

建材試験 情報 2026.5・6

VOL.
62

J T C C M J O U R N A L (N O . 6 7 1)

ご挨拶

事務局長就任のごあいさつ／木下一也

寄稿

多孔質材料の熱湿気物性値の測定／銚井修一

コンクリートポンプに用いる先送り材と圧送されるコンクリートのコンタミネーション／中田善久

建築用仕上塗材の基礎と最近の動向／田村昌隆

寒冷地コンクリートの試験研究 一公設試から大学へー／谷口 円

特別企画

あの人に聞いてみた!

【新】基礎講座

鉄筋の試験の基礎知識



- **02** **ご挨拶**
事務局長就任のごあいさつ
常務理事・事務局長 木下一也
- 寄稿 ● **03** **多孔質材料の熱湿気物性値の測定**
京都大学 名誉教授 銚井修一
- **10** **コンクリートポンプに用いる先送り材と
 圧送されるコンクリートのコンタミネーション**
日本大学 理工学部 建築学科 教授 中田善久
- **16** **建築用仕上塗材の基礎と最近の動向**
日本建築仕上材工業会 常務理事 田村昌隆
- **22** **寒冷地コンクリートの試験研究 — 公設試から大学へ —**
室蘭工業大学大学院 工学研究科 もの創造系領域 教授 谷口 円
- **27** **事業報告**
2025年度調査研究事業報告
経営企画部 企画調査課
- 技術紹介 ● **28** **技術レポート**
十勝川千代田実験水路を活用した実大木造住宅の水理実験
株式会社一条工務店 特建設計部 部長 平野 茂
 株式会社一条住宅研究所 免震住宅推進部 専任課長 古澤 信
 国立研究開発法人建築研究所 研究専門役 植本敬大
- **34** **規格基準紹介**
**JIS Q 55001 (アセットマネジメント—アセットマネジメントシステム—要求事項)の
 改正について**
認証ユニット ISO審査本部 マネジメントシステム認証課 主幹 佐竹 円
- **36** **試験設備紹介**
手動耐水度試験機
総合試験ユニット 中央試験所 材料グループ 主任 武田愛美
- **38** **特別企画**
あの人に聞いてみた!
- 連載 ● **40** **骨材の系譜**
vol.10 代替骨材
 工学院大学 名誉教授 阿部道彦
- **46** **これまでの実験研究に基づく些細な私見**
その5 建築物の予防保全 — 建築ユーザーを「第一の点検・診断者」とするために —
 安田女子大学 理工学部 建築学科 教授 (広島大学 名誉教授) 大久保孝昭
- **53** **事業計画**
2026年度事業計画
- **56** **基礎講座**
鉄筋の試験の基礎知識
Vol.1 鉄筋コンクリートと鉄筋(素材)
 工事材料試験ユニット 工事材料試験所 企画管理課 主幹 若林和義
- **58** **試験装置図鑑**
- **60** **NEWS**
- **62** **REGISTRATION**

事務局長就任のごあいさつ

常務理事・事務局長

木下一也



この4月より、一般財団法人建材試験センター事務局長に就任いたしました木下でございます。

建材試験センターは、1963年の創設以来、第三者試験・認証等機関として公正・中立な立場で建築・土木分野に係る材料、部材、建築設備等の安全性や性能に関する試験・認証・評価・証明等を実施してまいりました。この間、高度経済成長と景気の低迷、国際化・市場開放の動きなど、さまざまな社会経済状況の荒波や技術革新に対応し、設備や体制の充実のみならず試験以外にも事業の幅を広げるなど、総合的な第三者機関として、我が国建設産業の健全な発展に寄与するとともに国民生活の向上に貢献してまいりました。

これまで、センターをご利用いただきましたお客様に感謝申し上げるとともに、これまで業務に勤んでこられた役職員の皆様に敬意を表するものであります。また、このたびその一員に加わらせていただくことは望外の喜びでもあり、身の引き締まる思いでもあります。

現下の社会経済状況につきましては先行き不透明感はありますが、当センターの業務運営といたしましては、まずはお客様の声に耳を傾け、技術革新の動向にも目を配り、また、センターの経営資源を最大限活かしつつ、新規事業の展開、計画的な施設・設備の整備・更新、業務の効率化などを進めることにより顧客満足度の向上と総合的な第三者機関としての使命を果たせるよう努めてまいります。

引き続き、皆様方のご指導、ご鞭撻をよろしくお願い申し上げます。

多孔質材料の熱湿気物性値の測定

京都大学 名誉教授

銚井修一



1. はじめに

1.1 熱水分の物性値測定を延々と

筆者自身が測定を行うことは最近では殆ど無いが、学生時代に卒論・修論そして学位論文で行っていたことは、建築材料の熱水分物性値の測定に関係しているものだった。卒論・修論では、周囲の相対湿度が100%のときに建築材料が平衡する含水率の測定を研究テーマとした。博士課程に進んでからは、水分移動係数(水分拡散係数)の測定を始め、その後、熱伝導率の測定に重点を移した。それは水分移動を扱う場合、温度・熱移動との相互作用が無視できないためだが、当時は湿った材料の熱伝導率を測定することは大変難しいと聞いていたことが、自身の研究の駆動力になったかもしれない。水分拡散係数の測定は、神戸大学に勤務するようになってからも学生中心で継続し、種々の材料について視点を変えて測定を行った^{1), 2)}。最近は、中国の大学において研究室の学生が行っている水分拡散係数の測定に関して、アドバイザー役で関与している。

1.2 本稿の内容

それらの測定を通して得られた結果は、主として建築学会大会で口頭発表してきたが、今回本誌への寄稿の機会を与えていただいたので、熱湿気物性値測定に関係する筆者自身の研究を最近の斯界の研究やISOの動きと関連させて見直し、改めて強調したい結果について報告させていただく。

熱水分物性の測定法としては、湿った材料の熱伝導率測定法と水分拡散係数の測定を取り上げ、測定法と得られた主要な成果と、これまで詳細な発表をしていない内容に重点を置いて述べる。最後に、測定の基礎となる多孔質材料中での熱と水分の同時移動の基礎式と熱水分物性値の関係、多孔質材料のマイクロモデルとマクロモデルの位置付けについて、思うところを書いてみたい。

2. 湿った材料の熱伝導率

2.1 湿った材料の熱伝導率測定のお考え方

湿った多孔質材料の熱伝導率測定における最大の問題

は、熱移動と水分移動が互いに影響し合い不可分なため、熱伝導率を測定しようとして試料に温度差をつけると水分が移動し、一定の含水率に対する熱伝導率が測定できないことである。また、水分移動に伴い熱の移動が生じることも、測定(結果の解釈)を困難にしていた一因であった。

2.2 周期法による熱伝導率の測定

(1) 周期的測定法

この問題に対して考えた末にたどりついた結果は、周期法の採用であった。試料の一端を短時間加熱し、その後冷却するというサイクルを繰り返し、試料の温度を時間的に一定に保ち、それにより含水率分布も平均的に一様にしていう単純な発想である³⁾。ただし、それによって本当に一様性が保たれるのか、また、どのような測定条件であれば一様性が満たされるのかなどは明らかではなく、熱と水分移動を同時に考慮した方程式^{4), 5), 6)}を用いて、その妥当性の評価を試みた。さらに測定法としての利用を考慮し、摂動法による線形化方程式群の解に基づいて、物性値や測定条件を用いた測定値の数式表現、含水率分布の非一様性の評価式などを求めた^{7), 8)}。

その結果、得られた主な成果は、①熱と水分の移動は分離できず、従って湿った材料の熱伝導率は両者を合わせた値として定義すべきこと、②その熱伝導率は液水の顕熱移動が小さい場合には、(1)式で与えられることである。

$$\lambda^* = \lambda + HD_{Tv} \quad (1)$$

ここで、 λ は水分移動が無い場合の熱伝導率(含水による影響は含む)、 H は蒸発潜熱(吸着熱)、 D_{Tv} は温度勾配による水蒸気の移動に対する拡散係数である。

また、平均温度、平均含水率を一様にしようという周期法においても、系の非線形性により平均含水率(および温度)は非一様になることを示すと共に、適当な精度の測定に要求される振幅と周期、温度測定位置に対する制約を与える公式を導出した⁹⁾。

(2) 周期的熱伝導率測定装置と測定

(1)の結果に基づき周期法による熱伝導率測定装置を作成し、測定を行った⁸⁾。試料(軟質繊維板)の平均含水率と平均温度を種々変えて測定を行い、それに基づき熱伝導率を求めた結果を図1に示す。試料の平均含水率の増加とともに熱伝導率は増加する。興味深いのは、試料の平均温度が異なっても熱伝導率は大きく変化し、平均温度が高いと大きくなるという結果である。これは、湿った材料の中では相変化が起き、蒸発した水蒸気が移動するが、この水蒸気とともに(潜)熱が運ばれ、見かけ上の熱伝導率が増加することによる(飽和水蒸気圧が温度により増加することが大きく影響する⁶⁾)。

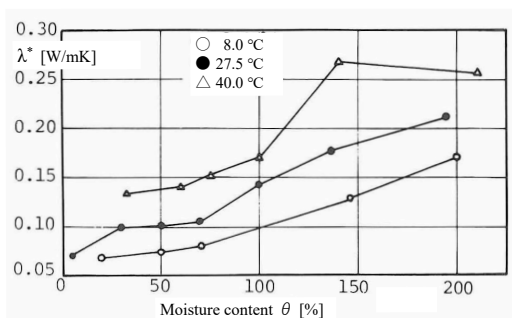


図1 平均含水率と熱伝導率λ*の関係(軟質繊維板)

(3) 水分移動係数の液と水蒸気成分への分離

熱伝導率の温度による変化を、簡易な水分移動のモデルを用いて表現することにより、水分移動係数を液と水蒸気成分に分離(推定)できることを示した⁹⁾。3章に述べる水分拡散係数の液水成分と蒸気成分への分離は、熱移動への水分移動の影響を評価するためには不可欠であるが、測定は一般的に困難である。λ*測定値の温度依存を利用した気液分離は有力な方法と考えている。

(4) ISO16957

研究を進めていた当時には考えてもみなかったが、名古屋工業大学(現)名誉教授の水谷先生のお奨めがあり、この結果をISO化することにし、2016年に無事ISO 16957⁹⁾として発行された。その後、このISOに基づいて熱伝導率を測定したという報告は見られず、多少気にしていた。しかし、最近になり採用された例¹⁰⁾を知り、胸をなでおろしている。なお、スマートな周期法測定装置がISO 21901¹¹⁾として日本より提案されている。ISO 16957の考え方と合わせることで、精度良い湿潤時の測定が可能になると考えられる。

2.3 定常熱伝導率測定法

(1) 定常熱伝導率測定法の位置付け

水分分布をできるだけ一様に保つことができる測定法として、最終的に周期法を採用したが、研究当初は温度差を非常に小さくした定常測定法について検討した⁷⁾。ただ、

予想に反して、温度差を非常に小さくしても水分移動の影響を除くことはできず、種々の要因が影響する値が測定されることが明らかにされた。

検討結果はすでに公表しているが^{7), 8)}、定常法による湿った材料の熱伝導率測定は、現在でも中心的な役割を果たしている(ISO 10456¹²⁾)。最近、TC163-SC2-WG9では、測定値データベースの改訂作業が始まったが、検討項目の一つが測定された断熱材の含水率値をどう捉えるのかという疑問であり、これはまさに上述の問題意識に対応するものである(因みに、繊維板の熱伝導率についての議論も提出されている)。従って、これについて改めて評価しておくことが、特に断熱材については必要と考えられる。

(2) 定常熱伝導率測定法の基礎関係式

通常の定常熱伝導率測定法において測定されるのは、両表面を断湿された試料の両側表面温度 T_A 、 T_B 及び熱流 q_h であり、試料厚さ L を用いて(2)式により定常測定法による熱伝導率 λ' が得られる。

$$\lambda' = \frac{Lq_h}{T_A - T_B} \quad (2)$$

この λ' を試料平均含水率 w_m に対して表示することになる。熱水分移動の基礎式^{7), 8)}において定常、一次元の場合を考えると

$$\text{水分: } \frac{\partial}{\partial x} \left(D_w \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(D_T \frac{\partial T}{\partial x} \right) = 0 \quad (3)$$

$$\text{熱: } \frac{\partial}{\partial x} \left[(\lambda + HD_{Tv}) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + H \frac{\partial}{\partial x} \left[D_{wv} \frac{\partial w}{\partial x} \right] = 0 \quad (4)$$

水分移動に対する境界条件は両側断湿より

$$-D_w \frac{\partial w}{\partial x} - D_T \frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad (x = 0, L) \quad (5)$$

熱に対する境界条件は、両表面温度を与えるので

$$T_{x=0} = T_A, T_{x=L} = T_B \quad (6)$$

(3)(4)式を境界条件(5)(6)式の下で解くことにより、含水率分布 $w(x)$ 、温度分布 $T(x)$ を得ることができる。この結果を用いて、熱流 q_h が求められ、更にこれを(2)式に代入して λ' が得られる。また、このときの試料の平均含水率を w_m とすると

$$w_m = \frac{1}{L} \int_0^L w(x) dx \quad (7)$$

で求められる。

(3) 軟質繊維板についての算定結果

(2)の基礎式に基づき定常法により得られた平均含水率と熱伝導率の関係 $\lambda' - w_m$ の計算例を図2に示す。材料としては厚さ8mmの軟質繊維板を用い、平均温度は20℃とした。計算に用いた λ 、 λ^* は2.1節のものである(測定の立場からは本来未知であるが、それらの値が定常測定法に及ぼす影響を調べるために既知として扱う)。試料両表面の温度差は、1.0、2.0、3.0℃と変化させている。なお、水分拡散係数 D_w 、 D_T については3章で述べるが、それらを図4、図5に示す。

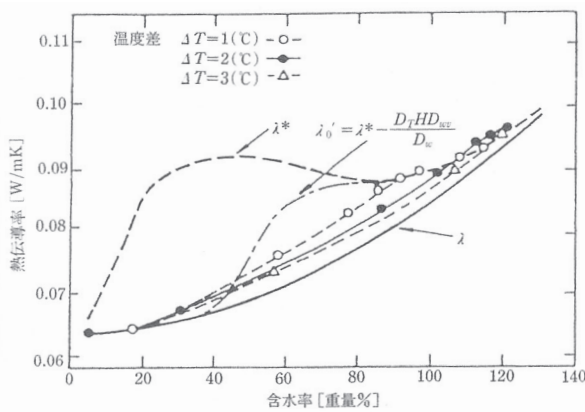


図2 定常測定法による熱伝導率:温度差1~3℃

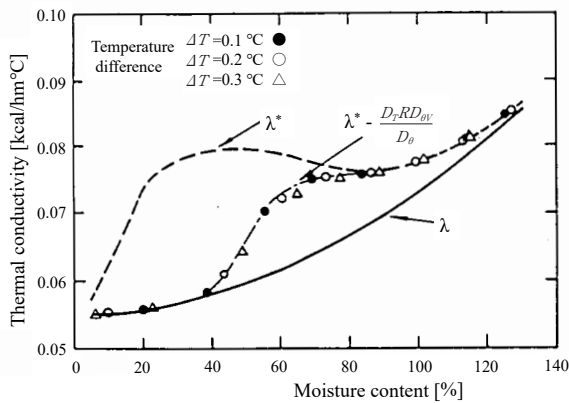


図3 定常測定法による熱伝導率:温度差0.1~0.3℃

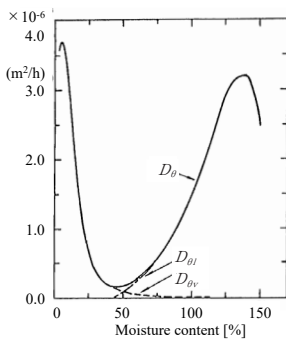


図4 含水率勾配に対する水分拡散係数 D_w

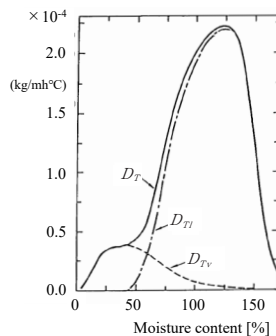


図5 温度勾配に対する水分拡散係数 D_T

図2から判るように、

- 1) 温度差 $\Delta T = T_A - T_B$ が小さくなると、 λ' は λ を離れる値に近づく。この値は λ^* と異なる。
- 2) ΔT が 1.0、2.0、3.0℃ と大きくなると、 λ' は λ とは異なるが λ にかなり近づく。

以上のように、定常法においては、両側の温度差 ΔT の値により測定される値が変化する。従って、定常法により測定された値を用いる場合には、十分な注意が必要となる。

(4) 両側温度差 ΔT を非常に小さくした場合の熱伝導率値

次に、両側温度差 ΔT を十分小さくすれば λ (あるいは λ^*) が測定されると一般的には考えられているが、これについて検討する。 ΔT が十分小さい場合、材料内の温度、含水率分布は一様に近づき、基礎式に現れる移動係数を一定と置いても構わない。従って、(3)(4)式の各係数を一定として解くと、含水率、温度分布は、以下となる。

$$w(x) = \frac{D_T}{D_w} \frac{T_A - T_B}{2} \left(\frac{2x}{L} - 1 \right) + w_m \quad (8)$$

$$T(x) = \frac{T_A - T_B}{2} \left(1 - \frac{2x}{L} \right) + \frac{T_A + T_B}{2} \quad (9)$$

また、これらより、熱流 q_h は

$$q_h = -\lambda^* \frac{\partial T}{\partial x} - HD_{wv} \frac{\partial w}{\partial x} = \lambda^* \frac{T_A - T_B}{L} - HD_{wv} \frac{D_T}{D_w} \frac{T_A - T_B}{L} \quad (10)$$

となる。これを(2)式に用いると

$$\lambda' = \lambda'_0 = \left(\lambda + HD_{Tv} \right) - \frac{D_T HD_{wv}}{D_w} = \lambda^* - \frac{D_T HD_{wv}}{D_w} \quad (11)$$

となる。この結果から次のことが判る。

- 1) 一般的には、 λ'_0 は λ と $\lambda^* (= \lambda + HD_{Tv})$ と異なる。
- 2) 液移動のみの領域 ($D_{wv} = D_{Tv} = 0$) では、 $\lambda'_0 = \lambda^* = \lambda$
- 3) 水蒸気移動のみの領域 ($D_w = D_{wv}$, $D_T = D_{Tv}$) では、 $\lambda'_0 = \lambda$ 従って、温度差 ΔT を十分小さくしても、必ずしも λ あるいは λ^* は測定されず、材料の移動係数が複雑に影響した λ'_0 が測定されることが分かる。 ΔT を 0.1、0.2、0.3℃ と非常に小さくした場合の λ'_0 を図3に示す。

3. 水分移動係数の測定とその特性

3.1 はじめに

熱伝導率測定法の検討に用いた熱水分移動の基礎式には2つの水分拡散係数が登場する((3)(4)式)。これらは、さらにそれぞれ水蒸気成分と液水成分よりなる。本節では、それらのうち含水率勾配に対する水分拡散係数 D_w (液水成

分 D_w + 水蒸気成分 D_{wv})について説明する。

含水率勾配に対する水分拡散係数 D_w は、Darcy則¹³⁾として古くから農学を中心として実験的、理論的基礎が確立され、測定データの蓄積がなされてきたが、建築材料についての測定は限られている。建築材料の多くは、試料としての大きさや形状を土壌のように自由に設定することが難しく、さらに異方性などの煩雑さが伴うことが一因と考えられる。従って建築材料に対する標準的な測定法はまだ整っておらず、その確立が望まれる。

そのような観点より、日本では(一財)建材試験センター、(一財)日本建築総合試験所を中心にISO化を目指した活動が進められている(TC163-SC1)。測定において、実際上問題となるのが含水率の測定である。 D_w 測定には、含水率勾配が必要で、それには含水率分布を(できれば時間変化も含め)連続的に適切な精度で測定する必要があり、試料を分解せずに測定する非破壊測定法が望まれる。含水率の非破壊測定には種々の方法があるが、通常ガンマ線透過法¹⁴⁾などのように大がかりで高価な測定装置が必要とされ、それを導入できる機関は日本では限られる。

それを考慮し、本稿では試料を分割して含水率を測定する測定法の精度、従って実用的な測定法としての可能性に重点を置いて説明する。

3.2 含水率勾配に対する水分拡散係数 D_w の測定

(1) 測定の考え方

等温、定常、一次元Darcy流れにおいては、材料内の水分流 J_w は、次式で与えられる。

$$J_w = -D_w \rho_w \frac{\partial w}{\partial x} \quad (12)$$

ここで、

J_w : 水分流速 [kg/m²s]、 ρ_w : 水の密度 [kg/m³]

D_w : 含水率勾配に対する水分拡散係数 [m²/s]、

w : 含水率

J_w は水蒸気と液水による水分流の和である。(12)式より、水分流 J_w と含水率勾配 $\partial w/\partial x$ を測定することにより D_w を求めることができる。

(2) 測定装置と測定手順、測定結果

測定装置の例を図6に示す。これを恒温恒湿室に入れ、温湿度を一定に保つ。水槽から試料に水が供給され、図の矢印の方向に蒸発する。水の補給はロートから行う。蒸発量はメスピベットで読み取る。定常に達した段階で試料を切断し、含水率分布を求める。定常の確認は、メスピベット内の水分の移動速度が一定となることにより行う。図中のポテンシャル差は、試料中に生じる含水率の範囲を調節するためのものであり、ポテンシャル差が大きいほど、試料に生じる含水率は小さくなる。

軟質繊維板の測定結果は、すでに図4に示したものである。この図では、含水率の低い領域と高い領域で、それぞれ水蒸気と液水の移動割合(D_{wv} と D_w)が多くなるように適当に分離した(推定)曲線を引いてある。

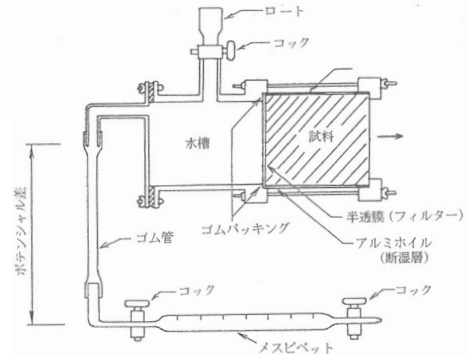


図6 水分拡散係数 D_w 測定装置

(3) D_w の性質

図4に示されるように、含水率の値によって D_w は大きく変化する。これは、多孔質材料中における水分の配置の変化が、水分移動に影響するためである。一般に含水率が増加するにつれて、 D_w は最初減少し、再び増加するという傾向をもっている。含水率の低いところでは水蒸気移動が大部分を占め、一方、高含水率領域においては液移動が支配的と考えられる。高含水率領域での D_w の増加は、水分量が増加するにつれ、液のつながりが多くなり、移動量が増加することによる。なお、水分移動の形態が水蒸気か液状水かは、水分分布に対してよりも、熱移動に対して大きな影響を及ぼす。

D_w の値は、材料によって異なるが、温度によっても変化する。これは、水蒸気移動が支配的な領域では飽和水蒸気圧が、液水移動が支配的な領域では表面張力や粘性係数が、温度によって変化することに起因する。また、 D_w にはヒステシスも認められる。

3.3 試料切断による水分拡散係数の測定

(1) 試料分割による測定誤差¹⁵⁾

3.1節で述べたように、含水率の非破壊測定法には、ガンマ線装置、NMR、中性子装置、X線装置など様々なものがあるが、高価なことと安全性確保のためには、適切な測定室と管理者資格が要求される場合があり、導入が可能な機関は日本では限られる。

それに対して、試料を分割して含水率を測定する方法では、分割方法や分割に伴う試料内の水分移動などが問題となるが、大掛かりな装置、実験室は必要とされず、実用的な測定法として有用と考えられる。ただ、試料を有限厚さに分割し、含水率分布を求めることに伴う誤差は、気になるところである。以下では、この離散化(分割)が水分拡散係数の推定精度に及ぼす影響を評価する。

水分拡散係数の測定においては、ある有限の厚さで試料を分割し、分割された試料の平均含水率と含水率勾配を求め、 D_w を決定する。従って、連続的な含水率分布から得られる D_w の値と、測定から得られた D_w の値が異なるため、その誤差を評価する。

(2) 測定精度の検討：基礎式・境界条件と含水率分布

等温、定常、一次元流れにおける多孔質体内の水分流は(12)式で表され、境界条件は試料両側の含水率が与えられるので、

$$w = w_1 (x=0), w = w_N (x=L) \quad (13)$$

液水移動領域の拡散係数 D_w は、多くの場合、**図4**に示すような変化、すなわち、含水率の適当な範囲に限ると単調に変化するので、これを次の指数関数で近似する。

$$D_w = C_1 e^{C_2 w} \quad (14)$$

(14)式を(12)式に代入し、境界条件(13)式の下に解くと含水率分布と流量 q_w が得られる。この連続的な含水率分布より、測定における試料分割に対応して分割された各層の平均含水率(離散値)を算定する(**図7**)。これと(12)式を離散化した $J_w = -D_w \rho_w (w_{i+1} - w_i) / (X_{i+1} - X_i)$ より、次の関係が得られる。但し、 $D_w(i)$ は平均含水率を用いて得られる水分拡散係数であり、 i は層(切片)番号を表す。

$$D_w(i) = \frac{C_1 (e^{C_2 w_N} - e^{C_2 w_1}) (X_{i+2} - X_i)^2}{4L^2 \ln \frac{\left(\frac{X_i}{L} + a\right)^{\frac{X_i}{L} + a} \left(\frac{X_{i+2}}{L} + a\right)^{\frac{X_{i+2}}{L} + a}}{\left(\frac{X_{i+1}}{L} + a\right)^2 \left(\frac{X_{i+1}}{L} + a\right)} \quad (15)$$

ここで、

$$a = \frac{e^{C_2 w_1}}{e^{C_2 w_N} - e^{C_2 w_1}} \quad (16)$$

であり、 X_i は切断面の座標である。

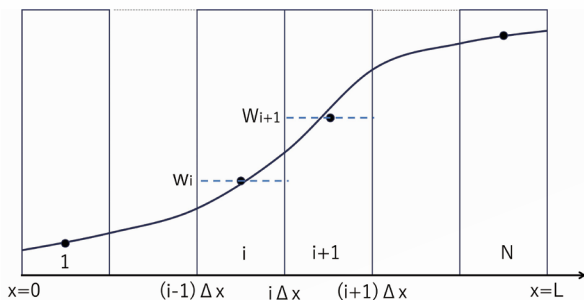


図7 試料分割と平均含水率

(3) 測定誤差の評価式

平均含水率に対する真の D_w 値($D_{w0}(i)$ で表す)は、含水率の解析解を(14)式に代入して得られ、次式となる。

$$D_{w0}(i) = \frac{C_1 \left(\frac{X_{i+2}}{L} + a\right)^{\frac{L}{2\Delta x} \left(\frac{X_{i+2}}{L} + a\right)} (e^{C_2 w_N} - e^{C_2 w_1})}{e \left(\frac{X_i}{L} + a\right)^{\frac{L}{2\Delta x} \left(\frac{X_i}{L} + a\right)}} \quad (17)$$

Δx は試料分割(等分割)幅である。

この真値 $D_{w0}(i)$ に対する測定値(15)式 $D_w(i)$ の誤差 ϵ は、

$$\epsilon = \frac{D_{w0}(i) - D_w(i)}{D_{w0}(i)} = 1 - \frac{\Delta x^2 e}{L^2 \left[\left(\frac{X_{i+2}}{L} + a\right)^{\frac{X_{i+2}}{L} + a} \left(\frac{X_i}{L} + a\right)^{-\left(\frac{X_i}{L} + a\right)}\right]^{\frac{1}{2\Delta x} \ln} \frac{\left(\frac{X_i}{L} + a\right)^{\frac{X_i}{L} + a} \left(\frac{X_{i+2}}{L} + a\right)^{\frac{X_{i+2}}{L} + a}}{\left(\frac{X_{i+1}}{L} + a\right)^2 \left(\frac{X_{i+1}}{L} + a\right)}} \quad (18)$$

となる。試料分割数を n とすると、(18)式は次式となる。

$$\epsilon = 1 - \frac{e}{n^2 \left[\left(\frac{i+1}{n} + a\right)^{\frac{i+1}{n} + a} \left(\frac{i-1}{n} + a\right)^{-\left(\frac{i-1}{n} + a\right)}\right]^{\frac{1}{2} \times \ln} \frac{\left(\frac{i-1}{n} + a\right)^{\frac{i-1}{n} + a} \left(\frac{i+1}{n} + a\right)^{\frac{i+1}{n} + a}}{\left(\frac{i}{n} + a\right)^2 \left(\frac{i}{n} + a\right)}} \quad (19)$$

従って、誤差 ϵ は試料分割数 n 、層番号 i 、水分拡散係数の含水率による変化率 a を用いて評価される。 $a > 0$ の場合には、 i が小さく、かつ a が小さい程、誤差 ϵ は大きくなる。 $n=2, i=1$ とすると(19)式は、次式となる。

$$\epsilon = 1 - \frac{e}{4(1+a)^{(1+a)} a^{-a} \times \ln \left[\frac{a^a (1+a)^{(1+a)}}{\left(\frac{1}{2} + a\right)^2 \left(\frac{1}{2} + a\right)} \right]} \quad (20)$$

図8に(20)式の $\epsilon - a$ の関係を示す。

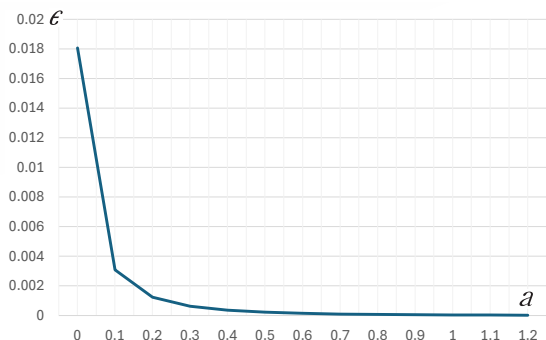


図8 誤差 ϵ のパラメータ a による変化

(4) 測定精度の検討：誤差の特徴

a が大きくなると $\epsilon \rightarrow 0$ となる。 a が大きい場合は、水分拡散係数の含水率による変化が小さい場合に対応するので、この結果は物理的に妥当なものといえる。また、 $a \rightarrow 0$ の場合、誤差は最大でも約2%である。つまり、試料分割により含水率を平均化することに付随する誤差は、最大でも2%であり、 D_w が含水率に対して単調に変化する限り、試料分割による含水率の平均化による誤差は、ほとんど無視できる。

4. ミクロモデルとマクロモデル

4.1 材料特性と熱水分移動のモデル化の関係

以上では、熱水分同時移動の基礎式およびそれを構成するマクロな構成関係（流速－ポテンシャル勾配関係）を前提として検討した。ただ、ミクロな細孔構造中での熱、水蒸気、液水の移動とポテンシャルを形成する水の状態と配置を考えると、マクロな構成関係がどの程度妥当なのか疑問が生じる。流速を単純なポテンシャル勾配で表現することの妥当性、連続体仮説の妥当性に対する疑問であり、乱流のモデリングと同種の問題¹⁶⁾である。

ミクロな構造で成立する個々の素過程（流速－ポテンシャル関係）に基づいて、ミクロ構造（固体実質部、空隙内液水、空隙内空気＋水蒸気）の集合体として構成される有限の領域で成立するマクロな構成関係を導出しようとする、平均化操作に依存した材料特性値（材料物性値とは呼べない）が登場せざるを得ない。この平均化プロセスで、基礎式と特性値を切り離すことができなくなるため、平均化操作の妥当性を検討するためには、ミクロな構造に立ち返らざるを得ない。

現状では、基礎式と熱水分物性値を殆ど独立に扱っているが、上述のように基礎式導出の過程を振り返ると、基礎式と移動係数は相互に依存しており、物性値の内容や精度と独立に基礎式を論ずることはできない。これまで当たり前のように「物性値」という言葉を用いたが、2、3章の建築多孔質材料の熱伝導率、水分拡散係数は、純粋な物性値ではないというのが適切な捉え方であろう。

4.2 ミクロモデルとマクロモデル

ミクロな材料構造に基礎をおいて、種々の物性値を推定することは、多孔質材料での熱水分移動の研究を始めると誰しも思うことであり、筆者も30代までは多少試みたが、早々に撤退した。ミクロな構造を扱うことの実際の限界を感じたことが第一にあったが、測定により得られたマクロな特性値を用いて、実態を説明することが当面の関心であり、それだけで精一杯だったという面がある。

近年、ヨーロッパの研究者がミクロな構造を考慮した現象把握^{17), 18)}やマクロな物性値推定¹⁹⁾を進め、興味深い結果を得ている。材料の細孔構造と空隙中の水の状態の測定

が可能になってきたこと、それらのミクロな現象を考慮して、膨大なネットワークモデルの解析ができる程度にコンピュータの容量、演算速度が発展したことの影響が大きい。

では、マクロな表現が不必要あるいはいずれ無くなるかということ、使用目的に応じた適切なモデル化は、やはり必要であると考えている。それは、以下に述べるように、数値計算より得られた結果を目的に応じて加工する必要があること、物事を理解するには、やはりある種の単純化が必要と考えるからである。

ミクロなアプローチの基本的な問題は、個々の試料により得られる結果（特性値）が異なることである。個々の材料の挙動を正確に予測するためには、各試料の正確なミクロ空隙構造が必要となるが、正確な空隙情報を得ることは極めて難しい。正確な空隙構造の情報が無ければ予測できないこと、さらに、正確な空隙構造に基づいて得られた特性値でもサンプルにより異なるため、物性値と見なされないというのは致命的な欠陥と言える。つまり、正確な空隙情報を得て入力できたとしても、その結果得られる流量などがどのような意味を持つかが問題となる。同じ材料・大きさ・製法の試料でも、ロットが異なると空隙構造は異なるため、その試料にしか適用できない情報をどう用いるのかという疑問である。実際の建物では、そのような材料が組み合わされて構成されるので、ミクロな違いのある材料の集合体として推定することになる。それに対して、それを構成する材料の物性値は分からなくても、そのような材料がAssembleされた一つの建物について、ある特性値を得られたとすると、それは少なくともその建物自身には適用できる情報であり、実際的な意味を持っている。前者に比して一体どちらがより多くの情報をもつと言えるだろうか？

