

## 1. はじめに

### 1. 1 研究の背景および目的

鉄筋コンクリート造建築物におけるかぶり厚さは、建築物の耐久性、構造安全性、耐火性の確保のために重要な役割を果たすことは言うまでもない。また、2000年（平成12年）に施行された「住宅の品質確保の促進等に関する法律（品確法）」における劣化対策等級の仕様がかぶり厚さによって規定されていることや、2009年（平成21年）の日本建築学会 JASS 5[1]の改定によってかぶり厚さの検査の位置づけや検査方法が明確になったことなど、近年かぶり厚さの確保に対する要求が高まっている状況にある。しかしながら、鉄筋の太径化や高密度化、部材断面をできるだけ小さくする経済的な設計などの影響もあり、かぶり厚さの確保のためには従来以上の配慮が必要である。

このような状況の下、鉄筋コンクリート造建築物のかぶり厚さを確保するための、施工時における対策や施工後にかぶり厚さを確保するための適切な補修方法について検討するために、平成21年9月から平成24年3月までの期間において、独立行政法人建築研究所（以下、建築研究所と記す）と社団法人日本建設業連合会（以下、日本建設業連合会と記す）との共同研究を実施した。日本建設業連合会においては、コンクリート品質専門部会の下に、会員30社の代表から組織される「かぶり厚さ確保研究会」を設置した。また、平成22年度および23年度においては、国土交通省が公募した建築基準整備促進事業「防火・避難対策等に関する実験的検討」における検討と連携し、ポリマーセメントモルタルを用いた補修部材の防耐火性の評価方法についての検討を行った。

本共同研究においては、上記の通り、かぶり厚さの確保のための施工時の対策とかぶり厚さ確保のための補修方法について検討している。施工時の対策については、作業所および品質管理部門へのアンケート調査やかぶり厚さの実測データの分析などを行い、施工時におけるかぶ

り厚さ確保のための現状や有効な対策について述べている。施工後の補修方法については、使用される材料が有機系のポリマーを含む材料であることから、耐久性に加えて耐火性を両立させた補修材料および工法が要求され、材料および部材の耐久性や耐火性に関する実験的な検討を行い、有効な補修方法について提案している。

本報告書は、これらの検討の成果について、公表された資料に基づいてその概要をとりまとめたものである。

### 1. 2 かぶり厚さと補修材料および補修工法に関する法的な位置づけ

鉄筋コンクリート造建築物の鉄筋コンクリート造の構造部分のかぶり厚さは、建築基準法施行令第79条によって規定されており、ここでのかぶり厚さを構成するコンクリートは、指定建築材料として、JIS A 5308（レディーミクストコンクリート）に適合するものか国土交通大臣の認定を受けたものであることが原則となる。ただし、平成13年国土交通省告示第1372号において、上記施行令第79条第1項を適用しない鉄筋コンクリート造部材について定められており、この中でコンクリート以外の材料を使用する部材の構造方法として第2項にポリマーセメントモルタル（もしくはエポキシ樹脂モルタル）に関する規定が定められている。その主な規定は下記の通りである。

一 コンクリート以外の材料にあつては、次に掲げる基準に適合するポリマーセメントモルタル又はこれと同等以上の品質を有するエポキシ樹脂モルタル（ただし、ロ(1)の曲げ強さにあつては、1平方ミリメートルにつき10ニュートン以上とする。）を用いること。

イ JIS A 6203（セメント混和用ポリマーディスペーション及び再乳化形粉末樹脂）-2000に適合するセメント混和用ポリマー又はこれと同等以上の品質（不揮発分及び揮発分に係る品質を除く。）を有するものであること。

ロ JIS A 1171（ポリマーセメントモルタルの試験方法）-2000 に規定する試験によって、次に掲げる試験の種類ごとに、それぞれ(1)から(4)までに掲げる強さの数値以上であることが確かめられたものであること。

- (1) 曲げ強さ 1 平方ミリメートルにつき 6 ニュートン
- (2) 圧縮強さ 1 平方ミリメートルにつき 20 ニュートン
- (3) 接着強さ 1 平方ミリメートルにつき 1 ニュートン
- (4) 接着耐久性 1 平方ミリメートルにつき 1 ニュートン

二 鉄筋に対するかぶり厚さ（前号に規定する材料の部分の厚さを含む。以下この号において同じ。）が令第 79 条第 1 項に規定するかぶり厚さの数値以上であり、鉄骨に対するかぶり厚さが令第 79 条の 3 第 1 項に規定する数値以上であること。

また、第五号には、この材料による補修部分を除いた部材または架構の構造耐力が施行令第 79 条第 1 項に規定する値の場合よりも著しく低下しないことが求められている。

このような、補修材料の材料的な品質および構造耐力に対する要求に加え、耐火構造が要求される場合には、平成 12 年建設省告示第 1399 号に定められている耐火構造の構造方法に適合するか、耐火性能に関して国土交通大臣の認定を受ける必要がある。上記告示における構造方法においては、前述のポリマーセメントモルタル等の材料を用いる場合には防火上支障がないものであることが要求されている。ただし、ここでの防火上支障がないということについては、明確な規定はなく、これらの告示に関する解説書[2]において、ポリマーセメントモルタル等を壁厚さ等に算入する場合には、爆裂等の防火上の支障が起こらないことを実験等により確認したものとする必要があると述べられている。また、ポリマーセメントモルタル層の厚さが 20mm 以下で、ポリマーセメント比 (P/C) が 4%

以下であれば爆裂が生じにくいことが実験的に確認されていると述べられている。

その他、建築物の内装制限が適用される場所に仕上げとして使用する場合には、建物の用途および使用される場所や室床面積に応じて不燃材料、準不燃材料、難燃材料であることが求められる場合があり、その場合、不燃材料等であることの評価には、指定性能評価機関が実施する試験結果に基づき、国土交通大臣の認定が必要になる。ここで、防火上支障がないことと不燃材料であるということは同義ではないことに注意が必要である。

本研究は、これらの建築基準法における規定を満足することのできる補修材料の選定の方法および補修工法の提案を行うものであり、耐久性および防耐火性の評価方法とその結果、および実際の工事における施工要領等をまとめたものである。

#### <参考文献>

- [1] 日本建築学会：建築工事標準仕様書 鉄筋コンクリート工事 JASS 5, 2009.2
- [2] 国土交通省住宅局編集：平成 17 年 6 月 1 日施行改正建築基準法・同施行令等の解説, ぎょうせい, 2005.8

## 2. 研究体制

研究の実施体制を図-2.1に示す。2009年9月から2012年3月までの期間において、建築研究所と日本建設業連合会との共同研究「RC建築物のかぶり厚さの信頼性向上に関する研究」に関する共同研究を実施した。日本建設業連合会においては、コンクリート品質専門部会の下に「かぶり厚さ確保研究会」設置し、その下に材料WG、施工WGおよび防耐火WGの3つのワーキンググループを設けて、2009年9月より活動を開始した。また、施工WGの下にかぶり実態調査サブワーキンググループを設けて、研究会参画会社を対象にかぶり厚さの実態調査アンケートを行うとともに、かぶり厚さ確保のポイントを整理した。試験体の製作につい

ては、ポリマーセメントメーカーの協力を得て行った。

なお、研究活動期間において、かぶり厚さ確保研究会の委員は、国土交通省の建築基準整備促進事業の「課題15 防火・避難対策等に関する実験的検討（6.ポリマーセメントモルタルにより断面補修したRC造部材の防耐火性能に関する実験的検討）」に設置されたポリマーセメントモルタル検討委員会（研究期間2010年7月～2012年3月）へ参画し、実大部材の載荷加熱試験等を実施した。

研究会および各ワーキンググループの委員を次頁以降に示す。

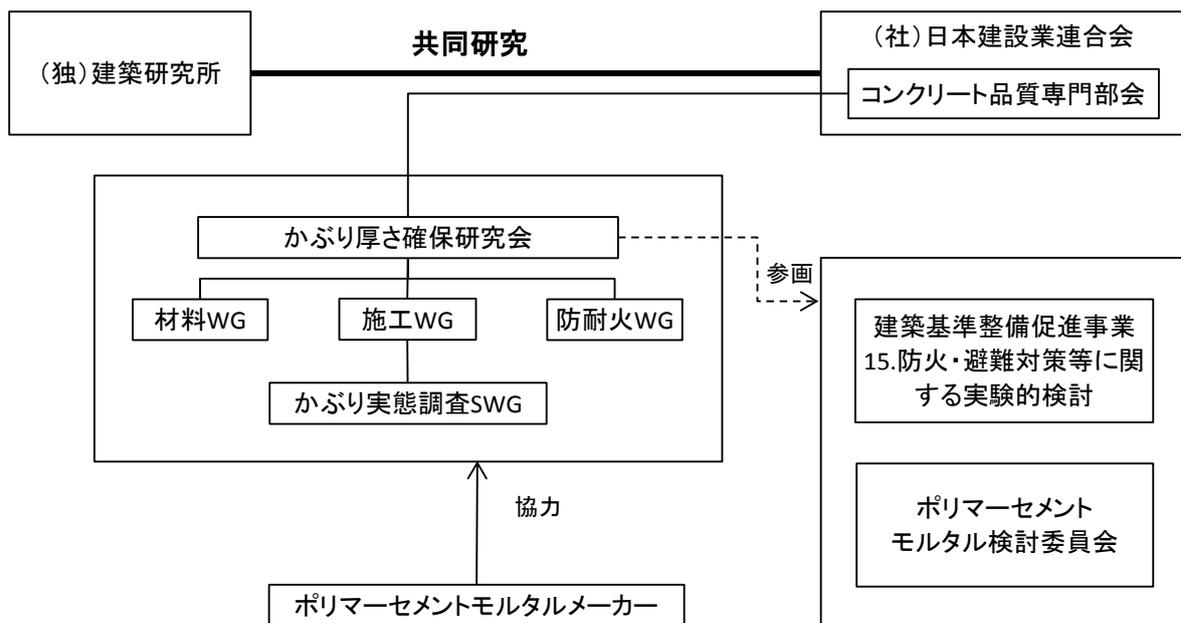


図-2.1 研究の実施体制

## 研究会参加者名簿（平成 24 年 4 月現在）

### 独立行政法人 建築研究所

幹 事	材料研究グループ	主任研究員	濱崎 仁
	材料研究グループ	上席研究員	鹿毛 忠継
	防火研究グループ	上席研究員	萩原 一郎
	防火研究グループ	研究員	茂木 武
	防火研究グループ	研究員	吉田 正志
	構造研究グループ	グループ長	福山 洋
	建築生産研究グループ（～2011.3）	主任研究員	根本 かおり
	防火研究グループ（～2011.3）	主任研究員	吉岡 英樹

### 日本建設業連合会 かぶり厚さ確保研究会 委員名簿

主 査	鹿島建設株式会社	閑田 徹志
副主査	東洋建設株式会社	安田 正雪
材料 WG 主査	株式会社竹中工務店	小島 正朗
施工 WG 主査	株式会社大林組	神代 泰道
耐火 WG 主査(2010.6～)	大成建設株式会社	道越 真太郎
耐火 WG 主査(～2010.5)	大成建設株式会社	馬場 重彰
幹 事	株式会社間組	山田 人司
〃	株式会社銭高組	山崎 裕一
〃	株式会社熊谷組	野中 英
〃	株式会社長谷工コーポレーション	吉岡 昌洋
〃	株式会社鴻池組	住 学
〃	清水建設株式会社	森田 武
委 員	株式会社浅沼組	立松 和彦
〃	五洋建設株式会社	高橋 祐一
〃	佐藤工業株式会社	日高 晶
〃	東亜建設工業株式会社	山田 雅裕
〃	戸田建設株式会社	梅本 宗宏
〃	西松建設株式会社	和田 高清
〃	前田建設工業株式会社	梶田 秀幸
〃	安藤建設株式会社	安部 弘康
〃	大木建設株式会社	柳田 淳一
〃	西武建設株式会（2010.6～）	山岸 直樹
〃	（～2010.5）	大沼 満
〃	大末建設株式会社	三枝 輝昭

〃	大日本土木株式会社	吉田 敏之
〃	東急建設株式会社	大岡 督尚
〃	飛島建設株式会社	土屋 芳弘
〃	三井住友建設株式会社	加納 嘉
〃	株式会社奥村組	起橋 孝徳
〃	鉄建建設株式会社	唐沢 智之
〃	株式会社ピーエス三菱	中瀬 博一
〃	株式会社フジタ	松戸 正士
アドバイザー	一般財団法人ベターリビング	遊佐 秀逸
事務局	社団法人日本建設業連合会	宅和 良祐

#### 材料ワーキンググループ 委員名簿

主 査	株式会社竹中工務店	小島 正朗
幹 事	株式会社熊谷組	野中 英
委 員	株式会社間組	山田 人司
〃	株式会社浅沼組	立松 和彦
〃	五洋建設株式会社	高橋 祐一
〃	佐藤工業株式会社	日高 晶
〃	東亜建設工業株式会社	山田 雅裕
〃	戸田建設株式会社	梅本 宗宏
〃	西松建設株式会社	和田 高清
〃	前田建設工業株式会社	梶田 秀幸
協力委員	株式会社間組	鈴木 好幸

#### 施工ワーキンググループ 委員名簿

主 査	株式会社大林組	神代 泰道
幹 事	株式会社鴻池組	住 学
幹 事	株式会社長谷工コーポレーション	吉岡 昌洋
委 員	株式会社銭高組	山崎 裕一
〃	安藤建設株式会社	安部 弘康
〃	大木建設株式会社	柳田 淳一
〃	西武建設株式会社	山岸 直樹
〃	大末建設株式会社	三枝 輝昭
〃	大日本土木株式会社	吉田 敏之
〃	東急建設株式会社	大岡 督尚
〃	飛島建設株式会社	土屋 芳弘
〃	三井住友建設株式会社	加納 嘉

#### 防耐火ワーキンググループ 委員名簿

主 査	大成建設株式会社	道越 真太郎
幹 事	清水建設株式会社	森田 武
委 員	株式会社間組	山田 人司
〃	株式会社奥村組	起橋 孝徳
〃	鉄建建設株式会社	唐沢 智之
〃	戸田建設株式会社	梅本 宗宏
〃	株式会社ピーエス三菱	中瀬 博一
〃	株式会社フジタ	松戸 正士
〃	前田建設工業株式会社	梶田 秀幸
〃	大成建設株式会社	加藤 雅樹
アドバイザー	一般財団法人ベターリビング	遊佐 秀逸
オブザーバー	三生技研株式会社	井口 久生

#### かぶり実態調査サブワーキンググループ 委員名簿

主 査	三井住友建設株式会社	加納 嘉
委 員	株式会社大林組	神代 泰道
〃	株式会社鴻池組	住 学
〃	株式会社長谷工コーポレーション	吉岡 昌洋
〃	大末建設株式会社	三枝 輝昭
〃	西武建設株式会社	山岸 直樹
〃	飛島建設株式会社	土屋 芳弘

### 3. かぶり厚さ補修に関する実験

#### 3. 1 かぶり厚さ補修用ポリマーセメントモルタルに関する研究

##### 3. 1. 1 目的

ポリマーセメントモルタルは、付着性に優れ、コンクリートとの一体性を図れることから、既存の建物の補修・補強等に必要不可欠な材料である。しかし、ポリマーセメントモルタルの耐久性や耐火性に関する知見は少なく、ポリマーセメントモルタルが、かぶりコンクリートの果たす鉄筋保護効果と同等の役割機能を果たすことができるかどうかという観点からの評価は十分とはいえない状況にある。また、構成材料として有機物であるポリマーを含むため、火災時や高温下での性状について把握した上で適切に使用する必要がある。セメント混和用ポリマーを調整して混入したポリマーセメントモルタルに対して、ポリマーの種類や混入量が燃焼特性や熱伝導率等に及ぼす影響の研究[1]、発熱性に及ぼす影響の研究[2]、高温を受けたときの力学特性の研究[3]などが行われ、各種特性に関して様々な知見が報告されている。しかし、一般に市販されているポリマーセメントモル

タルは、そのほとんどがプレミックス製品であり、ポリマーの種類や含有量、水結合材比、砂結合材比、有機繊維の種類や含有量、収縮低減剤や膨張材の有無など内容物の詳細は開示されておらず、ポリマーセメントモルタルの性能に大きく影響する材料調合がどのようになっているか不明なのが実態である。

そこで本研究では、国内で市販されているプレミックスタイプのポリマーセメントモルタルを対象に、基本材料特性、火災を想定した加熱時の発熱特性、および耐久性を把握する試験を行い、かぶり厚さ補修用の材料としての適用性について検討した。

##### 3. 1. 2 実験概要

###### (1) 実験シリーズ

実験は、ポリマーセメントモルタルの基本性能を把握するための実験（実験1）と、耐久性を確認するための実験（実験2）を行った。実験1および実験2の検討項目を表-3.1.1に示す。

表-3.1.1 実験シリーズと検討項目

分類	試験項目	実験1	実験2
フレッシュ特性	モルタルフロー	●	●
	モルタルスランプ	●	●
	空気量	●	●
力学特性	圧縮強さおよび曲げ強さ	●	●
	圧縮強度および静弾性係数	●	—
	接着強さ	●	—
加熱時特性	着火性	●	—
	発熱性	●	—
	加熱時の吸発熱特性	●	●
耐久性	中性化抵抗性	—	●
	乾燥収縮特性	—	●
	塩化物イオン浸透抵抗性	—	●
	凍結融解抵抗性	—	●

実験1では、本研究会でかぶり厚さ補修用ポリマーセメントモルタルとしてメーカーに製品を公募し、応募のあった13銘柄と、比較用としてポリマーを添加して調整した調合既知のポリマーセメントモルタル5調合について、性能比較試験を行った。試験項目は、ポリマーセメントモルタルの基本性能を確認試験するための試験としてフレッシュ性状、力学性能の確認、およびポリマーセメントモルタルが火災により加熱された場合の加熱時特性とした。

実験2では、実験で基本性能および発熱特性が良好であることが確認された銘柄、一部改良を加えた市販品11銘柄と、比較用としてポリマーを添加して調整した調合既知のポリマーセメントモルタル3調合を対象として、フレッシュ性状および耐久性に関する実験を行った。

## (2) 使用材料

実験に使用したポリマーセメントモルタルのポ

リマー種類およびポリマー量と、使用した実験シリーズを表-3.1.2に示す。

市販のポリマーセメントモルタルのポリマーの種類、ポリマー量についてはメーカーから開示された情報で、ポリマーセメント比(P/C)で表した。各材料の混入量はメーカーからの情報提供の通り記載している。ポリマー種類は、エチレン・酢酸ビニル共重合樹脂(略称:EVA)、酢酸ビニル・バーサテート共重合樹脂(略称:VVA)、アクリル酸エステル共重合樹脂(略称:PAE)、スチレンブタジエンラバー(略称:SBR)の4つの系統のものが使用されている。

調整した調合既知のポリマーセメントモルタルは、セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は大井川産川砂(粗粒率:2.97, 表乾比重:2.63g/cm<sup>3</sup>, 吸水率:1.81%)を使用した。ポリマーは、JISA6203に規定される、EVA, VVA, SBRを使用した。

使用したポリマーの特性値を表-3.1.3に示す。

表-3.1.2 ポリマーセメントモルタルのポリマー種類および量

区別	記号	ポリマー種類	ポリマー量(P/C)	実験1	実験2
市販品	A	EVA	4~8%	●	●
	B	EVA	4%以下	●	—
	C	EVA	約2%	●	●
	D	VVA	5~10%	●	●
	E	PAE	4~10%	●	●
	F	PAE	約4%	●	●
	G	PAE	4~5%	●	●
	H	PAE	2~4%	●	—
	I	PAE	4%以下	●	●
	J	PAE	5~10%	●	●
	K	SBR	4~10m%	●	—
	L	SBR	5~10%	●	—
	M	無し	—	●	—
	S	PAE	1~5%	—	●
	T	PAE	2~5%	—	●
	U	EVA	2~6%	—	●
調合既知	N	無し	—	●	●
	O	EVA	4.2%(20kg/m <sup>3</sup> )	●	●
	P	EVA	10.5%(50kg/m <sup>3</sup> )	●	●
	Q	VVA	4.2%(20kg/m <sup>3</sup> )	●	(●)
	R	SBR	4.2%(20kg/m <sup>3</sup> )	●	(●)

調査既知のポリマーセメントモルタルについては、表-3.1.2にP/Cと単位ポリマー量(kg/m<sup>3</sup>)を併記した。調査は、水セメント比を50%、セメント砂比(質量比)を1:3とした。

躯体保護効果の確認のために作製した試験体に用いた躯体を模したコンクリートには、水セメント比

55%、目標スランブ18cm、目標空気量4.5%のレディミクストコンクリートを使用した。使用材料を表-3.1.4に、調査を表-3.1.5に示す。躯体コンクリートはポリマーセメントモルタルによる施工の2週間前に製作した。中性化促進試験開始時の材齢は42日で、圧縮強度は32.7N/mm<sup>2</sup>であった。

表-3.1.3 調査既知のモルタルに使用したポリマーの特性値

再乳化形粉末樹脂	揮発分(%)	粒子径*(%)	酸価(mgKOH/mg)	見掛け密度(g/ml)
EVA	2.0以下	2以下	2.0以下	0.50±0.10
VVA	2.0以下	2以下	2.0以下	0.53±0.10
ポリマーディスパージョン	固形分(%)	pH(20°C)	粘度(mPa·s)	密度(g/ml)
SBR	44.6	8.0~9.0	500~1500	1.0

\*:300μmふるい残分

表-3.1.4 コンクリートに使用した材料

セメント	普通ポルトランドセメント(密度:3.15g/cm <sup>3</sup> )
粗骨材	茨城県つくば市産砕石(表乾密度:2.69g/cm <sup>3</sup> ・実積率:60.0%)
細骨材	茨城県行方市産陸砂、栃木県佐野市産砕砂混合(表乾密度:2.61g/cm <sup>3</sup> ・粗粒率:2.69)
混和剤	リグコンスルフォン酸塩系AE減水剤(標準型I種)

表-3.1.5 コンクリートの調査および圧縮強度

W/C(%)	S/a(%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )
		C	W	S	G	AE	
55.0	46.6	324	178	821	968	3.47	32.7

### (3) 告示1372号における試験方法および評価基準

平成13年国土交通省告示第1372号第2項(以下、告示1372号)に規定されるポリマーセメントモルタルに求められる強度等の基準値を表-3.1.6に示す。告示第1372号においては、かぶり部分のコンクリートをポリマーセメントモルタル等のコンクリート以外の材料とする場合の、圧縮強さ、曲げ強さ、接着強さ、接着耐久性について強度の基準値が定められている。しかし告示1372号では、火災時の燃焼や発熱などの特性や、耐久性に関する規定はない。かぶりコンクリートの機能には、火災時に鉄筋の温度が上昇するのを抑制する効果や、鉄筋防錆効果が期待されていること

を考えると、現行の告示1372号で示された基準内容では十分とは言えないと考えられる。

### (4) 試験項目、試験方法および試験体

#### 1) フレッシュ特性

フレッシュ特性の試験項目および試験方法を表-3.1.7に示す。

コンシステンシーの評価として、モルタルフロー、スランブ(モルタル用ミニスランブ)試験を実施した。

空気量は、容量1リットルのエアメーターを用いて空気室圧力方法で測定した。

#### 2) 力学特性

力学特性の試験項目および試験方法を表-

3.1.8に示す。力学特性試験用の供試体の養生は、JIS A 1171に規定される養生条件（2日間湿空・5日間水中・21日間空气中養生）に従った。

① 圧縮強さおよび曲げ強さ

試験体の形状および寸法は、原則としてJIS等の規定に準じ、圧縮強さおよび曲げ強さ試験は、40×40×160mmの角柱供試体を用いた。

② 圧縮強度および静弾性係数

圧縮強度および静弾性係数については、φ50×100mmの円柱供試体を用いた。

③ 接着強さおよび接着耐久性

接着強さおよび接着耐久性の試験は、引張り試験について建研式接着力試験機を用い、これにあわせてモルタル基材の大きさを100×100×20mmの平板とした。

接着試験体の下地処理として、市販品についてプライマー処理を標準的に行う材料の場合にはプライマー処理を行ったものを行わないものの2つの水準とし、プライマー処理を標準としない材料および既知の調合の材料の場合には、プライマー処理は行っていない。

3) 加熱時特性

ポリマーセメントモルタルの加熱時特性の試験項目および試験方法を表-3.1.9に示す。

① 着火性

着火性試験は、着火や爆裂の有無を確認するための試験として実施した。試験体は、150×150mmの平板で厚さを10mm、30mm、50mmとした。試験体は、150mm角の角柱供試体に打ち込んだ後に所定の厚さに切断した。

試験体の養生は、JIS A 1171に規定される材齢28日までの養生後、60℃の乾燥器内で3日間乾燥した後、デシケータ内で室温まで徐冷した。試験体の含水率は、別途求めた吸水率を用いて推定した値で厚さ10mmが0.3～2.7%（平均1.6%）、厚さ30mmが1.7～5.5%（平均3.6%）、厚さ50mmが2.7～7.2%（平均5.0%）であった。試験体数は各条件

2体を標準として行った。

着火性試験で与える輻射熱量は発熱性試験と同じ50kW/m<sup>2</sup>とした。

② 発熱性

試験体は、100×100mmの平板で厚さを10mmとした。試験体は、100mm角の角柱供試体に打ち込んだ後、10mmの厚さにの切断した。

発熱性試験においては、ポリマーセメントモルタルが、不燃材料相当の発熱性であるかどうかを評価した。評価は、加熱開始後20分間の総発熱量が8MJ/m<sup>2</sup>を超えないこと、最大発熱速度が10秒以上継続して200kW/m<sup>2</sup>を超えないことおよび防火上有害な裏面まで貫通する亀裂および穴が生じないことが不燃材料としての要件となる。

発熱性試験の試験体の養生は、着火性試験と同様にJIS A 1171に規定される材齢28日までの養生後、60℃の乾燥器内で3日間乾燥した後、デシケータ内で室温まで徐冷した。試験体（厚さ10mm）の含水率は、0.6～2.9%（平均1.8%）であった。試験体数は各条件2体を標準として行った。

なお、発熱性試験における試験体厚さおよび乾燥の条件については、発熱量が大きく安全側の評価をするための条件として決定した[4]。

③ 加熱時の吸発熱特性

TG-DTA（示差熱-熱重量同時測定）により熱分析を行なった。測定に供した試料は、ポリマーセメントモルタル硬化体を乳鉢で粉末状にすりつぶした後ふるいにかけて、細骨材や繊維を出来るだけ取り除いた試料約50mgを用いて測定を行なった。昇温速度は20℃/minとし、温度範囲が30℃～1000℃の空気雰囲気中で測定した。

④ 耐爆裂性

耐爆裂性の評価試験は、φ45×50mmのポリマーセメントモルタルを800℃に保った電気炉内に20分間静置し、損傷状況等を確認した。その際、試験体の含水率は4～6%にあることを確認した。

表-3.1.6 告示 1372 号における強度等の基準値

試験項目		試験方法	基準値
力学性状	圧縮強さ	JIS A 1171	20N/mm <sup>2</sup> 以上
	曲げ強さ	JIS A 1171	6N/mm <sup>2</sup> 以上
	接着強さ	JIS A 1171	1N/mm <sup>2</sup> 以上
	接着耐久性	JIS A 1171	1N/mm <sup>2</sup> 以上

表-3.1.7 試験項目, 試験方法および試験体 (フレッシュ性状)

試験項目	試験方法	備考
モルタルフロー	JIS R 5201	15 打フロー
スランプ	JIS A 1171	底辺φ100 上辺φ50 高さ 150mm ミニスランプ
空気量	JIS A 1128	空気圧法 (容量 1L)

表-3.1.8 試験項目, 試験方法および試験体 (力学特性)

試験項目	試験方法	試験体	養生方法, 試験材齢
圧縮強さ	JIS A 1171	40×40×160mm	28 日 (2 日間湿空・5 日間水中・21 日間気中養生)
曲げ強さ	JIS A 1171		
圧縮強度	JIS A 1108	φ50×100mm	同上
静弾性係数	JIS A 1149		
接着強さ	JIS A 1171	100×100×20mm のモルタル基盤上に幅 40×40×10mm 厚	同上 上記方法で材齢 25 日まで養生後水中 3 日浸漬後, -20℃と 50℃の温冷繰り返し 10 回 (1 日 1 回) 実施後
接着耐久性	JIS A 1171		

表-3.1.9 試験項目, 試験方法および試験体 (加熱時特性)

試験項目	試験方法	試験体	養生方法, 試験材齢
着火性	JIS A 9523 附属書 1	150×150mm の平板で 厚さ 10mm, 30mm, 50mm	JIS A 1171 に規定の養生*後, 60℃乾燥器内で 3 日間乾燥
発熱性	ISO 5660-1	100×100mm の平板で 厚さ 10mm	
加熱時の吸発熱特性	TG-DTA (温度範囲 30℃~1000℃ (空気中), 昇温速度 20℃/min)	乳鉢で粉碎した試料 約 50mg	
耐爆裂性	常温の試験体を 800℃に保った電気炉内に入れた状態で 20 分間静置	φ45×50mm 円柱供試体	含水率が 5±1%になるように恒温恒湿槽内で調整

・材齢 2 日まで湿空, 材齢 7 日まで 20℃水中養生, その後材齢 28 日まで 20℃気中養生

#### 4) 耐久性

耐久性の試験項目および試験方法を表-3.1.10に示す。

##### ①中性化

試験体は図-3.1.1に示すように、ポリマーセメントモルタル単体の場合（試験体 A）と、コンクリート面をポリマーセメントモルタルで補修した状態を模擬しコンクリートの片面にポリマーセメントモルタルを施工した場合（試験体 B）の2種類とした。コンクリート面へのポリマーセメントモルタルの施工は、下地コンクリートの材齢14日に施工した。

試験体の組合せを表-3.1.11に示す。試験は、促進中性化試験と屋外曝露による中性化測定のパターンとした。

中性化前の試験体の前養生は、材齢2日まで湿空養生して脱型後材齢7日まで20℃水中養生、その後材齢28日まで20℃60RH%気中養生した場合、実施工を模擬して材齢2日までシート養生後、材齢28日まで20℃60RH%気中養生した場合の2種類とした。施工後材齢7日まで試験体をビニールシートで覆って急激な乾燥を防止している。

促進中性化試験は、JISA 1153に従い、試験開始材齢を28日として、1, 4, 8, 13, 26週経過時点の中性化深さを測定した。中性化深さの測定は、試験体は、割裂面の両面を計10点測定し、試験体は、コンクリート面とポリマーセメントモルタル面の各5点ずつ測定した。屋外曝露試験は、材齢2日までシート養生を行ったのち、材齢28日まで20℃60RH%で気中養生した後、茨城県つくば市の屋外にて曝露した。曝露1年後に、ポリマーセメント補修面の中性化深さと、もう一方のコンクリート面の中性化深さを促進中性化試験と同様の方法で測定した。

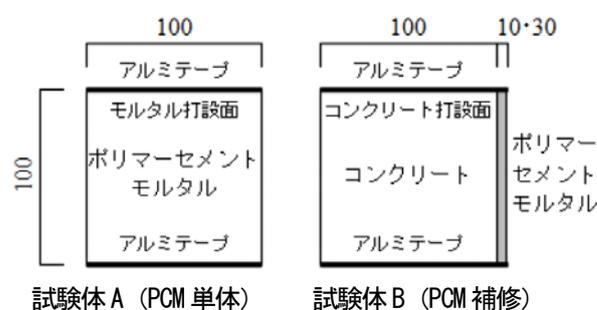


図-3.1.1 試験体形状・寸法 [単位:mm]

表-3.1.10 試験項目、試験方法および試験体（耐久性）

試験項目	試験方法	試験体	養生方法、試験材齢
中性化抵抗性	JISA 1153	PCM単体およびPCM補修試験体（図-3.1.2.1参照）	促進中性化試験および屋外曝露試験（表-3.1.2.4参照）
乾燥収縮特性	JISA 1129-2	40×40×160mm <sup>*1</sup>	材齢28日までJISA 1171に規定の養生 <sup>*2</sup> を行い20℃60RH%の室内で基長を測定後、1, 2, 4, 8, 13, 26, 52週に測定
塩化物イオン浸透抵抗性	JISA 1171	100×100×100mm <sup>*1</sup>	材齢28日までJISA 1171に規定の養生 <sup>*2</sup> 後、JISA 6205 付属書1に規定の塩分溶液に浸せきして28日後、56日後に測定
凍結融解抵抗性	JISA 1148 JISA 1171	40×40×160mm <sup>*1</sup>	材齢28日までJISA 1171に規定の養生 <sup>*2</sup> 後、水中凍結水中融解30サイクルごと300サイクルまで動弾性係数を測定

\*1：試験体の寸法は、JISA 1171に従った

\*2：材齢2日まで湿空、脱型後材齢7日まで20℃水中、その後材齢28日まで20℃60RH%気中養生

表-3.1.11 中性化試験の概要

試験の種類	試験体			前養生		中性化	
	試験体 A (PCM 単体 100×100×100 mm)	試験体 B (PCM 補修)		JISA 1171*1	シート養生*2	中性化 開始 材齢	測定材 齢
		10mm 厚	30mm 厚				
促進試験	●			●		28 日	1, 4, 8, 13, 26 週
	●				●		
		●			●		
曝露試験		●			●	28 日*3	1 年
			●		●		

\*1：材齢 2 日まで湿空，脱型後材齢 7 日まで 20℃水中，その後材齢 28 日まで 20℃60%RH 気中養生

\*2：材齢 2 日までシート養生後，材齢 28 日まで 20℃60%RH 気中養生

\*3：屋外曝露を開始した材齢

②乾燥収縮試験

前養生は，材齢 2 日まで湿空，脱型後材齢 7 日まで 20℃水中とした JIS A 1171 に規定される養生とした場合と，材齢 2 日までの湿空養生だけとした場合の 2 通りとした。

前養生を終了後，20℃・60%RH の恒温恒湿室で JIS A 1129-2 に従い試験体の基長を測定し，その後の乾燥期間 1, 2, 4, 8, 13, 26, 52 週に測長して，長さ変化率を求めた。

③塩化物イオン浸透深さ試験

JIS A 1171 に従い，前養生後，温度 20℃で JIS A 6205 の付属書 1 に規定する塩分溶液に浸せきし，28 日，56 日経過した後に取り出した。塩化物イオン浸透深さの測定は，割裂面に 0.1%フルオレセインナトリウム水溶液および 0.1N 硝酸銀溶液を噴霧して，蛍光を発する部分を塩化物イオン浸透域とし，塩化物イオンが浸透した 1 側面から 5 箇所ずつ，計 10 か所を測定した。

④凍結融解試験

JIS A 1171 に従い前養生後，JIS A 1148 による水中凍結水中融解を 300 サイクル行い，凍結融解に対する抵抗性を評価するために相対動弾性係数を求めた。動弾性係数は，市販の測定器により試験体長手方向の縦波超音波の伝搬時間から音速を測定し，式(1)により簡易的に算出した。

$$E_d = \rho V_p^2 \quad (1)$$

ここに， $Ed$  : 動弾性係数(N/m<sup>2</sup>)  
 $\rho$  : 試験体密度(kg/m<sup>3</sup>)  
 $V_p$  : 超音波音速(m/s)

### 3. 1. 3 実験結果

#### (1) フレッシュ特性

試験したポリマーセメントモルタルのフレッシュ性状を、表-3.1.12に示す。参考に、JISA 1171による圧縮強さも併せて示す。

モルタルフロー（15打）は、130～200mm程度の範囲であった。空気量は、最小で3%程度、最も大きいものは10%を超えており、銘柄による違いが見られた。しかし、空気量が大きい銘柄でも、圧縮強度はいずれも40N/mm<sup>2</sup>を超えており、告示1372号に規定される基準値20N/mm<sup>2</sup>を十分に上

回っていることが確認できる。

#### (2) 力学特性

##### 1) 圧縮強さおよび曲げ強さ

ポリマーセメントモルタルの圧縮強さ、曲げ強さを図-3.1.2に示す。

ポリマーセメントモルタルの場合、ポリマーの混入が大きくなると、他の条件が同じ場合には圧縮強度や弾性係数が低下し、曲げ強度は若干大きくなる傾向にあることが分かっている[3]。しかしながら、今回実験を行った材料は、いずれも高強

表-3.1.12 ポリマーセメントモルタルのフレッシュ性状

区別	記号	ポリマー種類	ポリマー量(P/C)	実験1				実験2			
				モルタルフロー(mm)	スランプ(mm)	空気量(%)	圧縮強さ	モルタルフロー(mm)	スランプ(mm)	空気量(%)	圧縮強さ
市販品	A	EVA	4～8%	128	5	5.8	48.2	150	47	7.6	50.6
	B	EVA	4%以下	183	66	9.2	44.0	—	—	—	—
	C	EVA	約2%	197	98	8.5	61.1	170	65	8.5	75.2
	D	VVA	5～10%	168	31	6.4	53.6	169	36	4.6	55.0
	E	PAE	4～10%	150	10	8.5	61.5	164	42	12.5	51.5
	F	PAE	約4%	161	40	7.7	66.3	150	46	5.7	81.0
	G	PAE	4～5%	147	16	5.2	60.8	170	35	3.4	67.4
	H	PAE	2～4%	131	24	4.3	71.1	—	—	—	—
	I	PAE	4%以下	161	18	15.0	47.4	167	37	13.2	48.1
	J	PAE	5～10%	152	15	5.2	73.3	161	26	4.8	65.3
	K	SBR	4～10m%	149	47	9.9	62.3	—	—	—	—
	L	SBR	5～10%	146	38	6.7	52.6	—	—	—	—
	M	無し	—	152	56	5.3	93.9	—	—	—	—
	S	PAE	1～5%	—	—	—	—	192	75	10.2	43.3
	T	PAE	2～5%	—	—	—	—	171	32	4.8	74.8
U	EVA	2～6%	—	—	—	—	177	83	13.5	55.6	
調合既知	N	無し	—	179	26	3.2	65.3	188	35	3.5	66.4
	O	EVA	4.2%(20kg/m <sup>3</sup> )	191	65	4.2	67.2	193	86	3.2	61.5
	P	EVA	10.5%(50kg/m <sup>3</sup> )	184	89	3.2	63.4	192	96	3.6	57.0
	Q	VVA	4.2%(20kg/m <sup>3</sup> )	192	75	6.1	61.1	(192)	(75)	(6.1)	—
	R	SBR	4.2%(20kg/m <sup>3</sup> )	193	73	9.1	44.9	(193)	(73)	(9.1)	—

度の材料であり、告示 1372 号における基準値よりも相当に大きな値である。

### 2) 圧縮強度および静弾性係数

圧縮強度および静弾性係数を図-3.1.3に示す。また、圧縮強度と静弾性係数の関係を図-3.1.4に示す。

圧縮強度と静弾性係数の関係として、JASS 5[5]に示される関係式に、コンクリートの単位容積質量として  $2.3t/m^3$  とした場合の関係を比較した。JASS 5に示されるコンクリートの関係式に対しては、一つの材料を除いて概ね相対的に小さい値となるが、材料の圧縮強度が大きいことから、18~45N/mm<sup>2</sup>程度の一般的な強度のコンクリートと同程度の弾性係数になることが分かる。

### 3) 接着性

図-3.1.5に材料ごとの接着強さ、図-3.1.6に接着耐久性試験の結果を示す。

接着試験の結果は、概ね1N/mm<sup>2</sup>を超えている。接着耐久性については、全体的に接着力が低下しており、特にプライマーの塗布がない場合には1N/mm<sup>2</sup>を下回る材料も多く見られる。ただし、実際の施工においては、吸水防止材としてプライマーが塗布される場合が多いことを考慮すると、補修部の一体性の確保に必要な接着性を確保することは十分可能であると思われる。

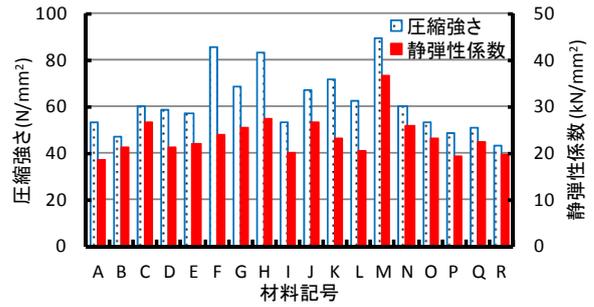


図-3.1.3 圧縮強度および静弾性係数

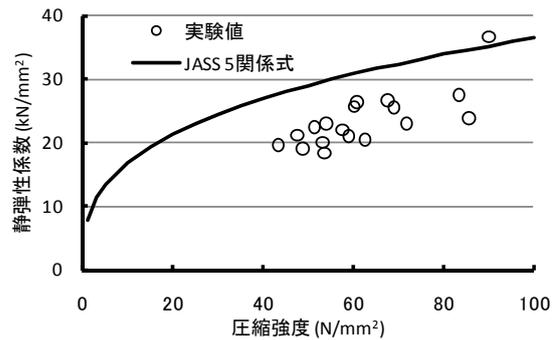


図-3.1.4 圧縮強度と静弾性係数の関係

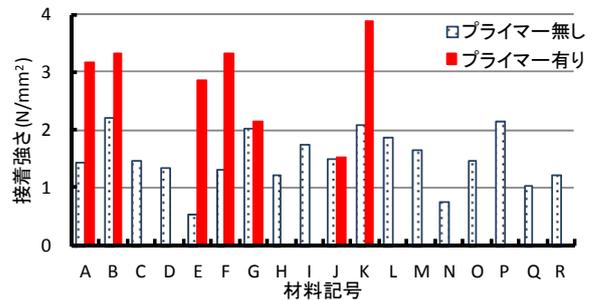


図-3.1.5 接着試験の結果

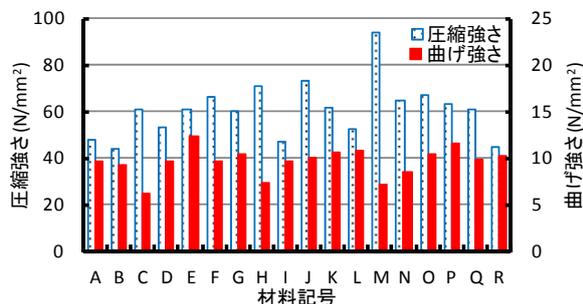


図-3.1.2 圧縮強さおよび曲げ強さ

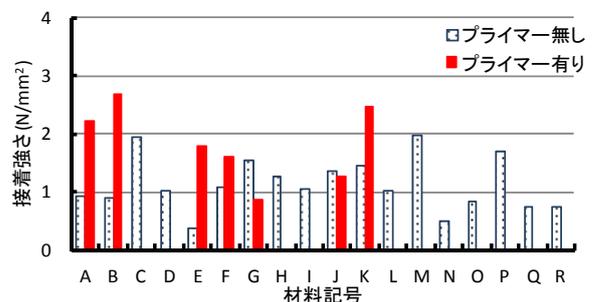


図-3.1.6 接着耐久性試験の結果

### (3) 加熱時特性

#### 1) 着火性

表-3.1.13 に着火性試験の結果を示す。試験の結果は試験中（20 分間）の発煙および着火の有無で表している。

厚さ 10mm の試験体では、発煙は多くの材料に発生し、着火は SBR を使用したものおよび PAE で比較的混入量が多い材料に発生している。30mm および 50mm の厚さでは発煙、着火ともにほとんど発生しておらず、これは、試験体厚さが大きくなるほど、試験体の熱容量が大きくなり、内部の温度が上昇しにくくなることによる<sup>4)</sup>。

