

## 特集 最先端の建設材料および周辺技術 Advanced Construction Materials and Related Technologies

### Summary

This feature introduces the research and development results of the materials and related technologies announced by Takenaka Corporation during the past few years.

Among the materials and construction technologies developed, the following were applied to structures.

- ・ Advanced Performance Composite Concrete
- ・ Low Carbon Concrete ECM (Energy·CO<sub>2</sub> Minimum) Concrete
- ・ Non Drying-shrinkage Type Concrete “Fine Lead”
- ・ Ultra Rapid Hardening Concrete “Hyphard”
- ・ Superplastic Zn-Al Alloy Seismic Damper for Traditional Wooden Structures
- ・ Fe-Mn-Si Based Alloy Seismic Damper with Superior Fatigue-Resistance for Long-Period Earthquakes

Among the materials and construction technologies developed, the following were applied to finishing etc.

- ・ Exterior Wall Tiling System with Organic Adhesives “Total Flex Method”
- ・ Tile Renovation Technology “Mortoru”
- ・ Thin Coating System “ACRYCEPT” Featuring Tremendous Performance Preventing Carbonation
- ・ Credible Renovation Method Using “TS Remover” for Sealant Joints
- ・ Block Pavement System Using “Porous Polymer Mortar”
- ・ Radiation Shielding Block “RadBlock-X”

Related technologies derived from the material research are as follows.

- ・ “Radi-clean” Decontamination Business Management System
- ・ Decontamination System for High Radiation Local Region Using Radiation Measurement System of Plastic Scintillation Fiber

We will continue to create the results that can contribute to our profits both in terms of conventional business-oriented researches and those with a view to the future.

**Keywords:** construction material, related technology

## 1 はじめに Introduction

岡本 肇 Hajime Okamoto\*1

建設業（ゼネコン）の生業は、与えられた設計図書に基づき専門工事業者を采配して建設構造物を構築していくことであり、建設に用いる材料の製造や販売を直接は行っていない。しかし建設の際には、設計図書に記載されている使用材料の詳細な仕様選定や製作指示を一般にはゼネコンが行うために、適正な機能や品質の材料仕様が設計に反映されているかを知っておく必要がある。従ってゼネコンは、材料を使うというユーザーの立場でありながら、最終ユーザーである建築主に対しては供給側の立場で、使用材料・工法の品質や機能と対峙していかなければならない。当社は設計施工を標榜する会社であるため、なおさらその必要性は大きい。

一定の環境で大量製造される工業製品とは異なり、現場施工が前提となる建設材料には、一品生産であることや現場構築環境等の生産に関わる条件が様々であり、施工という行為とセットになって要求される品質や機能が達成される。またそれは、新築時だけでなく、運用時、改修時、解体時にも関係する。そのため、建設材料についての技術的な対応は、単に材料技術だけを対象とした内容に留まらず、施工技术、調査技術等にも範囲は及ぶことになる。

近年の先端技術分野での新材料技術開発は、適用先の産業に革新的な変化をもたらしている場合がある。しかし、建設業界においては、新たな開発材料がもとなり、業界の大きな変革へとつながるということは少なく、従来の使用材料工法から大きな変化は起きていない。これは、数十年以上の寿命の建設構造物に使用されることを前提とした耐久性が最重要視され、目標性能に対する安定した品質を確認するために、使用実績が最も信頼できる指標と考えられているからである。そのため、建設材料関係の新技术は、長期間かけてその性能を確認しながら少しずつ実績を挙げ、展開されていくという形態となり、変化が生じてもうつくりとしたものになる。

このような背景のもと、当社の材料に関する研究開発は、使用材料の適切な評価研究から始まり、現状の使用材料や工法の品質や機能を高める技術開発、新しい機能を付与する技術開発、建設分野に使用されてこなかった新しい材料や周辺技術の導入の技術開発等を行ってきた。この際、材料生産を行わないゼネコンが、材料関係の技術開発を行う上ではメーカーなど異業種と協業が必須で、当社には開発を主導できる技術的なポテンシャルとともに、早い段階から適用展開を見据えた視点が必要とされている。

開発成果は、開発された材料等がそのまま建設構造物に適用される形態と、それが構造や設備、地盤・基礎等の適用先に近い実用化開発過程を経て、具現化に至る形態とがある。最近では、プロジェクト提案の段階で、研究開発成果が設計に影響を与える材料工法についても関係することが多くなっており、従来の品質確保主体の研究開発から、材料に関わる研究開発に求められることが増大しているといえる。

以上のように、ゼネコンの材料に関する研究開発の視点と方向性を述べてきたが、具体的な開発事例として、この特集では、「最先端の建設材料および周辺技術」と題し、ここ数年の間に当社が創出した材料及びその周辺技術の研究開発成果について紹介する。Table 1には、後述する各技術の分類と適用部位、開発の目的を示している。

Table 1 材料およびその周辺技術の研究開発成果例 R & D results of materials and related technologies

技術の分類 と適用部位	開発技術	開発目的					
		品質機能分類		適用効果			
		従来仕様代替	新機能	合理化	品質安定	環境対応	災害安全
材料・ 施工技術	構造物適用	超高強度・高性能コンクリート「APCコンクリート」	○				○
		低炭素型コンクリート「ECMコンクリート」	○			○	
		無収縮タイプコンクリート「ファインリード」	○		○		
		プレキャスト用超速硬コンクリート「ハイファード」		○			
		伝統木造建築用超塑性Zn-Al合金制振ダンパー		○			○
		長周期・長時間地震動対策を可能としたFe-Mn-Si系合金制振ダンパー		○			○
	仕上げ他適用	有機系接着剤張りによる高耐久外装タイル張り工法「トータルフレックス工法」	○		○		
		タイル再利用技術「モルトール」		○		○	
		中性化抑制塗装工法「アクリセプト工法」		○		○	
		TSリムーバーを用いた高品質なシーリング目地の改修工法	○		○	○	
		ブロック舗装「多孔質ポリマーモルタル工法」	○		○		
		放射線遮蔽ブロック「RadBlock-X」		○		○	
周辺技術	除染関連業務管理システム「ラジ・クリーン」	○		○			○
	プラスチックシンチレーションファイバを用いたホットスポット除染システム	○		○			○

\*1 技術研究所 建設材料部長 博士(工学) General Manager, Construction Material Engineering Department, Research & Development Institute, Dr. Eng.

## 2 構造体に適用する材料関連技術 Materials and Construction Technologies Applied to Structures

### 2.1 超高強度・高性能コンクリート「APCコンクリート」 Advanced Performance Composite Concrete

小島 正朗 Masaro Kojima\*1 本間 大輔 Daisuke Honma\*2

耐火性、流動性、靱性能を備えた超高強度コンクリートは、50階を超える超高層建築の実現、部材の小断面化による自由度の高い空間の実現、新しい建築形態の実現を可能とする。本節では通常の10倍以上の強度となる300N/mm<sup>2</sup>までの超高強度・高性能コンクリートAPCの開発の概要および適用展開について述べる。

#### 2.1.1 背景

国土の高度利用を目的に、都心部や周辺市街地の再開発が各地で進められ、数多くの超高層建築物が建設されている。超高層オフィスのほか、都心居住の利便性を求めて都心への人口集中が続いており、居住性に優れた鉄筋コンクリート造（以下、RC造）による超高層集合住宅のニーズが高まり、多数建設されている。RC造超高層集合住宅は、階数が高くなるにつれ、その自重を支えるため低層階に設計基準強度の大きなコンクリートを使用する必要があり、当社でも、2000年代前半までに、設計基準強度（以下、Fc）100N/mm<sup>2</sup>クラスまでの超高強度コンクリートを適用した50階クラスのRC造超高層集合住宅を複数建設し、社会の要請に应运えてきている。

さらなる超高層化や、柱のスリム化や大スパン化による解放感の高い付加価値空間の実現のためには、Fcが100N/mm<sup>2</sup>を超える超高強度コンクリートが必要となる。しかし、さらなるコンクリートの超高強度化に伴い、脆性的となる破棄挙動の克服や、従来の有機繊維による火災時の爆裂防止技術では不十分であることが判明した。このような背景のもと、RC造での60～80階クラスのさらなる超高層化の実現や、柱のスリム化や大スパン化による解放感の高い付加価値空間の実現、新しい材料による新しい架構の実現を狙いとして、Fc120～300N/mm<sup>2</sup>の超高強度と高流動性、耐火性、靱性を兼ね備えた「超高強度・高性能コンクリートAPC（以下、APCコンクリート）」の開発を行っている。

#### 2.1.2 APCコンクリートの技術概要

APCコンクリートの構成技術の概念をFig. 1に示す。APCコンクリートは、①120～300N/mm<sup>2</sup>の超高強度と高流動性を両立させる超高強度・高流動化技術、②超高強度コンクリートの火災時の耐火性を高める爆裂防止技術、そして③高強度に加え靱性を付与するための繊維補強技術で構成されている。以下に、これら3つの要素技術について概要を述べる。

##### (1) 超高強度・高流動化技術

コンクリートの水セメント比を小さくすると強度は高くなるが流動性は著しく低下する。APCコンクリートの高流動化技術のイメージをFig. 2に示す。セメント粒子に10分の1以下の球形のシリカフュームが付着し、その表面に高性能減水剤が吸着する。シリカフュームは練混時にベアリング効果を発揮し、高性能減水剤は立体障害作用および電気的反発力により粒子同士を分散させ、これらを合わせることで流動性が向上する。当社ではシリカフュームプレミックスセメント

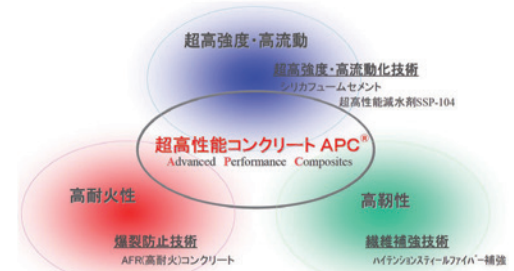


Fig. 1 超高強度コンクリートAPCの構成技術  
Technologies of advanced performance composite concrete

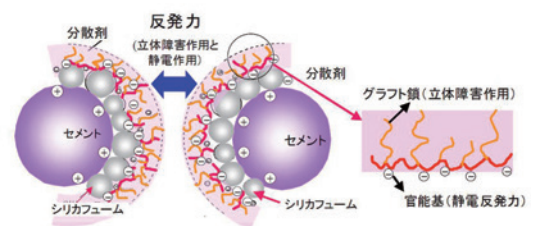


Fig. 2 超高強度コンクリートAPCの高流動化技術  
High fluidity technology of APC concrete

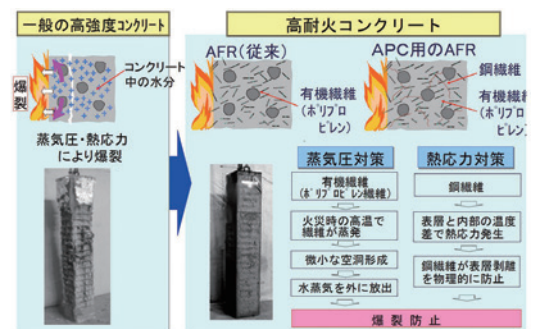


Fig. 3 超高強度コンクリートAPCの耐火技術  
Fire resistance technology of APC concrete

\*1 技術研究所 建設材料部 構造材料グループ長 Group Leader, Research & Development Institute

\*2 技術研究所 研究員 Researcher, Research & Development Institute



SFCを三菱マテリアと、ポリカルボン酸系の超高性能減水剤を竹本油脂と共同開発を行い、水結合材比9.5%でも良好な流動性が得られ、 $F_c300N/mm^2$ を達成できる強度を実現する技術を確立している。

## (2) 火災時の爆裂防止技術

高強度コンクリートは緻密であるため火災により表面から炙られると内部に高い蒸気圧が発生し、また高温化では大きな熱応力が発生しコンクリートが表面から爆裂・剥落が生じる。 $F_c$ が大きくなると、少量の有機繊維を混入して水蒸気の抜け道を作って爆裂を抑制する技術（AFRコンクリート）では耐火性の確保が難しくなる。 $120N/mm^2$ 程度以上では、有機繊維に加え火災時の熱応力や物理的な表面剥離を防止する鋼繊維を混入するハイブリッド型繊維とした耐火技術を開発し、載荷加熱試験において3時間耐火性能を実現できる技術を確立している（Fig. 3, Fig. 4）。

## (3) 高靱性化技術

一般に高強度コンクリートは圧縮強度が高くなるほど脆性的な傾向を有し、地震時の変形に対してかぶりコンクリートが損傷し剥離・飛散してしまう。本技術では高強度の高靱性化のため、高強度マトリックスに有効に作用する形状、かつ高引張強度を有する鋼繊維を適量混入し、曲げ靱性を大幅に向上させ、かぶりコンクリートの損傷、飛散を防止し、柱部材のせん断耐力、変形性能を向上させ、地震時の安全性を確保する技術を確立している（Fig. 5）。

### 2.1.3 技術認証

レディーミクストコンクリートについては、東京・大阪の数工場で、 $F_c150N/mm^2$ までの基準法37条大臣認定を取得している。これを超える強度はプレキャスト製品での適用が主と想定しており、当社主要工場と共同でプレキャスト製品に関する第三者機関（日本建築総合試験所）の生産技術性能証明を取得している。強度レベルを適宜更新しており、2016年12月には、国内初となる $F_c300N/mm^2$ まで強度範囲を拡大して生産技術性能証明を取得している。

### 2.1.4 適用事例

3つの要素技術のうち高強度・高流動技術だけを活用するCFT造も含めると、東京・大阪を中心として10件以上のプロジェクトにAPCコンクリートの開発成果が適用されている。

本技術の高流動・高強度化技術により、国内で初めて $100N/mm^2$ 以上の超高強度コンクリートを50階級CFT造建物への施工を可能とした。本技術は、2007年に東京ミッドタウン（ $100N/mm^2$ ）、2014年に国内最高高さの建築となるアベノハルカス（ $150N/mm^2$ ）などに適用してきた。

RC造建築物では、国内で初めてとなる設計基準強度 $150N/mm^2$ の超高強度コンクリートを武蔵小杉の超高層集合住宅で適用した（Photo 1）。 $F_c120\sim150N/mm^2$ のAPCコンクリートを使用したスリム柱が、北里大学病院や刈谷病院といった中低層建物の柱部材に採用され、広々とした空間の実現に貢献した。2015年には $F_c200N/mm^2$ のAPCを吹田市立スタジアム（Photo 2）に、2017年には $F_c300N/mm^2$ を上大岡の集合住宅物件へ適用した。超高層化の実現と地震や火災に対する安全性の確保に加え、居住性を高める部材のスレンダー化とスパン増大につなげている。

引き続き、APCコンクリートの技術開発により、建物の高層化による市街地の有効利用、部材の小断面化による自由度の高い空間、新しい建築形態の実現など、お客様と感動を共有できる魅力的な建築作品作りに貢献していきたい。

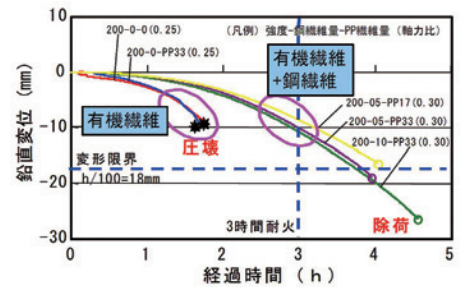


Fig. 4 超高強度コンクリートAPCの耐火性能  
Fire resistance performance of APC concrete

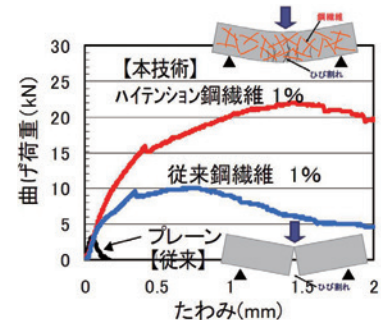


Fig. 5 超高強度コンクリートAPCの高靱性化技術  
Toughness of APC concrete



Photo 1 パークシティ武蔵小杉（ $F_c150N/mm^2$  APCコンクリートの適用例）  
Application of APC concrete to RC high rise building



Photo 2 吹田市立スタジアム（ $F_c200N/mm^2$  APCコンクリートを用いたスリム柱の適用例）  
Application of APC concrete to RC slim pillar

## 2.2 低炭素型コンクリート「ECMコンクリート」

### Low Carbon Concrete ECM (Energy・CO<sub>2</sub> Minimum) Concrete

辻 大二郎 Daijiro Tsuji\*1

鉄鋼製造の副産物である高炉スラグ微粉末をセメントに6～7割と高含有させた低炭素型セメント「ECM（エネルギー・CO<sub>2</sub>ミニмум）セメント」をNEDO助成下の共同研究チーム<sup>1)</sup>で開発した。SO<sub>3</sub>量を通常より高めることで初期強度発現や収縮性能を高め、ひび割れ抵抗性を改善している。ECMセメントを用いたコンクリートは、建築物の場所打ち杭や耐圧盤・基礎などの地下構造物に使用することで塩化物イオンや酸の侵入抵抗性を高める効果があり耐久性向上を期待できるだけでなく、コンクリートの材料由来のCO<sub>2</sub>排出量を従来比較で約6割低減できる。本節では、「ECMセメント」と「ECMコンクリート」の概要を述べる。

#### 2.2.1 背景

近年、国内外のCO<sub>2</sub>排出削減対策の動向が急激に変化しつつある状況であり、COP21における2030年度温室効果ガス排出削減目標に向けて、コンクリート分野でも新技術の開発が期待されている。

