


コンクリート橋の長寿命化技術  
－材料，施工，維持管理

日本大跨徑預力混凝土橋梁  
延壽加固改善技術

主講人：谷口 秀明

## 第 33 回台日工程技術研 討会 ・ 講師履 歴書

	<b>名 前</b>	谷口 秀明
	<b>ローマ字表記</b>	Hideaki Taniguchi
	<b>最終学歴</b>	1998年 3月に筑波大学大学院修士課程理工学研究科理工学専攻を修了。 2007年 3月に同大学に学位論文を提出して博士(工学)を取得。
	<b>専門分野</b>	コンクリート
<b>勤務先・職位</b>	三井住友建設(株) 技術本部 副本部長兼技術研究所長	
<b>主要職歴</b>	1999.6 住友建設(株) 入社, 技術研究所 土木構造チームに配属 2015.4 三井住友建設(株) 技術本部 技術研究所 土木材料グループ長 2018.4 同上 技術研究所長 2019.4 同上 副本部長兼技術研究所長	
<b>主要論文・著書</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・テストハンマーによるコンクリートの硬度測定および強度推定の誤差要因に関する検討, 土木学会論文集, No.767/V-64, pp.199-210, 2004.8(平成 16 年度土木学会吉田賞論文部門)</li> <li>・塩害劣化した RC 中空床版橋への維持管理計画の立案と吹付けによる断面修復工法の適用&lt;総合題目&gt;土木学会論文集, No.774/V-65, pp.99-110, 2004.11 および No.798/VI, pp.75-88, 2005.9 (平成 18 年度土木学会論文賞)</li> <li>・(公社)土木学会 2007 年, 2012 年, 2017 年制定コンクリート標準示方書[施工編]</li> <li>・(公社)日本コンクリート工学会コンクリート診断技術 '17,'18,'19</li> </ul>	
<b>講演テーマ</b>	コンクリート橋の長寿命化技術 ― 材料, 施工, 維持管理 ―	
<b>講演概要</b>	<p>コンクリート橋の長寿命化を目的に, 必要となる品質確保の基本技術と, 更なる耐久性向上を目指した最新の技術を紹介する。また, 講演者が 30 年以上行ってきたコンクリート分野の研究開発活動, 学協会活動 (例えば, 土木学会コンクリート標準示方書改訂等), 現場支援活動等を振り返り, 材料・施工・維持管理の様々な観点から長寿命化に欠かせない事柄を述べる予定である。</p>	

第33回台日工程技術研究会

# コンクリート橋の長寿命化技術

## － 材料, 施工, 維持管理 －

2019年11月

三井住友建設(株)

谷口 秀明



### 自己紹介

谷口 秀明(たにぐち ひであき), 54歳

#### <所属・役職>

三井住友建設(株) 技術本部 副本部長兼技術研究所長

#### <資格>

博士(工学), 技術士(建設部門), コンクリート主任技士,  
コンクリート診断士, コンクリート構造診断士

#### <これまでの主な社外活動>

大学院非常勤講師, 土木学会コンクリート標準示方書施工編部会幹事長, 日本コンクリート工学会基本技術委員会委員長, 各種論文査読・試験委員会メンバー 等



## 講演内容

### 「コンクリート橋の長寿命化技術」

・材料・施工・維持管理⇒橋周辺・下支え技術

<前半>

・自分に取り組んできた技術開発・現場支援・社外委員会等をベースにとりまとめた。

・基本的な考え方:「現実から目を背けず, 技術者として課題解決に取り組むこと」

「個々の品質の確保・向上」⇒「橋梁の耐久性向上」

<後半>

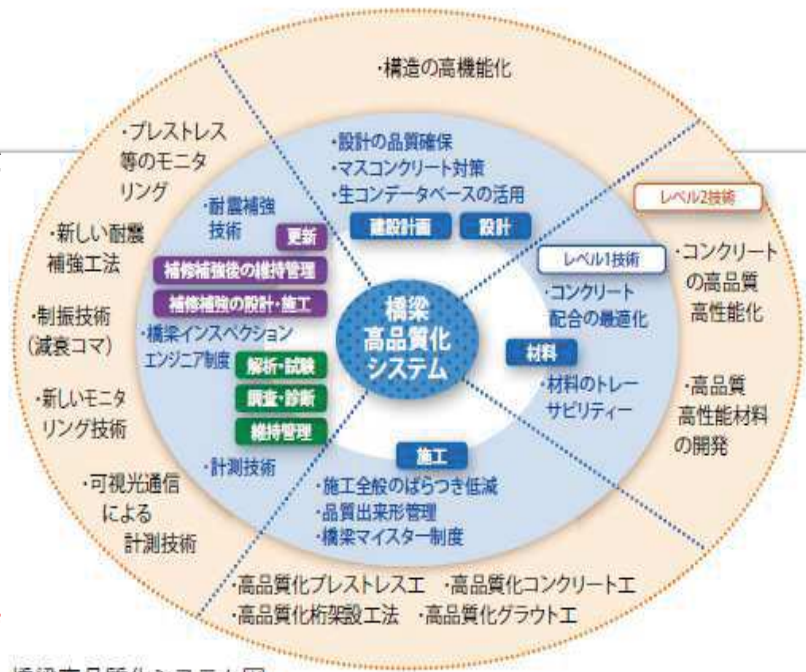
・当社で開発中の最新技術を紹介

⇒品質・耐久性を確保しつつ, 「生産性向上」

橋梁の品質・耐久性の  
向上に向けた  
全社的な取組み

# 三井住友建設 橋梁高品質化委員会

- 2007年11月に設置, 現在も継続中。2008年1月より, 2名の社外有識者(大学)を特別アドバイザーとした。
- 橋梁の計画段階から設計・施工プロセス全般にわたる高品質化への取り組み
- ◆ 100年橋梁を確実に構築する技術を蓄積する。
- ◆ 200年橋梁を目指した高品質化技術を開発する。
- ◆ 橋の一生を見渡した維持管理技術を開発する。



橋梁高品質化システム図

引用資料: 三井住友建設CSR2008



## ISO 55001 (アセットマネジメントシステム) 認証取得

橋梁マネジメント技術でサステイナブルなインフラづくりに貢献

2019年1月21日 ゼネコンとして初めて, アセットマネジメントシステム(AMS)の国際規格ISO 55001の認証を取得  
管理するアセット及び活動  
橋梁における点検, 診断, 処置(補修・補強)提案, 長期メンテナンス計画及びそれらに関する技術開発

- 1959年に日本初の片持ち張出架設工法で施工された嵐山橋をはじめとして, 4,500橋を超えるPC橋を建設。
- 1960年代から管理者と協力しながら, 自社施工橋梁に対する自主的な点検・診断を実施し, 必要に応じ対策工の提案を実施。

ISO 55001



JTCCM  
AMCA  
RA 0005

(認証範囲) <https://www.jtccm.or.jp/>

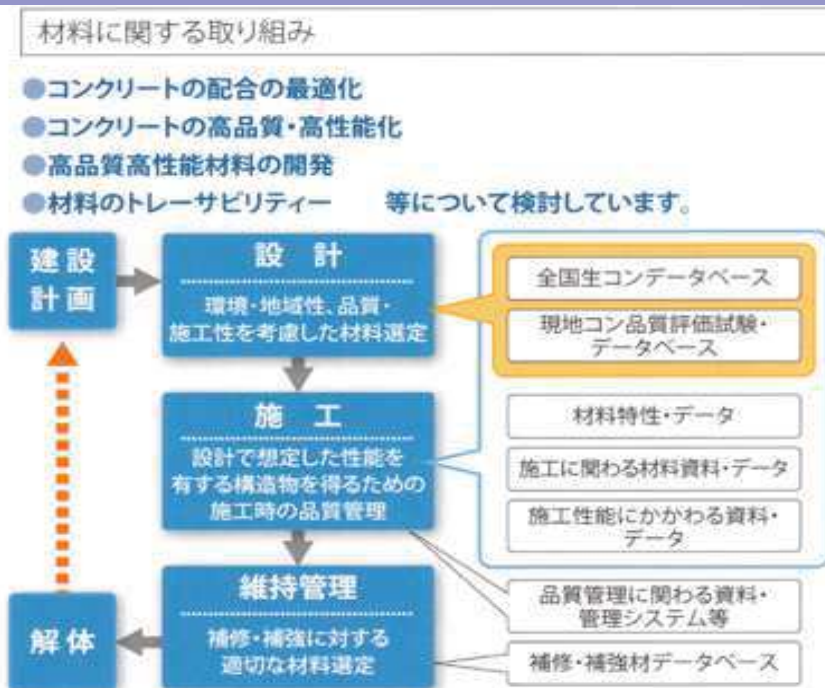
【ISO 55001 認証ロゴマーク】



橋梁の高品質化・耐久性向上に向けて

# 材料・コンクリート

## 全国生コン&品質評価試験データベースの構築



<引用文献>

谷口他: 施工者によるレディーミクストコンクリートの品質評価, コンクリート工学, Vol.48, No.2, pp.15-23, 2010.2

谷口他: レディーミクストコンクリートの品質評価システムの開発, 三井住友建設技術開発センター報告, 第7号,

pp.21-28, 2009

# コンクリート材料

水  
セメント  
混和材  
骨材

(化学)混和剤

最も基本となる材料でありながら、全国各地で採れる砂・砂利を使用するので、最もやっかい・理解しにくい。



地層の変化により、均質な原石山はない。  
採取する箇所によって碎石の品質は変化する。

## 骨材の品質

## コンクリートの品質

PC橋は、いずれの項目も重要

粒度や形状が悪い。

所定のスランプを得るための単位水量が増加

施工性の低下

単位セメント量の増加

発熱量の増加

骨材が弱い。  
吸水率が大きい。

複雑に関係し合う

強度・ヤング係数不足

所定の強度, ヤング係数を得るためのW/Cが小

収縮量の増加

ASR無害でない。

アルカリ総量の増加

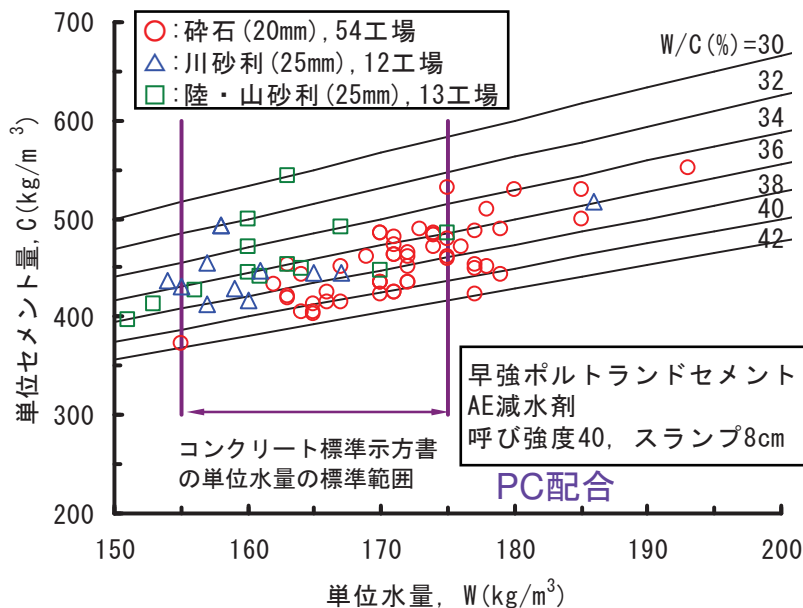
凍結融解抵抗性の低下

ASR膨張の発生

## 骨材の品質とコンクリートの品質の相関図(一例)

三井住友建設

## 骨材の相違や工場の品質管理能力等がコンクリートの配合に及ぼす影響



同じセメントの種類, 呼び強度, スランプ, AE減水剤であっても, 工場によって配合条件は様々。



工場で使用している骨材の品質の影響大。

レディーミクストコンクリートの単位水量, 単位セメント量および水セメント比の関係 (生コン工場調査データベースの活用例)

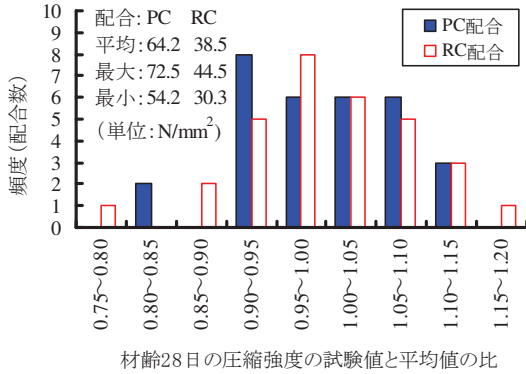
<引用文献> 谷口他: 施工者によるレディーミクストコンクリートの品質評価, コンクリート工学, Vol.48, No.2, pp.15-23, 2010.2

三井住友建設



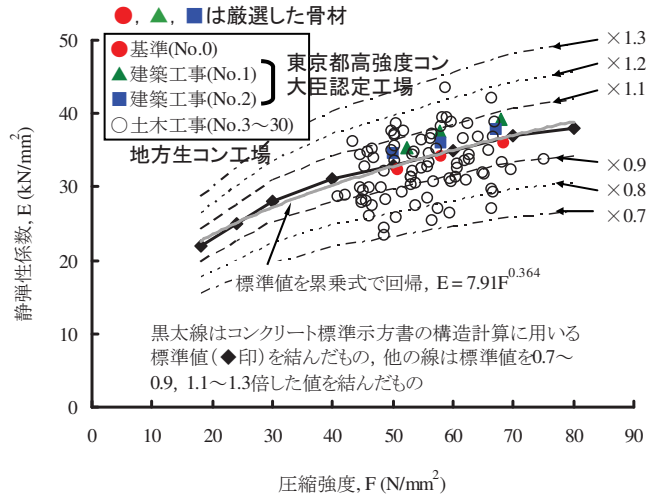
# 骨材の相違がコンクリートの圧縮強度とヤング係数に及ぼす影響

PC配合: W/C=40%, 早強ポルトランドセメントを使用, 橋梁上部工(PC)  
 RC配合: W/C=55%, 普通ポルトランドセメントを使用, 一般的なRC構造物  
 セメントは, 同じ銘柄・ロット。骨材を全国の生コン工場から入手31組, 一斉試験



骨材以外の条件をほぼ一定↓  
 圧縮強度は±20%程度異なる

PC配合: W/C=40%, 早強ポルトランドセメントを使用, 橋梁上部工(PC)  
 セメントは, 同じ銘柄・ロット。骨材を全国の生コン工場から入手31組, 一斉試験



