

厚生労働科学研究費補助金
分担研究報告書

建設工事における安全衛生の確保のための

設計段階の措置に係る国内外の動向調査

研究代表者 吉川直孝 (独) 労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所・上席研究員
研究分担者 大幢勝利 (独) 労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所・センター長
研究分担者 平岡伸隆 (独) 労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所・主任研究員
研究分担者 堀智仁 (独) 労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所・上席研究員

研究要旨

本分担研究では、日本及び海外の行政の動向、研究分野の動向を公的機関の資料、国際的な学術論文等を用いて調査した。その結果、海外（英国、独国）の行政では、設計段階から安全衛生を考慮し、それを BIM に取り入れていた。また、研究分野においても、BIM の安全衛生への利活用について、2010 年から 2019 年までで少なくとも 86 件の原著論文が発表されており、年々その数を増やしていることが明らかとなった。特に、英国では、BIM の安全衛生への利活用について、英国安全衛生庁が公的な資料を公開し普及に努めている。また、独国でも独国連邦運輸デジタルインフラ省が BIM4INFRA2020 ハンドブックとして公的な資料を公開し、BIM の安全衛生への利活用を含めた形で、BIM の普及に務めている。さらに、国際的な研究の動向としては、BIM のソフト上で墜落・転落リスクを色分けして表示し、そのリスク低減措置を自動でセットアップするようなプログラミングも実施されていた。このような動きを日本にも普及させ、設計段階から安全衛生を配慮するような枠組作りが必要である。

A. 研究目的

本分担研究では、建設工事における設計段階からの安全衛生対策の配慮として、日本の行政等の動向、海外の行政等の動向（英国、独国等）、研究分野の動向等を調査し取りまとめることを目的とする。特に、**BIM/CIM** の安全衛生への利活用についても動向を調査することを目的とする。

B. 研究方法

本分担研究では、国内外の行政機関等のホームページから有用な公的資料をダウンロードし、それらを翻訳又は分析する方法で、国内外の動向を調査する。また、**Impact Factor**（インパクトファクター）を有する国際的な学術論文集から、**BIM/CIM** を安全衛生に利活用している論文を収集し、それらの要点を取りまとめた。

C. 研究結果

C-1. 日本の行政等の動向

国土交通省は、建設現場の生産性向上を図る i-Construction の取組において、これまで 3 次元モデルを活用し社会資本の整備、管理を行う CIM (Construction Information Modeling, Management) を導入することで受発注者双方の業務効率化・高度化を推進している。一方で、国際的な BIM (Building Information Modeling) の動向等は近年顕著な進展を見せており、土木分野での国際標準化の流れを踏まえ、Society 5.0 における新たな社会資本整備を見据えた 3 次元データを基軸とする建設生産・管理システムを実現するため BIM/CIM (Building/Construction Information Modeling, Management) という概念におい

て産官学一体となって再構築し、BIM/CIM の取り組みを推進している 1)～6)。

この取組の中で、国土交通省は「BIM/CIM 活用ガイドライン(案) 第1編 共通編」1)を令和2年3月に発出し、翌年令和3年3月に一部改定している。同ガイドライン(案)に、BIM/CIM の推進・活用にあたり、図1のとおり、関連する実施要領や各基準・要領等を整備し、体系的な推進を図っている。同図を見ると、設計業務の発注時に、「土木設計業務等共通仕様書」2)、「BIM/CIM 活用業務実施要領 3) (ICT の全面的な活用の推進に関する実施方針 別紙4)」及び「発注者における BIM/CIM 実施要領 (案)」5)を適用又は参照することとしている。

「土木設計業務等共通仕様書」2)は、以下のような適用としている。

第 1101 条 適用

1. 設計業務等共通仕様書 (以下「共通仕様書」という。) は、国土交通省〇〇地方整備局 (港湾空港関係を除く。) の発注する 土木工事に係る設計及び計画業務 (当該設計及び計画業務と一体として委託契約される場合の土木工事予定地等において行われる調査業務を含む。) に係る 土木設計業務等委託契約書及び設計図書 の内容について、統一的な解釈及び運用を図るとともに、その他の必要な事項を定め、もって 契約の適正な履行の確保を図るためのものである。

2. 設計図書は、相互に補完し合うものとし、そのいずれかによって定められている事項は、契約の履行を拘束するものとする。

3. 特記仕様書、図面、共通仕様書 又は指

示や協議等の間に相違がある場合、又は図面からの読み取りと図面に書かれた数字が相違する場合など業務の遂行に支障が生じた若しくは今後相違することが想定される場合、受注者は調査職員に確認して指示を受けなければならない。

4. 発注者支援業務、測量業務及び地質・土質調査業務等に関する業務については、別に定める各共通仕様書によるものとする。

このように、「土木設計業務等共通仕様書」2)は、設計業務等に係る契約の適正な履行の確保を図るためのものである。同仕様書において、第1211条に設計業務の成果の内容が以下のとおり規定されている。

第1211条 設計業務の成果

成果の内容については、次の各号についてとりまとめるものとする。

(1) 設計業務成果概要書

設計業務成果概要書は、設計業務の条件、特に考慮した事項、コントロールポイント、検討内容、施工性、経済性、耐久性、維持管理に関すること、美観、環境等の要件を的確に解説し取りまとめるものとする。

(2) 設計計算書等

計算項目は、この共通仕様書及び特記仕様書によるものとする。

(3) 設計図面

設計図面は、特記仕様書に示す方法により作成するものとする。

(4) 数量計算書

数量計算書は、「土木工事数量算出要領(案)」(国土交通省・最新版)により行う

ものとし、算出した結果は、「土木工事数量算出要領数量集計表(案)」(国土交通省・最新版)に基づき工種別、区間別に取りまとめるものとする。ただし、概略設計及び予備設計については、特記仕様書に定めのある場合を除き、一般図等に基づいて概略数量を算出するものとする。

(5) 概算工事費

受注者は、概算工事費を算定する場合には、調査職員と協議した単価と、前号ただし書きに従って算出した概略数量をもとに算定するものとする。

(6) 施工計画書

1) 施工計画書は、工事施工に当たって必要な次の事項の基本的内容を記載するものとする。

(イ) 計画工程表 (ロ) 使用機械 (ハ) 施工方法 (ニ) 施工管理 (ホ) 仮設備計画 (ヘ) 特記事項その他

2) 特殊な構造あるいは特殊な工法を採用したときは、施工上留意すべき点を特記事項として記載するものとする。

(7) 現地踏査結果

受注者は、現地踏査を実施した場合には、現地の状況を示す写真と共にその結果をとりまとめることとする。

このように、設計業務成果概要書には、主に施工性、経済性、耐久性、維持管理に関すること、美観、環境等の要件を記載することを規定している。また、施工計画書には、計画工程表、使用機械、施工方法、施工管理、仮設備計画、特記事項その他を記載することを規定している。

そこで、環境というキーワードで検索してみると、以下のような条文がヒットする。

第 1212 条 環境配慮の条件

1. 受注者は、「循環型社会形成推進基本法」（平成 12 年 6 月法律第 110 号）に基づき、エコマテリアル（自然素材、リサイクル資材等）の使用をはじめ、現場発生材の積極的な利活用を検討し、調査職員と協議のうえ設計に反映させるものとする。

2. 受注者は、「国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律」（平成 12 年 5 月法律第 100 号、以下「グリーン購入法」という。）に基づき、物品使用の検討にあたっては環境への負荷が少ない環境物品等の採用を推進するものとする。また、グリーン購入法第 6 条の規定による「国土交通省の環境物品等の調達の推進を図るための方針」に基づき、特定調達品目の調達に係る設計を行う場合には、事業ごとの特性を踏まえ、必要とされる強度や耐久性、機能の確保、コスト等に留意しつつ、原則として、判断の基準を満たすものが調達されるように設計するものとする。

3. 受注者は、「建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律」（平成 12 年 5 月法律第 104 号）に基づき、再生資源の十分な利用及び廃棄物の減量を図るなど適切な設計を行うものとする。

4. 受注者は、「建設汚泥の再生利用に関するガイドライン」（平成 18 年 6 月）の趣旨に配慮した設計を行うものとする。

このように、環境について、環境配慮の条件として、1つの条文が用意されていることがわかる。また、同仕様書内で参考とする主

要技術基準及び参考図書のうち、環境省又は環境庁に係るものとして、「猛禽類保護の進め方（改訂版）—特にイヌワシ、クマ、タカ、オオタカ—」、「環境大気常時監視マニュアル 第 6 版」、「騒音に係わる環境基準の評価マニュアル I. 基本評価編」、「騒音に係わる環境基準の評価マニュアル II. 地域評価編（道路に面する地域）」、「面的評価支援システム操作マニュアル（本編） Ver. 4.0.1」がある。このことから、環境保全は設計段階で考慮する事項に明確に含まれていることがわかる。これは、前述した「第 1211 条 設計業務の成果」にも設計業務成果概要書として、環境要件を的確に解説し取りまとめるものと規定していることから明らかである。「循環型社会形成推進基本法」（平成 12 年 6 月法律第 110 号）、「国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律」（平成 12 年 5 月法律第 100 号、以下「グリーン購入法」という。）、「建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律」（平成 12 年 5 月法律第 104 号）、「建設汚泥の再生利用に関するガイドライン」（平成 18 年 6 月）等、環境省が積極的に法律、ガイドライン等を定め、関係各省庁に働きかけてきたために実現したものと推察される。

一方、同仕様書内で参考とする主要技術基準及び参考図書のうち、厚生労働省に関連するものは、「斜面崩壊による労働災害の防止対策に関するガイドライン」及び建設業労働災害防止協会が発行する「ずい道等建設工事における換気技術指針」であった。

