

AI と RPA を活用した 「構造設計支援システム」

株式会社安藤・間 建設本部 先端技術開発部 建築生産システムグループ もりした たかひろ 森下 貴博

1. はじめに

当社では、設計業務の効率化、省力化を図り、設計者の作業負担を減らすため、設計の自動化に取り組んでいます。その一つとして、株式会社リバネス、株式会社ヒューマノーム研究所およびソーラーテック株式会社と共同で、どのような構造設計者でも、有限時間内に最適な構造計算ができるような環境を目指し、AI と RPA を活用した「構造設計支援システム」（以下、「本システム」という）を開発しました。

建築の構造設計では、一貫構造計算プログラムを用いて、柱部材や梁部材の大きさ等を決定していますが、その際、建築基準法に定められる耐震性能等の条件を満足させる必要があります。従来の構造計算方法では、条件を満足できる柱部材・梁部材の配置・組み合わせとなるように、一貫構

造計算プログラム上で手入力によって部材を変更して計算させることを繰り返すため、部材の大きさ等を決定するまでに多大な時間を要しています。

また、計算を満足させるだけでなく、施工性や経済性も考慮する必要があり、それらが考慮された設計ができるかどうかは、構造設計者の知識・経験といった個人の力量に左右されているのが実情です。

本システムを利用すれば、構造計算におけるこれらの課題を解決することが可能です。

本稿では、本システムの概要、開発・導入状況、効果を紹介します。

2. システムの概要

設計業務フローにおける本システムの位置付けを図-1に示します。建物の設計は、基本計画、基本設計、実施設計という流れで進め、段階的に

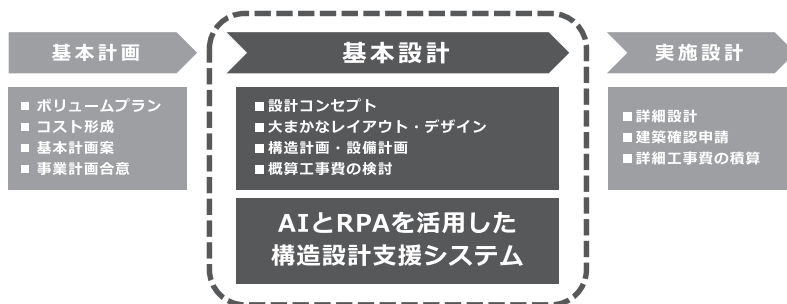


図-1 設計業務フローにおける構造設計支援システムの位置付け

詳細な設計をしていきます。本システムは、基本設計の段階における構造計算を支援するもので、構造躯体の概算見積用の資料（以下、「概算資料」という）を作成するために利用することができます。

基本設計の段階では、意匠設計者が用意した基本設計のプランに対し、柱の位置や階高、荷重条件等の構造計画を行います。ここで想定した内容は、検討を進める中で変更されることも多く、また、より良い構造計画とするために複数ケースの検討が必要になる場合も少なくありません。そのような変更や複数ケースの検討をより短期間で可能とするため、基本設計に対応できるシステムとして開発しました。

本システムによる構造計算フローを図-2に示します。本システムは、「AI グルーピングシステム」と「RPA システム」から構成されています。従来の構造計算方法では、一貫構造計算プログラム上で初期モデルを作成した後、手入力により部材を変更して計算させることを繰り返しますが、この作業について、AI グルーピングシステムと RPA システムで自動化しています。

なお、従来の計算方法では、初期モデルは、構造設計者が自らの経験などから妥当な柱部材や梁部材の大きさを想定して作成します。一方、本システムは、計算過程で自動的に構造計算を進めるため、初期モデルの柱部材と梁部材は全て同一とできるため、作成が容易です。

計算時間と計算結果の完成度の関係を図-3に示します。完成までの計算時間を手入力と比較すると、RPA システムだけでも短縮できますが、AI グルーピングシステムを併用することで、さらに短縮することができます。

