

コンクリート材料の進展・そのベクトル

濱田 秀則*1・宮川 豊章*2

本稿は、2009～2018年までの10年間におけるコンクリート材料の研究開発の進展を概観することを試みるものである。この10年間でどこまで高強度化は進展してきたのか、また、環境問題への対応はどこまで、どのように進展したのかを、新しく造られたPC構造物を紹介しつつ取りまとめる。フライアッシュや高炉スラグ微粉末、練混ぜ水としての海水といった古くから使われてきた材料に改めてスポットライトをあて、さらなる利用促進を進めようという動きがあった。また、ジオポリマーという新し材料への関心も高まってきていることがわかった。本稿の最後で、今後の材料開発の方向性を著者の視点からではあるが考察することを試みた。

キーワード：高強度、環境調和、フライアッシュ、高炉スラグ微粉末、海水練混ぜ

1. はじめに

本誌の51巻・第2号の特集(50年の歩みとこれから)に、富田らによる論説「これからのコンクリート材料」が掲載されている¹⁾。10年前の論説であるが、当時の一番の話題は“高強度コンクリート”であったことがわかる。圧縮強度が150 MPaのコンクリートがすでに実用化されていることが記されており、コンクリートの高強度化がかなり進展していたことがうかがえる。その論説のなかで、その後の展望として、① 環境への対応(環境負荷の定量的な把握、長期的な耐久性の予測精度を高める)、② 限界への挑戦(200 MPaのコンクリートの汎用化、さらに高強度の実現、引張強度の改善)③ 品質の安定性(乾燥収縮の低減やコントロール、低品位の材料の活用、品質変動の極小化、コンクリートの再利用の確立)をあげている。この50年記念特集号以後の10年間において、環境負荷低減材料の開発がもっとも重要視されていること、また、以後の本稿の内容等を踏まえると、富田らの予測はよく的中していることがわかると思う。

本稿では、およそ2009～2018年までの10年間におけるコンクリート材料の研究開発の進展を概観すると同時に

今後の材料開発の方向を考察するものである。

2. 学会誌に見るこの10年間の歩み

この10年間の“コンクリート工学”“土木学会誌”“プレストレストコンクリート”を紐解いてみると、以下のような材料開発に関する4つの特集号が発刊されていた。古い順に、① 土木学会誌、2017年7月発刊、「コンクリートから未来への貢献・さらなる環境負荷低減の実現に向けて」、② プレストレストコンクリート、2017年11月・12月号、「PC構造物における産業副産物の有効活用」、③ 土木学会誌、2018年5月発刊、「土木を切り開く材料の可能性」、④ コンクリート工学、2018年5月号、「ブレイクスルーのための材料研究」、となり、2017年に2刊、2018年に2刊とこの2年間に集中している。すなわち、ここ10年間程度の研究の進展がこの2年間でこれら4冊にまとめられているともいえよう。この4つの特集号の内容をキーワードで以下の表-1に総括する。

キーワードとしてもっとも多く出ているのが“フライアッシュ”と“高炉スラグ微粉末”である。これらは、いずれも古くから使われている材料であり、この10年間で新しく使われ始めたわけではないことから、この10年間でこれらの材料をさらに積極的に使っていこうという大きな動きがあったことが理解できる。

3. コンクリート材料における進展

3.1 高強度コンクリートのその後の強度増進

先に示した富田らの論説において、 $F_c 200 \text{ N/mm}^2$ のコンクリートの構造体強度は 230 N/mm^2 に達していたことが紹介されている²⁾。当時としてはこの 230 N/mm^2 付近が最高強度であったものと思われる。小泉の示すところでは³⁾、2013年に $F_c 300 \text{ N/mm}^2$ のコンクリートが建築物に実際に適用され^{4,5)}、さらに高強度化は進み、2016年には、 450 N/mm^2 のコンクリートが製造されたことが報告されている⁶⁾。このように、この10年間でもコンクリートの高強度化の試みは続けられ、その最高レベルは 450 N/mm^2