#### 2) 発熱性

図-3.1.7 に材料ごとの総発熱量および最大発熱速度、図-3.1.8 にポリマー量と総発熱量の関係をポリマーの種類ごとに整理した図を示す。総発熱量および最大発熱速度は複数回の試験の最大値を用い、ポリマー量の記載に幅がある場合にはその中央値を用いた。

総発熱量は、市販の SBR 系および PAE 系の一

部を除くと不燃材料の要件である 8MJ/m<sup>2</sup> を下回っている。また、最大発熱速度はいずれも 200kW/m<sup>2</sup> を下回っている。試験体の爆裂や大きな損傷はいずれの試験体にも確認されなかった。ポリマー量 (P/C) と総発熱量の関係は、ポリマーの種類ごとに見ると概ね比例関係にあり、SBR 系を除くと P/C=10%程度までにおいて総発熱量が 8MJ/m<sup>2</sup> 以下であることが分かる。ただし、材料によっては有機系の繊維などが含まれていることやセメント量によってポリマーの絶対量が異なることなどから P/C のみで不燃性を評価することは必ずしも適切ではない。

図-3.1.9 に接着耐久性試験の結果と総発熱量の関係を示す。接着強さはプライマー処理の有無にかかわらず大きい方の値で整理している。図中のハッチ掛けの部分は、接着性の目安である 1N/mm<sup>2</sup> 以上と不燃性の判定値である 8MJ/m<sup>2</sup> 以下の両者を満足していると思われる範囲であり、この範囲にあるポリマーセメントモルタルが市販品として多く存在し得ることが明らかとなった。

表-3.1.13 着火性試験の結果

記号	ポリマー種類	厚さ:10mm		厚さ:30mm		厚さ:50mm	
		発煙	着火	発煙	着火	発煙	着火
A	EVA	●					
B	EVA	○					
C	EVA	●					
D	VVA	○					
E	PAE						
F	PAE	●					
G	PAE	○					
H	PAE	○					
I	PAE	●					
J	PAE	●	○				
K	SBR	○	●	○			
L	SBR	○	○	○			
M	無し	○					
N	無し						
O	EVA	○					
P	EVA	●					
Q	VVA	○					
R	SBR	●					

●：2 体の試験体が該当した場合，○：1 体のみが該当した場合

空欄：全ての試験体が該当しない場合

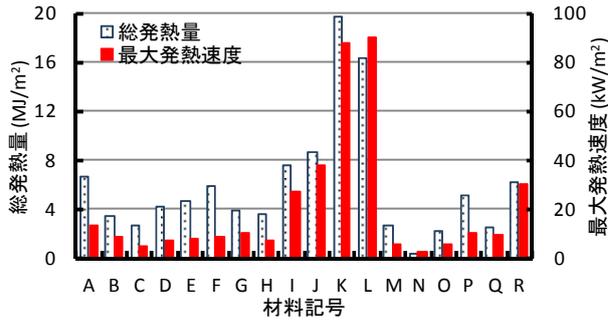


図-3.1.7 発熱性試験の結果

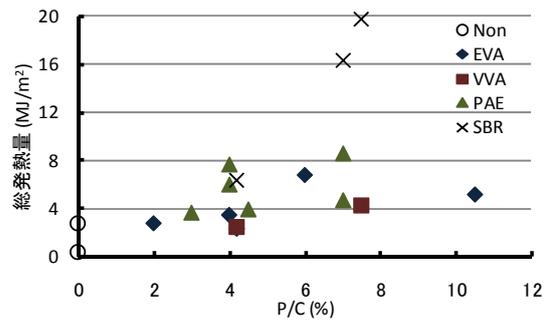


図-3.1.8 ポリマー量と総発熱量の関係

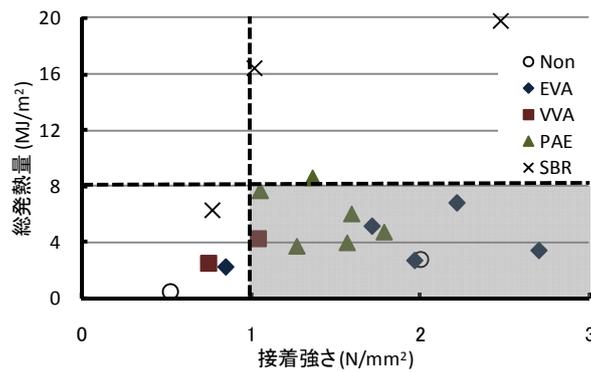


図-3.1.9 接着耐久性試験の結果と総発熱量の関係

### 3) 熱分析

#### ①ポリマー種類と吸発熱特性の関係

TG-DTA による熱分析では、一定速度で加熱した時の質量変化と化学的・物理的变化を判断できる示差熱曲線が得られる。図-3.1.10 に示差熱曲線の例として、ポリマーを含まない N の測定結果を示す。示差熱曲線は、昇温パターン既知の基準物質 ( $\alpha$ -アルミナ) と測定試料を同一電気炉に設置し、加熱過程で生じる両者の温度差を熱電対の起電力として定量的に測定して得られる。図-3.1.11 に調査既知のポリマーセメントモルタル5種の示差熱曲線と熱変化量に比例する発熱ピーク面積を示す。発熱ピーク面積は、起電力差  $0\mu\text{V}$  を基線として、起電力差  $\mu\text{V}$  を温度差に換算して、基線より発熱側に反応している面積を求め、単位質量当たりの数値として示した。ポリマー無し N に発熱側の反応がほとんど認められないことから、 $230\sim 470^\circ\text{C}$ にかけての発熱反応はポリマーの酸化・燃焼によるものであると考えられる。この温度域での発熱反応は、セメント混和用再乳化形粉

末樹脂に対して熱分析を行った研究[6]の発熱温度域と一致する。ポリマー種類で発熱ピークのパターンを比較すると、EVA は、大小2つのピークが認められ、ポリマー混入量が異なる O と P で発熱ピーク面積を比較すると、ポリマー混入量が多い P のほうがより明瞭な発熱ピークパターンが現れると同時に発熱ピーク面積も増大することが分かる。

VVA は左右対称な一つのピークが認められ、SBR は緩やかな複数のピークが認められる。また、単位ポリマー量が同じであれば発熱ピーク面積は、 $VVA < EVA < SBR$  となることが確認でき、この結果は既往の発熱性試験[1]の総発熱量の大小関係と一致する。一方、市販品 11 種の発熱ピークのパターンを図-3.1.12 に示す。ポリマーに EVA を使用している市販品 2 種 (A, C) の発熱ピークのパターンは、いずれも図-3.1.11 にみられる大小2つのピークがみられず、異なるピークパターンとなっている。また、同じ PAE でも製品によって発熱ピークのパターンが異なっている。これらは、

取りきれなかった有機系の繊維が残っていること  
や、同じ系統に分類されるポリマーにおいても、

製造方法や添加剤の種類・混入量等が異なること  
が理由であると推測される。

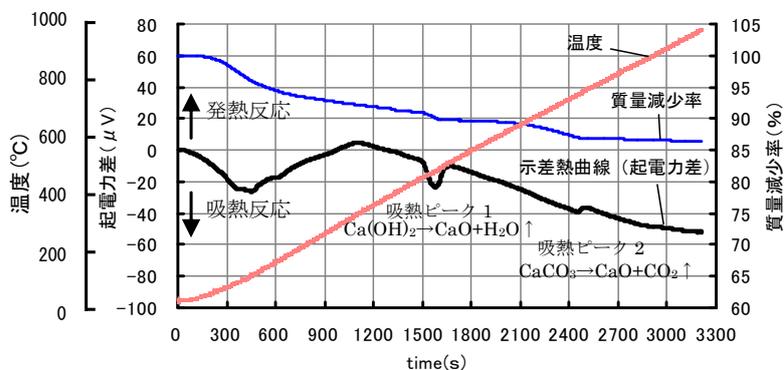


図-3.1.10 示差熱曲線の例 (N ポリマー無し)

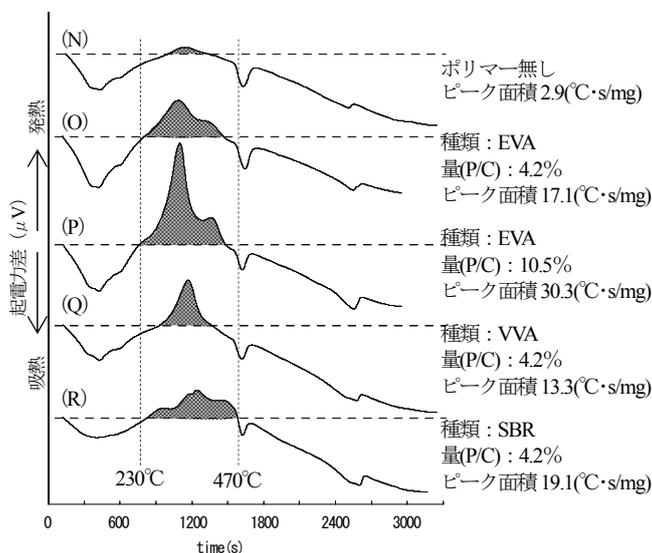


図-3.1.11 調査既知の示差熱曲線

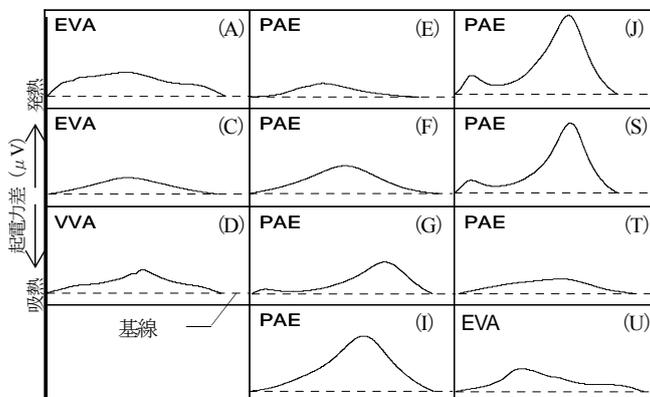


図-3.1.12 示差熱曲線発熱ピークのパターン (市販品 11 種)

②発熱ピーク面積と耐爆裂性評価

図-3.1.13 にポリマー量と発熱ピーク面積の関係を示す。ポリマー量の記載に幅があるものはその中央値を用いた。ポリマー量と発熱ピーク面積の関係は、PAE においてばらつきがあるが、全体的な傾向として、ポリマー量が増えるにつれて発熱ピーク面積が増大する傾向にある。図-3.1.8 によれば、ポリマー量と発熱性試験における総発熱量の関係は、ポリマーの種類ごとに見ると概ね比例関係にある。そこで、総発熱量と発熱ピーク面積の関係を図-3.1.14 に示す。総発熱量の増加にともない発熱ピーク面積が増加する傾向にあるが、ポリマー種類ご

とのポリマー量との関係と比較するとその相関性は明瞭ではない。これは発熱性試験における総発熱量が、必ずしも材料に含まれる有機物量のみを評価しているものではないことなどによると思われる。

図-3.1.14 には、耐爆裂性評価試験における爆裂の有無を合わせて示す（爆裂したものは図中のプロットに○印）。爆裂の有無を見ると、ピーク面積が大きくなり  $8^{\circ}\text{C}\cdot^{\circ}\text{C}/\text{mg}$  を超えると爆裂を生じているものが増えていることが分かる。この結果より、発熱ピーク面積により爆裂の危険性について、ポリマーの種類によらず評価できる可能性があると考えられる。

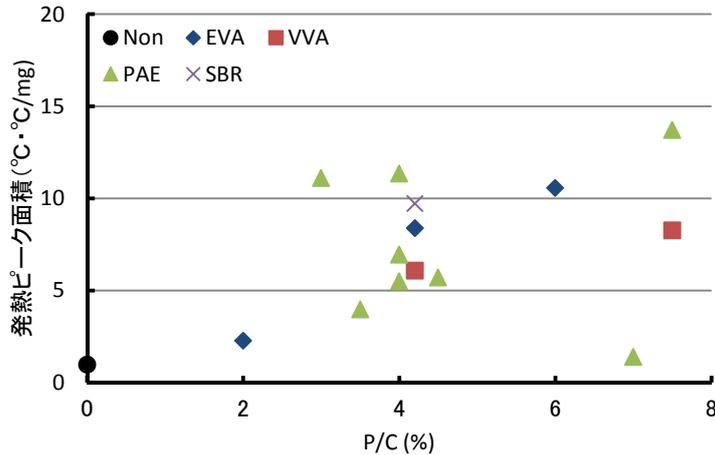
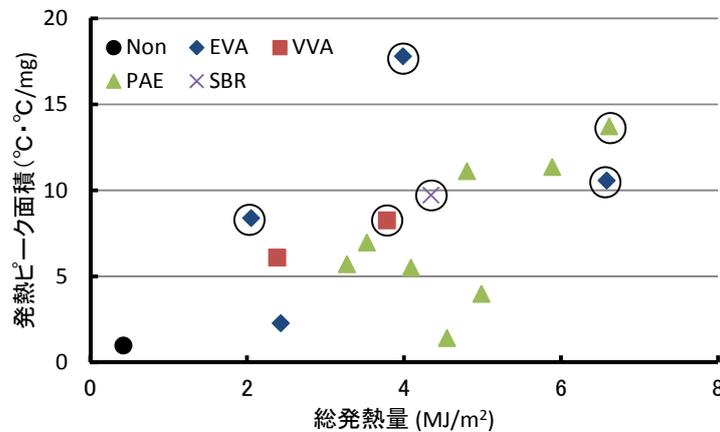


図-3.1.13 ポリマー量と発熱ピーク面積の関係



プロットに○印があるものは爆裂したことを示す

図-3.1.14 総発熱量と発熱ピーク面積の関係と爆裂の有無

#### (4) 耐久性

##### 1) 中性化

###### ①促進中性化試験

図-3.1.15に養生条件ごとのポリマーセメントモルタルおよび下地コンクリートの中性化速度係数を示す。中性化速度係数は、各材齢での試験結果を(2)式に代入し、最小二乗法により求めた。なお、コンクリート面を補修しシート養生した試験体Bについては、10mm厚と30mm厚の測定結果

$$C = A\sqrt{t} \quad (2)$$

ここに、C: 中性化深さ(mm)  
A: ポリマーセメントモルタルの中性化速度係数(mm/week<sup>0.5</sup>)  
t: 試験材齢(week)

の平均値とし(ただし中性化深さがモルタル厚さ以下の測定値のみ)、補修していない下地コンクリートについては全試験体の平均で表した。

中性化速度係数は、ポリマーセメント種類により大きく異なっており、ほとんど中性化が進行しないものから、最大で約3.5mm/week<sup>0.5</sup>となるが、いずれの材料も下地としたコンクリート(W/C=55%)よりも小さい値である。また、普通モルタル(記号N)と同等かそれ以下のものが多い。ポリマーセメントモルタル単体の試験体Aについて、養生条件の影響について全般的な傾向をみると、JIS養生に比べシート養生した場合の中性化速度係数は、1.5~2倍程度大きくなっており、初期養生による影響が大きいことが確認される。また、ポリマーセメントモルタルで補修した試験体Bをシート養生したものについては、試験体AのJIS養生とシート養生の中間かシート養生と同程度となる材料が多くなっている。

###### ②躯体保護効果の評価

コンクリート面に施工したポリマーセメントモルタルの中性化に対する躯体保護効果について、李らの文献[7]における考え方にに基づき評価を行った。李らは、表層部に厚さdのモルタルの層がある場合において、表層のモルタルが完全に中性化した後のコンクリートの中性化深さCを、モルタ

ルおよびコンクリートのCO<sub>2</sub>の拡散係数、モルタルおよびコンクリートの単位体積あたりのCa(OH)<sub>2</sub>量を使って、(3)式のように示している。

$$C = A' \left( \sqrt{(t-T) + R^2} - R \right) \quad (3)$$

ここに、C:コンクリートの中性化深さ(mm)  
A':コンクリートの中性化速度係数(mm/week<sup>0.5</sup>)  
t : 時間 (week)  
T :モルタル層全てが中性化する時間(week)  
R :モルタルとコンクリートの中性化速度係数、Ca(OH)<sub>2</sub>量比およびモルタル厚さから決まる下式の係数

$$R = \left( \frac{A'}{A} \right)^2 \cdot (H/H_m) \cdot \frac{d}{A'}$$

A :モルタルの中性化速度係数(mm/week<sup>0.5</sup>)  
d :モルタル厚さ(mm)  
H/H<sub>m</sub> :Ca(OH)<sub>2</sub>量比(ここでは材料Pの単位セメント量比0.66)

(3)式に、実験で得られたモルタルとコンクリートの中性化速度係数、モルタルとコンクリートの調査上の単位セメント量の比からCa(OH)<sub>2</sub>量比(H/H<sub>m</sub>)を代入し、コンクリートの中性化深さの推定を行った。

図-3.1.16にコンクリートのみ(W/C=55%)と、最も中性化速度係数の大きいSおよび調合既知のPをそれぞれ10mmおよび30mm塗り重ねた場合の中性化深さの推定結果を示す。モルタルSにおいても、下地のコンクリートと比較して中性化速度は小さいため、10mm厚であっても中性化の進行は抑制できていることが分かる。また、実験においては、DおよびSの10mm厚施工のものは試験材齢13週においてモルタル層が全て中性化し、コンクリート部分が中性化し始めた。その他の材料については、中性化がモルタル層で留まっており、その前にコンクリートが中性化することはなかった。

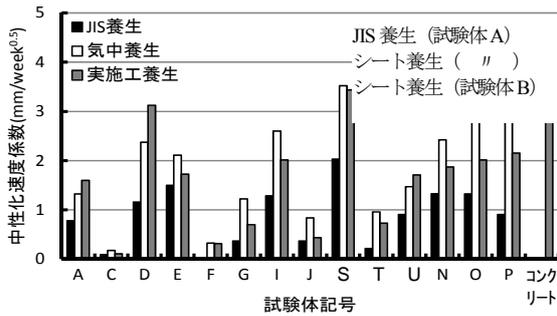


図-3.1.15 促進中性化試験結果

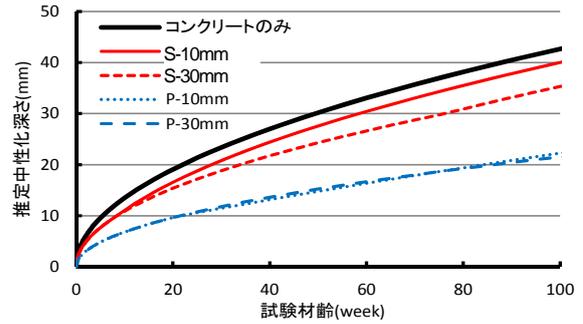


図-3.1.16 中性化深さの推定結果

③PCM の中性化抵抗性と JASS 5 の計画供用期間の級との対応

#### 評価方法

PCM の中性化抵抗性の評価は、JASS 5[5]に示されている計画供用期間の級に応じた所要の中性化速度係数を補修対象のコンクリートの中性化抵抗性を示す指標とし、それと PCM の中性化速度係数と比較する方法とした。ここで、JASS 5 に示されている中性化速度係数は、屋外曝露試験結果に基づく値であることから、本実験における促進試験結果から最小二乗法で求めた中性化速度係数を用いて評価することができない。そこで、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 濃度の曝露積算値から屋外にて曝露した場合に相当する期間 (屋外曝露相当期間) を推定し、その期間から中性化速度係数の屋外曝露換算値を算出して評価した。

#### 屋外曝露相当期間の推定

促進試験の CO<sub>2</sub> 濃度を 5%，屋外の CO<sub>2</sub> 濃度を 400ppm (0.04%)，1 年=52 週とすると、促進期間  $t_a$  週に対応する屋外曝露相当期間  $t_o$  年は(4)式にて求められ、促進期間 26 週に対応する屋外曝露相当期間は 62.5 年となる。

$$t_o = \frac{5}{0.04} \times \frac{t_a}{52} \quad (4)$$

推定した屋外曝露相当期間の妥当性を確認するため、促進試験における試験体 B の下地コンクリートの中性化深さの平均値と屋外曝露試験の試験結果を比較した (図-3.1.17)。その結果、概ね一致していることが確認できた。

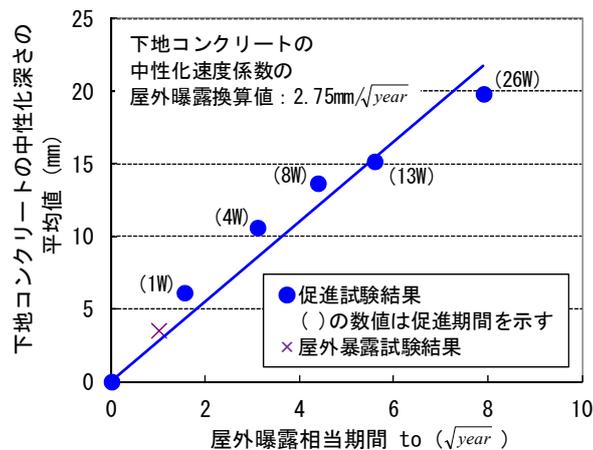


図-3.1.17 屋外曝露相当期間とコンクリートの中性化深さ

### PCM の中性化抵抗性の評価

(4)式により求めた屋外曝露相当期間を用いて各 PCM の中性化速度係数を屋外曝露換算値とした結果および屋外曝露試験から求めた中性化速度係数を表-3.1.14 に示す。ここで、それぞれの試験体 B の値は PCM の塗厚 10mm と 30mm の平均値として示した。試験体 B における屋外曝露換算値と屋外曝露試験の結果から求めた中性化速度係数を比較すると、C・J を除き屋外曝露試験結果から求めた値の方が大きくなっていった。これは、屋外曝露期間がまだ1年と短いためであると考えられる。また、試験体 B の屋外曝露換算値をみると、D・S を除いて W/C50% の普通モルタル N よりも

値が小さくなっていった。一方、下地コンクリートと比較すると全ての PCM で値が小さくなっていった。表-3.1.3.3 には、JASS 5 における計画供用期間の級に応じた所要の中性化速度係数と比較した結果を併せて示している。比較した PCM の中性化速度係数は、実施工に近い条件である試験体 B における屋外曝露換算値とした。その結果、市販品のうち D・S を除き、「標準」・「長期」の所要の値以下、C・F・G・J・T では「超長期」の所要の値以下であった。ただし、所要の値を超過した PCM であっても、他の性能に支障のない範囲で増し塗りすることで所定の中性化抵抗性を確保する方法も考えられる。

表-3.1.14 PCM の中性化速度係数と JASS 5 における計画供用期間の級に応じた所要の中性化速度係数との比較

記号	中性化速度係数 (mm/√year)				JASS 5 における計画供用期間の級における所要の中性化速度係数との比較		
	屋外曝露換算値			屋外曝露実測値	標準 (1.69)	長期 (1.36)	超長期 (0.69)
	試験体 A JISA 1171	試験体 A シート養生	試験体 B シート養生	試験体 B シート養生			
A	0.50	0.85	1.03	2.03	○	○	—
C	0.06	0.11	0.07	0.00	○	○	○
D	0.75	1.53	1.86	2.38	—	—	—
E	0.96	1.36	1.11	1.73	○	○	—
F	0.01	0.21	0.21	1.18	○	○	○
G	0.23	0.79	0.46	0.75	○	○	○
I	0.83	1.68	1.30	2.56	○	○	—
J	0.24	0.54	0.28	0.00	○	○	○
S	1.31	2.27	1.97	3.12	—	—	—
T	0.14	0.62	0.48	0.58	○	○	○
U	0.58	0.95	1.10	2.38	○	○	—
N	0.85	1.57	1.44	2.38	○	—	—
O	0.85	1.98	1.30	2.48	○	○	—
P	0.59	1.95	1.39	2.38	○	—	—

※ ○:計画供用期間の級の所要の値以下 —:計画供用期間の級の所要の値超過

※ ( )内の数字は JASS 5 における所要の中性化速度係数の値を示す

## 2) 乾燥収縮

ポリマーセメントモルタル種類および養生条件毎の乾燥収縮率を図-3.1.18 および図-3.1.19 に示す。調合既知の材料の乾燥収縮率は、ポリマーを添加することでポリマーを添加していない N に比べていずれもの乾燥収縮率は大きくなるが、EVA 添加量を変えた O, P からの結果からはポリマー量による影響は認められない。市販品は、ポリマーセメントモルタルの種類により大きく異なっており、乾燥期間 28 日では、 $195 \times 10^{-6} \sim 859 \times 10^{-6}$ 、乾燥期間 365 日では、 $570 \times 10^{-6} \sim 1703 \times 10^{-6}$  の間にあり、W/C=50%、セメント砂比(重量比) 1:3 のプレーンモルタル(試験体記号 N)と比較して、試験体によって大きいものと小さいものの差が大きかった。養生条件の違いとしては、一部を除いて、乾燥期間 28 日、365 日共に JIS 養生の結果が大きくなった。その理由として、JIS A 1171 では 2 日で脱型後材齢 7 日まで水中養生を行って組織構造が緻密化しなおかつ水分を十分含んだ状態から乾燥させるのに対し、打込み後 2 日湿空養生

した後に乾燥させる試験体は、組織構造が JIS 養生と比較すると粗なうえに乾燥により逸散する水量が少ないため、結果として JIS 養生と比較して乾燥収縮率が小さくなったものと推測される。JIS A 1171 では、長さ変化を測定する材齢を 28 日と規定しており、材齢 28 日の場合では、プレーンモルタルを含めどのポリマーセメントモルタル種類でも乾燥収縮率は  $900 \times 10^{-6}$  以下となっている。しかし、材齢 365 日での乾燥収縮率は、最大で約  $1700 \times 10^{-6}$  に達するものもあり、面積の大きい箇所等で使用する場合には、乾燥収縮によるひび割れ等の影響を検討する必要があると考えられる。

## 3) 塩化物イオン浸透深さ

図-3.1.20 に、ポリマーセメントモルタル種類毎の塩化物イオン浸透深さを示す。塩化物イオン浸透深さは、調合既知の材料では、試験体記号 O ( $EVA 20 \text{kg/m}^3$ )の試験材齢 56 日において小さくなるものの、それ以外の影響は少ない。市販品は、浸透深さ 0mm の試験体記号 C を除くと、浸漬期

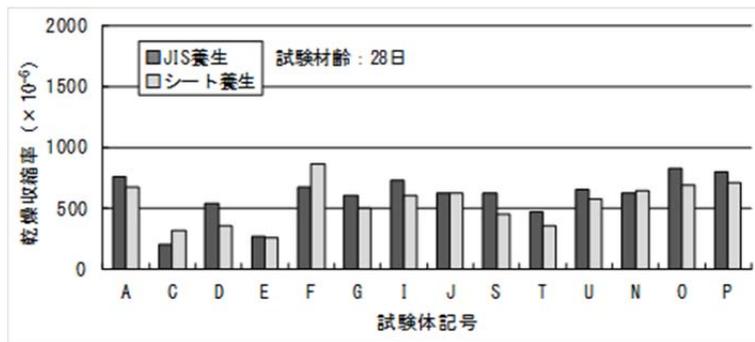


図-3.1.18 ポリマーセメントモルタル種類毎の乾燥収縮率(28日)

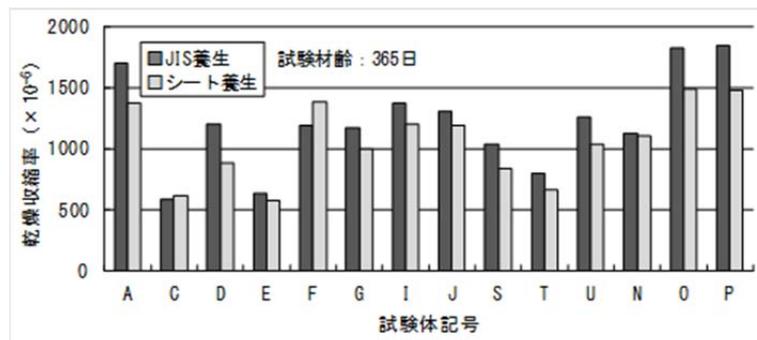


図-3.1.19 ポリマーセメントモルタル種類毎の乾燥収縮率(365日)

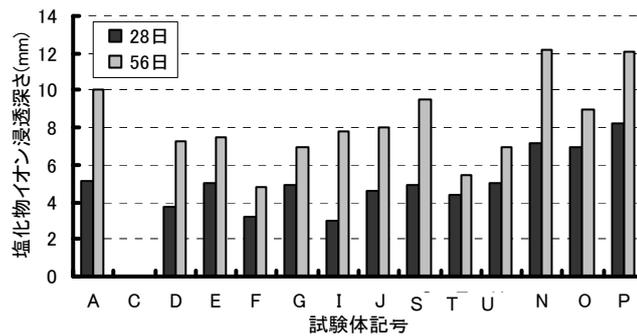


図-3.1.20 ポリマーセメントモルタル種類毎の塩化物イオン浸透深さ

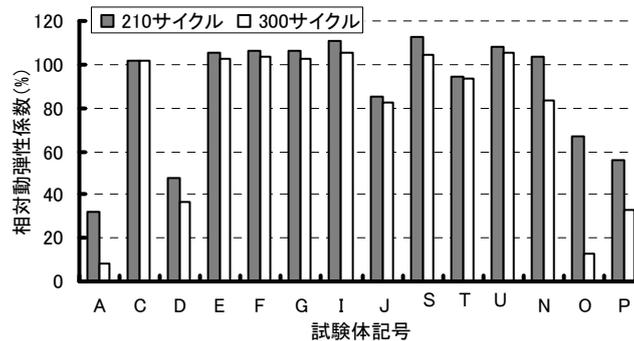


図-3.1.21 ポリマーセメントモルタル種類毎の相対動弾性係数

間 28 日で 3.0～8.2mm, 浸漬期間 56 日で 4.8～12.2mm で, 既調合モルタルでは浸漬期間 28 日で 6.9～8.2mm, 浸漬期間 56 日で 9.0～12.2mm の範囲にあり, ポリマーセメントモルタルの種類による違いは少ない。また, 市販品 (試験体記号 A～J, S～U) とプレーンモルタル (試験体記号 N) の比較では, 浸漬期間 28 日および 56 日も, 全てのポリマーセメントモルタルで塩化物イオン浸透深さは小さくなった。

#### 4) 凍結融解

図-3.1.21 に, ポリマーセメントモルタル種類毎の相対動弾性係数を示す。JISA 1171 では, 200 サイクルでの比較となっているが, 本実験では 30

サイクル毎に測定したため, 210 サイクルで評価することとした。調査既知の材料において, 相対動弾性係数は, 210 サイクルの試験体記号 N を除き全てで 85%以下となった。相対動弾性係数は, 210 サイクルではポリマー添加量の増加により低下する傾向が認められたが, 300 サイクルまでのサイクル数と動弾性係数の関係では, プレーンモルタルと比較して相対動弾性係数は低下するものの, 添加量による大きな差はなかった。市販品は, 11 種類のうち, 相対動弾性係数が 85%を下回ったものは, 210 サイクルで試験体記号 A, D の 2 種類, 300 サイクルで J の 1 種類となり, それ以外の 8 種類は 300 サイクルまで相対動弾性係数が 85%以上であった。

### 3. 1. 4 まとめ

ポリマーセメントモルタルの本報告の結果は以下のようにまとめられる。

#### (1) フレッシュ特性

- ・モルタルフローおよび空気量はポリマーセメントモルタルの銘柄によって異なる。特に空気量に関しては銘柄による違いが大きく、3%程度のものから10%を大きく超えるものまでと様々であった。

#### (2) 力学特性

- ・本実験の対象としたポリマーセメントモルタルの圧縮強さおよび曲げ強さは、告示1372号に規定される圧縮強さの基準値  $20\text{N/mm}^2$  を十分に上回り、曲げ強さの基準値  $6\text{N/mm}^2$  もすべて満足していることが確認された。
- ・接着性および接着耐久性の結果は、概ね告示1372号に規定される基準値  $1\text{N/mm}^2$  を超えていた。ただし、下地処理の方法や材料の種類によっては基準値を下回る場合もみられた。

#### (3) 加熱時特性

- ・発熱性試験の結果は、SBR系の材料以外について不燃材料として判断される  $8\text{MJ/m}^2$  を下回る材料が多く、接着性と不燃性の両者を満足することができるポリマーセメントモルタルが多く存在することが示された。
- ・示差熱曲線により、調合が既知のポリマーセメントモルタルにおいてはポリマー種類によ

りそれぞれ異なる発熱ピークパターンが現れ、示差熱重量分析における発熱ピーク面積と発熱性試験における総発熱量の相関性が確認された。

- ・示差熱曲線で得られる発熱ピーク面積により、ポリマーセメントモルタルの爆裂の危険性を評価できる可能性があると思われる。

#### (4) 耐久性

- ・実験に使用した市販のポリマーセメントの中性化速度は、実施工を想定した養生条件においても一般的なコンクリート ( $W/C=55\%$ ) よりも小さく中性化抵抗性は大きかった。また、ポリマーセメントモルタルを表層に施工することによりコンクリートの中性化の進行が抑制できることが確認された。
- ・市販のPCMは、一部の材料を除き、JASS5における計画供用期間の級「標準」・「長期」の所要の中性化速度係数以下であった。また、5種類のPCMで「超長期」の値以下となった。
- ・市販のPCMの乾燥収縮率は、乾燥期間28日で  $900 \times 10^{-6}$  以下となったが、乾燥期間365日では最大で約  $1700 \times 10^{-6}$  と大きい材料も存在した。
- ・塩化物イオン浸透深さは、いずれの市販PCMもプレーンモルタルと比較して小さくなった。
- ・水中凍結水中融解300サイクル後の相対動弾性係数は、市販品11種類のうち8種類は85%以上であったが、3種類は85%を下回った。

<参考文献>

- [1] 濱崎仁ほか：ポリマーセメントモルタルの  
燃焼特性および熱伝導率に関する研究（そ  
の1～その3），日本建築学会大会学術講演  
梗概集，A-2，pp.159-164，2008.9
- [2] 濱崎仁ほか：ポリマーセメントモルタルの  
発熱性に関する研究（その1～その2），日  
本建築学会大会学術講演梗概集，A-1，  
pp.435-438，2009.9
- [3] 濱崎仁ほか：高温を受けたポリマーセメン  
トモルタルの力学性状，コンクリート工学  
年次論文集，Vol.31，No.1，pp.1927-1932，  
2009.7
- [4] 金亨俊ほか：ポリマーセメントモルタルの発  
熱性に関する研究 その2，日本建築学会大  
会学術講演梗概集，A-1，pp.437-438，2009.9
- [5] 日本建築学会：建築工事標準仕様書 JASS 5  
鉄筋コンクリート工事，2009.2
- [6] 王徳東ほか：高温加熱下におけるセメント  
混和用再乳化形粉末樹脂の挙動，日本燃焼  
学会第44回燃焼シンポジウム講演論文集，  
pp.410-411，2006.12
- [7] 李榮蘭ほか：表層コンクリートの品質と中  
性化進行に関する解析的検討，日本建築学  
会構造系論文集，No.649，pp.499-504，2010.3

### 3. 2 施工方法および防耐火性能に関する研究

ポリマーセメントモルタルは、高温時においてはポリマーの燃焼により空隙が増加することによって一般的なモルタルやコンクリートと比較して熱伝導率が低下すると言われている[1]。したがって、火災時にポリマーセメントモルタルが落下などを生じず元位置に留まりさえすれば、ポリマーセメントモルタル断面補修した RC 部材の温度を低く抑えることができると推測される。

ただし、セメントに対するポリマー重量比(P/C)が高い場合には、爆裂の可能性がある、また、爆裂しなくても剥落すると、RC 造部材・躯体や鉄筋の温度上昇を早め、耐火性能の低下につながる。つまり、耐火構造である RC 造部材に適用するポリマーセメントモルタル補修工法には、以下2つの性能が要求される。

- ・火災時にポリマーセメントモルタルが剥落しない。
- ・火災時にポリマーセメントモルタルが爆裂しない。

上記2つの要求性能を満たす施工方法とポリマーセメントモルタル材料を把握するために、火災時におけるポリマーセメントモルタル剥落防止工法(Phase1)、ポリマーセメントモルタルの耐爆裂性(Phase2)、ポリマーセメントモルタルによる大型壁面の施工性および耐火性(Phase3)、ポリマーセメントモルタルで補修した荷重支持部材の耐火性能について検討(Phase4)を行った。本節ではその詳細を述べる。

#### 3. 2. 1 火災時剥落防止工法(Phase1)

##### (1) 補修施工

###### 1) はじめに

躯体コンクリートの断面補修には、コンクリートのほかに、ポリマーセメントモルタル(以下、PCM)が使用される。しかしながら、火災時など高温に曝される状態では、補修面が大きい場合や補修厚さが薄い場合には、剥落やはらみ等が生じる可能性が高くなることが報告されている[2]。このため火災時の補修箇所を含めた躯体の防耐火性

を確保するために、何らかの剥落防止措置が必要であると考えられる。

本研究では PCM を用いて補修施工した壁試験体の耐火試験を実施し、PCM の剥落防止工法について、メッシュの種類や留め付け方法、継手方法や位置などが試験体内部温度や剥落・はらみ等におよぼす影響について検討した。ここでは各種メッシュによる剥落防止工法を用いた補修施工について報告する。

##### 2) 補修施工概要

試験体一覧を表-3.2.1 に、メッシュの種類を表-3.2.2 に、メッシュの割付を図-3.2.1 に示す。壁試験体寸法は1100×1100×150mm、コンクリートは普通 36-18-20N (W/C41.6%) とした。補修施工は、5種類のメッシュを用いて、PCM 補修厚さや表層からのメッシュ位置、メッシュの継手方向や継手方法などを水準とした計10体とした。試験体 No.7,11,12 は補修面を2つに分け、パラメータを変えた。比較用試験体は無補修、剥落防止措置なしの2体とした。

PCM の調査と使用材料を表-3.2.3 に示す。P/C は 6.3%とし、消泡剤を用いて空気量を調整した。仕上げ用 PCM では細骨材の最大寸法を 5mm、下ごすり用では 1.25mm とした。

PCM 補修の施工手順(補修厚さ 10mm)を図-3.2.2 に示す。施工前の下地処理としてコンクリート躯体表層をカップホイールで除去して清掃を行った。メッシュは 400mm ピッチでネジ式アンカー(L=75mm)とワッシャー(φ20,40mm)を用いて留め付けた。メッシュの継手は重ね代を 50mm とし、突き付けではワッシャーでメッシュを押さえ込むようにして留め付けた。PCM の1層あたりの塗厚さは 10mm とし、30mm の場合は3層塗りとした。施工は1日1層とした。下地(下層)との密着性を高めるため、各層ごとに2~3mm 程度、下塗り用 PCM による下ごすりを行った後に所定の厚さまで仕上用 PCM を塗りつけた。メッシュの伏せ込みは下ごすり後に行った。

今回実施の施工方法による各種メッシュの伏せ込みおよび PCM の塗り付けの作業性は概ね良好

であった。ただし、ML900では目が細かいため剛性が高く、伏せ込みに時間を要した。初期養生はポリフィルムにて1週間封かん養生とした。耐火

試験前には、含水率を4%程度に調整するために室温約60℃で1週間強制乾燥養生を行った。

表-3.2.1 試験体一覧

試験体記号		分類	補修厚さ	メッシュ位置	継手方向	継手方法
1	Con	無補修	—	—	—	—
2	N-10	措置なし	10mm	1層目	—	—
3	ML300-10-1	メタルラス			縦・横	重ね
4	ML300-10-2				横	
5	ML900-10					重ね
6	PW-10	平織金網			縦	左右縁切り +重ね
7	CR-10	ガラス繊維 (格子)				
	TA-10	ガラス繊維 (トライアングル)				
8	ML300-30	メタルラス	3層目	横	突き付け 重ね 突き付け	
9	ML900-30					
10	PW-30					平織金網
11	CR-30-1	ガラス繊維 (格子)	30mm	1層目	縦	左右縁切り +重ね
	CR-30-2					
12	TA-30-1	ガラス繊維 (トライアングル)	30mm	1層目	縦	
	TA-30-2					

表-3.2.2 メッシュの種類

記号	仕様等
ML300	メタルラス 鋼板厚さ 0.4~0.6mm SUS304 製 網目寸法 (短) 13~16mm (長) 26~32mm
ML900	メタルラス 鋼板厚さ 0.4~0.5mm SUS304 製 網目寸法 (短) 9~10mm (長) 19~20mm
PW	平織金網 線径 φ0.8mm SUS304 製 網目寸法 4メッシュ (目開き 5.55mm)
CR	耐アルカリ性ガラス繊維 (格子状) 網目寸法 10×10mm
TA	耐アルカリ性ガラス繊維 (トライアングル) 網目寸法 (縦) 33mm (斜め) 16mm

表-3.2.3 PCMの調合と使用材料

種別	P/C (%)	質量比			
		C	S	P	W
仕上げ用	6.3	1	3	0.063	0.50
下ごすり用	6.3	1	3	0.063	0.55
セメント(C)	普通ポルトランドセメント 密度 3.16g/cm <sup>3</sup>				
細骨材(S)	陸砂(大井川水系産川砂) 表乾密度 2.63 g/cm <sup>3</sup> F.M.2.97 吸水率 1.81% 最大寸法-PCM仕上用 5mm 下ごすり用 1.25mm				
ポリマー(P)	エチレン酢酸ビニル共重合樹脂(EVA)系 再乳化型粉末樹脂				
消泡剤	非イオン型消泡剤				

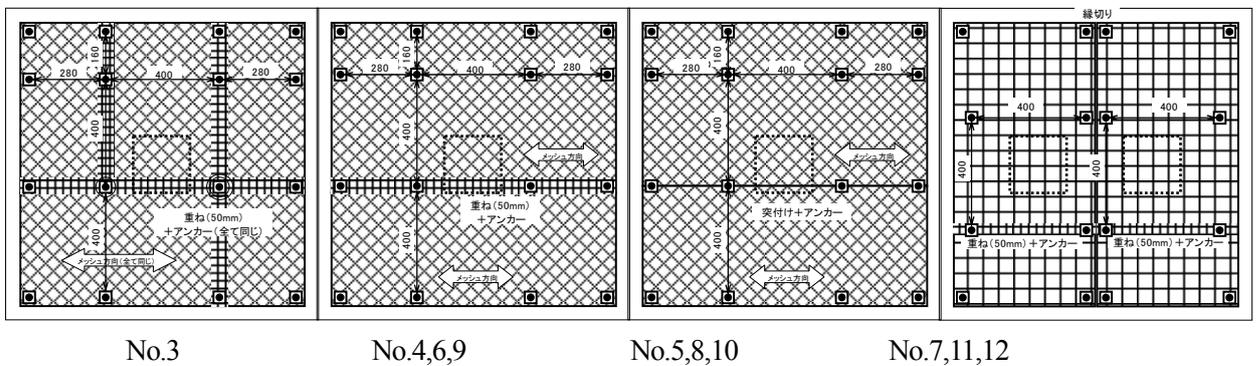


図-3.2.1 メッシュの割付

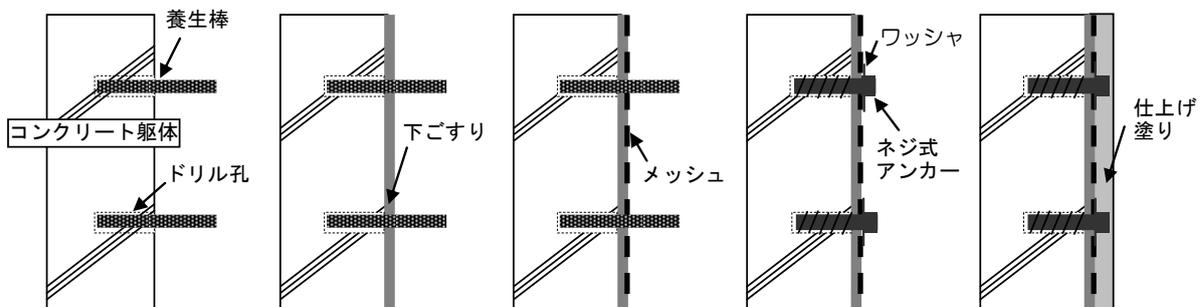


図-3.2.2 補修手順(補修厚さ10mm)

