建設現場における労働災害予測システムの開発

Development of workplace accident prediction system for construction sites

○中 陽童[*1]，仲川　正則[*1]，藤原　由樹[*1]，北原　英雄[*1]，丘本　道彦[*1]
Youdou NAKA[*1], Masanori NAKAGAWA[*1], Yoshiki FUJIWARA[*1], Hideo KITAHARA[*1], and Michihiko OKAMOTO[*1]

*1 株式会社竹中工務店
TAKENAKA CORPORATION

キーワード：機械学習; 予測; 労働災害; クラウドシステム; 可視化.
Keywords: Machine Learning; Prediction; Workplace Accident; Cloud System; Visualization.

1. はじめに

近年、建設現場での安全管理体制のプロセス標準化や作業員の安全意識の向上などにより、建設現場における労働災害の発生状況は年々改善されている。しかしながら、転落や重機等との激突による死亡事故のような重大災害が一度生じると、個人、企業、社会に対し大きな影響を与えるため、建設業界においても以前より撲滅に向けた活動を推進しているが、依然として発生している。これまではベテランの施工管理人員の知見や経験を元に、生じる可能性がある災害に対し、作業所員に注意喚起を促すなど個人のナレッジに依存する施策が多く行われてきた。現時点においても情報技術、デジタル技術を活用した施策や統計等に基づき定量的に効果が判断可能な施策の改善が多くの建設現場で実行されているとは言い難い。

建設業においてデジタル技術の活用によって建設現場における災害発生を低減するための施策には以下のようなケースが想定される。

デジタルモデリングとシミュレーション：建設現場における業務プロセスをデジタル上でモデリング、シミュレーションすることで作業上のリスクや安全上の問題点を事前に検出し、予防する。

ビッグデータと予測分析：建設現場のセンサー等から収集されるデータを解析し、異常値やリスクを早期に検知、またデータを活用した予測モデルにより災害が起こりやすい箇所や状況を特定し、事前に対策を講ずる。などが挙げられる。

これらの技術を導入することで、災害発生の低減が期待できる。本報告においても、災害データや建設現場のステータスデータ(作業員数や建築物の種類、規模など)の要因分析を行い、そこから得られた労働災害に関連が深いデータを用いて予測モデルの開発を行った。また、建設現場において予測結果を確認する可視化システムを開発した。

2. 関連研究

建設現場における労働災害発生については、これまでも事故データなどを活用し、被害程度や被災部分、被災者属性などの分析、予測が行われてきた。

事故報告書をベースとした分析としては、重大災害の中で最も重い死亡事故に対して事故概要報告書に記載されている内容から要因を明らかにした分析 [1)2)]などがあり、安全設備不足や人的要因などが主たる事故要因だとする研究 [3)]や、事故報告書のテキストマイニングにより、どのような因子が事故発生に影響を与えているかを明らかにしたなど [4)] 労働災害報告書など災害データに焦点をあてた研究が多い。

また、リアルタイム性を持たせた研究として、労働災害の前兆につながるヒヤリ・ハット事故を予見するためにRFID タグなどを活用し、リアルタイムでの作業員の位置情報や行動などのトラッキングから災害の前兆となる状況を予測する事例もある [5)]。分析だけでなく、システム化に向けて、専門家から得られた回答に基づきツール化した提案 [6)]や数値、テキストデータだけでなく動画像による物体認識モデルを用いて、事故の危険性を予測し、警告するシステムの開発を目指す事例もある [7)]。これらの多くは、実用化する際に稼働中の建設現場の詳細な調査や予測対象の作業員に常にデバイスを装着し作業に従事してもらうなど建設現場に対する負荷が大きくなってしまう。このように、被災者に着目した研究事例が多いが、その当時の建設現場の配員状況や作業規模・建物属性など被災者以外の要因を加味したものは少ない。

そこで、我々は各々の建設現場で日々立案されている作業計画から得られる作業所員の職種、作業内容、その人数構成等を活用し、過去の事故事例と併せて、稼働中の個々の建設現場ごとに当日の作業班(協力会社とその職種)に対し、労働災害がどの程度起こりやすいか、またどのような労働災害種が生ずる可能性があるかを明らかにする予測