4.3 今後の方向性：簡易化と複雑化のスパイラル²⁰⁾

そのように考えると、やはり、ミクロなモデルにより得られた結果を目的に応じて処理（マクロ化）する必要があり、物事の理解にはそのような単純化が欠かせないと思う。ミクロな空隙構造を求め（複雑化）、それから得られる個々の情報を普遍化、特性把握（単純化）を行う。これは、建物など材料が組み合わせられたネットワークへの複雑化という、次の段のスパイラル展開につながる。

<プロフィール>
専門分野：建築環境工学
最近の研究テーマ：文化財の保存、収蔵環境の設計

参考文献

- 1) 松本 衛, 銚井 修一, 恩村 定幸: 建築材料の水分拡散特性の測定に関する研究, 木材の水分拡散係数の測定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1987.10
- 2) 松本 衛, 銚井 修一, 田口 博文: 土壌の水分伝導率と水分ポテンシャルの測定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1988.10
- 3) 棚澤 泰: 湿れる物質 (特に土砂) の熱常数測定法 (第1報), 日本機械学会誌, Vol. 35, pp.390-399, 1932
- 4) 前田 敏男, 松本 衛: 結露蒸発の生じない場合の壁の吸放湿の基礎式について, 空調衛生工学会近畿支部環境工学研究会資料, 11号, pp. 1-11, 1967
- 5) J. R. Philip, D. A. De Vries: Moisture Movement in Porous Materials under Temperature Gradient, Trans. Amer. Geoph. Union, Vol. 38, pp. 222-232, 1957
DOI: 10.1029/TR038i002p00222
- 6) O. Krischer: Die Wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungs Technik, 2.Aufl., Springer V., 1963
- 7) S. Hokoi, G. Horie, T. Ikeda: Thermal Conductivity of the Moist Porous Building Material, 11th Congress of IABSE, Aug.-Sept., 1980.
- 8) 銚井 修一, 池田 哲朗, 堀江 悟郎: 多孔質建築材料の湿潤時熱伝導率について, 日本建築学会計画系論文報告集, 第354号, pp. 11-21, 1985.8
- 9) ISO 16957: Measurement of apparent thermal conductivity of wet porous building materials by a periodic method, 2016.
- 10) W. Schmidt: Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit feuchter Stoffe Untersuchung der Anwendung der ISO 16957 in der Dämmstoffprüfung, Masterthesis im Studienfach Umweltingenieurwesen, München, 2019
- 11) ISO/DIS 21901: Thermal insulation – Test method for thermal diffusivity – Periodic heat method 2021/2 Published.
- 12) ISO 10456: Building materials and products - Hygrothermal properties – Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values 2007-12-15.
- 13) D. Schwarzenbruber: Flow through Porous Media, Chpt. 6, The Flow of Water Unsaturated Soils, Academic Press, 1969.
- 14) 小椋 大輔, 銚井 修一: ガンマ線含水率測定装置を用いた発泡系断熱材の結露性状, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2005.9
- 15) 松本 衛, 銚井 修一, 平田 順久: 壁体材料及び地盤の水分拡散係数の測定と測定法の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1984.10
- 16) B. E. Launder, D. B. Spalding: Mathematical Models of Turbulence, Academic Press, 1972.
- 17) Carmeliet, J.: A Multiscale Network Model for Simulating Moisture Transfer Properties of Porous Media, Transport in Porous Media, Vol. 35, pp. 67-88, 1999.DOI: 10.1023/A:1006500716417
- 18) D. Derome, A. Rafsanjani, A. Patera, M. Sedighi-Gilani, M. Dressler, J. Carmeliet: The Role of Water in the Behavior of Wood, Proceedings of the 5th IBPC, Kyoto, Japan, 2012.
- 19) M. Islahuddin, H. Janssen: Numerical Estimation of Isothermal Moisture Storage and Transport Properties, Proceedings of The CESBP Central European Symposium on Building Physics and BauSIM. Fraunhofer IRB Verlag, 2016.
- 20) S. Hokoi: Complication-Simplification Spiral in Hygro-thermal Research, Japan Architectural Review, 2019; 2, PP. 5-15, doi.org/10.1002/2475-8876.12075

コンクリートポンプに用いる 先送り材と圧送される コンクリートのコンタミネーション



日本大学 理工学部 建築学科 教授

中田善久

1. はじめに

フライパンで目玉焼きを焼くときに油を敷くように、コンクリートポンプによるコンクリートの圧送に先立ち水およびモルタル（先送りモルタル）を圧送する。この先送りモルタルは、コンクリートの圧送開始時の閉塞防止のためにポンプのホップおよび輸送管内面の潤滑性を確保するためにポンプ工法に必要なものといえる。日本建築学会「コンクリートポンプ工法施工指針・同解説」¹⁾（以下、AIJポンプ指針という。）において、この先送りモルタルは打ち込むコンクリートと同等以上の強度を有すること、その量は配管の径ならびに長さによって定めることおよび型枠内に打ち込まないことが記述されている。このように、打ち込まれるコンクリートの品質に影響を及ぼさないように先送りモルタルの廃棄することが大前提である。

一般的な建築現場におけるコンクリートポンプ工法では、レディーミクストコンクリート工場（以下、生コン工場という。）で製造された先送りモルタル²⁾を現場まで運搬してコンクリートポンプのポッパに投入してブーム輸送管内面の潤滑性を確保して、その後にコンクリートとともに圧送している。この圧送された先送りモルタルは、後のコンクリートとともにトラックアジテータ車に戻して廃棄している（通称、ミキサ返し）。また、モルタルの調合を1:3モルタルとし、水→モルタル→コンクリートの順に圧送し、この使用量を0.5~1.0m³としている場合が多い。

一方、近年では、ポンプ根元のT字管やベント管から投入する少量の先送り材³⁾が開発・販売されている。これらの先送り材のパフレットやHPには、少量で圧送できること、先送りモルタルと使用量・費用や環境問題を比較してメリットがあることについて述べているものの、先送り材の後に圧送されるコンクリートの品質について触れられておらず構造体コンクリートの品質確保の観点が懸念される。

本稿では、このような先送り材の後に圧送されるコンク

リートのコンタミネーションを俯瞰して熟考するために、先送りモルタルに関するJASS 5⁴⁾の変遷と既往の研究、先送り材の使用状況、圧送技術研究会による先送り材と圧送されるコンクリートのコンタミネーションおよびポンプ根元のT字管やベント管から投入する少量の先送り材の行方について述べたものである。本稿で用いた“コンタミネーション”とは、“コンクリートに先送り材が混入するなどして、コンクリートが本来もっている機能・性能に好ましくない影響を与えられている状態”を意味している。

2. 先送りモルタルに関するJASS 5⁴⁾の変遷と既往の研究

先送りモルタルに関するJASS 5⁴⁾の変遷を図1に示す。1997年版において「先送りモルタルの品質変化した部分は、型枠内に打ち込まず廃棄する」と記述されており、この先送りモルタルを型枠内に分散して打ち込むことが解説されていた。当時は、コンクリートの打継ぎ部分に敷モルタルを打ち込んでいることが多く、健全なモルタルであれば打ち込んでも構わないとされていた。しかし、2015年版では「先送りモルタルは原則として型枠内に打ち込まない」という記述になり、2022年版に至っては「先送りモルタルは型枠内に打ち込まない」という記述になった。これは、2000年に“建築材料の品質について定める建築基準法第37条”が改正され、主要構造部材に使用する建築材料のうちのコンクリートに日本産業規格品あるいは国土交通大臣が定める技術的基準に適合しているもの（大臣認定品）となったことが背景にあると考えられる。また、2023年に発刊された日本コンクリート工学会「コンクリート圧送工法指針」⁵⁾（以下、JCI圧送工法指針という。）では先送り材としてモルタルを標準としてコンクリートに混ざったものを含めて型枠内に打ち込まずコンクリート構造物の品質に影響を及ぼすことなく処理できるように計画することが記述されている。

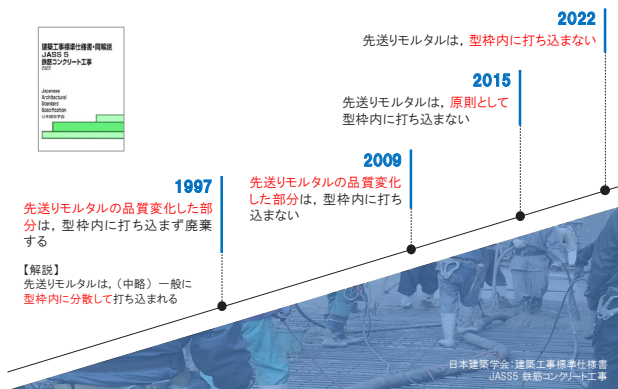


図1 先送りモルタルに関するJASS 5⁴⁾の変遷

一方、わが国で先送りモルタルの実態を先駆的に調査した研究としては森永⁶⁾の研究が代表的である。この中でははじめの50～100Lのモルタル部分を廃棄すれば著しく低強度のモルタルが打ち込まれるリスクを回避でき、先送りモルタルの強度をコンクリートより30～40%大きくすればヤング係数がコンクリートと同等になるとされている。先送りモルタルを型枠内に打ち込まないことを前提とすると、森永⁶⁾の結果を見ても図2に示すように1.0～1.5m³を廃棄する必要があるといえる。先送りモルタルの低減については、毛見²⁾がホッパーからの投入でなくポンプ根元のテーパ管の先に図3に示すようなT字管の投入口を設けて圧送すると先送りモルタルの量を低減できることを実験

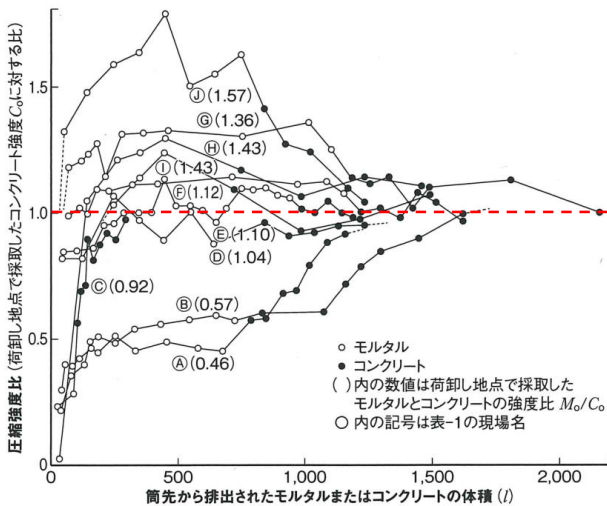


図2 圧送初期に筒先から排出されるモルタルおよびコンクリートの圧縮強度⁶⁾

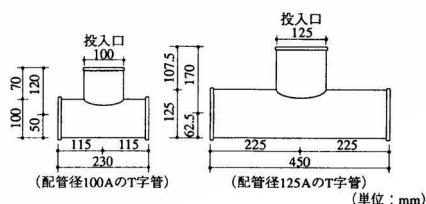


図3 テーパー管の先に設けたT字管による投入口²⁾

的に明らかにしている。この先送りモルタルの低減方法を受けて、1999年頃に高野⁷⁾が有機材料系の先送り潤滑材や地頭園⁸⁾がブレックスした先送り特殊モルタルのような少量の先送り材の開発が行われた。しかし、平成景気の余波のせいか関心を集めることはほぼなかった。

近年、ポンプ根元のT字管やベント管から投入する少量の先送り材³⁾が開発・販売されている。これらの先送り材がどのような開発目標で開発されたのかは不明であるものの、少なくとも、高野⁷⁾や地頭園⁸⁾が開発した先送り材が示すように、“圧送後のコンクリートに悪影響を及ぼさないこと”が目標の1つとしてあるべきといえる。これらの先送り材のパフレットやHPには、少量で圧送できること、先送りモルタルと使用量・費用や環境問題を比較したメリットだけでなく、このような製品としてコンクリート工学に則った開発目標や後に圧送されるコンクリートの品質などを提示して欲しいところである。そのため、JCI圧送工法指針では少量の先送り材について記述されていない。

3. 少量の先送り材の種類と使用状況

3.1 少量の先送り材の種類

少量タイプの先送り材の一例³⁾を表1に示す。ポンプ根元のT字管やベント管から投入される少量タイプの先送り材の主原料・主成分は、先送りによる圧送という同一の要求性能を持つにもかかわらず、多岐にわたる。この主原料・主成分に有機化合物や無機化合物を中心にさまざまな材料が使われており、あくまでもメーカーが提示している主原料・主成分であり、この他にどのような材料が入っているのかも不明である。また、後に圧送されるコンクリートとのコンタミネーションを生じた場合の影響にも疑問が

表1 少量タイプの先送り材の一例³⁾

製造メーカー	製品	主原料・主成分	1袋の容量	基材形態(色)	基本調合	適用範囲	先行水の必要
A社	A-1	増粘剤	140g	細粒(白色)	15L	ブーム配管	不要
	A-2	砂	20kg	粉末(黄土色)	6L	ブーム配管	要
B社	B-1	普通ポルトランドセメント、高炉スラグ微粉末、電気炉酸化スラグ細骨材、分散剤、増粘剤	25kg	粉末(灰色)	9～12L	ブーム配管	不要
	C-1	シリカフューム、フライアッシュ、石膏	5kg	粉末(灰色)	18.4L	ブーム配管	不要
C社	C-2	シリカフューム、ミネラルバインダ、メチルセルロース、メラミン	3.3kg	粉末(灰色)	19L	ブーム配管	不要
	C-3	シリカフューム、フライアッシュ、ポルトランドセメント	3.3kg	粉末(灰色)	18L	ブーム配管	不要
	C-4	シリカフューム、フライアッシュ、ポルトランドセメント	20kg	粉末(灰色)	6.0L	ブーム配管	不要
	C-5	メラミン、硫酸塩ナトリウム、カルシウムポリカーボネート	270g	粉末(白色)	36L	ブーム配管	不要
D社	D-1	生コンスラッジ微粉末	21kg	ペースト(ピンク色)	既調合	ブーム配管	不要
E社	E-1	アクリル酸・アクリル酸ソーダ共重合体、天然植物性粉末	95g	粉末(白色)	18L	ブーム配管	不要
F社	F-1	水酸化カルシウム	6kg	粒塊(ピンク色)	9～10L	ブーム配管	不要

残る。さらに、基材形態のほとんどが細粒あるいは粉末であるため、これらの先送り材を6～36Lに攪拌する必要があり、攪拌する作業員の手間を要する。また、先行水の要否は、攪拌された少量タイプ先送り材が粘性液体あるいはペースト状態となるため、ほとんどが不要となっている。

3.2 圧送事業者による少量先送り材の使用状況

圧送技術研究会が2022年に全国コンクリート圧送事業者団体連合会加盟の圧送事業者を対象に実施した、少量先送り材について行ったアンケート調査⁹⁾の結果を抜粋して再考察する。先送り材の使用の有無・使用理由(頻度)・閉塞のしやすさを図4に示す。先送り材の使用は、80%の圧送事業者が使用経験があり、多くの圧送事業者が使用したことがあるといえる。また、先送り材の使用理由(頻度)では、ゼネコンからの要望が最も多く、圧送事業者が自ら積極的に使用しているわけではないことがわかる。しかしながら、“先行材が支給されない時”や“頻繁使用”の回答もあり、元請けのコンクリートポンプ工法に対する理解不足により、やむを得ず使用している回答もうかがえる。さらに、先送り材の閉塞のしやすさは、“閉塞しやすい”と“どちらでもない”を合わせると約60%の圧送事業者が閉塞しやすいと回答しており、先送り材としての性能に疑問が残る結果であった。

先送り材の作業手間・切替わりの判断・今後の使用⁷⁾を図5に示す。先送り材の作業手間は、“手間がかかる”という回答が62%であり、多くの圧送事業者が負担を感じていることがわかる。これは、生コン工場で製造された先送りモルタルを現場まで運搬してコンクリートポンプのボッ

パに投入する方法と比べ、ポンプ根元のT字管やベント管から投入する方法が人為的作業が多いためと考えられる。また、先送り材の切り替わりの判断は、“わかりやすい”という回答が46%であった。この要因として、一部には着色された先送り材が使用されており、後に圧送されるコンクリートの色によって切替わりを判断している例もある。さらに、先送り材の今後の使用については、“使用したくない”という回答が半数を占めており、圧送事業者が先送り材の使用に消極的であることがうかがえる。

3.3 総合建設業者による少量先送り材の使用状況

宮田ら³⁾が2023年に日本建設業連合会加盟の総合建設業者に対して少量先送り材について行ったアンケート調査の結果を紹介する。

先送り材の使用経験の有無⁹⁾を図6に示す。先送り材の使用経験の有無は、“使用したことがある”という回答が全体の18%(77件)であり、“使用したことはない”という回答が79%と大半を占めていた。3.2の圧送業者を対象とした先送り材に関するアンケート調査において、先送り材を“使用したことがある”とする回答が80%であった結果に比べると、先送り材は総合建設業者にあまり普及していないことがわかる。また、“使用したことがある”とした回答者(77件)について担当現場ごとに回答率を整理すると、建築工事の方がわずかに多いものの、土木工事および建築工事で大きな差はみられなかった。担当地域ごとの回答率では、全国を除くと、北海道地方(35%)および中部地方(37%)が他の地方に比べて高く、先送り材の使用経験には地域差があることがわかる。

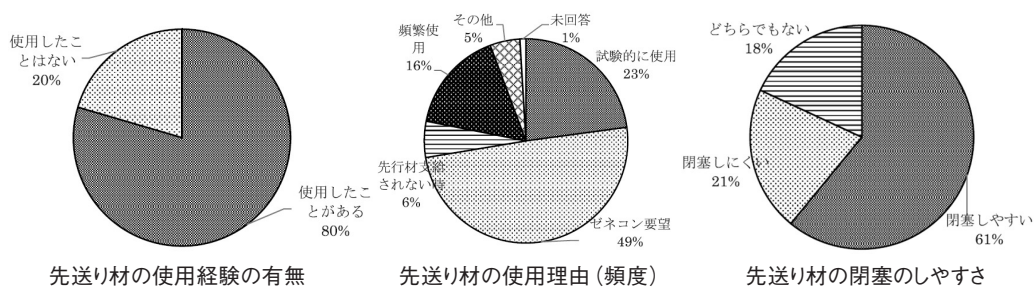


図4 先送り材の使用の有無・使用理由(頻度)・閉塞のしやすさ⁹⁾

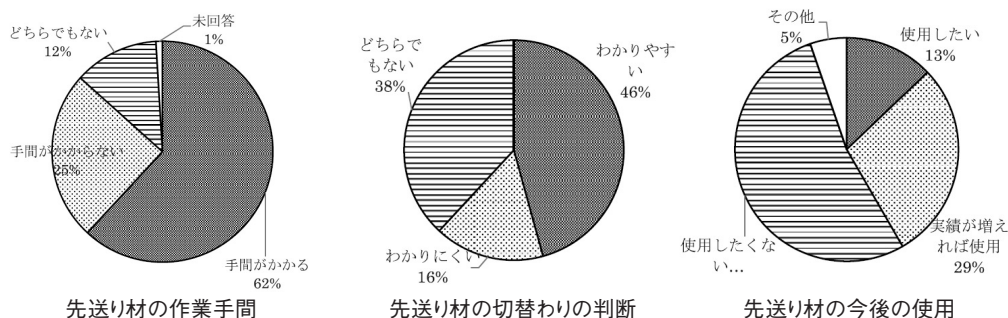


図5 先送り材の作業手間・切替わりの判断・今後の使用⁹⁾

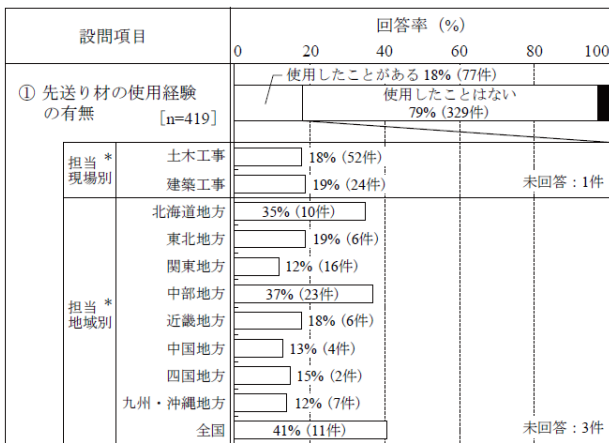


図6 先送り材の使用経験の有無³⁾

先送り材の使用した理由³⁾を図7に示す。先送り材を使用した理由は、“廃棄量削減(環境配慮)”が78%と最も多く、次いで“コスト削減”が60%であった。これは、先送り材を使用した多くの総合建設業者が、環境負荷の低減に加え、コスト面についても先送り材のメリットとして捉えていることがわかる。また、“NETIS 登録による工事成績評定への加点”(14%)という回答もあった。NETIS (New Technology Information System) とは、国土交通省が新技術の活用のため、新技術に関わる情報の共有および提供を目的として整備されたデータベースシステムであり、施工者が NETIS 登録された新技術を活用すると、工事成績評定において加点対象となる。先送り材の中には、NETIS に登録されている製品もあり、これは元請である総合建設業者特有の先送り材を使用するメリットであると考えられる。また、選択肢以外のその他の意見として、“排出されたモルタルの処理が困難なため”、“圧送の中断時間が長くなった時に使用”、“先送り材の実験・評価のため”、“圧送業者の要望・判断”、“筒先におけるコンクリートへの切替りを明確にしたかったため”のほか、“先送りモルタルを積載したトラックアジテータが不要となる”、“現場への搬入車両の削減のため”という回答も見られた。

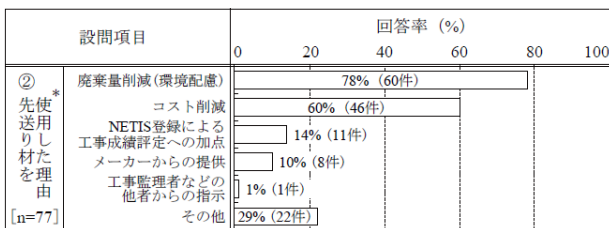


図7 先送り材を使用した理由³⁾

今後の先送り材の使用に対する意見³⁾を図8に示す。今後の先送り材の使用について、“積極的に使用したい”という回答が、使用経験ありがでは27%、使用経験なしが

では5%であり、使用経験ありの方が今後の使用に積極的であることがうかがえる。また、“積極的に使用したい”と“使用実績が増え、問題がなければ使用したい”を合わせると、使用経験の有無によらず75%程度であり、多くの総合建設業者が先送り材の使用に前向きであることがうかがえる。一方、圧送業者を対象としたアンケートでは、あまり使用したくないとする回答が53%であり、先送り材の使用に対して圧送業者と総合建設業者で意見が異なる結果となった。

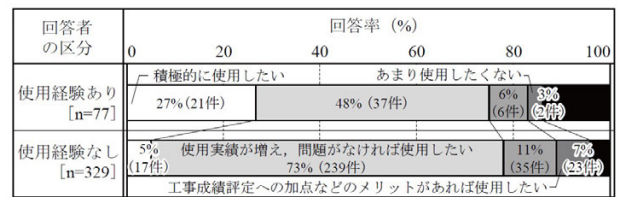


図8 今後の先送り材の使用に対する意見³⁾

4. 圧送技術研究会による先送り材と圧送されるコンクリートのコンタミネーション

2022年と2023年に日本建築学会関西支部材料施工部会と近畿生コンクリート圧送協同組合の共催の圧送技術研究会で先送り材に関する膨大なField実験が実施された。この大規模な実験に対して敬意を表するとともに、詳細は第19回圧送技術研究会⁹⁾と第20回圧送技術研究会の資料を是非、参照いただきたい。

先送り材ごとの圧縮強度¹⁰⁾を図9に示す。圧縮強度は、先送り材の種類によって異なるものの、圧縮前に比べて1ストローク目(1ストローク約50L)では著しく低下し、その後、20ストローク目において圧送前と同程度の圧縮強度に回復している。このように、先送り材とその後に圧送されるコンクリートとのコンタミネーションが確認できる。ここで、20ストロークで圧送前の基準コンクリートと同程度となるには、1,000Lすなわち1.0m³程度の後のコンクリートを圧送する必要がある。なお、この圧縮強度は、空気量4.5%を基準として空気量1%の増減に対して圧縮強度を5%の増減の補正を行った値としている。

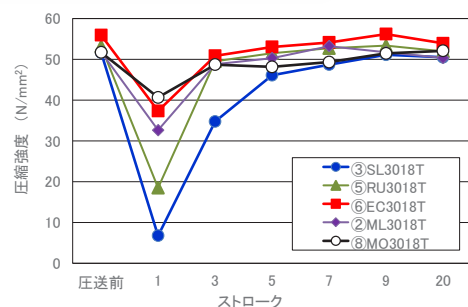


図9 先送り材の種類ごとの圧縮強度¹⁰⁾

先送り材の種類ごとの圧縮強度比率と廃棄量¹¹⁾を図10に示す。このように、先送り材の種類ごとの圧縮強度比率と廃棄量は、⑬を除き200L程度以上は廃棄する必要がある。この圧縮強度比率が95%の閾値という点は議論の余地があるものの、後に圧送されるコンクリートとのコンタミネーションを踏まえて廃棄量が決められるべきである。少なくとも、先送り材の製造者責任として先送り材の費用や処分の問題だけではなく、後に圧送されるコンクリートのコンタミネーションのデータを明示して必要な廃棄量などを提示すべきである。

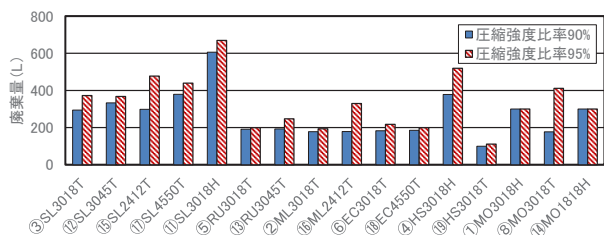


図10 先送り材の種類ごとの圧縮強度比率と廃棄量¹¹⁾

5. ポンプ根元のT字管やベント管から投入する先送り材の行方

コンクリートポンプ工法は、コンクリート圧送時には生産性の高い合理的な工法といえるものの、その反面、“後片付け”と“準備”が最大のネックとなっている。“後片付け”は、コンクリートポンプのホッパやブームの輸送管の洗浄作業である。コンクリートポンプや輸送管にノロが付着したまま残ると、次の圧送に支障をきたす可能性がある。圧送技術研究会の実験は、一定条件にするためにポンプのホッパやブームの輸送管を水洗浄作業している。しかし、都心部の建築現場では、コンクリートポンプ車を十分に水洗浄することが難しい。そのため、クリーナボールなどで空気洗浄を行うが、写真1のようにブーム輸送管の内部にセメントの残渣が残ってしまう。できれば、建築現場において残コンクリートとともにポンプの洗浄水もミキサ返してできる体制が望ましい。また、この付着を考えると圧送技術研究会で行った先送り材の後のコンクリートの廃棄量よりも多くなり、森永ら⁶⁾の実態調査の1.0~1.5m³で圧縮強度が回復する結果も妥当といえる。

“準備”の1つはコンクリートの圧送に先立つ先送り材であり、“後片付け”と“準備”は表裏一体の関係といえる。施工者も、コンクリート工事になくてはならないコンクリートポンプに対して十分な理解をして“後片付け”と“準備”に協力しなければ先送りモルタルや先送り材と圧送されるコンクリートのコンタミネーションの廃棄量の低減にはつながらない。多くの総合建設業者が脱炭素などの環境問題について取り組んでいるが、専門工事業のことと割り



(1) 輸送管

(2) ドッキングホース

写真1 前日に空気洗浄を行ったブーム輸送管の内部

切らずコンクリートポンプの“後片付け”と“準備”のような現場の環境問題にもメスを入れていただきたい。

関東では、前述したように、一般的に生コン工場で製造された先送りモルタルを現場まで運搬してコンクリートポンプのポッパに投入してブーム輸送管内面の潤滑性を確保して、ミキサ返しを行う。圧送事業者からすれば、施工者がモルタルを準備し、処分まで対応してくれるため、少量の先送り材に手を出す必要がなかった。しかし、状況が一変しようとしている。昨年、東京において産廃処理費が15,000円から35,000円に値上げを行った。そのため、施工者がコンクリートポンプ工法に必要な先送りという行為のために、50,000円以上の費用を要することになった。この値上げにより、表1で紹介した少量の先送り材が先送りモルタルに比べて比較的安価であるため、3.3のアンケート結果以上に施工者が使用する気運が高まっている。これまでの述べたコンタミネーションに関する知識が十分でない施工者が、安易に少量の先送り材を使いだし、コンクリート構造物に本来、廃棄しなくてはならないコンクリートを打ち込んでしまう可能性も否めない。これまでの先送りモルタルは、ミキサ返しをしているため廃棄しなくてはならない先送りモルタルと圧送されるコンクリートのコンタミネーションを確実に廃棄してきた。しかし、少量の先送り材をどのように廃棄されるのかは圧送業者のみならず施工者のコンクリートポンプ工法に対する認識に委ねられている。

一方、経済産業省委託令和5年度国際ルール形成・市場創造型標準化推進事業費(戦略的国際標準化加速事業:産業基盤分野に係る国際標準開発活動)「コンクリートポンプ圧送用・新素材先行材の性能試験方法に関するJIS開発」を(一財)日本規格協会が受託し、新素材先行材の性能試験方法JIS原案作成委員会が発足した。この事業では、3か年計画により、少量で圧送できる先送り材の性能評価のための試験方法を検討している。この試験方法がJISとして公示されれば、いずれAIJポンプ指針や土木学会「コン

クリートのポンプ施工指針」に反映され、その取扱いも明確になっていくことであろう。コンクリートの圧送に先立つ先送り材の行方が適切な方向に向かうことを望むばかりである。

<プロフィール>
日本大学 理工学部 建築学科 教授
専門分野：建築材料・施工、コンクリート工学
最近の研究テーマ：柱頭鉄筋の納まり可否の影響要因、型枠工事の合板ジョイント方法の変形挙動など

参考文献

- 1) 日本建築学会：コンクリートポンプ工法施工指針・同解説，2009
- 2) 毛見虎雄，中田善久，長尾信夫，小池茂，藤井和俊：「コンクリートポンプ工法における先送りモルタルの低減に関する実験的研究」，日本建築学会技術報告集，第2号，pp.1-6，1996.3
- 3) 宮田敦典，中田善久，大塚秀三，鈴木澄江，陣内浩，土屋直子，山崎順二，古川雄太，神代泰道，一瀬賢一：「総合建設業者を対象とした先送り材の使用状況に関する実態調査」，日本建築学会技術報告集，第78号，pp.642-645，2025.6
- 4) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5鉄筋コンクリートポンプ工事
- 5) 日本コンクリート工学会：コンクリート圧送工法指針，2023.3
- 6) 森永繁，野萱勝久，成田一徳，妻鳥淳二：「コンクリートポンプ工法における先送りモルタルの品質」，日本建築学会学術講演梗概集，pp.381-382，1979.9
- 7) 高野肇，毛見虎雄，中田善久：「コンクリートポンプ工法における有機系材料の先送り潤滑材の開発」，日本建築学会技術報告集，第8号，pp.7-12，1999.6
- 8) 地頭園博，今泉裕隆，井上敏克，毛見虎雄，藤井和俊，小池茂：「プレミックスした先送り特殊モルタルのポンプ圧送性に関する実験的研究」，日本建築学会技術報告集，第8号，pp.19-24，1999.6
- 9) 近畿生コンクリート圧送協同組合：第19回圧送技術研究会，コンクリートの圧送における脱炭素への取組み一報告書，2023.2
- 10) 村田隆男，三島剛，小林稔，永田哲夫，杉本勝幸，小玉淳司：「各種先送り材の性状とコンクリートの圧送性に関する研究 その13圧送前後の硬化コンクリートの性状」，日本建築学会学術講演梗概集，pp.317-318，2023.9
- 11) 三島剛，岩清水隆，木村芳幹，山田藍，中村成春，山崎順二：「各種先送り材の性状とコンクリートの圧送性に関する研究 その14硬化コンクリートの性状と廃棄量」，日本建築学会学術講演梗概集，pp.319-320，2023.9

建築用仕上塗材の基礎と最近の動向

日本建築仕上材工業会 常務理事

田村昌隆



建築用仕上塗材は、建築物の内外壁の美装および保護を目的とする材料として広く用いられている。近年は、意匠性の高度化に加え、耐久性や環境性能など多様な機能が求められており、その種類および仕様は一層多様化している。本稿では、建築用仕上塗材の定義を整理するとともに、JISおよびJASSにおける規格体系、さらに仕上塗材の種類と仕様ならびに要求される性能、最近の動向について概説する。

1. 建築用仕上塗材の定義

建築用仕上塗材（けんちくようしあげぬりざい）は、ミクロン単位の膜厚で施工される塗料とは異なり、数ミリメートル程度の比較的厚い膜厚で施工される塗装材料であり、模様、色彩および付与される機能は多種多様である。材料の品質については、JIS A 6909（建築用仕上塗材）に規定されている。同規格の適用範囲では、「この規格は、セメント、合成樹脂などの結合材、顔料、骨材などを主原料とし、主として建築物の内外壁又は天井を、吹付け、ローラー塗り、こて塗りなどによって立体的な造形性をもつ模様仕上げる建築用仕上塗材（以下、仕上塗材という。）について規定する。」とされており、これが一般的な定義として広く用いられている。

さらに補足すると、仕上塗材とは、建築物の内外壁または天井の表面に造形的なテクスチャー・パターンを形成すると同時に、必要に応じて着色やつや出しを行い、主として吹付け、こて塗り、ローラー塗り、またははけ塗りによ

って施工され、美装および保護を目的とした仕上材である。テクスチャー・パターンには、砂壁状、ゆず肌模様、スチップル模様、凹凸模様、凸部処理模様、クレーター模様、スタッコ状などがあり、山部の厚さはおおむね0.5～15mm程度である。

