

CEMENT & CONCRETE

セメント・ コンクリート

令和6年2月15日発行 ISSN0371-0718

2024
No.924

2

一般社団法人セメント協会
JAPAN CEMENT ASSOCIATION



神殿？ いいえ、防災施設です。

埼玉県春日部市の地下50メートルに現れた巨大神殿。

これは「首都圏外郭放水路」という防災施設で、
同県東部の浸水被害を軽減し、首都圏の安全を
守るためにつくられた世界最大級の地下放水路です。

こうした防災インフラに欠かせない素材がセメント。

もしものときも防災機能が発揮されるよう、
セメントの強さで施設そのものを守っています。

セメントが、日本をまもる。

ハイブリッド混和剤

目指したのは「丈夫で長持ち」。

乾燥収縮の低減でひび割れを抑制、耐久性を向上。

過度なブリーディングを抑え、より緻密な組織へ。

高い減水性能で扱いやすく、施工不良のリスクも低減。

高品質なコンクリートは建設廃材を減少させ、環境にも貢献。



高性能AE減水剤（増粘剤一液タイプ）

チューポールHP-70

AE減水剤（高機能・ブリーディング低減タイプ）

チューポールEX60LB

高性能AE減水剤（収縮低減タイプ）

チューポールSR

AE減水剤（高機能・収縮低減タイプ）

チューポールLS



TAKEMOTO®

ケミカルで社会インフラの発展を支える

KaO

きれいをここに 未来に

粉塵量を大幅削減
ビスコトップ UT



加振時の流動性向上
マイティ 21V-SG



花王株式会社 ケミカル事業部門

東京 〒131-8501 東京都墨田区文花2-1-3
大阪 〒550-0012 大阪市西区立売堀1-4-1
URL <https://chemical.kao.com/jp/>
E-mail chemical_eif@kao.com

AE減水剤
(高機能タイプ)

ヤマソー 02NL

減水剤(遅延形) ヤマソー R

AE剤 ヴィンソル

AE減水剤
(耐寒促進剤 タイプI)

ヤマソー ウイン

硬化促進剤 ヤマソー ウインS

AE減水剤(高機能・高保持タイプ) ヤマソー 22NEX

あした
明日へ繋げる

コンクリートという無機質の中から
人々が理想とする安心・安全・快適さを実感できる、
より良い街づくりのお手伝いをします。

AE減水剤(高機能タイプ・ブリーディング低減型)

ヤマソー 16NB

高性能AE減水剤 ヤマソー V1S

AE減水剤
(高機能タイプ) ヤマソー 09NL

高性能AE減水剤(収縮低減タイプ) ヤマソー V1-DS

高流動コンクリート用分離低減剤 ヤマソー ビスコン

AE減水剤 ヤマソー 90SE

スランプ保持剤 ヤマソー 2020



山宗化学株式会社
YAMASO CHEMICAL CO., LTD.

本社 〒104-0032 東京都中央区八丁堀2-25-5 ☎03-3552-1341 (代)
東京営業部 ☎03-3552-1261
支店 ●大阪/☎06-6353-6051 福岡/☎092-483-8567 札幌/☎011-662-5552
営業所 ●広島/☎082-237-3083 仙台/☎022-224-0321 北陸/☎0776-28-2566
出張所 ●静岡/☎054-202-5111 高松/☎087-863-7565
事務所 ●平塚/☎0463-23-5536

<https://www.yamaso-chem.co.jp/>

もくじ

02	令和6年能登半島地震について(会長談話)	… 不死原 正文
03	UR賃貸住宅の維持管理とコンクリートの50年経過時調査	… 田沼 毅彦
09	海中環境において40年供用された根固めブロックの耐久性調査	… 小池 賢太郎ほか
15	建設イノベーション 国土交通大臣の 認定取得3Dプリンター建築物「3dpod™」	… 坂上 肇ほか
23	ずいそう 飛行機に乗りたかった	… 五十嵐 心一
25	土木学会『2023年制定 コンクリート標準示方書 (施工編・ダムコンクリート編・規準編)』改訂の概要	… 二羽 淳一郎ほか
35	第51回(2023年度)セメント協会論文賞・受賞論文 赤外分光法を用いた大気CO ₂ 濃度下における セメント硬化体表面の炭酸化反応の湿度依存性に関する分析	… 佐伯 直彦ほか
41	セメント協会 研究奨励金による研究より 火山灰質土中のセメント系固化材反応と アロフェンによる反応阻害影響に関する研究	… 高橋 佑弥
49	セメント排ガスCO ₂ の分離回収とメタネーション技術	… 松島 正明ほか

22	HOT NEWS
57	外国雑誌の記事情報
59	EVENT GUIDE
61	第78回セメント技術大会 一般研究発表の募集のお知らせ
62	セメント・データファイル
63	主要建設工事・資材統計
65	3月号予告



今月の表紙

国土交通大臣認定を取得した3Dプリンター建築物・3dpod™[東京都／提供：(株)大林組]

令和6年能登半島地震について(会長談話)

一般社団法人セメント協会
会長 不死原 正文

この度の令和6年能登半島地震(以下、本地震といいます)によりお亡くなりになられた方々に謹んで哀悼の意を表するとともに、被災された皆様に衷心よりお見舞い申し上げます。

日を追うごとに建物倒壊や液状化による道路の寸断、津波の影響などが明らかになり、本地震の被害の甚大さに目を覆うばかりであります。

セメント業界と致しましては、避難生活を余儀なくされていらっしゃる方々の日常が一日でも早く戻りますよう、東日本大震災など過去の地震災害における取り組みと同様にセメント工場での災害廃棄物処理を積極的に進めてまいりますとともに、各関係先のご協力を頂きながら、被災地の復旧・復興に欠かせない資材でありますセメント及び地盤改良材などの安定供給体制を早急に整えます。

今般、当協会より本地震での被災地に向け、些少ながら義援金を送らせていただきますとともに、今後の復旧・復興に際しセメント業界をあげて最大限の協力をさせて頂く所存です。

セメント業界一同、被災地域の日も早い復旧・復興をお祈り申し上げます。

以上

UR賃貸住宅の維持管理と コンクリートの50年経過時調査

Maintenance and concrete survey on the 50 year old of UR rental housing complex

田沼 毅彦

1. はじめに

独立行政法人都市再生機構（以下，UR都市機構という）では，前身組織である日本住宅公団発足の昭和30（1955）年以降建設してきた鉄筋コンクリート造賃貸共同住宅（以下，UR賃貸住宅という）について現在，棟数にして約1万5千棟，住戸数にすると約70万戸（2023年3月末時点）を全国で管理している。そのうち，昭和30・40年代（1955～1974年）に建設された築50年以上の住宅が約8千4百棟と全体の約半数を占める。

UR都市機構は，UR賃貸住宅の維持管理を計画的に行ってきており，3年に一度の「安全点検」によって建物の安全性を欠く恐れのある事象が確認された場合には，その都度，補修を行っている。また，躯体の大きな補修や外壁仕上げの塗り替えなどの外壁修繕工事はおおむね18年周期で実施している。その工事実施の3年前には，修繕計画策定上の基礎資料とするために，躯体，仕上げに関する損耗および劣化の進行度合などに関する「計画点検」を実施している。そのうち3回目の外壁修繕工事前のタイミングで行う「計画点検」では，概ね建物供用開始後50年経過時を目安

に行う躯体調査として，外壁躯体からコンクリートコアを採取し，コンクリートの圧縮強度試験・中性化深さの測定などを行い，躯体の健全性の把握，修繕方法・補修材料の選定などに役立てている。

本稿では，コンクリート躯体に対する「安全点検」の内容とコンクリートの50年経過時調査の結果の一部について取りまとめた概要を報告する。

2. 安全点検

「安全点検」は，UR賃貸住宅などの居住者の事故などを未然に防止するため，安全性を欠く恐れのあるもの，および居住上支障を来す恐れのあるものなどを点検するものである。建物に関する点検では，3年に1回，外壁，階段室などの壁・天井・床，建具，防火戸，手摺，雨樋，屋根，落下防止庇などの各点検箇所について，破損，摩耗，変形，滅失などの箇所の有無などを主に目視により確認し，UR賃貸住宅などの安全性および居住性に対する影響程度を，次の判定基準に基づいてそれぞれ判定を行う。

- ① 判定 A-1：部分的な緊急修繕の上，全面的な点検を要するもの
- ② 判定 A-2：部分的な緊急修繕を要するもの
- ③ 判定 B：継続的な経過観察を要するもの（A-2まで至らないもの）

表 1 外壁で行う「安全点検」の内容と判定基準

劣化種別	点検内容	応急措置など	判定 A-1	判定 A-2	判定 B
			部分的な緊急修繕の上，計画点検（建物診断）を要するもの。	部分的な緊急修繕を要するもの。	継続的な経過観察などを要するもの。（A-2 まで至らないもの）
①剥 落 （欠損）	剥落箇所の有無を点検する。	落下の恐れのある場合，危険防止など（撤去または養生）の措置を行う。	1 m ² 程度のまとまった剥落箇所（欠損）が1箇所以上あるもの。	0.01 m ² （10 cm×10 cm）程度の剥落箇所（欠損）があるもの。	
②白華現象・漏水	白華現象・漏水の発生の有無を点検する。			白華現象・漏水の発生が著しいもの。	僅かに白華現象・漏水らしい現象が見られるもの。
③ひび割れ	ひび割れの有無を点検する。		ひび割れが壁面に全体的に発生しているもの。	ひび割れの中が著しく大きく，漏水の恐れのあるもの。	軽微なひび割れがあるもの。
④鉄筋露出	鉄筋，鉄骨の露出および腐食などの有無を点検する。			鉄筋の露出（ひび割れの併発および錆汁発生を含む）しているもの。	
⑤錆の流出	錆の流出の有無を点検する。			ひび割れ部などに著しい錆の流出が見られるもの。	僅かに錆の流出らしい現象が見られるもの。
⑥浮 き （ふくれ）	浮きおよびふくれの有無を点検する。		浮きおよびふくれが壁面に全体的（外壁点検面積の30%程度）に発生しているもの。 3 m ² 程度のまとまった浮きまたはふくれ箇所があるもの。	浮きまたはふくれがあり，剥落の恐れのあるもの。	多少の浮きまたはふくれはあるが，剥落の恐れのないもの。
⑦その他 （外壁塗膜）	外壁塗膜の経年による劣化であるふくれ，はがれ，変退色，白亜化，粉塵・カビなどによる汚れ具合を点検する。				全体的に著しい場合。

外壁については，表 1 に基づいて，モルタルまたはタイルの剥落，白華現象，ひび割れ，鉄筋露出，錆の流出，浮きなどの有無および外壁塗膜の状態（はがれ，変退色，白亜化，粉塵・カビなど）について，双眼鏡による外観目視，共用廊下・階段室などからの安全性を考慮した部分打診を手の届く範囲で実施し，判定している。

3. コンクリートの50年経過時調査

3-1. 調査概要

ここでは1959～1979年に関東圏（東京都，千葉県，神奈川県，埼玉県）で建設されたUR賃貸住宅878棟を対象に行ったコンクリートの圧縮強度試験，中性化深さの測定結果を報告対象とする。

878棟において躯体からコンクリートコアを採取し，2270本で圧縮強度試験，5897本で中性化深さ測定

を行った。なお，1本のコンクリートコアを圧縮強度試験用と中性化深さ測定用で兼用している場合がある。また，中性化深さの測定はコンクリートコアへのフェノールフタレイン溶液の噴霧によって行った。

圧縮強度試験用のコンクリートコアの試験時の経過年数と本数の度数分布を図 1 に，中性化深さ測定用のコンクリートコアの試験時の経過年数と本数の度数分布を図 2 に示す。調査実施時期は50年を目安としているが，実際は外壁修繕工事の実施時期等に影響されるので，50年経過時のデータが一番多いものの分布としては前後10年程度の幅がある。

3-2. 圧縮強度試験の結果概要

圧縮強度試験結果について，次の4つの建物工法ごとに区分し，強度2N/mm²単位の頻度分布で示した結果を図 3 に示す。

- ① 在来壁式工法



たぬま たけひこ / TANUMA Takehiko
（独）都市再生機構
博士（工学）

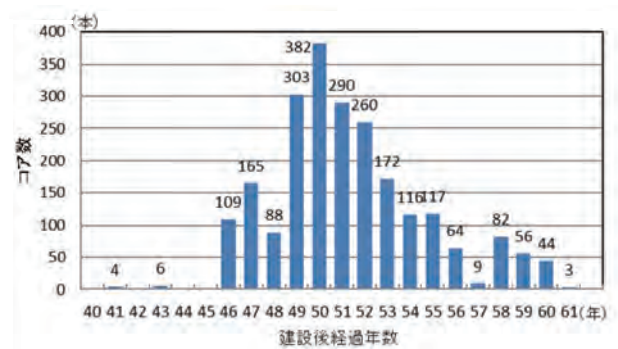


図1 圧縮強度試験用コアと試験時の経過年

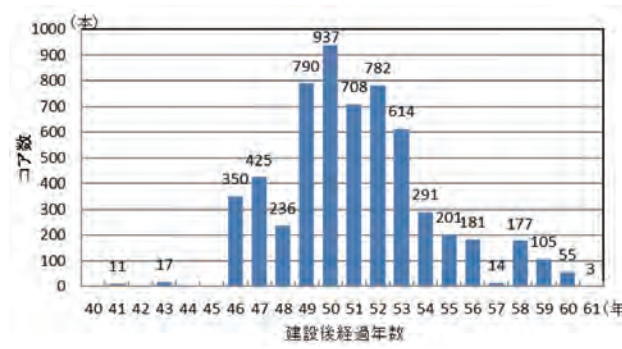


図2 中性化深さ測定用コアと測定時の経過年

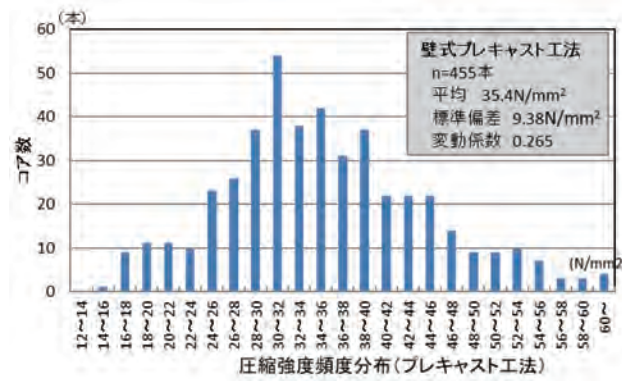
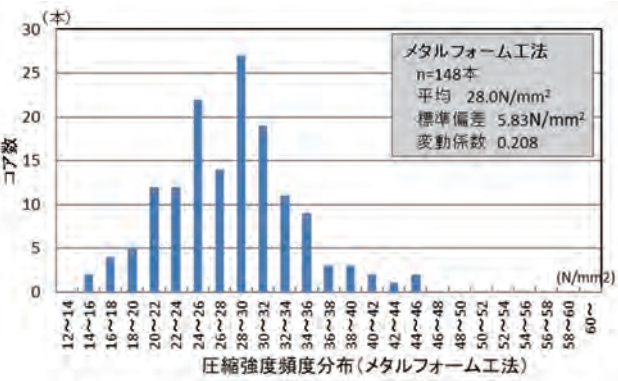
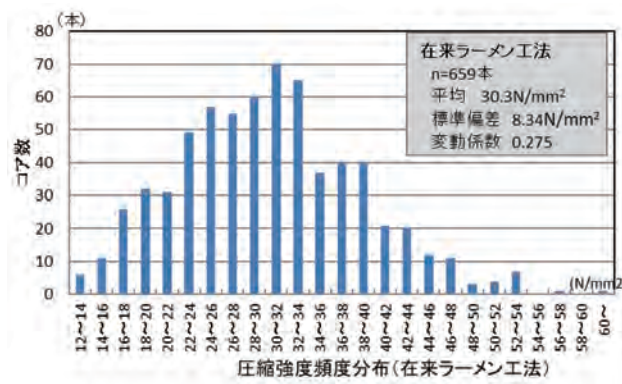
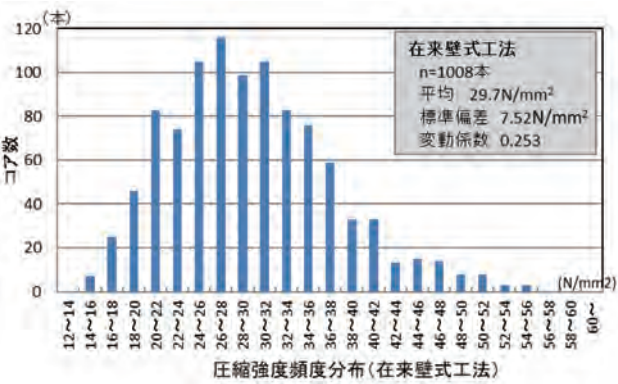


図3 建物工法別の圧縮強度試験結果

- ・壁式構造で、コンクリートは現場打ち。
- ・躯体にモルタル仕上げ20mm前後あり。
- ② 在来ラーメン工法
 - ・ラーメン構造で、コンクリートは現場打ち。
 - ・躯体にモルタル仕上げ20mm前後あり。
- ③ メタルフォーム工法
 - ・壁式構造で、コンクリートは鋼製型枠を使用した現場打ち。
 - ・躯体にモルタル仕上げはなし。
- ④ 壁式プレキャスト工法
 - ・壁式構造で、コンクリートはプレキャスト。

・躯体にモルタル仕上げはなし。

調査建物のコンクリートの設計基準強度は当時で165～210kg/cm²が中心である。それに対して築後50年前後経過した建物から採取したコンクリートコアによる圧縮強度試験結果の平均値は、在来壁式工法が29.7 N/mm²、在来ラーメン工法が30.3 N/mm²、メタルフォーム工法が28.0 N/mm²、壁式プレキャスト工法が35.4N/mm²であった。強度発現にばらつきは見られるが、多くの場合、設計基準強度を大きく上回っている。また、プレキャスト工法は他の現場打ちコンクリート3工法に比べて強度が高い傾向にある。

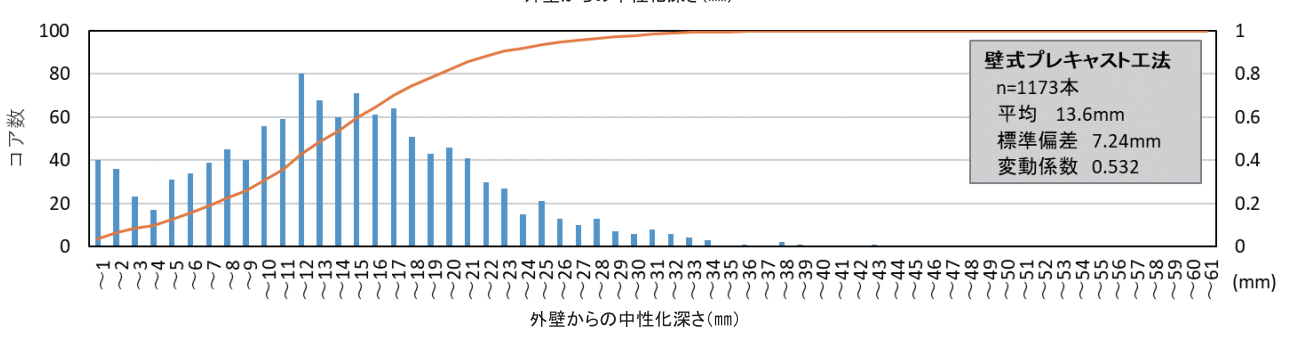
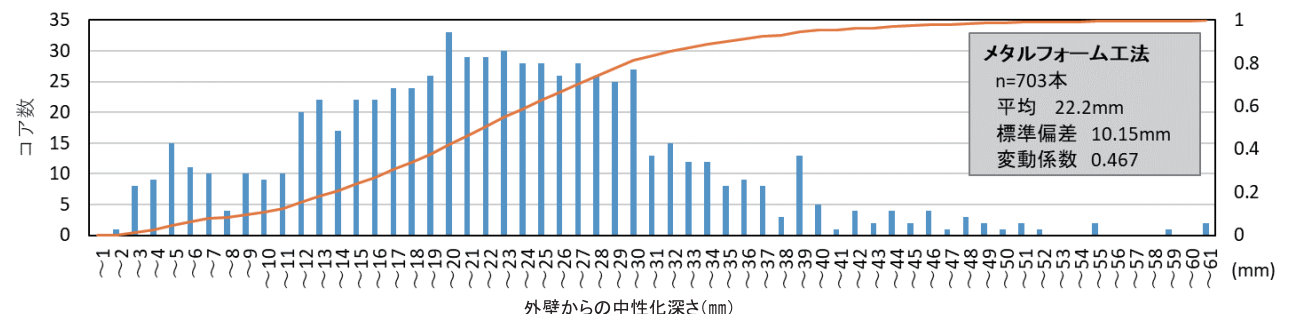
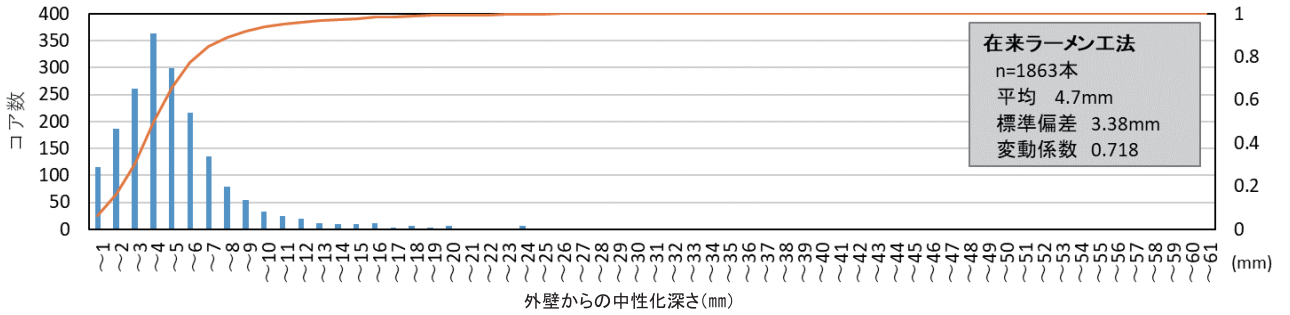
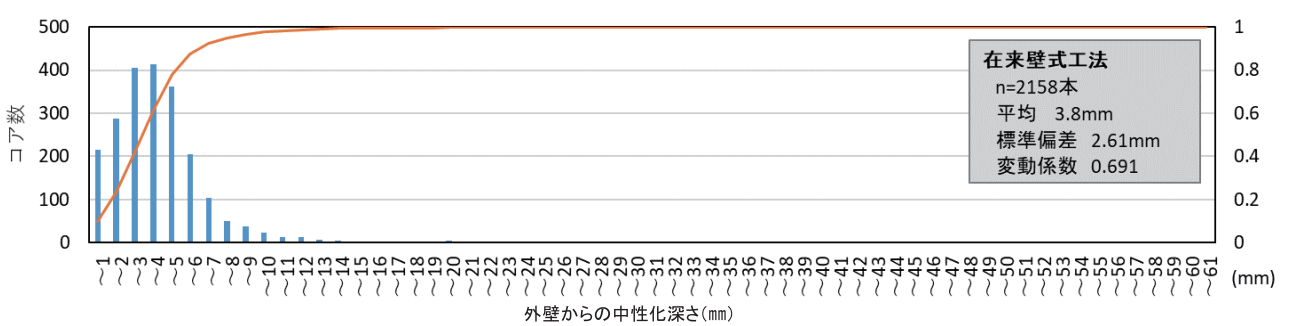


図4 建物工法別の中性化深さ測定結果

3-3. 中性化深さ測定の結果概要

中性化深さの測定結果について、圧縮強度試験と同様に4つの建物工法ごとに、中性化深さ1mm単位の頻度分布および累積相対度数曲線で示した結果を図4に示す。なお、ここでの中性化深さは屋外側からの値である。

また、中性化深さ(d)の進行は、経過年数(t)の平方根で表せるとする $\sqrt{t}$ 則によるとすれば、その進行度合いは中性化速度係数(A)によって評価することができる(式(1))。

$$d=A\sqrt{t} \dots \dots \dots (1)$$

d：中性化深さ(mm)

A：中性化速度係数(mm／ $\sqrt{\text{年}}$)

t：経過年数(年)

圧縮強度試験と中性化深さ測定を1本のコアで兼用したものについて、中性化速度係数を算出し圧縮強度との関係をプロットしたのが図5である。

これらの図より、コンクリートの中性化深さの進行は、コンクリートに施すモルタル仕上げの有無によって大きく違いがあることが分かる。

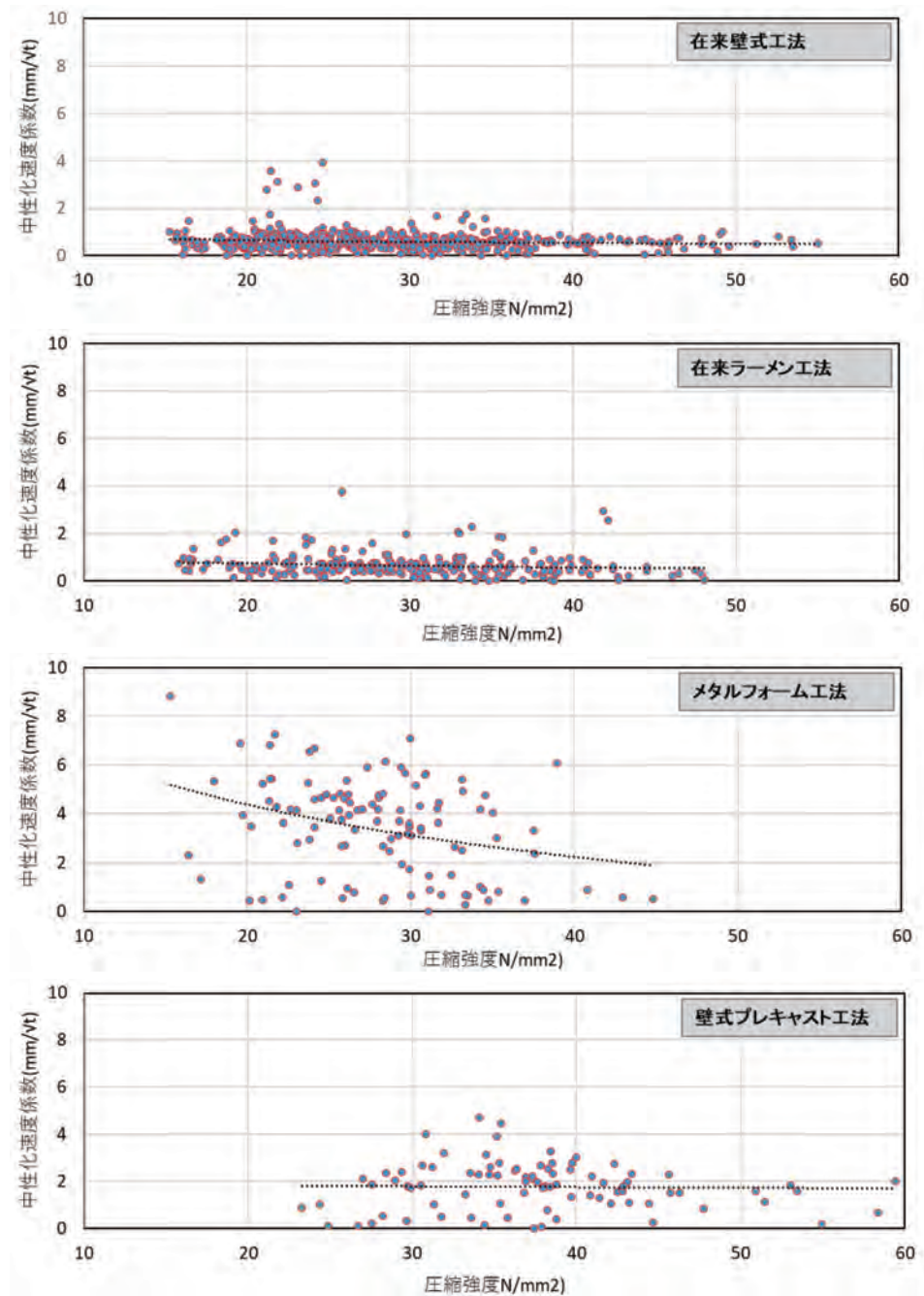


図5 建物工法別の圧縮強度と中性化速度係数の関係

在来壁式工法，在来ラーメン工法は，建設当時，型枠精度が十分でないことからコンクリート躯体表面の不陸を解消するために，仕様書上，コンクリートの上にモルタル20mm（不陸の度合いによっては，それより厚め）が施されることになっており，その上にリシンや塗料などの表面仕上げがされていた。