3) 補修施工後の試験体

目視観察および打診調査により確認された試験体の浮き・ひび割れの発生状況(加熱前)を図-3.2.3に示す。浮き・ひび割れはN-10では顕著であったが、剥落防止措置を施した補修厚さ10mmの場合、いずれのメッシュでも浮きやひび割れは軽微な傾向にあった。補修厚さ30mmでは、いずれのメッシュでも浮きやひび割れが認められるものの、外観からはメッシュ位置(留め付け位置)

である3層目の下層部まではある程度堅固な状態であると推察され、今回実施した剥落防止措置が一定の効果を示したものと考えられる。なお、浮きの位置(塗り厚さ方向)は判別が困難であった。補修厚さ30mm(試験体No.8~10)において、メッシュ位置(留め付け位置)を1層目、3層目とした場合(試験体No.11,12)を検討したが、1層目での留め付けは1~2層目での剥離発生につながる結果となった。剥離は端部において最大値で5mm

となった。本実験で浮き・ひび割れが多く発生した原因としては、補修施工に用いたPCMの収縮低減対策が十分でないことから収縮量が大きかった

こと、含水率を4%とするために強制乾燥を施したことなどが考えられる。

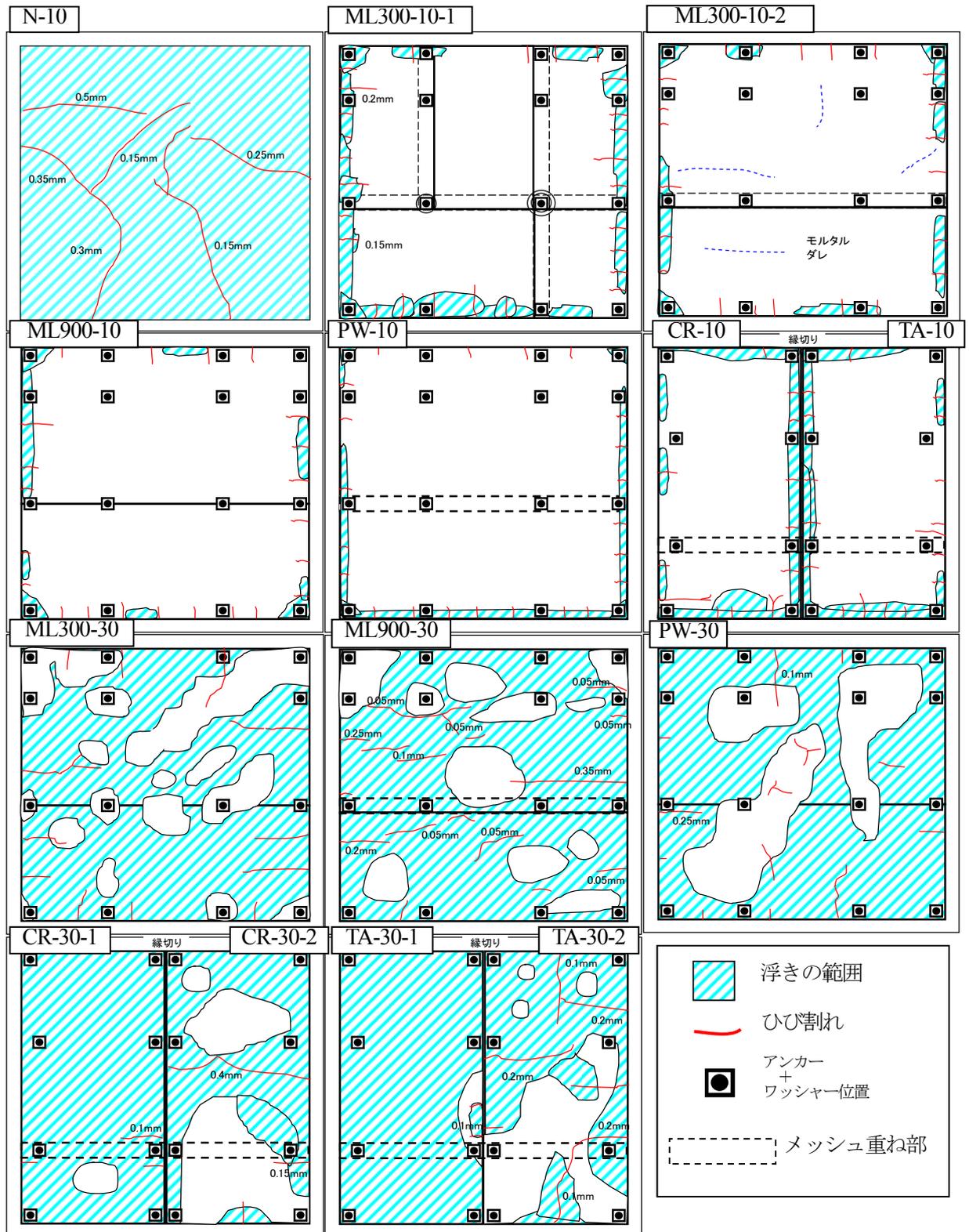


図-3.2.3 試験体の浮き・ひび割れ発生状況（加熱前）

## (2) 耐火試験

### 1) はじめに

ここでは、ポリマーセメントモルタル(以下、PCM)で補修した壁部材を模擬した試験体の耐火試験を実施し、PCMの剥落防止方法(メッシュの種類、メッシュの継手方法や位置等)の違いによる剥落等のPCMの損傷状況への影響、試験体内部温度について評価した結果を報告する。

### 2) 実験概要

PCMによる補修厚さは10mmと30mmとし、各試験体で剥落防止方法を変化させた。試験体の母材コンクリート、PCMに使用した材料および調査、ならびにメッシュの種類およびその継手方法や位置等の詳細については、3.2.1(1)に示した通りである。

試験体6体を1組として4m×4mのマスクパネルに固定し、壁状に立てた状態で加熱炉に設置した。試験は、2組の計12体について実施した。加熱は、ISO834に規定される標準加熱曲線に従った3時間の加熱とし、3時間経過後は12時間まで加熱炉内で自然冷却させた。炉内温度の変化および標準加熱曲線を図-3.2.4に示す。

損傷状況は、試験体を加熱炉から外した後、目視観察および打診により、浮き・剥離、ひび割れ、ふくれ、剥落等の確認を行った。

壁試験体内部の温度測定は、PCMによる補修厚さも含め、加熱表面から30mm、50mmの位置とした。温度測定には、K型熱電対を使用し、30秒毎に測定した。熱電対の設置方法は、試験体裏面からドリルにより削孔し、熱電対を所定の位置に設置した後、孔をモルタルで充填した。

### 3) 結果と考察

耐火試験後の外観の目視観察結果を表-3.2.4に、状況写真を写真-3.2.1に示す。比較用のコンクリート試験体については、耐火試験直後、大きな損傷がなかったが、数日後、全面的に表層の5mm程度が砂状に変化していた。N-10については、剥落はなかったものの、ひび割れの発生が多く、ひび割れた部分では大きな浮きが生じた。一方、剥落防止処置を施した他の試験体については、どの試験体もほぼ全面的に浮きやふくれが生じており、程度の差はあるが表面には凹凸があり、アンカー部分が凹んでいる試験体が多かった。

メッシュの種類の違いについて見てみると、ハイラスを使用した試験体(ML900)のみ写真-3.2.1のようにメッシュの外側でPCM表層の剥落が認められた。これは、ハイラスは柔軟性がなく、伏せ込み時に無理に一部押さえ込んでおり、そのような箇所では剥落が生じているものと考えられる。

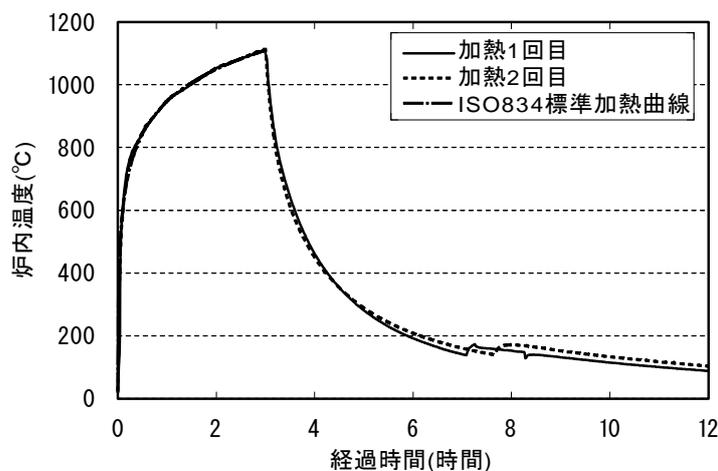


図-3.2.4 加熱炉内の温度履歴

一方、平織金網を使用した PW-10 については、ふくれが生じているものの剥落もひび割れも認められなかった。ガラス繊維については、1 層目に伏せ込んだものは残っていたが、表面に近い 3 層目に伏せ込んだものは溶融し消失していた。

メッシュの継手方法の違いについて見てみると、突付けで施工した試験体は、3 体中 2 体に写真 3.2.1 のように突付けに沿ったひび割れが発生していたが、重ねで施工した試験体には継手に沿ったひび割れは認められなかった。アンカーについては、全ての試験体において抜け出しは発生しておらず、アンカー部分で浮いていた箇所は、アンカー部分のメッシュが切れて浮きが生じていた。補修厚さの違いについて見てみると、30mm 厚さの 3 層で施工された試験体では、表面に近い 2~3 層間での浮きが大きく、深い位置の層ほど界面での浮きは小さくなる傾向が認められた。

各試験体の加熱表面から 30mm と 50mm 部分の最高温度と最高温度到達時間を表 3.2.5 に、最

高温度の分布と比較を図 3.2.5 に示す。PCM で補修した全ての試験体とも、無補修の普通コンクリート試験体よりも最高温度が低かった。これは、PCM が火災中に剥落しなければ、PCM の浮きやふくれによって生じた空気層に断熱効果があること、および PCM の熱伝導率が普通コンクリートよりも低く、普通コンクリートに比べて熱が伝わりにくいためと考えられる。また、加熱面から 30mm 位置、50mm 位置とも、補修厚さ 10mm の試験体よりも、補修厚さ 30mm の試験体の方が最高温度は低かった。これも、PCM の熱伝導率が普通コンクリートよりも低く、PCM 層が厚いほど熱が伝わりにくいためと考えられる。

ひび割れが多かった N-10、CR-10、TA-10、TA-30-2 試験体と、ひび割れが少なかった他の試験体の最高温度を比較すると、両者に明確な差異がなく、ひび割れの多寡がコンクリート温度に与える影響は認められない。

表 3.2.4 外観の目視観察結果

試験体記号	浮き・剥離	ひび割れ	ふくれ	剥落
Con	砂状に変化	無	無	無
N-10	全面	多	16.9%	無
ML300-10-1	外周	少	16.7%	無
ML300-10-2	外周	少	26.6%	無
ML900-10	無	少	40.4%	有
PW-10	外周	無	21.9%	無
CR-10	外周	多	29.5%	無
TA-10	外周	多	26.6%	無
ML300-30	外周	少	29.1%	無
ML900-30	無	少	38.1%	有
PW-30	外周	少	36.8%	無
CR-30-1	全面	少	31.5%	無
CR-30-2	全面	少	37.6%	無
TA-30-1	全面	少	44.4%	無
TA-30-2	全面	多	44.3%	無

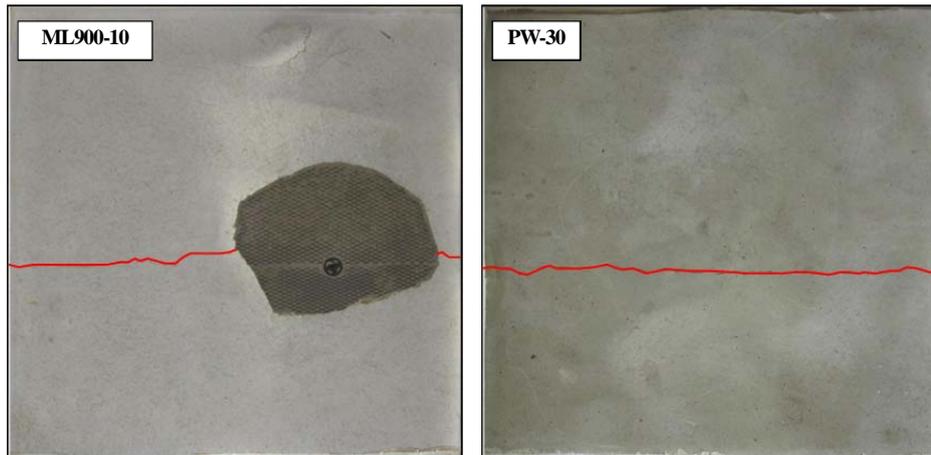


写真-3.2.1 耐火実験後の状況

表-3.2.5 加熱表面から30mmと50mmの最高温度と最高温度到達時間

試験体記号	表面から30mm		表面から50mm	
	最高 温度	経過 時間	最高 温度	経過 時間
	(°C)	(h:mm)	(°C)	(h:mm)
Con	602.9	3:00	439.6	3:24
N-10	488.2	4:48	380.1	3:30
ML300-10-1	546.7	3:11	379.2	3:28
ML300-10-2	551.0	3:11	383.4	3:27
ML900-10	513.1	4:36	394.6	3:27
PW-10	527.5	4:00	365.3	3:31
CR-10	545.0	3:47	407.3	3:27
TA-10	533.0	4:36	391.5	3:31
ML300-30	485.8	3:36	322.3	3:32
ML900-30	448.9	5:35	317.3	3:38
PW-30	484.7	4:12	331.5	3:33
CR-30-1	447.6	5:24	307.8	3:38
CR-30-2	478.0	4:36	334.6	3:34
TA-30-1	453.7	4:23	296.9	3:42
TA-30-2	482.5	3:47	329.9	3:33

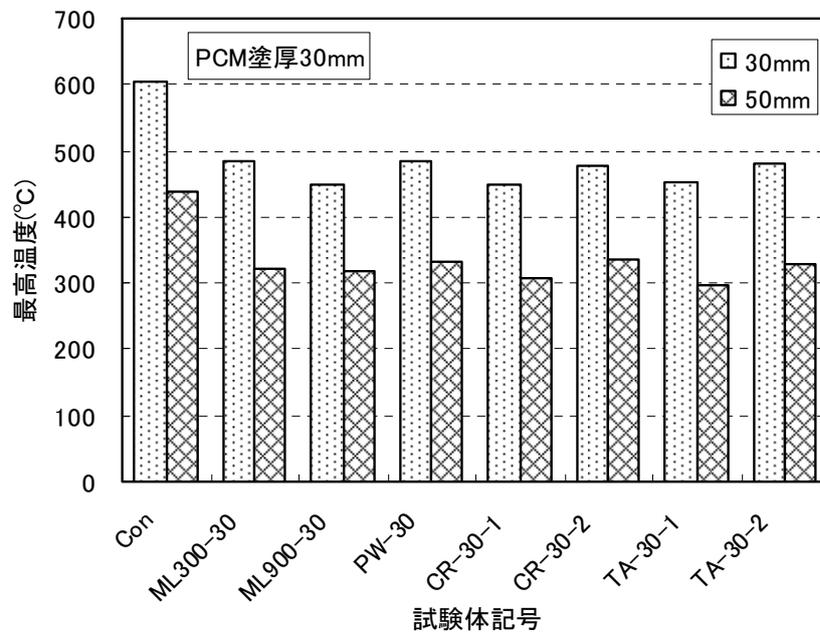
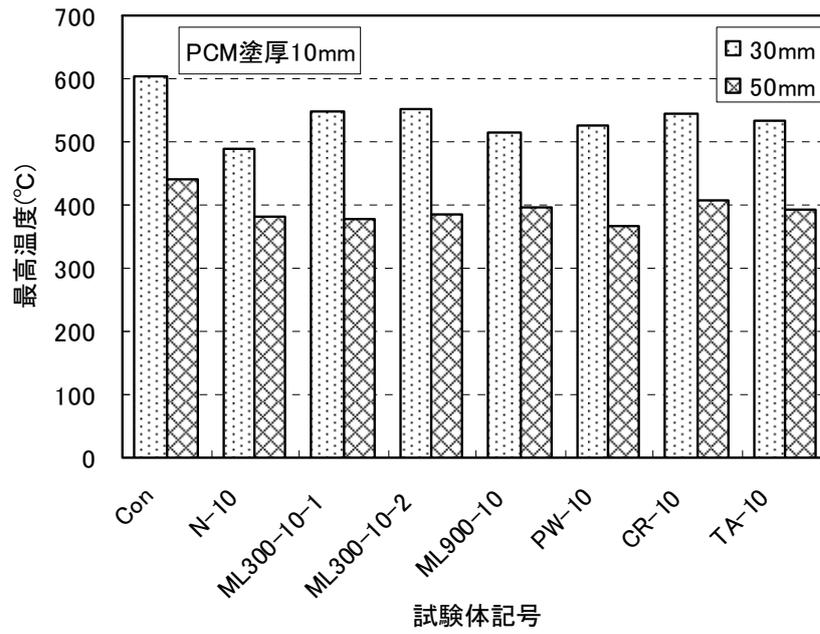


図-3.2.5 各試験体の最高温度の比較

### (3) まとめ

補修施工を実施した結果、以下のことが言える。

- ① 剥落防止措置なしの場合では、ひび割れ・浮きは顕著であった。
- ② 剥落防止措置により浮き・ひび割れが抑制され、補修厚さ 10mm では軽微となることが確認された。
- ③ 剥落防止措置におけるメッシュ位置は、補修厚さ 30mm では 3 層目に設置する必要があると考えられる。

なお、別途検討を進めている市販 PCM を用いた補修では、浮き・ひび割れが問題ないレベルに改善される例を確認している。

本耐火試験を実施した結果、コンクリート温度や損傷状況から判断すると、以下のことが言える。

- ④ 耐火試験で使用した PCM は、加熱を受けると浮きやふくれが生じるため、剥落防止対策が必要となる。

- ⑤ 剥落防止には、ステンレスメッシュをアンカーで躯体に止め付ける方法が有効である。
- ⑥ ガラスメッシュは火災時に熔融消失するため、PCM の剥落防止効果は期待できない。
- ⑦ 柔軟性の低いメッシュを使用した場合には、加熱時に PCM 表層が押し出されて剥落する恐れがある。柔軟性に富むメッシュを採用すれば PCM の剥落を防止できる。
- ⑧ PCM が剥落しなければ、PCM が厚いほどコンクリート温度を低く抑えることができる。
- ⑨ 埋込深さ 75mm のアンカーを縦横 400mm 間隔以内で打設すれば PCM の自重を支えることが可能であり、火災時に抜け出すことは無い。
- ⑩ PCM にひび割れが発生しても、PCM が剥落しなければコンクリート温度への影響は認められない。

### 3.2.2 ポリマーセメントモルタルの爆裂性 (Phase2)

#### (1) 実験概要および加熱前試験体の状況

##### 1) はじめに

ポリマーセメントモルタル (以下, PCM) は, 建物の補修・補強などにおいて必要不可欠な材料であるが, 耐久性や耐火性に関する知見が少ないことから, それらに関するデータの蓄積および評価方法が必要である。文献[3]では, 市販されている既調合 PCM (以下, 市販品) および一般材料で調合したモルタルにポリマーを別添した PCM (以下, 調整 PCM) について, 強度特性, 発熱性, 耐久性および吸発熱特性に関する実験結果が報告されている。

ここでは, 各種 PCM で補修した壁試験体による加熱実験を行い, 高温時の挙動を比較・検討することにより耐火性の評価方法について検討した結果を報告する。

##### 2) 実験概要

加熱実験に供した壁試験体の厚さは PCM も含め 150mm とし, PCM の補修厚さが 10mm・30mm の試験体の結果と, コンクリートのみの試験体の結果を比較・検討した。

試験体の種類を表-3.2.6 に, 試験体の形状を図-3.2.6 に示す。

各種 PCM は, アクリル酸エステル共重合樹脂 (PAE), エチレン・酢酸ビニル共重合樹脂 (EVA) および酢酸ビニル・バーサテート共重合樹脂 (VVA) のポリマーが使用されている。このうち E4 は調整

PCM であり, 補修厚さ 10mm のみとした。その他の PCM は市販品であり, 表-3.2.6 に記載しているポリマーセメント比 (P/C・質量比) は, メーカーから情報提供された値である。また, E1 と E2 は, 補修厚さ 30mm の吹付け施工についても実施した。

基盤としたコンクリートは, 呼び強度 30 (標準養生の材齢 28 日強度:41.6~46.7 N/mm<sup>2</sup>) であり, P7 の試験体は呼び強度 60 (標準養生の材齢 28 日強度:73.3 N/mm<sup>2</sup>) についても試験体 (P7H) を作製した。

PCM の剥落防止としては, 平織金網 (SUS304 製, 線径φ0.8mm, 目開き 5.5mm) をネジ式アンカー (L=75mm) とワッシャーを用いて留め付ける工法を採用した。補修厚さ 10mm の場合は 2 層で塗り付け, その中間に平織り金網を留め付けた。補修厚さ 30mm の場合は, 2 層目と 3 層目の間に平織金網を留め付けた。

試験体 6 体を 1 組とし, 4m×4m のマスクパネルに固定して, 壁状に立てた状態で加熱炉に設置した。加熱は, ISO834 に規定される標準加熱曲線に従って 3 時間加熱し, その後 3 時間経過後まで加熱炉内で自然冷却させた。

壁試験体の温度測定点を図-3.2.6 に示す。PCM 補修厚さに係わらず, 全試験体とも加熱面から同じ位置で測定した。なお, 温度測定は K 型熱電対を用いて 30 秒毎に計測した。

表-3.2.6 試験体の種類

記号	ポリマー種類	ポリマー量 (P/C)	有機繊維種類	基盤コンクリートの呼び強度	PCM施工		
					施工法	補修厚さ	
N	—	—	—	—	—	—	
P1	PAE	4%以下	ビニロン	30	コテ	10・30mm	
P2		2~5%					
P3		4~5%					
P4		4~10%					
P5		5~10%					
P6		1~5%	ナイロン				
P7		4%	ポリプロピレン	60			
P7H							
E1	EVA	2%	—	30	コテ	10・30mm	
E1S					吹付け		30mm
E2		5.5%	ビニロン		コテ		10・30mm
E2S					吹付け		30mm
E3					4~8%		アクリル
E4		6.3%	—		—		10mm
V1		VVA	5~10%		アクリル		—

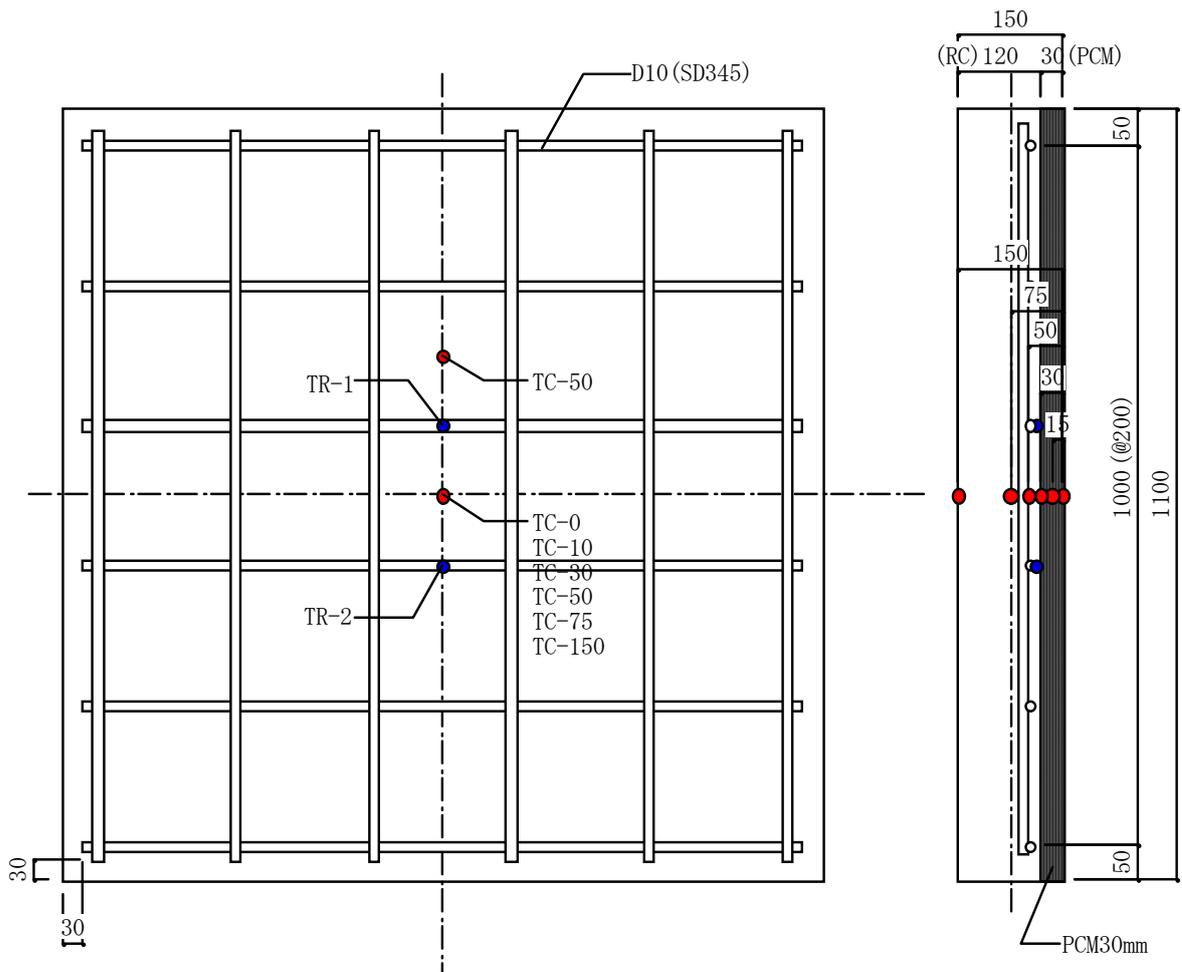


図-3.2.6 試験体形状と温度測定位置 (補修厚さ 30mm の場合)

3) PCMの品質

JIS R 5201 に準じて測定したモルタルフローは、150～190mm 程度であった。また、空気量は表-3.2.7 に示すように 3.4～13.5%と大きな差が生じる結果となった。

表-3.2.7に、試験体に施工したPCMの曲げ強さ・圧縮強さ試験結果と含水率測定結果を示す。平成13年国土交通省告示第1372号第2項の「圧縮強さ $\geq 20\text{N/mm}^2$ 」は全てのPCMが満足している

が、同告示の「曲げ強さ $\geq 6\text{N/mm}^2$ 」は満足しないPCMが1種類あった。なお、加熱実験時におけるPCMの含水率はいずれも5%以下であった。PCMの施工後、初期養生としてポリエチレンフィルムで1週間封緘養生を実施した。その後、室内で気乾状態にて2ヶ月程度養生し、さらに含水率を平衡状態に近づけるため、加熱実験前に約60℃で1週間強制乾燥させた。

表-3.2.7 試験体に施工したPCMの強度試験および含水率の測定結果

記号	空気量 (*1)	曲げ強 さ (*2)	圧縮強 さ (*2)	含水率 (*3)		加熱前試験体の 状況(*4)		備考  表3.1.2.2 との対応
				補修厚さ 10mm	補修厚さ 30mm	補修厚さ 10mm	補修厚さ 30mm	
P1	13.0	10.0	48.1	1.17	2.51	C	B	I
P2	4.8	6.5	74.8	2.21	2.62	C	C	T
P3	3.4	11.8	67.4	2.54	2.22	B	B	G
P4	12.5	9.0	51.5	1.85	2.40	B	B	E
P5	4.8	11.5	65.3	2.37	2.37	A	A	J
P6	10.2	8.4	43.3	1.97	1.99	C	C	S
P7	5.7	7.9	81.0	2.77	3.29	A	A	F
P7H				2.97	2.66	A	A	F
E1	8.5	3.4	75.2	2.59	2.64	C	C	C
E1S				-	2.58	-	C	C
E2	13.5	9.1	55.6	1.94	1.96	A	A	U
E2S				-	1.68	-	A	U
E3	7.6	9.5	50.6	3.11	2.88	A	A	A
E4	4.6	-	-	2.02	-	C	-	該当無し
V1	-	9.3	55.0	1.66	2.31	C	C	D

\*1: JIS A 1128 に準拠 (単位: %)

\*2: JIS A 1171 に準拠 (単位:  $\text{N/mm}^2$ )

\*3: 加熱試験前に、試験体に施工したPCMから小片を採取して、それを試料として含水率を測定した (単位: %)

\*4: 加熱前試験体の状況

A: 浮きが周囲のみで留まっており比較的ひび割れが多い,

B: 広範囲で浮いているがひび割れは少ない,

C: 浮き・ひび割れともに少ない

強制乾燥後、ほとんどの試験体において、浮きやひび割れが発生した。また、強制乾燥前の室内養生で浮き・ひび割れが発生した試験体があり、強制乾燥後は浮きがさらに広がり、ひび割れの本数が増えた。

強制乾燥前後の試験体における浮きやひび割れの発生状況のうち、特徴的な試験体（30mm 厚）を図-3.2.7に示す。

試験体 E3 や P7 など、浮きが周囲のみで留まっているものは、比較的ひび割れが多い傾向がみら

れた（状態 A）。逆に、試験体 P3 や P4 などは広範囲で浮いているものの、ひび割れは少なかった（状態 B）。浮き・ひび割れともに少ないものとして、試験体 P2 や E1 などがあつた（状態 C）。これらの PCM は、他の PCM と比べて乾燥収縮率が小さかつたものである[3]。なお、上記の浮きとひび割れの関係については、補修厚さ 10mm の PCM においても同様の傾向がみられた。以上の加熱前試験体における表面状況を表-3.2.7に一覧で示す。

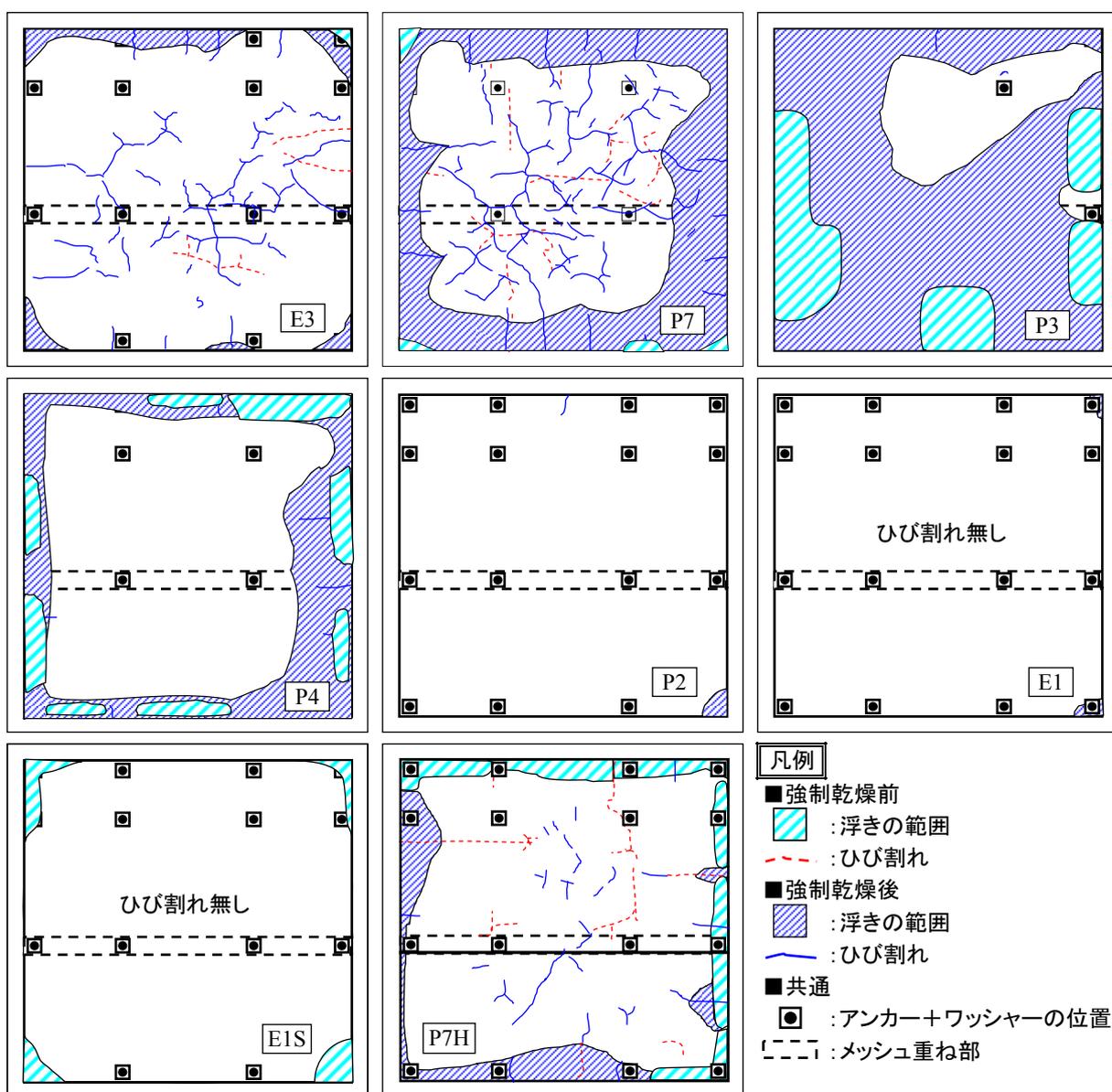


図-3.2.7 強制乾燥前後における特徴的な試験体（30mm 厚）の浮き・ひび割れ状況

## (2) 壁試験体の加熱実験結果

### 1) はじめに

ここでは各種のポリマーセメントモルタル(以下、PCM)で補修した壁試験体における加熱実験の結果について報告する。

### 2) 加熱実験結果

表-3.2.8にPCMの損傷状況と爆裂が発生した加熱時間およびその時のPCM表面温度を示す。PCMの損傷状況の分類を図-3.2.8に示す。損傷は、ひび割れは発生するが剥落・爆裂がない状態Ⅰ、爆裂がなく平織金網より表層のみに部分的な剥落が発生した状態Ⅱや表層のみに部分的な剥落・爆裂が発生した状態Ⅲ、部分的に平織金網より内部が爆裂した状態Ⅳ、およびほぼ全面的に平織金網より内部が爆裂した状態Ⅴに大別した。なお、基盤のコンクリートの損傷はなかった。

ISO834に規定される標準加熱曲線で加熱実験を行った結果、爆裂が発生したPCM試験体では、早い試験体で2、3分から、遅い場合で12分から爆裂が始まり、25分程度まで継続した試験体もあった。この間の炉内温度は約450～800℃で、爆裂が発生したPCM表面の温度は補修厚さ30mmのP5を除き損傷発生時間には180℃を越えていた。使用ポリマーであるアクリル酸エステル共重合樹脂(PAE)、エチレン・酢酸ビニル共重合樹脂(EVA)、および酢酸ビニル・バーサテート共重合樹脂(VVA)の熱分解温度は約230℃～470℃[4]であり、また含有しているナイロン、アクリル、ビニロン、ポリプロピレン繊維の融点は約165～330℃の範囲[5]にあると推定される。

加熱実験時におけるPCMの爆裂は、熱応力、熱分解ガス圧やその増加速度、空隙量の増加速度、大気中の酸素の有無、細孔径分布の変化等が関係すると考えられる[6]。そして、PCM表面が繊維の融点やポリマーの溶融・熱分解温度に達し、内部圧力が上昇したPCMは表面から爆裂等の損傷が始まり、昇温に伴い爆裂が進行したと考えられる。このため、ポリマー量が多い補修厚さ30mmでは

補修厚さ10mmよりポリマーの熱分解によるガスが多くなるためPCMの爆裂の発生が多くなったと考えられる。

図-3.2.9に加熱実験において剥落・爆裂が発生していない試験体の温度履歴を無補修試験体(N)の温度と併せて示す。

PCMで補修した試験体の温度は、PCMの熱伝導率が低い[1]ため無補修(N)の試験体の温度より全般的に低く抑えられる。また、浮きが多く発生しているP3の試験体では温度がより低く抑えられており、浮きによる空気層の影響が表れた結果となった。壁試験体でPCMの耐爆裂性を適切に評価するにはPCMに浮きやひび割れ等の発生が少なくコンクリートに密着している必要がある。

図-3.2.10に最高温度の分布を示す。図中の実線は補修無(N)の場合の試験体の温度分布である。補修厚さ10mm、30mmとも損傷状態Ⅰの試験体では内部温度は低く、コンクリートと同等以上の遮熱性を有している。一方、全面的に平織金網の内部から爆裂した損傷状態Ⅴの試験体では無補修のコンクリートより内部温度が上昇している試験体が多い。また、吹付け施工した試験体(E1S,E2S)ではコテにより施工した試験体(E1,E2)と損傷状況や内部温度がほぼ同じ傾向であり、同等の耐火性を有していると言える。また、基盤コンクリートの呼び強度を60とした場合(P7H)も呼び強度30(P7)とほぼ同じ傾向であり、同等の耐火性を有していると言える。

PCMの耐火性能評価および改善項目を表-3.2.9に示す。メッシュ内部まで爆裂し、内部温度がコンクリートよりも高い値を示したPCMは、爆裂に対する改良する必要があると判断し、不合格「×」とした。これ以外のものは合格「○」とした。なお、(1)に示したように耐久性や品質面に懸念のあるPCMもあったので、改良すべき内容を同表には示した。

表-3.2.8 PCMの損傷状況

記号	ポリマー種類	補修厚さ 10mm		補修厚さ 30mm	
		損傷状態	損傷発生時間 min(温度°C)	損傷状態	損傷発生時間 min(温度°C)
P1	PAE	I	—	I	—
P2		III	8(197)	IV	4(×)
P3		I	—	I	—
P4		I	—	V	6(220)
P5		I	—	V	2( 73)
P6		II	7(×)	V	5(224)
P7		I	—	I	—
P7H		I	—	III	6(180)
E1	EVA	I	—	III	5(187)
E1S		/	/	I	—
E2		I	—	II	12(×)
E2S		/	/	III	8(213)
E3		IV	10(283)	V	6(187)
E4		I	—	/	/
V1	VVA	V	8(184)	V	5(185)

注(×)は温度計測不良



状態Ⅰ：ひび割れ



状態Ⅱ：金網より表層のみの剥落



状態Ⅲ：金網より表層のみの剥落・  
爆裂

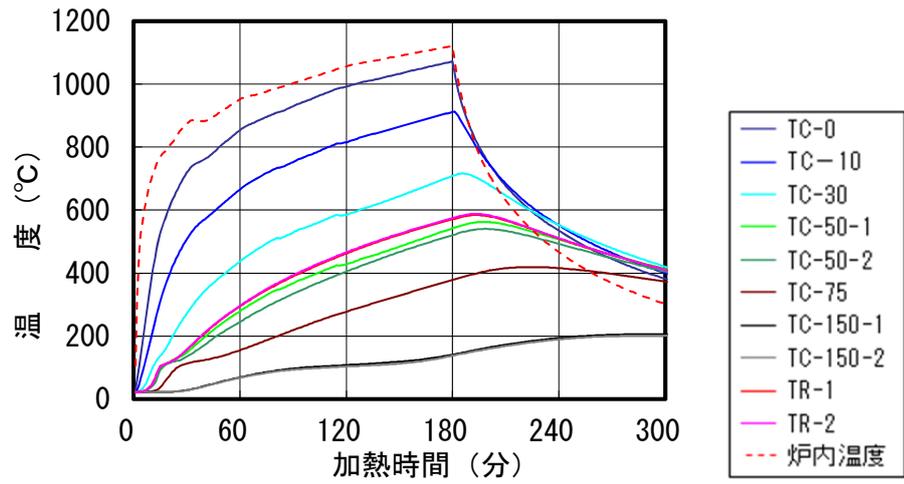


状態Ⅳ：部分的な内部の爆裂

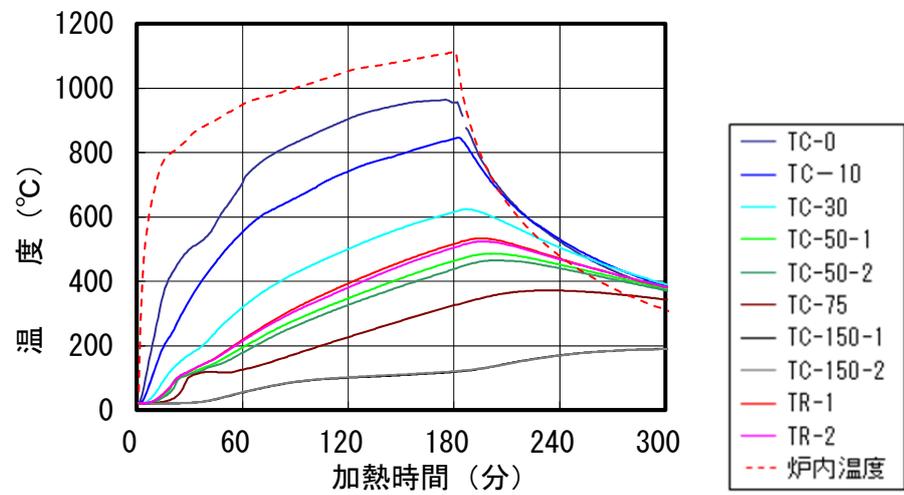


状態Ⅴ：全面的な内部の爆裂

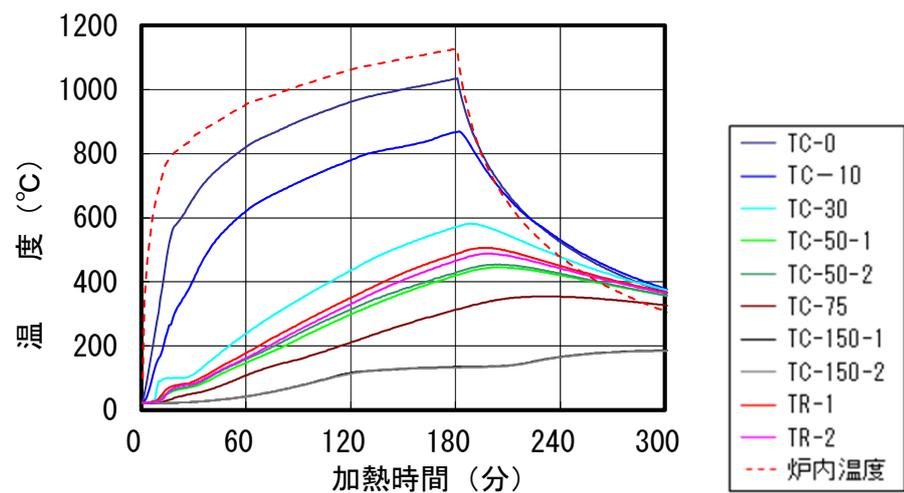
図-3.2.8 PCM 損傷状況の分類



a) 無補修(N)

