

BIMを活用したコンクリートの工区割・温度ひび割れ検討システム

堀田 和 宏 神代 泰 道 酒井 正 樹

塩坂 靖彦 垣内 延介 石本 晃慈
(DX本部) (DX本部) (DX本部)

Concrete Placement Planning and Thermal Crack Study System using BIM

Kazuhiro Hotta Yasumichi Koshiro Masaki Sakai

Yasuhiko Shiosaka Nobuyoshi Kakiuchi Koji Ishimoto

Abstract

Mass concrete may undergo thermal cracking because of hydration heating. External restraints significantly influence the risk of thermal cracking, which is typically more likely to occur when the concrete placement is long. Concrete placement planning should consider various factors, such as concrete supply conditions and construction processes. However, thermal crack studies require specialized knowledge and are time-consuming and costly. Therefore, in this study, we developed a system that uses BIM to perform concrete placement planning and thermal crack studies in parallel. This system can be easily operated and is expected to improve productivity.

概 要

部材断面が大きいマスコンクリートは、水和発熱に伴う温度ひび割れの発生が懸念される。温度ひび割れの危険性は外部拘束による影響が大きく、通常、コンクリートの打込みエリア(工区)が大きいほど発生しやすい。打込み工区は、コンクリートの供給状況や工程等、様々な要素を勘案して分割される。しかし、施工計画の初期段階では、細部が決まっていないことが多く、温度ひび割れの検討には専門的知識も必要となるため、詳細な工区割りは難しい。そこで、本報では、BIMを活用して温度ひび割れを考慮した工区割りを行うことができる「コンクリートの工区割・温度ひび割れ検討システム」を開発した。本システムは誰でも手軽に操作できるため、コンクリート工事に関する施工計画の生産性向上が期待できる。本システムの試行の結果、温度ひび割れを考慮した工区割を、コストをかけず短期間で立案できた。今後は更なる利便性向上を目指し機能拡張を検討する。

1. はじめに

大規模建築物において、基礎部分は断面寸法が大きく、マスコンクリートとなるケースが多い。マスコンクリートは、温度上昇に起因して発生する温度ひび割れの危険性があるため、事前に対策を講じる必要がある。

建築分野において、温度ひび割れの危険性は、FEM解析、あるいは日本建築学会「マスコンクリートの温度ひび割れ制御設計・施工指針・同解説¹⁾(以下、マスコン指針と記す)」より提案されている応力強度比推定式によって検討されることが多い。前者は複雑な形状の部材に対しても適用可能であるが、モデル作成、解析等に時間やコストがかかるため、施工計画の初期段階で検討することは難しい。一方、後者はシンプルな形状の部材に限られるものの、一般的な表計算ソフトによって検討できるため、コストをかけず迅速な計算が可能である。

温度ひび割れの評価は、建築分野では「応力強度比」によって行われることが一般的であり、この値が極力小さくなるように、施工上の対策を講じる。通常、応力強度比は、コンクリートの打込み工区が大きい程(コンクリートの打込み数量が多い程)大きな値になる。したがっ

て、コンクリートの打込み工区は、その供給状況や工程の他、このような専門的知識が必要な温度ひび割れも考慮して検討する必要がある。また、温度ひび割れ対策には、打込み工区を小さくする以外にも「セメントを低発熱仕様に変更する」「鉄筋比を増加させ、推定ひび割れ幅を制御する」等の方法もあるため、これらの選択肢も踏まえた合理的な判断には多くの時間やコストを要する。

そこで、近年データベースとしての活用が期待されているBIMに着目し、専門的知識がなくとも温度ひび割れを考慮した工区割りを容易に行うことが可能となる「コンクリートの工区割・温度ひび割れ検討システム」を開発した。本報では、その概要と効果について報告する。

2. システムの概要

2.1 システム開発のねらい

従来、コンクリートの打込み工区割は、2Dの図面に対し、手作業で色分け等を行い検討していた。また、打込み数量や天端押え面積の算定は、工区割が変わるごとに図面を見て再計算するため、手間のかかる作業であった。