モルタルはセメント系材料であり，モルタル自身が中性化することからコンクリートの中性化進行を抑制する効果があり，モルタル厚さが厚ければ厚いほどその効

果は高くなる。

図4に示すように，メタルフォーム工法の平均中性化深さが22.2mm，壁式プレキャスト工法の平均中性化深さが13.6mmであるのに対して，在来壁式工法の平均中性化深さが3.8mm，在来ラーメン工法の平均中性化深さが4.7mmとかなり小さいのは，モルタル仕上げによる中性化抑制効果の有無の違いによる影響が大きい。モルタル仕上げがないのは共通であるが，メタルフォーム工法に比べてプレキャスト工法のほうが中性化

深さが小さいのは，工場製作である分，施工品質が確保されており，コンクリート躯体表面の品質，緻密さ等が現場打ちのメタルフォーム工法の躯体表面より優れているためと考えられる。

圧縮強度との関係で考察すると，図5に示すように，在来壁式工法，在来ラーメン工法は，圧縮強度との相関性が明瞭に表れない。これは，前述したように，モルタル仕上げがあることでコンクリートの中性化進行が抑制されており，かなり小さい値であるため，コンクリートの品質に影響される度合いが低いためであると思われる。

一方，メタルフォーム工法，壁式プレキャスト工法では，圧縮強度が大きいほど，中性化速度係数が小さくなる傾向が伺える。モルタル仕上げがないことから，中性化進行はコンクリートの品質や環境条件に影響される度合いが高くなり，圧縮強度が大きいことは，コンクリートがより緻密であることなので中性化進行は遅くなる。

中性化速度係数は，図5に示すように，モルタル仕上げが施された在来壁式工法，在来ラーメン工法では，そのほとんどが2（mm／√年）以下である。これは100年経過時でも計算上，中性化深さは20mm以下になることになり，建物の鉄筋に対するコンクリートのかぶり厚さは，部位にもよるが，設計図書上30mm以上あることから，建物の耐久性に影響を及ぼす鉄筋腐食の要因としてコンクリートの中性化が問題になることはほとんどないことを示している。

モルタル仕上げが施されていないメタルフォーム工法，壁式プレキャスト工法の中性化速度係数はばらつきが大きい，メタルフォーム工法にあっては4（mm／√年）以上，壁式プレキャスト工法にあっては2（mm／√年）以上が半数以上を占める。ただし，メタルフォーム工法の場合，コンクリートの圧縮強度が30N/mm²以上になると回帰式による中性化速度係数の値としては3（mm／√年）以下になり，平均値で考えれば100年経過時でも中性化深さは鉄筋のかぶり厚さ以下に収まる計算になる。

建物の供用期間中にコンクリートの中性化深さが鉄

筋位置まで達する可能性がある場合には，予防保全として，外壁修繕工事においてコンクリートの中性化進行を抑制する仕上げ材料で外壁を塗り直したりするなどの検討が必要になる。

しかし，仮に中性化領域に鉄筋があったとしても，雨（水）がかり無しのコンクリート含水率が低い環境条件では，鉄筋腐食が進行していない事例もあるように，中性化が鉄筋位置まで達してもただちに建物躯体の物理的な寿命とみなす必要はないため，中性化深さの測定結果によっては，コンクリート中の含水率試験を行い鉄筋の腐食環境条件を確認したり，はつりなどによる鉄筋の腐食度調査を行って実際に鉄筋の状態を確認することを50年経過時調査に組み合わせることで，より合理的に建物の耐久性判断が可能になる。

4. おわりに

保有するUR賃貸住宅のうち築50年以上が棟数の半数を占めるなか，その長寿命化を図るためにコンクリート外壁躯体に対して行っている3年に一度の「安全点検」の内容と50年経過時に行うコンクリートの調査結果について紹介した。

築50年を超える高経年住宅の管理が増えていくことを背景に，老朽化が進む箇所の点検強化や修繕が課題となっており，必要な点検内容の追加や点検周期・修繕仕様の見直しとともに更なる効率化，コスト縮減を図っていく方針である。修繕コストの抑制を図るための取組みとしては，団地特性に応じた修繕仕様の見直しやライフサイクルコスト改善に資する高耐久性材料採用の検討も実施している。また，点検結果の蓄積と有効活用することで点検・修繕などに関する計画の精度向上や業務の効率化を図るために，点検結果の電子データベース化を2014年度より開始した。点検データの蓄積と検索性の強化が図られ，長期間の点検結果に基づく分析（団地特性別の劣化傾向の把握など）が容易となり，適切な修繕時期の判定など修繕計画策定の基礎データとして有効活用が可能となっている。

海中環境において40年供用された 根固めブロックの耐久性調査

Investigation on Durability of Concrete Foot-Protection Block Used for 40 Years
under the Submarine Environment

小池 賢太郎 山路 徹

1. はじめに

近年，SGDsやカーボンニュートラルの実現に向けて，コンクリート構造物の耐久性向上や環境負荷低減を目的に，コンクリート用材料への未利用資源，リサイクル材料の利活用および新材料開発に期待が集まっている。港湾分野では，これらの材料の利用促進を目的に各種ガイドライン・マニュアル^{例えば1,2)}の整備が進められているものの，普及が進んでいない場合の方が多い。その原因として，主に以下の2つが挙げられる。

- (1) 未利用資源，リサイクル材料，新材料を適用した場合の保有性能(特に耐久性)が不明確
- (2) 供給体制などに難があり，結果として高コストになる

ここで，(1)に関して，「港湾の施設の技術上の基準・同解説³⁾」において，「コンクリートの配合条件は，耐久性を考慮して適切に定める必要がある。」としつつ，コンクリート配合条件の参考表として**表1**が示されている。この表は，港湾における既往のコンクリート

構造物の調査結果，海水の作用を受けるコンクリートの耐久性に関する研究成果や知見に基づいて定められたもので，同表より通常の方法を用いたコンクリート，例えばJISコンクリートであれば，無筋コンクリートの場合は水セメント比を0.60～0.65に設定すれば，耐久性が確保されるとしている。

すなわち，未利用資源，リサイクル材料，新材料を使用したコンクリートの耐久性が，水セメント比0.60～0.65程度の通常材料を用いたコンクリートと同程度であれば適用上の制約はないこととなる。しかしながら，実態としては，適用する構造物，構造部材で必要とされる耐久性は必ずしも明確ではなく，さらにどのような指標を以って保有性能を評価すべきかも明確ではない。

本稿では，「根固めブロック(無筋コンクリート)」を対象とし，このコンクリートが海洋環境(海中部)において，長期経過後にどのような性能を保持しているのかを確認することを主目的として，実部材を対象とした調査を行った。具体的には，海中部で約40年間供用された後に陸に引き上げられた根固めブロック数体に対し，コア採取等を行い，力学特性および耐久性に関する評価を行った。

2. 海水作用による海洋コンクリートの劣化に関する既往の知見

海洋コンクリートは，長期間海水に曝されることでコ

表1 構造部材別のコンクリート配合条件の参考表

種類	構造部材の種類別	配合条件		粗骨材の 最大寸法 (mm)
		最大水セメント比		
		凍結融解が しばしば繰返 される地域	氷点下の気温 となることが まれな地域	
無筋コン クリート	防波堤上部工，ふたコンクリート，本体ブロック，異形ブロック(消波・被覆)，根固めブロック，袋詰めコンクリート	65	65	40
	係船岸上部工，胸壁，係船直柱基礎（重力式）	60		
鉄筋コン クリート	係船柱基礎（杭式），胸壁，係船岸上部工	60	65	20, 25, 40
	栈橋上部工等	-	-	-
	ケーソン，ウェル，セルラーブロック，L型ブロック	50	50	20, 25, 40
	消波ブロック	55	55	20, 25, 40
	控壁，控杭上部工	60	60	20, 25, 40
エプロン舗装		-	-	20, 25, 40



写真1 根固めブロックのコア採取の様子



写真2 根固めブロック天端の浮泥

ンクリートが変質する。今回の調査対象とした根固めブロックでも，海水作用による劣化が想定されたため，ここでは海水作用によるコンクリートの劣化について既往の知見を取りまとめた。

海水作用によるコンクリートの劣化は，1960年代には事例が報告されるなど古くから知られており^{4,5)}，現在に至るまでに数多くの研究者らにより，劣化機構の解明や評価手法などの検討がされてきた^{4～10)}。これらの文献によると，海水作用による劣化機構について，コンクリート中成分や海水由来の多種イオンの影響として以下の知見を示している。

- (1) 海水とコンクリート表面が接触することによるコンクリート表層でのCa溶脱，およびそれに伴うブルーサイトの生成
- (2) 海水由来のMgが多く，かつ溶脱によりCaが少ない領域でのケイ酸マグネシウムの生成，およびそ

れに伴う微細ひび割れの発生

- (3) 海水由来のSが多い領域でのエトリンガイトおよびソーマサイトの生成
- (4) 海水由来のClが高い領域では必ずしも変質が見られるわけではない

3. 試験概要

3-1. 根固めブロックの諸元

本研究では，港湾施設内の根固工として約40年間海中に設置されていた根固めブロックを3体選定し，引き揚げ調査を行った。**写真1**に海中から引き揚げた後の根固めブロックの外観及びコア採取の様子を示す。根固めブロックの寸法は，長さ3.25m×幅2.5m×高さ1.0mであり，ブロック天端には，**写真2**に示すように礫まじりの浮泥が確認された。また，浮泥の堆積

こいけ けんたろう / KOIKE Kentaro
(国研)海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所
構造研究領域材料研究グループ
主任研究官 博士(工学)

やまじ とおる / YAMAJI Toru
同上
グループ長 博士(工学)

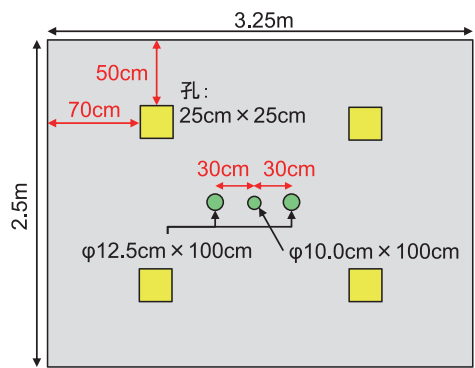


図1 コア抜き箇所(天端)

表2 試験項目と適用試験規格

試験項目	規格
配合推定	セメント協会法 ¹¹⁾
圧縮強度	JIS A 1107
静弾性係数	JIS A 1149
割裂引張強度	JIS A 1113
超音波伝播速度	NDIS 2426-1
中性化深さ	JIS A 1152
EPMA	JSCE-G574
ビッカース硬さ	JIS Z 2244

状況はブロックごとで異なっていた。

3-2. コア採取箇所および試験内容

各ブロックに対して、図1に示す位置からφ12.5cm×100cmのコアを2本ずつ、10cm×100cmのコアを1本ずつ採取した。採取したコアに対して、図2に示す位置から試料を切り出し、配合推定試験、圧縮強度、静弾性係数、割裂引張強度、超音波伝播速度試験、中性化深さ、EPMA、ビッカース硬さ試験を実施した。なお、適用した試験規格は表2に示すとおりである。

4. 調査結果および考察

4-1. 配合推定

採取コアの観察より、青黒い色と硫黄化合物の匂いから、高炉スラグ微粉末が使われていると判断された。また、骨材には、砂岩、チャートその他、溶結凝灰岩や

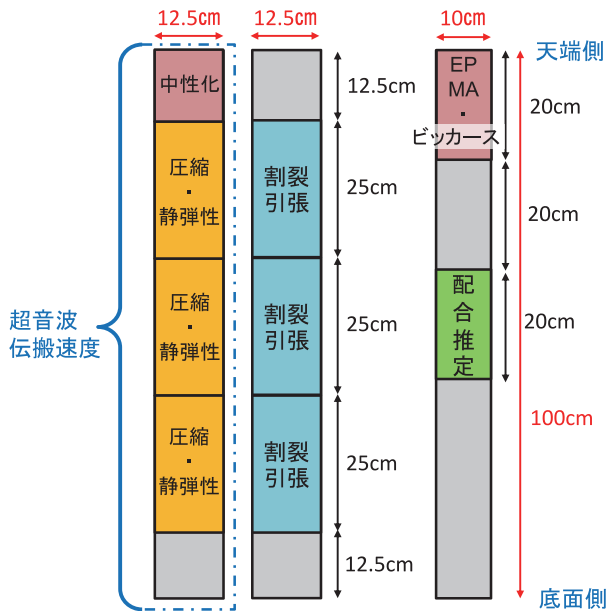


図2 採取コアに対する各種試験適用箇所

表3 配合推定結果

水セメント比 (%)	単位量 (kg/m³)			単位体積質量 (kg/m³)
	水	セメント	骨材	
57	116	202	2075	2393

頁岩がわずかに含まれていた、また、ごくわずかではあるが貝殻も確認された。最大粗骨材寸法は40mmであった。

表3に配合推定の結果を示す。W/Cは57%であり、単位水量が低いことから、通常よりも骨材量が多い配合であることが確認された。ただし、今回の配合推定では、最大粗骨材寸法が40mmである本ブロックに対してφ100mm×200mmの試料を用いたため、測定精度が低い可能性も考えられる。

4-2. 力学的特性

図3に各根固めブロックから採取したコアの圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。同一ブロック内で圧縮強度のバラつきが認められるものの、コンクリート標準示方書2022で提案されている関係式と比較したところ、いずれも同程度の傾向を示していることが確認された。

図4に各ブロックの平均圧縮強度と平均引張強度と

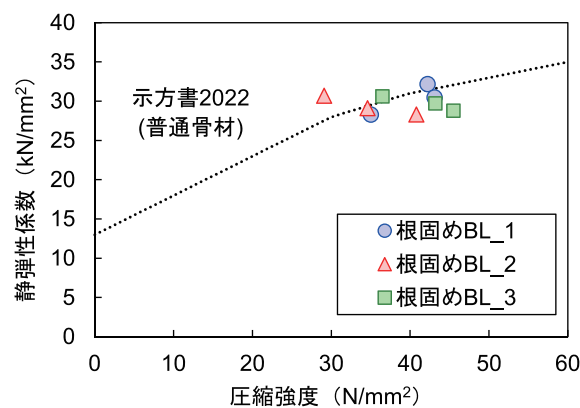


図3 圧縮強度と静弾性係数の関係

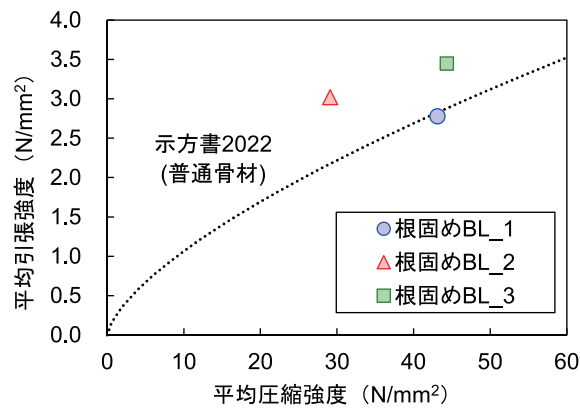


図4 平均圧縮強度と平均引張強度の関係

表4 超音波伝播速度とコンクリート品質の関係

超音波伝播速度 (km/s)	コンクリート品質
4.57 以上	優
3.66 – 4.57	良
3.05 – 3.66	やや良
2.13 – 3.05	不良
2.13 以下	不可

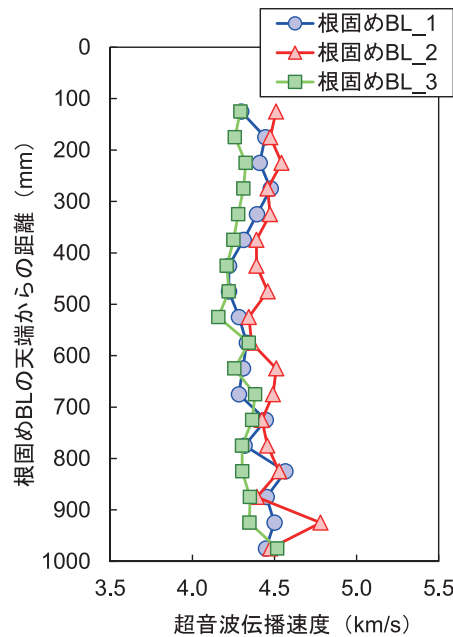


図5 超音波伝播速度の深度方向分布

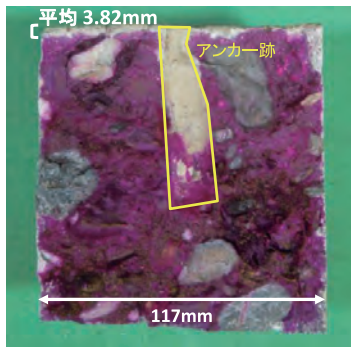


写真3 中性化深さ

の関係を示す。コンクリート標準示方書2017で提案されている関係式と比較して、引張強度が高い傾向にあった。本試験では、中性化の影響がない内部側の試料を用いたことから、少なくとも中性化していない範囲では、力学特性に問題がないことが確認された。

4-3. 超音波伝播速度分布

図5に各根固めブロックから採取したコアの超音波伝播速度分布を示す。なお、採取コアを引き抜くために打ち込んだアンカーの影響を避けるため、125mm以深で測定を行った。いずれの根固めブロックもおおむね同程度の超音波伝播速度分布を示しており、深さ

方向での品質のバラつきなどは確認されなかった。また、LeslieおよびCheesman¹²⁾は、超音波伝播速度とコンクリート品質の関係として表4を示しており、この指標に今回の結果を照合すると、いずれの根固めブロックも「優」もしくは「良」という判定になり、十分な品質を有していることが考えられる。

4-4. 中性化深さ

写真3に中性化深さの測定に用いたコア断面の一例を示す。陸上構造物では、中性化は大気中の二酸化炭素が主な原因となるが、港湾構造物である根固めブロックは常時海中に存在することからCaの溶脱が

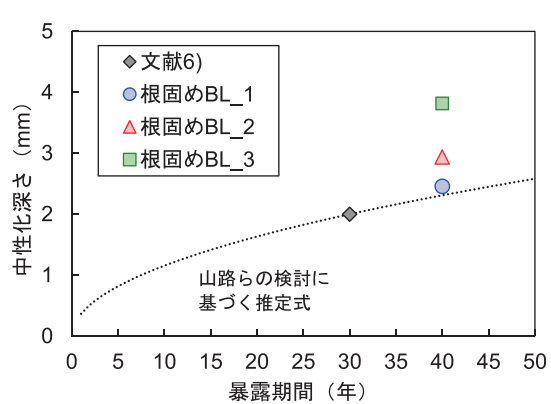


図6 中性化深さの実測値と推定式との関係

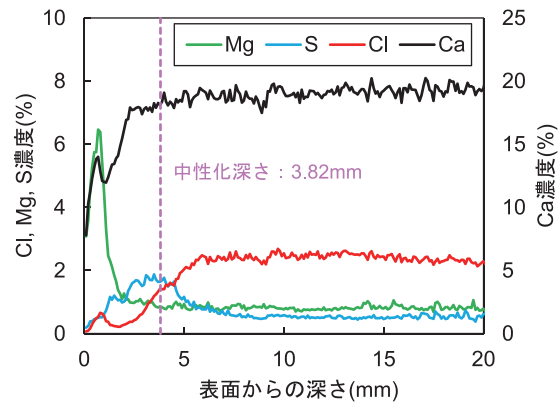


図7 各種元素の濃度分布と中性化深さ

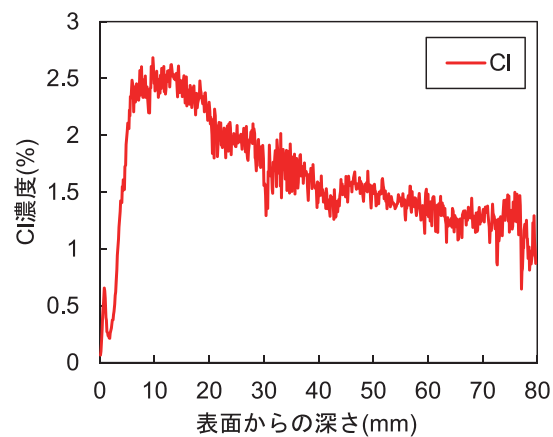


図8 Clの濃度分布

主な原因となる。

図6に中性化深さの実測値と推定式との関係を示す。ここで、推定式とは、山路ら⁶⁾が示した海中部に30年暴露した高炉セメントB種(W/C52%)の試験体の中性化深さの結果を基に設定した中性化予測式である。

今回の根固めブロックの結果に着目すると、ブロックごとで中性化の進行状況に多少の違いはあるものの、設置から40年経過したにもかかわらず、中性化深さは最大でも3.82mmと極めて小さいものであった。また、既往の研究に基づく推定式と比較すると、根固めブロックの方が値は大きいものの、これは既往の研究に比べて根固めブロックの水セメント比が大きいことが影響していると考えられる。

4-5. EPMA

4-4.にて、最も中性化深さが大きかった「根固め

BL_3」を対象にEPMAを実施した。図7にコンクリート表面から20mmまでのMg, S, Cl, Caの各種元素の濃度分布および中性化深さを示す。また、図8には、コンクリート表面から80mmまでのCl濃度分布を示す。なお、これらの結果は骨材の影響を除去し、セメントペースト部分のデータのみを抽出、整理したものである。

各種イオンの溶脱、侵入範囲に着目すると、Caは溶脱により2.2mmまで減少していることが確認された。また、Mgの侵入は2.0mmまで確認でき、Caの溶脱範囲とおおむね一致した。これは、2.で説明したように、海水とコンクリート表面との接触によるコンクリート表層でのCa溶脱、およびそれに伴いブルーサイトが生成していると考えられる。

一方、Clは今回測定した範囲である80mmまで浸透が確認されており、80mm以降もClが浸透していることは図8からも明らかである。また、コンクリート表層

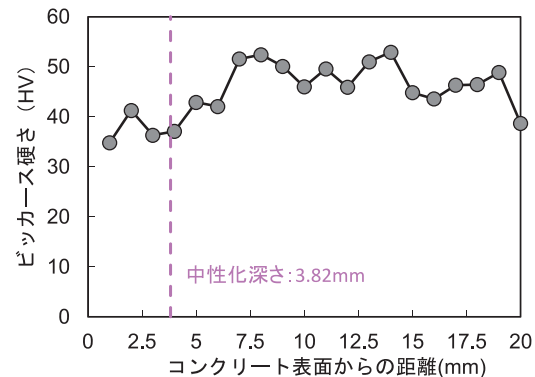


図9 ビッカース硬さ分布

でのCl濃度分布に着目すると、6mm付近をピークにこれより表層側ではCl濃度が減少する傾向が確認された。これはSの侵入に伴い、表層部のフリーデル氏塩がエトリンガイトに転化し、Clの固定量が減少したことが原因であると考えられる¹³⁾。

4-6. ビッカース硬さ

図9にビッカース硬さ分布を示す。なお、1深度当たり20点の測定を行い、平均した値をその深度におけるビッカース硬さとした。ビッカース硬さの低下範囲は表層から6mm程度となり、中性化深さ3.82mmよりも深い範囲となった。ビッカース硬さが低下した要因として、Ca溶脱およびMg侵入に伴うケイ酸マグネシウムの生成により微細ひび割れが発生したと考えられる他、4-5.で述べたフリーデル氏塩のエトリンガイトへの転化が、エトリンガイトの膨張圧による微細ひび割れの発生に至った可能性も考えられる。しかしながら、海中環境に40年設置されていたにも関わらず、海水作用による劣化はごく表層に限定されていたといえる。

5. まとめ

海洋環境(海中部)における「根固めブロック(無筋コンクリート)」が、長期経過後にどのような性能を保持しているのかを確認することを主目的に、海中部で約40年間供用された根固めブロックに対して、力学特性および耐久性に関する調査を実施した。以下に本調査で得られた知見をまとめる。

(1) 超音波伝播速度より、調査を行った根固めブロックは高い品質を有していることが確認された。

(2) 中性化深さ、EPMAの結果より、ごく表層部にてCa溶脱とMg, Sの侵入が確認された他、ビッカース硬さの低下も確認されたことから、海水作用によるセメント水和物の変質が示唆された。