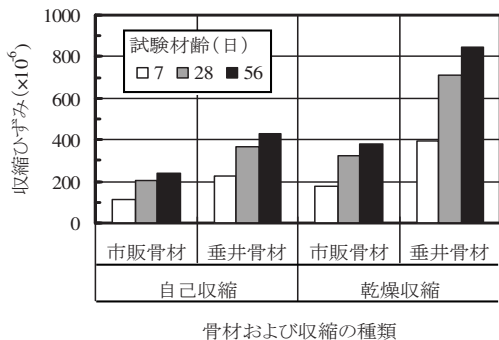
<図表の引用文献> 谷口他: 施工者によるレディーミクストコンクリートの品質評価, コンクリート工学, Vol.48, No.2, pp.15-23, 2010.2



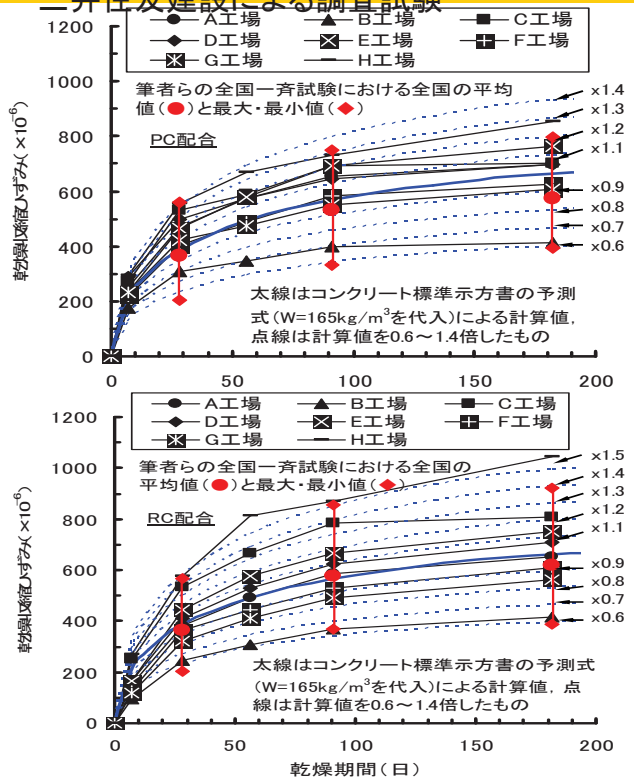
# 骨材の相違がコンクリートの収縮量に及ぼす影響

三井住友建設による調査試験

垂井高架橋  
 供用前にひび割れが顕在化  
 ⇒使用した骨材により, コンクリートの収縮が相当に大きくなる

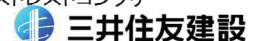


その後, 日本国内では, 全生工組連が調査した結果では, 乾燥収縮ひずみ(1000超のデータ数)が,  $1000 \times 10^{-6}$ を超える生コンが存在する。



<引用文献> 1) 土木学会: 垂井高架橋の損傷に関する調査特別委員会最終報告書, 平成20年3月,

2) 三井住友建設生コンデータベース, 3) 谷口他: 東北地方の骨材を用いたコンクリートの品質評価, 第20回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, 2011.10

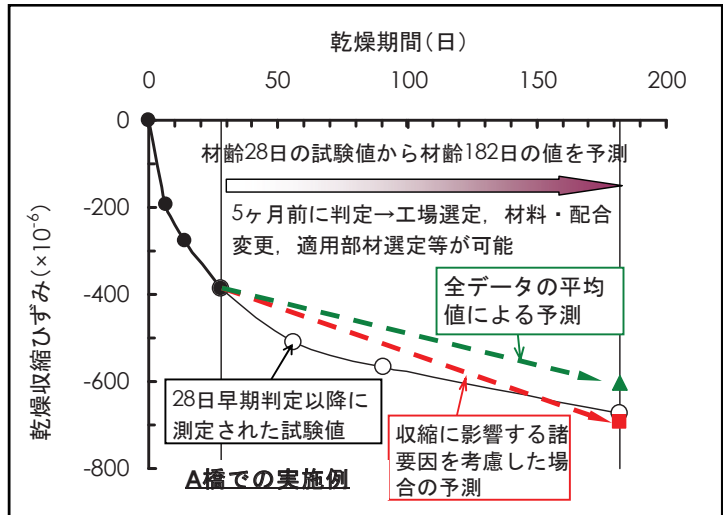


# コンクリートの乾燥収縮試験と早期判定

試験データベースによる計算

## 試験条件と早期収縮データ

項目	記入例
レディーミクストコンクリートの呼び方	40-15-20H
セメント	早強ポルトランドセメント
細骨材	陸砂、砕砂（島根県産）
粗骨材	砕石（島根県産）
混和剤	高性能AE減水剤
水セメント比	39%
単位水量	175kg/m <sup>3</sup>
単位粗骨材絶対容積	334L/m <sup>3</sup>
供試体の製作	現地の生コン工場
測定機関	生コン協同組合共同試験所
供試体の形状	100×100×400mmの角柱
測定方法	ダイヤルゲージ法
前（水中）養生期間	7日間
乾燥時の環境条件	20℃, 60%
試験結果 乾燥期間 7日	-180×10 <sup>-6</sup>
乾燥期間 28日	-390×10 <sup>-6</sup>
乾燥期間 日	



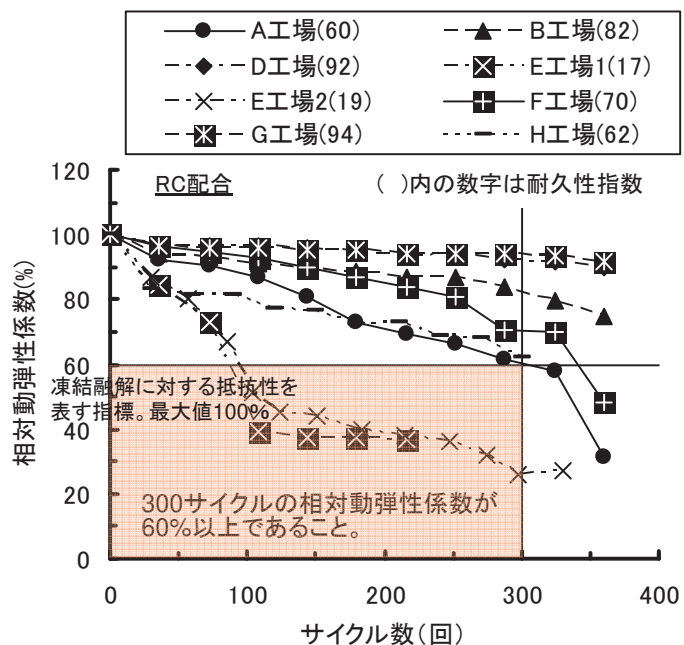
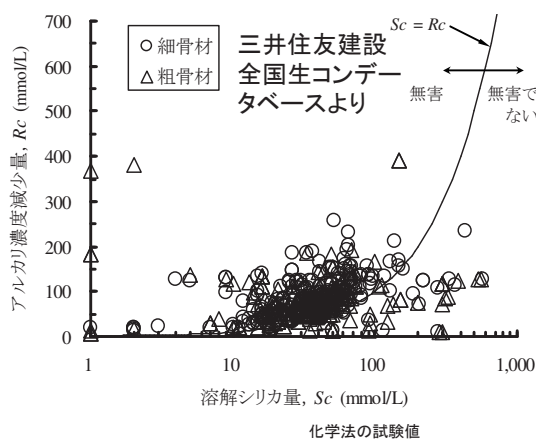
<引用文献> 谷口他: コンクリートの乾燥収縮ひずみに及ぼす要因と長期収縮ひずみの早期判定, 三井住友建設技術開発センター報告, 第8号, pp.63-71, 2010



## 骨材の違いがコンクリートのASR及び凍結融解抵抗性に及ぼす影響



東北地方の骨材を収集し、凍結融解試験の一斉試験を実施した。  
W/C=55%, 普通ポルトランドセメント(同一の銘柄・ロット)を使用



<引用文献> 1) 三井住友建設生コンデータベース  
2) 谷口他: 東北地方の骨材を用いたコンクリートの品質評価, 第20回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, 2011.10

凍結融解試験の結果<一例>

# コンクリート材料

水

セメント

混和材

骨材

(化学)混和剤

コンクリート橋でよく使用される混和材料からの話題

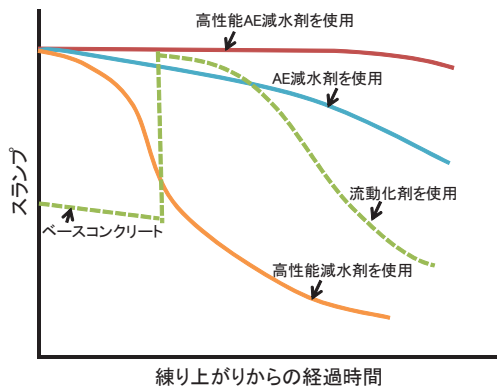
## 高性能AE減水剤

### ◆セメントの分散性能に優れること

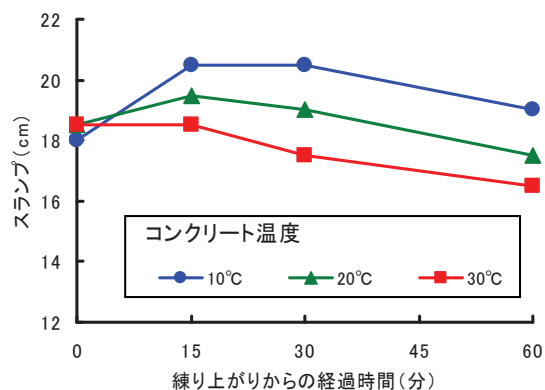
- ・単位水量及び単位セメント量を減らせる。
- ・スランブを大きくすることができる。→流動化剤の代替, 施工性の改善。
- ・単位水量を減じ, 水セメント比を小さくすることができる。→高強度化, 高耐久化

### ◆流動性(スランブ)の保持性能に優れること

従来のAE減水剤や流動化剤よりもスランブが長い時間保持できる。



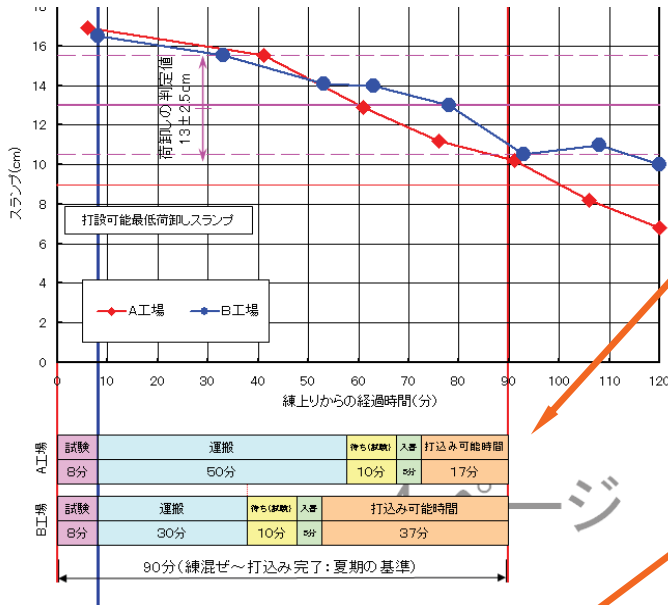
各種混和剤を使用したコンクリートのスランブの経時変化のイメージ図



某メーカーの技術資料データを抜粋

## 実際に使用する生コンのスランプ・性状の経時変化を知ること

(高性能AE減水剤を用いたコンクリートの実機試験結果の一例)



スランプの経時変化図と生コン工場から打ち終わりまでの想定時間を照らし合わせる。

打重ねを行う場合にも、スランプの経時変化を頭に入れておく和良好的。

スランプの経時変化試験を実施した際には、各時間のスランプ試験後のコンクリートの状態を撮影しておく。

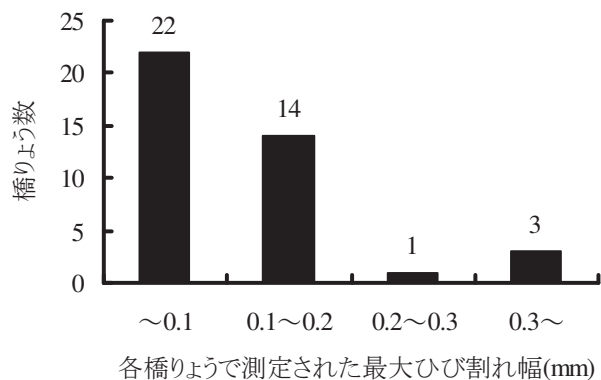
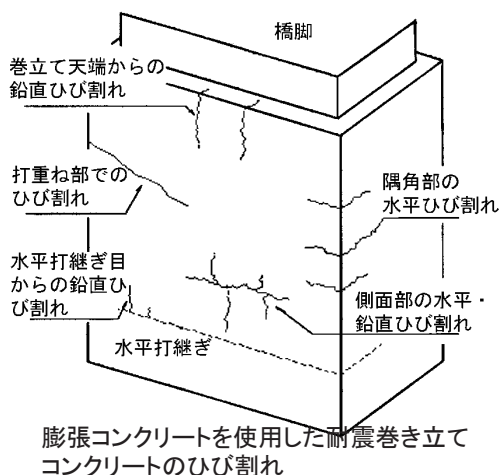


<図・写真> 三井住友建設社内資料



## 膨張材を使用したコンクリート(膨張コンクリート)

- 水分供給が重要: 膨張率試験(7日水中養生)と、実際工事での湿潤養生の期間や湿潤の程度のギャップに注意。
- ひび割れ抑制(防止)に対して、過剰に期待をしない。  
どの程度の効果があるか検討が必要。



各橋りょうで測定された最大ひび割れ幅の分布

<引用文献> 谷口他: 寒冷地における収縮補償用コンクリートの膨張特性, 膨張コンクリートによる構造物の高機能化/高耐久化に関するシンポジウム論文集, pp.13-20, 2003.9

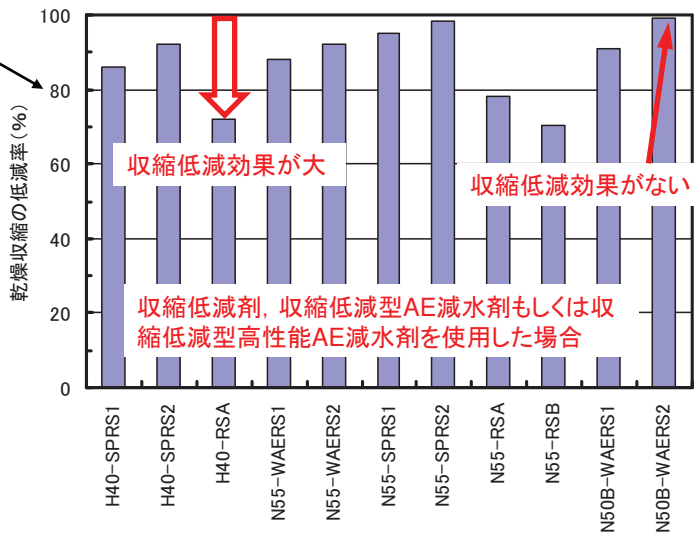


# 収縮低減できる混和剤を用いたコンクリート

収縮低減効果のある混和剤を使用しないコンクリートの乾燥収縮量に対する比率

✓収縮の低減量の確認

✓収縮低減効果の確認



収縮低減効果のある混和剤を使用したコンクリートの配合名

N,H:セメントの種類, 40, 50, 55:水セメント比(%)