*1 Hidenori HAMADA

九州大学大学院
工学研究院
社会基盤部門教授



*2 Toyoaki MIYAGAWA

京都大学
学際融合教育研究推進
センター 特任教授

表 - 1 学会誌特集号のキーワード

土木学会誌 2017年7月	プレストレストコンクリート 2017年11 - 12月	土木学会誌 2018年5月	コンクリート工学 2018年5月
<ul style="list-style-type: none"> ・グリーン購入 ・コンクリートの環境影響評価 ・セメント産業の取組み ・フライアッシュに対する電力業界の取組み ・鉄鋼スラグ製品 ・再生骨材コンクリート ・エコセメント ・加熱改質フライアッシュ ・ECMセメント ・高炉スラグ微粉末 ・北陸地方でのフライアッシュの利用 ・非鉄スラグ骨材 	<ul style="list-style-type: none"> ・産業副産物の活用 ・低炭素型セメント結合材 ・北陸地方でのフライアッシュの利用 ・北陸新幹線でのフライアッシュの適用 ・沖縄県における高耐久コンクリート ・フライアッシュに関する最近の動向 ・高炉スラグ微粉末を用いたPC構造物 ・高炉スラグに関する最近の動向 ・フライアッシュを用いたPCT桁橋 ・北陸自動車道、日野川橋床版新工事 ・PC防波堤へのフライアッシュの適用 ・PCaPC床版への高炉スラグ微粉末の適用 ・銅スラグ細骨材 ・高炉スラグ細骨材 ・規格外瓦 	<ul style="list-style-type: none"> ・自己充填コンクリート ・CO₂-SUICOM ・クラックセンサ ・これからの土木・建設材料 <p>(以上、コンクリートに関するもののみ抜粋)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・熱膨張係数 ・初期応力解析 ・高炉スラグ細骨材 ・養生の定量化と管理 ・超高強度コンクリート ・ブリーディング水 ・コンクリート中の物質移動 ・バリア素材としてのセメント系材料 ・ジオポリマー ・鉄筋コンクリート造建築物の限界状態 ・鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度 ・ASRの材料設計 ・凍害メカニズム ・スケール抑制対策 ・原子炉建屋コンクリートの強度変化 ・粉末X線回折リートベルト法 ・固体核磁気共鳴(NMR) ・鋼球打撃法 ・表層透気性 ・鋼材腐食速度測定方法 ・ASRとDEF ・充填シミュレーション

付近まで達している。この数値が今後どこまで伸びていくのか、大変興味のあるところである。

3.2 高強度コンクリート（超高強度コンクリート）の長期挙動

150 N/mm²を超える高強度コンクリートが実用化されて以降、ほぼ10年以上が経過し、その長期挙動が報告されるようになった。200 N/mm²級の高強度コンクリートの長期の挙動について、ここでは、大成建設(株)技術研究所の報告から引用して紹介することとした^{7,9)}。

一つは、UFC歩道橋（酒田みらい橋）の供用15年時の調査である⁷⁾。なお、UFCとは、Ultra-high Strength Fiber Reinforced Concreteのことであり、初期材齢における圧縮強度は200 N/mm²を超えている。歩道橋ではあるが、鉄筋を使わない、当時としては画期的な構造物であった。設置環境は、冬季の飛来塩分が多く、塩害環境に位置している。本体からのコア採取などは行われていないが、寸法がφ5×10 cmおよび4×4×16 cmの暴露試験体を用いた分析・評価が行われている。橋梁本体には、軽微な点錆の存在および幅0.05 mm以下のひび割れの発生が認められるものの、耐久性を大きく低下させるものではない。初期圧縮強度210 N/mm²に対して、15年後で220 N/mm²以上が発現しており、強度の低下はまったくなく、また、曲げひび割れ発生強度は20 N/mm²、曲げ強度は45 N/mm²であった。塩化物イオンの侵入も、表層部2 mm以内にかぎられ、見掛けの拡散係数も3.1×10⁻⁴ cm²/年と算出されている。水セメント比0.5、普通ポルトランドセメントを使用す

るコンクリートの塩分拡散係数を示方書に示される設計式に則って計算すると⁸⁾、5.0×10⁻¹ cm²/年となる。この数値と比べてUFCの拡散係数は3オーダー小さくなり、驚異的な低さであるといえよう。