(3) 海水作用による劣化は、ごく表層部に留まっていたため、圧縮強度などの力学的特性に及ぼす影響は確認されなかった。

【謝辞】本調査については、国土交通省近畿地方整備局 神戸港湾空港技術調査事務所のご協力の下で実施した。ここに御礼申し上げる。

【参考文献】

- 1) 国土交通省港湾局、航空局／港湾・空港等整備におけるリサイクルガイドライン(改訂)、2023
- 2) 国土交通省関東地方整備局、港湾空港部：港湾工事等における低炭素型材料の活用マニュアル(Ver. 1.0)、2023
- 3) 国土交通省港湾局監修／港湾の施設の技術上の基準・同解説(上)、日本港湾協会、2018
- 4) Mather, B.／Effects of sea water on concrete, Highway Research Record, Highway Research Board, pp.33～42, 1964
- 5) Lea, F. M.／The Chemistry of Cement and Concrete, Arnold, London, 1970
- 6) 山路徹／海洋に位置するコンクリート構造物の耐久性評価手法に関する研究、港湾空港技術研究所 資料, No.1232, 125p., 2011
- 7) De Weerd, K., Justnes, H. and Geiker, M. R.／Changes in the phases assemblage of concrete exposed to sea water, Cement & Concrete Composites, Vol.47, pp.53～63, 2014。
- 8) 与那嶺一秀, 山路徹, 川端雄一郎／海水作用を受けるコンクリートの局所的劣化に対する一考察, セメント・コンクリート論文集, Vol.71, No.1, pp.425～431, 2017
- 9) De Weerd, K., Lothenbach, B. and Geiker, M. R.／Comparing chloride ingress from seawater and NaCl solution in Portland cement mortar, Cement and Concrete Research, Vol.115, pp. 80～89, 2019
- 10) 直町聡子, 加藤佳孝／海水中の多種イオンを考慮したセメント硬化体の塩化物イオンの浸透性状, 土木学会論文集 E2(材料・コンクリート構造), Vol.77, No.3, pp.78～91, 2021
- 11) セメント協会／コンクリート専門委員会報告F-18, 硬化コンクリートの配合推定に関する共同試験報告, 1967
- 12) J. R. Leslie and W. J. Cheesman／An Ultrasonic Method of Deterioration and Cracking in Concrete Structures, ACI, 1949
- 13) 渥美洋一, 下林清一／港湾コンクリート構造物の耐久性評価, 日本沿岸域学会論文集, Vol.10, pp.193～205, 1998

建設イノベーション 国土交通大臣の 認定取得3Dプリンター建築物「3dpod™」

Design and Construction of Building (3dpod™) Using a 3D Construction Printer

坂上 肇 石関 嘉一 大川 悠奈 北村 勇斗

1. はじめに

近年、国内外においてセメント系材料を用いた建設用3Dプリンター（以下、3DPと称す）の研究開発が行われている。現状、3DPは、セメント系材料のみを材料とするものが多く、部材に生じる引張力への抵抗方法が課題となっている。

これに対して筆者らは、3DP製の打込み型枠（以下、打込み型枠と称す）に常温硬化型の超高強度繊維補強コンクリート「スリムクリート®」（以下、スリムクリートと称す）を充填する複合法（以下、本工法と称す）を開発している。スリムクリートは、セメント系材料でありながら、高い引張強度や曲げ強度に加え、引張靱

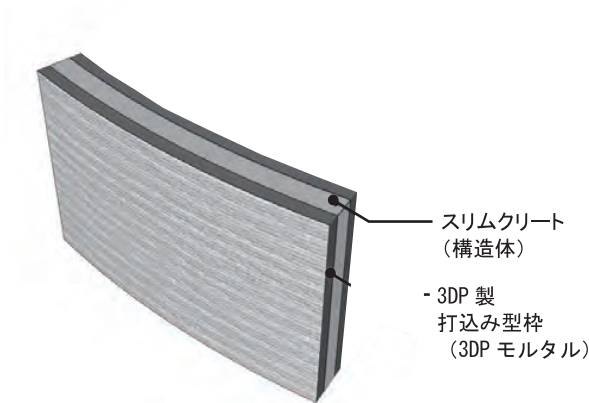


図1 複合構造の概要

性も有するため、単独でも構造体として使用できる材料である。

本稿では、本工法による建築物の設計施工に関する知見の収集と実証を目的として建設した建築物「3dpod™」（以下、3dpodと称す）の設計施工の概要について述べる¹⁾。

2. 複合構造

2-1. 複合構造の構成

複合構造は、図1に示すように、3Dプリントしたセメント系材料（以下、3DPモルタルと称す）製の打込み型枠の内部にスリムクリートを打ち込んで製造する。3DPモルタルは、スリムクリートの打込み後も存置するため、打込み時の型枠であると同時に内外装材も兼ねている。

スリムクリートは、自己充填性を有する材料のため、

表1 3DPモルタルの配合

水プレミックス 粉体比(%)	単位量(kg/m ³)		
	水	プレミックス粉体	凝結遅延剤※
16.8	267	1590	3.18

※凝結遅延剤の添加率は適宜調整する

表3 スリムクリートのフレッシュ性状の規格値

試験項目	規格値	試験方法
モルタルフロー	260±30mm	JIS R 5201 (落下なし)
空気量	3.5%以下	JIS A 1128

表2 スリムクリートの配合

水プレミックス 粉体比(%)	単位量(kg/m ³)				鋼繊維 (kg/m ³)
	水	プレミックス 粉体	細骨材	高性能 減水剤※	
12.6	230	1830	330	18.8	157

※高性能減水剤の添加率は適宜調整する

表4 スリムクリートの強度の特性値

試験項目	特性値	試験方法
圧縮強度	180N/mm ²	JIS A 1108
ひび割れ発生強度	8.0N/mm ²	JIS A 1113
引張強度	8.8 N/mm ²	JSCE 127-3.2.3
曲げ強度	25.1 N/mm ²	JIS A 1106
ポアソン比	0.2	ゲージにより計測

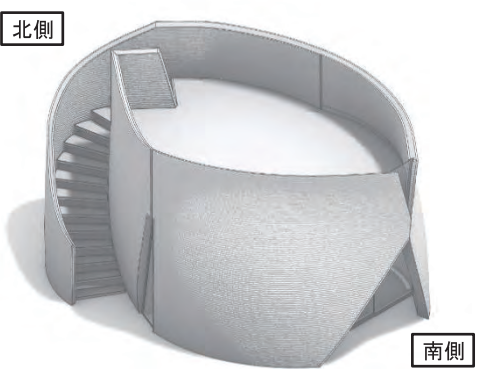


図2 外観図

3DPで製造した三次元形状の打込み型枠への充填も容易である。また、鉄筋の配筋が原則不要で、ポンプ圧送も可能な材料のため、打込みの機械化や自動化への展開がしやすい。そのため、スリムクリートは、デザイン自由度の向上や自動化施工による省力化といった3DPの特長を生かすことができる。

2-2. 3DPモルタル

表1に3DPモルタルの配合を示す。3DPモルタルは、硬化促進剤を混合したプレミックスモルタルを使用し、凝結遅延剤による硬化速度の調整を行う。また、雰囲気温度の変化のある屋外環境でも、凝結遅延剤の調整によってプリントが可能である。また、初期ひび割れの防止や積層時の形状保持を目的として、PVA（ポリビニルアルコール）繊維を混合している。強度は、圧縮強度60N/mm²、引張強度4.0N/mm²程度である。

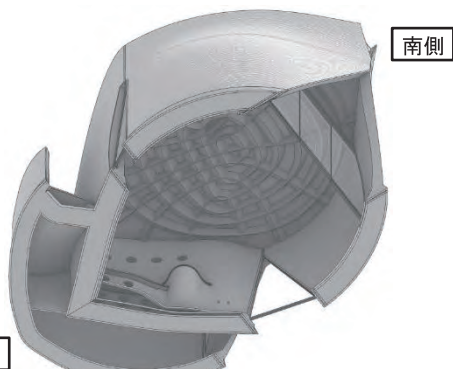


図3 内観図（見上げ）

2-3. スリムクリート

スリムクリートは、土木学会の「超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針（案）²⁾」（以下、UFC指針と称す）に準拠したセメント系複合材料であり、プレミックス粉体、細骨材、水、高性能減水剤、および鋼繊維で構成されている。表2にスリムクリートの配合を示す。なお、UFC指針の標準材料が加熱養生を必要とするのに対して、スリムクリートは、常温で硬化する点が異なる。フレッシュ性状の規格値を表3に、強度の特性値を表4に示す。なお、スリムクリートは、2012年に土木学会より技術評価³⁾を受けた材料である。

3. 建築設計

3-1. 建築物の概要

図2、図3に3dpodの外観、内観図（見上げ）を、



さかがみ はじめ / SAKAGAMI Hajime
(株)大林組 技術研究所
副主任研究員



いしぜき よしかず / ISHIZEKI Yoshikazu
同上
主席技師 博士(工学)



おおかわ はるな / OKAWA Haruna
同上
研究員



きたむら ゆうと / KITAMURA Yuto
同上
研究員

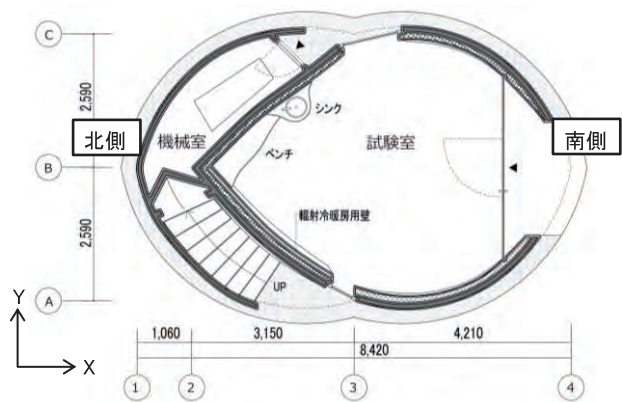


図4 平面図

表5 建築概要

延べ面積	27.09 m ²	基礎底	0.500m(地盤面より)
階数	1階	基準階高さ	2.700m
高さ軒高	2.800m	構造種別	地上部 UFC造
建築物の高さ	4.040m	基礎	RC造直接基礎



図7 屋上スラブ(1階からの見上げ)

図4に平面図を、図5に外観パースを示す。また、表5に3dpodの建築概要を示す。3dpodは、断熱、防水を施すとともに電気、空調、給排水の基本設備を備えている。建物の全体形状は、省材料で広い空間が得られる設計となっている。将来的な3DPによる建築の多層化を見据えて屋上は陸屋根として、ここに至るための外部階段を設けた。また、地上構造物のすべてに本工法を用いた。そして、屋上スラブ、屋外階段の踏板を除くすべての部材の打込み型枠をオンサイトでプリントする計画とした。オンサイトプリントは、3DPが計画建物を包含するように、南北2か所に盛り替えながら行った。屋上スラブの打込み型枠は、プレキャスト製とし、敷き並べて、上部にスリムクリートを打設する計画とした。



図5 外観パース

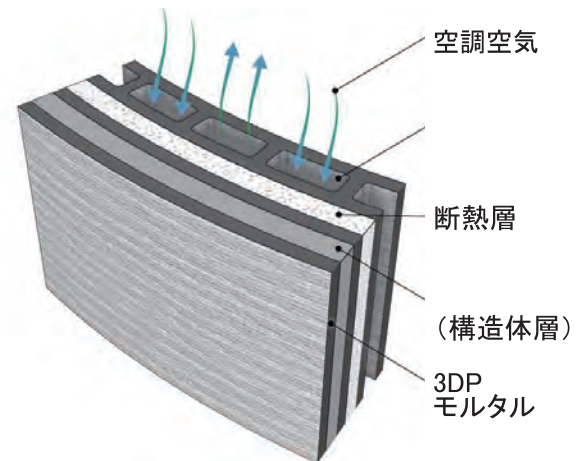


図6 複層壁の概要

3-2. 複層壁

図6に壁の概要を示す。壁は、構造部材となるスリムクリートの層(構造体層)、断熱層、設備層の最大三層からなる複層壁である。3DPで打込み型枠の外周部と各層を隔てる隔壁をオンサイトでプリントする。躯体工事と同時に断熱、設備工事の一部を行うことで工期短縮および省力化を図った。断熱層には、断熱材としてビーズ状のポリスチレンフォームを充填した。設備層は、主に電気の縦配管として利用するが、一部の壁面には、空調空気を流入させることで放射冷暖房となる機能を持たせている。

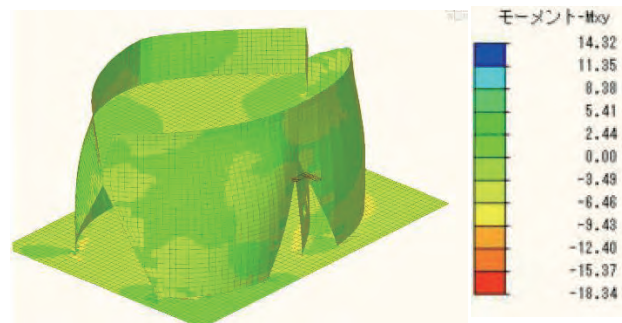
3-3. リブ付きスラブ

図7に屋上スラブの1階からの見上げを示す。屋上スラブは、リブ付きスラブとした。リブ配置は、屋上スラブに生じる応力の主応力線に基づき行った。この形状を在来工法で製造することは非効率かつ困難だが、3DPを用いればこの点を改善でき、3DPの特長を生か

表6 スリムクリートの許容耐力

F _c (N/mm ²)	長期許容耐力		極めて稀に発生する 地震時許容耐力		ヤング 係数 (N/mm ²)
	圧縮縁 (N/mm ²)	引張縁※ (N/mm ²)	圧縮縁 (N/mm ²)	引張縁(N/mm ²) (ひび割れ耐力)	
180	60	4	120	8	4.60×10 ⁴

※引張縁の長期許容耐力はひび割れ耐力(8.0N/mm²)に対して安全率2を見た値とする。



■モデル化の条件
 ・メッシュ分割は、200mm×200mm 以下
 ・各部位の厚板要素(4面体要素)の厚さ
 基礎:300mm, 壁:60~100mm, 階段部スラブ:60mm
 屋上スラブ:120mm(※リブ厚さ含む平均厚さ)

図8 FEM解析の例(面外曲げモーメント)

した複雑な形状のデザインを実現し、かつ使用材料を低減できた。

4. 構造設計

4-1. 構造計画の概要

地上部は、スリムクリートを構造部材とする壁式構造で、3DP製の型枠は非構造部材として扱う。スリムクリートの許容耐力を表6に示す。基礎部分は、基礎スラブ形式の直接基礎である。構造計算では、長期荷重時、積雪時、風圧力時、稀に発生する地震時、極めて稀に発生する地震時について検討した。

4-2. 構造計算の概要

特殊な材料及び特殊な構造方法を用いた建築物であるため、建築基準法第20条の構造耐力の性能評価を受けて国土交通大臣の認定を取得し建築確認を得た。なお、壁の多い小規模建築物であるため、日本建築センター発行の時刻歴応答解析建築物性能評価方法書⁴⁾より、時刻歴応答解析の適用除外となった。

そのため、上部構造と基礎構造を一体とした立体FEM解析(マイダスアイティジャパン社製Midas iGenを使用)を用いた静的応力解析により構造計算を行った。なお、応力は、FEM解析モデルの最大・最小主応力度によって評価した。また、地震荷重の加力方向は、図4に示したX正負方向、Y正負方向、X軸に対する45度、135度、225度、315度方向の計8方向とした。図8に、FEM解析結果の一例(Y正方向)を示す。また、FEM解析におけるモデル化の条件は、図中の通りとした。

(1) 長期荷重時の設計方針

建築基準法施行令(以下、施行令と称す)に基づき、固定荷重および積載荷重を設定した。各部材に生じる応力度は、スリムクリートのひび割れ耐力に対して安全率2以上とした。また、屋上スラブの鉛直変形は、弾性たわみに変形増大係数16を乗じた値が、スパン長さの1/250以下となるようにした。

(2) 短期荷重時の設計方針

積雪荷重および風圧力は、施行令に基づき設定した。地震力は、稀に発生する地震動に対してせん断力係数0.2、極めて稀に発生する地震動に対してせん断力係数1.0に偏心による割り増しを考慮してせん断力係数を1.5とした。各部材に生じる応力度は、圧縮縁は圧縮強度(180N/mm²)に対して安全率1.5以上、引張縁はひび割れ耐力(8.0N/mm²)以下とした。ただし、極めて稀に発生する地震動に対して、FEM解析モデルにおけるメッシュ引張縁の最大主応力度がひび割れ耐力を超過することを部分的に許容した。その値は、実験結果のひび割れ耐力³⁾の平均値である15N/mm²までとし、引張縁の最大主応力度がひび割れ耐力を超えるメッシュを全体の5%以下とした。実験

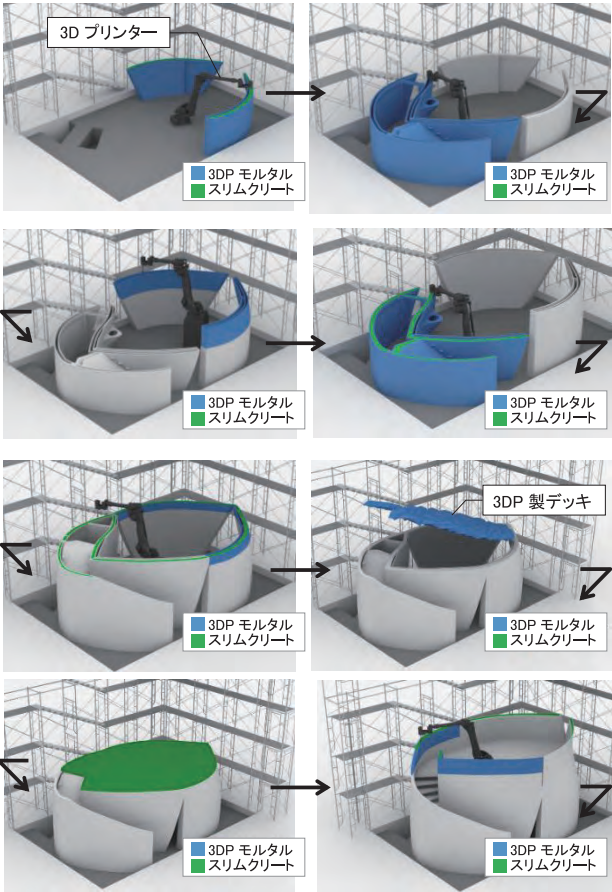


図9 施工ステップ

結果の平均値の15N/mm²までに抑えることで、ひび割れによる剛性低下の影響を考慮せず、弾性解析した。また、層間変形角は、1/100以下とした。

5. 施 工

5-1. 施工概要

図9に施工ステップを示す。南北2か所の3DPの設置位置を基に、工区を分割した。各工区では、打込み型枠が所定の高さになるまでオンサイトでプリントした後、構造部材となるスリムクリートを打ち込んだ。なお、打込み高さは、打込み時の側圧を考慮して計画した。屋上スラブのプレキャスト製の打込み型枠(以下、デッキと称す)は、所定の高さまで1階壁のスリムクリートの打込みが完了した後、揚重機で設置した。屋上スラブのスリムクリート打込み後に、3DPをこの上へ据え付けた。そして、2階の立ち上がり壁を想定したパラペット部をプリントした。

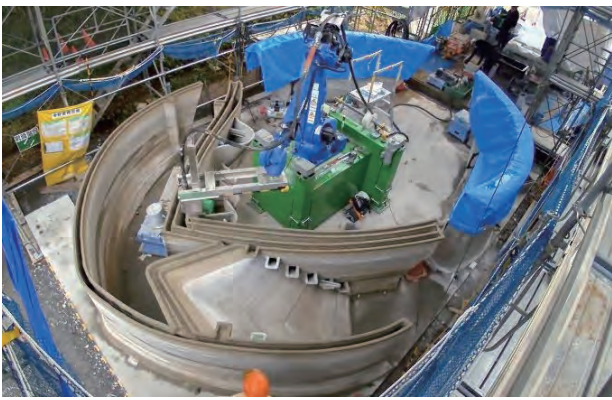


写真1 3Dプリンター



写真2 複層壁のプリント



写真3 3DP製デッキの建方

5-2. 3Dプリント工事

写真1に3DPを示す。ポンプ圧送した3DPモルタルをロボットアームの先端に取り付けたノズルから吐出することでプリントする。なお、ロボットアームからの指令でポンプのオンオフができるため、プリントパスと連動して吐出のオンオフが行える。

オンサイトで複層壁のプリント状況を写真2に、屋上スラブのデッキの敷き込み状況を写真3に示す。品質管理項目の一つとして、複層壁では厚さを、屋上スラブのデッキではリブの深さを計測した。なお、施工誤差の許容値は、施工に先立ち行ったプリント実験の結果から定めた±5mmとした。複層壁・デッキともに曲面形状のため、事前に計測部を定めておき、各部の設計値を把握する必要があった。品質管理の計測は、計306か

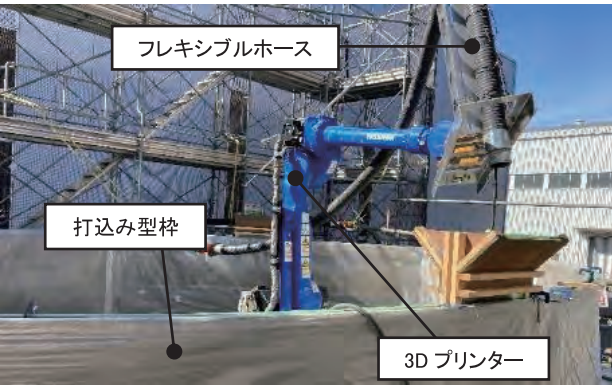


写真4 スリムクリートの打込み

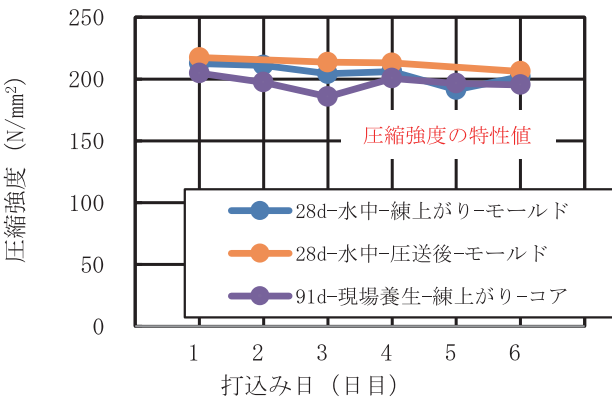


図10 圧縮強度試験結果

所で行った。プリントの結果、施工誤差の平均値は-0.28mmであった。また、標準偏差は1.46mmであった。

5-3. スリムクリートの打込み

スリムクリートの打込みは、計6回実施した。練混ぜは、二軸強制練りミキサを用いて行った。練上がり後のスリムクリートは、打込み箇所までポンプ圧送した。圧送は、油圧ピストン式ポンプを用いて、ポンプ側に内径3インチの鋼製管(延長4~6m、打込み場所によって異なる)と吐出口にフレキシブルホース(延長10m)を接続して行った。フレキシブルホースの先端は、写真4に示すようにロボットアームの先端に取り付けてある3Dプリント用のノズルと交換して装着した。圧送高さは約2~3m、吐出量は約0.5m³/hであった。3Dプリントと同様、打込み経路を事前にプログラムすることで、自動打込みが可能となった。

品質管理では、フレッシュ性状および硬化性状の確認を実施した。3DPを用いたスリムクリートのポンプ圧

表7 フレッシュ試験結果

打込み日 (日目)	モルタルフロー (mm)		空気量 (%)		温度 (℃)	
	練上がり	圧送後	練上がり	圧送後	練上がり	圧送後
1	280	263	3.3	1.3	27	33
2	270	-	3.1	-	27	-
3	282	283	2.9	1.5	26	27
4	282	287	3	1.5	26	26
5	251	-	2.8	-	26	-
6	282	266	2.6	1.3	27	15

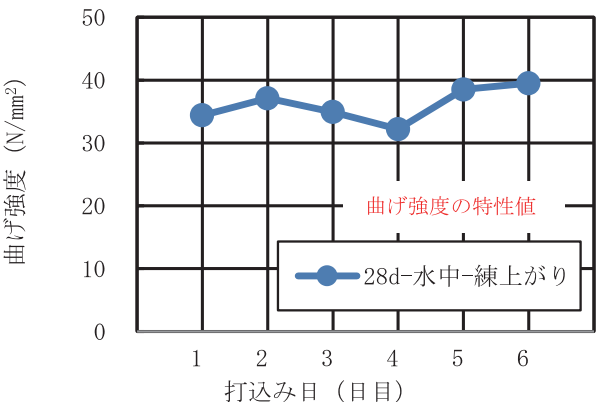


図11 曲げ強度試験結果

送が可能であるかを確認するため、一部試験では、練上がり直後だけでなく圧送後の試料にも試験を実施した。フレッシュ性状の確認はモルタルフロー、空気量、温度について練上がり直後および圧送後の試料を用いて試験を実施した。硬化性状は、圧縮強度および曲げ強度(JIS A 1106に準拠)を確認した。圧縮強度は、材齢28日の標準水中養生した供試体、材齢91日のコア強度について確認した。前者は、練上がり直後および圧送後の試料をφ50×100のモールドに充填することで作成した供試体を用いて試験した。後者は、練上がり直後のスリムクリートを木製型枠(壁状500mm×500mm、厚さ105mm)に打ち込んで作成した試験体を、施工場所にて実構造物と同様の環境下で保管し、後日コアを採取することで試験した。いずれも試験体数は3本とした。曲げ強度試験は、練上がり直後の試料を用いて試験した。試験体数は4本とした。

表7にフレッシュ試験結果を、図10に圧縮強度の試験結果を、図11に曲げ強度の試験結果を示す。

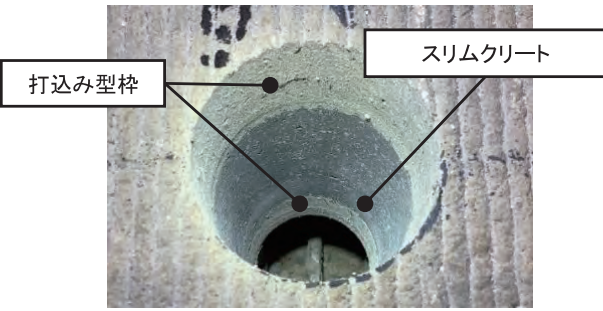


写真5 スリムクリートの充填状況

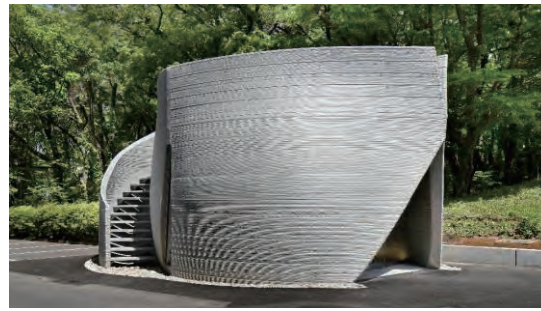


写真6 完成状況(外観)



写真7 完成状況(内観)

練上がり直後または圧送後でフレッシュ性状および圧縮強度はいずれも表3,4に示した規格値および特性値を満足していた。このことより、品質を確保しつつ、3DPによるスリムクリートの圧送が可能であることを確認した。また、現場養生した試験体の材齢91日のコア強度が圧縮強度の特性値を上回っていたことから、実構造物でも十分に強度発現しているといえる。また、曲げ強度も特性値を上回っており、所定の引張強度を有する構造物を建設できたと考えられる。

また、実部材の形状を模したモックアップ試験体を作成し、後日コア削孔することで、打込み型枠内へのスリムクリートの充填状況を確認した。写真5に充填状況を示す。打込み型枠内へスリムクリートを密実に充填できることを確認した。