次に AI グルーピングシステムと RPA システムについて説明します。

(1) AI グルーピングシステム

構造計画において、例えば条件の近い柱は同じ

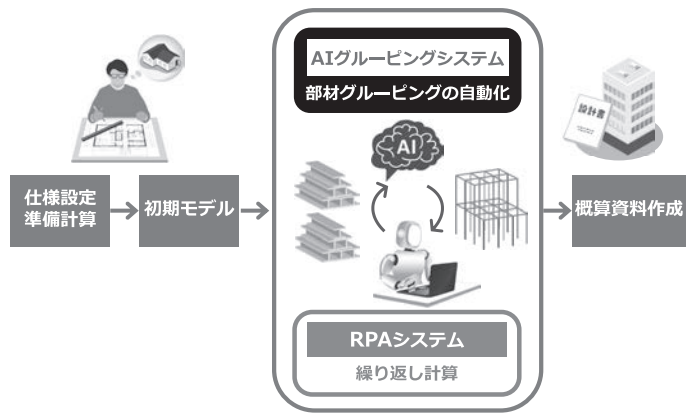


図-2 構造設計支援システムによる構造計算フロー

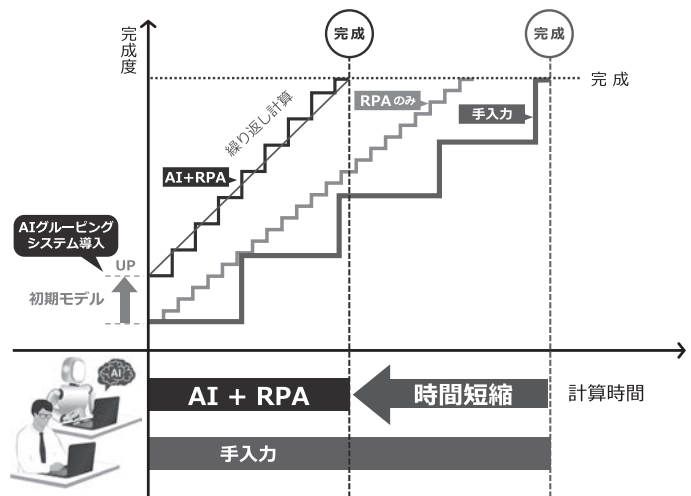


図-3 構造設計支援システムによる計算時間と完成度の関係

大きさ（太さ）にしますが、その作業を本システムではグルーピングと呼んでいます。従来の構造設計では、構造設計者が建物形状やその他の計算条件から、同じ大きさ（太さ）になる柱を決定し、グルーピングをしています。そのグルーピングの作業を、AI を用いて自動的に行うのが、AI グルーピングシステムです。

グルーピングのグループ数が少ない場合には施工性は良いですが、条件が不利な断面に合わせて部材の大きさが決定するため、経済性は悪くなります。一方、グループ数が多い場合は、場所ごとに部材の大きさを変えることで無駄に大きな部材はなくなり、経済性は良くなりますが、グループ数が多いほど複雑になり、施工性は悪くなります。このように、グループ数は、構造躯体の施工性と経済性に大きく影響します。

AI グルーピングシステムでは、建物の規模や

形状により、AIを用いて施工性と経済性のバランスの良いグループ数となるように、自動的に決定することができます。なお、建物の制約条件に対応するために、構造設計者がグループ数を設定することも可能です。

(2) RPA システム

RPA システムは、一貫構造計算プログラムにおいて、構造計算の条件を満足するように自動的に計算を繰り返すシステムです。これまで構造設計者が行っていた部材を変更し、計算を繰り返す作業を代行（自動処理）することができます。

このシステムで検討できるのは、S造、RC造、HB造（RC柱+S梁）のラーメン架構です。中規模から大規模の建物の構造計算に利用できるように、建築基準法に定められている保有水平耐力計算ができるシステムとなっています。構造計算の条件として、構造部材の安全率を設定することが可能です。また、必要に応じて梁せいの最大寸法を制限するなど、建物の設計条件や設計者の意図に合わせた構造計算が可能です。

3. 開発・導入状況

本システムの開発は、2019年より開始しました。S造用、RC造用、HB造用の3種類のシステムを開発していますが、ここではS造用を例として説明します。

S造用のシステムの開発期間を図-4に示します。

開発の流れは、①システム構築、②試験運用、③実運用、④本格運用と、大きく4つの段階に分けて進め、現在は4年目で④本格運用の段階です。

① システム構築

実行ツールの検討や、鉄骨部材の仕様を整理しました。そして、構造種別の特徴を考慮した計算フローチャートを整理し、そこからアルゴリズムを構成して、プログラムに実装しました。この段階のシステムを「試作版」としました。

② 試験運用

試験運用では、過去に実施設計・施工をした既存建物をテストモデル（計9件）として、試作版のシステムを利用して計算しました。実際の部材と、試作版による検討結果を比較することで、試作版のシステムの精度を確認し、調整を加えていきました。