二つ目として、ダクト製モノレール桁の10年時の耐久性評価が報告されている⁹⁾。圧縮強度が200 N/mm²相当の超高強度繊維補強コンクリートであり、東京モノレール羽田空港線の昭和島駅構内の桁に採用されているものである。桁長が、17 m、20 mおよび40 mの3種類がある。コア採取により、コンクリートの物性試験が行われており、その結果、現有圧縮強度が198 N/mm²、235 N/mm²、231 N/mm²であり強度の低下は生じていない。また、中性化深さは0 mmであり、中性化もまったく進行していない。なお、40 m桁の一部に幅が0.04 mm以下の微細ひび割れが部分的に発生しているものの、耐久性などの桁の性能に影響を及ぼすものではないと報告されている。

これらの2つの事例によると、供用10～15年までは劣化の兆候はまったくなく、健全な状態で供用されていることが確認されている。今後は、さらに長期の挙動についての確認が行われると思われる。

3.3 “環境にやさしい材料”を目指した動き

地球温暖化に代表される地球規模の環境変動が認識されて以来、コンクリート分野でもその対応に真摯に向き合ってきた。セメント製造、コンクリート製造・運搬・施工、すべてのプロセスで環境負荷低減に対する取組みがなされ、着実に効果を上げてきた。しかし、環境負荷低減を目

指した材料の開発と高強度化に代表されるような高性能化との一番大きな相違点は、高強度化は定量的評価ができるが、環境負荷低減は一つの指標でその効果を定量的に評価できないことである。高耐久性を志向しても定量的評価が可能である。たとえば、環境とのバランスで評価する指標ではあるが、耐塩害性の評価は塩分拡散係数で可能となるし、中性化抵抗性の評価は中性化速度係数で可能となる。このように、ある指標により材料開発の目標を明確に設定することができれば、開発のマイルストーンを明確に認識できる。しかし、“環境にやさしい材料”あるいは“環境負荷低減”といった場合、単一の評価指標を設定することが難しく、定量的に評価できない。あくまで定性的評価であり、定性的な評価ではその価値が見えにくいというのが一つの難点といえる。

3.4 コンクリート材料の環境負荷インベントリデータ

インベントリ (inventory) を英和辞典で確認すると、“表・目録”“概観・調査”となっている。インベントリ分析とは、LCA (Life Cycle Assessment) の対象物に対して、環境負荷項目に関連する入出力明細表 (インベントリ) を作成することである。たとえば、ポルトランドセメントの場合の二酸化炭素排出にかかる排出原単位 (インベントリデータ) の計算例を表 - 2 に示す¹⁰⁾。

なお、高炉スラグ微粉末の二酸化炭素排出原単位は 39.6 kg/t¹⁰⁾、高炉セメント B 種の場合は 495 kg/t¹¹⁾、フライアッシュの場合は 19.6 kg/t¹⁰⁾、フライアッシュセメント B 種の場合は 624.0 kg/t¹⁰⁾ となる。環境影響評価の一手法は、インベントリデータを積み上げて指標とするものであるが、データが十分に整備されているとはいえず、また、ライフサイクル全般を正確に網羅することもきわめて困難であるのも事実である。しかし、今後も根気強くインベントリデータの整備を進めていくことが重要であることはいうまでもない。

表 - 2 二酸化炭素排出にかかるポルトランドセメントの排出原単位の計算例

起源	排出原単位 (kg/t)
石灰石の脱炭酸	488.8
天然系熱エネルギーの燃焼	288.3
代替熱エネルギーの燃焼	63.0
購入電力の発電	17.7
合計	857.8

上表に示されるとおり、セメント製造時の材料起源の二酸化炭素排出量突出して大きいために、セメント製造を減らすことが環境にやさしいと単純に考えがちであるが、必ずしもそうとは言いきれない¹²⁾。セメント産業は大切な静脈産業となっており、セメント製造時の原料、燃料として副産物、廃棄物をわが国全体で 28 053 千 t (2015 年度) 受け入れている。セメント 1 t あたりの副産物、廃棄物利用量で見ると、1990 年の 251 kg/t から 2015 年には 475 kg/t まで大きく増加しており、循環型社会の大切な一翼を担っている¹³⁾。

