

改修における構工法計画の決定構造に関する研究

－ 部材の取り合いに着目した工程分析を通して －

構法計画研究室 今井一貴

1. 序論

1.1. 研究の背景

建築は、複数の要素から成る構成物である。それは、物的な「ありよう」を示す構法から見た場合には物的構成となり、つくり方としての「やりよう」を示す工法から見た場合には工程に対応する。両者は密接に関連しているため、それらを一体的に捉え直す構工法計画という概念が提唱され¹⁾、その理論と実践に関する研究が数多く行われてきた。

安藤正雄は、その概念を数理的に理論化した上で、実践的な手法として整理した²⁾。安藤の研究の基本的な特徴は、物的構成の要素である構成材と工程の要素である工程要素を一对一で対応付けることが可能とした点である。それによって、図面等の構成材の取付順序を決定する情報から工程を半ば自動的に展開することが可能であることを示した。またその理論を応用し、実際の工程計画手法としての展開可能性を検証する等、実践面での検討も行っている³⁾。

一方で建築ストックの有効活用が共通の認識事項となりつつある現在においては、改修の構工法にも焦点を当てる必要がある。しかし、安藤の研究は物的構成を新たに策定する新築が前提となっており、物的構成が変化する改修を取り扱うことは想定されていない。したがって、改修を構工法計画の視点から捉え直すためには、改修における物的構成と工程がどのような関係を取り結んでいるのか、その構造を把握しておく必要がある。

1.2. 研究の目的

本研究では、安藤の理論をもとに、改修を構工法計画の視点から捉えることを試みる。具体的には、実際の改修計画の工程分析を通して、改修における物的構成と工程の対応関係を明らかにすることを目的とする。

1.3. 既往研究と本研究の位置づけ

ここでは、本研究で用いた安藤の研究の位置づけを示す。安藤の研究はアーキテクチャと呼ばれる概念の「構造・工程」アーキテクチャに対応している⁴⁾。アーキテクチャとは、人工物の全体特性をその構成要素間の関係構造として定義しようとする概念である⁵⁾。ここで、「構造・工程」アーキテクチャは物的構成と工程の関係構造を示す概念として位置づけられ、これに関連する研究として、工程要素と各要素間の関係を記述することで工程を構造化した金多らの研究などが挙げられる⁶⁾。対して安藤の研究は、工程要素ではなく構成材間の関係をもとに工程展開を行うことで、物的構成と工程の関係を位置づけるものである。本研究も安藤の研究と同様に、物的構成について、改修における工程との対応関係を分析する。

1.4. 本論の構成

本研究は5つの章から構成されている。第1章では、研究の背景と目的を述べている。第2章では、本研究で用いた理論の概要を述べた上で、改修行為の位置づけを行うとともに、改修の分析方法を示している。第3章では、対象とした改修計画と分析を行った改修部位の概要について述べている。第4章では、解体時の物的

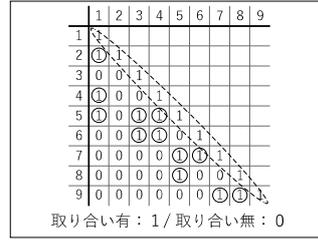


図1 IFM

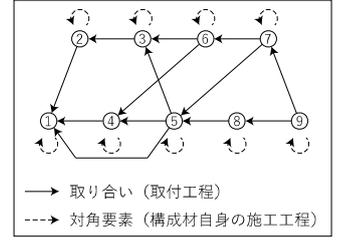


図2 IFMの工程グラフ表現

表1 改修計画XのIFM(改修前)

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	
a	1																					
b	0	1																				
c	0	1	0	1																		
d	1	0	1	1																		
e	0	0	0	0	1																	
f	0	1	0	1	0	1																
g	0	0	1	0	1	0	1															
h	0	0	0	0	1	0	1	0	1													
i	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1											
j	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1									
k	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1								
l	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1										
m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1								
n	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1						
o	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1				
p	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1		
q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
r																						
s																						
t																						
u																						

表2 改修計画XのIFM(改修後)