なお、仕上塗材は塗料と混同されることが多いが、両者には材料特性や施工方法、区分などに違いがある。参考として、その相違を表1に示す。

2. 建築用仕上塗材のJIS、JASS

① JISについて

建築用仕上塗材に関するJISは、1970年にJIS A 6907（化粧用セメント吹付材）として初めて制定された。その後、表2に示すように、数次にわたり制定・改正が行われ、1995年には四つの規格がJIS A 6909（建築用仕上塗材）として整理・統合された。

2003年の改正では、難燃性に関する規定が廃止されるとともに4品目が削除され、新たに6種類の塗材が追加された。また、引用規格との整合を図るため、試験室の温湿度条件および耐候性試験方法の見直しが行われた。

さらに2021年の改正では、近年の生産数量調査結果を踏まえた規格対象仕上塗材の種類の見直し、試験用基板の種類および寸法の見直し、品質に影響を及ぼさない範囲での試験方法の見直しが行われた。また、建築用仕上塗材の二酸化炭素透過度試験方法が附属書として追加されるとともに、JIS Z 8301：2019（規格票の様式及び作成方法）との様式の整合が図られた。

表2に仕上塗材に関するJISの変遷を示す。

② 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 23 吹付け工事

建築用仕上塗材の施工に関連する日本建築学会の仕様書として、「日本建築学会建築工事標準仕様書・同解説 JASS 23 吹付け工事」がある。本仕様書は1977年12月に制定され、その後、1979年、1989年、1998年および2006年に改定が行われた。

また、関連する仕様書として、2013年にJASS 18 塗装工事、2019年にJASS 15 左官工事がそれぞれ改定されている。

表1 仕上塗材と塗料との相違点

		塗料	仕上塗材
塗り厚		数十ミクロン	数ミリから15mm程度
材料の品質		JIS K ××××(化学)	JIS A 6909(建築)
日本標準産業分類の製造業区分		F-製造業 1754 塗料製造業	F-製造業 3299 その他製造業
日本標準商品分類の分類コード		166 塗料、シンナー 及び関連製品	1798 建築用 仕上塗材
標準工事仕様書の工事区分	建築学会	JASS 18 塗装工事	JASS 15 左官工事 JASS 23 吹付け工事
	国交省	塗装工事	左官工事 (仕上塗材仕上げ)

表2 仕上塗材のJISの変遷

制定・改正年月	規格名称
1970年(昭和45年)9月制定	JIS A 6907 化粧用セメント吹付材
1970年(昭和45年)9月制定	JIS A 6908 繊維質上塗材
1972年(昭和47年)9月制定	JIS A 6909 合成樹脂エマルジョン砂壁状吹付材
1975年(昭和50年)3月制定	JIS A 6910 複層模様吹付材
1975年(昭和50年)3月改正	JIS A 6909 合成樹脂エマルジョン砂壁状吹付材
1975年(昭和50年)10月改正	JIS A 6908 繊維質上塗材
1977年(昭和52年)3月改正	JIS A 6907 セメント砂壁状吹付材
1979年(昭和54年)2月制定	JIS A 6915 セメント厚付け吹付材
1983年(昭和58年)11月制定	JIS A 6917 軽量骨材仕上塗材
1984年(昭和59年)11月改正	JIS A 6909 薄付け仕上塗材
1984年(昭和59年)11月改正	JIS A 6910 複層仕上塗材
1984年(昭和59年)11月改正	JIS A 6915 厚付け仕上塗材
1988年(昭和63年)3月改正	JIS A 6910 複層仕上塗材
1995年(平成7年)3月改正	JIS A 6909 建築用仕上塗材
2000年(平成12年)4月改正	JIS A 6909 建築用仕上塗材
2003年(平成15年)3月改正	JIS A 6909 建築用仕上塗材
2006年(平成18年)3月改正	JIS A 6909 建築用仕上塗材(追補1)
2010年(平成22年)3月改正	JIS A 6909 建築用仕上塗材(追補2)
2014年(平成26年)7月改正	JIS A 6909 建築用仕上塗材
2021年(令和3年)11月改正	JIS A 6909 建築用仕上塗材

3. 建築用仕上塗材の種類と仕様

建築用仕上塗材は、内外壁表面の美装および保護を目的とする仕上材であり、意匠性や機能性に関する要求が多岐にわたることから、その種類は極めて多様である。特に化粧性に関する要求に対応するため、色彩や模様などの多様化が求められている。このため、必ずしも耐久性のみを目的として開発されるものではなく、現在市販されている製品はJIS A 6909に基づいて分類されている。

表3に、仕上塗材の種類と、日本建築学会および国土交通省の工事仕様書で対象としている仕上塗材の種類を示す。JIS A 6909に規定されている33種類の仕上塗材のうち、JASS 23では18種類、JASS 15では12種類、公共建築工事標準仕様書では29種類、公共建築改修工事標準仕様書では20種類の仕上塗材が対象とされている。また、仕上げの形状および層構成の例を図1～7に示す。

消石灰・ドロマイトプラスター系およびせっこう系の塗材(内装薄塗材L、内装厚塗材L、内装厚塗材G)ならびにこて塗用軽量塗材は、施工方法がこて塗りによるものであることから、JASS 23では扱われておらず、JASS 15(左官工事)で取り上げられている。

また、改修工事専用の可とう形改修用仕上塗材については、公共建築改修工事標準仕様書で取り上げられている。この塗材は、可とう性を有する主材と上塗材によって構成される。JISに規格化される以前は、民間の改修工事を中

心に、既存塗膜表面に微弾性フィラーなどと呼ばれる下地調整材を塗布し、その上に複層仕上塗材の上塗材などで仕上げる塗装システムとして広く用いられてきた。

一般に、既存塗膜表層に割れや上塗材の剥がれなどの軽微な劣化が認められる場合、その表面を上塗材のみで塗り替えると比較的早期に割れが再発することがある。このような不具合への対策として普及してきた塗材であり、主材の結合材の種類によって次の三つに分類される。

①合成樹脂エマルジョン系(可とう形改修塗材E)

②反応硬化形合成樹脂エマルジョン系(可とう形改修塗材RE)

③ポリマーセメント系(可とう形改修塗材CE)

さらに、セメント系の内装薄塗材C、けい酸質系の薄塗材Si(内装用・外装用)および厚塗材Si(内装用・外装用)、合成樹脂エマルジョン系の内装厚塗材Eについては、生産数量が少なく増加傾向もみられないことから、JASS 23では取り上げられていない。

一方、生産数量が少ないものの中には、ポリマーセメント系の複層塗材CE、可とう形複層塗材CE、防水形複層塗材CEのように、コンクリートの中酸化抑制効果が期待される塗材もあり、これらについてはJASS 23で取り上げられている。

近年、御影石、大理石またはインド砂岩の風合いを有する塗材として、石材調仕上塗材あるいは天然石調仕上塗材と呼ばれる仕上塗材が普及している。しかし、これらはJIS化されていないこと、吹付けやローラー塗りに加えてこて塗りなどの施工方法も含まれること、さらに化粧目地を含めた塗装系全体の品質および性能を明確にする必要が指摘されていることなどから、いずれの標準仕様書においても採用されていない。

4. 建築用仕上塗材に要求される性能

建築用仕上塗材は、工場で製造された製品が建築現場において施工され、所定の塗膜を形成することによって最終的な機能を発揮する材料である。したがって、仕上塗材に求められる性能は、材料そのものに要求される品質と、施工後の塗膜に要求される性能とに大別される。以下にその主な事項を示す。

① 材料に要求される品質

- (1) 貯蔵安定性を有すること。
- (2) 低温条件下においても安定性を有すること。
- (3) 性状および色調が均質であること。
- (4) 使用する施工工具に応じて作業性が良好であること。
- (5) かくはん、希釈、施工などの取扱いにおいて安全であり、有害性が少ないこと。
- (6) 乾燥または凝結が適切な時間で進行すること。
- (7) 塗り重ねや補修塗りが可能であること。

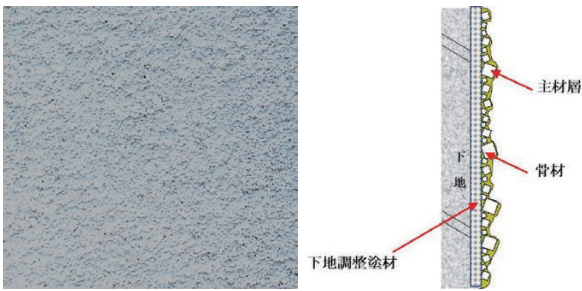


図1 薄付け仕上塗材 (外装薄塗材E)の仕上げの形状と層構成の例

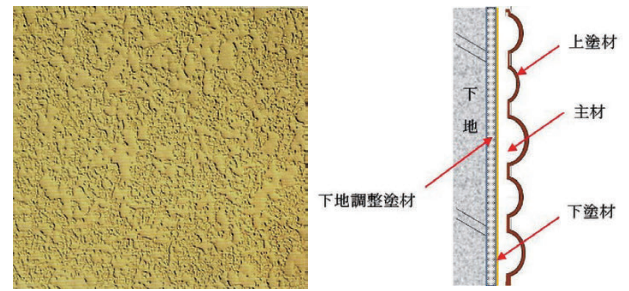


図5 複層仕上塗材 (凹凸状)の仕上げの形状と層構成の例

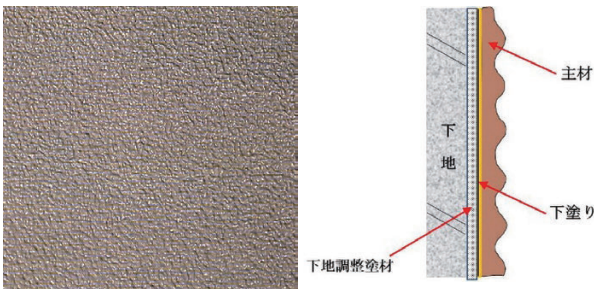


図2 薄付け仕上塗材 (防水形外装薄塗材E ゆず肌状・さざ波状)の仕上げの形状と層構成の例

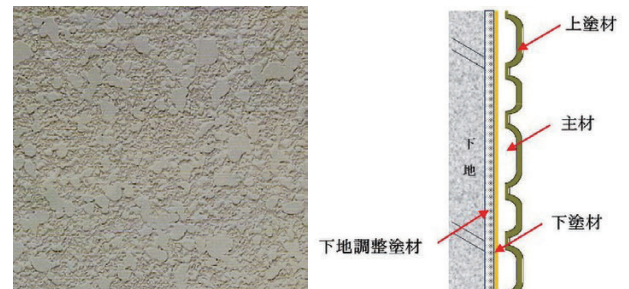


図6 複層仕上塗材 (凸部処理)の仕上げの形状と層構成の例

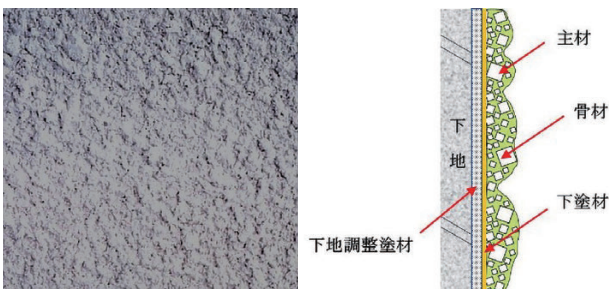
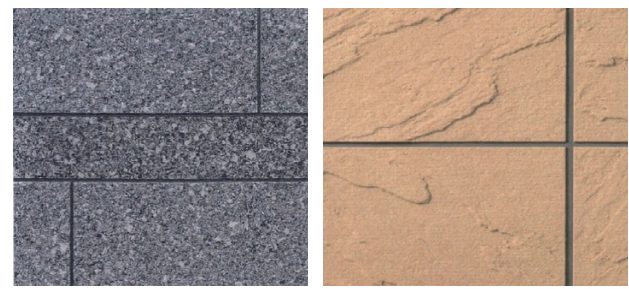


図3 厚付け仕上塗材 (スタッコ状)の仕上げの形状と層構成の例



(1) 御影石調 (例)

(2) 砂岩調 (例)

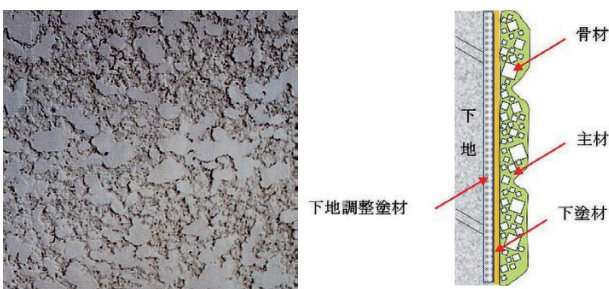
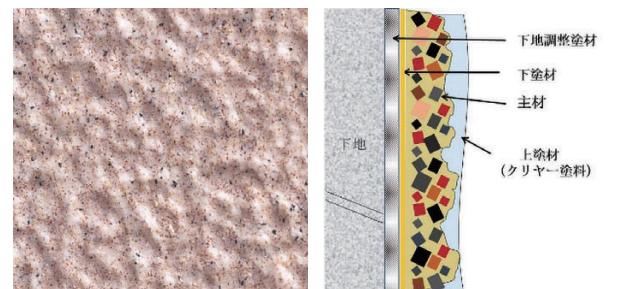


図4 厚付け仕上塗材 (凸部処理)の仕上げの形状と層構成の例



(3) ゆず肌ローラー模様 (例)

図7 石材調仕上塗材の仕上げの形状と層構成の例

② 塗膜に要求される性能

- (1) 乾燥または硬化過程において、ひび割れやふくれを生じないこと。
- (2) 下地に対して良好な付着性を有すること。
- (3) 耐アルカリ性を有すること。
- (4) 耐水性を有すること。
- (5) 衝撃に対して十分な抵抗性を有すること。
- (6) 防水性能に優れていること。

- (7) 汚れが付着しにくく、また付着した汚れを除去しやすいこと。
- (8) 隣接する部材を汚染しないこと。
- (9) 透水が少ないこと。
- (10) 凍結融解に耐えること。
- (11) 耐候性に優れていること。
- (12) 防露性などの環境性能に優れていること。
- (13) 内装制限を受ける部位に使用する場合には、法令で定められた防火性能を有すること。

5. 最近の動向

近年、仕上塗材の分野においては、新築物件の減少に対して既存建築物の改修需要が増加している。戸建て住宅の新築では、建材ボード類を用いた乾式工法の採用が増えている。一方、改修分野では、建材ボードの塗装改修に加え、既存仕上材であるアクリルリシン（外装薄塗材E）やアクリルタイル（複層塗材E）などの外壁を塗り替える事例が多くなっている。こうした状況から、現在はストック活用を前提とした「補修・再補修」の時代にあるといえる。

また、地球規模での環境問題への関心の高まりを背景に、内装用のみならず外装用仕上塗材においても、安全性および環境負荷低減の観点から水系化が急速に進展している。

① 外壁改修の考え方

外壁改修においては、単に高耐候性の仕上塗材を適用するだけでなく、建築物のライフサイクルを踏まえた計画的な改修が重要である。例えば、下地の劣化が進行した状態では、改修自体が困難となる場合があり、耐久性に優れた仕上塗材を用いたとしても、期待される性能が十分に発揮されないことがある。

したがって、改修にあたっては、メンテナンスサイクルを考慮し、劣化が進行する前の適切な時期に実施することが重要である。

また、改修時期の判断基準については、用途や管理方針によって異なる。例えば、公営住宅などでは、塗膜や躯体の耐久性が重視されるのに対し、民間住宅では居住者の意向が反映されやすく、美観の低下、すなわち汚れの程度が評価指標となる場合が多い。

② 上塗材の機能 — 低汚染化技術

近年の仕上塗材においては、上塗材に多様な機能が付与されており、その中でも低汚染性は、改修時期の判断にも関わる重要な性能の一つである。本節では、低汚染化技術の概要について述べる。

(1) 低汚染化の基本的な考え方

都市部における外壁汚染については、多くの研究が行われており、汚染物質の付着および風雨による除去のメカニズムが明らかにされつつある。これらの知見をもとに、低汚染型塗料が開発され、実用化が進んでいる。

低汚染化の基本的な考え方としては、塗膜表面を親水化する方法と、はっ水化する方法の二つがある（図8）。特に都市型汚染に対しては親水化が有効とされるが、以下のような課題も指摘されている。



図8 塗膜表面状態の違いによる水のぬれ性

- ・土砂など親水性汚染物に対して効果が低下すること
- ・藻類やカビの発生を助長する可能性があること

これらの課題に対応するため、親油性汚染と親水性汚染の双方に対して効果を有し、かつ微生物の発生を抑制する環境対応型低汚染塗料の開発が求められている。

(2) 低汚染形塗料の設計手法

低汚染化を実現する代表的な設計手法として、以下のものが挙げられる。

- ・手法1：シリケート成分の導入により塗膜表面にシラノール基を配向させ、親水性および帯電防止性を付与する。さらに、樹脂骨格と化学結合させることで成分の流出を抑制し、長期的な性能維持を図る。
- ・手法2：エマルション樹脂粒子の融着過程における架橋技術により緻密な塗膜を形成し、初期から優れた低汚染性を発現させる。
- ・手法3：帯電防止機能を有するモノマーを共重合し、乾燥状態における汚染物質の付着を抑制する。

特に親水化手法については、その模式図を図9および図10に示す。

一般に、はっ水性塗膜では、油性汚染物が付着しやすく、雨水の流下経路に沿った雨筋汚染が生じやすい。一方、親水性塗膜では水が均一に広がるため、汚染物を浮き上がらせて洗い流す効果がある。

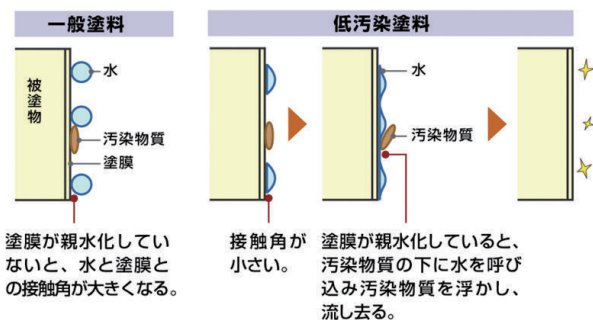


図9 親水性塗膜の汚れの落ち方

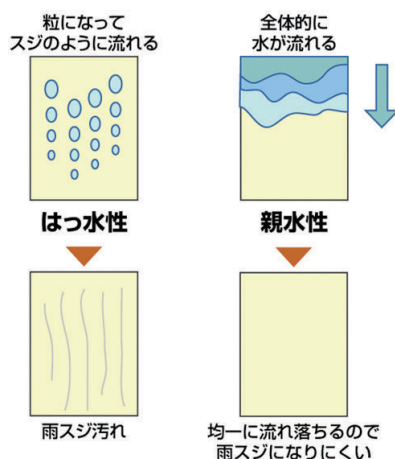


図10 親水性塗膜の汚れの落ち方（正面）

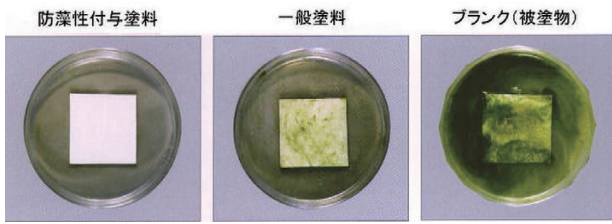


図11 藻抵抗試験結果(シャーレ試験)

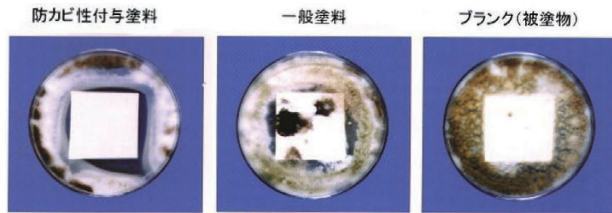


図12 カビ抵抗試験結果(シャーレ試験)

(3) 防藻・防カビ性能の付与

郊外環境では、藻類やカビの発生による汚染が問題となる。特に水系塗料では、原料特性からこれらの微生物が発生しやすい傾向がある。

これら微生物に対する抵抗性の評価例として、シャーレ試験による藻抵抗性試験結果を図11に、かび抵抗性試験結果を図12にそれぞれ示す。

防藻・防カビ塗料に用いられる薬剤には、以下の性能が求められる。

- 塗料の性能および安定性に影響を与えないこと
- 塗料成分との反応により性能が低下しないこと
- 使用環境下(水分、熱、アルカリ、光)で安定であり、塗膜からの過度な溶出がないこと
- 低毒性であり、かつ効果が持続すること

近年では、薬剤の徐放化技術が進展しており、樹脂による包接やマイクロカプセル化などにより、長期にわたる効果持続が図られている。

(4) 光触媒を利用した低汚染化技術

光触媒を利用した塗料では、紫外線照射により塗膜表面が超親水化し、汚染物の付着を抑制するとともに、雨水による洗浄効果が発揮される。また、酸化チタンの光触媒作用により、有機系汚染物質を分解する機能も付与される。二酸化チタン表面における光触媒反応の模式図を図13に示す。

一方で、現状の光触媒塗料には、耐久性、施工時の均一性、コストなどの課題が残されている。また、日射の少ない北面などでは、藻類やカビの発生が促進される場合もあ

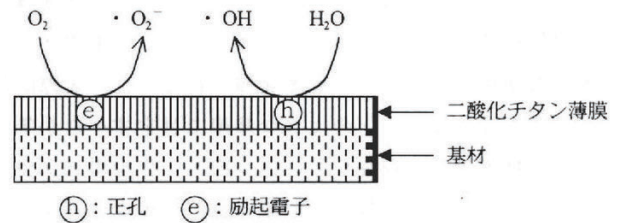
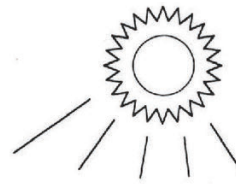


図13 二酸化チタン表面での光触媒による反応

(参考文献：第6回塗装技術研究発表会(社)日本塗装工業会,特別講演,建築に利用される光触媒,本橋健司著)

り、今後の技術的改良が期待される。

以上のように、仕上塗材の分野では、改修需要の増加と環境対応の進展を背景に、低汚染性や耐久性を重視した機能性材料の開発が進んでおり、今後も多様なニーズに対応した技術の高度化が期待される。

6. 最後に

本稿では、建築用仕上塗材について、その定義、種類、性能、および近年の動向について概説した。仕上塗材は、美装性と保護性を兼ね備えた仕上材として、建築物の外観品質および耐久性の確保に重要な役割を担っている。

近年は、新築中心から既存建築物の改修へと需要構造が変化し、これに伴い、仕上塗材に求められる性能も低汚染性、防藻・防カビ性、環境配慮性といった機能の高度化が進むとともに、ライフサイクルを考慮した改修設計の重要性が一層高まっている。

今後は、国策として進められているCO₂排出量の削減等を背景として、より高機能かつ持続可能な仕上塗材の開発が求められるとともに、材料特性と施工条件を適切に組み合わせ合わせた合理的な維持保全手法の確立が重要になると考えられる。

<プロフィール>

日本建築仕上材工業会 常務理事

専門分野：建築用仕上塗材

最近の研究テーマ：改修条件による仕上塗材改修後の性能への影響に関する研究、CO₂排出量の削減に寄与するコンクリートに関する研究～仕上塗材による保護効果に関する検討～

寒冷地コンクリートの試験研究 — 公設試から大学へ —

室蘭工業大学大学院 工学研究科 もの創造系領域 教授

谷口 円



1. はじめに

筆者が地方独立行政法人北海道立総合研究機構建築研究本部北方建築総合研究所（以下、「道総研」という。）から大学へ移り、3年が経つ。道総研は、建材試験センター等と同じく公的試験研究機関である。と同時に地方公共団体（北海道）が設置する試験研究機関いわゆる地方公設試であり、現在は、独立法人化され地方独立行政法人となっている。

道総研の設立目的は、農業、水産業、林業、工業、食品産業、環境、地質及び建築の分野に関する試験、研究、調査、普及、技術開発、技術支援等を行い、もって道民生活の向上及び道内産業の振興に寄与することである。室蘭工業大学の設立目的は、教育研究に対する国民の要請に応えるとともに、我が国の高等教育及び学術研究の水準と均衡ある発展を図ること²⁾である。

大学の教員と道総研の研究職で大きく違っているのは、今のところ、学生たちに教育を行うこと、研究テーマを自由に設定できることの2点であると思う。大学では、“北海道”のためを考えるととは言われぬし、依頼試験や見ず知らずの様々なステークホルダーからの技術相談はほとんどない。

ここでは、寒冷地のコンクリートをターゲットに筆者が進めてきた取り組みについてご紹介する。

2. 寒冷地のコンクリート

寒冷地におけるコンクリートの挙動は、「水」、「低温」およびコンクリート内部の「孔」の影響を強く受ける。コンクリートの製造には、水が不可欠であることは広く知られる。まだ軟らかいコンクリートが「低温」に曝され、「水」が凍るとコンクリートに氷晶が発生する。写真1は既に解体されているが、1960年代に建設された建物のスラブに残された初期凍害の痕跡である。氷晶が発生したコンクリートは、融解後も空隙として残存し、所定の期間が経過しても強度回復が望めなくなる。これが「初期凍害」と呼ばれる現象である³⁾。そのため、寒中コンクリート工事では、圧縮強度 5N/mm^2 が得られるまで凍結させてはならない、とされている³⁾。

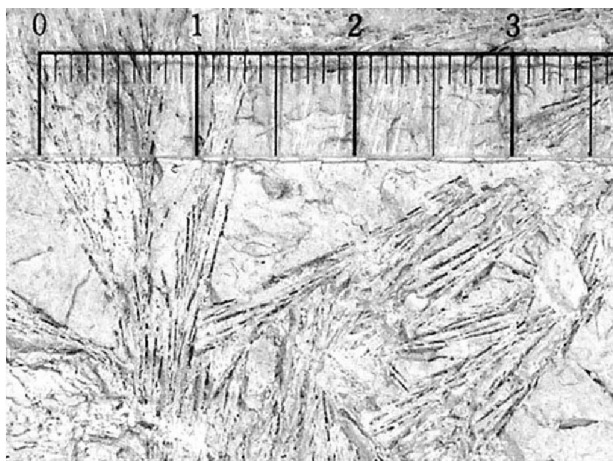


写真1 スラブ表面の初期凍害の痕跡



凍害（ひび割れ）の例



表層劣化（スケーリング）の例

写真2 凍害の事例

初期凍害を免れるだけの強度が得られたコンクリートでは、「低温」により強度増進が遅延する。外部からの水の供給がない状態では、この「低温」には、氷点下も含まれる。氷点下でも温度に依存して水和は進行し、わずかであるが強度増進が見られる。

供用下のコンクリートは、数nm～数mmの径の「孔」を持つ多孔体であり、吸「水」する。実環境では、吸「水」したコンクリートが「低温」に曝され、凍結、融解を繰り返す。その結果、コンクリート中に微細なひび割れが発生し、内部劣化、表層劣化（スケールング）やひび割れ、損傷へと発展して凍害と呼ばれる現象となる（写真2）。

施工、維持管理においては、それぞれの現象に対し、対応と判断が必要になる。そのために試験・評価が行われる。以降は、それぞれについて、試験・評価の観点から概要を述べる。

3. 初期凍害

写真3に打設後5時間程度（貫入抵抗6N/mm²程度）で-15℃の恒温室に移し、24時間以上凍結させ、その後、20℃の恒温室に移動し、28日間養生したモルタルの断面に蛍光塗料を含浸し、拡大撮影したものを示す⁴⁾。28日強度は、凍結させなかったものの7割程度しか回復しなかった。骨材界面のひび割れとそれをつなぐように打設面に平行なひび割れが認められた。

寒中コンクリート工事において、初期凍害を受けないためには、保温養生を行い、実際の構造体の温度履歴に即して封緘養生された供試体等を用い、5N/mm²が得られたことを確認することが基本である。また、保温養生を行う上では、最も条件の厳しい部位で0℃以下に下がることが無ければ、初期凍害を受ける危険性は低いといえる。そのため、「温度を計測する」ことが重要な管理手法となる。日本建築学会「寒中コンクリート施工指針・同解説」（以下、「寒中指針」という。）の「10章 養生の管理」には、計測、記録方法およびそれにかかわる留意点が示されている³⁾。

残念なことに初期凍害を受けたと考えられる場合は、被害範囲を調査し、対策を講じる必要がある。このような相談は、比較的温暖な地域を含め、幾度かあったように記憶している。被害範囲を知るための試験方法については、平面方向での被害範囲推定のための調査方法として、透気係数による方法⁵⁾、シュミットハンマーの反発度による方法^{6),7)}が提案されている。

図1に初期凍害を受けた部位と健全部でのシュミットハンマーによる反発度の測定結果を示す⁷⁾。養生日数、試験時期にかかわらず、初期凍害部と健全部では明らかに値に差が認められた。

深さ方向の被害範囲推定のための調査方法には、コアを採取し、超音波の透過法により健全部との速度比から判断

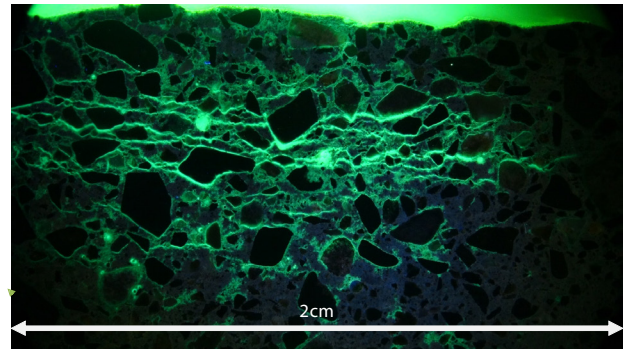


写真3 初期凍害モルタルの断面写真

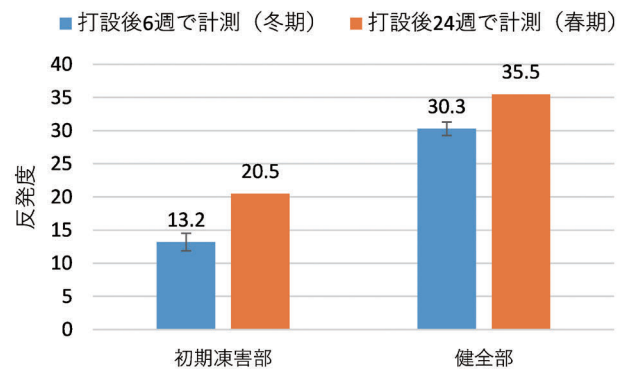


図1 初期凍害部と健全部の反発度の例

するもの⁸⁾、コアを吸水し、乾燥過程での色の違いから評価するもの⁹⁾等が提案されている。

4. 強度増進の遅れ

コンクリートの強度増進は、セメントの水和反応に基づくため、温度の影響を受け、低温環境下では遅く、高温環境下では早い。寒中コンクリート工事では、この強度増進の遅れを予測できなければ、調合選定、施工計画、工程管理が行えない。そこで、温度と時間の影響を複合的に表す温度・時間関数（Maturity）を用いることで、強度予測ができることが知られる。

代表的な温度・時間関数はNurse¹⁰⁾による積算温度とHansenら¹¹⁾による等価材齢がある。

$$M = \sum (T - T_0) \Delta t \quad (1)$$

ここに、 M ：積算温度、 T ：時間間隔 Δt の間のコンクリートの平均温度（℃）、 T_0 ：基準温度（℃）

$$t_e = \sum \exp \left[\frac{-E}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_r} \right) \right] \Delta t \quad (2)$$

ここに、 t_e ：Equivalent age（等価材齢）、 T ：時間間隔 Δt の間のコンクリートの平均温度（Kelvin）、 E ：見かけの活性化エネルギー（J/mol）、 R ：気体定数（8.31J/K/mol）、 T_r ：基準温度（Kelvin）

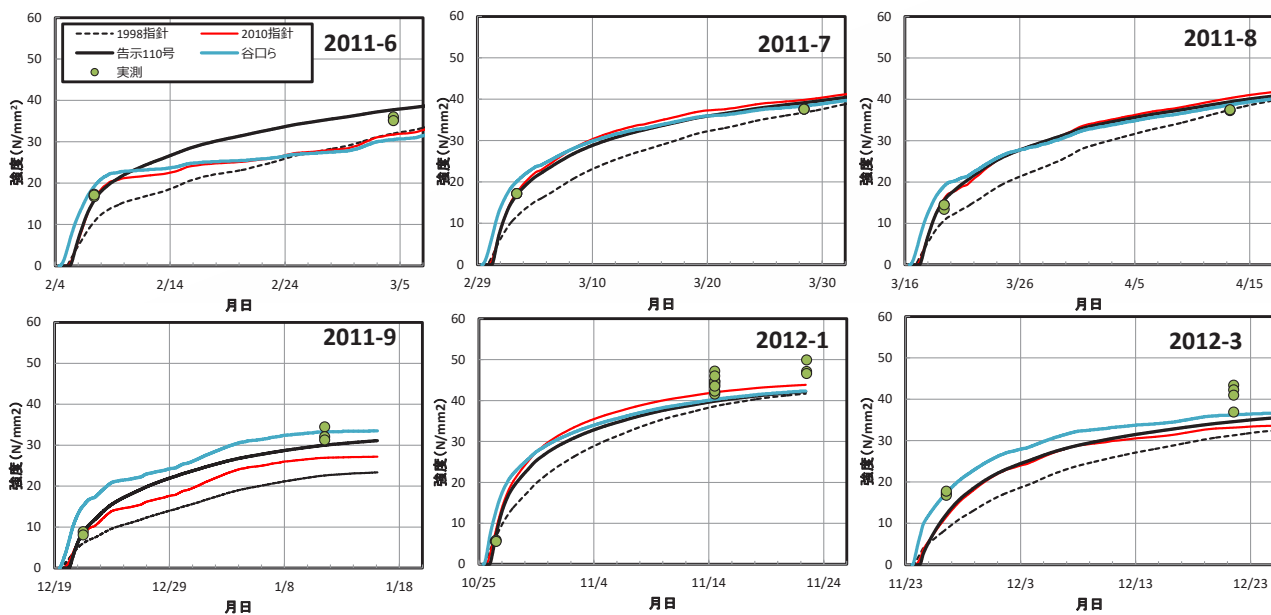


図2 温度履歴から各種手法により推定した強度増進と実測強度の関係

式(1)の T_0 を -10°C とした場合の積算温度は、寒中指針で知られる積算温度である。また、筆者らは、氷点下温度においても適用できる温度・時間関数を提案している¹²⁾。

