東海大学紀要

建 築 都 市 学 部

Vol.5, No.1 2026

ISSN 2758-7843

目次

・デザイン報告総説

Fabric Walls　－大きな吹き抜けを分割する布壁が学生の居場所を再構築する－
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・佐藤結人・柴田裕斗・岩崎克也…… 01

秦野 Moving Cells　―可動式什器による地域活動の顕在化―
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・金﨑慈瑛・浦勇樹・岩崎克也…… 07

・論文

再生骨材を使用した高流動高靭性コンクリートを RC 梁の一部に適用した場合の補強効果
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・佐伯寛人・渡部憲・嶋﨑悠…… 15

小規模土留め壁における切梁本数の違いに着目した実大実験と数値解析
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・王利超・藤原覚太…… 23

ラーニング・コモンズにおける視線領域・動線と学生の行動・滞留時間との関係について
―明治大学和泉キャンパスラーニングスクエア２階を対象として
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・馮雨田・岩崎克也…… 28

2026 年 10 月 5 日発行

東海大学紀要建築都市学部
Vol.5, No.1, 2026, pp. 1-6
DOI: 10.18995/27587843.5-1.1

デザイン報告総説

Fabric Walls
－大きな吹き抜けを分割する布壁が学生の居場所を再構築する－

佐藤　結人*1　柴田　裕斗*1　岩崎　克也*2

Fabric Walls
－Fabric walls that divide a large atrium reconstruct spaces for students－

By

Yuito SATO*1, Hiroto SHIBATA*1 and Katsuya IWASAKI*2

(Received on May. 19, 2026 and accepted on Jul. 14, 2026)

Abstract

This plan aims to "transform a large atrium space into a place that can accommodate diverse stays, not by completely partitioning it, but by gently segmenting it with cloth." In the floor plan, in addition to the existing 3000mm grid, a finer module of 750mm units was established, and by arranging the cloth in staggered positions, eight spatial areas were created. This encourages people to stay, and by layering the cloth and furniture arrangement, a space where "staying" and "flow" coexist is realized. In the sectional plan, the character of each place was adjusted by varying the length and height of the cloth. In areas where people pass through, the cloth is set high, while in the central part where staying is encouraged, the cloth is hung low, creating differences in visual and physical perception.

Keywords: Place to belong, Segmentation of space, stay, territory

1. 背景と目的

1.1　背景と目的 01　デザインプロセス

本プロジェクトは研究室、研究室外の学生、大学の施設課、施工・材料会社を巻き込んだデザインプログラムである。アカデミックな理想と実証のリアリズムを結びつけ、理論（研究）と実践（設計）を往還することで、建築のデザイン教育は、より効果的となると考えられる。実際にデザインに関わる。身近なキャンパス内でそれが行われる。研究の延長に設計がある。完成までのプロセスを共有できる。これらの理由から実社会における多角的な共創を学び、学生にとってキャンパス内での実際のプロジェクトは生きた教材となると考えられる。

1.2　背景と目的 02

学生主体として始まった本プロジェクトは、キャンパス内で 2010 年度以前に整備された設備を学生の憩いの場へと再編し利用率や満足度の向上を目指す取り組みである。計画系研究室と施設設備担当職員が協働して進めており、昨年度は 14 号館 1･2 階のホール（Fig. 1）（Fig. 2）を対象とした。14 号館 1 階ホールは、日常的なラウンジ機能に加え学科のオープンキャンパスでの利用や 2 階以上を入試の試験会場として使用することも想定する必要があった。1 階部分には障害となる固定家具を配置せず、見通しのよい空間とし、家具は自由に移動できるものを採用した。また、2 階以上は廊下を介して教室間が見渡せるよう、視認性が求められた。



Fig. 1　14 号館施工前の様子 1



Fig.2　14 号館施工前の様子 2

*1　東海大学大学院工学研究科建築土木工学専攻
*2　東海大学建築都市学部建築学科教授

2. デザインのプロセス

2.1　デザインプロセス 01　アイデアの共有

このプロジェクトは指導教員を含め、建築学科の 2 年次生から大学院工学研究科建築土木工学専攻 2 年次生まで 26 名が 1 案ずつ改修のアイデアの提案を行い、ディスカッション(Fig. 3) (Fig. 4)を経て布壁と家具の重なりで大きな吹き抜け空間を分割し居場所を構成する「Segment space」を製作する案に絞り込まれた。

このプロジェクトの進め方の特徴として、案に優劣をつけるのではなく、提案された案を議論し、方向性を絞り込んで 1 つの案に修練するというプロセスとした。はじめに、1 回目に提案された 26 案をデザインマトリクス(Fig. 5)で種類分けをした。それらを 4 つの建築的特徴「立体・分散・集約・平面」と各案が「天井・壁・床」に対してどう操作したかの分類分けを行った。方向性として天井に対する操作かつ立体的な提案を行うことに決定し深度化を図った。



Fig.3　学生と教授によるディスカッションの様子 1

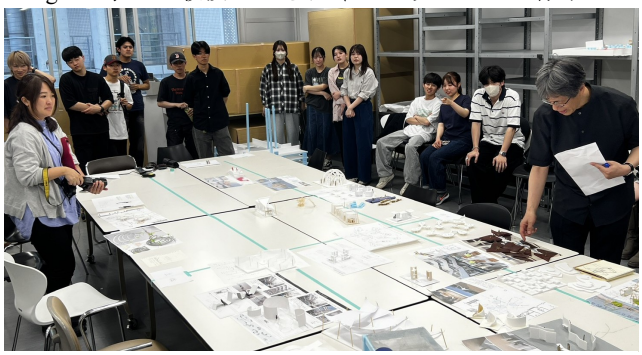


Fig.4　学生と教授によるディスカッションの様子 2

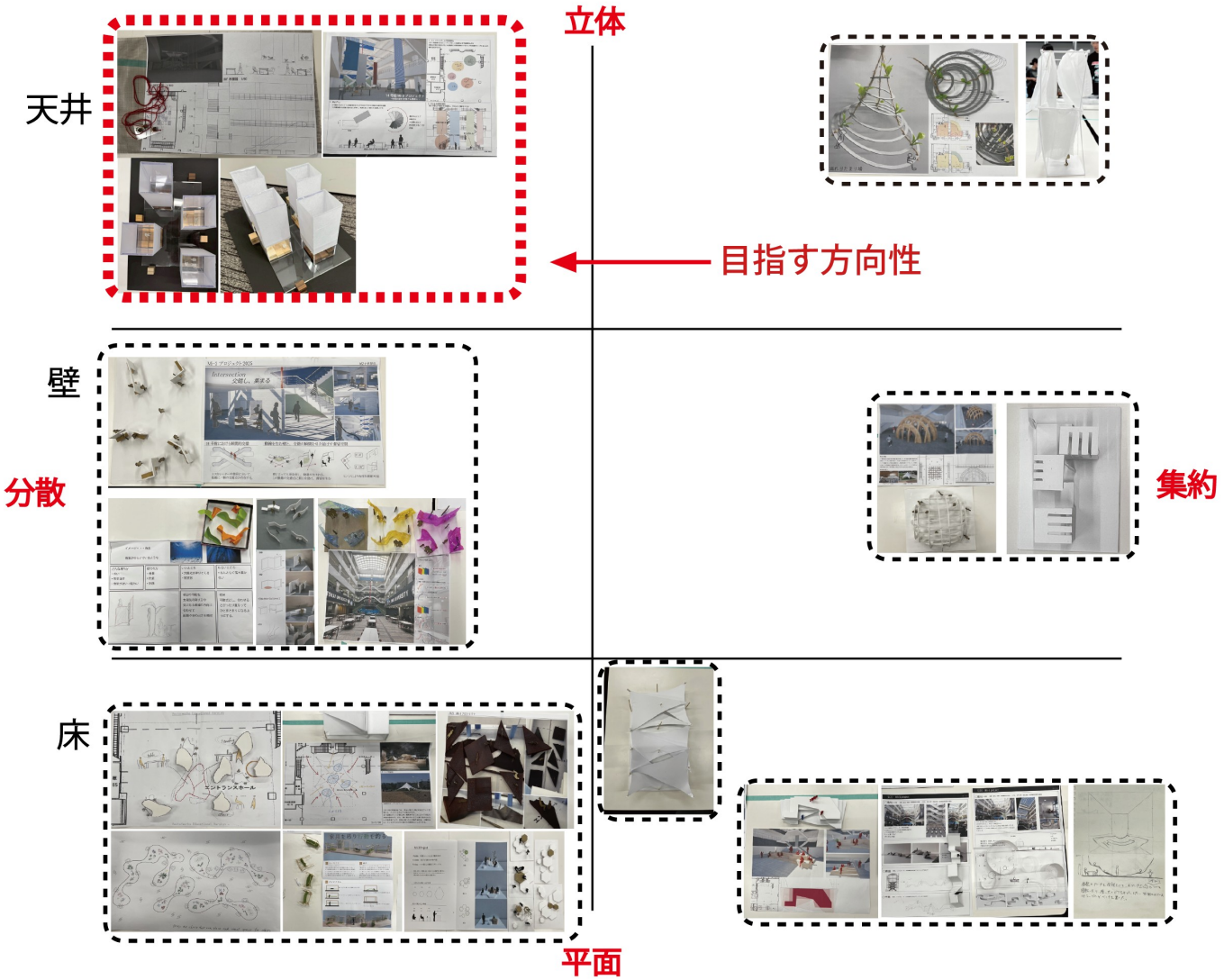


Fig.5　建築的特徴と空間に対する操作ダイアグラム

2.2　デザインプロセス 02　アイデアの展開

2 回目に提示された全ての案の中から平面計画として 14 号館 2 階床レベルにある既存のワイヤーを生かした布壁の配置と、既存ワイヤー（3000mm ピッチ）に対する直交グリッド（3200mm）に沿った布壁の配置で空間を形成する提案(Fig. 6)（Fig. 7）(Fig. 8)へと固めていった。断面計画としても GL、建具寸法、一階天井の 3 種類のレベルのモジュールを決め、断面的にも布壁が空間を分割し空間の一つ一つに場所性を与え、空間の表情を緩やかに変化させていくための提案の深度化を図った。(Fig. 9)。

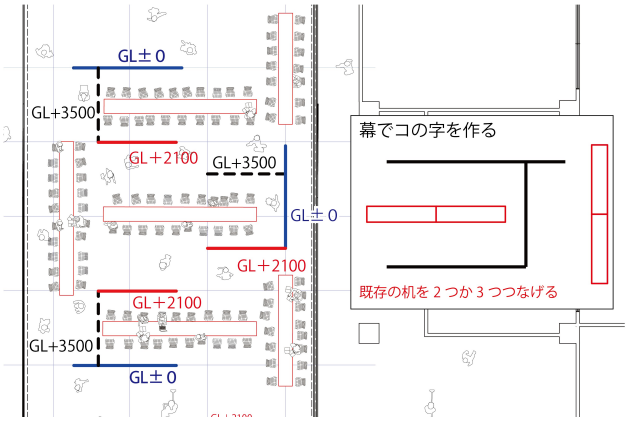


Fig.7　布壁と机の関係　案 2

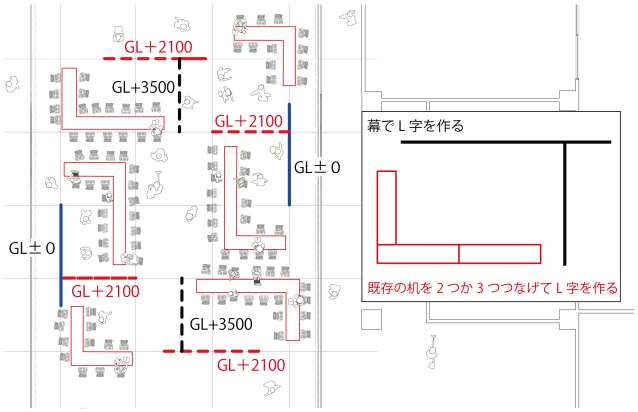


Fig.6　布壁と机の関係　案 1

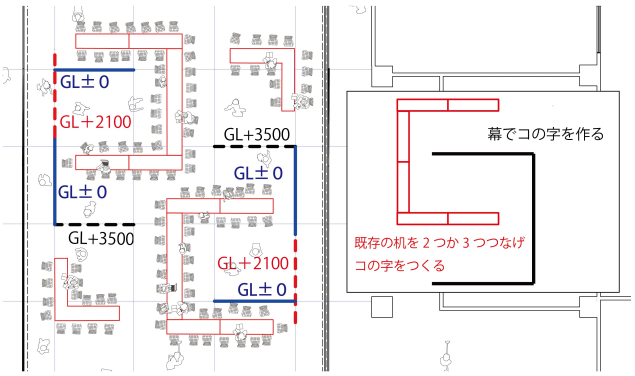


Fig.8　布壁と机の関係　案 3

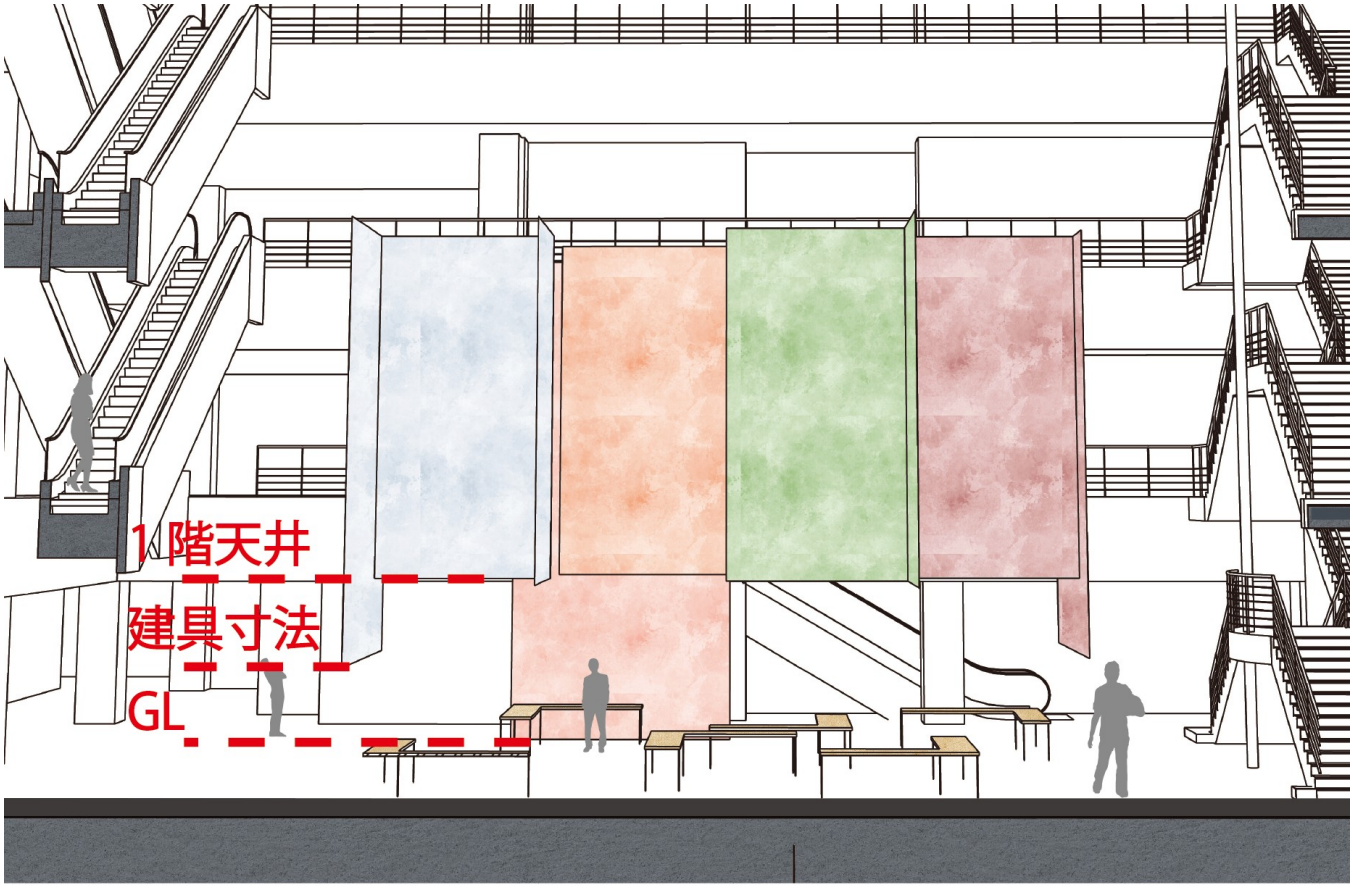


Fig.9　モジュールによる断面計画

2.3　デザインプロセス 03　アイデアの深度化

既存ワイヤーと直交グリッドに布壁を配置することはたわみや荷重、支持、コスト面などの問題で難しいことが判明した。既存ワイヤーと直交グリッドの基準線に沿っていく布壁の配置と家具のレイアウトで空間を形成する方向へと舵を切っていった。また、材料の選定として軽量であり、半透明素材であるオーガンジーという布材を選定した(Fig. 10)。さらに既存ワイヤーを使った取り付け方法を検討した（Fig. 11)。



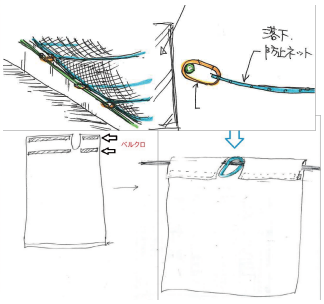


Fig.10　オーガンジー選定　Fig.11　既存ワイヤー取付図

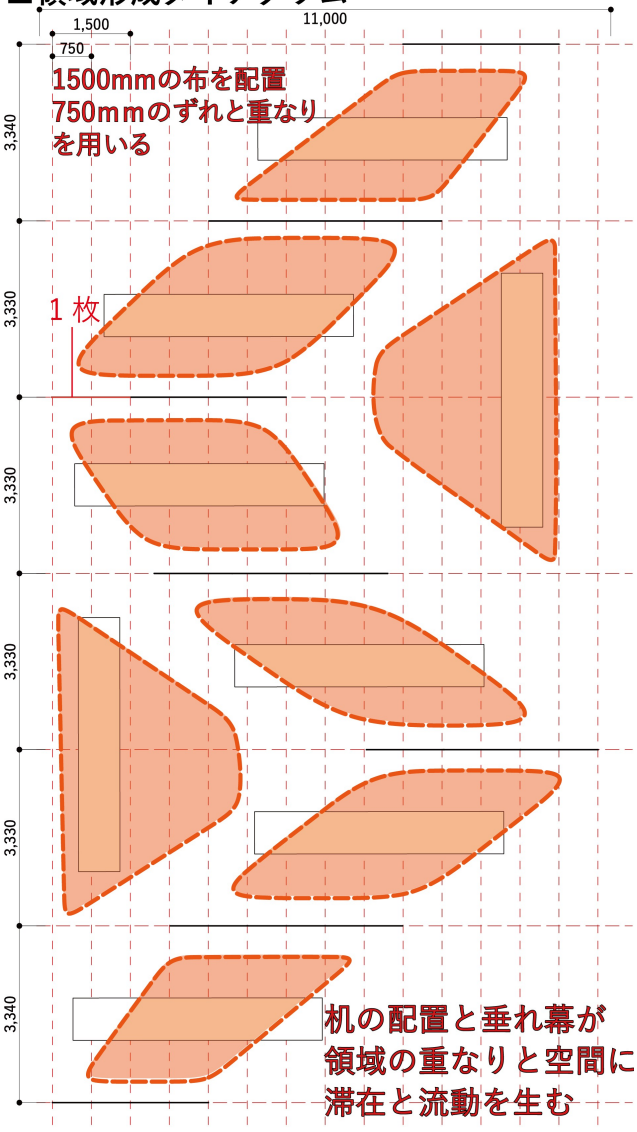


Fig.12　平面計画ダイアグラム

デザインのポイントは以下の 2 つである。

①平面計画：Fabric Walls により囲まれた領域の形成

平面計画では、短手方向の 3000mm ピッチの既存ワイヤーモジュールに加え、新たに長手方向は 750mm モジュールごとの基準線を設定し、空間の分節(Fig. 12)を行った。これにより、囲まれた 8 つの領域空間の形成を目指した。また、配置する布（Fabric Walls）は、幅が 1500mm と規格化された材を用い基準線の 750mm モジュールのずれを利用し配置することで、細かな囲まれた空間を生み出し、滞在を促す計画(Fig. 13)とした。布と家具の配置を重ね合わせることで、滞在と流動が併存する場をつくり出している。



Fig.13　配置・平面計画

②断面計画：高さの変化による場所の特性づくり

断面計画では異なる長さの Fabric Walls を配置した。1 階部分は幕によって形成されたオープンな空間が広がる(Fig.14) (Fig.15)。また、2 階の廊下からは短手方向に幕と幕の間から視線が抜ける(Fig.16) (Fig.17)。Fabric Walls の 4 種類の長さは、既存の階高・天井高・建具寸法などから導き出した 650mm ピッチの寸法をもとに設定している。幕の下端の高さは、短辺側の端部では人の流動があるため高くし、中央部では人の滞留を促すため高さを低く設定した。Fabric Walls による領域設定によって大きな吹き抜け空間を緩やかに分節(Fig.18)(Fig.19)し、様々な使われ方が可能な居場所を提案している。

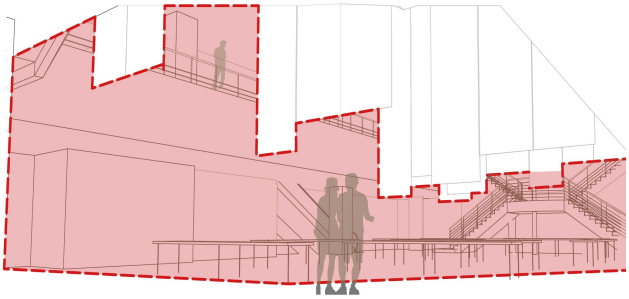


Fig.14　谷上の 1 階の空間形成ダイアグラム



Fig.15　谷上の 1 階の空間形成　完成写真

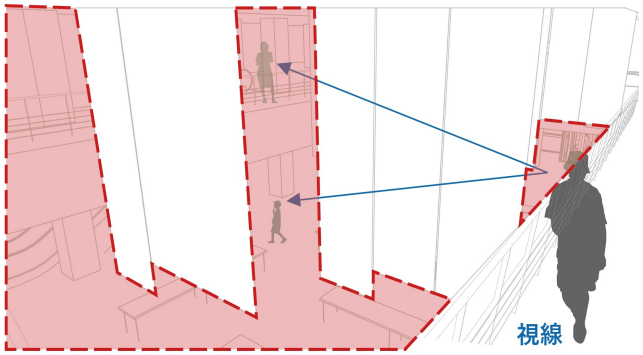


Fig.16　布壁間からの 2 階のシークエンスダイアグラム



Fig.17　布壁間からの 2 階のシークエンス　完成写真



Fig.18　空間を緩やかに分割　完成写真

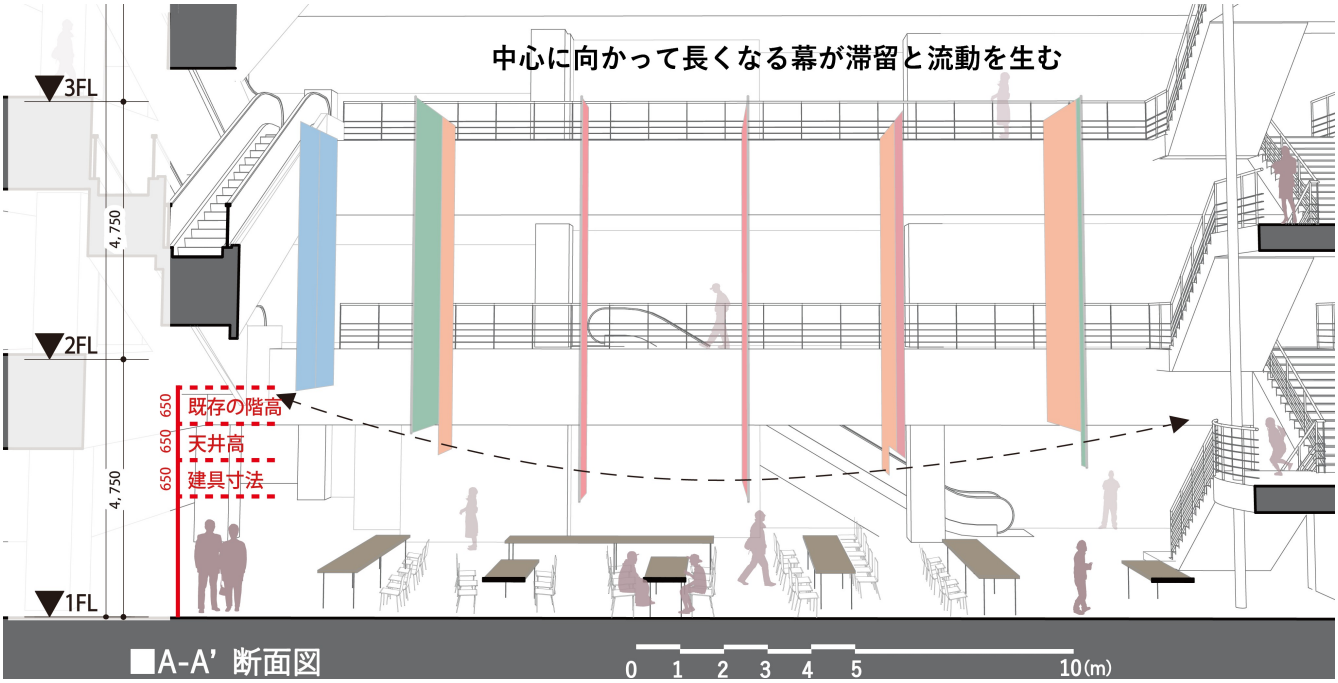


Fig.19　断面計画

３.施工プロセス

工事にあたっては､学外の山王総合株式会社に依頼し、現場を見学し学内のネットワークだけでは得られない制作の知見を学生時代に体験することを目的とした。(Fig. 20)家具の組み立てや配置は学生が行うことで、コストを抑え実施することとなった。(Fig. 21)