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	
a	1																					
b	0	1																				
c	0	0	1																			
d	1	0	1	1																		
e	0	0	0	0	1																	
f	0	1	0	1	0	1																
g	0	0	1	0	1	0	1															
h	0	0	0	0	1	0	1	0	1													
i	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1											
j	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1									
k	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1								
l	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1										
m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1								
n	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1						
o	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1				
p	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1		
q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
r																						
s																						
t																						
u																						

構成と工程の対応関係を実際の解体工程に基づいて分析し、改修後の物的構成と工程の対応関係についても分析している。第5章は、本論文のまとめであり、研究の成果を結論として述べている。

2. 改修における構工法計画の記述

2.1. 構工法計画の理論と手法

ここでは、安藤が定義した「インターフェイス・マトリクス」(以下「IFM」と略す)を用いた構工法計画の記述方法の概要を示す。

安藤は、構成材と工程要素を一对一で対応付けることが可能とした上で、構成材または工程要素間の関係をインターフェイス(以下「IF」と略す)として定義した。IFには順序関係があるため、構成材間のIFは工程要素間のIFと等価に扱うことが可能となる。この順序関係については、後続の構成材・工程要素が先行の構成材・工程要素にIFを持つと定義し、次のように表す。

$$A \leftarrow B \quad (\text{「Aが先行、Bが後続」} = \text{「BがAにIFをもつ」})$$

そして、IFを行列表現したものがIFMと定義される(図1)。IFMでは、取り合う場合を1、取り合わない場合を0と表し、構成材を施工する工程の展開に必要なため対角要素は1と表記する。なお本研究においては、行を先行要素、列を後続要素と定める。

IFMは有向グラフとなるため、これを幾何学的に表現すると、工程グラフが得られる(図2)。工程グラフを用いることで、物的構成を自動的に工程展開することが可能となる。

2.2. 改修におけるIFMの記述方法と位置づけ

以上を踏まえた上で、IFMを用いて改修行為の記述を試みる。ここでは簡略化のため、aからqの合計17個の構成材から成る既

存建物の一部を解体した上、そこに r から u の 4 個の新規構成材を取り付ける改修計画 X を想定する。改修における IFM を記述するためには、物的構成の変化を考慮する必要がある。そこで、改修前と改修後のそれぞれの IFM の記述を行った。ここでは構成材間の順序関係も含めた記述を行う必要があるため、取付順序が発生する場合は +、- (+ は行から列の順序、- は逆の順序) で表した。

表 1、表 2 は改修計画 X における改修前と改修後の IFM である。改修前後の IFM を見ると、解体する既存構成材 {b,c,e,i,m} を取り除く解体行為と、既存構成材に新規構成材 {r,s,t,u} を取り付ける新設行為が発生している。この 2 つの行為は改修に特有の状況であり、安藤の研究では未定義である。

2.3. 物的構成の関係構造の記述方法と工程の評価方法

ここでは IFM を用いて改修の物的構成の関係構造を記述する方法と、この関係構造を用いた改修工程の評価方法について述べる。

IFM は構成材間の取り付け関係を示しているため、IFM から物的構成をグラフとして表現することが可能となる。図 3、図 4 は、表 1、表 2 の IFM をもとに改修前後の物的構成をグラフ化したものである。ただし、取り付けを持つ構成材間には取り付け際の順序関係が存在するため、この順序関係を有向のエッジで表すこととする。ただし、単に構成材同士が触れているだけで順序関係が存在しない場合は無向のエッジで表す。したがって本研究では無向のエッジを含む有向グラフを扱うこととなる。

解体は一般的に、先行の構成材より後続の構成材の方が撤去しやすく、取り付けにおいて先行する構成材を先に撤去すると、後続の構成材が支持されなくなり、道連れ工事の原因となりやすい。例えば実際の解体工程が c、c-g、c-f、c-d、c-a、i、i-f、i-g、i-j の順序で行われた時、図 3 より、c-g を i、i-f、i-g、i-j に先行して解体すると g を支持する構成材が減少し、g に支持されていた i を介して f や j に影響を及ぼすことが予想される。ただし、ここで c-g は構成材 c と g の取り付けを表す。そのため、物的構成の観点からは、i、i-f、i-j、を解体後、i と g を切り離し、c、c-g を解体して g を解体要素から切り離れた上で c と f、c と d、c と a を切り離す等の順序で解体を行う必要がある。以上のように、解体行為、新設行為の工程上の順序を IFM から評価することが可能である。