同じ調査の履歴温度が異なるコンクリートでは、Maturityが等しければ得られる圧縮強度は同等となる。これをもとに温度・時間関数と強度の関係を数式化して強度予測手法として提案されている^{9), 13)}。そのため、「温度を計測する」ことが重要な試験法となる。

また、建築基準法施行令第76条「型わく及び支柱の除去」の技術的基準となる「建設省告示第110号」においても、せき板の取り外しに関する基準として、平均気温に応じた存置日数および圧縮強度試験による方法に加えて、有効材齢を用いた強度推定方法が盛り込まれている。このように国内において、Maturityを用いた強度予測手法がいくつか提案されている。

図2に筆者が過去に実施工現場における寒中期に取得した実測結果^{14), 15)}を用いて、国内で提案されているMaturityを用いた強度予測手法について推定精度を比較した例を示す¹⁶⁾。用いた手法は、1998年版寒中指針 資料6に示された強度増進標準曲線(以下、「1998指針」という。)¹⁷⁾、2010年版寒中指針の資料3にある強度増進標準曲線(以下、「2010指針」という。)¹⁸⁾、告示第110号の式(以下、「告示110号式」という。)¹⁹⁾および谷口らによる式(以下、「谷口らの式」という。)¹³⁾の4種類とした。北海道内の寒中施工現場で封緘養生試験体を作製、試験体内部の温度を記録し、所定の材齢(初期養生の打ち切り、材齢28日)で圧縮強度試験を行った結果を用いて、温度履歴から推定した強度増進と実測強度の関係を図示している。表1に推定強度と実

表1 各種手法による推定強度と実測強度の決定係数、MAEおよびRMSE

精度評価指標	記号	1998指針	2010指針	告示110号	谷口ら
R ² (決定係数)	2011-6	0.999	0.999	0.999	0.999
	2011-7	1.000	1.000	1.000	1.000
	2011-8	0.999	0.999	0.999	0.999
	2011-9	0.992	0.992	0.992	0.992
	2012-1	0.998	0.996	0.997	0.997
	2012-3	0.975	0.975	0.975	0.975
MAE (平均誤差の絶対値)	2011-6	5.0	2.4	1.8	3.5
	2011-7	3.2	1.1	1.0	1.8
	2011-8	1.8	2.4	1.7	3.1
	2011-9	8.7	4.9	3.3	3.5
	2012-1	4.2	2.8	3.6	5.5
	2012-3	9.2	6.9	5.8	2.8
RMSE (2乗平均平方根誤差)	2011-6	5.2	2.8	1.9	3.8
	2011-7	4.0	1.6	1.1	2.0
	2011-8	2.5	2.4	1.8	3.6
	2011-9	10.2	6.2	4.2	4.5
	2012-1	4.9	3.1	4.2	5.8
	2012-3	9.4	7.2	6.1	4.0

※着色部は、R²は>0.99、MAEは<3.0、RMSE<3.0

測強度のR²(決定係数)、MAE(平均誤差の絶対値)およびRMSE(2乗平均平方根誤差)について示す。

1998指針に基づく強度推定では、他の手法と比較して推定強度が小さく評価される傾向がみられ、実測強度との乖離が大きい結果となった。また、推定強度と実測強度との誤差を示すMAEおよびRMSEも比較的大きな値を示しており、予測精度が他の手法より低い傾向が確認された。これは、比較的単純な強度増進モデルであったためである。

2010指針、告示110号式および谷口らの式については、記録された温度の70%以上が0℃以上であった2011-7、2011-8、2012-1の条件において、推定された強度増進曲線

に大きな差は認められなかった。また、推定強度と実測強度との誤差を示すMAEおよびRMSEについても、2010指針および告示110号式ではほぼ同等の値を示し、谷口らの式も同程度の精度を示した。

記録された温度の50%以上が0℃以下であった2011-6、2011-9、2012-3の条件では、各式による推定強度曲線に差が認められた。この要因として、各式における氷点下温度の取扱い方法の違いが影響していると考えられる。谷口らの式では、氷点下温度を含む条件においてMAEおよびRMSEが比較的小さく、低温域における温度履歴の影響をより適切に評価できている可能性が示唆された。

現場において適用する場合は、その曲線の導出された過程をふまえ、適切な対象について強度推定するのが望ましい。また、機械学習の適用など、新たな手法の検討も進めている。

5. 耐凍害性(凍結融解抵抗性)

寒冷地に所在する試験機関であることから依頼試験や技術相談において、最も多かったキーワードは凍害やそれを評価する凍結融解試験となることは避けられない。

コンクリートの凍結融解試験は、実験室内で劣化要因である「低温」、「水」(場合によっては塩分)を強めて与えることにより、実環境での凍害劣化を加速的に再現する促進試験である。評価したい凍害の劣化形態である内部劣化およびスケーリングに合わせて試験条件となる「低温」、「水」の条件が異なる試験法が利用されている。

内部劣化に対する抵抗性は、JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法」のうちA法によるのが一般的である。試験体をゴム枠に入れ注水、水中で供試体の中心部温度を5℃～-18℃に上下させる。凍結融解1サイクルに要する時間は3時間以上、4時間以内となるため、300サイクル実施すると約1ヶ月半から2ヶ月を要する。試験体作製からは約3ヶ月を要する時間と労力のかかる試験である。働き方改革が求められる現在、試験・評価においても労力・時間の効率化は必須と考える。

コンクリートの凍結融解抵抗性は、連行された空気の状態に依存することが知られている。そのため、硬化コンクリート中の気泡組織の特徴量のみで凍結融解抵抗性を評価できる可能性がある。硬化コンクリートの気泡組織の計測は、ASTM C457/C457M Standard Test Method for Microscopical Determination of Parameters of the Air-Void System in Hardened Concreteで行われる。顕微鏡観察による人的手法であり、前処理と観察で数日は要するが、気泡の認識に画像解析手法を適用し、自動化した自動計測装置を用いれば、計測時間も短縮可能である。写真4に計測装置の一例を示す。

図3に国内の代表的な7機関で実施した気泡組織計測の

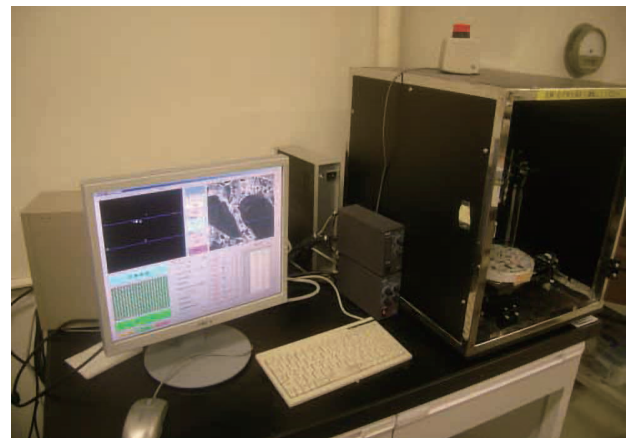


写真4 気泡組織の計測装置の例

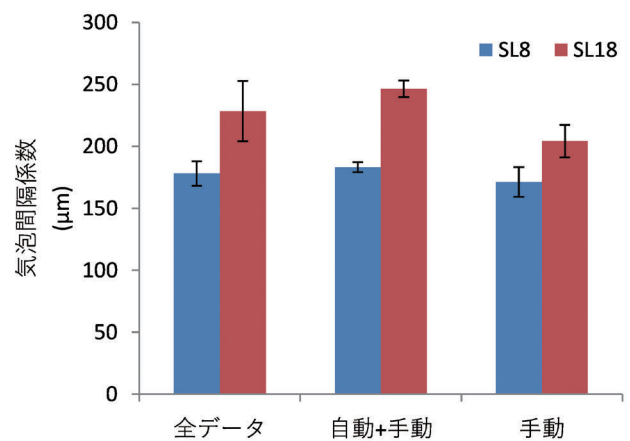


図3 ラウンドロビン試験での気泡間隔係数の測定結果

ラウンドロビン試験で得られた気泡間隔係数の測定結果を示す¹⁹⁾。試験体記号(SL8、18)ごとに同一サンプルを用いて計測した結果である。手動とは、顕微鏡による観察であり、自動+手動は、自動計測装置を使用した計測である。各試験機関の結果は、ばらつきの大きいもので変動係数10%程度であった。また、近年では、本手法で得られた気泡間隔係数では、凍結融解抵抗性がうまく説明できないコンクリートが増えていることが指摘されている。

以上をふまえ、筆者らは新たな気泡組織の計測手法の開発に取り組んでいるところである²⁰⁾。

表層劣化(スケーリング)に対する抵抗性は、融雪塩影響下を模擬し、「水」の条件を塩水等の溶液で評価される場合が多いということで、土木分野からの依頼が多かった。写真2で示した表層劣化(スケーリング)の事例は建築物(の付属物)の土間コンクリートへの融雪塩散布による事例であった。試験方法としては、ASTM C672 Standard Test Method for Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing ChemicalsやRILEM TC 117-FDC: FREEZE-THAW AND DEICING RESISTANCE OF CONCRETE CDF Test - Test method for

the freeze-thaw resistance of concrete - tests with sodium chloride solution 等がある。

また、土木学会では、JSCE-C 507-2018 モルタル小片試験体を用いた塩水中での凍結融解による高炉スラグ細骨材の品質評価試験方法(案)も提案されている。

現状、凍結融解試験の結果から、実環境での劣化進行を詳細に予測することは難しい。これらを可能とするべく、検討を進めている。

6. おわりに

本稿では、寒冷地におけるコンクリートの代表的な課題である初期凍害、低温環境下での強度増進および凍結融解抵抗性について、主に試験・評価の観点から筆者の取り組みを紹介した。

筆者はこれまで地方公設試において、依頼試験や技術相談を通じて多くの実構造物の事例に接してきた。実務の中で生じた疑問や課題を実験によって整理し、その結果を再び実務へ還元していくという循環は、寒冷地コンクリートの研究において今後も重要であると考えられる。

近年は、低炭素化や材料の多様化に伴い、コンクリート

の性能評価に求められる内容も変化している。従来の試験法を基盤としつつも、より効率的で実環境との対応関係を説明できる評価手法の検討が必要である。本稿で紹介した内容はその一端に過ぎないが、寒冷地におけるコンクリートに資する研究を今後も進めていく所存である。

注1) 初期凍害は、寒中コンクリート施工指針・同解説の用語の定義では、「コンクリートの打込み後から硬化の初期段階で、凍結または数回の凍結融解の繰返しを受けることによって、組織が破壊し、強度低下、破損、ひび割れを起こすこと」とある。この定義には、初期に水の凍結により生じる回復できない損傷と低強度コンクリートが凍結融解作用で受ける損傷の2つの異なる現象が含まれる。そのため、筆者は初期凍害を「硬化初期段階の1度の凍結により、凍結後に常温養生(ここでは、20℃封緘28日)を行っても、強度回復できないほどの損傷を受ける現象」として取り扱っている。

<プロフィール>

室蘭工業大学大学院 工学研究科 もの創造系領域 教授
専門分野：コンクリート、建築材料の耐久性、寒中施工
最近の研究テーマ：コンクリートの気泡組織と耐凍害性、Maturity法による強度予測手法、火山堆積物利用コンクリート

参考文献

- 1) 地方独立行政法人北海道立総合研究機構：定款, <https://www.hro.or.jp/upload/54759/> 地方独立行政法人北海道立総合研究機構定款(2025.9.16認可).pdf, (参照 2026-03-03)
- 2) 国立大学法人室蘭工業大学：組織規則, https://en3-jg.d1-law.com/muroran-it/d1w_reiki/H416909120001/H416909120001.html, (参照 2026-03-03)
- 3) 日本建築学会：寒中コンクリート施工指針・同解説(第6版), 2024
- 4) 谷口円ら：初期凍害を受けたモルタルの内部損傷観察, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), pp.223-224, 2016.8
- 5) Hyeonggil Choi et al.: Method for determining early-age frost damage of concrete by using air-permeability index and influence of early-age frost damage on concrete durability, Construction and Building Materials, Vol.153, pp.630-639, 2017.10
- 6) 島影亮司ら：初期材齢時の凍結がコンクリートの初期凍害レベルと耐久性に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.689-690, 2016.8
- 7) 谷口円ら：住宅基礎を対象とした寒中コンクリート工事の合理化 その2. 初期凍害の診断, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.185-186, 2019.7
- 8) 本間有也ら：透気性を指標としたモルタルの初期凍害判断手法の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol. 36, No.1, pp. 2128-2133, 2014.7
- 9) 韓千求ら：低温条件の変化がコンクリートの初期凍害の深さに及ぼす影響と深さ判定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2018.7
- 10) Nurse, R. W.: Steam Curing of Concrete, Magazine of Concrete Research, Vol.1, No.2, pp.79-88, 1949
- 11) P. Freisleben Hansen, Erik J. Pedersen: Maturity Computer for controlled curing and hardening of concrete, Nordisk Betong, Vol.19, No.1, pp.21-25, 1977
- 12) 谷口円ら：氷点下のコンクリート強度増進と温度時間関数, 日本建築学会構造系論文集, Vol.74, No.640, pp.995-1003, 2009.6
- 13) 谷口円ら：等価材齢によるコンクリート強度推定手法の提案, 日本建築学会構造系論文集, Vol.76, No.668, pp.1745-1753, 2011.10
- 14) 谷口円ら：実施工現場におけるコンクリート, 外気, 環境温度 その1 測定概要と夏期の結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.385-386, 2013.8
- 15) 深瀬孝之ら：実施工現場におけるコンクリート, 外気, 環境温度 その2 冬期の結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.387-388, 2013.8
- 16) 谷口円ら：温度・時間関数によるコンクリート圧縮強度の推定精度, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), pp.183-184, 2025.7
- 17) 日本建築学会：寒中コンクリート施工指針・同解説(第4版), pp.218-236, 1998
- 18) 日本建築学会：寒中コンクリート施工指針・同解説(第5版), pp.166-208, 2010
- 19) 谷口円ら：気泡組織計測に関わるラウンドロビン試験, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.993-998, 2016.7
- 20) 小杉智哉ら：硬化コンクリートの新たな気泡計測手法に関する基礎的検討, 日本建築学会大会学術講演集(九州), pp.161-162, 2025.7

2025年度 調査研究事業報告

経営企画部 企画調査課

business report 2025

1. はじめに

建材試験センターでは、官公庁・自治体や民間企業・団体等からの依頼を受け、政策の普及促進や国内外の標準化活動、技術開発を支援する試験・評価方法の開発等を目的とした調査研究を実施している。これらの調査研究のテーマはその時々々の社会ニーズに対応して設定されることが多く、近年では「省エネルギー」、「地球温暖化対策」、「居住環境の安全・安心」といった分野を中心に、試験・評価方法の開発・整備を進めている。

本稿では、2025年度に実施した調査研究について、その概要を報告する。

2. リフォーム等における適切なアスベスト処理のための調査/「石綿(アスベスト)含有建材データベース」の維持管理及び運営に関する検討事業

2.1 概要

「石綿(アスベスト)含有建材データベース」(以下、「データベース」という。https://asbestos-database.jp/)は、建設事業者、解体事業者、住宅・建築物所有者等が、解体、改修及びリフォーム対象の建築物に使用されている建材の石綿(アスベスト)含有状況を調査する際に、必要な情報を簡易に収集できるように構築された情報提供サイトである。このデータベースは、国土交通省及び経済産業省の下で構築され、2006年12月の公開以降、関係者による情報提供と更新作業を経て発展してきた。

本事業では、2,151件の建材情報が登録されているデータベースについて、基盤となる維持管理に加え、適切な情報提供及び利用者の利便性向上を目的とした改善・検討を実施した。

なお、本事業は、国土交通省の補助事業として一般社団法人住宅リフォーム推進協議会が実施しており、当センターは同協議会より受託している。例年同様、行政機関・学識者・建設関連団体・建材関係団体・調査診断関係機関から構成されるデータベース運営委員会を設置し、委員からの助言を得ながら事業を実施した。

2.2 成果

今年度の主な実施項目は、次のとおりである。

①データベースの維持管理

データベースの登録情報の追加及び修正依頼への対応を行い、情報の正確性の確保に努めた。また、ウェブサイトの不具合を修正すると共に、今後の対応方針を整理した。さらに、データベース登録情報の「相談窓口」に掲載している連絡先の現況調査を実施した。加えて、「ご利用上の注意」の内容を更新するとともに、これに伴う内部データ管理強化のためのウェブサイト改修を実施した。

②データベースの登録情報の追加に関する検討の継続

例年と同様、データベースへの情報登録に関する検討体制を維持し、継続的な改善の基盤を確保した。

③データベースの利用に関する調査

2024年度に実施した住宅リフォーム事業者へのWebアンケート調査結果を分析し、利用者が求める情報の表示方法や検索性に関する改善点を整理した。その結果を踏まえ、ウェブサイトの一部改修を行い、利用者の利便性向上に資する改善を実施した。

2.3 今後の計画・取り組み

2026年度以降は、今年度着手した「相談窓口」の連絡先現況調査等を進めていく予定である。

データベースの維持管理にあたっては、運営委員会をはじめ、建材メーカー及び関係団体からのご協力が不可欠である。情報提供や更新対応にご協力いただいている関係各位に深く感謝申し上げます。

author

吉田仁美 経営企画部 企画調査課 主幹

流域治水対策としての住宅の流体抵抗・耐浸水性能の検証研究

十勝川千代田実験水路を活用した 実大木造住宅の 水理実験



平野 茂
株式会社一条工務店
特建設計部 部長



古澤 信
株式会社一条住宅
研究所
免震住宅推進部
専任課長



樋本敬大
国立研究開発法人
建築研究所
研究専門役
専任課長

1. 実験の背景と目的

気候変動に伴う水害の激甚化・頻発化に対し、流域治水への政策転換の一環として、特定都市河川の流域の浸水被害防止区域における新築住宅等の建築規制基準が定められ、木造住宅の耐浸水性能についても技術的知見の蓄積が求められている。

このような状況下において、木造住宅の構造安全性の確保を図るため、洪水発生時を想定した流体抵抗性検証実験等による木質構造部材等の性能検証が急務となっている。国立研究開発法人 建築研究所では、模型実験や流体シミュレーションにより水害時の構造安全性を検証してきたが、相似則や与条件の再現に限界も見えてきた。

そこで今回、十勝川千代田実験水路(写真1)にて、実際の河川水を用いた実大水理実験を実施した。北海道開発局及び国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所による堤防決壊実験(以下、破堤実験)の流路下流側に実大木造住宅を建設し、横断堤の越水や決壊に伴う氾濫流を作用させた。本実験の目的は、こうした実規模の水流下における住宅の流体抵抗性や、住宅各部に生じる応力等を実験的に検証することにある。

2. 試験体及び設置位置

2.1 概要

水理実験に供した実大木造住宅(以下、試験体と呼ぶ)は7.28m×7.28mの総2階建て枠組壁工法住宅(図1)である。玄関ドアが設置された面(通常の住宅計画では南側を想定した間取りとなっているため、以下、南面とも呼ぶ。)を水上側に向けて配置した。構造的には、今回の破堤実験で想定された水深1m、流速2m/sの流体力に対して十分な安全性が確保されるよう許容応力度設計等を行い、更に次節2.2に記す水害対策仕様を備えた試験体として建設した。

2.2 耐水害仕様

床下浸水の要因として、布基礎の地盤面下からの回り込



写真1 十勝川千代田実験水路の概要

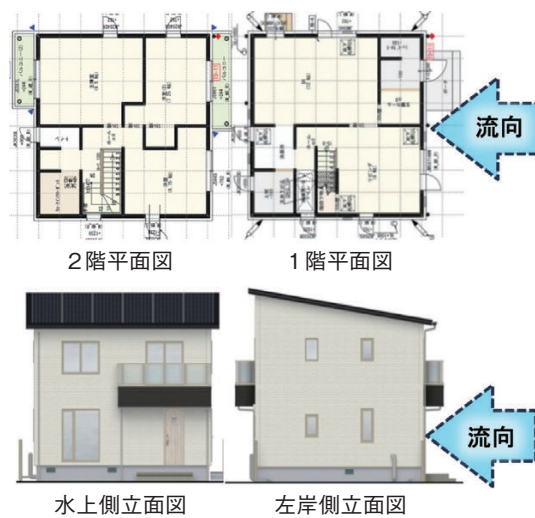


図1 試験体(実大木造住宅)の概要

み、基礎の打ち継ぎ部、床下換気口、設備配管の基礎貫通部が挙げられる。また、床上浸水の要因は、床下点検口を通じた床下から床上への浸水、壁面・玄関・窓開口部の隙間、設備配管の壁面貫通部が挙げられる。

これらの浸水要因に対する具体的な対策技術として確立されている仕様を試験体に適用した。本試験体は、一定の水位(浸水深1m)までは戸内への浸水を防止し、さらに水位が上昇した場合には、浮力や水流による力(水圧)によって建物が流失しないよう、床下注水ダクトを設けて外部の水をあえて建物内に取り入れる仕組みとした。

2.3 千代田実験水路の概要と試験体の設置位置

十勝川中流に位置する千代田堰堤(写真1)は、昭和10年に築造された固定堰で、低水路が左岸側に凸に湾曲している点など、洪水時の流下能力不足が懸念されていた。そのため、分流を目的とした新水路が建設されて治水安全性の向上が図られた経緯がある。千代田新水路の分流堰には、起伏式ゲート(転倒式)が4門あるが、このうち左岸側1門分の幅を背割堤で他3門分の水路と分流し、実大実験用水路としたものが千代田実験水路である。今回、実験に供された横断堤はゲートから下流側410mの地点に設置された。試験体はそこからさらに約70m下流(ゲートから480m地点)に、南壁面(入射面)が水流と正対するように配置した(図1、図2)。

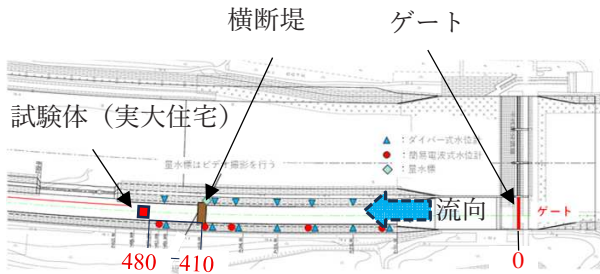


図2 横断堤と試験体の設置位置

3. 実験方法

3.1 試験体に作用する水流の水位・流速・水圧計測

水位は、図3に示す位置の川底に設置した水位計及び試験体周辺の測量ポールや外壁側面の水位スケールを用いた画像読み取りにより計測した。流速は、ドップラー式流速計及びPIV解析(撮影画像解析)を併用して計測した。前者は、試験体外壁の水上側(南面)に照準距離5mと15mの2台(写真2)、下流方向と左岸側側面に1台ずつの計4台を設置した。後者は、随時散布する発泡剤トレーサ等を撮影対象とした(写真3)。また、波圧計を水流が入射する試験体南面の18カ所(図4)に設置して(写真4、写真5)波圧を計測した。

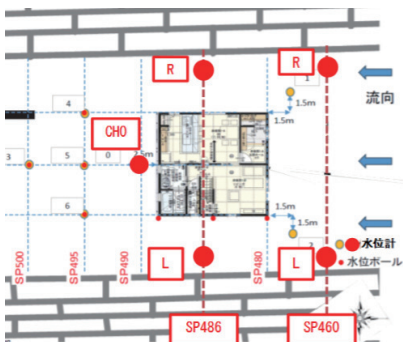


図3 水位計と測量ポール設置位置



写真2 ドップラー式流速計設置



写真3 流速計測(PIV解析)用トレーサ散布

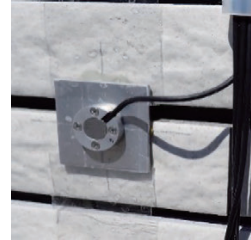


写真4 波圧計

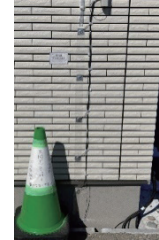


写真5 波圧計の設置状況

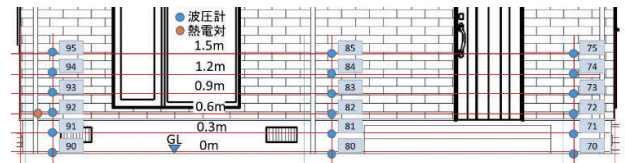


図4 波圧計の設置位置

3.2 流体力が作用した試験体各部における荷重計測

写真6に示すように、実大住宅である試験体は、浮力や水圧の影響を詳細に観測するため二重基礎構造とし、上基礎と下基礎の間に鉛直荷重を計測する荷重計並びにローラーを設置した。

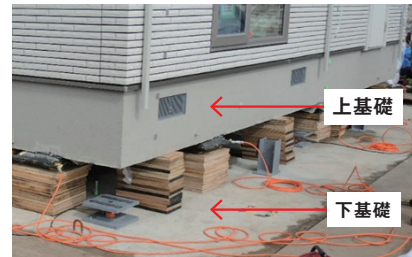


写真6 基礎形状(ジャッキアップ中)

これら荷重計の設置箇所を、図5中の①(赤丸及び写真)に示す。また、水平方向に作用する荷重を計測するため、水上側に図5-②治具Aを、側面に③治具Bをそれぞれ下基礎に固定して荷重計を設置した。このうち、治具Aは、上基礎に緊結されたワイヤーボルトの引張力が、センターホールを介して荷重計に圧縮力として伝達される構成とした。治具Bは、樹脂製ローラーを介して上基礎側面に接触させた。さらに、試験体に作用する浮力が建物重量を上回った場合に備え、浮上防止用の拘束ワイヤーボルトを内部の入隅4カ所(図5-④)に設置した。同ワイヤーボルトは、下端を下基礎に固定し、上端を上基礎の底盤に設けたスリーブ、さらにその底盤上に設置した荷重計のセンターホールを貫通させ、荷重計を挟み込む形で固定した。浮力

等によりワイヤーボルトに引抜力が作用すると、荷重計には圧縮力が入る構成となっている。また、スリーブを介して上基礎底盤上まで浸水しないように、荷重計周りを防護ケースで被覆して止水した。また試験体の水平方向の移動に備えて防水型の変位計（図5-⑤）を水下側に2カ所設置した。漏水センサは、4面の外壁内部、室内3カ所、床下基礎底盤上10カ所に設置して、壁体内漏水や床上・床下各所への浸水有無を確認した。

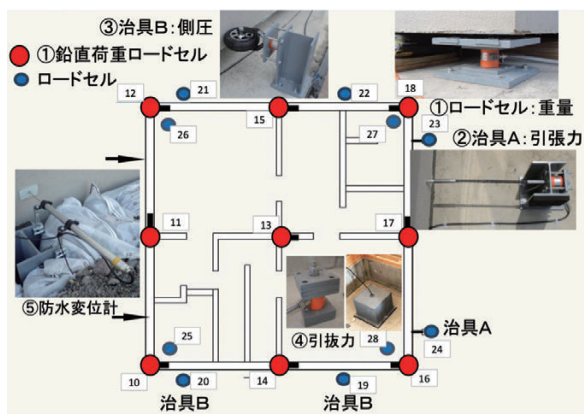


図5 計測機器の設置箇所

3.3 映像撮影

外観映像として、左岸に設置した有人カメラ3台（うち1台はクレーンにより高所から撮影）に加え、左右両岸に設置した無人固定カメラ9台より、水上側及び水下側から試験体の状況を撮影した。また、試験体室内の各所に固定カメラ9台及び床下に水中カメラ6台を設置して、室内及び床下への浸水・注水の有無等の状況観察と記録を行った。

4. 実験結果

4.1 建物重量及び摩擦係数の測定

建物重量は、9カ所に設置した荷重計の合計から求められ、上基礎を含む建物総重量は $\Sigma W_0 = 637 \text{ kN}$ であった。

摩擦係数を測定するために、試験開始前に人力+エアーマットを用いて試験体の上基礎以上を一旦水下側へ水平移動させた。その後、水下側の変位計（図5-⑤）の値を注視しながら、上基礎に緊結されたワイヤーボルト（図5-②）を用いて水上側へ引き戻す際の張力を荷重計で測定し、摩擦係数を求めた。その結果、本試験体の二重基礎間における摩擦係数は0.05～0.06であった。

4.2 実験経過及び試験体の耐浸水性能検証結果

実験は、9:00に起伏式ゲートを傾斜させて実験水路に注水を開始し、途中で横断堤の損傷状態確認時間を挟みながら進化した。流量4t/sにて10:30に横断堤を越え、その後、越水幅は徐々に拡大して越水高が約0.3mとなった。越水開始から3時間後の試験体周囲の水位は0.2m程度であったが、横断堤の天端の破損に伴う越水量の増加により水位は0.3mに上昇した。しかし、同流量では破堤には至

らなかったことから、流量を段階的に増加させ、破堤直前の15:57には20t/sに達した。この時点での越水高は0.6～0.7m、試験体周囲の水位も床上レベルを超えたものの、室内への浸水は確認されなかった。流量を30t/sに増加させた直後の16:03頃に横断堤が破堤した。

横断堤の破堤から約3分後（16:06:00）の状況を写真7に示す。この時、住宅の水上側の水位は約1.7mに達し、堰上げ高さも約2mまで上昇した。流速は約2.2m/sとなり、結果的にこれらの水位及び流速が最高値となった。なお、この時点においても室内への浸水は確認されなかった（写真8）。これは、浸水防止機能付き床下換気口や排水管逆流防止弁などが正常に機能したものと推察できる。また、窓サッシも水密性能が保たれており、漏水は確認されなかった。玄関ドアは、ドアノブや鍵穴からの僅かな水漏れが室内カメラから観測された。破堤から約3分30秒後（16:06:30）には多少水位が下がり、水上側で約1.5mとなった。写真7中のおおりの、床下注水口の取水口は波間に見え隠れする状態で河川水の流入もそれなりに想定されたが、同時に室内及び床下内に設置したカメラ等により観察されており、この時点では居室内床上への浸水はなく、床下注水口からの注水はさほど多くない断続的な状態であった。破堤から約10分を経過した時点では、水位の低下と流速の減速に伴い、床下注水口から水の流入が進み、やがて床下が満水となった。その結果、床下から溢れた水が床上2～3cm程度まで達した。これらの事象を確認できたことから、浮力による建物の流失を防ぐ効果が期待できることが検証されたといえる。



写真7 破堤3分後の状況（最高水位約1.7m、16:06:00）



写真8 写真7と同時刻の室内の状況

4.3 実験結果のデータ整理

実験の全工程（開始前8:30～終了18:00）で得られた経時データとして、建物重量合計-引抜き力（図6）、引張力（図7）、水圧分布（図8）、水深（図9）、流速（図10）を示す。また、水深が最も深くなる時刻付近（16:01～16:08）のデー

タを同様に図11～15に示す。各グラフ内には、16:02時の平均水深0.86mから、0.2m毎遡った水深0.66m、0.46m、0.26mが記録された時刻のデータも示す。なお本破堤実験の想定水位1mを超えたことにより治具Aが破壊した時点（16:05:02）も表記した。



図6 建物重量合計-引抜き力(経時データ)

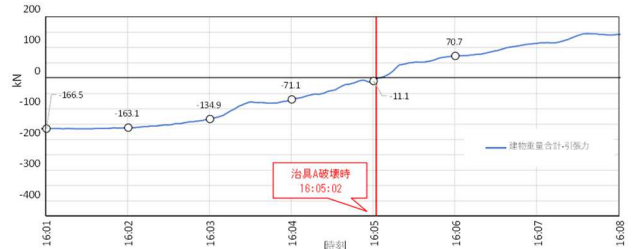


図11 建物重量合計-引抜き力(最大水深時付近)

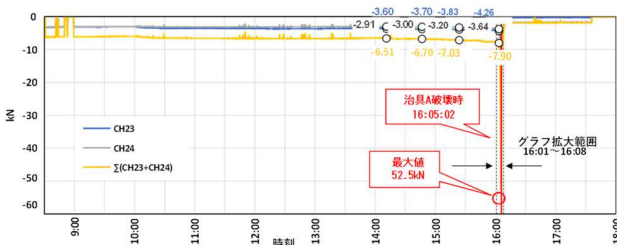


図7 引張り力合計(経時データ)

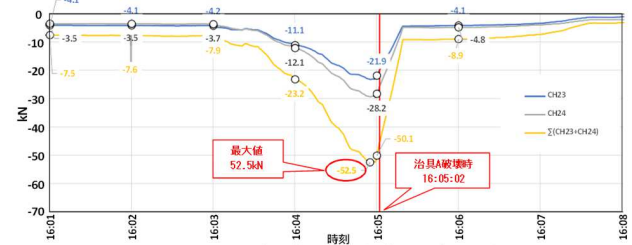


図12 引張り力合計(最大水深時付近)

