

厚生労働科学研究費補助金（労働安全衛生総合研究事業）
総括研究報告書

建設工事における安全衛生の確保のための

設計段階の措置の確立に向けた研究

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	伊藤和也	東京都市大学 建築都市デザイン学部都市工学科・教授
研究分担者	高橋弘樹	（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	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

本研究では、①国内外の行政及び研究分野の動向についての調査、②国内の建設工事現場において実施された設計段階の安全衛生に関する措置の事例収集、③設計段階（施工前段階）からの安全衛生確保について、既に行政がガイドラインで示している分野（工事種）での事例研究、を3つの柱として実施することで、国内の建設工事において、活用できる設計段階の安全衛生対策をまとめる。

第1の柱の研究としては、国内外の公的機関の資料、国際的な学術論文、ヒアリング等を通して調査した。その結果、英国及び独国の行政では、設計段階から安全衛生を考慮し、それをBIMに取り入れていることが分かった。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おり、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の普及に努めていた。

第2の柱の研究としては、設計段階の措置の具体例を抽出できるようなヒアリング調査票を作成し、同調査票を国内の建設工事における発注者、設計者、施工者に配布し、ヒアリング調査を行った（継続実施）。

第3の柱の研究としては、設計段階又は施工計画段階からの安全対策をまとめている「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（厚生労働省）」について、現場での取組について調査した（継続実施）。

研究分担者

① 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
研究推進・国際センター長

② 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

③ 伊藤和也

東京都市大学 建築都市デザイン学部都市工学科
教授

④ 高橋弘樹

（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

⑤ 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

A. 研究目的

本研究では、以下の 3 つの目的に従い研究を実施した。

A-1. 分担研究 1

分担研究 1 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。

A-2. 分担研究 2

分担研究 2 では、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関して、国内の好事例を収集し、取りまとめることを目的としている。

A-3. 分担研究 3

分担研究 3 では、設計段階又は施工計画段階からの具体的な取り組みに関する事例研究として、「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（以下、『斜面ガイドライン』という。）」を適用して各種点検を行い、高精度傾斜計を用いて施工中の動態観測を実施し、斜面ガイドラインの点検が持つ意味と必要情報の関係等について明らかにすることを目的とする。

B. 研究方法

本研究では、上記した目的を達成するため、以下の 3 つの研究方法を採用した。

B-1. 分担研究 1

分担研究 1 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した。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。

B-2. 分担研究 2

分担研究 2 では、設計段階の措置の具体例を抽出できるようなヒアリング調査票を作成し、同調査票を国内の建設工事における発注者、設計者、施工者に配布し、ヒアリング調査を行った。

ヒアリング調査票は、合計 11 個の質問から成り、発注者・設計者・施工者と 3 通りの調査票を作成した。なお、全ての質問は各者で同様の内容として、同じ様な内容について、それぞれ立場の異なる視点から回答が得られるように工夫した。

B-3. 分担研究 3

分担研究 3 では、設計段階又は施工計画段階からの具体的な取り組みに関する事例研究として、実現場への斜面ガイドラインの適用と動態観測を行う方法を採用した。斜面ガイドラインを適用して各種点検を行い、高精度傾斜計を用いて施工中の動態観測を実施し、斜面ガイドラインの点検が持つ意味と必要情報の関係等について調査した。

C. 研究結果

本研究では、3 つの分担研究について、そ

それぞれの結果を以下に示す。

C-1. 分担研究1

日本の行政の動向として、国土交通省では、地質・地盤リスクについて、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」1) = 「BIM/CIM 活用業務実施要領」2) → 「BIM/CIM 活用ガイドライン(案)」3) → 「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」4) という流れが明確にできており、設計段階から地質・地盤リスクを配慮できるような社会的な枠組みを構築していた。

次に、海外の動向として、英国では、英国安全衛生庁が、「Improving Health and Safety Outcomes in Construction, Making the Case for Building Information Modelling (BIM)」5) (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、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た。その中で、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主張している。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めること、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、独国では、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) の管轄内で BIM を段階的に導入するための道筋を示している。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。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。BIM4INFRA2020 ハンドブックは Part1~10 まで用意されている。このうち、「Part6:最も重要な BIM ユースケースの標準仕様」6) 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、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。

国際的な研究の動向としては、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は、2010～2019年までで合計86件にのぼり、年々比例的に増加している7)。そのうち、米国の論文数が最も多く、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。

このような国際的な研究のうち、Cortés-Pérez et al. (2020)8) は、BIM/CIMソフトである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ている。

C-2. 分担研究2

発注者、設計者、施工者の3者に対する計11項目から成る質問票の回答を概観すると、設計段階からの安全衛生確保のための措置に対して賛成する意見が多かった。なお、それをどのように現在の社会的な枠組みの中に当てはめるか、ということについては、現在の状況で、以下の事項が挙げられた。

- ・ BIM/CIMの活用
- ・ 施工予定者技術協議方式 (ECI方式) の活用
- ・ 発注者、設計者、施工者による3者会議
また、安全衛生を経済性、施工性、環境保全等と同等に評価できる指標が欲しいといった要望があった。さらに、ある一定レベルの安全衛生を担保したこと条件に、経済性、施工性、環境保全等の検討に進むというよう