2.4. 本研究の分析方法

以上のような記述方法を用いて、実際の改修計画の工程分析を行い、改修における物的構成と工程の対応関係を明らかにしていく。

本研究では、既存構成材と新規構成材が複数箇所で行き交う部位に着目し分析を行う。まず設計図書に記載された図面情報から、既存建物の対象部位を構成材単位に分類する。ここで構成材の単位を決定する条件は、表 3 のように定めた。次に、分割した構成材間の取り付け関係を改修前と改修後それぞれについて IFM として記述する。そして、記述した IFM に基づいて、取り付けの順序関係を反映した物的構成の関係構造に展開する。

さらに、実際の改修工事の施工調査を通じて、改修における物的構成と工程の対応関係を分析する。本研究では、解体時の工程記録と改修前の物的構成の関係構造をもとに解体行為を分析し、新設行為に関しては改修後の物的構成の関係構造をもとに、想定される新設工程の分析を行う。同時に、本研究で行った改修の記述方法や構成材単位の定義の妥当性も検証する。

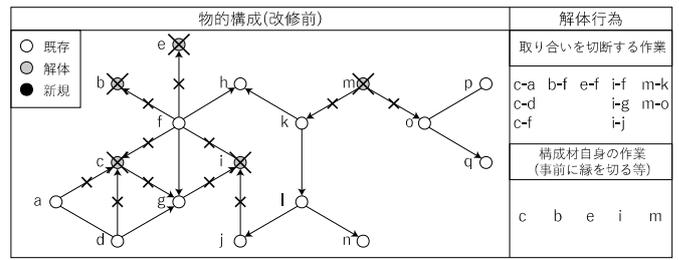


図 3 改修計画 X の物的構成の関係構造 (改修前)

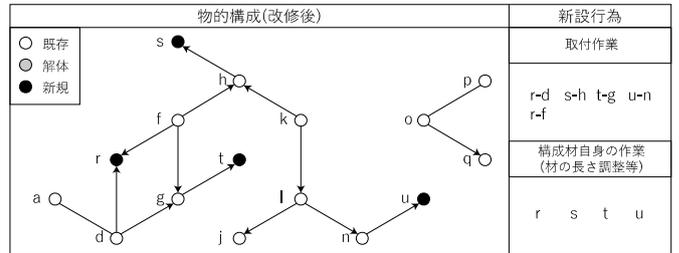


図 4 改修計画 X の物的構成の関係構造 (改修後)

表 3 構成材単位の定義

	構成材の単位の決定条件	例
同じ取り付けを持つ構成材	他の構成材と同じ取り付け関係を持つ複数の構成材は「1つの構成材と見なす」	床下地を構成する複数の根太は、全てを1つの「根太」という構成材として扱う
部分的な解体行為	1つの構成材を2つに分割し、部分的に解体する場合の当該構成材は、取り付けをもつ2つの構成材からなる構成材群と見なし、部分的な解体行為は、「2つの構成材間の取り付けを切り離す行為」として位置づける	土台を一部解体し、一部はそのまま利用する時、「土台解体部分」「土台利用部分」の2つの構成材からなる構成材群として扱う

表 4 対象となる改修計画の概要

構造種別	鉄骨造
法規上の用途/実際の用途	店舗兼住居/事務所兼社員寮
建築面積	152.46㎡
階数	3階建て
解体箇所	1F: 内装解体(玄関外壁、トイレ外壁除く)、一部外装解体 2F: 内装解体(階段室除く) 3F: 既存利用
新設箇所	1F: 北面東面外装サッシ/トイレ/間仕切り壁/流し台/階段 2F: シャワーユニット/間仕切り壁
既存建物把握状況	青図(既存施工図)無、 <u>竣工図のみ有</u> のため、数回程度実測調査を行い、壁組成等は竣工図の仕上表と既存の調査で判明した下地の種類から一般断面を想定し既存図を作成。
改修計画の特徴	1Fをオフィスに転用。3Fは既存のまま社員寮に転用。2Fは用途が不確定なため、内装を解体し設備のみを整え、将来の変更に対応可能な改修となっている。