モデルを機械学習の種々のアルゴリズムを活用し開発した。また、本予測モデルをシステム化し、建設現場における業務プロセスに取り込み、労働災害の発生低減に寄与するため、可視化ツールによるシステム化と建設現場への展開を実施した。

3. 労働災害発生予測システムの概要

3.1. システムの全体像

本システムは AI による労働災害予測機能と作業班ごとの災害発生リスクや全国で稼働中の建設現場のステータスが確認できる可視化機能で構成される。機能構成を図 1 で示す。

労働災害予測機能では、業務で発生するデータを日々自動で収集し、そのデータを元に日次で作業班ごとの災害リスクを予測し、さらに全国建設現場の中でどの現場の災害リスクが高いかを月次で予測を行う。

予測結果の可視化では、建設現場ごとに日々の作業内容から予測された災害発生確率をもとに、作業班ごとの危険度を確認できる建設現場個別画面と全現場の災害発生予測を危険度として一覧で確認できる全体俯瞰画面を構築した。

本システムは建設現場と安全管理部門の２つのユースケースで適用されることを狙いとする。建設現場では、職長との日々の KY 活動の際に建設現場個別画面を参照し、危険度の把握や気を付ける災害種別の確認を行い、安全管理部門では全体俯瞰画面を参照し、危険度の高い作業を検知し現場巡回の参考にすることを狙いとして開発した。

3.2. 予測機能の内容

本システムの予測機能は大きく「当日の作業内容を元にした災害発生予測」と「建設現場ごとの災害発生予測」の２つの予測機能で構成されている。

以下で各機能の概要を述べる。

3.2.1.当日の作業内容を元にした作業班ごとの災害発生日次予測

前日に投入された各作業班の作業内容を入力として、過去の労働災害データを学習した AI モデルで災害発生を予測する。災害発生の確率に加えて、各災害種別（切れ、こすれ/はさまれ、巻き込まれ/墜落、転落など）ごとの発生確率を予測する。

3.2.2. 建設現場ごとの災害発生月次予測

工事規模、工事種別などの属性データや作業員配置などの月次の人員データを入力として、過去の労働災害データで学習した AI モデルで災害発生の確率を算出する。

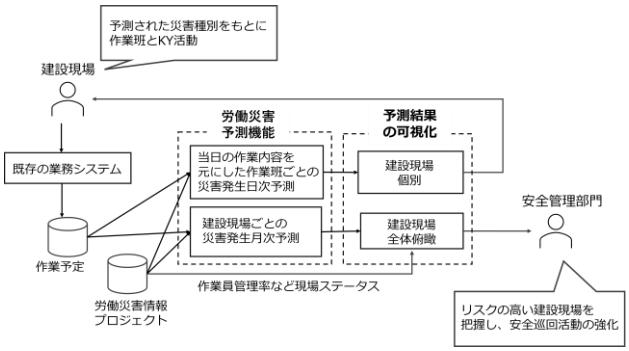

図 1. 機能構成図

4. 予測に使用したデータについて

本システムにおいて、予測モデルの学習用データおよび可視化システムの表示対象として利用している主なデータを以下に示す。

表 1. 各建設現場、各協力会社の翌日作業予定データ

項目	説明
作業班の職種	鳶工、内装工などの作業タイプ
作業内容	作業班ごとの作業内容の文章データ

表 2. プロジェクトデータ

項目	説明
工事種別	新築、解体などの工事の種類
建物用途	事務所、倉庫などの建物の種類
工事の規模	(社内外)作業員数、建築面積など

表 3.労働災害データ

項目	説明
災害程度	不休、休日 4 日以内などの被災の度合
災害種別	転落、転倒など被災の種類

これらのうち、2015 年 1 月~2021 年 12 月までの計 7 年分を学習データとした。

5. 労働災害予測の手法と評価結果

日次、月次予測モデルともに勾配ブースティング決定木(GBDT: Gradient Boosting Decision Tree)に分類されるアルゴリズムである LightGBM[8)]を用いて予測モデルを開発した。日次モデル予測で扱う作業内容等のテキストデータに関しては、形態素解析を行い単語分散表現に変換した。月次で各建設現場における災害発生有無を示す予測モデルの評価指標の結果は表 4 のようになり、これはデータ総数のうち災害発生件数が極端に少ないデータの不均衡性に起因して本予測器が実際には災害が発生したケースに関しても発生確率を低く見積もったためである。