ここで、「建設工事従事者の安全及び健康の確保の推進に関する法律」（平成 28 年 12 月法律第 111 号）の第 3 条に基本理念が規定されており、以下のとおりである。

（基本理念）

第 3 条 建設工事従事者の安全及び健康の確保は、建設工事の請負契約において適正な請負代金の額、工期等が定められることにより、行われなければならない。

2 建設工事従事者の安全及び健康の確保は、このために必要な措置が建築物等の設計、建設工事の施工等の各段階において適切に講ぜられることにより、行われなければならない。

3 建設工事従事者の安全及び健康の確保は、建設工事従事者の安全及び健康に関する建設業者等及び建設工事従事者の意識を高めることにより、安全で衛生的な作業の遂行が図られることを旨として、行われなければならない。

4 建設工事従事者の安全及び健康の確保は、建設工事従事者の処遇の改善及び地位の向上が図られることを旨として、行われなければならない。

このように、同法律の第 3 条第 2 項の在り方について、今後も議論を深める必要がある。

次に、国土交通省が、設計業務の発注時に適用又は参照する「BIM/CIM 活用業務実施要領 3）（ICT の全面的な活用の推進に関する実施方針 別紙）」について考察する。同実施要領についても「土木設計業務等共通仕様書」2）と同様に、設計段階において BIM/CIM を活用し、設計者との契約の適正な履行の確保を図る目的と考えられる。同実施要領から、概要、対象業務、BIM/CIM を活用した検討等を抜粋すると以下のとおりである。

1. BIM/CIM 活用業務

1. 1 概要

BIM/CIM 活用業務とは、建設生産・管理システム全体の課題解決および業務効率化を図るため、建設生産・管理システムにおける測量・調査、設計等のプロセスの各段階において、BIM/CIM (Building/ Construction Information Modeling, Management) を活用した検討等を実施し、後工程のために必要な BIM/CIM モデル等を構築する業務である。

1. 2 対象業務

BIM/CIM 活用業務の対象は、以下とする。

- ・測量業務
- ・地質・土質調査業務
- ・河川（河川構造物設計等）
- ・砂防および地すべり対策（砂防構造物設計、地すべり対策調査・計画・設計等）
- ・ダム（ダム地質調査、ダム本体設計、ダム付帯施設設計、施工計画及び施工設備等）
- ・道路（道路設計、地下構造物設計、トンネル設計、橋梁設計等）

なお、上記の他に、発注者が必要と認めた場合は、発注者指定型又は受注者希望型で BIM/CIM 活用業務の対象としてもよい。

1. 3 BIM/CIM を活用した検討等

BIM/CIM を活用した検討等を 1.3.1 に基づき実施する。当該検討等に当たっては、受発注者間の事前協議に基づき BIM/CIM 実施計画書を 1.3.2 に基づき作成し、検討結果に関する BIM/CIM 実

施報告書を 1.3.3 に基づき取りまとめる。なお、設計図書に照査技術者の配置の定めがあり、BIM/CIM モデルを活用して契約図書（2 次元図面）の照査を行う場合においては、その旨を業務計画書の照査計画に記載することとし、具体的に照査を行う対象や範囲を BIM/CIM 実施計画書に記載する。

ただし、測量業務については、これらによらず、「別紙－1 UAV等を用いた公共測量実施要領」「別紙－3（1）3次元ベクトルデータ作成業務実施要領」「別紙－3（2）3次元設計周辺データ作成業務実施要領」による。

1. 3. 1 BIM/CIM を活用した検討等の具体的な内容

以下の①～④による。

① BIM/CIM モデルの作成・更新

詳細設計における BIM/CIM モデルの作成・更新については、「3次元モデル成果物作成要領（案）」に基づき実施する。また、次項の②の項目を選定した場合は、追加分として、当該項目の目的を達成するために必要な BIM/CIM モデルの作成・更新を行う。詳細設計以外における BIM/CIM モデルの作成・更新については、次項の②において選定した項目の目的を達成するために必要な BIM/CIM モデルの作成・更新を行う。なお、BIM/CIM モデルの作成・更新を行う際、調査段階等の上流工程から受け渡された情報（例えば、測量データ、地形データ、地質・土質モデル、線形データ、上流工程で作成した構造物、土工形状の3次元モデル、統合モデル等）がある場合、適切に活用を図る。

② BIM/CIM モデルを活用した検討の実施

発注者は、円滑な事業執行のために必要と判断した場合、以下の a)～g)から BIM/CIM モデルを活用した検討項目を選定する。具体的な実施内容については、「別添-1 BIM/CIM 活用業務における BIM/CIM モデルを活用した検討内容の記載例」を参考にする。なお、詳細設計で適用する「3次元モデル成果物作成要領（案）」において、設計品質確保のために BIM/CIM モデルを活用した契約図書（2次元図面）の設計照査を求めているが、対象箇所を詳細に明示している訳ではないため、特に施工時に問題になりやすい箇所（過密配筋箇所、橋梁杓座部のアンカーバー周辺等）を BIM/CIM モデルにより事前検討する必要性が高い場合、g)において明記する。また、これらの検討を実施する際、情報共有システムの活用、「BIM/CIM 活用における「段階モデル確認書」作成手引き【試行版】（案）」による段階モデル確認等により、手戻りなく検討を進められるよう努める。

- a) 設計選択肢の調査（配置計画案の比較等）
- b) リスクに関するシミュレーション（地質、騒音、浸水等）
- c) 対外説明（関係者協議、住民説明、広報等）
- d) 概算工事費の算出
- e) 4D モデル（3次元モデルに時間情報を付与したモデル）による施工計画等の確認
- f) 複数業務・工事を統合した工程把握及び情報共有

g) その他【業務特性に応じた項目を設定】

このように、「BIM/CIM 活用業務実施要領」3)では、BIM/CIM を活用した検討等の具体的な内容のうちの 1 つの検討項目として、「b) リスクに関するシミュレーション（地質、騒音、浸水等）」を挙げている。また、同実施要領にて引用している「別添-1 BIM/CIM 活用業務における BIM/CIM モデルを活用した検討内容の記載例」4)を見ると、「b) リスクに関するシミュレーション（地質、騒音、浸水等）」の記載例は以下のとおりである。同記載例は、国土交通省の各地方整備局が各建設プロジェクトの特性に応じて定める特記仕様書に記載するための例を示したものである。

b) リスクに関するシミュレーション（地質、騒音、浸水等）

1) 実施目的

本体構造物と地質・土質構成等の位置関係を地質・土質モデルにより立体的に把握することで、地質・土質上の課題等を容易に把握し、これにより後工程におけるリスクを軽減するための適切な対策につなげることを目的とする。【これは地質の場合。事業の特性に応じて記載する】

2) 実施内容

本体構造物の周辺について、ボーリングデータから作成した地質断面図を重ねた地質・土質モデルを作成する。視覚的に容易に確認できるよう、土質による色分けを分かりやすく表現する。なお、地質・土質モデルは不確実性を含んだ推計モデルであることから、地質・土質調査の量

や質を踏まえた推定の考え方を明示する。【これは地質の場合。事業の特性に応じて記載する】

3) 作成する BIM/CIM モデル

地質・土質モデル【事業の特性に応じて記載する】

4) BIM/CIM モデルの詳細度（想定）

BIM/CIM 活用ガイドライン（案）による。

5) BIM/CIM モデルに付与する属性情報（想定）

BIM/CIM 活用ガイドライン（案）による。

6) 主に参照する基準・要領等

BIM/CIM 活用ガイドライン（案）

土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン【地質の場合】

7) 【参考】適用が見込まれる場合

（地質の場合）山間部等であって、地盤状況の立体的な把握が困難であり、かつ地盤の不確実性に伴う後工程における手戻り（現地不整合等に伴う再検討、クレーン等による工事中止等）による影響が大きいと考えられる場合において適用が見込まれる。

このように、同記載例は、「・・・地質・土質上の課題等を容易に把握し、これにより後工程におけるリスクを軽減するための適切な対策につなげることを目的とする。・・・」とあり、リスクを低減するために、設計段階から BIM/CIM を用いて地質・土質モデルを立体的に把握することとしている。このように、地質、騒音、浸水等に限ったことではあるが、リスクに関するシミュレーションに BIM/CIM を活用することに

関して、設計段階の業務としている。

同記載例において、主に参照する基準・要領等では、「BIM/CIM活用ガイドライン(案)」1)及び「土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン」5)を挙げている。具体的に、「BIM/CIM活用ガイドライン(案)」1)及び「土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン」5)の内容をまとめてみる。

まず、「土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン」5)では、地質・地盤リスクマネジメントにおいて最も重要な点は、事業者（ここではおそらく発注者のこと。）、地質・地盤技術者、設計技術者、施工技術者、点検技術者及びそれを支援する産官学の専門家等の関係者がリスクマネジメントに参画し、リスクに関する情報を共有し、役割を分担し、また強く連携してリスクに対応しようとする意識とその体制にあると考え、これを ONE-TEAM と表現している。同ガイドラインは、国土交通省の実施する土木事業を対象とし、また、地方自治体等が実施する土木事業においても活用できるとある。地質・地盤リスクマネジメントの構成とプロセスは以下のとおりである。