一方、国内のCO<sub>2</sub>排出量の約4%がセメント由来と言われており、このことがコンクリートのCO<sub>2</sub>排出量が大きい要因となっている。CO<sub>2</sub>排出量原単位の大きいポルトランドセメント（764.3kg-CO<sub>2</sub>/トンセメント）の代りにCO<sub>2</sub>原単位の小さい高炉スラグ（26.5kg-CO<sub>2</sub>/t）などの産業副産物を有効に利用することなどがCO<sub>2</sub>削減に有効である。このような背景のもと、筆者らはCO<sub>2</sub>排出量を約60%削減できる低炭素型セメントの開発とそのセメントの利用技術の開発に取り組んできた（Photo 1）。

#### 2.2.2 ECMセメントの概要

ECMセメントの基本構成とCO<sub>2</sub>排出量をFig. 1に示した。ECMセメントは高炉スラグ微粉末を60～70%程度、普通ポルトランドセメントを30%程度含有し、高炉セメントC種のJIS規格に適合するセメントである。普通ポルトランドセメントに比べて約65%、高炉セメントB種に比べて約45%のCO<sub>2</sub>削減が期待できる。

性能面では、JIS規格の範囲内でカルシウム系添加材として石膏を最適添加しており、強度性状や収縮性能を改善し、高炉セメントのひび割れ抵抗性を向上させている。環境性能と基本性能（施工性、強度、耐久性）の両立を図ることが開発コンセプトである。

主な特長を以下に記す。

- ①水と熱が小さく、部材内の温度上昇を抑制できる

単位セメント量300kg/m<sup>3</sup>、打込み温度20℃の場合のコンクリートの断熱温度上昇量測定結果の一例をFig. 2に示す。ECMセメントは水と熱が小さく、マスコン部材の温度上昇を抑制でき、温度ひび割れの低減に効果が期待できる。

- ②初期強度を向上できる

圧縮強度特性の一例をFig. 3に示す。ECMセメントは石膏添加量を調整することで通常の2%程度から3.5%程度まで増加させることで初期強度（3日強度）の向上を図り、高炉セメントの強度発現性を改善している。特に短工期を指向する建築工事では重要な特性である。

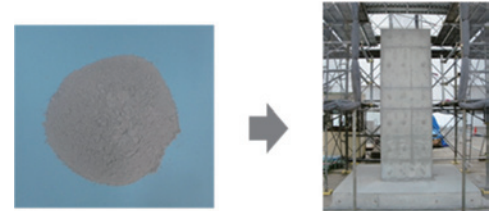


Photo 1 ECMセメントとECMコンクリート構造物  
ECM cement and ECM concrete structure

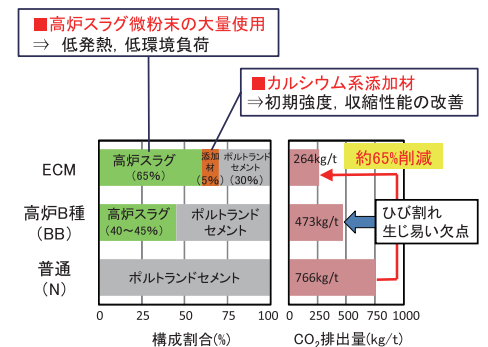


Fig. 1 ECMセメントの基本構成とのCO<sub>2</sub>排出量  
Basic proportion and CO<sub>2</sub> footprint of ECM cement

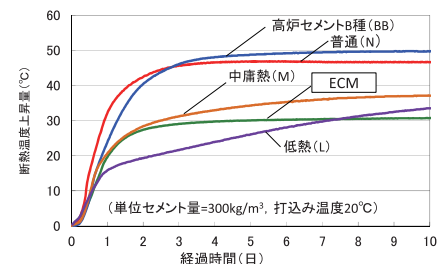


Fig. 2 断熱温度上昇量測定の一例  
Adiabatic temperature rise amount

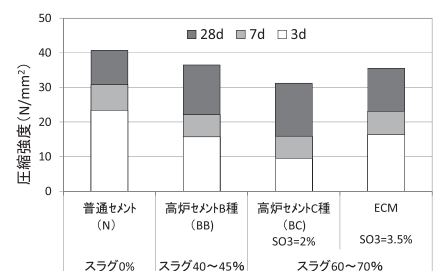


Fig. 3 圧縮強度特性の一例  
Property of compressive strength

\*1 技術研究所 主任研究員 Chief Researcher, Research & Development Institute



### ③収縮ひずみを低減できる

収縮ひずみ測定結果の一例をFig. 4に示す。ECMセメントの収縮ひずみは初期に石膏添加によるエトリンガイト生成により50μ程度の膨張し、その後の乾燥収縮ひずみも従来セメントのN、BBよりも低減される。収縮ひずみを低減することで高炉セメントの収縮ひび割れしやすい欠点の改善が期待できる。

### ④化学抵抗性が高く、塩化物や酸の侵入抵抗性が高い

ECMコンクリートは、耐海水性や化学抵抗性が高く、鉄筋を保護する性能に優れている。これは地下に海水のある沿岸部または汚水槽など酸の影響のある地下ピットなどの使用に向いた特性である。

## 2.2.3 適用部位

ECMコンクリートの適用部位をFig. 5に示す。耐圧盤・基礎や場所打ち杭など地下構造物へ適用することに向いている。耐圧盤・基礎など大きな断面の部材に用いた場合はマスコンの発熱量抑制による温度ひび割れの低減が期待できる。また、場所打ち杭に用いた場合は地中の酸・海水など劣化因子やピット内の腐食性劣化因子に対して耐久性の向上が期待できる。

## 2.2.4 適用事例

これまで東京・大阪を中心として計12件、計15,000m<sup>3</sup>のECMコンクリートを適用している。主な適用部位は耐圧盤・基礎・基礎梁・擁壁・場所打ち杭など地下構造物である。

ECMコンクリートの場所打ち杭への適用をPhoto 2に、耐圧盤への打設状況をPhoto 3に示す。フレッシュ状況は良好であり通常のコンクリート同様の打込みができ、打ち上がり後の性状も良好であった。また圧縮強度の平均値は44.3N/mm<sup>2</sup>であり、呼び強度36を十分に満足した。

ECMコンクリートによるCO<sub>2</sub>削減効果をFig. 6に示す。通常に使用される予定であった低熱(L)コンクリートに比べて、CO<sub>2</sub>排出量は約60%削減できる結果となった。実適用量950m<sup>3</sup>のCO<sub>2</sub>削減量は145.4(t-CO<sub>2</sub>)と試算された。

ECMコンクリートを実工事に適用することで、副産物である高炉スラグの有効利用を促進し、CO<sub>2</sub>排出量を大きく削減することができた。今後も、本技術の適用を進めることを通じて、低炭素型社会・資源循環型社会の形成に貢献していきたい。

## 参考文献

- 1) 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「省エネルギー革新技术開発事業／実用化開発／エネルギー・CO<sub>2</sub>ミニマム(ECM)セメント・コンクリートシステムの研究開発」(2011.8.10～2014.2.28)

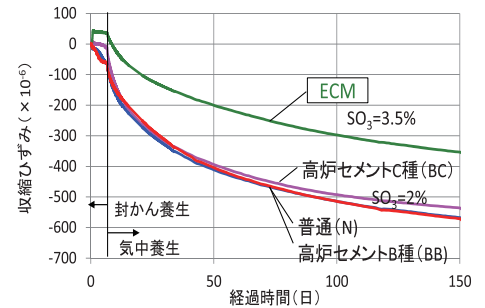


Fig. 4 収縮特性の一例  
Shrinkage property

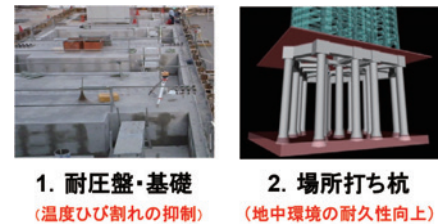


Fig. 5 適用部位  
Policy of application member of ecm concrete



Photo 2 場所打ち杭への適用  
Application to cast-in-place pile



Photo 3 ECMコンクリートの打込み状況  
Casting of ECM concrete

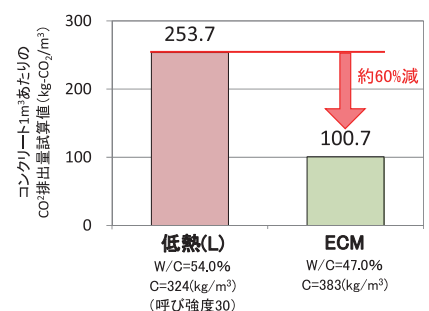


Fig. 6 CO<sub>2</sub>削減効果  
CO<sub>2</sub> reduction effect

## 2.3 無収縮タイプコンクリート「ファインリード」 Non Drying-shrinkage Type Concrete “Fine Lead”

井上 和政 Kazumasa Inoue\*1

近年、鉄筋コンクリート造建築物の耐久性向上の観点から、コンクリートのひび割れ低減への需要が高まっている。そのような背景の中、筆者らはコンクリートの乾燥収縮低減技術の構築を目的とし、粗骨材に石灰石骨材を使用、また膨張材および新しく開発した収縮低減タイプ高性能AE減水剤を併用することでコンクリートの収縮量をゼロに近づける無収縮タイプコンクリート「ファインリード」を開発した。本節では、無収縮タイプコンクリート「ファインリード」の概要について述べる。

### 2.3.1 ファインリードの技術概要

ファインリードは、粗骨材に石灰石骨材を使用し、また新たに開発した収縮低減タイプ高性能AE減水剤（チューポールSR30）および市販の膨張材を併用することでコンクリートの収縮量を見掛けゼロに近づけたものである。Fig. 1に示すように、膨張材による初期膨張量が300～400 $\mu$ で、石灰石骨材と収縮低減タイプ高性能AE減水剤により乾燥収縮が300 $\mu$ 以下となり、見掛け無収縮な挙動となる。このため、日本建築学会の特級仕様に相当する乾燥収縮が450 $\mu$ 以下の超低収縮コンクリートよりも更に高性能なコンクリートの位置づけとなり、より高いひび割れ抵抗性が期待できる。

ファインリードの品質等の基本特性は、Fig. 2に示すようになる。施工性を示すスランプは普通コンクリートと同等に設定可能である。ファインリードの圧縮強度、中性化深さ、耐凍害性等は、同一水セメント比の普通コンクリートとほぼ同等となるため、普通コンクリートに置換して使用することが可能となる。なお、凝結時間はファインリードの方が普通コンクリートに比べて若干遅延するため、その影響でブリーディング量もファインリードの方が若干増大する傾向にあるが、問題となるレベルではない。

ファインリードのひび割れ抵抗性は、Fig. 3に示すJIS A 1151の試験区間を1,000mmとし、0.6%の鉄筋を配した一軸の拘束ひび割れ試験で評価している。普通コンクリートは、初期から引張応力が発生し、早期にひび割れが発生するのに対して、ファインリードは、初期の膨張によりコンクリートに圧縮応力が導入され、その後の乾燥収縮で圧縮応力が低減されるものの、引張応力がほぼ発生しない挙動となった。このため、非常に高いひび割れ抵抗性を有していることが確認できている。引張応力が集中する開口部などのひび割れ低減・抑制についても、その効果が期待される。

### 2.3.2 効果

ファインリードの効果として、開口部を有する1/4スケールの模擬部材を作製し、開口部を含めた壁部材のひび割れ抵抗性を確認した。乾燥収縮が約450 $\mu$ お

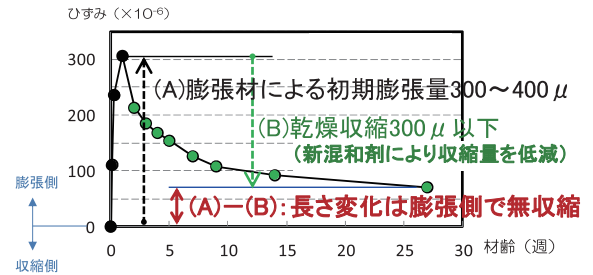


Fig. 1 拘束膨張と乾燥収縮の重ね合わせの概要  
Outline of superposition of restraint expansion and drying-shrinkage

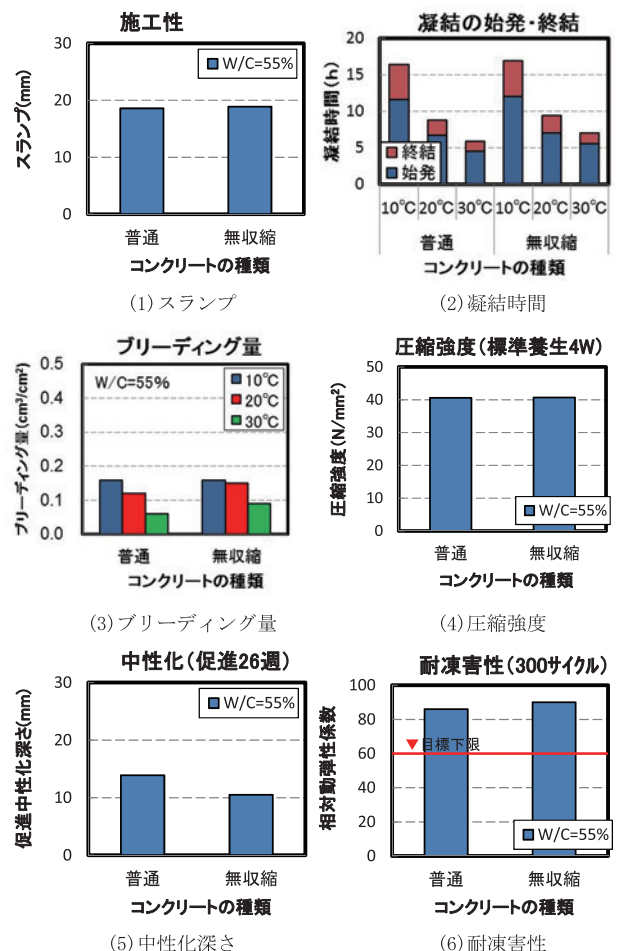


Fig. 2 ファインリードの基本特性  
Properties of non drying-shrinkage type concrete

\*1 技術研究所 主任研究員 博士（工学） Chief Researcher, Research & Development Institute, Dr. Eng.

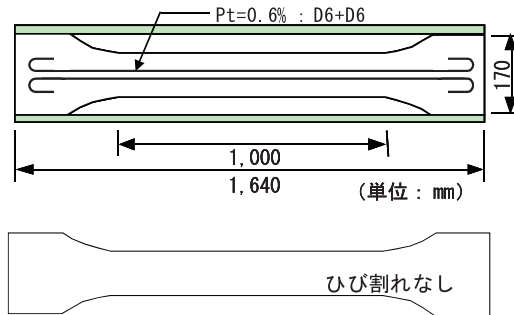


Fig. 3 ファインリードの拘束一軸ひび割れ試験結果  
Test result of drying-shrinkage cracking of restricted concrete of Fine Lead

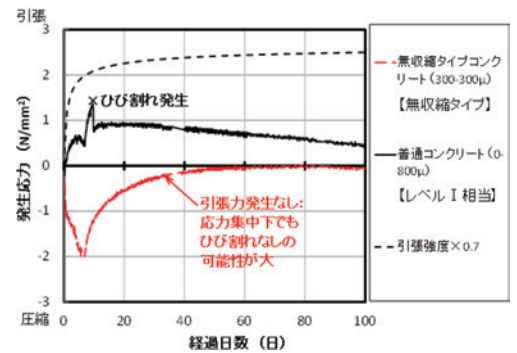


Fig. 4 拘束一軸ひび割れ試験の発生応力  
Generated stress of drying-shrinkage cracking of restricted concrete of Fine Lead

よび約200 $\mu$ の超低収縮コンクリートの場合、過去の実大規模の模擬部材による試験では、微細ではあるが開口部にひび割れの発生が確認されていた。今回の1/4スケールの模擬部材試験の結果、開口部にもひび割れの発生は見られなかった。前項の室内のJIS試験で確認された高いひび割れ抵抗性が、模擬部材試験でも同時に確認された。今後、引張応力が集中する開口部等のひび割れ低減効果等も期待される。

### 2.3.3 適用事例

ファインリードは、ニフコYRP防爆実験棟内の風のプロムナードの化粧打放し壁に適用された。最長で12.3mある化粧打放し壁計6枚にはひび割れ誘発目地の設置がなく、また開口部を有しており、高いひび割れ抵抗性が要求された。このため、ファインリードが採用された。実工事では、粗骨材に石灰石が使用されているレディーミクストコンクリート工場が選定され、試し練りで目標の無収縮性が再現できることが事前に確認された。コンクリート打込み後17ヶ月経過後においても、開口部を含めた壁にひび割れの発生がないことが確認されている。

今後は、ファインリードを特殊形状の建物や化粧打放し仕上げ建物等、高いひび割れ抵抗性が要求される建物への展開を推進し、RC建築物の躯体品質の向上に貢献していきたいと考える。

### 参考文献

- 1) 小林竜平, 井上和政, 本間大輔他: ハイブリッド高性能AE減水剤と膨張材を併用した無収縮タイプコンクリートのひび割れ抵抗性に関する検討 (その1~3), 日本建築学会大会学術講演集 (関東), pp.23-28, 2014.9
- 2) 小川亜希子, 井上和政, 佐藤敏之他: 無収縮タイプコンクリートの化粧打放し壁への適用 (その1~2), 日本建築学会大会学術講演集 (九州), pp.155-158, 2016.8

