している「建設物価指数月報」には、建築費指数の変動に対する細目寄与度を参考資料として掲載している。これは、建築費指数の変動分のうち、例えば鋼材（材料）がどれだけ上昇させたか、あるいは型枠（材工共）がどれだけ下落させたか等を、建築費（純工事費）の変動に対する細目の影響度合いを、基準時比、前年同月比、前月比について計測している。このうち本稿では、基準時比寄与度について整理した。

寄与度を求める算式は以下に示す。

$$\text{寄与度} = \frac{i \text{ 項目の } i \text{ 項目の指数のポイント差} \times i \text{ 項目のウェイト}}{\text{前期（基準時）の総合指数} \times \text{総合のウェイト}} \times 100$$

### 2. 寄与度の推移について

#### (1) 集合住宅 RC

2012 年から普通合板型枠【材工】、鉄筋加工組立【工】の上昇が純工事費指数にプラスに寄与している。これは、東日本大震災復旧・復興工事、大型再開発、東京五輪関連工事等の需要増加で型枠工、鉄筋工を中心に職人不足が慢性化し、一部では工程遅延も生じ、専門工事業者の値上げ要請を総合工事業者が受け入れ、工事費が上昇した。その後、2014 年頃から 2016 年頃までは、製品需要の低迷と原材料のスクラップ価格の長期低迷により、鉄筋【材】の下落が純工事費指数に対しマイナス寄与していたが、2015 年以降の石こうボードや建築用スチール製品等の仕上や設備等の材工共価格の上昇が純工事

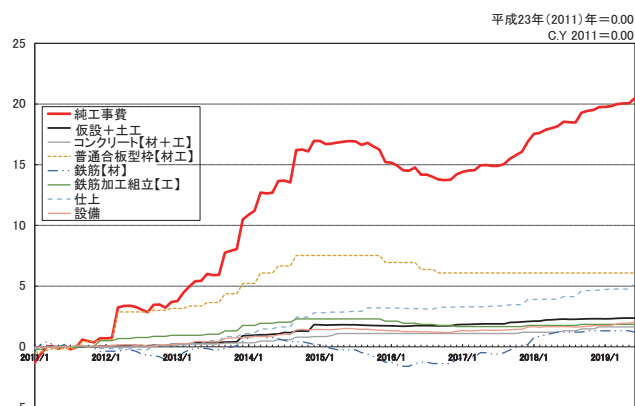


図-4 集合住宅 RC 基準時比寄与度の推移グラフ (2011年基準)

表-3 集合住宅 RC 基準時比寄与度の推移 (2011 年基準)

| 科目・細目・品目             | 年月     |        |         |         |        |
|----------------------|--------|--------|---------|---------|--------|
|                      | 2012.3 | 2014.9 | 2016.10 | 2018.10 | 2019.6 |
| 純工事費(建築+設備)          | 3.24   | 16.20  | 13.73   | 19.44   | 20.48  |
| 《建築》仮設+土工            | 0.09   | 1.29   | 1.73    | 2.31    | 2.36   |
| 《建築・躯体》コンクリート【材+工】   | 0.00   | 0.80   | 1.10    | 1.48    | 1.64   |
| 《建築・躯体》普通合板型枠【材工】    | 2.87   | 7.52   | 6.09    | 6.09    | 6.09   |
| 《建築・躯体》鉄筋【材】         | -0.37  | 0.42   | -1.38   | 1.32    | 1.21   |
| 《建築・躯体》鉄筋加工組立【工】     | 0.68   | 2.30   | 1.76    | 1.85    | 1.85   |
| 《建築・躯体》その他（グラフ線表示なし） | 0.00   | 0.00   | 0.01    | 0.02    | 0.02   |
| 《建築》仕上               | -0.16  | 2.43   | 3.26    | 4.64    | 5.19   |
| 《設備》                 | 0.15   | 1.39   | 1.17    | 1.68    | 2.05   |