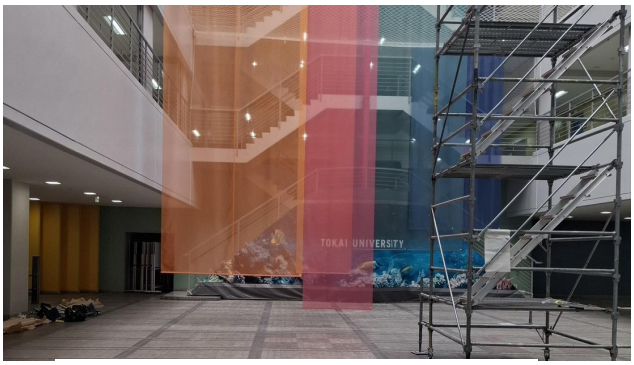


Fig.20　施工写真

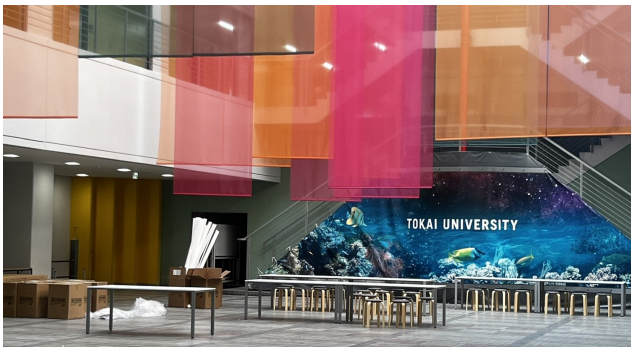


Fig.21　組み立て写真

４.まとめ

「Segment space」は、学生・教員・大学施設課・施工会社が協働し、研究・設計・施工を横断して進めた実践的デザインプロジェクトである。大きな吹き抜け空間を、布と家具によって緩やかに分節することで、流動性を保ちながら多様な滞在空間を形成した。既存グリッドと新たな基準線を活かした平面計画や、高さの異なる Fabric Walls による断面操作によって、視線の抜けや場所ごとの特性を生み出している。また、複数案を議論しながら 1 つの案へ深化させるプロセスや、学生自身が施工にも関わる体制を通して、建築における協働性と実践性を学ぶ機会となった。本計画は、キャンパス内に新たな居場所を創出するとともに、建築デザイン教育の新たな可能性を示す試みとなった。次年度はキャンパス内の場所を変え、新たなプロジェクトとしての取り組みを行うことが決まっており、次に向けての始動を開始したところである。(Fig.22)(Fig.23)(Fig.24)(Fig.25)

謝辞

今回のプロジェクトを推進するにあたり、学長室施設課の皆様、ならびに協力してくださったすべての皆様に感謝申し上げます。

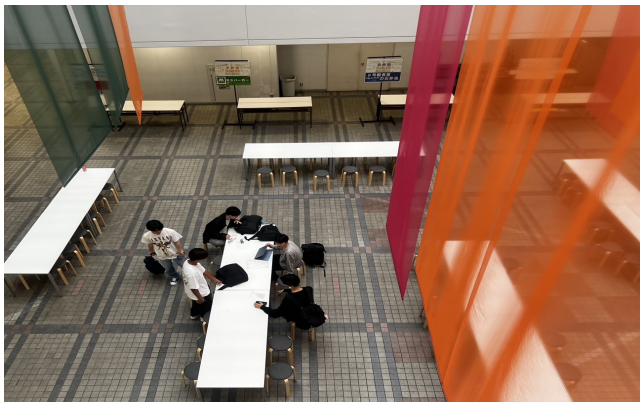


Fig.22　見下ろし完成写真 1

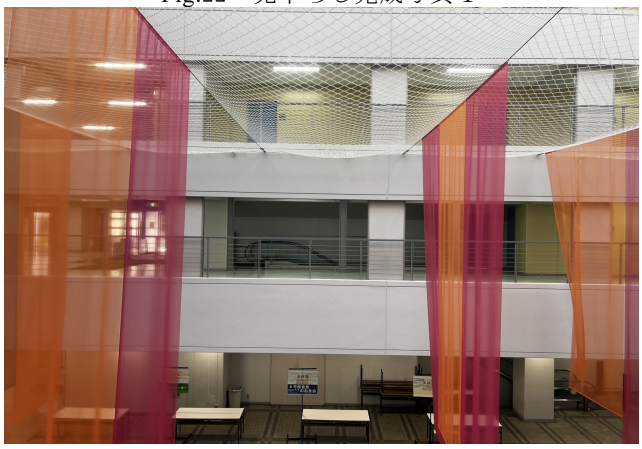


Fig.23　視認性のよい横方向を見る完成写真 2

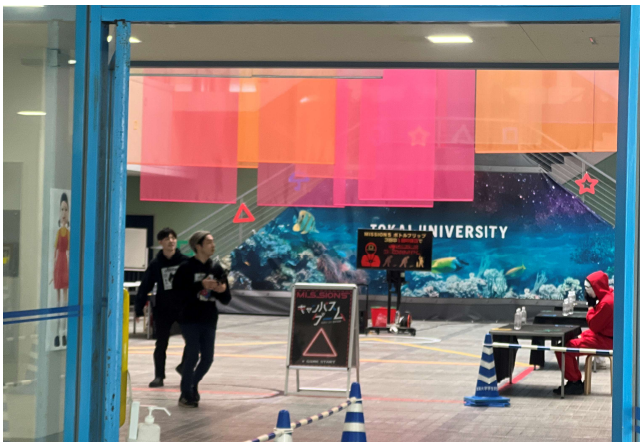


Fig.24　入口より見る完成写真 3



Fig.25　２階レベルより見る完成写真 4

東海大学紀要建築都市学部
Vol.5, No.1, 2026, pp. 7-14
DOI: 10.18995/27587843.5-1.7

デザイン報告総説

秦野 Moving Cells
―可動式什器による地域活動の顕在化―

金﨑　慈瑛*1　浦勇　樹*1　岩崎　克也*2

Hadano Moving Cells
―Highlighting community activities through movable furniture―

by

KANESAKI Jiei　URAISAMI Itsuki　IWASAKI Katsuya

(Received on May. 19, 2026 and accepted on Sep. 25, 2026)

Abstract

This collaborative project aims to revitalize Hadano City by developing mobile fixtures that connect regional resources. Utilizing agricultural "collection containers" as a module, the design ensures versatility and a human-centric scale. These fixtures transform into benches or stalls through a collaborative deployment process that requires multiple users, intentionally fostering social interaction. By bridging academic research and practical fabrication, the project functions as a "living textbook" for co-creation. Ultimately, this "urban interface" transforms civic activities into a permanent part of the everyday landscape, fostering a continuous chain of urban vitality and regional pride.

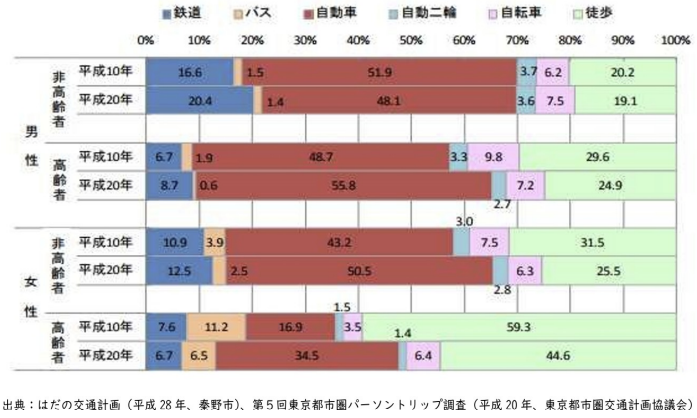
***Keywords*:** Tactical Urbanism, Human Scale, Assembly

1. 序論

1.1 背景と課題

近年、地方都市においては、モータリゼーションの進展や人口減少に伴い、中心市街地や駅前周辺における歩行者交通量が低迷し、都市空間の活力が失われつつある。神奈川県秦野市においてもその傾向は顕著であり、第 5 回東京都市圏パーソントリップ調査（Fig.1）によれば、車社会への過度な依存から歩行者が少なく、市内の主要観光地においても徒歩移動が難しく（Fig.2）、駅前ロータリーを除いて日常的な賑わいを欠いている現状がある。

一方で、同市には丹沢山系の登山資源や水無川の伏流水、湧水群、さらには伝統的な秦野野菜や農業文化といった固有の地域資源が市内に点在している。近年では、これら資源を活用した住民主体の「まちおこし活動」やマルシェ等が試行されているが、個々の活動は単発的であったり、特定の場所に閉じて実施されていることが多く、来訪者への十分な認知や都市空間全体の回遊性向上、まち全体の継続的な賑わいに至っていないのが現状である。すなわち、地域に内在する豊かな資源と市民活動を、空間的に繋ぎ合わせ、都市の日常風景として顕在化させるインターフェースが不足している。



出典：はだの交通計画（平成 28 年、秦野市）、第 5 回東京都市圏パーソントリップ調査（平成 20 年、東京都市圏交通計画協議会）

Fig.1 車と徒歩の関係を示す図[1]



Fig.2 市内の主要観光地同士は離れている

*1　東海大学大学院工学研究科建築土木工学専攻
*2　東海大学建築都市学部建築学科　教授

2. 既往研究と本研究の位置づけ

2.1 公共空間の利活用手法としての「タクティカル・アーバニズム」

近年、地方都市の公共空間や歩行者空間において、仮設的・実験的なアクションを通じて都市空間の利活用を図る「タクティカル・アーバニズム」の手法が注目を集めており、その有効性や概念整理が論じられている［3］。車社会化によって通過空間となった駅前や街路において、可動式什器やストリートファニチャーの導入は、歩行者の滞留を促し、新たな賑わいを創出するための有効なアプローチとして全国的に実践されている。

2.2 可動式什器・屋台を用いた実践とその課題

具体的な実践研究として、伊藤ら［4］は道路空間における仮設ストリートファニチャー（パークレット）の設置社会実験を通じ、歩行者の滞留行動やアクティビティの生起プロセスを検証している。また、廣澤ら［5］は屋外公共空間において可動式屋台を運用し、地域コミュニティ形成および賑わい創出に与える効果を実践的に報告している。

しかし、これらの既往研究や国内事例の多くは、完成された単機能・専用の仮設什器を特定広場に設置した際の「利用行動の観察」や「イベント性の評価」に主眼が置かれている。そのため、「地域に根差した日常的なモジュールを設計に組み込み、地域のコンテクストと接合させる視点」や、「什器の設営・展開プロセスそのものを共同作業化し、他者との交流を誘発する仕掛けとする視点」に踏み込んだ研究は十分に検証されていない。

2.3 本研究の意義と位置付け

本研究では、秦野市の日常的な農業風景を象徴する「採集コンテナ」に着目し、これを空間モジュールとして再定義した汎用的な可動式什器「Moving Cells」を設計・制作及び運用する。本研究の独自性は以下の 2 点にある。

①コンテクストの継承
農業用コンテナという「当たり前の道具」をキットオブパーツ（空間を構成する部品）へと昇華させ、多様なアクティビティを許容する汎用性を獲得した点。

②協働オペレーションの表出
什器の設営をあえて一人では完結できない構造的制約とすることで、展開作業そのものを「共同プロセス」に転換し、他者とのコミュニケーション（社会的活動）を誘発する空間構造を実現した点。

2.4 プロジェクトの目的

本研究は、秦野市における地域住民と来訪者の交流を誘発し、市民活動を日常の風景として都市空間に定着させることを見据え、以下の 3 点を目的とする。

①空間要求の可視化
住民参加型ワークショップを通じ、都市空間に対する潜在的な要望や活動エリアを抽出・分析し、可動式什器に求められる設計要件を明確化する。

②地域資源の再定義と什器設計
農業用コンテナのモジュール性を活かし、多様な用途や即興的なアクティビティを許容する「操作の簡便性」と「多用途の受容性」と共に、共同作業をアフォーダンスする空間構造を実現する。

③実証運用による効果検証
実際の都市空間（駅前等）での実証運用を通じ、什器の展開プロセスおよび運用実態が、地域の回遊性向上や賑わいの創出、偶発的なコミュニケーションに与える効果を定量・定性の両面から検証する。

3. 地域住民との協働による空間要求の抽出

3.1 住民ワークショップの概要と実施体制

設計にあたり、想定利用者主体の空間要求を抽出するため、市内で活動する住民を対象とした 2 回のワークショップを実施した（Fig.3）。

第一回ワークショップ
実施目的：課題の共有・空間要求抽出
実施日時：2025 年 10 月 1 日　17:00～18:00
実施場所：秦野市役所
参加人数：9 名（住民 6 名 市役所職員 3 名）
参加者属性：子供マルシェ主体者 1 名、駅前マルシェ主体者 1 名、市役所職員 3 名、農家 3 名、小田急電鉄担当者 1 名
実施体制：秦野市役所の協力のもと実施

第 2 回ワークショップ
実施目的：設計提案・利用形態提案
実施日時：2025 年 11 月 19 日　17:00～18:00
実施場所：秦野市役所
参加人数：9 名（住民 6 名 市役所職員 3 名）
参加者属性：子供マルシェ主体者 1 名、駅前マルシェ主体者 1 名、市役所職員 3 名、農家 3 名、小田急電鉄担当者 1 名
実施体制：秦野市役所の協力のもと実施



Fig.3 参加型・対話型を織り交ぜて実施した

3.2 課題の共有と空間要求の抽出

想定利用者主体の空間要求を抽出するため、WS では、秦野駅周辺の航空写真地図上に対して、参加者が「街中で行いたい活動」を付箋に書き出し、それを「活動を行いたい場所」へとプロットする手法を用いた(Fig.4)。 マッピングの結果、具体的な発言および記述として「入りづらいお店の前に気軽に立ち寄れる場所がほしい」「駅前の空きスペースで地元農産物や名物を発信したい」「飲食を伴う多世代の交流スペースがほしい」といった 28 件の意見が得られた(Fig.5)。



Fig.4 ワークショップ時の地図作成の様子



Fig.5 ワークショップにより得られた意見

3.3 考察

これらの抽出された意見を、「場所の性質（特定の機能を持つ目的地か／移動の途中の余白か）」および「活動の性質（ゆっくりとした滞在か／ふらっとした一時的な滞在か）」の 2 軸によるマトリクスを用いて整理・分析を行った(Fig.6)。 その結果、地域住民が求めているのは、特定の商業機能や単一の目的に固定された空間ではなく、駅前や移動の歩行空間における「日常的な滞在・交流」と「自らの活動を柔軟に発信できる場」であることが明らかとなった。以上の要件定義から、什器の設計方向性を「機能を特定・限定するのではなく、あらゆる市民のアクティビティに対応し得る高い「汎用性」を持たせること」と確定した。

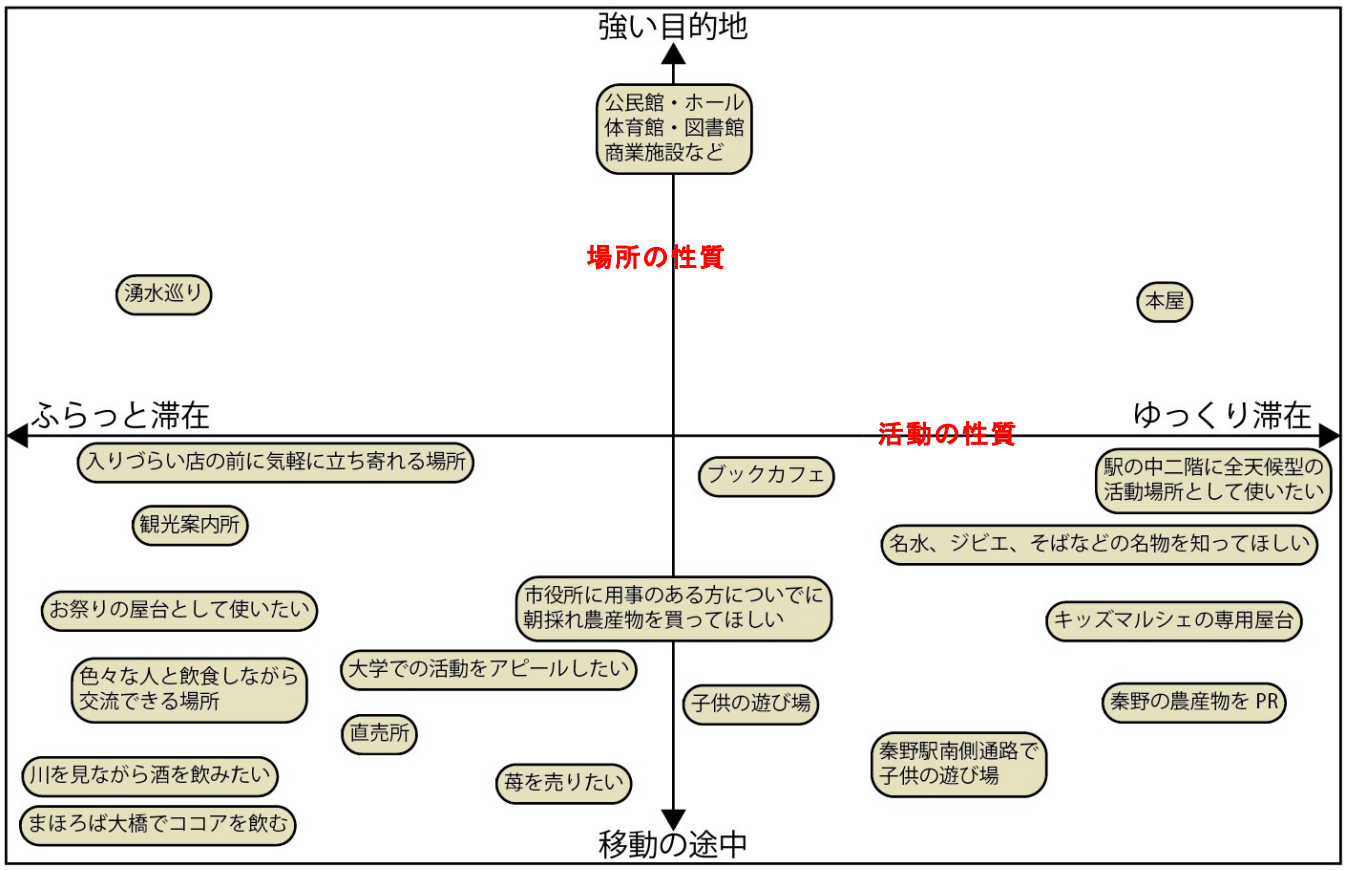


Fig.6 場所と活動の性質マトリクス



Fig.7 ワークショップに際して作成したイメージパース

4. 地域資源を再構築した可動式什器

4.1 設計コンセプト：コンテナの当たり前の再定義

第 2 章で導き出された「汎用性」の要求に対し、本計画では秦野の地域産業である農業において日常的に用いられる「採集コンテナ」を設計のモジュールとして着目した。採集コンテナは、農機との連携を前提とした規格寸法（W520×D365×H305mm）を有しながら、農作業の現場では休憩時の椅子や簡易テーブルとしても転用されるなど、人間の身体スケールに深く根差したアフォーダンスを備えている(Fig.8)。 単なる資材の「箱」という彼らにとっての当たり前の存在を、都市の「キットオブパーツ（空間を構成する部品）」として再定義し、家具や建築のスケールへと拡張・組み合わせることで、地域固有のコンテクストを伴った空間構造の設計を行った(Fig.9)。

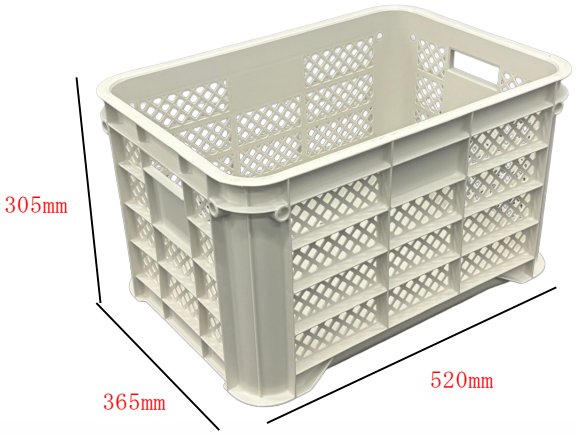


Fig.8 農業用採集コンテナの寸法

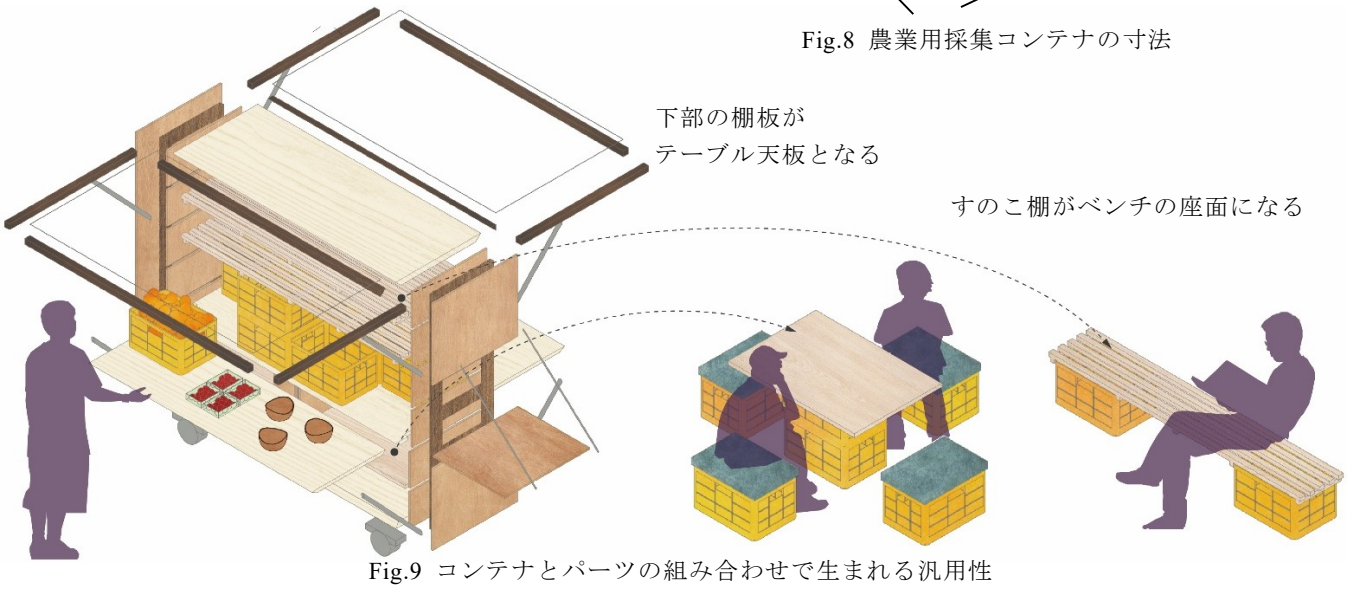


Fig.9 コンテナとパーツの組み合わせで生まれる汎用性

4.2 多用途を可能にする機能設計と協働オペレーション

什器本体は、コンテナ【最大 16 個】を内部に収容可能な可動式ラックを基盤とし、屋台本体および付随する棚板・すのこ等のパーツ全てをコンテナのモジュール寸法から導き出している(Fig.10)。 本什器は、状況に応じて形状を変化させる 3 つの展開モードを持つ。移動時の「移動モード」(Fig.11)から、上部・下部の扉を展開することで農産物販売等に適した「屋台モード」(Fig.12)へと移行する。さらに、内部から取り出したすのこ棚とコンテナを組み合わせることで、ベンチやテーブルを即興的に構築し、街路に人々の滞留を促す「休憩所モード」(Fig.13)へと立ち上がる。