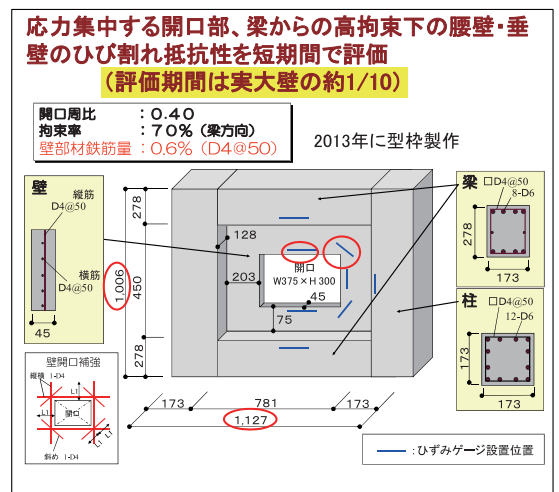


Fig. 5 1/4模擬部材の概要  
Outline of 1/4 size mock-up



Photo 1 ニフコYRP風のプロムナード  
Nifco YRP wind promenade



## 2.4 プレキャスト用超速硬コンクリート「ハイファード」 Ultra Rapid Hardening Concrete “Hyphard”

小島 正朗 Masaro Kojima\*1

鉄筋コンクリート工事の生産性向上には、プレキャスト工法の採用による現場省力化が有効である。しかしプレキャスト工法は、在来工法に比べて割高感があり、広く普及しているとはいえない状況にある。本節では、プレキャスト工法の適用拡大を狙いとして、プレキャスト部材の生産性向上2～3倍を実現し、プレキャスト部材の製造原価低減や生産量の確保、山積み平準化に効果を発揮する、プレキャスト用超速硬コンクリート「ハイファード」の概要を述べる。

### 2.4.1 背景

日本の総労働人口が減少するなか、建設技能労働者も深刻な人手不足に陥り、特に型枠工と鉄筋工不足が深刻化することが予想されている。一方で、建築工事の短工期化に対しては根強いニーズがある。超高層鉄筋コンクリート造集合住宅のように、工期が厳しく、一般階の繰り返しが多い建種では、在来工法より割高感があっても工期優先でプレキャスト工法が採用されることが多いが、部分的であったりと限定的な適用であることが多い。実際に、日本国内のプレキャスト化率は13%程度であり、ヨーロッパ各国の23～49%に比べると格段に低い<sup>1)</sup>。2020年東京オリンピック・パラリンピックや、旺盛になりつつある建築需要もあり、2020年に向けては、国内工場設備ではプレキャスト製品の供給が逼迫する可能性もある。

このような背景のもと、鉄筋コンクリート工事の実産性向上に有効なプレキャスト工法のさらなる適用拡大を図ることを狙いとして、プレキャスト部材の生産性を2～3倍と飛躍的に高め、プレキャスト製品の製造原価低減、あるいは、供給確保を目的に、一日に2～3サイクル製造が可能となる、ローコスト超速硬コンクリート「ハイファード」を開発している。

### 2.4.2 ハイファードの技術概要

ハイファードは、Fig. 1に示すように、コンクリートの打込みから3～4時間で、脱型・吊上げに必要な強度を発現する超速硬コンクリートである。通常のコンクリートでは、硬化する翌日まで養生が必要なため1日に1サイクル製造なのに対し、ハイファードを採用すれば、1日に2サイクル以上のプレキャスト部材の製造が可能となり、プレキャスト部材の生産性を大幅に高めることができる。

ハイファードの超速硬性は、電気化学工業(株)と共同開発した無機塩系材料とカルシウムサルフォアルミネートを含む速硬性混和材を少量添加し、プレキャスト部材の断面サイズに応じて独自の蒸気養生を行うことで実現している。その他の品質は一般のコンクリートと同等<sup>2)</sup>であり、経済性は従来の超速硬コンクリートに比べて優れている。

版状の薄部材および柱梁等の厚部材を蒸気養生したときの、温度履歴と強度発現履歴の例を、それぞれFig. 2, Fig. 3に示す。季節や部材厚に応じて適切な蒸気養生を行うことで、3～4時間で脱型・吊上げに必要な強度を発現させることができる。

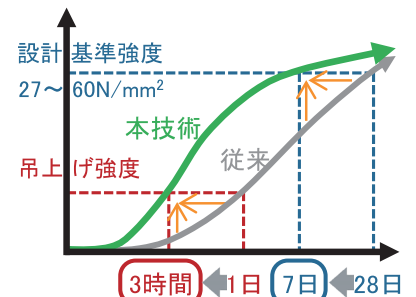


Fig. 1 ハイファードの強度発現イメージ  
Strength expression image of Hyphard

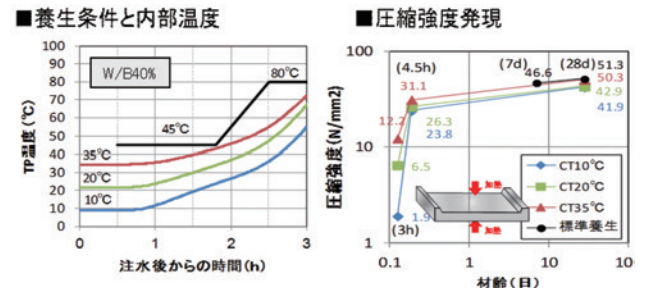


Fig. 2 薄部材に適用した場合の温度条件と強度発現  
Temperature condition and strength development (thin members)

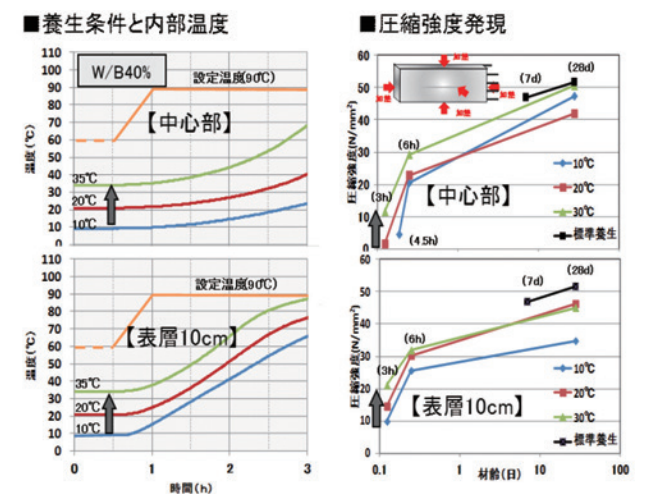


Fig. 3 厚部材に適用した場合の温度条件と強度発現  
Temperature condition and strength development (thick members)

\*1 技術研究所 建設材料部 構造材料グループ長 Group Leader, Research & Development Institute

### 2.4.3 効果

ハイファードの特徴と適用メリットは以下の通りである。

- ①型枠の脱型・吊上げに必要な圧縮強度を、3～4時間で確保できるため、1日複数サイクル製造が可能（従来は1日）（Fig. 4）
- ②設計基準強度に達するまでの期間を、7～28日に短縮できる（従来は28～91日）
- ③製造開始から取り付け完了までの期間を短縮でき、大幅な期間短縮が可能（Fig. 5）
- ④従来の緊急補修用の超速硬コンクリートと同等の速硬性と、建築用に適した高品質と経済性を兼備

ハイファードは、一般的なプレキャストコンクリート工場の設備で適用することができ、プレキャスト化が可能な建築物全般に適用が可能である。あらかじめ、プレキャスト工場の使用材料を用いて、養生条件と強度発現性に関する基礎データを取得しておくことで、設計基準強度が27～60N/mm<sup>2</sup>までのプレキャスト部材を製造することができる。なお、1日に複数回転の製造を行うことから、複雑な型枠と鉄筋で、コンクリートの打込みまでに長時間を要するプレキャスト部材には適していない。

### 2.4.4 適用事例

Fig. 6にプレキャスト部材（版状部材）の製造工程の例を示す。

①組み立て済みの鉄筋を、銅製の底型枠の上にセットし、側型枠を組み立てる（複雑な部材でなければ、1時間程度で完了）。②ハイファードを型枠内に打ち込む。従来と同等のワーカビリティであり、打込み作業はスムーズに行うことができる。③蒸気養生温度を管理しながら蒸気養生を行う。練り混ぜ後約3～4時間で、吊り上げに必要な強度（一般的に12N/mm<sup>2</sup>）に達する。④銅製型枠を取り外し、部材の温度または強度確認用供試体の圧縮強度を確認した後、プレキャスト部材を吊り上げて他の場所へ移動する。プレキャスト部材には急激な乾燥・温度低下を防止するための養生を行う。型枠を清掃し、次の製造サイクルとして①鉄筋・型枠組立を行う。

Photo 1に、ハイファード適用例の愛知県の観覧場を示す。本プロジェクトでは、客席段床パネル約800枚にハイファードを適用し、1日2サイクル製造とすることで、当初計画に比べ型枠数を減らしたうえ、プレキャスト部材の製造期間を約2カ月短縮することができている。

鉄筋コンクリート工事に携わる建設技能労働者が減少するなかで、高品質な躯体を構築するとともに、生産性向上を図っていくためには、プレキャスト工法の適用拡大が必須と考えられる。コンクリートの性能、機能を変革する技術開発を通じて、さらなるプレキャスト工法の適用拡大を促進し、鉄筋コンクリート工事の生産性向上に貢献していきたい。

### 参考文献

- 1) (社)日本コンクリート工学協会：プレキャストコンクリート製品の設計と利用研究委員会報告書，p.12，2009
- 2) 建築技術性能証明（一般社団法人 日本建築総合試験所，GBRC 性能証明第13-22号，2014.1.22）

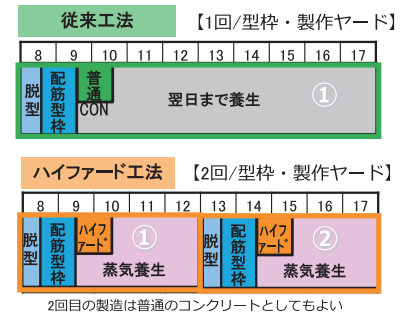


Fig. 4 プレキャスト部材の製造工程  
（上：従来工法，下：ハイファード工法）  
Manufacturing process of precast member (Above: conventional concrete, below: hyphard)

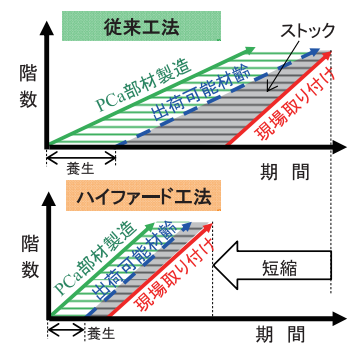


Fig. 5 プレキャスト部材の製造と現場取り付けの工程  
Production of precast members and on-site installation process

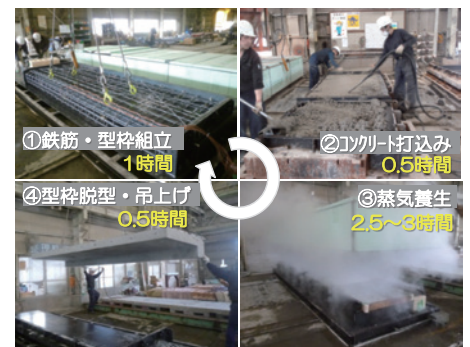


Fig. 6 プレキャスト部材の製造工程  
Production process of precast member



Photo 1 適用例 やわらぎ森のスタジアム  
Application example: Yawaragi forest stadium



## 2.5 伝統木造建築用超塑性Zn-Al合金制振ダンパー

### Superplastic Zn-Al Alloy Seismic Damper for Traditional Wooden Structures

井上 泰彦 Yasuhiko Inoue\*1 檜部 淳道 Atsumichi Kushibe\*2

伝統木造建築において、建物の外観・内観などの伝統様式を損なわず、限られたスペースで効率的に耐震性能を向上させる技術が求められている。このような背景から、伝統様式の構造的特徴である貫架構の仕口部に設置可能な、小型、軽量かつ可搬性・施工性にも優れた伝統木造建築用超塑性Zn-Al合金制振ダンパーを開発した。本節では、伝統木造建築用超塑性Zn-Al合金制振ダンパーの概要を述べる。

#### 2.5.1 背景

寺院、神社など伝統構法による木質建造物の耐震補強や新築・増改築建物の耐震設計を行う場合、在来工法である構造用合板壁や筋交いの増設等による方法では、建物の外観・内観などの伝統様式を損なうという課題がある。また、伝統木造建築は元来、変形性能に富んだ架構であり耐震性能を有するが、これらの補強ではその特性を活かしきれない。以上より、構造用合板壁や筋交いの増設を最小限に抑え、限られたスペースで効率的に耐震性能を向上させる技術が求められている。

本課題に対して、Fig. 1に模式的に示すように、伝統木造建築の構造的特徴である貫架構の仕口接合部に制振ダンパーを設置することで、建物の外観・内観などの伝統様式を損なわず、耐震性能を向上させることを目指した。

制振材料として、金属由来の剛性、物性安定性と共に粘弾性体並みのエネルギー吸収能力を有する室温超塑性Zn-Al合金を用いて、柱・貫の仕口接合部に設置可能な、小型、軽量かつ可搬性・施工性にも優れた伝統木造建築用超塑性Zn-Al合金制振ダンパーを開発した<sup>1)</sup>。

#### 2.5.2 室温超塑性Zn-Al合金の概要

制振材料に用いた室温超塑性Zn-Al合金は、亜鉛が78重量％、アルミニウムが22重量％から構成される合金であり、鋳塊にTMCP（Thermo-Mechanical Control Process）処理と呼ばれる特殊な加工熱処理を施すことにより金属組織をナノメートルオーダーまで微細化することで、通常は高温域でしか発現しない超塑性特性が室温でも発現することに特徴がある。Photo 1にZn-Al合金の引張試験前後の試験片を示す。本合金は、一般的な鋼材と異なり、延性が非常に大きく、均一で大きな伸びが室温でも得られる。Fig. 2に本合金の累積塑性ひずみに対する最大応力の変化を極低降伏点鋼（LY100）と比較して示す。本図に示すように、本合金はLY100に比べ加工硬化が少なく累積塑性ひずみに対する応力変化が安定しており、繰り返し変形に対して性能が極めて安定しているという優れた特徴を有する。したがって、本合金を用いた制振ダンパーは一度地震により塑性変形を生じても、発生応力がほとんど変化せず、設計当初の性能を維持しやすいメリットがある。

#### 2.5.3 超塑性Zn-Al合金制振ダンパー

開発した伝統木造建築用超塑性Zn-Al合金制振ダンパーの形状および取付状況の例をPhoto 2に示す。本ダンパーは超塑性Zn-Al合金部材および取付金物により構成され、伝統木造建築の柱・貫の仕口部に取付ける仕様である。地震時に木造架構が曲げ変形することで生じる仕口部の角度変化によりZn-Al合金部に変形が導入され、地震エネルギー

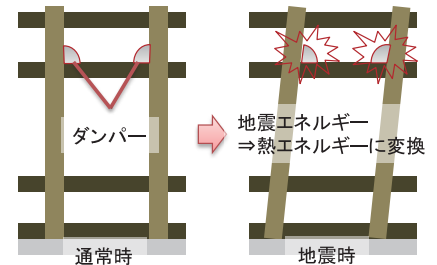


Fig. 1 貫架構におけるダンパー機能模式図  
Schematic diagram of seismic damper installed 'Nuki joint'



Photo 1 超塑性Zn-Al合金の延性  
Ductility of superplastic Zn-Al alloy

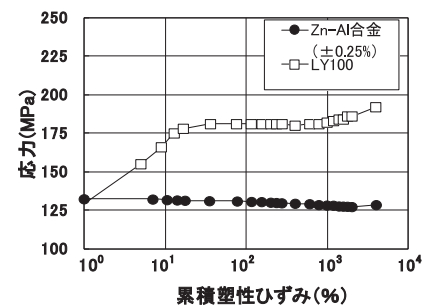


Fig. 2 累積塑性ひずみと応力の関係  
Relationship between cumulative inelastic strain and stress



Photo 2 伝統木造建築用超塑性Zn-Al合金制振ダンパーの取付状況  
Superplastic Zn-Al alloy seismic damper

\*1 技術研究所 研究主任 Associate Chief Researcher, Research & Development Institute

\*2 技術研究所 建設材料部 先端材料グループ長 博士(工学) Group Leader, Research & Development Institute, Dr. Eng.