費指数にプラスに寄与している。

#### (2) 工場 S

工場 S では、2012 年からの普通合板型枠【材工】、鉄筋加工組立【工】の上昇よりも、原材料のスクラップ価格の下落による鋼材【材】の下落が純工事費指数に大きくマイナス寄与したため、集合住宅 RC と比較して、工場 S の純工事費指数の上伸幅は小さくなった。2013 年秋以降には、鉄骨需要増加による工場稼働率の上昇で、加工業者は採算優先の受注に努めたため、鉄骨工場製作費【工】が上昇し、純工事費指数に対しプラスに寄与した。2015 年以降、国内中小建築物向け需要の低迷等により鋼材【材】は下落し、純工事費指数に対しマイナスに寄与した。2016 年秋以降、鋼材価格、鉄骨工場製作費や仕上等の価格上昇が純工事費指数にプラスに寄与している。

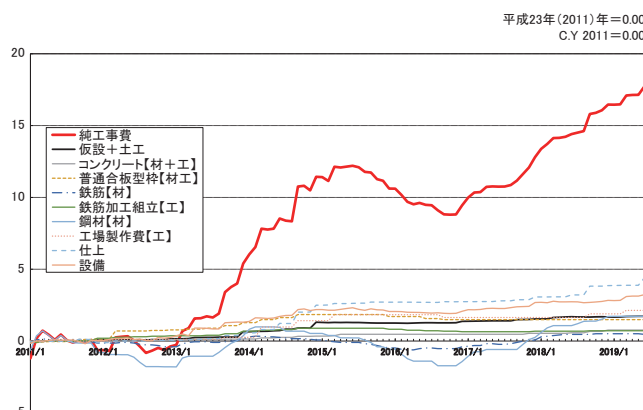


図-5 工場 S 基準時比寄与度の推移グラフ (2011 年基準)

表-4 工場 S 基準時比寄与度の推移 (2011 年基準)

| 科目・細目・品目             | 年月     |        |         |         |        |
|----------------------|--------|--------|---------|---------|--------|
|                      | 2012.3 | 2014.9 | 2016.10 | 2018.10 | 2019.6 |
| 純工事費(建築+設備)          | 0.26   | 10.75  | 8.79    | 15.89   | 17.73  |
| 《建築》仮設+土工            | 0.06   | 0.90   | 1.27    | 1.68    | 1.72   |
| 《建築・躯体》コンクリート【材+工】   | 0.00   | 0.33   | 0.47    | 0.67    | 0.76   |
| 《建築・躯体》普通合板型枠【材工】    | 0.70   | 1.84   | 1.49    | 1.49    | 1.49   |
| 《建築・躯体》鉄筋【材】         | -0.14  | 0.16   | -0.53   | 0.51    | 0.47   |
| 《建築・躯体》鉄筋加工組立【工】     | 0.26   | 0.89   | 0.68    | 0.72    | 0.72   |
| 《建築・躯体》鋼材【材】         | -0.94  | 0.69   | -1.72   | 1.38    | 1.72   |
| 《建築・躯体》鉄骨工場製作費【工】    | 0.11   | 1.42   | 1.64    | 1.89    | 2.13   |
| 《建築・躯体》その他（グラフ線表示なし） | 0.00   | 0.32   | 0.85    | 1.00    | 1.08   |
| 《建築》仕上               | 0.01   | 2.01   | 2.74    | 3.82    | 4.42   |
| 《設備》                 | 0.18   | 2.19   | 1.92    | 2.72    | 3.23   |

# 付録

## 総研リポート掲載報文リスト

(「\*」は寄稿文)