全6回のスリムクリートの打込みを終了し、躯体工事を完了した。なお、打込み時に作用する側圧により、打込み型枠にひび割れが生じることもなかった。以上により、3DP製の打込み型枠を使用し、スリムクリートを構造部材とする建築物を構築できることを確認した。

5-4. 仕上げ工事

写真6に仕上げ後の外観を、写真7に内観を示す。3DPによる躯体工事の完了後、3DPモルタル素地

の色合いを生かしながら防汚性、防塵性を持たせるため、内外部共に打放しコンクリート用の透明型カラー仕上げ材の疎水剤を塗装した。また、雨掛かりとなる外部については、防水性を高めるためにクリア塗膜防水を上塗りした。

6. おわりに

本稿では、3dpodの設計施工の概要について述べた。3dpodを通じて、3DP製の打込み型枠とスリムクリートを用いた工法による建築物の設計施工に関する知見を収集した。今後は、本工法の展開や自動化施工による建設技術の開発を進めていく。

【謝辞】3DPモルタルの設計と供給において、デンカ株式会社様にご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) 坂上肇他／建設用3Dプリンターによる建築物「3dpod™」の設計と施工、大林組技術研究所報、No. 87、2023
- 2) 土木学会／超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)、2004
- 3) 土木学会／超高強度繊維補強コンクリート「スリムクリート」に関する技術評価報告書、技術推進ライブラリー、No.10、2012
- 4) 一般財団法人日本建築センター／時刻歴応答解析建築物性能評価業務方法書、2020

HOT NEWS

トクヤマ・保科氏が受賞／「安全優良職長厚生労働大臣顕彰」

厚生労働省はこのほど、優れた技能と経験を持ち、担当する現場や部署で作業の安全を確保して優良な成績を挙げた職長を、2023(令和5)年度の「安全優良職長」として顕彰した。

1998(平成10)年度から始まったこの顕彰制度は、労働災害による休業4日以上被災者数が約13万人(2022(令和4)年度)となる中、高い安全意識を持って適切な安全指導を実践してきた優秀な職長(「職長」とは、事業場で部下の作業員を直接指揮監督し、作業の安全確保・遂行に責任を持ち、第一線において「安全」を実現する監督者のこと。班長、作業長などとも呼ばれ、「安全のキーパーソン」と言われる)を顕彰することにより、その職長を中心とした事業場や地域における安全活動の活性化を図ることを目的に実施している。26回目の今回は、全国から108名が安全優良職長として選ばれた。

このうちセメント業界からは(株)トクヤマ徳山製造所の保科秀和氏が選出・表彰された。

保科氏は2009(平成21)年に製造課第1係班長、2019(平成31)年に製造課第2係班長に昇格。同社製造所の基本原則である「安全を常に優先し、保安防災、労働安全衛生の推進をする」を常に意識しながら係員のみならず、協力会事業者への教育・指導を行い保安の確保に努めており、入社以来培ってきた知識・経験・コミュニケーション能力を発揮し、製造課1,2係で班長を務める等、製造課全ての範囲を高いレベルで指導可能な能力と指導力を持ち合わせていることから、職場での絶大な信頼を得ている。

また、安全意識向上を図るため、災害事例を活用したKY活動の推進、現場パトロールにおける危険ポイント、運転設備の制御要領等、三交替を行う中で部下へ日々指導・教育を実践している。

さらに高圧ガス設備の保安防災を推進し、発災時の対応処置、マニュアルの作成も含め、高圧ガス保安検査対応が可能な係員育成も含め、指導・教育を実践する中で技術の継承に注力していることなどが厚生労働省に設置された顕彰審査委員会で評価され、今回の受賞となった。

なお顕彰式典は、新型コロナウイルス感染症拡大防止等の観点から3年間休止していたが、4年ぶりの去る1月12日にイイノホール(東京都千代田区)で開催された。

受賞後保科氏は、今後の課題や注力したい点として、「まずはDX(Digital Transformation)に力を入れて職場を改善できればいいと考えている。現場の作業は、なるべくロボットなどを活用して行い、人はソフト的な部分で改善していければいいと思う。」と語った。



宮崎政久厚生労働副大臣より顕彰状を授与される保科秀和氏



五十嵐 心一

小学校3年まで住んでいた家の向かいには酒屋があり、いつも馬車が酒を運んできた。酒の搬入があった日は馬糞が道に点々としていた。小学校の給食は脱脂粉乳だった。給食当番の隊列が通ったあとには、ポットの注ぎ口からこぼれた脱脂粉乳が廊下に点々としていた。運動会は足袋で走るのが当たり前だった。小学校の途中で引越した郊外の海沿いの家からは、青函連絡船の汽笛がよく聞こえた。線路も近く蒸気機関車もよく通った。小学校の林間学校の前に、「蒸気機関車はトンネル前では汽笛が鳴る。それを聞いたらいっせいに窓を閉めるように。そうしないと煤だらけになる。」と担任から言われた。そして確かに煤だらけになった。昭和30年代の東京が舞台の「always 三丁目の夕日」という映画があったが、それ以前の昭和の光景が昭和40年代の青森にはまだ残っていて、ここは田舎ということでは理解していた。

大きくなるにつれて将来を考えるようになった。TV番組「すばらしい世界旅行」,「兼高かおる世界の旅」そして「アテンションプリーズ」の影響と、小学校2年生の遠足で青森空港で初めて飛行機を見た経験から、「パイロットになって世界を見たい。」と思った。高校生に

なって、試験勉強しながら青函連絡船の最終便の汽笛を聞いたとき、「あの下ではトンネルを掘っているんだなあ。」と思いながら眠りについた。地元の新聞やテレビで、青函トンネル工事のニュースをよく目にするうちに、いつの間にか「大変だなあ。そうだと助けに行こう。その後は、飛行機に乗って色々な場所でトンネルを掘りに行こう。」と思うようになった。

飛行機に乗って各地でトンネルを掘るという夢を持ったまま大学生になった。しかし、帰省が大変で、大阪発青森行の特急に乗るお金はないので、金沢発の急行「しらゆき」に乗って約12時間かけて帰った。金沢を出てしばらくは金沢/富山弁が聞こえていたのが、そのうちそれが両親が使う新潟弁に変わり、山形に入ると訛りがだいぶ変わって、秋田に来ると津軽弁に近い言葉が聞こえるのが嬉しかった。県境を越えて青森県に入ったとき、ああ帰ってきたと思った。帰省を繰り返すうちに、この帰ってきたという感覚を成田空港で持つようになってしまった。大学院生のとき、当時の教授から助手採用に誘われ、「飛行機で飛び回って、海外に行きたいのですが。」と答えると、「ああ、それは助手になってもできるよ。」と言われて、あっさりと翻意して教員になった。

働き始め4年目ぐらいに初の海外出張の機会を得た。イギリス-フランス-ポーランドの3か国を回ったが、当時まだ東側だったポーランドの印象が強烈だった。大好きなビールは外資系の高級ホテルか外貨ショップで買うしかなかった。ホテルのフロントも市中のレストランも「サービス」や「笑顔」はなかった。なのに、子供たちはアジア人の私の顔を見て笑い、ショパンの銅像前では人々がピアノ演奏を聴きながら、笑顔で家族サービスしていた。この体験が“私の海外行きたい病”を悪化させた。「他の国を見てみたい。もっと飛行機に乗りたい。ただし官費で。」

その後、留学や国際会議などでいろいろなところへ出かけた。研究費に窮したときは小松-羽田便に乗って我慢した。一時期重篤なマイル病を併発し、不便でもマイルの貯まる便を手配して、いつかは航空会社ラウンジと思った。これをビンゴゲームになぞらえ、南極大陸はカードの中心の穴で、他の6大陸を制覇してビンゴとなることを目指して、次に参加する国際会議を決めていた。ビンゴを達成したのは9年前で症状は少し落ち着いたけれど、景品のラウンジに届くこともなくゲームは終了した。

これまで「地球の歩き方」を何冊買ったのだろうか。キャビンアテンダントはアテンションプリーズなんて言わないんだと知ったのいつだったろう。飛行場でその国の言葉でのアナウンスのあとに、その国独特のアクセントの英語で流れる搭乗案内を聞いて、英語もかなり訛るんだなあとかつての帰省のときと同じことを何度も思った。



定年まであと1年余り、キャビンアテンダントのアクセントの異なる英語で飲み物や食事を聞かれたときに、ちょっと緊張するあの瞬間はあと何回あるだろうか。それを考えると少し寂しい。この寂しさと飛行機乗りたい病の長思いを、言葉を覚えて話すようになっていく孫達が、それぞれ各地で幼児語から博多弁、金沢弁、栃木弁を話すようになり、そのお国訛りを聴いて癒やす日々がもうすぐやってくる。

[いがらし しんいち／

金沢大学 教授 博士(工学)]

イラスト・タイトル 宮島幸次

土木学会

『2023年制定 コンクリート標準示方書 (施工編・ダムコンクリート編・規準編)』 改訂の概要

Overview of the Revision of the JSCE Standard Specifications for Concrete Structures 2023
-Materials & Construction, Dam Concrete and Test Methods & Specifications-

二羽 淳一郎 丸屋 剛 石田 哲也 綾野 克紀 宇治 公隆 山口 明伸

1. はじめに

土木学会のコンクリート標準示方書は5年ごとに改訂されてきた。前回の制定版から5年が経過したことから、2019年7月にコンクリート委員会(委員長：下村匠教授(当時))に示方書改訂小委員会(委員長：二羽淳一郎)が設置され、運営部会と改訂を行う5編をそれぞれ担当する5つの部会が鋭意改訂作業を進めた。2023年3月に、基本原則編、設計編、維持管理編の3編を先行して刊行し、続いてコンクリート委員会(委員長：岸利治教授)の審議を経て2023年9月に、施工編、ダムコンクリート編および規準編を刊行した。示方書の刊行に合わせて改訂資料も刊行した。この内容は、改訂事項を中心とした解説、背景、根拠、検

討の経緯などの詳細、将来に残すべき記録、最終的に示方書に採用されなかった内容、今後の課題などである。

今回の改訂では、前回の改訂で持ち越しになった事項や、その後の研究や技術の発展を考慮することに加えて、新設されるコンクリート構造物だけでなく、改築も視野に入れた内容を充実させている。社会状況の変化に伴って、コンクリート構造物が新設されるだけでなく、適切な維持管理を行いつつ、様々な理由から改築される事例が増加していくことが予想されたためである。本稿では、施工編、ダムコンクリート編および規準編の概要を紹介する。

表1 【2023年制定】示方書[施工編]の章構成

本編	検査標準
1章 総則 2章 施工計画 3章 構造物の構築に用いる材料 4章 施工 5章 品質管理 6章 検査 7章 施工の記録	1章 総則 2章 検査計画 3章 鉄筋等の補強材 4章 コンクリート 5章 プレキャストコンクリート 6章 出来形、かぶり、表面状態 7章 部材または構造物 8章 検査の記録
施工標準	目的別コンクリート
1章 総則 2章 施工計画 3章 コンクリートの製造に用いる材料 4章 コンクリートの配合 5章 コンクリートの製造 6章 構造物の構築に用いる製品 7章 鉄筋工 8章 型枠および支保工 9章 コンクリート工 10章 施工環境等に応じたコンクリート工 11章 高流動コンクリートを用いたコンクリート工 12章 プレキャストコンクリート工 13章 品質管理 14章 施工の記録 15章 施工を引き継ぐ場合の留意事項	1章 総則 2章 施工者が製作仕様に関するプレキャストコンクリート 3章 締固めを必要とする高流動コンクリート 4章 流動化コンクリート 5章 混和材を大量に使用したコンクリート 6章 再生骨材コンクリート 7章 35℃を超える暑中コンクリート 8章 膨張コンクリート 9章 短繊維補強コンクリート 10章 高強度コンクリート 11章 軽量骨材コンクリート 12章 プレストレストコンクリート 13章 水中コンクリート 14章 吹付けコンクリート

2. 施工編の概要

土木学会コンクリート標準示方書[施工編]は、[本編]、[施工標準]、[検査標準]および[目的別コンクリート]で構成している。[本編]は、設計図書に示されたコンクリート構造物を構築するための施工に関する基本的な考え方を示したものである。この[本編]に基づき、特殊な事項をほとんど含まない一般的な構造物の施工方法を示したのが、[施工標準]および[検査標準]である。[施工標準]は、標準的な施工方法と標準的な品質のコンクリートを使用した施工計画の立案に用いられることを想定し、[検査標準]は、[施工標準]に基づき施工される構造物の検査計画の立案に用いられることを想定している。[特殊コンクリート]から名称を変更した[目的別コンクリート]では、生産性向上、環

境負荷低減、機能を付与したり性能を向上させたコンクリート、特別な施工方法を適用するコンクリート等、大きく4つの目的に分類して、コンクリートの施工の標準を[本編]の基本的な考え方に基づき記載している。

2-1. 全体構成

示方書[施工編]の章構成を、表1に示す。
【2017年制定】示方書[施工編：本編]では、『2章構造物の施工性』を設け、施工者が自由に設定した施工方法や材料で構造物が設計図書どおりに構築できることを、施工者の責任で実験等により確認(照査)しなければならぬことを記載していた。今回の改訂でもその方針は変えていないが、構造物の施工性に関する記載は章として設けず、1章の総則および2章の施工計画にこの趣旨を記載した。また、[本編]は、施工の基本を示すもので、具体的な構造物の施工方法は示さないこととした。

[施工標準]では、3章のコンクリートの製造に用いる材料、4章のコンクリートの配合、および5章のコンクリートの製造は、現場プラントで製造するコンクリートとして一つの章にまとめてよいものであるが、ページ数が多くなるために3つの章に分けている。6章に記載した構造物の施工に用いる製品は、鉄筋等の補強材、レディーミクストコンクリートおよびプレキャストコンクリート製品のJIS認証品を対象とし、一つの章に統合している。これらの3つの製品は、生産者によって品質の保証された製品を用いることが原則であり、生産者によって品質が保証されていない製品を用いる場合は施工者が製品に対して責任を負うことになる。

【2017年制定】示方書では、『7章運搬・打込み・締固めおよび仕上げ』、『8章養生』および『9章継目』に分けられていたコンクリート工を、一般的なコンクリート工として9章に統合している。運搬、打込み、締固め、仕上げおよび養生等からなるコンクリート工では、コンクリートの品質が施工中に変化することを考慮し、全工程を通じて支障を及ぼさず円滑なコンクリート工を実施する必要性を記載している。



にわ じゅんいちろう / NIWA Junichiro
(株)高速道路総合技術研究所
フェロー 工博



まるや つよし / MARUYA Tsuyoshi
大成建設(株)
エグゼクティブ・フェロー 博士(工学)



いしだ てつや / ISHIDA Tetsuya
東京大学
教授 博士(工学)



あやの としき / AYANO Toshiki
岡山大学
教授 博士(工学)



うじ きみたか / UJI Kimitaka
東京立大学
名誉教授 博士(工学)



やまぐち としのぶ / YAMAGUCHI Toshinobu
鹿児島大学
教授 博士(工学)

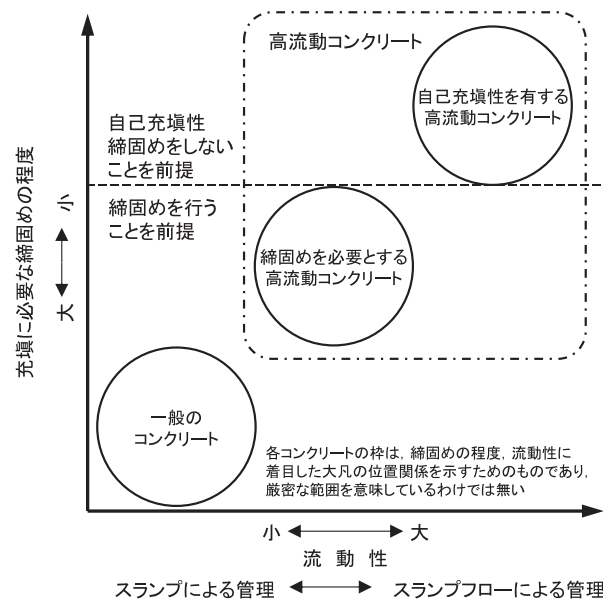


図1 流動性と充填に必要な締固めの程度の関係

10章の施工環境等に応じたコンクリート工は、【2017年制定】示方書の『12章 寒中コンクリート』、『13章 暑中コンクリート』および『14章 マスコンクリート』と、[特殊コンクリート]の『7章 海洋コンクリート』に分割されていたものを統合したものである。11章の高流動コンクリートをを用いたコンクリート工は、【2017年制定】示方書の[特殊コンクリート]に記載されていた自己充填性を有する高流動コンクリートを移行したものである。10章は、施工環境が特殊な場合のコンクリート工を対象とし、11章は、自己充填性を有する高流動コンクリートをを用いたコンクリート工を対象としている。コンクリート構造物は、要求する性能を示し、要求どおりの性能をもったものを受け取るのが原則である。これと同様に、施工に用いる製品およびコンクリートの製造に用いる材料も、施工者は求める品質を生産者に明示し、要求したとおりの品質の製品が入荷していることを確認する責任がある。これまで[施工標準]では、大きな誤りが生じないよう、要求する品質は、JISの範囲内としてきた。これに対して、高流動コンクリートは、JIS認証品の中から選定するのではなく、施工者が製造に関与し、レディーミクストコンクリートに製造を委託することを前提としている。そのため、高流動コンクリートの品質を確保するために、施工者には高流動コンクリートに関する知

識を有していることを、レディーミクストコンクリート工場には品質マネジメント能力があることを求めている。なお、品質マネジメント能力のあるレディーミクストコンクリート工場の選定には、㊟マークの使用が認められていることを指標にするとよいとしている。

12章のプレキャストコンクリート工は、新たな章として記載している。13章の品質管理の節は、[施工標準]全体の章立てと対応している。13章以外の章は、施工計画を立案する際に必要なことを記載しているが、品質管理には、施工において施工者が実施する検査、施工管理およびその記録に関することを記載している。

[検査標準]は、発注者が行う検査の標準を記載している。3章の鉄筋等の補強材、4章のコンクリートおよび5章のプレキャストコンクリートでは、施工に用いるそれぞれの材料に関する検査と、それをういた加工、組立および施工に関する検査を記載している。また、6章の出来形、かぶり、表面状態および7章の部材または構造物では、構造物に関する検査を記載している。

[目的別コンクリート]は、生産性向上を目的としたコンクリートとして、2章の施工者が製作仕様に関与するプレキャストコンクリートと3章の締固めを必要とする高流動コンクリートを新設している。図1に示されるように、締固めを必要とする高流動コンクリートが新設されたことで、スランブからスランブフローで管理するコンクリートまで一貫して用いることができるようになった。環境負荷低減を目的としたコンクリートとして、5章の混和材を大量に使用したコンクリートと6章の再生骨材コンクリートを新設している。機能を付与したり性能を向上させたコンクリートとして、7章の35℃を超える暑中コンクリートを新設している。

2-2. 検査と品質管理の位置づけ

検査とは、検査項目、試験方法、頻度(時期)および合格判定基準で構成されるものである。空気量の検査を例に挙げれば、検査項目は空気量、試験方法はJIS A 1128、試験の頻度は150m³に1回、合格判

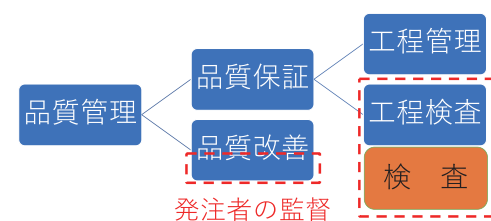


図2 品質管理における発注者の検査の位置づけ

定基準は4.5±1.5%となる。[施工標準]および[検査標準]においては、発注者の行う検査は[検査標準]に、施工者の行う検査は[施工標準]13章の品質管理に記載した。

品質管理は、図2に示されるように、構造物の品質を保証することと、施工における問題を解決して品質を改善することからなることを[本編]に示した。土木構造物の品質を一定以上の水準に確保する品質保証は、工程管理と工程検査を実施することで実現できるものである。発注者の行う検査は、構造物の構築における品質管理は工程検査の一部であり、発注者の行う監督は品質改善の一部である。品質改善は、発生した問題の再発防止や問題の発生を未然に防止することである。問題とは目標と現状の差であり、この差を許容範囲内に収めることが問題の解決である。施工で発生する不適合を未然に防止するためには、施工の段階ごとの様々な潜在的なトラブルを洗い出し、施工計画の段階で想定し対応を講じることが重要である。継続的な改善のためには、施工の現状や過去の施工の情報をを用いて定量的に分析するだけでなく、数値化が難しい特性や要因についても整理し、定性的に分析する必要がある。また、施工の段階で不適合が発生した場合は、速やかに、再発防止のための改善を実施するとともに、施工の現状を把握し、不適合を生じさせた原因を分析して、その再発を防止する対策の立案を行う等、必要と思われる全ての事項について改善措置を行うことが重要であることなどを示した。

2-3. 設計図書からの情報の引継ぎ

施工者は、設計図書に記載された設計条件表を確認し、圧縮強度および耐久性に関する特性値や、セメ

ントの種類、骨材の種類、最大水セメント比、単位水量の上限値、単位セメント量の上限値(または下限値)、粗骨材の最大寸法、スランブおよび空気量の範囲等のコンクリートの配合条件(または参考値)を確認し、これらを考慮した上で配合選定を行うことになる。

示方書[設計編]では、設計条件表に圧縮強度以外の特性値が示される場合でも、配合条件を満足することで、耐久性に関する特性値は満足すると見なしでよい場合があるとされている。設計図書の設計条件表に配合条件として、水セメント比(水結合材比)の最大値や単位水量の最大値等が示される場合は、各材料の計量の許容差やコンクリートを製造する工場の表面水率の管理値等を考慮に入れても最大値を満足するように配合選定を行う必要がある。なお、示方書[施工編]では、工場の表面水率の管理値が分からない場合、水セメント比(水結合材比)は、設計図の設計条件表の配合条件に記載される最大水セメント比(最大水結合材比)よりも2%小さい値を指定することになっている。なお、水セメント比(水結合材比)は、配合条件により定まる値以下で、かつ、試験の回数を3回とした場合のコンクリートの圧縮強度の合格判定基準値を満足する水セメント比(水結合材比)のうちで最小の値を選択することになる。

設計図書の設計条件表に、コンクリートの特性値を満たす配合条件が示されず、試験により確認をすることを前提にコンクリートの特性値が示された場合は、コンクリートの参考値が示されることになる。また、設計図書等にはコンクリートの特性値の算定根拠も示される。施工者は、この参考値と特性値の算定根拠を基に特性値を満足する可能性を、配合設計の前に、発注者(または設計者)と確認し、施工者の経験または実績を蓄積した技術資料等により、コンクリートの特性値を満足し、かつより実現可能なコンクリートの配合の仕様を提案することになる。したがって、参考値は、あくまでコンクリートの配合を選定する際に参考にするものであり、コンクリートに求められる特性値を満足し、確実な施工が行えるのであれば厳守する必要は

表2 有限要素法を用いた温度応力解析と拘束度マトリックス法の検討可能な時期と部位

検討時期	ダム施工中		ダム完成後	
検討部位	堤体中央	・上下流面 ・空洞部周辺 ・長期打設休止ブロック ・越冬面周辺 ・断面変化点周辺など	堤体中央	・上下流面 ・空洞部周辺 ・長期打設休止ブロック ・越冬面周辺 ・断面変化点周辺など
有限要素法を用いた温度応力解析	○	○	○	○
拘束度マトリックス法	—	—	○	—

○：検討可能，—：検討不可能

ないものとしている。

3. ダムコンクリート編の概要

〔ダムコンクリート編〕は10年ぶりの改訂である。コンクリートダムに使用されるダムコンクリートの特殊性（無筋、粗骨材粒径が大きい、スランブが小さい、など）を考慮し、コンクリートダムの設計、施工、維持管理の全般を網羅する形で、ダムコンクリートに特化した内容となっている。なお、今回の主な改訂は、①温度規制計画、②ダム再生、③品質管理の合理化、④プレキャスト部材の適用、の4項目である。

3-1. 温度規制計画

これまで、有害な温度ひび割れを防止する目的で温度規制計画を立てることは記載されていたが、「有害な温度ひび割れ」の定義が不明瞭であったようで、技術者の認識もまちまちであった。そこで、今回、有害な温度ひび割れとして次の(a)～(c)の3つを定義するとともに、温度規制計画に関する記述の見直しを行った。

(a) 岩着部や既設コンクリートとの打継部等の堤体内部にダム軸方向に発生し、堤体を上流側と下流側に分断するようなひび割れ

(b) 堤体の水平打継目の開きを生じさせるひび割れ

(c) 堤趾部(堤体下流端部)など応力が集中する箇所での堤体を分断するようなひび割れ

温度ひび割れ予測に使用する物性値について、熱

特性に加えて力学特性(弾性係数，引張強度)を追記し、さらにクリープに伴う応力緩和，自己収縮ひずみに関する解説を新しく追記した。

また、温度ひび割れの予測手法について、近年の実績等をもとに、記載内容を大幅に変更した。2013年版では拘束度マトリックス法と有限要素法の2つの手法を標準としていた。各手法の検討可能な時期と部位を表2に示す。拘束度マトリックス法は、具体の検討に先立ち、拘束度マトリックスの作成に手間はかかるものの、計画段階において打設時期や材料・配合条件を要因として様々な検討ができ、適当な施工条件やリフトスケジュールを提案することができる。一方、現在、有限要素法を用いた温度応力解析が広く普及し、施工途中段階の様々な部位を対象に、施工条件を変えた検討が比較的容易に行えるようになった。また、近年のひび割れ検討に関する実績調査において、有限要素法を用いた検討が約9割を占めていることが明らかとなった。そこで、完成後のダム堤体中央のひび割れだけでなく、施工中の各部位のひび割れも予測することが重要であることを踏まえ、施工中も含めて各部位に発生し得る温度応力の算定が可能な有限要素法を用いた温度応力解析を標準とした。さらに、計画段階で想定した解析条件が施工段階では相違することもあり、施工段階において、実際の施工条件をもとに改めて温度ひび割れに関する精査を行う必要性を記載している。

なお、これまでに施工されたダムは多くあるが、ひび割れ指数による評価の実績はまだ十分に蓄積されてお



図3 主なダム再生事業について

らず、また部位ごとにひび割れ防止の重要度(防止または抑制の区別も含め)には差があることから、ひび割れ指数の限界値の標準値を示すまでには至らず、改訂資料に実績をまとめるにとどめた。