な枠組を要望する声もあった。

C-3. 分担研究3

斜面ガイドラインは、目視等による点検を根拠に「調査・設計施工段階別点検表」、「日常点検表」及び「変状時点検表」を作成する。今回の観測対象現場にて、調査者、設計者及び施工者の立場になり、着手前から掘削完了まで斜面ガイドラインの適用を試みた。なお、この点検表の適用・使用単位は「地層ごと」と「幅約20m」を目安とした。表-1に当現場への適用した各段階点検表を示す。掘削作業前の点検までの段階では、樹木植生などによる点検障害がなかったので記載内容に変更はない。しかし、掘削が進行することで新たな地質が出現したり、湧水による崩壊の危険が生じたりといった地山の異常が生じたため、斜面ガイドラインに従い「日常点検」から「変状時点検表」を作成し、「異常時対応シート」作成により情報共有を行った。最終的なトラブル解決は、発注者、設計者及び施工者を含めた三者協議で迅速に決定した。以下にそれぞれの点検表について詳細を示す。

a) 調査・設計段階点検

工事区間の山側斜面には連続した滑落崖があり馬蹄形を呈する。地形判読では明らかな「地すべり地形」であるが、地質調査報告書では今回の被災について、地すべり土塊の活動はなく、その一部が崩壊したものとされている。しかし、工事箇所の外郭には休眠中の地すべりが存在することから、今回の主体工事である山側のり面工事は大きな地質リスクを有していることは明らかである。また、滑落崖には表層がオーバーハングしており、かつての地すべり滑動による

ブロック積擁壁に縦方向のサイドクラックが生じている。

一方、表層部の地質は、滑落崖直下の緩い崩積土層と崖面には岩組織を残留する脆く亀裂の多い強風化頁岩が露頭する。

地下水については、ボーリング調査によると GL-4.0m 付近に水頭を持つ地下水が存在するとされているほか、工事箇所末端部に常時湧水が見られた。地すべり頭部のより上方の残斜面は、杉林で一定勾配のなだらかな斜面を呈し、過去の地山変動を示す段差や杉の根曲がりはない。

b) 施工計画～掘削作業前段階点検)

掘削斜面の植生は、繁茂状態ではなかったため、丁張り起工測量の際の伐採で新たな確認事項はなかった。そのため調査・設計段階での点検と同様であった。

c) 日常点検表

点検区間 1, 3 においては、通常の日視による日常点検を行い施工トラブルはなかった。計器を設置した点検区間 1 の測点 15.92 測線では、詳細は後述するが、施工段階や降雨などの気象状態の変化に微少な変形は生じており、掘削や斜面安定工法による目視点検では認められない地山挙動が把握できた。一方、点検区間 2 測点 32.00 付近で一次掘削を行った際に湧水が発生した。湧水箇所周辺は、強風化によって粘土化が激しい頁岩（風化の速い岩とする；新たな事実の出現）であり、降雨後に湧水量の増加に伴い小崩壊が発生した。粘土化した頁岩の吸水による軟弱化も激しく、さらに上部への後退性崩壊も予想され、今後の施工が不可能になったため「変状時点検表」を使い推移を記録した。規模が小さいため作業員の安全確保には問題はなかったが、今後の進展に

よっては、規模の拡大により補修工の難易度が高くなるので着目する必要性があり「変状時点検表」による監視の重要性を認識することができた。

d) 変状時点検表

施工に障害となる湧水の発生後、予定より 5 日間の休工遅延が生じた。現場での応急対策の検討や発注者・設計者への連絡及び三者会議の日程の調整などで時間を要することもあるが、予期せぬ現象が工事工程へ影響し、土砂崩壊災害の発生にも発展してしまう恐れがあった。斜面ガイドラインに従った点検では、湧水をトラブル発生まで予想できなかった。しかし、湧水発生後の崩壊が小さうちに予測・予防できた点では、点検項目で「湧水」を負のキーワードと認識していた点にある。

地質リスクマネジメントの視点では、この予期せぬ湧水を水抜きボーリングで「リスク対応」することとした。さらに、既往の地すべり地形の存在を考慮すると、調査・設計段階点検で他地点における湧水の実事を水平展開して全体の「リスク分析～評価」に発展・思考することは技術者として必要な要件である。

D. 考察

D-1. 分担研究 1

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」1)、「BIM/CIM 活用業務実施要領 2) 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」1) 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」2) 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」4)を参考として、例えば、建設業において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。

D-2. 分担研究 2

発注者、設計者及び施工者とヒアリング調査をしてきた中で、三者とも設計段階からリスクの除去・低減を考慮し、設計段階からリスク低減措置を施すことに賛成であった。また、明確な社会的な枠組がないものの、会社単位、プロジェクト単位で設計段階からリスクの除去・低減を実施するような取組があった。なお、この時のリスクは、構造物が完成後の供用中や維持管理中に発生しうるリスクを除去・低減させることが主目的であった。労働安全衛生の向上は、副次的に得られた効果であった。