地質・地盤リスクマネジメントは以下の①～⑤で構成され、そのプロセスは事業の様々な階層において継続的に実施するものとする。

- ①コミュニケーション及び協議
- ②リスクマネジメントの計画
- ③リスクアセスメント
- ④リスク対応
- ⑤リスクマネジメントの継続的な改善

これをわかりやすくまとめたものが図 2 に示す地質・地盤リスクマネジメントのプロセスであり、これは ISO 31000⁶⁾のリスクマネジメントのプロセスを地質・地盤リスクマネジメントに適用したものとある。また、図 2 に示すプロセスの一部もしくは全体は、建設プロジェクトの各段階の中にも各工程で繰り返し実行される必要があると述べている。それをイメージしたものが図 3 とある。同図の左が建設プロジェクト全体の流れ（構想→計画→設計→施工→維持管理）を示したものである。設計段階の中にも、予備調査→予備設計→詳細調査→詳細設計があり、図 2 のプロセスの一部もしくは全体が実行される。

ここで、建設プロジェクト全体の流れの中において、地質・地盤リスクマネジメントの構成要素の「④リスク対応」については、以下のとおりである。

5.5 リスク対応

リスク評価結果を基に、リスク対応の選択肢を検討し、最適な対応策を実施する。

【解説】

（1）リスク対応候補の案出と選定

リスク対応はリスクを修正するプロセスであり、ここでいう修正とは予想される影響がより好ましいものとなるように対応策を講じることである。一般に、回避（リスク要因を取り除く対応）、低減（リスクの起こりやすさを減じたり影響を小さくしたりする対応）、移転（保険等による対応）、保有（対策をとらずリスクを受け入れる対応）等に分けられる。地質・地盤リスクの対応方法も同様であり、その

ための具体的な対応の方法として、計画変更、設計の変更、工法の変更、施工時や施工後のモニタリング等がある。また、これらを定めるのに十分な情報がない場合は、追加調査等の対応もある。

このため、地質リスク調査検討業務の活用、リスク対応検討チームによる検討等により、できるだけ複数のリスク対応策の案出を行うことを基本とする。検討チームは設計技術者、施工技術者、地質・地盤技術者が参加することが望ましい。

次に、案出された地質・地盤リスク対応策の中からリスク対応候補を選定する。この候補の選定は、リスク評価の結果を基に、その影響を勘案し、技術的な対応の可能性や行政的な対応の可能性等も含めて行うことが一般的である。

なお、候補の選定にあたっては、各対応方法によるメリットやデメリットを整理した上で、対応方法を選定することが望ましい。リスク対応は、その実効性を担保するため、単一のリスク対応だけでなく対応群として実施すべき場合もある。また、リスク対応することで他のリスクを生み出す場合もあることから、これらに留意し、多面的な視点で整理することに努める。

これらの情報はリスク管理表等にまとめて整理し、リスク対応候補の選定根拠も含めて記録し、引き継ぐものとする。

（２）リスク対応の決定と実施

地質・地盤リスクマネージャは事業の責任者と必ずしも同一ではないため、地質・地盤リスクマネージャが行うのはリスク対応候補の選定であり、最終的な対応の決定は、地質・地盤リスクマネージ

ャと協議の上、事業者が行うものとする。

事業者は選定されたリスク対応候補やその他の案について、その内容を十分把握した上で対応を決定し、できるだけ速やかに実施する必要がある。このために、受発注方式や契約内容等においても、あらかじめ地質・地盤の不確実性等に対応しやすい方式・内容にしておくこと等が考えられる（例：工事における「技術提案・交渉方式」等）。

事業者は、最終的な対応の選定結果とその理由及びその後に必要な対応や残存リスク等を地質・地盤リスクマネージャに伝えるものとし、記録に残し、後の作業に関わる関係者に共有し引き継ぐものとする。

（３）不確実性を考慮したリスク対応

設計・施工段階では、地質・地盤リスクの不確実性を保有したまま作業を行う場合がある。これは、事業が進んだ段階で、より多くの、より精度の高い情報が得られるため、その時点において対応する方が効率的であると判断された場合である。つまり、設計・施工段階で「保有」として対応したリスクに対して、後段階である施工・維持管理段階で「低減」等の対応を行うというものである。

（４）残存リスクへの対応

地質・地盤リスクに関わる影響の多くは施工時に発現する。このため、施工時等において、残存リスクへの対応のために、施工リスク検討チームを組織する等によって、必要な体制を確保し、リスクに関する情報やリスクの兆候の検知方法、兆候発生時の対応方法、影響（事象）の発現時の対応方法等を関係者で共有す

るとともに、モニタリング等の適切な対応を行うことが望ましい。

また、豪雨や地震等の自然現象による地質災害や構造物の劣化による事故等の維持管理時のリスク対応が必要となる場合は、適切な点検によってリスクの増大の兆候を検知する方法等、適切なリスクマネジメント体制を構築して対応することが望ましい。

（5）対応したリスクの整理

リスク対応の結果は、リスクアセスメントの結果とともに整理するものとする。下記の①～⑧は、リスク対応結果について整理する項目の例である。

- ①リスクの項目
- ②リスクの位置や範囲
- ③リスクの内容（要因、素因や誘因等）
- ④結果の大きさとその根拠
- ⑤起こりやすさとその根拠（地質・地盤の必要性能と地質・地盤の推定性能の関係等）
- ⑥評価の結果
- ⑦リスク対応結果（内容と選定根拠）
- ⑧残存リスクへの対応 等

このように、特定されたリスクに対して、回避（リスク要因を取り除く対応）、低減（リスクの起こりやすさを減じたり影響を小さくしたりする対応）、移転（保険等による対応）、保有（対策をとらずリスクを受け入れる対応）等のリスク対応が考えられるとある。また、これらの情報はリスク管理表等にまとめて整理し、リスク対応候補の選定根拠も含めて記録し、引き継ぐものとする。さらに、事業者（ここではおそらく発注者のこと。）は、地質・地盤リスクマ

ネージャの示したリスク対応候補の中から、最終的なリスク対応を決定するとある。受発注方式や契約内容等においても、あらかじめ地質・地盤の不確実性等に対応しやすい方式・内容にしておくこと等が考えられるとある。設計・施工段階で「保有」として対応したリスクに対しては、後段階である施工・維持管理段階で「低減」等の対応を行うというものもあるとある。

一方、厚生労働省は、労働安全衛生法第28条の2において、「危険性又は有害性等の調査及びその結果に基づく措置」として、製造業や建設業等の事業場の事業者は、リスクアセスメント及びその結果に基づく措置の実施に取り組むことが努力義務とされ、その適切かつ有効の実施のために、厚生労働省から「危険性又は有害性等の調査等に関する指針」が公表されている⁷⁾。同リスクアセスメントは、地質・地盤リスクマネジメントの構成要素である「③リスクアセスメント」及び「④リスク対応」に該当する。国土交通省の「土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン」⁵⁾と厚生労働省の「危険性又は有害性等の調査等に関する指針」は、関連性の高い行政施策であることがわかる。

地質・地盤リスクマネジメントを実行する際には、「BIM/CIM活用ガイドライン(案)」¹⁾にあるように、BIM/CIMの地質・土質モデルを作成することで、本体構造物と地質・土質構成等における位置関係の立体的な把握が可能となり、各段階の地質・土質上の課題や地質・地盤リスクを関係者間で共有することにより、追加すべき補足調査や計画立案に関する検討を円滑に進めることが期待できるとある。具体的には、図4に示すよ

うに、地盤調査に基づいて作成した地質・土質モデル（3次元地盤モデル（サーフェスマodel））を用いることによって、杭・基礎構造物が支持層に貫入されていることを視覚的に確認することに活用できるとしている。

このように、地質・地盤リスクについては、発注者が設計者に発注する際の仕様として、「土木設計業務等共通仕様書」2)＝「BIM/CIM活用業務実施要領」3)→「BIM/CIM活用ガイドライン(案)」1)→「土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン」5)という流れが明確にできている。

C-2. 海外の行政等の動向

C-2-1. 英国の動向

本項では、安全衛生へのBIMの活用について、英国の状況をまとめる。

英国安全衛生庁（Health and Safety Executive、以下「HSE」という。）は、BIMを用いた安全衛生向上の取組として「Improving Health and Safety Outcomes in Construction, Making the Case for Building Information Modelling (BIM)」

（建設における安全衛生の向上、BIMの導入について）という資料を公開している。HSEのConstruction Division（建設課）が、BIM利用を通じて安全衛生向上の可能性を調査すること、そして、ハザードやリスクについての情報を共有することを目的として、2015年に「BIM 4 Health & Safety Working Group」（BIM 4 安全衛生ワーキング）を立ち上げた。同資料は、同安全衛生ワーキングが、BIMと安全衛生向上の関係を説明し、業界全体の例を挙げてBIMの利点を実際に生かし、BIMアプローチの課題と限界を概説す

ることにある。

同資料の中で、BIM利用の成功にとって鍵となるのは、共通データ環境（Common Data Environment、以下「CDE」という。）の作成とある。CDEは、建設プロジェクトのライフサイクル全体にわたり、安全衛生情報を記録・登録するため、構造化され管理されたシステムを提供することとある。CDE内に含まれる情報は、設計、施工、施工監理、供用という構造物のライフサイクルのあらゆる段階にわたり、全ての関係者が利用できることとある。関係者が、プロジェクト全体にわたり、リスクを特定、低減、管理、伝達することを可能にするためとある。例えば、ケーススタディ1として、テムズ河口の水防を維持管理するための環境庁のプロジェクトを図5のとおり紹介している。同プロジェクトでは、COBie（Construction Operations Building Information Exchange、施工オペレーション建設情報交換、以下「COBie」という。）フォーマットを使用し、重要な安全衛生情報を含む水防資産についてのデータを保存し、同データをプロジェクトの全期間にわたり利用可能な状態で保持させるため、CDEを開発している。

次に、BIMは、設計段階において安全衛生のリスクの除去又は低減において重要な役割を担うことができるとも言っている。つまり、企画・設計段階において、バーチャルな環境下でプロジェクトを視覚化すること、各関係者の作業をモデルに組み込むこと、各関係者間のコミュニケーションを向上させること、施工開始前に設計者がリスクを除去又は低減することを可能にすること、施工リスクの早期の特定を可能にすること、リスクを除去できない場合には施工者に事