3-2. ダム再生

既設ダムを運用しながら行うダム再生に関する計画・設計・施工上の留意すべき事項を、関係する章において新たに明記した。

ダム再生は、新設ダムと比較して、既設ダムの立地、目的、運用条件、構造等、多くの制約条件を考慮する必要があり、設計段階から施工計画の実現性も含めて検討することが重要であることを記述した。ダム再生事業には、図3に示すように、貯水容量を増やすための堤体のかさ上げや、放流能力を増やすために既設ダムを削孔あるいは切削する放流設備増設の施設改良がある。近年、ダム再生の実施件数が増加しており、改訂資料に堤体のかさ上げ2事例、堤体削孔による放流設備増設1事例、堤体切削による放流設備増設1事例、計4事例を紹介し、留意点を整理しているので、ダム関連の最新動向としてご覧頂けると幸いである。

3-3. 品質管理の合理化

ダム建設現場における、製造に関連した新技術の活用実績から、新技術を活用して硬化後の品質をフレ

シュコンクリート段階で適切に判定でき、また品質管理の試験方法と頻度を合理的に見直せることを記述した。

現在、硬化コンクリートの圧縮強度試験は、材齢7日、28日および91日の3材齢について、各配合1回/日、配合によっては複数回/日、打設開始から打設終了まで同じ頻度で実施されている。しかしながら、近年の新技術の導入実態を踏まえ、各強度材齢の位置づけと試験実施の必要性について整理し追記した。今回、圧縮強度の試験材齢は、配合強度確認材齢である材齢91日を標準とすることを明記した。合わせて、早期材齢は、品質の安定状態を確認する意味合いであることから、使用材料等を考慮し材齢7日または28日のどちらかを適切に定めるように改めた。

試験頻度に関して、早期材齢における圧縮強度やフレッシュ性状から材齢91日の圧縮強度が十分に安定化すると推定できるようになるまでは、あらかじめ定めた頻度で各試験を実施し、その後、フレッシュ性状が適切に管理されている状態では、早期材齢の圧縮強度試験の頻度を合理的に見直してよいこととした。

また現在、コンクリート製造に当たり、バッチャープラントにおいて、細骨材の水分量をRI水分計等により各バッチで厳密に測定し、リアルタイムで投入水量にフィードバックしていることから、各バッチの単位水量は厳密に管理されている。したがって、通常の場合、コンクリート製造時のフレッシュ性状は安定状態にあり、その代表値である練混ぜ性状(コンシステンシー)の傾向を把握・管理することで、圧縮強度をはじめダムコンクリートに要求される品質はある程度担保できるとした。なお、フレッシュ性状が十分に管理されている状態か否かは、例えば、ミキサ負荷電力値等による連続的な監視によって評価が可能であることを紹介している。

圧縮強度試験の供試体寸法は、これまで直径15cmが標準であったが、JIS改正により追加された直径12.5cmの使用実績も増えていることを記載した。供試体寸法が小さくなれば、養生設備(水温調整・管理が可能な水槽)の小規模化や、圧縮強度試験後の産業廃棄物(試験後の供試体)の縮減に繋がることが

期待できる。

3-4. プレキャスト部材の適用

プレキャスト部材の適用により、ダムコンクリートの安定した品質確保が可能であり、また生産性向上にも寄与する。

今回の改訂で、[標準]8.12プレキャスト部材の節を新設し、プレキャスト部材の積極的な適用と、その適用時の留意点や技術的配慮事項等について記載した。プレキャスト部材の適用の採否に当たっては、プレキャスト部材単独の経済性比較ではなく、工程や施工の安全性などを総合的に評価し、適用箇所、仕様等を決定する必要があることを記述した。また、プレキャスト部材の適用について、施工計画段階、場合によっては設計段階から検討しておくことの重要性を新たに記述した。

ダム建設工事におけるプレキャスト部材の適用箇所としては、堤内監査廊、導流壁、堤内水路用床版、張出し構造、天端橋梁ピア、カーテンウォール部等、すでに様々な箇所に適用されるようになってきているが、プレキャスト部材の適用効果や留意点を今回記載することで、より一層の利用拡大を期待している。なお、改訂資料に、プレキャスト部材の適用事例について9事例を整理して紹介しているので参照されたい。

4. 規準編の概要

4-1. 改訂の基本方針

土木学会では、コンクリートに関する品質規格および試験方法を土木学会規準として制定してきた。これらの規準類は、関連するJISとともに整備されており、1991年よりコンクリート標準示方書[規準編]として発刊され、今日に至っている。近年、性能評価のための試験方法が、構造物の設計や施工、あるいは維持管理の場面で果たす役割が拡大しており、これに伴って規準編の重要性はますます高まっている。このような状況下において、規準編に盛り込むべき品質規格や試

験方法に関する最新の情報を反映させるとともに、コンクリート標準示方書の記載内容を補完するという位置づけを明確化することを基本方針として、今回、2018年版の内容を改めて見直し、2023年制定コンクリート標準示方書[規準編]として発刊する運びとなった。

コンクリート標準示方書[規準編]は、2005年版から、土木学会規準とJIS以外の関連規準をまとめて1冊として土木学会が製作し、コンクリート標準示方書との関係が深いJISを日本規格協会が編集し1冊にまとめ、2分冊で発行している。このうち土木学会規準は、土木学会(コンクリート委員会)の責任において制定されたものであり、他の方法での入手が困難であることから、規準編に全て掲載することにした。一方、土木学会規準以外の規準類については、コンクリート標準示方書と関係が深いJISや日本コンクリート工学会の規準などのように、重要と判断されたもののみを掲載し、利用される機会の少ないと考えられるものは規準の名称のみを目次に示し、内容の掲載は省略することとした。ここでは、土木学会規準および関連規準に関して、2023年版で新たに取り入れられたものや2018年版から改訂されたものについて、その主な内容を紹介する。また、今回の改訂でも、コンクリート標準示方書の各編の記載内容を補完することを目的として、これらに記載されている試験方法などを可能な限り網羅し、利用者への便宜を図った。

4-2. 土木学会規準

4-2-1. 新しく制定された土木学会規準

新しく制定された規準は下記の4規準である。

①暑中環境下におけるコンクリートのスランプの経時変化・凝結特性に関する混和剤の試験方法(案)(JSCE-D 504-2023)、②加振を行ったコンクリート中の粗骨材量試験方法(案)(JSCE-F 702-2022)、③自己治癒充填材のひび割れ透水率試験方法(案)(JSCE-K 544-2022)、④表面含浸材を塗布したコンクリート中の鋼材の防せい率試験方法(案)(JSCE-K 573-2022)

このうち、JSCE-D 504-2023はコンクリート標準示方書[施工編]との、JSCE-F 702-2022はコンクリート委員会 締固めを必要とする高流動コンクリートの施工に関する研究小委員会(256委員会)との連携により、それぞれ規準化されたものである。また、JSCE-K 544-2022ならびにJSCE-K 573-2022は、内閣府SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」において「インフラ構造物材料研究拠点の構築による構造物劣化機構の解明と効率的維持管理技術の開発」と題した研究開発テーマの中で組織された「補修材料評価方法研究会」の成果を規準化したものである。

4-2-2. 改訂された土木学会規準

改訂された土木学会規準のうち特に大きく変更したものを下記に示す。JISの改正内容に対応した修正を含め、軽微な修正分についての説明は割愛する。

(1) セメント・水・骨材・混和材量

JSCE-B 101(コンクリート用練混ぜ水の品質規格)、JSCE-D 102(吹付けコンクリート(モルタル)用急結剤品質規格)、およびJSCE-D 104(コンクリート用水中不分離性混和剤品質規格)は、JIS A 5308(レディーミストコンクリート)の記述内容に合わせ、水に関する規定について改訂を行った。また、JIS A 1158(試験に用いる骨材の縮分方法)が2020年に改正されたことを受け、縮分の方法はJIS A 1158によることとし、関連する基準の改訂を行った。JSCE-D 107(フライアッシュ用AE剤品質規格)の報告において、フライアッシュの試験成績表に加えて、メチレンブルーの吸着量またはBET法による比表面積を記載し、報告項目を増やした。

(2) フレッシュコンクリート

JSCE-F 502(加圧ブリーディング試験方法)について、試料の採取方法と製造方法に関する条文を改訂した。JSCE-F 505(試験室におけるモルタルの作り方)について、練混ぜの休止期間中に鉢やパドルに付着したモルタルをかき落とす時間を「休止の最初の15秒間」から「休止の最初の30秒間」に改訂した。JSCE-F

506(モルタルまたはセメントペーストの圧縮強度試験用円柱供試体の作り方)について、型枠の材料および形状寸法の許容差に関する規定が修正された。JSCE-F 552(鋼繊維補強コンクリートの強度およびタフネス試験用供試体の作り方)について、供試体の形状および寸法の許容差について修正した。JSCE-F 561(吹付けコンクリート(モルタル)の圧縮強度試験用供試体の作り方)およびJSCE-F 563(吹付けコンクリート(モルタル)のはね返し率試験方法)について、パネル型枠に要求される事項として吹付け圧力により壊れない構造とすることを本文中に規定した。JSCE-F 566(補修・補強用吹付けコンクリート(モルタル)の付着強度試験用供試体の作り方)について、JIS R 6010(研磨布紙用研磨材の粒度)の改正に伴い、供試体の作製に使用する研磨紙に関する規定を見直した。

なお、JSCE-F 701-2022は、既存のJSCE-F 701-2018に「附属書1(規定) 容器の仕切りゲートを開くと同時にバイブレータを始動させる場合の試験方法」を追加することで改訂されたものである。この試験方法の追加はコンクリート委員会 締固めを必要とする高流動コンクリートの施工に関する研究小委員会(256委員会)により提案されたものであり、同小委員会と規準関連小委員会との連携により改訂作業が進められた。

(3) 補修材料

JSCE-K 561(コンクリート構造物用断面修復材の試験方法)について、引用規格の削除により試験方法が埋込み型ひずみ計を用いた方法に統一した。

4-2-3. 廃止された土木学会規準

JSCE-E 541(連続繊維シートの引張試験方法)とJIS A1191(コンクリート補強用連続繊維シートの引張試験方法)の内容は同一であるため、JSCE-E 541は廃止された。

4-3. 関連規準

(公社)日本コンクリート工学会の成果物からの掲載について見直しを行った。同学会の「JCI規準」とは、2004年3月に制定された「日本コンクリート工学会規準・

指針の制定／改正に関する規程」に基づいて制定された規準を指し、同学会が公に認める規準であり、JCI-S-〇〇〇の記号が付されている。このJCI規準は引き続きこの規準編の関連規準として掲載した。一方、2002年より前に同学会の研究専門委員会によって作成され、報告書等の中で提案された規準や規準案と名の付くものは、「委員会成果」と呼称されるものである。「委員会成果」は2002年に同学会の研究委員会の中に設置されたJCI規準小委員会によりアーカイブス集として作成したJCI規準集(2004年4月発刊)に掲載されているが、同学会が公に認める規準ではない。つまり、「委員会成果」は「JCI規準」ではない。そのため、この「委員会成果」に該当する、塩化物イオン選択電極法によるフレッシュコンクリート中の塩化物イオン含有量試験(JCI-SC6-1987)、セメントペースト、モルタルおよびコンクリートの自己収縮および自己膨張試験方法(JCI-SAS-2-1996)の2つの試験方法について掲載を取りやめた。

また、日本非破壊検査協会規格(NDIS)から、コンクリート構造物の放射線透過試験方法(NDIS 3437:2021)や硝酸銀溶液の噴霧による硬化コンクリートの塩化物イオン浸透深さ試験方法(NDIS 3441:2021)などの硬化コンクリートに関する11件の規格を新たに掲載した。

JIS規格集には、新規の制定規格、およびコンクリート標準示方書他編での掲載規格を踏まえ、16件の規格を新たに掲載している。詳細については、規準編をご参照されたい。

セメント規格がわかる本

2015年3月20日にJIS R 5201およびJIS R 5203が改正されたことに伴い、これら試験方法規格に関する「セメント規格がわかる本」を改訂しました。今回の規格改正において変更や追加された点について詳しく解説するとともに、試験を行う上で不可欠な知識やノウハウを理解しやすい内容となっています。

JIS R 5203：2015「セメントの水和熱測定方法（溶解熱方法）」編 A4版・60ページ・3740円（税込）・送料実費	JIS R 5201：2015「セメントの物理試験方法」編 A4版・135ページ・5500円（税込）・送料実費
---	--



お求め・お問い合わせは… 一般社団法人セメント協会 図書販売係 まで
東京都中央区新富二丁目15番5号 RBM築地ビル2階 TEL 03-5540-6173 FAX 03-5540-6181

5. 示方書全編の改訂を終えて

昭和31(1956)年制定のコンクリート標準示方書の改訂委員会委員長であった吉田徳次郎先生は、本文の前に置かれた『コンクリート標準示方書の適用について』で、「・・・コンクリート工事において共通する原則を一般的に示したものがコンクリート標準示方書であって、・・・、一般の場合は示方書を厳守しなければならない。・・・ただし、そのまま適用できない場合もあり、重要な工事でもっと制限的な条項が必要となる場合や、・・・その逆に、場合によっては条項を多少緩和してよい場合もある。・・・標準示方書を適用する場合には字句にこだわりすぎてはならず、示方書の精神をよく理解し、必要があれば、これを適当に修正して利用しなければならない。しかし、何らの実験研究もしないで、単に現場の都合などにより標準示方書の条項に背くと一般に不経済な結果となり、また重大な失敗を招く原因となることもあることを忘れてはならない。(著者により抜粋)」というように示方書活用の考えを述べられている。この精神は、今回改訂された示方書の適用でも引き継がれるべき内容であり、こののちの改訂作業の指針ともなるであろう。

改訂作業の開始から改訂版の刊行まで、示方書改訂小委員会のメンバーはもとより、じつに多くの方々、関係各署にご協力いただき、その知識と見識が反映された示方書を刊行することができた。紙幅の関係でお名前の記載は控えさせていただくが、ここに深甚なる感謝を申し上げる次第である。

コンクリート化学編 クリップボードの 出ました。

月刊セメント・コンクリート誌に長期連載した人気シリーズが単行本になりました。コンクリートの気になるキーワード全47項目をそれぞれ2～3ページで簡潔に解説。既刊の[セメント化学編]とともにお役に立つこと間違いなしです。

4つのカテゴリーに分類 ● フレッシュコンクリートの物性
硬化コンクリート 耐久性 いろいろなコンクリート



ブルーのカバー
E3 (シースリー)
クリップボード
コンクリート化学編
A4判・123頁・3,080円



グリーンのカバー
E3 (シースリー)
クリップボード
セメント化学編
A4判・134頁・3,080円

お求め・お問い合わせは…

一般社団法人セメント協会 図書販売係 まで
東京都中央区新富二丁目15番5号 RBM築地ビル2階
TEL 03-5540-6173 FAX 03-5540-6181

赤外分光法を用いた大気CO₂濃度下におけるセメント硬化体表面の炭酸化反応の湿度依存性に関する分析

Effect of RH on carbonation of hardened cement paste particles under general atmospheric CO₂ concentration studied by FTIR spectroscopy

佐伯 直彦 栗原 諒 丸山 一平

1. はじめに

世界全体のCO₂排出の7%はセメント製造からといわれており、環境への負荷を減らす必要性が叫ばれている。一方で、セメント構造物が中性化、あるいは炭酸化によって大気中のCO₂を固定化することは古くから知られており、カーボンニュートラルの文脈では近年その固定量が着目されている¹⁾。固定量の計算に当たっては「中性化度」(酸化カルシウム量のうち、反応によって炭酸カルシウムに変化した割合)の情報が必要であるが、従来の中性化研究は内部の鉄筋の腐食を防ぐという観点で中性化深さ、つまり細孔溶液のpHが低下するフロント位置を算定することに主眼が置かれており²⁾、中性化時の化学反応メカニズムの情報は十分ではない。

炭酸化(本論文では反応自体に焦点を当てているの

で、以後炭酸化という名称を用いる)反応は、主に水酸化カルシウム(Portlandite, CH)およびケイ酸カルシウム水和物(C-S-H)がCO₂と反応することによって炭酸カルシウム(Calcium Carbonate, CC)を生成する反応である。この反応は反応場として水が必要であるため、その進行速度は相対湿度(RH)に大きく依存する。中性化深さがRH60~70%程度の中湿度域で最大化することはよく知られているが³⁾、粉体状のセメント硬化体を炭酸化させた場合にはRHが高い方が炭酸化の進行が速い⁴⁾。前者はCO₂のセメント硬化体内部への拡散が律速となった炭酸化進行深さを論じているが、炭酸化反応全体のモデリングに当たっては、後者のように物質移動が律速ではない「反応速度そのもの」を測定することも必要とされている⁵⁾。

これらを背景に本研究では、セメント硬化体を微細粒子に粉碎した場合において、RHを変化させた際の炭酸化反応速度と生成物の同定を経時的に行った。従来炭酸化のデータの多くは高濃度CO₂環境下でとられているものが多いが、大気中濃度で炭酸化させた場合とは析出するCCの多形が異なる可能生が指摘されており⁶⁾、本研究では大気CO₂濃度下で炭酸化を行った。

評価手法としては、分子の結合状態を評価する方法である赤外分光法(FTIR)を用いた。中でも全反射吸収測定法(ATR)は、分析に用いる試料量が数十

表 1 OPCの化学組成

	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	SUM
Chemical Composition [mass %]	64.7	20.7	5.0	2.7	2.6	1.2	0.3	0.2	0.3	0.2	97.9

表 2 OPCの鉱物組成

	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	Calcite	Bassanite	Periclase	Gypsum	SUM
Mineral Composition [mass %]	51.3	22.7	9.1	7.9	5.8	2.3	0.5	0.4	99.9

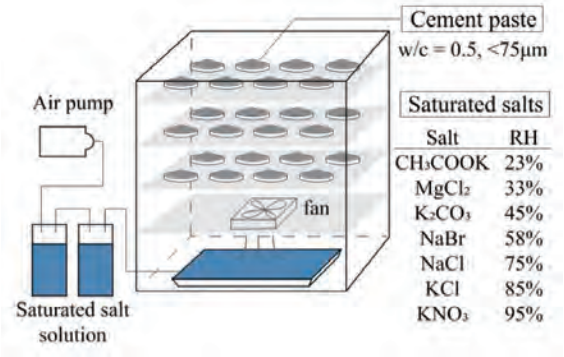


図 1 実験装置概要

mgと少ないこと、1測定が数分で終わる簡便なものである簡便さに加え⁷⁾、その分解能は表面数μmの反応のみを論じるのに適しており、反応自体の速さを取得するのに適している⁸⁾。

2. 実験方法

硬化体は普通ポルトランドセメント(OPC)と水道水を用いて、w/c = 0.50で練り混ぜることによって作成した。用いたOPCの組成を表1,2に示す。材齢38週で十分水和させたあとに105℃で乾燥させ、窒素雰囲気内で75 μm以下に粉碎し、図1に示す装置によって大気CO₂濃度で調湿された空気がエアーポンプによって常時デシケータ内に送り込まれて循環する環境で、異なるRH(23%, 33%, 45%, 58%, 75%, 85%, 95%)における炭酸化を行った。炭酸化期間は1, 3, 7, 14, 28日とし、所定の炭酸化日数が経過した試験体は真空中で保存し、それ以上の炭酸化が進行しないように保存してから分析を行った。

各試験体に対し、ATR-FTIR(Bruker, ALPHA II)を用いて、分解能2 cm⁻¹、波数範囲350~4000 cm⁻¹、128回積算の条件で測定した。ベースライン補

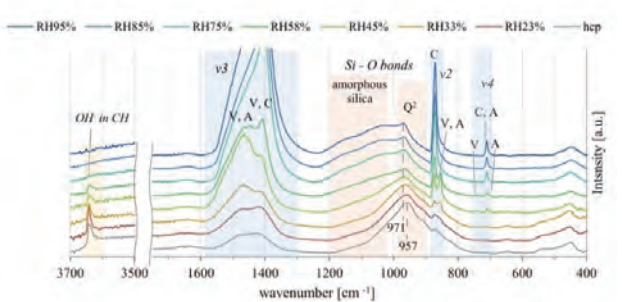


図2 各RHでの炭酸化14日後のFTIRスペクトル [C = Calcite, A = Aragonite, V = Vaterite]

正後のスペクトルに対し、先行研究の手法を参考に⁹⁾、1600~1700cm⁻¹におけるピーク強度(炭酸化の進行に伴ってピーク強度が変わらないと判断される)を基準に正規化を行った。実験および分析方法の詳細は論文の本文をご参照いただきたい。

なお、本実験では乾燥状態から炭酸化を開始したため、セメント硬化体内への水分の侵入とCO₂の侵入が同時に起こっており、あらかじめ調湿してから炭酸化を開始した実験系とは炭酸化初期の挙動は異なる可能性がある¹⁰⁾。また、事前乾燥を行った影響によって、処女乾燥で同じRHに平衡になっている硬化体よりも含水率が低くなっていること、およびC-S-Hの構造に及ぼす影響があったことも念頭に置く必要がある¹¹⁾。

3. 結果および考察

3-1. FTIR

炭酸化14日経過時点におけるFTIRスペクトルを図2に示す。各RHにおける1日から28日までの経時的なスペクトルの変化は誌面の都合上省略するため、論文の本文を参照いただきたい。

CCのピークは、一番強度の高い値を示すC-O結合



さえき なおひこ / SAEKI Naohiko
東京大学大学院
工学系研究科 建築学専攻
修士課程 学士



くりはら りょう / KURIHARA Ryo
同上
特任研究員 博士(工学)



まるやま いっぺい / MARUYAMA Ipppei
同上
教授 博士(工学)

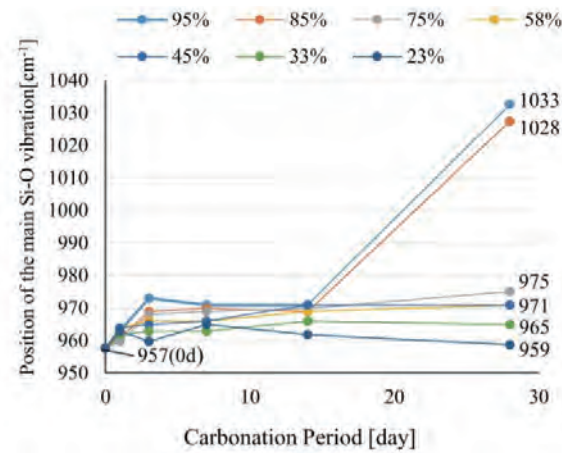


図3 C-S-Hの波数領域で最大強度を示した波数の経時変化

の伸縮振動 (ν_3), CO_3^{2-} の変角振動 (ν_2), O-C-O 結合の変角振動 (ν_4), C-O 結合の対称伸縮振動 (ν_1) の4つが先行研究によって知られている⁴⁾。Calcite, Aragonite, Vateriteの3つの結晶多形を持つのに加えて、非晶質の炭酸カルシウム (ACC) が存在し、それぞれの FTIR 上でのピーク位置は異なる。図2から、RH75%以上の高湿度では、Calciteが主な析出相であることが見て取れる。RH58%, 45%では、Calciteの他にAragonite, Vateriteの析出が生じている。RH23%では、28日経過後も0d時点と波形がほとんど変わらず、炭酸カルシウムの析出量は他の相対湿度と比べて非常に少ない。

CHの炭酸化の進行は、 3630cm^{-1} ～ 3650cm^{-1} の波数領域に見られるO-H結合のピークを見ることで評価できる。RH95%, 85%, 75%ではピークが消失しており、CHは炭酸化しきっていることがわかる。また、RH58%以下では14日経過後も明確にピークが残存していることが見て取れる。炭酸化によってCHの表層にCCの層が生成されることが良く知られており、このCCの撥水性や吸着水厚さに起因してRH58%以下では反応経路が遮断され、CHの溶解が停滞したと考えられる⁴⁾。

C-S-Hゲルは、 $800\sim 1200\text{cm}^{-1}$ にブロードなピークが見られる。Sevelsted and Skibstedによれば、C-S-Hの炭酸化は理想的には2段階に分けられ、層間のカルシウムレイヤーが溶解する脱灰反応が起こってCa/Siモル比 (C/S比) が0.67まで低下しながらCCが生成される

Decalcificationと、その後C-S-Hの主要構造に含まれるCa-O レイヤーの溶解し、同時に SiO_4 四面体が三次元的なネットワークを形成してCCとシリカゲル(またはアルミナシリカゲル)を形成するDecompositionがある¹²⁾。C-S-Hの炭酸化による構造変化をFTIR上での波数のシフトで評価するため、図3に $800\sim 1200\text{cm}^{-1}$ で最大の強度を示した波数位置を経時的にプロットした。未炭酸化のセメント硬化体は、 957cm^{-1} にピーク位置が見られる。このピーク位置はDecalcificationによってC-S-Hゲル中のC/S比が低下していくのに伴い、高波数側へとシフトしていくことが見て取れる¹³⁾。高RHでこのシフトは促進されやすい傾向があるが、RH23%では28日経過時点でもほとんどシフトしていない。

加えて、RH95%, 85%では、28日において 1030cm^{-1} 付近のピーク強度が 960cm^{-1} 付近のそれを上回る。図2からも、RH75%以上の環境下では炭酸化14日時点で $1030\sim 1200\text{cm}^{-1}$ の領域に新たにブロードなピークが観察されるが、このピークの成長は、Decompositionによるシリカゲルのネットワークの形成を表している⁴⁾。RH58%, 45%でもわずかにこのピークは見られるが、RH33%, 23%では見られない。シリカゲルの形成には、シリカが溶解した後に再度ネットワーク状に析出することが必要であるとされているが¹⁴⁾、RH33%以下の環境では、乾燥しているためシリカが溶解によって移動することができず、その結果シリカゲルの形成が進まなかったと推測される。