特筆すべき設計的意図として、これら扉の跳ね上げやテーブル板の設営といった可変操作は「あえて一人では完結せず、二人以上の協力を必要とする寸法・重量・構造」とした。この構造的制約により、設営・撤収という運用プロセスそのものが他者（出店者同士や通りがかりの来訪者）との共同作業を必然的に誘発し、日常の都市空間に偶発的なコミュニケーションを産み出す触媒となるよう設計している。

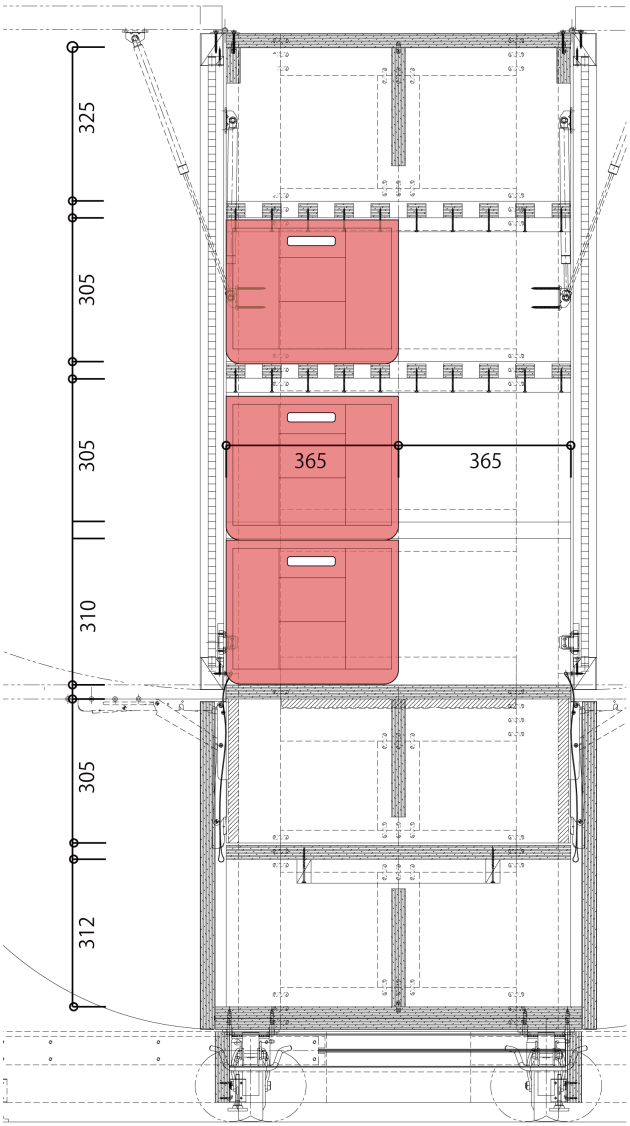


Fig.10 コンテナモジュールを発展させた寸法体系



Fig.11 移動モード写真



Fig.12 屋台モード写真



Fig.13 展開モード写真



Fig.14 2 人以上の協力により展開される

4.3 産学協働による詳細設計・施工プロセス

基本設計完了後はアイデアを実社会で運用可能な強度と精度へと昇華させるため、家具製作を担う施工業者（清藤家具）と綿密な詳細設計を進めた(Fig.15)(Fig.16)。具体的には、協働設営時の安全性と操作性を考慮したガススプリングダンパーの採用(Fig.19)、スライドラッチによる固定方法の検討(Fig.18)に加え、トメ組やイモ組といった接合技術、金物を納めるためのフトコロ寸法の微調整を施した(Fig.17)(Fig.20)。さらに、屋外利用および可動時における耐力不足が懸念される箇所に対し、線材の追加やアウトリガー（転倒防止脚）の実装等の構造補強を行い、屋外での長期間の過酷な実運用に耐え得る安全性と耐久性を確保した。

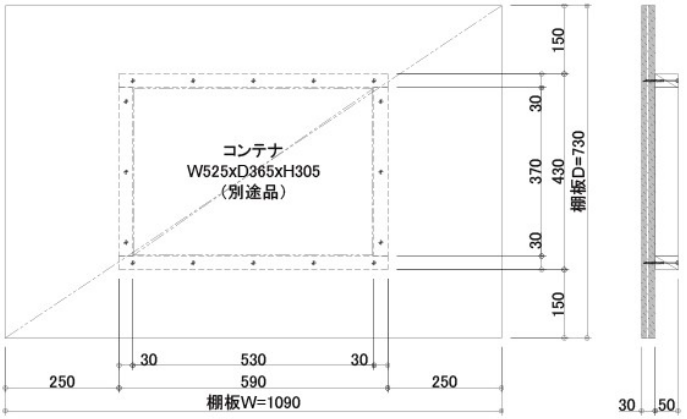


Fig.17 コンテナ寸法に合わせた棚板

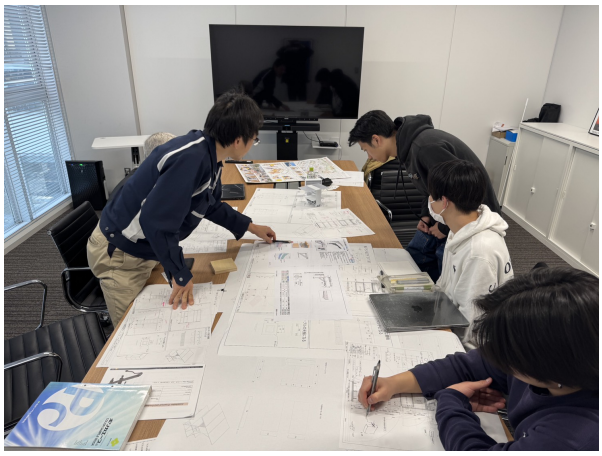


Fig.15 施工者との打ち合わせ

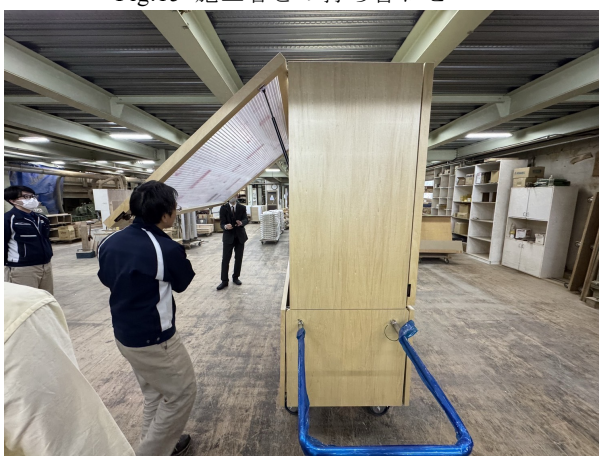


Fig.16 施工チェック

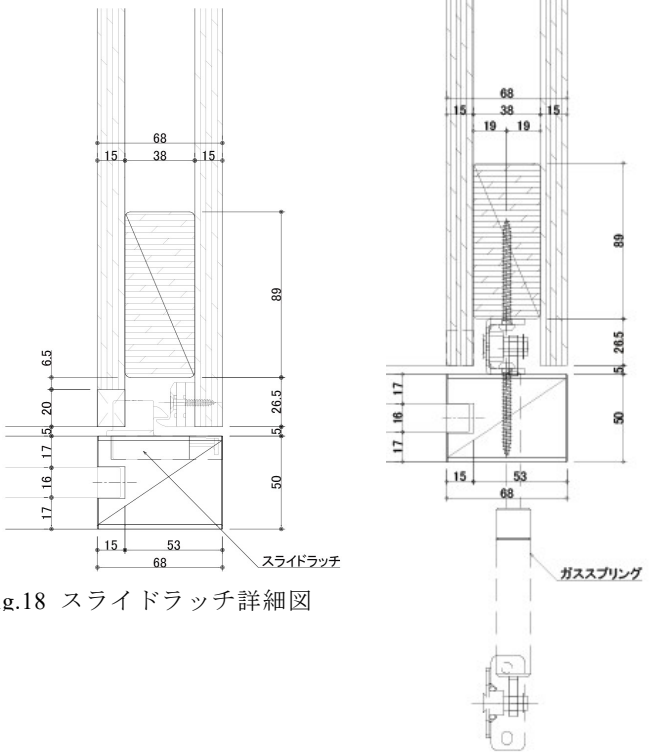


Fig.18 スライドラッチ詳細図

Fig.19 ガススプリング詳細図

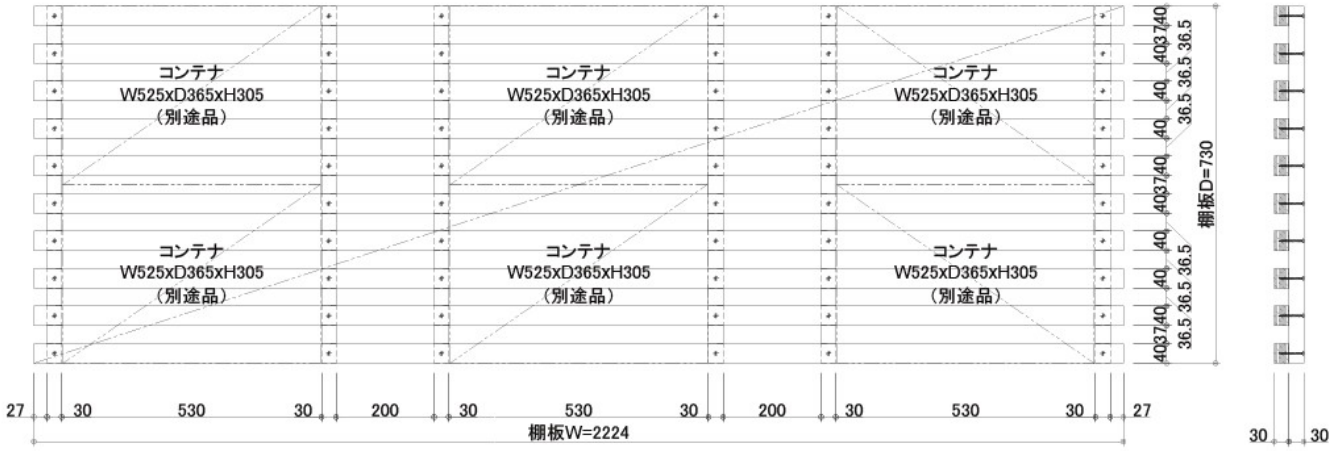


Fig.20 コンテナ寸法に合わせたすのこ棚

5. 都市空間における実証運用と効果測定

5.1 実証運用の概要

設計・製作した可動式什器「Moving Cells」の有効性を検証するため、秦野駅前周辺の公共空間において実証実地運用を実施した(Fig.21)。2026 年 3 月 28 日に開催された「秦野マルシェ」での運用実態の概要を表 2 に示す。運用には研究室メンバーに加え、フリーマーケットを行っている地域住民の協力のもと、衣類、雑貨等の販売や無料の休憩・交流スペースの提供を実施した。期間中の総集客・来訪者数は約 40 名を記録した。

運用日	2026 年 3 月 28 日
設置場所	秦野駅前まほろば広場
運用主体	地域住民・岩崎研究室・秦野市役所
運用人数	7 名（地域住民 1 名、研究室メンバー4 名、市役所職員 2 名）
運用内容	衣類・雑貨販売、休憩所
利用人数	約 40 名（フリマ：約 15 名、休憩所：約 25 名）

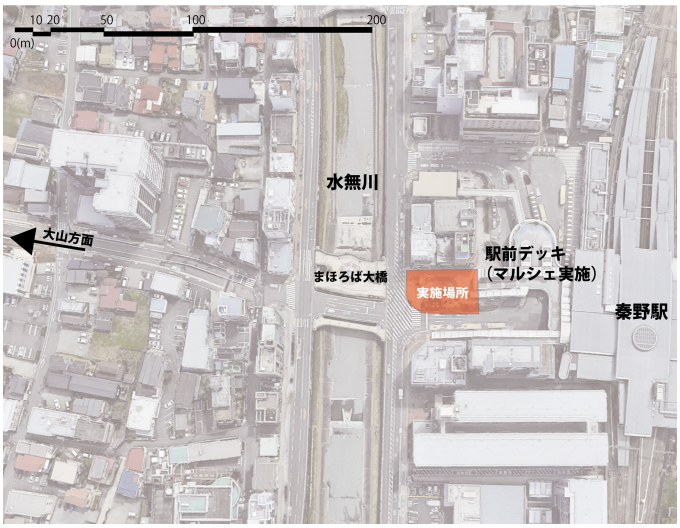


Fig.21 秦野駅デッキに隣接する広場にて実施


Fig.22 歩行者の興味を引き付ける様子


Fig.23 歩行者と会話を交わす様子


Fig.24 通過が主だった広場に滞留が生まれる

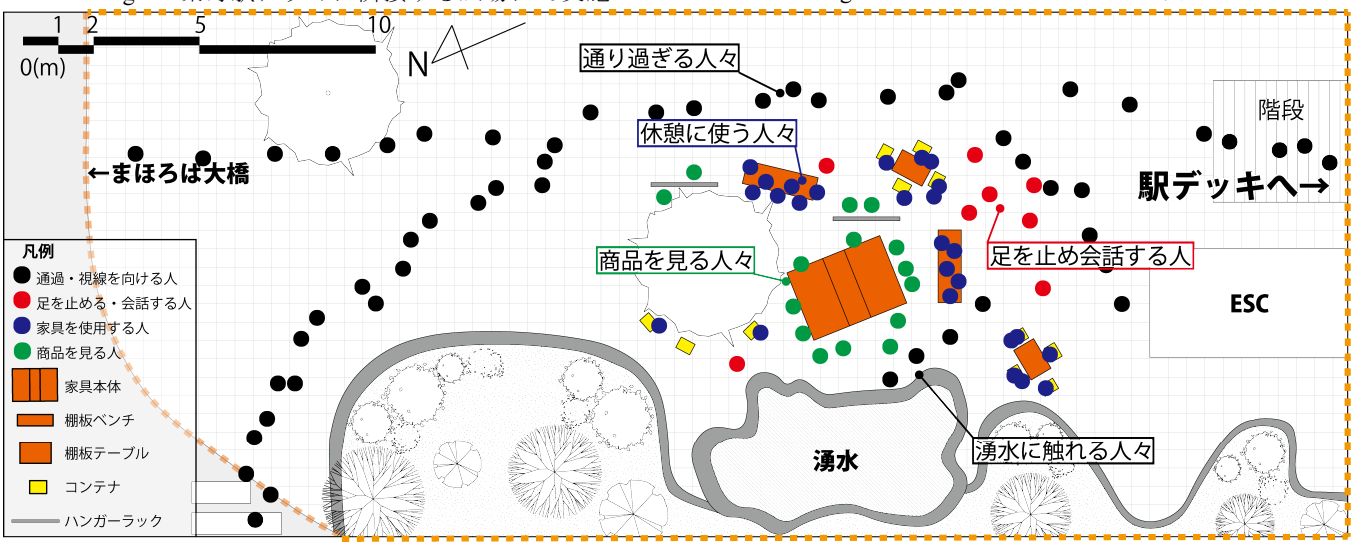


Fig.25 利用時の様子をプロット（3 月 28 日秦野マルシェ）

5.2 行動観察によるアクティビティと交流の生起

現地における行動観察調査（調査時間帯：10 時～15 時）の結果、什器の設置が都市空間の回遊性と滞留行動に明らかな変化をもたらす様子が確認された(Fig.25)。「屋台モード」での出店時には、駅から街への移動の途中にあった歩行者が、農業用コンテナの視覚的特徴に惹きつけられて足を止め、出店者と什器に関する会話をする様子が 8 件観察された(Fig.22)(Fig.23)。また、「休憩所モード」においてすのこベンチを歩道側に展開したところ、買い物を終えた高齢者や親子連れの滞留が 8 件みられ、これまで通過交通のみであった広場に新たな滞留空間が創出された（Fig.24）。

さらに、「2 人以上の協力を必要とする設営構造」の効果として、撤収中に通りがかりの住民が「手伝いましょうか」と声をかけ、一緒に什器を移動させる、出店者と来訪者が共同でテーブルの配置をレイアウトするといった、意図した通りの「偶発的な協働と交流」が 2 件確認された。これは完成された什器を単に置くだけでは得られない、本計画固有の成果であると言える。

5.3 ヒアリングおよびアンケート調査による効果測定

什器の有効性を客観的に評価するため、運用時に出店者（3 名）、来訪者（5 名）、および秦野市役所・商店街関係者（2 名）を対象としたヒアリング調査を実施した。

出店者・運用主体の評価

「コンテナのモジュールがあるため、販売物に合わせて自由に展示レイアウトを変えられ、使い勝手が非常に良い」という評価が得られた。また、「一般的なテント設営と異なり、什器自体が目を引くため、活動のＰＲ効果が極めて高い」との回答が複数得られ、第 2 章の要求であった「活動を発信する場」として有効性が実証された。

来訪者・地域住民の評価

「普段は見過ごしている見慣れた農作業コンテナが、おしゃれなベンチや屋台に変わることに驚きと愛着を覚えた」という声が多く聞かれた。地域の「当たり前の風景」を再定義したデザインが、地域資源の再評価に寄与していることが確認された。

行政・管理者の評価

市役所担当者からは「キャスター付きで移動が容易なため、車の進入が難しい狭小地や路地空間でも賑わいを創出できる新たなプレイスメイキングの手法として期待できる」との評価を得た。

以上の結果および定量・定性データから、本什器の導入は、潜在的であった市民活動を効果的に可視化し、都市空間に偶発的な交流と滞留を生み出す「触媒」として十分に機能することが実証された。

6.まとめ

6.1 まとめ

本研究は、過疎化と歩行者減少に直面する秦野市において、地域住民との共創により可動式什器「Moving Cells」を設計・制作・運用し、その有効性を実証した。本研究で得られた成果は以下の通りである。

①住民ワークショップとマッピング分析を通じ、特定の商業機能ではない「日常的な滞在と市民の活動発信を支える汎用的な場」への空間要求を可視化した。

②農業用採集コンテナという地域既存の文脈をモジュールとして再構築することで、多様なアクティビティに対応する空間アフォーダンスを獲得した。さらに、一人では展開できない構造的制約を設けることで、運用プロセス自体が協働とコミュニケーションを誘発するデザインを実現した。

③実際の都市空間での実証実験と効果測定を通じ、本什器の存在と展開オペレーションが歩行者の滞留を促し、市民活動の認知拡大と偶発的な社会交流の創出に寄与することを定量・定性的に実証した。

以上の点から、可動式什器「Moving Cells」は、地方都市の余白空間を柔軟に再生する上で有効であることが示された。

6.2 今後の展望と課題

今後の課題として、第 1 に「持続的な管理・運用システムの構築」が挙げられる。現在は研究室や特定団体が運用を主導しているが、今後は自治体や地元商工会、市民サークル等が自律的に什器をシェアし、常設に近い形で都市を回遊させるシェアリングの仕組み（保管場所の確保や予約システムの導入など）が必要である。 第 2 に、「多様な都市スケールへの応用と展開」である。今後は本什器を駅前広場だけでなく、市内に点在する湧水スポットや公園、商店街の路地等へ連鎖的に展開させ、可動式什器のネットワーク化による「点から面へと広がるまちづくり効果」を検証していく予定である。

参考文献

[1] 秦野市: 『秦野市 中心市街地活性化基本計画（概要)』, 2024.

[2] 国土交通省 関東地方整備局・東京都市圏交通計画協議会: 『第５回 東京都市圏パーソントリップ調査（平成 30 年)』, 2018.

[3] 泉山塁威, 荒井詩穂那, 原万琳: ″タクティカル・アーバニズムの概念整理 日本のパブリックスペース利活用手法への導入可能性″, 日本建築学会大会学術講演梗概集（都市計画), pp. 339-342, 2017.

[4] 伊藤孝紀, 岩崎翔太, 鈴木篤也, 西田智裕: ″道路空間再編に向けた社会実験の効果検証 －岡崎市康生通りのパークレットを対象として－″, 日本建築学会計画系論文集, 第 86 巻, 第 779 号, pp. 197-207, 2021.

[5] 廣澤永久, 木下光, 河合美楓, 下村悟: ″屋外公共空間における屋台活用実験の手法及びその記録と評価 － 関西大学堺キャンパスを中心とする浅香山地区を対象として－ ″, 日本建築学会技術報告集, 第 30 巻, 第 74 号, pp. 370-375, 2024.

東海大学紀要建築都市学部
Vol.5, No.1, 2026, pp. 15-22
DOI: 10.18995/27587843.5-1.15

論　文

再生骨材を使用した高流動高靭性コンクリートを RC梁の一部に適用した場合の補強効果

佐伯　寛人[*1]　渡部　憲[*2]　嶋﨑　悠[*1]

Reinforcing Effect of Applying High-Fluidity Ductile Fiber-Reinforced Concrete Using Recycled Aggregate to a Part of RC Beam

by

Hiroto SAEKI[*1], Ken WATANABE[*2] and Haruka SHIMAZAKI[*1]

(Received on May. 27, 2026 and accepted on Aug. 27, 2026)

Abstract

To the present, extensive research has been conducted on recycled aggregate concrete, in order to further advance concrete recycling, it is necessary to develop new technologies for the effective utilization of recycled aggregates. In view of the above background, one of the authors has been investigating high-fluidity ductile fiber-reinforced concrete using fly ash and recycled aggregate (R-HFDFRC) for the purpose of improving the fluidity of ductile fiber-reinforced cementitious composites (DFRCC) and expanding the use of recycled aggregate. In the application of materials mentioned above to RC structures, it is necessary to investigate the effect of placing methods on the bending properties of R-HFDFRC. Therefore, we experimentally conducted the effect of different placing methods on the bending properties of R-HFDFRC. We also analytically conducted the reinforcing effect of applying R-HFDFRC to a part of RC beams. The results obtained in the present study are summarized as follows: For the same mix proportion, the placing method of W5 is effective to improve the bending strength and toughness of R-HFDFRC. The reinforcing effects of applying R-HFDFRC with U-shape (thickness: 20 to 30mm) to a part of cross-section of RC beam specimens correspond to the shear reinforcing ratios of approximately 0.422 to 0.704%.