を吸収する。

本制振ダンパーは、柔かい木造架構の特性にあわせて円弧形状に設計し、周囲の木部材に対してスムーズに変形追従できるようにした。さらに、曲げダンパーとすることで面外座屈を抑制し、座屈補剛部材を不要とした。これにより、低コスト、シンプルかつコンパクトなダンパーを実現した。ダンパーと取付金物はピン接合とし、ダンパーの変形を阻害せず均一な曲げ変形が得られ、取付金物は柱と貫にボルト接合で簡易に施工できる。

伝統木造建築用としてZn-Al合金制振ダンパーは、Photo 3に示すR80タイプダンパーとR145タイプダンパーの2種類あり、それぞれ柱と貫の仕口部のディテールによって使い分ける。R145タイプは、Photo 3からも見られるように楔を有する柱-貫の仕口部においても楔の打ち直し・交換も可能なディテールとしている。なお、R80タイプとR145タイプダンパーは履歴特性値が概ね同様となり、極めて稀な地震時を想定したときの架構内に設置した制振ダンパーの変形角が $1/20\text{rad}$ 以下となる範囲で安定的に使用できるように設計し、性能確認を実施している。

#### 2.5.4 伝統木造架構による実大性能評価の一例

本制振ダンパーの振動低減効果を把握するために、建築基準法告示適合波（設計用極稀地震波）入力による伝統木造軸組架構の振動実験を実施した。Photo 4に示す屋根の重さを模擬した40kNの錘を乗せた実大サイズの伝統木造架構（2,000mmW×4,630mmH）を振動台上にセットし、極稀地震波をさらに125%に増幅した波を120秒間入力し、Photo 4中の丸印4箇所へのダンパー設置の有無による振動低減効果を評価した。Fig. 3に本振動試験から得られた層せん断力-層間変形角関係を示す。ダンパーの設置は木造架構の剛性と耐力向上、層間変形角の低減（振動低減）に大きく寄与することがわかる。また、ダンパーの設置により、変形角 $0\text{rad}$ 近傍における復元力を付加できており、木造架構のスリップ挙動を抑制できている。

#### 2.5.5 適用事例

本制振ダンパーは、Photo 5に示す「椿山荘三重塔」、「身延山久遠寺法喜堂」、「堀之内妙法寺本堂」等の耐震・補強工事に適用されている。本制振ダンパーの適用により、従来工法と同程度のコストで、壁や筋交の増設箇所を大幅に減らすことができ、耐震性能を向上させつつ、伝統様式の外観・内観の維持を実現した。さらに、本技術について第三者機関の建築技術性能証明の取得など標準化も進んでおり、今後も広く展開を図りたい。

#### 参考文献

- 1) 井上泰彦, 櫛部淳道, 栗原嵩明, 花井厚周, 青木和雄, 高木敏晃, 楠寿博:「伝統木造建築用超塑性Zn-Al合金制振ダンパーの開発」, 日本建築学会技術報告集, 第41号, pp.125-130, 2013年2月



Photo 3 ダンパーの種類  
(R145タイプ, R80タイプ)  
R145 type and R80 type damper



Photo 4 振動実験の試験体（ダンパー4体設置）  
Wooden frame specimen with dampers

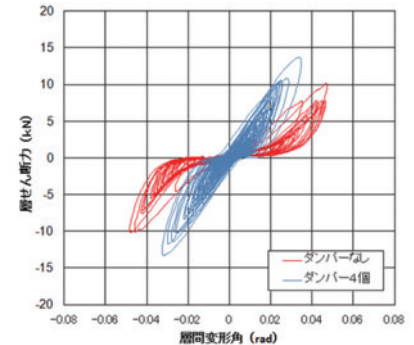


Fig. 3 層せん断力-層間変形角関係  
Relationship between story shear force and story drift angle



椿山荘三重塔



身延山久遠寺法喜堂



堀之内妙法寺本堂

Photo 5 代表的な適用事例  
Application to Traditional Wooden buildings

## 2.6 長周期・長時間地震動対策を可能としたFe-Mn-Si系合金制振ダンパー

### Fe-Mn-Si Based Alloy Seismic Damper with Superior Fatigue-Resistance for Long-Period Earthquakes

榑部 淳道 Atsumichi Kushibe\*<sup>1</sup> 井上 泰彦 Yasuhiko Inoue\*<sup>2</sup>

従来の大地震対策に加えて、大振幅かつ多数回の繰返し変形が生じる長周期・長時間地震動への対策も必要とする建物では、より高い安心・安全技術が求められている。制振構造物に利用される制振ダンパーの要求性能も高まる傾向にあり、地震時の繰返し変形に対する耐久性が重要な性能指標となっている。筆者らは、国立研究開発法人物質・材料研究機構、淡路マテリア(株)と共同開発に着手し、既存の鋼材系制振ダンパーに用いられている低降伏点鋼と比較して疲労耐久性を約10倍に高めた独創的なFe-Mn-Si系合金（鉄にマンガンとケイ素を加えた合金）を創出し、その大型部材の量産技術を確立するとともに、それをせん断パネルに用いて長周期・長時間地震動対策に適用可能な世界初の鋼材系制振ダンパーを開発し、2014年に初適用した。本節では、本制振ダンパーの概要を述べる。

#### 2.6.1 背景

超高層建物など、長周期・長時間地震動への対策も必要とされる建物では、制振ダンパーに対する繰返し変形の程度や頻度が増加するため要求性能が飛躍的に高くなる。このため、低コスト、耐荷重の大きさ、高剛性などの観点から最も汎用的に使用されてきた低降伏点鋼を用いた鋼材系制振ダンパーの金属疲労に対する耐久性の課題が議論されるケースが増加している。しかしながら、剛性と減衰のバランスに配慮した合理的かつ経済性が高い制振建物を実現するうえで、鋼材系ダンパーは、制振構造物の設計上欠かすことはできない。そこで、鋼材系制振ダンパーでありながら長周期・長時間地震動の対策技術としても適用可能な疲労耐久性を有する鋼材系の制振ダンパーを開発し、設置階の耐震性能余裕度を大幅に向上させることを目指し、素材の基礎研究段階から取り組んだ。

#### 2.6.2 Fe-Mn-Si系新合金の概要

既存の低降伏点鋼材をはるかに上回る疲労耐久性を得るための新合金開発にあたり、従来と異なる全く新しい発想が求められた。筆者らは、弾塑性変形における各種鉄鋼材料の変形メカニズムを調査し、Fe-Mn-Si系の鉄基形状記憶合金の変形メカニズム、「応力誘起マルテンサイト変態」を応用すれば疲労耐久性を改善できる可能性があることに着目した。Fig. 1に示すように、低降伏点鋼などの普通鋼材とは異なり、鉄基形状記憶合金の塑性変形様式は、相変態による結晶構造変化によって進行し、加熱すれば逆変態により形状が回復する。筆者らはこの変形メカニズム検討の過程で、Fig. 2に示すように形状記憶合金の可逆的な結晶構造変化が、変形後の加熱のみでなく、外力の反転（引張→圧縮）によっても生じることを初めて発見した<sup>1)</sup>。継続的な研究により、この現象の利用に適した合金の組成は、形状記憶効果が高い合金とは異なることもわかり、その結果、Fig. 3に示すように従来鋼に比べ疲労耐久性10倍の量産型Fe-15Mn-4Si-10Cr-8Ni合金（以下、FMS合金と呼ぶ）の開発に成功した<sup>2)</sup>。独自の低Mn組成合金の開発により、ステンレス鋼などの合金鋼の実生産に用いられているアーク電気炉溶解が可能となり、制振ダンパーの実現に必要な不可欠な大型素材の製造技術を確立している。

#### 2.6.3 FMS合金制振ダンパーの概要

開発した制振ダンパーは、心材（エネルギー吸収部材）に使用したFMS合金の弾塑性せん断変形により制振効果を発揮する、いわゆるせん断パネル型制振ダンパーである。ダンパーの分担荷重は想定最大変形角1/25rad時に約4,000kNとして設計しており、鋼材系ダンパーのなかでも最大級の荷重を負担できる。本制振ダンパーの外観をFig. 4に示す。

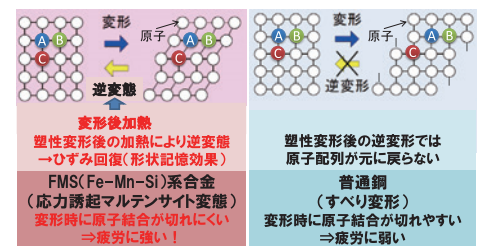


Fig. 1 鉄系形状記憶合金の変形メカニズム  
Deformation mechanisms of Fe-Mn-Si based shape-memory alloy

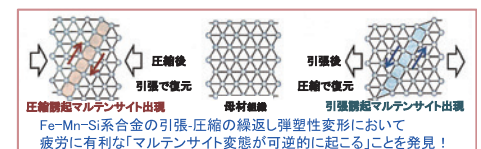


Fig. 2 開発した新FMS合金の変形メカニズム  
Deformation mechanisms of developed new Fe-Mn-Si based alloy

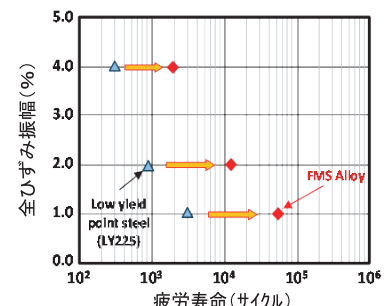


Fig. 3 FMS合金の低サイクル疲労特性  
Low-cycle fatigue properties of FMS alloy

\*1 技術研究所 建設材料部 先端材料グループ長 博士（工学） Group Leader, Research & Development Institute, Dr. Eng.

\*2 技術研究所 研究主任 Associate Chief Researcher, Research & Development Institute



本合金の素材の耐疲労性能を最大限発揮することに配慮し、心材への溶接を廃した構造としている。FMS合金心材は端部をR形状とすることにより、発生荷重、初期剛性等のコントロールを行うと同時に、大変形時における荷重伝達の要となる補剛板と心材とのボルト接合部が弾性範囲となるよう設計されている。心材の座屈補剛機構については変形中も心材の変形を阻害することなく、変形部を二重の補剛板(図中の内部補剛板と外部補剛板)により全面補剛し続ける従来のない独創的な座屈補剛システムを開発した。

## 2.6.4 FMS合金制振ダンパーによる性能評価の一例

一例として長周期・長時間地震動を想定した地震応答波入力試験について述べる。次項に示す適用建物に関して、長周期成分を多く含む約300秒の設計用地震波を用いた地震応答解析結果に基づき実施した。試験は実機の1/2サイズの試験体とし、Photo 1に示す加力システムを用いた。Table 1に示す順序で、極稀地震想定時およびそれを50%に低減した稀地震想定時にダンパー生じる変位の時刻歴波形を各3回ずつ入力し、FMS合金制振ダンパーの地震波応答性能とその安定性を評価した。Fig. 5に1回目(Step 2)および3回目(Step 6)の極稀地震波入力時の荷重-変形角関係を示す。本制振ダンパーは複数回の各種地震履歴を受けても発生荷重およびエネルギー吸収性能がほとんど変化せず、長周期・長時間地震動対策技術として十分な耐久性を確認した。

## 2.6.5 適用事例

Photo 2, 3およびFig. 6に、それぞれFMS合金制振ダンパーを初適用したJPタワー名古屋の外観、ダンパー設置状況、制振装置配置図(長手方向軸組図)を示す。本建物は高さ196mの超高層オフィスビルであり、固有周期5秒の長周期建物となる。災害時の事業継続を目標として、地震・暴風に対応した4種類の制振装置で構成したハイグレード制振建物である。FMS合金制振ダンパーは、2014年に同図に赤枠で示す低層階(1~4階)に計16基適用した。1~4階のせん断パネル部は階高が6.5~7.8mと一般階と比べて高いため、地震時に大きな変形が集中し、せん断パネルに大きなせん断変形が生じる。このため、原設計時の低降伏点鋼せん断パネルの疲労耐久性に関する余裕度が他の階に比べて著しく不足することが課題であった。該当箇所に長周期・長時間地震動を経験しても交換が不要な性能余裕度を発揮できるFMS合金制振ダンパーを適用することで疲労耐久性を飛躍的に向上させ、建物全体の耐震性能余裕度のバランスを改善し、複数回の大規模地震を経験しても十分な安全性を確保した制振建物を実現した。なお、本建物への適用にあたりFMS合金の製造体制・品質安定性等の審査を通して指定建築材料に関する国土交通大臣認定を取得している。

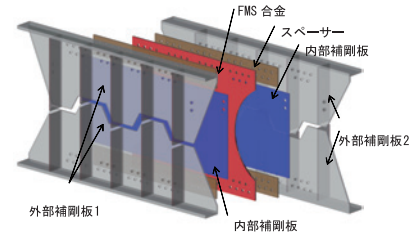


Fig. 4 FMS合金制振ダンパーの外観  
Appearance of FMS alloy shear panel type seismic damper

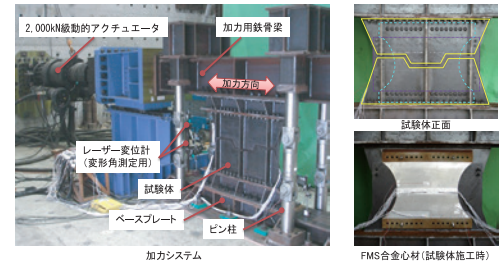


Photo 1 加力システムと試験体  
Force application system and test sample

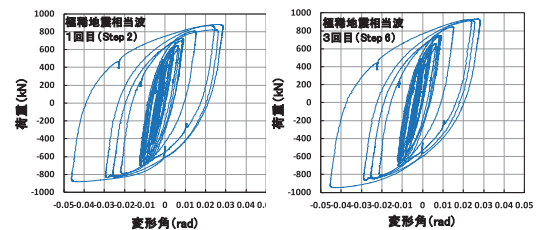


Fig. 5 荷重と変形角の関係  
Relationship between load and rotation angle



Photo 2 JPタワー名古屋外観  
Appearance of JP tower Nagoya  
写真撮影: (株) エスエス 名古屋支店



Photo 3 ダンパー設置状況  
Installation of FMS alloy damper

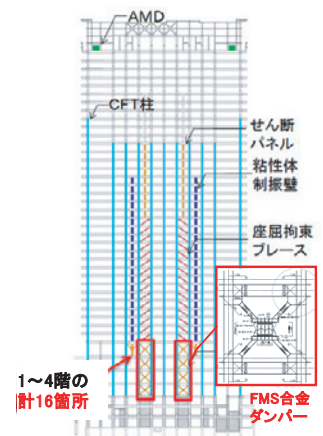


Fig. 6 制振ダンパー配置図  
Layout of seismic dampers

## 参考文献

- 1) T. Sawaguchi, P. Sahu, T. Kikuchi, K. Ogawa, S. Kajiwara, A. Kushibe, M. Higashino and T. Ogawa, *Scripta Mater.*, 54 (2006) 1885.
- 2) T. Sawaguchi, I. Nikulin, K. Ogawa, K. Sekido, S. Takamori, T. Maruyama, Y. Chiba, A. Kushibe, Y. Inoue and K. Tsuzaki, *Scripta Mater.*, 99 (2015) 49.



### 3 仕上げ等に適用する材料関連技術

#### Materials and Construction Technologies Applied to Finishing etc.

#### 3.1 有機系接着剤張りによる高耐久外装タイル張り工法「トータルフレックス工法」

##### Exterior Wall Tiling System with Organic Adhesives “Total Flex Method”

山本 正人 Masato Yamamoto\*1

有機系接着剤による外装タイル張り工法は、ゴム状弾性体である接着剤層が高い伸縮性を有するため、接着界面に発生する応力を低減できることから、タイルの剥離防止性能の高い工法として近年普及が進んでいる。一方、有機系接着剤でタイル張りを行う場合でも、コンクリート下地の不陸に対しては、伸縮性に乏しいモルタルで調整するのが一般的であり、伸縮性の高い接着剤でタイル張りを行っても、接着剤張りの剥離防止性能を十分に発揮できない懸念があった。

この問題を解消すべく、下地調整用セメントモルタルに置き換わり、セメントモルタルよりも伸縮性の高い有機系下地調整塗材を開発、その上にタイル張り用有機系接着剤を塗布しタイルを張り付ける工法「トータルフレックス工法」(以下、本工法)を開発した。下地調整塗材とタイル張付け材全体を弾性材料で構成し、接着剤張り工法が有する剥離防止性能を最大限に発揮する工法として2011年より実建物への適用を行い、2013年に一般財団法人日本建築センターより建設技術審査証明(BCJ-審査証明-209)を取得している。以下、本工法の概要と適用展開について述べる。

##### 3.1.1 技術概要

本工法の概要をFig. 1に示す。有機系下地調整塗材は、外装タイル張り用有機系接着剤と同じ液反応硬化形の変成シリコン樹脂系の下地調整塗材で、こて塗り作業性を高め、不陸調整用に開発した製品であり、JIS A 5557と同等の皮膜物性および接着強さを有する。下地調整塗材とタイル張付け材全体を弾性材料で構成することで、タイルの剥離・剥落を防止し、接着耐久性と地震時の安全性を高めた外装タイル張り技術である。

施工手順をPhoto 1に示す。本工法は、有機系接着剤によるタイル直張り工法である。タイル張付けに先立ち、下地コンクリートの目違い段差や不陸を有する箇所に、有機系下地調整塗材を塗り付けて平たんにする。有機系下地調整塗材の硬化後に、JIS A 5557(外装タイル張り用有機系接着剤)に適合する接着剤でタイルを張り付け、最後に、目地用既調合セメントモルタルにて目地詰めを行う。

##### 3.1.2 効果

従来、コンクリート壁にタイルを後張りする場合、型枠の段差・目違いや孕みによるコンクリート下地の不陸に対しては、不陸調整用のセメントモルタルで全面または部分的に調整塗りを行い、その上に、タイル張り用セメントモルタルでタイル張りする工法(以下、モルタル工法)が広く用いられている。モルタル工法は、正しく施工されれば長期耐久性を有するが、後述の理由から施工にあたり下地の目荒らし等が望ましく、セメントモルタルの薄付け部分や擦り切り部分においてはドライアウトによる硬化不良が生じる恐れがあった。さらに、構成材料のディファレンシャルムーブメント(相対歪み)が、各モルタル接着界面に経年的に繰返し作用することにより、結果として、外装タイル層の剥離・剥落の一因となる可能性があった。

一方、近年普及が進んでいる有機系接着剤による外装タイル張り工法(以下、接着剤張り工法)は、接着剤層が高い伸縮性を有するため変形追従性に優れ、接着界面に発生する応力を低減できることから、ディファレンシャル