温度ひび割れ検討は、部材寸法のリストアップに加え、

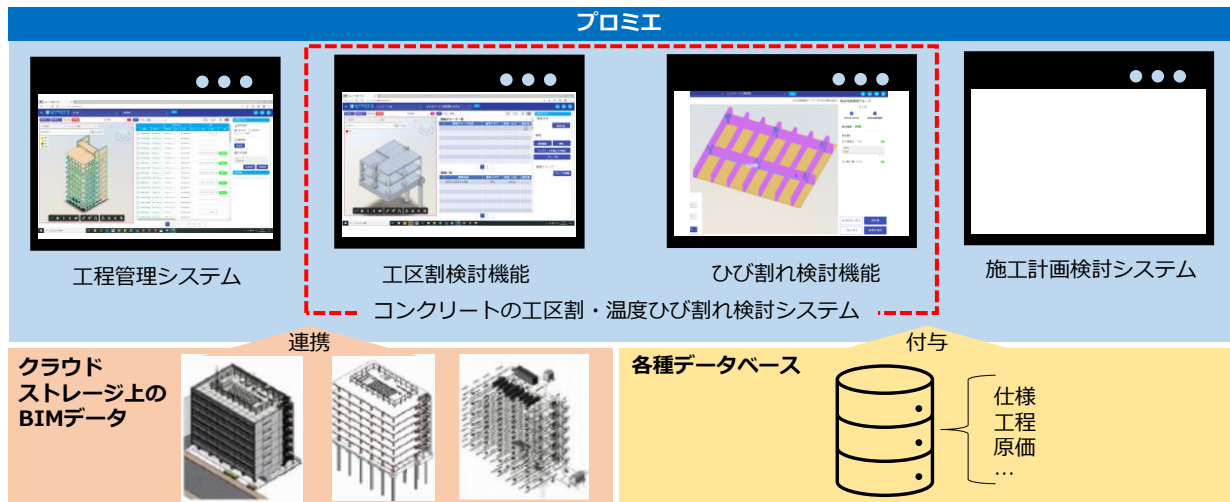


Fig. 1 コンクリートの工区割・温度ひび割れ検討システムの位置づけ
Positioning of Concrete Placement Planning and Thermal Crack Study System

鉄筋比の計算，打込み日ごとの外気温データの整理，構造体強度補正値の確認，配合計画書の準備といった事前作業が必要であった。

本システムは，従来別々に行われていた工区割り，および温度ひび割れの検討を並行して行えるよう配慮するとともに，これらの作業の生産性向上を目的として，以下のようなねらいで開発した。

- 1) PC画面上で容易に工区割りが可能となり，面積や体積等の各種パラメータを自動的に取得できる。
- 2) 工区割りのデータを基に，誰でも応力強度比推定式を用いた温度ひび割れ検討が可能となる。また，この結果を工区割りにフィードバックできる。

2.2 システムのプラットフォーム

本システムのプラットフォームは，大林組開発システムである「プロミエ®」とした。プロミエ®とは，「Project Manager in Integrated Environment」の略称であり，工事の進捗を視覚的に管理できるWEBシステムである。

プロミエは，クラウドストレージ上のBIMデータと連携しており，BIMソフトの操作に習熟していない担当者でも扱いやすいインターフェースを備えている。また，プロミエはBIMモデルを仮想的に切断したり，後から新たな情報を付与することも可能であるため，情報管理を効率的に行えるという特長がある。

本システムのプロミエ上の位置づけをFig. 1に示す。一つのBIMデータに対し，プロミエ内でシステムを切り替え，各種検討を実施でき，さらに，その結果をシステム間で共有することができる。