***Keywords*:** Recycled aggregate, DFRCC, High-fluidity, Placing method, RC beam

1. はじめに

これまでに，再生骨材コンクリートの研究が継続的に実施されているが，コンクリートのリサイクルをさらに推し進めるためにも，再生骨材の新たな有効利用技術を開発しておく必要がある．筆者らの一人も，再生骨材の用途拡大および高靭性セメント複合材料[1)](以下，DFRCCと略記)の流動性改善を目的に，骨材として再生骨材，混和材としてフライアッシュを使用した高流動高靭性コンクリート(以下，R-HFDFRCと略記)について検討を行ってきた[例えば，2)]．

ところで，DFRCCのようにマトリックス中に繊維を混入した複合材料では，繊維の配向がその力学特性に影響を与えることが知られている[例えば，3)]．そのため，例えば文献[4)]では，繊維補強セメント複合材料製曲げ供試体を製作する際，繊維の配向等に留意すること等が記されている．一方，鈴木ら[5)]は，モルタルベースの超高強度繊維補強セメント複合材料の繊維配向性を，打込み方法により制御することにより，応力負担方向の力学特性を向上させようとする研究を行っており，移動打込みを行い，試験体断面寸法が小さいほど，引張性能が上昇する等の知見を示している．このように，モルタルベースの繊維補強セメント複合材料だけでなく，繊維の配向に影響を及ぼすと考えられる粗骨材を混入したコンクリートベースのR-HFDFRCにおいても打込み方法により引張性能を制御することができれば，R-HFDFRCを埋設型枠やプレキャスト複合コンクリートに適用した場合の繊維による補強効果を向上可能と思われる．

そこで本研究では，打込み方法の相違がR-HFDFRCの曲げ性能に及ぼす影響について実験的に検討を行った．また，打込み方法を制御したR-HFDFRCを鉄筋コンクリート(以下，RCと略記)梁の一部に適用した場合の補強効果について，解析的に検討を行った．

2. 打込み方法の相違がR-HFDFRCの曲げ性能に及ぼす影響に関する実験的検討

本章では，打込み方法の相違がR-HFDFRCの曲げ性

*1　東海大学工学研究科建築土木工学専攻修士課程
*2　東海大学建築都市学部建築学科教授

Table 1 Physical properties of aggregates.

Aggregate		Maximum size (mm)	Density in saturated surface-dry condition (g/cm^3)	Density in oven-dry condition (g/cm^3)	Percentage of absorption (%)	Finess modulus
Recycled	Coarse	10	2.52	2.42	3.99	5.93
	Medium fine	2.5	2.50	2.37	5.16	2.58
	Very fine	0.6	2.48	2.35	5.69	1.04

Table 2 Outline of mix proportions and placing methods.

Specimen	Mix proprotions						Placing methods		
	Water-binder ratio W/B (%)	Sand-binder ratio S/B (%)	Sand-total aggregate ratio s/a (vol.%)	Fiber volume fraction Vf	Fiber volume mixig ratio (V:St)	Replace-ment ratio of flyash (%)	Number of splitting H Direction	W	L
40N	40	40	85	3	7:3	20	-	-	-
40W5							-	5	-
50N	50	65					-	-	-
50H2							2	-	-
50H5							5	-	-
50W2							-	2	-
50W5							-	5	-
50L20							-	-	20
50H5W5							5	5	-
50H5(W5L20)							5	5*	20**
60N	60	90					-	-	-
60W5							-	5	-

*: Apply to the 1st, 3rd, and 5th layers from the botttom in the H-direction
**: Apply to the 2nd, and 4th layers from the botttom in the H-direction

能に及ぼす影響について検討するため，打込み方法の相違するR-HFDFRCの3等分点曲げ試験を行った．

2.1 使用材料および配(調)合の概略

(1) R-HFDFRCの使用材料

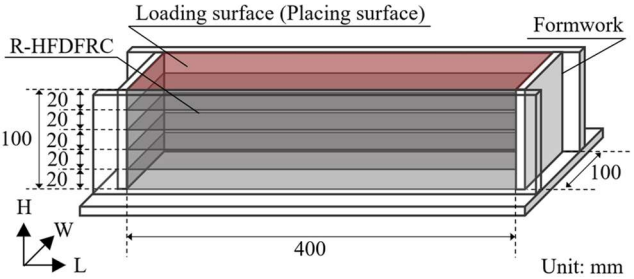
Table 1に，再生骨材の物性一覧を示す．再生骨材は，M相当(JIS A 5021:2018およびJIS A 5022:2018付属書Aにより判断)の品質のものを使用し，再生細骨材の中目と細目の混合割合(質量比)は，水結合材比(W/B)が40および50%で4:6，W/Bが60%で2:8とした．セメントは，普通ポルトランドセメント(密度: 3.16g/cm^3)を使用し，繊維は，PVA繊維(V，径: 0.2mm，長さ: 18.4mm，弾性係数: 36.5kN/mm^2，引張強度: 1417N/mm^2)および鋼繊維(St，径: 0.5mm，長さ: 31mm，弾性係数: 210kN/mm^2，引張強度: 1262N/mm^2)を使用した．混和材料は，高性能AE減水剤，分離低減剤およびフライアッシュII種(密度: 2.32g/cm^3)を使用した．

(2) R-HFDFRCの配(調)合の概略

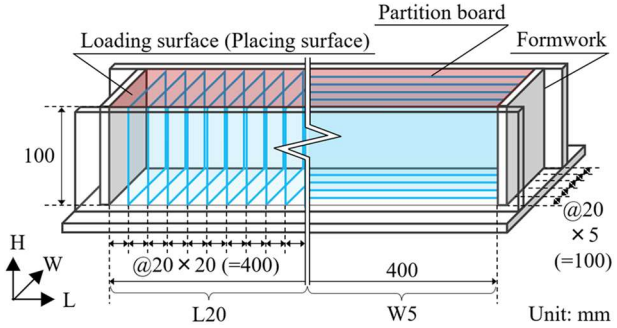
Table 2に，R-HFDFRCの配(調)合概略を示す．R-HFDFRCは，W/Bを40，50および60%，細骨材率(s/a)を85%，目標スランプフローを65cmとした．繊維は，VとStを混合使用し，繊維体積混入率(Vf)を3%，VとStの繊維体積混合比(V:St)を7:3とした．フライアッシュのセメント置換率は，20%とした．

2.2 3等分点曲げ試験

試験体は，100×100×400mmの角柱試験体とし，各水準6体製作した．3等分点曲げ試験用試験体は，W/Bを40および50%とした場合は打込み後2日，W/Bを60%とした場合は打込み後3日(いずれの場合も湿布養生)で脱型し，試験時(材齢28日)まで標準養生とした．



(a) H5.



(b) W5 and L20.

Fig. 1 Example of placing methods.

(1) 打込み方法

前掲，Table 2に，打込み方法の概略を示す．また，Fig. 1に，打込み方法の例(H5，W5およびL20)を示す．試験体名は，W/B，分割方向，分割数の順に表記し，分割なしの場合は省略した．ただし，いずれの方向にも分割しない場合は，Nを付記する．

打込み方法はNを基準とし，以下の通りとした．1)高さ(H)方向に2および5等分割とした場合(H2およびH5)，2)幅(W)方向に2および5等分割とした場合(W2およびW5)，3)長さ(L)方向に20等分割とした場合(L20)，4)H5かつW5とした場合(H5W5)，5)H5とし，下から1，3および5層をW5とし，2および4層をL20とした場合{H5(W5L20)}である．なお，WおよびL方向に分割して打込む際，厚さ2mmのアクリル板の両面に，R-HFDFRCとの摩擦を低減することを目的に厚さ0.1mmのテフロンシートを張り付けた仕切り板を所定の分割数に応じて使用した{Fig. 1(b)参照}．

締固めのため，各層の打込み面全体が所定の分割高さになる毎に，型枠L方向の左右端を持ち上げ，各5回のジッキングを行った．その後，WおよびL方向分割とした場合は，仕切り板を静かに引き抜き(ただし，50H5W5では最後の層を打込んだ後に仕切り板を引き抜く)，型枠L方向の左右端を持ち上げ，各2回のジッキングを追加で行った．

(2) 試験方法

3等分点曲げ試験は，試験方法を文献[4]に準じて行った．載荷は，100kN AUTOGRAPH型精密万能試験機を使用して行い，クロスヘッド速度を0.2mm/minに制御した．計測項目は，荷重(P)，高感度変位計によるスパン中央部のたわみ(δ_{tb})およびパイ型変位計による曲率とし，

各データは，データロガーを使用して取り込んだ．また，試験後に，純曲げ区間内に発生した独立したひび割れ本数を目視により計測し，本研究ではこれをひび割れ本数とした．

曲げ強度($f1_b$)および曲げ靭性係数($f2_b$)は，文献[6]を参考にして評価した．なお，本研究では，P－δ_{tb}関係の軟化部分(最大荷重以降，十分に荷重が低下した時点まで)も含めた$f2_b$を評価するため，$f2_b$をδ_{tb}が7.5mmとなる時点までの値とした．

引張強度($F_{t,b}$)および引張終局ひずみ($\varepsilon_{tu,b}$)は，文献[4]付属書(参考)を基に，文献[7]に示す手法により算出した．

2.3　1軸圧縮試験

R-HFDFRCの強度管理のため，R-HFDFRCの1軸圧縮試験を行った．試験体は，100φ×200mmの円柱試験体とし，各水準6体製作した．1軸圧縮試験用試験体は，W/Bを40および50%とした場合は打込み後2日，W/Bを60%とした場合は打込み後3日(いずれの場合も湿布養生)で脱型し，試験時(材齢28日)まで標準養生とした．

1軸圧縮試験は，試験方法を文献[8]に準じ，載荷は，2000kN耐圧試験機を使用して行った．載荷速度は，応力上昇域では応力増分を毎秒0.2N/mm^2，応力下降域では載荷盤間変位増分が毎分0.4mmとなるように制御した．計測項目は，荷重，コンプレッソメータによる試験体中央部の縦・横ひずみおよび高感度変位計による載荷盤間変位とした．なお，圧縮破壊エネルギー(G_{Fc})は，文献[8]に示す手法により算出した(文献[8]中の塑性変形3.0mmまでの値)．各データは，データロガーを使用して取り込んだ．

2.4　結果と考察

Table 3に，材料試験により得られたR-HFDFRCの材料試験結果を示す．また，Fig. 2に，R-HFDFRCの$f1_b$および$f2_b$－打込み方法関係を示す．続いて，Fig. 3に，R-HFDFRCのP－δ_{tb}関係を示す．さらに，Photo. 1に，3等分点曲げ試験後の試験体側面の破壊状況を示す．

なお，W/Bを50%としたR-HFDFRCは練混ぜ量が多いため，打込みを数日に分けて行ったが，Table 3によれば，打込み日の相違するW/Bを50%としたR-HFDFRCの圧縮強度(F_c)は，30.6～32.5N/mm^{2}の範囲に収まっている．

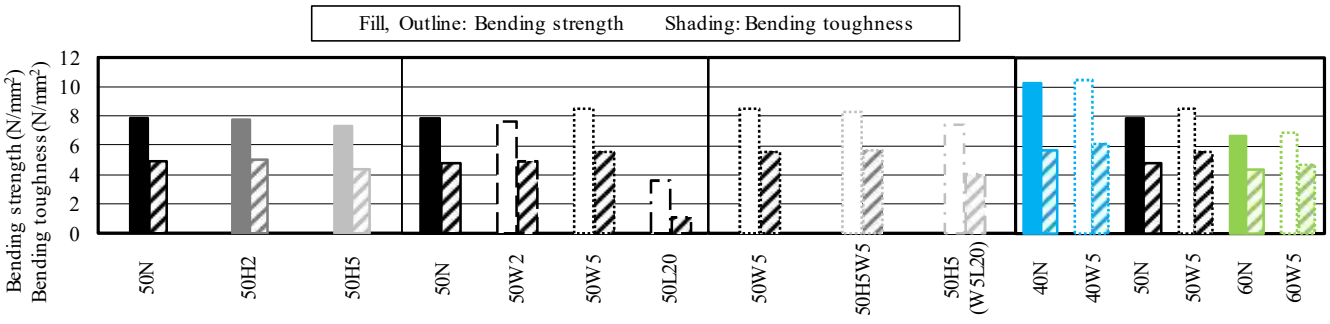
(1)　H方向分割した場合の影響

まず，H方向分割した場合の影響{Fig. 2(a)}について注目すると，50H2の$f1_b$および$f2_b$は，50Nと比較して同程度となった．しかし，50H5の$f1_b$および$f2_b$は，50Nの0.930倍および0.888倍に低下した．これは，50H5は50Nと比較して，各上下層間を架橋する斜め方向の繊維量が減少したことにより，層方向のすべり(L方向のひび割れ)が生じたためと思われる{Photo. 1(a)およびPhoto. 1(b)参照}．

このような傾向は，R-HFDFRCのP－δ_{tb}関係にも表れており，50H2と50NのP－δ_{tb}関係の形状は，概ね一致している．また，50H5の最大荷重および最大荷重以降の同一δ_{tb}時における残留荷重は，50Nと比較して低くなっ

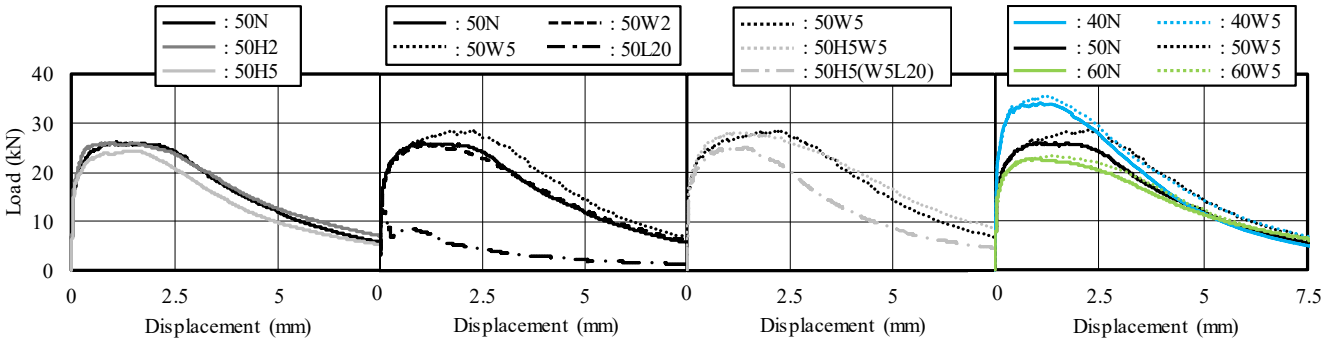
Table 3 Material test results.

Specimen	Compression			Bending								
				Bending strength			Bending toughness					
	Compressive strength (N/mm^2)	Young's modulus (kN/mm^2)	Compressive fracture enaergy (N/mm)	Test results (N/mm^2)	Standard deviation	Coefficient of variation	Test results (N/mm^2)	Standard deviation	Coefficient of variation	Number of cracks	Tensile strength (N/mm^2)	Ultimate tensile strain
40N	48.7	18.8	57.4	10.2	0.458	0.0447	5.68	0.958	0.169	11	3.64	0.0212
40W5	48.7	18.8	57.4	10.5	0.387	0.0369	6.15	0.631	0.103	12	3.67	0.0211
50N	31.6	14.7	46.1	7.82	0.225	0.0288	4.86	0.490	0.101	11	2.67	0.0212
50H2	31.6	14.7	46.1	7.78	0.460	0.0591	5.03	0.634	0.126	9	2.77	0.0170
50H5	30.6	14.8	45.4	7.27	0.602	0.0829	4.31	0.675	0.157	10	2.57	0.0223
50W2	30.6	14.8	45.4	7.68	0.259	0.0337	4.90	0.653	0.133	8	2.61	0.0223
50W5	31.9	15.1	46.2	8.54	0.211	0.0248	5.61	0.583	0.104	12	3.01	0.0234
50L20	32.5	15.0	46.0	3.65	0.291	0.0799	1.10	0.217	0.197	2	0.90	0.0105
50H5W5	31.9	15.1	46.2	8.33	0.519	0.0623	5.73	0.556	0.097	8	2.92	0.0182
50H5(W5L20)	32.5	15.0	46.0	7.46	0.606	0.0813	4.09	0.376	0.092	11	2.75	0.0199
60N	21.6	12.5	35.4	6.71	0.370	0.0552	4.42	0.813	0.184	14	2.48	0.0146
60W5	21.6	12.5	35.4	6.93	0.222	0.0320	4.69	0.313	0.067	14	2.61	0.0229



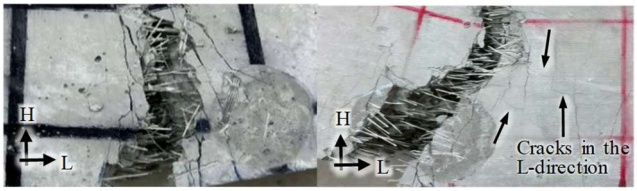
(a) H-direction.　(b) W and L-direction.　(c) H, W and L-direction.　(d) W/B.

Fig. 2 Bending strength and toughness-Placing method relationship.

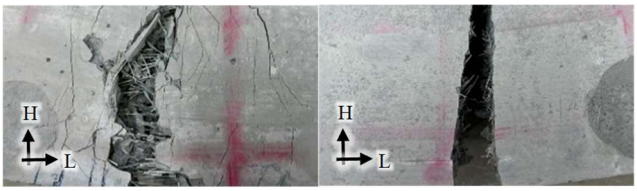


(a) H-direction. (b) W and L-direction. (c) H, W and L-direction. (d) W/B.

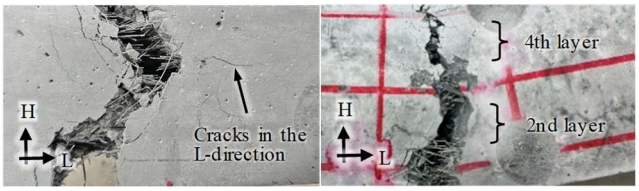
Fig. 3 Load-Displacement relationship.



(a) 50N. (b) 50H5.



(c) 50W5. (d) 50L20.



(e) 50H5W5. (f) 50H5(W5L20).

Photo. 1 Fracture states after testing.

ている{Fig. 3(a)参照}.

(2) WおよびL方向分割した場合の影響

次に，WおよびL方向分割した場合の影響{Fig. 2(b)}について注目する．W方向分割においては，50W2の$f1_b$および$f2_b$は，50Nと比較して同程度となった．しかし，50W5の$f1_b$および$f2_b$は，50Nの1.09倍および1.16倍に増加した．これは，50W5は50Nと比較して，ひび割れ面に直交する繊維量が増加したためと思われる{Photo. 1(a)およびPhoto. 1(c)参照}．また，L方向分割においては，50L20の$f1_b$および$f2_b$は，50Nの0.466倍および0.227倍に低下した．これは，L方向の繊維量が著しく減少したためと思われる{Photo. 1(d)参照}.

このような傾向は，R-HFDFRCのP－δ_{tb}関係にも表れており，50W2と50NのP－δ_{tb}関係の形状は，概ね一致している．また，50W5の最大荷重および最大荷重以降の同一δ_{tb}時における残留荷重は，50Nと比較して高くなっている．さらに，50L20の最大荷重および最大荷重以降の同一δ_{tb}時における残留荷重は，50Nと比較して低くなっている{Fig. 3(b)参照}.

(3) H，WおよびL方向分割を組み合わせた場合の影響

続いて，H，WおよびL方向分割を組み合わせた場合の影響{Fig. 2(c)}について注目すると，50H5W5の$f1_b$および$f2_b$は，50W5と比較して同程度となった．しかし，50H5W5の$f1_b$の変動係数は，50W5と比較して大きくなった．これは，50H5W5はH方向分割の影響を受け，50W5では確認できなかった層方向のすべり(L方向のひび割れ)が一部の試験体で生じたためと思われる{Photo. 1(c)およびPhoto. 1(e)参照}．また，50H5(W5L20)の$f1_b$および$f2_b$は，50H5W5の0.896倍および0.713倍に低下した．これは，下から2および4層のL方向の繊維量が減少したためと思われる{Photo. 1(f)参照}.

このような傾向は，R-HFDFRCのP－δ_{tb}関係にも表れており，50H5W5と50W5のP－δ_{tb}関係の形状は，概ね一致している．また，50H5(W5L20)の最大荷重および最大荷重以降の同一δ_{tb}時における残留荷重は，50H5W5と比較して低くなっている{Fig. 3(c)参照}.

(4) W/Bの影響

さらに，W/Bの影響{Fig. 2(d)}について注目すると，W5の$f1_b$および$f2_b$は，Nと比較して，$f1_b$で1.02～1.09倍，$f2_b$で1.06～1.16倍に増加した.

このような傾向は，R-HFDFRCのP－δ_{tb}関係にも表れており，W5の最大荷重および最大荷重以降の同一δ_{tb}における残留荷重は，Nと比較して高くなっている{Fig. 3(d)参照}.

以上より，同一配(調)合においてR-HFDFRCの$f1_b$および$f2_b$を改善しようとする場合，打込み方法をW5とすることが効果的であることがわかった.

3. 打込み方法を制御したR-HFDFRCをRC梁の一部に適用した場合の補強効果に関する解析的検討

本章では，R-HFDFRCをRC梁の一部に適用した場合の補強効果について，解析的に検討を行った．その際，前掲，2章の材料試験結果からR-HFDFRCの材料構成則を構築し，有限要素法(以下，FEMと略記)解析汎用コードに導入した.

3.1　試験体のモデル化および解析手法

Fig. 4およびFig. 5に，本研究で想定したRC梁試験体の概要および断面種類を示す．また，Fig. 6に，想定したRC梁試験体の要素分割を示す．RC梁試験体は，文献[9]を参考にして，主筋を4D-16(SD345)，引張鉄筋比を2.65%とした，梁せい180mm×梁幅100mm×梁長さ1500mmの試験体で，支点間距離は1300mm，せん断スパン長は450mm，載荷点間距離は400mmである．RC梁試験体は，コンクリート製RC梁(C型)，R-HFDFRC製RC梁(RHC型)に加えて，C型の底面から厚さ30mm部分をR-HFDFRCとした_型，底面および側面から厚さ30mm部分をR-HFDFRCとしたU型を想定した．想定したRC梁試験体の一覧を，Table 4に示す．なお，Table 4中の梁主筋とマトリックス間の付着すべりモデルについて，コンクリートは，コンクリート付着すべりモデルの適用を意味している．また，50Nおよび50W5は，R-HFDFRC付着すべりモデルの適用を意味している．即ち，コンクリートとR-HFDFRCの境界にある梁主筋とマトリックス間の付着すべりモデルとして，1)コンクリート付着すべりモデルを適用したRC-_1およびRC-U1は，R-HFDFRCを埋設型枠として使用した場合を想定している．また，2)R-HFDFRC付着すべりモデルを適用したRC-_2およびRC-U2はR-HFDFRCをプレキャスト複合コンクリートとして使用した場合を想定している．

RC梁試験体は，コンクリート，R-HFDFRCを25×30×30および40mm，定着鋼板を6×30×30および40mm，支点・載荷点鋼板を25×6×30および40mmの要素で分割した．各要素は8節点アイソパラメトリックソリッド要素とし，主筋は付着すべり埋め込み鉄筋要素とした．

解析方法は，最初に自重を加え，次にFig. 6中の矢印位置に強制変位を漸増的に加えることとした．なお，解析コードは，汎用構造解析プログラムDIANA10.9[10]を使用し，非線形反復計算法は，Newton-Raphson法を採用した．

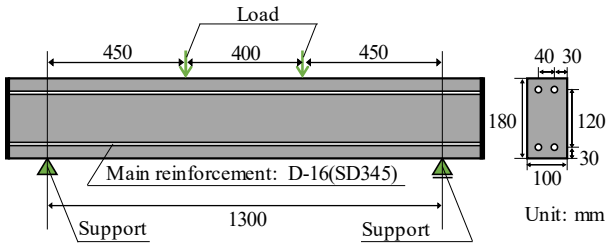
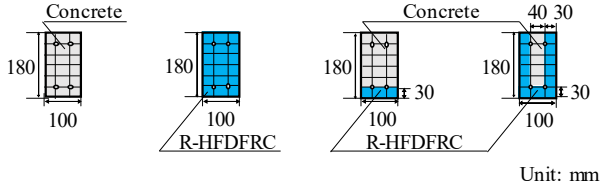


Fig. 4 Outline of RC beam specimen.