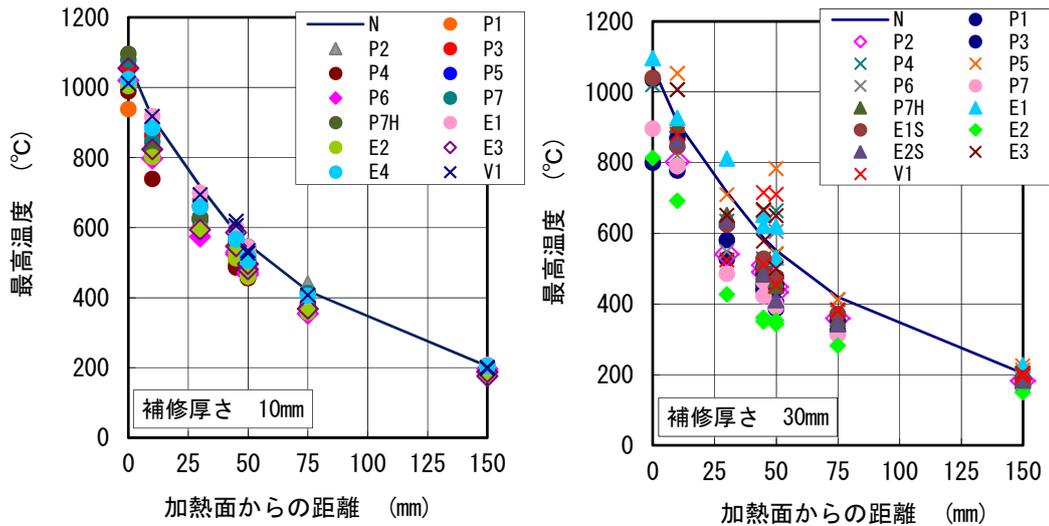


b) 補修厚さ 30mm (E2S)



c) 補修厚さ 30mm (P3)

図-3.2.9 温度履歴の例



損傷状況：●状態Ⅰ ◆：状態Ⅱ ▲状態Ⅲ ◇状態Ⅳ ×：状態Ⅴ

図-3.2.10 最高温度の分布

表-3.2.9 PCMの耐火性能評価および改善項目

PCMの状況	記号	PCM厚さ(mm)	爆裂・剥落状況	耐火評価	改良の要否		
10mm、30mmいずれも爆裂なし	P3	10	爆裂無し	○	耐火試験体に大きな面積の付着剥離が発生しており、施工方法・材料施工性に懸念があるため、この改良が必要		
		30	爆裂無し				
	P1	10	爆裂無し				
		30	爆裂無し				
10mm爆裂無し 30mm表層の爆裂or剥落	P7	10	爆裂無し	○	暴露試験体等の施工において、付着の剥離が出易い傾向が確認されており、材料施工性・付着性能の改良が必要		
		30	爆裂無し				
	P7H	10	爆裂無し				
		30	表層一部爆裂、一部剥落				
	E2	10	爆裂無し			○	
		30	表層一部剥落				
	E2S	30	表層一部剥落				
	E1	10	爆裂無し				○
30		表層一部剥落					
E1S	30	爆裂無し					
10mm爆裂無し 30mmメッシュ内部まで爆裂	P5	10	爆裂無し	×	爆裂防止のために改良の必要あり		
		30	メッシュ内部まで爆裂				
10mm表層一部爆裂・剥落 30mmメッシュ内部まで爆裂	P2	10	表層一部爆裂	×	爆裂防止のために改良の必要あり		
		30	メッシュ内部まで爆裂				
10mm表層一部爆裂・剥落 30mmメッシュ内部まで爆裂	E3	10	表層一部爆裂	×	爆裂防止のために改良の必要あり		
		30	メッシュ内部まで爆裂				
	P4	10	一部剥落				
		30	メッシュ内部まで爆裂				
	P6	10	表層一部爆裂				
		30	メッシュ内部まで爆裂				
10mm、30mmいずれもメッシュ内部まで爆裂	V1	10	メッシュ内部まで爆裂	×	爆裂防止のために改良の必要あり		
		30	メッシュ内部まで爆裂				

### (3) 耐爆裂性の評価方法の検討

#### 1) はじめに

既報[7]では、補修材料として用いるポリマーセメントモルタル（以下、PCM）の大きな損傷や剥落がなければ、補修部材の耐火性が確保できることが確認されている。したがって、材料自体が過度の発熱や爆裂等の損傷を生じないことが補修材料に求められる要件となる。文献[4]や[8]によると、TG-DTA（示差熱-熱重量同時分析）や簡易爆裂評価試験により PCM の耐爆裂性を評価できる可能性があるとして報告されている。

ここでは PCM の耐爆裂性をできるだけ簡易に評価し、材料開発や補修材料の選定における一次的なスクリーニングとして適用できる耐爆裂性の評価試験の方法を確立するための検討を行った。

#### 2) 実験概要

使用材料は 3.2.2(1)で示した市販の PCM と同種の試料に加え各メーカーが耐爆裂性向上のために改良を行った材料（試作品）も実験の対象とした。

##### ①簡易爆裂評価試験

簡易爆裂評価試験は、文献[8]で検討した結果を踏まえ、表-3.2.10 に示す試験条件で実施した。ここで、電気炉内の温度条件（800℃）は、加熱実験において材料の爆裂が多く生じる時間帯（加熱開始後 5分～25分程度）における耐火炉内の温度を考慮して決定した。また、試験体の内部拘束と

は、剥落防止として使用している SUS304 製の平織金網を試験体中央部に縦方向に挿入したものである。

##### ②TG-DTA

TG-DTA は文献[4]と同様の測定装置および測定条件で実施した。結果の分析は、発熱ピーク面積および発熱温度範囲における質量減少率を評価指標とした。図-3.2.11 に TG-DTA による熱分析結果の一例とその解釈および評価指標について示す。

#### (4) 結果および考察

表-3.2.11 に簡易爆裂試験、熱分析結果および壁試験体加熱実験における爆裂状況の一覧を示す。簡易爆裂評価試験における損傷の状況としては、爆裂による粉砕、割れ、折れおよび爆裂を伴わないひび割れ等が確認された。試験体の寸法の影響については大きな差異はないものの、100mmの方がより損傷が生じやすい傾向にあることが確認される。また、内部拘束の有無による影響は、内部拘束がある試験体の方がひび割れを生じやすい傾向にあり、拘束によってひび割れが生じやすくなることが確認される。ただし、壁試験体加熱実験における表層部のみの剥落・爆裂等の損傷状況（損傷状態Ⅱ、Ⅲ）との関連については今回の結果からは確認できなかった。

表-3.2.10 簡易爆裂評価試験条件

試験体	形状および寸法：φ50×100mmおよびφ50×50mm 内部拘束：拘束なしおよび一方向の拘束
養生条件	打設～材齢2日：20℃・90%R.H.以上湿空養生脱型 材齢2日～7日：標準養生（表乾状態質量測定） 材齢7日～28日：気中乾燥（20℃・60%R.H.） →各調合の吸水率を測定（各調合3本ずつを105℃で乾燥） 以降、20℃～40℃に調整した恒温恒湿槽内で目標の含水率（5.0±0.5%）となるように含水率調整（含水率は材齢7日の質量および吸水率から推測）
試験条件	予め800℃に加熱した電気炉内に試験体を入れ20分間静置し、20分間経過後試験体を取り出し、爆裂や損傷の有無を目視により確認。 ※試験体が互いに接触せず、爆裂による影響を受けないように、試験体を網かご等により1体ごとに区分けして設置する。

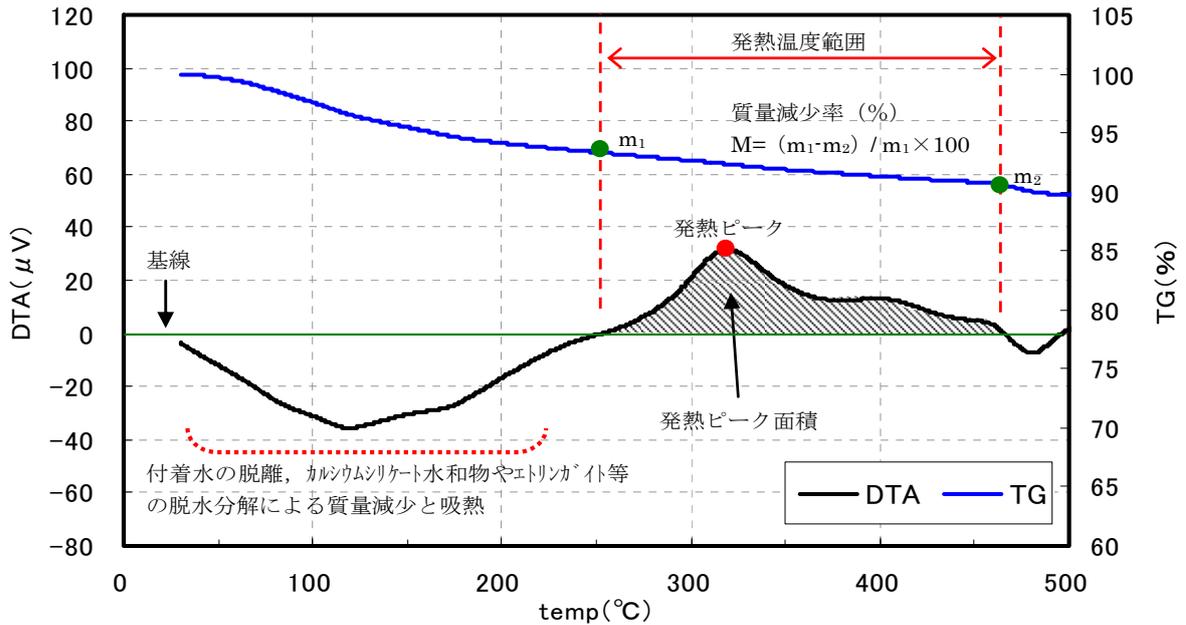


図-3.2.11 TG-DTA 結果の一例と解釈および評価指標

簡易爆裂評価試験の結果と壁試験体加熱実験の結果を比較した場合、壁試験体加熱実験で全面的な爆裂（損傷状態V）を生じた試料については、簡易爆裂試験でも、爆裂や折れ、割れ等の損傷が生じており、概ね再現できていると思われる。ただし、P4については簡易爆裂評価試験では爆裂等の大きな損傷が認められなかった。

図-3.2.12に発熱範囲の質量減少率と発熱ピーク面積の関係を示す。図には、比較用に“繊維無し”のPCMとして文献[4]に示した既知調合のデータ（ただし、SBRは除く）も合わせて示している。質量減少率と発熱ピーク面積には一定の関係があり、特に繊維が入っていない場合には強い相関が確認される。市販のPCMは繊維無しの場合に比べて質量減少率が大きくなる傾向にあり、それらは繊維などのセメント混和用のポリマー以外の焼失による質量減少などが要因と考えられる。

図-3.2.13に耐爆裂性について改良を行った試料のみについて質量減少率と発熱ピーク面積の関係を示す。ここでは改良の内容についての詳細は確認していないが、改良の方向性には二通りの考え方があり、ポリマー量を減らして発熱量や燃焼によって発生するガスの量を減らそうというもの（P4およびV1）と、ポリマー量は減らさず繊維

量を増やすなどの考え方によるもの（E3およびP6）があることが推測される。

図-3.2.14に壁試験体加熱実験を行った試料のみの質量減少率と発熱ピーク面積の関係、図-3.2.15に簡易爆裂試験を行った試料の質量減少率と発熱ピーク面積の関係を示す。図中、中実の記号は爆裂が生じた試料を表している。

TG-DTAの結果と爆裂の有無との関係は、VVAを混入した試料を除き、発熱ピーク面積が $10^{\circ}\text{C}\cdot^{\circ}\text{C}/\text{mg}$ を超える範囲のものが爆裂を生じている。また、簡易爆裂試験において爆裂の生じなかったP4試料についても、発熱ピーク面積は $10^{\circ}\text{C}\cdot^{\circ}\text{C}/\text{mg}$ を超えている。質量減少率については、繊維の混入の影響などの理由により明瞭な傾向が確認できず、現時点では評価指標としての適用は難しいと思われる。VVAを混入した試料については、発熱ピーク面積が小さい場合でも簡易爆裂評価試験において爆裂を生じている。なお、前節に示した簡易爆裂評価試験結果との関係（図-3.1.14）では、ピーク面積が $8^{\circ}\text{C}\cdot^{\circ}\text{C}/\text{mg}$ を超えたものについて爆裂の可能性が高くなっている。

以上のことから、爆裂の危険性を評価するスクリーニングの試験としては、EVA、PAEを混入した材料の場合は、TG-DTA試験によって概ね

10°C・°C/mg 程度を閾値として、それより大きいものについては、爆裂の危険性をより詳細に検討することが望ましいと思われる。また、VVA の場合には簡易爆裂評価試験によるスクリーニングが有

効である。また、いずれの評価方法についても、現時点では壁試験体加熱実験の損傷状況を完全に再現するには至っておらず、最終的な評価には、部材を模擬した試験体での確認が必要である。

表-3.2.11 試験結果一覧

記号	小型壁のPCM損傷状態30mm	簡易爆裂試験結果				TG-DTA熱分析試験結果	
		内部拘束なし		内部拘束あり		発熱範囲質量減少率 (%)	発熱ピーク面積 (°C・°C/mg)
		φ 50-100	φ 50-50	φ 50-100	φ 50-50		
P1	I	—	—	△	—	3.00	16.0
P2	IV	—	—	▲	△	2.77	4.8
P2-改良		—	—	—	—	3.00	5.3
P3	I	—	—	▲	—	2.88	7.1
P4	V	—	—	△	△	2.51	11.4
P4-改良		—	—	—	—	2.38	8.0
P5	V	○	—	—	—	3.06	14.1
P6	V	○	●	○△	○	3.20	14.7
P6-改良		—	—	▲	▲	4.31	18.5
P7	I	△	—	▲	▲	2.54	7.6
E1	II	—	—	▲	—	3.13	4.4
E2	III	—	—	—	—	2.98	8.7
E3	V	○	●	●	△	3.47	11.5
E3-改良		▲	—	▲	—	4.52	17.8
V1	V	●	○	○	○	2.99	6.8
V1-改良		○	—	○	○	1.49	2.2

簡易爆裂試験における記号の意味

- : 2体とも爆裂・折れ・割れ等の大きな損傷, ○どちらか1体のみ爆裂・折れ・割れ等の大きな損傷
- ▲: 2体ともひび割れ等の軽微な損傷, △: 1体のみひび割れ等の軽微な損傷, —: 損傷等なし
- : ●か○の損傷

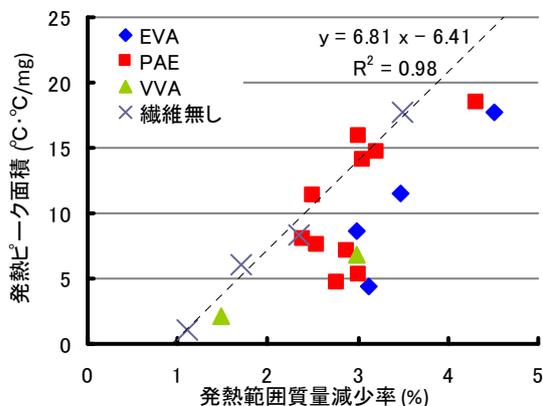


図-3.2.12 質量減少率と発熱ピーク面積の関係 (全データ)

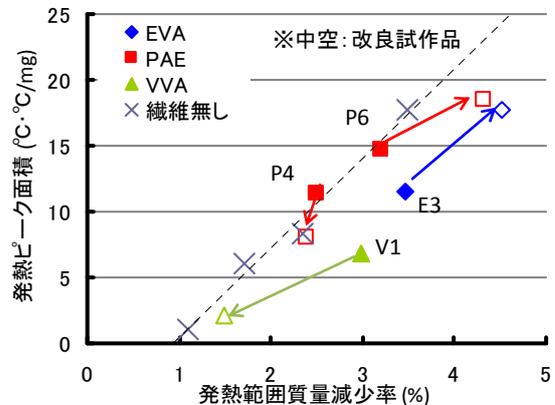


図-3.2.13 質量減少率と発熱ピーク面積の関係 (改良試作品)

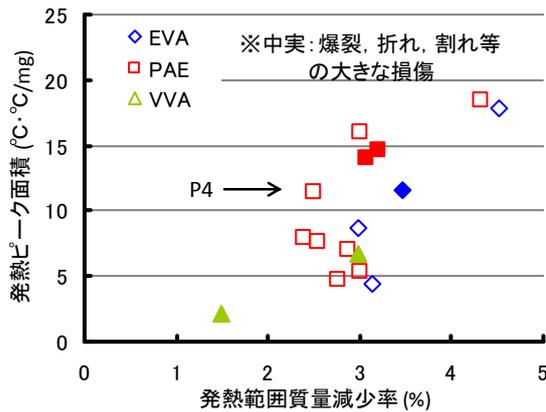


図-3.2.14 TG-DTA 結果と爆裂の有無の関係 (壁試験体加熱試験)

### (5) ポリマーセメントモルタルの耐久性, 耐爆裂性の改善

#### 1) 目的

かぶり厚さの補修に用いられるポリマーセメントモルタルには、①付着強度が大きく既設コンクリートとの一体性を保持できること、②耐久性上の問題となるひび割れができるだけ発生しないことが求められる。また、火災時には、③内装制限の必要な居室においては不燃性であること、④火災時に補修面が爆裂せず、コンクリートと同様に鉄筋温度の上昇を抑える効果を発揮することが必要となる。

3.2.2.(2)に示したように、耐久性, 耐爆裂性に改善の余地があるPCMがあった。そこで、耐久性, 耐爆裂性の改善を行い、改めて加熱実験を実施し、加熱前のひび割れ状況の確認、及び試験体内部温度, PCMの爆裂・剥落状況を把握することを目的とした。

#### 2) 試験体

##### ①試験体概要

試験体一覧を表-3.2.12に示す。試験体の形状, メッシュの割付・留め付けを図-3.2.16に示す。

試験体数は10体であり、加熱面側にPCMを施工した。基盤コンクリートの形状寸法は、高さ1100mm×幅1100mm×厚さ120mmとした。基盤コンクリートのかぶり厚さを10mm, PCM補修厚さを30mmとし、全体のかぶり厚さを40mmとした。

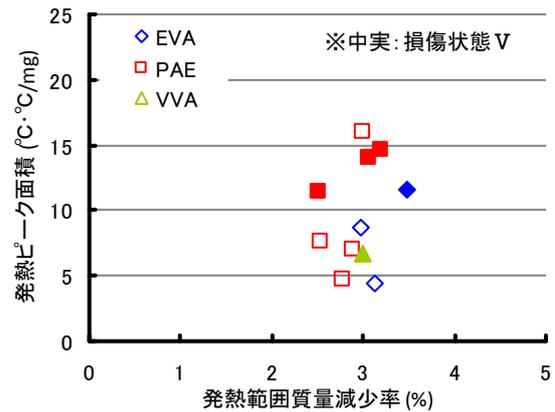


図-3.2.15 TG-DTA 結果と爆裂の有無の関係 (簡易爆裂評価試験)

PCMによる補修面積は1050×1050mm, 補強用メッシュの割付寸法は1000×1000mmとした。

補強用メッシュは、ファインメッシュ(φ1.2mm-P25:(株)奥谷金網製作所製)とし、スクリーアンカー(Pレスアンカー:L=75mm)を用いて基盤コンクリートへ留め付けた。スクリーアンカーの位置は、400mmピッチを基本とし、図-3.2.16に示す通りとした。PCM施工後、3ヶ月間屋内で自然乾燥を行い、自然乾燥後ひび割れ, および浮きの調査を行った。さらに、自然乾燥後、室温約60°Cの部屋において1週間強制乾燥した。

#### ②基盤コンクリート

基盤コンクリートの使用材料を表-3.2.13に、コンクリートの仕様を表-3.2.14に、コンクリートの調合を表-3.2.15に示す。

#### ③アンカーピン, 補強用メッシュ, およびワッシャー

PCMの剥落防止用に用いたアンカーピン, 補強用メッシュ, およびワッシャーの仕様を表-3.2.16に示す。

アンカーピンは、ステンレス鋼製スクリーアンカーL=75mm(Pレスアンカー), ワッシャーは、ステンレス鋼製φ40mmワッシャー, 補強用メッシュは、ステンレス鋼製のファインメッシュとした。

表-3.2.12 試験体一覧

No.	加熱試験日	試験体記号	改善点
1	2012/2/21	P1	耐久性
2		P4	耐爆裂性
3		P7	耐久性
4		P2	耐爆裂性
5		P3	耐久性
6	2012/2/23	E3-A	耐爆裂性
7		P6	耐爆裂性
8		E3-C	耐爆裂性
9		V1	耐爆裂性
10		E3-B	耐爆裂性

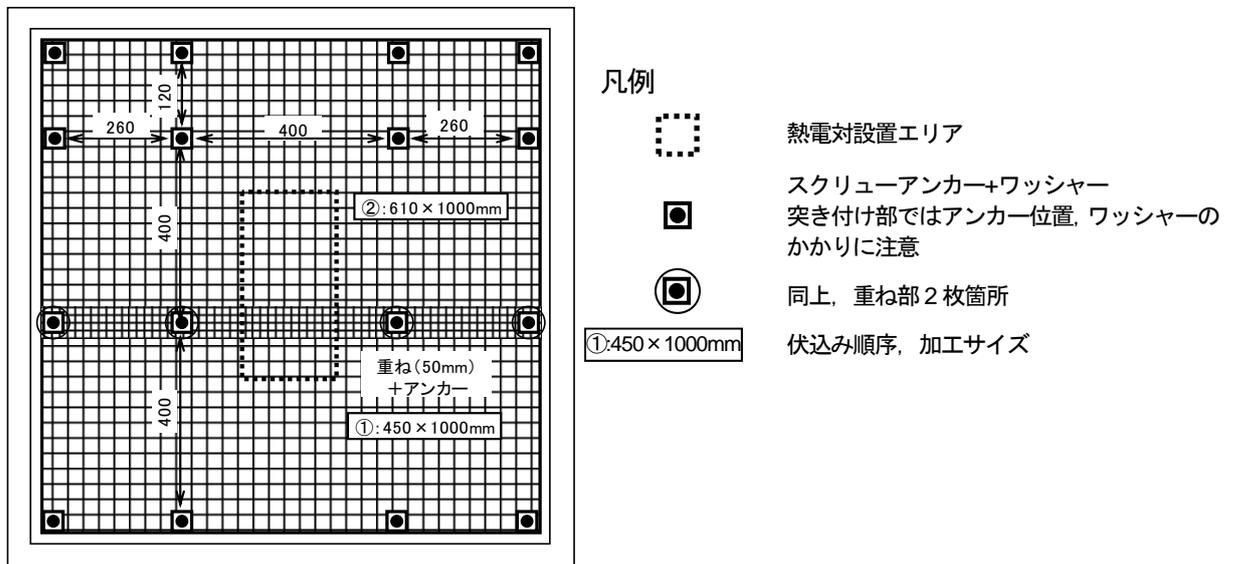


図-3.2.16 メッシュの割付・留め付け

表-3.2.13 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント：宇部三菱セメント，密度 3.16g/cm <sup>3</sup>
細骨材	砂：茨城県神栖産(石津建材)，表乾密度 2.61g/cm <sup>3</sup>
	砕砂：茨城県桜川産(大泉砕石)，表乾密度 2.64g/cm <sup>3</sup>
粗骨材	砕石：茨城県笠間市上郷産(岩間砕石)，表乾密度 2.74g/cm <sup>3</sup>
練混ぜ水	上水道水
混和剤	高性能 AE 減水剤：マイティ 3000H(花王)

表-3.2.14 コンクリートの仕様

設計基準強度(Fc)	30N/mm <sup>2</sup>
スランプ	12.0 cm±2.5
空気量	4.5%±1.5
標準偏差	2.5N/mm <sup>2</sup>
強度の割増(ΔF)	3.0N/mm <sup>2</sup>
調合強度	37.3N/mm <sup>2</sup>

表-3.2.15 調合

設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	スランブ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					
				水	セメント	細骨材		粗骨材 砕石	混和剤
砂	砕砂								
30	12	4.5	52.8	155	294	519	350	1029	2.05

表-3.2.16 メッシュの種類

材料	名称等	材種	メーカー
アンカー	スクリューアンカー L=75mm Pレスアンカー	ステンレス SUS410	サンコーテクノ(株)
ワッシャー	φ40mm ワッシャー	ステンレス SUS410	サンコーテクノ(株)
補強用メッシュ	ファインメッシュ φ1.2mm-P25	ステンレス SUS304	(株)奥谷金網製作所

3) 試験体温度計測計画

加熱試験時には、壁炉内温度および試験体の内部温度を計測した。各試験体に対し、コンクリートの内部温度を試験体の厚み方向に 7 箇所、鉄筋温度を 2 箇所の合計 9 箇所にて計測し

た。計測位置は加熱面での中央位置とし、加熱表面からの距離を各試験体で合わせた。温度計測のための熱電対の設置位置を図-3.2.17 に示す。コンクリート内部温度計測位置を●、鉄筋温度計測位置を●で示す。

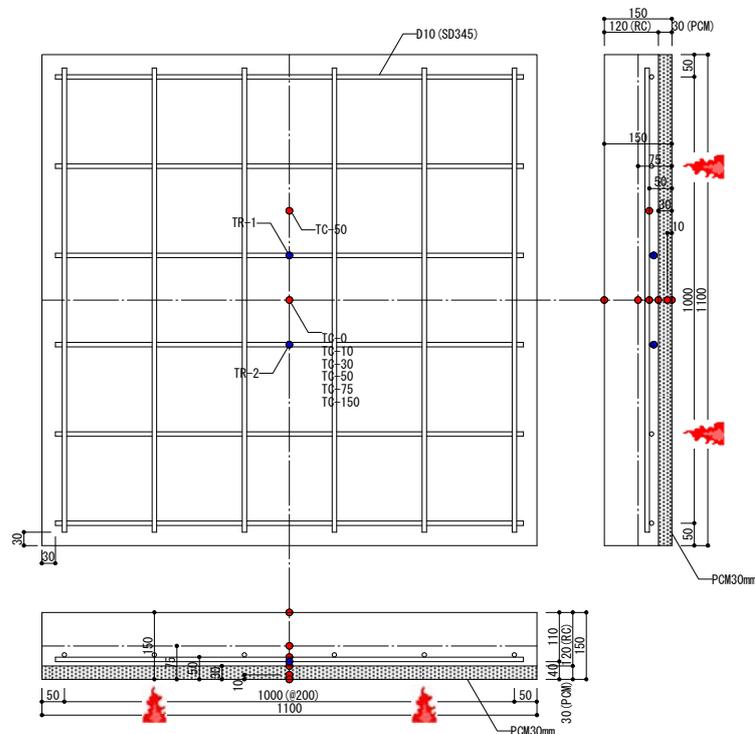
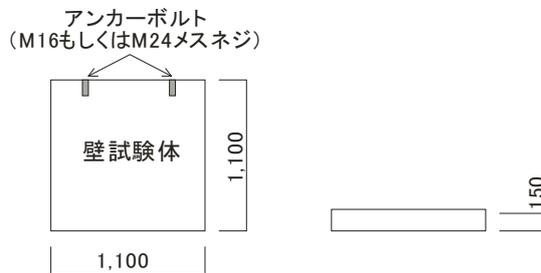
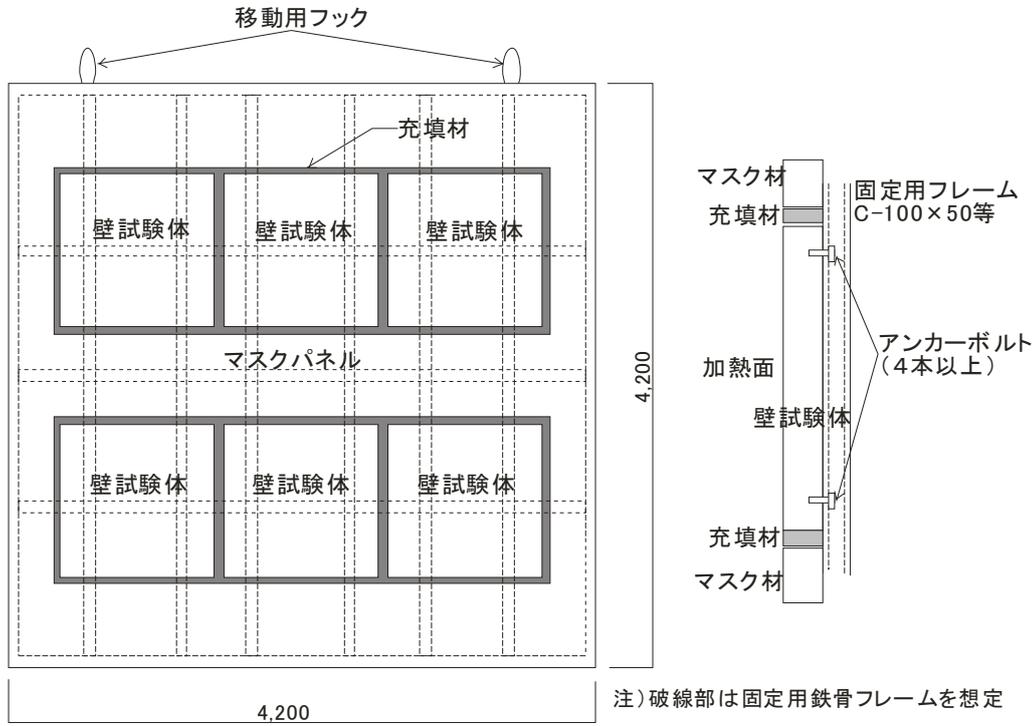


図-3.2.17 試験体の形状寸法

#### 4) 加熱試験計画

加熱試験のセットアップ状況を図-3.2.18に、試験体割付図を図-3.2.19～図-3.2.20に示す。1回の加熱実験時に、試験体5体を一度に加熱した。

加熱は、ISO834に規定される標準加熱曲線に従った3時間の加熱とし、3時間経過後は6時間まで加熱炉内で自然冷却させた。計測は、加熱開始から自然冷却終了まで、合計6時間計測を行った。



(a) 治具図面



(b) 設置状況

図-3.2.18 壁試験のセットアップ状況

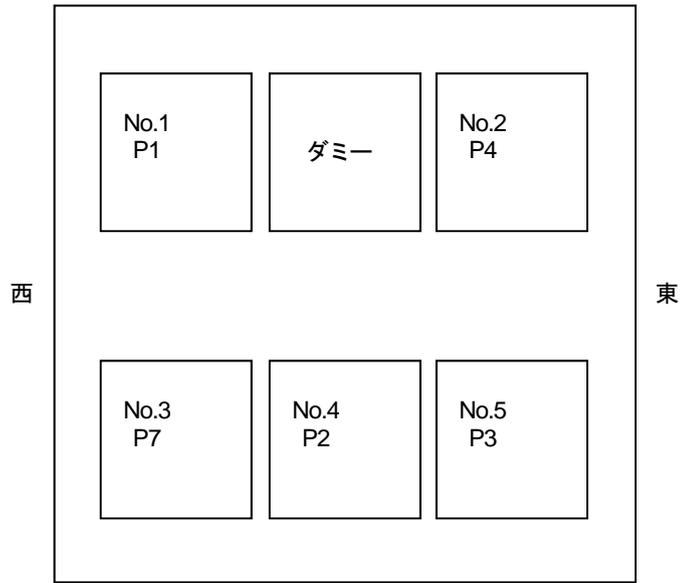


図-3.2.19 加熱割付図 (2012/2/21 : 加熱面側)

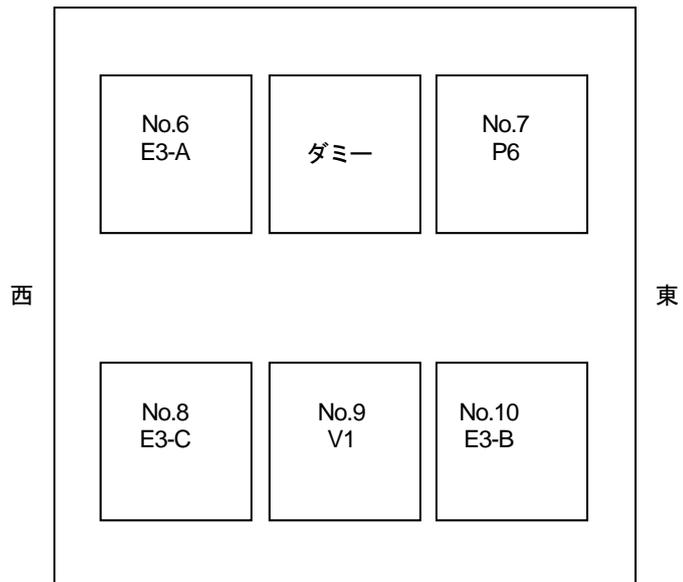


図-3.2.20 加熱割付図 (2012/2/23 : 加熱面側)

5) 施工結果

基盤コンクリートの試験結果を表-3.2.17 に、  
作製状況を写真-3.2.2 に示す。

①基盤コンクリート試験結果

表-3.2.17 コンクリートの試験結果

打設日	Fc	フレッシュコンクリート			標準養生圧縮強度		部材同一圧縮強度
		スランブ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	7日 (N/mm <sup>2</sup> )	28日 (N/mm <sup>2</sup> )	28日 (N/mm <sup>2</sup> )
2011/2/10	30	9.5	3.0	6.0	33.6	45.3	38.0



コンクリート打設前型枠状況



熱電対設置状況 1



熱電対設置状況 2



フレッシュ試験結果



コンクリート打設状況 1



コンクリート打設状況 2

写真-3.2.2 作成状況

### ②PCM 試験結果

PCM の試験結果を表-3.2.18 に示す。PCM の含水率は、PCM 施工時に、試験体の壁小口面に厚さ 30mm の含水率測定用のダミー供試体を打設し、壁試験体と同条件で養生し、試験直前にダミー供試体を絶乾にして測定した。

### ③PCM 施工

各試験体 PCM 塗りに先立ち、コンクリート躯体の表面をカップサンダー掛けにより目粗しし、下地の清掃を行った。さらに、アンカー墨出位置を確認した後、アンカー孔を先行穿孔した。アンカー用のドリル径は直径 5.3mm で、「使用アンカー全長-5mm」の深さまで穿孔した。穿孔孔を清掃後、木製の養生棒(φ5mm)で穿孔孔を養生した。メッシュの伏せ込みは、設置する層の下ごすり後に

行った。

PCM の1層あたりの塗厚はメーカー毎に異なるが 10~15mm とし、2~3 層塗りとした。下地(下層)との密着性を確保するため、各層ごとに 2~3mm 程度、下塗り用 PCM を用いて鋤圧を強くかけて下ごすりを行い、その後規定厚さまで PCM を塗りつけた。

PCM を仕上げた試験体については、散水後、表面をポリフィルムにて1週間養生した。その後、3ヶ月間屋内で自然乾燥を行い、自然乾燥後、さらに、室温約 60℃の部屋において1週間強制乾燥した。

補修施工断面の詳細を図-3.2.21 に、PCM 補修の施工手順を図-3.2.22 に示す。

表-3.2.18 PCM の強度および含水率試験結果

試験体 No.	記号	施工厚さ	圧縮強度		含水率 (%)
			標準養生 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	現場封かん養生 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	
1	P1	10mm	54.2	47.3	4.1
		30mm	38.7	35.8	
2	P4	10mm	48.3	36.7	3.5
		30mm	48.3	36.7	
3	P7	10mm	77.0	65.3	4.4
		30mm	77.0	65.3	
4	P2	10mm	54.0	47.4	4.9
		30mm	54.0	47.4	
5	P3	10mm	62.0	52.9	4.0
		30mm	62.0	52.9	
6	E3-A	10mm	54.2	47.3	5.2
		30mm	45.4	41.1	
7	P6	10mm	45.4	41.1	5.2
		30mm	53.5	46.6	
8	E3-C	10mm	53.5	48.8	4.5
		30mm	52.7	47.8	
9	V1	10mm	52.7	47.8	4.2
		30mm	54.0	47.4	
10	E3-B	10mm	54.1	44.0	4.1
		30mm	50.8	42.9	
		30mm	52.7	47.8	

■ 塗り厚さ 30mm 時の 3 層目伏せ込み塗りの施工手順

- ①カップ掛けによる目粗しを行う(中央部の熱電対位置の周囲 30mm は避ける)
- ②下地清掃後、アンカー位置の墨出しを行う
- ③φ5.3mm ドリルビットで「使用アンカー全長ー5mm」の深さまで下孔穿孔、孔内の粉を除去
- ④アンカー用削孔に養生棒を差し込み養生する
- ⑤水湿しによる吸水調整
- ⑥2~3mm 程度の下ごすりを、鋺圧を強くかけて行う
- ⑦塗り厚 7mm 程度塗りつけて 1 層目を仕上げる(箒引き)
- ⑧水湿しによる吸水調整
- ⑨2~3mm 程度の下ごすりを、鋺圧を強くかけて行う
- ⑩塗り厚 7mm 程度塗りつけて 2 層目を仕上げる(箒引き)
- ⑪水湿しによる吸水調整
- ⑫2~3mm 程度の下ごすりを、鋺圧を強くかけて行う

- ⑬メッシュを伏せ込む
- ⑭養生棒を抜き、ワッシャをはめたアンカーをねじ込みメッシュを固定
- ⑮塗り厚 7mm 程度塗りつけて仕上げる

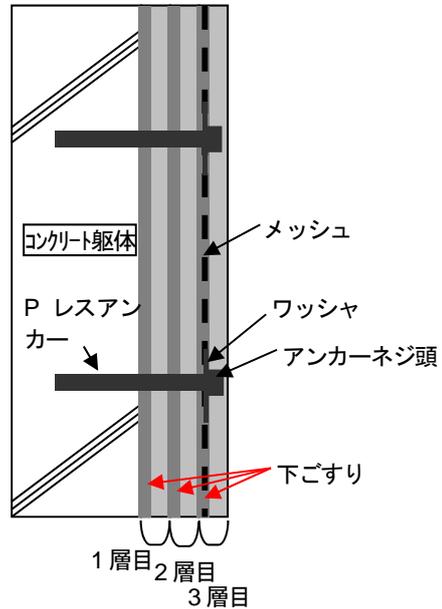


図-3.2.21 補修施工断面(3層施工)

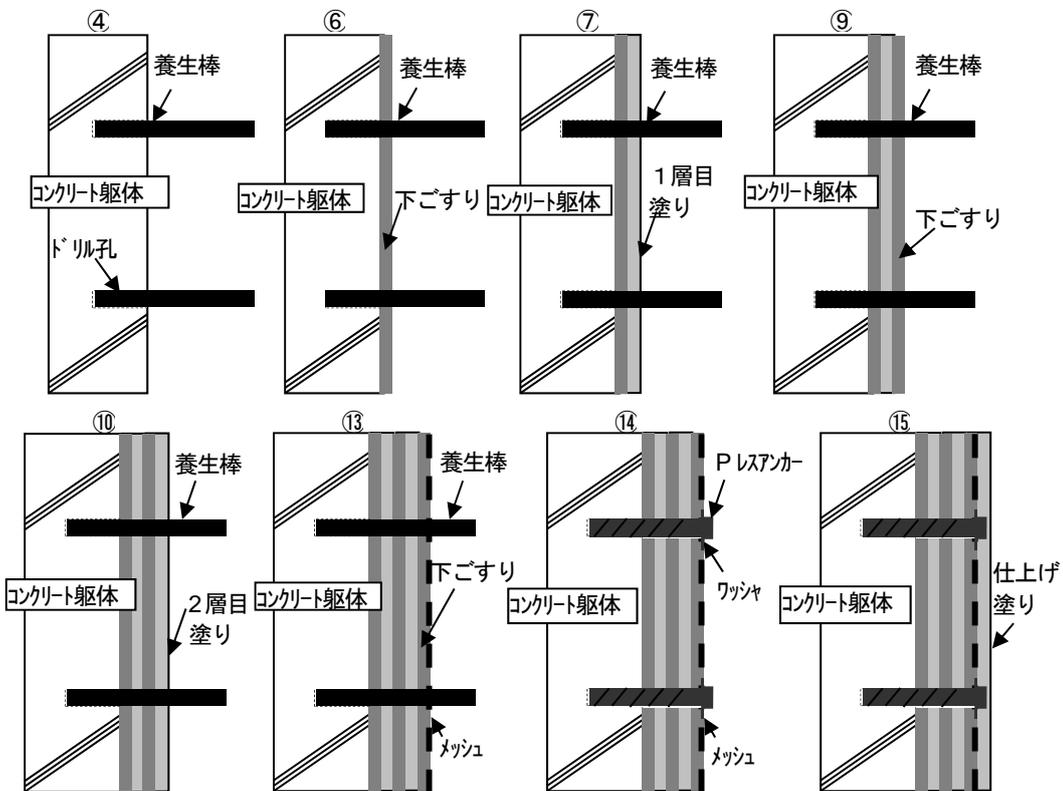


図-3.2.22 3層施工の場合の施工手順

6) 耐火試験前の試験体の状況

自然乾燥終了後、目視観察により、PCMの浮き、ひび割れの検査を行った。表-3.2.19に判定基準、試験・検査方法、時期回数の詳細を示す。

外観目視観察の結果を表-3.2.20に示す。PCMの浮き・ひび割れの発生状況を図-3.2.23~図-3.2.32に示す。なお図中には表-3.2.19に示した外観の微細ひび割れの判定基準に該当しないもの