2.3 システムの構成

本システムは，Table 1に示す3つの機能で構成されている。それぞれの機能の詳細を次に述べる。

Table 1 本システムの機能構成
Functional Structure of the System

機能名称	機能の概要
①プロジェクト管理機能	<ul style="list-style-type: none"> ・使用するBIMモデルのインポート ・BIMモデル格納情報の抽出
②打設管理機能	<ul style="list-style-type: none"> ・工区割りの作成 ・使用するコンクリートと工区の紐付け ・工区ごとの打込み数量・天端押え面積の自動計算
③ひび割れ検討機能	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートおよび地盤条件の詳細設定 ・マスコン指針に準じた温度ひび割れの検討 ・検討結果の計算書出力

2.3.1 プロジェクト管理機能 プロジェクト管理機能では，クラウドストレージ上の任意のBIMモデルを本システムにインポートすることができる。これにより，本システムのインターフェースを介してBIMモデルを利用できる。また，設定したBIMモデルから構成材料の種類，設計基準強度，寸法等のプロパティを抽出できる。

2.3.2 打設管理機能 打設管理機能では，工区割りを行うことができる。工区割作成画面の一例をFig. 2に示す。この画面で，マウスドラッグによって任意の工区境を作図するとともに，断面のレベル設定を行うことで，工区作成が完了する。作成した工区は，Fig. 3に示すような立体的な領域として確認できる。また，自動的に工区内のコンクリート部材体積をカウントできるため，打込み数量についても把握できる。

2.3.3 ひび割れ検討機能 ひび割れ検討機能では，打設管理機能において作成した工区割と，BIMモデルに格納されたデータベースを基に，応力強度比推定式を利用した温度ひび割れの検討が可能である。

まず、Fig. 4 に示すひび割れ検討画面において、打込み長さを示す「打設線」を、マウスドラッグによって作図する。これにより、検討対象部材が選択されるとともに、部材に格納された断面寸法および配筋情報が自動的に抽出される。

次に、使用するコンクリートや地盤の情報を部材に割り当てることで、瞬時に応力強度比と推定ひび割れ幅が算定され、合否判定が表示される。判定が不合格であった場合は、打設管理機能で工区割を再検討する、鉄筋比を増加させる、コンクリートの種類を変更する、といった対策を講じ、施工計画の最適化を行う。本システムには大林組が開発した環境配慮型のコンクリート（クリーンコンクリート®）に対応した応力強度比推定式³⁾も実装されているため、広い範囲のコンクリートによる検証が可能である。

3. システムの試行

3.1 システム試行の概要

某工場建築物（Table 2）において、耐圧版上部に打ち込まれる基礎の一部がマスコンクリート（設計基準強度 24N/mm²）とされていた。そこで、本システムを活用し、温度ひび割れを考慮した工区割を検討した。温度ひび割れ検討において、応力強度比の目標値は 1.3 以下とされていた。また、採用するコンクリートは、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリート、あるいは中庸熱ポルトランドセメントを使用したコンクリートであった。

3.2 工区割の検討

プロジェクト管理機能によって各種設定完了後、打設管理機能によって工区割の検討を行った結果を Fig. 5 に示す。基礎部分を A~H 工区に分け、コンクリート打込み数量が 1 日あたりの上限値である 500m³程度となるように計画した。

3.3 温度ひび割れの検討

打設管理機能によって作成した A~H 工区のうち、マスコンクリートが含まれる C~F 工区に対して温度ひび

Table 2 試行物件の情報
Outline of the Building Property

項目	概要
建築物の用途	・工場
基礎の打込み範囲	・約 3000m ²
設計図書においてマスコンクリートとされる部材範囲	・版状部材：厚さ 1.0m 以上 ・壁状部材：幅 0.8m 以上かつ断面積 1.5m ² 以上
マスコンクリート検討の目標値	・応力強度比 1.3 以下
セメント種類	・普通ポルトランドセメント ・中庸熱ポルトランドセメント
打込み日程	・耐圧版：6月中旬 ・基礎梁：6月下旬