また日次予測モデルについては、各建設現場内の各作業

班別に災害発生確率を予測するモデル、災害種別を予測するモデルの２種を開発した。月次予測と比べデータの不均衡性が更に顕著になることから、学習データのうち、災害が発生していない建設現場のデータは除去するダウンサンプリングを実施した。それぞれ表 5,6 のような結果となった。先の対策を講じてもデータの不均衡性のため精度の停滞が確認できる。これら、実際には災害が生じていても発生確率を低く見積もられるケースに関しては、現場との判断の上、発生確率の閾値を下げることで過去データに対して 8 割以上の検出率を達成することで合意形成おこないシステム実運用のフェーズに進んだ。

表 4. 月次予測モデル(災害発生有無)
の各評価指標のスコア

Scorer	Scores
AUC	0.8752
F1	0.5226
ACCURACY	0.9353

表 5. 日次予測モデル(災害発生有無-作業班別)
の各評価指標のスコア

Scorer	Scores
AUC	0.8409
F1	0.4274
ACCURACY	0.9449

表 6. 日次予測モデル(災害種別分類-作業班別)
の各評価指標のスコア

Scorer	Scores
AUC	0.8526
F1	0.5453
ACCURACY	0.5437

6. 可視化システムについて

可視化システムでは、表 7 で示す 7 つの指標を可視化した。

表 7. 本システムで可視化した指標一覧

	可視化した指標
1	災害発生状況（件数）
2	作業員管理率※が閾値以上の建設現場数
3	作業員管理率※と工期進捗率
4	建設現場ごとの予測された災害発生率
5	作業班ごとの予測された災害発生率
7	作業班ごとの予測された災害種別（３つ）

※作業員管理率は、作業員数を施工管理人数で割った値。数値が高いほど、施工管理人数に対して作業員が多い状態であり、巡回頻度が低くなるなどリスクが高くなる傾向がある。

可視化システムはクラウド上に構築されており、当日午前 2 時までに業務システムに投入されたデータが自動的に午前 7 時に可視化されるため、朝礼時に予測結果が活用可能となる。データ処理フローは図 2 に示す。

前日に投入された数万件の作業予定に対して、予測結果が出力されるため、可視化システムではプロジェクトを絞り込むための検索機能や、災害発生確率の高い順にソートされる機能をもつ。業務システムからのデータ収集、予測、可視化までの日次更新はすべて自動化されている。

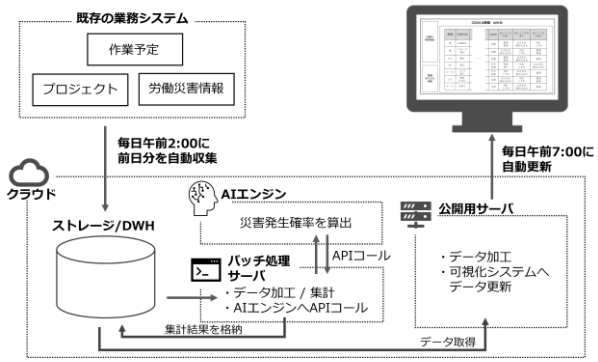

図 2. データ処理フロー（日次処理）

可視化は日次で更新される建設現場個別画面（図 3）と月次で更新される全体俯瞰画面（図 4）で構成される。

図３の建設現場個別画面は前日の作業予定内容をもとに予想された災害発生率（危険度）と予測された災害種別（起こりうる災害発生確率が高い順に 1-3）が日次更新される。図４の全体画面は月次で更新され、作業員管理率を軸に災害発生状況や災害リスクの高い建設現場を把握するための指標が可視化される。