の、0.05mm未満の極微細ひび割れも併せて示した。

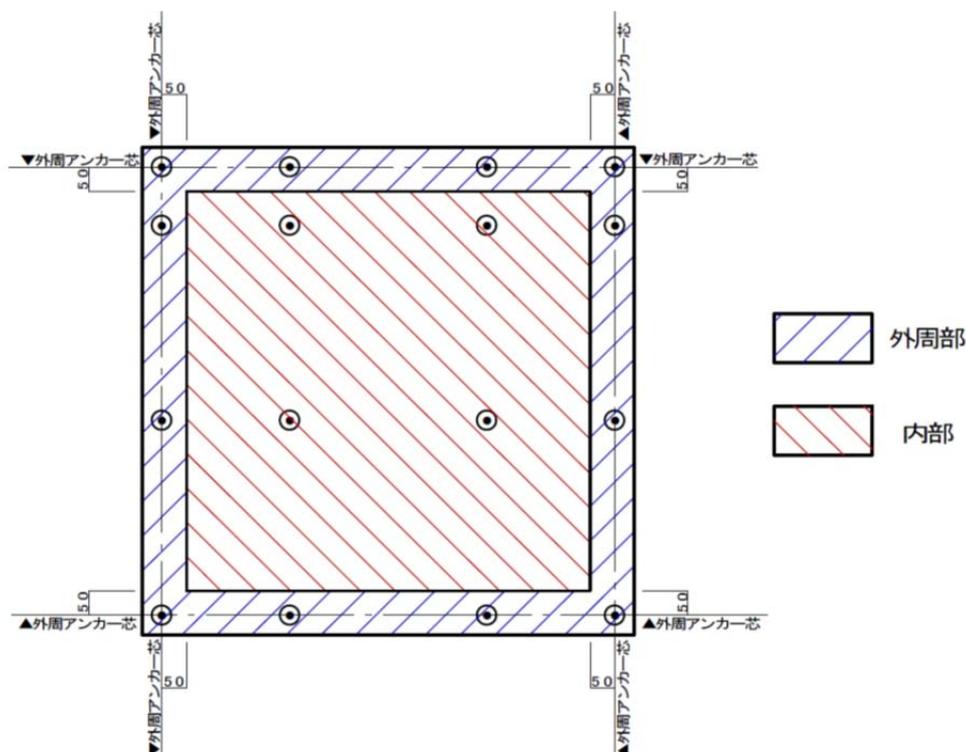
外観目視観察の結果、PCMにひび割れや浮きの発生が認められた。No.6(E3-A)とNo.7(P6)試験体については、内部に浮きが発生しており、またひび割れ係数が0.2m/m<sup>2</sup>以上であり表-3.2.19の判定基準を満足しなかった。また、No.4(P2)試験体については、内部に浮きが発生しており表-3.2.19の判定基準を満足しなかった。

表-3.2.19 施工後の検査事項

項目	判定基準	試験・検査方法	時期・回数	備考
塗厚さ	計画した塗り厚さ以上であること	目視、スケール	施工部位の端部および塗り厚さを確認できる箇所で適宜	
外観	亀甲ひび割れなど全面に微細なひび割れがない事	目視	全数	対象とするひび割れは0.05mm以上とする
浮き	浮きがないこと	打音による範囲の確認、スケール	全数	本試験では内部に浮きが無く、かつ、外周部に浮きが生じる場合は施工面積の10%以下であること
ひび割れ	0.2mmを超えるひび割れがないこと ひび割れ係数が0.2m/m <sup>2</sup> 以下であること	クラックスケール、スケール	全数	ひび割れ係数の対象は0.1mm以上とする

※浮きの外周部・内部の定義

「外周部」・・・PCM補修の外縁から外周アンカー芯から50mm内側までの部分



「内部」・・・PCM補修全体から外周部を除いた部分

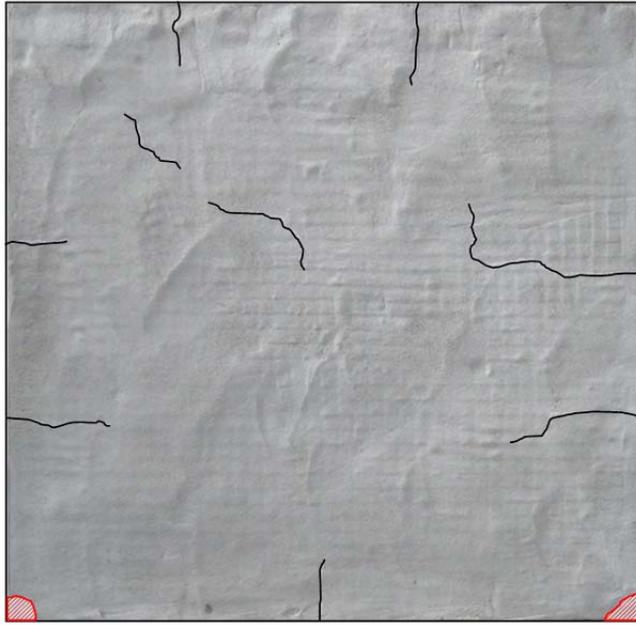
表-3.2.20 外観目視観察結果

No.	記号	外観	浮き		ひび割れ		判定
			外周部	内部	ひび割れ係数	0.2mm 以上	
1	P1	無	2.03%	0%	0m/m <sup>2</sup>	無	○
2	P4	無	0.33%	0%	0m/m <sup>2</sup>	無	○
3	P7	無	5.01%	0%	0m/m <sup>2</sup>	無	○
4	P2	無	10.38%	4.88%	0m/m <sup>2</sup>	無	×
5	P3	無	0.27%	0%	0m/m <sup>2</sup>	無	○
6	E3-A	有	6.18%	6.96%	0.3m/m <sup>2</sup>	無	×
7	P6	無	11.82%	12.73%	0.72m/m <sup>2</sup>	無	×
8	E3-C	無	0%	0%	0m/m <sup>2</sup>	無	○
9	V1	無	0%	0%	0m/m <sup>2</sup>	無	○
10	E3-B	有	0.30%	0%	0m/m <sup>2</sup>	無	○



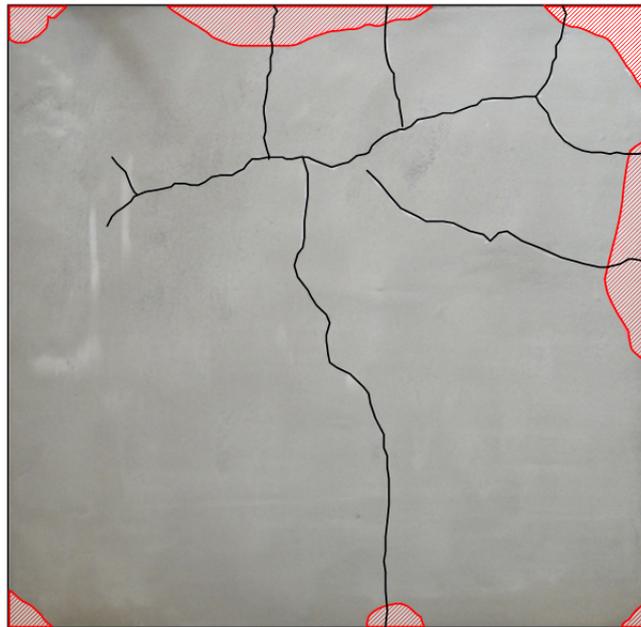
- ・ 外周部のみ浮きが発生 2.03% < 10%
- ・ ひび割れの発生なし

図-3.2.23 No.1 浮き・ひび割れ発生状況[P1]



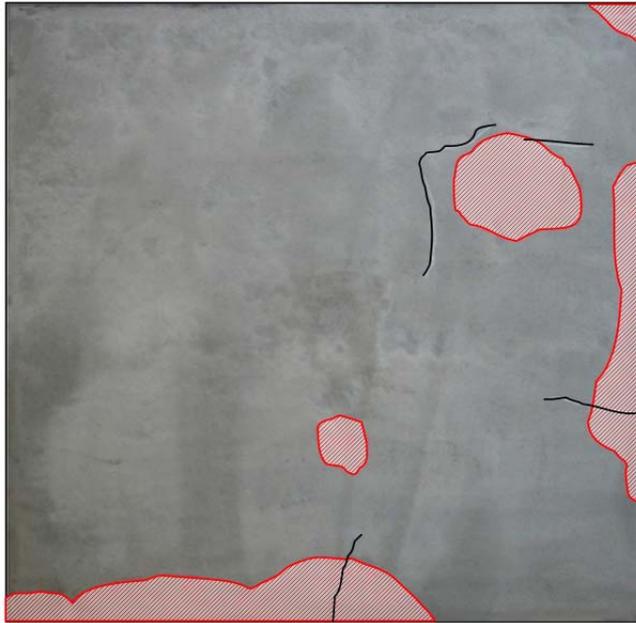
- ・ 外周部のみ浮きが発生 0.33% < 10%
- ・ ひび割れ幅は 0.06mm 未満

図-3. 2. 24 No. 2 浮き・ひび割れ発生状況 [P4]



- ・ 外周部のみ浮きが発生 5.01% < 10%
- ・ ひび割れ幅は 0.04~0.08mm

図-3. 2. 25 No. 3 浮き・ひび割れ発生状況 [P7]



- ・外周部および内部で浮きが発生
- ・外周部浮き 10.38% > 10%
- ・内部浮き 4.88%
- ・ひび割れ幅は 0.04mm 以下

図-3.2.26 No. 4 浮き・ひび割れ発生状況[P2]



- ・外周部のみ浮きが発生 0.27% < 10%
- ・ひび割れ幅は 0.04mm 以下 外周部のみ

図-3.2.27 No. 5 浮き・ひび割れ発生状況[P3]



- ・外周部および内部で浮きが発生
- ・外周部浮き 6.18% < 10%
- ・内部浮き 6.96%
- ・ひび割れは 0.06~0.10mm
- ・ひび割れ指数 0.3m/m<sup>2</sup> > 0.2m/m<sup>2</sup>

図-3.2.28 No. 6 浮き・ひび割れ発生状況[E3-A]



- ・外周部および内部で浮きが発生
- ・外周部浮き 11.82% > 10%
- ・内部浮き 12.73%
- ・ひび割れは 0.06~0.10mm
- ・ひび割れ指数 0.72m/m<sup>2</sup> > 0.2m/m<sup>2</sup>

図-3.2.29 No. 7 浮き・ひび割れ発生状況[P6]



- ・浮きの発生なし
- ・ひび割れの発生なし

図-3.2.30 No.8 浮き・ひび割れ発生状況[E3-C]



- ・浮きの発生なし
- ・ひび割れの発生なし

図-3.2.31 No.9 浮き・ひび割れ発生状況[V1]



- ・外周部のみ浮きが発生 0.30% < 10%
- ・ひび割れは0.04mm 未満

図-3.2.32 No. 10 浮き・ひび割れ発生状況[E3-B]

7) 耐火試験結果

①目視観察結果

耐火試験後の試験体外観を写真-3.2.3~写真-3.2.12に示す。

No.1(P1)試験体は、ひび割れおよび全面的な浮きが発生しているものの、爆裂、剥落等は発生しなかった。No.2(P4)試験体は、表層の一部が剥落し、内部も爆裂が発生していた。No.3(P7)試験体は、ひび割れおよび全面的な浮きが発生しているものの、爆裂、剥落等は発生しなかった。なお、表層の剥落は、耐火試験後の試験体の移動時に発生したものである。No.4(P2)試験体は、表面部は全面的に剥

落し、内部も爆裂が発生していた。No.5(P3)試験体は、表層の3割程度が剥落し、内部も爆裂が発生していた。No.6(E3-A)試験体は、部分的に表面部が剥落し、内部も一部爆裂が発生していた。No.7(P6)試験体は、全面的な浮きが発生し、また表層が極薄く剥落した。No.8(E3-C)試験体は、表層の一部が剥落したが、その他の部分では爆裂、剥落等は発生しなかった。No.9(V1)試験体は、ほぼ全面的に内部から爆裂が発生した。No.10(E3-B)試験体は、ひび割れおよび全面的な浮きが発生しているものの、爆裂、剥落等は発生しなかった。



写真-3.2.3 耐火試験後の状況 (No. 1) [P1]  
(耐火試験後の損傷状態… I : ひび割れ)



写真-3.2.4 耐火試験後の状況 (No. 2) [P4]  
(耐火試験後の損傷状態… IV : 部分的な内部の爆裂)



写真-3.2.5 耐火試験後の状況 (No. 3) [P7]  
(耐火試験後の損傷状態… I : ひび割れ)



写真-3.2.6 耐火試験後の状況 (No. 5) [P3]  
(耐火試験後の損傷状態… IV : 部分的な内部の爆裂)

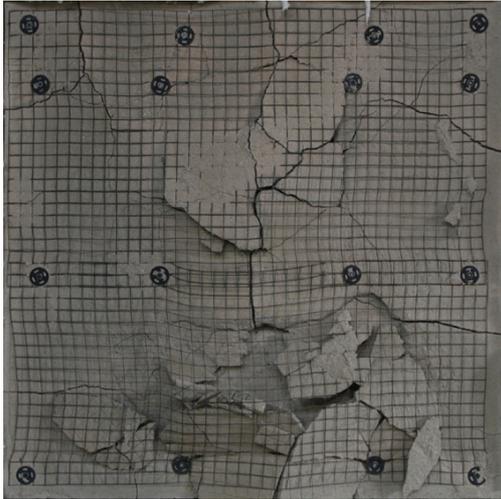


写真-3.2.7 耐火試験後の状況 (No. 4) [P2]  
 (耐火試験後の損傷状態…V : 全面的な内部の爆裂)



写真-3.2.8 耐火試験後の状況 (No. 6) [E3-A]  
 (耐火試験後の損傷状態…IV : 部分的な内部の爆裂)

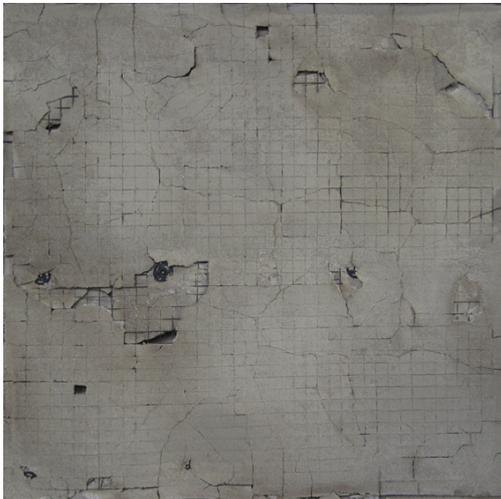


写真-3.2.9 耐火試験後の状況 (No. 7) [P6]  
 (耐火試験後の損傷状態…II : 金網より表層のみの剥落)

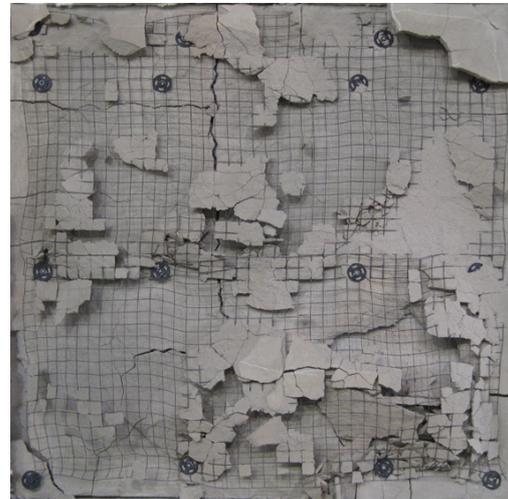


写真-3.2.10 耐火試験後の状況 (No. 9) [V1]  
 (耐火試験後の損傷状態…V : 全面的な内部の爆裂)

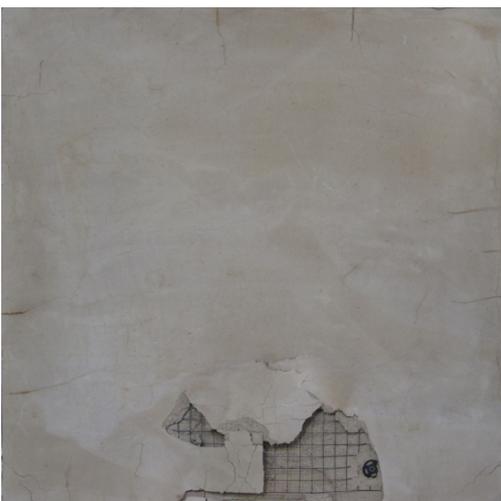


写真-3.2.11 耐火試験後の状況 (No. 8) [E3-C]  
 (耐火試験後の損傷状態…II : 金網より表層のみの剥落)



写真-3.2.12 耐火試験後の状況 (No. 10) [E3-B]  
 (耐火試験後の損傷状態…I : ひび割れ)

②温度計測結果

各試験体の加熱試験における温度履歴を

図-3.2.33～図-3.2.42 に、各試験体の加熱

表面から 30mm と 50mm の位置の最高温度を

表-3.2.21 に示す。

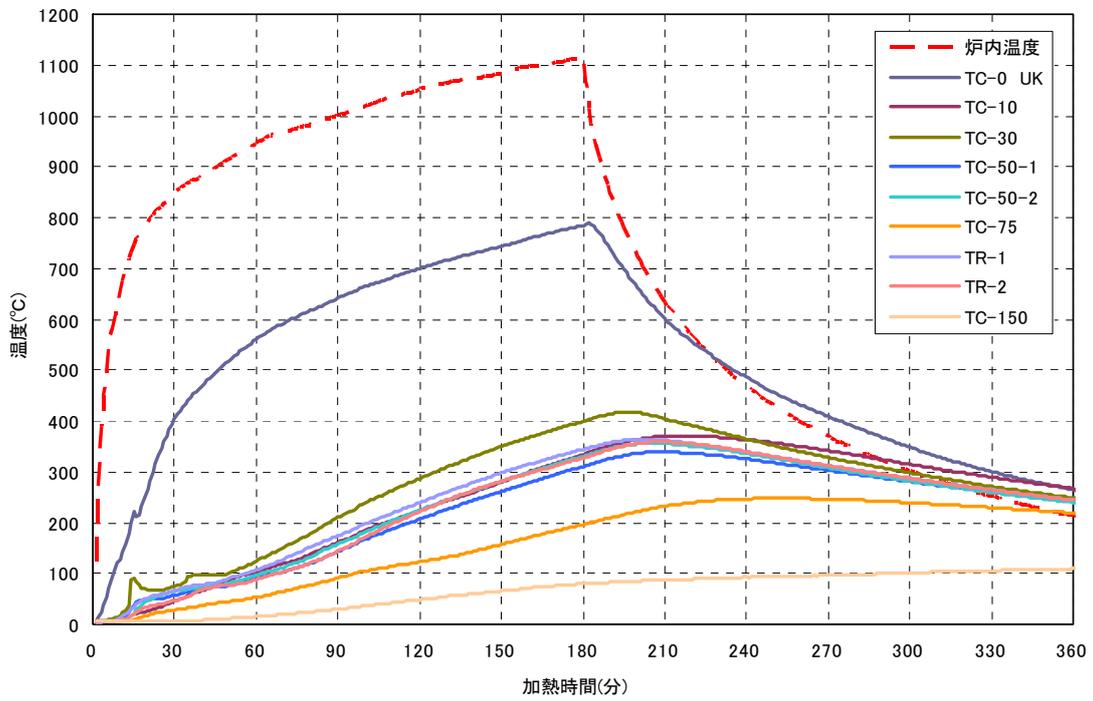


図-3.2.33 加熱試験の温度履歴 (No. 1 P1)

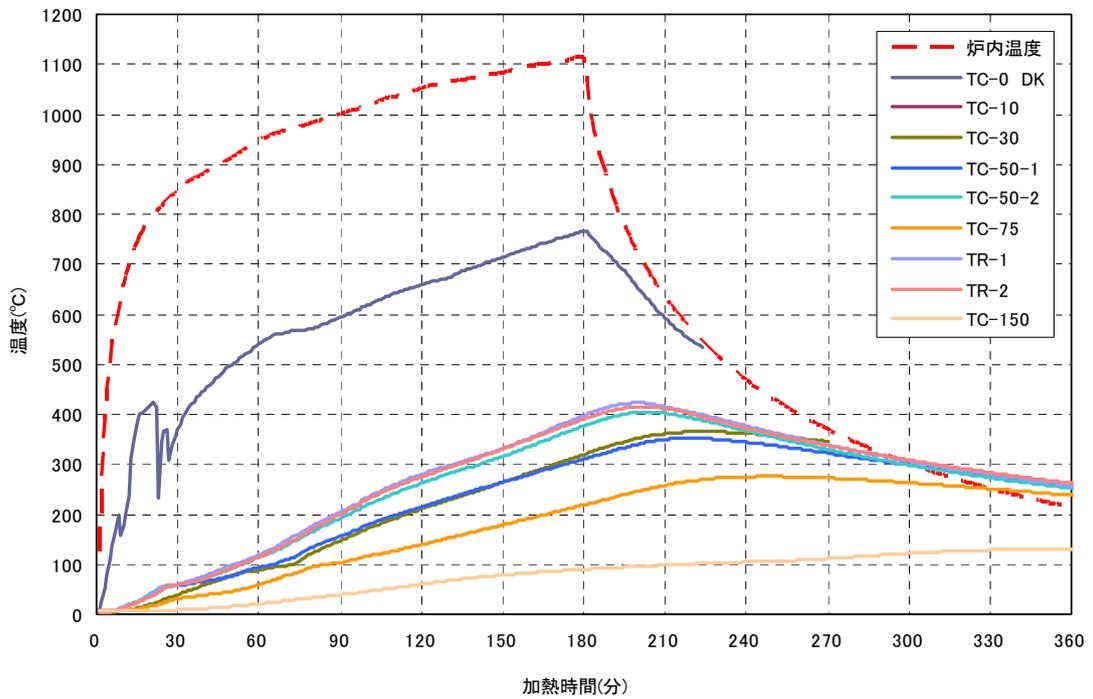


図-3.2.34 加熱試験の温度履歴 (No. 2 P4)

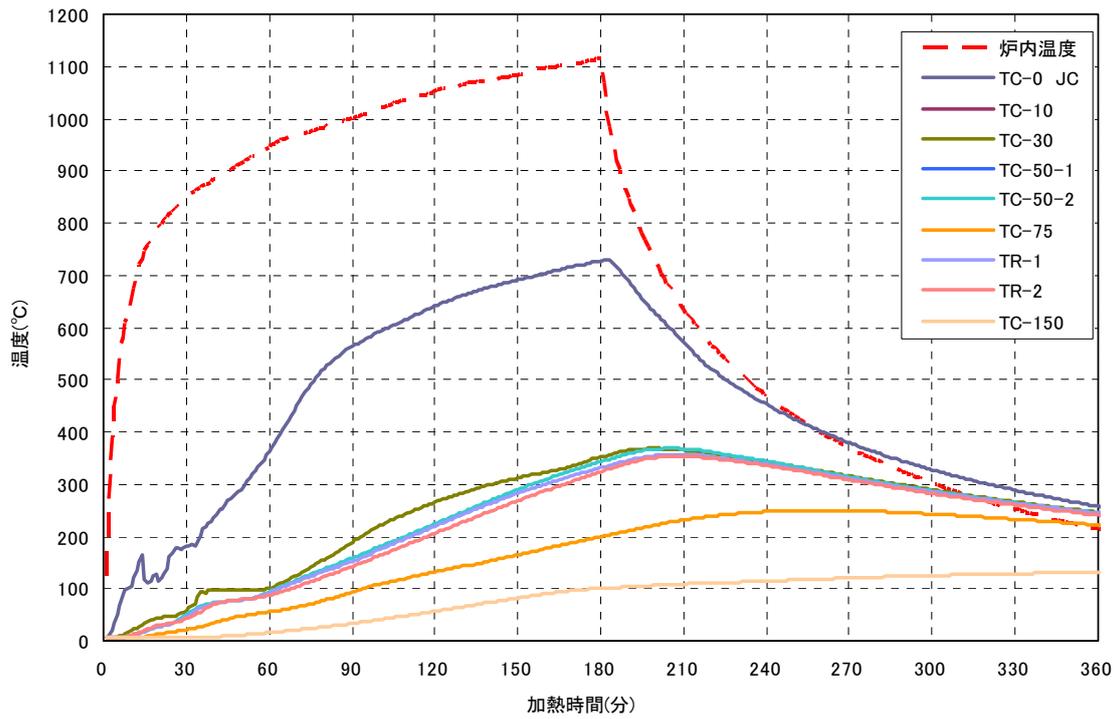


図-3.2.35 加熱試験の温度履歴 (No. 3 P7)

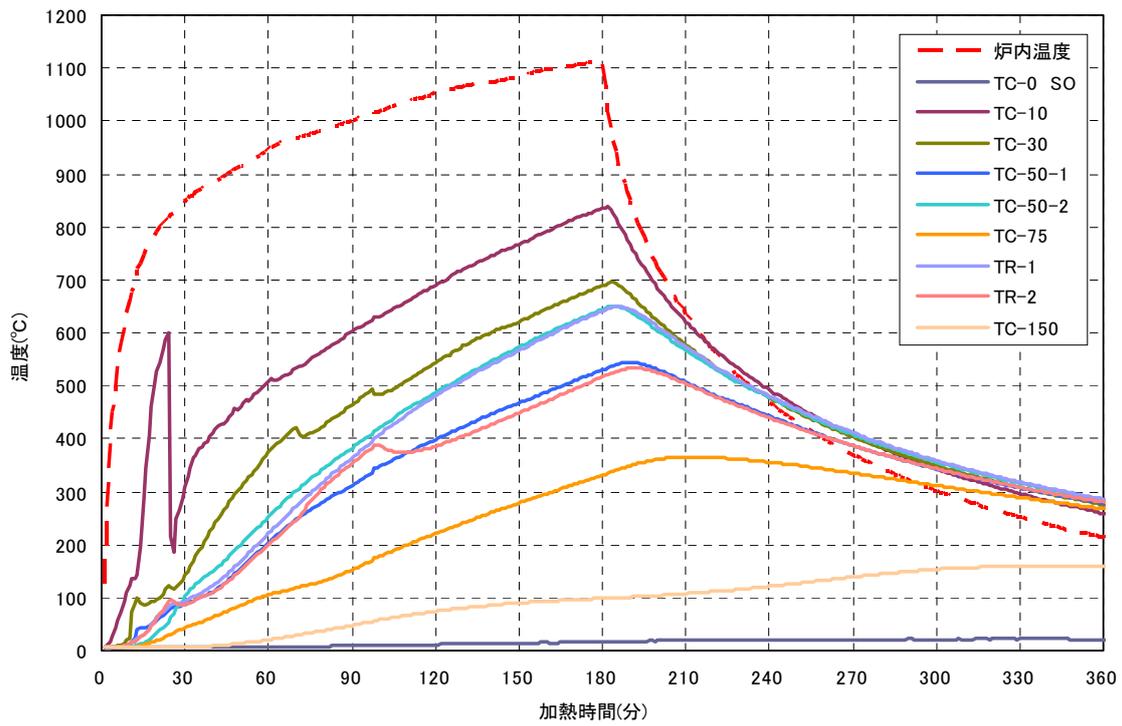


図-3.2.36 加熱試験の温度履歴 (No. 4 P2)

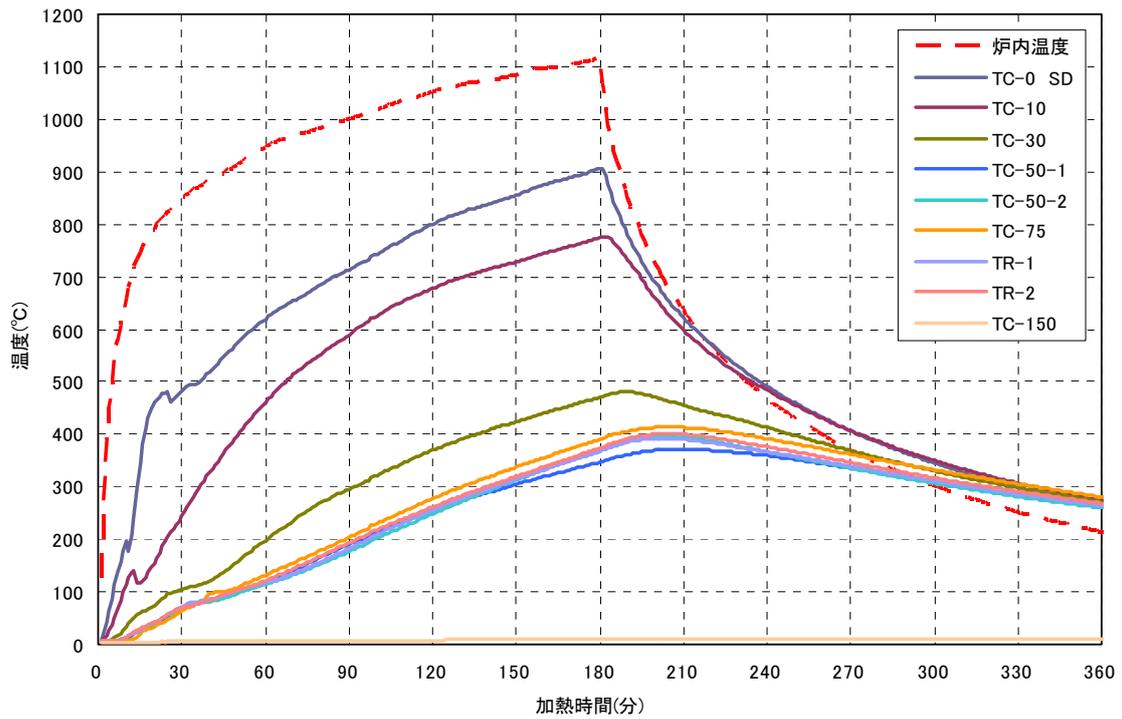


図-3.2.37 加熱試験の温度履歴 (No. 5 P3)

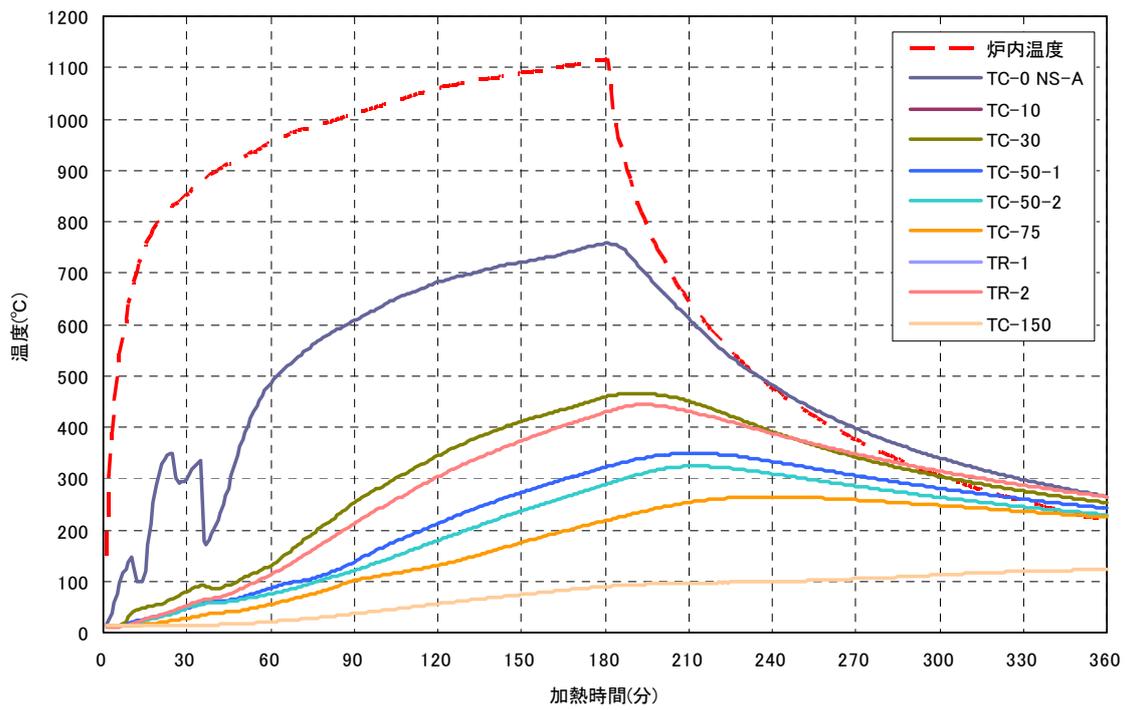


図-3.2.38 加熱試験の温度履歴 (No. 6 E3-A)

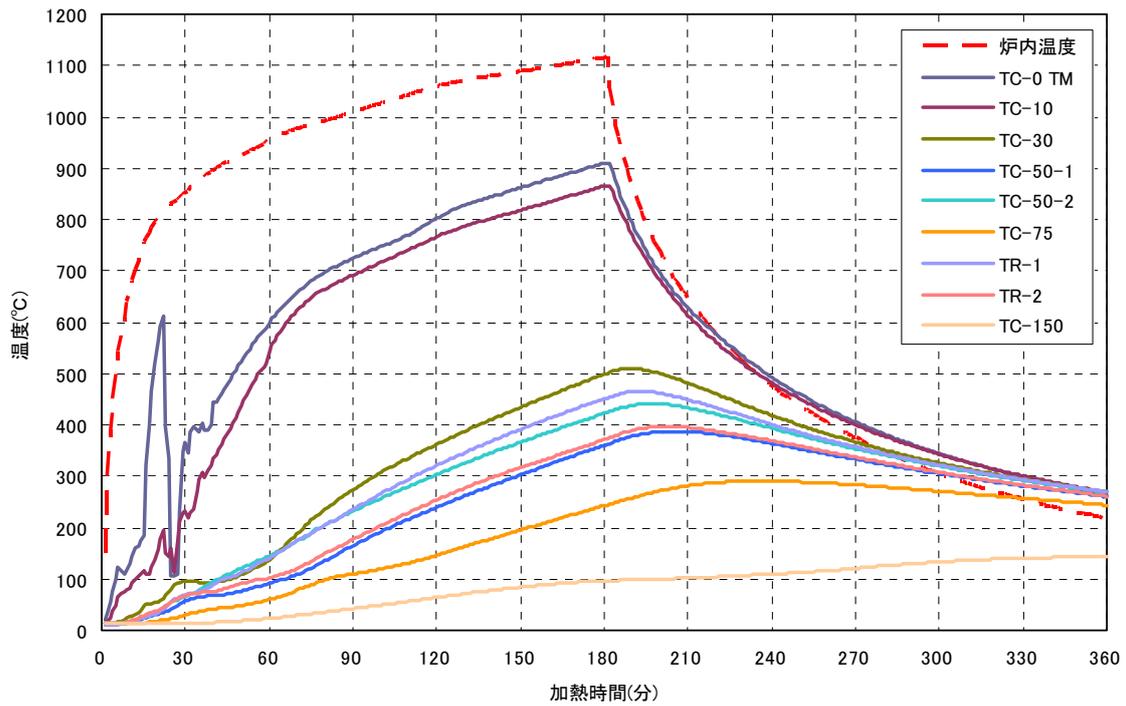


図-3. 2. 39 加熱試験の温度履歴 (No. 7 P6)

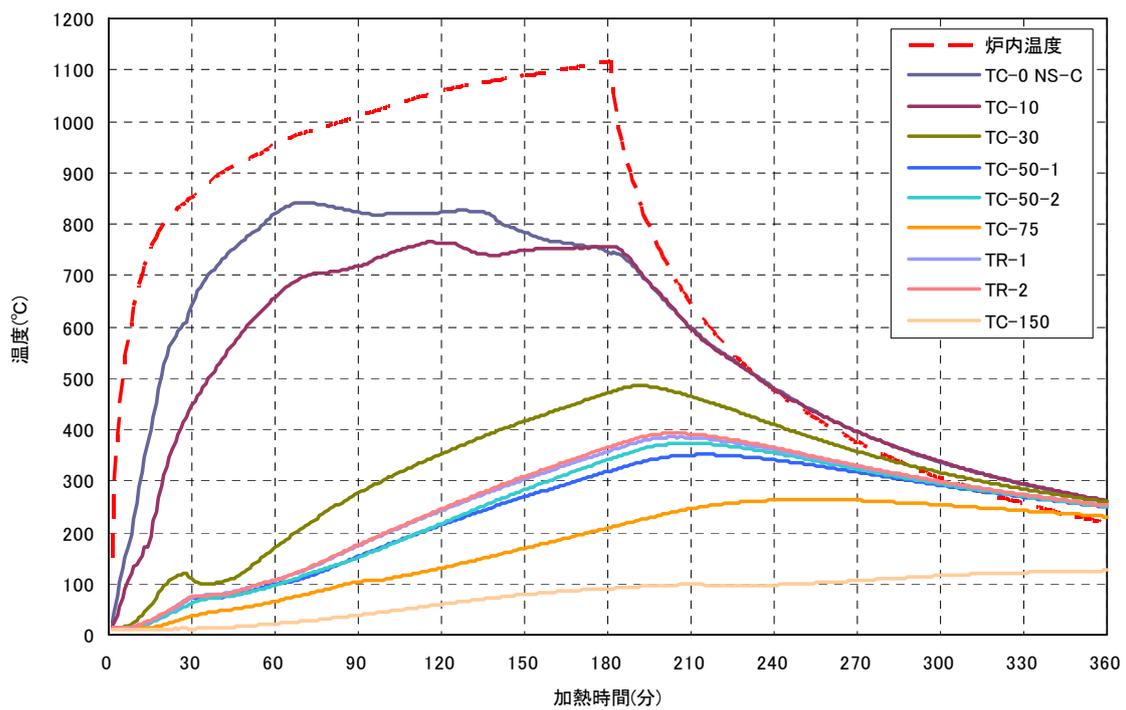


図-3. 2. 40 加熱試験の温度履歴 (No. 8 E3-C)

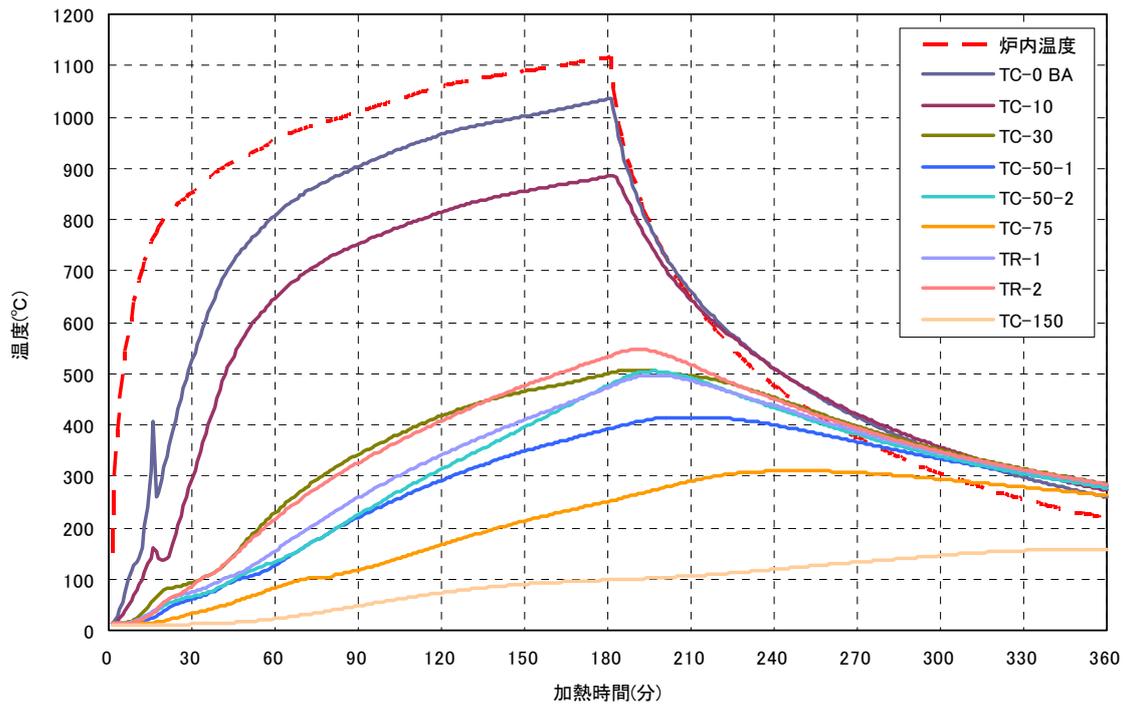


図-3.2.41 加熱試験の温度履歴 (No. 9 V1)

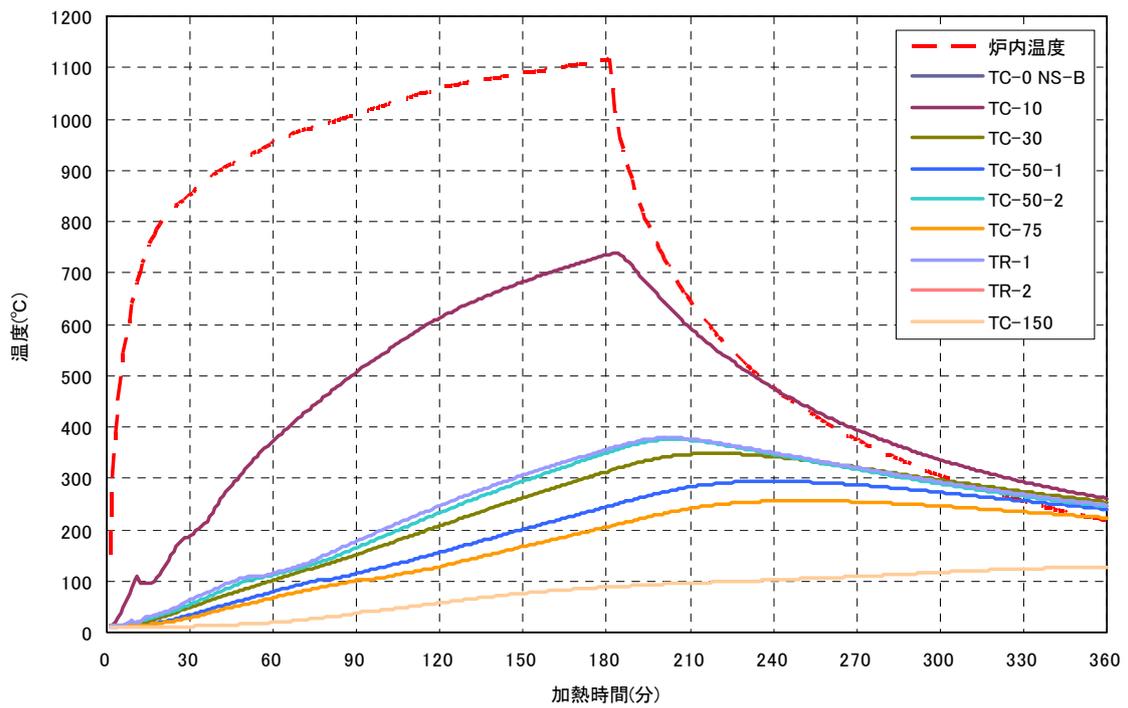


図-3.2.42 加熱試験の温度履歴 (No. 10 E3-B)

表-3.2.21 加熱表面から 30mm と 50mm の温度

試験体 No.	記号	表面から 30mm			表面から 50mm	
		加熱 2 時間時の温度(°C)	最高温度(°C)	経過時間(min)	最高温度(°C)	経過時間(min)
1	P1	286.7	416.4	193	339.2	209
2	P4	210.3	365.4	225	352.0	216
3	P7	265.7	368.3	199	368.4	205
4	P2	543.6	695.8	183	544.0	190
5	P3	369.4	481.1	189	371.2	208
6	E3-A	346.9	465.8	190	349.2	210
7	P6	364.7	510.1	188	387.8	204
8	E3-C	354.9	484.9	190	350.8	214
9	V1	419.5	507.6	187	415.3	210
10	E3-B	209.4	348.7	218	294.3	236

(6) まとめ

各種の PCM で補修した壁試験体による加熱実験を行い、PCM の耐火性を耐爆裂性と遮熱性の観点から比較検討した。なお、剥落防止として補強用メッシュおよびネジ式アンカーを用いて PCM を留め付けた。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) PCM の品質については、強制乾燥前の室内環境下において浮きやひび割れが発生した PCM があり、使用材料や調合などの見直しを行う必要があると考える。
- 2) PCM の補修厚さ 30mm の方が補修厚さ 10mm より耐爆裂性に劣る。
- 3) PCM が剥落しなければ PCM の補修厚さが 10mm, 30mm とともにコンクリートより遮熱性に優れる。
- 4) 加熱前の PCM の浮きやひび割れが爆裂の発生に影響を及ぼす可能性があるため耐爆裂性の評価では PCM に浮き・ひび割れ等が少ないことが要求される。
- 5) 吹付け施工は、コテによる施工と同等の耐火性を有している。
- 6) 壁試験体による加熱実験で、下地となるコンクリートの強度は呼び強度 60 程度までであれば普通コンクリート強度と同等の評価が可能である。
- 7) 上記 2), 3) から、PCM の耐火性を評価する方法として、補修厚さ 30mm で 1m 角の壁試験体による加熱実験が有効である。