- \*伊豆 宏 (2007)：経済をかえる不動産の証券化，創刊号，1 p.
- \*河野 擴 (2007)：サステナブルな不動産市場の構築，創刊号，2 p.
- \*倉橋 透 (2007)：首都圏における相続税対策の貸家着工戸数への影響，創刊号，pp. 3～12.
- 吉本隆英 (2007)：建築物リフォーム・リニューアル調査 平成 17 年度結果，創刊号，pp. 13～21.
- 橋本真一 (2007)：耐震改修工事費のマクロ的価格傾向に関する研究，創刊号，pp. 22～31.
- 松本精一 (2007)：江戸時代の土木設計・積算・施工技術を探る—「天保期の印旛沼堀割普請」の古文書を読む，創刊号，pp. 32～69.
- \*寶 馨 (2008)：地球温暖化と社会資本整備，Vol. 2，pp. 1～8.
- \*松谷明彦 (2008)：人口問題から見る少子高齢化社会と社会資本の需要変化について，Vol. 2，pp. 9～21.
- 西方史子 (2008)：民間企業設備投資動向調査にみる土地購入費の動向，Vol. 2，pp. 22～26.
- 丸木 健 (2008)：く体工事の主要資材量に関する調査結果，Vol. 2，pp. 27～28.
- 池原一彦 (2008)：道路維持修繕工事施工単価の分析と作成，Vol. 2，pp. 29～38.
- 橋本真一 (2008)：マンション改修工事費のマクロ的価格傾向に関する研究，Vol. 2，pp. 39～51.
- 松本精一 (2008)：江戸時代の土木設計・積算・施工技術を探る (続編)，Vol. 2，pp. 52～71.
- 池原一彦 (2008)：ユニットプライス型積算方式事例解説，Vol. 2，pp. 74～102.
- \*草柳俊二 (2009)：国際化の進行と建設産業が取り組むべき課題と将来展望について，Vol. 3，pp. 1～9.
- \*小林康昭 (2009)：経済減速の激流に翻弄されるわが国の建設業，Vol. 3，pp. 10～19.
- 池原一彦 (2009)：切削オーバーレイ工施工単価算定システムの検討，Vol. 3，pp. 20～26.
- 丸木 健 (2009)：躯体工事の主要資材数量と変動要因に関する研究，Vol. 3，pp. 27～31.
- 橋本真一 (2009)：躯体コストからみたスケルトンの類型化

- に関する研究，Vol. 3，pp. 32～38.
- 池原一彦 (2009)：工事価格と施工条件の関係分析 (トンネル工事記録データを例として)，Vol. 3，pp. 39～49.
- 橋本真一 (2009)：建設資材の価格形成メカニズムに関する研究，Vol. 3，pp. 50～59.
- \*牧角龍憲 (2010)：持続可能な地域社会を構築するために社会基盤整備が果たす役割，Vol. 4，pp. 1～7.
- \*山本幸司 (2010)：我が国の社会資本整備と建設関連産業を取り巻く現状と課題，Vol. 4，pp. 8～12.
- 中村悦広 (2010)：滋賀における公営住宅家賃及び入居難の要因分析，Vol. 4，pp. 13～18.
- 吉田光正，西方史子，中村悦広 (2010)：マンション需要の価格弾力性の計測 地域別，時期別分析，Vol. 4，pp. 19～30.
- 橋本真一，丸木 健，中山健志 (2010)：建築着工統計からみたマンションの工事費変動要因に関する研究，Vol. 4，pp. 31～39.
- 橋本真一 (2010)：マンション改修工事費のマクロ的価格傾向に関する研究 (平成 20 年調査)，Vol. 4，pp. 40～52.
- 松本精一 (2010)：「村明細帳」にみる江戸時代の八ヶ岳南麓の農業水利，Vol. 4，pp. 53～70.
- \*中村悦広 (2010)：社会資本の生産効果の研究レビュー，特別号，pp. 4～12.
- \*川出真清 (2010)：社会資本の生産性に関する研究レポート，特別号，pp. 13～27.
- \*中東雅樹 (2010)：日本の道路資本の現状分析—中東 (2010) の研究成果から—，特別号，pp. 28～35.
- \*亀田啓悟 (2010)：公共投資の雇用・民間投資誘発効果について，特別号，pp. 36～43.
- \*倉橋 透 (2010)：費用便益分析再考と New Approach to Appraisal，特別号，pp. 44～56.
- \*赤井伸郎，中村悦広 (2010)：公共建築による民間建築の「呼び水」効果について，特別号，pp. 57～62.
- \*赤井伸郎，亀田啓悟，中村悦広 (2010)：「建設工事受注動態統計調査」と「建築着工統計調査」の比較および改正建築基準法が建築の契約と着工の関係に与えた影響の分析，特別号，pp. 63～72.
- \*土居丈朗 (2010)：社会資本の最適規模と財政健全化に関する数値解析，特別号，pp. 73～85.
- \*根本祐二 (2011)：社会資本の老朽化と維持更新—震災復興と危機管理の観点から—，Vol. 5，pp. 1～8.