③ 実運用

実運用では、そのときに依頼されている基本設計段階の物件（計12件）を対象としました。構造設計者が従来どおり手入力で計算を行い、それと並行してシステム開発者が本システムを利用して計算を行いました。構造設計者と本システムの結果を比較することで、本システムの結果の妥当性を確認しました。

なお、一部の物件では、本システムの結果に構造設計者が部分的に手を加えることで、本システムの結果を概算資料として利用できました。

④ 本格運用

現在では、構造設計者が自ら本システムを動かして概算資料作りに利用しています。本システムを利用する際は、構造設計者が一貫構造計算プログラムで初期モデルを作成します。次に、この初期モデルを本システムで調整し、自動で構造計算を実施します。その後、計算結果が計算条件を満

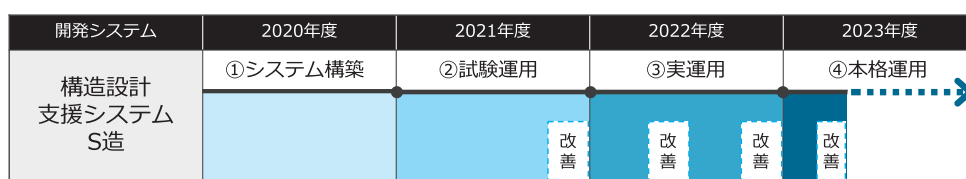


図-4 構造設計支援システム S造の開発期間例

たしていること、妥当性のある部材の大きさであることを確認し、一貫構造計算プログラムで最終調整をして概算資料を作成しています。

概算資料作成以外にも、意匠設計者が階高や柱位置を決めるために、柱部材・梁部材の大きさの目安を検討することや、先行して基礎形式を検討するために、基礎の計算用の建物重量を算出するなど、事前検討にも利用することができます。

本システムは、構造設計者のそれぞれのパソコンから利用可能で、複数人で同時に利用することができます。また、計算を開始すると、結果が出るまで人が操作をする必要がないため、夜間に利用することも可能です。

4. システムの効果

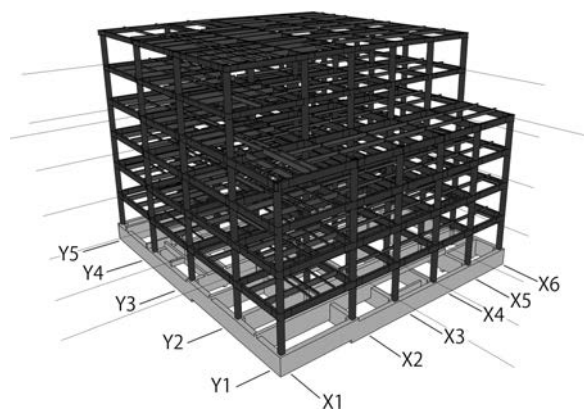
AI グルーピングシステムの妥当性について、熟練した構造設計者と AI グルーピングシステムによるグルーピング結果例を図-5 に示します。

AI グルーピングシステムによるグループ数やグルーピング結果は、熟練した構造設計者と概ね同等となることを確認しています。

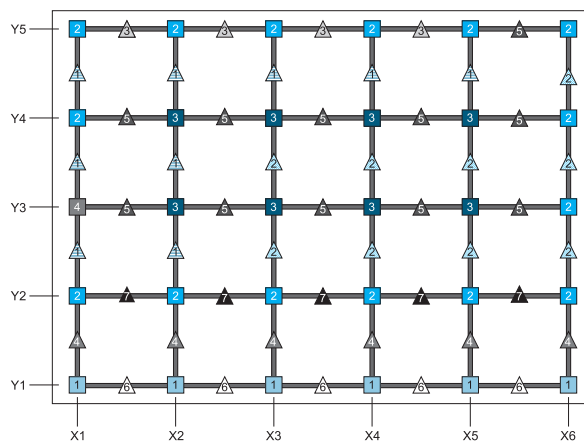
次に、本システムの計算時間の一例を表-1 に示します。これは、基本設計段階の物件やテストモデルで、本システムによる計算開始から終了までの時間を示したものです。用途や規模により異なりますが、約3~7時間で計算することができました。手入力での計算と比較して、圧倒的な時間短縮になっています。

図-6 に、延床面積約 2,000 m² の5階建ての事務所ビルについて、概算資料を作成した検討期間を示します。本システムでは、就業時間後の夜間に計算を実施することができるため、初期モデルを作成した翌日には、概算資料をまとめることができます。