- 8) 状態 I の爆裂・剥落がない耐爆裂性・遮熱性に優れる PCM は火災安全上問題なく、また金網より表層部のみの軽微な損傷にとどまる状態 II や III の PCM は遮熱性が確認できれば適用が可能と考える。

また、耐爆裂性を評価する実験として、簡易爆裂試験及び熱分析を行った結果、以下の知見が得られた。

- 9) 簡易爆裂評価試験により壁試験体加熱実験を概ね再現できていると思われる。
- 10) EVA, PAE のポリマーの場合は、TG-DTA 試験における発熱ピーク面積  $10^{\circ}\text{C}\cdot^{\circ}\text{C}/\text{mg}$  程度を閾値として、爆裂の危険性が高くなる。
- 11) TG-DTA および簡易爆裂評価試験による評価方法は、材料選定や開発のための耐爆裂性のスクリーニング試験としては有効であると思われる。

耐久性、耐爆裂性を改善した PCM の耐火試験の結果、および施工後の浮き・ひび割れ等を考慮した評価の一覧を表-3.2.22 に示す。施工時の浮き、ひび割れについては表-3.2.19 の判定基準に基づく表-3.2.20 の結果を用いた。防耐火性については 3.2.2(2) の結論に基づき状態 I ~ III を安全 (○) と判断した。総合判定は、浮き、ひび割れ、防耐火性いずれも○のものを○とした。

表-3.2.22 試験結果評価一覧

No.	記号	施工時の浮き・ひび割れ	防耐火性		総合判定
			損傷状態	判定	
1	P1	○	I	○	○
2	P4	○	IV	×	×
3	P7	○	I	○	○
4	P2	×	V	×	×
5	P3	○	IV	×	×
6	E3-A	×	IV	×	×
7	P6	×	II	○	×
8	E3-C	○	II	○	○
9	V1	○	V	×	×
10	E3-B	○	I	○	○

状態Ⅰ：ひび割れ

状態Ⅱ：金網より表層のみの剥落

状態Ⅲ：金網より表層のみの剥落・爆裂

状態Ⅳ：部分的な内部の爆裂

状態Ⅴ：全面的な内部の爆裂

### 3.2.3 ポリマーセメントモルタルの大型壁面の施工性および耐火性 (Phase3)

#### (1) はじめに

これまで壁試験体を用いた検討においては、ポリマーセメントモルタル(以下、PCM)を用いて補修施工した施工面積 1m<sup>2</sup>程度の壁試験体での耐火試験を実施し、金属製メッシュを用いた PCM の剥落防止工法を検討および提案している[9]。しかし、実施工で施工面積が広範囲となる場合、より大型のメッシュ間の継手や、工区分割による打継ぎ等の要因が発生する。さらに、大型化によって加熱時の面外変形が増大する可能性も考えられる。そこで、実際の壁面補修施工への提案工法の適用性を確認すべく 4.2m 四方の大型壁面にて施工性および耐火性能を実験的に検討した結果を報告する。

#### (2) 試験概要

##### 1) 使用材料

補修に使用した材料を表-3.2.23 に示す。試験に供した PCM は、耐火性に問題がないと考えられる、小型壁の耐火試験において大きな爆裂を生じていなかった PCM の中から、コンクリート温度が相対的に最も高い E1 を選定した。また、施工方法は大面積を効率良く実施するため吹付け施工(記号: E1S)とした。PCM の仕様を表-3.2.24 に示す。

同様に剥落防止メッシュは、吹付け施工に適する線径および網目ピッチのメッシュを選定した。その他、メッシュを固定する材料としてネジ式アンカー、ワッシャ、結束線を使用した。母材のコンクリートは 36-18-20N とした。コンクリートに使用した材料を表-3.2.25 に示す。

表-3.2.23 補修に使用した材料

使用材料	仕様
PCM	既調合ポリマー混入セメントモルタル
メッシュ	ファインメッシュφ1.2mm-P25 mm, SUS304 製
アンカー	ネジ式アンカー (スクリュータイプ), L=75mm, SUS410 製
ワッシャ	φ20mm×t=1.5mm, φ40mm, SUS410 製
結束線	#20, φ0.85~0.9mm, SUS304 製

表-3.2.24 PCM の仕様

ポリマー	有機繊維	圧縮強度	接着引張強度
		材齢 28 日	材齢 28 日
エチレン酢酸ビニル樹脂	ビニロン繊維	58.5N/mm <sup>2</sup>	2.52N/mm <sup>2</sup>

※ データはメーカー公表値

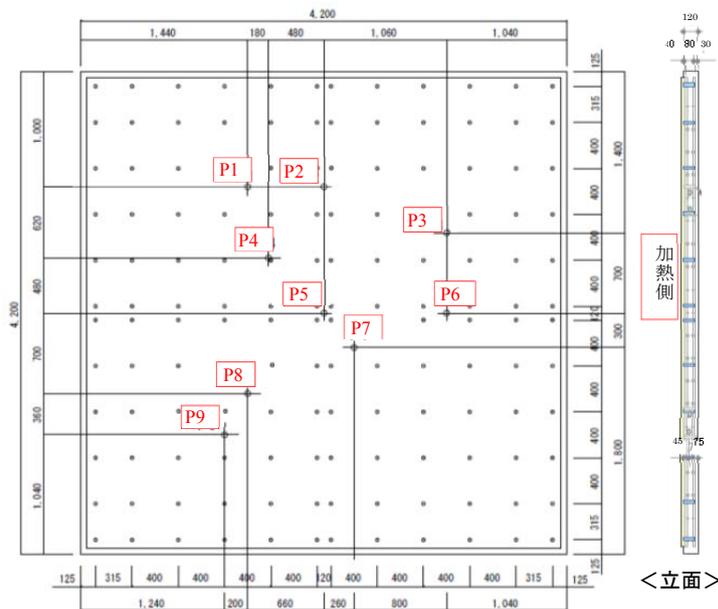
表-3.2.25 コンクリートに使用した材料

使用材料	記号	仕様
セメント	C	普通ポルトランドセメント (U 社製), 密度 3.16g/cm <sup>3</sup>
細骨材	S1	砂: 茨城県神栖産, 表乾密度 2.61 g/cm <sup>3</sup>
	S2	砕砂: 茨城県桜川産, 表乾密度 2.64 g/cm <sup>3</sup>
粗骨材	G	碎石: 茨城県笠間市上郷産, 表乾密度 2.74 g/cm <sup>3</sup>
練混ぜ水	W	上水道水
混和剤	Ad	高性能 AE 減水剤 (K 社製)

## 2) 試験体

補修施工前のコンクリート壁試験体寸法は高さ4200mm×幅4200mm×厚さ120mmで、縦筋、横筋ともにD10@200mmのダブル配筋とした。コンクリートのかぶり厚さは10mmとし、PCMによる補修厚さを30mmとした。したがって、補修後の試験面のかぶり厚さは40mm、試験体厚さは150mmとなる。試験体の概要および試験体内部温度測定位置を図

−3.2.43に示す。補修範囲は幅50mmの外周部を除く全面とし、基準ピッチを400mmとしたメッシュ固定アンカー位置を点で示した。また、P1~P9の位置にK型熱電対の配置点を示しており、各点において加熱表面から深さ30mm、40mm（鉄筋位置）、50mm、75mm、150mm（裏面）の位置に熱電対を配置した。なお、P2、P5およびP6は打継ぎ部となるよう配置した。



図−3.2.43 試験体の概要および試験体内部温度測定位置

## 3) 補修施工方法

補修は母材コンクリートの含水率が5%以下であることを確認し、材齢約7ヶ月にて実施した。補修施工は、現場施工を想定し、工区を分けて実施した。

図−3.2.44にアンカーピッチおよびメッシュ継手を、図−3.2.45に補修施工の工区分割とメッシュ割付を、図−3.2.46に留付け部詳細を示す。施工面を田の字型に4等分のエリアに分け、まず、3/4のエリアの第1工区を施工した後に、翌日に右上1/4のエリアの第2工区について打継ぎ部を設けて施工した。メッシュの継手は50mmの重ね継手とし、第

1工区内での各1/4のごとのエリア同士の継手はメッシュ端部の間隔が10mm程度となるような突付けとした。

補修施工手順を図−3.2.47に示す。試験体表面をカップホイールで目粗した後に、アンカー下孔を穿孔し、メッシュを躯体表面から20±3mmの位置となるようにネジ式アンカーにワッシャと結束線を用いた固定した。PCMの吹付けは、メッシュ位置を目安として1層目が完了した後に2層目を重ねるようにして施工した。なお、耐火試験までの養生期間は5ヶ月間とし、施工直後から材齢2週までは施工面をシート養生した。

なお、本施工試験における留付け施工は、壁試験体 (4.2×4.2m) の3/4 施工範囲において4時間 (13.6 (分/m<sup>2</sup>)) を要した。また、吹付け施工は、補修施工壁試験体 (4.2×4.2m) の1/4 施工範囲において約45分 (10.2分/m<sup>2</sup>)

を要した。

#### 4) 耐火試験方法

加熱は ISO834 に規定される標準加熱曲線に従った3時間加熱とし、3時間経過後は炉内で3時間自然冷却させた。

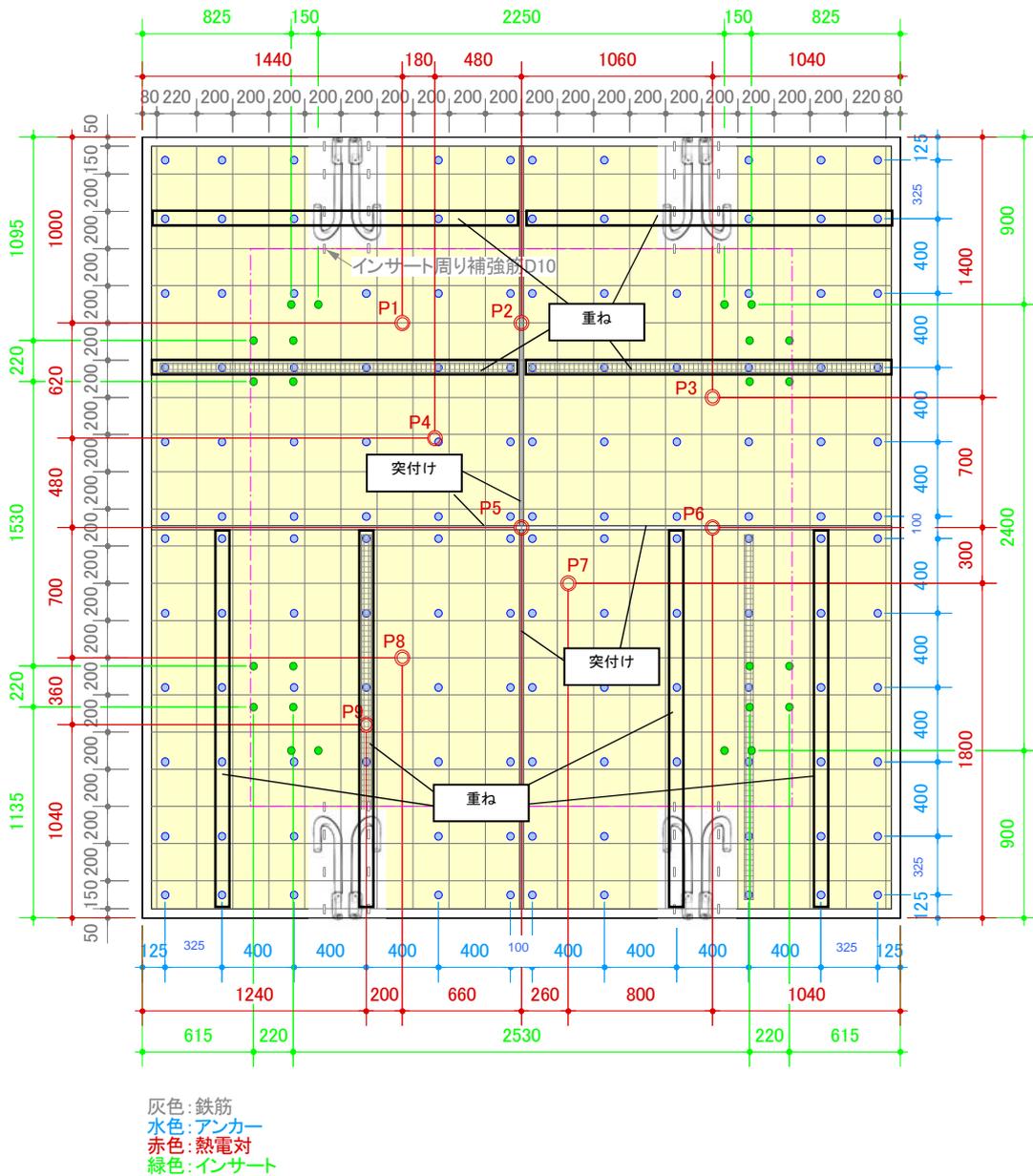


図-3.2.44 アンカーピッチおよびメッシュ継手

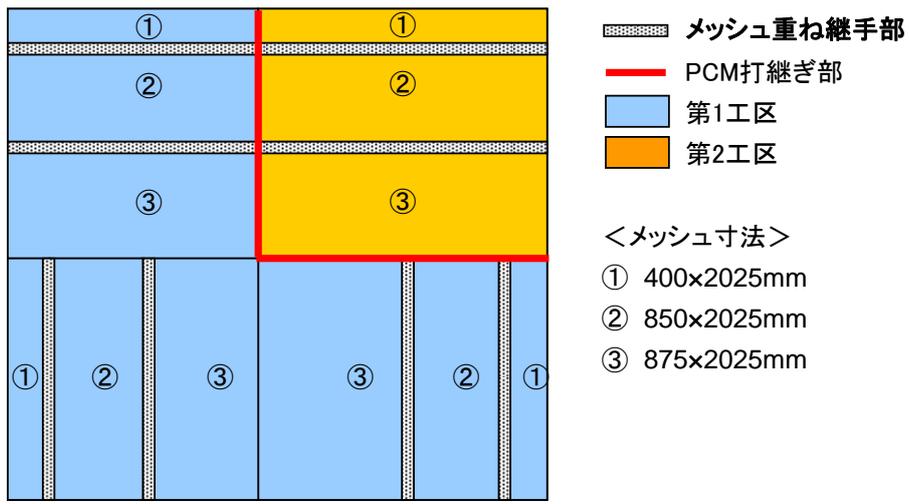


図-3.2.45 補修施工の工区分割とメッシュ割付

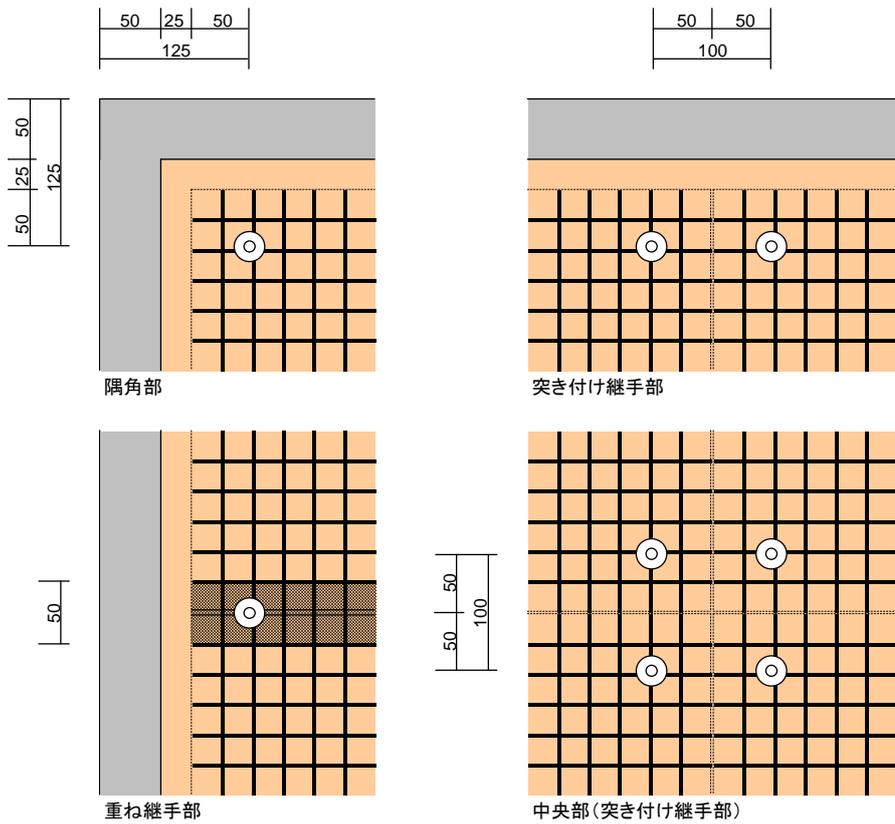


図-3.2.46 留付け部詳細

- ① 下地処理：カップ掛けによる目粗し+下地清掃
- ② アンカー位置の墨出し
- ③ アンカー下孔穿孔・孔清掃
- ④ 目地棒、定木、あたりの設置
- ⑤ アンカーの取付
- ⑥ メッシュの取付
- ⑦ アンカーとメッシュの結束
- ⑧ 吸水調整
- ⑨ PCM 吹付け施工（1層目）
- ⑩ PCM 吹付け施工（2層目）
- ⑪ こて仕上げ
- ⑫ 養生

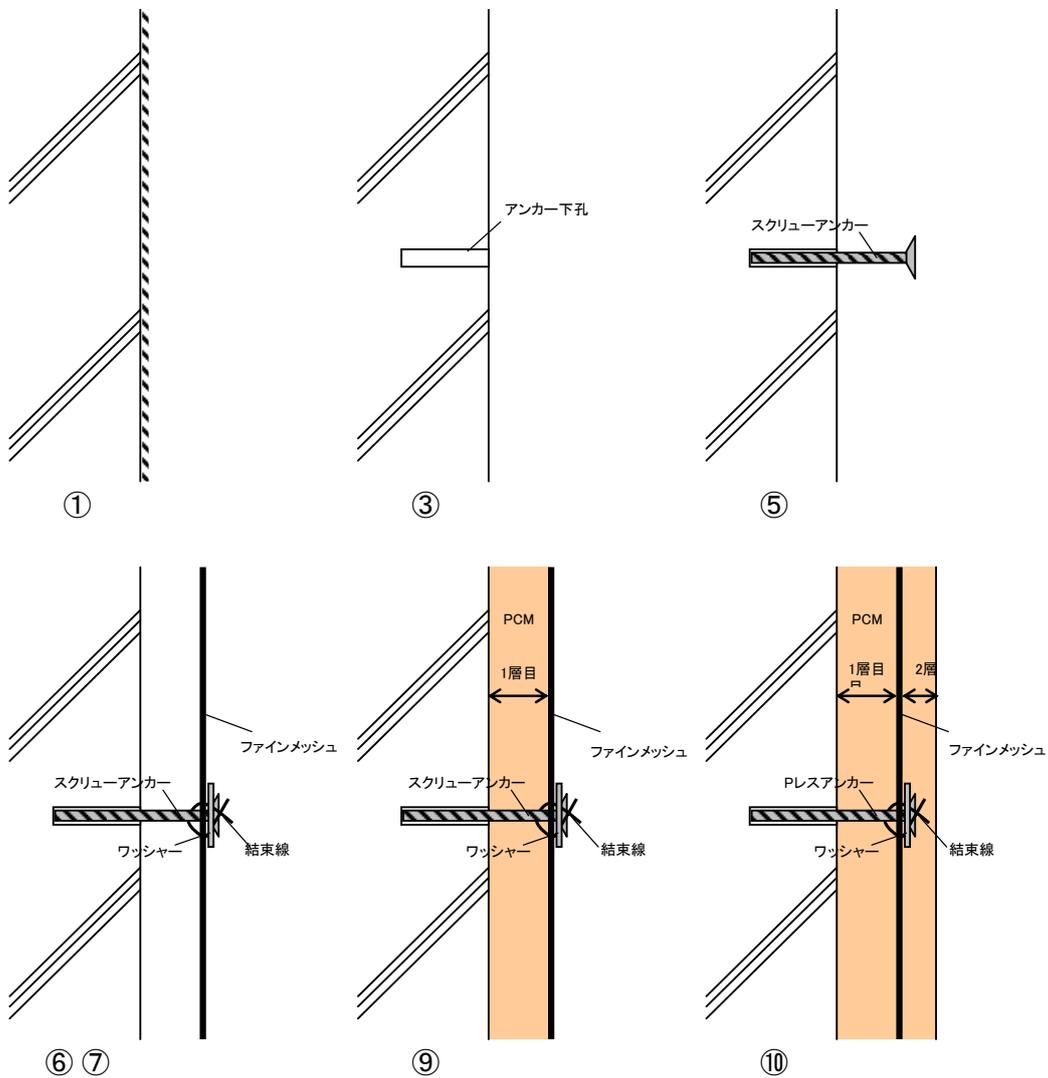


図-3.2.47 補修施工手順

### (3) 材料試験結果

JIS A1171 に準じて測定した PCM の品質試験結果を表-3.2.26 に示す。なお、母材コンクリートの標準水中養生での材齢 28 日圧縮強度は  $41.4\text{N/mm}^2$  であった。

### (4) 耐火試験結果

#### 1) 加熱前状況

試験直前に PCM の小片試料を 4 点採取し、測定した質量含水率の平均値は 3.2% であった。また、打診・目視検査の結果、PCM の剥離やひび割れ等は認められなかった。

#### 2) 加熱後損傷状況

加熱高温時には壁全体が加熱面を凸とする大きな面外変形を生じたが、PCM の剥落は生じなかった。加熱後の表面状況の全景を

写真-3.2.13 に示す。矢印で示す一部にて PCM 表層の剥がれ落ちが見られたが、爆裂は発生しなかった。また、表層部には亀甲状のひび割れが全面的に認められるものの、メッシュ継手部へのひび割れ発生等の目立った損傷はなかった。また、加熱に伴う部材全体の変形量(そり)は大きくなったが、補修部の剥落等の損傷の増大は認められないことから、前項までに得た小型の壁試験体と比較して、試験体の大型化に起因する損傷の増大はないものと考えられる。

#### 3) 試験体内部温度測定結果

各測定点の最高温度を図-3.2.48 に示す。打継ぎ部の P2, P5 および P6 の温度は他点と同等であり、温度測定結果からも加熱中の損傷がないことがわかる。

表-3.2.26 PCM の品質試験結果

シリーズ	空気量 (%)	スランブ (cm)	単位容積質量 ( $\text{g/m}^3$ )	標準養生材齢 28 日圧縮強度 ( $\text{N/mm}^2$ )
第 1 工区	4.7	4.0	2.23	57.5
第 2 工区	5.6	6.0	2.19	49.3

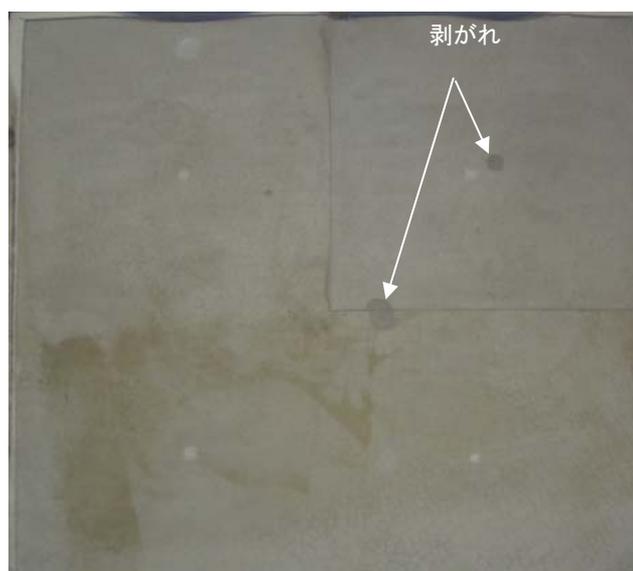


写真-3.2.13 加熱後の表面状況

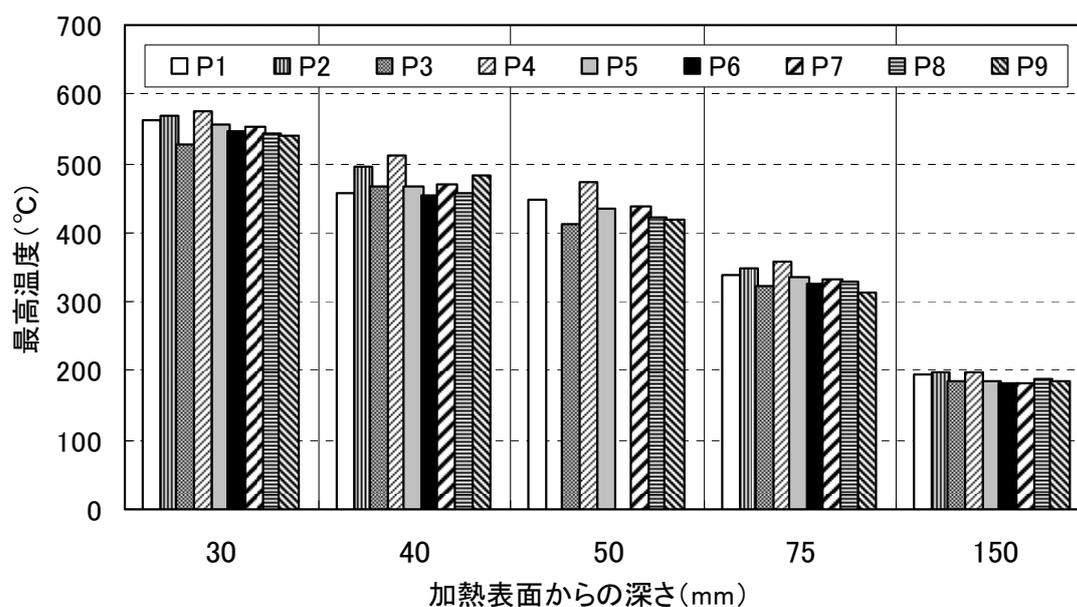


図-3.2.48 各測定点の最高温度

(5) まとめ

実大壁面を想定した本実験の結果、コンクリート温度や損傷状況から判断すると、以下の知見が得られた。

- 1) 打継ぎ部で内部温度が上昇することはなく、打継ぎ部が耐火性能上の弱点とはならなかった。
- 2) 大型壁は加熱時に大きな面外変形が生

じたものの PCM の剥落は認められず、大型壁においても提案補修工法の有効性が確認された。

- 3) 本試験の範囲では、試験体の大型化による結果への影響は認められず、1m<sup>2</sup>程度の小型の試験体によって補修材料の耐爆裂性や長期荷重が PCM に作用しない場合には剥落防止工法の効果を評価することの有効性が確認された。

### 3.2.4 ポリマーセメントモルタルで補修した荷重支持部材の耐火性能 (Phase4)

ポリマーセメントモルタルで補修した荷重支持部材の耐火性能について、床部材および柱部材について荷重加熱試験を行い耐火性能を確認した。

床部材については、RC 床下面全面をポリマーセメントモルタルで補修した場合の荷重加熱実験および床下面の局所的な範囲をポリマーセメントモルタルで部分補修した試験体の加熱実験を実施した。柱部材については、各面のかぶり厚さおよび補修仕様の異なる2体のRC柱について荷重加熱実験を実施した。

実験結果の詳細については、平成23年度建築基準整備促進事業報告書[6]に記載されている。また、その主な内容については、2012年度の日本建築学会大会において文献[10]、[11]、[12]、[13]として発表した。建築学会大会への発表内容を付録(p.141~148)に示すとともに、以下に実験結果の概要を示す。

#### (1) 鉄筋コンクリート造床

健全なRC床試験体(No.1)、床下面全面をポリマーセメントモルタルで補修したRC床試験体(No.3~6)の荷重加熱実験、局所的な範囲をポリマーセメントモルタルで補修した試験体(No.2)の加熱実験が実施され、以下の結論が得られている。

- 1) 局所的な範囲をポリマーセメントモルタルで補修する場合、火災後にポリマーセメントモルタルが剥落する可能性があるため、剥落防止用のアンカーピンを設置する必要がある。
- 2) 床下面全面をポリマーセメントモルタルで補修する場合、ポリマーセメントモルタルで補修した床は、無補修と同等、あるいはそれ以上の耐火性能を有する。
- 3) 面的に補修する場合は、ポリマーセメントモルタルの剥落防止材としてメッシュの使用が有効である。

#### (2) 鉄筋コンクリート造柱

鉄筋の芯ずれによってかぶり厚さが不足した場合を想定し、ポリマーセメントモルタルで断面補修した鉄筋コンクリート造柱に関して荷重加熱実験を実施して、圧縮応力下におけるポリマーセメントモルタルの高温性状および柱の荷重支持能力に対する鉄筋の偏芯の影響を確認することを目的として、2体のRC柱の荷重加熱実験が行われた。

実験の結果、PCMの層厚が10mmと20mmの場合では、PCM層の浮き・はく離が認められたが、顕著な爆裂は生じなかった。層厚30mmでは爆裂・剥落は生じなかった。荷重支持能力については、断面500×500mmのRC柱で鉄筋が偏芯していても、PCMでかぶり補修を行えば、12時間(加熱5時間+放冷7時間、この間荷重を継続)の軸力保持性能を有していた。また、主筋および帯筋の受熱温度は、PCM層に爆裂・剥落が生じなければ、コンクリートの場合と同様に、試験体表面から距離に依存し、PCM層はコンクリートとほぼ同等の断熱性状を示した。

このことから、PCMに長期荷重(圧縮力)が加わる柱部材等については、PCMの爆裂性状に対する圧縮応力の影響は大きくないと考えられるが、剥落防止工法の効果については、荷重加熱実験で確認する必要があると考えられる。

### 3.2.5 まとめ

一連の実験を通じて、以下の知見が得られた。

- 1) 本耐火試験で使用した PCM は、加熱を受けると浮きやふくれが生じるため、剥落防止対策が必要となる。
- 2) 剥落防止には、ステンレスメッシュをアンカーで躯体に止め付ける方法が有効である。
- 3) PCM が剥落しなければ、PCM が厚いほどコンクリート温度を低く抑えることができる。
- 4) PCM にひび割れが発生しても、PCM が剥落しなければコンクリート温度への影響は認められない。
- 5) PCM が剥落しなければ PCM の補修厚さが 10mm, 30mm ともコンクリートより遮熱性に優れる。
- 6) PCM の補修厚さ 30mm の方が補修厚さ 10mm より耐爆裂性に劣る。
- 7) 吹付け施工は、コテによる施工と同等の耐火性を有している。
- 8) 壁試験体による加熱実験で、下地となるコンクリートの強度は呼び強度 60 程度までであれば普通コンクリート強度と同等の評価が可能である。
- 9) PCM の耐火性を評価する方法として、補修厚さ 30mm で 1m 角の壁試験体による加熱実験が有効である。
- 10) 状態 I の爆裂・剥落がない耐爆裂性・遮熱性に優れる PCM は火災安全上問題なく、また金網より表層部のみの軽微な損傷にとどまる状態 II や III の PCM は遮熱性が確認できれば適用が可能と考える。
- 11) TG-DTA および簡易爆裂評価試験による評価方法は、材料選定や開発のための耐爆裂性のスクリーニング試験としては有効であると思われる。
- 12) PCM に長期荷重（圧縮力）が加わる柱部材等については、PCM の爆裂性状に対する圧縮応力の影響は大きくないと考えられるが、剥落防止工法の効果については、

載荷加熱実験で確認する必要がある。

- 13) 局所的な範囲をポリマーセメントモルタルで補修する場合、火災後にポリマーセメントモルタルが剥落する可能性があるため、剥落防止用のアンカーピンを設置する必要がある。
- 14) 床下面全面をポリマーセメントモルタルで補修する場合、ポリマーセメントモルタルで補修した床は、無補修と同等、あるいはそれ以上の耐火性能を有する。
- 15) 面的に補修する場合は、ポリマーセメントモルタルの剥落防止材としてとしてメッシュの使用が有効である。

以上のことより、ポリマーセメントモルタルの爆裂の有無は、1m×1m 程度の小型壁の加熱実験で確認できることが分かった。

また、剥落防止工法については、鉄筋コンクリート壁、床、柱試験体をポリマーセメントモルタルで補修した部材の耐火実験が建築基準整備促進事業においてなされ、無載荷の壁の加熱実験では剥落しない剥落防止工法であっても、ポリマーセメントモルタルに応力が加わる場合には、火災時にポリマーセメントモルタルが剥落する可能性があることがわかった。

以上のようなことから、ポリマーセメントモルタルに長期応力が作用しないような場合について、平成 12 年建設省告示第 1399 号に規定されている、ポリマーセメントモルタル等を用いた場合の防火上支障のない材料であることを確認する方法としては、大きさ 1m×1m 程度、厚さ 15cm 程度の小型壁による加熱実験によることで必要な耐火性能を確認できると思われる。ただし、ポリマーセメントモルタルに長期応力が作用するような場合の剥落防止効果の有効性については載荷加熱試験による評価が必要であると思われる。ここで、長期応力が作用しないような場合とは、作用する荷重の大幅な増加が見込まれない既存の構造物への補修や非構造部材への補修などが考えられる。

また、ポリマーセメントモルタルの耐爆裂性が不明な材料、あるいは剥落防止効果が不明な工法を適用しようとする場合は、要求性能とポリマーセメントモルタルによる補修

部分に作用する荷重条件に応じて、表 3.2.27 に示す試験を行って、要求性能を確認することを提案する。

表-3.2.27 ポリマーセメントモルタル補修工法の性能確認方法

要求性能	荷重条件	ポリマーセメントモルタルに長期応力が作用しない場合*3	ポリマーセメントモルタルに長期応力が作用する場合
耐爆裂性*1の確認		小型壁の加熱試験	小型壁の加熱試験 または、部材の載荷加熱試験*4
剥落防止工法の効果*2の確認		小型壁の加熱試験	部材の載荷加熱試験*4

\*1：加熱試験中にポリマーセメントモルタルに爆裂が生じないことを確認する。なお、ポリマーセメントモルタル表層に軽微な爆裂や剥離等が発生しても、鉄筋温度を健全な鉄筋コンクリート部材と同等以下に抑えることができれば、耐爆裂性を有していると判断する。

\*2：加熱試験中にポリマーセメントモルタルが剥落しないことを確認する。

\*3：長期応力が作用しない場合の例として、既存の構造物の補修や非構造部材への補修などが考えられる。

\*4：部材の載荷加熱試験を実施した場合にあっては、指定性能評価機関の「耐火性能試験・評価業務方法書」に従って、合否を判定する。

#### <参考文献>

- [1] 王徳東ほか: ポリマーセメントモルタルの燃焼特性および熱伝導率に関する研究 その3 熱伝導率の温度依存性, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-2, pp.163-164, 2008.9
- [2] 濱崎仁ほか: ポリマーセメントモルタルを用いて補修した部材の耐火性能に関する研究 その1 耐火試験における補修部の損傷および温度分布, 日本建築学会構造系論文集, 第75巻, 第652号, pp.1065-1071, 2010.6
- [3] 濱崎仁ほか: 補修用ポリマーセメントモルタルの耐久性および吸発熱特性に関する実験 (その1~3), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, pp.277-282, 2011.8
- [4] 鈴木好幸ほか: 補修用ポリマーセメントモルタルの耐久性および吸発熱特性に関する実験 (その3), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, pp.281-282, 2011.8
- [5] 木戸猪一郎: 繊維材料各説, 三共出版, 1979
- [6] 清水建設ほか: 平成23年度建築基準整備促進事業報告書「ポリマーセメントモルタルにより断面補修したRC造部材の耐火性能に関する実験的検討」, 2012.3
- [7] 唐沢智之ほか: ポリマーセメントモルタルを用いて補修施工した壁試験体の耐火試験 (その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, pp. 285-286, 2011.8
- [8] 清水建設ほか: 防火・避難対策等に関する実験的検討 建築基準整備促進事業平成22年度報告書, pp.6-3~6-9, 2011.3
- [9] 住学ほか: ポリマーセメントモルタルを用いて補修施工した壁試験体の耐火試験(その1~2), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, pp.283-286, 2011.8
- [10] 道越真太郎ほか: ポリマーセメントモルタルを用いて補修施工した鉄筋コンクリート造床試験体の耐火試験 その1 実験計画, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, pp.1115-1116, 2012.9
- [11] 梅本宗宏ほか: ポリマーセメントモルタルを用いて補修施工した鉄筋コンクリート造床試験体の耐火試験 その2 実験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, pp.1117-1118, 2012.9

- [12] 森田武ほか: ポリマーセメントモルタルを用いて補修施工した鉄筋コンクリート造柱の耐火実験 その 1 実験概要および実験経過, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, pp1119-1120, 2012.9
- [13] 松戸正士ほか: ポリマーセメントモルタルを用いて補修施工した鉄筋コンクリート造柱試験体の耐火実験 その 2 軸方向変位および部材温度測定結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, pp1121-1122, 2012.9



## 4. かぶり厚さ確保のための実態調査

### 4. 1 調査概要

#### 4. 1. 1 はじめに

近年、JASS 5 の改定によるかぶり厚さ検査の位置づけの明確化や住宅品確法の劣化対策等級でのかぶり厚さの規定等により、鉄筋コンクリート建築物のかぶり厚さ確保に対する意識や要求が高まっている。しかしながら、構造安全性の確保のため鉄筋量の増加や鉄筋の太径化、部材断面をぎりぎりまで小さく抑えるための設計など、かぶり厚さの確保という観点からは近年特に厳しい状況にあるといえる。

本報告では、かぶり厚さを適切に確保するための品質管理の実態や問題点、対策等を把握し、かぶり厚さを確保するための有効な方策や設計・施工上の留意点を検討するため、かぶり厚さ確保研究会の参加企業を対象としたアンケート調査を実施した。日本建設業連合会（当時、建築業協会）においては、昭和 61 年（1986 年）にもかぶり厚さ確保に関する実態調査[1]を行っており（以下、昭和 61 年調査と記す）、その当時の調査結果とも比較しながら、調査の結果について報告する。

#### 4. 1. 2 アンケート調査の概要

アンケート調査は、①作業所における品質管理等の実態に関するアンケート調査（以降、作業所アンケート調査と記す）、②施工業者（元請け）の品質管理部門等に対するかぶり厚さ確保のための方策に関するアンケート調査（以降、品質管理部門アンケート調査と記す）、③かぶり厚さの実測データの提供による実態調査（以降、実測調査と記す）の 3 種類の調査を行った。調査

結果は、作業所アンケート調査。品質管理部門アンケート調査、実測調査の順にまとめて報告する。

表-4.1.1 に作業所アンケート調査の概要を示す。表には今回の調査（以下、本調査）の概要と前述の昭和 61 年調査の概要もあわせて示している。昭和 61 年当時は、RC 構造物の早期劣化問題（所謂、コンクリートクライシス）が社会問題となった直後で、RC 構造物の耐久性への信頼確保が急務とされていた時期である。昭和 61 年 6 月には、建設省住宅局建築指導課長通達「コンクリートの耐久性確保に係る措置について」が出され、塩害やアルカリ骨材反応への対策がとられるようになるとともに、施工面での耐久性確保の対策として、かぶり厚さの問題がクローズアップされた中での調査である。JASS 5 の状況は、昭和 61 年に第 8 版[2]が刊行され、最小かぶり厚さに 10mm を加えた値が施工時の目標の仕様として明示的に定められている。

図-4.1.1 に調査対象作業所の所在地、図-4.1.2 に建物用途のヒストグラムを示す。対象となった作業所は、関東地区が最も多く全体の約半数である。建物用途は集合住宅が約 6 割を占め、その他の用途としては、病院や老人ホームなどの医療・福祉系の施設が多かった。

表-4.1.1 作業所アンケート調査の概要

	本調査	昭和 61 年調査
調査対象	RC 造建築物の作業所で躯体工事が終了または終了に近い作業所	
回答者	作業所の元請け企業の工事担当者で無記名式	
調査期間	平成 22 年 11 月～23 年 1 月	昭和 61 年 11 月～12 月
対象企業	日本建設業連合会加盟企業のうち 26 社	建築業協会加盟のうち 77 社
回答数	135 作業所	345 作業所

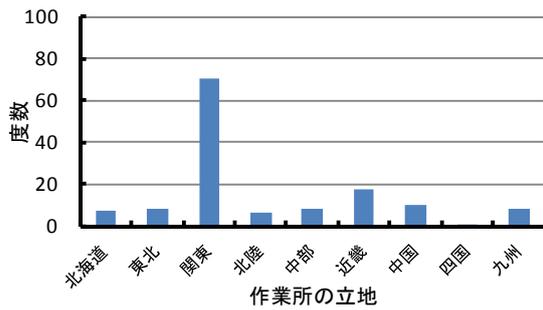


図-4.1.1 調査対象作業所の所在地

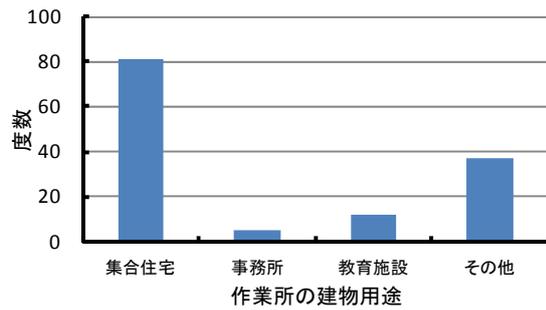


図-4.1.2 調査対象作業所の建物用途

#### 4. 1. 3 アンケート内容

作業所アンケート調査の項目を表-4.1.2 に示す。アンケート項目は昭和61年調査との比較

を考慮し、できるだけ同様の内容としながらも近年の特有の状況を把握するための設問および選択肢を設けた。

表-4.1.2 アンケート項目

分類	項目
A. 一般事項	諸元：所在地，建物用途，規模，外部仕上げ 工期：全体工期，基準階躯体サイクル 使用鉄筋：サイズ，鋼種，継手
B. 総括的事項（意識調査）	意識調査：引き起こされる不具合，問題点，影響する要因 作業所の状況：施工状況，注意点，手直しの程度・多かった部位
C. JASS 5 かぶりの検査に関する事項	実施の有無・方法，測定機器，測定値の補正の有無・方法，非破壊試験の結果の対処，測定方法に関する意見等
D. 設計に関する事項	かぶり不足の要因となる納まり：有無，発見した時期・発見者 対応：設計者の指示・提案，具体の事例および対策
E. 協力業者に関する事項	作業員の技能・不満点，鉄筋加工場の設備，施工図の良否・チェック方法，作業員の資格・動員力・自主管理能力
F. 施工および管理	鉄筋加工：加工図のチェック，精度の指示・方法，チェック方法 結束：部位ごとの結束線の結束方法・結束数 スパーサ：部位ごとの種類・位置・数量，外さないための措置 部材寸法：ふかしや打増し（行う場合とその程度） 型枠：目標設定の有無，型枠頂部通り精度，断面精度 打設時：鉄筋の移動や乱れを生じさせないための措置 かぶり厚さの確認方法：実施者・方法