前準備を促し適切なマネジメントを導入できること、BIMに時間次元を追加して4D化できること、施工プロセスをリハーサルでき潜在的なリスクを特定できること等を挙げている。また、BIMの使用により、発注者又は設計者が高い場所まで行く必要がなくなり、構造物の屋根、屋上等を適切に評価でき、構造物を安全な場所から評価し協議できるとある。

その他、National Grid社の最先端のトレーニング施設であるEakringで最近行われたバルブピットのデザインレビューでは、BIMモデルがHAZID(Hazard Identificationの略;危険源の特定)調査中の安全衛生担当者に示され、その担当者から、吊り下げ式の安全梯子(はしご)とバリアが用意されているものの(図6左図参照)、安全リスクをさらに低減するためにゲート付きのアクセスポイントが必要であると指摘したとのことである(図6右図参照)。このように、危険源の特定に関して、2次元の正面図及び断面図だけでは危険源を視覚化することを阻害する可能性があるが、3次元の図面を描くことで、早期に潜在的リスクを抽出することに有用であるとある。

以上のように、英国安全衛生庁は、BIMの安全衛生への利活用に関して、その利点と具体例を公的な資料として公開している。

C-2-2. 独国の動向

本項では、安全衛生へのBIMの利活用について、独国の状況をまとめる。独国連邦運輸デジタルインフラ省(BMVI; Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur)が2015年に発表したステップバイステップ計画「デジタル

計画と建設」では、2020年までに計画されるすべての新しいプロジェクトにBIMレベルIを適用することを目的として、独国連邦運輸デジタルインフラ省(BMVI)の受入れ内でBIMを段階的に導入するための道筋を示している。

「デジタル計画と建設」において、2020年までに連邦政府のインフラプロジェクトの標準として、デジタルプランニングとデジタルコンストラクションが採用される予定とのことである。ここでの中心的な要素は、BIMの使用である。デジタル構造物モデルに基づいて、構造物のライフサイクルに必要な全てのデータ(企画、設計、施工から運用まで)を収集して交換し、参加者間でさらに処理することとある。

このような動きの中、2016年10月、独国連邦運輸デジタルインフラ庁(BMVI)はBIM4INFRA2020ワーキンググループに2年間のBIMステップ計画の実施に関する重要な条件を作成するよう依頼した。以下のような内容である。

- ・BIM導入のための達成可能なレベルのパフォーマンスの開発
- ・パイロットプロジェクトに伴い、パイロットフェーズを拡張する
- ・法的問題の調査と将来の契約設計のための提言の準備
- ・BIMのユースケースに関する適切なガイダンスとサンプルの提供
- ・インフラストラクチャ領域の統一データ構造の要件の特定、統一されたデータベース概念の開発、BIMライブラリ
- ・情報・広報

このうち、BIMのユースケースに関する適切なガイダンスとサンプルの提供では、企画から設計、施工、運用までの段階を通じて、BIMの使用に対する具体的なアプローチをBIM4INFRA2020ハンドブックとして公表している。このハンドブックは、様々なBIMユースケースを説明しており、実際の建設プロジェクトでの使用を想定したものである。以下のBIM4INFRA2020ハンドブックがPart1～10まで用意されている。

- ・Part1:基本とBIMの完全なプロセス
- ・Part2:クライアント情報要件（AIA）のガイドとサンプル
- ・Part3:BIM解決計画(BAP)のガイドとサンプル
- ・Part4:サービス記述のガイド
- ・Part5:モデル特別契約条件BIM(BIM-BVB)
- ・Part6:最も重要なBIMユースケースの標準仕様
- ・Part7:マニュアルBIMスペシャリストモデルと精緻化度
- ・Part8:ニュートラルデータ交換一覧
- ・Part9:業界基盤クラス(IFC)とのデータ交換
- ・Part10: BIM環境におけるテクノロジー
- ・用語集

このうち、「Part6:最も重要なBIMユースケースの標準仕様」9)について内容を概観する。

同標準仕様では、図7に示すように、建設プロジェクトの流れとBIMのユースケース(AWF1～20)の関係を示している。既存状態の確認（建設予定地の地形、地質の確認等）、設計、承認、（施工の）発注、施工計

画と施工、供用という流れであり、各段階においてそれぞれ細分化された項目毎にBIMの適用例を示している。ここで、労働安全衛生は、図7の「設計」段階のうち、「AWF8労働安全衛生:設計とテスト」の箇所に位置付けられていることがわかる。つまり、労働安全衛生への配慮は、設計段階にても検討することとなっている。

また、HOAIによる業務段階との関係を示している。

独国では、建築物の使用料に関する条例（建築家・エンジニアの料金規定）（Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure - HOAI)）が制定されており、通称HOAIという。独国では、建築家とエンジニアのほとんどの業務は、HOAIに従って以下の9つの作業フェーズに分割されている。

・LP1: 建築主（ビルダー・オーナー）によるコストフレームワークの検討を伴う基本評価；

発注者からのコスト予算の検討による基本的な評価。このフェーズでは、建設予定地で何を構築できるかを理解するなどの完全に基本的なことだけでなく、発注者の予算を調べてそれを使用して何を構築できるかを理解するなど、もう少し複雑なタスクも含まれる。

・LP2: 予備設計とコスト見積もり；

このフェーズは、多くの場合、事前計画から始まる。発注者が何を希望するのかを知るための最初のアイデア、スケッチ、簡単な間取り図などが表示される。ここでは、予算の検討ではなく、発注者のコスト見積もり

も含まれる。それを1:500または1:200のスケールで計画またはモデルから取得できる詳細レベル及び情報量と比較する。

・LP3：コスト計算を含むデザインプランニング；

ここでは、各フロアプランで必要なものを正確に定義し、予備的なファサード（外壁）デザインを考え、詳細について大まかに話し合い、より正確なコスト計算を行うために十分な情報を提供する。この場合、1:200または1:100のスケールと比較する。

・LP4：承認計画；

このフェーズは、プロジェクトを承認するために十分な情報を提供することで構成される。これには、より明確な計画、フォームへの記入、測量士や構造エンジニアからの情報の入手、そして、各規制当局への連絡が含まれる。

・LP5：実装計画；

詳細なデザイン。前フェーズにおいて（建設）許可が得られたため、実際の工事の準備をする。このフェーズで作成する計画は、主に職人と施工者を対象としているため、全ての詳細が非常に明確に定義され、混乱の余地がないことが重要である。1:100から1:50、1:20、1:10、さらには1:1のスケールになる。

・LP6：数量の決定や価格のついた数量表の作成など、施工契約締結の準備；

数量の決定および価格設定された数量表の作成を含む、契約の授与の準備。このフェーズでは、施工会社のために全てを準備する必要がある。プロジェクト全体を書面で実際の数と測定で説明し、全ての資料を指定し、物事がどのように配置されているかを説明する必要がある。この書面による説

明と、前フェーズで作成された資料により、施工者は職人からオファーを取り、誰が何を最良の価格で提供できるかを把握できるようになる。このフェーズの終わりに、概算ではなく、施工者や職人からの実際のオファーに基づいた、非常に正確なコスト見積もりを取得できるようになる。

・LP7：コスト見積もりを含む施工契約締結への参加；

コスト見積もりを含む施工契約の授与への参加。このフェーズは、主に施工契約の授与で構成される。職人と設計者の間で会話、交渉、説明が行われる可能性があり、このフェーズの終わりまでに、全てが施工を開始する準備ができていないはずである。

・LP8：構造物の監督－施工の監督とドキュメンテーション

施工現場の監督、施工監理と文書化。これは、設計者のサービスの最も重要な部分の1つである施工監理である。このフェーズでは、監督者は、計画で指定されているとおりに全てが実行されていることを確認する必要があるだけでなく、法規制で要求されていることも確認する必要がある。また、その重要性から、HOAIによると設計者の名誉の大部分を占める。

・LP9：保証書の追跡を含む財産管理

保証追跡を含む財産管理。これは、いわゆる文書化フェーズである。これらの文書は、何よりも、作成されたものが計画されたものに対応していることを確認するために、発注者と設計者によって使用される。このフェーズが終了するまで、保証が適用され、施工に起因する欠陥や問題は職人が修正する必要がある。

このように、従来からの規制による HOAI と建設プロジェクトの各段階における BIM 利用との関係から、労働安全衛生は LP3（コスト計算を含むデザインプランニング）、LP5（実装計画）、LP8（構造物の監督－施工の監督とドキュメンテーション）に該当することがわかる。このように、労働安全衛生への配慮は、設計段階においても適切に割り当てられていることがわかる。

次に、前述した「Part6:最も重要な BIM ユースケースの標準仕様」に話を戻すと、設計段階における労働安全衛生についての BIM の使用例を同標準仕様の中で AWF8 として示しており、その定義は、安全衛生に関連する側面（安全装置、制限区域、避難経路、操作手順等）を BIM モデルで表現し、必要に応じて一時的な施工条件や施設の一時的な影響を 4D モデルとして表現するとある。また、施工中に必要な措置の監視と管理、モデルを使った必要な修正の記録とある。利点としては、安全衛生に関連する側面のコミュニケーションの向上、視覚的にサポートされたモデルから安全衛生対策のための要件を導き出すことによる品質向上、施工中のプロセス及び健康に係るリスクの低減、モバイル技術を用いて竣工検査等を構造化して記録し文書化の向上と情報共有の促進、等々を挙げている。