B:低品質な骨材を使用, 一記号:数字:混和剤の種類

低減率100%=混和剤なしの乾燥収縮量。

乾燥収縮の低減率は混和剤の種類および使用量によって様々。

<引用文献>

谷口他:収縮低減効果を有する混和剤を用いたコンクリートの特性, 三井住友建設技術開発センター報告第9号,2011



✓弊害の確認

(強度, 凍結融解抵抗性等)

材料の種類や配合によっては、コンクリートの圧縮強度や凍結融解抵抗性に悪影響を与える場合がある。コンクリートの要求品質・性能を満足するよう、事前に性能を確かめたうえで使用することが重要である。

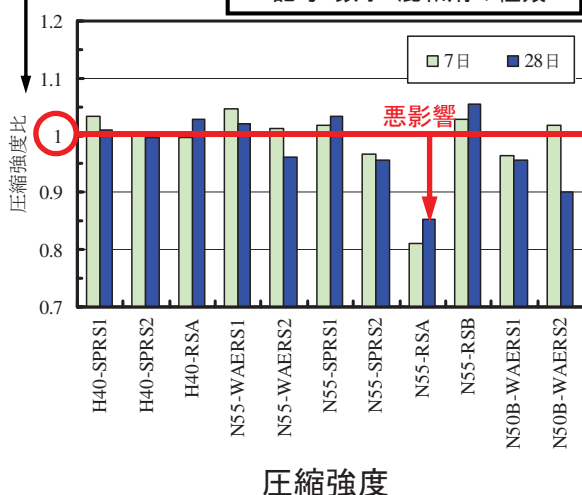
収縮低減効果のある混和剤を使用しないコンクリートの圧縮強度との比

N,H:セメントの種類

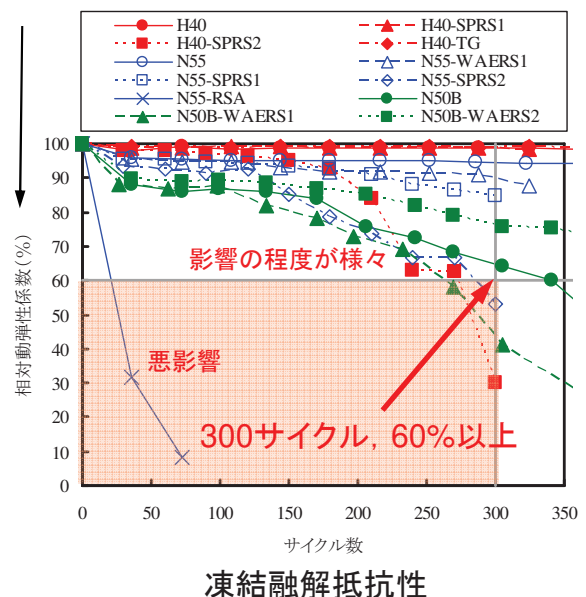
40, 50, 55:水セメント比(%)

B:低品質な骨材を使用

一記号:数字:混和剤の種類



凍結融解に対する抵抗性を表す指標。最大値100%



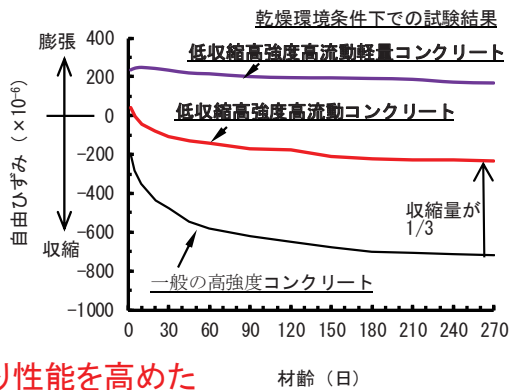
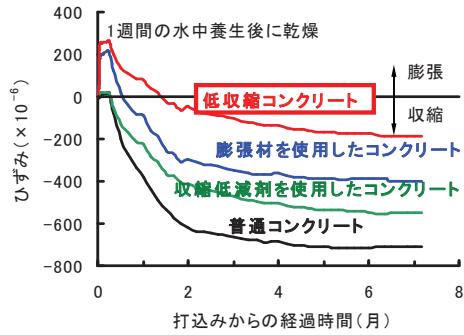
<引用文献>

谷口他:収縮低減効果を有する混和剤を用いたコンクリートの特性, 三井住友建設技術開発センター報告第9号,2011



# 低収縮コンクリートの開発(高性能化の取組みの一つ)

品質をよく確認して、工夫すると、低収縮コンクリートが可能。



後半では、より性能を高めた「サスティンクリート®」を紹介

<引用文献>谷口他:低収縮コンクリートの開発と実構造物への適用, 三井住友建設技術研究所報告 第6号, pp.65-71, 2008

三井住友建設

## 橋台の断面修復



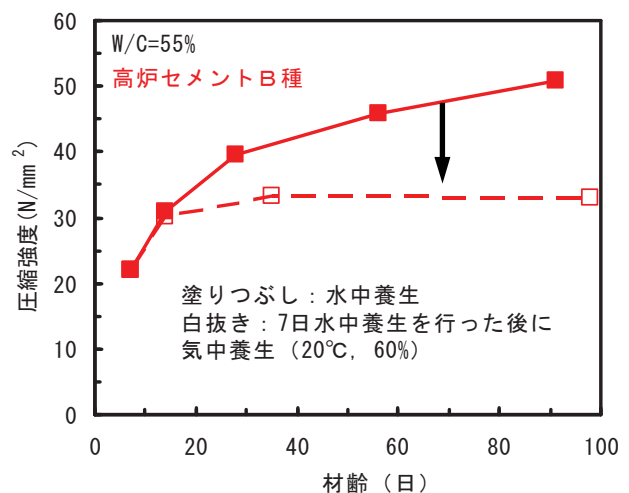
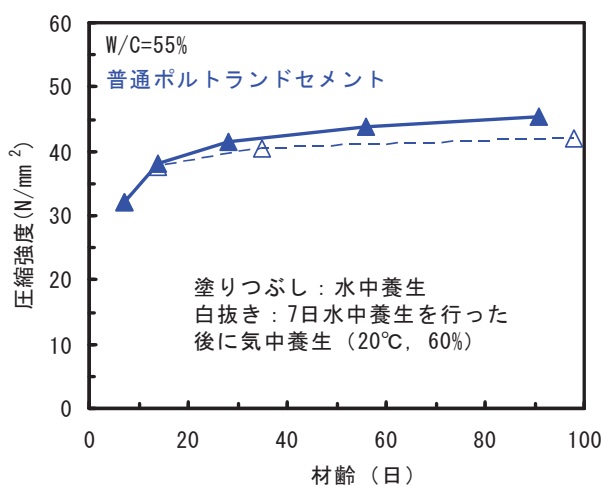
## 他社施工箇所



当社施工低収縮高流動コンクリート

# 高炉セメント, 高炉スラグ微粉末

耐塩害性やアルカリ骨材反応抑制効果が高い。



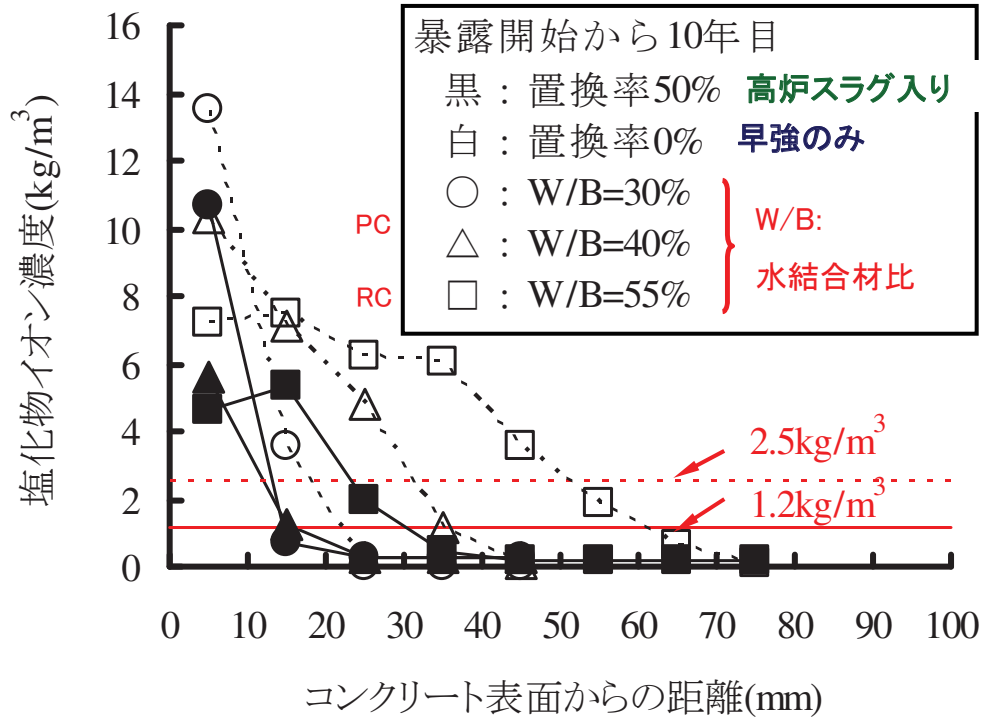
水分供給がないと、高炉セメントB種は強度発現しない。

- ・構造物が置かれる環境条件, 養生方法等の検討
- ・水セメント比, 管理材齢の設定が重要

<引用文献>谷口他:コンクリートの乾燥収縮ひずみに及ぼす要因と長期収縮ひずみの早期判定, 三井住友建設技術開発センター報告, 第8号, pp.63-71, 2010

三井住友建設

## 高炉スラグ微粉末の使用による遮塩効果(PC橋の耐久性向上)



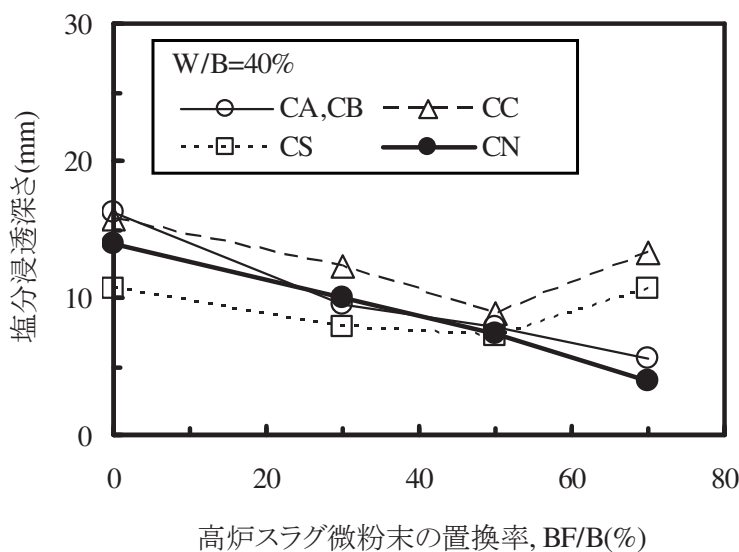
国土交通省コンクリート橋の塩害に関する特定点検要領(案)における対策の要否の判定値 2.5kg/m<sup>3</sup>

2007年制定コンクリート標準示方書における鋼材腐食発生限界濃度 1.2kg/m<sup>3</sup>

<引用文献>谷口他:塩害暴露試験によるコンクリートの塩分浸透性の評価ー その1:早強ポルトランドセメントを用いたコンクリートー, プレストレストコンクリート, Vol.54, No.5, pp.38-43, Sep.2012, その2:高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートー, Vol.55, No.1, pp.45-51, Jan.2013



## 高炉スラグ微粉末の使用による遮塩効果(PC橋の耐久性向上)



養生名	記号	養生方法	対象配合
室内気中養生A	CA	試験室(20℃,60%)で材齢3日まで湿潤養生を行い,以降は材齢28日まで気中養生	H2
室内気中養生B	CB	試験室(20℃,60%)で材齢5日まで湿潤養生を行い,以降は材齢28日まで気中養生	BFシリーズ
室内気中養生C	CC	試験室(20℃,60%)で湿潤養生を行わず,材齢28日まで気中養生	全配合
蒸気養生	CS	プレテンションPC桁の製造ラインで図-1に示す蒸気養生を行い,材齢1~28日までは気中養生(20℃,60%)	全配合

湿潤養生: 散水して十分に濡らした養生マットを敷いた後,不透水性の樹脂シートで被覆した状態を指す。

W/B=40%  
H2: 早強ポルトランドセメントのみ  
BFシリーズ: 高炉スラグ微粉末6000で30, 50, 70%置換

急速塩分透過性試験における高炉スラグ微粉末の置換率および養生方法の違いが塩分浸透深さに及ぼす影響

<引用文献>谷口他:塩害暴露試験によるコンクリートの塩分浸透性の評価ー, その2:高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートー, プレストレストコンクリート, Vol.55, No.1, pp.45-51, Jan.2013



橋梁の高品質化・耐久性向上に向けて

# コンクリート施工

 三井住友建設



写真: 三井住友建設

コンクリートダム

 三井住友建設





写真:三井住友建設

### トンネル 二次覆工



写真:三井住友建設

### コンクリート橋



# 未充填やコールドジョイント等，不具合を発生しないためにどのように施工すればよいのか？

様々な現場への支援⇒確認実験による対応

⇒社外に対しても，土木学会コンクリート標準示方書施工編や日本コンクリート工学会の要領等への反映



未充填箇所(豆板, ジャンカ)  
→締固め不足



コールドジョイント  
→打重ね方法の問題



## PC橋での圧送

打込み範囲が広い。トラブルで打止めにくい⇒必要に応じて複数のポンプを使用。

高粘性コンクリート，高所・長距離圧送→余裕のある圧送

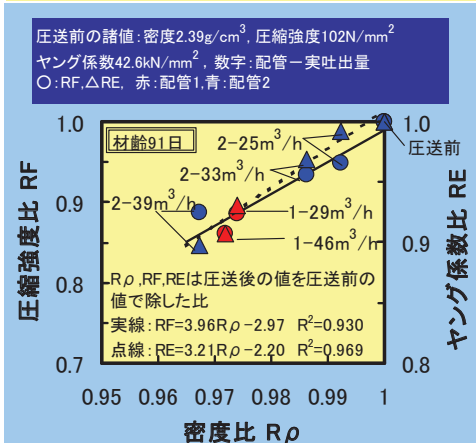
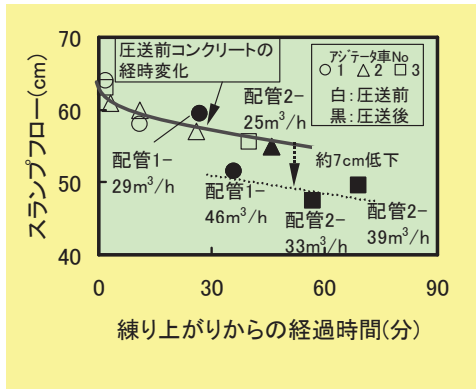