3.5 環境調和型コンクリートとは

ここでは、筆者の一人 (濱田) が委員長を務めた土木学会・環境調和型コンクリート材料学の創造に関する研究委員会会で議論した内容を簡単に紹介したい¹⁴⁾。委員会において環境調和型コンクリートを以下のように定義した。

「地域で算出する材料を最大限に有効利用し、地球環境、地域環境に最大限に配慮した結果、最小の負荷で生産された材料で構成するコンクリート」

さらに、環境調和指標として式 (1)、式 (2) もしくは式 (3) を提案した。

$$I = I_G + I_W + I_L \quad (1)$$

$$\text{あるいは、} I = (I_G + I_W) \cdot I_L \quad \text{ただし、} I_L \neq 0 \quad (2)$$

$$\text{または、} I = I_G \cdot I_W \cdot I_L \quad \text{ただし、} I_G, I_W, I_L \neq 0 \quad (3)$$

ここで、 I : 環境調和指標

I_G : 温室効果に関する指標

I_W : 廃棄物に関する指標

I_L : 地産地消に関する指標、である。

I_G, I_W, I_L の算定式については、文献 14) を参照していただきたい。環境調和型コンクリートとは、 I を極力小さくしたコンクリートであり、方向性の異なる効果を最適なレベルで調和させたコンクリートである。残念ながら、この概念はまだ広まっていはいないが、今後、環境調和指標に関する議論が活発に行われることを期待するものである。

3.6 PC 構造物へのフライアッシュおよび高炉スラグ微粉末の適用

先に示したとおり、高炉セメントやフライアッシュの二酸化炭素排出原単位はポルトランドセメントよりも小さく算出されることから、二酸化炭素発生抑制には、混合セメントが有利とされている。このことも一つの背景となり、先に述べたフライアッシュと高炉スラグ微粉末の積極的利用の動きが加速されたものと思われる。PC 構造物に対しても両者の利用がこの 10 年間で進んでいる。

フライアッシュの利用については、北陸地方における鳥居らの取り組みが大きな推進力の一つとなっているが、この背景はむしろ環境問題よりも ASR 抑制である¹⁵⁻¹⁷⁾。北陸地方における ASR の問題はきわめて深刻であり、フライアッシュの適正利用は ASR 抑制対策の切り札ともなり得るためである。フライアッシュの実用化のためには、フライアッシュの品質をあるレベルに維持することが必要であるが、北陸電力では分級工程を入れることによりその問題をクリアしている^{15, 17)}。数量的にはまだまだ少ないかもしれないが、フライアッシュコンクリートの PC 構造物への利用は着実に増えつつあり、プレテンション方式 PC 橋梁では、石川県宮坂歩道橋 (写真 - 1)¹⁸⁾、福井県大月橋¹⁵⁾ が 2014 年、2016 年にそれぞれ完成している。PC 床版に関しては、北陸電力、富山 LNG 火力発電所の LNG 船着岸棧橋¹⁹⁾、北陸自動車道の日野川橋梁²⁰⁾ に適用されている。鉄道では、北陸新幹線のラーメン高架橋 1 連、および橋脚 1 基に対して試験施工として適用されている²¹⁾。また、すべての PC 電柱にフライアッシュコンクリートが使用されている。



写真 - 1 宮坂歩道橋 (写真提供: (株)ピーエス三菱)

一方、高炉スラグ微粉末の PC 構造物への適用も着実に進められている。とくに、ブレン 6000 の粉末度が比較的高いスラグを PC 構造物へ適用する試みが続いている^{22, 23)}。高炉スラグ微粉末を用いる効果として、コンクリート製造に伴う二酸化炭素の排出原単位を小さくすることももちろんあるが、フライアッシュと同様に、塩分浸透抑制、ASR 抑制の 2 大効果による構造物の耐久性向上がもっとも大きい。PC 構造物への適用は、1998 年竣工の屋嘉比橋 (沖縄県)、2000 年竣工の俵山 4 号橋 (熊本県、のちに放ヶ内橋と名称が変更) を皮切りに、宮崎自動車道の長江川橋²⁴⁾ など 2017 年 5 月までに 359 件にまで増えている。写真 - 2 は山形県に位置する野黒沢高架橋である。