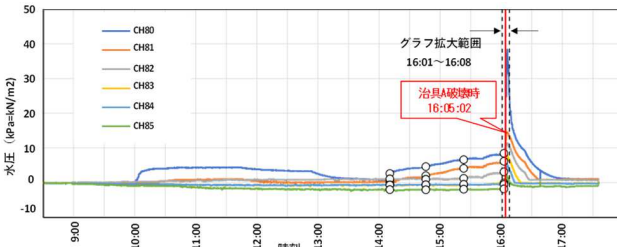


図8 水圧分布(経時データ)※中央

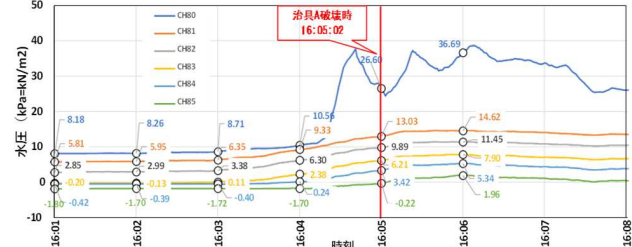


図13 水圧分布(最大水深時付近)※中央

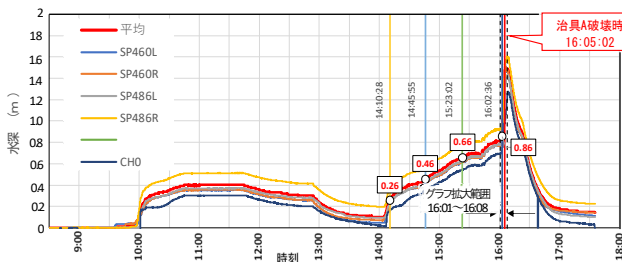


図9 水深(経時データ)

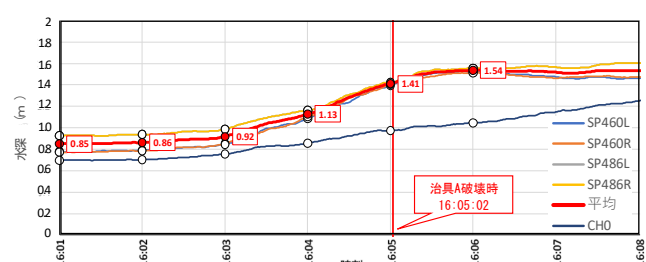


図14 水深(最大水深時付近)

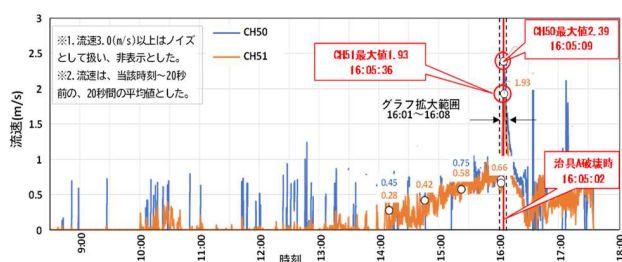


図10 流速(経時データ)

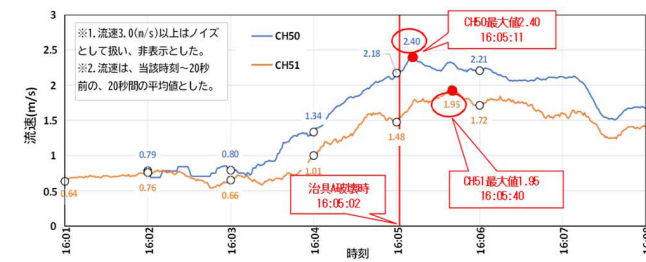


図15 流速(最大水深時付近)

5. 試験体に作用する流体力の評価

水流下の建築物の構造安全性は、水平せん断力を確保し、滑動と転倒の危険性を排除して成立する。しかし、建築物の負担水平せん断力の測定は困難であるため、滑動と転倒について検討した。

5.1 波圧測定結果からの流体力の算定

試験体外壁の水上側に設置した波圧計のデータについて、準定常状態と確認できた数秒間の平均値を水圧とした。受圧面積を図16のように考慮し、水下側の静水圧を図17のように考慮して流体力(水平力)を算定した。

受圧面の中心の高さをモーメントアームとして水平力に乘じ、転倒モーメントを算出した。

5.2 特定都市河川法告示の抗力式による外力算定

特定都市河川法に基づく令和3年国土交通省告示第1392号第1号に掲げる抗力式等に準じて水平力 F_a 、転倒モーメント M_c 、及び浮力 F_v をそれぞれ(1)~(3)により算定した。

$$F_a = 0.5 \cdot \rho \cdot C_D \cdot B \cdot h \cdot U^2 \quad (1)$$

$$M_c = 0.5 \cdot \rho \cdot C_D \cdot B \cdot h \cdot U^2 \times (h/2) \quad (2)$$

$$F_v = \rho \cdot g \cdot h \cdot A \quad (3)$$

ここで、流体の密度： $\rho = 1.0$ [t/m³]

流速： U [m/s]

抗力係数： $C_D = 2.1$

水深： h [m]

受圧幅： $B \approx 7.486$ m

重力加速度： $g = 9.8$ [m/s²]

面積 $A = 7.486 \times 7.486 \approx 56.04$ [m²]

ただし、流速 U は流速計とPIV解析の最大値、水深 h は水上側と水下側の平均値に設定GLからの上基礎下端までの距離0.17mを加えた数値とした。

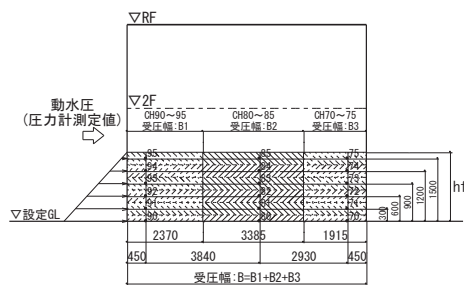


図16 動水圧受圧面の波圧計配置と受圧面積

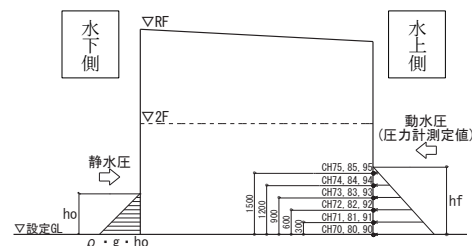


図17 水下側(左側)静水圧の考慮方法

5.3 抗力式と試験体に作用する流体力の比較

(1) データの抽出と水深・流速の範囲

収録されたデータから、最高水位・流速時刻より遡る形で、16:06、16:05、16:04、16:03、16:02、15:23、14:45、14:10、近辺の比較的安定しているデータを抽出し、準定常状態とみなして各測定値の平均値を算出して分析した。各抽出時刻における水深と流速は図18に示すとおりである。

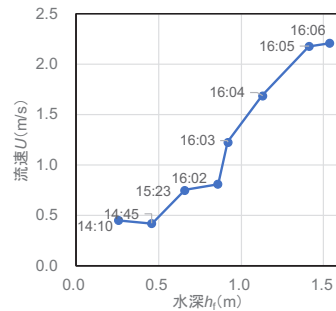


図18 抽出時刻の水深と流速の関係

(2) 流体力(水平力)の評価

抗力式から算出した流体力 F_a (kN)に対し、波圧計から求めた流体力 F_{a1} (kN)及び荷重計から算出された引張力合計(建物に生じた水平力) F_{a1}' (kN)を比較した結果を図19に示す。

一部を除いて F_{a1} と F_{a1}' は、抗力式による F_a より多少小さな数値となるようである。言い換えれば、抗力式で評価しておけば安全側であることが分かる。

また、3つの値をフルード数 $Fr (= U/\sqrt{hg})$ と比較して図20に示す。フルード数が低いところで F_{a1}' だけ低下していないが、荷重計の感度と関係があるかもしれない。

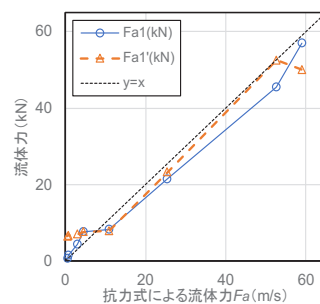


図19 抗力式とセンサ測定値による流体力の関係

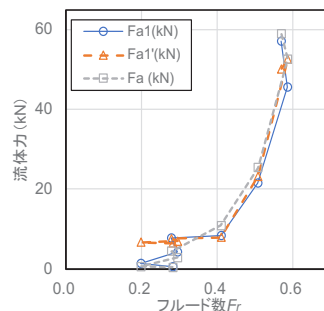


図20 フルード数と流体力の関係

(3) 転倒モーメントの評価

抗力式から算出された転倒モーメントを M_{ca} (kNm)、荷重計から算出された転倒モーメントを M_{ca1} (kNm)として、両者の比較を図21に示す。比較的転倒モーメントが大きい30kN・mでは、抗力式による算定値より測定による値の方がやや小さいものの、両者の差は大きくない。言い換えれば、抗力式に基づいて算出される転倒モーメントは、実際に作用する転倒モーメントを適切に評価しており、多少安全側であるといえる。

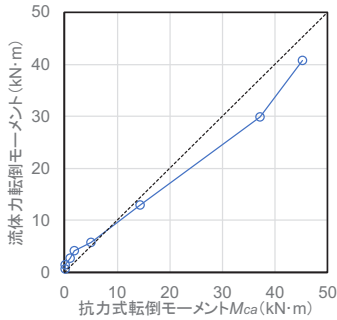


図21 抗力式と測定値による転倒モーメントの比較

6. 浮力の評価

建物重量の荷重計による計測値と、水深から計算した浮力を建物質量から減算した数値 ($\Sigma W_b - F_v$ 、建物重量の計算値)を比較して図22に示す。同図中の負の数値は、浮力が建物重量を超えていることを示す。時間の経過とともに水位が上昇しているが、それに伴って荷重計による計測値及び $\Sigma W_b - F_v$ が減少している。

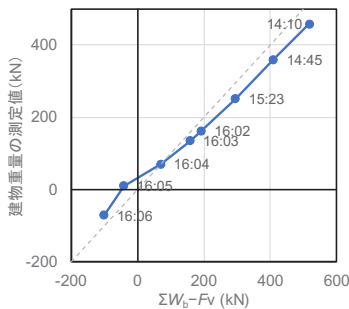


図22 建物重量の計算値と測定値の関係

7. まとめ

実験水路における実大木造住宅の水理実験の結果、水害対策、浮力対策を施した仕様の効果を確認できた。流体力が作用する木造住宅に生じる水平力、転倒モーメントは概ね理論通りであること、また、浮力は水深によって計測値と計算値の大小関係が変わるが、概ね両者の数値の差は大きくないことがわかった。

【謝辞】

本実験は、林野庁「令和5年木材製品の消費拡大対策のうちCLT実験検証事業のうちCLT等木質建築部材技術開発・普及事業」の補助を受けて組織された「十勝川千代田実験水路実大木造住宅水理実験検討委員会」(委員長：槌本敬大、事務局：(公財)日本住宅・木材技術センター)の監修により実施された。また本実験は、同実験水路等における活用研究として国土交通省北海道開発局との協定及び(国研)土木研究所寒地土木研究所の「越水による堤防決壊実験」との協力の下に実施した。監修及びご協力を賜った関係各位に心より御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 和木 洋, 高橋武宏, 及川孝則, 品川恭一, 平野 茂, 福和伸夫: 浸水深1m対策を施した耐水害住宅の実装に向けた実大浸水検証試験, 日本建築学会技術報告集, 第28巻, 第69号, pp.697-702, 2022年6月
- 2) (国研)建築研究所・(公財)日本住宅・木材技術センター:「流域治水における木造住宅の水害対応技術の開発 報告書 令和7年2月」令和5年度林野庁補助事業 木材製品の消費拡大対策のうちCLT建築実証支援事業のうち CLT等木質建築部材技術開発・普及事業
- 3) 平野 茂, 槌本敬大, 高館祐貴, 品川恭一, 高橋武宏, 古澤 信: 十勝川千代田実験水路を活用した実大木造住宅の水理実験 その1 水害対策を施した建物概要と検証結果, 日本建築学会学術講演梗概集, 2025年, Z-1, pp.115-116
- 4) 品川恭一, 槌本 敬大, 高館祐貴, 平野 茂, 高橋武宏, 古澤 信: 十勝川千代田実験水路を活用した実大木造住宅の水理実験 その2 実験の計測方法と実験結果, 日本建築学会学術講演梗概集, 2025年, Z-1, pp.117-118
- 5) 槌本敬大, 高館祐貴, 平野 茂, 品川 恭一, 高橋武宏, 古澤 信: 十勝川千代田実験水路を活用した実大木造住宅の水理実験 その3 供試住宅に作用する流体力の評価, 日本建築学会学術講演梗概集, 2025年, Z-1, pp.119-120

平野 茂

専門分野: 木造住宅免震構造、耐震構造
最近の研究テーマ: 耐水害住宅、免震住宅、雪害対策

古澤 信

最近の研究テーマ: 耐水害住宅部材の耐浸水性能実験

槌本敬大

専門分野: 木質構造用材料の性能評価、木造建築物の耐震性・耐久性評価技術の開発

マネジメントシステム認証規格の改正

JIS Q 55001 (アセットマネジメント—
アセットマネジメントシステム
—要求事項)の改正について

佐竹 円

認証ユニット ISO 審査本部
マネジメントシステム認証課 主幹

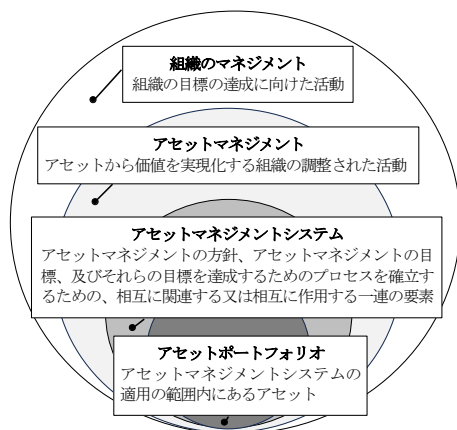
1. はじめに

アセットは、「組織にとって、潜在的に又は実際に価値をもつ項目、物又は実体」と定義され、物的なものだけでなく非物的なものも含むとされています (JIS Q 55000 3.1.1)。社会インフラなどの物的なアセットに加え、ソフトウェア、特許、ブランド、情報、金融資産、人材などの非物的なアセットも含まれ、組織にとって価値をもつ全ての資産が「アセット」とされています。

アセットマネジメントは、「アセットからの価値を実現化する組織の調整された活動」と定義されています (JIS Q 55000 3.2.1)。重要な原則として、「価値」、「整合性」、「リーダーシップ」を含み、主な成果として、価値の実現及び組織の目標の達成が掲げられています。

アセットマネジメントに関する用語間の関係を図1に示します。

JIS Q 55001は、「アセットマネジメントシステム」と呼ばれる、アセットマネジメントのためのマネジメントシステムの確立、実施、運用、維持及び改善に関する要求事項を規定しています。品質マネジメントシステムに関する要求事項を定めたISO 9001 (JIS Q 9001)、環境マネジメントシステムに関する要求事項を定めたISO 14001 (JIS Q 14001)と同様に、規格の要求事項に基づき組織の認証が

図1 アセットマネジメントにおける重要な用語間の関係
(JIS Q 55000 図1)

行われる「マネジメントシステム認証規格」のひとつです。2026年3月現在、79の企業等がISO 55001 (JIS Q 55001)の認証を取得し、アセットマネジメントシステムを運用しています。

JIS Q 55001は、2017年8月25日に制定されました。対応国際規格であるISO 55001が2024年7月に第2版として発行されたことを受け、一般社団法人日本アセットマネジメント協会がJIS原案を作成し、日本工業標準調査会での手続きを経て、2025年9月25日に改正されました。

本稿では、JIS Q 55001の主な改正内容について、規格の解説をもとに紹介します。

2. 主な改正内容

改正内容は、次のとおりです。Annex SL (仮訳：ISO/IEC 専門業務用指針 統合版ISO 補足指針の附属書SL、2024年7月)の改訂に伴う整合化とアセットマネジメント独自の規定が追加されています。

2.1 規格の名称

対応国際規格に合わせて、規格名称が、「アセットマネジメント—マネジメントシステム—要求事項」から「アセットマネジメント—アセットマネジメントシステム—要求事項」に変更されました。

2.2 規格の構成

4.5 (アセットマネジメントの意思決定)、6.1.3 (機会への取組)、6.2.1 [戦略的アセットマネジメント計画 (SAMP)]、6.3 (変更の計画策定)、7.7 (ナレッジ)、9.3.2 (マネジメントレビューへのインプット)及び9.3.3 (マネジメントレビューの結果)が追加されました。

2.3 気候変動への対応 (JIS Q 55001 4.1、4.2)

Annex SLにおいて、4.1 (組織及びその状況の理解)の本文及び4.2 (ステークホルダーのニーズ及び期待の理解)の注記に気候変動に関する文章が盛り込まれたことを受けて、本規格にも同様の内容が追加されました。なお、JIS Q 9001は2025年3月に、JIS Q 14001は2025年4月に追補が発行されています。

2.4 アセットマネジメントの意思決定 (JIS Q 55001 4.5)

アセットマネジメント特有の要求事項として、本箇条が

追加されました。アセットマネジメントの意思決定を行うためのフレームワークの確立や、意思決定基準を定める際の考慮事項等が規定されています。アセットから得られる価値の決定や意思決定基準を決定すること等が求められています。

2.5 リーダーシップ及びコミットメント(JIS Q 55001 5.1)

トップマネジメントが行う事項として、i) 及び j) が追加されました。アセットマネジメントの意思決定基準の確立、アセットマネジメントシステムの適用範囲及びSAMPを承認すること等が追加になっています。

2.6 リスク及び機会への取組(JIS Q 55001 6.1.2、6.1.3)

Annex SLは、「リスク及び機会の決定」と「その計画(取組の計画)」で構成されていますが、「リスク及び機会の決定」は6.1.1(一般)に、「計画」は6.1.2(リスクへの取組)及び6.1.3(機会への取組)に分けて規定されました。これにより、リスクと機会への取組が異なることが明確になりました。

2.7 戦略的アセットマネジメント計画(SAMP) (JIS Q 55001 6.2.1)

SAMPは、「アセットポートフォリオ及びアセットマネジメントシステムの策定及び管理のための、アセットマネジメントの方針、目標、戦略及びアプローチを含み、それぞれの間の整合を図る文書化した情報」と定義されています(JIS Q 55000 3.3.29)。旧規格では、SAMPに関する要求事項は4.1、4.3等に規定されていましたが、本箇条にとりまとめられました。併せて、SAMPが満たすべき事項も規定されています。6.2.1に位置づけられ、アセットマネジメント計画の上位計画であることが示されています。

2.8 ナレッジ(JIS Q 55001 7.7)

ナレッジは、「経験、研究又は教育を通じて獲得した事実、情報及び原則の理解」と定義されています(JIS Q 55000 3.3.26)。例示として、「知的財産」や「失敗及び成功した取組から学んだ教訓」等が挙げられています。アセットマネジメントを運用する上で必要なナレッジを決定、また、その管理及び活用のための枠組みが規定されています。

2.9 運用(JIS Q 55001 8.1)

Annex SLに関する細分箇条の名称に「ライフサイクルマネジメントを含む」が追加されました。これは、組織がアセットマネジメント計画策定にあたり、ライフサイクルプロセスを含むプロセスの計画、実施、管理を行うことが規定されています。また、注記1から注記6が追加になっています。注記から注記5は、ライフサイクルプロセスの各段階の留意事項、注記6には組織の責任期間がアセットのライフサイクルより短い場合にアセットの状態を考慮することが記載されています。

2.10 予測行動(JIS Q 55001 10.3)

予測行動は、「意思決定を支援するために必要なパラメーターの将来動向を予測する行動」(JIS Q 55000 3.3.21)と定

義されています。予測行動のプロセスを確立し、潜在的な不適合が特定された場合は適切に対応していくこと等が規定されています。さらに、予測行動に基づく意思決定からの長期的な影響については、ステークホルダーに報告することが求められています。

3. 認証の移行

新規格への移行にあたり、公益財団法人日本適合性認定協会(JAB)より「ISO 55001:2024発行に伴うアセットマネジメントシステム認定の移行要領(25-認シス第0004号)」が発出され、その中で認証の移行期限は、改正規格の発行日から3年後の2027年7月31日とされています。

当センターは、登録組織の認証の移行にあたり、新規格に対する移行審査を実施します。移行審査は原則として、2026年度の定期の審査(サーベイランス審査または再認証審査)と同時に実施します。開始時期は2026年7月1日、受審期限は2027年4月30日です。

登録組織の皆様におかれましては、認証の移行にあたり、新規格の要求事項と組織のマネジメントシステムの差異を把握していただく必要があります。また、更新後のマネジメントシステムでの運用実績が必要となります。改正後の規格を適切に理解し、マネジメントに反映いただきますようお願い申し上げます。

4. おわりに

本稿では、2025年9月25日に改正されたJIS Q 55001の概要を紹介しました。

建材試験センターは、JABより2026年1月15日付けで、新規格への認定の移行が決定されました。公平・公正な審査により、信頼性の高い認証を提供する基盤を整備しております。引き続き当センターをご利用いただけましたら幸いです。また、アセットマネジメントシステムの認証取得に関心をお持ちの方は、ISO審査本部までお気軽にお問い合わせください。

参考文献

- 1) JIS Q 55000 : 2025, アセットマネジメントー用語, 概要及び原則
- 2) JIS Q 55001 : 2025, アセットマネジメントーアセットマネジメントシステムー要求事項
- 3) JIS Q 55002 : 2021, アセットマネジメントーマネジメントシステムーJIS Q 55001の適用のための指針

【お問い合わせ先】

ISO 審査本部 マネジメントシステム認証課
TEL : 03-3249-3151 FAX : 03-3249-3156

防水性試験に用いる試験機を更新

手動耐水度試験機



武田 愛美
総合試験ユニット
中央試験所 材料グループ
主任

1. はじめに

中央試験所 材料グループでは、手動耐水度試験機を更新しました。本試験機は、JIS L 1092（繊維製品の防水性試験方法）に規定される耐水度試験（静水圧法）の試験条件に適合したものです。当センターでは、透湿防水シートなどの製品の防水性試験・評価に用いています。

2. 試験機の概要

試験機の概要を表1に、試験機の外観を写真1に示します。

本試験機はJIS L 1092の耐水度試験のうち、試験方法B（高水圧法）に対応しています。試験容器に水を満たし、試験片を取り付け、ピストンハンドルを回すことで試験片に水圧が加わる仕組みの試験機で、水圧をかけながら試験片を観察することができます。

表1 試験機の概要

試験機名称	手動耐水度試験機
製造会社	株式会社 安田精機製作所
試験片	約150mm×150mm
クランプ	内径φ100mm
圧力計	アナログタイプ Max. 0.3MPa (目盛0.002MPa)
機体寸法・重量	約W430×D500×H800mm、約35kg

3. 主な使用例

当センターでは、主にJIS A 6111（透湿防水シート）の7.5防水性に規定されている試験に使用しています。透湿防水シートは、防水性能、透湿性能、防風性能などを兼ね備えたシートで、主に通気工法を採用した住宅の外壁や屋根に使用される材料です。

この試験はn=4で実施し、試料から150mm×150mmに採取したものを試験片とします。

試験機に、試験片の使用時に水が当たる側が試験機の水に接するように取り付け、1分間に100kPaの割合で水圧を増加させます。試験片の裏面の3か所から水が出たとき（写真2）の水圧（kPa）が試験結果となります。

4. おわりに

当センターでは、防水性試験のほかにもJIS A 6111に

規定されている各種試験を実施しております。

その他、シートやフィルム、ゴムなどを対象とした試験も幅広く行っておりますので、試験をお考えの際は中央試験所 材料グループまでお問い合わせください。

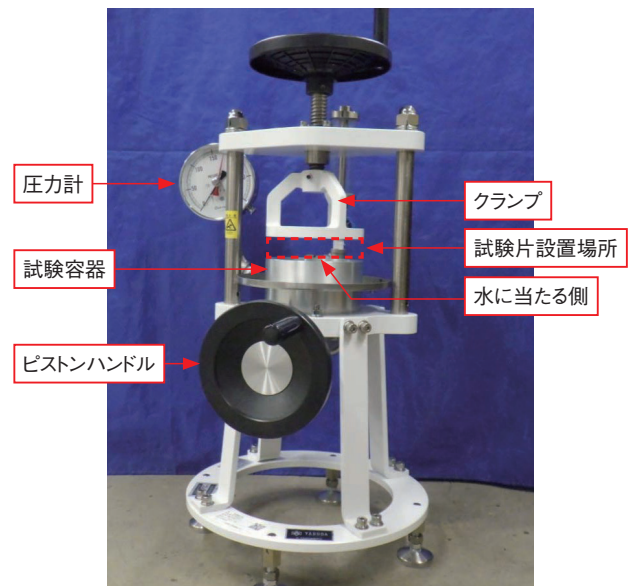


写真1 試験機の外観

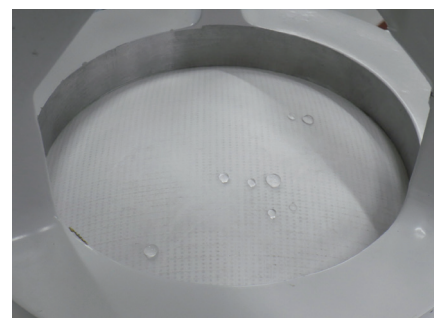


写真2 水が出た状態

武田愛美 <従事する業務> 有機系材料の性能試験

【お問い合わせ先】

中央試験所 材料グループ

TEL : 048-935-1992 FAX : 048-931-9137

CON-PAS

オンラインで
簡単! 速い! 省力化!



パソコン、タブレット、
スマホでOK!

申込みが簡単!



- 工事名など工事情報は、初回に登録すれば次からは呼出すだけです。
- 申請者情報、準拠規格などの記入は、以前の申込みをそのまま流用できます。

報告書が速い!



- 試験後10分以内に速報発行できます。報告書は最短で当日中に発行できます(条件により翌営業日)。
- PDFで発行し、メール通知・即確認ができます。

進捗が見える!

- 申込み内容はいつでもオンラインで確認できます。
- 試験体が到着しているか、試験が終わったかなど進捗状況が一目でわかります。

報告書DL済

試験体受付済

試験済

申請済

試験体の管理が確実!

- 申込み内容を専用シールで試験体に貼付けることで、試験体情報を正確に管理し、スムーズな試験実施を実現します。

株式会社〇〇	有限会社〇〇
〇〇新築工事	
他 他基礎立上り	
2025.05.14 27	ロット 1
連絡:	
1	2025.06.11
標準水中	28日
	
50464 4001	

立会もオンライン!



- 立会可能な空き時間の確認、申込みもオンラインでできます。
- どの試験室でもオンラインで遠隔立会が可能。遠方からの移動が必要ありません。

一覧データの取得可!



- これまでの申込みや試験結果の一覧データをダウンロードできるので、記録や分析に便利です。

お申し込みはカンタン!

STEP 1

電子メールのアドレスを準備してください。

STEP 2

下記のサイトにアクセス
<https://company.conpas-jtccm.jp/>

STEP 3

新規アカウント登録後
登録確認メールが届きます。

2026年
3月から
電子署名付き
報告書開始!



一般財団法人

建材試験センター

Japan Testing Center for Construction Materials

工事材料試験所

あの人に聞いてみた!

機関誌「建材試験情報」をできるだけ多くの人に読んでもらいたい、という思いで考えた「あの人に聞いてみた!」。今回は、工学院大学 建築学部 建築学科 教授、建築学部長として教育・研究の両面を担いながら、コンクリートへの揺るぎない愛情とともに長年にわたりコンクリート工学および建築材料分野の発展に寄与されてきた鈴木先生にお話を伺いました。研究活動から教育、国際標準化活動に至るまで、これまでの幅広いご経験を通して培われたご見識や、分野を取り巻く諸課題、次世代育成への思いについて語っていただきました。



interviewee

鈴木澄江 先生

工学院大学 建築学部 建築学科 教授・建築学部長

社会実装を見据え、現場に根ざした研究を貫く

② 現在、学生の皆さんと取り組んでおられる研究テーマについて教えてください。

大きく分けると「環境配慮型コンクリートに関する研究」、「試験規格の開発に繋がる研究」、「施工の不具合がコンクリートの物性等に与える影響に関する研究」の3つに分類できます。学生の希望を踏まえながら、これらのカテゴリーでテーマを組んでいます。

例えば、環境配慮型コンクリートの物性に関する研究ではCO₂削減に寄与する一方で、そのコンクリート自体の耐久性や施工性の観点から慎重な検討が必要です。コンクリート工学の巻頭言でも述べましたが、資源環境性に配慮した材料は研究こそ進んでいるものの、建築物への適用範囲が限定的で、生コン工場の設備や社内標準化、生産コストなど社会実装に向けた課題は数多く存在しています。学生が卒業研究に取り組むにあたり、社会実装のハードルを踏まえ、実務で活かせる条件や注意点の整理を重視しています。

また、私は昔から試験方法などの開発に関わる検証実験が好きで、いわゆる最先端な学術的研究よりも、現在直面している技術課題の社会実装に向けた問題解決の研究に力をいれています。これは建材試験センター時代の経験がベースになっています。

② コンクリートの道に進んだきっかけは何だったのでしょうか。

大学時代、建築材料の授業で調合設計を学んだ際、同じ調合でも毎回異なる結果になる「料理のような面白さ」に強く惹かれました。その後、女性の就職先が限られていた時代において、「男性のみ」と書かれていなかった内山コンクリート工業株式会社(現・株式会社内山アドバンス)の求人と出会い、当時の興味と重なったことが、コンクリートの道に進む決め手となりました。

② コンクリートの調合設計の魅力と、それを支えているこれまでのご経験についてお聞かせください。

私はコンクリートの調合設計が好きで、複数の要素を同時に調整し、狙いどおりの調合に導けることに楽しさを感じます。頭の中に四次元マップのようなイメージがあり、「ここここを変えれば結果はこうなる」という感覚です。内山アドバンスでの7年間で、東京湾横断道路の水中不分離性コンクリートなど難しい現場を多く経験したことや、高性能AE減水剤が普及する前の厳しい環境で鍛えられたことが、調合設計の力につながっていると感じています。

② 建材試験センターでの長年のご経験は、ご自身にどのような影響を与えましたか。

建材試験センターには28年間勤務し、そのうち17年間は中央試験所にいました。そこでは、幅広い建材の試験に携わったことにより、関連するJISの規格番号はほとんど頭に入っています。それが外部の委員会活動などでは大きく役立ちました。

② コミュニケーション能力が高いという印象がありますが、その背景は何でしょうか。

現在、生活している千葉市稲毛区の地域は、年齢、性別、職業などに関わらず、さまざまな人が自然に交流できる環境が整っています。若い頃からそうした地域のつながりに触れてきたことが今のコミュニケーション力の基盤になっていると感じています。

また、建設業界は男性が多い分野で、委員会でも女性が私一人という場面が少なくありませんでした。そうした中で、相手の方々はすぐ私の名前を覚えてくれる一方、私は十数名の男性の名前を覚えられないといけません。皆さんと親しみを持って接するために、例えばお酒の好みなど、ちょっとした話題や特徴を手がかりにお名前や人柄を覚える工夫をしてきました。「一緒に働く方を理解するためのきっかけ」として大切にしてきた感覚です。

こうした経験の積み重ねが、私のコミュニケーション能力を培ってくれたのだと思います。

② 研究者として印象深い経験を教えてください。

内山アドバンス在籍時に、オーストラリアやアメリカなど、海外の採石場、セメント工場、生コン工場などを視察する機会がありました。海外では、日本より先に行く技術にも多く触れました。例えばアメリカでは、1990年代の早い段階からアジテータ車にGPSが搭載されており、管理の合理化が進められていました。また、オーストラリアの一部地域やアメリカのロサンゼルス郊外の砂漠地帯では、トラックミキサでコンクリートを練りながら現場へ届けるモービルミキシングが主流で、その仕組みは非常に興味深いものでした。ある講演会で、モービルミキシングについて正しくないお話をされていた方にオーストラリアのコンクリート事情に関する資料をお送りしたところ、講演を依頼されたこともありました。

また、1997年頃からはISOの国際標準化活動に関わり始め、現在までおよそ30年間にわたり委員を続けています。ASEAN諸国では複数国の技術基準が混在しているため、現場を直接見ないと理解できないことが多々あります。例えば、ベトナムのハノイの市街地では、昼間は公共交通のバス以外的大型車が通行禁止のため、コンクリート工事は夜9時～朝6時に行われるなど、その地域特有の事情が品質管理に直結していることもあります。

こうした経験から、私は「実際の現場に足を運び、見て、確かめる」ことの重要性を強く実感するようになりました。現場で得た知見を積み重ねてきたことが、私の研究姿勢の根幹となっています。

③ 環境負荷低減コンクリートの今後の変革について、どのようにお考えでしょうか。

昨年のコンクリート工学の巻頭言りでも触れましたが、生コンクリートの価格はここ数年で急激に上昇しています。原材料費・輸送費・人件費など多方面で高騰が進み、その影響は建築分野にも及んでいます。特に建築分野において「昔は、コンクリートって使われていたよね」と語られる時代が来るのではないかと危惧しています。実際に、公共建築物において予算の関係で、RC造から木造へ設計変更を余儀なくされる事例も出ており、RC造を使用し

たくても採用が難しいケースが現実味を帯びています。

環境配慮を単に訴えるだけでは不十分で、社会実装につながる具体的な仕組みやエンドユーザーを含めた意識改革が重要です。業界としてもより持続可能で実務に基づいた提案をしたいと思っています。

④ 学部長としてのお仕事について教えてください。

学部長としては、人事や予算管理、トラブル対応など、建築学部全般のマネジメントが主な仕事です。また、工学院大学の魅力を発信することも大切な役目です。

⑤ 学生を指導するうえで大切にしていることや、育ってほしい人材像を教えてください。

建築という分野は、一人の力だけでは成り立たず、さまざまな専門性が関わり合いながら形になっていく仕事です。そのため、自分の得意分野をしっかりと伸ばすと同時に、協調性や他者を尊重する姿勢をぜひ大切にしてほしいと思っています。

また、学生一人ひとりが持つ良さや強みは異なります。私はその個性を見極め、無理のない範囲で少し背伸びすれば届くような目標を設定し、一歩ずつ前に進めるような指導を心がけています。

⑥ 建材試験センターの役割についてどのようにお考えですか？

建材試験センターは、戦後の新しい建材が次々登場した時代に、その安全性を中立的な立場で公平に評価する機関として設立されました。今一度その役割を再認識し、矜持を持って仕事に取り組んでいただきたいと思います。