施工時の輸送管位置



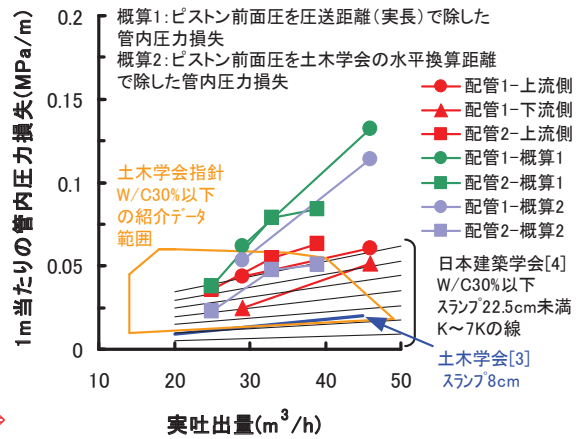
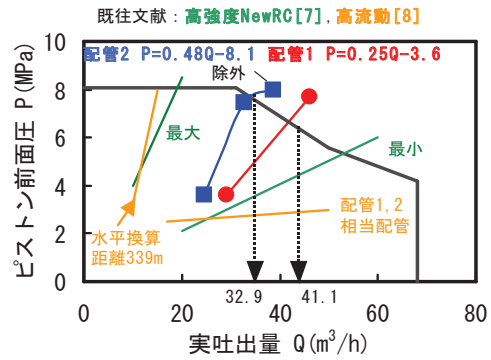
写真：三井住友建設





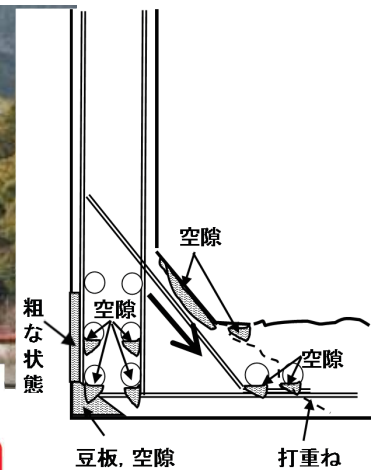
圧送による空気量の増加⇒密度、強度、ヤング係数の低下⇒事前に空気量の増減を確認

<引用文献>谷口他:高強度コンクリートのポンプ圧送性に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.2, pp.1015-1020, 2000.7



三井住友建設

## PC橋全般, 箱桁橋での打込み・締固め



- ・桁高の相違によるコンクリートの自由落下高さ
- ・障害となるシースの存在と位置や密集の程度の違い

写真: 三井住友建設

<引用文献>日本コンクリート工学会:コンクリートの打込み・締固め要領(執筆部分)

三井住友建設

# 中空床版橋での打込み・締固め

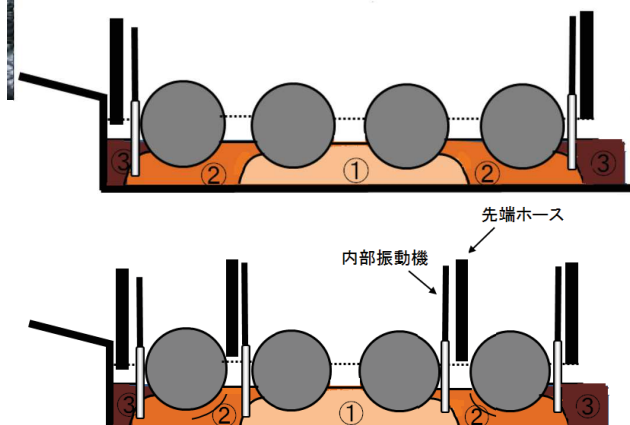
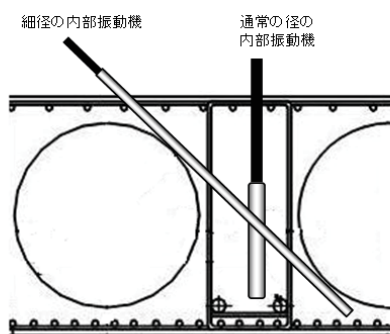


写真: 三井住友建設

<引用文献> 日本コンクリート工学会: コンクリートの打込み・締固め要領(執筆部分)

円筒型枠の浮上がり防止対策  
円筒型枠の下側へのコンクリート充填

- 適度な流動性(スランプ)を持つコンクリートの使用
- 一か所当たりの打込み高さ, 打込み・締固めの順番
- 円筒型枠下コンクリートの締固め方法



## PC橋における設計基準強度70N/mm<sup>2</sup>高強度コンクリートの場所打ち施工

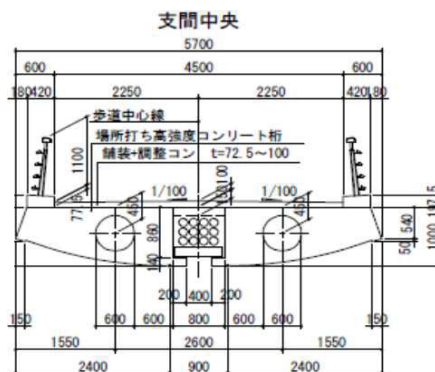
PC3径間連続ラーメン橋, 橋長87.8m, 有効幅員4.5~5.5m, 取付け道路と中央径間下の航路制限高さから桁高が低い。

**設計基準強度70N/mm<sup>2</sup>の低熱・高強度・高流動コンクリートの場所打ち工法を採用**

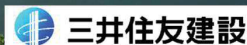
設計60N/mm<sup>2</sup>を超える高強度コンクリートの場所打ち工法を適用した事例は極めて少ない。

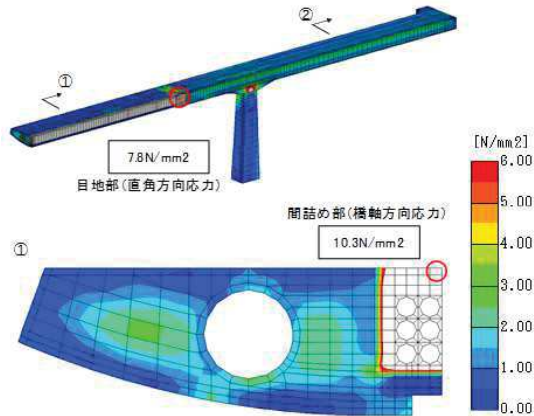
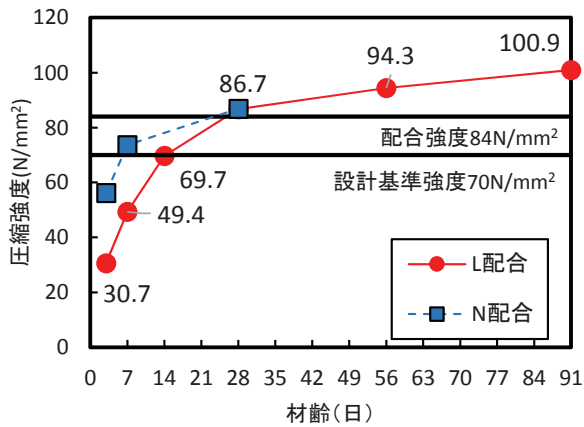
・マスコンクリート⇒低熱ポルトランドセメントの使用。しかし、PC橋の事例が極めて少ない⇒収縮, クリーブ等の事前確認

- ポンプの圧送性⇒データなし, 事前確認
  - 密に配置された送電管と円筒型枠周りの充填性⇒事前確認
  - 高い流動性を有するコンクリートの最大5%こう配での流動抑制・制御や表面仕上げ⇒既存データなし⇒事前確認
- 等, 様々な事前に確認すべき事項がある。



<引用文献> 1)谷口他: 場所打ち高強度コンクリートの検討-, 2)野田他: 高強度コンクリートを用いたPC橋の建設-(仮称)朝潮運河歩行者専用橋-, プレストレストコンクリート工学会, 第25回プレレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, 2016.10





勾配対策: 伏せ型枠の施工方法



無対策の場合



透水性シート等の対策を講じた場合



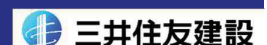
模擬試験体の切断面における充填性確認

<引用文献>1)谷口他: 場所打ち高強度コンクリートの検討ー(仮称)朝潮運河歩行者専用橋ー, プレストレストコンクリート工学会, 第25回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, 2016.10



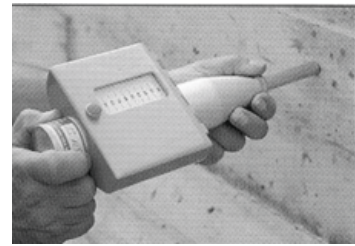
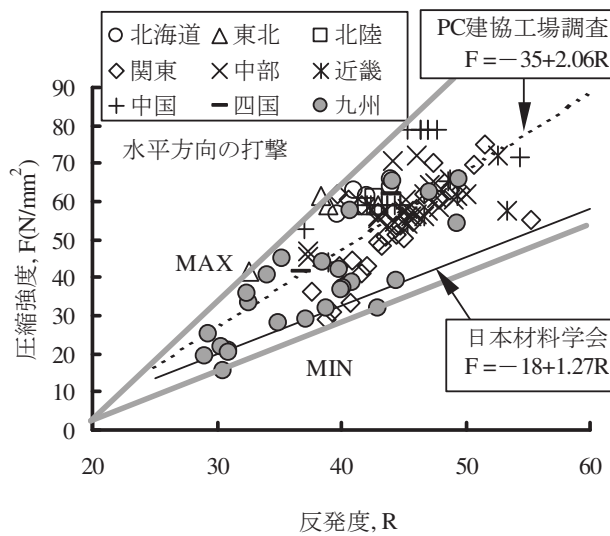
橋梁の高品質化・耐久性向上に向けて

# 構造物の 品質管理 及び検査



# 非破壊検査: テストハンマー強度

PC橋の強度推定にテストハンマー(シュミットハンマー)が使用され, 設計基準強度を下回る推定強度になった現場が発生し, 社内外から多数報告された。



古くから多くの強度推定式が提案されてきた。得られた試験条件の範囲での試験値を用いた回帰式

(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会(PC建協)会員会社の工場調査による反発度と圧縮強度の結果

<引用文献> 谷口他: プレストレストコンクリート部材へのテストハンマーの適用性に関する検討, プレストレストコンクリート, No.44, No.5, pp.47-52, 2002.9



テストハンマーの構造, 測定方法, コンクリートの変形性状等に  
着目し, 理論的に考察した結果

## ◆反発度と圧縮強度の関係を表す理論式の提案

$$F = \frac{(R/100)^2}{2\pi r \alpha \delta'_e \left[ \eta - (R/100)^2 \right]}$$

ここに,

$F$ : 圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)

$R$ : 反発度(読み値)

$r$ : プランジャー先端の曲率半径(mm)

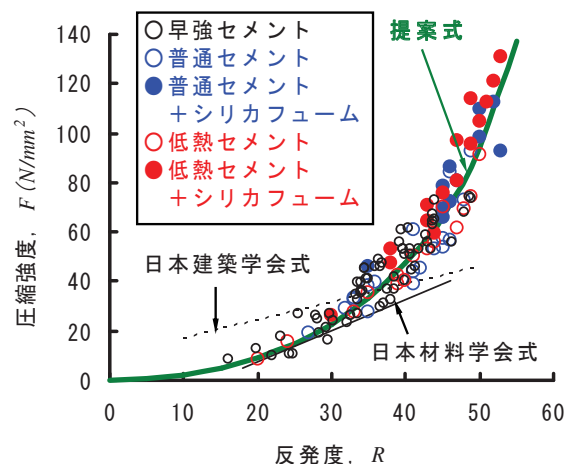
$\alpha$ : 比例係数(5.0程度)

$\delta'_e$ : 単位荷重当たりの全弾性変形(mm/kN)

(0.01mm/kN程度)

$\eta$ : エネルギー効率(0.55程度)

係数の値はコンクリートの条件によって異なる。




<引用文献> 谷口: テストハンマーによる構造体コンクリートの強度推定法に関する研究, 筑波大学学位論文, 2007.3



橋梁の高品質化・耐久性向上・  
耐荷性確保に向けて

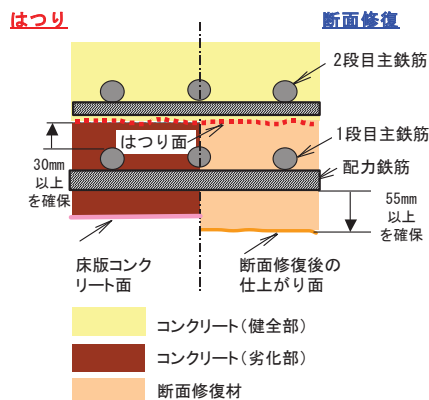
# 構造物の 補修・補強

 三井住友建設

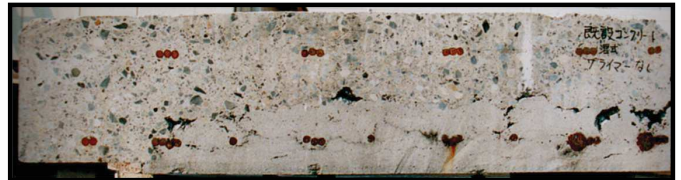
## 断面修復（吹付け工法，逆打ち工法）



RC中空床版橋下面劣化



吹付け工法1(専門業者による)



吹付け工法2(専門業者による)

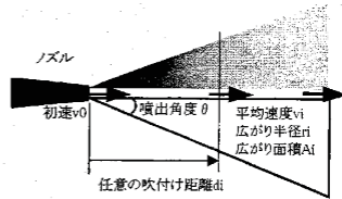
### 断面修復材の充填 状況の比較



高流動モルタル逆打ち工法

<引用文献>本荘, 井手上, 上東, 谷口, 丸屋, 宮川: 塩害劣化したRC中空床版橋への吹付けによる断面修復工法の適用, 土木学会論文集, No.798/VI, pp.75-88, 2005.9.