(a) C-shape. (b) RHC-shape. (c) _-shape. (d) U-shape.

Fig. 5 Cross-sections of RC beam specimens.

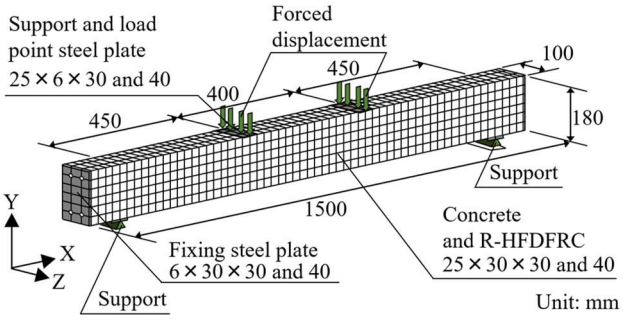


Fig. 6 FEM mesh division of RC beam specimen.

Table 4 Analytical models of RC beam specimens.

Analytical model	Matrix		Cross-section	Main reinforcement	Bond-slip model between main reinforcement and matrix
RC-C	Concrete		C-shape	4D-16 (SD345)	Concrete
RC-RHC	50N		RHC-shape		50N
	50W5				50W5
RC-_1	Concrete	50N	_-shape		Concrete
		50W5			
RC-_2	Concrete	50N			50N
		50W5			50W5
RC-U1	Concrete	50N	U-shape		Concrete
		50W5			
RC-U2	Concrete	50N			50N
		50W5			50W5

Table 5 Material properties.

Matrix	Compression			Tensile			Pull-out	
	Comp-ressive strength (N/mm²)	Young's modulus (kN/mm²)	Comp-ressive fracture energy (N/mm)	Tensile strength (N/mm²)	Fracture energy (N/mm)	Ultimate tensile strain	Bond strength (N/mm²)	Slip at bond strength (mm)
Concrete	31.6	24.9	49.5	3.02	0.143	-	11.2	0.600
50N	31.6	14.7	46.1	2.67	-	0.0212	11.3	0.503
50W5	31.9	15.1	46.2	3.01	-	0.0234	11.3	0.501

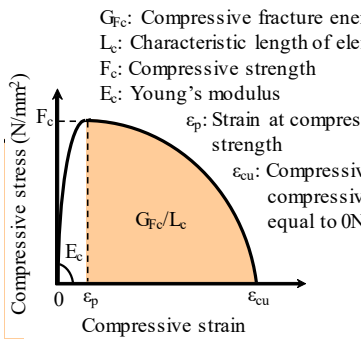


Fig. 7 Compression model.

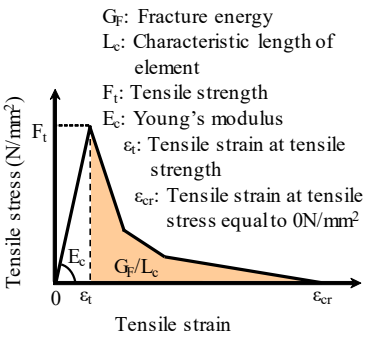


Fig. 8 Tension model (Concrete).

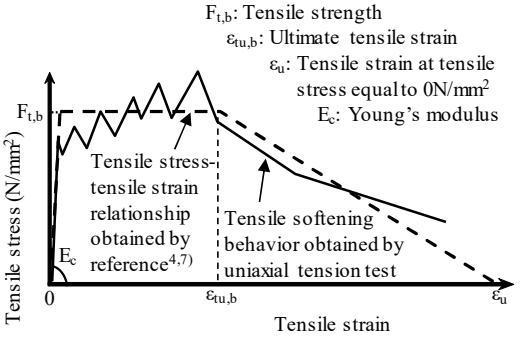


Fig. 9 Tension model (R-HFDFRC).

3.2 材料構成則

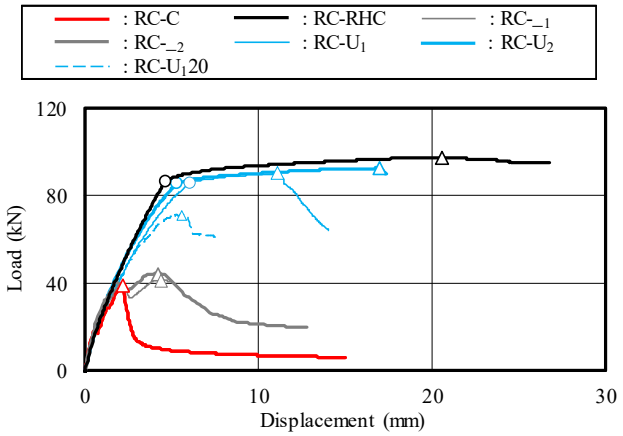
コンクリートおよびR-HFDFRCの破壊現象を扱うため，圧縮側および引張側に全ひずみに基づく構成則モデルを適用し，ひび割れは，ひび割れ回転を考慮した分布ひび割れモデルとした．

Table 5に，コンクリートおよびR-HFDFRCの力学特性一覧を示す．

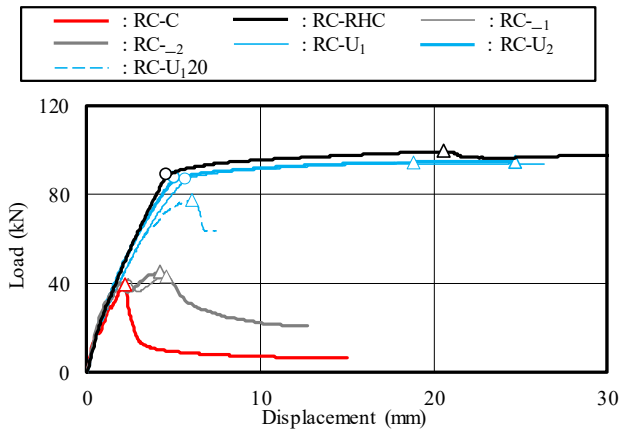
圧縮側の応力－ひずみ関係は，Fig. 7に示すParabolicで表し，応力下降域で囲まれる面積は，G_{Fc}/要素代表長さ(L_c)とした．なお，コンクリートのヤング係数(E_c)は，Table 5に示すF_c(R-HFDFRCの50Nと同値とした)を用いて，文献[11]の式から算出した．また，コンクリートのG_{Fc}は，F_cを用いて，中村らの提案式[12]から算出した．

Table 6 Analytical results on maximum load.

Analytiacl model	Matrix		Maximum load (kN)	Maximum load ratio W5 / N	Displacement ratio at maximum load W5 / N
RC-C	Concrete		38.9	-	-
RC-RHC	50N		97.5	1.01	1.00
	50W5		98.8		
RC-_1	Concrete	50N	41.4	1.03	1.05
		50W5	42.7		
RC-_2	Concrete	50N	44.6	1.00	1.00
		50W5	44.7		
RC-U1	Concrete	50N	90.0	1.05	1.70
		50W5	94.1		
RC-U2	Concrete	50N	92.6	1.02	1.45
		50W5	94.8		
RC-U120	Concrete	50N	71.6	1.08	1.09
		50W5	77.1		



(a) Concrete, 50N and concrete + 50N.



(b) Concrete, 50W5 and concrete + 50W5.

Fig.10 Load-Displacement relationship.

R-HFDFRCのF_c，E_cおよびG_{Fc}は，前掲，2章で実施した圧縮試験結果とした．L_cは要素体積と等価な体積を持つ球の直径とした．また，Vecchio[13]らが提案している横拘束による圧縮強度の増大，Collins[14]らが提案しているひび割れたコンクリートの圧縮強度低減を考慮した．

引張側の応力－ひずみ関係は，コンクリートではFig. 8に示すように，応力上昇域は，F_cから算出される引張強度(F_t)[15]までを線形弾性，応力下降域は，文献[16]に示されている3直線モデルを適用し，応力下降域で囲まれる面積は破壊エネルギー(G_F: 文献[16]の式から算出)/L_cとした．R-HFDFRCではFig. 9に示すように，文献[4),7]に示されている多直線モデルを適用した(Table 5中の引張特性は，前掲，2章の3等分点曲げ試験結果から算出)．

鉄筋の降伏基準は，Von Mises基準を適用した．応力－ひずみ関係をbi-linearモデルとし，第2勾配の剛性はヤング係数(205kN/mm^2)の1/100とした．なお，鉄筋の降伏強度は，345N/mm^{2}とした．

コンクリートと梁主筋間のコンクリート付着すべりモデルには，CEB-FIP Model Code 1990[15]に示される付着すべりモデル(Unconfined concrete, Good bond conditions)を適用した(Table 5中の付着特性は，文献[15]の式から算出)．R-HFDFRCと梁主筋間のR-HFDFRC付着すべりモデルには，筆者らの一人[2]が提案している多直線モデルを適用した(Table 5中の付着特性は，文献[2]の式から算出)．コンクリートとR-HFDFRCの境界にある梁主筋については，コンクリート付着すべりモデルを適用した場合(RC-_1およびRC-U1)およびR-HFDFRC付着すべりモデルを適用した場合(RC-_2およびRC-U2)について検討した．RC-U1では，Fig. 5(d)中のR-HFDFRC部分の厚さを20mmとした場合(RC-U120)についても検討した．なお，本研究では，R-HFDFRCをRC梁の一部に適用した場合の補強効果について，解析的に検討を行うための第一段階として，コンクリートとR-HFDFRC間は，完全付着とした．今後，R-HFDFRCをRC梁の一部に適用した試験体の載荷試験を行い，その結果を踏まえ，コンクリートとR-HFDFRC間の付着特性について詳細に検討を行う予定である．

3.3 結果と考察

Table 6に，解析により得られたRC梁試験体の最大荷重一覧を示す．また，Fig. 10に，解析により得られたRC梁試験体の荷重－梁スパン中央部変位関係を，使用材料(R-HFDFRC打込み方法)別に示す．なお，Fig. 10中の丸印は引張主筋降伏時，三角形印は最大荷重時を示している(後述，Fig. 12も同様)．

まず，Fig. 10によれば，RC-Cでは主筋が降伏することなく最大荷重を迎え，せん断破壊しているのに対し，RC-RHC，RC-U1およびRC-U2では主筋が降伏し，その後も荷重が徐々に増加して最大荷重を迎えており，曲げ破壊に移行している．一方，RC-U120については，RC-Cと比較して最大荷重の大幅な増大が確認できたが，破壊モードはせん断破壊であった．R-HFDFRCをRC梁試験体の一部に厚さ30mmでU型に適用することにより，破壊モードをせん断破壊から曲げ破壊に移行可能とする

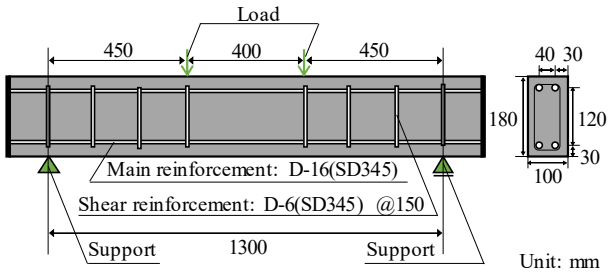


Fig. 11 Reinforcement details of RC-CSR1.

Table 7 Analytical models of RC beam specimens with shear reinforcement.

Analytical model	Matrix, cross-section, main reinforcement and bond-slip model	Shear reinforcement {D-6(SD345)}		
		Shear reinforcement ratio (%)	Yield stength (N/mm^2)	Young's modulus (kN/mm^2)
RC-CSR1	Same as RC-C	0.422	345	205
RC-CSR2		0.633		
RC-CSR3		0.704		

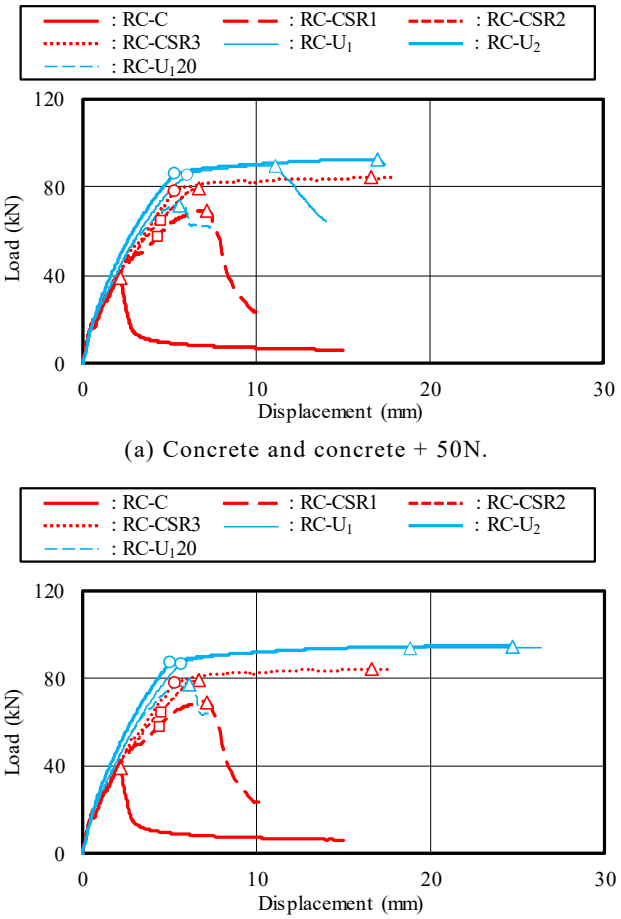
せん断補強効果を得られることがわかった．なお，RC-_1およびRC-_2ではRC-Cと同様にせん断破壊しているが，最大荷重以降の破壊靭性改善効果が確認できた．

次に，付着すべりモデルの影響について注目すると，コンクリート付着すべりモデルを適用した場合(RC-U_1)と比較して，R-HFDFRC付着すべりモデルを適用した場合(RC-U_2)では，主筋降伏後の最大荷重時までの靭性改善が確認できる．

さらに，Table 6によれば，50W5を使用した場合の最大荷重は50Nを使用した場合と比較して1.00～1.08倍となっている．今回想定したRC梁試験体の最大荷重は，文献[4]の打込み方法に従えば(50N)，繊維配向を意図的に制御した50W5と比較して大きく相違しない．しかし，R-HFDFRCをU型に適用することにより曲げ破壊に移行したRC-U_1およびRC-U_2では，50W5を使用した場合の最大荷重時の変位は50Nを使用した場合と比較して1.45～1.70倍となっており，靭性改善を期待できる．なお，R-HFDFRCを適用することにより，破壊モードがせん断破壊から曲げ破壊に移行したRC梁試験体において，50W5を使用した場合の最大荷重時の変位が50Nを使用した場合と比較して，RC-RHCでは1.00倍，RC-U_1およびRC-U_2では1.45～1.70倍となった理由として，本検討範囲内で以下のことが考えられる．RC-RHCでは，梁の全断面にR-HFDFRCを適用することで十分な補強効果を有しており，R-HFDFRCの材料特性の差が最大荷重時の変位に及ぼす影響は小さかった．一方，RC-U_1およびRC-U_2では，梁断面の一部にR-HFDFRCを適用することで，破壊モードは曲げ破壊に移行したものの，R-HFDFRCの材料特性の差により最大荷重時の変位が変化し得る補強レベルであった．ただし，本解析においてR-HFDFRCは等方性材料としてモデル化されており，50W5を使用した場合の解析結果は，実際の性能を過大に評価していることが考えられるため，注意を要する．

3.4　せん断補強効果

3.3節までの検討の結果，R-HFDFRCをRC梁試験体の一部に厚さ30mmでU型に適用することにより，破壊モードをせん断破壊から曲げ破壊に移行可能とするせん断補強効果を得られることがわかった．そこで，本節では，R-HFDFRCをRC梁試験体の一部にU型に適用した場合のせん断補強効果に相当するせん断補強筋比を明らかにするため，RC-Cをせん断補強筋で補強した場合を想定した解析を行った．Fig. 11に，一例としてRC-CSR1の配筋状況を示す．また，Table 7に，RC-Cをせん断補強筋で補強した場合を想定したRC梁試験体の一覧を示す．解析では，RC-C(せん断補強筋無し)を基準として，せん断補強筋比を変化させた．RC-CSR1はせん断補強筋比を0.422%(補強筋間隔: 150mm)とした場合，RC-CSR2はせん断補強筋比を0.633%(補強筋間隔: 100mm)とした場合，RC-CSR3はせん断補強筋比を0.704%(補強筋間隔: 90mm)とした場合である．せん断補強筋は，D-6(SD345)とした．なお，せん断補強筋は，埋め込み鉄筋要素とし，せん断補強筋の材料特性は，前掲，3.2節と同様とした．



(a) Concrete and concrete + 50N.

(b) Concrete and concrete + 50W5.

Fig.12 Load-Displacement relationship (Shear reinforcement effect).

Fig. 12に，せん断補強効果に関する解析により得られたRC梁試験体の荷重－梁スパン中央部変位関係を示す．なお，Fig. 12中には，RC-C，RC-U_1，RC-U_2およびRC-U120の解析結果も示してある．また，Fig. 12中の四角印はせん断補強筋降伏時を示している．

Fig. 12によれば，RC-CSR1は，せん断補強筋が降伏した後，主筋が降伏することなく最大荷重を迎えており，RC-Cと比較して最大荷重は大幅に増大しているものの，せん断破壊していることがわかる．その最大荷重は，50Nを使用した場合のRC-$U_1$20と同程度となっている．RC-CSR2についても，RC-CSR1と同様の破壊形態を示しているが，その最大荷重はRC-CSR1と比較して増大しており，50W5を使用した場合のRC-$U_1$20と同程度となっている．RC-CSR3では，せん断補強筋の降伏は確認されず，主筋が降伏した後，最大荷重を迎えており，曲げ破壊していることがわかる．その最大荷重は，RC-CSR2と比較して増大しているものの，50Nまたは50W5を使用した場合のRC-U_1およびRC-U_2と比較して，若干，低くなっている．

即ち，R-HFDFRCをRC梁試験体の一部にU型に適用した場合のせん断補強効果に相当するせん断補強筋比は，50Nを使用した場合のRC-$U_1$20では0.422%程度，50W5を使用した場合のRC-$U_1$20では0.633%程度，50Nまたは50W5を使用したRC-U_1およびRC-U_2では0.704%程度と想定できることがわかった．

4. まとめ

打込み方法の相違がR-HFDFRCの曲げ性能に及ぼす影響について実験的に検討を行った結果，本研究の範囲において以下の知見が得られた．

1) 同一配(調)合においてR-HFDFRCの$f1_b$および$f2_b$を改善しようとする場合，打込み方法をW5とすることが効果的である．

また，打込み方法を制御したR-HFDFRCをRC梁の一部に適用した場合の補強効果について解析的に検討を行った結果，本研究の範囲において以下の知見が得られた．

2) R-HFDFRCをRC梁試験体の一部に厚さ30mmでU型に適用することにより，破壊モードをせん断破壊から曲げ破壊に移行可能とするせん断補強効果を期待できる．
3) R-HFDFRCをRC梁試験体の一部に厚さ30mmでU型に適用した場合，50W5を使用することで，主筋降伏以降の最大荷重時までの靭性改善を期待できる．ただし，50W5を使用した場合の解析結果は，実際の性能を過大に評価していることが考えられるため，注意を要する．
4) R-HFDFRCをRC梁試験体の一部に厚さ20～30mmでU型に適用した場合のせん断補強効果に相当するせん断補強筋比は，0.422～0.704%程度と想定できる．

今後，R-HFDFRCをRC梁の一部にU型に適用した場合の補強効果について，実験的に検討を行う予定である．

参考文献

1) 高靭性セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会: 高靭性セメント複合材料を知る・作る・使う，高靭性セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会報告書，日本コンクリート工学協会，pp.1-10 (2002.1).
2) 宮野勇太，渡部憲: 再生骨材を使用した高流動高靭性コンクリートと鉄筋間の付着応力ーすべりモデル，コンクリート工学年次論文集，Vol.44，No.1，pp.898-903 (2022.7).
3) 小林一輔: 繊維補強コンクリートー特性と応用ー，オーム社，pp.54-59 (1981.6).
4) JCI規準: 繊維補強セメント複合材料の曲げモーメントー曲率曲線試験方法(JCI-S-003-2007)，コンクリート工学協会，8pp. (2007).
5) 鈴木慶大，Sukmin Kwon，西脇智哉，武田三弘: 繊維配向性が超高強度高靭性繊維補強セメント複合材料の引張性能に与える影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.37，No.1，pp.1129-1134 (2015.6).
6) 土木学会: コンクリート標準示方書[規準編]平成11年度版，JSCE-G552 繊維補強コンクリートの曲げ強度及び曲げタフネス試験方法，pp.217-219 (1999.11).
7) 渡部憲，佐藤史康，三浦康彰，渋谷恒太: 各種細骨材を使用した高靭性セメント複合材料の引張軟化挙動，コンクリート工学年次論文集，Vol.32，No.1，pp.287-292 (2010.7).
8) 渡部憲，大岡督尚，白都滋，加藤雄介: 再生細骨材を使用した高靭性セメント複合材料の圧縮破壊挙動，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，No.1，pp.485-490，(2006.7).
9) 国立研究開発法人建築研究所: 実験データベースを用いた鉄筋コンクリート造部材の構造特性評価式の検証(2020年版)，建築研究資料，No.197 (2020.3).
10) DIANA User's Manual参照: https://manuals.dianafea.com/d109en/index-en.html，DIANA FEA BV，(閲覧日: 2026年5月1日).
11) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 2024，p.8 (2024.12).
12) Nakamura. H, Higai. T: Compressive Fracture Energy and Fracture Zone Length of Concrete，Seminar on Post-Peak Behavior of RC Structures Subjected to Seismic Loads，pp.259-272 (1999.10).
13) Selby, R.G., and Vecchio, F.J.: Three dimensional Constitutive Relations for Reinforced Concrete. Tech. Rep. 93-02, Univ. Toronto (1993).
14) Vechio, F.J. and Collins, M.P.: Compression Response of Cracked Reinforced Concrete, ASCE, pp.3590-3610 (1993).
15) CEB: CEB-FIP MODEL CODE1990, Thomas Telford, pp.33-58, 82-86 (1993).
16) 大岡督尚，橘高義典，渡部憲: コンクリートの破壊パラメータに及ぼす短繊維混入および材齢の影響，日本建築学会構造系論文集，第529号，pp.1-6 (2000.3).

東海大学紀要建築都市学部
Vol.5, No.1, 2026, pp. 23-27
DOI: 10.18995/27587843.5-1.23

論　文

小規模土留め壁における切梁本数の違いに着目した実大実験と数値解析

王　利超*1，藤原　覚太*2

Full-Scale Experiments and Numerical Analysis Focusing on Differences in the Number of Struts in Small-Scale Earth Retaining Walls

by
Lichao WANG*1 and Kakuta FUJIWARA*2

(Received on May. 29, 2026 and accepted on Aug. 27, 2026)

Abstract

Braced retaining walls are commonly used in small-scale excavations with depths of approximately 1–3 m to prevent ground collapse. Although many studies have focused on large-scale excavations, the structural behavior of retaining walls in small-scale excavations has not been sufficiently clarified. In particular, the influence of the number of struts on the member forces of sheet piles, struts, and walers remains unclear. In this study, full-scale excavation experiments were conducted in Kanto loam ground with an excavation depth of 1.3 m. Two cases were examined: a retaining wall with one strut placed at the center of the excavation length and a retaining wall with two struts. The bending stresses of the sheet piles, axial forces in the struts, and bending stresses in the walers were measured. In addition, three-dimensional finite element analyses were performed using PLAXIS 3D under the same ground and excavation conditions. The experimental results showed that reducing the number of struts from two to one increased the axial force acting on each strut. The bending behavior of the walers also changed depending on the strut positions, and the sign and distribution of bending stress differed between the one-strut and two-strut cases. The numerical analyses indicated that the maximum bending stress of the sheet piles was not significantly affected by the number of struts, whereas the axial force of the struts and the bending stress of the walers were clearly influenced by the strut arrangement. Although some differences were observed between the experimental and numerical values, mainly due to the installation conditions of the struts and contact conditions between members, the main tendency of the structural behavior was generally reproduced. These results indicate that the number and arrangement of struts should be considered when evaluating the member forces of braced retaining walls in small-scale excavations.