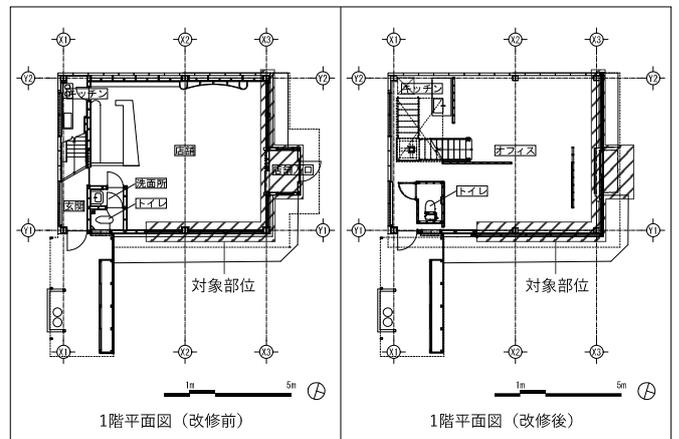


図 5 分析対象の平面図

3. 分析対象となる改修計画

3.1. 改修計画に関する概要

対象としたのは、筆者らが設計者として携わった鉄骨造事務所兼社員寮の改修計画である。本計画の概要を表4に示す。既存建物は複数回改修が行われているが、記録が残っておらず、竣工図と既存建物の現況が一致していなかった。既存図面の作成は竣工図と実測調査をもとに行い、壁の層構成等は一般的な断面を想定した。

また、既存の状況把握以外にも、設計段階での不確定事項に対する事前検討、施工段階での道連れ工事に対する対処等、改修において検証を要する点が多く見られた。分析の際には、そのような状況を考慮した上で物的構成と工程の対応関係を見ていく。

3.2. 対象部位に関する概要

分析の対象は、図5中に示した1階外装の新設垂れ壁・サッシ部とした。対象部位の特徴として、基礎立ち上がり部と新設サッシの足元の取り合い、デッキスラブと新設垂れ壁上部との取り合い等、既存構成材と取り合う箇所が複数存在することが挙げられる。

4. 改修における物的構成と工程の対応関係に関する分析

4.1. 記述した物的構成と解体工程記録の概要

前述した分析方法に従い、設計図書を用いて対象部位の改修前後のIFMを記述し、物的構成の関係構造を展開した。対象部位全体の改修前の構成材数は317、改修後の構成材数は142となった。

また解体工程記録は、15分単位で解体作業員ごとに作業内容を記録した。本計画の解体工事の特徴として、1階内外装解体に伴う小型重機の使用が挙げられる。小型重機は一度に複数の構成材を撤去することが可能だが、解体を想定していない構成材も破損する可能性が高く、実際に道連れ工事が発生した箇所が複数見られた。

4.2. 解体時の物的構成と工程の対応関係に関する分析

解体時の物的構成と工程の対応関係について、構成材の順序と解体工程の不一致が生じる可能性の高い箇所に着目し分析した。図6、図7、図8はそれぞれ、分析箇所の図面、解体時の写真、関連する解体工程の抜粋、分析箇所に関連する物的構成の関係構造、物的構成の番号と対応した構成材の一覧をまとめたものである。

最初に、既存外壁利用部分の解体工程に関する分析を行う。図6の関連する解体工程の中で隣接サッシ部及び外壁の解体工事に着目すると、安全のため窓ガラスを撤去した後に、小型重機でサッシ枠、腰壁、垂れ壁を解体しているが、その前の中木解体によって複数の構成材の道連れを防いでいる。図6の物的構成を見ると、36の中木は17・19の下地合板、25・27のクロス貼に後続しているため、中木の撤去は既存利用部分の破損を最小限に止め、適切な順序であることが分かる。しかし17に破損があったため、17を解体し10の間柱を既存利用とする現場判断が行われた。また、小型重機での解体に際して3・4の土台が破損する恐れがあった。3は既存利用部分の5の木柱、10の間柱に先行する構成材であり、3を破損すれば既存利用部分も大きく破損していたことが分かる。