 三井住友建設

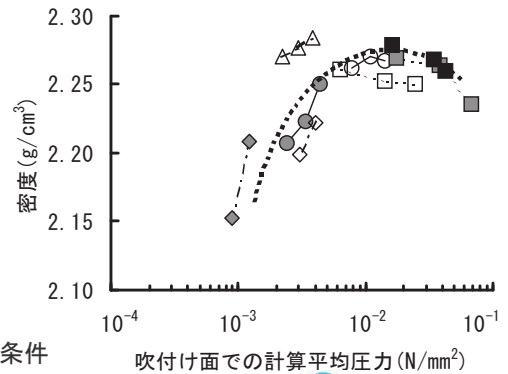
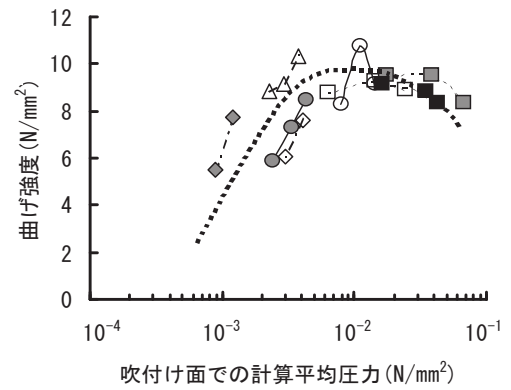
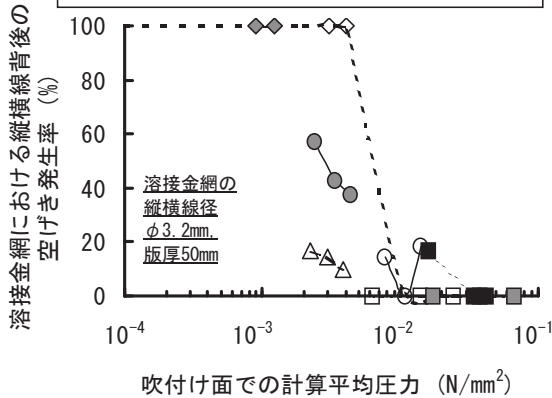


ノズルの種類  
( )の数值：吹付け距離(mm)とモルタル流量(m<sup>3</sup>/h)

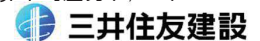
○	ノズルN(300, 1)	●	ノズルN(600, 1)
△	ノズルF(300, 1)	□	ノズルB(300, 1)
■	ノズルB(150, 1)	◆	ノズルB(300, 2)
◇	ノズルW(300, 1)	◇	ノズルW(600, 1)

ノズルの種類  
( )内の数值：吹付け距離(mm)とモルタル流量(m<sup>3</sup>/h)

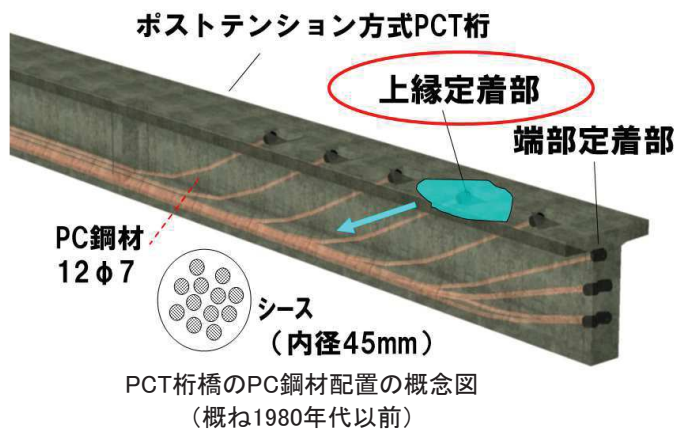
○	ノズルN(300, 1)	●	ノズルN(600, 1)
△	ノズルF(300, 1)	□	ノズルB(300, 1)
■	ノズルB(150, 1)	◆	ノズルB(300, 2)
◇	ノズルW(300, 1)	◇	ノズルW(600, 1)



<引用文献>谷口他:高強度吹付けモルタルの品質に及ぼす吹付け条件の影響に関する研究, 土木学会論文集, No.697/V-54, pp.117-130, 2002



## PC橋の劣化(塩害等)



土木研究所構造物メンテナンス研究センター(CAESAR)とプレストレスト・コンクリート建設業協会(PC建協)の協力協定並びに共同研究

撤去PC橋を用いた損傷状態調査, 解体調査, 耐荷力試験, 振動計測等を実施

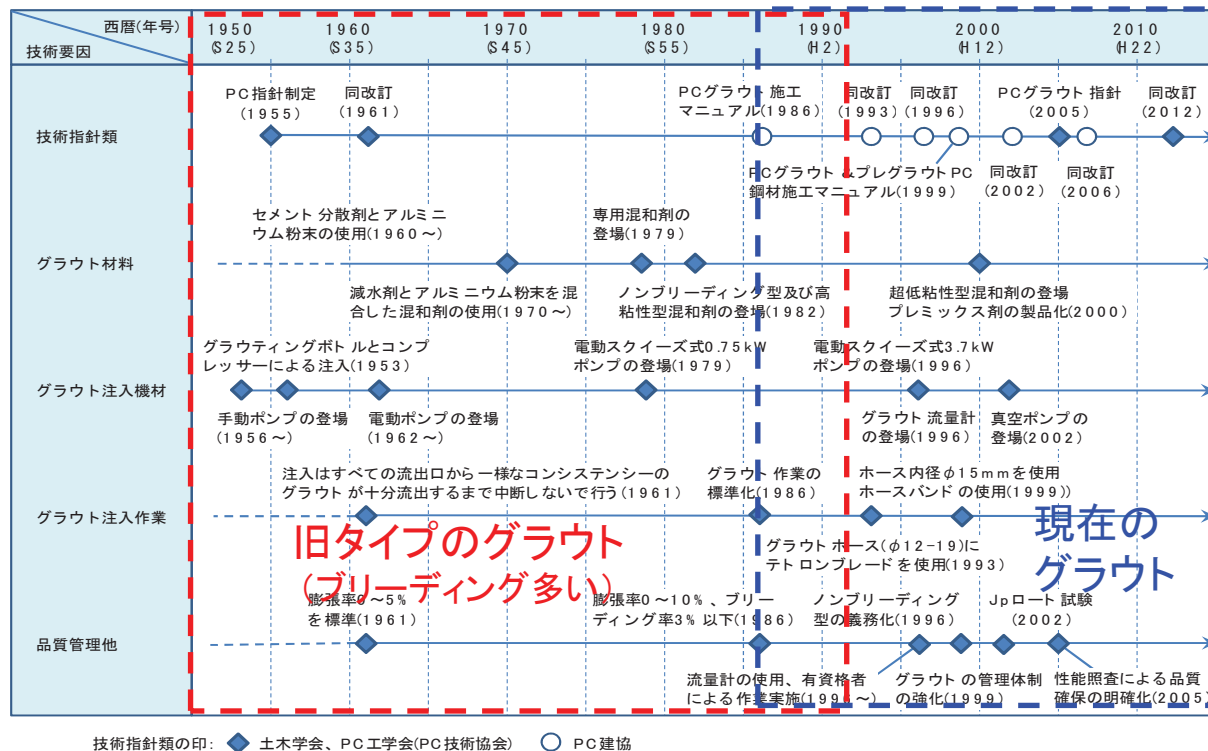
<引用文献>木村, 本間, 谷口, 北野, 小林:道路橋のメンテナンス—臨床からの戦略—, プレストレストコンクリート工学会第41回PC技術講習会, 防災・減災・強靱化に対するPC構造物の取組み—, pp.33-55, 2013

石田, 吉田, 山口, 谷口, 北野, 国富, 小林:道路橋のメンテナンス技術の高度化—撤去PC橋を用いた臨床研究—, プレストレストコンクリート工学会第45回PC技術講習会, 生産性向上と維持管理・更新の時代に求められるPC技術, pp.1-24, 2017

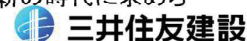




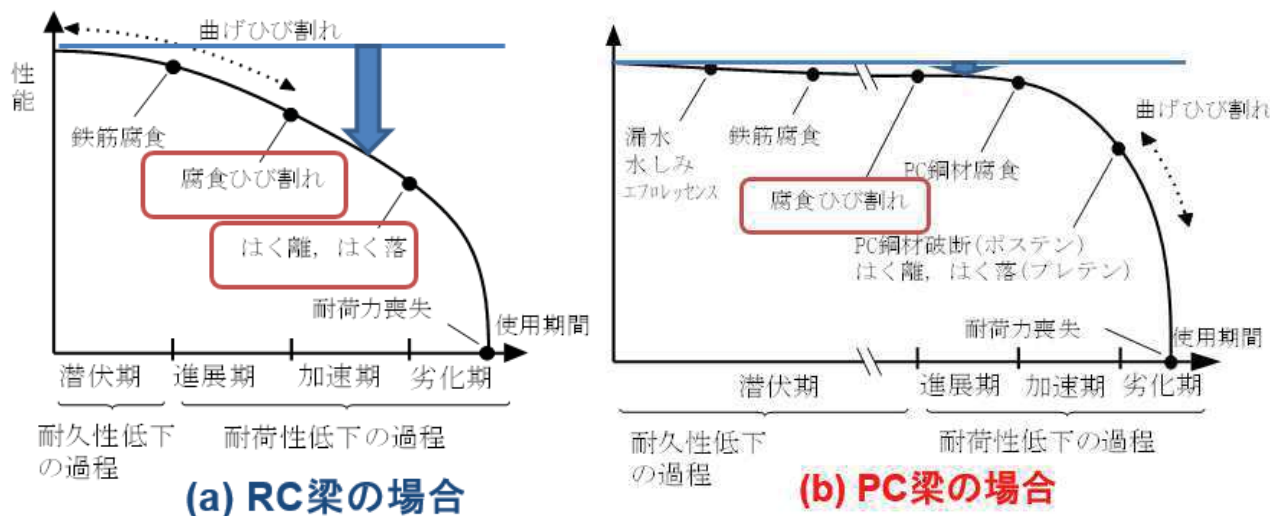
# PCグラウトの変遷



<引用文献>石田, 吉田, 山口, 谷口, 北野, 国富, 小林:道路橋のメンテナンス技術の高度化—撤去PC桁を用いた臨床研究—, プレストレストコンクリート工学会第45回PC技術講習会, 生産性向上と維持管理・更新の時代に求められるPC技術, pp.1-24, 2017



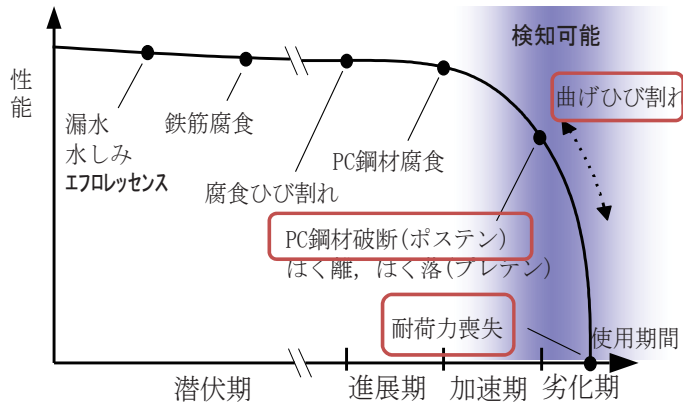
## RC梁とPC梁の予想される劣化シナリオ 耐久性と耐荷性の低下



<引用文献>石田, 吉田, 山口, 谷口, 北野, 国富, 小林:道路橋のメンテナンス技術の高度化—撤去PC桁を用いた臨床研究—, プレストレストコンクリート工学会第45回PC技術講習会, 生産性向上と維持管理・更新の時代に求められるPC技術, pp.1-24, 2017



# 振動測定による異状検知が可能時期の検討例



曲げひび割れが生じたPC橋



PC鋼材破断が生じたPC橋

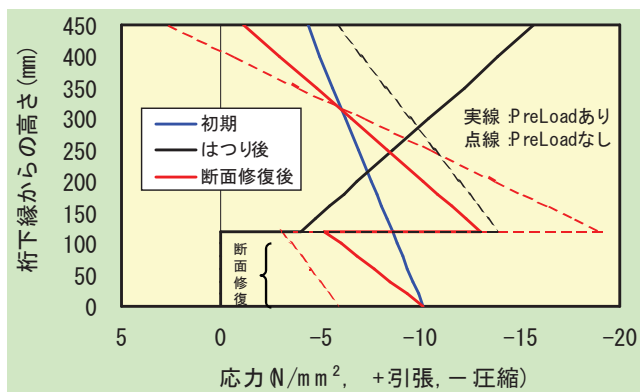
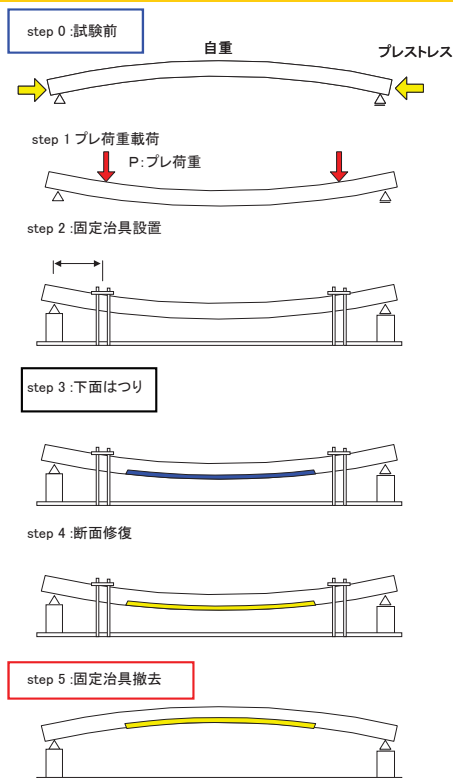


耐荷力の大半が喪失したPC橋

<引用文献>石田, 吉田, 山口, 谷口, 北野, 国富, 小林:道路橋のメンテナンス技術の高度化—撤去PC桁を用いた臨床研究—, プレストレストコンクリート工学会第45回PC技術講習会, 生産性向上と維持管理・更新の時代に求められるPC技術, pp.1-24, 2017



# PC部材の大断面修復を想定した検討例



従来のRC部材を対象とした断面修復材ではほとんど考えられていないが, PC部材の大断面修復には, 断面修復の弾性係数や収縮・クリープ等にも着目する必要がある。

土木研究所とプレストレスト・コンクリート建設業協会の共同研究による。

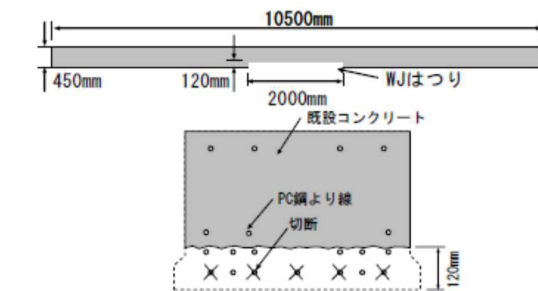
<引用文献>1)中村(定), 濱田, 谷口, 中村(雅):PC橋の改造技術に関する研究—その3:PC部材のはつりの適切性に関する研究—, プレストレストコンクリート, Vol.50, No.1, pp.54-60, Jan.2008  
2) 谷口, 渡辺, 竹中, 三加:その4:大規模な断面修復の材料および施工に関する検討—, Vol.50, No.2, pp.92-100, Mar.2008