Keywords**:** *small-scale excavation, member force, numerical analysis, earth retaining wall with beam*

1. はじめに

都市の地下空間施設の更新・維持管理に伴い，深さ1-3m 程度の小規模な掘削が頻繁に行われている．深度 3 メートル以下の小規模な掘削では，通常土砂崩れ防止のために切梁付土留め壁が使用されることが多い．深度 3 メートルを超える大規模掘削については多数の研究が行われているが [1), 2)]，小規模掘削については依然として研究が不十分で，現場計測データも乏しい．しかし小規模掘削であっても地盤崩壊や事故が生じる可能性があるため，その挙動は無視できない．そして工事数も多いことから，軽度であっても被災リスクは高いと考えられる．

そこで筆者らは，小規模掘削における切梁式土留め壁の構造挙動を明らかにするため，関東ローム地盤において掘削深度 1.3 m の実大実験を実施し [3), 4)]，矢板・切梁・腹起しの部材力を計測してきた．さらに，実測された矢板の曲げ応力，切梁軸力，腹起し曲げ応力に対して，有限要素解析コード PLAXIS 3D を用いた再現解析を行い [5)]，一定の再現精度を確認した．

しかしながら，既報の検討は切梁を 2 本配置した標準的な構造仕様に限定されており，切梁本数の違いが部材力分布や構造全体の挙動に及ぼす影響については未検討であった．実務設計においては，掘削延長や施工条件に応じて切梁本数を減じる場合も想定されるが，その際の安全性や変形モードの変化に関する知見は乏しい．

そこで本報では，切梁を中央 1 本のみ配置したケース（以下，1 本梁ケース）と従来の 2 本配置したケース（以下，2 本梁ケース）を対象に実大掘削実験を実施し各部材の応力を計測する．その後、同地盤条件・同構造に対して有限要素解析コード PLAXIS 3D を用いて，三次元数値解析を実施し，実験値との再現精度を確認する．その後、切梁本数の相違が矢板・切梁・腹起しの各部材力に与える影響を比較検討する．

*1　東海大学大学院総合理工学研究科
*2　東海大学建築都市学部土木工学科講師

2. 実大実験

2.1 実験条件

切梁付土留め壁は，Fig. 1 に示すアルミ製軽量矢板，鋼製切梁，およびアルミ製腹起しから構成される．各構造物の寸法と物性値は Table 1（カッコ内は断面欠損した値）に示す．計測精度を確保するため，切梁および腹起しの計測位置付近を断面欠損させ，局所的に断面性能を減少させた．実験ケースは 1 本梁ケースと 2 本梁ケースがある．1 本梁ケースは掘削延長中央に切梁 1 本のみを配置し，2 本梁ケースは腹起しの両側に切梁を配置した（Fig.3 参照）．

Fig. 2, 3, 4 にそれぞれ，切梁式土留め壁の断面図，側面図を示す．Fig. 2 に示すように地盤は深さ 0.7m までの黒土層と 0.7m 以深の赤土層から構成されている．また地下水は確認されなかった．掘削寸法は幅 0.9m，深さ 1.3m，奥行 1.8m であり，掘削空間の両側に矢板を人力で打ち込んだ．矢板頭部付近には腹起しを設置し，その間に，矢板頭部から 15cm の位置に 2 本の切梁を配置した．Fig. 2, 3, 4 に示す位置（赤い印）にて，Line A と Line B にわたり，矢板の曲げひずみ，切梁の軸ひずみ，腹起しの曲げひずみを計測した．

当初掘削した段階，すなわち幅 0.9m，深さ 1.3m，奥行 1.8m の空間を掘削しただけでは，関東ロームの強度が高く地盤が自立し，有意な計測結果を得ることができなかった．そこで，Fig. 2 に示す範囲の土を掘り起こし，黒土および赤土を混ぜた混合土を再度埋め戻した。これにより地盤は乱され，矢板に対して土圧が生じ，次節に示す有意な計測結果を得ることができた[6), 7)]．

対象地盤については，事前に室内物性試験を実施している．一面せん断試験より，粘着力は黒土 29.8kN/m^2，赤土 36.3kN/m^2，混合土 18.3kN/m^2，内部摩擦角は 24.9°，22.9°，27.5°であった．また混合土についてはさらに多くの物性試験を実施しており，圧密試験により圧縮指数は 1.14，膨潤指数は 0.08 が得られている．ほか，最大乾燥密度 0.75g/cm^3，最適含水比 85%，自然含水比 80%，締固め度 82%，土粒子密度 2.55g/cm^3，透水係数 2.16×10^{-6} m/s であった．

Table 1　構造部材の寸法と物性値

項目	矢板	切梁	
製品	HAY3825N-1.5	HKS60-100C	
製造会社		株式会社ホーシン	
断面積 A (m^2)	5.96×10^{-3}	4.56×10^{-4} (2.28×10^{-4})	2.3
長さ L (m)	1.5	0.6 – 1.0	
二次モーメント I (m^4)	1.18×10^{-6}	1.18×10^{-7}	2.1
断面係数 Z (m^3)	6.24×10^{-5}	4.86×10^{-6}	5.7
質量 M (kg)	24.8	10.6	
ヤング率 E (kN/m^2)	6.86×10^{7}	2.05×10^{8}	
許容曲げ応力度 σ_{ba} (kN/m^2)	1.73×10^{5}	—	



Fig. 1 切梁付土留め壁

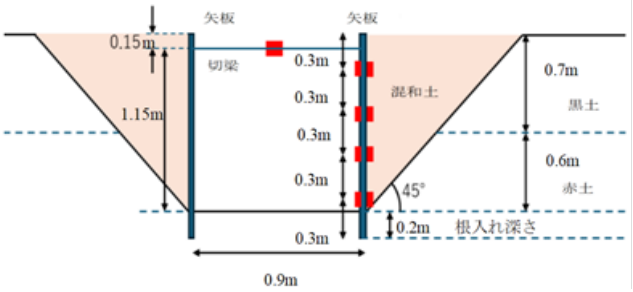


Fig. 2 断面図

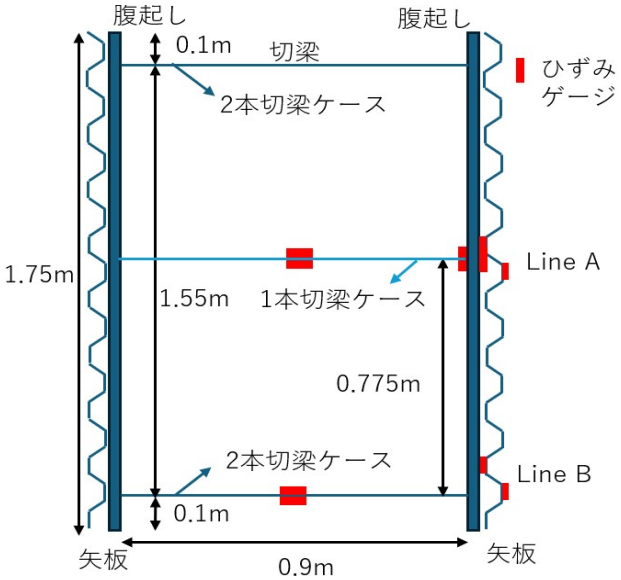


Fig. 3　平面図

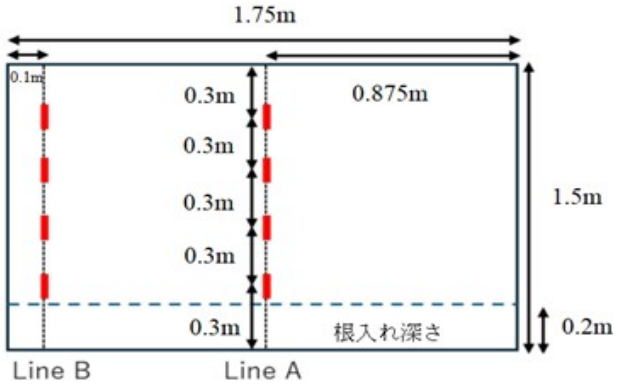


Fig. 4　側面図

2.2　実験結果

矢板の曲げひずみ分布を Fig. 5, 6 に示す．正のひずみは掘削側への凸変形，負のひずみは背面側への凸変形（逆曲げ）に対応する．両ケースともに，全体の曲線を見ると、深さ 60cm 以深で正の曲げひずみが支配的となり，深度とともに増大して深さ 90cm で最大値に達し，その後深部に向かって減少する曲げ変形モードを示した．これは，上端は切梁，下端は地盤に支持された単純梁の変形モードに近い．矢板上部は切梁や腹起しにより固定されていることから，負の曲げひずみ（逆方向の曲げ）も確認された．

1 本梁ケースと 2 本梁ケースを比較すると，1 本梁ケースの方が曲げひずみの最大値は大きくなった．これは実験時に，2 本梁ケースから 1 本梁ケースに移行する際，切梁の拘束を解放したため，一時的に矢板には大きな応力が発生し，その応力が残存したためと考えられる．実験手順については再考を要する結果である．

それぞれのケースに対して Line A と B について，わずかに差異が見られた．これに対する統一的な見解は困難であるが，切梁の設置位置や土圧の荷重条件が，両 line では異なっており，これらが複合的に寄与したものと考えられる．

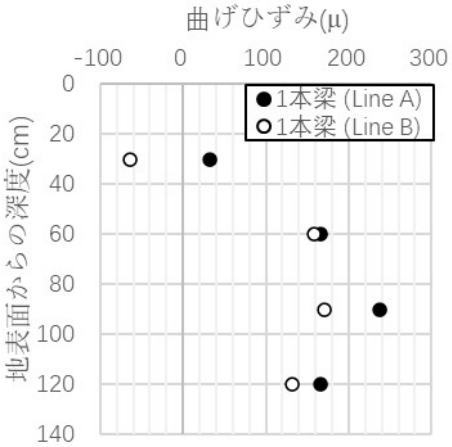


Fig. 5　矢板の曲げひずみ（1 本梁ケース）

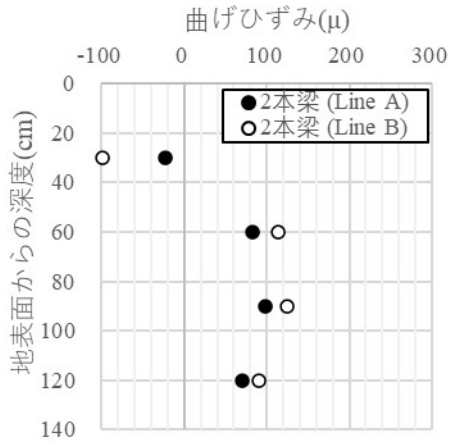


Fig. 6　矢板の曲げひずみ（2 本梁ケース）

切梁 1 本あたりの軸力は，2 本梁ケースの 3.2 kN に対し，1 本梁ケースでは 9.4 kN と約 2.9 倍に増加した．単純な荷重分担からは，本数半減により 1 本当たりの軸力は 2 倍となると予想されるが，実験ではこれを上回る増加率を示した．これは切梁設置時の締め付け加減により軸力に差異が生じたためと考えられる．

腹起しの曲げ応力については，正の値を背面側へ凸となる曲げ，負の値を掘削側へ凸となる曲げとして整理した．中央部（y=0.9 m）での曲げ応力は，1 本梁ケースで 6,892 kN/m²，2 本梁ケースで -19,010 kN/m²であり，いずれも許容応力度 173,000 kN/m²を大きく下回った．このように両ケースで符号が異なったのは，1 本梁ケースでは計測点が切梁位置と一致するのに対し，2 本梁ケースでは計測点が 2 本の切梁間の中央に位置し，腹起しの曲げ変形状態が異なるためである．

矢板・切梁・腹起しの，すべての部材力は，許容値を十分に下回っており，本実験条件では，構造が安定していることを確認した．

3. 数値解析

3.1　解析モデル

有限要素解析ツール PLAXIS 3D を用いて数値解析を実施する．解析モデルの基本寸法を Fig.7 に示す．境界条件は，モデル底面において全方向 x,y,z 変位を固定し，側面において法線方向変位のみを拘束した（x 軸に直交する面の x 方向変位，および y 軸に直交する面の y 方向変位）．掘削幅は 0.9m，掘削長は 1.8m，掘削深度は 1.3m である．矢板は，実大実験と同様に有効幅 250 mm の矢板を 7 枚並列配置し，それぞれを独立した板要素としてモデル化した．解析ケースは，実大実験と対応させた次の 2 ケースとした．ケース 1 は掘削延長中央（y = 0.9 m）に切梁 1 本のみを配置し，ケース 2 は，y = 0.45 m および y = 1.35 m の位置に 2 本の切梁を配置した．

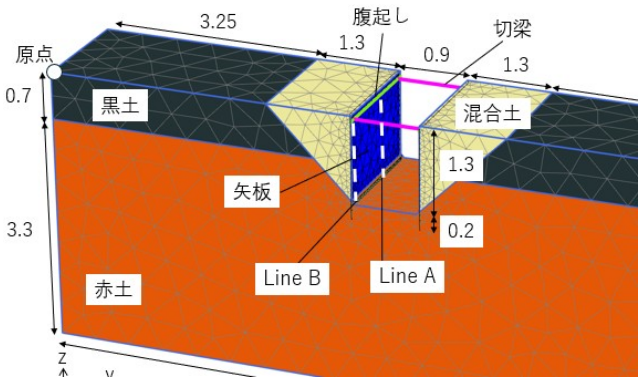


Fig. 7 解析モデル（2 本梁ケース）（単位：m）

3.2　地盤および構造部材の物性値

解析入力値（地盤・構造部材）を Table 2 と Table 3 に示す．地盤は表層から黒土（層厚 0.7 m），赤土（0.7 m 以深），および掘削後に埋め戻した混合土の 3 層で構成さ

れる．本解析では混合土に修正カムクレイモデルを適用した．地盤物性は別途実施した室内物性試験結果から得た．黒土および赤土にはモール・クーロンモデルを，混合土には修正カムクレイモデルを適用した．黒土および赤土は掘削前から存在する原地盤であり，本解析では主に矢板周辺および根入れ部の支持地盤として機能する．そのため，室内一面せん断試験から得られた粘着力，内部摩擦角，およびヤング率を用いて，基本的な強度特性を表現できるモール･クーロンモデルを適用した．一方，混合土は掘削後に埋め戻した地盤であり，矢板に作用する土圧に直接関係する部分である．本研究の掘削深度は 1.3 m と浅く，混合土に作用する拘束圧が低いため，粘着力の設定が解析結果に与える影響が相対的に大きくなる．そのため，混合土については，粘着力に直接依存するモール・クーロンモデルではなく，圧縮指数，膨潤指数，限界状態応力比に基づいて低拘束圧下の弾塑性挙動を表現できる修正カムクレイモデルを適用した．圧縮指数および膨潤指数 は e-log p 曲線から求め，限界状態応力比は内部摩擦角から換算した値である．地盤のヤング率 E は，室内一面せん断試験の結果に基づき，垂直応力 49 kN/m² におけるせん断応力とせん断変位関係から，基準せん断ひずみ 0.1%におけるせん断剛性を評価した [8]．その後，せん断剛性が垂直応力の平方根（0.5 乗）に比例すると仮定した Hardin 型式を用いて [9]，深さ 0.7m での拘束圧に対応するヤング率を推定した．

構造部材（矢板・腹起し）は線形弾性体とし，実験中に降伏していないことから塑性は考慮していない．矢板と地盤の間にはインターフェイス要素があり，滑りや剥離が表現できる．切梁については，圧縮力のみを伝達し，重量が無視できる弾性バネ要素としてモデル化した．

Table 2　解析入力値（地盤）

項目		黒土	赤土	混合土
単位体積重量 (kN/m³)	γ_t	10.9	10.9	10.9
ポアソン比	ν	0.33	0.33	0.33
初期間隙比	e_0	3.1	3.1	3.1
ヤング率 (kN/m²)	E	28355	34300	26171
粘着力 (kN/m²)	c	29.8	36.3	18.3
内部摩擦角 (°)	φ	24.9	22.9	27.5
圧縮指数	λ			1.14
膨潤指数	κ			0.08
限界状態応力比	M			1.09

Table 3　解析入力値（構造部材）

項目	矢板	切梁	腹起し
ヤング率 (kN/m²)	6.86×10^{7}	2.05×10^{8}	6.86×10^{7}
ポアソン比	0.33		0.33
単位体積重量 (kN/m³)	6.39		26.5
断面積 (m²)	6.05×10^{-3}	4.56×10^{-4}	2.32×10^{-3}
断面二次モーメント (m⁴)	1.18×10^{-6}		2.17×10^{-6}

3.3　解析手順

解析手順は以下の通りである．まず初期地盤応力を算定した後，矢板・切梁・腹起しの構造部材を設置し，その後掘削（深度 1.3m）を模擬した．地盤は，黒土層（表層から 0.7m），赤土層（0.7m 以深），および掘削後に埋め戻した混合土層の 3 層から成る．2 本梁ケースで解析を実施したのち、1 本梁ケースに移行した．

3.4　解析結果および実験結果との比較

（1）矢板の曲げ応力分布

Fig.8 および Fig.9 に，1 本梁ケースおよび 2 本梁ケースにおける矢板の曲げ応力深度分布を示す．図中には解析値と実験値を併記した．正の値は掘削側への凸変形に対応する．

1 本梁ケースでは，解析結果において Line A，Line B ともに深さ 0.6 m 以深で正の曲げ応力が支配的となり，深さ 0.8～0.9 m 付近で最大値を示した．最大曲げ応力は Line A で約 9,300 kN/m²，Line B で約 9,860 kN/m² であり，両 Line の差は小さかった．一方で解析結果は実験結果を過小評価しており、実験・解析の両精度について今後の検討が必要である．

2 本梁ケースでは，解析結果では深さ 0.6 m 以深で正の曲げ応力が支配的となり，深さ 0.8～0.9 m 付近で最大値を示した．最大曲げ応力は Line A で約 9,200 kN/m²，Line B で約 9,500 kN/m²であり，両 Line の差は小さかった．実験結果においても，同様に深部で正の曲げ応力が卓越する傾向が見られた．解析結果は実験結果を概ね良好に評価することができた．

（2）切梁の軸力

切梁 1 本に発生する軸力は，解析では 2 本梁ケースで 1.77 kN，1 本梁ケースで 3.58 kN であった．一方，実験では 2 本梁ケースで 3.2 kN，1 本梁ケースで 9.4 kN であった．実験値，解析値のいずれにおいても，切梁本数を 2 本から 1 本に減らすことで，切梁 1 本当たりの軸力が増加する傾向が確認された．ただし，解析値は実験値より小さくなった．この要因として，本構造の施工時に，切梁は矢板を支えるため若干のプレストレスを与えるが，解析においてはこれを評価できなかったためと考えられる．

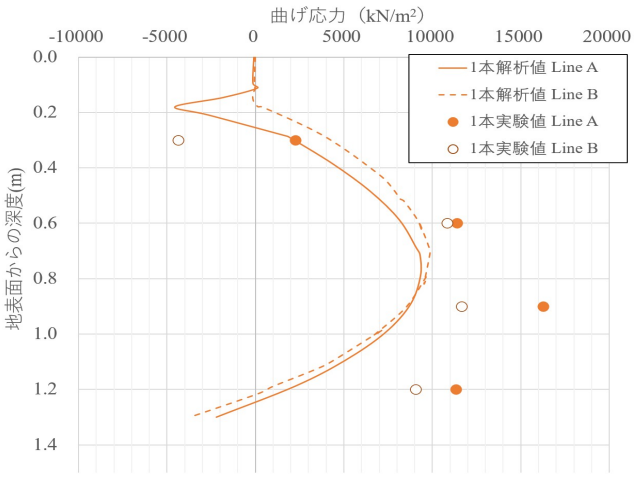


Fig. 8　矢板曲げ応力の深度分布（1 本梁ケース）

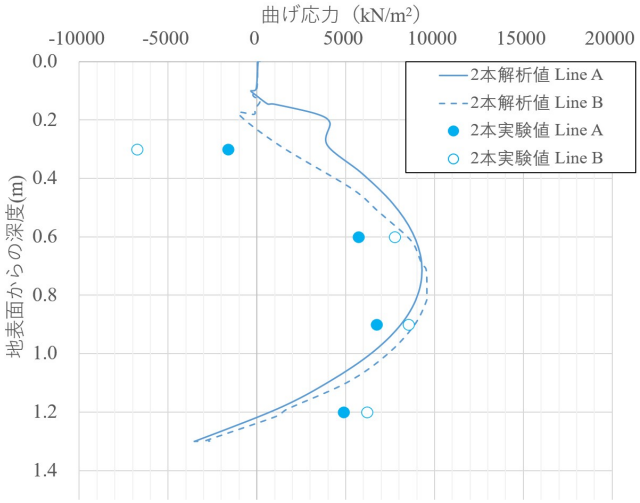


Fig. 9 矢板曲げ応力の深度分布（2 本梁ケース）

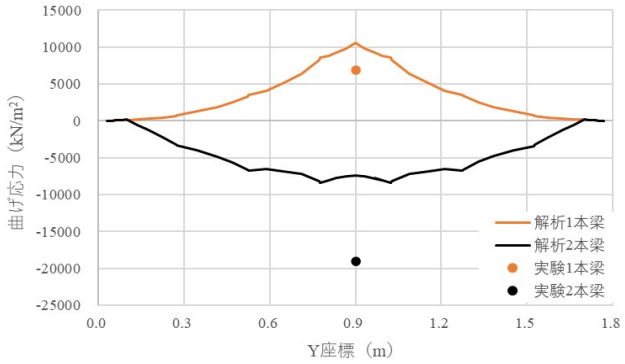


Fig. 10 腹起しの曲げ応力分布

（3）腹起しの曲げ応力分布

Fig.10 に，腹起し中央部における曲げ応力の y 軸方向分布を示す．図中には解析値と実験値を併記した．解析値と実験値を比較すると、正負については正しく評価しているが、定量的には差異が見られる結果であった。

4. 結論

本報では，小規模掘削における切梁付の土留め壁(切梁が 1 本と 2 本)に対して，実大実験およびその再現数値解析を実施した．得られた主要な知見を以下に示す．

1) 実大実験では，不攪乱状態の関東ローム地盤では 1.3 m の掘削後も地盤が自立し，有意な部材力は得られなかった．そこで地盤を乱して埋め戻すことで土圧が作用し，矢板，切梁，腹起しに有意な部材力が確認された．

2) 矢板の曲げ応力については，実験および解析のいずれにおいても，上端と下端により支えられた単純梁の挙動を示し、深さ 0.8～0.9 m 付近で最大値を示す傾向が確認された．

3) 切梁の軸力については，実験および解析のいずれにおいても，切梁本数を 2 本から 1 本に減らすことで，切梁 1 本当たりの軸力が増加した．切梁本数を低減する場合には，切梁 1 本当たりの負担増加を考慮する必要がある．

4) 腹起しの曲げ応力については，実験および解析のいずれにおいても，1 本梁ケースと 2 本梁ケースで曲げ変形の方向が逆となった．

5) 解析精度について，各部材の全体的な変形挙動は再現できたものの，定量的には部分的に課題がのこる結果となった。今後、実大実験の実施方法（解析で追跡できないような施工手順），数値解析モデル（地盤へのカムクレイモデルの適用，切梁へのバネモデルの適用）の見直しが必要である．

参考文献

1） Finno, R. J. and Harahap, I. S.: Finite element analyses of HDR-4 excavation, Journal of Geotechnical Engineering, Vol.117, No.10, pp.1590-1609(1991).

2） Wang, Z. W., Ng, C. W. W. and Liu, G. B.: Characteristics of wall deflections and ground surface settlements in Shanghai, Canadian Geotechnical Journal, Vol.42, No.5, pp.1243-1254, (2005).