⑦ 最後に、先生がここまで続けてこられた「強い思い」や「信念」を教えてください。

私はダブルブッキングにならない限り仕事を断らないと決めており、その姿勢は大学に来てからも変わっていません。大変な経験でも積み重ねれば力になりますし、得意でない仕事でも目の前のことを丁寧にこなせば必ず後に生きてきます。また、教わったことは忘れないように努めており、すべてを記憶する必要はないですが、どこを見ればわかるか把握しておくことが重要だと考えています。

本意ではない業務も含め、様々な経験を積み重ねることで、いずれ必ず自分の力になるとと思っています。

参考文献

- 1) 鈴木澄江：建築材料としてのコンクリートのゆくえ、コンクリート工学, Vol.63, No.8, p.587, 2025.8



〈インタビュー感想〉

与えられた仕事に真摯に向き合い続ける強い信念が印象的でした。また、社会実装を見据えた研究への視点や、建材試験センターへの期待のお言葉は、私たちにとっても改めて使命を考えるきっかけとなりました。さらに示された研究への飽くなき探求心と、次代を託す学生や若手研究者に対する深い責任感が随所に感じられ、心に残る時間となりました。(原田・疋島)

骨材の系譜

工学院大学 名誉教授 阿部道彦

vol.10 代替骨材

1. はじめに

本誌2026年1・2月号では「様々な骨材」という標題で、一般的な仕様書・示方書やJISに規定された骨材の範疇ではあるがそれまでの連載で紹介してこなかった骨材や、それ以外で基本的には岩石由来の骨材を紹介した。今回は、見慣れない標題とはなるが「代替骨材」ということで、主として岩石由来ではない材料を骨材とみなして検討された事例を紹介する。

2. 煉瓦（レンガ・れんが）

今から1500年以上前の古代ローマのコンクリートでは、**写真1**に示すようにコンクリートの粗骨材としてレンガ片を用いることもあったようである。このコンクリートの試料は3層から構成されており、一番上の層ではレンガ片が、次の白っぽく見える真ん中の層ではレンガ片と石灰石が、そして一番下の層では黄色凝灰岩が用いられていた。

写真1 古代ローマのコンクリート¹⁾

わが国における建設材料関係の最初の書籍である1907年の文献²⁾には、コンクリートの床や壁には、重量軽減のため煉瓦屑（くず）または石炭殻（がら）を使うとしており、1920年の文献³⁾をみると、碎石として、天然の石を砕いたもののほか、煉瓦片やコンクリート片を破碎したものが

示されている。明治維新以降、わが国には西洋建築が導入され、煉瓦造の建築も数多く建設されることになったため、このように煉瓦を骨材として使用することも生じたものと思われる。

1976年にはレンガくずを特殊な粉碎機で細かく砕き、細骨材としてオートクレーブ養生⁴⁾によりセメント2次製品として利用する試みが紹介されている⁴⁾。

また最近、天然骨材の入手が困難な開発途上国においては、入手の容易なれんがを代替骨材として用いることが適切ではないかということで、**写真2**に示すように、それをエポキシ樹脂の注入により処理したれんが骨材を用いて高強度コンクリートをつくる試みが検討されている⁵⁾。

写真2 れんが骨材⁵⁾

3. 瓦（焼け瓦、破碎瓦）

瓦はれんがと同様に粘土を原料とし、それを焼成して製造される。終戦直後に國分正胤は、空襲による火災で焼けた瓦（焼け瓦）が被災地に放置されているのに着目し、それをコンクリート用粗骨材として利用するための実験を行っている⁶⁾。4種類の焼け瓦の表乾密度および吸水率は、それぞれ平均で 2.0g/cm^3 （絶乾密度 1.64g/cm^3 ）、22%で、通常の砂利の絶乾密度 2.5g/cm^3 以上、吸水率3.0%以下と比べるとかなり低い品質といえる。また、焼け瓦を1辺1.5cmの立方体に成形した供試体の圧縮強度は平均で 15.0N/mm^2 で、通常の岩石の圧縮強度 $50\sim 100\text{N/mm}^2$ に比べるとかなり低い値といえる。

同一調合で砂利コンクリートと焼け瓦コンクリートの圧縮強度を比較すると、**図1**に示すように後者は前者の80~90%となっており、また、強度試験後の供試体の観察結果では、コンクリートの圧縮強度が 10N/mm^2 以下の場合には焼け瓦は破壊していないが、それ以上になると焼け瓦が全部破碎したと述べている。

また、杉山雅は破碎瓦（密度 1.30g/cm^3 、最大寸法20mm）を粗骨材代替で用いたコンクリートでは、**図2**に示すように破碎瓦を粗骨材の20~60%置換した場合に強度が増大するという結果を得ている。このコンクリートでは、後述するフライアッシュII種を混和材としてセメントに50%置換している⁷⁾。

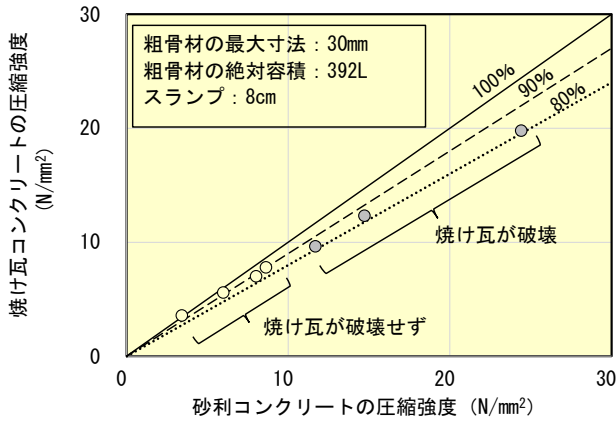


図1 砂利コンクリートと焼け瓦コンクリートの強度比較

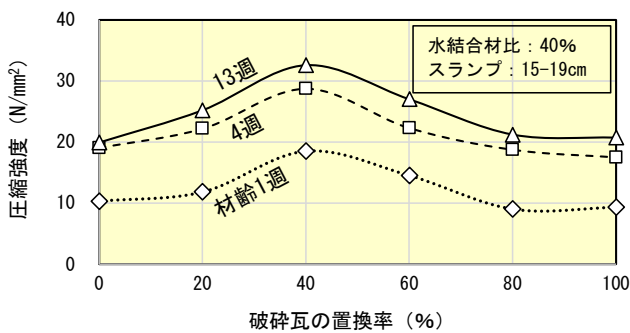


図2 破碎瓦の置換率とコンクリートの圧縮強度⁷⁾

このほか杉山雅は、破碎タイルを用いたコンクリートや破碎貝殻を用いたポーラスコンクリートに関する実験的検討も行っている。

4. ガラス (廃ガラス、ガラスカレット)

ガラスは、窓ガラスや瓶として多量に用いられている材料である。密度が 2.5g/cm^3 で化学組成も珪酸(SiO_2)であり、岩石の品質とさほど異なるところがない。このため、廃ガラスをコンクリート用骨材として利用しようとする試みが生じるのは自然の成り行きであったと考えられる。

1975年に海外では粗骨材にガラスくず、細骨材に天然砂を用いた例が紹介されているが、アルカリ骨材(シリカ)反応に対する注意喚起がなされている⁸⁾。わが国でも2002年にはガラスカレットのアルカリ骨材反応に関する検討が行われており⁹⁾、また、2005年の産業構造審議会の資料¹⁰⁾でも、ガラスカレットは「アルカリ骨材反応より生コンクリート骨材としての利用は難しい。さほど耐用年数が問題とならないブロックや車止め等コンクリート二次製品分野での利用に限られる」と記述されている。

1976年には、ガラスを特殊な粉碎機で細かく碎き、さらに危険がないように多少丸みを帯びた形に加工したものを細骨材として、レンガくずと同様にオートクレーブ養生によりセメント2次製品に利用する試みが紹介されている⁴⁾。

また1996年には、使用済みガラス瓶を、粉碎→造粒→焼成という工程により高強度で超軽量(単位容積質量 0.5kg/L 以下)な細骨材Gライトを製造し、それをセメント製品に利用する試みが紹介されている¹¹⁾。

さらに1998年に、佐藤重悦らはカレット^{注2)}(写真3)を用いたモルタルの暴露試験を開始し、15年目と21年目の結果を報告している^{12)、13)}。



写真3 廃ガラスカレット(佐藤重悦氏提供)

5. ゴム (古タイヤ)

中根淳らは、古タイヤを裁断して黒色のゴム小片とした骨材を混入したコンクリートを用いて、円柱供試体による試験および耐震壁による試験を行い、強度は低下するものの変形性能に優れる結果を得ている¹⁴⁾。しかしながら、このコンクリートを建築物に用いる場合には耐火性に問題があるとの指摘を受け、1976年以降、中根らは研究を中止している。

同時期に笠井芳夫らは、写真4に示すように、古タイヤを破碎した最大寸法 25mm の破碎古タイヤと、古タイヤにはビニールなどの繊維が入っているため、それを取り除いた最大寸法 15mm のゴムを用いた実験も行っている¹⁵⁾。いずれの骨材(破碎古タイヤ、ゴム)も、写真4では粒子形状の良否が判別しにくい、粒子形状の良否を表す指標の一つである実積率はいずれも30%台で、通常の砂利(60%台)や碎石(50%台)に比べれば、形が極めて悪いことになる。

その後、ゴムを骨材として用いた研究としては、廣川一巳(1997年)¹⁶⁾、湯浅昇ら(2002年)¹⁷⁾および青木玲ら(2003年)¹⁸⁾による研究が報告されている。

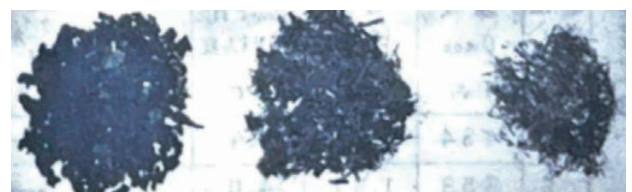


写真4 破碎古タイヤと中のゴムおよび繊維¹⁵⁾

6. 空気

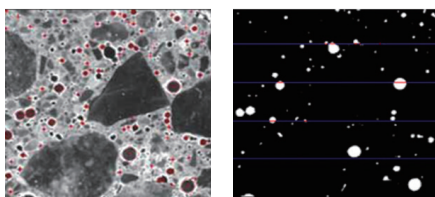
山田順治は、「起泡剤を使った、あわコンクリートの中のあわは1種の骨材かもしれないが、これはまた骨材の姿が見えないのでたよりない話である」¹⁹⁾と述べている。一方、佐治泰次は、「気泡コンクリートは、海綿組織のコンクリートであるが、空気の骨材が入っていると見ることもできる」²⁰⁾と述べて、むしろ積極的に空気の役割を評価しようとしている。この場合の骨材(空気)の役割は、単位セメント量の低減、重さの軽減、遮音性や断熱性の向上であるが、反対に強度の減少、収縮の増加に対する対応が必要になってくることを指摘している。

気泡コンクリートのうち、ALC (autoclaved lightweight aerated concrete : オートクレープ養生を行った軽量気泡コンクリート) と呼ばれるものは白色の製品で、アルミニウム粉末などの発泡剤により水素を発生させて気泡をコンクリート中に生成させ、**写真5**に示すように約70%²¹⁾が微小な気泡(空隙)となっている。気泡は0.1~0.5mm程度の大きさのものが多い。そのパネルの品質は、JIS A 5416 (軽量気泡コンクリートパネル) に規定されている。

気泡コンクリートの空気とは別に、通常のほとんどのコンクリートにはAE (Air Entraining : 空気連行) 剤により導入される微小な空気が含まれている。**写真6**に示すように、直径0.2mm前後の球形の気泡で、体積で4~5%程度である。ALCに比べると量的に少ないため、重さの軽減や遮音性・断熱性の向上は期待できないが、球形の気泡であるため、ボールベアリング^{注3)}的な効果により、フレッシュ(まだ固まらない)コンクリートのワーカビリティ(施工性)の改善や、硬化した後ではコンクリート中で凍った水の圧力を緩和して凍結融解による劣化防止に役立っている。



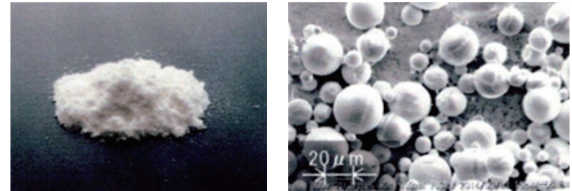
写真5 気泡コンクリートの空気(旭化成提供)



コンクリート断面 気泡を示した画像

写真6 AE剤により導入された空気(八洋コンサルタン提供)

上記の微小な気泡はコンクリートの運搬時や施工時に減少することもあるため、空気量を安定的に確保するため、**写真7**に示すように、空気を内包したアクリロニトリル系の樹脂からなる平均粒径および見掛け密度が0.04mm、0.16g/cm³および0.08mm、0.13g/cm³という2種類の中空微小球を混和材として用いた検討も行われている²²⁾。



外観 SEM(走査電子顕微鏡)画像

写真7 中空微小球²²⁾(鹿島建設・デンカ提供)

7. 発泡スチロール

笠井芳夫らは、球状の発泡スチロールを骨材に用いるというより、空隙の量や大きさの相違がモルタルの強度に及ぼす影響を調べるために、平均粒径が2.42mmと2.61mmの2種類の球状の発泡スチロール(平均粒径2.42mm、密度0.053g/cm³と平均粒径2.61mm、密度0.056g/cm³)を用いて実験を行っている²³⁾。実験に用いられたものとは大きさが異なるが、市販の白色の発泡スチロール球(直径10mm)の例を**写真8**に示す。

図3は、実験結果をセメント空隙比と圧縮強度の関係で整理したものであるが、発泡スチロール球の平均粒径が小さい方が、圧縮強度が大きくなる傾向が読み取れる。

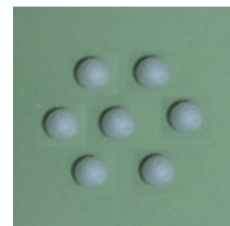


写真8 発泡スチロール球

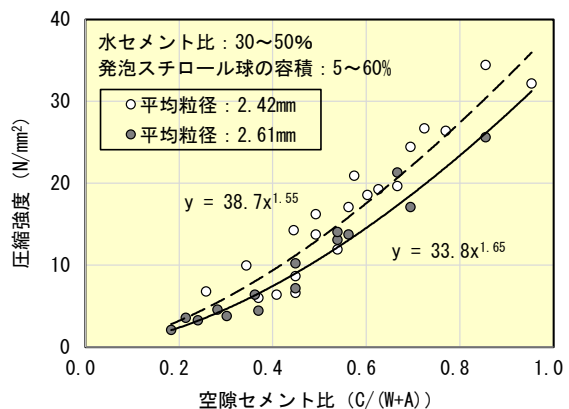


図3 発泡スチロール球を用いたモルタルの圧縮強度

8. フライアッシュ

四国地区では、1960年代以降、コンクリート用骨材として海砂が用いられてきたが、2000年代になるとその採取規制により石炭火力発電所から副産される石炭灰から採取されるフライアッシュをその代替として使用する検討が行われてきた。フライアッシュは写真9の外観に示すようにセメントに類似した灰白色の微粉末であるが、粒子の形はセメントが不規則な形をしているのに対し、写真9の顕微鏡写真に示すように球形である。フライアッシュは1958年にJIS A 6201（コンクリート用フライアッシュ）が制定され、コンクリート用混和材として今日まで活用されている。

土木学会の四国支部では、JISに規定されている4種類（I種～IV種）のフライアッシュのうち、通常のフライアッシュII種とそれよりやや粒子の粗いフライアッシュIV種を対象とし、細骨材の一部（10～15%を推奨）に置き換えて用いるための指針（案）を作成している²⁴⁾⁻²⁶⁾。

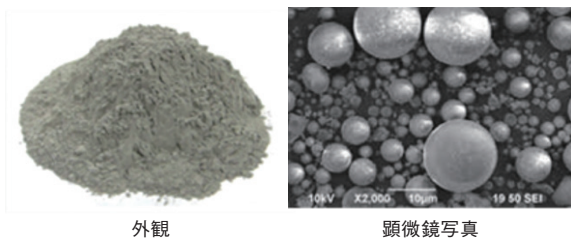


写真9 フライアッシュ（カーボンフロンティア機構提供
<https://www.jcoal.or.jp/ashdb/whatash/>)

9. 木片

木材を燃えにくくして用いる技術はもともとヨーロッパからのもので、1923（大正12）年の関東大震災のあとドイツから木毛セメント板が導入された。1950年にはJIS A 5404（木質系セメント板）の規格が制定されている。これは内装材で構造体の材料ではないが、木材を破片にして用いる技術はその後の展開に役立ったものと推測される。

1970年代になると、古い木材を再利用するため、破碎した木片（写真10）を用いたコンクリートに関する研究が



写真10 破碎した木片²⁸⁾

建築業協会（当時）で開始されるが、構造体としてではなく下地材としての利用が指向されたようである²⁷⁾⁻²⁸⁾。

10. 木炭²⁹⁾

村上聖らは、台風による倒木や間伐材などの有効利用を図るため、生材としてではなく、長期保存の効く木炭の形で用途開発を目的に、1994年以降長年月にわたり表1と図4に示す木炭を混入したコンクリートについて実験的研究を行っている。木炭は、軽量、吸湿性、吸水性、保水性など様々な特性を有するため、それらを活かした自己養生コンクリート、浄化透水コンクリート、緑化コンクリートなどへの適用が検討されている。

表1 木炭の諸元

項目	性質等
種類	杉粗粒
粒径	2～4mm
かさ密度	約0.5g/cm ³
空隙率	約65%
混入率	セメント質量×5%

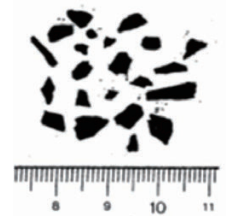


図4 木炭の粒子径²⁹⁾

11. ALC破碎物

通常の人工軽量骨材を用いた軽量コンクリートをさらに軽量にするため、向井毅らはALCをジョークラッシャーで破碎して製造したALC破碎物を骨材として用いたコンクリートと従来の軽量コンクリートの比較実験を行った³⁰⁾。図5の記号H、M、LはJIS A 5002（構造用軽量コンクリート骨材）に規定された軽量骨材の絶乾密度による区分を示しており、この破碎物は人工軽量骨材Mより絶乾密度が小さく、かつ、吸水率が極めて大きいという特徴を持っている。そして、ALC破碎粗骨材を用いたコンクリートは、図6に示すように、置換率が25%以上で急激な強度低下を示しているが、ALC破碎細骨材を用いた場合には、置換率75%までほとんど強度低下が認められなかった。

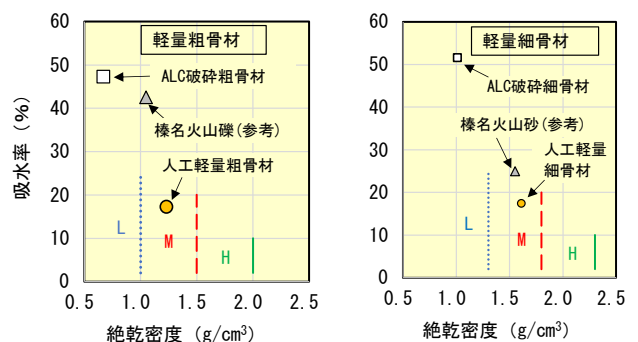


図5 ALC破碎骨材の密度と吸水率

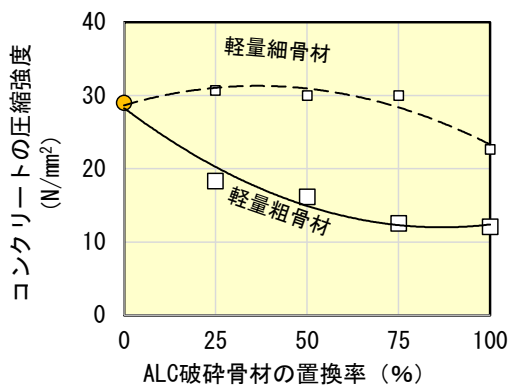


図6 ALC 破碎骨材の置換率と圧縮強度³⁰⁾

12. 煨(か)焼ボーキサイト

ボーキサイトは、主要な化学組成がアルミナ (Al_2O_3) でアルミニウムの原料となっており、写真11に示すように赤茶色をしている。それを1,600~1,800℃で焼いたものがか焼ボーキサイト³⁴⁾で、非常に硬質なため高強度コンクリート用の骨材として用いられることがある。

海外では1981年にBacheによりか焼ボーキサイトを用いて200N/mm²以上の強度を得たとの報告があり³¹⁾、わが国でも1988年には細骨材・粗骨材ともか焼ボーキサイトを用いた水結合材比22.9%のコンクリートで³²⁾、また、1989年には粗骨材に石英片岩を、細骨材にか焼ボーキサイトを用いた水結合材比20%のコンクリートで³³⁾、150N/mm²以上の強度が得られている。

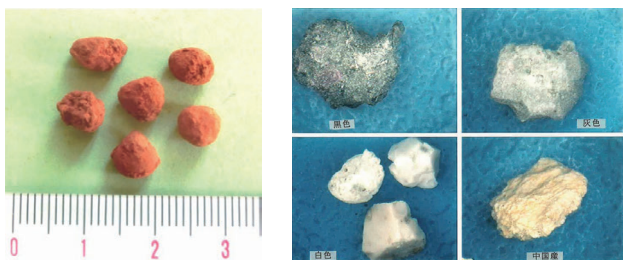


写真11 か焼ボーキサイト (大林組提供)

[南米産:左上黒色、右上灰色、左下白色、中国産:右下]

13. コーティング骨材³⁴⁾

コンクリート構造物は供用期間を終えると多くの場合解体されることになるが、その際、できるだけ容易に骨材を取り出せることが望ましい。田村雅紀らは、骨材資源を永続的に使用可能にする骨材回収型リサイクル指向コンクリートを目指した実験的研究を行った。そこでは密度・吸水率の異なる骨材(石灰石骨材、再生骨材)の表面を水溶性型枠剥離剤でコーティング(化学処理)した骨材を用いたコンクリートの圧縮強度等を試験し、コーティング効果

を調べ、また、成因を考慮して選定した8種類の岩石の骨材を合成樹脂エマルジョンでコーティング(物理処理)してコンクリートに用いて、塗布回数が骨材界面の状況や曲げ付着強度に及ぼす影響を調べている。



写真12 骨材(石灰石)のコーティング (田村雅紀氏提供)

14. おわりに

以上に述べてきた代替骨材は、天然骨材の供給量の不足を補うために用いるという側面もあるが、一方で増加する廃棄物・副産物の減量のために用いるという側面もある。さらに、コンクリートに付加価値を与えるという方向で検討されているものもあり、今後の展開が注目される。

謝辞

執筆に当たり次の方々には写真・文献の提供、転載許可などで多大のご協力を頂きました。記して謝意を表します。

土木学会、HALIHA Maisha氏(東京大学特任研究員)、杉山雅氏(北海学園大学名誉教授)、佐藤重悦氏(東北職業能力開発大学校特任教授)、中田善久氏・永井香織氏・湯浅昇氏(日本大学教授)、川村政史氏(元日本大学教授)、周建東氏(元日本大学)、旭化成、横山博氏(八洋コンサルタント)、鹿島建設、村上聖氏(熊本大学名誉教授)、佐藤あゆみ氏(熊本大学教授)、大中昭氏(カーボンフロンティア機構)、一瀬賢一氏(前日本大学特任教授)、神代泰道氏(大林組)、田村雅紀氏(工学院大学教授)

注

- 注1) 高温高压蒸気養生のことで、一般に10気圧の圧力下で180℃の水蒸気を用いて加熱する養生をいう。
- 注2) カレット(cullet): 溶解を助けるためのガラスくず(新英和大辞典第五版, 研究社, 1980より)
- 注3) 自転車の車軸などに設けられている複数の鋼球で、車軸の円滑な回転を助けている。
- 注4) 文献により焼成ボーキサイト、焼結ボーキサイトと記載されているものがある。焼成とは、高温で加熱することで、焼結は緻密にすることも含む。か(煨)焼とは、融点以下の温度で焼き、熱分解により揮発成分を除去することであるが、用語の使い分けは必ずしも厳密ではないようである。

参考文献

- 1) 土木学会：ソンマ・ヴェズヴィアーナ遺跡から発掘されたコンクリートの調査と分析，コンクリート・ライブラリー，No.131，p.71，2009
- 2) 田口俊一：建築土木材料便覧，博文館，p.174，1907.9
- 3) 日比忠彦：鉄筋混凝土ノ理論及其応用（上巻）7版，丸善株式会社，p.78，1920.8（初版は1916.1）
- 4) 依田彰彦：レンガ・ガラスくずのセメント二次製品への利用，コンクリート工学，Vol.14，No.9，p.56，1976.9
- 5) MALIHA Maisha：Development of compressive strength prediction model for high strength concrete with brick aggregate considering the effect of microstructure after improvement（れんが骨材を用いた高強度コンクリートにおける骨材改良後の微細構造の影響を考慮した圧縮強度予測モデルの開発），東京大学博士論文，pp.49-52，2025.3
- 6) 國分正胤：コンクリート骨材としての焼け瓦の利用に就て，セメント技術年報，Vol.1，pp.132-135，1947
- 7) 杉山雅：破碎タイル、破碎貝殻及び破碎瓦を混合したコンクリートの強度性状に関する一実験，日本建築学会北海道支部研究報告集，No.78，pp.13-16，2005.7
- 8) F. D. Lydon：Artificial Aggregates for Concrete，Concrete，Vol.9，No.9，pp.49-52，1975.9
- 9) 横山卓哉，山口正義，水口裕之，山地功二：細骨材としてのガラスカレット利用への基礎検討，土木学会第57回年次学術講演会，V-552，2002.9
- 10) 産業構造審議会：9. ガラスカレット・その他用途需要拡大に向けた技術開発状況調査（平成16年度調査），審議会資料，p.48，2004.3
- 11) 山本達：ガラスカレットの骨材への利用，コンクリート工学，Vol.34，No.7，pp.106-107，1996.7
- 12) 佐藤重悦，徳重英信：廃ガラスカレットを細骨材に用いたモルタル供試体の長期暴露性状，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.1，pp.1810-1815，2014
- 13) 佐藤重悦：廃ガラスカレットを細骨材に用いたモルタル供試体の長期暴露性状，東北職業能力開発大学校紀要，第30巻，pp.29-34，2020.5
- 14) 中根淳，高橋久雄，武田寿一：ゴム骨材コンクリートに関する研究（その1）ゴム廃棄物を利用したコンクリートの代表特性，日本建築学会大会学術講演梗概集（材料施工），pp.83-84，1976.10
- 15) 笠井芳夫，中村登，橋本忠司：産業廃棄物の利用に関する研究—古タイヤ混入コンクリート，日本大学生産工学部第9回学術講演会，pp.137-140，1976
- 16) 廣川一巳：ゴムチップを混入したコンクリートの性質について，苫小牧工業高等専門学校紀要，第33号，pp.113-116，1997.11
- 17) 湯浅昇，笠井芳夫，松井勇，西谷伸介：廃タイヤのコンクリートへの有効利用に関する研究—その1 廃タイヤの骨材代替率と強度、変形状の関係—，日本建築学会大会学術講演梗概集（材料施工），pp.943-944，2002.8
- 18) 青木玲，橋高義典，田村雅紀，松沢晃一：廃タイヤ・ゴムチップを混入したコンクリートの破壊特性に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集（材料施工），pp.675-676，2003.9
- 19) 山田順治：変わった骨材の話，セメント・コンクリート，No.331，pp.70-76，1974.9
- 20) 佐治泰次：コンクリートにおける骨材，コンクリート工学，Vol.16，No.9，pp.2-5，1978.9
- 21) 笠井芳夫，大濱嘉彦，松井勇，出村克宣：新版建築材料学，理工図書，p.299，2000.10
- 22) 水野浩平，林大介，橋本学，坂田昇：凍結融解抵抗性を確実に確保できる中空微小球を用いたコンクリートの気泡制御技術，鹿島技術研究所年報，第65号，pp.99-104，2017.12
- 23) 笠井芳夫，横山清：スチロフォームを混入したモルタルの強度に関する一実験，日本建築学会関東支部第40回学術研究発表会，pp.409-412，1969
- 24) 土木学会四国支部：フライアッシュを細骨材補充混和材として用いたコンクリートの施工指針（案），2003.3
- 25) 土木学会四国支部：四国における石炭灰のコンクリートへの適用性に関する調査研究，平成14年度報告書，2003.3
- 26) 河野清，島弘，石井光裕：フライアッシュの有効利用と骨材資源対策のために—フライアッシュを細骨材補充混和材として用いたコンクリートの施工指針（案），セメント・コンクリート，No.686，pp.51-56，2004.4
- 27) 笠井芳夫，中村登，橋本忠司：産業廃棄物の再利用に関する研究（木片混入コンクリート），昭和52年度日本建築学会関東支部研究報告集，No.48，pp.393-396，1977.7
- 28) 笠井芳夫，川村政史，周建東：解体木材を用いた木片コンクリートの製造及び曲げ・圧縮強度，日本建築学会構造系論文集，No.473，pp.1-10，1995
- 29) 村上聖，三井宜之：木炭混入モルタルコンクリートの特性に関する実験的研究，日本建築学会九州支部研究報告，第34号，pp.57-60，1994.3
- 30) 向井毅，菊池雅史：軽量コンクリート用骨材としてのALC破碎物の利用に関する研究，第2回コンクリート工学年次講演会講演論文集，pp.61-64，1980
- 31) H. H. Bache：Densified Cement/Ultra Fine Particle-Based Materials，the Second International Conference on Superplasticizers in Concrete，Ottawa，1981.1
- 32) 高木宣章，明石外世樹：高強度シリカフェームコンクリートの特性について，コンクリート工学年次論文集，Vol.10，No.2，pp.221-224，1988
- 33) 久保田昌吾，中根淳，一瀬賢一，小川晴果：RC超高層建物用コンクリートに関する研究（その7.高強度化のための要因），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.567-568，1989.10
- 34) 田村雅紀，野口貴文，友澤史紀：骨材回収型リサイクル指向コンクリートの実用化に関する研究（その1：コーティング効果とコンクリートの基礎物性），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1039-1040，2000.9

上記のほか、以下の文献を参照させていただいた。

- 35) 笠井芳夫：廃棄物の処理と資源化，セメント・コンクリート，No.355，pp.119-132，1976.9
- 36) 笠井芳夫編著：13.8 特殊な骨材を用いたコンクリート，コンクリート総覧，技術書院，pp.628-636，1998.6
- 37) 日本コンクリート工学協会編：廃棄物のコンクリートへの再資源化研究委員会報告書，pp.117-125，2003.6



profile

阿部道彦

工学院大学 名誉教授・工学博士

1952年 札幌生まれ

専門分野：コンクリート工学



実験研究に基づく些細な私見

その5 建築物の予防保全 - 建築ユーザーを「第一の点検・診断者」とするために -

1. はじめに

ご周知のとおり、資源循環型社会の構築や脱炭素社会の実現に向けて、建築物を長く大切に使うことの重要性はこれまで以上に強く認識されるようになってきた。新築時における耐久設計の充実に加え、既存建築物の性能をいかに維持し続けるかという維持保全技術の確立は、いまや建築分野における重要な課題の一つである。

近年、耐震補強に代表されるような「予防保全」の考え方は徐々に浸透しつつある。しかし一方で、建築材料・部材の経年劣化に関しては、依然として不具合が顕在化してから対応する「事後保全」が主流であると言わざるを得ない。その背景には、一見して健全に見える建築物に対して点検や診断を行うことの必要性について、建築物の所有者や管理者の理解が十分に共有されていないという現状があると考えている。

筆者はこれまで、建築物の維持管理を人間の健康管理になぞらえて捉える視点で研究を進めてきた。すなわち、図1に示すように、住宅や建築物も人間と同様に、定期的な健康診断や日常的な状態確認を通じて安全・安心な環境を維持すべき対象であるという考え方である。人間は体調の変化を感じると、まず休養を取ったり市販薬で対処したりし、それでも改善しない場合には医師の診察を受ける。こ

れに対して建築物の場合、初期段階の小さな劣化は居住者や利用者に認識されないことが多く、重大な不具合が生じて初めて問題として顕在化するという状況が一般的である。

住宅・建築物の長寿命化を実現するためには、人間の健康管理と同様に、早期発見・早期対応を前提とした予防保全の考え方が不可欠である。そしてその出発点となるのが、居住者や利用者といった建築ユーザーによる日常点検であると筆者は考えている。

すなわち、建築物を保全する主体は専門家だけではない。日々その空間を利用している建築ユーザーこそが、建築物の変化を最も早く察知できる存在であり、いわば「第一の診断者」となり得るのである。その役割を果たすためには、点検や診断に関する専門知識をできるだけ平易な形で提示し、具体的な行動につなげる工夫が求められる。

これまでの研究を総括する中で筆者が到達した結論は、専門家でなくとも安全に実施可能な点検手法と、誰でも判断の目安を得られる簡便な診断の枠組みを整備することの重要性である。建築ユーザーが変化に気づき、早期に専門家へ接続する仕組みを用意できれば、維持管理は事後保全から予防保全へ着実に移行し得る。

2. 建築ユーザーによる点検の必要性

筆者はこれまで、各種建築材料・部材に関して、実験室における耐久性試験の実施に加え、実構造物に適用可能な検査技術の確立を目指した研究開発に取り組んできた。しかし、それらの研究成果を一般の建築ユーザーが理解し活用できる形で提示し、建築ユーザーも含めた建築物の維持管理システムとして体系化するという観点からの取り組みは、十分とは言えなかった。

本稿では、建築ユーザーが日常生活の中で比較的気付きやすい劣化現象である「ひび割れ」を対象を絞り、筆者がこれまで実施してきた実験研究の結果を踏まえながら、現行の技術体系を筆者なりに整理してみたいと考えた。ひび割れに関する点検・診断や補修の考え方は、既存の技術指針や各種仕様書を参照することで一定の説明は可能である。