フライアッシュ、高炉スラグ微粉末に加えて、銅スラグ細骨材²⁵⁾、高炉スラグ細骨材²⁶⁾、規格外瓦²⁷⁾ などの適用も報告されている。



写真 - 2 野黒沢高架橋 (写真提供: (株)安部日鋼工業)

3.7 ジオポリマーへの関心の高まり

この 10 年間に生じた新しい動きとして、ジオポリマーへの関心の高まりをあげることができる。JCI・日本コンクリート工学会の委員会では以下のようにジオポリマーを定義している²⁸⁾。

『セメントクリンカーを使用せず、非晶質のケイ酸アルミニウムを主成分とした原料 (活性フィラー) とアルカリ

金属のケイ酸塩、炭酸塩、水酸化物の水溶液の少なくとも 1 種類 (アルカリ溶液) を用いて硬化させたもの』である。具体的には、活性フィラーとして、フライアッシュ、高炉スラグ微粉末、メタカオリン、下水汚泥、火山灰などを用いる。アルカリ金属のケイ酸塩溶液として、水ガラス、あるいはそれに NaOH 溶液、KOH 溶液を混合したもの、アルカリ金属の炭酸塩溶液として、 Na_2CO_3 溶液、 K_2CO_3 溶液、水酸化物溶液として NaOH 溶液、KOH 溶液などを用いる。

ジオポリマーはもともと海外で始まった技術であるが、わが国の研究者も関心を示し、一宮 (大分高専) をリーダーとしてわが国での研究は展開されてきた²⁹⁾。すでに、北部九州農地のクリーク擁壁、大分県内の温泉地域の歩道境界ブロックなどでの実績もあり、今後は、基礎研究の継続とともに、ジオポリマーの長所を最大限に活かせる用途に展開されていくものと思われる。現時点ですぐに PC 構造物への適用が可能とは思われないが、ジオポリマーのきわめて優れた耐薬品性などの長所を活かす用途が今後出てくる可能性もある。いずれにしても、今後の発展が期待される材料である。

3.8 コンクリート練混ぜ水としての海水の利用

世界気象機構 (WMO) によると³⁰⁾、昨今の爆発的な人口増加、開発途上国の工業化・生活の物質的な向上により、現在の水の消費量は 50 年前の約 3 倍になっているといわれている。そのため、2025 年までに世界の人口の 3 分の 2 にあたる人々が飲み水の確保さえ難しくなると危惧されている。コンクリート分野では年間数十億 t の淡水を消費しているものの、現状では海水は積極的に使用されていない。今後は、淡水使用を少しでも減らすために積極的な海水の使用が求められている。この現状を踏まえ、JCI・日本コンクリート工学会は、平成 24 年度・25 年度の 2 ヶ年の委員会活動を実施して、海水の適用に関する知見を収集しその問題点と改善策を以下のように提示している^{31, 32)}。

すなわち、海水使用コンクリートは、海水を容易に調達できる現場 (製造・施工場所) での使用が望ましい。また、海水使用コンクリートの優位性を活かすための用途として、海洋環境でのコンクリート工事のほか、緊急工事 (災害復旧工事で淡水の調達が難しい場合など)、離島での工事 (高い耐久性が求められ、淡水の調達も難しい場合)、砂漠などの淡水が非常に貴重な場所での工事などへの適用がよいと思われる。海水使用のコンクリートは、特殊な装置を用いる必要がないこともその優位性を高める要因となる。コンクリートの練混ぜ水あるいは養生水への海水の利用は適切な工夫をすれば問題はなく³³⁾、場合によっては、むしろ有利になることもある。現状でも無筋コンクリートへの適用は問題ない。コンクリートへの海水利用の基本的姿勢は『なんとかできる方法を考える』というものであり、もちろん、大きな水セメント比で不適切な施工などと海水練りが組み合わせると顕著な塩害が生じることも十分に留意しておかなければならない³⁴⁾。とくに、PC 構造物に適用する場合は、内部鋼材の防食対策が万全でなくてはならないが、現状の技術の組合せ、もしくは新技術・新材料の開発により対応できると思われる。海水練りコンクリートが