- \*宮本和明（2011）：道路 PFI 事業と事業スキーム検討ツールの提案，Vol. 5，pp. 9～18.
- 岩松 準，建設物価調査会総合研究所（2011）：ミクロな資材価格データの時系列及び地域差の分析，Vol. 5，pp. 19～28.
- 宮本和明，建設物価調査会総合研究所（2011）：建設資材価格変動リスク分析のための時系列分析，Vol. 5，pp. 29～37.
- 中村悦広（2011）：事務所エネルギー消費に対する事務所稼働時間及び冷暖房使用日数の影響—DECC データを用いた事務所エネルギー消費削減効果の検証—，Vol. 5，pp. 38～48.
- 中山健志，橋本真一（2011）：中古マンション価格指数と建築費指数の連動性分析，Vol. 5，pp. 49～52.
- 中村悦広，橋本真一（2011）：建物の特性（品質）調整済みマンション工事費単価指数の計測 ～JBCI 個票データを用いて，Vol. 5，pp. 53～60.
- 橋本真一（2011）：JBCI データによる建物用途別工事費の類型化に関する研究，Vol. 5，pp. 61～65.
- 橋本真一，古阪秀三，韓 甜（2011）：中国と日本における積算基準と価格情報に関する比較研究，Vol. 5，pp. 66～72.
- 松本精一，牧野雅美，吉田光正（2011）：純資本ストックからみた農業基盤整備資本の現状，Vol. 5，pp. 73～82.
- \*中野剛志（2012）：財政構造改革と公共投資（インフラ整備が抱える課題），Vol. 7，pp. 1～6.
- \*古阪秀三（2012）：日中韓台の建築プロジェクトにおける品質確保のしくみに関する比較研究—鉄筋工事・鉄骨工事を例に一，Vol. 7，pp. 7～18.
- 清水隆博（2012）：建設投資分析，Vol. 7，pp. 19～24.
- 西方史子（2012）：実質民間住宅投資の決定要因に関する一考察—生産年齢人口と実質金利による分析—，Vol. 7，pp. 25～28.
- 中村悦広，橋本真一（2012）：東京都の分譲住宅及び賃貸住宅に関する建物特性調整済み工事費指数の計測，Vol. 7，pp. 29～36.
- 中山健志，橋本真一（2012）：超高層建築物の供給実態と市場について，Vol. 7，pp. 37～42.
- 橋本真一，丸木 健（2012）：契約実績データからみたマンション工事費の価格変動要因に関する研究，Vol. 7，pp. 43～47.
- 橋本真一，丸木 健（2012）：改修工事（集合住宅）のマクロ的価格傾向に関する研究（その 5），Vol. 7，pp. 48～58.
- 橋本真一，古阪秀三，韓 甜（2012）：韓国・台湾と日本における積算基準と価格情報に関する比較研究，Vol. 7，pp. 59～65.
- 建設経済研究所，建設物価調査会総合研究所（2012）：LCC が建設コストに及ぼす影響に関する研究，Vol. 7，pp. 66～73.
- 村田裕介（2012）：非対称情報下における価格設定（調達）に関する研究の一考察，Vol. 8，pp. 78～84.
- 価値総合研究所，建設物価調査会総合研究所（2012）：価格情報および建設物価の価値に関する研究，Vol. 8，pp. 85～94.
- \*家田 仁（2013）：「転換点に立つインフラ政策」—水平的展開の時代から垂直的發展の時代へ—，Vol. 9，pp. 1～7.
- 清水隆博（2013）：アベノミクスと公共投資，Vol. 9，pp. 8～18.
- 橋本真一（2013）：震災復興地域における建設資材・工事費単価等の推移と動向，Vol. 9，pp. 19～27.
- 橋本真一，丸木 健（2013）：契約実績データからみた事務所の工事費変動要因に関する研究，Vol. 9，pp. 28～32.
- 丸木 健（2013）：JBCI（建築工事費調査）について—データの概要とマンションの価格傾向—，Vol. 9，pp. 33～41.
- \*高野伸栄（2013）：防災に係る市民意識を考える，Vol. 10，pp. 1～8.
- \*藤川眞行（2013）：平成 25 年度建設経済見通しのポイント，Vol. 10，pp. 9～12.
- \*藤川眞行（2014）：建築物リフォーム投資額のマクロ的な把握について，Vol. 11，pp. 1～6.
- \*鈴木信行（2014）：新しい建設プロジェクトのマネジメント，Vol. 11，pp. 6～28.
- 橋本真一，丸木 健（2014）：契約実績からみた高齢者施設の工事費変動に関する研究，Vol. 11，pp. 29～36.
- 村田裕介（2014）：個人住宅の新築工事における建物概要と工事費の価格傾向，Vol. 11，pp. 37～45.
- 有森正浩，村田裕介（2014）：建設資材価格の定期調査において次回調査結果報告までの間に生ずる価格変動の予測，Vol. 11，pp. 46～51.
- 有森正浩，村田裕介（2014）：建築物着工統計の工事費予定額から資機材・労務調達の月別発注額を推定するモデル構築に関する一つの試み，Vol. 11，pp. 52～56.
- 有森正浩（2014）：西日本の積雪地帯における少雪傾向と少雪が水資源の不安定化に及ぼす影響，Vol. 11，pp. 57～65.
- 有森正浩，村田裕介（2014）：建設工事市場単価の定期調査後における価格動向の推定手法に関する検討，Vol. 12，pp. 1～6.