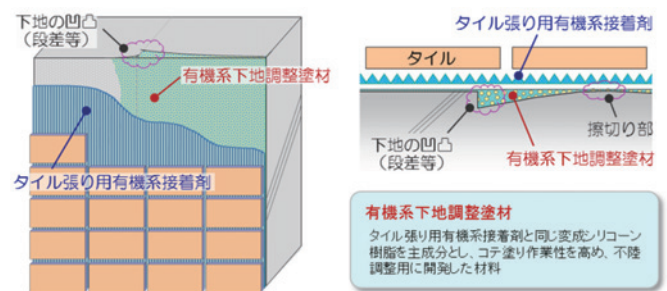


Fig. 1 トータルフレックス工法の概要  
Total Flex Method



Photo 1 本工法の施工手順  
Work procedure

\*1 技術研究所 主任研究員 Chief Researcher, Research & Development Institute

ムーブメントに起因するタイルの剥離・剥落が生じ難い。ただし、接着剤張りの場合でも、コンクリート下地の不陸に対しては、伸縮性に乏しいセメントモルタルで調整するのが一般的である。有機系接着剤が、不陸を調整するための下地材としては揺変性に乏しく、セメントモルタルに比べてこて塗り作業性が悪いことが、その理由である。そのため、モルタル工法と同様に、ドライアウトやディファレンシャルムーブメントに起因する問題を抱えることから、接着剤張り工法の剥離防止性能を十分に発揮できない懸念があった。

それに対し、本工法は、新たに開発した有機系下地調整塗材を用いて不陸の調整を行い、その上に、接着剤でタイル張りを行う。有機系下地調整塗材は、外装タイル張り用弾性接着剤をベースに組成調整を行って揺変性を付与しており、セメントモルタル同等にこて塗り作業性を高め、不陸調整を可能としている。下地調整材とタイル張付け材全体を弾性材料で構成することから、本工法は、従来のモルタル工法、及び、セメントモルタルで下地調整を行う接着剤張り工法と比較して、以下の特徴を有する。

- ・接着剤層（有機系下地調整塗材を含む）の伸縮性能が大きく、各接着界面にディファレンシャルムーブメントにより生じるせん断応力を緩和するので、繰り返し疲労による接着力低下が生じ難く、耐疲労性に優れる。また、変形追従性に優れることから、地震時の構造体の動きに対しても、タイルのひび割れや剥離・剥落が生じ難い。
- ・一液湿気硬化型の材料であるため、現場での調合作業がなく、安定した施工品質を確保できる。
- ・水硬性材料ではないため、薄塗りや擦り切り等の施工でも、下地の吸水性や養生環境に左右されることなく、所定の硬化物性を得られる。
- ・平滑なコンクリート下地に対しても接着性が得られることから、機械的な目荒しを必要としない。
- ・下地調整およびタイル張り付けにセメントモルタルを使用しないため、エフロレッセンス（白華）に起因する美観低下を生じ難い。

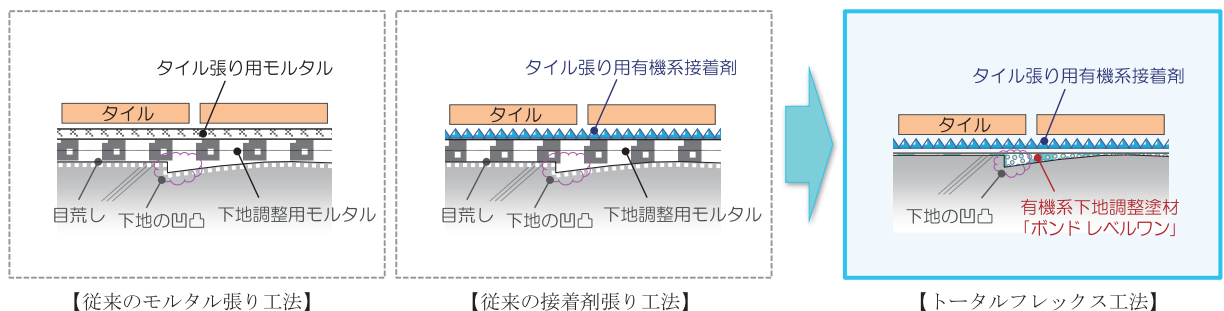


Fig. 2 既存技術との対比  
Contrast with existing technology

### 3.1.3 適用展開

本工法は2011年の初適用以降、2017年3月現在まで160件以上（適用面積約22万 $\text{m}^2$ ）の実建物に適用している。有機系下地調整塗材という新たな材料概念を導入したことにより、下地調整を含めたタイル張り層全体を弾性材料で構成することが可能となり、接着剤張り工法が有する剥離防止性能を最大限に発揮できる工法仕様を確立した。本工法が先鞭となって業界内で追随が進んでいる状況であり、有機系下地調整塗材については、2015年に日本接着剤工業会規格 JAI18（外装タイル張り用有機系下地調整塗材）として標準化され、今後の更なる普及が期待される。



Photo 2 トータルフレックス工法の適用事例  
Buildings adopted Total Flex Method

### 参考文献

- 1) 山本正人, 岡本肇, 高橋弘, 松原道彦, 鈴木貴大, 楠木孝治, 本橋健司: 有機系下地調整塗材及びこれを用いた外装タイル接着剤張り工法の開発と適用, 日本建築学会技術報告集, 第54号, pp.385-390, 2017.6

## 3.2 タイル再利用技術「モルトール」 Tile Renovation Technology “Mortoru”

吉田 真悟 Shingo Yoshida\*1

建築物の内外装材としてよく使用されるタイルについて、古い建物のタイル裏面に付着しているモルタルを酸で溶解させて除去することで、タイルを綺麗に再生する技術「モルトール」を開発した。モルトールを活用することで、古い建物のタイルを色や風合いを変えることなく再生でき、美観を損ねないタイルの部分張替えや、歴史的建築物など文化的価値の高い建物の保存・復元が実現できる。本節では、タイル再利用技術「モルトール」の概要を述べる。

### 3.2.1 背景

タイルは一般的に建築物の内外装材として用いられる主要な構成部材であり、これらを使用する建築物を解体する際には多くの廃タイルが発生する。タイルは高温で焼成されるセラミックスで耐久性が非常に高い材料のため、解体時においてもタイル自体はほとんど劣化していないケースが多い。しかし、廃タイルのほぼ全量が産業廃棄物として埋立処分され、タイルの資源循環は全く進んでいない状況である。これは、廃タイルの裏面に、



Photo 1 廃タイル裏面の様子  
Attaching mortar to old tile



Photo 2 新旧タイル色違いの例  
Example of color differences in tile

張付ける接着剤として用いていたモルタルが強固に付着しており、そのままでの再利用が難しいためである（Photo 1）。

一方、タイルを外装材とする建物では、タイルが割れてしまった際の部分的張替えに類似の新品タイルを用いることにより、張替えたタイルの色違いが目立ってしまい、建物外壁の美観を損ねてしまう場合がある（Photo 2）。廃タイルをうまく再生できれば、このような色違いを無くせる上、歴史的建築物など文化的価値の高い建物の保存・復元や、愛着のある建物を建て替える際の新しい建物へのデザイン価値の継承等にも活用できると考えた。

### 3.2.2 コンセプト

モルトールのコンセプトをFig. 1に示した。タイルは1,000℃以上の高温で焼成されるセラミックスでできており、高い耐酸性を有する。一方、タイルをコンクリート等に張付ける接着剤として用いられるモルタルは、珪砂などの骨材とセメントの混合物を水で練り混ぜて固めたものであり、酸に溶解する性質を持つ。モルトールは、タイルとモルタルの耐酸性の違いを利用し、塩酸浸漬によりモルタルのみを溶解させて、タイルからモルタルを除去する。物理的なプロセスでは、タイルの裏足に入り込んだモルタルは除去し難いが、モルトールは化学的なプロセスのため、凹面に入り込んだモルタルまで綺麗に除去することができる。

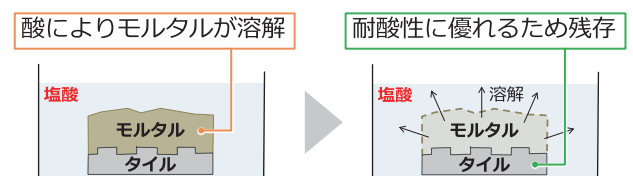


Fig. 1 モルトールのコンセプト  
Concept of mortoru

### 3.2.3 プロセス

モルトールのプロセスをFig. 2に示した。古い建物の外装から剥がしたタイルを4%程度の濃度（工業用塩酸10倍希釈程度）の塩酸に浸漬する。裏面についたモルタルの厚みにもよるが、2～4週間程度、塩酸浸漬槽の中にタイルを静置する。次に、タイルを塩酸浸漬槽から取り出し、裏面に残っているモルタル残渣を皮スキ等で除去する。



Fig. 2 モルトールのプロセス  
Process of mortoru

通常、十分に塩酸との反応が進んでいれば、セメント分は溶解し骨材分しか残っていないため、モルタル残渣は

\*1 技術研究所 研究主任 Associate Chief Researcher, Research & Development Institute



力をかけずに軽くこすれば除去できる程度に、組織が崩壊した状態となる。最後に、モルタルと塩酸との反応で生じた塩分（塩化カルシウム）を除去するために、水浸漬による洗浄を行う。塩分がタイルに残っていると、再度タイルを接着する際に接着阻害を起こすため、水浸漬による洗浄は重要な工程である。塩酸浸漬と同量程度の水に2～4週間程度、週に1回程度で水を変えながら水浸漬を行う。

### 3.2.4 性能評価

モルツール開発にあたり、実在する8つの建物からタイルを剥がして塩酸浸漬を行い、①タイルの変色等がないこと、②タイル裏面のモルタルが綺麗に除去できること、③モルツールによる再生でタイルの接着性を阻害しないことを試験により確認している。Table 1に一例を示すが、8つの建物の全てのタイルについて、未処理品と比べて特に変色等は起こらず、色や風合いを変えない再生が可能であった。タイル裏面のモルタルも、全てのタイルで2～4週間ほどでモルタルが溶解し、綺麗な除去が可能であった。モルツールで再生したタイルを建築外装用として一般的に使用される変成シリコン・エポキシ樹脂系接着剤でコンクリート面に接着し、引張接着試験を行った結果をFig. 3に示す。A～Hの全ての建物のタイルにおいて、安定した接着強さを示し、凝集破壊率は100%となり、非常に良好な接着性が確認できた。

### 3.2.5 適用事例

歴史的建築物として道民に親しまれてきた北海道庁立図書館を、菓子店「北菓楼 札幌本館」に改築する工事にモルツールが適用されている。この建物は約90年前に建造された歴史的建築物で、札幌北1条通りのランドマークとして広く親しまれてきた。「北菓楼 札幌本館」として生まれ変わるにあたり、建造当時の外観を可能な限り保存・修復し、歴史的価値を継承することを基本方針として工事を進めた。通りに面した南側、西側の外観は、タイル張りを基調とした歴史的価値の高いデザイン様式であるが、タイルのひび割れ等の経年劣化が生じていた。解体する北側の壁面から採取した約1,000枚のタイルを、モルツールにより風合いを損ねることなく再生し、保存する南側、西側の修繕に使用した。モルツール処理前後のタイルの様子をPhoto 3に、修繕した箇所をPhoto 4に示した。モルツールにて再生したタイルを使用して、修繕を実施したことにより、通りに面した南側、西側の外観の風合いを全く変化させることなく、新しい建物にデザイン価値を継承することができた。

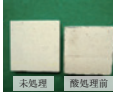
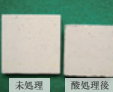
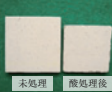
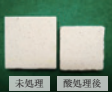




今後も、本技術の適用を進めることを通じて、循環型社会の形成に貢献していきたい。

### 参考文献

- 1) 吉田真悟, 森田翔, 鈴木貴大, 松原道彦, 山本正人, 高橋拓: 酸を用いるセラミックタイルの再利用工法の開発, 日本建築学会技術報告集, 第55号, pp.783-788, 2017.10

Table 1 タイルの塩酸浸漬試験結果

Results of tile hydrochloric acid immersion test

	初期	1週間後	2週間後	最終
表面				
裏面				

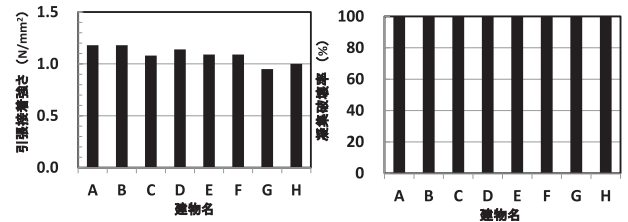


Fig. 3 引張試験結果 (左: 引張強さ, 右: 凝集破壊率)  
Result of tensile test



Photo 3 処理前後のタイル  
Tiles before and after processing

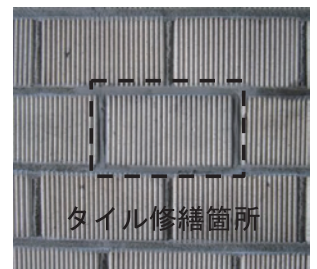


Photo 4 修繕箇所  
Repair spot



Photo 5 北菓楼札幌本館  
Kitakaro Sapporo Honkan

### 3.3 中性化抑制塗装工法「アクリセプト工法」

#### Thin Coating System “ACRYCEPT” Featuring Tremendous Performance Preventing Carbonation

井原 健史 Takeshi Ihara\*1

薄膜でありながら高度な中性化抑制性を有する塗装工法であるアクリセプト工法を開発した。アクリセプト工法を適用することで、建物の中性化の進行を高度に抑制し、長寿命化を達成できる。また、経年での塗替時に中性化に伴うさび汚れ、爆裂などに対する補修労力を低減して、ライフサイクルコスト低減が可能となる。さらに、中性化抑制を意図した厚膜の塗り材と代替することで、使用材料を低減して低炭素化へも貢献できる。以下に、開発した塗装工法の概要を述べる。

#### 3.3.1 開発の背景

鉄筋コンクリート（RC）造は建築の構造形式として主流であり、その塗装仕上げも非常に多い。RC造の耐用年数はコンクリートの中性化が鉄筋位置まで進行した時点とされるため、緻密なコンクリートの使用、仕上げ材の適用などを行い、炭酸ガスの拡散を抑制して、長寿命化が図られる。ここで、塗装仕上げの場合、硬化膜厚が約1～2mm程度の厚膜の塗装（仕上塗材や塗膜防水材等）は中性化抑制性を有するものの、意匠が限定されること、また厚膜ゆえに材料由来のCO<sub>2</sub>負荷が多いという課題がある。以上を鑑みて、0.2mm厚程度の薄膜でありながら、炭酸ガスの侵入を高度に低減して中性化を抑制できるアクリセプト工法を開発した。

#### 3.3.2 アクリセプト工法の技術概要

アクリセプト工法は一般的な塗装仕様に従う。特徴的な点は、下塗り、中塗り、および上塗りで構成される工程のなかで、中塗りにおいて、新規に開発した水系1液のガス遮断塗料を用いることにある。ガス遮断塗料の硬化塗膜は、Photo 1の通り、ナノサイズの間隔を有する積層した膨潤性層状珪酸塩鉱物を含有している。この鉱物が、気体の見かけの透過経路を長くすることで、炭酸ガスの透過量を極小化して、中性化抑制性を発現する。下塗りと上塗りは、従来の塗料を用いるため、高耐候性、低汚染性、付着性などといった従来の塗装の機能に中性化抑制性を付与することができる。ガス遮断塗料の硬化塗膜は薄膜かつ透明の塗膜であり、透明または着色の塗装に応用できる。アクリセプト工法の標準仕様においては、Photo 2に示す通り、エナメル塗装とクリヤ塗装の2種類の塗装仕様を選択できる。

#### 3.3.3 効果

中性化抑制効果の比較例をFig. 1に示す。建築用の塗装の中で最良の中性化抑制性を示す塗膜防水材塗りと比べて、アクリセプト工法は、1/10程度の膜厚にも関わらず、同等の中性化抑制効果を有する。また、従来のクリヤ塗装（従来1～4）と比べると、中性化の進

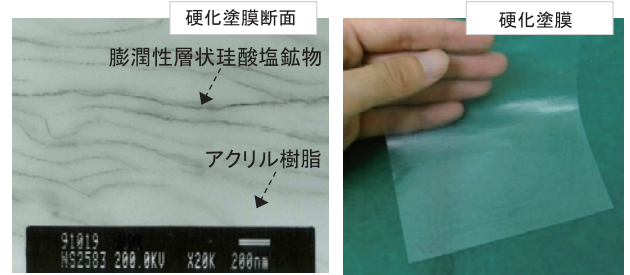


Photo 1 ガス遮断塗料の硬化塗膜  
The Newly developed coating film with the function of gas penetration barrier due to stacked nano scale clay

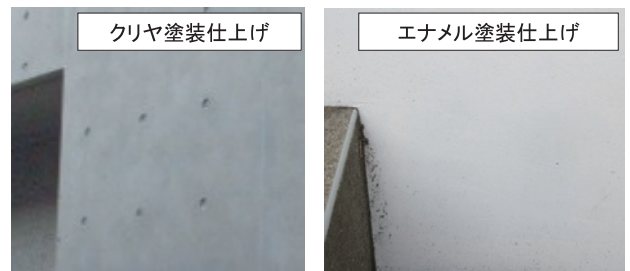


Photo 2 アクリセプト工法の仕上げ面  
Finishing patterns of ACRYCEPT

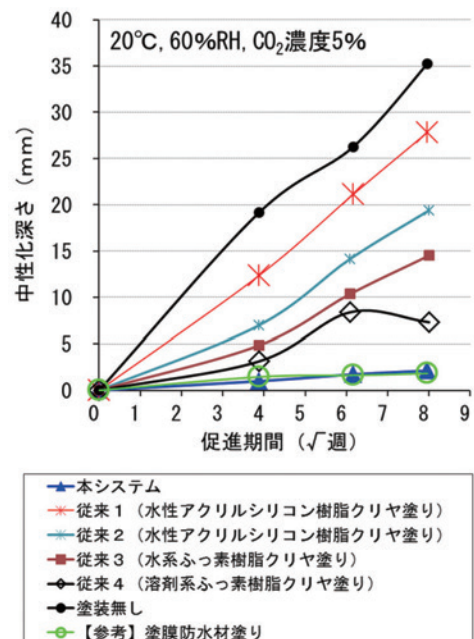


Fig. 1 中性化抑制効果の比較例  
Comparison of carbonation resistance performance

\*1 技術研究所 主任研究員 Ph.D. Chief Researcher, Research & Development Institute, Ph.D.