実験状況(ウォータージェットはつり⇒低収縮高流動コンクリート断面修復⇒外ケーブル補強)

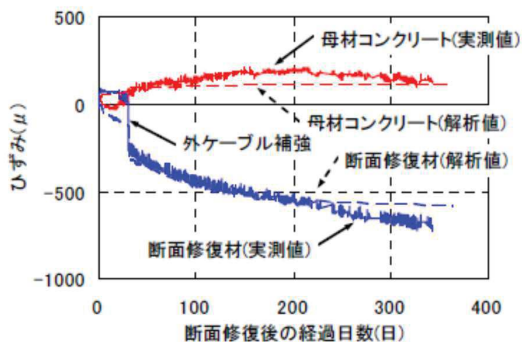


写真: 三井住友建設

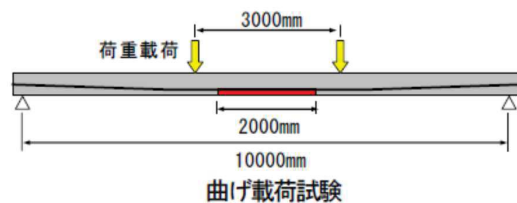


断面修復およびPC鋼より線切断箇所

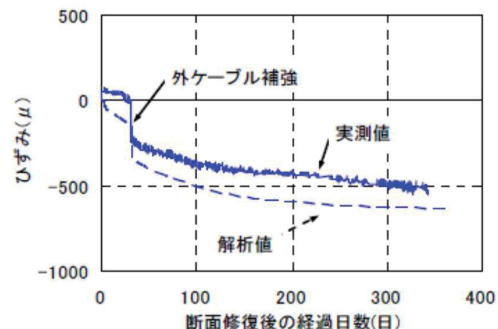
実験・解析結果



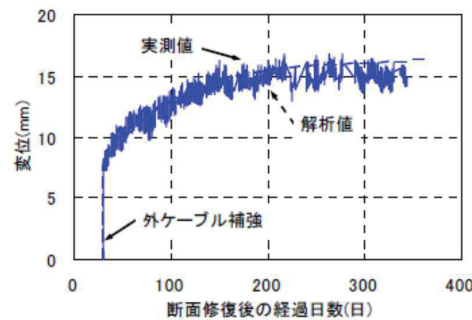
コンクリートひずみの経時変化



曲げ載荷試験



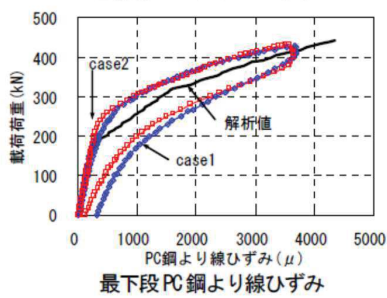
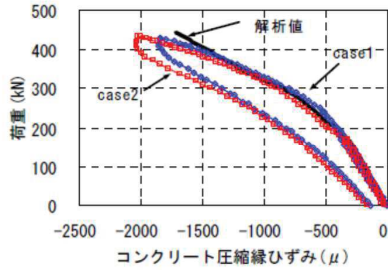
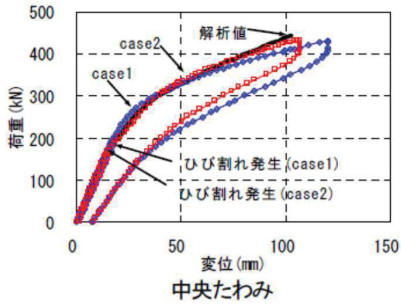
PC鋼より線の経時変化



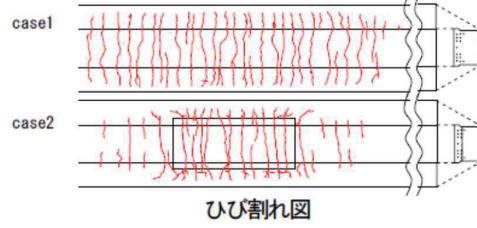
変位の経時変化

<引用文献>中村(定), 濱田, 谷口, 中村(雅): PC橋の改造技術に関する研究—その3: PC部材のはつりの適切性に関する研究—, プレストレストコンクリート, Vol.50, No.1, pp.54-60, Jan.2008





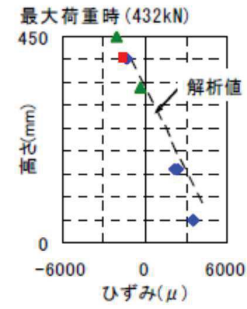
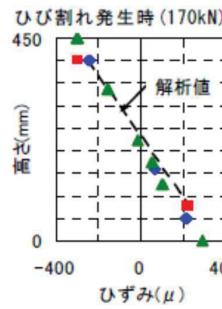
Case1: 補修・補強を行っていない健全な試験体  
Case2: 断面修復および外ケーブルで補強した試験体



ひび割れ本数および間隔

試験体種類	ひび割れ本数 (本)	ひび割れ間隔 (mm)
case1	12	167
case2	11	182

◆ PC鋼材 ■ 埋め込みひずみ ▲ 表面ひずみ



ひずみ分布 (中央断面)

<引用文献>中村(定), 濱田, 谷口, 中村(雅):PC橋の改造技術に関する研究—その3:PC部材のはつりの適切性に関する研究—, プレストレストコンクリート, Vol.50, No.1, pp.54-60, Jan.2008



橋梁の品質確保に向けて

# 社員の体験教育 による技術力 の向上



# 土木部門の研修（コンクリート実習）

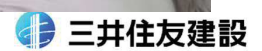


全国の骨材サンプルの見学状況

写真: 三井住友建設



写真: 三井住友建設



# 土木部門の研修(実技合宿)



写真: 三井住友建設



# 建築部門の研修(実技合宿)

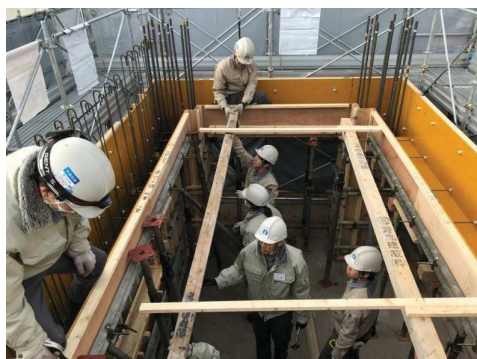


写真: 三井住友建設



200年橋梁をも視野に入れた技術開発

さらなる高品質・  
高性能化，生産  
性向上を求めて

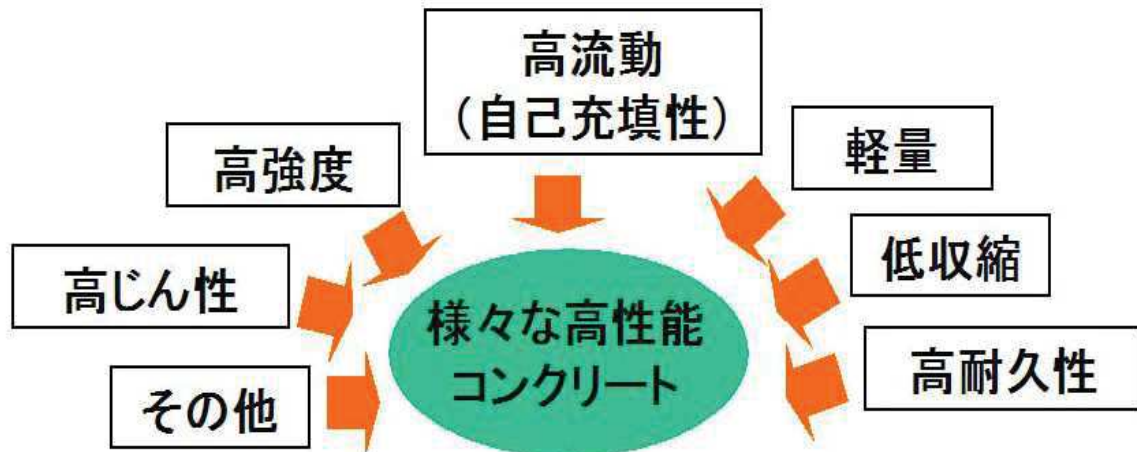


新材料



# ■ 様々な高性能コンクリートの開発

要求性能に応じて、様々な高性能コンクリートを開発している。



 三井住友建設

## ■ 超高強度繊維補強コンクリート(UFC)

超高強度

高じん性

高耐久

設計180N/mm<sup>2</sup>

高流動(自己充填性)

羽田空港D滑走路  
棧橋部床版



低桁高のPC歩道橋



PC道路橋(当社)



下方より



<引用文献>サクセム研究会資料(幹事会社:鹿島, デンカ, 住友電工, 当社)

道路橋: 三井住友建設ニュースリリース

(<https://www.smcon.co.jp/topics/release/>)2006.5.24

 三井住友建設



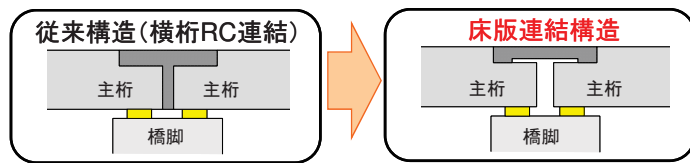
# 複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料 (HPFRCC)

高じん性

微細ひび割れ

高流動(自己充填性)

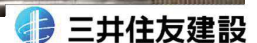
低弾性



連結部に作用する断面力を低減できる。

<引用文献>谷口他:低弾性高じん性セメント系複合体を用いたPC桁床版連結構造, コンクリート工学, Vol.49, No.4, pp.22-29, 2011

三井住友建設ニュースリリース(<https://www.smcon.co.jp/topics/release/>)2010.2.18



## ■連続化の課題

隣接径間のPC桁どうしを橋脚上で横桁と一体化させる連結横桁構造の課題

- ・狭隘な連結部の施工が煩雑。
- ・本工事では、隣接する主桁の桁高および断面形状が異なる。⇒横桁部での断面、桁下端側の配筋が不連続。⇒維持管理
- ・連結部の剛性が高く、地震時に作用する断面力が多い。⇒耐震性

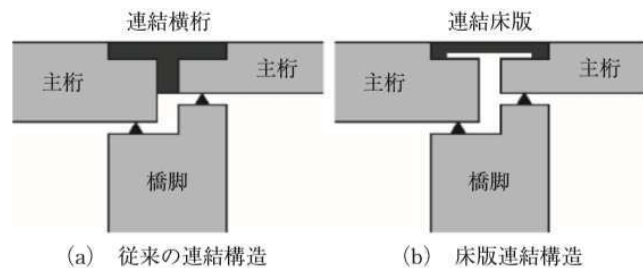


図-1 PC桁の連結構造の比較

## ■床版連結構造の適用

隣り合う径間のPC桁を床版で連結

- ・従来の連結構造は、剛性が高く、ラーメン構造的な挙動を示すが、床版連結構造は、中間支点部の剛性を低下させて単純桁に近い構造とした。⇒中間支点部付近の不静定力や地震力を低減できる。
- ・PC桁相互を柔らかく繋げて、連結部に作用する断面力を低減できる構造である。⇒維持管理性の向上と連結部施工の合理化を図ることができる。

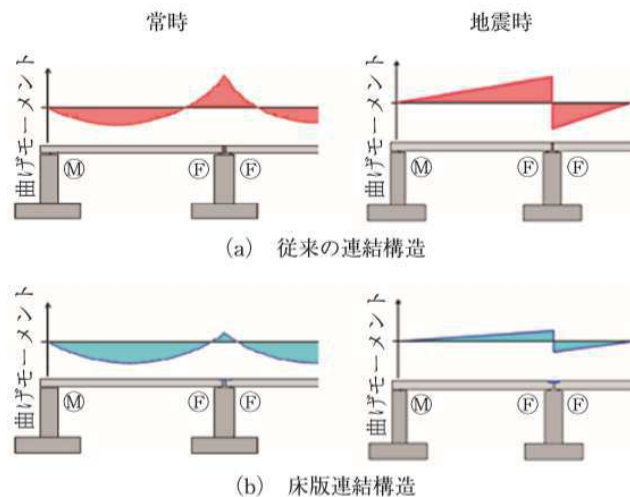


図-2 曲げモーメントの模式図

<引用文献>谷口他:低弾性高じん性セメント系複合体を用いたPC桁床版連結構造, コンクリート工学, Vol.49, No.4, pp.22-29, 2011

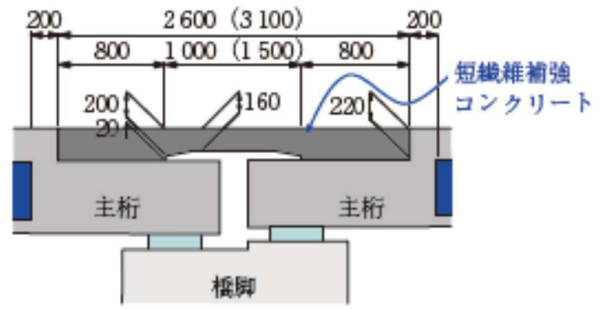


■ 断面力の比較的小さい箇所 (Type1)

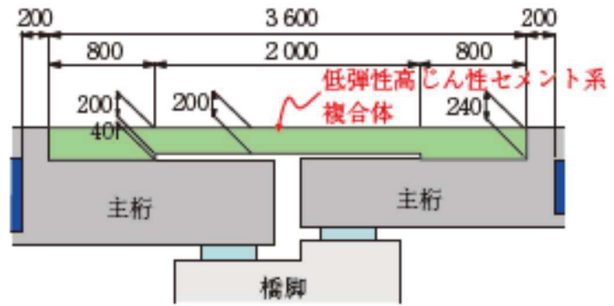
- ・作用する断面力に応じて床版支間: 1.0mないし1.5m
- ・短繊維補強コンクリート(ビニロン繊維と膨張材を混入)を使用
- ・設計基準強度:  $30\text{N/mm}^2$   
ヤング係数の設計値:  $28\text{kN/mm}^2$

■ 断面力が大きい箇所 (Type2)

- ・床版支間: 2.0m
- ・開発した低弾性高じん性セメント系複合体を使用
- ⇒ 床版部に作用する断面力を低減
- ・設計基準強度:  $30\text{N/mm}^2$   
ヤング係数の設計値:  $20\text{kN/mm}^2$