- \*国土交通省総合政策局建設統計室（2014）：平成26年度建設投資見通し，Vol. 12，pp. 7～91.
- 有森正浩，村田裕介（2014）：建設資材価格の定期調査後における価格変動の予測，Vol. 13，pp. 3～8.
- 有森正浩，村田裕介（2014）：建設工事市場単価の定期調査後における価格変動の予測，Vol. 13，pp. 9～14.
- 有森正浩，村田裕介（2014）：建設資材の価格予測における予測期間と推定精度の関係—建設資材における3ヵ月先の価格予測の検討—，Vol. 13，pp. 15～22.
- 有森正浩，村田裕介（2014）：建設資材価格予測モデルの最適なモデルパラメータの決定方法に関する検討，Vol. 13，pp. 23～30.
- 有森正浩，村田裕介（2014）：建設工事受注動態統計の月別工事契約額から資材の月別調達額を推定するモデルの検討，Vol. 13，pp. 31～37.
- \*倉橋 透（2015）：建設投資額のトレンドからの乖離と平成バブル期における乖離の背景と影響，Vol. 14，pp. 1～8.
- \*五十嵐 健（2015）：次世代建設産業モデルとコスト情報のあり方，Vol. 14，pp. 9～18.
- 橋本真一（2015）：原価法による再調達原価算定の精緻化と価格情報等に関する一考察，Vol. 14，pp. 19～23.
- 橋本真一，丸木 健，村田裕介（2015）：木造住宅の工事費と価格変動要因に関する研究，Vol. 14，pp. 24～30.
- 西方史子，橋本真一（2015）：改修工事（集合住宅）のマクロ的価格傾向に関する研究（その6），Vol. 14，pp. 31～41.
- 有森正浩，村田裕介（2015）：市況気配を用いた建設資材価格予測モデルにおける予測の仕組みに関する考察，Vol. 14，pp. 42～47.
- 有森正浩（2015）：西日本の積雪地帯における積雪量の経年変化推定—鳥取県の日野川流域における事例—，Vol. 14，pp. 48～56.
- 齋藤 彰（2015）：被災3県の建設資材価格・工事費の動向，Vol. 14，pp. 57～62.
- \*蟹澤宏剛（2016）：建設業の重層下請構造の実態と技能者の処遇，Vol. 15，pp. 1～6.
- \*鈴木信行（2016）：女性が建設産業に継続的に就業するための基礎条件に関する提案，Vol. 15，pp. 7～17.
- \*鈴木信行，村田裕介，齋藤 彰（2016）：建設工事（香港）の契約条件書等からみた女性用現場設備に関する調査研究，Vol. 15，pp. 18～26.
- 橋本真一，丸木 健（2016）：倉庫・工場の工事費と価格変動要因に関する研究，Vol. 15，pp. 27～32.
- 建設物価調査会総合研究所（2016）：市況気配モデルによる建設資材等の価格予測の研究，Vol. 15，pp. 33～37.
- 村田裕介，大谷忠広，齋藤 彰（2016）：女性が働きやすい就労環境の改善費に関する研究，Vol. 15，pp. 38～45.
- 山本高史（2016）：“アジアのラスト・フロンティア” ミャンマーの建設経済の動向と街の様子，Vol. 15，pp. 46～56.
- \*橋本 亮（2017）：i-Constructionの現状と将来展望について，Vol. 16，pp. 1～6.
- \*一般社団法人日本建設業連合会（2017）：現場打ちコンクリートの生産性向上への取組みについて，Vol. 16，pp. 7～18.
- \*建山和由（2017）：i-Constructionの現状と将来展望，Vol. 16，pp. 19～28.
- \*清沢唯志，和田 一，宮本勇太，森田晃司（2017）：熊本城再建におけるi-Constructionの活用，Vol. 16，pp. 29～38.
- \*神崎恵三（2017）：ICT建設技術を活用した大規模造成工事の施工事例，Vol. 16，pp. 39～47.
- \*橋本真一，丸木 健（2017）：RC造の躯体工事費と建物用途との関連性に関する研究，Vol. 16，pp. 48～55.
- \*山本 高志（2017）：価格予測，Vol. 16，pp. 56～60.
- \*吉田 光正（2017）：建築費指数・建設資材物価指数の改訂，Vol. 16，pp. 60～60.
- 矢吹信喜（2018）：i-Constructionの現状と将来展望「BIM/CIM導入に向けた諸問題と改善策」Vol. 17，pp. 1～9.
- 志手一哉（2018）：BIMのさらなる普及に向けた“Information”の活用について—英国・米国の事例を参考とした考察—Vol. 17，pp. 10～19.
- 後閑淳司（2018）：i-Constructionの現状と将来展望 Vol. 17，pp. 20～30.
- 藤原祐一郎（2018）：i-Constructionを活用した工事の施工事例 Vol. 17，pp. 31～39.
- 長島泰博（2018）：建設3Dデータ閲覧サイトの構築 Vol. 17，pp. 41～44.
- 橋本真一，丸木 健（2018）：鉄骨造の躯体工事費と建物用途との関連性に関する研究 Vol. 17，pp. 45～51.
- 渡辺弘一（2018）：資材価格の中期予測の研究について Vol. 17，pp. 52～58.
- 山本高史（2018）：「個人住宅工事費の価格傾向に関する研究（その3）」の結果概要 Vol. 17，pp. 59～68.
- 丸木 健，橋本真一（2018）：超高層マンションの建設費に関する考察 Vol. 17，pp. 69～75.
- 伊沢佳織（2018）：超高層建築物の供給実態と動向（2017年時点）Vol. 17，pp. 76～82.
- 齋藤 彰（2018）：うめきた再開発事業～JR東海道線支線地