続いて、店舗入口床部分の解体工程を分析する。店舗入口は土間コンクリートを残し、床タイル仕上に関しては未定のまま、木造部分を全て解体予定としていた。解体時は図7の関連する解体工程に示すように、小型重機で外壁、天井、屋根を一度に解体した。その際モルタル接着の角タイル中木が破損し、モルタルで一体化されて

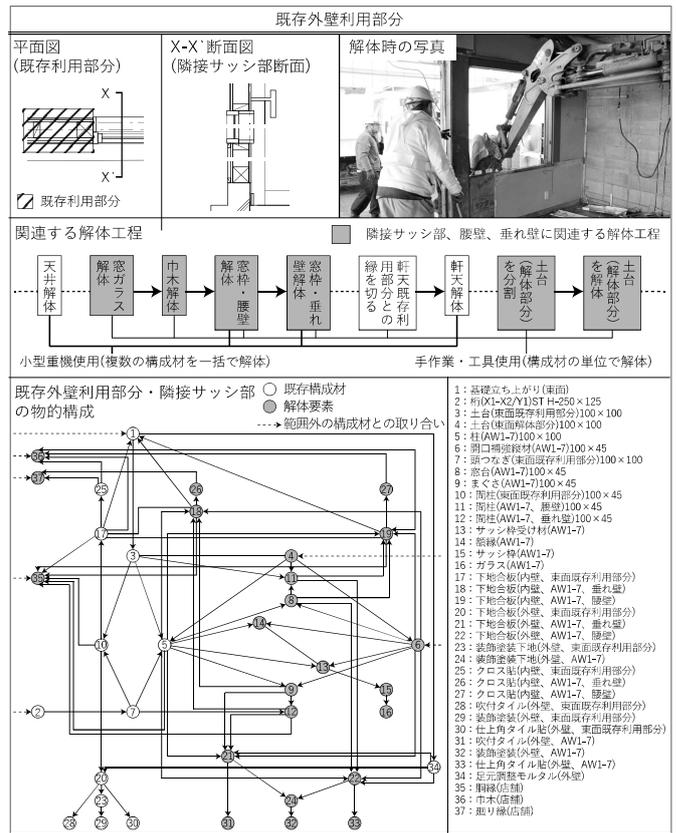


図6 解体時の物的構成と工程の関係(既存外壁利用部分)