図 3. 建設現場個別画面

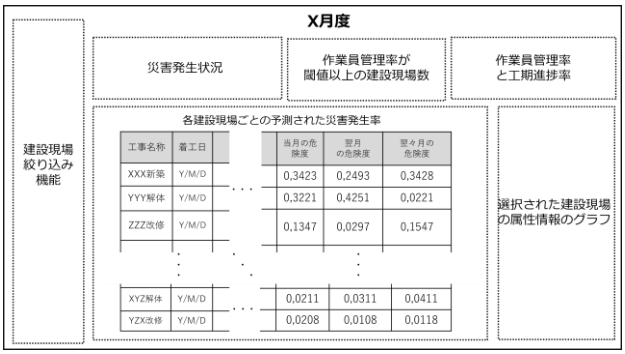

図 4. 全体俯瞰画面

7. システム評価

7.1. 利用者における評価

作業班ごとの災害予測をもとに朝礼時の KY 活動や現場内巡回に活用されている。また、6.のシステム概要でも説明した通り、作業員管理率という指標を用いて、翌月の管理人員不足が顕著にみられる現場に関しては安全管理部門　の担当者が現場に向かい安全活動の遵守を確認したり、作業の是正などを行う安全巡回活動の強化を行ったり、将来の管理人員の増員計画の立案などに活用され、労働災害発生の低減施策の一環として利用されている。

7.2.システム運用時の性能評価

2022 年度において実際に発生した労働災害に対し、本予測モデルが事前に災害発生をアラートした割合とその災害種別の検出率を以下に示す。それぞれ表 8 に月次予測モデル、表 9 に日次予測モデルの災害検出率と災害種別の上位 3 件までに含まれる割合を示した。災害検出率は月次予測については 70%程度、日次予測については 60%弱となり、日次予測における災害種別の検出率は 34%程度という結果になった。精度改善のための更なるデータ拡充、アルゴリズムの見直しが必要である。

表 8. 月次予測モデルの 2022 年度発生件数

項目	Scores
災害検出率(平均)	0.7183

表 9. 日次予測モデルの各評価指標のスコア

項目	Scores
災害検出率(平均)	0.5900
災害種別の検出率(上位 3 件以内)	0.3400

8. 結論

本報告では、建設現場における災害発生の低減のための予防対策の一環として、AI を活用した労働災害発生予測とそのシステム化、現場への導入について説明した。予測モデルの評価結果からもわかる通り、更なる精度の改善は必須である。このため、現在、予測に使用しているデータに加えて、現在の工事内容だけでなく前後でも何が計画されているのかを示す工程データの活用や、天候データなどの現場の環境データを取りいれることで精度の向上を目指す。

将来の展望として、災害発生の予測だけでなく、過去生じた災害発生の事例から当日の作業班の作業内容等により類似性が高い過去事例をレコメンドする機能を追加する。これにより、過去事例における再発防止策などを事前に確認し、注意すべきポイントが明確になり、朝礼での具体的な安全指示対策や建設現場巡回でのよりきめ細やかな対応が可能になり、結果、災害発生の予防につながると期待している。

これらの施策を行うことで、建設現場が安全に稼働することに寄与するシステムを開発し、建設業界においても労働災害が発生しづらい現場環境の構築に向け貢献していきたい。

[参考文献]

1) Qing Shuang, Zerong Zhang, Determining Critical Cause Combination of Fatality Accidents on Construction Sites with Machine Learning Techniques, Buildings 2023, 13(2), 345.
2) Jianbo Zhu, Qianqian Shi, Qiming Li, Wenchi Shou, Haijiang Li, Peng Wu, Developing predictive models of construction fatality characteristics using machine learning, Safety ScienceVolume 164, August 2023, 106149.
3) Kyungsu Kang, Hanguk Ryu, Predicting types of occupational accidents at construction sites in Korea using random forest model, Safety Science Volume 120 December 2019 Pages 226-236.
4) Fan Zhang, Hasan Fleyeh, Xinru Wang, Minghui Lu, Construction site accident analysis using text mining and natural language processing techniques, Automation in Construction Volume 99, March 2019, Pages 238-248.
5) Weiwei Wu, Huanjia Yang, David A.S. Chew, Shuang-hua Yang, Alistair G.F. Gibb, Qiming Li, Towards an autonomous real-time tracking system of near-miss accidents on construction sites, Automation in Construction Volume 19, Issue 2, March 2010, Pages 134-141.
6) Sangyoub Lee, Daniel W. Halpin, M. ASCE, Predictive Tool for Estimating Accident Risk, Journal of Construction Engineering and Management Aug 2003 Pages 353-472.
7) Jaekyu Lee and Sangyub Lee, Construction Site Safety Management: A Computer Vision and Deep Learning Approach, Sensors 2023 23(2) 944.