

構造設計データベースに基づく類似建物マッピング Mapping of Similar Buildings based on Structural Design Database

○木下 拓也*¹, 川上 沢馬*², 川嶋 直樹*³, 谷澤 理一*⁴
Takuya Kinoshita*¹, Takuma Kawakami*², Naoki Kawashima*³ and Riichi Tanizawa*⁴

*1 株式会社竹中工務店 技術研究所 研究主任 博士(工学)

Associate Chief Reseacher, R&D Institute, Takenaka Corporation, Dr. Eng.

*2 株式会社竹中工務店 設計本部 主任 工修

Assistant Manager, Design Headquarters, Takenaka Corporation, M. Eng.

*3 HEROZ 株式会社 開発部 マネージャ エンジニア 工学学士

Manager, Engineer, Development Department, HEROZ, Inc., B. Eng.

*4 HEROZ 株式会社 開発部 エンジニア 修士(情報科学)

Engineer, Development Department, HEROZ, Inc., M. Information Sciences

キーワード：構造設計；データベース；マッピング；次元削減；t-SNE；データセット

Keywords: Structural design; database; mapping; dimensionality reduction; t-SNE; dataset.

1. はじめに

建築物の構造設計業務の初期段階において、構造種別や階数、延床面積、あるいは用途等が計画建物と類似している建物（ベンチマーク建物）を探し、参考にすることはよく行われている。過去の事例を参照して、設計を進める上での課題を見極める、あるいは構造歩掛り（単位面積あたりの構造部材の使用数量、以下では単に歩掛りとする）を過去事例と比較して設計結果の説明性を高める、といったことは、ある意味で設計の重要な一部分ともいえる。

これまで、このようなベンチマーク建物は、自身や所属組織の過去のプロジェクト事例から、伝聞や経験を頼りに探すことが多かった。しかし、そのようにして収集した情報は、紙図面だけで歩掛り等の数量情報が紐づいていない、あるいは積算資料があるものの設計条件が不明である等、参照に必要な情報が不十分であることが多かった。

一方で、近年は BIM に代表されるような設計および施工データのデジタル化が進められており、各プロジェクトの数量やプロパティ情報がデジタルに保存されている。建築プロジェクトへの BIM 適用事例は、個々のプロジェクトにおける工程のフロントローディングや業務効率化にフォーカスしていることが多いが、著者らは、これら個別プロジェクトの BIM データを集めて統合し、かつそこに図面や設計条件を結びつけることで、設計情報と数量情報が結びついた有益なデータベースを構築することが可能であると考えている。

本報では、構造設計領域における上述のデータベース構築を目的として、一貫構造計算システムが内部に保存している断面情報や積算情報といった数値データを抽出し、かつそこに構造図や竣工写真を統合した、構造設計データベ

ースの構築を試みた。そしてこれらの数値データを基に、機械学習技術による次元削減を行い、数値データに基づいた類似建物評価法について検討した。また、実際の設計者がベンチマーク建物を容易に検索・発見でき、かつ数量情報や図面情報にアクセスできる Web システムの構築を行った。

2. 構造設計データベースの構築

2.1. 構造設計システム BRAIN

構築するデータベースに格納される情報のうち、階数や床面積等の建物一般情報や、各部材の断面や材料の情報、および積算数量といったデータは、(株)竹中工務店が開発した構造設計システム BRAIN¹⁾から抽出する。BRAIN は応力解析、部材断面設計、躯体数量積算、計算書の出力、応答解析などの機能を備えたいわゆる一貫構造計算システムである。モデリング自由度が高く、種々の構造形式に対応できることが特徴で、同社で設計されるほとんどの物件で用いられている。本報では、2006 年以降に竣工登録された BRAIN モデルデータの内、431 件を抽出の対象とした。対象データは首都圏・近畿圏を中心に全国各地に分布し、用途および構造形式も多岐にわたっている。

2.2. データベースの構成

データベースを含むシステム全体は、複数ユーザがブラウザを通して利用する Web システムとすることを想定し、社内ネットワーク内のファイルサーバ上に構築している。システム構成を Figure 1. に示す。Web サーバは IIS²⁾、アプリケーションフレームワークは PHP+Laravel³⁾を用いた。

データベースは、建物ごとに唯一の情報（階数や延床面

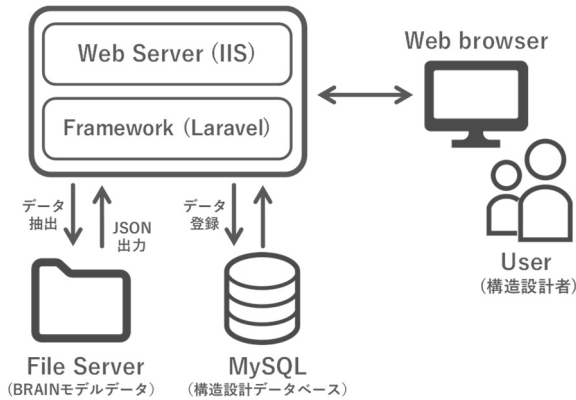


Figure 1. System configuration

積等)や、建物に付随して多数存在する情報(個別部材の断面データや検定データ)など、様々なタイプおよびサイズの情報を保持しておく必要性から、リレーショナルデータベース形式で保持し、RDBMSとしてMySQL⁴⁾を用いた。