ユースケースとしては、制限区域、手すり、避難経路等を 4D の BIM モデルに追加すること、安全衛生コーディネーターの検査への利用等を挙げている。実践例として、図 8 に示すように、施工現場の手すりの設置等の安全に関連する側面を BIM モデルにより表現している例が挙げられている。

以上、整理すると、独国では、労働安全衛

生について、設計段階にて検討することとなっており、BIM4INFRA2020 ハンドブックの中で、BIM の使用例を設計段階における「労働安全衛生：設計とテスト（AWF8）」として示している。また、従来からの規制による HOAI と建設プロジェクトの各段階における BIM 利用との関係から、労働安全衛生は設計段階のうち、LP3（コスト計算を含むデザインプランニング）、LP5（実装計画）に検討する事項であることがわかった。

C-3. 研究分野の動向

本項では、国内外の研究分野の動向について、BIM の安全衛生への活用に焦点を当て取りまとめる。Fagnoli & Lombardi (2020) 10) は、2010 年から 2019 年までの BIM により建設業における安全を向上させようとする原著論文を調査した。文献検索サイトには、Scopus と Web of Science を選んでいる。文献検索する時のキーワードは、(building information modeling or building information modelling or BIM) and (safety) and (construction*)である。Scopus では 157 件、Web of Science では 186 件がヒットし、そのうち重複を除くと、合計 223 件の原著論文がヒットした。そのうち、アブストラクトと本文を分析し、BIM と関連するツールを使用し建設活動における労働安全を理論的又は実務的に向上させようとする原著論文 86 件に絞っている。したがって、構造安全、設備選定、施設マネジメント、物流を取り扱う研究は除外している。原著論文 86 件の発表年の推移は以下のとおりである。2010 年から 2019 年にかけて、論文数が比例的に増加しており、BIM を活用し安全衛生を向上させようという動き

が活発になっていることがわかる。また、国ごとの内訳を図 10 のように示しており、最も米国が多く、次いで、中国、韓国と続く。ヨーロッパの中では、英国、仏国、独国が多い。シンガポールもそれらに次ぐ論文数を見せている。日本からは 1 件の論文があり、足場の自動設計、計画、描画についてである。

Fagnoli & Lombardi (2020)10) は、これら 86 件の論文を研究目標別に次の 8 つに分類している。

・ T. 1. 知識に基づくシステム (Knowledge-based systems) : BIM は知識管理システムに情報を提供し、特に計画と設計の段階で安全リスクを特定することにより、リスク評価と管理の意思決定をサポートすることを目標とした研究。

・ T. 2. 自動ルールチェック (Automatic rule checking) : 成文化された安全規則は、BIM ベースのプラットフォームに実装されており、設計者は、オブジェクトの構成 (空間、距離、寸法等) とプロセス (建設シーケンスとタスク等) の両方の適合性を検証することができることを目標とした研究。

・ T. 3. スケジュール情報 (Scheduling information) : 安全手順の動的可視化を強化するための BIM ベースのモデルの使用に焦点を当てた研究。

・ T. 4. 重複と干渉の検出 (Overlapping and clash detection)

BIM モデルは、設計者がスペースの競合 (ワークスペース、設備等)、タスクの重複、敷地の混雑を検出することを可能にすることを目標とした研究。

・ T. 5. 事前対応型フィードバック

(Proactive feedback) : BIM と事前対応型フィードバック技術を組み合わせ、リアルタイムの警告とフィードバックが可能となる。つまり、材料、作業員、設備の動的な位置を追跡し、危険や障害物の存在を監視することを目標とした研究。事前対応型フィードバックとは、予め危険源を検知し、それを警告し、危険を回避するような行動を促すことである。

・ T. 6. 教育 (Training) : 教育・訓練目的で使用できる BIM モデルと関連技術の使用を対象とした研究 (例 : 労働者、学生、安全管理者の訓練)。

・ T. 7. 利害関係者の認識 (Stakeholders' perception) : 建設活動における安全性向上のための BIM 活用のメリットと障壁を浮き彫りにした研究。

・ T. 8. 労働者の行動 (Workers' behavior) : 作業員の行動を認識するための BIM ベース/準拠のトラッキングシステムの構築を目標とした研究。

このような 8 つの研究目標による分類を行うと、86 件の原著論文は図 11 のように整理される。この結果、「T. 2. 自動ルールチェック (Automatic rule checking)」が最も多く、次いで「T. 5. 事前対応型フィードバック (Proactive feedback)」, 「T. 1. 知識に基づくシステム (Knowledge-based systems)」と続く。代表的な論文を以下に示す。

「T. 1. 知識に基づくシステム (Knowledge-based systems)」についてである。Jin et al. (2019)11) は、リスク低減措置の優先順位の最上位レベルに焦点を当てた方法論を開発し、これにより、施工現場

にリスクが存在する前にリスクを除去または低減することが可能となったことを述べている。また、潜在的な建設ハザードを設計段階から事前対応的に識別して除去することは、従来の施工中にヒヤリハット等の問題が起きてからの事後対応型の管理よりも安全で費用対効果の高い方法である（事前対応型マネジメントと事後対応型マネジメントの対比）。

さらに、もう一つの注目すべき問題は、「安全のためのデザイン（Design for Safety）」や「デザインによる予防（Prevention through Design）」のアプローチ(Ding et al., 2016; Teo et al., 2016; Melzner et al., 2013)12),13),14)である。これは、建設業界において「Zero Accident Vision」を実現するための最も有望なコンセプト(Yuan et al., 2019)15),そしてリスク低減措置の優先順位に応じた最も効果的な介入(Nnaji and Karakhan, 2020)16)と考えられている。

BIMベースのツールは、そのようなリスク低減措置の優先順位の最初の段階ですべての建設関係者を巻き込み、それらの間のコミュニケーションとデータ交換を促進するため、設計者はハザードとリスクを最小限に抑えるための新しいアプローチを実行することができるかと主張している。

Fargnoli & Lombardi (2020)¹⁰⁾が文献を調査した後になるが、Cortés-Pérez et al. (2020)17) は、AutoDesk の Revit プラットフォームを利用し、Dynamo スクリプトからリスクレベルを色分けで表示し、リスク低減措置を Revit 上に実装できるようにした。例えば、図 12 左図に示すように、異なる階で落下するリスクを赤色、オレンジ

色、橙色等で示し、それらのリスク低減措置としてガードレールを設置することで、リスクが低減できたことを示している（図 12 右図）。

D. 考察

国土交通省では、設計業務の発注時に、「土木設計業務等共通仕様書」2)、「BIM/CIM 活用業務実施要領 3)及び「発注者における BIM/CIM 実施要領(案)」を適用又は参照することとしている。そのうち、「土木設計業務等共通仕様書」2)では、「第 1211 条 設計業務の成果」として、主に施工性、経済性、耐久性、維持管理に関すること、美観、環境等の要件を記載することを規定していた。このうち、環境については、「第 1212 条 環境配慮の条件」として、環境省が管轄する法律、ガイドライン等を根拠条文として 1 つの条文が設けられていた。

厚生労働大臣、国土交通大臣、内閣総理大臣署名で制定された「建設工事従事者の安全及び健康の確保の推進に関する法律（平成 28 年 12 月法律第 111 号）」の第 3 条第 2 項の在り方について、今後、海外の好事例も含め検討する必要があると考えられる。

その際、「BIM/CIM 活用業務実施要領」3)に「BIM/CIM を活用した検討等の具体的な内容」として記載のある「リスクに関するシミュレーション(地質、騒音、浸水等)」を拡大し、施工中のリスクに関するシミュレーションを含めることも考えられる。

さらに、施工中のリスクに関するシミュレーションにおいては、「土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン」5)を参考として、例えば、建設業におい

で最も死亡者数の多い墜落・転落災害に対するリスクを取り上げ、設計段階において考慮できる墜落・転落災害防止対策を取りまとめることも考えられる。

このようにすれば、まずは墜落・転落災害防止対策から、設計段階に考慮されるようになり、その効果が確認されれば、他の災害リスクについても順次拡大するといったことも考えられる。

設計段階において考慮できる墜落・転落災害防止対策としては、例えば、高所作業の排除、プレハブ工法の採用（本質的安全設計）、開口部等への手すりの設置、墜落制止用器具を設置するフック等の設置（工学的対策）等が考えられる。

具体的には、海外の事例を挙げ、BIMのソフトウェア上にリスクを色分けして表示し、ガードレールを設ける等のリスク低減措置をソフトウェア上に実装している事例を紹介した。

このように、BIM/CIMを設計段階からの安全衛生の向上に有効に活用していることがわかった。

E. 結論

本研究では、日本及び海外の行政の動向、研究分野の動向を公的機関の資料、国際的な学術論文等を用いて調査した。その結果、海外（英国、独国）の行政では、設計段階から安全衛生を考慮し、それをBIMに取り入れていた。また、研究分野においても、BIMの安全衛生への利活用について、2010年から2019年までで少なくとも86件の原著論文が発表されており、年々その数を増やしていることが明らかとなった。

特に、英国では、BIMの安全衛生への利

活用について、英国安全衛生庁が公的な資料を公開し普及に努めている。また、独国でも独国連邦運輸デジタルインフラ省がBIM4INFRA2020ハンドブックとして公的な資料を公開し、BIMの安全衛生への利活用を含めた形で、BIMの普及に務めている。

さらに、国際的な研究の動向としては、BIMのソフト上で墜落・転落リスクを色分けして表示し、そのリスク低減措置を自動でセットアップするようなプログラミングも実施されていた。

このような動きを日本にも普及させ、設計段階から安全衛生を配慮するような枠組作りが必要である。

F. 研究発表

1. 論文発表

該当なし

2. 学会発表

- 1) 大嶋勝利, 吉川直孝, 高橋弘樹, 平岡伸隆 : 欧州における建設業の労働安全衛生管理体制の調査—ドイツの制度, 第53回安全工学研究発表会, p.77-78, 2020.