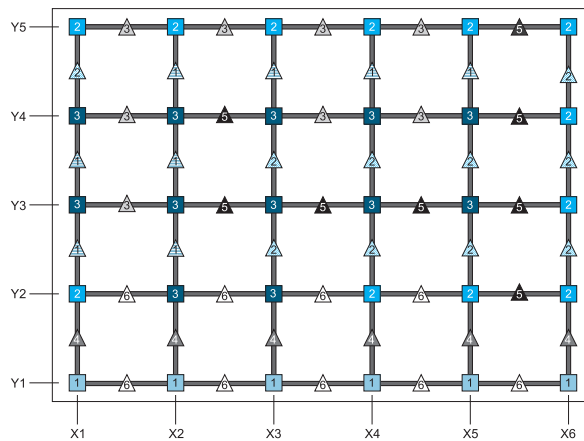
基本設計時には、必要に応じて、異なる構造種別で検討して比較する場合や、スパン・階高が異なるケースを比較することがあります。そのような場合には、複数ケースの初期モデルを作成し、



(1) 3D モデル図



(2) 構造設計者によるグルーピング (伏図)



(3) AI グルーピングシステムによるグルーピング (伏図)

図-5 グルーピングの比較

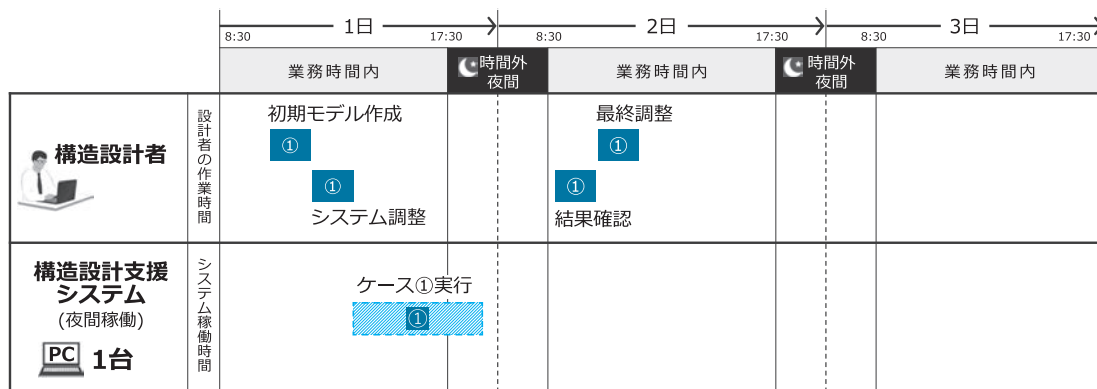
本システムで計算し、結果を比較することで、より良い構造計画を決定できます。

図-7 に複数ケースを検討した場合の検討期間例を示します。

PC 1 台を使用するケースでは、構造設計者

表－1 構造設計支援システムの計算時間例

物件名	用途	構造種別	階数 延床面積 (㎡)	目的	計算時間
1 工場計画	工場	S造	3階 3,500㎡	概算資料作成	2時間50分
2 事務所計画	事務所	S造	10階 800㎡	概算資料作成	3時間50分
3 集合住宅 テストモデルA	集合住宅	RC造	5階 2,500㎡	テスト	3時間00分
4 集合住宅 テストモデルB	集合住宅	RC造	10階 5,000㎡	テスト	7時間00分



図－6 検討期間例 (1 ケースの場合)

は、まず、ケース①の初期モデルを作成し、本システムで計算させます。そして、ケース①を自動的に計算している間に、ケース②の初期モデルを作成します。ケース①の計算が終了するのを待ち、翌日、ケース②を計算させます。自動的に計算している間にケース①の結果を確認し、最終調整をします。ケース②の計算が終了した後、結果確認を行い、最終調整を行います。ケース①とケース②の結果を比較し、コストメリットのある構造計画を判断することができました。