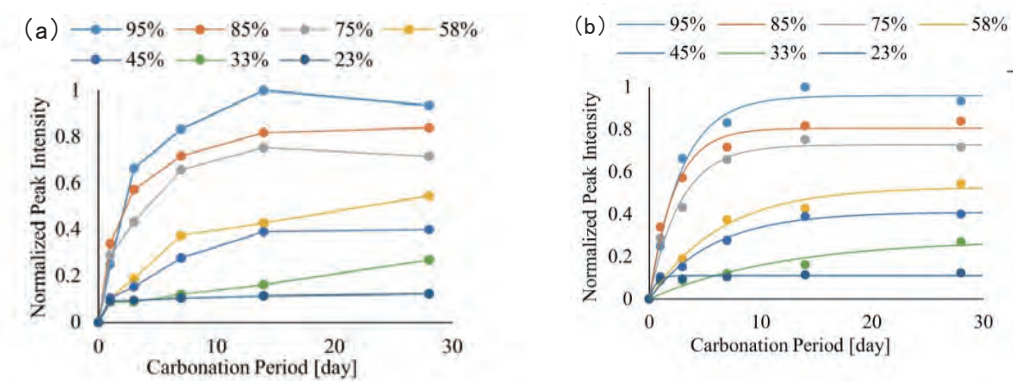


図4 (a)測定されたFTIRスペクトルにおける炭酸カルシウムの ν_3 振動のピーク積分値、(b)近似曲線と算出された係数

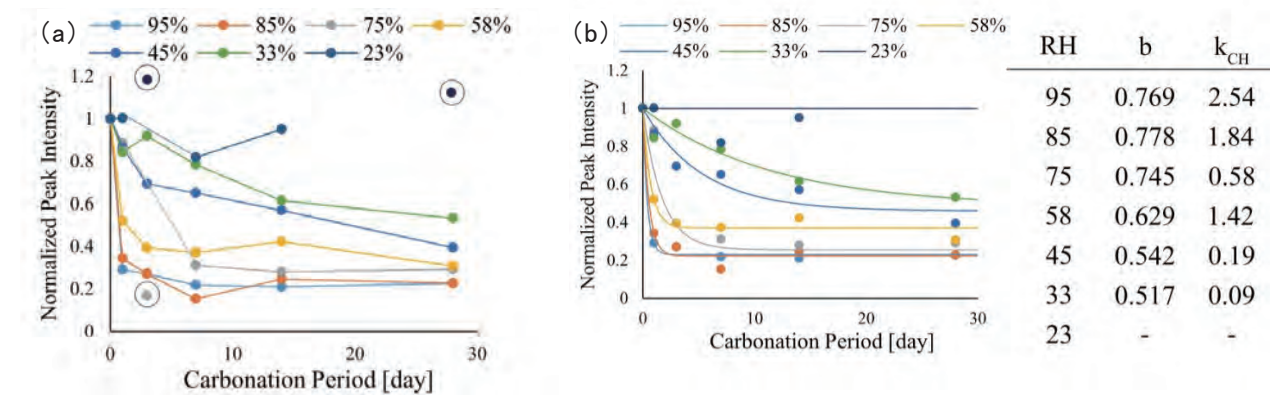


図5 (a)測定されたFTIRスペクトルにおける水酸化カルシウムのOH-基のピーク積分値、(b)近似曲線と算出された係数

3-2. 反応速度

CCの生成速度、およびCHの分解速度を論じるために、正規化したスペクトルの積分値を経時的に比較した。CCの ν_3 振動の波数領域 ($1300\sim 1550\text{cm}^{-1}$) の積分値を算出し、未炭酸化時の積分値を減じた後、最も強度が大きい試験体 (RH95%, 炭酸化14日時点) の積分強度を1として、各スペクトルを規格化した。データを図4(a)に示す。CHは $3600\sim 3650\text{cm}^{-1}$ の領域で積分を行い、未炭酸化の時点の強度を1として各データを規格化した。データを図5(a)に示す。

CC, CHの反応が一次の反応に従うとして、自然指数を用いて式(1), (2)のように近似した。なお、CHは他の結晶水や液水とピークが被る影響ではずれ値が観測されたため、図中に破線で囲んだ点を除去した。

$$(y=a(1-\exp(-k_{cc}t))) \cdots \cdots (1)$$

$$(y=b(\exp(-k_{ch}t)-1)+1) \cdots \cdots (2)$$

ここで、yは規格化したピーク強度、tは時間、a, b, k_{cc} , k_{ch} は生成速度に関する係数である。図4(b), 図5(b)に近似で得られた曲線と得られた係数を示した。CCの生成反応およびCHの分解反応速度が自然指数関数に従って近似できていると考えられる。aは相対湿度の増加に伴って単調に増加しており、これはCC生成量が高RHほど多くなっていることを意味する。 k_{cc} が大きいほど初期炭酸化齢で急速に反応が進むが、RHの増加に伴って k_{cc} も大きくなる傾向がある。

CHも同様に、RHが高くなるほどbの値が大きく、また k_{ch} の値が大きく初期炭酸化齢で急速に反応が進んだことがわかる。ただし、CHの分解に関しては前述の通り新たに生成したCCがCHの周りに膜状に析出しCHの溶解を停滞させる影響があるため、単純に自然指数関数で速度を近似できるとは限らない。

なお、本論文ではFTIRのデータのみであるが、そ

の後TG, XRDおよび²⁹Si NMRの追加測定を行った結果の論文を現在進めている。それらのデータと合わせて今後より深い議論を提供したいと考えている。

4. 結 論

本研究では、大気CO₂濃度で異なるRHにおけるセメント硬化体表面の炭酸化反応の進行をFTIRを用いて測定し、反応速度のRH依存性をCC, CH, C-S-Hの各成分で論じた。今後実際のセメント構造物のバルクでの固定量を定量していく際に、構造物内部でのCO₂や水分の分布状態と、本論文での炭酸化速度とを結び付けて考えていくことができると思われる。

(1) CCの生成およびCHの分解は、RHが高い環境ほど促進された。FTIRスペクトルの積分値を用いて、いずれの反応速度も指数関数を用いて近似することができた。

(2) C-S-Hゲルの炭酸化に関して、高RHほどDecalcificationに伴うC/S比の低下によるFTIRの波数シフトが観察された。RH75%以上ではDecompositionによるシリカゲルのピークの生成が新たに見られたが、RH33%以下では生成されなかった。

(3) CCの析出相に関して、RH75%以上の高湿度では主にCalciteのみのピークが検出された。RH58%, 45%, 33%の環境ではCalciteに加えてAragoniteとVateriteの生成も見られた。RH23%ではほとんどCC量が増加しなかった。

【謝辞】この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務

(JPNP21023)の結果得られたものである。記して謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 兵頭彦次他／ライフサイクルを通じたコンクリートのCO₂吸収量算定に関する研究, セメント・コンクリート論文集, vol.74, no.1, pp.333~340, 2020
- 2) 内田祥三, 濱田 稔／鋼及コンクリートの耐久試験, 建築雑誌, 516号, pp.1287~1303, 1928
- 3) 阿部道彦他／コンクリートの促進中成果試験法の評価に関する研究, 日本建築学会構造系論文報告集, vol.409, 1990
- 4) S. Steiner et al.／Effect of relative humidity on the carbonation rate of portlandite, calcium silicate hydrates and ettringite, Cem. Concr. Res., vol.135, 2020
- 5) F. Georget, J.H. Prévost, B. Huet／Impact of the microstructure model on coupled simulation of drying and accelerated carbonation, Cem. Concr. Res., vol.104, 2018
- 6) M. Auroy et al.／Comparison between natural and accelerated carbonation (3% CO₂): Impact on mineralogy, microstructure, water retention and cracking, Cem. Concr. Res., vol.109, pp.64~80, 2018
- 7) H. Vanoutrive et al.／Carbonation of cement paste with GGBFS: Effect of curing duration, replacement level and CO₂ concentration on the reaction products and CO₂ buffer capacity, Cem. Concr. Compos., vol.129, 2022
- 8) R. Ylmén, U. Jäglid and I. Panas／Monitoring Early Hydration of Cement by Ex Situ and In Situ ATR-FTIR – a Comparative Study, J. Am. Ceram. Soc., vol.97, no.11, pp.3669~3675, 2014
- 9) J. Higl et al.／Detailed in situ ATR-FTIR spectroscopy study of the early stages of C-S-H formation during hydration of monoclinic C3S, Cem. Concr. Res., vol.142, 2021
- 10) Y. Suda et al.／Phase assemblage, microstructure and shrinkage of cement paste during carbonation at different relative humidities, J. Adv. Concr. Technol., vol.19, no.6, pp.687~699, 2021
- 11) A. M. Gajewicz et al.／A ¹H NMR relaxometry investigation of gel-pore drying shrinkage in cement pastes, Cem. Concr. Res. vol.86, pp.12~19, 2016
- 12) T. F. Sevelsted and J. Skibsted／Carbonation of C-S-H and C-A-S-H samples studied by ¹³C, ²⁷Al and ²⁹Si MAS NMR spectroscopy, Cem. Concr. Res., vol.71, pp.56~65, 2015
- 13) P. Yu et al.／Structure of Calcium Silicate Hydrate (C-S-H) : Near-, Mid-, and Far-Infrared Spectroscopy, J. Am. Ceram. Soc., vol.82, no.3, pp.742~748, 1999
- 14) J. J. Chen et al.／Decalcification shrinkage of cement paste, Cem. Concr. Res., vol.36, no.5, pp.801~809, 2006

お知らせ

複写についてのお願い

セメント協会は下記協会に複写に関する権利委託をしております。本誌に掲載された著作物を複写したい方は、同協会より許諾を受けて複写して下さい。ただし(公社)日本複製権センター(同協会より権利を再委託)と包括複写許諾契約を締結されている企業の社員による社内利用目的の複写はその必要はありません(社外頒布用の複写は許諾が必要です)。なお、著作物の転載・翻訳などの複写以外の許諾は、直接セメント協会広報部門(☎03-5540-6175/出版担当)へご連絡下さい。

連絡先：(一社)学術著作権協会 ☎170-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル
TEL 03-3475-5618 FAX 03-3475-5619 E-mail: info@jaacc.jp

パンフレット・セメントの底力 セメントはわが国の防災インフラ整備を支えています

セメント協会は未曾有の被害をもたらした東日本大震災をはじめ、頻発するゲリラ豪雨や竜巻などの自然災害の脅威から、国民の命や生活を守るために必要な措置を施すことが何よりも重要な課題と捉え、防災インフラ整備の重要性を訴えるパンフレット(A4判・16ページ)を作成しました。

様々な自然災害時に対し、強固な躯体を持つコンクリート構造物やセメント系固化材が果たした役割や有用性を、①豪雨・渇水に備えるセメント、②津波・高潮に備えるセメント、③土砂災害に備

えるセメント、④災害復旧・復興を支えるセメントの項目にわけ、各種の事例を写真と図版でわかりやすく解説しています。このパンフレットにより人々の命や暮らしを守るセメント・コンクリートの力、これから必要となる公共事業についてご理解いただき、より一層安全への意識を高めるための一助としていただきたく作成しました。ご希望の方には無料でお届けいたします。申込みは部数と送付先を明記の上、下記までファクスでお申込み下さい。

一般社団法人セメント協会 広報部門 FAX 03-5540-6181



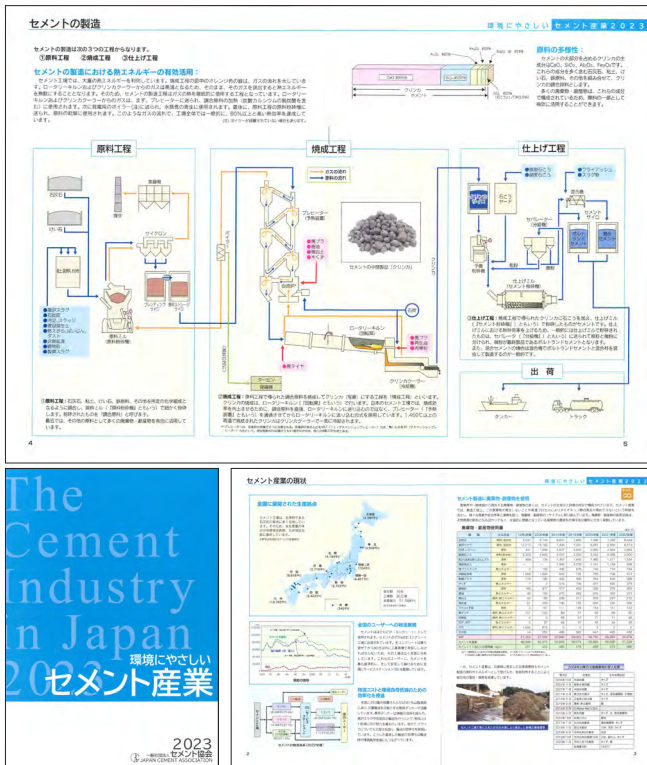
A4判・8ページ 環境にやさしいセメント産業 2023

セメント協会では、わが国セメント産業のダイジェストを紹介したパンフレットを発行しています。図表を多用した分かりやすい内容です。ご希望の方には無料でお届けいたします。

申込みは、部数と送付先を明記のうえ、下記までファックスでお申込み下さい。

(一社)セメント協会 広報部門 FAX 03-5540-6181

[主な内容]セメント産業の現状,セメントの製造,カーボンニュートラルを目指すセメント産業の長期ビジョン,カーボンニュートラル行動計画の概要,2050年に向けた対策



火山灰質土中のセメント系固化材反応とアロフェンによる反応阻害影響に関する研究

A Study on Reactions of Cement Based Solidifying Agents in Volcanic Ash Soils and the Influence of Reaction Inhibition by Allophene

高橋 佑弥

1. はじめに

近年、わが国において、セメント系固化材の需要が増加かつ多様化する傾向にある¹⁾が、土質材料のセメント改良において、日本に広く分布する火山灰質粘性土由来のアロフェンによる固化阻害が生じることが知られている²⁾。アロフェンは、セメント改良においてカルシウム(Ca)イオンを取り込むことでセメントの水和反応を阻害し、強度を低下させると考えられている³⁾。一方で、アロフェンが反応して水和生成物が生じることも知られているが⁴⁾、それらの強度への寄与の程度は明らかにしていない。

一般に地盤改良の際には、都度室内試験を実施することで固化材の添加量を決定する必要があるが、改良土の固化機構ならびに各機構の強度寄与や固化阻害の程度が明らかになることで、より効率的な配合選定が可能になると思われる。

そこで、セメント系固化材の水和反応特性や、アロフェンが強度特性に与える影響を明らかにすることを目的として、2018年度にセメント協会研究奨励金の交付を受けて「粘性土中のセメント系固化材反応と反応阻害影響の定量化」の研究を実施した。本稿では、当該研究

の成果と共に、その後の研究進展について述べる。

2. 「粘性土中のセメント系固化材反応と反応阻害影響の定量化」の成果

2-1. 実験概要(圧縮強度・熱分析)

セメントペースト試験体ならびに改良土試験体を作成し、圧縮強度試験と熱分析試験を行った⁵⁾。結合材には、普通ポルトランドセメント(OPC)、高炉セメントB種(BB)、セメント系固化材(Cement Based Solidifying Agent, CBSA、ここでは特殊土用固化材を用いた)の3種類を用いた。セメントペースト試験体は、水結合比(W/B)0.5と1.0の2水準で作製した。改良土には、市販の鹿沼土を粒径調整したものを用いた。土中のアロフェン量(非晶質量)を中島ら⁶⁾の方法により推定すると、65%であった。改良土試験体は3つの土結合材量比(S/B)(2.50, 3.33, 5.00)でそれぞれ2水準のW/B、計6種類の配合シリーズを用意した。JGS0821-2009「安定処理土の締固めをしない供試体作製方法」⁷⁾に準じてφ5×10cm円柱試験体を作製し、打設後試験材齢まで上部をラップで覆い20℃一定の封緘条件で養生した。

各試験体に対して材齢1, 3, 7, 28日で一軸圧縮試験を行った。また、圧縮試験後の試験体断片を採取し、熱分析に供した。試験体断片を5mm角程度に粉碎したのちイソプロパノールに1週間浸せきさせ、水

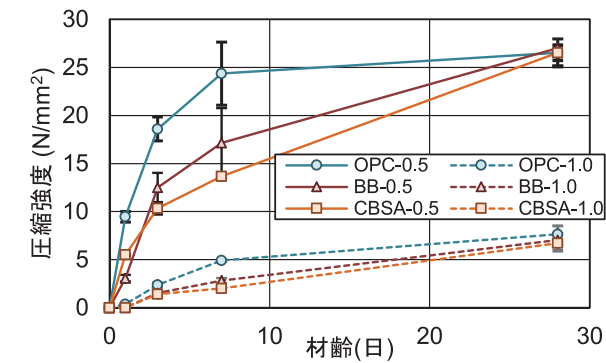


図1 セメントペーストの圧縮試験結果

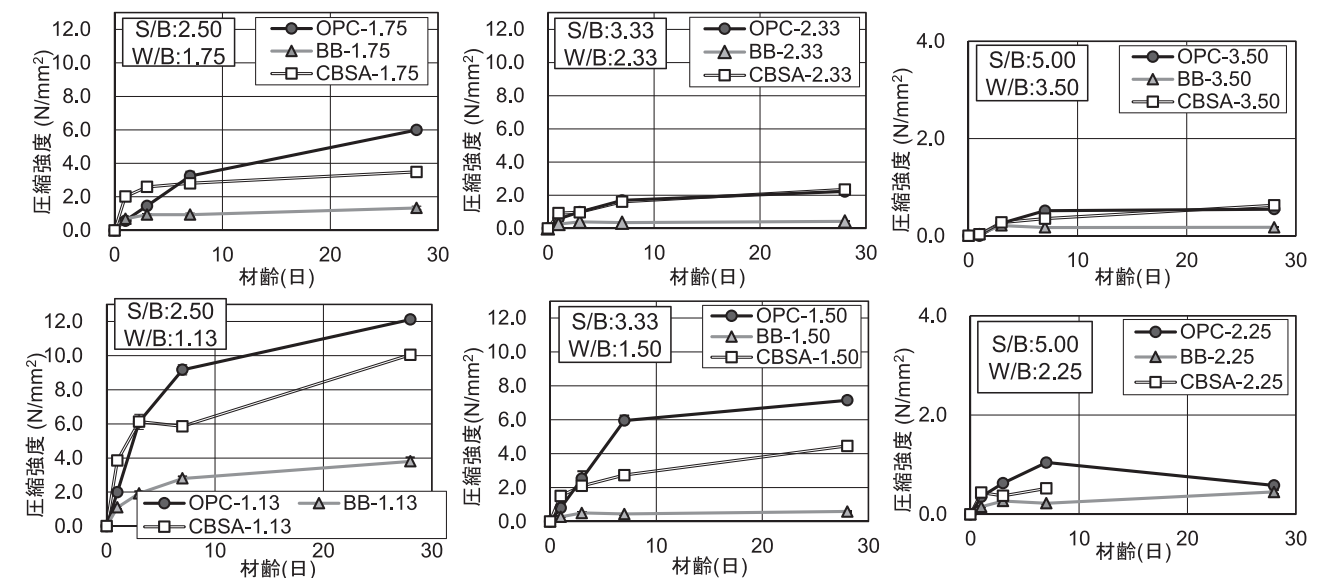


図2 鹿沼土を用いた改良土試験体の圧縮試験結果

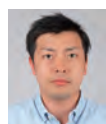
和停止を行った。その後1週間の真空乾燥の後に粉碎し、100μmふるい通過分に対して熱分析を実施した。測定は昇温速度15℃/分、N₂フロー環境下で行い、105℃から600℃までの質量減少量を600℃時点の質量で除した値を質量減少量(%)とした。

2-2. 実験結果と考察

図1にセメントペースト試験体の圧縮試験結果を、図2に改良土試験体の圧縮試験結果を示す。図の凡例は(結合材種類)-(W/B)を表している。図1の結果より、高炉セメントB種やセメント系固化材は、初期強度発現は遅いものの、28日時点ではOPCと同等の強度が得られた。一方、図2の結果を見ると、W/Bによって初期強度発現性が異なる。普通ポルトランドセメントとセメント系固化材は、高W/Bで低強度の試験

体の場合(改良土で現実的な配合の範囲の場合)には同様の強度推移となっているが、低W/Bで高強度の試験体では、初期にセメント系固化材が高い強度を示す一方、材齢28日では普通ポルトランドセメントの方が高い強度となっている。それぞれの配合で強度の支配要因となる水和反応および水和物が異なっている状況が推察される。また、全シリーズで高炉セメントB種の強度が著しく低い結果となった。アロフェンが存在する条件下で間隙水中のカルシウム濃度が低下し、高炉スラグ微粉末の反応が停滞したためと考えられる。

図3にセメントペースト試験体のW/B 0.5のシリーズ、改良土試験体のW/B 1.75および3.50のシリーズの熱分析結果を示す。おおむね圧縮試験と同様の質量減少量の推移を示している。105℃から600℃の温度帯ではエトリンガイト、モノサルフェート、portlandite、



たかはし ゆうや / TAKAHASHI Yuya
東京大学大学院
工学系研究科
准教授 博士(工学)

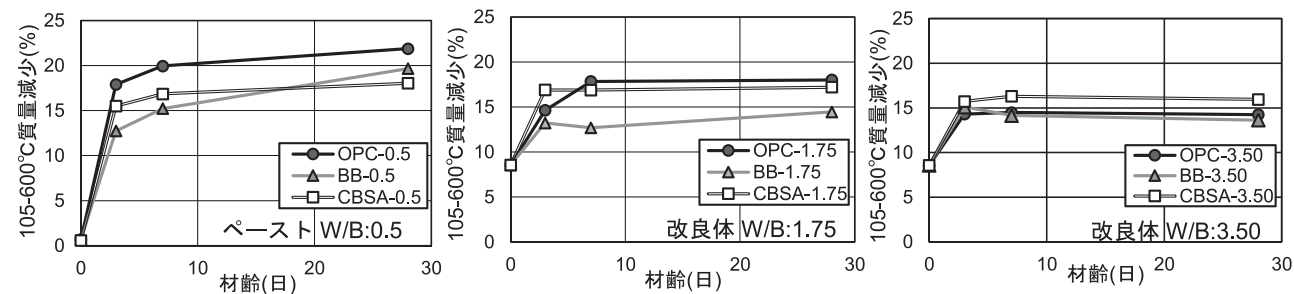


図3 熱分析結果

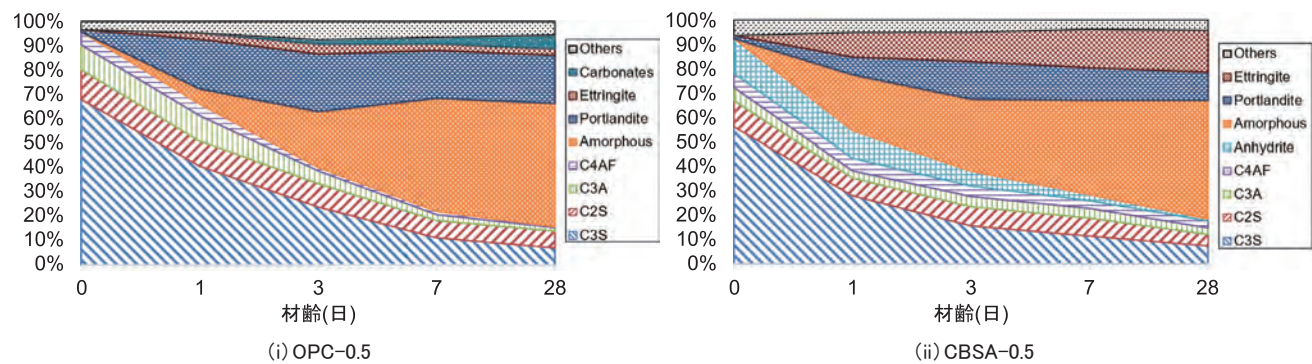


図4 セメントペースト試験体のXRD-Rietveld解析結果

C-S-H等の脱水が生じるため、これらの水和物の量の違いが結果に表れていると考えられる。改良土中でセメント系固化材は、豊富な SO_3 と Al_2O_3 に由来するエトリンガイトが初期に生成し、長期にわたって残存することで、初期に強度が発現するもののその後は伸びが鈍化するような強度発現特性を示すと思われる。

以上のように、セメント系固化材を含む複数の結合材で、大きく異なるW/Bで試験体を作製し、圧縮試験ならびに熱分析を行うことでセメント系固化材の特徴的な水和反応挙動が観察された。

3. その後の研究進展①

3-1. 実験概要(XRD・MIP)

セメント協会研究奨励金の交付を受けて実施した実験結果の考察を深めるために、X線回折分析(XRD)による水和物組成分析、水銀圧入法(MIP)による空隙径分布測定を実施した⁸⁾。

前節で熱分析に用いた試料と同じ手順で用意した試料に対して、XRDを実施した。内標準物質として $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ を10%内割添加してXRD測定を行い、SIROQ

UANT Ver.3.0を用いて C_3S 、 C_2S 、 C_3A 、 C_4AF 、 MgO 、 CaO 、 CaCO_3 、gypsum、basanite、anhydrite、portlandite、ettringite、monosulfate、monocarbonate、 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ を定量物質として、Rietveld解析を行った。改良土試験体は、PONKCS法⁹⁾によりアロフェンとC-S-Hそれぞれに由来する非晶質を分離した。また、W/B0.5のセメントペースト試験体について、材齢3、7、28日にMIPによる空隙径分布測定を実施した。

3-2. セメントペースト試験体の実験結果

図4および図5に、それぞれW/B=0.5のケースの相組成の推移と空隙径分布測定結果を示す。セメント系固化材は初期にanhydrite量が多く、その消費に伴い多くettringiteを生成しているが、図1に見られるような初期強度の差異を説明するような水和物量の違いは確認されない。クリンカーの消費速度にも有意な差は見られなかった。一方、空隙径分布の推移を見ると、セメント系固化材はOPCに比べて粗大な空隙が多く、微細な空隙が少ない。相組成の違いに伴って、特徴的な空隙系分布となることが初期強度発現の違いの要因であるとも考えられる。