すぐに広まっていくとは考えられないが、適切な使用方法に関する検討は今後も継続されることは間違いのないであろう。

4. 今後の材料開発のベクトル

これからの10年間の材料開発はどのような方向に進むのであろうか。10年後の70周年記念特集号では、どのような内容の記述になっているのであろうか。

宮下らは、土木学会誌の特集号の冒頭のことばのなかで、特集号に掲載されている内容を、構造の合理化、耐久性の向上、環境負荷の低減および維持管理性の向上の4項目に分類している³⁵⁾。また、魚本は今後の技術開発の方向性として、低品質材料の高度利用、さらに高耐久性を指向した材料をあげている³⁶⁾。これらも参考に考えてみると、今後10年間の材料開発の方向として、やはり、環境負荷の低減、耐久性の向上、低品質材料の有効活用、維持管理の合理化に資する材料はベクトルの方向としてあげられそうである。

さらに、筆者の考えを述べさせていただくと、ローカルなコンクリートが求められてくると思う。グローバル化が急速に進展している現代において、ローカルコンクリートは時代の流れに逆行しているように思われるかもしれないが、コンクリートは地域ごとに異なるといい、いや異なる方がよいのである。一例として、鹿児島大学の武若らを中心として開発されている、南九州に広く分布するシラスを有効に利用したシラスコンクリートをあげることができる³⁷⁾。結合材あるいは細骨材としての有効利用が可能となり、その優れた耐薬品性を生かす用途として、霧島温泉郷に建設された丸尾滝橋の橋脚コンクリートに採用されている。

わが国では、ほぼ全国各地域の大学にコンクリート工学を専門とする教員が配置されており、これらの教員を中心として、産官学の連携でまだまだ多くのローカルコンクリートが産み出される可能性を有している。今後の10年間に期待したいと思う。

5. おわりに

60年記念特集にふさわしい内容であらうか？ また、内容は十分であらうか？ 不安である。この10年間で東北地方、熊本地方で大地震が発生し、コンクリート技術者は膨大ながれきの有効利用という課題に直面し、見事にその課題を乗り越えている。本稿においてそれらに関する記述がないのは非常に心苦しいところであるが、ご容赦いただきたい。

21世紀も20年が経過しようとしている現在、われわれの最大の関心の一つはやはり環境問題である。持続可能、サステナブルな社会構築のためのサステナブルコンクリートが求められている。これからも、コンクリート技術者はたゆまぬ努力を継続していくであろう。