### 4. 2 作業所アンケート調査

#### 4. 2. 1 一般事項

調査の対象となった作業所（建物）は，中高層の集合住宅（マンション）が最も多く，基準階の床面積は概ね 800～1000m<sup>2</sup>程度の規模の建物が多かった。工期および躯体の施工サイクルは，標準的なものが多く，比較的工期は確保されており工期の逼迫した物件は少ないものと思われる。図-4.2.1 に基準階躯体の施工サイク

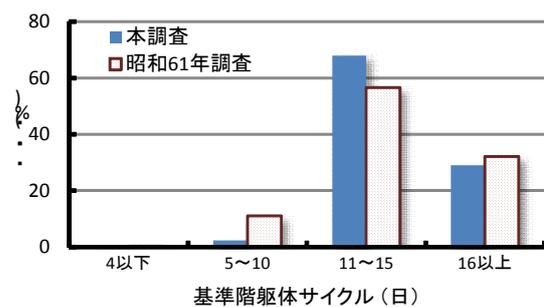


図-4.2.1 基準階躯体サイクル（日）

ルの日数を示す。図には昭和 61 年調査の結果も示し、縦軸は度数の割合で示している。以後、比較を行う場合は同様の表し方としている。躯体サイクルの日数は、2 週間程度が平均的で昭和 61 年調査と比べても同程度か若干余裕がある程度と思われる。

使用している鉄筋に関する調査項目は本調査からのもので、鉄筋の高強度化や高強度化の状況を把握するためのものである。図-4.2.2 に主筋の主な鋼種、図-4.2.3 に鉄筋径、図-4.2.4 に補強筋の主な鋼種と図-4.2.5 に加工の方法を示す。

鉄筋の鋼種は、主筋では SD345 もしくは SD395 が主流であり、補強筋では SD295 が多くを占める。ただし、その他の回答として補強筋では柱および梁に高強度筋 (KSS785) が使われている建物も多かった。主筋の鉄筋径は D19 から D41 まで幅広い範囲のものが使用されており、本調査では、どの部材も D25 が最も多く使用されていた。比較対象となるデータはないものの、建物の高層化に伴い、主筋径は太径化していることが推察される。補強筋の加工は、柱の帯筋では溶接閉鎖型が多く、梁のあばら筋は在来(現

場加工)が多い。近年は溶接閉鎖型が多くなる傾向にあり、この場合の寸法管理もかぶり厚さの確保に関してのポイントになると思われる。

#### 4.2.2 かぶり厚さ確保に対する意識調査

図-4.2.6 は、かぶり厚さ不足が引き起こす問題として重要なものを選択してもらったものである。なお、昭和 61 年調査では、選択肢として火災安全性は含まれていない。本調査、昭和 61 年調査ともに、ひび割れやコンクリートのはく落に対する問題意識が高いことに加え、火災安全性に対する問題意識も耐久性に関する問題と同様に高いことが伺える。これは、火災安全性に対する対処が難しいこともその要因として考えられる。図-4.2.7にかぶり厚さ確保に悪影響を及ぼす要因、図-4.2.8に施工管理上の注意点、図-4.2.9に配筋検査前の手直しの程度、図-4.2.10に手直しの多かった箇所を示す。

図-4.2.7, 図-4.2.8, 図-4.2.10 は選択肢より重要度に応じて並べてもらい、1 位 10 点, 2 位 5 点, 3 位 4 点, 4 位 1 点, 5 位以下 0 点として点数化したものである。

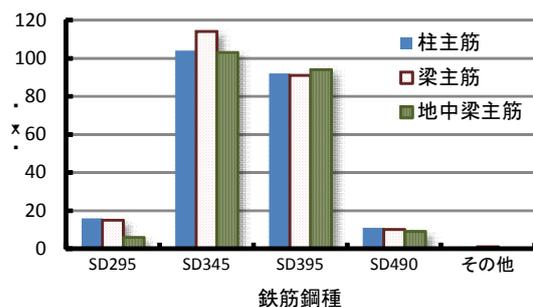


図-4.2.2 主筋の主な鋼種

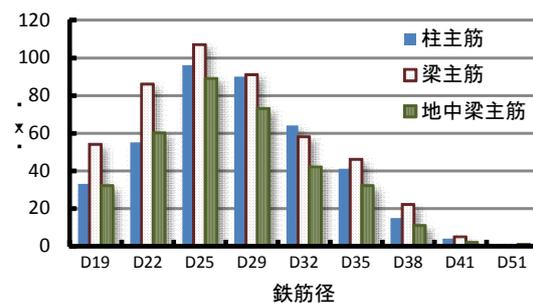


図-4.2.3 主筋の鉄筋径

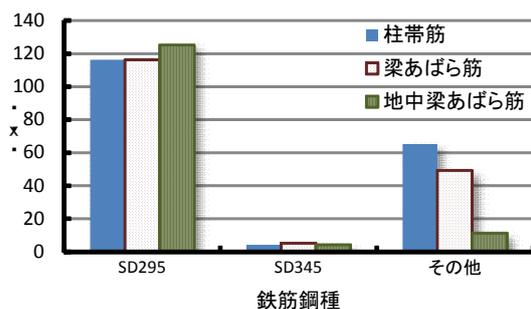


図-4.2.4 補強筋の主な鋼種

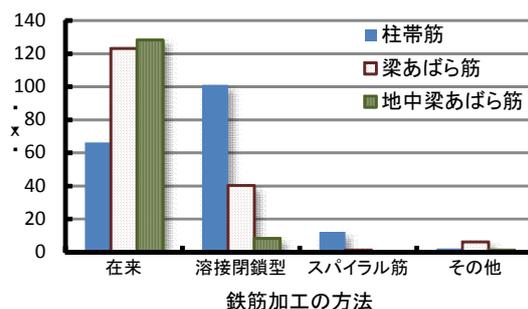


図-4.2.5 補強筋の加工の方法

かぶり確保に悪影響を及ぼす要因としては、配筋が過密であることが最も大きい理由として挙げられている。太径化の問題は予想に反して多くはなかった。その他、鉄筋工事業者の知識や技能の問題なども多く挙げられている。配筋の過密さについては、構造安全性の確保と経済性（床面積確保）のために今後とも避けられない問題になると思われる。施工上の注意点としては、鉄筋の加工精度や組立、スペーサなど、直接鉄筋工事に関連する項目の管理が重要と思われるようである。

手直しの程度としては、設計かぶりと最小かぶりが半々程度になっている。かぶり厚さは、出来形としては最小かぶりを満足すればよく、設計かぶりは施工誤差を見込んだものであるが、より確実にかぶり厚さを確保するという意識や監理者の厳しさから設計かぶりを目安にしている場合も多い。昭和61年調査と比べてもより厳しい管理を行って

る状況が伺える。また手直しの部位については、鉄筋の組立手順やスペーサなどに依存する柱、梁、壁、柱-梁取合い部などに多く、逆にそれらに合うように組み立てるスラブや手すりには手直しは少ないようである。また、手摺や片持ちスラブなどはかぶり不足の事例が生じやすい部位であるが、配筋検査の段階では問題は生じにくく、後工程であるコンクリート打設の時に鉄筋が動く可能性も推測される。

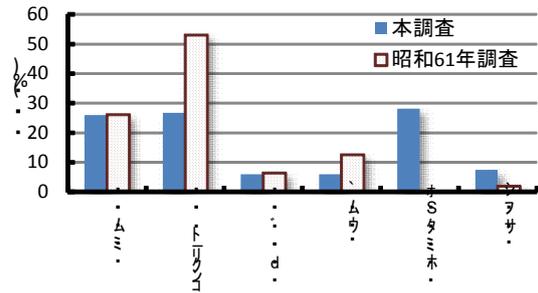


図-4.2.6 かぶり厚さ不足が引き起こす問題

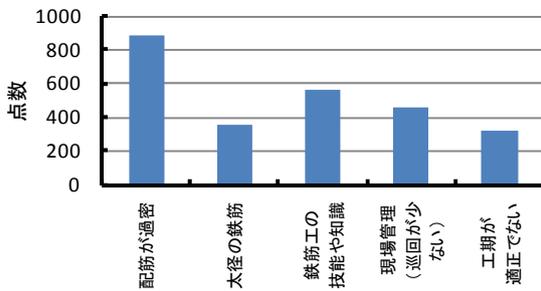


図-4.2.7 かぶり厚さ確保に悪影響を及ぼす要因

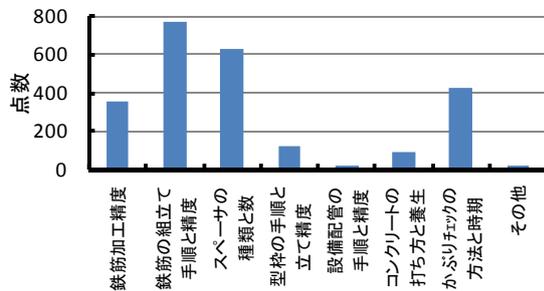


図-4.2.8 施工管理上の注意点

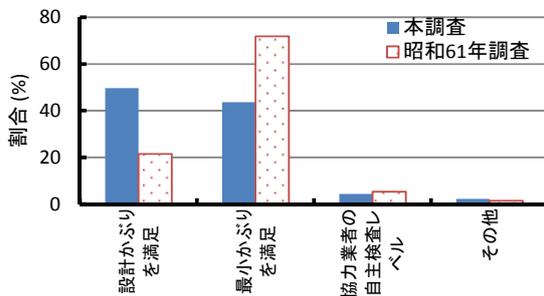


図-4.2.9 配筋検査前の手直しの程度

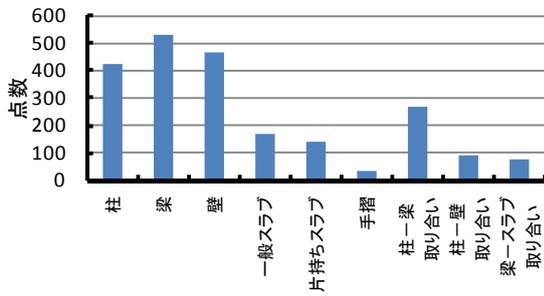


図-4.2.10 手直しの多かった箇所

#### 4. 2. 3 コンクリート打設後のかぶり厚さの検査について

JASS 5(2009)[3] (以降本章では、特に記述のない場合は2009年版)では、打設後のかぶり厚さの検査方法および判定基準が明示された。このことに関して作業所での対応や意見を確認した。なお、調査時点では、JASS5(2009)が仕様書として適用されている建物が少ないことから、打設後のかぶり厚さが実施されている作業所は135作業所中の29作業所(21%)であった。打設後の検査が実施されている場合の理由としては、各社の品質管理として、あるいは施主からの要求によって実施されている状況である。

測定方法としては、29作業所のうち、10作業所がJASS 5T-608に準拠する方法で、残り19作業所は独自の方法を定めて実施されていたが、使用した測定装置は、電磁波レーダ法1例、不明の2例を除き残りすべて(26例)は、電磁誘導法による装置が用いられていた。測定装置は、JASS 5T-608において電磁誘導法のみが対象になっていることや電磁波レーダ法は脱型後初期からの乾燥過程においては比誘電率の設定が難しく、測定誤差が大きくなる可能性があるため、測定材齢の影響を受けにくい電磁誘導法が適しているとの認識が浸透しているようである。

電磁誘導法の場合には、正確な測定を行うためには近接鉄筋の影響を考慮した補正を行う必要があるが、補正を行っている作業所は26作業所中の17作業所(65%)であった。補正の方法は、JASS 5T-608のA法(測定箇所を模擬した配筋やスペーサにより予め補正値を求めておく方法)が採用されている例が多い。B法(配筋工事から型枠工事までの間に実部材で予め誤差を求めておく方法)については、その実施の困難さからほとんど採用されていないようである。また、A法についても、正確な測定が出来るとの評価が多いものの、時間と労力がかかるという感想もあった。今後補正の方法の簡略化やデータベース化等により、一定の精度を確保しながら作業を簡素化するための方法が求められる

と思われる。

#### 4. 2. 4 設計に関する事項

かぶり厚さの確保のためには、施工上の配慮とともに、設計段階での納まりが重要である。特に近年の鉄筋の過密さや太径化などから、かぶり厚さの確保が困難な納まりが生じることも考えられるため、設計段階でのかぶり厚さ不足に対する現状や対応について確認した。

図-4.2.11にかぶり厚さ不足を起しかねない納まりの有無、図-4.2.12に設計上の問題の発見者・発見時期を示す。なお、昭和61年調査では、発見時期のみを調査している。設計上の問題は、半数近い作業所で有るという回答があった。ただし、昭和61年調査の結果では6割以上となっており、設計段階での配慮も多少は意識されていることが伺える。また設計上の問題の発見者、発見時期については、施工者か施工前もしくは施工中に発見する場合はほとんどであり、施工者によるチェックの重要性が分かる。昭和61年調査では、施工前と施工中の割合がほぼ同数だったことに対し、本調査では8割以上が施工前に発見されており、施工者の事前のチェック体制が有効であることが分かる。ただし、依然として2割程度は施工中に問題が発見されていることは今後の課題として残されているといえよう。

かぶり不足を起しかねない納まりの例とその対策について主な事例を表-4.2.1に示す。設計上の納まりでの問題としては、柱と梁や壁、梁とスラブなどの取り合い部分での過密さによるものが多い。特に壁筋やスラブ筋を取り合い部の部材内部で定着しようとするために、鉄筋を内側にバンドさせる場合やふかし筋を設けて内部に定着させる対応が行われている。また、梁の場合には、配筋の過密さを解消するために梁主筋を二段筋や三段筋とする対応などが行われている。また、異径の鉄筋の圧接ができない場合や設備用のスリーブ開孔によるかぶり不足への対応なども必要なケースがある。その他、

バルコニー端部や下がり壁、開孔補強の周辺などがかぶり不足が生じやすいという回答があっ

た。

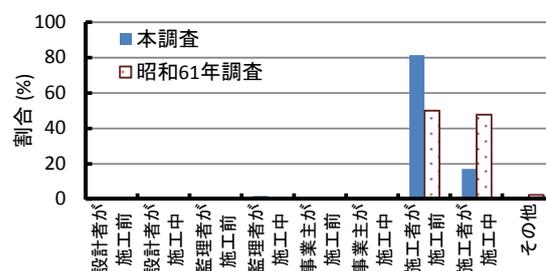
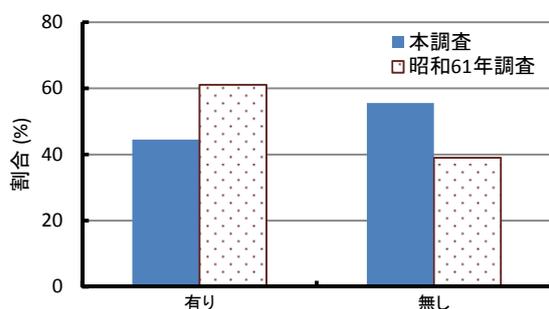


図-4.2.11 かぶり厚さ不足を起こしかねない納まりの有無

図-4.2.12 設計上の問題の発見者および発見時期

表-4.2.1 かぶり不足を起こしかねない設計上の納まりとその対応の例

部位	原因	対応
柱-梁取り合い部	過密配筋	梁主筋を段筋に変更する。
	左右の梁のレベル差	機械式の定着板を使用して主筋を定着する。
	柱-梁同面納まりの場合の梁STR	梁内側をふかしておさめる。
柱-壁取り合い部	壁横筋と柱主筋・フープ筋との競り合い	壁筋を内側にゆるやかにベンドさせ柱内定着とする。
基礎上部と1F床梁取り合い部	床梁の下端筋がアンカーボルト、柱筋と干渉	アンカープレートの形状変更および梁筋を段筋に変更する。
地中梁-耐圧スラブ取り合い部	梁下端筋の固定が困難	型枠をふかして打設する。
梁-スラブ取り合い部	スラブ厚さが小さい場合のスラブ下筋	スラブ天端をふかしてかぶりを確保。(梁スターラップの加工寸法を大きくした)
梁-壁取り合い部	壁筋と梁主筋の干渉	壁筋を外側に出し、梁からのふかし筋を配置してその内側に定着する。
梁	主筋径が異なる(D29とD35)ため圧接ができず主筋をずらすとかぶり不足	梁を内側にふかして主筋をずらしてアンカーで納める。
壁	設備用スリーブにより壁筋のかぶり不足	スリーブを配筋中央に寄せかぶりを確保。さらにスリーブ内仕上げと壁筋の防錆処置を実施。
下がり壁	鉄筋が下がりやすい	配筋を修正。
バルコニー手すり	型枠が動きやすい	配筋を修正、打設中も型枠の動きに注意。
スラブ設備開口廻り	スラブ筋と補強筋の競り合い	配筋を修正。

#### 4. 2. 5 協力業者に関する事項

かぶり厚さの確保は、鉄筋工事、型枠工事、コンクリート工事のそれぞれでの対応と相互の連携が重要である。ここでは、それぞれの工事を担当する協力業者の満足度や施工図の作成、資格保有の状況等について確認した。

図-4.2.13に鉄筋工、型枠工、コンクリート工へのかぶり厚さ確保という観点からの満足度を示す。全体的に不満は少なく、特に鉄筋工に対しては満足度が高い状況が伺えるが、不満点としては、いずれの工事業者に対しても、かぶり厚さ対策への意識が低いことが挙げられていた。

鉄筋業者が作成する施工図については、一般部は加工帳程度、納まりが難しい部分等については、施工図を書き起こしている場合が多いよ

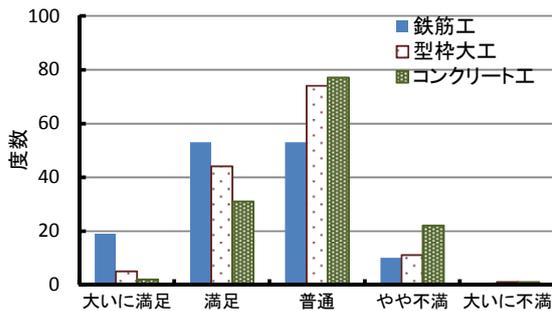


図-4.2.13 協力業者への満足度

#### 4. 2. 6 施工に関する事項

かぶり厚さの確保のためには施工段階での配慮が非常に重要である。ここでは、鉄筋の結束方法、スペーサ、型枠精度、かぶり厚さのチェック方法等についての現状および対策等について確認した。

##### (1) 結束方法について

図-4.2.15に結束方法を図示し、図-4.2.16に部位ごとの結束方法、図-4.2.17に結束数を示す。結束方法は図-4.2.15の(1)に示した方法が最も一般的である。昭和61年調査では、特に柱主筋とフープ筋、梁主筋とあばら筋の結束には(1)以外にも(2)~(4)までの方法が混在していたが、より簡便な結束方法へと移行しているよ

うである。施工図の程度については、昭和62年の調査に比べると適切な施工図を作成しているという回答が増えている。組立加工図の確認は、業者と打合せを行った後作成を指示しているケースが多い。

図-4.2.14に鉄筋技能士の配置についての回答を示す。鉄筋技能士は、労働省が認定する資格で「鉄筋組立作業」と「施工図作成作業」の2つの種別があり、それぞれ一級と二級がある。合格者数は平成17年度現在で組立作業が約4万人、施工図作成が約1700名である。組立作業については、一人あるいは複数名が現場に配属されているケースが多いようであるが、施工図作成については、配置されていない場合も多い。昭和61年調査と比較すると有資格者は増えているようである。

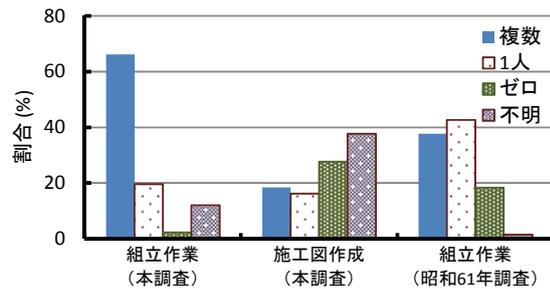


図-4.2.14 鉄筋技能士の配置

うである。結束数については、柱主筋と帯筋や梁主筋とあばら筋では全数と1つおきが同程度であり、壁筋、床筋は1つおきが多い。また、コーナーや端部では全数で中間部を1つおきや千鳥にするという回答も見られた。昭和61年調査では、全体的な傾向は同様であるが、フープ筋およびあばら筋の結束については全数を結束するという回答が多く、結束については簡便な方法に移行している傾向が伺える。また、重ね継ぎ手の結束数については、壁筋、スラブ筋とも8割以上の作業所で2箇所以上で結束されている回答であった。スラブ筋の結束は、コンクリート打設時のあばれを防止するためにも特に重要である。なお、昭和61年調査でも約75%

の作業所が2箇所以上の結束数であった。

## (2) スペーサについて

スペーサの適切な配置は、かぶり厚さの確保のために重要な要素となる。スペーサの標準的な個数については、JASS 5にも規定があるが、実際の作業所の状況について確認した。

図-4.2.18に部材ごとのスペーサの種類(材質)を示す。スペーサの種類(材質)は、壁筋、柱筋、梁側面ではプラスチック製がほとんどであるが、梁底やスラブ筋などの鉄筋の荷重を保持する場合には鋼製あるいはコンクリート製が

使用されているケースが増える。なお、JASS 5では、「スペーサ種類は、鋼製もしくはコンクリート製とする。ただし、梁・柱・基礎梁・壁および地下外壁のスペーサは側面に限りプラスチック製でもよい。」とされている。

以降、部位ごとのスペーサの配置の状況について見ていく。

図-4.2.19にスラブ筋におけるスペーサ個数を示す。スラブ筋は、JASS 5では、1.3個/m<sup>2</sup>程度とされているが作業所による差が大きく、1.3個/m<sup>2</sup>程度を中心に多い場合も少ない場合も

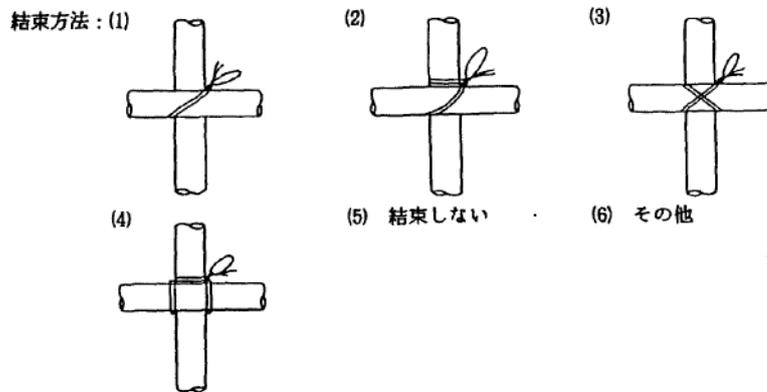


図-4.2.15 結束方法の例

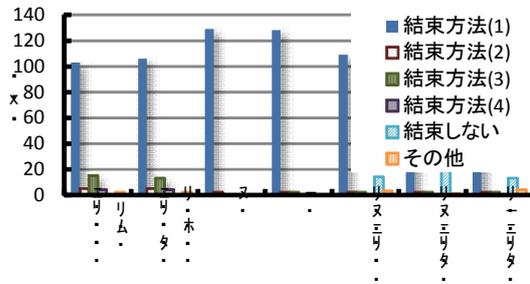


図-4.2.16 部位ごとの結束方法

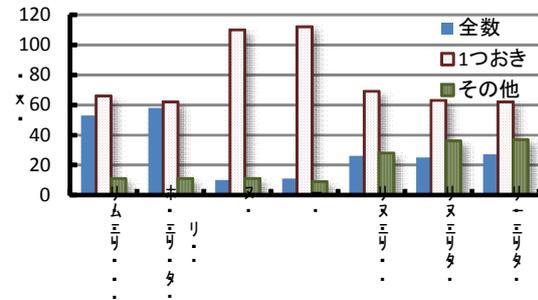


図-4.2.17 部位ごとの結束数

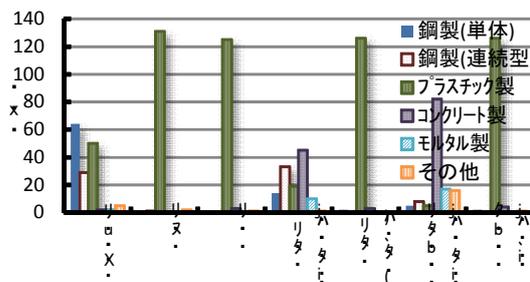


図-4.2.18 部材ごとのスペーサの種類

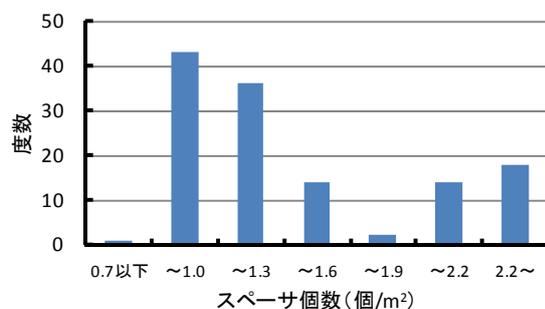


図-4.2.19 スラブ筋におけるスペーサ個数

見られるが、0.7 個/m<sup>2</sup> 以下ということはないようである。また、スラブ筋の径やピッチによって個数を変えていることも考えられる。

図-4.2.20 に壁筋スペーサの柱および梁からの距離、図-4.2.21 に高さおよび横方向のピッチを示す。壁筋は、JASS 5 では、上段は梁下より 0.5m 程度、中段は上段より 1.5m 間隔程度、横間隔は 1.5m 程度で端部では 1.5m 以内とされている。実際の状況では、ほとんどが 0.5m 以下で、0.1m、0.2m なども多く、柱際、梁際の近くまで配置されているようである。横間隔は、1.0m もしくは 1.5m が多い。

図-4.2.22 に柱筋のスペーサ個数を示す。柱

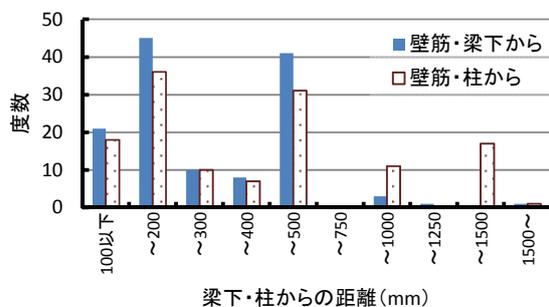


図-4.2.20 壁筋におけるスペーサの端部からの距離

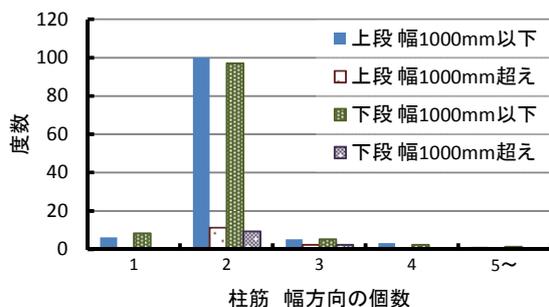


図-4.2.22 柱筋のスペーサ個数

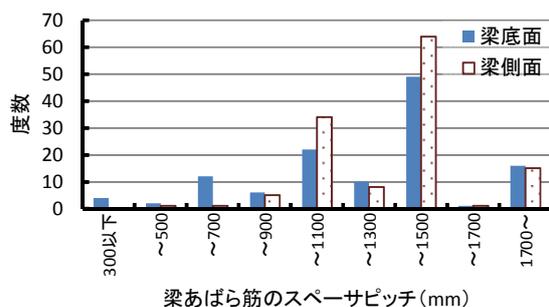


図-4.2.24 梁筋におけるスペーサピッチ

筋は、JASS 5 では、上段は梁下より 0.5m 程度、中段は柱脚と上段の間、柱幅方向は幅 1.0m までが 2 個、1.0m 以上は 3 個とされている。回答では、柱幅 1m を超える例が少ないが、ほとんどの場合幅方向は 2 個となっている。上段の梁下からの距離は、0.5m 以下で、壁筋と同様に 0.1m、0.2m が多く、梁際に配置されている。

図-4.2.23 に梁底面および側面の柱からの距離、図-4.2.24 に中間部のピッチ、図-4.2.25 に梁底面のスペーサの列数、図-4.2.26 に梁側面のスペーサの段数を示す。JASS 5 では、間隔は 1.5m 程度、端部は 1.5m 以内とされている。梁底筋と側面はほぼ同様の傾向を示し、

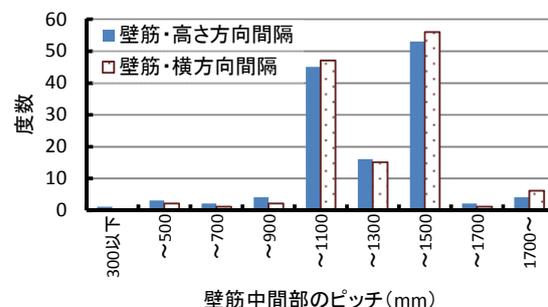


図-4.2.21 壁筋におけるスペーサピッチ

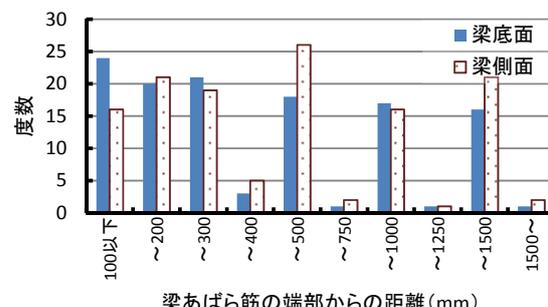


図-4.2.23 梁筋における柱端部からの距離

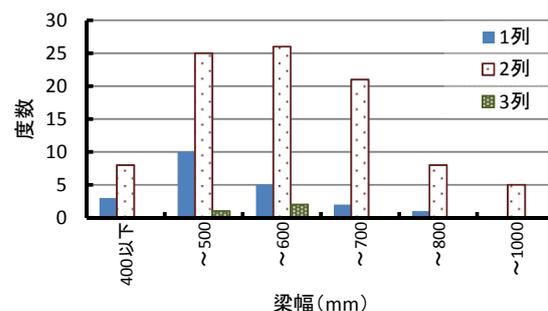


図-4.2.25 梁底面のスペーサの列数

柱からの距離は0.1m～1.5m程度まであり、作業所による差が大きい。間隔は、1.5mが最も多く、ほとんどがそれ以下である。スペーサを入れる列数は、2列が最も多いが、梁幅が大きくなると1列とするケースが少なくなる傾向にある。梁側面の段数は1段とする場合が多いが、梁せいが大きくなると2段にする割合も大きくなる傾向にある。

かんざし筋は梁筋が下へ落ちるのを防ぐために梁主筋と直角方向に入れて梁筋を吊り下げるためのものであるが、30%程度の作業所で使用されている。かんざし筋の間隔は1.0m～2.5m以上までと幅が広く、最も多いのは1.5m程度である。

基礎梁については、端部からの距離、中間部のピッチについては、一般の梁と同様の傾向であった。図-4.2.27に基礎梁底面における列数、図-4.2.28に側面における段数を示す。基礎梁は梁幅、梁せいともに一般部より大きくなり、部材の大きさにともなって、スペーサの列数や段数が多くなる傾向が顕著に表れる。

スペーサの配置、ピッチについて昭和61年調査と比較すると、全体的にはピッチ、端部からの距離ともに小さくなる傾向にあるが、大きな差にはなっていない。当時のJASS 5[2]と現行のJASS 5[3]を比較した場合もその記述内容はほぼ同じであり、施工方法にも大きな差がない要因であると思われる。図-4.2.29に増打ちがある場合のスペーサの選定、図-4.2.30に目地部でのかぶり厚さの設定について示す。既往の文献[4]では、増打ち部も元の躯体寸法のスペーサが使用されており、それがかぶり厚さのばらつきの要因になっているという報告もあるが、本調査においては、増打ち寸法に応じた大きさのスペーサが選定されている例が多いようである。昭和61年調査との比較においても、その割合は増えている。

また、目地部のかぶり厚さの確保については、目地底からでも設計かぶりを確保しようとする例が多い。JASS 5における目地部の取り扱いについては、建築基準法施行令第79条に規定されるかぶり厚さを満足すればよいとされており、

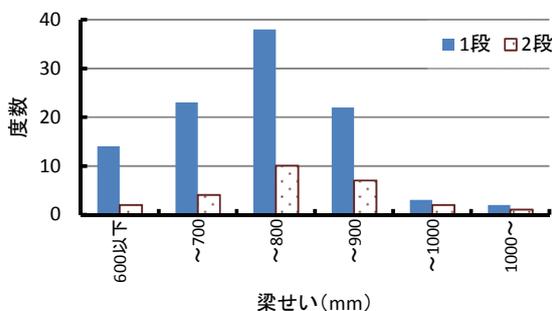


図-4.2.26 梁側面のスペーサの段数

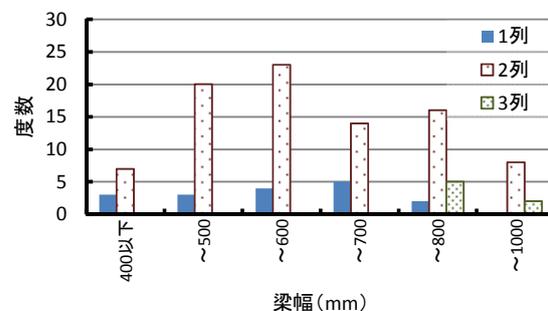


図-4.2.27 基礎梁底面のスペーサの列数

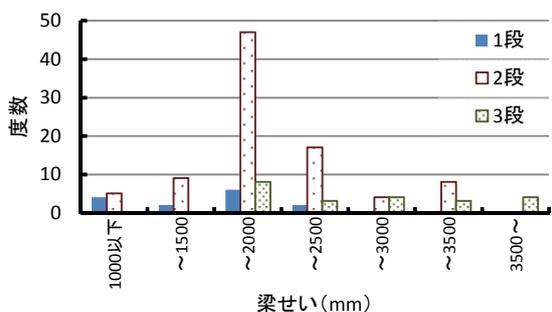


図-4.2.28 基礎梁側面のスペーサの段数

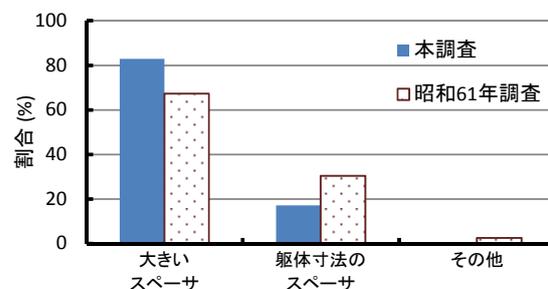


図-4.2.29 増打ちがある場合のスペーサの選定

必ずしも設計かぶり厚さを加える必要はないが、目地部が耐久性上や防水上の弱点になる可能性があることを考えると、耐久性や防水性を考慮した施工がなされていることが伺える。

型枠工がスペーサを外さないための措置は作業所によって様々な取り組みがなされている。その取り組みを整理すると、①連絡体制の徹底（勝手に外さないように）、②スペーサの確認を頻繁に行う（型枠を組み上げていく各段階での確認）、③教育体制の徹底（型枠工の意識向上）、④スペーサが入らない時点で前工程に戻って鉄筋の建入れの修正、などが挙げられている。また、根本的な対策として、鉄筋を精度よく配筋するようにするという回答も多く見られた。

### （3）型枠精度について

型枠精度の管理もかぶり厚さ確保の点で重要な管理項目である。図-4.2.31に型枠精度の目標設定、図-4.2.32に型枠頂部の通り精度の目標値を示す。型枠精度の目標設定については明確に目標を定めて施工している場合が多かった。

JASS 5においては、コンクリートの打ち上がりの位置精度や断面寸法については規定があるが、型枠精度については特に規定はなく施工者の管理に委ねられているが、常識の範囲内という回答も合わせ、型枠精度については何らかの管理が行われている。また、鉄筋加工に比べると協力業者の自主管理によるという回答も少なく、型枠工事の管理は直接実施するという意識が高いことが伺える。

通り精度の目標値としては 2.0~3.9mm が最頻値となっており、昭和 61 年調査においては

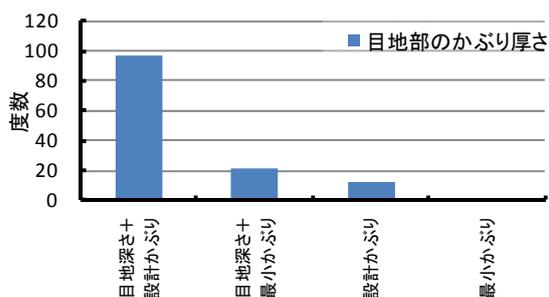


図-4.2.30 目地部でのかぶり厚さの設定

4.0~5.9mm が最頻だったことや大きい目標値も多かったことを考えると、管理がより厳しくなる傾向にあると思われる。表-4.2.2 から表-4.2.5 に壁、柱、梁、スラブ型枠の精度管理

表-4.2.2 壁型枠の目標値

-側 +側	0	~ 3.0	~ 5.0	~ 8.0	~ 10.0	~ 15.0	~ 20.0	20.1 以上	計
0	3	1	1	0	0	0	0	0	5
~3.0	21	13	0	0	0	0	0	0	34
~5.0	29	3	12	0	0	0	0	0	44
~8.0	3	3	0	0	0	0	0	0	6
~10.0	11	5	2	0	0	0	0	0	18
~15.0	2	0	4	0	0	0	0	0	6
~20.0	4	0	3	0	0	0	0	0	7
20.1以上	0	0	0	0	0	0	0	0	0
計	73	25	22	0	0	0	0	0	120

表-4.2.3 柱型枠の目標値

-側 +側	0	~ 3.0	~ 5.0	~ 8.0	~ 10.0	~ 15.0	~ 20.0	20.1 以上	計
0	3	0	1	0	0	0	0	0	4
~3.0	20	9	0	0	0	0	0	0	29
~5.0	27	3	12	0	0	0	0	0	42
~8.0	3	4	0	0	0	0	0	0	7
~10.0	9	6	2	0	0	0	0	0	17
~15.0	2	0	4	0	0	0	0	0	6
~20.0	4	0	3	0	0	0	0	0	7
20.1以上	0	0	0	0	0	0	0	0	0
計	68	22	22	0	0	0	0	0	112

表-4.2.4 梁型枠の目標値

-側 +側	0	~ 3.0	~ 5.0	~ 8.0	~ 10.0	~ 15.0	~ 20.0	20.1 以上	計
0	3	0	0	0	0	0	0	0	3
~3.0	22	10	0	0	0	0	0	0	32
~5.0	29	4	12	0	0	0	0	0	45
~8.0	3	4	1	0	0	0	0	0	8
~10.0	12	5	2	0	0	0	0	0	19
~15.0	2	0	4	0	0	0	0	0	6
~20.0	4	0	4	0	0	0	0	0	8
20.1以上	0	0	0	0	0	0	0	0	0
計	75	23	23	0	0	0	0	0	121

表-4.2.5 スラブ型枠の目標値

-側 +側	0	~ 3.0	~ 5.0	~ 8.0	~ 10.0	~ 15.0	~ 20.0	20.1 以上	計
0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
~3.0	18	10	1	0	0	0	0	0	29
~5.0	27	3	12	0	1	0	0	0	43
~8.0	8	1	1	1	0	0	0	0	11
~10.0	17	3	1	0	0	0	0	0	21
~15.0	3	0	2	0	0	0	0	0	5
~20.0	5	1	2	0	0	0	0	0	8
20.1以上	0	0	0	0	0	0	0	0	0
計	80	18	19	1	1	0	0	0	119

の目標値を示す。部位ごとの型枠寸法の目標値の管理は、いずれの部位についても一側が0mm、+側が5mm以内を目標に精度管理されている場合が多い。+側については、+20mmぐらいまでの大きめ（緩め）の管理がされている例もあるが、一側については-5mm以上の管理がされている例はほとんどない。なお、JASS 5においては、断面寸法の許容差の標準値は、柱、梁、壁、スラブは-5mmおよび+20mm、基礎が-10mmと+50mmとされており、打設時の型枠の変形やずれを考慮して厳しめの管理が行われているようである。4) 品質管理の実施状況について

図-4.2.33 にコンクリート打設の際の鉄筋の乱れ防止の措置（3つを選択して回答）を示す。コンクリート打設の際の管理としては、回答例に挙げられたようなことが考えられるが、特に、スラブ筋の乱れに対する対策が目立つ。また、昭和61年調査では、打設中の精度チェックや手直しが多かったのに対し、事前の予防策となる通路やウマの配置が多くなっていることも、配筋の精度管理に対する意識の高さの表れと思われる。図-4.2.34 に鉄筋工事の各工程に

おけるかぶり厚さのチェックの実施者、図-4.2.35 に実施方法を示す。かぶり厚さのチェックは、各工程において、現場監督員が実施している場合が最も多く、墨出し後、返し型枠建て込み前には、鉄筋工、型枠工によるチェックが順に多い。壁・柱のコンクリート打設前には、監理者による確認（検査）が行われている場合が多い。ただし、梁・スラブについては現場監督員によるチェックが行われている場合が多い。チェックの方法としては、目視に加えかぶり不足が懸念されるような箇所をスケールによって実測するという方法が最も多い。また、原則スケールで確認するという方法も比較的多く実施されている。

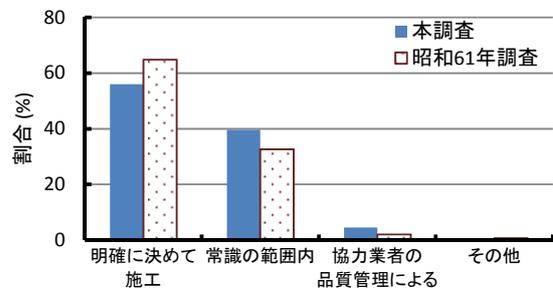


図-4.2.31 型枠精度の目標設定

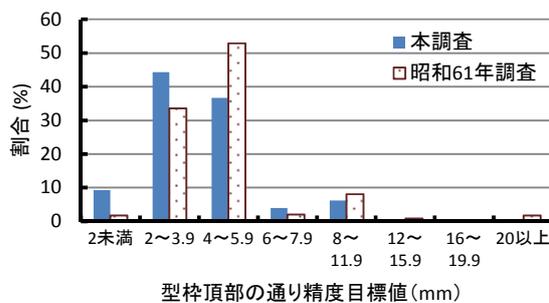


図-4.2.32 型枠精度（通り精度）の目標

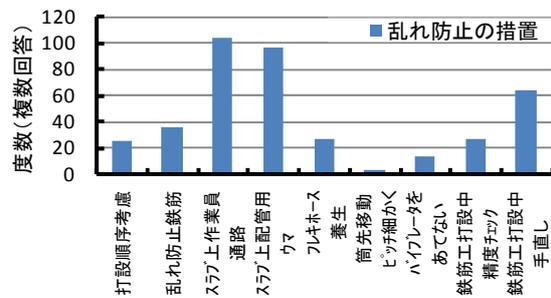


図-4.2.33 コンクリート打設における留意事項

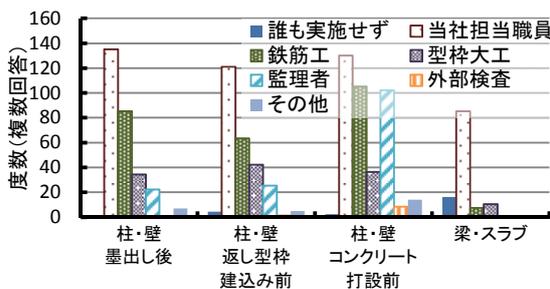


図-4.2.34 かぶり厚さチェックの実施者

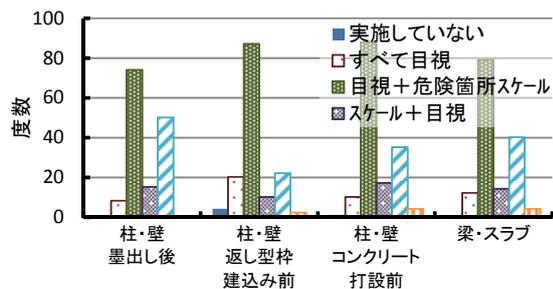


図-4.2.35 かぶり厚さチェックの実施方法

#### 4. 3 品質管理部門アンケート調査

##### 4. 3. 1 調査概要

品質管理部門に対するアンケートは、かぶり厚さ確保のための会社全体としての取組みについて尋ね、日本建設業連合会加盟企業のうち 26 社の 50 部署から回答を得た。品質管理部門アンケートの調査項目を表-4.3.1 に示す。