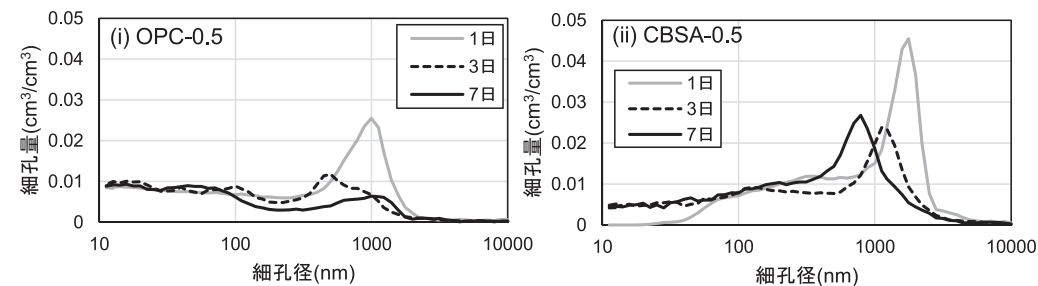


図5 セメントペースト試験体の空隙径分布測定結果

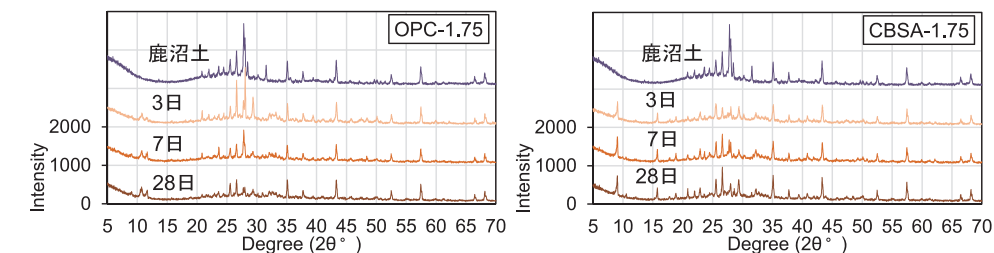


図6 鹿沼土を用いた改良土試験体のXRDプロファイル

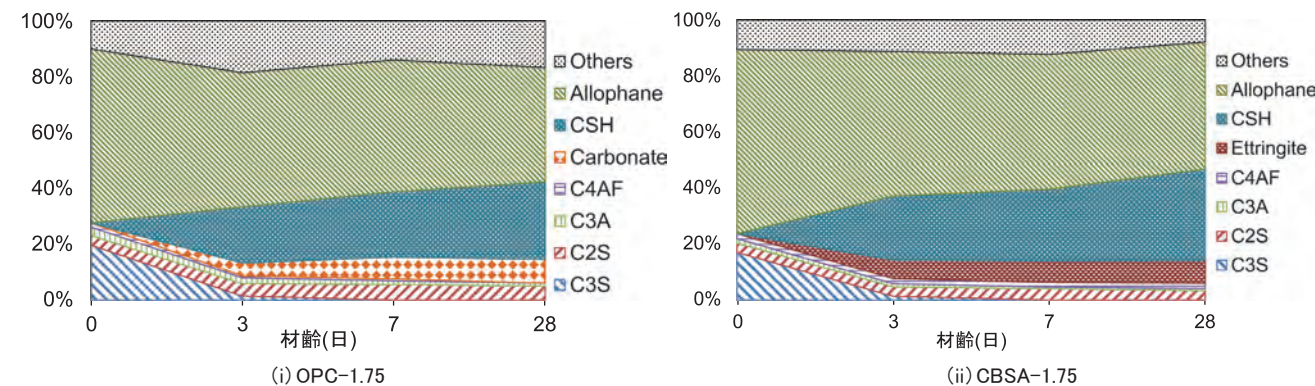


図7 鹿沼土を用いた改良土試験体のXRD-Rietveld解析結果

3-3. 改良土試験体の実験結果

図6および図7にそれぞれW/B=1.75の試験体のXRDプロファイルと相組成の算定結果を示す。図6を見ると、鹿沼土で20-30°あたりに見られる非晶質によるブロードのピークが材齢と共に減少している一方で、OPCにおいてhem carbonate (10.7°)とmonocarbonate (11.7°)のピークが、セメント系固化材においてettringite (9.1°)のピークが見られる。この時portlanditeのピークは確認されず、改良土中でportlanditeとアロフェンの反応が生じていることが推察される。図7を見ると、強度進展の違いを説明するような水和物の量の違いは見られない。ただし、セメント系固化材において初期に多くのettringiteが生成している点がOPCとは異なっており、このようなettringite生成が改

良土内の湿度を低下させることや、土粒子同士の架橋による強度増進の影響を増大させることが、セメント系固化材による改良土の初期の強度増進に寄与しているのではないかと考えられる。セメント系固化材を用いた試験体のその後の強度増進の停滞は、portlanditeを早期に消費することによるアロフェンの反応の停滞によるものである可能性もあると考えられる。

4. その後の研究進展②

4-1. 実験概要(異なるアロフェン量, Ca添加量条件下での実験)

これまでの検討を踏まえ、改良土中のCa量とアロフェン量の関係性が、アロフェンによる固化阻害と、アロフェ

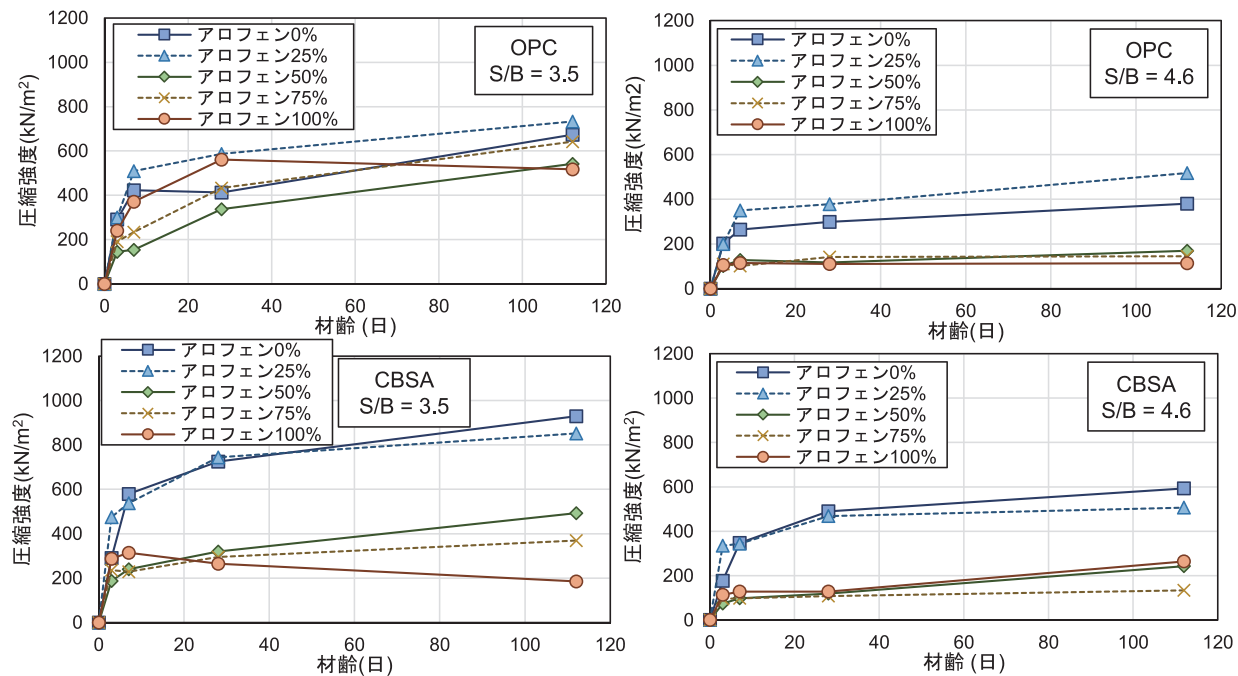


図8 異なるアロフェン量の改良土試験体の圧縮強度試験結果

ン自体の反応に寄与しているのかではないかとの着想を得て、異なるアロフェン量およびカルシウム量の改良土試験体を作製し、圧縮強度や相組成などに関する実験的検討を実施した^{10,11)}。

アロフェン含有量の異なる模擬土を用意し、OPCおよびセメント系固化材(CBSA)を用いて改良土試験体を作製し、試験に供した。土試料としてカオリン粘土(アロフェン含有率0%)、佐倉ローム(北川¹²⁾による方法にて、アロフェン含有率50%であると定量)、合成アロフェン(アロフェン含有率100%)を用意した。これらの土試料を単体もしくは2種類用いることで、アロフェン量の異なる模擬土(アロフェン量0, 25, 50, 75, 100%の5ケース)を用意した。改良土試験体は、模擬土の含水比が100%となるように調整した後、W/Bを1.00としたセメントミルクを、S/Bが3.5もしくは4.6となるように添加して改良土試験体を作製した。2節と同様の方法で円柱試験体として作製し、打込後試験材齢まで上部をラップで覆い 20° C一定の封緘条件で養生した。材齢3, 7, 28, 112日にて一軸圧縮試験を実施した。S/Bを3.5, 4.6と2種類設定したのはアロフェン量と結合材量の質量比率が異なるシリーズの用意を意図したものである。

また、アロフェンにCaイオンが取り込まれることを念

頭に、供給Ca総量を変化させることを意図して、合成アロフェンを用いたアロフェン100%の模擬土のS/B=3.5のシリーズについて、Ca(OH)₂を改良土試験体100gあたり1gもしくは2g添加した試験シリーズを用意し、材齢1, 3, 7日にて一軸圧縮試験を実施した。

4-2. 実験結果と考察

図8に、異なるアロフェン含有量となるように構成した模擬土を用いた改良土試験体の材齢112日までの圧縮強度試験結果を示す。OPCを使用したS/B=3.5の試験体シリーズではアロフェン含有量による明確な強度増進の違いの傾向はみられない一方で、他のシリーズ(OPC・S/B=4.6およびCBSAのシリーズ)では、7日時点から明確に強度の傾向が二極化する傾向が得られた。アロフェン含有量の少ない試験体が比較的高い強度を示している。OPCとセメント系固化材の水和の際のCa供給量の違い、S/Bの違いによるアロフェン量に対するCa供給量の違いによって、このような異なる強度増進傾向が得られていると思われ、土に対するCaの供給量が少なく、アロフェンの割合が高いときに固化阻害による強度増進不良が起きているものと推察される。

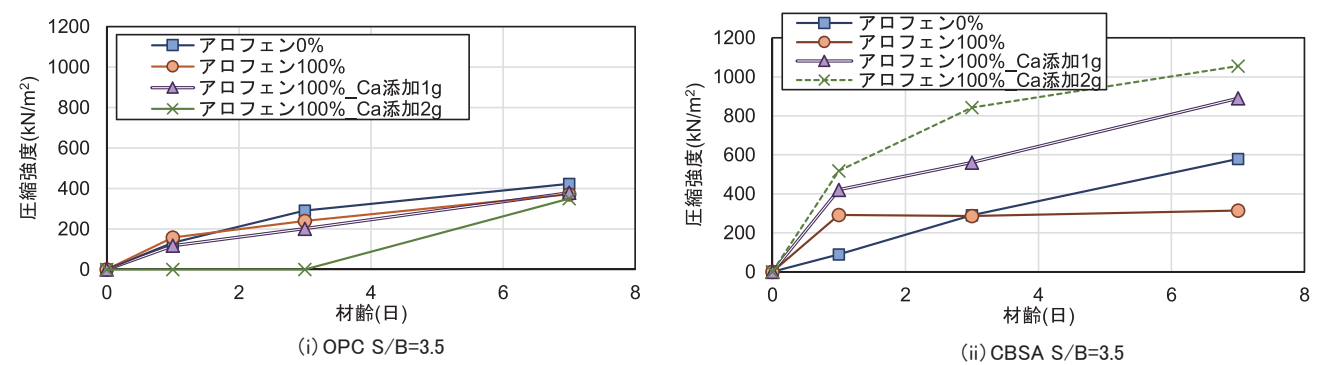


図9 異なるCa添加量の改良土試験体の圧縮強度試験結果

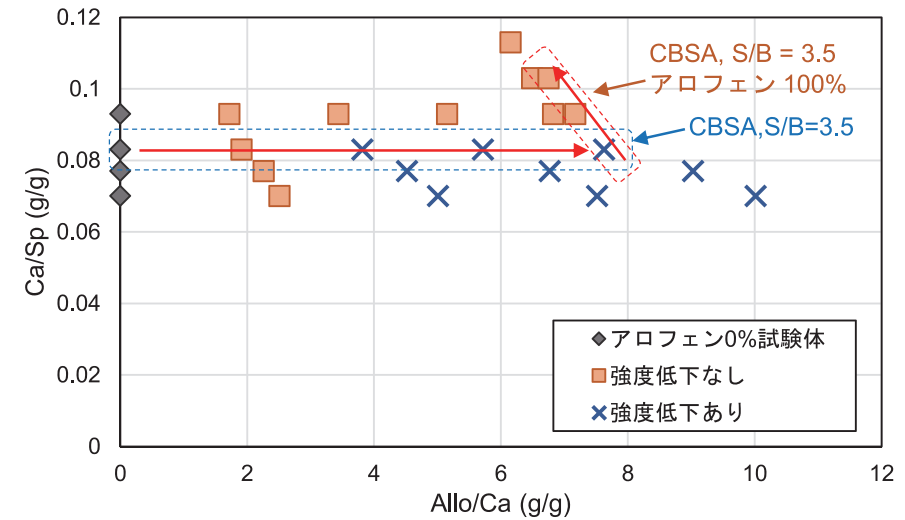


図10 アロフェン量・Ca供給量と固化阻害有無の整理

図9にCa(OH)₂を添加した改良土試験体を含むシリーズの材齢7日までの圧縮試験結果を示す。セメント系固化材を使用した試験体は、Ca(OH)₂添加量が多い方が、圧縮強度が高い結果となった。一方、OPCを使用した試験体では7日時点の強度には大きな差異は見られなかったが、Ca(OH)₂の添加量が多いほど初期の強度が出ない傾向が得られた。OPCを使用したシリーズの溶液濃度を測定すると¹¹⁾、溶液中のCa濃度およびpHが増加しており、これによりクリンカー消費を停滞させる環境になっていると思われる。一方で、有泉・大場¹³⁾によると、アロフェンの質量に対して一定の割合を超えるCaが吸着されると、アロフェンが反応して別の物質に変化することが示されている。セメント系固化材を使用したシリーズではCa(OH)₂を添加することで、アロフェンが多量のCaを吸着し、アロフェンの反応が促されたと考えられる。

各試験体シリーズの配合から、結合材および添加

Ca(OH)₂により供給されるCaの総量と模擬土中のアロフェン量とを計算し、試験体に占める供給Ca総量の質量比率(Ca/Sp)、模擬土中のアロフェン量と供給Ca総量の質量比率(Allo/Ca)を算出し、固化阻害・強度増進停滞の有無の関係性を整理した結果を図10に示す。Ca/Sp(供給Ca量)が小さく、Allo/Ca(含有アロフェン量)が大きい場合に、強度低下が生じていることがわかる。Ca/SpとAllo/Caの値で整理したときに、種々の配合や使用材料の違いにかかわらず、一定の閾値を境に強度低下が生じるか否かが分かれているようにも見える。特にセメント系固化材を用いたS/B=3.5のシリーズに着目すると、Allo/Caの増加に従って、ある範囲から強度低下が生じるものの、アロフェン100%のシリーズにおいてCa(OH)₂を添加することでCa/Spが増大し、強度低下が解消されることが見て取れる(図10中赤矢印参照)。今後さらにデータを蓄積することにより、強度低下に関連する閾値がより明確に

なるとも思われ、将来的に事前に強度低下するか否かを判断できる可能性もあると思われる。

5. おわりに

本稿では2018年度セメント協会研究奨励金の交付を受けて実施した研究「粘性土中のセメント系固化材反応と反応阻害影響の定量化」の成果ならびに、その後の研究進展について示した。火山灰質土に存在するアロフェンは、環境にあるCaの量との関係性によって、セメントの固化阻害やアロフェン自体の反応による強度増進を整理できる可能性がしめされた。それら反応の程度を適切に理解することで、改良土の強度予測が可能になると考えられる。

【参考文献】

- 1) (一社)セメント協会／セメント系固化材の広がる用途と役割, 2018
- 2) (一社)土木学会／コンクリート技術シリーズ115, セメント系構造物と周辺地盤の化学的相互作用研究小委員会(345委員会)第2期成果

報告書, 2018

- 3) (社)セメント協会 セメント系固化材技術専門委員会／火山灰粘性土のセメント改良体における強度発現に関する検討＜アロフェンの影響について＞, セメント・コンクリート, No.780, pp.3～8, 2012
- 4) 有泉昌／アロフェン質粘土の消石灰－石膏による化学的安定方法に関する研究(1)アロフェン粘土と消石灰溶液との反応により生成するHydrated Gehlenite ($2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)について, 土木研究所報告, No.110, pp.97～115, 1961
- 5) 瀬川出, 高橋佑弥／火山灰質土のセメント改良におけるセメント系固化材の強度特性と水和反応特性に関する基礎的検討, 第73回セメント技術大会講演要旨, pp.154～155, 2019
- 6) 中島美代子, 富田龍三, 田中政典／アロフェンおよび非晶質成分の含有量測定方法の検討, 土木学会第66回年次講演会概要集, pp.755～756, 2011
- 7) (社)地盤工学会／JGS 0812-2009 安定処理土の締固めをしない供試体作製方法, 2009
- 8) 高橋佑弥, 瀬川出, 五十嵐豪／水和物組成に基づいたセメント系固化材による火山灰質土の固化特性の分析, 第74回セメント技術大会講演要旨, pp.148～149, 2020
- 9) Scarlett, N.V. & Madsen, I. C.／Quantification of phases with partial or no known crystal structures, Powder Diffraction, Vol. 21, No.4, pp.278～284, 2006
- 10) 奥村太河, 高橋佑弥／水酸化カルシウムの添加がアロフェンを含む火山灰質土のセメント改良に与える影響の分析, 第75回セメント技術大会講演要旨, pp.144～145, 2021
- 11) 奥村太河, 高橋佑弥／セメント系固化材によるアロフェン含有土の固化強度と添加Ca(OH)₂の影響に関する実験的検討, セメント・コンクリート論文集, Vol.75, No.1, pp.393～403, 2022
- 12) 北川靖夫／土壌中のアロフェンおよび非晶質無機成分の定量に関する研究, 農業技術研究所報告B, No.29, pp.1～48, 1977
- 13) 有泉昌, 大場正男／アロフェン質粘土の消石灰－石膏による化学的安定方法に関する研究(2)アロフェンとCa(OH)₂溶液との反応条件について, 土木研究所報告, No.110, pp.132～132, 1961

お知らせ

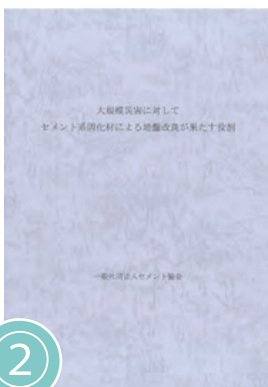
改良地盤の震災・適用調査報告書 無料ダウンロードできます。

- ①東日本大震災におけるセメント系固化材を用いた地盤改良に関する 調査報告書
- ②大規模災害に対してセメント系固化材による地盤改良が果たす役割
- ③防災・減災、国土強靱化に資するセメント系固化材による地盤改良
- ④セメント系固化材の広がる用途と役割



①

東日本大震災におけるセメント系固化材を用いた地盤改良に関する調査報告書



②

大規模災害に対してセメント系固化材による地盤改良が果たす役割



③

防災・減災、国土強靱化に資するセメント系固化材による地盤改良

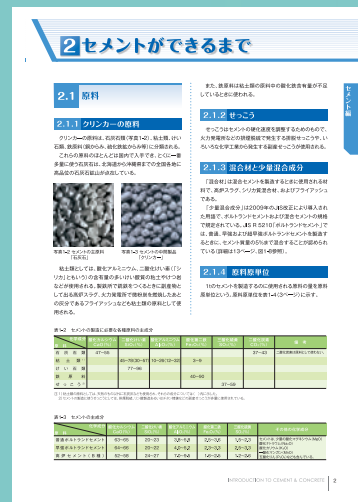


④

セメント系固化材の広がる用途と役割

弊会ホームページ(<https://www.jcassoc.or.jp/cement/1jpn/kokazaihoukoku01.html>)から、無料ダウンロードできます。是非ご利用下さい。

一般社団法人セメント協会普及部門 E-mail fukyu@jcassoc.or.jp



「はじめて学ぶ セメント・コンクリート」をコンセプトに1973年から47年, おなじみの「常識」が第24版を迎え発刊いたしました。「セメントはなぜ固まるの?」「コンクリートって何ですか?」といった初歩的な疑問から, セメント・コンクリート技術とその使い方まで, さらに環境のことを考えたセメント産業の「いま」, セメントに関する国内外の統計データをカバー。最新のJISにも対応済みです。次代を担う新人の研修から知識の再整理まで, 自信を持っておすすめするお役に立てる一冊です。

A4版・オールカラー 72ページ 定価2200円(税込)
(月刊セメント・コンクリート定期購読者は1割引)

お求め・お問い合わせは…

一般社団法人セメント協会 図書販売係 まで
東京都中央区新富二丁目15番5号 RBM築地ビル2階
TEL 03-5540-6173 FAX 03-5540-6181

「セメントの常識」おすすめです。

緑の表紙の常識、新版出ました！

セメント排ガスCO₂の分離回収とメタネーション技術

CO₂ capture from cement flue gas and methanation technology

松島 正明 高橋 智彦 山口 貴大 山下 牧生

1. はじめに

世界の平均気温の推移を図1に示す¹⁾。直近の約100年間で、平均気温は約1℃上昇したことが分かる。2023年7月には世界の平均気温が観測史上最高となることが発表され、「地球沸騰化」の時代が到来したと警告されている。パリ協定では、世界の平均気温の上昇を産業革命以前に比べて2℃より十分低く保ち、1.5℃以内に抑える努力をすると宣言され、世界各国での目標としてカーボンニュートラルが掲げられている。

国内のセメント産業は年間約4千万tの二酸化炭素(CO₂)を排出しており²⁾、これは国内全体の約4%を占めている。このため、セメント業界としてCO₂の削減は

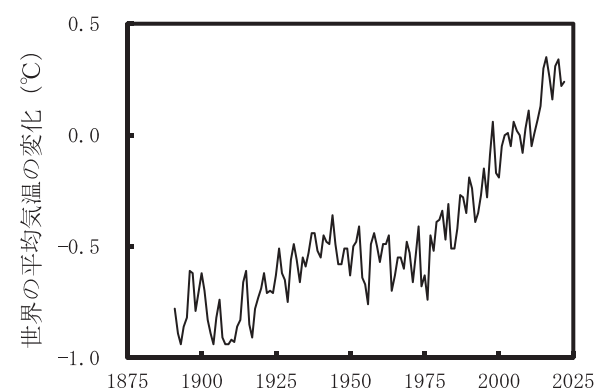


図1 世界の平均気温の変化¹⁾
[気象庁のデータを元に編集]

喫緊の課題であり、各社にて様々な対策が検討されている。

当社で取り組んでいるCO₂削減対策の1つとして、CO₂のリサイクル(再利用)があげられる(図2)。セメント工場の排ガス(以下、排ガスと称す)からCO₂を分離回収する³⁾。回収したCO₂を水素と反応させて合成メタンを生成し⁴⁾、そして、その合成メタンを焼成用熱エネルギーとして活用することでCO₂のリサイクルが可能となる。

1-1. CO₂分離回収について

2050年のカーボンニュートラル実現に向け、再生エネルギー等のCO₂を排出しない技術が着目されているが、全量のエネルギー転換は現実的ではなく、少なからず石炭由来のCO₂は排出されと考えられる。

また、セメント産業のCO₂排出の原因の約6割は石

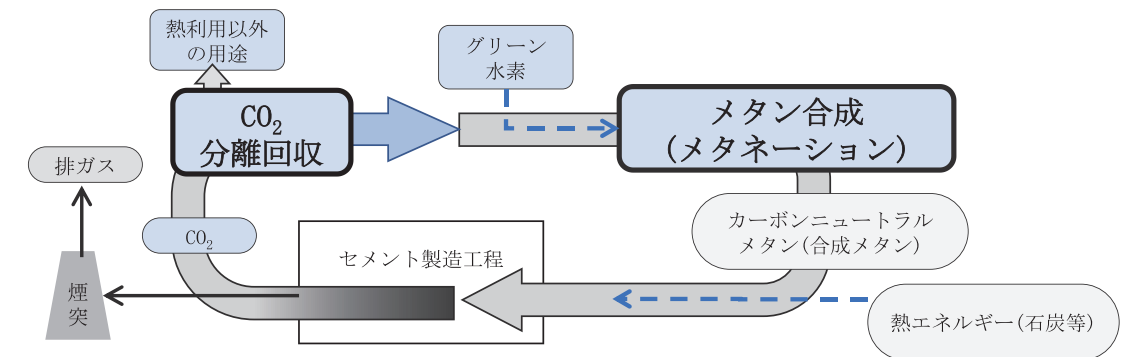


図2 CO₂リサイクル概念図



写真1 試験設備の設置場所

灰石原料由来であるように、石炭由来以外にもCO₂は排出される。そのため、これらのCO₂を削減する技術についても求められている。

排ガスからのCO₂分離回収技術は古くから研究されており、実証例も数多く報告されている⁵⁾。吸収剤を使用して排ガスからCO₂を選択的に吸収し、その後、CO₂を放散させることで、濃度の高いCO₂を回収できる。一般的に、CO₂を放散させることで、吸収剤は再生され繰り返し使用できる。CO₂の吸収剤にはアミン(アンモニア(NH₃)の水素原子を炭化水素基等で置換した化合物)吸収液が用いられることが多い⁵⁾。一方で、アミン溶液は、CO₂を放散させる際(再生工程時)に、溶液の蒸気放散によるエネルギー損失が大きい。

当社では、脱着エネルギーが低いとされる固体吸収材に着目し、これを用いたセメント工場排ガスからのCO₂分離回収に取り組んでいる³⁾。固体吸収材は多孔質であり、表面は吸収剤(アミン)でコーティングされて

いる。固体吸収材は、アミン吸収液に比較すると、CO₂の脱着温度が低く、CO₂分離回収に要するエネルギーの低減が期待される。また、アミンの揮発による性能低下の可能性が低いと考えられる。

1-2. メタネーションについて

メタネーションとは、CO₂と水素(以下、H₂と称す)を反応させて都市ガスの主成分であるメタン(以下、CH₄と称す)を合成する技術である。サバティエ法は、メタネーションの中でも最も歴史が古く、1897年にフランスのポール・サバティエにより見出された技術で、式(1)のようにCO₂とH₂をニッケル触媒に接触させて熱化学的にCH₄と水(H₂O)を得る方法(サバティエ法)である。この反応は発熱反応であり(1モルのCH₄生成で165kJ発熱)、化学平衡上、低温かつ高圧ほどCH₄が多く生成する。また、副生成物の水を取り除くことでも、CH₄生成量が増加する。



本稿では、当社九州工場黒崎地区で実施している工場排ガスからのCO₂分離回収とメタネーションの実証試験(写真1)の内容について解説する。

2. 実証試験

2-1. 固体吸収材を用いたCO₂分離回収

試験で用いた固体吸収材(川崎重工業社製)による

	まつしま まさあき / MATSUSHIMA Masaaki UBE三菱セメント(株)研究所 セメント研究室 セメントG
	たかはし ともひこ / TAKAHASHI Tomohoko 同上
	やまぐち たかひろ / YAMAGUCHI Takahiro 川崎重工業(株) 技術開発本部 技術研究所 エネルギーシステム研究部 研究一課
	やました まきお / YAMASHITA Makio UBE三菱セメント(株)研究所 セメント研究室 セメントG 副室長 博士(工学)