行を1/5～1/10程度に抑えることができる。なお、従来4のように、溶剤系塗料の場合は、コンクリートに浸透・残存した溶剤成分が炭酸ガスの拡散を妨げて、中性化は単調に増加しない場合があるので、長期間のデータを用いて判断する必要がある。従来のクリヤ塗装は、意匠を重視する化粧打放しコンクリート面に頻繁に適用されるものの、中性化抑制性に優れない。よって、経年で内部鉄筋やかぶり内の結束線の腐食などにより、錆汁を表面に生じて美観を損なうて、塗替時の補修に対する労力が増大する場合がある。中性化の進行による補修労力と塗替を考慮したライフサイクルコストの試算例をFig. 2に示す。アクリセプト工法は補修労力を低減できて、改修塗装の累積費を低減できる。

さらに、低炭素化の貢献への効果の一例をFig. 3に示す。

長寿命化のために中性化抑制を意図する場合、一般に厚い塗り材を施すことになる。アクリセプト工法は、薄膜で優れた中性化抑制性を有するため、使用材料の量を削減できて、CO<sub>2</sub>排出量の削減に貢献できる。

### 3.3.4 適用事例

アクリセプト工法は、従来の塗装工法と同じ施工要領に従うため、汎用的に適用できることから、Photo 3に示す通り、新築や改修を問わず、いくつかの建物に適用している。特に、保存や長期使用を意図したRC部位の改修工事においては、類似の効果を有する塗装は無く、その意義は大きい。さらに、アクリセプト工法は湿分の遮断性にも優れるため、RC部位に面する室内の空気質を高度に制御したい場合などにも有効である。

### 3.3.5 おわりに

国内外を問わず、低炭素化は建設業界の共通のゴールでもある。アクリセプト工法の中性化抑制性による長寿命化への貢献や歴史的建物の保存に加えて、中性化の進行が早いとされるスラグを用いた低炭素型コンクリートへの仕上げなどへの適用を推進したい。

### 参考文献

- 1) 井原健史, 大澤 悟, 山盛博夫, 神戸慎哉: 有機・無機ハイブリッド型塗料を用いた中性化抑制塗装システムの開発, 日本建築仕上学会学術講演梗概集, pp.171-174, 2009.10
- 2) 阿知波政史, 谷川伸, 井原健史, 松原道彦, 大澤 悟: 有機・無機ハイブリッド型塗料を用いた中性化抑制塗装システムに関する研究(その2) ハイブリッド塗膜と塗装システムの評価, 日本建築学会大会(東海)学術講演梗概集, pp. 981-982, 2012.9

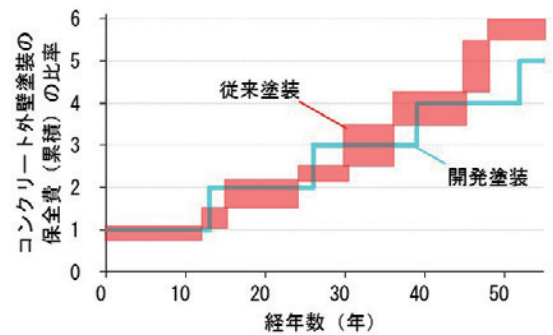


Fig. 2 改修塗装の累積費の試算例  
A case study of life cycle cost to repaint the walls of a building

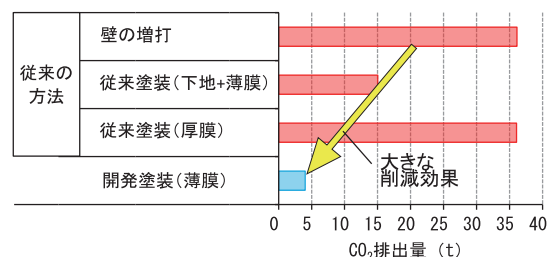


Fig. 3 中性化を抑制できる外壁仕上げのCO<sub>2</sub>排出量の試算  
A case study of emission for an exterior wall finishing with a carbonation resistance performance



Fig. 3 アクリセプト工法の適用例  
Applications of ACRYCEPT



### 3.4 TSリムーバーを用いた高品質なシーリング目地の改修工法 Credible Renovation Method Using “TS Remover” for Sealant Joints

井原 健史 Takeshi Ihara\*1

国内では、既存建物数は増え続けており、改修工事の重要性は今後高まると考えられる。建物の改修工事において、シーリング材の打替は極めて一般的でありながら、目地の防水性を担うために改修工事の品質に大きく関わる。本節は、薬剤を用いて薄層状に残存したシーリング材を除去し、新築時の目地と同様に改修シーリング材を施工できる高品質なシーリング目地の改修工法の概要を述べる。

#### 3.4.1 コンセプト

従来の工法と開発工法との比較をFig. 1に示す。一般的なシーリング改修の工程は、①劣化した既存シーリング材をカッター等でだまかに切り取る、②被着体に残存する既存シーリング材をカッター等でなるべく除去し、清掃する、③改修シーリング材のプライマーを塗布する、④改修シーリング材を充填する、となる。工程②において、既存シーリング材を完全に除去するのは困難であり、実際には薄層状に残存するが多い。この薄層状に残存した既存シーリング材が、改修シーリング材の接着不良・耐久性低下の要因となって、漏水に至る場合がある。そのため、改修シーリング材の耐用年数は新築時より短いと認識されている。よって、新築時と同等の品質を確保するためには、既存シーリング材を完全に除去する必要がある、そのためには動力工具（サンダーなど）を用いて被着面を削り落とす方法がとられる場合がある。ただし、騒音、振動、粉塵の発生や被着体の破損の懸念などのために、必ずしも好ましい方法ではない。開発工法は、TSリムーバーを用いて薄層状に残存した既存シーリング材を除去して、清浄な被着面を確保し後に改修用のシーリング材を施工できるために、高品質なシーリング目地の改修が可能となる。

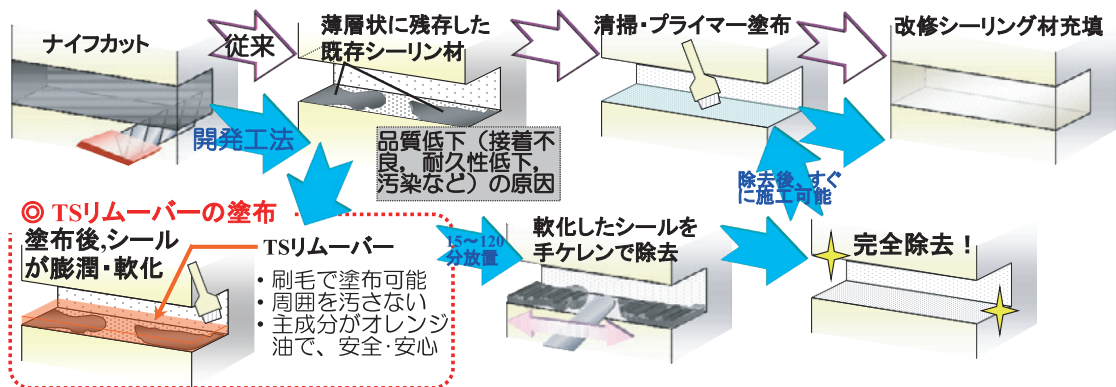


Fig. 1 開発した高品質なシーリング目地の改修工法と従来工法の比較  
The difference between the newly developed and a conventional method for sealant joint renovation

#### 3.4.2 TSリムーバーの技術概要

TSリムーバーをPhoto 1に示す。リムーバーは、目地に塗布しやすいゾル状に調製してあり、主成分として比較的安全性の高い柑橘系の揮発性溶剤(リモネン)を含む。このリムーバーが、薄層状に残存した既存シーリング材(Thin Sealants)を軟化させる。例えば、Fig. 2は、2mm厚の建築用シーリング材をTSリムーバーに一定時間浸漬・接触させた場合の引張強度の変化を示す。いずれのシーリング材も、30分程度の浸漬で引張強度が大きく低下することがわかる。引張強度が低下したシーリング材は、へらなどを用いて被着体から掻き落として除去できる。実際の改修工事での除去例をPhoto 2に示す。なお、2002年まで使用されていた金属酸化物硬化型ポリサルファイド系シーリング材は、耐油性が良好であり、リモネンを主体としたTSリムーバーのみでは軟化しにくい。従って、リモネンに別途高沸点溶剤を加えた専用リムーバーを用いる必要がある。なお、シーリング材の軟化時にシーリング材の膨潤もみられ、シリコン系の膨潤はPhoto 3に示すように特に顕著である。



Photo 1 TSリムーバー  
TS remover

\*1 技術研究所 主任研究員 Ph.D. Chief Researcher, Research & Development Institute, Ph.D.

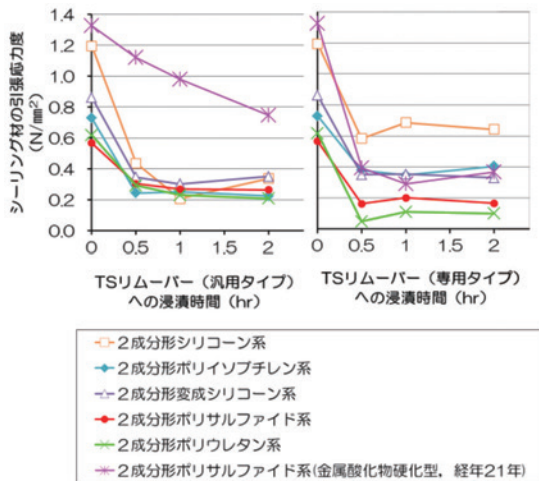


Fig. 2 TSリムーバーによるシーリング材の軟化  
Softening sealants due to the immersion in TS removers

TSリムーバーは、改修シーリング材の耐久性に影響を与えない。実際のシーリング改修の工程を想定して作製した試験体を対象に、耐久性（JIS A 1439）を評価した結果をTable 1に示す。従来工法は薄層のシーリング材の上に後打シーリング材を施工しており、耐久性が十分で無い場合がある。これに対して、既存材を完全除去する開発工法は、従来工法を超える耐久性を確保できている。従来工法は既存シーリング材が残存するため、打ち替え時のシーリング材種に制限があるのに対して、開発工法は、シリコン系から他種シーリング材への打ち替えの可能性も検討でき、打ち替え時の種別の自由度が高い。

### 3.4.3 効果

開発工法は、改修時に高品質なシーリング目地を施工できるので、打ち替えまでの期間を延長できる場合がある。ライフサイクルコストの試算例をFig. 3に示す。開発工法は、約25年目以降から、累積シーリング改修費が最も少なくなった。また、ディスクサンダーなどを用いて既存シーリング材を完全撤去する工法と比べて、作業の安全性と効率を向上できる。

### 3.4.4 まとめ

開発工法は、従来のシーリング改修工法の問題点を解決でき、品質の向上が図れることから、様々な建物の改修工事に適用されている。開発工法を適用した実際の目地長さは40kmを超えている。今後も継続して耐久性データを蓄積して、信頼性を高めた高品質なシーリング目地の改修工法として更なる展開を図っていく。

### 参考文献

- 1) 大澤悟, 吉田慎悟, 板谷匠, 井原健史: 安全・安心シーリング改修工法の開発 (その1) 開発の背景と予備試験, 日本建築学会学術講演梗概集 (東北), pp.63-64, 2009.8.
- 2) 大澤悟, 井原健史, 石橋透光: 安全・安心シーリング改修工法の開発 (その3) ポリサルファイド系シーリング材 (金属酸化物硬化型) 専用除去剤の開発, 日本建築学会学術講演梗概集 (東海), pp.949-950, 2012.9.

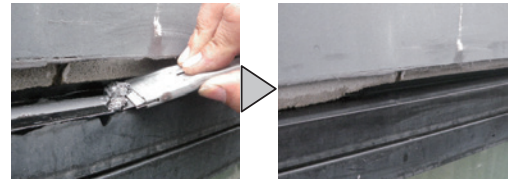


Photo 2 実際の既存シーリング材の除去例  
Actual scene to remove an old thin sealant layer using TS remover in a renovation project

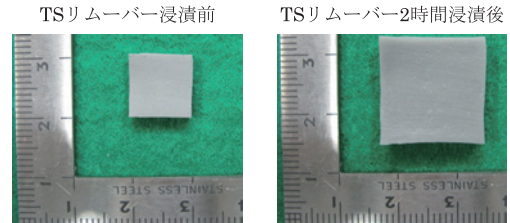


Photo 3 シリコン系シーリング材の膨潤例  
A swollen silicone sealant sheet due to TS remover

Table 1 打ち替えしたシーリング材の耐久性の比較  
Durability comparison of newly applied sealants

被着体	分類	1mm厚先打シーリング材	先打シーリング材除去方法	後打シーリング材	耐久性試験結果
アルミニウム合金板	1成分	シリコン系	開発工法	変成シリコン系	合格
		変成シリコン系	従来工法		合格
		変成シリコン系	開発工法		合格
		変成シリコン系	従来工法		不合格
		変成シリコン系	開発工法		合格
		変成シリコン系	従来工法		一部不合格
モルタル板	2成分	シリコン系	従来工法	ポリウレタン系	合格
		シリコン系	開発工法		合格
		シリコン系	従来工法		合格
		シリコン系	開発工法		一部不合格
		シリコン系	従来工法		合格
		シリコン系	開発工法		合格
		シリコン系	従来工法	ポリサルファイド系	合格
		シリコン系	開発工法		合格

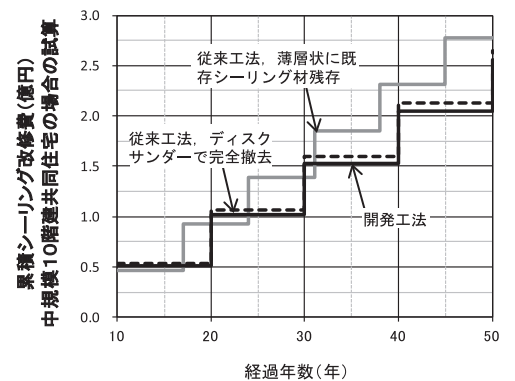


Fig. 3 ライフサイクルコストの比較  
Comparison of life cycle cost

### 3.5 ブロック舗装「多孔質ポリマーモルタル工法」 Block Pavement System Using “Porous Polymer Mortar”

池尾 陽作 Yosaku Ikeo\*1

ブロック舗装は、色彩豊かなインターロッキングブロックによる景観の向上や、保水性ブロックによるヒートアイランド現象の緩和など、使用するブロックにより様々な効果が期待されることから歩道や公園等に広く用いられている。そのブロックの下地としては砂を用いるサンドクッション層が多く使用されているが、降雨による砂の流失や荷重により不陸が生じる場合があり、歩きにくく安全性の低下につながる可能性がある。その防止策として、サンドクッション層に替えてセメント系モルタル層を設ける場合があるが、セメントを起因としたエフロレッセンス（白華現象）によるブロック表面の汚れが懸念される。そこで、ブロック下地材に多孔質ポリマーモルタルを用いることで、ブロックの不陸、汚れを解決する技術を開発した。

#### 3.5.1 技術概要

本工法では、Fig. 1に示すようにブロック下地材として従来の砂やセメント系モルタルに替えて、有機系結合材を利用した多孔質ポリマーモルタルを用いる。このモルタルは、十分な圧縮強度を有するため不陸の発生を防止することができ、さらにエフロレッセンスの原因となるカルシウムを含まないためブロック表面の汚れも防止することが可能である。

#### 3.5.2 多孔質ポリマーモルタルの概要

多孔質ポリマーモルタルを作製して、強度と空隙率を調べた<sup>1)</sup>。多孔質ポリマーモルタルは砂を有機系結合材で固めたモルタルである。有機系結合材としてはエポキシ系やポリブタジエン系の材料があるが、ここではポリブタジエン系結合材を用いた例を示す。砂には6号けい砂を用い、結合材の使用量は、砂に対して0.2～10mass%とした。強度試験は、JIS R 5201に準じて行った。材齢7日の圧縮強度と空隙率をFig. 2に示す。圧縮強度は結合材使用量2%で5N/mm<sup>2</sup>以上であり、少ない結合材使用量でブロック舗装の下地として十分な強度が得られた。空隙率は、結合材使用量が増加すると低下する傾向を示したが、結合材使用量10%でも空隙率は30%以上であり、舗装下地に必要な透水性・排水性を有していることが確認できた。

#### 3.5.3 多孔質ポリマーモルタルを用いたブロック舗装の特性

多孔質ポリマーモルタルを下地とした場合でも従来工法と同様に様々なブロックを用いることが可能である。保水性ブロックを用いた場合は、ブロックに保持された水分が気化する際にブロック表面の熱を奪うため、ヒートアイランド現象の抑制効果が期待できる。そこで、保水性ブロックを使用したブロック舗装を作製して、ブロック表面の状態、路面温度、耐荷重性を