G. 知的所有権の取得状況

1. 特許取得

該当なし

2. 実用新案登録

該当なし

3. その他

該当なし

H. 引用文献

- 1) 国土交通省大臣官房技術調査課 : BIM/CIM活用ガイドライン(案) 第1

- 編 共通編,
<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001395762.pdf> (2021年3月1日閲覧)
- 2) 国土交通省：土木設計業務等共通仕様書(案),
<https://www.mlit.go.jp/common/001335815.pdf> (2021年3月1日閲覧)
- 3) 国土交通省大臣官房技術調査課：BIM/CIM 活用業務実施要領,
<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001396296.pdf> (2021年3月1日閲覧)
- 4) 国土交通省大臣官房技術調査課：BIM/CIM 活用業務における BIM/CIM モデルを活用した検討内容の記載例,
<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001396300.pdf> (2021年3月1日閲覧)
- 5) 国土交通省大臣官房技術調査課, 国立研究開発法人土木研究所, 土木事業における地質・地盤リスクマネジメント検討委員会：土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン—関係者が ONE-TEAM でリスクに対応するために—,
<https://www.pwri.go.jp/jpn/research/saisentan/tishitsu-jiban/pdf/georisk-guideline2020.pdf> (2021年3月1日閲覧)
- 6) JIS Q 31000 : 2019 (ISO 31000 : 2018),
<https://kikakurui.com/q/Q31000-2019-01.html> (2021年3月1日閲覧)
- 7) 厚生労働省：危険性又は有害性等の調査等に関する指針,
<http://www.jaish.gr.jp/horei/hor1-1/hor1-1-56-1-2.html> (2021年3月1日閲覧)
- 8) Health & Safety Executive : Improving Health and Safety Outcomes in Construction, Making the Case for Building Information Modelling (BIM),
<https://www.hse.gov.uk/construction/lw/it/assets/downloads/improving-health-and-safety-outcomes-in-construction.pdf> (2021年3月1日閲覧)
- 9) BIM4INFRA2020:
<https://bim4infra.de/handreichungen/> (2021年3月1日閲覧)
- 10) Fagnoli, M. and Lombardi, M. : Building Information Modelling (BIM) to Enhance Occupational Safety in Construction Activities: Research Trends Emerging from One Decade of Studies, *buildings* 2020, 10, 98, doi:10.3390/buildings10060098, 23p., 2020.
- 11) Jin, Z., Gambatese, J., Liu, D., Dharmapalan, V.: Using 4D BIM to assess construction risks during the design, phase. *Eng. Constr. Archit. Manag.* 2019, 26, 2637–2654.
- 12) Ding, L.Y., Zhong, B.T., Wu, S., Luo, H.B.: Construction risk knowledge management in BIM using ontology and semantic web technology. *Saf. Sci.* 2016, 87, 202–213.
- 13) Teo, A.L.E., Ofori, G., Tjandra, I.K., Kim, H.: Design for safety: Theoretical framework of the safety aspect of BIM system to determine the safety index. *Constr. Econ. Build.* 2016, 16, 1–18.
- 14) Melzner, J., Zhang, S., Teizer, J., Bargstädt, H.: A case study on automated safety compliance checking

- to assist fall protection design and planning in building information models. *Constr. Manag. Econ.* 2013, 31, 661–674.
- 15) Yuan, J.F., Li, X.W., Xiahou, X.E., Tymvios, N., Zhou, Z.P., Li, Q.M.: Accident prevention through design (PtD): Integration of building information modeling and PtD knowledge base. *Autom. Constr.* 2019, 102, 86–104.
- 16) Nnaji, C.; Karakhan, A.A. Technologies for safety and health management in construction: Current use, implementation benefits and limitations, and adoption barriers. *J. Build. Eng.* 2020, 29, 101212.
- 17) Cortés-Pérez, J.P., Cortés-Pérez, A., Prieto-Muriela, P.: BIM-integrated management of occupational hazards in building construction and maintenance, *Automation in Construction* 113 (2020) 103115.

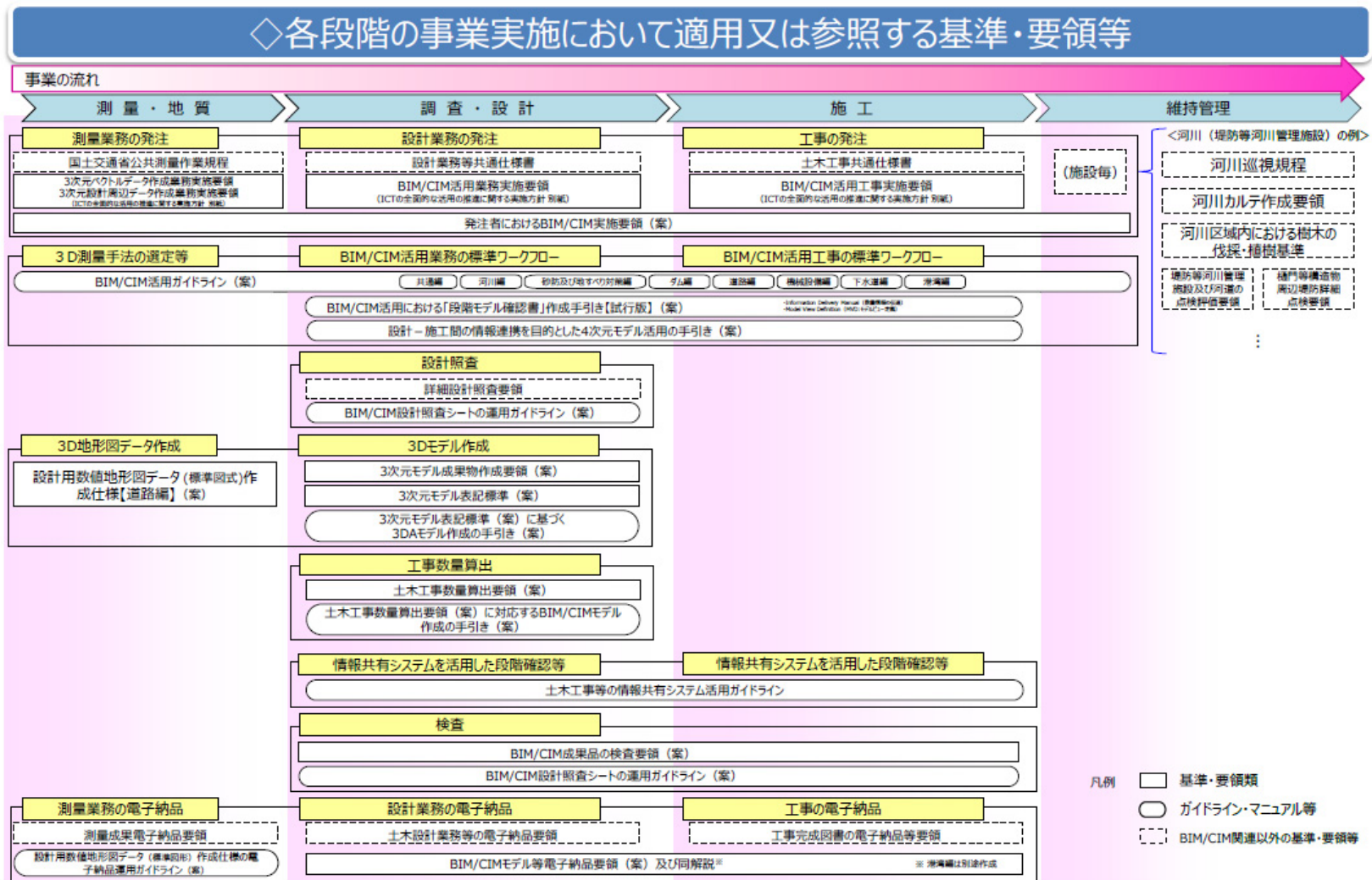


図1 各段階の事業実施において適用又は参照する基準・要領等 1)