3） エンハクウ，藤原覚太：土の粘着力に着目した小規模掘削土留め壁の実大実験, 第 22 回地盤工学会関東支部研究発表会(2025)（口頭発表のみ）．

4） 孫墨凡，藤原覚太：小規模掘削での切梁付土留め壁の部材力に関する実大実験（その 1．実験条件と結果），第 61 回地盤工学研究発表会(2026)（発表予定）．

5） 王利超，藤原覚太：小規模掘削での切梁付土留め壁の部材力に関する実大実験（その 2．数値解析），第 61 回地盤工学研究発表会(2026)（発表予定）．

6） Takenaka, H., Yamazaki, F., Yasutomi, R., Tada, A. and Kaneda, K.: On the earth work of the Kanto loam volcanic ash soil — Relationships between the soil condition and the traction performance of tractor, Transactions of The Japanese Society of Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering, Vol.1965, No.14, pp.71-76(1965).

7） Shimizu, E.: Research on the soil road of the Kanto loam: On the change of the engineering characteristics of soil due to kneading stress, and the method for its stabilization, Transactions of The Japanese Society of Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering, Vol.1965, No.14, pp.77-83 (1965).

8） Burland, J. B.: “Small is beautiful”: The stiffness of soils at small strains, Canadian Geotechnical Journal, Vol.26, No.4, pp.499-516(1989).

9） Hardin, B. O. and Richart, F. E. Jr.: Elastic wave velocities in granular soils, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol.89, No.1, pp.33-65(1963).

東海大学紀要建築都市学部
Vol.5, No.1, 2026, pp. 28-35
DOI: 10.18995/27587843.5-1.28

論　文

ラーニング・コモンズにおける視線領域・動線と学生の行動・滞留時間との関係について
―明治大学和泉キャンパスラーニングスクエア２階を対象として

馮　雨田*1，岩崎　克也*2

Relationships between Visibility Zones, Circulation, Student Activities, and Dwell Time in a Learning Commons― A Case Study of the Second Floor of Learning Square at Meiji University Izumi Campus

by

Yutian FENG*1 and Katsuya IWASAKI*2

(Received on May. 20, 2026 and accepted on Sep. 22, 2026)

Abstract

This study aims to clarify the actual usage of a university learning commons and examine the relationship between spatial characteristics and users' behavior and dwell time. The learning commons on the second floor of Learning Square at Meiji University's Izumi Campus was selected as the research site. Continuous video observations were conducted using five cameras installed in the space, and users' movement paths, activities, and dwell time were recorded. In addition, gaze areas and movement flows were visualized, and usage patterns, behaviors, and dwell time in each seating area were analyzed in relation to the spatial configuration.

The results indicate that passage use was frequently observed, suggesting that the space tends to function as a circulation route. Study activities with relatively longer dwell time were often observed at counter seats, whereas conversation activities were more common at large tables and regular table areas.

***Keywords*:** Learning Commons , Behavior , Dwell Time , Visibility ,Spatial Configuration

1. はじめに

近年，教育環境の変化に伴い，学修空間が教育に及ぼす影響は一層顕著となっている．学生中心の学修においては，学修時間の相当部分を教室外のラーニング・コモンズで過ごすことが予想される[1)]．こうした背景から，学生の自主的な学修およびコミュニケーションを促進する空間のあり方が，従来以上に重要視されるようになっている．このように，役割が拡大する中で，大学キャンパスは学修の場であると同時に，日常的に多目的な利用が行われる空間である[2)]．したがって，ラーニング・コモンズにおける多様な活動を支える上で，空間特性の把握が重要だと考えられる．

先行研究として夏目らは[3)]，複数の大学のラーニング・コモンズを対象とした実験を通して，座席選択に影響を与える要因を検討している．その結果，視認性と領域性が重要な要素であると指摘している．視認性が低く領域性が高い空間では，他者の視線を気にせず，集中やリラックスがしやすい．一方，視認性[注1]が高く領域性[注2]が低い空間では，「見る・見られる」という関係が生じ，他の学生から刺激を受けやすい環境になると述べている．これらの知見から，視認性・領域性は，座席選択や学習行動に関わる重要な空間要因と考えられる．ただし，夏目らの座席選択に関する知見はシミュレーション実験に基づくため，通過動線を伴う実空間における，空間接触面からの視認性および主要動線と，自然発生的な利用者行動･滞留時間との対応関係には,なお検討の余地がある．

利用者は空間への入室時には，内部の構成やインテリア配置が一望でき，利用者は空間全体の特徴を瞬時に把握することができる[4)].その結果,利用者は入室時点で,各エリアに対する初期的な座席選好を形成する.その後,歩行によって空間内を探索しながら，具体的な座席を選択していく．さらに，利用者が空間内で形成する動線に加え，出入口や縦動線（階段，エレベーター，エスカレーター）など空間側の動線特性もまた，利用者の行動や滞留時間に影響を及ぼすことが確認されている[5)]．

そこで本研究では，通過機能と滞留機能が重なる実在のラーニング・コモンズを対象に，一日連続のビデオ観察により利用者の動線・行動・滞留時間を記録する．さらに，視線領域，主要動線，行動および滞留時間を一体

*1　東海大学総合理工学研究科博士課程
*2　東海大学建築都市学部建築学科教授

的に分析し，エリアごとの対応関係を明らかにすることを目的とする．

2. 研究対象

本研究では，明治大学和泉キャンパスラーニング・スクエア（以下 LS）2 階のラーニング・コモンズを研究対象とする．LS は，利用者の多様なアクティビティを促進することを目的として設計された施設であり[注3]，視線の抜け・遮蔽，複数のラーニング・コモンズの配置など，空間要素が複合する特徴をもつ．その結果，場所によって空間接触面から視認されやすさに差が生じ，視線領域の特徴が表れやすい構成となっている．

とくに LS には，5.1 節で定義する閉鎖的な視線領域が存在し，パブリックな空間のなかに局所的なプライベート性が形成される．このような視線領域の特徴は，座席選択や滞留行動と関係性がある可能性がある．また，LS は設計段階で海外の学習空間に関する調査を踏まえて計画されたとされ，多様なタイプのラーニング・コモンズが内部に配置されている．これにより空間構成の多様性と機能性が高く，視線・動線環境と利用者行動や滞留時間との関係を分析する対象として適している．

2 階フロアには，カウンター席，多人数テーブル席，テーブル席など複数のタイプのラーニング・コモンズが配置され，座席数が多く利用形態も多様である．本研究では，これらの特徴が最も明確に表れる 2 階フロアを対象として実態調査および分析を行う．

2.1 空間構成の概要

本研究で対象とする LS2 階のラーニング・コモンズ向けには，テラス側 2 か所，教室側 1 か所，屋内階段接続 2 か所，エスカレーター接続 2 か所，外部渡り廊下付近 1 か所の，計 8 か所の出入口が配置されている．また，当該フロアには 6 つの教室が配置されており，授業間移動が頻繁に発生する構成となっている．（Fig. 1）

内部空間には Fig. 2 に示すように 3 種類のラーニング・コモンズが配置されている．

A 多人数テーブル席は 13 席が設けられ，大型テーブルを中心に複数人での利用を想定した構成であり，教室や主要動線に近接している．

B テーブル席は 5 台のテーブルに計 15 席が配置されており，こちらも教室や主要動線に近い位置にある．

C カウンター席は 9 席が設けられ，主要動線から離れた位置に配置されている．

これら A〜C の三つのエリアは，位置関係や利用形態が異なるため，利用者の行動・滞留時間を整理する際の空間区分として設定したものである．

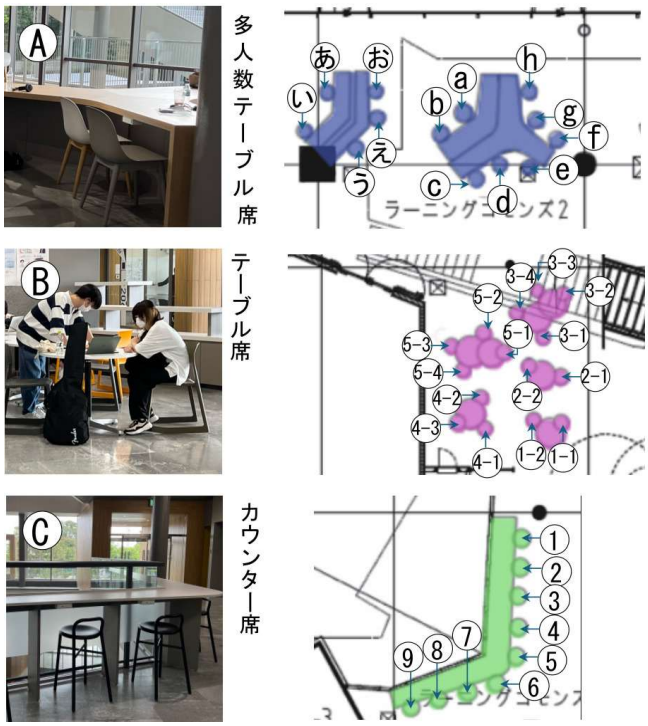


Fig. 2　座席の番号と写真

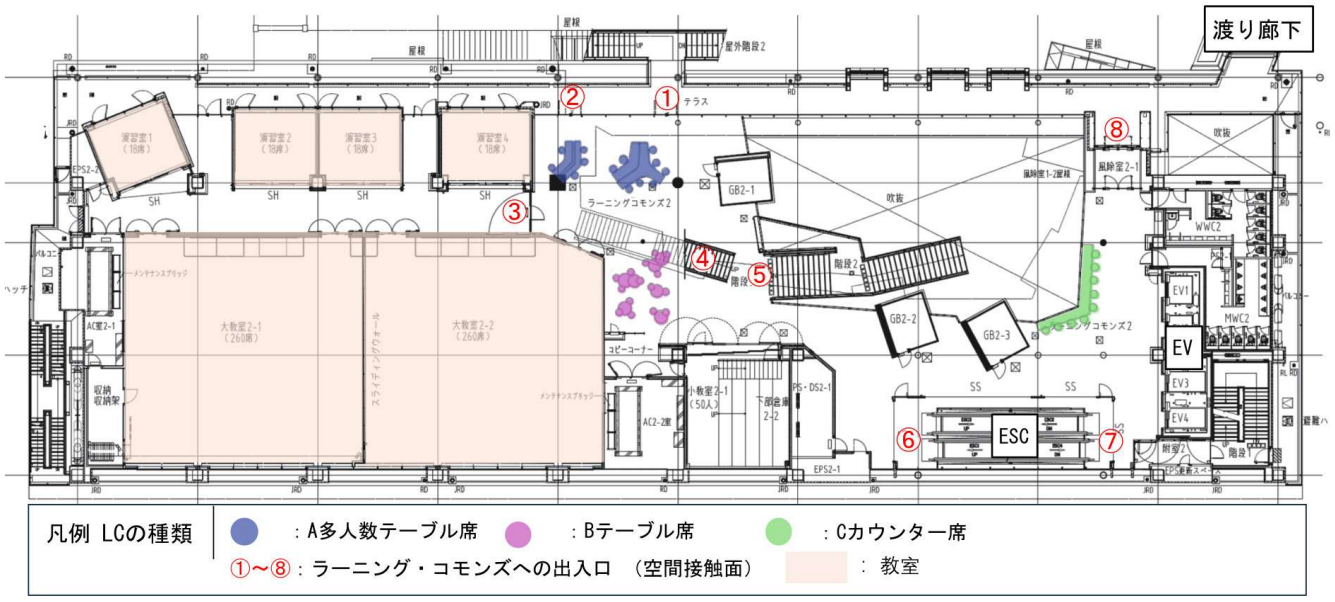


Fig. 1　ラーニング・コモンズの座席の種類と出入口

3. 調査方法

本研究では，LS における利用者の行動と滞留時間を把握することを目的として，2 階に計 5 台のビデオカメラを設置し，利用者行動の連続的な記録を行った．カメラの設置位置は，縦動線，ラーニング・コモンズ周辺，および空間利用が集中するエリアに配置した．(Fig. 3)

本研究で扱う「行動」とは，学修，会話，食事，休憩，待ち合わせの 5 種類の行動を指す．

調査は 2023 年 6 月 27 日の 9:00〜17:20 に実施した．取得した映像データから，利用者の動線，行動，滞留時間を抽出し，可視化した上で分析を行った．

なお，使用した映像データは匿名性のあるデータとして明治大学が公開用に解像度を調整したものであり，個人情報保護の観点から，人物の特定が不可能な画質（顔が識別できないレベル）を使用した．

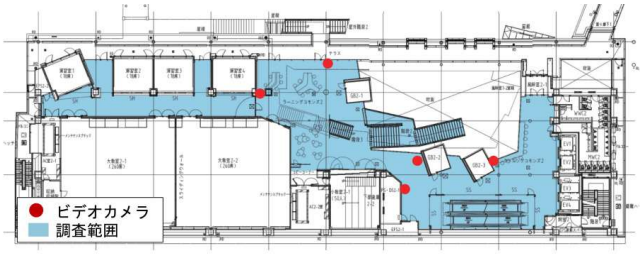


Fig. 3　調査範囲とカメラ配置

4. 分析

4.1　利用者数の集計による結果

4.1.1 利用者通過数の集計結果

本研究では，LS2 階に設置した 5 台のビデオカメラの映像から，出入口および縦動線を通過した利用者の延べ通過数を算出した．ここでいう「利用者数」とは，映像上で確認された通過行動を 1 件としてカウントしたものであり，同一人物が複数回通過した場合は，それぞれ 1 件として記録される．これは空間の動線量を把握するための指標であり，座席利用者数（滞留者）とは区別して扱う．

調査期間（2023 年 6 月 27 日，9:00〜17:20）における総通過件数は 1,903 件 であった．表 1 に示すように，動線の利用量は時間帯により変動がみられ，授業開始前後や休み時間において通過数が増加する傾向が確認された．しかし，本研究は「一日を通した視線領域と動線・行動・滞留時間との関係性」を分析対象とするため，以降の分析では時間帯別データは基礎情報として扱い，全時間帯の合計値（1,903 件）を用いて考察を行う．(Table. 1)

Table. 1　２階利用者の延べ通過数（人）

時間	フロア内移動	縦動線			小計	総計
		屋内階段	EV	ESC		
9::00–10:40	51	63	4	34	152	1, 903人
10:40–11:50	58	159	0	56	273	
11:50–12:30	61	175	2	79	317	
12:30–13:30	63	137	8	171	379	
13:30–15:10	45	174	9	162	390	
15:10–15:20	41	34	7	46	128	
15:20–17:00	37	69	0	68	174	
17:00–17:10	28	40	2	20	90	
総計	384	851	32	636	1903	

フロア内移動：トイレ、教室または座席間などの移動

4.1.2 座席利用者数の集計結果

本ラーニング・コモンズ座席利用者（滞留者）については，映像上で確認された着席行動を 1 件としてカウントし，各エリアの利用状況を整理した．その結果，座席利用者数は A 多人数（8 人）テーブル席：36 人，B テーブル席：40 人，C カウンター席：33 人である．

これらの座席利用者数は，4.1.1 節で示した動線量（1,903 件）と比較すると顕著に少ない値である．これは，LS2 階には計 6 つの教室間移動のための主要通過動線として機能している一方で，着席を伴う滞留が限定的であることを示唆している．

本節で得られた座席利用者数は，以降の章で扱う動線・視線領域が行動・滞留時間に与える影響を検討する際の基礎データとして位置づける．

4.2　行動の分析

本研究では，利用者の行動を「学修」「会話」「食事」「休憩」「待ち合わせ」に分類した．近年，学修は情報端末の普及により多様化しており，本研究の映像観察においても，使用する端末や媒体が異なることが確認された．そこで，本研究では学修を「パソコン」「スマートフォン」「本やノート」の 3 種類に細分して記録した．(Table. 2)

また，行動が同時に観察された場合には，観察可能な行動に基づき以下の優先順位を設定した．例えば，待ち合わせの後に会話を行い，その後食事をした場合は，優先順位の高い「食事」として集計し，本研究では以下の優先順位に基づいて分類を行った．

自習 ＞ 食事 ＞ 会話 ＞ 休憩 ＞ 待ち合わせ

Table. 2　行動の定義

行動	定義	観察可能な動作
学修（パソコン，スマートフォン，本やノート）	学習・資料閲覧・端末操作が主体となっている行動	教材・端末の使用，視線が資料・スクリーン方向に向く，ページめくり・タイピング等
食事	食事または飲料摂取が主体となっている行動	食べ物・飲料を手に持つ，口元への動作
会話	他者との対話が主体となっている行動	身体が相手に向き，口の動きや声の発声が認められること
休憩	学修・会話・食事以外の明確な行動を伴わず，リラックス・休憩している状態	座位で目を閉じる，身体が緩んだ姿勢
待ち合わせ	利用者が特定の場所に滞留しているものの，学修・会話・食事・休憩などの明確な行動が観察できない状態	座位で静止，身体動作が乏しい，スマートフォン操作

行動別に集計した結果，本研究で記録された 109 名の滞留者のうち，学修を目的とする利用者が最も多く（86 人），次いで会話を目的とする利用者が多かった（21 人）．

Fig. 4・5 よりカウンター席は学修を中心とした利用が多く確認された．一方，多人数テーブル席では会話が 8 人，テーブル席では会話が 11 人確認され，会話利用が相対的に多い傾向がみられた．

これらの結果は，各ラーニング・コモンズの種類が利用者の行動と一定の関係がある可能性を示している．本節で得られた行動データは，以降の章において，視線領域や動線がどのように利用者の行動に影響するのかを検討するための基礎情報となる．

エリア ＼ 行動別	学修 パソコン	スマートフォン	本やノート	会話	食事	休憩	待ち合わせ	総計
多人数テーブル席	14	10	2	8	2	0	0	36
テーブル席	13	15	1	11	0	0	0	40
カウンター席	17	12	2	2	0	0	0	33
総計	44	37	5	21	2	0	0	109
	86							

1~2人
3~5人
6~10人
11~15人
15~20人

Fig. 4　利用者数（エリア・行動別）

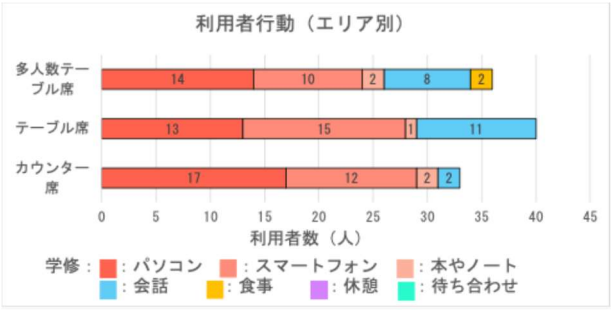


Fig. 5　利用者行動（エリア別）

4.3　滞留時間の分析

対象場所を利用する利用者の滞留時間を明らかにし，各ラーニング・コモンズにおける利用傾向の違いを把握することを目的とする．Table. 3 に示すとおり，カウンター席は平均滞留時間が 99.1 分と 3 エリアの中で最も長かった．テーブル席では，多人数利用やコミュニケーションを伴う利用が多く確認され，平均滞留時間は 79.3 分であった．また，テーブル席および多人数テーブル席では，短時間利用と長時間利用が混在する傾向がみられた．

さらに，各指標を比較すると，総滞留時間ではカウンター席（3,270 分）とテーブル席（3,170 分）が高く，エリア全体として長時間の利用が集中していた．標準偏差に着目すると，カウンター席は 109.5 分と最も変動が大きく，短時間利用と長時間利用が混在する特徴がみられた．一方，多人数テーブル席は 53.5 分と比較的ばらつきが小さく，滞留時間が安定した利用傾向が確認された．また，利用強度[注4]では，カウンター席が最も高値（363.3）を示し，1 席あたりの利用時間が特に長いエリアであることが明らかとなった．

Table. 3　滞留時間統計（エリア別）

エリア	多人数テーブル席	テーブル席	カウンター席
座席数（席）	13	15	9
平均滞留時間（min）	70.1	79.3	99.1
総滞留時間（min）	2524	3170	3270
利用者数（人）	36	40	33
標準偏差	53.5	67.7	109.5
利用強度	194.2	211.3	363.3
利用強度＝総滞留時間/座席数			

4.4　行動と滞留時間の構成の分析

Fig.6 に，座席別にみた滞留時間と利用者行動の構成を示す．本節では，この図をもとに，滞留時間と利用者行動の構成との関係について分析を行った．その結果，学

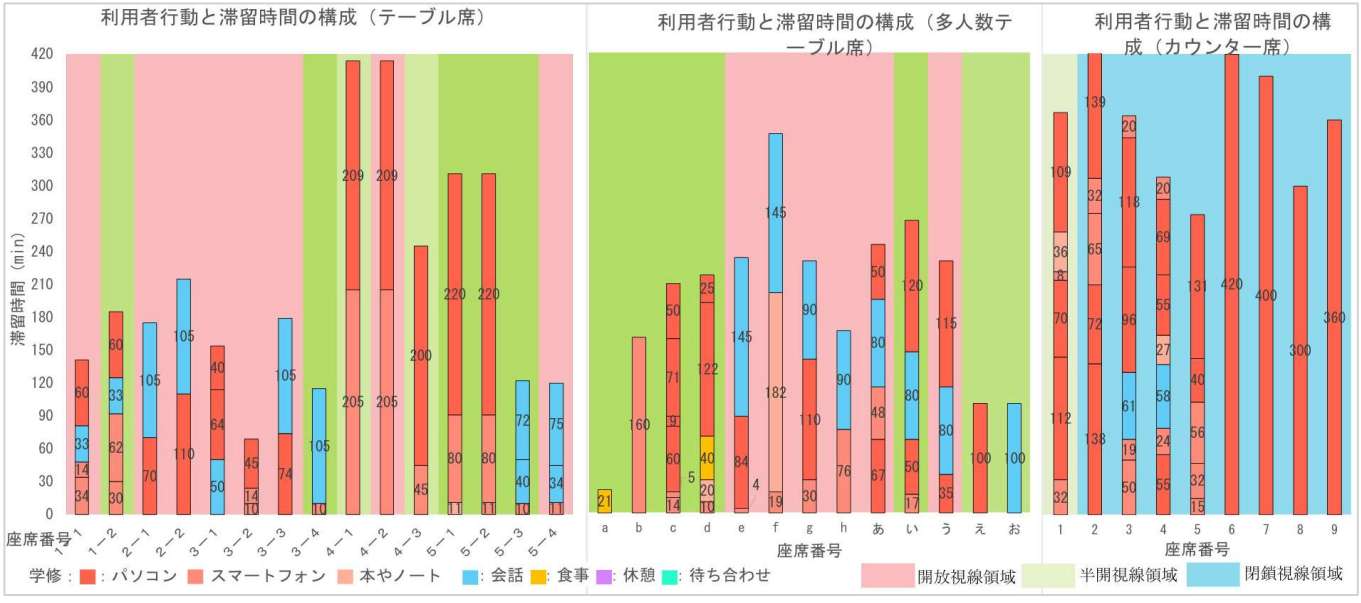


Fig.6　利用者行動と滞留時間の構成（座席別）

修行動（パソコン，スマートフォン，本やノート）を中心とする利用者ほど，滞留時間が長くなる傾向が確認された．とくにテーブル席では 200 分以上滞留する事例がみられ（Fig.6），カウンター席においては 300～400 分に及ぶ長時間滞留が多く確認された．(Fig. 6) 学修行動は，他者との相互作用を必要とせず，行為の連続性が高いことから，中断されにくい特徴を有している．このような行動特性が，滞留時間の延長に寄与している可能性が考えられる．

一方，会話や飲食といった非学修行動は，比較的短時間で完結しやすく，滞留時間は 40～150 分の範囲に収まる事例が多かった．とくに多人数テーブル席では，会話を目的とした利用が多く確認され，短時間滞留と長時間滞留が混在する傾向がみられた．（Fig.6）

以上より，学修中心の利用は滞留時間を延ばす傾向を示す一方，非学修中心の利用では滞留時間が比較的短くなる傾向が見られた．なお，Fig. 6 の凡例に示す三つの視線領域については，第 5 章で説明する．