##### 4. 3. 2 調査結果

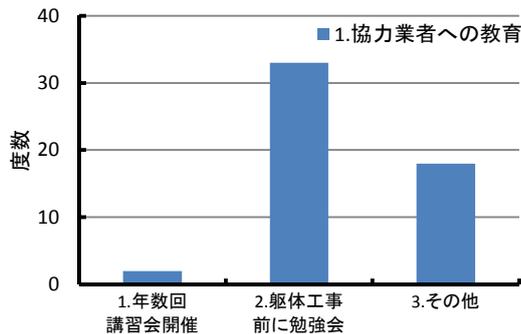
###### (1) 協力業者への教育

図-4.3.1 に協力業者への教育について回答結果を示す。(複数回答含む)

ほとんどの会社で協力業者への教育を何らかの形で実施し、かぶり確保に関する協力業者の意識を高めている。「その他」の具体的な回答では会社によって躯体工事着手前に配筋詳細の検討や周知会等を開いて対応を図っている。(表-4.3.2)

表-4.3.1 品質管理部門のアンケート項目

項目	内容
(1)協力業者への教育	各社が行っているかぶり確保に関する協力業者への教育について
(2)社員教育	各社がおこなっているかぶり確保に関する社員教育について
(3)社内検査	通常の検査以外に会社独自で行っている検査について
(4)かぶりの補修	かぶり不足が発生した場合の具体的な処置について



	選択肢
(1)	年数回、協力業者を集めてかぶり厚さ確保などの躯体に関する品質確保について講習会を開いている
(2)	作業所にて躯体工事着手前にかぶり厚さ確保を含む品質確保の勉強会を開くように指導している
(3)	その他(具体的に記述してください)

図-4.3.1 協力業者への教育

表-4.3.2 協力会社への教育について「その他」の具体的な回答

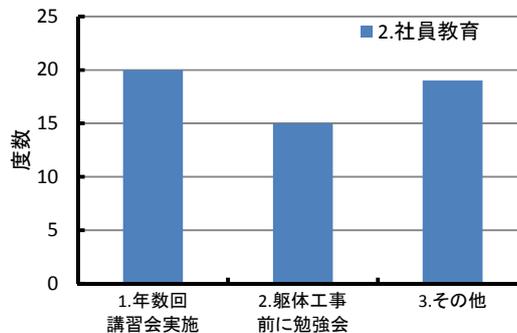
(a)	「協力業者職長教育」で業者の工事担当者、職長を集めて指導、勉強会を不定期に(年1, 2回)開催。物件毎の指導は「躯体施工検討会」を着手前に行いそこで社員含め行う
(b)	スローガンとして「10 箇条」をつくり品質管理上の充てん実施事項として取り組んでいる
(c)	作業所にて、部位別のかぶり厚さや、使用するスパーサー、鉄筋の納まりが悪い部位に対して、協力会社と協議・合意の上施工するように指導している。
(d)	不定期に協力業者を対象としたかぶり厚さ確保について講習会を実施
(e)	鉄筋工事事前チェックシートを使用して、個別検討会を実施している。
(f)	工事着手時に開催される品質検討会にて開催が必要と認められた工事については、鉄筋工事個別検討会時に実施
(g)	鉄筋工事の個別検討会を実施。設計施工の場合は、別途配筋勉強会を実施。

(h)	調達部と合同にて加工場巡回を実施。その結果(好事例・不具合事例)を「鉄筋部会」にて報告し。水平展開を図った。
(i)	協力業者を集め、「建築部連絡」を毎月1回開催して、かぶり及びその他品質不具合防止の水平作業をしている。
(j)	作業所にて、かぶり厚さの一覧表やポスターにより教育を実施している。
(k)	第1回の鉄筋工事品質パトロールは躯体工事前に実施し、かぶり厚さなど、不具合につながり易い設計内容を鉄筋工事の単純化に向けた提案、質疑事項の抽出などの勉強会を行っている。
(l)	各工事事務所において、工事着手前に施工計画書を作成し、その中でかぶり厚さに関する品質確保の要領については協力会社担当者及び職長への周知勉強会を実施している。
(m)	「鉄筋のかぶり厚さ確保」の協力会社教育については、鉄筋工事協力会社の職長に対して実施した。「鉄筋のかぶり厚さ確保」の具体的な実施項目としては、躯体部位別設計かぶり厚さ図の作成、配筋詳細図の検討が必要な部位の配筋納まり図の作成、スパーサーの色分け管理、部位毎の施工管理ポイント、QC工程図・チェックシートなどからなり、躯体工事着手前に作業所にて担当社員と協力会社で内容を確認することとしている。

(2) 社員教育について

回答結果から、各社かぶり確保に関する何らかの社員教育を実施していることがわかる。

図-4.3.2に社員教育について回答結果を示す。(複数回答含む)



選択肢	
(1)	年数回、かぶり厚さ確保を含む躯体品質確保のための講習会を実施している
(2)	躯体工事着手前に勉強会を実施している
(3)	その他(具体的に記述してください)

図-4.3.2 社員教育

表-4.3.3 社員教育について「その他」の具体的な回答

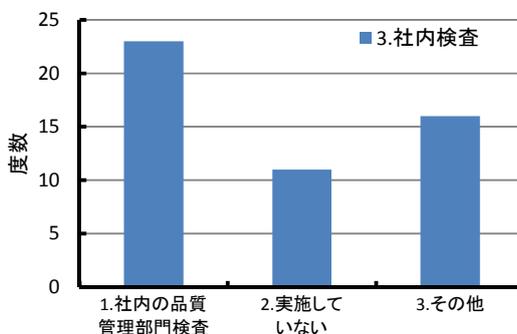
(a)	定期的な講習会等は設定しておらず、毎月の所長会議で必要に応じてテーマとして取り上げ指導している。物件毎には図面検討会で配筋上の問題点や改善事項等を個別に指導している
(b)	過去には、作業所の全技術者対象のコンクリートに関する研修の中で、かぶり厚さについても取り上げた。また、毎年実施する階層別教育(2年次、5年次、作業所長)の中で、不具合予防の観点で教育を行っている。
(c)	不定期に社員を対象としたかぶり厚さ確保について講習会を実施
(d)	鉄筋工事事前チェックシートを使用して、業者を含め個別検討会を実施している。
(e)	1~2年社員を対象とした基礎技術研修Bと、3~5年社員を対象とした基礎技術研修Aをそれぞれ実施。
(f)	「鉄筋工事 事前検討チェックシート」(内容を判り易いように順次改定)を使用し、全現場で着工時に確認会を鉄筋業者を交えて実施している。
(g)	鉄筋工事の個別検討会を実施。設計施工の場合は、別途配筋勉強会を実施。
(h)	着工時施工管理検討会を現場着工時に実施し、躯体のかぶり厚さについてはスパーサーの識別管理を社内要求として徹底し、かぶり厚さの重大性を認識させ教育指導している。
(i)	月1回の作業所「品質パトロール」を通して直接社員に指示・指導している。
(j)	品質パトロール時の計画書チェック、現場巡視の中で鉄筋工事担当者に教育・指導を行っている。
(k)	不具合情報の提供、集合研修の実施(年2回)、社内資料を用いた作業所員での勉強会実施の指導。
(l)	集合教育により計画的に実施している。また配属先へ教育担当が出向き個別教育を実施している。

(m)	測定機を導入した時は、躯体品質確保のための社内講習等を行っていたが、昨今、ほとんど実施していない。
(n)	冬季講習会での集合教育および他社・他店での不具合事例の水平展開を随時実施
(o)	主任クラスを対象とした社内教育の中で、法とかぶり厚さに関する教育を行っている。
(p)	建築若年職員に対して年度毎に生産研修を行い、かぶり不足やその対処の事例を紹介するなど躯体の品質確保についての意識向上を目指した指導を行っている。
(q)	支店においては各職員の職級に応じて年度内で2回づつ勉強会(所長会議、工事長会議、主任会議、若年者会議)実施しその時にかぶり厚さに関する品質確保の内容を盛り込んでいます。
(r)	年1回の支店品質管理研修会の躯体関連講習に含めて実施している。また、工務管監督並びに工事課の品質パトロール時に社員教育を実施。
(s)	定期的ではなく、かつ「かぶり厚さ確保」に絞った勉強会ではないが、鉄筋工事配筋管理についての勉強会を実施している。
(t)	全店でJASS改定時に躯体品質確保のための社内講習を実施、その後、若手社員にも社内講習を実施。東京では、各作業所において躯体工事着手前に勉強会も実施。
(u)	「鉄筋かぶり厚さ確保」を含めて、全現場共通の重点管理項目12項目を定め、その具体的な実施項目をその品質基準について周知する「品質教育」を2006年度下期から2008年度にかけて、施工系社員・関連会社・社外人材全員を対象に実施した。 「鉄筋かぶり厚さ確保」の具体的な実施項目としては、躯体部位別設計かぶり厚さ図の作成、配筋詳細図の検討が必要な部位の配筋納まり

### (3) 社内検査について

作業所における通常の協力業者の自主検査、および社員による検査に以外に、会社独自に行っている検査について回答結果を図-4.3.3に示す。

専門の品質管理部門による検査を実施しているのは23部署でほぼ半数を占め、その他を含めると39部署となり、かぶり確保に対して組織的にも対応している会社が多いことが分る。



選択肢	
(1)	社内の専門の品質管理部門による社内検査を実施している
(2)	専門の品質管理部門による社内検査は実施していない
(3)	その他(具体的に記述してください)

図-4.3.3 社内検査について

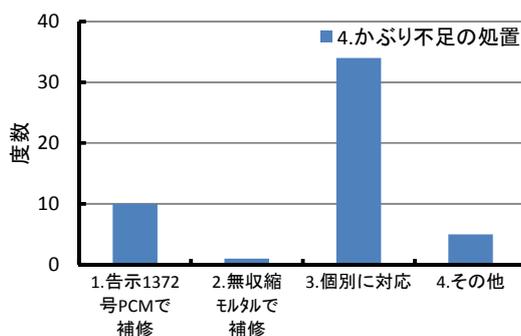
表-4.3.4 社内検査について「その他」の具体的な回答

(a)	物件を特定して、基礎配筋検査を品質管理部で行っている、また予備検査においてもタイミングが合えば該当箇所の検査を行う
(b)	予防措置として、支店毎に「品質管理担当者」を専任し、現場の品質指導、パトロールを行っている。
(c)	躯体着工時にライン部署で検査実施。また建築技術部構造担当者がその検査に同席し、検査を行っている。さらに、躯体完了時スタッフ(建築技術部)が検査実施。その他不定期ではあるが、支店幹部、品質長が巡回指導実施。

(d)	・鉄筋やかぶり厚さのみの社内検査は実施していない。 ・支店の建築環境・品質管理部が実施する「初期社内検査」(原則として基礎配筋終了後)、「中間社内検査」(躯体工事から仕上げ工事に移行する段階)の中で、かぶり厚さや躯体の出来栄についても検査、指導を行っている。
(e)	ライン検査は、躯体着工検査を1階立上がりまたは、地下立上がりで実施している。スタッフ検査は、役所中間検査前確認と躯体完了検査で、確認できる部分を検査している。
(f)	巡回時に配筋状態がチェックできるときは検査している
(g)	RC建物について1F立上がり時点で、かぶり巡回(スタッフ)指導実施
(h)	躯体着工時(規模により中間時にも)の建築部内上職による検査と躯体完了直前の品質管理部門の検査を実施。
(i)	施主・監理者より社内検査を要求されている現場については社内検査実施している。
(j)	本店管理部門と支店管理部門で各作業所のパトロールを実施し品質確保の状況を確認している。
(k)	作業所を選定して、技術室にて配筋検査を実施している。
(l)	支店品質管理室による品質パトロール(基礎・地下躯体時1回、地上躯体時2回)を実施。その他、建築幹部による品質向上パトロール(隔月)
(m)	社内の品質管理部門による検査は、基礎躯体時、地上躯体時におのおの1回は全ての作業所で実施し、工事の規模により追加検査を実施している。
(n)	定期的下記内容のパトロールを実施している。対象は躯体工事の全作業。 1.自主検査の実施状況および品質管理記録の作成状況のチェックと改善に向けた指導。 2.かぶり不足など不具合の生じ易い部位の配筋状況確認および納まりの確認と再発防止教育。
(o)	社内検査を実施している。(但し、検査員は「専門」ではない)
(p)	支店建築部門では、品質検査課が対象現場の鉄筋工事に関して現場の施工管理状況を確認し、その方法、内容についての指導を行っている。頻度としては基礎地中梁、中間梁、場合により最上階の配筋時に行っている。
(q)	平成22年度中に社内品質管理担当部門による鉄筋工事パトロールを実施する予定。
(r)	支店によっては専門の品質管理意担当者を定めて「かぶり厚さ確保」を重点にチェックしているが、多くの支店では工事課として定期的に現場巡回の中で、「かぶり厚さ確保」だけに限らずチェックを実施している。

(4) かぶりの補修  
かぶり不足が発生した場合の具体的な補修方法についての回答結果を図-4.3.4に示す。

回答結果より、約7割の部署が「個別に対応している」を選択、かぶりの補修に関しては作業所独自の問題が多く、個別に対応していることが伺える。



選択肢	
(1)	国交省告示第1372号に準拠したポリマーセメントモルタルで補修するように会社として原則補修方法を決めている
(2)	無収縮モルタルで補修するように会社として原則補修方法を決めている
(3)	個別に対応している
(4)	その他(具体的に記述してください)

図-4.3.4 かぶりの補修方法

表-4.3.5 かぶりの補修について「その他」の具体的な回答

(a)	補修の断面寸法により、対応の原則を変えている。 ・100 mm以上や躯体を打ち直す場合：型枠を組んでコンクリートを打設する ・20～50 mm程度：型枠を組んで無収縮グラウトを充填する。 ・20 mm以下程度：ポリマーセメントモルタルを左官工法で拭きつけ施工する。
(b)	現場状況に応じて個別検討会を行い補修方法を決めている。
(c)	部材の構造断面確保・・・ポリマーセメントモルタル 部材の耐久性確保・・・モルタル薄塗り
(d)	社内基準：コンクリート躯体補修マニュアルで対応している。
(e)	基本は指導のみとし、最終判断は作業所にゆだねている。(事業主・監理者との協議の上決定するよう指導している)。
(f)	補修する場合は原則として国交省告示第 1372 号、1399 号に準拠したポリマーセメントモルタル等を用いることとしている。運用にあたっては材料強度等に加え、防耐火性能、ひび割れ防止、落下防止措置等に関する確認が必要となるため、監理者と相談の上での個別対応となる。(なお、各店からの実際の対応事例報告はなし)
(g)	発注者仕様が定められている場合はその方法に従い、それ以外の場合は原則(1)に準拠して対処するようにしている。
(h)	耐火性能が確保されている(試験結果が明確なもの)ポリマーセメントモルタルで補修する。
(i)	基本は、事前予防でかぶり確保に努めており、万一施工中にかぶり不足が発見された場合は、各店技術Gで個別対応しているが、基本的には告示第 1372 号に準拠したポリマーセメントモルタルで行うように各店技術Gが指導。

#### 4. 4 実測調査

##### 4. 4. 1 調査概要

実測調査は、品質管理等のために作業所で実施したかぶり厚さの実測データを提供してもらうことにより実施した。また、既往の調査として建築業協会（当時）が昭和 62 年に実施した調査結果[5]（以下、昭和 62 年調査）を比較検討の対象とした。表-4.4.1 に本調査および昭和 62 年調査の概要を示す。なお、本調査において、作業所アンケート調査の回答と実測調査のデータが一致する作業所は、8 社 23 作業所であった。また、建物用途は 23 作業所中 21 作業所が集合住宅、事務所と教育施設が 1 作業所ずつであった。

かぶり厚さの測定方法は、すべて作業所が電磁誘導法による非破壊試験であり、測定部材の測線ごとに記入した。表-4.4.2 に実測調査の記入表を示す。非破壊試験による測定値の補正は、28 作業所中 12 作業所で行われており、その方法はすべて JASS 5T-608 の A 法によるものであった。

##### 4. 4. 2 実測データの分析方法

実測されたデータは、部材およびその測定面、施工時に設定された増打ちの厚さを要因として分類し、かぶり厚さの実測値から設計かぶり厚さを引いた値によって評価を行った。本文中では、これを「実測-設計かぶり」として表す。なお、昭和 62 年調査にて設計かぶり厚さとして採用した値は、「設計図書で指示されたかぶり厚さ」として定義され、現在の最小かぶり厚さに相当するが、施工上の目標値という意味合いにおいて本報では本調査における設計かぶり厚さと同列に用いた。測定値の補正は、補正を実施した作業所は補正後の値、実施していない場合はそのままの値を実測値とした。増打ち厚さによる分類は、データ数の多い柱、梁側面、壁について行った。

統計処理の方法は、部材や増打ちの厚さによって分類した全ての測定点の平均値、標準偏差および測定した部材ごとの標準偏差の平均値で表した。部材種類および増打ちの厚さに区分したデータ数および部材数は表-4.4.3 に示している。ヒストグラムの階級は、昭和 62 年調査では 3mm 単位で区分されているが、本調査においては測定値が 1mm 単位で得られ、1 階級に含まれる整数値を同じにする意味から、4mm 単位で区分した。

表-4.4.1 実測調査の概要

	本調査	昭和 62 年調査
調査方法	作業所実施の品質管理用データを提出	調査員が赴き実測調査
調査時期	平成 23 年 1 月～平成 23 年 3 月	昭和 62 年 9 月～昭和 62 年 12 月
回答企業	日建連加盟企業のうち 11 社	建築業協会加盟企業のうち 14 社
回答数	28 作業所	14 作業所(RC 造のみ)

表-4.4.2 実測調査記入表

測定部材	記号	階数	屋外/屋内	梁側面/下面	スラブ上面/下面	仕上げ有無	増し寸法(mm)	最小かぶり厚さ(mm)	設計かぶり厚さ(mm)	実測データ				補正有無	補正方法	平均値(mm)	標準偏差(mm)
										1	2	...	n個				
例) 柱	C1	5F	屋外			無	20	40	50	64	61	62		有	A法	60.5	3.3
梁	G1	6F	屋内	梁側面		有	0	30	40	55	52	54		無	-	53.8	5.4

#### 4. 4. 3 調査結果

表-4.4.3 に本調査における部材種類および増打ちの厚さごとの分析結果を示す。また、図-4.4.1 に、本調査および昭和 62 年調査の部材ごとの実測-設計かぶりの分布を示す。なお、昭和 62 年調査では床および梁の測定面は区別されていない。

全般的な傾向として、本調査における実測-設計かぶりの平均値は約 10mm 以上となっており、かぶり厚さの確保のために余裕を持った施工が行われていることが分かる。昭和 62 年調査では実測-設計かぶりはほぼ 0 を中心に分布しており、かぶり厚さを確保するための意識が強くなっていることが伺える。本報その 1 での配筋検査における手直しの程度の結果もこのことを裏付けている。ただし、ばらつきについては、部材によって異なるものの 10~15mm 程度であり、昭和

62 年調査と同程度となっている。部材内（測線内）での標準偏差は概ね 5mm 以下である。また、本調査の範囲では、設計かぶりを下回る割合は 11%程度で最小かぶりを下回る割合は 1%程度であった。分布形状は、概ね正規分布として表される。

部材の種類による傾向は、実測-設計かぶりは、壁で最も小さく、梁部材で大きくなっている。また、標準偏差も梁部材が大きくなっており、これは、梁部材の部材接合部などでのかぶり厚さを確保するために、打増しを大きめにし、梁筋を内側に配置することなどが要因であると思われる。そのため、かぶり厚さが設計かぶりや最小かぶり厚さを下回る割合も相対的に小さくなっている。

図-4.4.2 に柱部材について増打ち厚さの範囲ごとの実測-設計かぶりの分布を示す。増打ちが大きくなるほど実測-設計かぶりの平均値は大

表-4.4.3 部材種類および増打ち厚さごとの分析結果

部材・測定面	増打ち厚さ (mm)	データ点数	部材数	全データ		部材内標準偏差平均	下回る割合(%)	
				平均	標準偏差		設計かぶり	最小かぶり
全部材	全データ	26479	1817	14.7	13.6	4.7	11.3	1.3
	なし	23624	1520	14.1	13.6	4.9	12.1	1.5
	1~10	834	83	16.2	12.4	3.9	6.2	0.1
	11~20	1650	178	19.5	12.2	3.8	4.2	0.1
	21~	371	36	24.7	9.8	5.6	0.0	0.0
柱	全データ	12215	820	14.3	12.8	5.4	9.4	1.3
	なし	11081	700	13.9	12.9	5.7	10.0	1.0
	1~10	543	53	16.5	10.2	3.8	5.0	0.2
	11~20	458	53	16.3	10.0	3.7	3.5	0.0
	21~	133	14	28.0	10.0	6.1	0.0	0.0
梁側面	全データ	6479	374	18.3	15.3	4.7	11.3	1.8
	なし	5936	314	17.6	15.2	4.8	12.3	1.9
	1~10	29	7	42.7	13.2	3.0	0.0	0.0
	11~20	406	43	25.7	13.3	4.2	0.2	0.0
	21~	108	10	25.4	12.8	4.4	0.0	0.0
梁下面	全データ	1228	119	21.4	15.0	5.0	6.4	0.2
壁	全データ	4972	348	9.6	11.0	3.7	18.0	1.4
	なし	4519	299	9.1	10.9	3.7	19.2	1.5
	1~10	71	6	9.8	5.7	4.7	2.8	0.0
	11~20	382	42	16.1	10.5	3.6	6.8	0.0
床上面	全データ	396	43	13.1	9.1	3.1	4.8	0.0
床下面	全データ	1177	109	14.0	12.2	3.8	8.8	0.2

きくなるが、ばらつきが大きくなる傾向は確認されない。西村らの論文[4]では、打増し等がある部材ではばらつきも大きくなる傾向が報告されているが、本調査ではそのような傾向は見られなかった。

その理由として、本調査において実測データ

が提供された作業所へのアンケート調査では、打増しに応じた寸法のスペーサが使用されている作業所が回答のあった21件中20件であり、適切なスペーサの使用により鉄筋の過度な倒れやあばれが生じることが少なかったことが推測される。

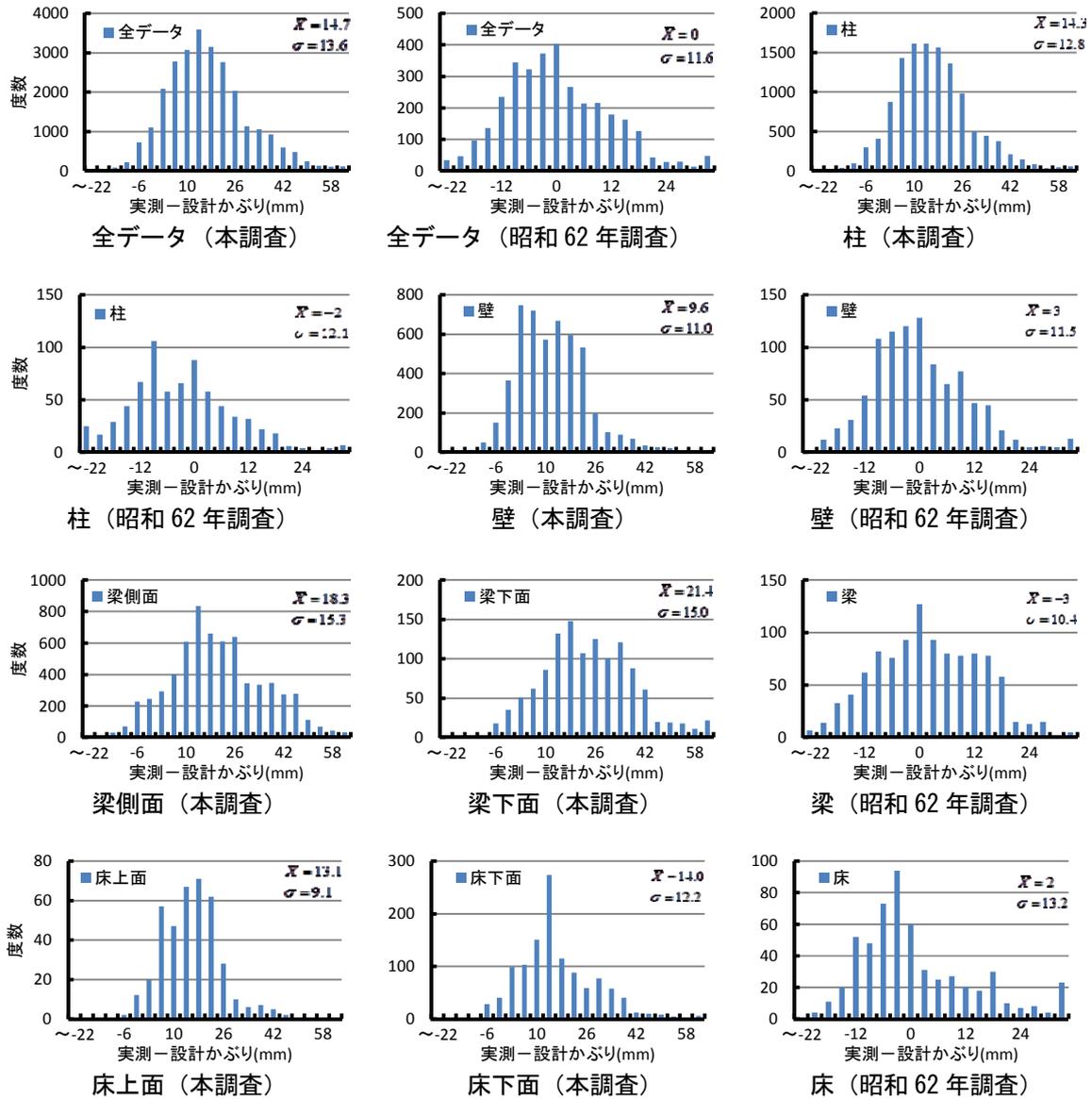


図-4.4.1 部位・面ごとの実測-設計かぶり厚さの分布

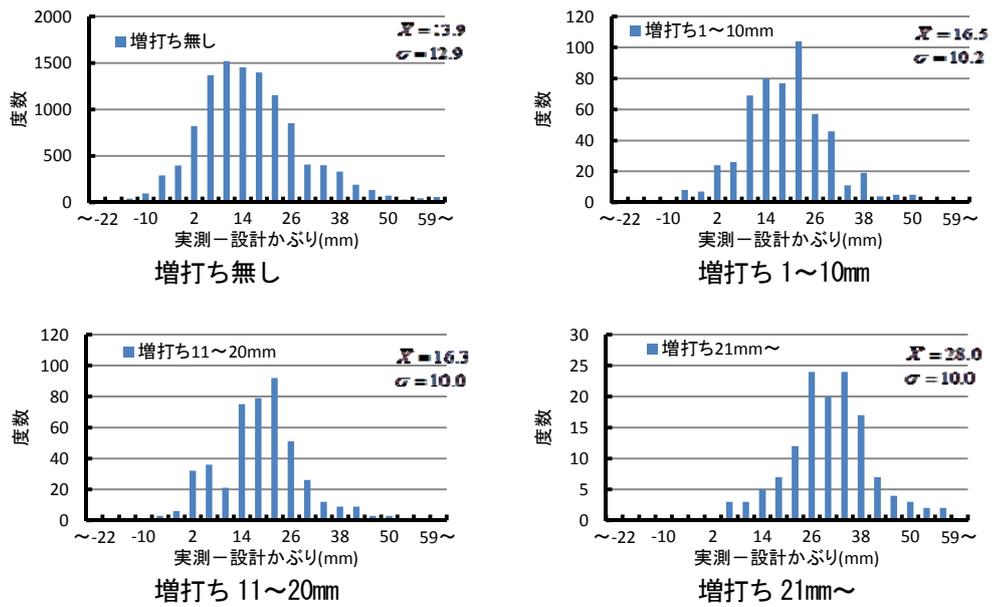


図-4.4.2 柱部材の増打ち厚さ範囲ごとの実測-設計かぶり厚さの分布

#### 4. 5 実態調査のまとめ

日本建設業連合会の会員企業を対象とした実態調査から明らかになったことを以下にまとめる。

- 1) 建物の高層化に伴い主筋は高強度化・太径化し、柱のせん断補強筋は溶接閉鎖型が多く、一方梁のせん断補強筋は従来の曲げ加工が多い傾向を示している。
- 2) 鉄筋の手直し箇所が多い部位として、梁・壁・柱に次いで「柱と梁の取り合い部(仕口)」に比較的集中している。
- 3) スペーサ寸法について、昭和 61 年調査と比べて増し打ちを考慮したスペーサを採用している作業所が増えており、加えて目地部で設計かぶりを確保するスペーサを選定している割合が 75%を超えている。
- 4) 質管理部門アンケート調査から、各社何らかのかぶり確保のため協力業者や社員教育を実施していることや、かぶりの補修に関しては、原則平成 13 年国交省告示第 1372 号の準拠したポリマーセメントモルタルによる補修としていながら、個々の作業所の問題から補修については多くが個別に対応している。
- 5) かぶりの実測調査から「実測－設計かぶり」の平均値は、約 10 mm以上となっており、かぶり厚さの確保のため余裕をもった施工が行われている。
- 6) 部材毎のかぶりのばらつきは、昭和 62 年調査と比べて変化なく同程度である。
- 7) 柱について、増し打ちが大きくなるほど「実測－設計かぶり」の平均値が大きくなるが、ばらつきが大きくなる傾向はみられなかった。

昭和 61 年調査時の社会情勢と比べて、かぶり確保に対する意識や要求が高まっている昨今、今回のアンケート調査から教育により協力業者や社員のかぶり確保に対する意識を高め、事前の鉄筋納まり検討や加工寸法の検討、並びにスペーサの適切な配置（サイズも含む）等によりかぶり厚さ確保が十分可能であることが分った。

また、本調査においては、施工における管理項目や管理目標値の設定、社内での品質管理の体制などについて、標準的な内容や上限・下限などを明らかにしたことにより、施工にあたっての参考値として活用できると思われる

#### <参考文献>

- [1] 建築業協会：鉄筋のかぶりに関する実態調査報告書[その 1 アンケート調査報告]，1887.8
- [2] 日本建築学会：建築工事標準仕様書 鉄筋コンクリート工事 JASS 5 [第 8 版]，1986
- [3] 日本建築学会：建築工事標準仕様書 鉄筋コンクリート工事 JASS 5 [第 13 版]，2009
- [4] 西村進，榊田佳寛，松崎育弘，園部泰寿：鉄筋コンクリート造建築物の壁・梁・スラブにおけるかぶり厚さの分布に及ぼす打増しや施工方法の影響，日本建築学会構造系論文集，Vol.75，No.658，pp.2079-2085，2010.12
- [5] 建築業協会：鉄筋かぶり厚調査報告書，1988.10

## 5. かぶり厚さ確保のための補修材料・工法に関する技術資料

### 5. 1 かぶり厚さ確保のための補修施工要領

本共同研究の成果の一つとして、かぶり厚さ確保のための補修施工要領書（案）（以下、要領書）をとりまとめ、これを巻末に示す。

本要領書は、平成 23 年度建築基準整備促進事業における各種試験体の PCM による補修施工において適用されたものである。平成 23 年度建築基準整備促進事業および本共同研究においては、本要領書に沿って各種試験体の補修施工を行い、施工性および耐火性を実験的に検証した。また、本要領書は今後新たにポリマーセメントモルタルの性能確認を行う場合にも適用することを想定している。

本要領書を実構造物のかぶり厚さの補修に適用する際は、以下が前提条件となる。

- (1) 補修材料（ポリマーセメントモルタル）が平成 13 年国土交通省告示第 1372 号における品質規定を満足していること（第 2 項第 1 号）
- (2) 補修部分を除いた架構の構造耐力が建築基準法施行令第 79 条に規定される値より低下していないこと（国土交通省告示第 1372 号第 2 項第 5 号）

すなわち、1.2 節で述べたように補修材料の品質と構造耐力に対する規定を満足していることが前提となる。

なお、(2)に関しては国土交通省住宅局編集「平成 17 年 6 月 1 日施行改正建築基準法・同施行令等の解説」によれば、上記(1)の規定を満足する材料の場合には補修厚さが断面の 5%以下、母材と同等以上の圧縮強度を有する補修材を用いる場合は断面の 30%以下とする目安が示されている[1]。

平成 12 年建設省告示 1399 号に定められた耐火構造として防火上支障がないことの要件については、火災時に補修材料が剥落しないことを目標とした。これに対し、本共同研究では、火災時の剥落防止工法について実験的な検証を行った。

なお、本要領書を実構造物のかぶり厚さの補修に適用する場合は、設計者、監理者および関係行政機関等の確認をとった上で適用されたい。また、補修施工は施工者の責任において実施し、その結果については建築研究所および日本建設業連合会が責を負うものではない。

### <参考文献>

- [1] 国土交通省住宅局編集：平成 17 年 6 月 1 日施行改正建築基準法・同施行令等の解説，ぎょうせい，pp.114~117，2005.8

## 5. 2 補修材料・工法選定マニュアル

3.1 節に示したように、国内で市販されているポリマーセメントモルタルについて耐久性や燃焼特性に関する試験を行った結果、材料試験において複数の銘柄の材料が、所要の性能を有することが確認された。

3.2 節では、これらの材料を用いて小型壁の部材試験および耐火試験を実施し、補修面の仕上りが良好で、かつ耐火試験で爆裂を生じない材料（以下、実績材料と記す）があること、補修部分の火災時の剥落防止に有効な工法（以下、実績工法と記す）を提案することができた。また、実績材料と実績工法の組合せであれば、柱および床部材の載荷加熱試験にて所要の耐火性を有することが確認された。

上記の3章の研究成果に基づけば、本研究の実績材料と実績工法を組み合わせ適用する場合には、所要の耐火性を有していると判断することができる。

しかしながら、本共同研究においては市販されているすべての材料を評価したわけではなく、また今後耐久性および耐火性に優れた新たな材料が開発される可能性があること、本共同研究において検討した実績工法以外の剥落防止工法が開発される可能性もある。そこで、本共同研究においては、実績材料や実績工法に該当しない、新しい材料や剥落防止工法を検討・評価する場合に参考となる、補修材料および工法の選定方法について、補修材料・工法選定マニュアル案としてとりまとめた。これを巻末に示す。

なお、本マニュアル案によって選定された補修材料および工法を実構造物のかぶり厚さの補修に適用する場合は、設計者、監理者および関係行政機関等の確認をとった上で適用されたい。また、本マニュアル案に従い選定された材料・工法を実際の工事に使用した結果については、建築研究所および日本建設業連合会が責を負うものではない。

## 6. まとめ

### 6. 1 本研究で得られた知見

本共同研究においては、かぶり厚さの確保のための施工時の対策とかぶり厚さ確保のための補修方法について検討した。施工時の対策については、作業所および品質管理部門へのアンケート調査とかぶり厚さの実測データの分析などを行い、施工時におけるかぶり厚さ確保のための現状を分析した。補修工法については、使用される材料が有機系のポリマーを含む材料であり、耐久性に加えて耐火性を両立させた補修材料および工法が要求されることから、市中のポリマーセメントモルタル(PCM)材料を主たる対象として材料および部材の耐久性や耐火性に関する実験的な検討を行い、有効な補修方法について検討した。以下、本研究から得られた結論を示す。

- 1) 市中の PCM 材料には、フレッシュ性能、力学性能、耐久性、加熱時特性に関し製品ごとに大きな差異がある。フレッシュ性能では、規定値はないが空気量に特に差異が大きく、硬化後の性能に大きな影響を与えていることが推察される。力学性能では、接着性及び接着耐久性において平成 13 年国土交通省告示第 1372 号第 2 項第一号の基準値を下回る可能性があり留意が必要である。
- 2) 加熱時特性については、SBR 系以外の PCM 材料で不燃材料として判断される 20 分間の総発熱量が  $8\text{MJ}/\text{m}^2$  を下回る材料が多く存在することがわかった。また、示差熱曲線で得られる発熱ピーク面積により PCM 材料の爆裂の危険性を評価できる可能性が見出された。
- 3) 耐久性に関し、PCM の中性化抵抗性は一般的なコンクリートよりも優れており、PCM をかぶりコンクリートの一部として用いたとき、かぶり断面の中性化進行をコンクリートのみの場合よりも抑制できることが明らかとなった。また、乾燥収縮率は乾燥期間 28 日で  $900 \times 10^{-6}$  以下となったが、長期的には一般的なコンクリートよりも大きく、最大で  $2000 \times 10^{-6}$  を超える

ものがあつた。凍結融解抵抗性は、水中凍結水中融解の条件で試験した結果、300 サイクル後の相対動弾性係数が 85% を下回る製品が一部存在した。

- 4) 部材表面の広範囲にわたってかぶりを PCM で断面補修する場合、耐火性能を確保するためには剥落防止措置が必要であり、その仕様を耐火実験に基づき提案した。提案仕様は、実部材を想定した大型の壁で評価を行い、その有効性を確認した。また、壁、床、柱などの構造部材に同様に適用できることが基準整備促進事業において確認されている。本研究において剥落防止効果を確認した仕様以外については、既存の構造物の補修や非構造部材への補修など長期応力が作用しない条件で用いる場合には大きさ  $1\text{m} \times 1\text{m}$ 、厚さ 15cm 程度の小型壁の加熱実験で、また同じく長期応力が作用する条件の場合には部材の載荷加熱実験で耐火性能を確認することを提案する。
- 5) 市中の PCM には火災時に爆裂する製品も多く存在し、爆裂に対する抵抗性の評価は、上記と同様に  $1\text{m} \times 1\text{m}$  程度の小型壁の加熱実験で確認することができることがわかった。
- 6) PCM によるかぶり補修部材の耐火性能の確認は、補修材料が耐爆裂性を有し、かつ補修部分が剥落しないことによって、火災時においても鉄筋の保護効果が確保されることを確認する必要がある。この確認には、補修厚さ 30mm で大きさ  $1\text{m} \times 1\text{m}$ 、厚さ 15cm 程度の小型の壁試験体を用いた加熱実験による確認が有効である。この加熱実験後の表面状態から損傷を I ~ V の 5 段階で評価し、爆裂・剥落がない状態 I に加え、剥落や爆裂が表面のみに止まる II および III についても鉄筋温度の測定により遮熱性が確認できれば十分な耐火性能を有すると判断できる。
- 7) 前記知見に基づき、かぶり補修施工要領を提案し剥落防止効果を有する補修工法の施工の参考資料を提示した。また、本研究において評価

や提案を行った以外の、新しい補修材料や剥落防止工法の耐久性および耐火性能の確認のための補修材料・工法選定マニュアルを提案した。

- 8) かぶり厚さ確保の信頼向上を目指し、かぶり厚さの実態調査を行った結果、施工者のかぶり確保への意識は以前に比べ高まっていることが分かった。また、スペーサの選定・配置、鉄筋の納まり検討や加工方法に関し、現状の標準的な方法によりかぶり厚さ確保は比較的高い精度で可能であることが推察された。

## 6. 2 ポリマーセメントモルタルによるかぶり厚さ確保のための補修の考え方

本研究において得られた知見より、新築および既存の建築物についてかぶり厚さを確保するための補修方法として、施工要領案および材料・工法の選定マニュアルを提案した。

ここでは、これらの施工要領案および材料・工法の選定マニュアルを適用した場合の補修の考え方について、その前提条件を整理し、本研究で得られた成果の位置付けについて述べる。

1.2 節に示したとおり、材料および構造上の観点からは、平成 13 年国土交通省告示第 1372 号の規定を満足する必要がある。したがって、補修を行う対象となる既存の部材および補修に用いる材料については、以下の前提を満足するものとする。

- ・ 構造上必要な部材断面の寸法、コンクリート強度および鉄筋量が確保されていること。
- ・ 鉄筋コンクリート部材中の鉄筋について、鉄筋腐食による断面欠損等を生じていないこと。あるいは適切な補修がなされていること。
- ・ 梁部材にあつては、主筋に対する補修前のかぶり厚さが、日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 2010<sup>1)</sup>の 16 条 付着及び継手の 1. の (4) の 3)の大地震動に対する安全性の確保のための検討 (16.5～16.7 式による検討) を行い、付着割裂破壊が生じないことを確認すること。なお、付着割裂破壊に対する構造的な補強が必要と判断される場合にあつては、ポリマーセメントモルタル等による補修を施した後に、連続繊維補強材等による巻き立て補強を行うことなどが考えられる。その詳細については、「あと施工アンカー・連続繊維補強設計・施工指針 (技術的助言)」（平成 18 年国住指第 79 号および国住指第 501 号）などが参考にできる。
- ・ 補修材料の圧縮強さ、曲げ強さ、接着強さ、接着耐久性の値が、平成 13 年国土交通省告示第 1372 号の規定を満足することを確認められた材料であること。

・ 既設部分のコンクリートと同等以上の耐久性、および所要の耐爆裂性を有することについて、本研究において提案する補修材料・工法選定マニュアル案に示される評価方法により確認された材料であること。

また、当該建物が耐火構造物であることが要求される場合、その部材については、指定性能評価機関が実施する耐火性能に関する大臣認定を受けるか、補修材料および工法が平成 12 年建設省告示第 1399 号に規定される耐火構造であることを満足する必要がある。同告示においては、耐火構造の例示仕様が示されており、ポリマーセメントモルタルを使用する場合には防火上支障のないものを用いることが求められている。また、内装制限が適用される部位に使用する場合には、それらの規定を満足する、指定性能評価機関が実施する試験結果に基づき国土交通大臣の認定が得られた材料である必要がある。

ここで、防火上支障のないことの確認の方法は、前述の補修材料・工法選定マニュアル案に示した耐火性に関する試験を実施し、耐火性の確認を行うことによって確認することが有効であると考えられる。なお、本研究においては、実験を行った市販のポリマーセメントモルタルのうちのいくつかについて所要の性能を満足することを確認している。また、これらの材料を用い、本研究で提案した施工要領書案に従った剥落防止措置を施すことにより、防火上支障のない補修を行うことができることを確認している。

以上のような前提条件、材料および工法に対する要求事項を満足することにより、ポリマーセメントモルタルを用いて、所要の耐久性、構造安全性および耐火性を満足する補修が実施できるものとする。

## 参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 2010, 日本建築学会, 2010.2