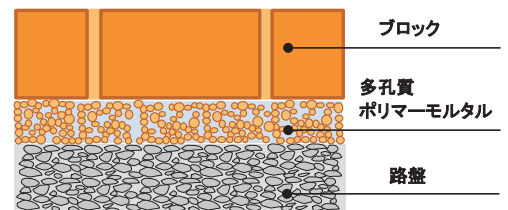


Fig. 1 多孔質ポリマーモルタルを用いたブロック舗装の模式図  
Schematic diagram of block pavement using porous polymer mortar

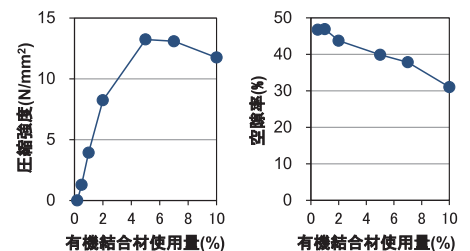


Fig. 2 多孔質ポリマーモルタルの圧縮強度と空隙率  
Compressive strength and porosity of porous polymer mortar



モルタル練り混ぜ

モルタル整地

ブロック敷設

転圧

Photo 1 ブロック舗装の作製手順

Typical construction procedure for block paving using porous polymer mortar

\*1 技術研究所 主任研究員 Chief Researcher, Research & Development Institute



評価した<sup>2)</sup>。ブロック下地に用いた多孔質ポリマーモルタルは、有機系結合材と6号けい砂を用い、結合材の使用量は、砂に対して2mass%とした。保水性ブロック舗装の作製手順、作製状況をPhoto 1に示す。多孔質ポリマーモルタルはミキサーを用いて練り混ぜ、モルタル練り混ぜ以降の手順については、多孔質ポリマーモルタルがサンドクッション（砂）と同様の施工性を有するため、従来と同様の方法での施工が可能である。約1年経過後のブロック表面の状況をPhoto 2に示す。ブロック表面に特に目立つ汚れは認められなかった。セメントモルタルをブロック下地に用いた保水性ブロック舗装においてはエフロレンスがブロック表面に現れることがあり、その状況を同時に示す。有機系結合材を使用した多孔質ポリマーモルタルでは、ブロック表面に材料に起因する汚れが生じにくいことがわかる。

夏季における保水性ブロック舗装の路面温度をFig. 3に示す。保水性ブロック舗装の下地に多孔質ポリマーモルタルを使用した場合とサンドクッションを使用した場合、およびアスファルトとを比較した。降雨の前はブロック舗装とアスファルトの温度差は小さかったが、降雨の翌日はブロック舗装の路面温度はアスファルトに比べて最高で約10℃低減した。その後もアスファルトに比べ路面温度が低減する日が続いた。ブロック下地の違いではサンドクッションと多孔質ポリマーモルタルで大きな差は認められなかったことから、路面の温度低減性能において多孔質ポリマーモルタルはサンドクッションと同等の性能を有していると考えられる。

小型FWD（重錘落下式たわみ測定）試験装置を用いて25kgのおもりを500mmの高さから落下させて衝撃荷重を加え、載荷点での路面の変位を測定した。その変位の大小から耐荷重性を評価した。変位をFig. 4に示す。サンドクッションの場合に比べて多孔質ポリマーモルタルが下地の場合は変位がかなり小さく、アスファルトに近い値を示した。このことから、多孔質ポリマーモルタルをブロック下地に使用することで耐荷重性が大きく向上することが確認できた。

### 3.5.4 まとめ

多孔質ポリマーモルタルをブロック下地として使用するブロック舗装は、材料に起因するブロック表面の汚れを抑制でき、耐荷重性に優れていること、また、サンドクッションを下地として用いた場合と同等の路面温度低減性能を有していることを確認した。本工法は、従来のブロック舗装の対象箇所である、歩道や外構等に適用が可能である。そのほか、Photo 3に示すような屋上庭園において給水型の保水性ブロック舗装の適用事例もあることから、ビルの屋上においても緑化とともにヒートアイランド抑制に貢献できると考えられる。また、新設以外に補修工事にも適用することができ、高い耐荷重性を有することから不陸補修等のメンテナンスの軽減につながる事が期待される。

### 参考文献

- 1) 若林伸介, 池尾陽作, 小島倫直, 野村幸弘, 熊谷慎祐, 藤本啓之:「多孔質ポリマーモルタルを下地材に用いた保水性ブロック舗装の研究」, 土木学会第66回年次学術講演会講演概要集, V-563, pp.1125-1126, 2011.9.
- 2) 池尾陽作, 若林伸介, 辻本仁, 藤本啓之:「多孔質ポリマーモルタルを用いた保水性ブロック舗装の性質」, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北海道), pp.1419-1420, 2013.8.

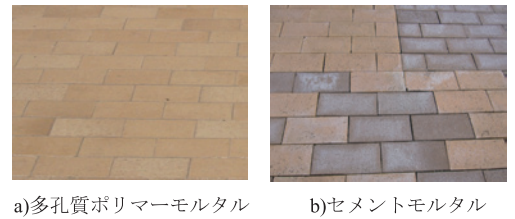


Photo 2 保水性ブロック表面の状況  
Surface of block pavement

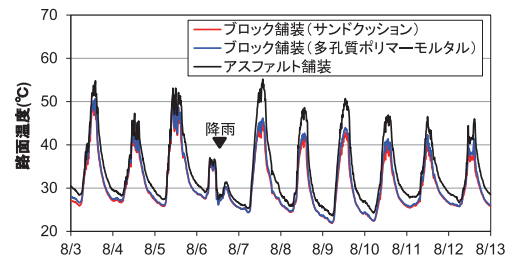


Fig. 3 路面温度  
Road surface temperature

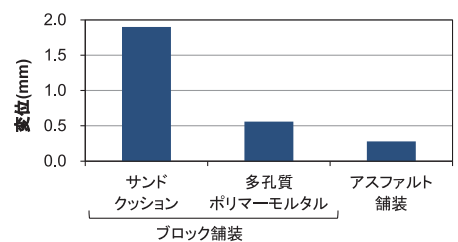


Fig. 4 路面の変位  
Surface displacement of pavement



Photo 3 保水性ブロック舗装  
Water retentive pavement

### 3.6 放射線遮蔽ブロック「RadBlock-X」 Radiation Shielding Block “RadBlock-X”

鈴木 正樹 Masaki Suzuki\*1

近年、高齢者人口の増加により欧米並みに2人に1人は身体に負担の少ない放射線治療が選択されると予測されており、治療件数の増加に対応するための放射線治療室の需要拡大が見込まれる<sup>1)</sup>。これに伴い、放射線治療施設の新築工事や増改築工事の増加も予想され、特に増改築工事においては既存診療機能を破綻させることなく、工期短縮を可能とする放射線遮蔽ブロック技術が求められている。本節では、放射線遮蔽ブロック「RadBlock-X」の概要を述べる。

#### 3.6.1 背景

従来、放射線治療施設における放射線の遮蔽には、鉛板や鉄板などと併用してコンクリートが多く利用されている (Fig. 1)。特にPET薬剤製造施設をはじめ高エネルギー加速器を有する施設においては、マスコンクリートの壁で囲われていたため、レイアウトの可変性、拡張性に乏しく、患者数の拡大への施設的な対応は困難である。今後、高齢化に伴う放射線治療室の増大に対し、既存診療機能の機能破綻や過大な施設投資なしで高機能かつ効率的な放射線治療施設が必要とされている。

#### 3.6.2 RadBlock-Xの概要

放射線遮蔽ブロック「RadBlock-X」は、Fig. 2に示すように石膏 ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) と高比重天然素材 (重晶石:  $\text{BaSO}_4$ ) などから構成されている。乾燥密度が $2.4 [\text{g}/\text{cm}^3]$  以上と高く、放射線の中でも特に $\gamma$ 線とX線に対して優れた遮蔽性能を発揮するものである。遮蔽壁の構築には、約20kgのブロックを目地部モルタル処理することなく空積み施工するもので、作業性に優れ、短工期かつ工事騒音や粉塵の大幅な抑制が可能である。「RadBlock-X」の主な特長は、以下に示すとおりである。

##### ①施工性

遮蔽ブロックの基本形状は、従来から原子力施設タービン建屋に利用してきた当社独自の蝶々型形状を採用した。面外方向に放射線が通過しにくい構造とするとともに、乾式ブロック積層工法により工事中に発生する騒音・粉塵・汚れの発生を抑え、さらには既存診療への影響を最小限とする増改築工事にも対応できる。

##### ②放射線遮蔽性能 (素材特性)

$\gamma$ 線遮蔽性能は、普通コンクリート (比重2.3) に比べ約1.2倍高くなっている (Fig. 3)。ブロック製造時の製作寸法誤差は0.25%未満の高精度を確保し、接合部材を最小限に抑えることが可能である。これに加え、遮蔽ブロックは数十ミクロンの素材から構成されるため、普通コンクリートに比べ骨材サイズに起因する密度の局所的なばらつきが極めて小さい。

##### ③環境性

石膏と重晶石などの天然素材から構成され、高い放射線遮蔽性能を確保しつつ、欧州RoHS指令など各種法令で規制されている鉛などの有害重金属を使用しない、人と環境に優しい素材から構成されている。

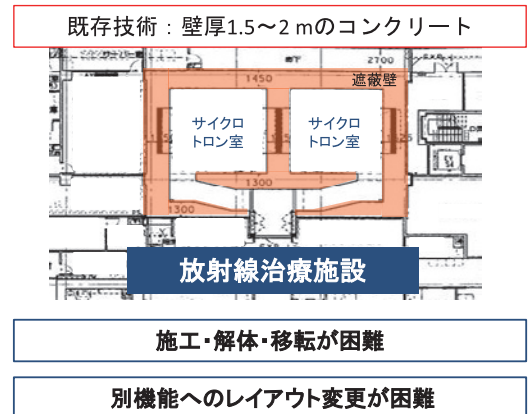


Fig. 1 放射線治療施設の課題  
Issues of radiotherapy facility

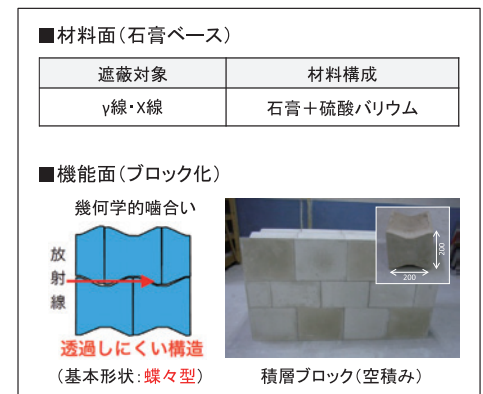


Fig. 2 RadBlock-Xの特長  
Features of RadBlock-X

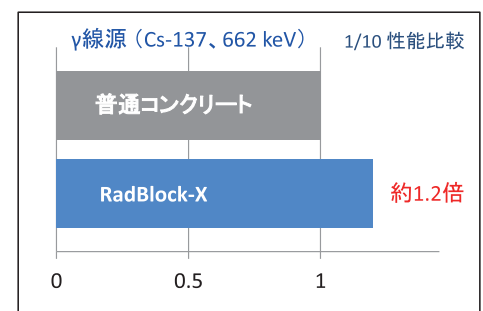


Fig. 3  $\gamma$ 線に対する遮蔽性能  
Gamma-ray shielding performance

\*1 技術研究所 主任研究員 博士 (工学) Chief Researcher, Research & Development Institute, Dr. Eng.

### 3.6.3 適用事例

本技術は、2016年に「東京電力福島第一原子力発電所新事務本館工事」において、安全性の強化を図るためにFig. 4に示すような乾式遮蔽ブロック壁としてエントランスホール守衛室受付（カウンター下部）に採用された。技術適用するにあたり、下記3つの条件を満足するように開発を進めた。

- (a) Cs-137  $\gamma$ 線およびその散乱線に対して80mm厚で1/2程度の遮蔽性能
- (b) 現場で工事騒音や汚れ・粉塵をほぼゼロにする乾式工法
- (c) 設計仕様変更に対応でき、設備工事段階でも短工期で設置可能な技術

技術適用した「RadBlock-X」は、Fig. 4に示すように壁厚80mmに対して面外方向にブロックの脱落を防止しつつ目地部の遮蔽性能を最小限に抑えるため、上下左右に凹凸形状を有する新しいブロック形状を開発した。遮蔽ブロック壁は、計11種類25個の遮蔽ブロックから構成されている。また、ブロック製作型枠は、材料や部材レベルから改良を行い、遮蔽ブロックとしての乾燥比重、圧縮強度、膨張率などの目標値はすべてクリアし、ブロック製造時の製作寸法誤差は0.25%未満の高い精度を確保できた。これに加え、本遮蔽ブロックは数十 $\mu$ m以下の素材から構成されているため、普通コンクリートに比べ骨材サイズに起因する比重のばらつきが1%未満に抑えられている。対象とする $\gamma$ 線源（Cs-137, 662keV）に対する遮蔽性能は、粒子・重イオン汎用モンテカルロ輸送コード「PHITS<sup>2)</sup>」による解析<sup>3)</sup>と実験両面から評価を進め、80mm厚で1/3までの遮蔽性能を確保し、1/10価層で普通コンクリート（比重：2.3）に対して約1.2倍の遮蔽性能を確認した（Fig. 5）。さらに、「RadBlock-X」は、各種法令で規制されている鉛などの有害重金属を一切使用しない人と環境にやさしい天然素材から構成されているため、将来施設内のレイアウト変更時においてもそのまま再利用が可能である。

### 3.6.4 まとめ

「RadBlock-X」は、継続的に対策が求められる廃炉関連のみならず、病院内のPET, CT, 癌の最先端の放射線治療をはじめ、様々な放射線治療・診断施設やX線非破壊検査施設などで必要とされる放射線遮蔽においても適用することが可能である。今後、特に需要拡大が見込まれる医療分野をターゲットに普及・展開を推進するとともに、当社独自の放射線遮蔽技術の開発を継続して実施していく。

### 参考文献

- 1) 日本放射線腫瘍学会, 「放射線腫瘍医になろう」, 3ページ (2016).
- 2) T. Sato, K. Niita, N. Matsuda, S. Hashimoto, Y. Iwamoto, S. Noda, T. Ogawa, H. Iwase, H. Nakashima, T. Fukahori, K. Okumura, T. Kai, S. Chiba, T. Furuta and L. Sihver, Particle and Heavy Ion Transport Code System PHITS, Version 2.52, J. Nucl. Sci. Technol. 50:9, 913-923 (2013).
- 3) ICRP Publication 74 (1997).

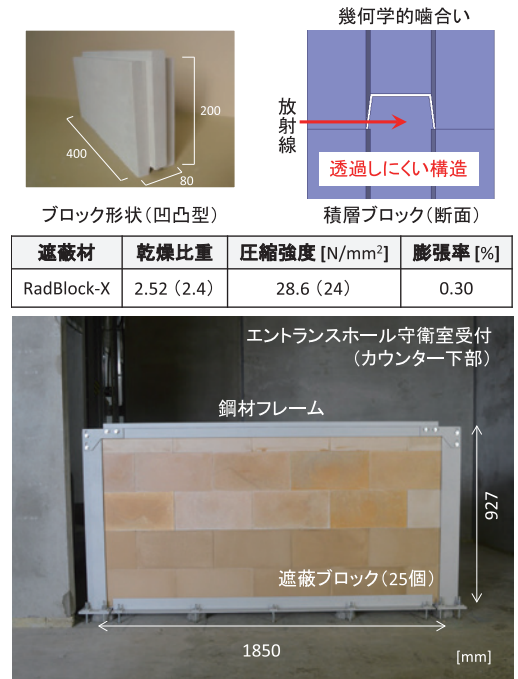


Fig. 4 RadBlock-X (新しいブロック形状)  
RadBlock-X (New customized block)

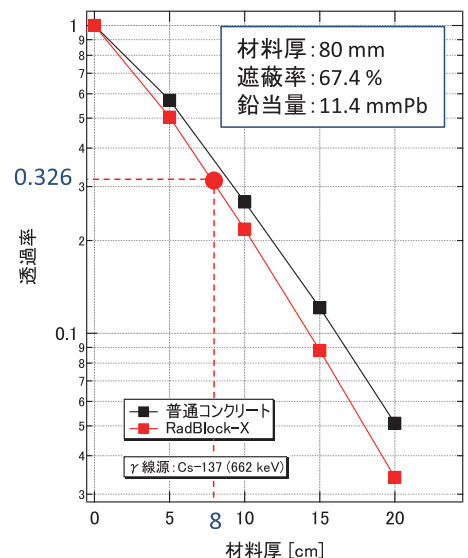


Fig. 5  $\gamma$ 線の透過特性  
Transmission of gamma-ray



## 4 材料研究から派生した周辺技術 Related Technology Derived from the Material Research

### 4.1 除染関連業務管理システム「ラジ・クリーン」 “Radi-clean” Decontamination Business Management System

吉田 真悟 Shingo Yoshida\*1

東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故により、環境中に多くの放射性物質が放出され、福島県の多くの住民の方が避難生活を強いられる状況となった。当社は、事故直後から福島第一原子力発電所の収束作業に従事するとともに、南相馬市の旧警戒区域・旧計画的避難区域を除く地域（市町村発注エリア）の除染事業を受託し、実施してきた<sup>1)</sup>。除染事業における主たる業務は「除染作業」であるが、除染事業には、住民の同意取得を初めとして、モニタリングや放射線管理、除去土壌や除染廃棄物の管理など、事業遂行のために多くの関連業務が必要となった。本節では、当社が大規模除染事業を効率的に運営・管理するために開発した3つのシステムを紹介する。