しかしながら、発注者、設計者および施工者ともに、設計段階からリスク低減措置を施すことに賛成で、その効果も認められていることから、本研究では、経済性、施工性、環境保全等とともに安全衛生に配慮した設計を推奨することを提案する。

例えば、機械安全の国際規格である ISO/IEC Guide 51 : 2014 (JIS Z 8051 : 2015)9)では、リスクを「危害の発生確率及びその危害の度合いの組合せ。」とし、許容可能なリスクを「現在の社会の価値観に基づいて、与えられた状況下で、受け入れられるリスクのレベル」と定義している。また、

安全とは、「許容不可能なリスクがないこと。」と定義されている。このように、設計段階で想定される施工時のリスクが、許容不可能なリスクレベルにある時、設計段階においてリスク低減措置を実施し、許容可能なリスクレベルにまで下げられることも考えられる。

発注者のヒアリング調査結果から、『構造物 100 年の間に想定されるリスクについては全て考慮するよう求められている。例えば、地震等、100 年以内に起こる可能性のある事象については設計に考慮する。100 年以上のスパンの事象については、構造物が破壊されるのではなく、損傷をできる限り抑制するような冗長性を持たせた壊れ方をするような設計を考える。』とある。つまり、現状において、自然災害である地震等を考慮した設計を実施しているという回答が得られている。

従って、自然災害と同様、現在の建設業における死亡率(リスクレベル)よりも高いリスクについては、設計段階でそれらを除去又は低減することが求められる。

このように設計段階から想定されるリスクを除去又は低減するような社会的な枠組が構築されれば、「BIM/CIM」の活用、「設計段階から施工者が関与する方式（ECI 方式）」の採用、三者の合同連絡会議の開催等、設計段階から労働安全衛生対策を図る方法を有効に活用することができる。

D-3. 分担研究 3

斜面ガイドラインによる一連の事業工程に連動した点検表は、作業進捗に従い、地山の微地形や地質性状など不明だった箇所が明らかになる。そのため、最上流の調査設計

時点においては不明確であった地山の挙動は、リスクとして考える必要がある。一般に地質リスクマネジメントの多くは調査設計から施工段階に向かって、より合理的かつ総合的にも経済性を追求することを念頭において実施されるものである。これは、施工時の仮設地山掘削作業の安全性確保の観点からも合理的な手法といえる。したがって、「調査・設計施工段階点検表」を利用して、リスク抽出を行い、そのリスクを分析・評価して対応を策定することが現在の事業者つまり施工者の責務となる。しかし、リスクの分析～対応については、本来は事業者のみでは策定できないため、発注者を含めた調査・設計段階での地質リスクマネジメントが必須となる。今後の土木事業では「地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン」と「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」が融合した「意識と体制」を構築したリスクコミュニケーションが必要である。

E. 結論

このように、分担研究 1～3 を概観すると、すでに我が国においても、設計段階から考慮する(している)労働安全衛生に係るリスクがあることがわかる。

具体的には、国土交通省の各地方整備局が設計業務を発注する際に参考とする「BIM/CIM 活用業務実施要領」2)に「BIM/CIM を活用した検討等の具体的な内容」として「リスクに関するシミュレーション(地質、騒音、浸水等)」が明記されている。その詳細としては、「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」に、発注者、設計者、施工者等の関係者の連携によるリスクマネジメントとして記載されていた。

今後は、このような動きを拡大し、建設業において最もリスクの高い墜落・転落災害に対するリスクにも適用していくことが望まれる。

そのためには、ヒアリング調査からも好事例として情報提供のあった「BIM/CIM」の活用、「設計段階から施工者が関与する方式（ECI方式）」の採用、発注者、設計者及び施工者の合同連絡会議の開催等を適宜実施し、設計段階から安全衛生への配慮を推進していくことが望まれる。

また、設計段階又は施工計画段階からの安全衛生への配慮の1つの具体的な事例として、斜面ガイドラインを挙げ、リスクコミュニケーションの重要性を指摘した。

F. 研究発表

1. 論文発表

1) 柴田達哉, 伊藤和也, 杉山竜一: 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を用いた地質リスク抽出と実際の地山挙動, 土木学会論文集 F6 (安全問題), 掲載決定.

2. 学会発表

- 1) 大幢勝利, 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.
- 2) 吉川直孝, 大幢勝利, 平岡伸隆, 豊澤康男: 建設プロジェクトの安全情報の整理について, 安全工学シンポジウ

ム 2020 講演予稿集, p.28-29, 2020.

- 3) 柴田達哉, 伊藤和也: 斜面崩壊による労働災害防止対策ガイドラインと実際の地山挙動, 安全工学シンポジウム 2020 講演予稿集, p.144-147, 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: 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)
- 2) 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)
- 3) 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)
- 4) 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)

- 5) 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)
- 6) BIM4INFRA2020: <https://bim4infra.de/handreichungen/> (2021年3月1日閲覧)
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) JIS Z 8051: 2004 (ISO/IEC Guide 51: 2014) 安全側面-規格への導入指針, <http://kikakurui.com/z8/Z8051-2015-01.html> (2021年3月1日閲覧)