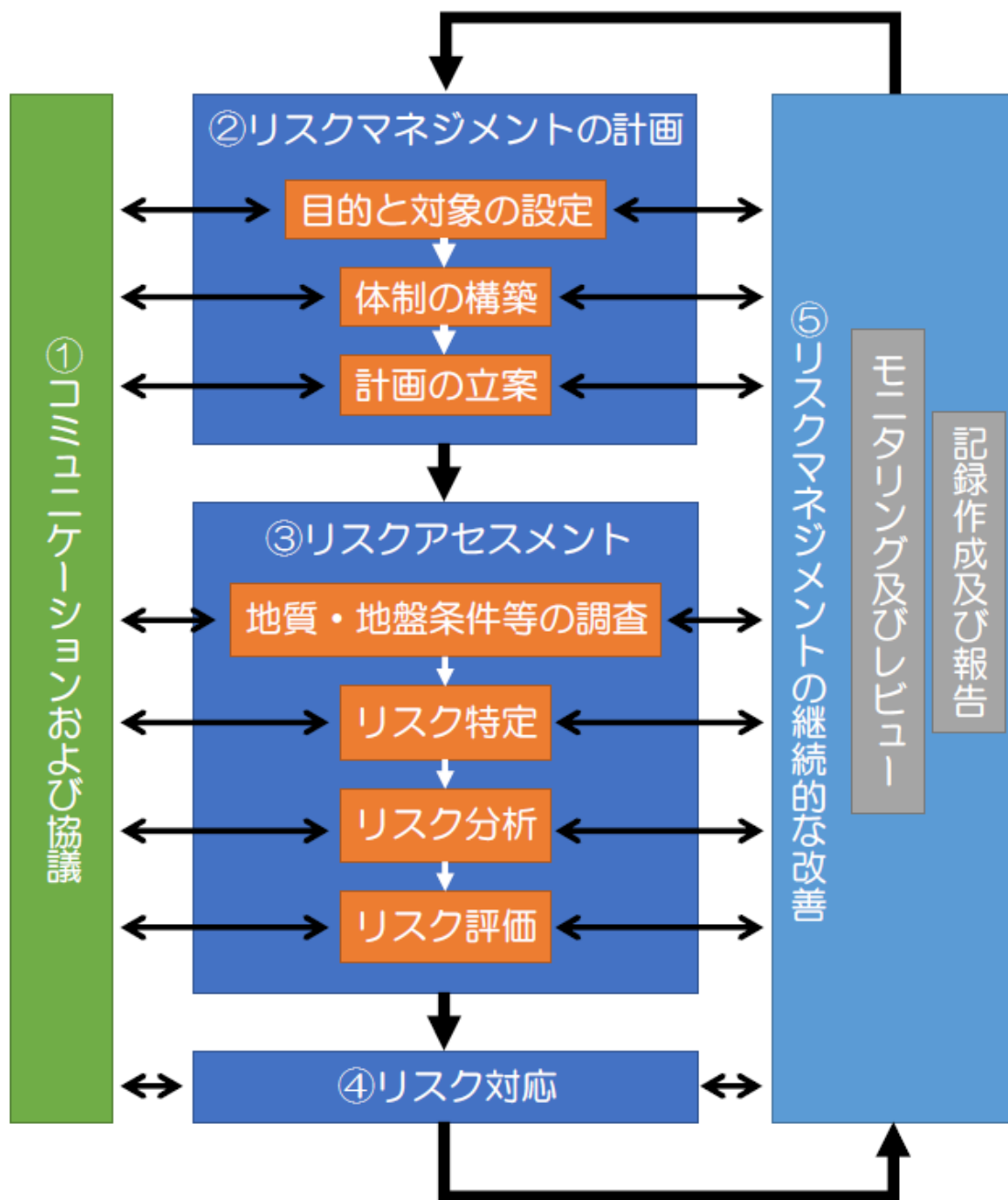


図2 地質・地盤リスクマネジメントのプロセス
(ISO31000 のリスクマネジメントプロセスを一部改変) 5)

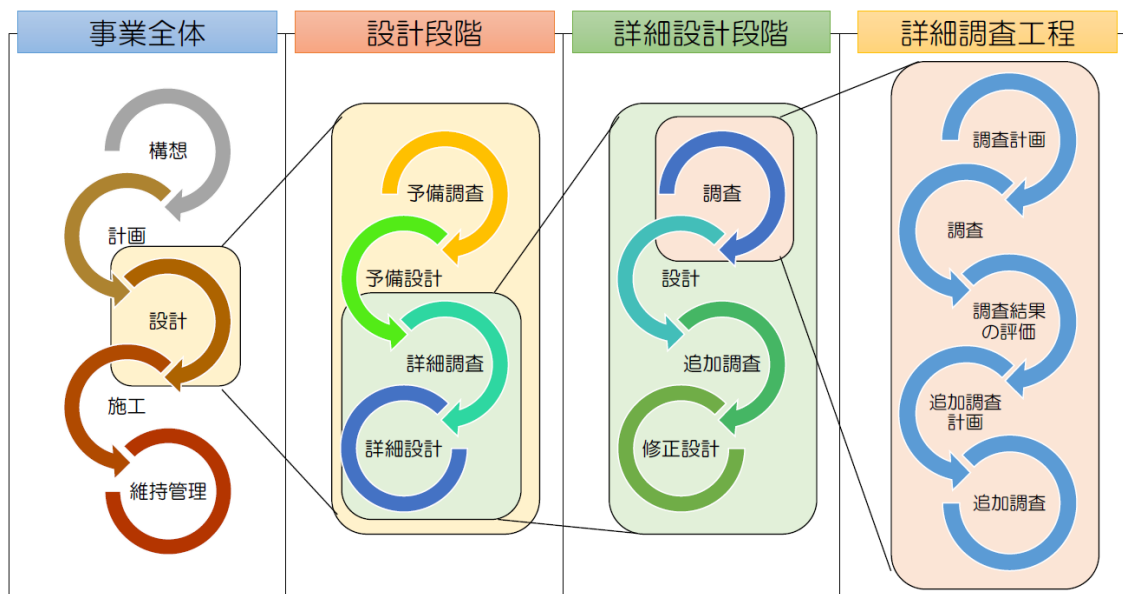


図3 階層構造のイメージ（各段階の中にも各工程で、地質・地盤リスクマネジメントの基本的なプロセスの一部もしくは全体が繰り返し実行される）5)

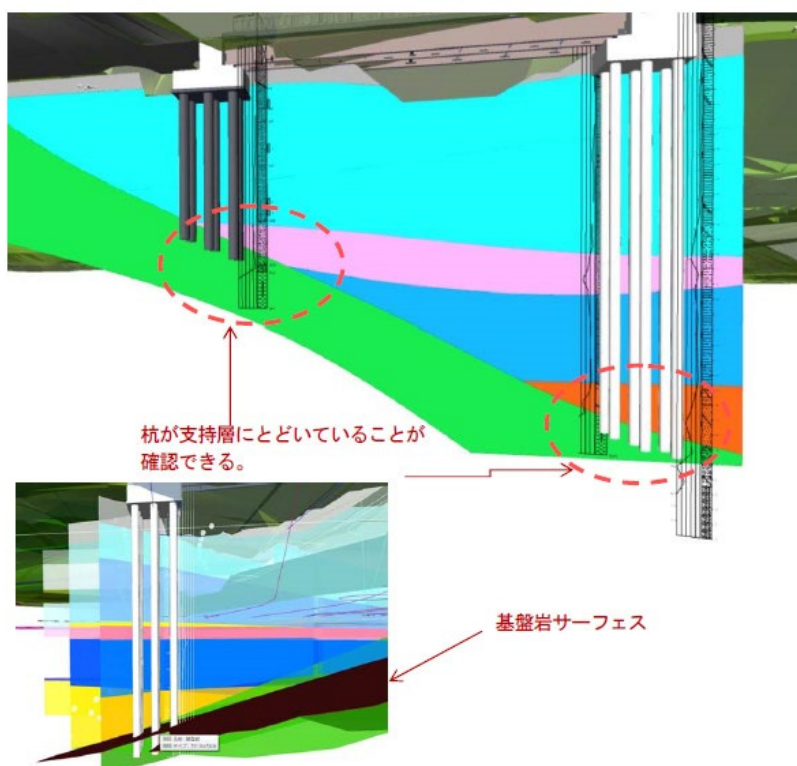




図4 「BIM/CIM活用ガイドライン(案)」1)からBIM/CIMの例

CASE STUDY 1

The Thames Estuary Asset Management 2100 (TEAM2100) project – The Environment Agency

The Thames Estuary 2100 project (TE2100), led by the Environment Agency, is a comprehensive action plan to manage flood risk for the Tidal Thames from Teddington in West London, through to Sheerness and Shoeburyness in Kent and Essex over the next 100 years. Flood risk on the Thames Estuary is increasing. Climate change is causing increases in sea level and river flows, and new development, such as the Olympic Park, Canary Wharf and the Thames Gateway Port, within the floodplain are increasing both the risk and consequences of tidal flooding.





TEAM2100 is the Environment Agency's 10-year programme to refurbish and replace tidal flood defences in London and the Thames estuary, which include the Thames Barrier and 350 kilometres of flood walls and embankments, smaller barriers, pumping stations and flood gates. This system of defences protects 1.25 million people and £200 billion worth of property. TEAM2100 is the first phase in a 100 year strategy for the River Thames looking at the needs of the estuary as global factors such as climate change impact our lives over the coming decades.

For a project of this length and magnitude, it is crucial that information is shared for the duration of the project, and then continues to be available for future maintenance and renewal activity. This project is pioneering the use of a Common Data Environment to capture information about flood defence assets, to store health and safety information using a common COBie format, to ensure that this information is kept available and retrievable over the long term.

During infrastructure inspections, data are captured on iPads, uploaded to the GIS based information system, and made available for editing. The GIS format enables relevant asset information to be captured and linked. Using the COBie to structure hazard and risk information ensures a common standard of readability and ultimate retrieval. Key information can be reused many times if necessary. This means information will be available when it is needed in the future.




図 5 英国環境庁のテムズ河口資産管理 2100 (TEAM2100) プロジェクト 8)

CASE STUDY 2

The use of BIM as a platform for design evaluation and review

Building Information Modelling (BIM) and 3D visual medium can play an important role in reducing health and safety risk during design and through the project lifecycle. When reviewing typical orthographic drawings (2D elevation and sectional views) of a design, the complexity of the drawing can often hinder interpretation and the ability to visualise the design and identify potential risk. A 3D model provides an unambiguous view of the design and allows users to undertake a more subjective and focused assessment of the design in relation to its real world. Such modelling allows designers to have a greater understanding of the hazards within the context of the site, allowing hazards to be identified earlier, and ideally before building work has begun.