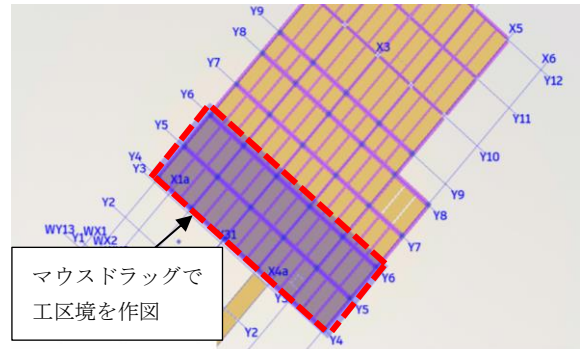


Fig. 2 工区割作成画面
Casting Area Creation Screen

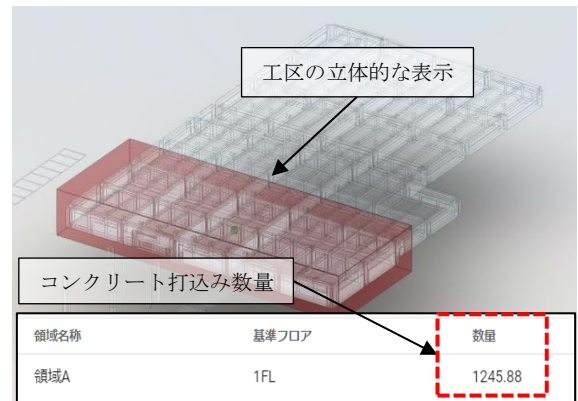


Fig. 3 工区管理画面
Casting Area Management Screen

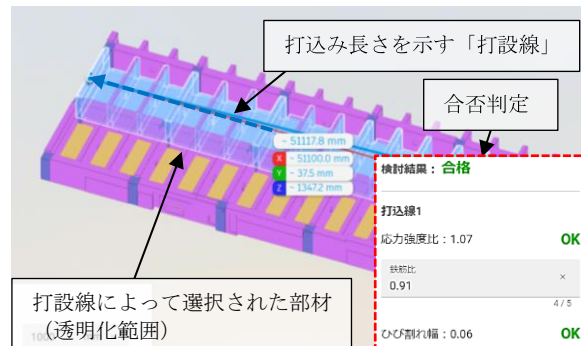


Fig. 4 ひび割れ検討画面
Crack Study Screen

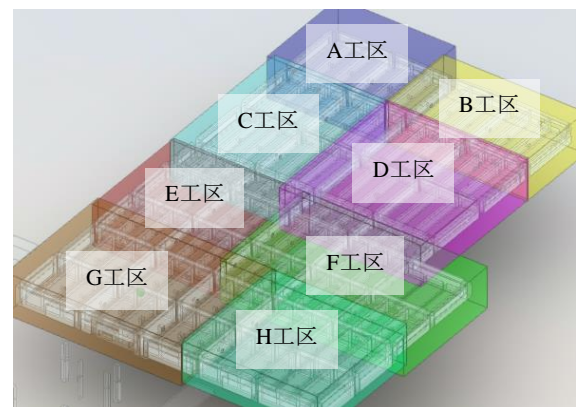


Fig. 5 工区割状況
Status of Concrete Placement Planning

割れの検討を実施した。普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートを採用した場合、Fig. 6 に示すように、応力強度比は目標値（1.3以下）を満たさなかった。

そこで、応力強度比が目標値を満たすように工区割を再検討した結果がFig. 7である。普通ポルトランドセメントを使用する場合、工区割はかなり小さくする必要がありますことが分かった。

一方、セメント種類を中庸熱ポルトランドセメントに変更し、再検討した場合、工区割を変更しなくても、応力強度比は目標値を満たすことが分かった。なお、本部材は十分な鉄筋量が確保されていたため、いずれのセメント種類のコンクリートを採用した場合でも、推定ひび割れ幅は小さく抑えられることが確認された。