#### 4.1.1 放射線モニタリング情報管理システム「ラジ・クリーンM」

除染事業では、除染の効果を把握するため、作業の前後のタイミングで、放射線モニタリングを実施する必要がある。放射線モニタリングでは、住宅1軒あたり10～20点の空間線量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）及び表面計数率（cpm）の測定を行うが、各点において、測定データとその測定位置をセットで記録する必要がある。

ラジ・クリーンM（M: Monitoring）は、タブレット端末を通じて、現場で、測定データを位置情報に紐付けて入力でき、ホストPCのGIS（地理情報システム）と連動させてデータの共有を行うことができるシステムである。ラジ・クリーンMの実際の使用状況をPhoto 1に、画面イメージをFig. 1に示す。タブレット端末では地図と航空写真が切り替えて表示できるようになっており、地図もしくは航空写真上で位置を指定することで、測定データ入力画面が立ち上がり、測定データと位置情報が紐付けられる。加えて、タブレット端末で写真を撮影し、位置情報を付することもできる。現地作業では、この作業を繰り返して測定データをタブレット端末に蓄積していく。事務所等に戻って、タブレット端末をホストPCに繋げれば、GISに測定データが自動的に回収されるようになっており、複数台のタブレット端末からのデータをGISに収集し、モニタリング情報を効率的に記録・管理することができる。



Photo 1 ラジ・クリーンM使用状況  
Using Radi-clean M system



Fig. 1 ラジ・クリーンM画面イメージ  
Screen image of Radi-clean M system

ラジ・クリーンMでは、GPS（全地球測位システム）を活用して位置情報を記録することも可能であるが、①安価なGPSでは実用に耐えうる精度の確保が難しいこと、②建物や高木の側では上空視界の確保が難しくGPSが安定して作動しないこと、③高価なGPSを用いれば①②の問題は解消されるが、高額になること等から、画面上での位置指定方式を採用した。なお、「除染後」の測定時は、タブレット端末画面の地図もしくは航空写真上に「除染前」の測定位置が表示され、除染前に撮影した写真も閲覧することができ、除染前の測定位置を再現するのに役立った。

#### 4.1.2 個人被ばく線量管理システム「ラジ・クリーンP」

除染事業では、除染作業を実施する全ての作業員について、除染電離則の定めに基づき「除染等業務従事者」として、個人被ばく線量を管理する必要がある。除染作業は、人手に頼る部分が非常に大きく、特に大規模な除染事業においては、従事する作業員の数も多くなるため、個人被ばく線量の管理は負荷の大きい業務となっていた。

ラジ・クリーンP（P: Personal）は、作業員のIDカードと個人線量計に付けられたQRコードにより、作業員情報と個人線量を紐付けて集計・管理を行うシステムである。ラジ・クリーンPの概要をFig. 2に示す。作業員は、朝礼時に本システムでの入場処理と個人線量計の着用を実施し、帰宅前に退場処理と個人線量計の返却を行う。これに

\*1 技術研究所 研究主任 Associate Chief Researcher, Research & Development Institute

より、各作業員の勤務履歴と1日の被ばく線量が記録され、1ヶ月ごとの各作業員の個人被ばく線量の集計値が各協力会社に通知可能となる。また、除染電離則及び除染電離則ガイドラインでは、半年ごとの健康診断（一般及び電離）の受診が義務付けられているため、作業員は、作業日から遡って半年以内に健康診断を受診していない場合は、除染作業に従事することができない。本システムでは、作業員のIDカード発行時に健康診断受診日が登録され、入場処理の際に、各作業員の健康診断受診日を参照し、半年以内に受診履歴があるかどうかを確認する仕組みとなっている。さらに、健康診断の時期が迫っている作業員に対しては、退場時に残り日数を伝えられる仕組みとなっており、1000人/日を超える多くの作業員に対して、効率的に放射線管理を実施することができた。

#### 4.1.3 除去物追跡・管理システム「ラジ・クリーンT」

除染作業に伴い、大量の除去土壌や除染廃棄物など（以下、除去物とする）が発生した。除去物は、所定の方法で分別され、大型土のう等に梱包された後、除染作業現場から仮置場に搬送され、仮置場内の保管ヤード等に移設されて管理されていた。除去物は、放射性物質を含んでいるため、厳重に管理され、確実に仮置場に搬送される必要があるが、管理すべき大型土のう等の数も非常に多く、大きな土地が確保できない場合など、仮置場も複数に渡っていることが多いため、手作業・人力での管理は非常に手間を要していた。

ラジ・クリーンT（T: Traceability）は、物流等で荷物の追跡管理に用いられるバーコードシステムを除去物の追跡管理用に応用したシステムである。ラジ・クリーンTの概要をFig. 3に示す。除染作業の作業員は、除染作業現場で分別・梱包した耐候性大型土のう等にQRコード付きのIDタグを取り付ける。除去物をユニック車等で運搬する運転手は、積込の際に所定のQRコードリーダーを用いてIDタグのQRコードを必ず読み込む（積込処理）。次に、仮置場での荷降ろし時にも同じくIDタグのQRコードを読み込む（荷降処理）。最後に、仮置場の保管ヤードに除去物を格納する保管作業員は、同様の操作を実施する（格納処理）。QRコードリーダーは、QRコード読み取りの際にGPSにより位置情報を記録しており、この情報をホストPCに集めて照合・管理することで、全ての除去物の状態（積込、荷降、格納）と位置情報、紛失の有無等を確認していく仕組みとなっている。

位置情報の他にも除去物IDに紐付けて様々な情報を付加している。南相馬市除染事業<sup>1)</sup>では、除去物の分別種類（7種：土、砂利、汚泥・塵埃、アスファルト・コンクリートガラ、その他不燃物、草木、その他可燃物）、表面線量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）、重量、積込・荷降・格納作業者等の情報を付加し、保管ヤードごとの内容物・量の把握や、紛失の可能性がある場合の作業員への確認などに活用した。

以上、除染作業に付随する関連業務を大幅に効率化する3つのシステム、放射線モニタリング情報管理システム「ラジ・クリーンM」、個人被ばく線量管理システム「ラジ・クリーンP」、除去物追跡・管理システム「ラジ・クリーンT」について概要を紹介した。今後、大規模除染事業で培ったこれらのシステム構築技術を生かし、建築・土木事業のシステム化も積極的に推進していきたい。

#### 参考文献

- 1) 吉田真悟ら：除染事業への取組み ―南相馬市生活圏除染事業―，竹中技術研究報告 No.69（2013）

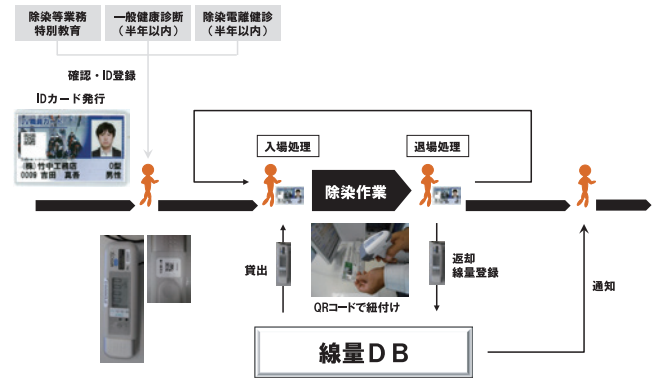


Fig. 2 ラジ・クリーンPのシステム概要  
System overview of Radi-clean P system

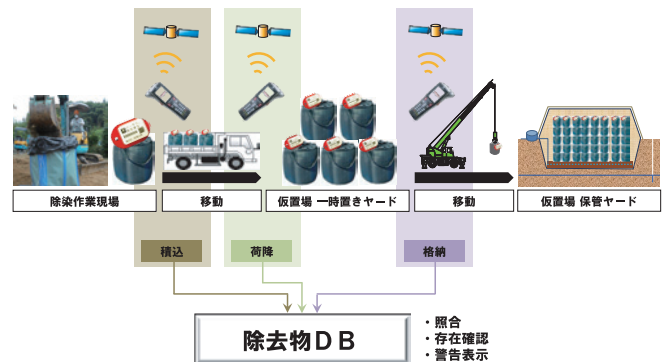


Fig. 3 ラジ・クリーンTのシステム概要  
System overview of Radi-clean T system

## 4.2 プラスチックシンチレーションファイバを用いたホットスポット除染システム Decontamination System for High Radiation Local Region Using Radiation Measurement System of Plastic Scintillation Fiber

杉田 敬太郎 Keitaro Sugita\*1

放射性物質で汚染された地域のうち、放射線量が比較的低い地域の除染方法は、局所的除染が合理的であった。しかし、ホットスポットを効率的に漏れなく検出する方法は当時存在しなかったことから、住民の納得が得られにくい状況であった。そこで筆者らは、PSFという放射線検出器を使用した、効率的でホットスポットを見逃しにくい放射線測定システムを開発したので、その概要を述べる。

### 4.2.1 背景

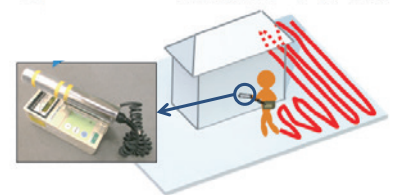
放射性物質の除染に関する基本的な考え方に、放射線量が高い地域では全面的に除染を実施する面的除染を適用し、比較的低い地域では局所的除染を適用することがある。局所的除染とは、局所的に放射線量が高い領域であるホットスポットを検出し、その部位のみを除染する方法である。後者の考え方は、処理に要する費用や仮置場面積の制限を考慮すると、非常に合理的である。しかし、当時ホットスポットを効率的に漏れなく検出する技術が存在しなかったことから、住民は局所除染に対して不安があり、面的除染に対する要望が大きい状況であった。以上のとおり、ホットスポットを漏れなく検出するモニタリングを実施して住民が納得感を高めた上で、局所的な除染を行うことが求められていた。

当初考えられたモニタリングの方法は、Fig. 1に示すとおり測定員が放射線測定器を持参し、住宅の周辺を歩き回りホットスポットを探索し、その箇所と放射線量を野帳に記録するものであった。この方法は、従来技術で実施できるものの、①測定員の技量によってホットスポットを見落とす可能性がある、②ホットスポットでない箇所の記録がない、③点での記録となるため除染範囲の特定が難しい、などの問題点が抽出され、住民の納得は得られにくいと判断された。これらの問題点を解決するには、測定ルールを定め、住宅周辺の面的な詳細モニタリングを実施してマップを作成することが必要と考えられた。そこで、住宅周辺を効率的に面的にモニタリングし、比較的安価に住民の納得性を高める鮮明なマップを提供することを課題に設定した。

### 4.2.2 技術概要

開発のコンセプトは、放射線測定器、測定条件、見える化の3点である。まず放射線測定器は、Fig. 2に示すようにプラスチックシンチレーションファイバ（以下、PSFと称す）を採用した。これにより、従来のシンチレーション式サーバイメータと比較して計測効率を約10倍に高めることに成功した。これはロープ状の検出器を有し、一定の間隔ごとに放射線量を計測可能であるPSFの特性を利用したことによる。PSFの放射線検出原理は、検出器に放射線が照射されるとシンチレーション光と呼ばれる光を生じ、これが検出器の両端にある光検出器に到達することによる。放射線が照射された位置は、光が両端の光検出器に到達する時間差から特定することが可能である。

#### 1. 検出器を保持して移動



#### 2. ホットスポットを検出



#### 3. 位置と放射線量を記録

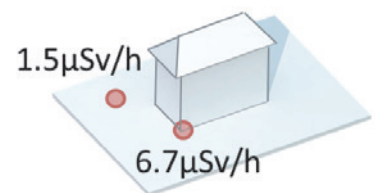


Fig. 1 従来のモニタリング方法  
Conventional monitoring method

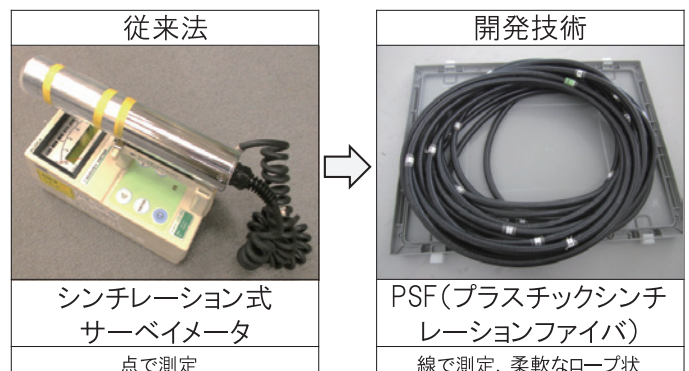


Fig. 2 放射線測定器  
Radiation measurement device

\*1 技術研究所 研究主任 Associate Chief Researcher, Research & Development Institute, Dr. Eng.



次に測定条件であるが、ここではPSFの計測幅や高さなどの諸条件を変更して実験・解析を繰り返し実施した。その結果、Fig. 3に示すように測定方法が確立し、測定員の技量によらず、ホットスポットを見逃しにくく、かつ測定効率を落とさない測定条件の組合せを見出すことができた。なおFig. 3では地面にメッシュの描画と着色をしているが、これは後述する見える化との対応を平易とするため、模式的に画像を加工したものである。

最後に見える化については、航空写真上に配置したメッシュのセルを指定してPSFの測定結果を対応させることで、PSFで測定した放射線量の高低を直ちに色別表示できるソフトウェアを開発した。これにより、Fig. 4に例示するようにホットスポットの領域のみならず、ホットスポットでない領域の放射線量分布まで明確に視認可能となった。

このような特徴を有するシステムを放射線量が比較的低い地域に試適用した結果、住民からはホットスポットの位置が明確であるので、局所除染の場合でも安心できるなどの意見を得て、住民の納得感が得られたことを確認した。

#### 4.2.3 適用部位

比較的大面積のエリアの放射線量分布を短時間で測定したい場合に適用可能である。特に有効なケースは、局所的除染にて対応する場合の除染作業に伴う、事前および事後の放射線量分布測定によるホットスポット探索である。

#### 4.2.4 適用事例

南相馬市除染事業のうち、比較的低放射線量が低く、市内の宅地数量の74%が集中する東側の地域の宅地に適用した。そこでの適用状況をPhoto 1に示す。ここでは行政関係者や市民の方々の信頼を得ながら、モニタリングと局所除染を遂行することができた。

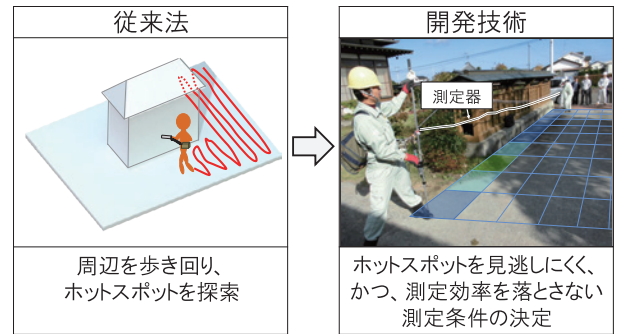


Fig. 3 測定状況  
Measurement method

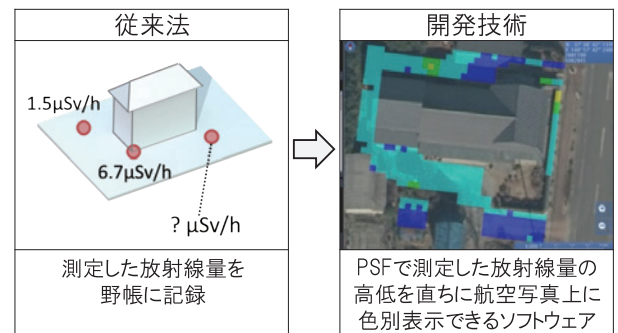


Fig. 4 見える化  
Visualization



Photo 1 適用事例  
Application example

## 5 おわりに Conclusion

岡本 肇 Hajime Okamoto\*1

本報は、ここ数年に発表された当社の建設材料の研究分野の開発成果をとりまとめたものである。

当社の研究開発は、かつては厳しい経済環境の中で、原価低減を目的とするものが主体であった。当研究分野においては、品質確保を最重要と考えてきたため、コストダウンとの両立できる技術開発は非常に難しい課題であった。そこで、特殊な用途向けで非常に高価であった材料を、必要な機能や性能を保持したままコストダウンを図った材料開発や、従来よりコスト安の材料を見い出して調達する際に、安心して適用できるかどうかを確認する評価選定技術、材料や施工品質の安定、耐用年数の延長による補償工事の予防やライフサイクルコストの削減などにより、研究開発成果を間接的にコストダウンに反映させてきた。また、環境に対して社会の認識が大きく変化したため、地球環境、健康被害などの面で材料に求められることが多くなり、それらに対応する研究課題にも取り組んできた。

一方、社会の変化を見据えた広い視野で、中長期的な研究開発も奨励されており、10～20年後の社会状況を想定しつつ、今から着手すべき研究も設定するようになっている。そのため、異分野の最先端の材料開発の動向を注視しながら、目的とする成果の鍵になると想定される技術を保有あるいは先行開発する、これまであまり建設業との関わりがなかった企業や研究機関との関係構築も模索している。

以上のように今後は、従来の現業対応の技術開発と、将来を見据えた研究開発の両面で、当社利益に貢献する成果を継続して創出していく所存である。

---

\*1 技術研究所 建設材料部長 博士（工学） General Manager, Construction Material Engineering Department, Research & Development Institute, Dr. Eng.