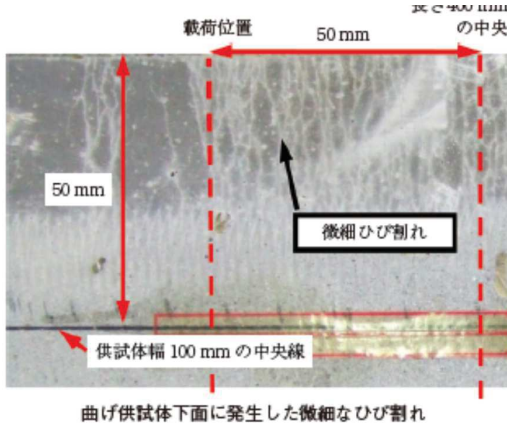
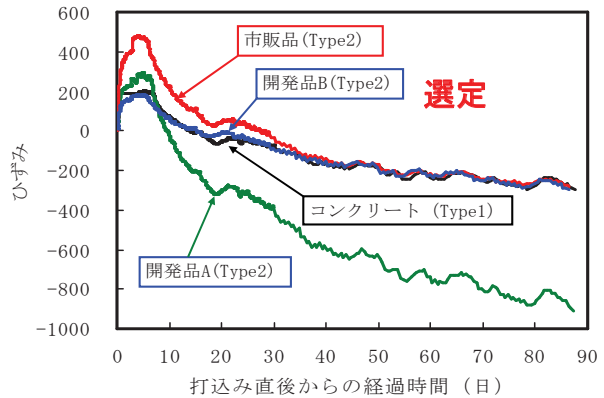
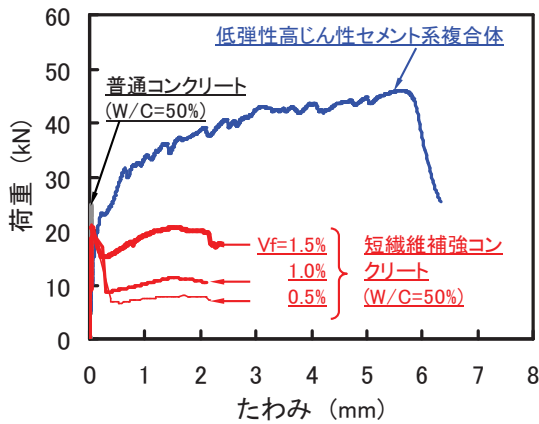


(a) Type 1



(b) Type 2

<引用文献> 谷口他: 低弾性高じん性セメント系複合体を用いたPC桁床版連結構造, コンクリート工学, Vol.49, No.4, pp.22-29, 2011



曲げ供試体下面に発生した微細なひび割れ



<引用文献> 谷口他: 低弾性高じん性セメント系複合体を用いたPC桁床版連結構造, コンクリート工学, Vol.49, No.4, pp.22-29, 2011



## 5つの特徴を持つファイブスターのコンクリート

### ★ 超低収縮

乾燥収縮と自己収縮をほぼゼロにできる。

### ★ 超低発熱

硬化時の発熱が極めて小さい。

### ★ 超低炭素

ポルトランドセメントを使用しない条件でも製造が可能で、CO<sub>2</sub>排出量を大幅に削減できる。

### ★ 高流動

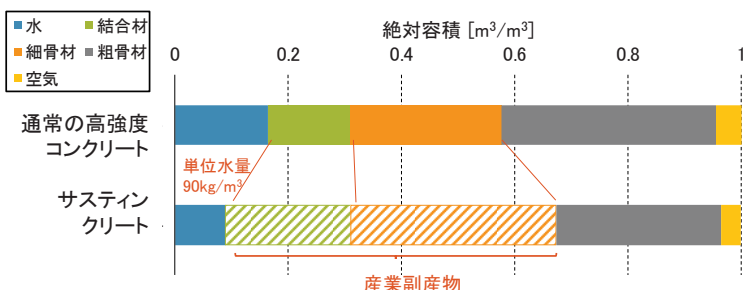
流動性が高いため、充填不良の防止、作業の省力化、形状の自由度の向上を実現できる。

### ★ 高強度

圧縮強度が高いため、高層建築物やPC桁等に使用できる。

コンクリート構造物  
(橋梁)の  
・高耐久性化  
・新構造形式  
・環境負荷低減  
を実現できる

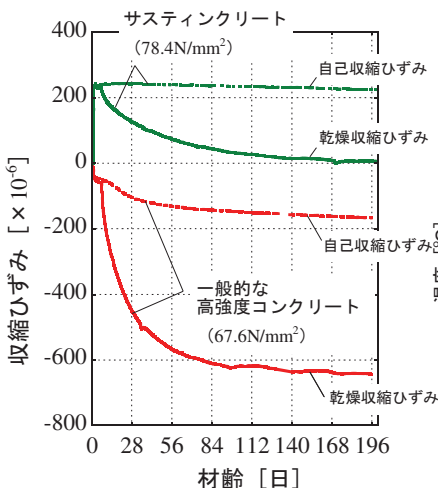
<引用>三井住友建設ニュースリリース  
(<https://www.smcon.co.jp/topics/release/>)2018.2.26



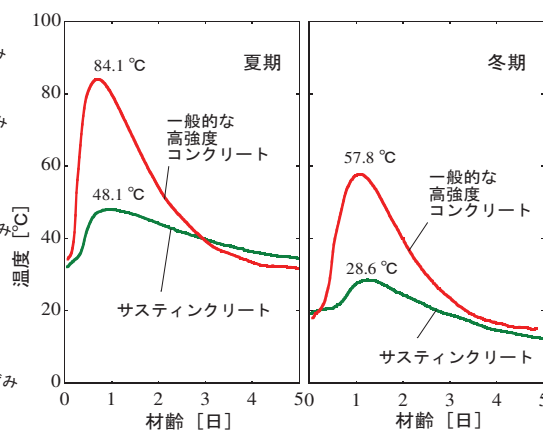
### ★ 高流動



### ★ 超低収縮

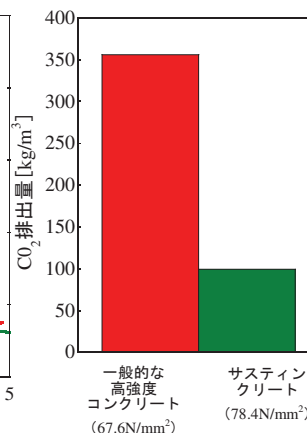


### ★ 超低発熱



### ★ 超低炭素

### ★ 高強度



<引用>三井住友建設ニュースリリース(<https://www.smcon.co.jp/topics/release/>)2018.2.26



## ■ 繊維補強サスティンクリートを用いた非鉄PC桁

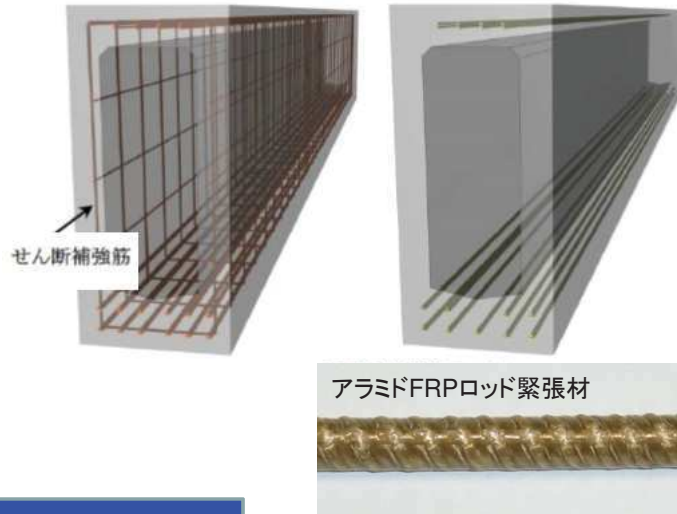
### 非鉄PC橋梁

サスティンクリート

高性能繊維補強  
コンクリート



アラミドFRP  
ロッド緊張材



- ✓ 腐食しないアラミドFRPロッド
- ✓ 超高強度(150N/mm<sup>2</sup>)繊維補強サスティンクリートによるせん断補強筋の省略
- ✓ 超低収縮
- ✓ 産業副産物の大量使用(構成材料の約7割)

<引用> 三井住友建設ニュースリリース(<https://www.smcon.co.jp/topics/release/>) 2019.7.9



## ■ 持続可能な社会の実現に向けた新素材の建設利用への取り組み

### 脱石油, これからの建設⇒新素材の活用

#### ● セルロースナノファイバー(大王製紙社との共同開発)

- ・木材などを原料として、植物の細胞壁を構成するセルロースを径1~100ナノメートル(ナノは10億分の1)にまで微細化した繊維。軽くて強い素材。
- ・コンクリートに混合した場合のひび割れ抑制効果を発表。その他の効果の確認や用途の検討を実施中。

#### ● 構造タンパク質素材(SPIBER社との共同研究)

- ・ほぼ無限の組合せの中から目的に応じてデザイン・選抜し、微生物による発酵プロセスで生産した素材で、多種多様な特性や形態の材料に設計可能。様々な建設用途を検討、実験開始。



Spiberの構造タンパク質素材の一例

<引用> 三井住友建設ニュースリリース(<https://www.smcon.co.jp/topics/release/>)