しかし、実験研究を進める過程で、既存の技術的整理にはなお検討の余地が残り、筆者自身が疑問を抱く場面も少なくなかった。本稿は、「RC外壁のひび割れ」を対象を絞り、既存の指針・仕様書に基づく枠組みを整理しつつ、実

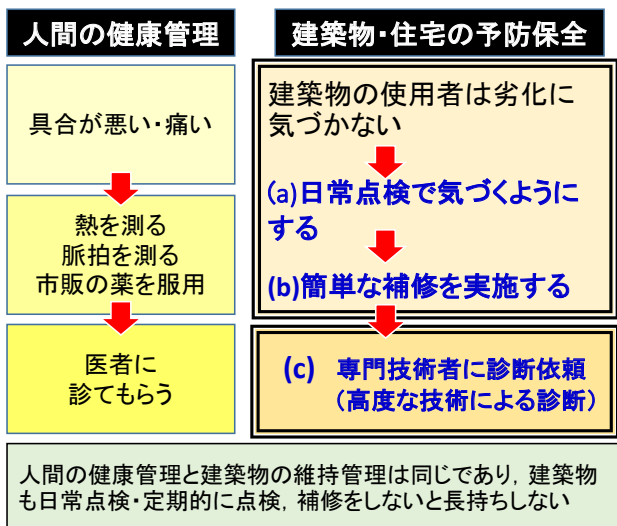


図1 人間の健康管理と建築物の維持管理

験研究の知見から見えてきた論点を提示するものである。読者の皆様が日常点検の位置付けを改めて考える契機となれば幸いである。

3. なぜ建築ユーザーは建築物を点検しないのか

我が国においては、欧米諸国と比較して、住宅の所有者や住民、あるいは建築ユーザーが自ら建築物を点検する習慣は一般化していない。その背景について筆者なりに整理したものが表1である。

筆者自身を含め、多くの研究者はこれまで、建築物や建築部材の劣化メカニズムの解明や劣化状態の計測技術の開発について、さまざまな視点から研究を重ねてきた。しかし、その一方で、「研究や実験の成果をどのように一般の建築ユーザーへ伝え、日常点検という行動につなげるか」という視点での検討は、必ずしも十分であったとは言い難い。すなわち、表1に示す(a)、(b)、(e)の課題に関する研究成果の社会への展開については、体系的な整理が十分になされてこなかった側面がある。

さらに、建築ユーザーによる日常点検の位置付けを考えるために、建替えを前提としてきた日本と、日常的な手入れや改修を通じて建物を長期的に活用する文化が根付いているアメリカとの比較を表2に示した。同表に示すように、

表1 住民・建築ユーザーが日常点検をしない理由

項目	課題
(a) 専門知識の不足	構造部や劣化の兆候を自力で判断することが難しく、どこをどのように点検すべきか分からないという声が多い。
(b) 点検結果の活用不十分	点検をしても、その情報を修繕計画や専門家への相談につなげる仕組みが弱く、実効性に欠ける。
(c) 点検文化の未成熟	日常的な点検が「専門家任せ」であり、住民自身の建物への関心が薄く、点検習慣が定着していない。
(d) 継続性の欠如	点検や記録の取り組みが一時的になりやすく、世代交代やライフスタイルの変化で途切れることがある。
(e) 支援の乏しさ	チェックリストやガイドが乏しく、技術的支援・相談体制がまだ限定的で、住民が「やってみよう」と思える環境が整っていない。

表2 住民・建築ユーザーによる住宅点検に関する日米比較

項目	日本	アメリカ
制度的枠組み	長期優良住宅制度などで点検義務が一部導入されている(戸建て中心)	法制度による義務はほぼなし。自主責任原則と市場慣行で維持
点検文化	専門家依存が強く、住民の点検意識は限定的	ホームインスペクションやDIY文化が浸透。点検を資産維持と捉える
技術支援	簡易点検キットやセンサー技術が一部普及。操作にややハードル	チェックリストやスマート機器が豊富で利用しやすい
教育・支援体制	行政やハウスメーカーが手引きや講習を提供	民間団体・大学・保険会社など多様な情報源あり
所有者の行動	重要部位の点検実施率は低め(基礎や柱は約10%程度)	住宅購入時やシーズンごとに自主点検する文化がある

日本とアメリカでは住民参加型の建築物点検に関する制度や支援体制に顕著な違いが見られる。

日本では、長期優良住宅制度などの法制度を基盤として点検制度の整備が進められ、国や自治体による住民支援も制度的に整備されつつある。一方、アメリカでは住宅の維持管理は基本的に個人の責任とされており、法制度による義務化よりも、民間団体による情報提供やDIY文化を背景とした自主的な点検活動が広く普及している。

もっとも、両国に共通する課題として、「住民の知識不足」と「点検後の専門的対応への接続の難しさ」が挙げられる。この背景には、我々研究者が劣化メカニズムの解明や高精度な計測技術の開発には力を注いできた一方で、「その成果をどのように一般の建築ユーザーに分かりやすく伝え、日常点検につなげるか」という視点が十分ではなかったことも関係しているのではないかと考えている。

4. 外壁ひび割れ診断の現状

4.1 ひび割れ幅による診断

鉄筋コンクリート部材に生じるひび割れは、部材の長寿命化を阻害する代表的な劣化現象の一つである。残念ながら、鉄筋コンクリート構造においてひび割れを完全に防止することは困難であり、多くの指針や仕様書では「有害なひび割れを生じさせない」という考え方に基づいて技術が整理されている。

では、有害なひび割れとはどのようなものであろうか。

現在、ひび割れの有害度は「ひび割れ幅」によって評価されることが多い。例えば、公益社団法人ロングライフビル推進協会の建築仕上診断技術者講習テキスト¹⁾には次のように示されている。

ひび割れ分類要素のうち、最も重要なのはひび割れ幅であり、耐久性・防水性・美観上からの補修の要否を判定する基本的な尺度となる。既往の多くの各種基準においてもひび割れ幅に基づく診断方法が紹介されている。なお、ここでいうひび割れ幅は、通常一本のひび割れの中で最も大きい箇所、すなわち最大ひび割れ幅で表現することが慣例となっている。

このように、ひび割れ幅は補修の要否を判断する上で重要な指標とされている。しかし筆者は、より本質的な診断項目は「そのひび割れが部材を貫通しているか否か」であると考えている。ひび割れ幅による評価が広く用いられている背景には、ひび割れ幅が大きいほど水や空気が出入りしやすく、また貫通ひび割れとなる可能性が高いという経験的知見があると考えられる。

4.2 補修工法選定フロー

ひび割れは、外壁の不具合として居住者・利用者が視認

しやすく、雨漏りや漏水等の性能低下とも関連するため、補修の要否判断と工法選定は維持保全上の重要課題である。これに対し、公的機関の改修工事仕様書等には、外壁ひび割れ補修に関する工法選定フローが提示され、一定の合理性をもって材料・工法が整理されている。この補修工法選定フローの抜粋を図2に示す。

外壁ひび割れ補修の工法選定フローは、一般に「漏水の有無」「挙動の有無」を検査して最終的に「ひび割れ幅」をもとに注入工法・充填工法・表面被覆（塗布）等の工法、ならびに補修材種別を選択する体系として整理されている。

この枠組み自体は、ひび割れを一律に扱わず、性能要求（止水性、追従性、耐久性等）を段階的に整理する点で合理的である。特に「挙動の有無」を独立した判断軸として置くことは、ひび割れが静的な欠陥ではなく、供用中に繰り返し変形する可能性を前提にしているという点で本質的である。

なお、技術書・指針によっては「挙動の有無」が「挙動の大小」と表現される場合もある。

4.3 ひび割れ挙動評価の問題

先の図2に示した補修工法選定フローでは、「挙動の有無（あるいは大小）」の定量的判断指標が明確に示されていない。すなわち、どの程度の開閉量や開閉頻度をもって「挙動あり」あるいは「挙動大」と判定するのかが具体的に示されていないのである。

この点は補修の性能設計上、極めて重要な問題である。なぜなら、挙動とはひび割れの開閉運動を意味し、補修材には以下が要求されるからである。

- (1) 初期の接着・充填性能
- (2) 繰り返し変形への追従性
- (3) 疲労耐久性
- (4) 温度変動に対する安定性

挙動を曖昧にしたまま補修材を選定すると、補修の判断が「ひび割れ幅」に過度に依存することになり、必要な追従性能を考慮しない材料選定が行われる危険性がある。

さらに、実務においては「ひび割れ挙動」の計測がほとんど実施されていないという現実もある。その理由は単に関心が低いからではなく、計測に伴う手間とコストに起因するところが多い。ひび割れ挙動を実測するためには、長時間のモニタリング計測が必要であり、少なくとも日単位のデータ取得と解析が求められる。このためには高価な計測装置が必要となり、簡易な計測で代替しようとするれば、計測者が長時間現場に滞在する必要が生じる。

その結果、実務の現場では「ひび割れ幅」や「漏水の有無」を中心に補修方針が決定され、「挙動」は経験的判断に置き換えられることが少なくない。これが、補修フローの中で重要な判断項目として位置付けられているにもかかわらず、実務上は十分に機能していない要因の一つである。

挙動を考慮しない補修は、単に不適切な材料選定にとどまらず、補修材の破断や界面剥離、端部への応力集中による新規ひび割れの誘発、さらには繰り返し変形による疲労蓄積を通じて長期信頼性を低下させ得る。したがって「ひび割れ挙動の有無・大小」は、補修材に要求される追従性や疲労耐久性に直結する主要指標であるにもかかわらず、判断基準が明示されていない点は現行体系の大きな課題である。

4.4 建築ユーザーに開かれた診断体系への再編

以上述べたように、外壁ひび割れ補修の技術体系は、既存の指針や仕様書によって一定の枠組みが整理されているものの、実務において重要な判断要素である「ひび割れ挙動」の評価方法については、必ずしも十分に整理されているとは言い難い。特に、挙動の有無や大小をどのように判定するかという点については、現場の診断技術者の経験的

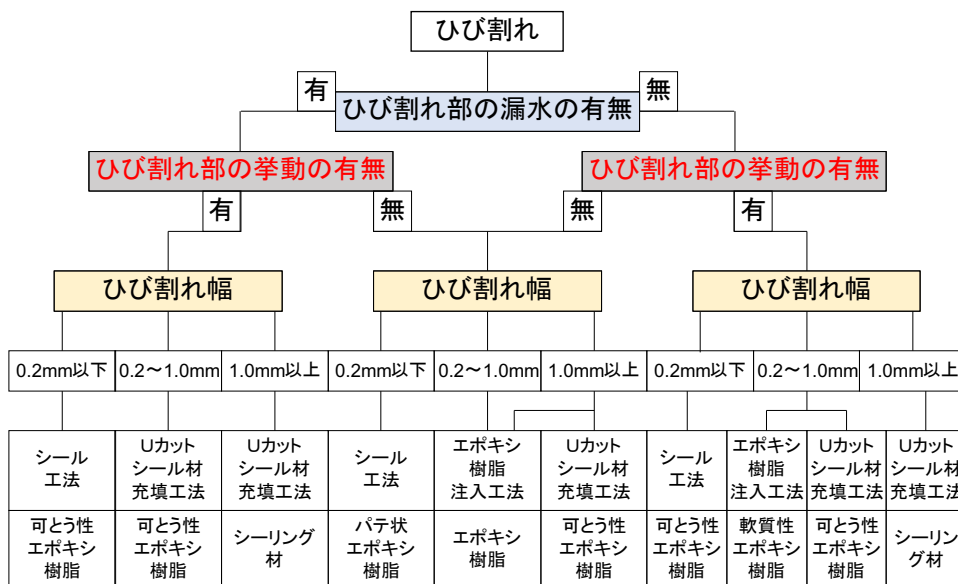


図2 各種指針・仕様書に定められたひび割れ補修工法選定フロー（抜粋）

判断に依存する部分が多いのが現状である。

しかしながら、この問題は単に専門技術者の裁量の問題にとどまらない。建築ユーザーによる日常点検という観点から見れば、ひび割れが「放置してよいものか」「専門家に相談すべきものか」を判断するための分かりやすい指標が提示されていない、という問題でもある。

すなわち、現在の技術体系は専門家が診断することを前提として整理されている側面が強く、建築ユーザーが日常点検の中で活用できる形にまで落とし込まれているとは言い難い。この点は、建築物の長寿命化を図るうえで重要な課題である。

筆者はこれまで、鉄筋コンクリート部材に生じるひび割れの開閉挙動や補修材の追従性能に関する実験研究を行ってきた。以下、それらの実験結果を踏まえながら、ひび割れ挙動の考え方を改めて整理し、建築ユーザーの視点からどのような理解と判断の道筋が提示できるのかを考察する。換言すれば、本稿は新たな技術指針を提示するものではなく、既存の技術体系を実験研究の知見で読み直し、建築ユーザーの日常点検という視点から再整理する試みである。

5. 実建築物におけるひび割れ挙動²⁾

5.1 計測条件

実建築物におけるひび割れ挙動の把握を目的として、9階建てRC造建築物（低層部はSRC造）の外壁に生じた「貫通ひび割れ」を対象に、ひび割れ幅挙動（開閉変位）の連続計測を実施した。対象としたひび割れは複層塗り仕上げ

の施された外壁に発生したものであり、8階・6階・3階・2階など複数階のひび割れを含む。

ひび割れの発生原因は乾燥収縮によるものが主であり、建物は竣工後約30年が経過している。すなわち乾燥収縮が収束した材齢において計測を行っている点が、本計測の特徴である。なお、本研究ではひび割れ幅挙動を「ひび割れを跨ぐ壁面2点間の距離変化」として定義し、亀裂変位計やパイ型変位計等を用いて連続計測を行った。

5.2 ひび割れ基本挙動

(1) ひび割れ挙動の基本傾向

図3 (a)、(b) にひび割れ幅挙動の計測結果の例を示す。同図 (a) は夏期、同図 (b) は冬期の計測結果である。いずれも計測初日の午前0時のひび割れ幅を基準値とし、その後のひび割れ幅の変化を示している。なお、ここで示した計測結果はすべて屋内側から計測した値、すなわち屋内側のひび割れ幅挙動を示すものである。

これらの結果から、ひび割れ幅は概ね1日周期で開閉を繰り返しており、日中にひび割れが開き、夜間に閉じる挙動を示すことが分かる。また、階数や気象条件によって挙動幅の大きさが変化することもうかがえる。

(2) ひび割れ挙動に影響を及ぼす要因

図4 (a)、(b) では、壁面の高さの違いがひび割れ幅挙動に与える影響を検討するため、発生原因および形状が類似したひび割れについて比較を行った。具体的には、開口部隅部に生じた斜め方向の乾燥収縮ひび割れを対象として、8階・6階・2階におけるひび割れ幅挙動を比較した。これらはすべて外壁の貫通ひび割れを屋内側から計測したもの

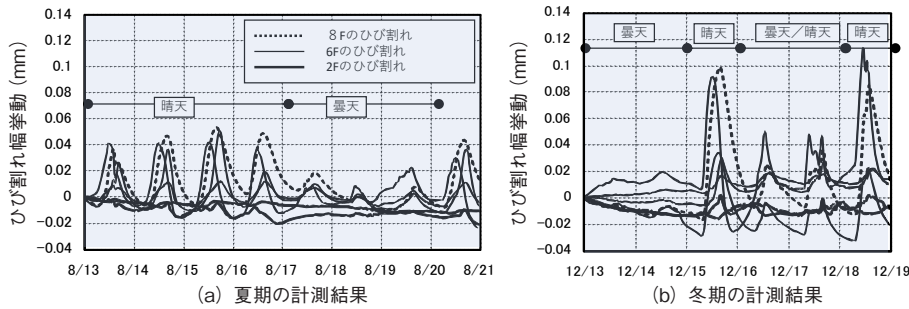


図3 ひび割れ幅挙動計測結果の例

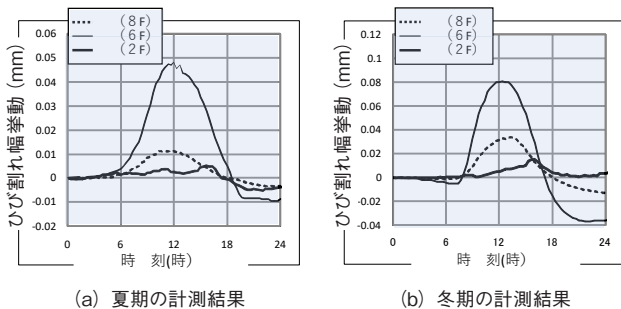


図4 ひび割れ幅挙動に及ぼす階高の影響
(開口部隅の乾燥収縮ひび割れ)

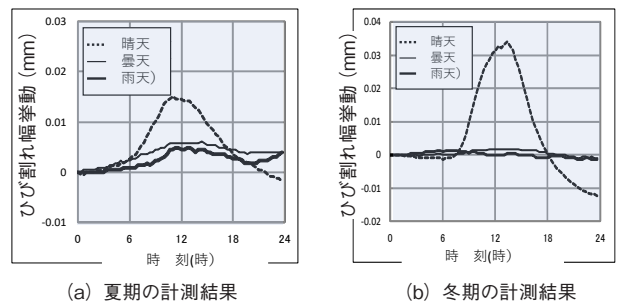


図5 ひび割れ幅挙動に及ぼす天候の影響
(南側壁面のひび割れ)

であり、同図 (a) は夏期、同図 (b) は冬期の計測結果を、午前0時を基準とした変動として示している。

晴天日の計測結果を見ると、日中にはひび割れが開き、夜間には閉じる挙動を示していることが確認できる。また、6階のひび割れ幅挙動が最も大きく、2階のひび割れ挙動は6階・8階に比べて著しく小さい。これは、下層階ほど構造的拘束度が大きいこと、さらに上層階の方が日射の影響を受けやすいことによるものと推察される。

実務におけるひび割れ挙動の調査では、計測の容易さから低層部のひび割れを対象とする場合が多い。しかし、本結果は、建築物の高さ方向において複数位置で計測を行う必要性を示している。

天候条件の影響について、図5 (a)、(b) に示した。同図は南側壁面に生じたひび割れの1日挙動を晴天・曇天・雨天の日に比較したものであり、同図 (a) は夏期、同図 (b) は冬期の結果である。これらの結果から、ひび割れ挙動は晴天日に最も大きくなることが明らかとなった。特に夏期の晴天日においては、ひび割れは午前6時頃から開き始め、正午頃に最大となる挙動を示している。

なお、本研究では他にも様々な条件で計測を行っており、これらの結果を整理すると図6に示すような傾向が得られる。一方で、本稿の内容とは関係はないが、同図に示すように各種指針・仕様書では「注入工法によるひび割れ補修はひび割れ幅が最も大きいときに行う」ということが示されている。補修工事を行うタイミングも難解である。

- ・同じ壁面であってもひび割れの種類によって日挙動が異なる
- ・同じ種類のひび割れであっても部材の方角によって日挙動が異なる
- ・同じ種類のひび割れであっても建物の高さ(階数)によって日挙動が異なる
- ・一つのひび割れであっても、気象条件によって日挙動が異なる
- ・一つのひび割れであっても季節によってひび割れ幅は変化する

しかも

ひび割れへの補修材の注入は、ひび割れ幅が最も大きいときに行う！

図6 ひび割れ挙動に及ぼす要因

5.3 反り変形

図7に南側壁面に生じた貫通ひび割れについて、夏期晴天日に屋内側および屋外側で計測したひび割れ幅挙動を示す。図中の太線で示す屋内側の計測値は、日中にひび割れが開き、昼過ぎに最大となり、夕方から夜にかけて閉じる挙動を示している。これは前節までに示した傾向と一致する。

しかしながら、同図の細線で示した屋外側の計測値は、これとは逆の挙動を示しており、日中にはひび割れが閉じる方向に変位していることが確認された。同図には、同時に計測した壁面温度を点線で示した。細点線は外壁側温度、太点線は屋内側温度を示している。外壁側温度は屋内

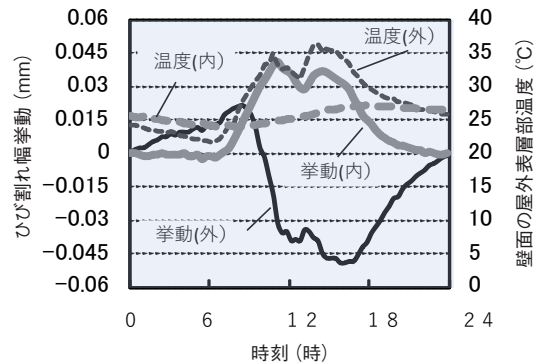


図7 屋内側と屋外側の挙動(夏期)

側より変動が大きく、ひび割れ挙動は屋外側温度の変化とよく対応していることが分かる。すなわち、外壁表層部は日射によって温度上昇し熱膨張が生じるため、屋外側ではひび割れが閉じる方向に変位する。一方、屋内側では温度変化が比較的小さいため、屋外側の伸びによって断面内に曲げ変形(反り)が生じ、結果として屋内側ではひび割れが開く方向に変位すると考えられる。

図8にこの挙動の概念図を示した。この結果から得られた重要な知見は、貫通ひび割れでは屋内側と屋外側で挙動の向きが逆になることである。すなわち、日中には屋内側ではひび割れが開き、屋外側では閉じるという、同一時刻で逆方向の開閉が生じる。



図8 挙動の計測結果に基づく部材の反り変形

これは、ひび割れ挙動が単純な伸縮変形ではなく、断面内の温度勾配によって生じる曲げ(反り)変形として理解すべきことを示している。落ち着いて考えてみると、内部に鉄筋が入っているので当然の結果である。

5.4 壁面温度による挙動推定

図9には、ひび割れ幅挙動に及ぼす日射の影響を示す計測結果を示す。同図は、南側壁面に生じたひび割れの挙動と日照時間との関係を示したものである。図中の棒線は各時間帯(1時間)における日照時間を表しており、例えば10時の棒線は、午前10時から11時までの1時間のうち0.8時間の日照があったことを意味する。これらの結果から、日射が生じるとひび割れ幅が急激に変動することが確認できる。すなわち、ひび割れ挙動は直達日射による受熱に起

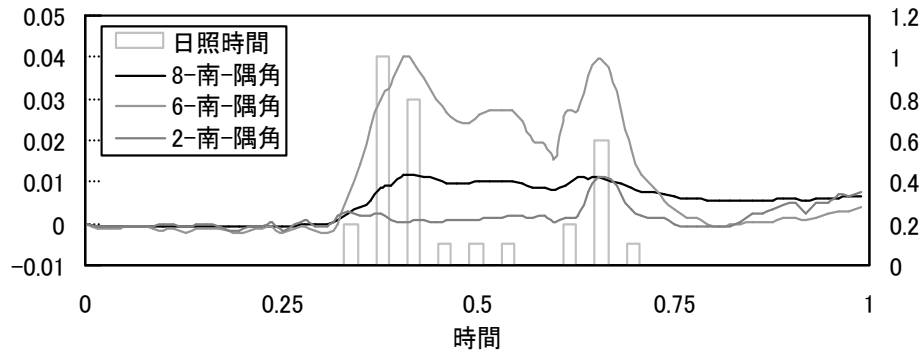


図9 ひび割れ幅挙動に及ぼす日射の影響

因する壁面温度変化の影響を強く受けていることが明らかとなった。そこで、壁面温度とひび割れ幅挙動との関係について検討を行った。

図10 (a)、(b)には貫通ひび割れについて、ひび割れ幅日較差と外壁温度日較差の関係を計測日ごとに示す。ここで、ひび割れ幅日較差とは「計測1日の間におけるひび割れ幅の最大値と最小値の差」を、外壁温度日較差とは「計測1日の間における外壁表面温度の最大値と最小値の差」をそれぞれ表す。その結果、屋内側・屋外側のいずれのひび割れ幅日較差も、外壁表層温度の日較差と高い相関を示すことが確認された。また、屋外側のひび割れ幅日較差は屋内側に比べて大きい傾向が認められた。これらの結果から、貫通ひび割れの1日当たりの挙動の大きさは、ひび割れ幅そのものよりも壁面温度変化の程度に強く支配されていることが示唆される。すなわち、外壁表層温度の経時変化を把握することにより、ひび割れ挙動の大きさを推定できる可能性があると考えられる。

一般に、実建築物におけるひび割れ挙動の長期計測は、計測装置の設置やデータ取得・解析の負担などの点から、実務上必ずしも容易ではない。しかしながら、壁面温度の計測によって挙動の大きさを推定できるのであれば、比較的簡便な計測によってひび割れ挙動の傾向を把握することが可能となり、維持管理の実務において有用な手法となる

可能性がある。次節では、この知見を踏まえ、建築ユーザーによる日常点検へどのように展開できるかについて考察した。

6. 建築ユーザーによる点検への展開

前章で示した計測結果は、貫通ひび割れの1日挙動の大きさが、ひび割れ幅そのものよりも壁面温度変化と強く関係していることを示している。すなわち、外壁表層温度の経時変化を把握することで、ひび割れ幅挙動を推定できる可能性がある。

この知見は、専門家による高度な診断の補助にとどまらず、建築ユーザーによる日常点検の実効性を高める上でも意味を持つ。なぜなら、ひび割れ挙動の直接計測は長期モニタリングを要し、計測装置・設置作業・解析負担の点から一般の現場では実施が難しい一方で、壁面温度の計測は比較的容易であり、安価な温度センサや赤外線温度計等を用いて実施可能だからである。

換言すれば、「挙動測定は困難であるが、温度測定は容易である」という現実を踏まえれば、建築ユーザーが担うべき日常点検は、挙動そのものを精密に定量化することではなく、挙動を生じさせる外的条件(直達日射・壁面温度の急変)と、ひび割れの状態(位置・形状・幅の概略)を継続的に

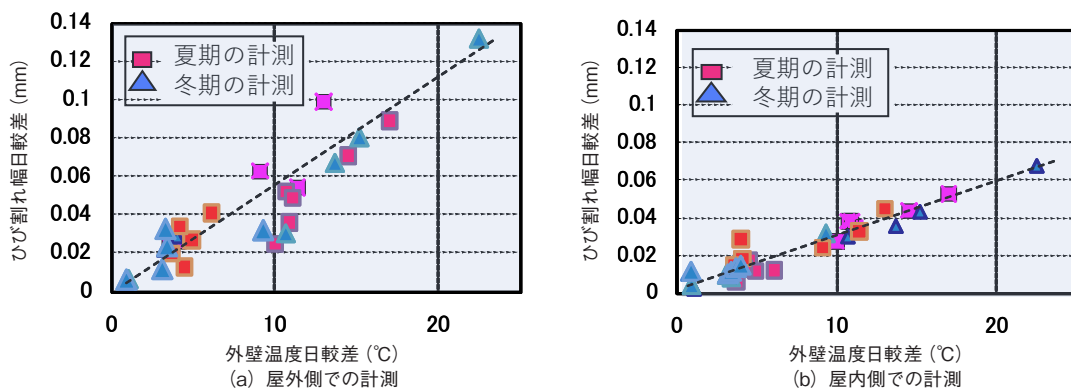


図10 ひび割れ日較差と外壁温度日較差

記録し、異常兆候を早期に専門家へ接続することにある。

具体的には、建築ユーザーが実施可能な点検項目として、下記を定めることが現実的である。これらを一定期間記録すれば、ひび割れ挙動が大きくなる条件の推定や、補修後の再挙動の兆候把握にもつながるのではないだろうか。

- (1) ひび割れの位置と形状の記録(写真を含む)
- (2) ひび割れ幅の概略把握(クラックスケール等)
- (3) 雨漏り・漏水の有無の確認
- (4) 晴天日・冬季/夏季など条件の異なる日における壁面温度の変化の測定

このように、建築ユーザーが担う日常点検は、専門家の診断行為を代替するものではなく、専門家による診断・補修判断を適切なタイミングで実施するための「入口」を整備する行為である。すなわち、建築ユーザーを「第一の診断者」と位置付ける本稿の考え方において、温度計測を手掛かりとした簡便な評価軸を導入することは、点検の実行可能性を高め、事後保全型管理から予防保全型管理へ移行するための一つの現実解となり得る。

今後の課題は、この点検項目を誰でも迷わず実行できる形に整備し、点検結果を専門家が迅速に判断できるフォーマットへ落とし込むことである。建築ユーザーに説明することに特化した研究、すなわち「知見の伝達設計」と「判断支援の仕組み化」を含む研究が必要であると筆者は考えている。この課題は、建築材料の実験・評価に精通した建材試験センターの技術者諸氏に、ぜひ取り組んでいただきたいテーマである。

7. 終わりに

本稿では、建築ユーザーを含めた住宅・建築物の維持保全方法の確立の必要性を述べ、その具体例として鉄筋コンクリート外壁のひび割れ挙動と補修判断に関する課題を取り上げた。従来の補修工法選定フローでは、「挙動の有無」あるいは「挙動の大小」が重要な判断項目として位置付けられているにもかかわらず、その評価方法は必ずしも明確ではない。また、ひび割れ挙動の実測結果を示し、外壁表層温度の変化がひび割れ挙動の主要因であることを示した。さらに、壁面温度計測によってひび割れ挙動の大きさを推定できる可能性を示し、ひび割れ補修のための検査について建築ユーザーの役割も提案した。

なお、補修材料には高分子系材料が主として用いられており、その力学特性は温度依存性を有する。したがって、温度変化によるひび割れ挙動に加え、補修材の物性変化も考慮する必要がある。この課題については、建材試験センター西日本試験所の元所長を務められた流田靖博氏が精力的に研究を進められ、広島大学において学位を取得された。若くしてご逝去されたことを深く惜しみつつ、そのご功績に敬意と謝意を表し、本稿の結びとしたい。

参考文献

- 1) 公益社団法人ロングライフビル推進協会：建築仕上診断技術者講習テキスト(2025年度)，2025.9
- 2) 大久保 孝昭，森濱直之，流田靖博，長谷川拓哉，藤本郷史：実建築物の壁面に生じたひび割れ挙動計測に基づくひび割れ補修のための調査診断に関する考察，日本建築学会構造系論文集第76巻 第662号，pp.737-744，2011年4月



profile

大久保孝昭

安田女子大学 理工学部 建築学科・教授
(広島大学 名誉教授)

2026年度事業計画

事業計画の概要

2026年度は、前年度に引き続き、2023年度に策定した中期計画である「発展計画2023」及びそのレビューの結果に基づき、

- ・業務の効率化と新規展開、事業所間の連携強化、積極的な営業活動等の実施
 - ・試験等の早期かつ確かな実施、迅速な報告書等の作成・発行による顧客満足度の向上
 - ・お客様の利便性の向上、業務の迅速化、不適合業務の撲滅等を踏まえた、基幹システム及び業務支援システムの導入・改善等の取り組み
 - ・中央試験所マスタープランに基づく「第三期施設機器整備事業」の推進
 - ・計画的な人材（人財）の育成、業務量や業務内容に応じた適正な要員計画の検討
- などを踏まえて、各種試験や評価・審査事業を的確に推進していく。

2026年度予算については、事業需要の減少、製品認証事業の3年周期のボトム年、人件費や諸物価高騰の影響等を踏まえ、経常収益は約41.5億円（前年度予算比、約0.4億円減）、経常費用は約39.7億円（同1.3億円増）、経常利益は1.8億円（同1.7億円減）と厳しい予算編成となっている。また、営業キャッシュフローについても、前年度実績を下回る5.1億円（同1.9億円減）になると見込んでいる。なお、「施設整備積立金」については、積立額が約3.9億円、取崩額が約5.1億円になると想定している。

基幹システム及び業務支援システムについては、引き続き「IT化、クラウド化からDX化へ」を念頭に整備を継続する。なお、業務支援システムに関しては、将来的には、設備と資産をネットワーク化し、一元管理する情報集約プラットフォームを目指す。

中央試験所の「第三期施設機器整備事業」については、当該整備事業の後半事業である「工材・材料試験棟」の建設準備、既存の「骨材試験棟」や「旧防耐火試験棟」などの解体工事を計画どおり実施する。一方、今後の建設費用は、労務費や建設資材の高騰等の影響で、当初の予定を大幅に上回ると想定される。そこで、お客様の利便性を考慮しつつ、マスタープランの見直しによる費用削減対策の検討も併せて進める。

人材（人財）に関しては、建材試験センターの経営理念を推進するために最も重要な経営資源の一つと位置付けている。各職員の年度目標及び教育訓練計画の内容を踏まえ、所属長が選定・推奨する研修や職員が希望する研修を積極的に受講させ、職員のスキルアップ及びキャリアアップに繋げていく。一方、「働き方改革」については、センター規程を遵守するとともに、オフィス部門を中心として、在宅勤務と職場勤務を連携したハイブリッド型勤務を推進する。併せて、ハラスメントやサービス残業の防止を徹底するとともに、労災ゼロを目標に「働きやすい職場環境づくり」を推進する。

これら効率的な業務の実施や施設整備等による組織全体の業務実施能力の向上により、お客様からの試験や評価・審査等のご依頼やご要望に対して、より迅速かつ確かに対応していくことを目指す。また、職員の就業環境向上により持続的な発展を目指していく。

各事業における2026年度の取組みの概要を以下に示す。

1. 総合試験事業

(1) 品質性能試験事業（中央試験所及び西日本試験所）

総合試験ユニットの中央試験所及び西日本試験所（以下「両試験所」という。）では、引き続き、建設分野における材料・部材等の品質・性能を証明するための品質性能試験を材料・構造・防耐火・環境の各分野において総合的に実施する。

2026年度予算は、両試験所の施設整備に伴う増収、性能評価にかかる省令料金の改正効果が引き続き期待でき、経常収益及び経常利益は、前年度実績並みになると想定している。なお、試験材料費や試験機器の維持管理費用が高騰する試験等については、個別に試験料金を見直す方針である。

施設整備については、「工材・材料試験棟（2027年度建設予定）」の事前工事として、既存試験棟の解体工事を予定している。来所されるお客様の安全確保を第一に、当該工事を計画どおり実施していく。一方、猛暑対策として「構造試験棟」及び「動風圧試験棟」に「輻射式エアコン」の導入を計画している。これにより、両試験棟の試験環境が整備されるとともに、試験に立ち合われるお客様や試験体製作者の負担軽減（熱中症対策）に繋がると期待している。なお、近隣住民や近隣企業との良好な関係を維持するため、事業所周辺の清掃活動や工業会行事に積極的に参加する。