2.3. BRAIN データの抽出

構造設計データの抽出及びデータベースへの登録手順を以下に示す。

- (1) サーバ内のフォルダに 431 件分の竣工済み物件の BRAIN モデルデータを格納する。
- (2) データ抽出用プログラムを Web フレームワーク経由で実行し、JSON 形式で一時保存する。
- (3) データ登録用プログラムを、同じく Web フレームワーク上で実行し、JSON データをデータベースの各テーブルに登録する。

データベース構築当初に設定したテーブル項目とレコード数を Table 1. に示す。抽出対象を設定するにあたり、一貫構造計算システムに保存されているデータ量が膨大であり、全データを格納するのは困難であったため、システムの当初目標を歩掛りや数量情報を比較することとして項目の絞り込みを行った。その後上述の抽出スキームが安定して動作することが確認できたことから、現在のデー

Table 2. A part of columns list of 'Buildings' table

Column Name カラム名	Content 内容	Type 形式
id	ID	int
building_code	建物コード	int
building_name	建物名称	varchar
file_path	ファイルパス	varchar
region	地域係数	float
snow	積雪区域	int
built_year	竣工年	int
area_general	地上床面積	float
floor_basement	地下階数	float
:	:	:

Table 1. Configuration of database table

Table Name テーブル名	Content 内容	No. of Records レコード数
Buildings	建物一般	431
Braces	ブレース	15,010
Columns	柱	89,856
Girders	大梁	294,409
Beams	小梁	157,002
Slabs	スラブ	244,424
Walls	壁	73,583
Concrete_amounts	コンクリート数量	959
Formwork_amounts	型枠数量	13,792
Reinforce_amounts	鉄筋数量	4,048
Steel_amounts	鉄骨数量	2,177
Estimate_results	積算結果	13,822
Shear_force_results	せん断力分担比	8,687

タベースはより規模の大きなものとなっている。

各テーブルのカラム構成の例として、Buildings テーブルおよび Braces テーブルのカラムの一部を Table 2, 3. に示す。各テーブルは、グレーのハッチングで示した物件固有の ID あるいは建物コードを共通に保持し、結合キーとして利用できるようにしている。また、Braces テーブルは部材 ID を持つことからわかるように、個別のブレース部材ごとにレコード化を行っている。従って、Table 1. に示す通り Braces テーブルのレコード数は Buildings テーブルよりはるかに多い。Columns テーブル、Girders テーブルといったその他の部材系テーブルについても同様のことが言える。

2.4. 構造図等を統合した構造設計データベース

前節までに作成した、BRAIN データ抽出によるデータベースに、構造図データ・一貫構造計算システム (BRAIN) のモデルデータ・TEKLA (構造 BIM) データ・竣工写真データなど、サーバ上に格納された各種データへのパス情報を追加することで、数量情報と図面や形状等の設計情報を統合した構造設計データベースを構築した。

Table 3. A part of columns list of 'Braces' table

Column Name カラム名	Content 内容	Type 形式
id	ID	int
building_code	建物コード	int
member_name	部材名称	varchar
member_id	部材ID	int
length	長さ	float
steel_area	鋼材断面積	float
steel_strength	鋼材強度	float
start_x	始端X座標	float
start_y	始端Y座標	float
:	:	:

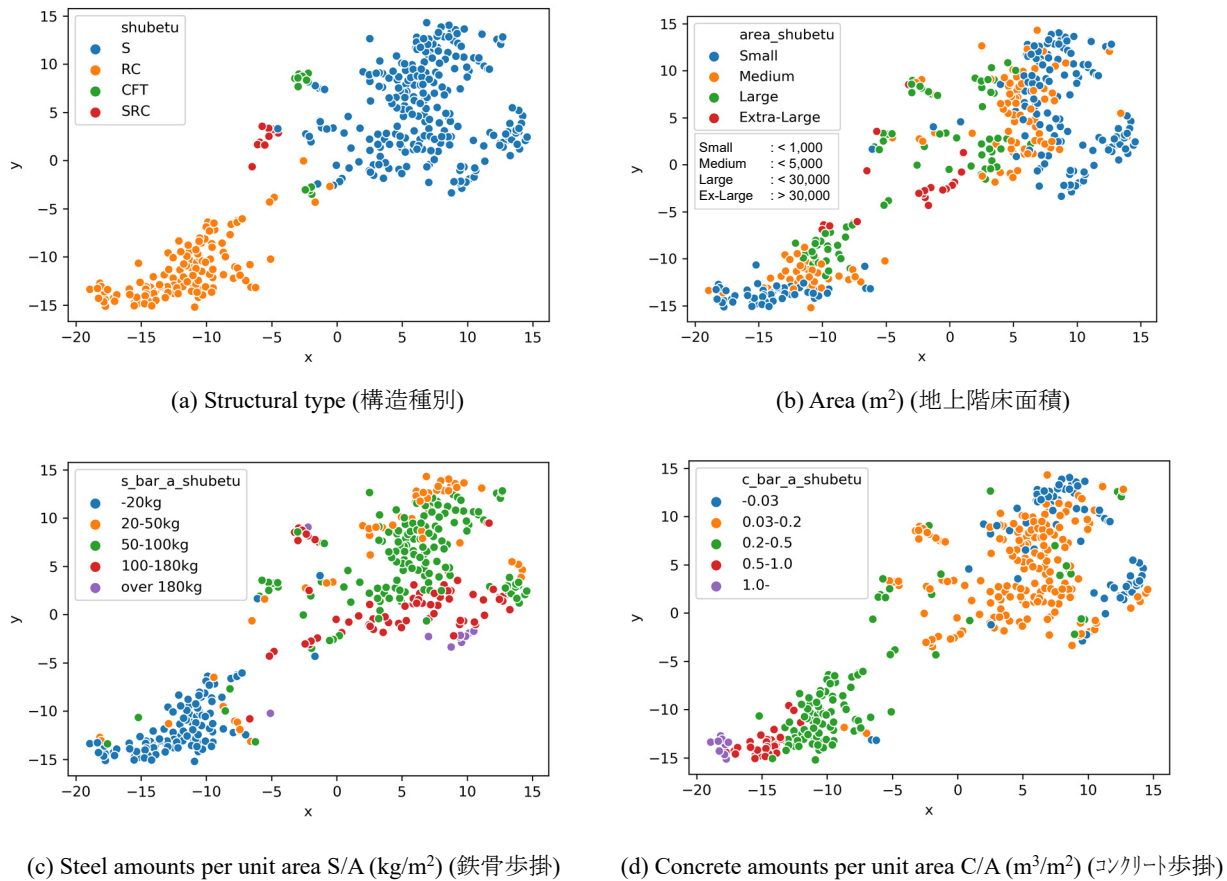


Figure 2. Mapped result of dimensionality reduction colored by structural features.

3. 機械学習技術による類似建物マッピングの試み

前節で構築したデータベースから、建物の特徴を表現するいくつかのデータを選定・取得し、高次元データの次元削減手法の一つである t-SNE⁵⁾により、類似建物マッピングの試行を行った。

使用したデータは Table 4. に示す 16 要素とした。これらは、床面積や地上階数といった建物の一般的な情報と、柱および大梁の構造種別情報、またコンクリート歩掛りや鉄骨歩掛り等の数量情報を含む。431 物件分のデータに対し、異常値を排除した後の 414 件分を次元削減の対象とした。また、各要素データを式(1)に示す z スコアで正規化した。ここで μ, σ はそれぞれ各要素の平均および標準偏差を示す。

$$z_i = (x_i - \mu) / \sigma \quad (1)$$

その後、t-SNE による次元削減を行い、16 次元を 2 次元に削減した。t-SNE のハイパーパラメータ perplexity は 50、イテレーション回数は 500 とした。

得られた出力値を 2 次元平面にマッピングした結果を Figure 2. に示す。(a)-(d)の各図は、マッピングした各点に対し、特徴量のカテゴリごとに色分けを施している。Figure 2.(a)は構造種別で色分けしており、図中の左下に RC 造、右上に S 造が分布している。ここで、構造種別は、各物件の全ての柱のうち最も使用率が高い種別により判断した。

Table 4. Factors for dimensionality reduction using t-SNE.

Factor Name 要素名	Content 内容
area_general	地上階床面積
ground_floor	地上階数
column_count	柱本数
girder_count	大梁本数
column_s_ratio	全柱のうちS柱の割合
column_rc_ratio	全柱のうちRC柱の割合
column_src_ratio	全柱のうちSRC柱の割合
column_cft_ratio	全柱のうちCFT柱の割合
girder_s_ratio	全大梁のうちS大梁の割合
girder_rc_ratio	全大梁のうちRC大梁の割合
girder_src_ratio	全大梁のうちSRC大梁の割合
c_bar_a	コンクリート歩掛り C/A (m ³ /m ²)
f_bar_a	型枠歩掛り F/A (m ² /m ²)
r_bar_a	鉄筋歩掛り R/A (kg/m ²)
r_bar_c	鉄筋歩掛り R/C (kg/m ³)
s_bar_a	鉄骨歩掛り S/A (kg/m ²)

※歩掛りはいずれも地上階躯体のみ

(b)-(d)の各図も、同カテゴリの建物が概ね近接した位置に存在している。これより、次元削減により高次元のデータが適切に 2 次元にマッピングされ、類似した建物を近接して表示できていることがわかる。



Figure 3. Application example of structural similarity map.