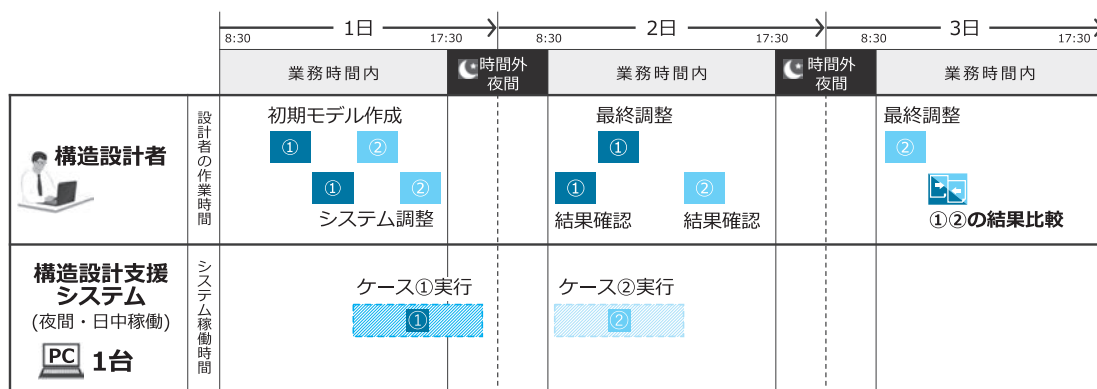
次に、PC 2 台を使用するケースは、1 人の構造設計者が 2 台の PC を利用した場合です。1 日目にケース①とケース②の初期モデルをそれぞれ作成し、本システムで計算させることで、約 2 日間で 2 ケースの検討を行うことも可能です。

本システムを利用する場合の構造設計者の作業は、初期モデル (全部材同一でよい) の作成、システムの設定を調整、計算結果の確認、最終調整をする時間のみであり、作業時間を大幅に削減す

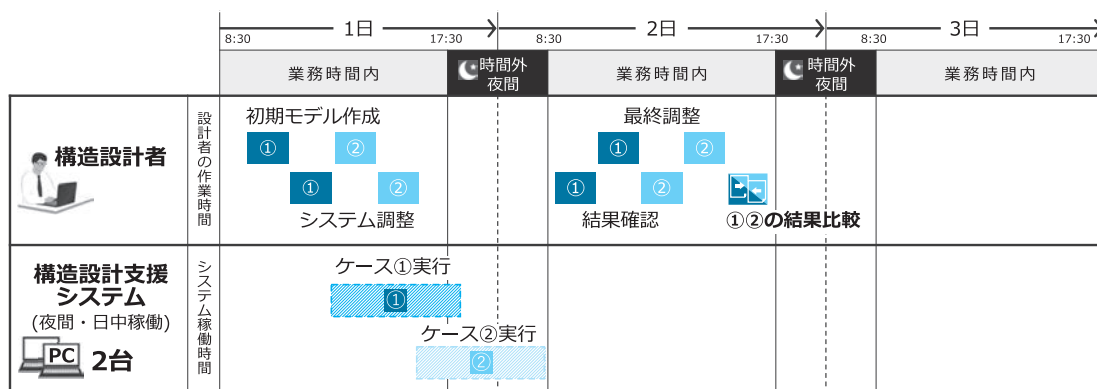
ることができます。

以上より、本システムが概算資料の作成にもたらす効果を以下に示します。

- ① AI グループングシステムによるグループの数や精度は、熟練した構造設計者と同等であることを確認しました。また、AI グループングシステムと RPA システムにより、どのような構造設計者でも、有限時間内に熟練した構造設計者と同等以上のより良い提案・成果品を作成できるようになりました。
- ② 本システムを利用することで、従来の手入力での構造計算と比較して計算時間を約半分に短縮することが可能です。これにより、概算資料作成についても、従来と比較して約半分の日数に短縮することができました。
- ③ 夜間に計算をさせることや PC の複数利用などの工夫をすることで、さらに短期間での検討が可能となりました。



(1) PC 1台を使用するケース



(2) PC 2台を使用するケース

図-7 検討期間例 (2 ケースの場合)

5. おわりに

本稿では、本システムの概要、開発・導入状況、効果について紹介しました。

本システムが、構造計算の作業的な部分を自動化することによって、構造設計者は、より創造的な業務に注力できる環境を生み出せると考えます。さらに、構造設計者の働き方改革・ワークライフバランスの向上も期待できます。

一方、本システムは、建物の設計条件などに従い結果を導き出しますが、あくまでも構造計算の「支援」であり、最終判断は構造設計者がする必

要があります。構造設計者は、自動的に算出される結果の正否や、施工性や経済性が考慮されているかを判断する必要があります。そのためには、知識と経験が不可欠です。本システムから導き出された結果について、適切な最終判断をするために、構造設計者の育成が必要であると考えます。

本システムが、構造設計のより専門的かつ幅広い知識を学べる時間と業務を経験できる時間を創出することで、これからの未来を担う構造設計者の育成に貢献できることを期待します。

今後、本システムの適用範囲の拡大やさらなる改善を予定しており、構造設計のさらなる効率化、生産性向上を目指していきます。