3.4 システム試行の効果

本システムの試行により、専門的知識がなくとも温度ひび割れを考慮した工区割りを実施でき、セメント種類の変更も視野に入れた合理的な検討を行うことができた。これにより、適切な施工計画の立案と、使用材料に関する見積りの精度向上の効果が得られた。また、仮にFEM解析を実施する場合は数十万円のコストと1か月以上の検討期間が必要となる。本システムを活用することで、応力強度比推定式適用範囲内の構造物であれば、コストをかけず1日程度で検証を実施でき、生産性の向上に寄与することが分かった。

4. まとめ

本報では、BIMを活用して、工区割り、および温度ひび割れの検討を並行して実施することができる「コンクリートの工区割・温度ひび割れ検討システム」を開発・試行した。得られた知見を次に示す。

- 1) プロミエ上に本システムを実装することで、BIMモデルに情報を保持させたまま、部材を仮想的に切断し、工区割りを行うことができた。
- 2) BIMモデルに格納されたデータベースを温度ひび割れ検討等の計算に活用することで、ユーザーの数値入力手間を必要最小限にすることができた。
- 3) BIMソフトの操作知識や温度ひび割れに関する専門的知識がなくとも、本システムを使用することで、工区割りと温度ひび割れの検討を並行して行うことができた。
- 4) 本システムを使用することで、温度ひび割れを考慮した工区割りを、コストをかけず早期に立案でき

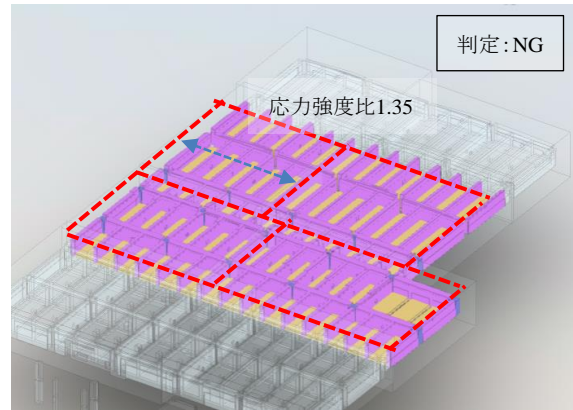


Fig. 6 温度ひび割れ検討結果
Results of Crack Study

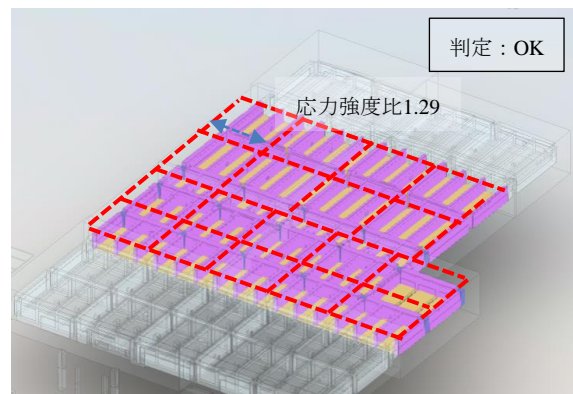


Fig. 7 温度ひび割れ検討結果（工区割変更後）
Results of Crack Study
(After Change of Casting Area)

た。また、見積り精度の向上にも寄与できた。

今後は、BIMに格納されたデータベースのより一層の有効活用と、更なる利便性向上を目指し、機能拡張を検討していく。

参考文献

- 1) 日本建築学会：マスコンクリートの温度ひび割れ制御設計・施工指針・同解説，pp.80-115, pp287-322, 2019
- 2) 大林組：ビジュアル工程管理システム「プロミエ」，
https://www.obayashi.co.jp/news/detail/news20210720_1.html
- 3) 堀田和宏，神代泰道，酒井正樹，都築正則，並木憲司：混和材を高含有したコンクリートに対応した応力強度比推定式（版状部材）の解析的検討，日本建築学会技術報告集 第29巻 第73号，pp.1151-1155, 2023