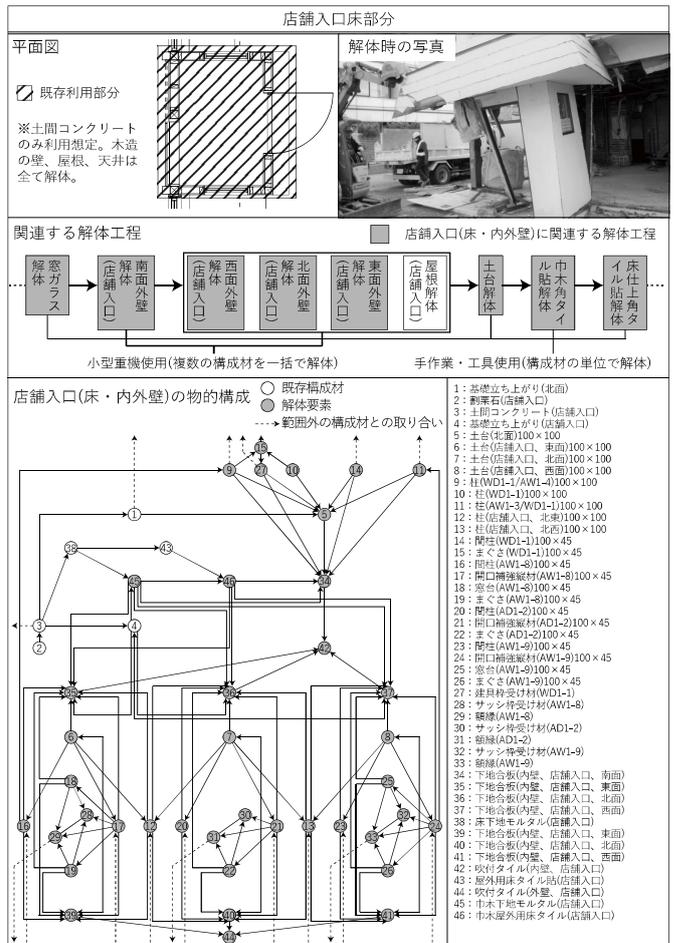


図7 解体時の物的構成と工程の関係(店舗入口床部分)

いた床仕上角タイル貼も破損したため解体対象となった。図7の物的構成を見ると、45の下地モルタルと46の角タイル巾木は34・35・36・37の下地合板に先行する構成材のため、物的構成上は破損の可能性が低いが、小型重機で一度に解体を行ったことも影響し破損が生じたと考えられる。その結果38の床下地モルタル、43の床仕上角タイル貼が解体対象となった。

最後に、軒天の解体工程を分析する。設計段階で想定していた木下地ではなくモルタルを分厚く重ねた組成であることが判明し、既存利用部分と縁を切り離した後小型重機で解体する順序に変更した。しかし軒天の解体過程で2階外壁部分に道連れ工事が発生した。図8の物的構成を見ると、21・24のラス下地、22・25の下地モルタル、23・26の吹付タイルはそれぞれ一体化され、この縁を完全に切り離さなかつたために2階外壁部分が破損したと考えられる。

4.3. 改修後の物的構成の分析による不確定要素の位置づけ

さらに、改修後についても物的構成をもとに分析を行った。ここでは前節で分析した軒天部分の改修後の状況を扱う。設計時は既存軒天下地の構成が不明であり、新設垂れ壁の支持方法は解体後に検討予定としていた。図9の物的構成を見ると、35の横胴縁が取り付く27・28の小梁を不確定要素として設計を行っており、27・28は構成材が変更されても物的構成の関係上支障はないと考えられる。このように、不確定な箇所の設計も、改修特有の工程との対応関係を考慮すれば、問題が生じないように行うことができる。

4.4 改修における物的構成の構造特性

以上の分析を踏まえ、物的構成の関係構造上の特性を考察する。本研究では特に、道連れ工事を回避できた構成材、及び道連れ工事の発生要因となった構成材に着目する。その中で取付順序が原因で道連れ工事の要因となった構成材は、既存外壁利用部分における36・3・4(図6)が挙げられる。これらの共通点を考察すると、①解体要素である②解体要素・非解体要素両方と取り合いを持つ③(複数の非解体要素と取り合いを持つ)または〈当該構成材に先行する解体要素と取り合いを持つ〉と整理され、以上の条件を満たす要素を「共有要素」と定義した。解体時においては、この「共有要素」を事前に把握しておく必要がある。

また、取付順序以外の要因により道連れ工事が発生した構成材は、店舗入口床部分における38・43・45・46(図7)、軒天部分における21・22・24・25(図8)が挙げられる。これらは接合方法が異なるために、取り合いの強度に違いが生じ破損したと考えられる。このことから、取り合いの有無、順序関係に加え、接合方法の種類も含めて検証することで、道連れ工事の発生要因となる構造をより精度高く類型化することが可能であると推測される。

また、構成材の単位の定め方の検証を行ったところ、表3の定義に関しては不具合は生じていなかった。しかし、どの部材までを構成材とするかに関しては検討の余地がある。本研究では接合金物等を構成材として定義せず、モルタルは下地と判断し構成材に含めた。接合方法の種類も扱う際にはこうした接合要素を構成材と見なすべきか判断する必要がある。