10年後の70周年記念特集号が今から楽しみである。

参考文献

- 1) 富田六郎ほか：これからのコンクリート材料，プレストレストコンクリート，Vol.51，No.2，2009.5
- 2) 小島正朗ほか：Fc 200 N/mm² 超高強度コンクリートの開発（その1）フレッシュコンクリートおよび圧縮強度の発現性状，日本建築学会大会講演梗概集（中国），pp.1087-1088，2008
- 3) 小泉信一ほか：超高強度コンクリートの高温養生効果について，コンクリート工学，Vol.56，No.5，2018.5
- 4) 今井和正ほか：設計基準強度 300 N/mm² のコンクリートを用いた RC 細柱の開発と適用，コンクリート工学，Vol.51，No.12，pp.959-966，2013.12
- 5) K. Imai, K. Yamamoto, M. Kato and A. Muramatsu: Outline of "Development and Application of Slender Columns Using Concrete with Design Strength of 300MPa", Nations Report of Japan on Structural Concrete 2018, The 5th International fib 2018 Congress, Melbourne, Australia, pp.145-146, 2018.10
- 6) 河野克哉ほか：世界最高強度を発現するコンクリートの開発ならびに更なる性能向上の可能性，コンクリート工学，Vol.54，No.7，pp.702-709，2016.7
- 7) 渡部孝彦ほか：UFC 歩道橋「酒田みらい橋」の供用 15 年次調査から見る UFC 構造物の耐久性，大成建設技術センター報，Vol.51，pp.17-1~17-8，2018
- 8) 土木学会：2017 年制定コンクリート標準示方書 [設計編]，2 編 耐久性設計および耐久性に関する照査，p.162 (3.1.4.2 コンクリートの塩化物イオン拡散係数の設定)
- 9) 川口哲生ほか：日本で最初に鉄道に適用されたダクトル製のモノレール起動桁の供用 10 年における耐久性の検証，大成建設技術センター報，Vol.51，pp.18-1~18-6，2018
- 10) 高橋茂ほか：コンクリート関連産業の JIS Q 13315-2 に基づく環境負荷インベントリデータの算定，② コンクリート用材料の製造における環境負荷の算定，コンクリート工学，Vol.56，No.11，2018.11
- 11) 土木学会：コンクリート技術シリーズ 44 コンクリートの環境負荷，2002.5
- 12) 河合研至：コンクリートにおける環境影響評価の取組み，土木学会誌，Vol.102，No.7，2017.7
- 13) 安斎治幸：循環型社会の構築に向けたセメント産業の取組み，土木学会誌，Vol.102，No.7，2017.7
- 14) 土木学会：コンクリート技術シリーズ 96 環境調和型コンクリート材料学の創造に関する研究委員会報告書，2011.8
- 15) 鳥居和之：フライアッシュコンクリートの地域標準と北陸地方での実装，土木学会誌，Vol.102，No.7，2017.7
- 16) 鳥居和之：アルカリシリカ反応 (ASR) と遅延エトリンサイト生成 (DEF) の研究を振り返る，コンクリート工学，Vol.56，No.5，2018
- 17) 鳥居和之ほか：北陸地方におけるフライアッシュコンクリートの標準化と PC 橋梁への適用，プレストレストコンクリート，Vol.59，No.6，2017.11
- 18) 桜田道博ほか：宮坂歩道橋の施工 - フライアッシュを用いた日本初の PCT 桁橋 -，プレストレストコンクリート，Vol.59，No.6，2017.11
- 19) 藤木ほか：富山新港火力発電所 LNG1 号機新設工事 - PC 防波堤にフライアッシュ高流動コンクリートを適用，プレストレストコンクリート，Vol.59，No.6，2017.11
- 20) 山田 稔ほか：北陸自動車道 日野川橋床版更新工事 - 耐久性の高い PC 床版の適用 -，プレストレストコンクリート，Vol.59，No.6，2017.11
- 21) 米澤豊司ほか：フライアッシュコンクリートの北陸新幹線への適用，プレストレストコンクリート，Vol.59，No.6，2017.11
- 22) たとえば，佐川康貴：素晴らしきコンクリート（濱田秀則編），権歌書房，pp.21-26，2014.3

- 23) 松山高広ほか：高炉スラグ微粉末を用いた高耐久 PC 構造物、プレストレストコンクリート、Vol.59, No.6, 2017.11
- 24) 長濱正健ほか：宮崎自動車道 長江川橋床版改良工事 - PCaPC 床版への高炉スラグ微粉末の適用 -, プレストレストコンクリート、Vol.59, No.6, 2017.11
- 25) 中瀬博一ほか：銅スラグ細骨材の建築用プレキャストコンクリート部材への適用、プレストレストコンクリート、Vol.59, No.6, 2017.11
- 26) 綾野克紀ほか：高炉スラグ細骨材を用いたプレキャスト部材の研究開発、プレストレストコンクリート、Vol.59, No.6, 2017.11
- 27) 小川由布子ほか：規格外瓦を用いた PC 跨道橋 - 産業廃棄物の実構造物への適用 -, プレストレストコンクリート、Vol.59, No.6, 2017.11
- 28) 日本コンクリート工学会：建設分野へのジオポリマー技術の適用に関する研究委員会報告、2017.9
- 29) 一宮一夫ほか：ジオポリマーの現状と今後の展望、コンクリート工学、Vol.56, No.5, 2018.5
- 30) WMO: Assessment of Water Resources and Water Availability in the World, 1997.
- 31) 日本コンクリート工学会：コンクリート分野における海水の有効利用に関する研究委員会報告書、2014.9
- 32) JCI Japan Concrete Institute: JCI Technical Committee Report on the Use of Seawater in Concrete, September 2015.
- 33) ADIWIJAYA: A Fundamental Study on Seawater-mixed Concrete Related to Strength, Carbonation and Alkali-silica Reaction (強度発現性・中性化抵抗性・アルカリシリカ反応性に着目した海水練りコンクリートの性状に関する基礎的研究), 九州大学学位論文, 2015.9 (https://catalog.lib.kyushu-u.ac.jp/opac_download_md/1543974/eng2500.pdf (参照 2019-2-12))
- 34) 西田孝弘ほか：海水練りコンクリート中の鉄筋の腐食、コンクリート工学、Vol.56, No.12, 2018.12
- 35) 宮下剛ほか：土木を切り開く材料の可能性、土木学会誌、Vol.103, No.5, 2018.3
- 36) 魚本健人：これからの土木・建設材料の開発と可能性、土木学会誌、Vol.103, No.5, 2018.3
- 37) たとえば、山口明伸：素晴らしきコンクリート (濱田秀則編), 権歌書房, pp.39-49, 2014.3