(2) 性能評価事業 (性能評価本部)

総合試験ユニットの性能評価本部では、建築基準法及び住宅の品質確保の促進等に関する法律などに基づく指定機関並びに登録機関として、引き続き、評価・認定等の業務を的確に実施する。また、試験体の製作管理業務についても効率的かつ確実に実施する。

一方、ユニット効果を活かし、両試験所と連携して新規適合証明事業の提案、社会的ニーズ及びお客様からの要望に応じた新たな評価試験・評価方法を提案する。なお、新基幹システム「IROHA」については、既に全面運用を開始しているが、内部機能のブラッシュアップを継続する。

2. 工事材料試験事業 (工事材料試験所)

工事材料試験所においては、建築工事量の減少、諸経費の高騰など事業環境が厳しい状況のなか、試験の迅速化など顧客サービスの向上を図りつつ、試験結果の正確さ、公正さを追及することで、第三者機関としての信頼性を基盤とする受注の拡大に努める。また、需要拡大が期待できる住宅基礎関連の業務については、委託単価の引き上げにより、質の高い採取業者の安定的な確保を図りつつ、大口顧客が受容できる範囲での受託単価の値上げにより経常収益及び経常利益を確保する。なお、経費面では、横浜試験室と武蔵府中試験室との統合により、試験室規模を適正化して生産性を向上させるとともに、賃料や試験機器の維持管理費等を削減する。

新基幹システム「CON-PAS」については、適用範囲の拡大により、供試体の取違えや報告書の記載ミス等の不適合業務を縮減するとともに、お客様からの試験申込みや報告書受領の省力化・迅速化を進める。また、ホームページやSNSによる情報発信の充実により、新規・新分野の試験需要を誘引するとともに、遠方のお客様を想定し、CON-PAS、宅配便及びWeb立会を組み合わせた遠隔試験パッケージを提供する。

3. 認証事業 (ISO審査本部、製品認証本部)

2026年度は、製品認証事業の審査件数が、3年周期のボトム年に当たるため、事業収益及び事業費用の管理を徹底し、ユニット内の経費削減に努める。また、AIを活用した定型業務の効率化に積極的に取り組むとともに、新基幹システム「BAITAL」を有効に活用し、在宅勤務と職場勤務を連携したハイブリッド型勤務を引き続き推進する。

(1) ISO 審査事業 (ISO 審査本部)

JIS Q 17021に基づく信頼性の高い「マネジメントシステム (MS) 認証機関」として、品質 MS (ISO9001)、環境 MS (ISO14001) 及び労働安全衛生 MS (ISO45001) に関する審査業務を3本柱とし、質の高い認証事業を展開する。また、GHG 検証業務 (温室効果ガス排出量検証業務) を継続するとともに、アセット MS (ISO55001) の規格改正に伴う認定移行を踏まえ、当該規格の認証審査を的確に実施

する。一方、台湾経済部の標準検閲局から認定を受けた「台湾 BSMI 認証制度」に基づく適合性評価の認証機関として、海外での認証制度にも適切に対応していく。

審査員については、世代交代を踏まえた新規審査員の補充 (内部審査員を含む) を確実にするとともに、専門性の拡大 (審査範囲の拡大) を踏まえた教育訓練等を実施する。

(2) 製品認証事業 (製品認証本部)

JIS マーク表示制度の「登録認証機関」として、JIS Q 17065に基づき信頼性及び質の高い認証事業を展開する。

2026年度は、審査件数が3年周期のボトム年に当たるため、「JIS 認証制度セミナー」を積極的に開催し、お客様との接点を増やすことで、登録企業数の維持・拡大に繋げる。一方、お客様に対しては、前倒し審査を案内・促進し、審査件数の平準化に努める。

社会状況やお客様の都合等により、登録企業数は年々減少傾向にあり事業収益に影響している。新分野のJIS認証実施に向けた情報収集及び審査実施体制の検討を進め、認証希望の企業には積極的に対応する。また、西日本支所を有効活用し、セミナー等の開催場所とするほか、研修会や出前講座等への講師派遣、契約試験所の現地審査、新規申請や変更相談の窓口としての機能を充実させ、西日本地区に密着した顧客サービス拠点とする。

審査員については、審査の質の向上を踏まえ、力量向上のための研修等を継続する。

4. 公益目的支出計画実施事業

(1) 調査研究事業

試験事業との連携を図りつつ、社会的ニーズが高く、かつ、当センターの業務と密接に関連する分野を中心に調査研究業務を進める。また、第三者証明機関としての信頼性と試験・調査研究の実績を生かした技術相談・技術支援業務についても的確に対応していく。

(2) 標準化事業

当センターで実施している試験事業と関連深い分野を中心に、JIS原案及び当センターの自主規格 (JSTM) の作成業務・メンテナンス業務を行う。また、ISOに関連する国内委員会の事務局業務や関連機関における国際標準化活動への協力を継続する。

(3) 情報提供事業

機関誌「建材試験情報」、ホームページ、SNS、メールニュース等を活用して、試験技術、認証制度等に関する知識・情報の普及を図る。

(4) 技術研修・検定事業

建設工事現場においてフレッシュコンクリートの採取試験を行う技能者を対象として検定試験を実施し、技能者の認定・登録・更新及び事前講習を行う。

5. その他の事業活動

(1) 品質マネジメントシステムの維持・管理

各事業所で運用している「品質マネジメントシステム」の適切な運用を維持・向上させるとともに、組織全体を対象とした品質管理活動の合理化、品質保証活動の一元化に向けた取り組みを継続する。また、「JTCCM設備資産管理システム：NOAH」を有効に活用し、試験設備の点検・管理業務の効率化及び不適合業務の削減に努める。

(2) ナレッジマネジメント活動の推進

2021年度に導入したナレッジマネジメントは、登録件数も順調に増加しており、組織及び個人が蓄積した知識や経験について、組織内での共有及び有効活用に大きく寄与している。2026年度は、ナレッジ情報の整理及び質的向上並びに有効活用を促進する。

(3) 施設・機器等の整備

社会的ニーズやお客様からの要望を踏まえ、中央試験所マスタープラン及び各事業所の固定資産導入計画に基づき、施設・機器の更新及び新規導入を計画的に進める。

(4) 将来に向けた新たな業務展開の検討

施設面は、中央試験所マスタープランを基本とし、社会的ニーズやお客様からの要望に的確に対応できるよう、新試験棟の設計、施設・機器の導入・拡充を計画的に進める。

業務内容に関しては、経営企画部で運営している技術指導を発展させ、各事業所で行っている試験や認証等に関連する付加的業務（コンサルティング、アドバイスなどの新たなサービスの提供）の導入・拡大に積極的に取り組む。併せて、業務の効率化及びシナジー効果等を踏まえた組織の再編、新たな業務実施体制について検討する。

一方、ソフト面ではAIの本格活用をはじめ、業務の効率化、お客様の利便性を踏まえた基幹システムの改良を継続するとともに、新たな業務支援システムの導入を検討する。

(5) 職員の教育・研修等

技術の進歩、事業環境の変化等に柔軟に対応できる職員を育成するため、新人から管理職に至るまで一貫した教育・研修計画を策定し、各層別に計画的に実施していく。

センターで導入している「提案研究制度」を活用し、「自主的な調査・研究活動の促進」や「業務改善提案等の推進支援」に取り組むとともに、外部の学会活動や委員会活動等に積極的に参加し、センターらしい情報を継続的に発信する土台づくりを進める。

一方、業績と能力を対象とした人事考課の実施、本人へのフィードバック（効果的なアドバイス）と併せて、人事考課結果に基づく、昇格・昇級や賞与への反映を進め、本人の能力向上へのインセンティブとしていく。なお、職員の給与等については、2026年度も社会情勢等を踏まえながら適切に見直しを行っていく。

以上

鉄筋コンクリートと鉄筋（素材）

1. はじめに

鉄筋は、建築・土木の構造材として広く用いられている材料である。

本誌では2014～2015年にかけて「鉄筋継手の基礎講座」を連載し、同講座をSNSやホームページに抜粋掲載したところ、現在でも多くの方にご覧いただいている。そこで本号より、内容を「鉄筋の試験の基礎知識」としてリニューアルし、新連載をスタートすることとした。初回となる本稿では、まず鉄筋コンクリートと鉄筋の素材に関する基礎的事項について紹介する。

2. 鉄筋コンクリート

2.1 鉄筋コンクリート(RC)の特徴

鉄筋コンクリート(RC)は、圧縮力に強く引張力には弱いコンクリートを、引張力に強い鉄筋で補強して一体化した構造である。鉄筋はコンクリートによって覆われることで腐食などから保護され、耐久性や耐火性に優れている。

また、コンクリートは建設現場で自由な形状・寸法に成形できることで造形性に優れていることも大きな長所である。

2.2 鉄筋コンクリート(RC)の歴史

RCは19世紀半ばにフランスで考案された。わが国初のRC構造物は1903年竣工の琵琶湖疏水のRC橋とされ、初のRC造建物は佐世保港のRCポンプ小屋と言われている。また、初のRC事務所ビルである三井

物産横浜支店1号館は現在もその姿を残している。これ以降、日本の建築物や土木構造物の多くがRCで造られるようになった。

3. 鉄筋(素材)

3.1 鉄筋の製造

鉄筋は、製鋼工程の違いから大きく「高炉材」と「電炉材」に分けられる。高炉材は、鉄鉱石やコークスなどを高炉で溶かして銑鉄を製造し、さらに転炉で精錬して得られるものである。一方、電炉材は、鉄スクラップを主原料に電気炉で熔融・精錬したものである。現在流通している鉄筋の多くは、後者の電炉材(電炉鉄筋)である。

3.2 鉄筋の表面形状

鉄筋の形状には、表面が滑らかな「丸鋼(SR: Round bar)」と、突起のある「異形棒鋼(SD: Deformed bar)」があり、現在は異形棒鋼が主流である。表面の突起のうち、軸方向のものを「リブ」、それ以外を「節」と呼ぶ。図1に示す異形棒鋼(竹節)とねじ節鉄筋棒鋼が代表的な表面形状である。

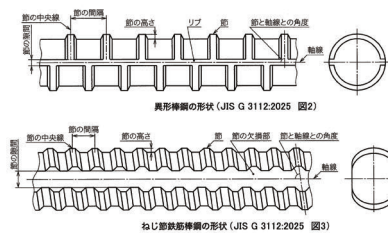


図1 鉄筋の表面形状の一例 (JIS G 3112:2025 図2および図3)

3.3 鉄筋の機械的性質

一般的な鋼材の「応力度-ひずみ曲線」を図2に示す。鋼材に引張力を加えた初期段階では、応力とひずみは直線的な比例関係を示す。この直線の勾配を「ヤング係数(弾性率)」と呼び、鋼種によらず概ね200kN/mm²程度の値となる。さらに引張力を加えていくと、応力が増加しないままひずみが一気に増大する「降伏現象」が生じる。このタイミングを「降伏点」と呼ぶ(一般には上降伏点を降伏点と呼ぶ)。その後、応力・ひずみは再び緩やかに増大し、最大荷重(引張強さ)に達したのち、最終的には応力が低下して破断に至る。

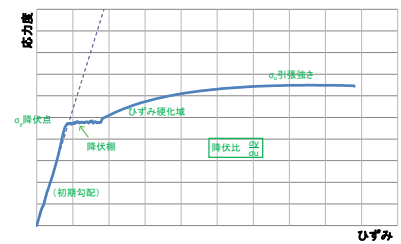


図2 鋼材の応力度-ひずみ曲線

3.4 JIS G 3112の概要

JIS G 3112(鉄筋コンクリート用棒鋼)は、鉄筋の代表的な規格であり、機械的性質として「降伏点」「引張強さ」「伸び」などを規定している(表1参照)。なお、明確な降伏点がない高強度鉄筋などでは、降伏点の代わりに「耐力」を指標とする。これは除荷した際の残留ひずみが0.2%となる応力値のことで、「0.2%オフセット耐力」とも呼ばれる。同規

格ではこれら機械的性質のほか、炭素当量 (Ceq) などの化学成分についても規定している。

3.5 JIS G 3112の改正点²⁾

2020年のJIS改正では、SD490を超える「SD685」「SD785」といった高強度鉄筋が新たに規定された。これら (SD685RやSD785R) は、主としてせん断補強筋 (フープ筋やスターラップ筋) に用いられる。ただし、現行の建築基準法は2020年版JISを引用していないため、これらの高強度鉄筋を指定建築材料として用いるには大臣認定の取得が必要となる。その他の主な改定ポイントは

以下の通りである。

- ・「降伏棚のひずみ度」および「ねじ節鉄筋棒鋼」の定義追加 (ねじ節も異形棒鋼に包含)
- ・炭素当量の上限值変更・SD345～SD685に対する降伏比 (降伏点/引張強さ) の上限値の規定
- ・公称周長や公称断面積の単位変更 (cm・cm² から mm・mm² へ)

4. おわりに

本稿では、鉄筋コンクリートと鉄筋素材の基礎知識を紹介した。次回は、鉄筋素材の「各種試験」の具体的な内容について解説する。

引用または参考とした文献

- 1) 建材試験センター：鉄筋継手の基礎講座、<https://www.jtccm.or.jp/tech-provision/basic-course/03>
- 2) 東京都防災・建築まちづくりセンター建築材料試験所：建築工事施工計画等の報告と建築材料試験の実務手引 2025年度版, pp.297-299

author

若林和義

工事材料試験ユニット 工事材料試験所
企画管理課 主幹
<従事する業務>
工事用材料試験に関する企画管理業務

表1 鉄筋の種類および機械的性質等 (JIS G 3112:2025 表3および表10)

種類の記号	圧延マークによる表示	色別塗色	降伏点 又は耐力 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	降伏比 %	引張試験片 ^{a)}	伸び ^{b)} %	曲げ性		
								曲げ角度	内側半径	
丸鋼	SR235	—	赤	235以上	380～520	—	2号 14A号	20以上 22以上	180°	公称直径の1.5倍
	SR295	—	白	295以上	440～600	—	2号 14A号	18以上 19以上	180°	径16mm以下 公称直径の1.5倍
	SR785	—	—	785以上	924以上	—	2号準 14A号準	8以上	90° ^{c)}	径16mm超え 公称直径の1.5倍 ^{c)}
異形棒鋼	SD295	圧延マークなし	—	295以上	440～600	—	2号準 14A号準	16以上 17以上	180°	D16以下 D16超え 公称直径の1.5倍 公称直径の2倍
	SD345	突起数1 (・)	黄	345～440	490以上	80以下	2号準 14A号準	18以上 19以上	180°	D16以下 D16超え D41以下 公称直径の1.5倍 公称直径の2倍 公称直径の2.5倍
	SD390	突起数2 (・・)	緑	390～510	560以上	80以下	2号準 14A号準	16以上 17以上	180°	公称直径の2.5倍
	SD490	突起数3 (・・・)	青	490～625	620以上	80以下	2号準 14A号準	12以上 13以上	90°	公称直径の2倍
	SD590A	突起数4 (.....)	水色	590～679 ^{d)}	695以上	85以下	2号 14A号準	10以上	90°	公称直径の2倍
	SD590B	突起数4 (.....)	ピンク	590～650 ^{d)}	738以上	80以下	2号 14A号準	10以上	90°	公称直径の2倍
	SD685A	突起数5 (.....)	赤	685～785 ^{d)}	806以上	85以下	2号 14A号準	10以上	90°	公称直径の2倍
	SD685B	突起数5 (.....)	黒	685～755 ^{d)}	857以上	80以下	2号 14A号準	10以上	90°	公称直径の2倍
	SD685R	圧延マークなし	黄土	685～890	806以上	—	2号 14A号準	8以上	90° ^{c)}	公称直径の1.5倍 ^{c)}
	SD785R	圧延マークなし	紫	785以上	924以上	—	2号 14A号準	8以上	90° ^{c)}	公称直径の1.5倍 ^{c)}

a) 準は“各々に準じるもの”を示す。
b) 異形棒鋼でD32を超えるものは、呼び名3を増すごとに表の伸び値から2を減じる。
c) 受渡当事者間の協定によって、曲げ角度と内側半径を変更してもよい。
d) 降伏棚のひずみ度は1.4%以上とする。

試験装置 図鑑

建材試験センターに設置されている試験装置を紹介します。

装置に関連するYouTube動画や過去に建材試験情報へ掲載された記事も併せて掲載していきますので是非ご覧ください。

西日本-1

複合サイクル試験機

装置仕様

- | | |
|--|---|
| <p>① 塩水噴霧試験
・試験温度：35±1℃、50±1℃</p> <p>② 乾燥試験
・槽内温度：20～70±1℃
・槽内湿度：25±5%RH
(温度60℃において)</p> <p>③ 湿潤試験
・槽内温度：50～70±1℃
・槽内湿度：60～95±5%RH
(温度60℃において)</p> | <p>④ 浸漬試験
・塩水濃度：5%中性塩水
・浸漬液温度：(外気温度+10)～60±1℃</p> <p>⑤ 外気導入試験
・温度制御なし</p> <p>⑥ 低温試験
・槽内温度：-20～20±1℃</p> <p>⑦ 湿潤高温試験
・槽内温度：50±1℃
・槽内湿度：95%RH以上
(温度50℃において)</p> |
|--|---|

以上、①～⑦の組み合わせによるサイクル試験が可能

試験対象

- ・ JIS G 0594：表面処理鋼板のサイクル腐食促進試験方法
- ・ JIS H 8502：めっきの耐食性試験方法
- ・ JIS K 5600-7-9：塗料一般試験方法—第7部：塗膜の長期耐久性—第9節：サイクル腐食試験方法—塩水噴霧／乾燥／湿潤
- ・ JIS Z 2371：塩水噴霧試験方法

関連記事

【試験設備紹介】
[建材試験情報 vol.56,2020年9・10月号](#)



【お問い合わせ先】

西日本試験所
TEL：0836-72-1223
FAX：0836-72-1960





【お問い合わせ先】

西日本試験所
TEL : 0836-72-1223
FAX : 0836-72-1960

西日本-2

発熱性試験装置

装置仕様・ 試験体仕様

- 〈コーンヒーター〉
 - ・ 構造：ISO5660-1 に準拠
 - ・ 温度制御：PID 制御
- 〈輻射計〉
 - ・ 測定範囲：0～100kw/m²
- 〈質量減少測定〉
 - ・ 方式：ロードセル
 - ・ 最大質量：1000g
- 〈煙濃度測定〉
 - ・ 光源：1.0mW He-Ne レーザー
- 〈酸素分析計〉
 - ・ 測定範囲：0～25 %
- 〈試験体寸法〉
 - ・ 99×99mm, 厚さ 50mm 以下

試験対象

- ・ 防耐火性能試験・評価業務方法書
- ・ JIS A 5404：木質系セメント板
- ・ JIS A 5422：窯業系サイディング
- ・ JIS A 5430：繊維強化セメント板
- ・ JIS A 6901：せっこうボード製品

関連情報

【YouTube】
[防耐火試験 発熱性試験](#)



J T C C M

試験装置
図鑑

JIS認証制度に関する各種セミナーのお知らせ

[認証ユニット]

コンクリートJIS改正説明会を開催しました

認証ユニット製品認証本部では、以下のコンクリート関連JIS（日本産業規格）について説明会を開催いたしました。

- ・JIS Q 1012：適合性評価－日本産業規格への適合性の認証－分野別認証指針（プレキャストコンクリート製品）
（2026年1月20日改正）
- ・JIS A 5308：レディーミクストコンクリート（2026年3月23日追補改正）
- ・JIS A 6204：コンクリート用化学混和剤（2026年2月20日改正）
- ・JIS R 5210：ポルトランドセメント 他（2026年3月23日改正）

説明会は、東京、札幌、福岡の各会場で開催したほか、ウェビナー方式のオンライン開催も行いました。説明会では、各規格の改正内容の概要に加え、JIS認証取得事業者様に対する実務対応上の留意点について具体的に説明いたしました。

当センターでは、今後も改正内容の円滑な運用と適切な対応を支援するため、最新情報の提供に努めてまいります。



丸山本部長による開会の挨拶



会場の様子

JIS認証制度セミナー2026を開催します

JIS 認証制度セミナーは、JISマーク認証制度に興味をお持ちの方を対象として、また、JIS 認証取得事業者様への情報提供を兼ねて、JIS 認証制度の最近の情報と認証維持審査などに関する無料講習会を行っております。今年度は、6月24日（水）の東京を皮切りに、全国10会場（各会場13：30 開始、16：00 終了予定）で開催いたします。また、東京会場の内容を収録し、YouTubeで視聴いただくウェビナー方式も実施いたします。

開催スケジュール

会場名	開催日	開催場所
東京会場	6/24(水)	日本橋社会教育会館
京都会場	7/8(水)	京都テルサ
名古屋会場	7/10(金)	名古屋市中企業振興会館
広島会場	7/14(火)	西区民文化センター
高松会場	7/15(水)	サンポートホール高松
福岡会場	7/17(金)	ももち文化センター
沖縄会場	7/22(水)	沖縄県総合福祉センター
仙台会場	7/28(火)	東京エレクトロンホール宮城
長野会場	7/30(木)	長野市生涯学習センター
札幌会場	8/3(月)	カナモトホール
Web会場	7/31(金)～9/30(水)	YouTube(限定公開)

NEWS

品質管理責任者パワーアップセミナー2026を開催します

建材試験センター製品認証本部では、JISマーク表示認証制度の要である品質管理責任者の業務、また最近頻発している不適合事例について解説するセミナー（有料）を開催します。

今年度は、6月19日（金）の東京を皮切りに、全国6会場（原則、各会場13：30開始、17：30終了予定。詳細はHP参照）で開催いたします。なお、Web会場は開催を計画中です。詳細決まり次第当センターHPにて公表します。

開催スケジュール

会場名	開催日	開催場所
東京会場	6/19(金)	JTCCM日本橋オフィス
京都会場	7/9(木)	京都テルサ
福岡会場	7/16(木)	大野城まどかびあ
仙台会場	7/27(月)	東京エレクトロンホール宮城
東京会場	10/23(金)	JTCCM日本橋オフィス
山口会場	11/12(木)	JTCCM西日本試験所

JIS認証制度基礎セミナー2026を開催します

JIS認証制度基礎セミナーは、JIS認証制度に関心がある、あるいはJIS認証を新たに取得したいとお考えの方を対象とした無料講習会です。

このセミナーは、JISマークの誤表示防止教育のほか、新人教育の一環としてもご活用頂ける内容となっております。今年度の開催予定は右のとおりです。山口会場では、午後から試験所見学会を行い、15時頃から17時頃までセミナーを開催する予定です。

開催スケジュール

会場名	開催日	開催場所
山口会場	11/13(金)	JTCCM西日本試験所
Web会場	11/19(木)～1/22(金)	YouTube(限定公開)

R E G I S T R A T I O N

ISO14001 認証登録

ISO 審査本部では、以下企業の環境マネジメントシステムを ISO 14001:2015 (JIS Q 14001:2015) に基づく審査の結果、適合と認め登録しました。これで、累計登録件数は740件になりました。

登録組織

登録番号	登録日	適用規格	有効期限	登録組織	住所	登録範囲
RE0741	2026/3/22	ISO 14001:2015+Amd1:2024 (JIS Q 14001:2025)	2029/3/21	株式会社星電業社	山口県山口市深溝261番地1	電気設備の施工

JISマーク表示制度に基づく製品認証

製品認証本部では、以下のとおり、JISマーク表示制度に基づく製品を認証しました。

JISマーク認証取得者

認証番号	認証契約日	JIS 番号	JIS 名称	認証取得者の名称	住所
TCCN25098	2026/2/24	JIS A 5908	パーティクルボード	Anhui Kelin New Material Technology Co.,Ltd.	North Inner Ring Road, Industrial Park, Huaining County, Anqing City, Anhui, P.R. China
TCCN25099	2026/3/23	JIS A 5905	繊維板	千年舟新材科技集团股份有限公司	5F,Building 1, No. 152, Haoyun Road, Liangzhu Street, Yuhang District, Hangzhou City, Zhejiang Province, China
TCCN25100	2026/3/23	JIS A 5905	繊維板	千年舟新材科技集团股份有限公司	5F,Building 1, No. 152, Haoyun Road, Liangzhu Street, Yuhang District, Hangzhou City, Zhejiang Province, China

JISマーク製品認証の検索はこちら <https://www.jtccm.or.jp/certification/product/jis-search>

建築基準法に基づく構造方法等の性能評価

性能評価本部では、2025年10月～2026年3月の期間において、下記のとおり建築基準法に基づく構造方法等の性能評価書を発行しました。

性能評価完了状況 (2025年10月～2026年3月)

※暫定集計件数

分類	件数
防耐火関係規定(防耐火構造、防火設備、区画貫通部措置工法、屋根飛び火、防火材料等)	268
その他規定(耐力壁の壁倍率、界壁の遮音構造、ホルムアルデヒド発散建築材料、指定建築材料)	17

Editor's notes

— 編集後記 —

2025年7月に入職し、本誌の編集業務に携わる機会をいただきました。決して長い期間ではありませんでしたが、日々の業務を行っていく中で多くの学びと気づきを得ることができました。入職当初は、当センターの業務内容や専門分野に対する理解も十分とは言えず、不安を抱えながらのスタートでしたが、編集委員の皆様や執筆者の方々のご指導・ご協力のおかげで、今日まで務めることができました。

本誌の編集を通じて、本誌が単なる広報媒体ではなく、建材試験センターの技術力や研究成果、そして職員一人ひとりの取り組みを内外に伝える重要な役割を担っていると強く実感いたしました。また、大学や研究機関、関係団体の先生方からのご寄稿をはじめ、外部の専門家の知見を広く紹介できる点も、本誌の大きな特色であり価値であると感じております。各号の原稿に目を通すたびに、建材試験センターの業務の広がりや専門性の高さ、そして建築・建材分野を支える多様な取り組みに触れることができ、自身にとっても大変貴重な経験となりました。

本号におきましても、先生方からのご寄稿にはじまり、試験設備・規格基準の紹介、2026年度事業計画など、最新の取り組みを幅広く掲載しております。本誌が読者の皆様にとって有益な情報源となり、試験や業務検討の一助となれば幸いです。また、当センターのホームページにて、本誌に関するアンケートを実施しております。今後のより良い誌面づくりの参考とさせていただきますので、ぜひ皆様のご意見やご感想をお寄せいただけますと幸甚に存じます。

私事ではございますが、4月からは別部署へ異動となったため、本号をもって編集委員としての役目を終えることとなります。ここで得た視点や経験を今後の業務にも活かしてまいりたいと存じます。今後は一読者として本誌の発行を楽しみにするとともに、また別の立場で誌面に関わる機会がございました際には、どうぞよろしくお願い申し上げます。

最後になりますが、本誌の発行にあたりご尽力いただいた皆様に、心より御礼申し上げます。

(正島)

建材試験情報編集委員会

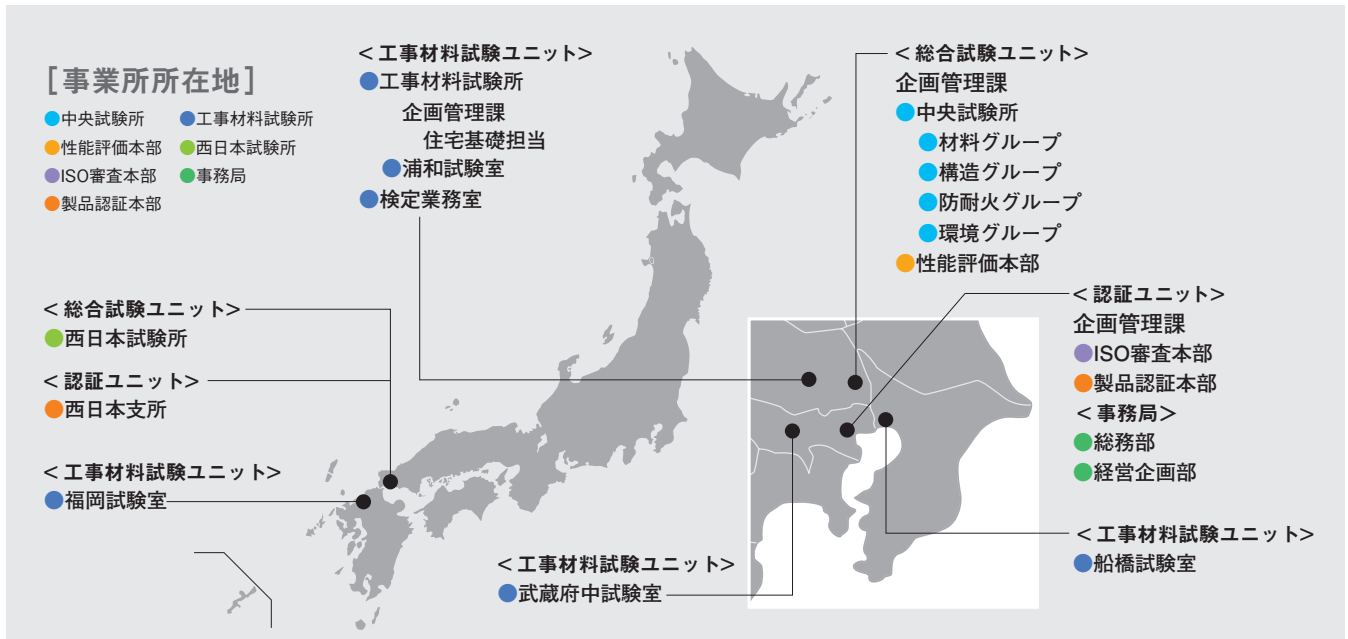
委員長	小山明男 (明治大学 教授)
副委員長	芭蕉宮総一郎 (常任理事)
委員	荻原明美 (常任理事) 白岩昌幸 (常任理事) 萩原伸治 (経営企画部 部長) 中里侑司 (経営企画部 企画調査課・経営戦略課 参事) 大西智哲 (経営企画部 経営戦略課 主査) 小林直人 (経営企画部 経営戦略課 主査) 石山国義 (経営企画部 経営戦略課 主任)
事務局	黒川 瞳 (経営企画部 経営戦略課)

建材試験情報 5・6月号

発行所	2026年5月30日発行 (隔月発行) 一般財団法人建材試験センター 〒103-0012 東京都中央区日本橋堀留町1-10-15 JL 日本橋ビル
発行者	木下一也
編集	建材試験情報編集委員会
事務局	経営企画部 TEL 03-3527-2131 FAX 03-3527-2134 本誌の内容や記事の転載に関するお問い合わせは事務局までお願いいたします。



ホームページでは、機関誌アンケートを実施しています。
簡単にご回答いただける内容となっておりますので、ぜひ皆様のご意見・ご感想をお寄せいただければ幸いです。
<https://www.itccm.or.jp/tech-provision/magazine/questionary>
または左記QRコードよりアクセスできます。



< 総合試験ユニット >

企画管理課

〒340-0003 埼玉県草加市稲荷 5-21-20

TEL : 048-935-1991(代) FAX : 048-931-8323

● **中央試験所**

〒340-0003 埼玉県草加市稲荷 5-21-20

材料グループ TEL : 048-935-1992 FAX : 048-931-9137

構造グループ TEL : 048-935-9000 FAX : 048-935-1720

防耐火グループ TEL : 048-935-1995 FAX : 048-931-8684

環境グループ TEL : 048-935-1994 FAX : 048-931-9137

● **西日本試験所**

〒757-0004 山口県山陽小野田市大字山川

TEL : 0836-72-1223(代) FAX : 0836-72-1960

● **性能評価本部**

〒340-0003 埼玉県草加市稲荷 5-21-20

TEL : 048-935-9001 FAX : 048-931-8324

< 認証ユニット >

企画管理課

〒103-0012 東京都中央区日本橋堀留町 1-10-15 JL 日本橋ビル 8階

TEL : 03-3249-3151 FAX : 03-3249-3156

● **ISO審査本部**

〒103-0012 東京都中央区日本橋堀留町 1-10-15 JL 日本橋ビル 8階

TEL : 03-3249-3151 FAX : 03-3249-3156

● **製品認証本部**

〒103-0012 東京都中央区日本橋堀留町 1-10-15 JL 日本橋ビル 8階

TEL : 03-3808-1124 FAX : 03-3808-1128

西日本支所

〒757-0004 山口県山陽小野田市大字山川(西日本試験所内)

TEL : 0836-72-1223 FAX : 0836-72-1960

< 工事材料試験ユニット >

● **工事材料試験所**

企画管理課

〒338-0822 埼玉県さいたま市桜区中島 2-12-8

TEL : 048-858-2841 FAX : 048-858-2834

住宅基礎担当 TEL : 048-711-2093 FAX : 048-711-2612

武蔵府中試験室 〒183-0035 東京都府中市四谷 6-31-10

TEL : 042-351-7117 FAX : 042-351-7118

浦和試験室 〒338-0822 埼玉県さいたま市桜区中島 2-12-8

TEL : 048-858-2790 FAX : 048-858-2838

船橋試験室 〒273-0047 千葉県船橋市藤原 3-18-26

TEL : 047-439-6236 FAX : 047-439-9266

福岡試験室 〒811-2115 福岡県糟屋郡須恵町大字佐谷 926

TEL : 092-934-4222 FAX : 092-934-4230

● **検定業務室**

〒338-0822 埼玉県さいたま市桜区中島 2-12-8

TEL : 048-826-5783 FAX : 048-858-2834

< 事務局 >

〒103-0012 東京都中央区日本橋堀留町 1-10-15 JL 日本橋ビル 9階

● **総務部**

TEL : 03-3664-9211(代) FAX : 03-3664-9215

● **経営企画部**

経営戦略課・企画調査課 TEL : 03-3527-2131 FAX : 03-3527-2134



ホームページでは、機関誌アンケートを実施しています。
簡単にご回答いただける内容となっておりますので、是非皆様のご意見・ご感想をお寄せいただければ幸いです。
<https://www.jtccm.or.jp/tech-provision/magazine/questionary>