- 下化・新駅設置事業～ Vol. 17, pp. 83～89.
- 国土交通省総合政策局建設経済統計調査室（2018）：平成 30 年度 建設投資見通し Vol. 17, pp. 91～108.
- \*木村哲也（2019）：国際安全規格からみたドローン安全～ドローンビジネスの持続的発展のために～ Vol. 18, pp.1～6.
- \*眞砂英樹（2019）：ダム・河川インフラ点検へのロボット導入促進に向けたロボット性能評価手法標準化への取り組み Vol. 18, pp.7～16.
- \*小島英郷（2019）：デジタルスマートコンストラクションの幕明け Vol. 18, pp.17～34.
- \*工藤敏邦（2019）：スマートデバイスを活用した施工管理業務の生産性向上 Vol. 18, pp.35～43.
- \*古賀純子（2019）：防水改修における耐久性の確保 Vol. 18, pp.44～49.
- 橋本真一，山本高史（2019）：マンションの設備改修工事費と長期修繕計画との関連性に関する研究 Vol. 18, pp.51～57.
- 池原一彦（2019）：伊能忠敬と間宮林蔵の関係が北海道地図作成に与えた影響 Vol. 18, pp.58～60.
- 株式会社リサーチアンドソリューション（2019）：回路図面における電気電子部品の自動認識手法の研究開発 Vol. 18, pp.61～65.
- 山本高史（2019）：2020 年 東京オリンピック・パラリンピック開催に伴う建設需要の現状と今後の経済動向～五輪開催後の建設需要はどうか？～ Vol. 18, pp.66～74.
- 山本高史（2019）：「個人住宅工事費の価格傾向に関する研究（その 4）」の結果概要 Vol. 18, pp.75～84.
- 丸木 健（2019）：建築プライスレポート 2018 Vol. 18, pp.85～89.
- 伊沢佳織（2019）：民間企業設備投資動向調査 共通回答企業による時系列データ紹介と投資意向アンケートとの傾向比較について Vol. 18, pp.90～94.
- 総合研究所（2019）：建設資材物価指数 平成 23 年基準改定について Vol. 18, pp.95～99.
- 総合研究所（2019）：「建設物価・建築費指数」平成 23 年（2011 年）基準改定について Vol. 18, pp.100～103.