4. Web システムによる構造データマップの展開

前節で試行した、構造設計データベース上の数値データに基づく類似建物マップの活用イメージを Figure 3. に示す。各建物データを、BIM モデル画像や外観写真と合わせてマッピングし、かつ構造図等の情報を組み合わせれば、設計実務においてベンチマーク建物を検索し、データ整理する際の利便性が大きく向上する。

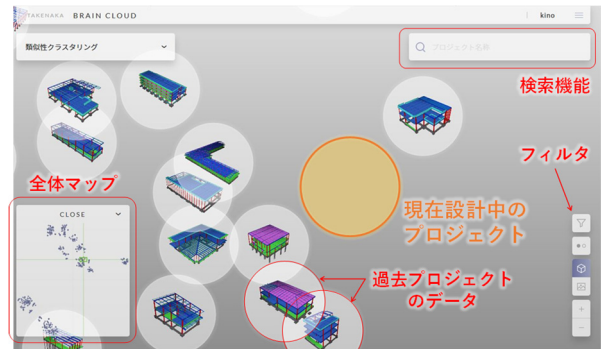
このような考えのもと、ブラウザ上で動作する類似建物マップをベースとした Web システムを現在開発しており、Figure 4. にその画面の一例を示す。Figure 4(a)の画面上にある円形の BIM モデル画像が過去の物件データを示し、それぞれが類似する建物と近接している。設計中のデータをマップ上にプロットすることもでき、これにより現在設計している建物と類似する物件がすぐに発見できる。

過去物件の円をクリックすると、Figure 4.(b)のようにその物件がフォーカスされ、建物情報や数量情報が表示される。また、構造図および一貫構造計算システムのモデルデータへリンクされており、詳細な構造設計情報に素早くアクセスできるようになっている。

5. BIM-Net (建築情報データセット) の構築と活用

本報では、一貫構造計算システムのモデルデータ 431 件から数値データを抽出し、構造設計情報および構造数量情報を結びつけた構造設計データベースを構築した。データベースの数値に基づいた類似建物マッピングを試行し、またそれらを可視化する Web システムを開発した。

本報のように、設計ソフトや BIM ソフトのデータを、当該建物を対象とした利用を超えて、多数の他物件と統合したデータセットとし、分析・比較・推定に活用する試みは今後増加していくと考えられる (Figure 5.)。著者らは、画像認識技術の発展に多大な貢献をした ImageNet⁶⁾ とのアナロジーから、このような建築情報データセットを BIM-Net



(a) Map view



(b) Project view

Figure 4. Web-based visualization system for structural design database. (under development)

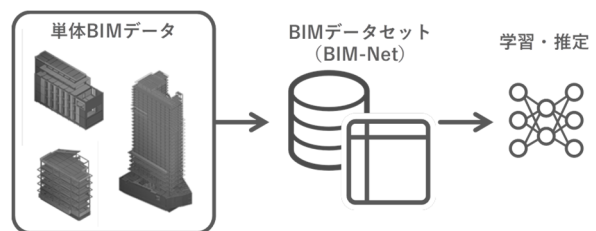


Figure 5. Concept of BIM-Net (dataset for buildings).

と仮称しており、本報の構造設計データベースはその原形と捉えている。本報の次元削減では、面積や階数、数量を建物ごとの値として扱ったが、Table 1. に示したように、柱や大梁など部材系テーブルのレコード数は膨大なものであり、今後は様々な分析・推定に、構築した構造設計データベースを活用していく予定である。

[参考文献]

- 1) 構造設計システム BRAIN, TIS, https://www.tis.jp/service_solution/brain/ (accessed Oct. 1st, 2019)
- 2) The official site of Microsoft IIS, <https://www.iis.net/> (accessed Oct. 1st, 2019)
- 3) Laravel - The PHP Framework for Web Artisans, <https://laravel.com/> (accessed Oct. 1st, 2019)
- 4) MySQL, <https://www.mysql.com/> (accessed Oct. 1st, 2019)
- 5) Laurens van der Maaten and Geoffrey Hinton. Visualizing Data using t-SNE. *Journal of Machine Learning Research*, Vol. 9, pp. 2579-2605, 2008.
- 6) ImageNet, <http://www.image-net.org/> (accessed Oct. 1st, 2019)