5. 考察

5.1　視線領域の可視化と考察

対象空間における視認性を把握するため，空間接触面（空間の出入口）を基準として視線領域の可視化を行った．本研究では，対象空間に到達した時点で空間接触面から得られる見通し範囲と視認性の程度に着目し，視線領域と利用者の行動および滞留時間との対応関係について考察する．なお，ここでは移動による視線の変化は考慮しない．また，空間接触面から対象空間への視線を扱い，利用者本人の座席位置からの視界の良好性は分析対象としない．本研究では，著者らの既往研究 [7] を踏まえ，空間接触面からの視認性の程度により，視線領域を開放視線領域，半開視線領域，閉鎖視線領域として整理した．

Fig.7 より，各空間接触面の中央部に視点を設定し，柱，壁，家具，固定的な建築要素などの遮蔽物を抽出した．次に，視点から遮蔽物の端部まで補助視線を作成し，空間接触面から直接見通せる範囲を開放視線領域，補助視線により把握される遮蔽されていない範囲を半開視線領域とした．最後に，すべての空間接触面における開放視線領域および半開視線領域を重ね合わせ，いずれの領域にも含まれない部分を閉鎖視線領域とした．

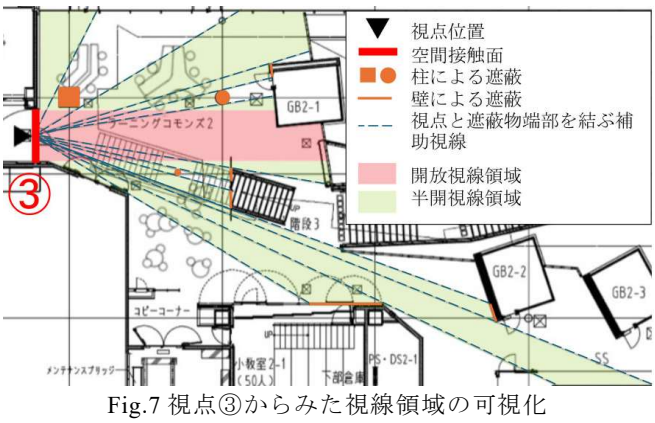


Fig.7 視点③からみた視線領域の可視化

本研究で用いる三つの視線領域の定義は，以下のとおりである．

1） 開放視線領域 : 外部空間との空間接触面から直線的に見通せる範囲であり，対象空間の深部まで視線が到達する領域．（Fig.8・9 ピンク色）

2） 半開視線領域 : 空間接触面の中点を中心に，左右各 90 度・計 180 度の範囲で視認可能な領域．開放視線領域に連続する周辺的な視線領域を示す．（Fig.8・9 緑色）

3）閉鎖視線領域 : 空間構成により視線が直接届かず，空間接触面から対象空間へ視線が直接届きにくい領域．（Fig.8・9 水色）

ここでは，これら三つの視線領域と利用者の行動および滞留時間との関係について検討する．開放視線領域と半開視線領域の重なりが大きい場所は屋内階段付近に位置し，空間接触面から視認されやすい．一方，閉鎖視線領域が生じる箇所はエレベーター付近に多く，空間接触面から直接視認されにくい．これらの視線特性の違いが，滞留行動や座席選択と関連する可能性がある．

Fig.6 では，各棒が一座席を示し，背景色は当該座席の視線領域を表す．色分けは Fig.8・9 と同一である．

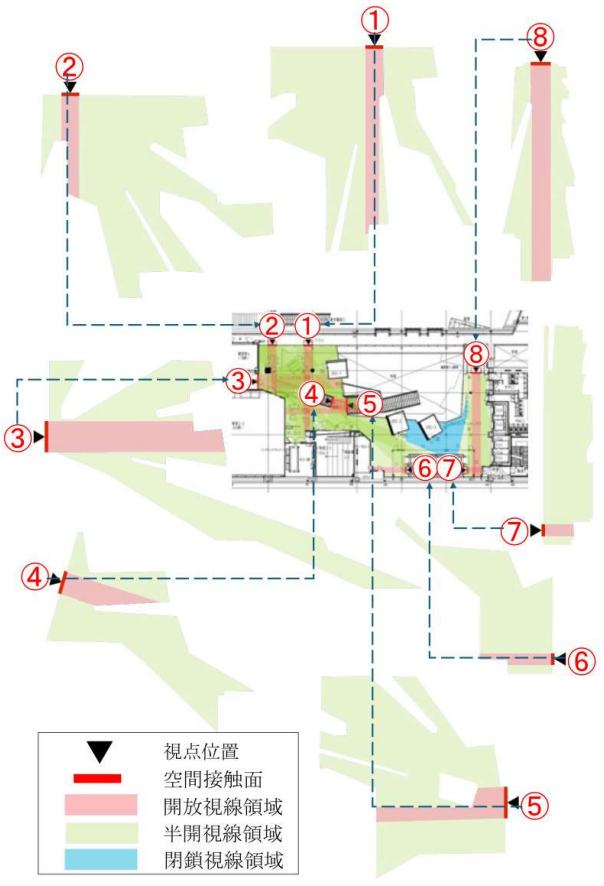


Fig.8　視線領域分解図

5.1.1　視線領域範囲と行動に関する考察

Fig.6 に示す座席別の行動分布と Fig.10 を比較すると，開放視線領域および半開視線領域に属する多人数テーブル席（22%）およびテーブル席（28%）では，会話を目的とした利用が相対的に多くみられ，半開視線領域

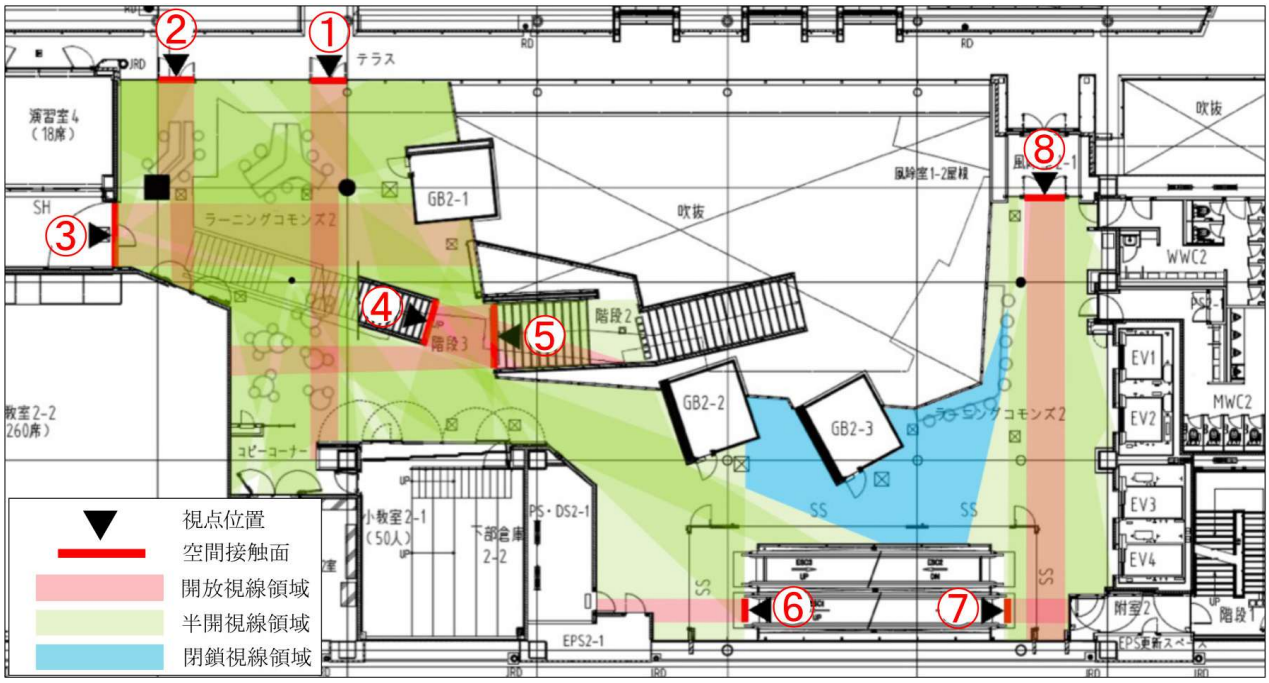


Fig.9　視線領域図

の重なりが大きいエリアでは会話利用がより高かった．一方，半開視線領域の重なりが小さいエリアでは，学修を目的とする利用が多いことが確認された．

閉鎖視線領域に属するカウンター席では学修（94%）利用が中心であり，会話（6%）利用は少なかった．このことから，空間接触面から直接視認されにくい位置関係が，カウンター席における学修利用の多さと対応していると考えられる．

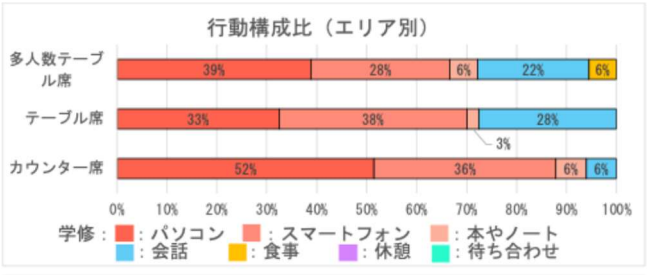


Fig.10　行動構成比（エリア別）

また，カウンター席においては，一人で学修を行う利用者ほど開放視線領域を避ける傾向がみられた．一方，多人数テーブル席およびテーブル席では，利用者は接触面からの視認性の差異を必ずしも座席選択の基準としていない可能性が示唆される．

5.1.2　視線領域範囲と滞留時間に関する考察

Fig.6 に示す座席別の滞留状況と Fig.11 をみると，開放視線領域に位置する多人数テーブル席およびテーブル席では，閉鎖視線領域に位置するカウンター席と比較して滞留時間が短い傾向がみられた．一方，閉鎖視線領域に属するカウンター席では滞留時間が最も長く，利用強度も高かった．

このことから，空間接触面から直接視認されにくく，他者の視線が重なりにくい位置関係は，カウンター席における学修利用，長時間滞留および高い利用強度と対応していると考えられる．

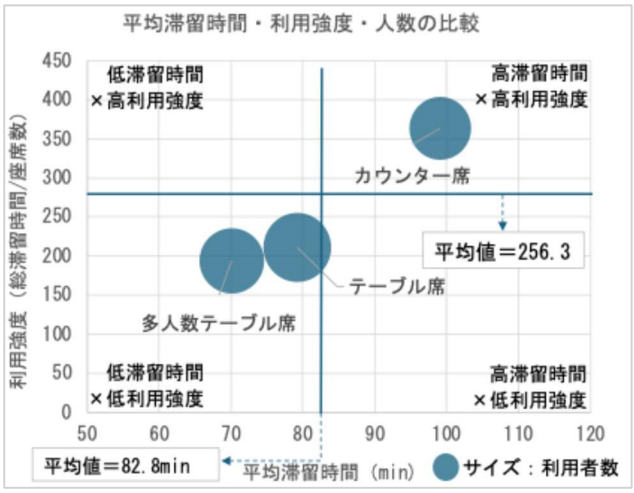


Fig.11　平均滞留時間・利用強度・人数の比較

5.2　動線に関する考察

動線の分布をより明確に把握するため，本研究では利用者の動線を可視化し，行動および滞留時間との関係を検討する．映像データから利用者の通過経路を抽出し，平面図上にトレースすることで，空間内の動線分布を明らかにした．

4.1 で示したとおり，LS2 階では延べ 1,903 件 の通過行動が確認され，とくに屋内階段・EV・ESC 付近で動線

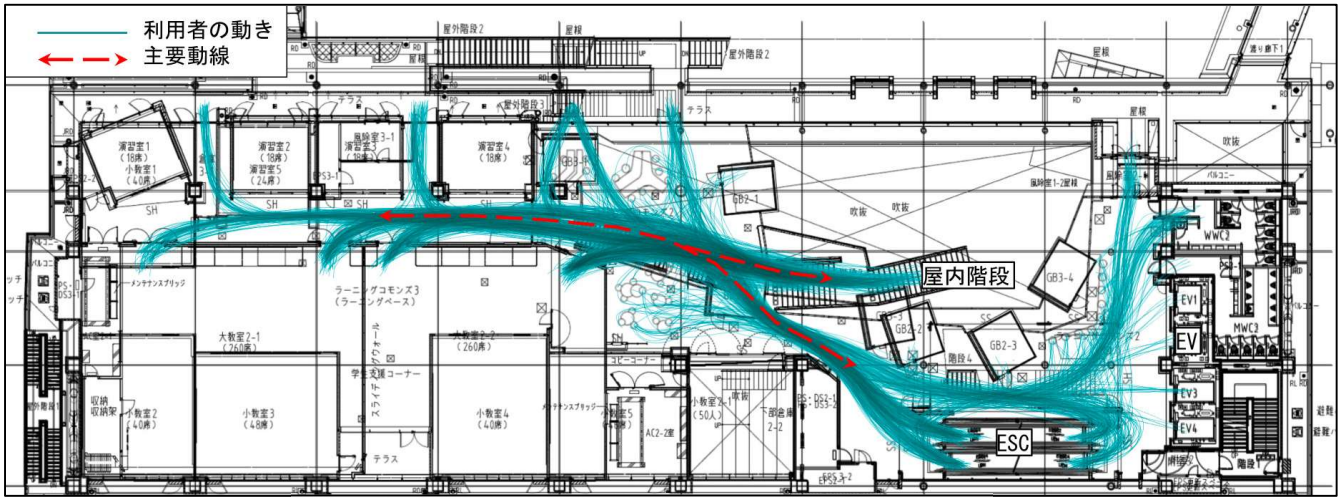


Fig.12　1 日動線図

量が集中していた．この動線集中の傾向は，動線図においても視覚的に確認された．(Fig.12)

こうした動線の集中が生じる背景を把握するため，LS2 階の動線構成に着目する．LS2 階は中央に大きな階段が配置され，さらに EV と ESC が同一箇所に集約している．このような動線構成のもとで，利用者の動線は特定の経路に集中する傾向がみられた．

また，動線図より，利用者は屋内階段および ESC を積極的に利用している様子が確認できる．教室間の移動においては，最短経路を選択する傾向が見られ，これらの設備を優先的に利用していることが示唆される．

5.2.1　動線に関する考察

主要動線に近接する多人数テーブル席およびテーブル席では，会話を目的とする利用が多く確認された．これらの座席は主要動線上の他者から認識されやすい位置にあり，会話利用の多さと対応していると考えられる．

一方，主要動線から離れたカウンター席では，学修を目的とする利用が多かった．これは学修を行う利用者は静かな環境を求める傾向があり，動線から離れる座席が選択されやすいと推察される．

また，学修を目的とするカウンター席の単独利用者は，動線を避けたエリアを選択する傾向がみられたのに対し，多人数テーブル席およびテーブル席を利用するグループは，動線の影響をあまり受けずに着席している可能性が示唆される．

5.2.2　動線と滞留時間に関する考察

Fig.13・14 に示すとおり，主要動線に近接する多人数テーブル席およびテーブル席では，利用者の滞留時間が相対的に短い傾向がみられた．また，2 時間以上（14%・18%）長時間滞留する利用者が比較的少ない．これらの座席は移動のしやすい位置にあるため，授業間の短時間利用や待ち時間での一時的な滞留が中心となり，結果として滞留時間が短くなったと考えられる．

一方，Fig.15 に示すとおり，主要動線から離れたカウンター席では，利用者の滞留時間が長い傾向が確認された．また，2 時間以上（21%）長時間滞留する利用者が比較的多い．主要動線から距離があり，他者から直接視認されにくい位置関係が，長時間の個人利用と対応していると考えられる．

さらに，動線の集中度が高い位置では滞留時間が短く，動線の通過量が少ない位置では滞留時間が長い傾向が明確にみられた．このことから，動線量の多少が利用者の座席選択や滞留時間と関連する可能性がある．

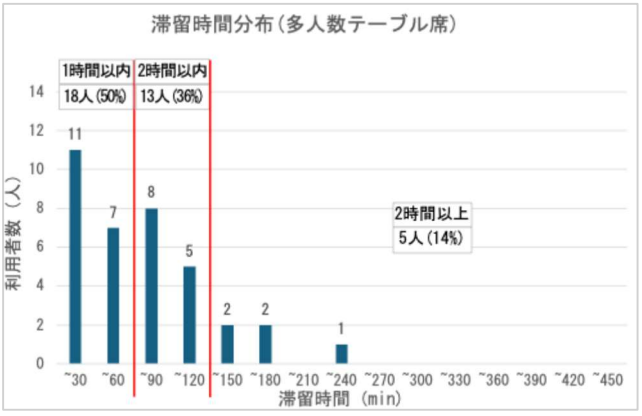


Fig.13　滞留時間分布（多人数テーブル席）

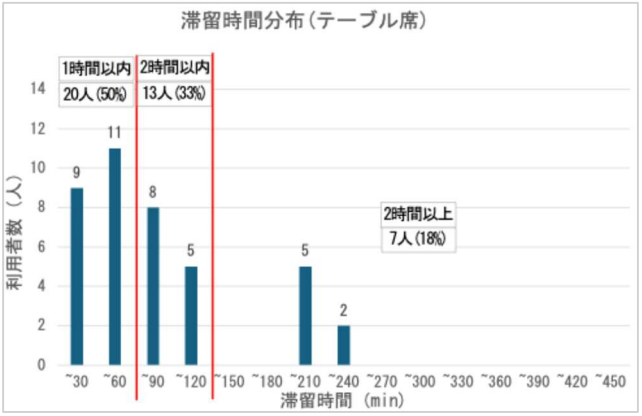


Fig.14　滞留時間分布（テーブル席）

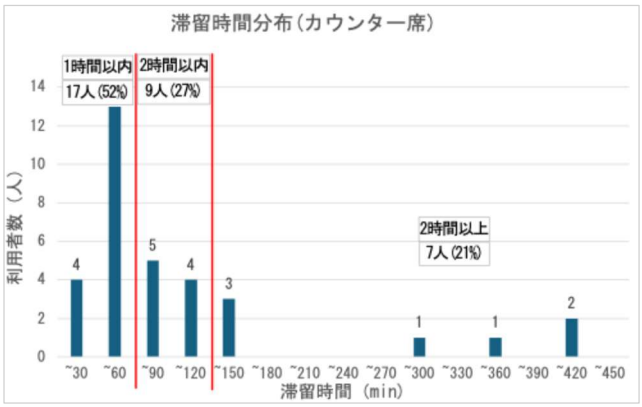


Fig.15　滞留時間分布(カウンター席)

6. まとめ

本研究では，明治大学 LS2 階のラーニング・コモンズにおける利用者の行動，滞留時間，視線領域および動線を可視化し，視線領域および主要動線と，利用者の行動，滞留時間，座席エリアごとの利用傾向との対応関係を整理した．得られた知見は以下のとおりである．

①カウンター席では学修利用が多く，多人数テーブル席およびテーブル席では会話利用が多く確認された．主要動線や出入口に近い座席ほど，行動の種類が多様になる傾向がみられた．

② 学修を目的とする利用者は，他の行動と比較して滞留時間が長い傾向がみられた．

③空間接触面から直接視認されにくく，他者の視線と重なりにくい位置，すなわち閉鎖視線領域および半開視線領域の重なりが小さい位置では，相対的に滞留時間が長い傾向がみられた．

④主要動線との位置関係および視線領域は，利用者の行動の種類，滞留時間，座席エリアごとの利用傾向と対応関係をもつことが確認された．

以上より，通過動線と滞留機能が重なるラーニング・コモンズでは，座席種別に加え，空間接触面からの視認性，主要動線との距離，座席エリアの位置関係を合わせて検討する必要があると考えられる．

特に，計画，設計上，交流や短時間利用を想定する座席は主要動線に近い位置に，個人学修や長時間滞留を想定する座席は，主要動線から離れ，空間接触面や主要動線から直接視認されにくい位置に配置することが望ましいことが示唆される．

参考文献

1) Afshar F. Neda, Barrie Andrew: The Significance of Outdoor Learning Environments in Innovative Learning Environments, Rethinking Sustainable Pacific Rim Territories, Proceedings of the 2020 APRU Sustainable Cities and Landscapes Hub PhD Symposium, Future Cities Research Hub, School of Architecture and Planning, The University of Auckland, Vol.27, 2021.2

2) 二宮彩，郷田桃代，諸田政彦，一色千暁，岩崎克也，櫻井雄大：地域に開かれた大学キャンパスの人の行動軌跡に関する研究－東京理科大学葛飾キャンパスを対象として－，日本建築学会大会学術講演梗概集， 537-538，2019

3) 夏目欣昇，森元大成，前田明洋：学習環境と学習スタイルからみるラーニング・コモンズの場所性－4 大学 6 ラーニング・コモンズを対象として－，名古屋学院大学論集 社会科学篇， 60 （1・2）， 39-59，2023

4) 竹内龍人：シーンの認識と探索にかかわる視覚のメカニズム，映像情報メディア学会技術報告，33（24），pp.7-14，2009

5) 大佛俊泰，樋上貴大：ビーコンによる行動モニタリングデータを用いたワーカ活動の推定とオフィスレイアウト評価手法の構築，日本建築学会計画系論文集，88（808），1894-1902，2023

6) Azizi Shoaib, Nair Gireesh, Rabiee Ramtin, Olofsson Thomas: Application of Internet of Things in academic buildings for space use efficiency using occupancy and booking data, Building and Environment, Elsevier, Vol.186, 2020.

7) 岩崎 克也，馮 雨田，髙野 勝也，伊藤 佐恵，奥山 靖子：コモンスペースにおける空間特性が学生の行動・滞留時間に及ぼす影響―中央大学茗荷谷キャンパス 5 階を対象として―．東海大学紀要建築都市学部 2025，4，17-24．

注

注 1 本研究における視認性とは，利用者が対象となる空間や座席をどの程度容易に視覚的に把握できるかを示す概念であり，「見つけやすさ」および「確認しやすさ」を含む．布田健，直井英雄：視認性に影響を及ぼす各種要因に関する実験－事故防止の観点より見た階段各段の視認性に関する研究（1）－，日本建築学会計画系論文報告集，450，pp.41-48，1993

注 2 本研究における領域性とは，物理的な壁や境界に限らず，利用者が当該空間を「自分たちの場所である」と認識し，他者からの視線や干渉が抑えられた，心理的に安定した状態が形成される度合いを示す．雨宮護，樋野公宏：英米における「防犯まちづくり」の理論の系譜と近年の動向，都市計画報告集，6，pp.63-68，2007

注 3 明治大学和泉キャンパスは主に 1・2 年生が利用するキャンパスであり，LS は学生同士のコミュニケーションを重視して計画された建物である．
https://www.meiji.ac.jp/bungaku/tokusyoku/izumi.html
(accessed on 29 July 2026)

注 4 利用強度は，対象空間における空間利用の程度を示す指標として，本研究で定義したものであり，「総滞留時間／座席数」により算出した．ここで総滞留時間とは，当該空間を利用したすべての利用者の滞留時間の合計を指す．座席数は空間の収容能力を示す指標であり，これにより異なる規模の空間間において利用状況を比較することが可能となる．既往研究では，空間利用の評価において利用時間（usage time）および占有密度（occupancy density）が重要な指標として用いられている [6]．本研究ではこれらの概念を踏まえ，空間利用の程度を総合的に把握する指標として利用強度を導入した．

東海大学建築都市学部紀要委員会

委員長 十亀　昭人
委　員 藤原　覚太

EDITORIAL COMMITTEE OF PROCEEDINGS OF
THE SCHOOL OF ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING
TOKAI UNIVERSITY
Chairman　AKITO　SOGAME
Members KAKUTA FUJIWARA

本紀要は学術刊行誌である。建築都市学部紀要委員会で査読・審査を受け掲載可と判定された原著論文を掲載している。

東海大学 建築都市学部 紀要
ISSN 2758-7843
Vol. 5 No. 1 2026
2026 年 10 月 5 日

発行者 東海大学建築都市学部
〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 4 丁目 1 番 1 号
School of Architecture and Urban Planning, Tokai University 4-1-1
Kitakaname, Hiratsuka-shi, Kanagawa-ken, Japan