◎総合研究所の自主研究の結果は、建設総合サイト「建設 navi」でご覧いただけます。(無料会員登録制)

〈総合研究所〉

- ・ Japan Building Cost Information (JBCI)
- ・ マンション改修工事費調査研究
- ・ 文教施設耐震改修工事費マクロデータ研究
- ・ 個人住宅工事費の価格傾向に関する研究
- ・ 建設物価指数月報
- ・ 建設資材物価指数
- ・ 建設機械・仮設資材賃貸料金指数
- ・ 建築費指数
- ・ 民間企業設備投資動向調査
- ・ 建設経済季報
- ・ 建設物価マンスリーレポート「建設資材価格予測」

---

◇本誌の内容、数字等についてのお問い合わせ  
は、下記へお願いします。

総合研究所 TEL 03-3663-7235

---

■禁無断転載

総研レポート

第 18 号

令和元年 8 月 8 日 発行

発行所 ©一般財団法人 建設物価調査会

〒103-0011 東京都中央区日本橋大伝馬町 11 番 8 号

フジスタービル日本橋

・ オフィシャルホームページアドレス

<http://www.kensetu-bukka.or.jp>

・ 建設総合サイト「建設 navi」

<http://www.kensetu-navi.com>

編 集 一般財団法人 建設物価調査会 総合研究所

印刷所 勝美印刷株式会社





一般財団法人

建設物価調査会 総合研究所