写真2 CO₂分離回収装置の外観

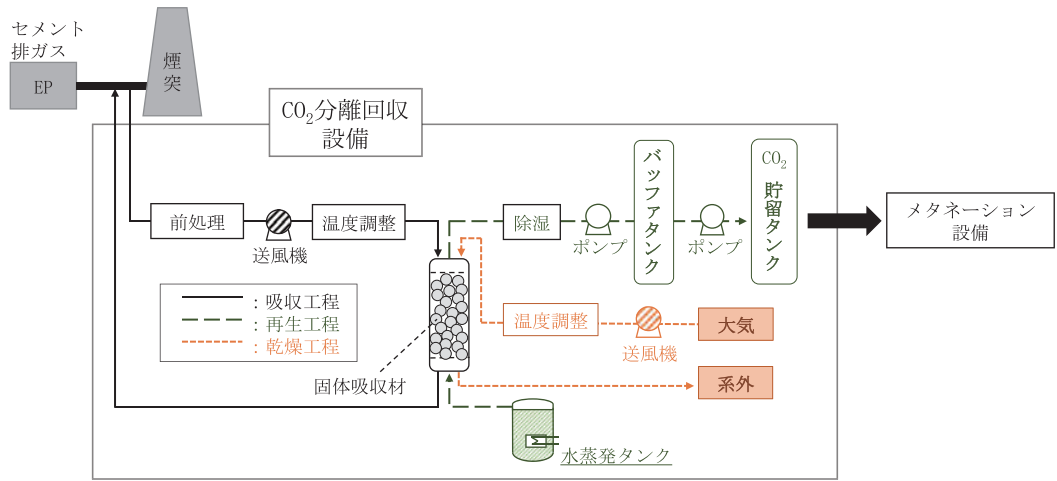


図3 CO₂分離回収の概要

表1 CO₂分離回収の運転条件

項目	処理量(kg/d)	導入温度(℃)	再生温度(℃)	乾燥温度(℃)
数値	20	40	60	40

CO₂分離回収装置の外観を写真2に、CO₂分離回収方法の概要を図3に示す。運転の工程は、以下に示す3つの工程から構成されている。①排ガスを固体吸収材に接触させCO₂を吸収する工程(吸収工程)、②水蒸気を固体吸収材に接触させ、吸収したCO₂を放散する工程(再生工程)、③乾燥空気を導入して吸収材に吸着した水分を脱離し乾燥する工程(乾燥工程)の3つである。

試験では、吸収工程で導入するガスには、排ガスまたは、液化炭酸ガスを大気希釈調整したもの(以下、模擬ガスと称す)を用いた。排ガスのCO₂濃度は

主として焼成工程の影響により多少変動する。一方で、模擬ガスの場合、一定のCO₂濃度で導入が可能である。

CO₂分離回収の運転条件を表1に示す。吸収工程では、吸収時間、ガス流量およびガス温度が一定となるよう制御し、ガス種による影響を確認した。再生工程では、反応器内を20kPaに減圧し、蒸気を導入する。具体的には、断熱材で覆われたタンクに純水を充填し、タンク内部を減圧加熱して発生した水蒸気を使用した。CO₂放散の終了を確認後に蒸気導入を停止した。乾燥工程では、乾燥時間、ガス流量および乾燥



写真3 メタネーション装置の外観

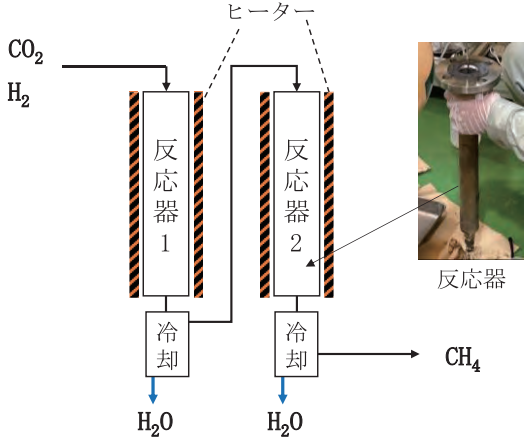


図4 メタネーション方法の概要

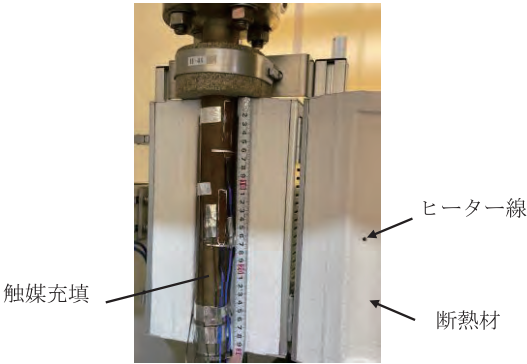


写真4 反応器の内部



写真5 触媒

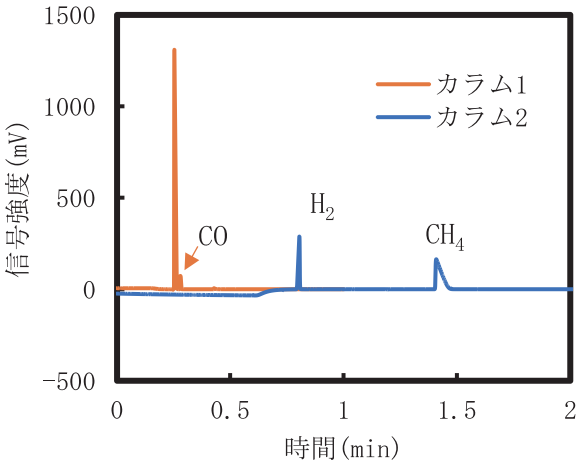


図5 ガスクロマトグラフによる定量

ガス温度が一定となるよう制御した。

2-2. 回収CO₂を用いたメタネーション

試験で用いたメタネーション装置(日立造船社製)の外観および概要を写真3、図4に示す。本装置では、反応器が2つ直列に配置されており、各反応器の周囲にはヒーターが取り付けられている(写真4)。反応

器内部には、ペレット状のNi系触媒(写真5)が充填されている。各反応器の後段には、バブラーがあり、反応後ガスが冷却水と接触する仕様になっている。このバブラーで副生成物の水が除去されるため、化学平衡がCH₄生成側に移動し、反応器2でのCH₄の生成が促進される。生成したCH₄は、装置後段のガスクロマトグラフにて定量した(図5)。

表2 メタネーションの運転条件

項目	CO ₂ 流量 (L/h)	H ₂ 流量 (L/h)	反応器数 (基)	設定温度 (℃)	背圧 (MPa)
数値	100	400	1	230	0.5

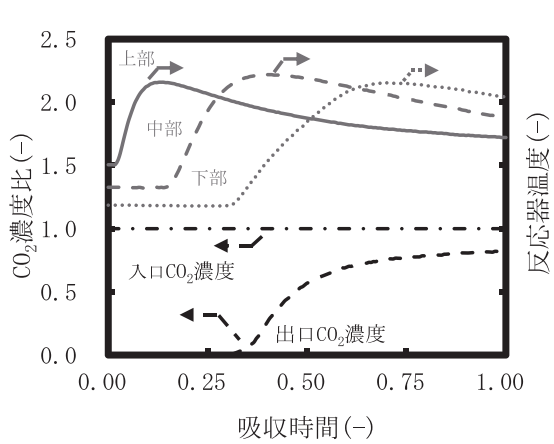


図6 吸収時間とCO₂濃度比と反応器温度の関係

メタネーションの運転条件を表2に示す。本試験では、反応器の特性を把握するため、反応器1のみを使用した（反応器2のヒーターをCO₂とH₂が反応しない温度に設定した）。

試験に用いたCO₂は、CO₂分離回収により得られた排ガス由来のCO₂（以下、回収CO₂と称す）または液化炭酸ガスを使用した。H₂はガスボンベから供給した。

3. 結果および考察

3-1. CO₂分離回収

図6に吸収工程における相対吸収時間（全吸収時間に対する比率）とCO₂濃度比と反応器温度の関係を示す。排ガスを固体吸収材入りの反応器に導入すると、CO₂とアミンの発熱反応により、排ガスの導入側である反応器上部より温度が上昇した。反応器下部の温度が上昇するまでは、出口CO₂濃度は0%で推移しており、この間は、固体吸収材によるCO₂吸収率が100%であった。反応器下部の温度が上昇したあたりで、出口CO₂濃度が破過したが、破過した後もCO₂を一定量吸収する傾向が確認された。なお、これらの様子は、模擬ガスを使用した場合も同様であった。また、再生工程において得られた除湿後のガスのCO₂

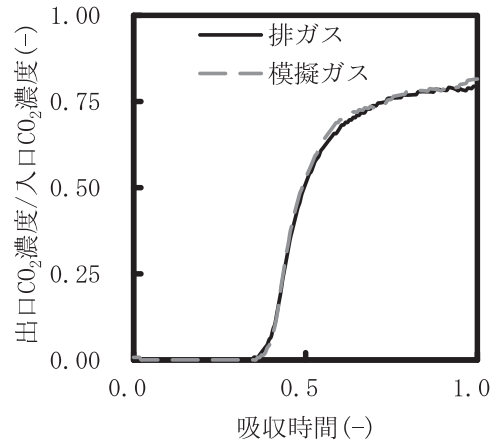


図7 ガス種による吸収性能の差

濃度は99%以上で安定しており、これを貯留タンクに回収CO₂として充填した。

図7に排ガスと模擬ガスのガス種による吸収性能の差を示す。両ガスのCO₂濃度は同等にして試験結果を比較した。これら2種類のガスによる固体吸収材の吸収特性を比較したところ、出口CO₂濃度の推移は同等であり、明確な差は確認されなかった。

本試験結果より、固体吸収材を用いて排ガスからCO₂分離回収を実施したところ、CO₂濃度が99%以上のCO₂を回収できた。また、排ガスと模擬ガスによる固体吸収材の吸収性能に大差はなかった。

3-2. メタネーション

前節で示した回収CO₂は、CO₂濃度が99%以上と高濃度であるため、メタネーションの原料ガスとして適していると考えられた。図8に回収CO₂を用いたメタネーションの初期反応における各種ガス濃度の推移を示す。同図には、液化炭酸ガスを使用したケースも併記した。試験開始後1時間程度で反応器内部の温度が設定温度付近まで上昇すると、メタネーション反応が進行する。それに伴いH₂濃度およびCO₂濃度が減少し、CH₄濃度が増加し始めた。約3時間程度で、CH₄濃度が最大となり、以降、CH₄濃度が安定した。

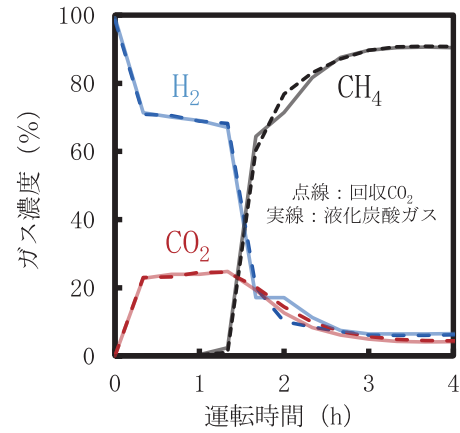


図8 初期反応における各種ガス濃度の推移

これらの傾向は、回収CO₂と液化炭酸ガスをそれぞれ用いた場合で同様であり、基本性能に差はないことが示唆された。今回の試験では、反応器1基のみの運転で90%以上のCH₄濃度が得られている。

図9に反応器内部の温度分布を示す。反応器の高さが400mmあり、入り口からの距離（触媒層距離）と内部温度の関係を示す。温度分布は運転開始から約3時間以降のCH₄濃度が安定した状態で測定した。

反応器のヒーターの設定温度は230℃としたが、H₂とCO₂のCH₄生成反応に伴う発熱により、内部温度の上昇が確認された。反応器の内部温度は、触媒層距離が30mmの位置で最大値となり、それ以降では温度が低下した。反応器出口付近（触媒層距離：400mm）の温度は、本試験の場合では、約270℃と推定され⁴⁾、反応器出口付近の温度がCH₄濃度に影響を与えることが示唆された。

本試験結果より、メタネーションについて、排ガス由来の回収CO₂を用いてもサバティエ法によるCH₄生成が可能であり、液化炭酸ガスを用いた場合と得られるCH₄濃度が同等であることが分かった。また、反応器内部の温度が、メタネーションにより得られるCH₄濃度に影響を与えることが示唆された。

4. おわりに

セメント排ガスを用いた、固体吸収材によるCO₂分

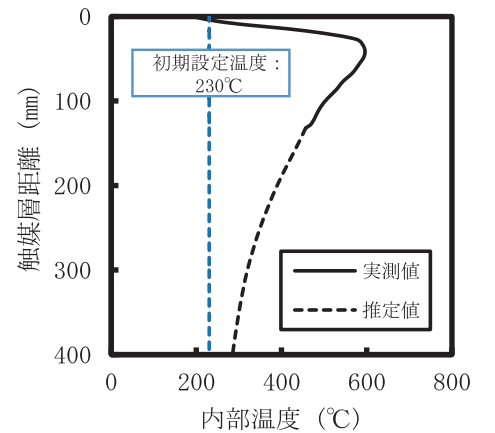


図9 反応器内部の温度分布

離回収とメタネーションの実証試験を行った。その結果、以下のことが判明した。

(1) セメント工場排ガスから固体吸収材を用いて、CO₂分離回収を行うことができた。

(2) 排ガスと模擬ガスをそれぞれ用いて比較したところ、両者による差はほとんどなかった。

(3) 回収CO₂を用いてサバティエ反応によるメタン合成が可能であった。

(4) メタネーションについて、回収CO₂と液化炭酸ガスを用いて比較したところ、初期の基本性能に差はなかった。

【謝辞】本記事のメタネーションについて、日立造船株式会社の四宮博之氏からご協力を頂きました。心から感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 国土交通省気象庁HP／世界の年平均気温偏差, https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/list/an_wld.html, 2023年4月12日
- 2) セメント協会／カーボンニュートラルを目指すセメント産業の長期ビジョン, 2022年3月24日改訂
- 3) 松島正明他／セメント製造プロセスにおけるカーボンリサイクル技術開発～固体吸収材を用いたCO₂分離回収～, 第77回セメント技術大会講演要旨[2105], pp.154～155, 2023
- 4) 田中祐太郎他／セメント製造プロセスにおけるカーボンリサイクル技術開発～セメント排ガスCO₂を用いたメタン合成～, 第77回セメント技術大会講演要旨[3102], pp.176～177, 2023
- 5) D. Adams／Flue gas treatment for CO₂ capture, London: IEA Clean Coal Centre, 2010



アルカリ活性化スラグおよびフライアッシュコンクリートの物性に及ぼすポリリン酸塩の効果
Youssef A. Mosleh, ほか
ACI MATERIALS JOURNAL
vol.120 [2] 65～75 (2023)

トリポリリン酸ナトリウム (STPP) およびヘキサメタリン酸ナトリウム (SHMP) などのポリリン酸系材料は従来コンクリートの遅延剤として利用されてきたが、アルカリ活性化材料 (AAM) に対する包括的な研究はされていない。筆者らは、圧縮強度が30MPa程度になるAAMの配合を選定し、STPPおよびSHMPの濃度(2, 4, 6および8%)を変化させてAAMの物性に与える影響を調査した。

筆者らはAAMのワーカビリティー、圧縮強度、総細孔量、水和組織について評価した。STPPおよびSHMPの濃度が高くなるとスランプが増大し、ワーカビリティーが向上することを確認した。また、STPPおよびSHMPの添加により各材齢(7, 28, 56日)圧縮強度は増加した。なお、4%の配合のとき最も圧縮強度が高くなり、それ以上の濃度の場合は圧縮強度がわずかに低下することが確認された。吸水率と総細孔量は、STPPまたはSHMPを添加することで低くなり、4%の配合のときに最小となった。

SEMにより材齢28日の水和組織を観察すると、STPPまたはSHMPを添加していない配合では未反応のフライアッシュや未反応のスラグ粒子および空隙を確認でき、不均一な微細構造を示しているのに対し、STPPまたはSHMPを4%または8%添加した場合は、空隙が減少し、無添加と比較して緻密な構造となることが確認

された。しかし、STPPまたはSHMPを8%まで添加すると微細構造の不均質性は高まり、4%添加の場合と比較して空隙も増加する様子が伺えた。また、これらの変化は、吸水率や総細孔量の挙動とも一致していた。

筆者らは、圧縮強度が高くなる理由として、pHの上昇と、粒子の分散および解凝集作用による組織の緻密化が関係すると考えている。また、ワーカビリティー向上と組織の緻密化には、STPPおよびSHMP添加による粒子間の静電反発力の増加が寄与すると考察している。

NaOH 活性スラグ混合物における流動性および初期反応過程の検討
Xiaodi Dai, ほか
Cement and Concrete Composite
133 論文 No.104715 (2022)

アルカリ活性セメント (AAC) は普通ポルトランドセメント (OPC) と比較してCO₂排出量の少ない材料として活発な検討が行われている。反応の初期段階におけるレオロジー制御や反応機構解明はAAC活用の上での課題であり、硬化後の機械特性や耐久性にも影響を与えるため詳細な検討が必要である。AACの反応初期段階の硬化反応はOPCと比較して急速に進行し、その反応挙動の連続計測には超音波速度法が有効とされている。本稿では、超音波速度法を含む3手法を用いて、AACの活性化剤(水酸化ナトリウム溶液)の濃度を変化させた時のアルカリ活性スラグ (AAS) ペーストのレオロジーや諸特性の変化について調査した。

超音波速度法はAASペースト内を通過する超音波の速度を連続計測する手法で、時間-速度グラフの特徴点や変曲点がビカー針装置などの従来手法による凝結開始点と類似の結果を示した。活性化剤の濃度を変えたところ、AASペーストの反応初期段階(溶解期、加速期、減速期の3段階)のうち、スラグの溶解が加速レイオンが水溶液中に供給される段階である加速期が活性化剤の濃度に応じて長くなった。また、塑性粘度や降伏値も同様に増大し、AASペーストは活性化剤が高濃度であるほど高粘度となった。活性化剤が高濃度の方が圧縮強度も高い傾向だが、4mol/L以上

ではほぼ一定となり、活性化剤の濃度としては、AASペーストの粘度を抑制でき、良好な圧縮強度が得られる4mol/Lが適切であると考えられた。

一般廃棄物からの浸出水のコンクリートへの利用に関するフィジビリティスタディ
Negar Esmaeili, ほか
Magazine of Concrete Research
[75] 45～54 (2023)

人口増加は家庭ごみや産業廃棄物を大幅に増加させ、環境と公衆衛生に深刻な脅威を与えている。また、浸出水は重金属、有機物、化学物質を含有しているため、不適切な浸出水処理と劣悪な廃棄物処理管理は多くの国で土壌と地下水への浸出水の汚染をもたらしている。ここで、コンクリートは世界中で生産されており、多量の淡水が使用されている。人口増加により、淡水の需要は今後ますます増加していくと考えられる。そこで、筆者らは、浸出水とコンクリートに利用される淡水の削減を目的として、浸出水のコンクリートへの適用性について、フレッシュ性状や強度性状の観点から検討している。

結果として、フレッシュ性状については、スランプは浸出水の置換率の増加に伴って大きくなる傾向が確認された。特に、浸出水を100%置換した水準のスランプは、ブレーン(淡水100%)に対して2倍まで増加した。強度性状については、圧縮強度は浸出水の置換率の増加に伴って低下する傾向が確認された。特に浸出水を100%置換した水準の圧縮強度は、ブレーンに対して材齢7日で38%、材齢28日で45%減少した。ここで、ASTM C94によると、ブレーンの圧縮強度の90%を維持する水は、淡水の代替材料として使用できる。本研究では、浸出水を10%置換した水準が該当し、浸出水10%の置換までなら、コンクリートに使用可能であることを報告している。また、SEMの結果より、浸出水の置換率の増加に伴い、コンクリート中の細孔が増加することが確認された。

以上より、浸出水をコンクリートに適用することで、コンクリートの力学的な性状を低下させるが、10%までの

置換なら、コンクリートに適用できることを確認した。筆者らは、浸出水を大量に使用する場合は、コンクリートへの力学的性質への影響について、より詳細な調査が必要であると述べている。

コンクリートの耐久性評価のためのスマートデータベース設計～港珠澳大橋への適用～
Pengfei Ma, ほか
Cement and Concrete Research
163 論文 No.107033 (2023)

香港、マカオ、珠海を結ぶ港珠澳大橋は大規模な建設事業であり、このような建設現場においてコンクリート構造物の耐久性評価は非常に重要である。しかし、評価に使用する材料物性値や気象データ等は、提供元が異なるとデータの一貫性がなくなり、そもそもデータが欠落している場合がある。こうした背景から、限られたデータで設計したデータベースの情報を構造物の維持管理に用いる場合、誤った判断につながる恐れがある。そこで著者らは、異なる提供元からのデータを組合わせた汎用的なデータベースの設計方法を検討した。

データベースの設計では、まず、一般的な気象観測データや工業試験場の研究データ、構造物の長期モニタリングデータといった異なる提供元からのデータを収集した。収集したデータの欠落については、ギブスサンプリング手法を用いることにより、欠落値の予測および補完を行った。本手法は、教師なし機械学習と言われる自己学習アルゴリズムであり、データの種類とデータ数が膨大な場合に有効である。これにより、異なる提供元から収集したデータが互いを補い合う、汎用的なデータベースの設計を可能とした。

この手法の有効性を確認するため、実際に港珠澳大橋のデータベースが設計された。結果、風速や気温といった欠落したデータの補完に有効であることが確認できた。

今後、本手法のようなデータベース設計が構造物の維持管理に活用されることが期待される。

顧問

長瀧 重義 東京工業大学 名誉教授

委員長

小堺 規行 住友大阪セメント(株) 常務執行役員 セメント・コンクリート研究所長

委員

石橋 忠良 J R 東日本コンサルタンツ(株) 技術統括

伊藤 智章 U B E 三菱セメント(株) 技術戦略部 部長

伊藤 康司 全国生コンクリート工業組合連合会 中央技術研究所 所長

内田 俊一郎 太平洋セメント(株) 中央研究所 研究開発推進部 部長

浦野 真次 清水建設(株) 技術研究所 建設基盤技術センター 主任研究員

河村 直彦 (一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会((株)ピーエス三菱)

岸 利治 東京大学 生産技術研究所 教授

黒岩 秀介 大成建設(株) 技術センター 都市基盤技術研究部 部長(研究担当)

古賀 裕久 (国研)土木研究所 先端材料資源研究センター 上席研究員

小林 竜平 竹本油脂(株) 第三事業部 研究開発部 コンクリートグループ マネージャー

坂井 悦郎 東京工業大学 名誉教授

坂井 吾郎 鹿島建設(株) 技術研究所 主席研究員

棚野 博之 (国研)建築研究所 材料研究グループ 客員研究員

流 龍成 住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 研究企画グループ グループリーダー

野口 貴文 東京大学 大学院 工学系研究科 教授

平田 隆祥 (株)大林組 技術本部 技術研究所 生産技術研究部 上級主席技師

平本 真也 日鉄高炉セメント(株) 技術開発センター 技術開発グループ グループリーダー

前田 禎夫 麻生セメント(株) 品質技術部 部長

森川 嘉之 (国研)港湾空港技術研究所 地盤研究領域長

山路 徹 (国研)港湾空港技術研究所 構造研究領域長

窪木 康雄 (一社)セメント協会 セメント系固化材普及専門委員会 委員長

宮脇 賢司 (一社)セメント協会 セメント系固化材技術専門委員会 委員長

大石 英男 (一社)セメント協会 生産・環境幹事会 幹事

廣川 誠一 (一社)セメント協会 常務理事

吉田 雅彦 (一社)セメント協会 研究所長

訂正とお詫び

本誌No923(2024年1月号)に誤りがありました。
読者の皆様はじめ関係各位にはご迷惑をおかけいたしました。
ここに訂正するとともにお詫び申し上げます。

『セメント協会 研究奨励金による研究より/コンクリート表層部における養生効果
の持続性に関する検討』(横山勇気著) 48~52ページ
52ページ 図6(a)横軸「材齢(年)」を「材齢(月)」に訂正いたします。

一般社団法人 セメント協会加盟会社

八 戸 セ メ ン ト (株)	敦 賀 セ メ ン ト (株)
日 鉄 高 炉 セ メ ン ト (株)	(株) デ イ ・ シ イ
日 鉄 セ メ ン ト (株)	デ ン カ (株)
東 ソ ー (株)	麻 生 セ メ ン ト (株)
(株) ト ク ヤ マ	U B E 三 菱 セ メ ン ト (株)
琉 球 セ メ ン ト (株)	明 星 セ メ ン ト (株)
苅 田 セ メ ン ト (株)	日 立 セ メ ン ト (株)
太 平 洋 セ メ ン ト (株)	住 友 大 阪 セ メ ン ト (株)

○ICCC2023 セメント化学国際会議の概要①

○セメント・コンクリート分野におけるラマン分光分析の利用

○2022年8月豪雨に伴う五能線中村川橋梁の洗掘災害と復旧

○異強度場所打ち杭「T-CROWN PILE®」の適用

○ジオポリマーの炭酸塩の適用

○7thBESETO 2023 / 日中韓コンクリート舗装国際会議への参加報告

○シリーズ/セメント産業 脱炭素・低炭素社会を目指すキーワード 高炉セメントと高炉スラグ微粉末

○アルギン酸ナトリウムの散布によるコンクリート施工時の降雨対策工法の開発

○セメント協会研究奨励金による研究より/ CO₂排出量、廃棄物・副産物利用の両側面を考慮したセメントの環境影響評価

○ずいそう(原田修輔) ほか



長崎市庁舎 RC柱梁+木質耐震壁により意匠・構造・設備を統合したファサードデザイン

セメント・コンクリート No.924 2月号
2024(令和6)年2月15日発行

定価1100円 本体1000円 ⑩

発行者 乾 敏一
編集者 小宮山 慎一郎
発行所 一般社団法人 セメント協会
〒104-0041 東京都中央区新富2-15-5
RBM築地ビル2階
電話 03-5540-6171 (代表)
03-5540-6175 (広報部門/出版担当)
03-5540-6173 (図書販売)
FAX 03-5540-6181
研究所 〒114-0003 東京都北区豊島4-17-33
電話 03-3914-2691 (代表)
FAX 03-3914-2690

○予約購読のご案内/予約購読をご希望の方は1年分 11,000円(税込み/送料当協会負担)を「振替」または「現金書留」で直接当協会にお申込み下さい。

○本誌への広告申込みはセメント協会広報部門/出版担当 ☎ 03-5540-6175へ

○セメント協会加盟会社の購読料は会費に含まれます。

本誌へのご意見、ご感想、ご要望、送付先の変更などは、セメント協会ホームページまたは出版担当直通までEメールでお寄せください。

メールアドレス(出版担当)
cemecon@jcassoc.or.jp

ホームページ
https://www.jcassoc.or.jp

セメント協会ホームページ



第78回 THE ANNUAL MEETING OF CEMENT
AND CONCRETE ENGINEERINGセメント
技術大会

2024年5月15日(水)~17日(金)

会 場:

赤坂インターシティコンファレンス
東京都港区赤坂1-8-1 赤坂インターシティAIR

形 式: 会場(ライブ配信) 参加費: 無料

●聴講にあたっては事前申込が必要となります
(下記QRコードよりお申し込みください)

特別講演 5月16日(木) 15:30~16:45

カーボンニュートラル実現に
向けたグリーンイノベーション
基金事業の取組国立研究開発法人
新エネルギー・産業技術総合開発機構 理事 弓取 修二 氏

一般研究発表

セメント・コンクリートの
材料科学の研究発表○セメント製造技術 ○セメントの水和 ○環境・リサイクル
○セメント系新材料 ○コンクリートの耐久性 等

一般社団法人セメント協会 問合せ先: 研究所 技術情報グループ TEL.03-3914-2692

セメント技術大会
ホームページはこちら