5. 結論

本研究では、安藤のIFM理論を用いて改修における物的構成の記述方法と改修行為の位置づけを示した。その上で改修の分析方法

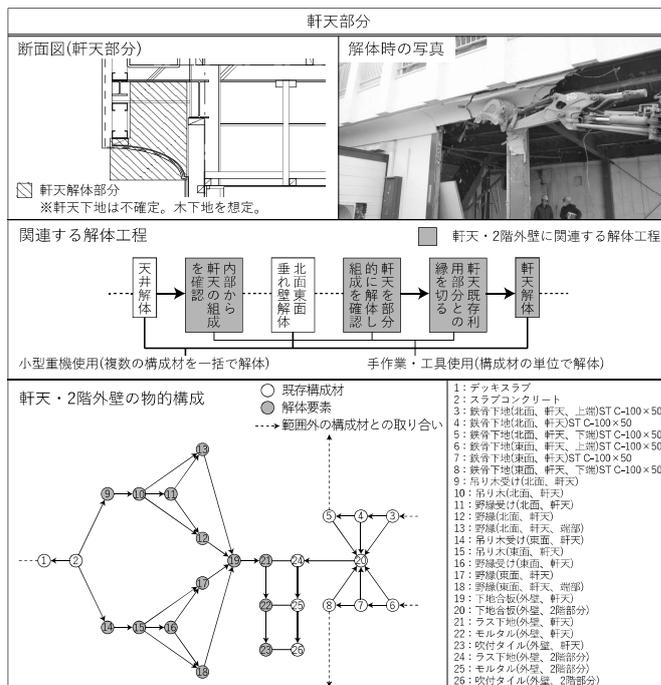


図8 解体時の物的構成と工程の関係(軒天部分)

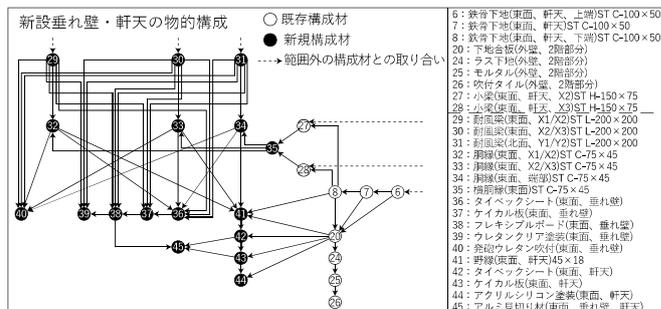


図9 改修後の物的構成(新設垂れ壁、軒天部分)

を提示し、解体工程の分析と改修後の物的構成の分析を行った。これにより、道連れ工事の要因となる「共有要素」を定義し、設計段階で共有要素を把握する必要があることを示すと同時に、接合方法の種類を扱う必要性を明示することができた。

参考文献

- 1) 安藤正雄: インターフェイス・マトリクスによる構工法の理論と手法, 博士学位論文, 東京大学大学院理工学研究科, 2003
- 2) 山崎雄介, 本田早苗, 徳田浩, 秋本学, 寺田尚弘: 構工法計画のモデル化と利用方法に関する研究, 第6回建築生産と管理技術シンポジウム, 日本建築学会, 1990
- 3) 志手一哉, 安藤正雄, 浦江真人, 蟹澤宏剛, 本田祐貴, 染谷俊介, 田澤周平: 高層化集合住宅の内装・設備工事における多工期同期化工程計画手法, 日本建築学会計画系論文集, Vol.78, No.683, pp.193-201, 2013.1
- 4) 藤本隆宏, 野城智也, 安藤正雄, 吉田敏: 建築ものづくり論 Architecture as "Architecture", 有斐閣, 2015.7
- 5) 吉田敏, 野城智也: 「アーキテクチャ」概念による建築設計・生産システムの記述に関する考察, 日本建築学会計画系論文集, No.589, pp.169-176, 2005.3
- 6) 金多隆, 古阪秀三, 長岡弘明, 木本健二, 岡本啓照: 建築生産プロセスの構造化分析, 日本建築学会計画系論文集, No.489, pp.187-194, 1996.11

注釈

- 注1) 安藤によれば(文献1)、1990年前後に構法と工法を一体的に捉える必要性が認識されるようになり、山崎ら(文献2)によって構工法という言葉が用いられるようになった。
- 注2) アーキテクチャ概念を建築分野に応用した研究として、吉田らによる研究(文献5)などが挙げられる。