[2019年1月19日受付]



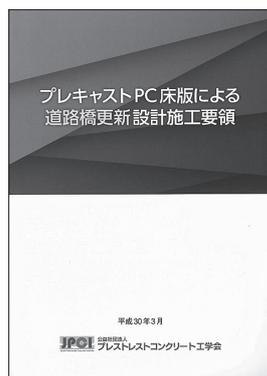
新刊案内

プレキャスト PC 床版による道路橋更新設計施工要領 2018年3月

本工学会は、平成 28 年 3 月に「更新用プレキャスト PC 床版技術指針」（以下、「技術指針」という。）を策定しました。道路橋床版更新工事の実施に際しては、この「技術指針」を補完する具体的なプロセスを盛り込んだ設計施工要領の必要性が認識され、引き続き「更新用プレキャスト PC 床版技術検討委員会（その 2）」（委員長：池田尚治（株）複合研究機構 横浜国立大学名誉教授）を設立し、設計施工要領の策定に取り組んでまいりました。このたび平成 30 年 3 月に策定しました「プレキャスト PC 床版による道路橋更新設計施工要領」は「技術指針」の基本理念に基づいた詳細な設計と施工の要領が示されており、鋼部材についても詳述されています。

是非お手元に置いてご活用ください。

目次構成



1 章 総則	4 章 施工
2 章 調査・計画	4.1 施工の基本事項
2.1 調査の目的	4.2 プレキャスト PC 床版の製作
2.2 既往資料の調査	4.3 プレキャスト PC 床版の運搬
2.3 既設構造物の変状調査	4.4 既設床版の撤去
2.4 既設構造物の周辺環境調査	4.5 プレキャスト PC 床版の架設
2.5 既設構造物の形状調査	4.6 床版相互の接合
2.6 既設鋼桁の調査	4.7 床版と鋼桁との接合
2.7 計画	4.8 場所打ち部の施工
3 章 設計	4.9 橋面工
3.1 設計の基本事項	5 章 鋼部材の診断・対策
3.2 橋軸直角方向の設計	5.1 鋼部材の調査・計画
3.3 橋軸方向の設計	5.2 鋼桁の設計手法および安全性に対する診断・対策
3.4 端部場所打ち部の設計	5.3 鋼部材の疲労に対する診断・対策
3.5 耐久性に関する検討	5.4 鋼部材の腐食に対する診断・対策
3.6 プレキャスト PC 床版と鋼桁の接合部	5.5 支承の診断・対策
3.7 構造細目	参考資料
3.8 橋面、壁高欄および付属物に関する留意点	参考 1 設計例 (床版、壁高欄)
3.9 その他の留意点	参考 2 その他 (壁高欄施工例、過去の輪荷重走行試験結果)

(全 248 ページ)

定 価 8,000 円 / 送料 300 円
 会員特価 6,000 円 / 送料 300 円

公益社団法人 プレストレストコンクリート工学会