Figure 4 Railing without gated access

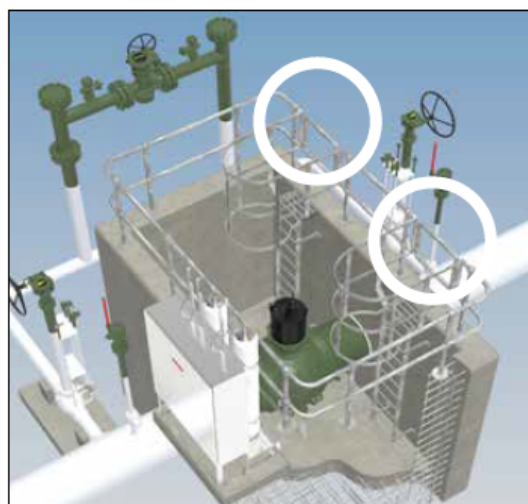


Figure 5 Railing with gated access following a safety review of the BIM model

During a recent valve pit design review at Eakring, National Grid's state-of-the-art training facility the 3D model was shown to a health and safety representative during a HAZID study who immediately pointed out that although hooped safety ladders and barriers were provided (Figure 4), a gated access point was necessary to further reduce safety risk (Figure 5). Using BIM and data rich models as a tool to support design review and process safety reviews, infringements can automatically identified by applying predefined rules based on component categorisation to identify area of potential risk and aid risk management early in the design process.

図 6 設計の評価とレビュー向けのプラットフォームとしての BIM の使用 8)

		HOAIによる業務段階									
No	適用例	1	2	3	4	5	6	7	8	9	運用方法
既存状態の確認											
AWF 1	既存状態の確認										
設計											
AWF 2	設計バリエーションの調査										
AWF 3	可視化										
AWF 4	設計計算及び検証										
AWF 5	専門業者との調整										
AWF 6	設計進捗状況の管理										
AWF 7	設計図・承認図の作成										
AWF 8	労働安全衛生：設計とテスト										
AWF 10	コスト見積もりとコスト計算										
承認											
AWF 9	設計の承認										
発注											
AWF 11	数量表、入札案内、契約の締結										
施工計画と施工											
AWF 12	施工のスケジューリング										
AWF 13	物流計画										
AWF 14	施工計画書の作成										
AWF 15	工事進捗管理										
AWF 16	設計変更管理										
AWF 17	施工の請求										
AWF18	欠陥管理										
AWF 19	書類作成										
供用											
AWF 20	供用や維持管理に活用										

図 7 建設プロジェクトの流れと各項目における BIM の使用（HOAI による業務段階との関係も合わせて）9)

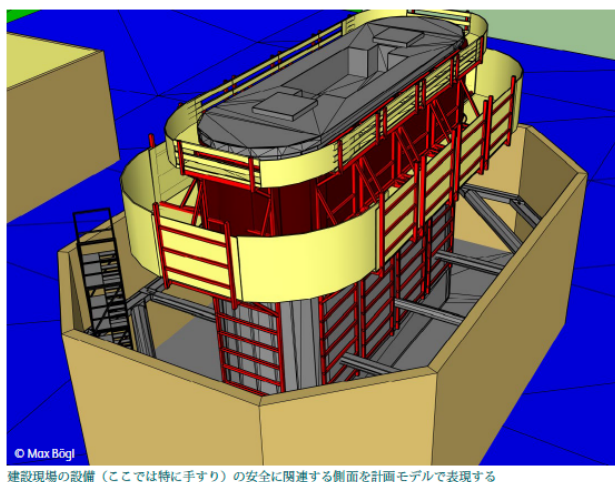


図 8 施工現場の設備の安全に関連する側面をモデル表現 9)

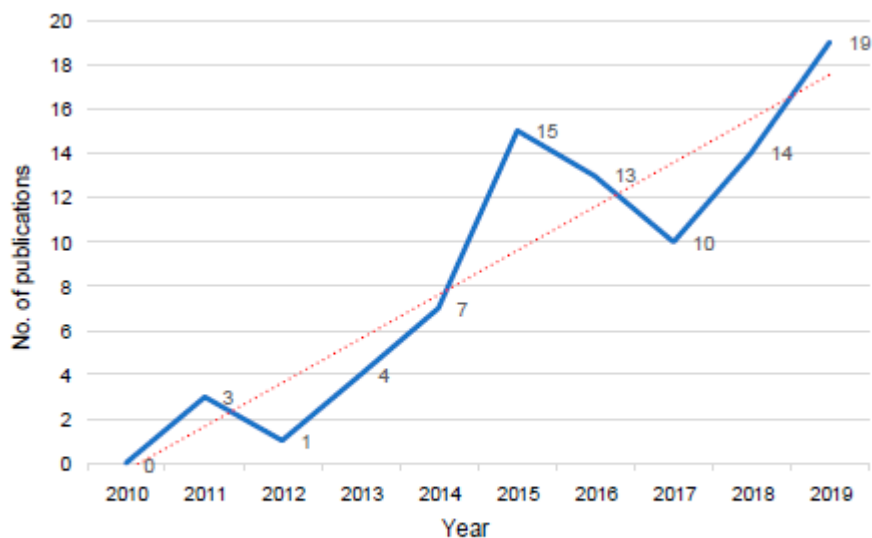


Figure 2. Temporal allocation of the selected publications (the dotted red line represents the linear tendency, while the solid blue line follows the number of publications per year).

図 9 BIM に関連するツールを使用し建設活動における労働安全を理論的または実務的に向上させようとする原著論文 86 件の 2010 年から 2019 年までの論文数の推移 10)

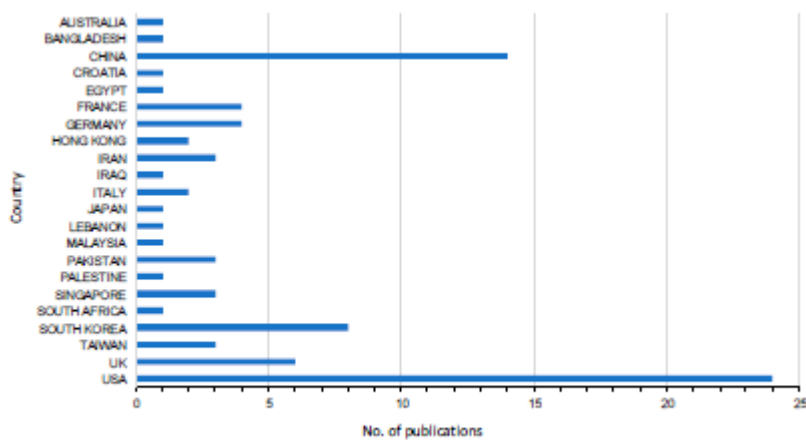


Figure 3. Number of publications per country (the country of the first author is considered).

図 10 BIM に関連するツールを使用し建設活動における労働安全を理論的または実務的に向上させようとする原著論文 86 件の国ごとの内訳 10)

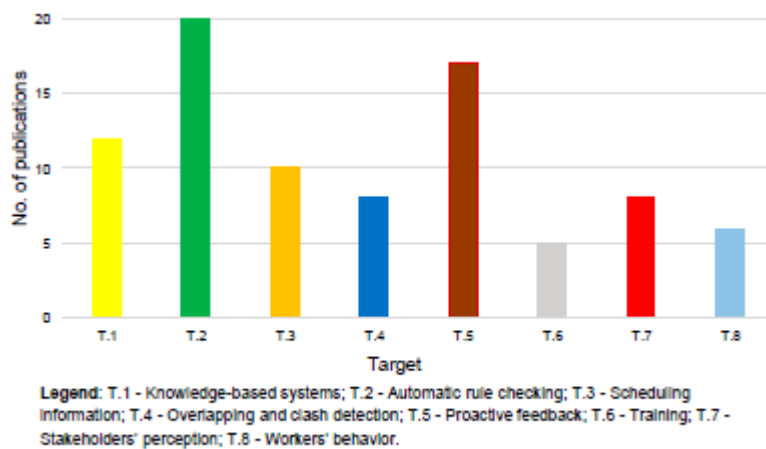


Figure 4. Number of publications per research target.

図 11 86 件の原著論文を研究目標別に 8 つの分類に区分し論文数との関係でまとめた図 10)

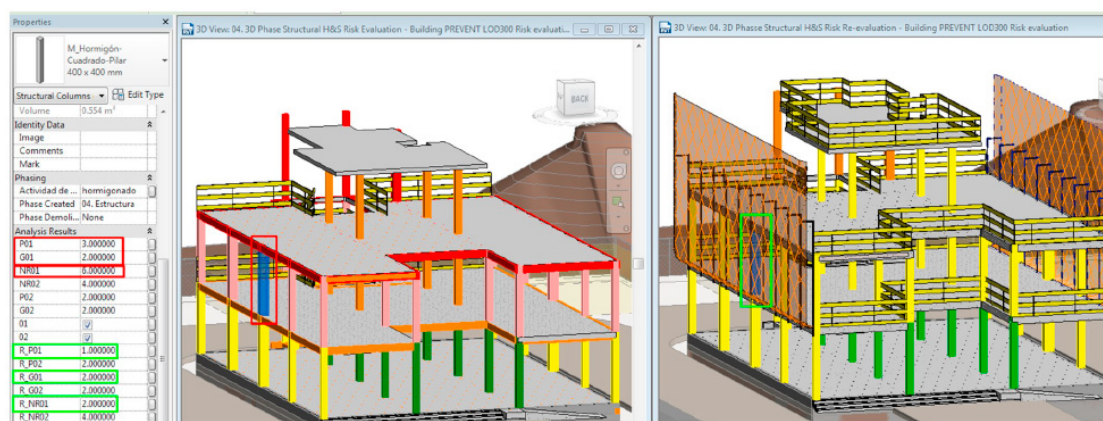


Fig. 9. Three-dimensional views for risk assessment 01 “People falling between different levels” (left) and after re-evaluation (right) with the pillars marked in colour based on the risk.

図 12 リスク評価用の 3 次元ビュー 01「異なる階の間で落下する者」(左) と、リスクに基づいて色分けした柱により再評価した後(右)17)