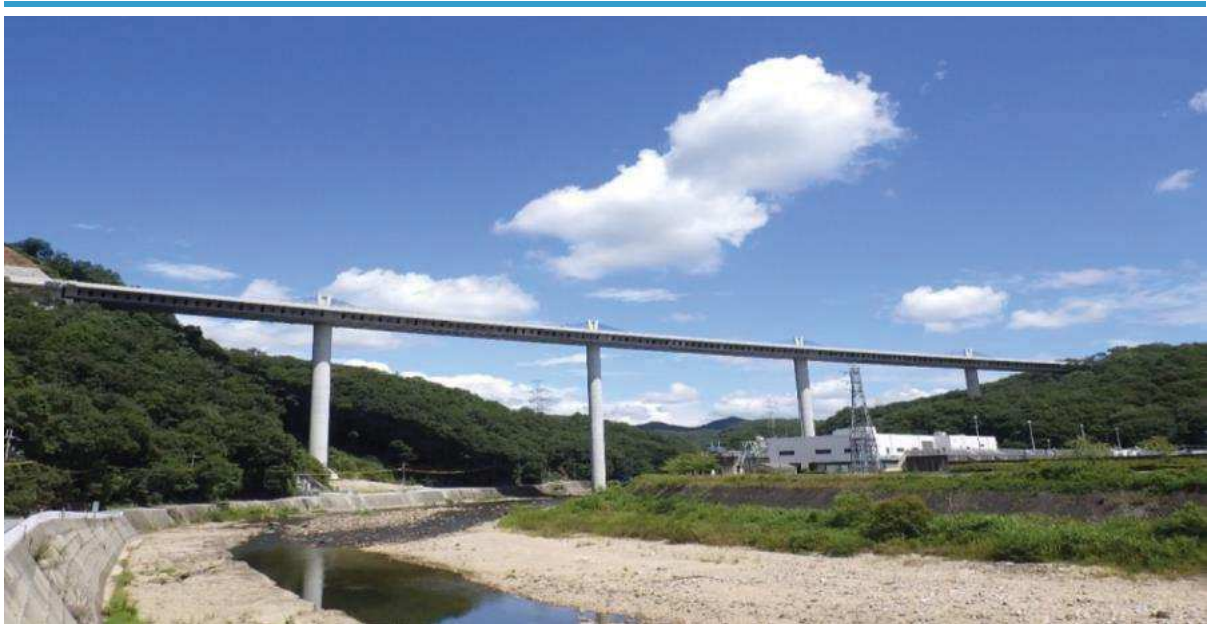
2018.3.22セルロースナノファイバー, 2019.3.25構造タンパク質



# 新構造

 三井住友建設

## 新名神高速道路 武庫川橋（兵庫県）

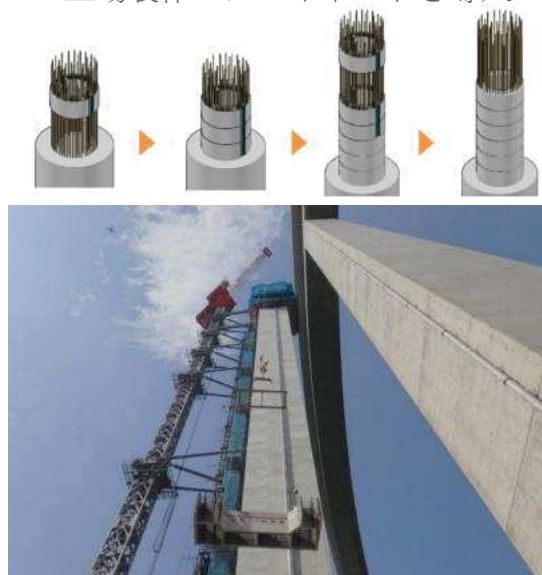


S P E R工法、バタフライウェブ構造を用いた世界初の  
「バタフライウェブ エクストラローズド橋」

 三井住友建設

# 橋脚の急速施工（SPER工法）

- ・現場における作業の省力化
- ・工場製作のプレキャストを導入



東海北陸自動車道 鷺見橋

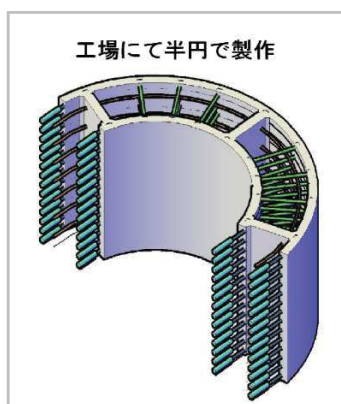
## 橋脚のハーフプレキャスト化

<引用>三井住友建設ニュースリリース(<https://www.smcon.co.jp/topics/release/>)  
鷺見橋2016.8.1

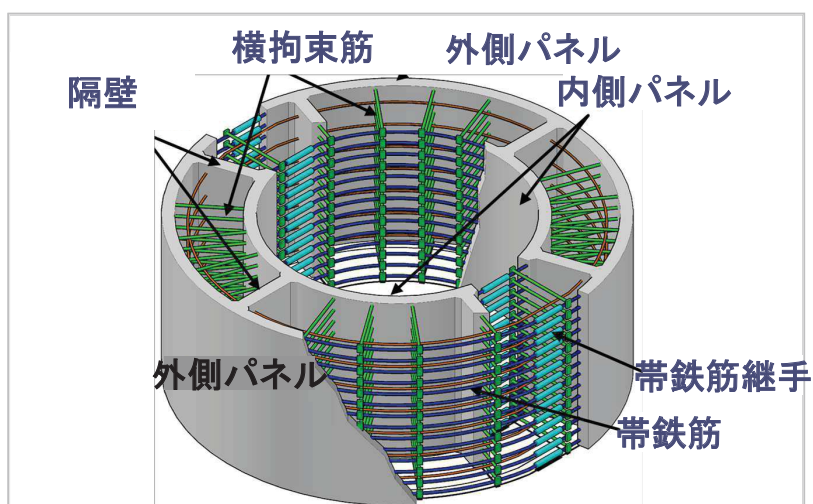


# SPER 工法（ハーフプレキャスト工法）

Sumitomo Mitsui's Precast Form for Earthquake Resistance and Rapid construction

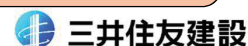


工場製作

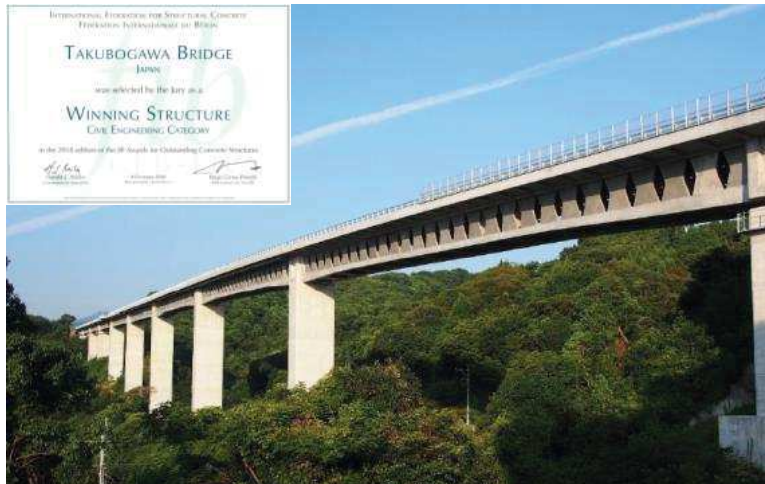


ハーフプレキャスト部材

帯鉄筋と中間帯鉄筋を内在したハーフプレキャスト部材を架設し  
その中にコンクリートを充填することにより橋脚を施工



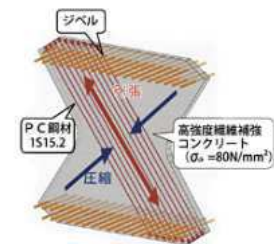
# バタフライウェブ橋



- 2013年 土木学会田中賞
- 2013年 プレストレストコンクリート工学会賞
- 2018年 fib(国際コンクリート連合)の最優秀賞受賞



上：設置後の桁内部の状況  
下：バタフライウェブの構造



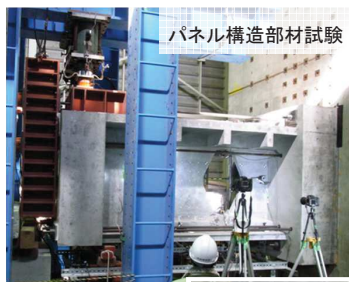
バタフライウェブの構造

軽量化，省力化，コスト削減，環境への影響低減

<引用>三井住友建設ニュースリリース(<https://www.smcon.co.jp/topics/release/>)  
田久保川橋に世界初適用2011.11.02, 同橋のfib受賞2018.10.31



## 三井住友建設での開発から適用まで(実験関連)



パネル構造部材試験



実橋への適用

### 部材の検討



パネル部材試験



梁部材試験

### 材料の開発

(高性能繊維補強コンクリート)



パネル製作(施工性)



パネル長期挙動(耐久性)

### 施工性の検討



# 非鉄製橋梁 (Dura-Bridge)



実証橋



部材: せん断耐力試験, 輪荷重走行による疲労耐久性試験, AFRP外ケーブル曲げ配置疲労試験等  
実橋: 静的載荷実験, 振動実験, 常時モニタリング(変位, ひずみ, 振動等, webカメラ等) 等を実施

## 腐食しないアラミドロッド (AFRP) を用いた 非鉄製のPC橋梁 100年以上使用できる耐久性のある橋を実現

<引用> 三井住友建設ニュースリリース (<https://www.smcon.co.jp/topics/release/>)  
本線橋 (別荘谷橋) 2018.7.25



## 三井住友建設の四半世紀をかけた実証



1990年に実証桁の製作



実証PC橋として28年供用



PC橋主桁の撤去



アラミドFRPロッド



桁の載荷試験



桁は計画時の緊張力を保持し, 所要の曲げ破壊耐力を有する。FRPロッドは設計時の引張強度を持つ。⇒25年以上が経過しても, 建設時と同様の性能がある。

<引用> 三井住友建設ニュースリリース (<https://www.smcon.co.jp/topics/release/>)2018.4.24



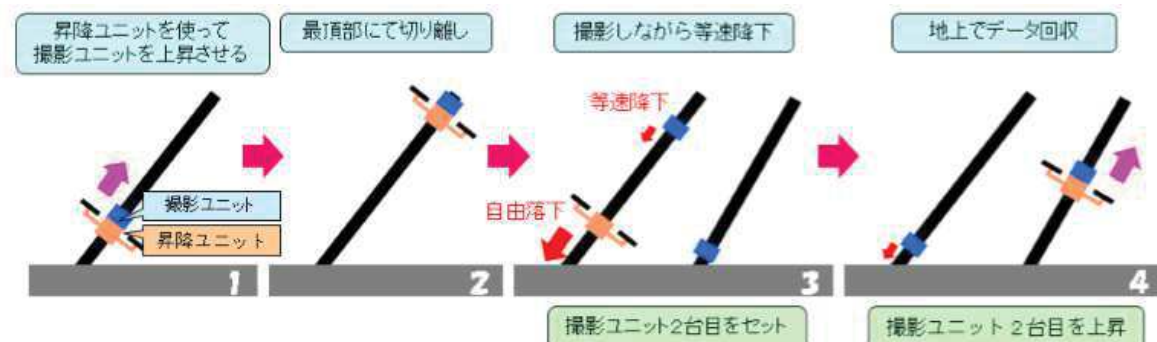
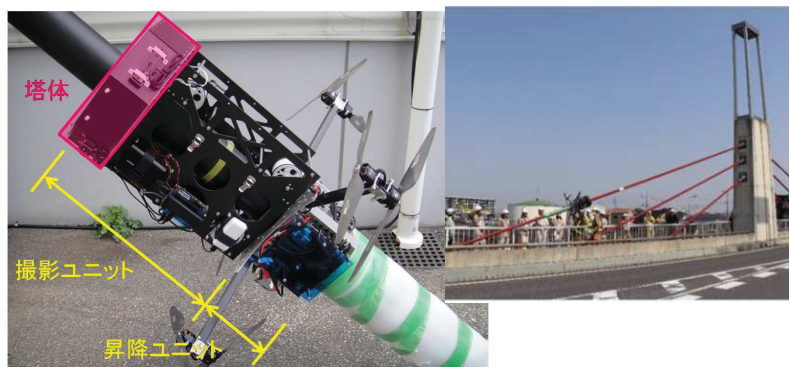


# 点検・モニタリング， 情報化施工の 各技術開発



## 斜張橋ケーブル点検ロボットの開発

UAV(無人航空機)を用いて，斜張橋のケーブル最頂部から自動制御で等速降下しながら，ケーブル全周を撮影する点検ロボット。  
撮影した動画(画像)は，地上部での回収後すぐに画像結合システムによりパノラマ画像化することができ，その場でケーブル損傷の部位と程度を確認できる。

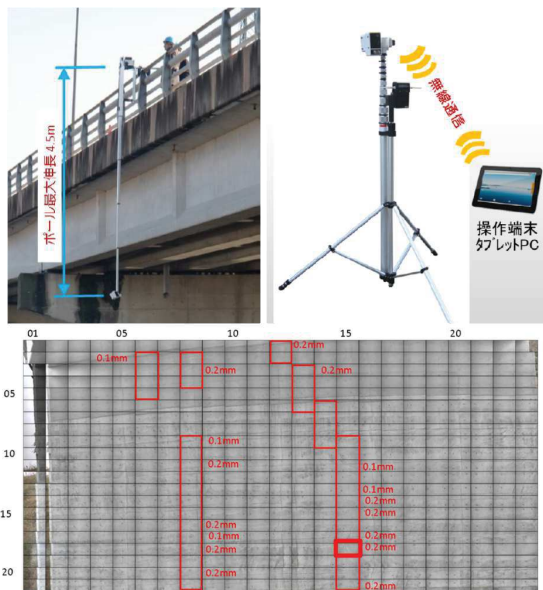


<引用> 三井住友建設ニュースリリース(<https://www.smcon.co.jp/topics/release/>)  
開発2017.12.5, 実証2018.6.8

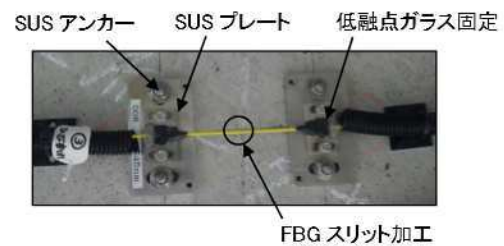


# 点検ロボットカメラ, 光ファイバーによるモニタリング

## ● 橋梁点検ロボットカメラ



## ● 光ファイバーによるモニタリング技術 連続的なデータによる健全性評価



【FBG 光ファイバーセンサ】

<引用>三井住友建設ニュースリリース(<https://www.smcon.co.jp/topics/release/>)  
点検ロボットカメラ2013.11.18, 2016.5.11, 光ファイバー2018.5.14



# ICT（情報化通信技術）の活用

## 橋梁3次元モデル生成システム



夏井高架橋（岩手県）

<引用>三井住友建設ニュースリリース(<https://www.smcon.co.jp/topics/release/>)  
開発2017.12.5, 実証2018.6.8



# ICT（情報化通信技術）の活用

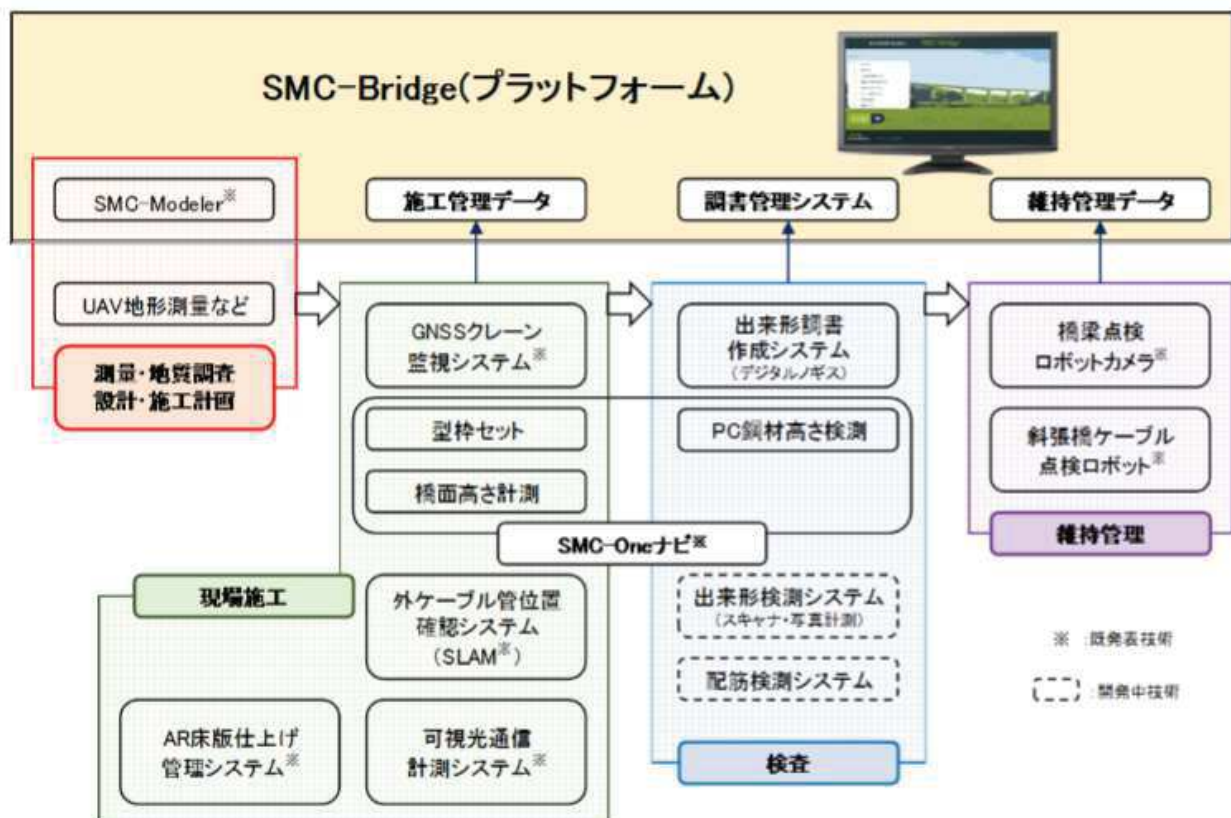
橋梁建設の生産性向上を図るプラットフォーム



当社オリジナルのプラットフォーム「SMC-Bridge」

19

<引用>三井住友建設ニュースリリース(<https://www.smcon.co.jp/topics/release/>)  
2017.12.25

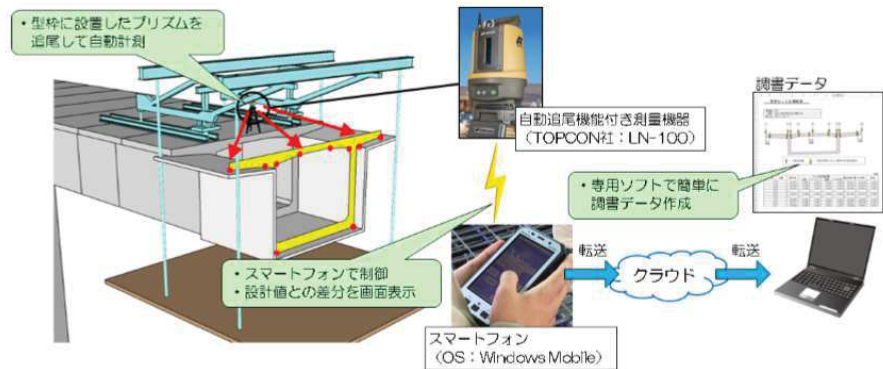


<引用>三井住友建設ニュースリリース(<https://www.smcon.co.jp/topics/release/>)  
2017.12.25



## 計測作業・管理の省人化を実現する「SMC-Oneナビ」の開発

- ・自動追尾機能付き測量機器を使用し，自社開発したスマートフォン専用アプリで自動制御することにより，職員一人で計測から調書作成までを簡単にできる。
- ・測量機器が自動的に対象となる計測点を視準し，スマートフォンの画面に設計値と計測値の差分を表示する。
- ・計測データは無線でクラウド上に保存され，専用ソフトで簡単に調書データを出力できる。



【SMC-One ナビの概要図】

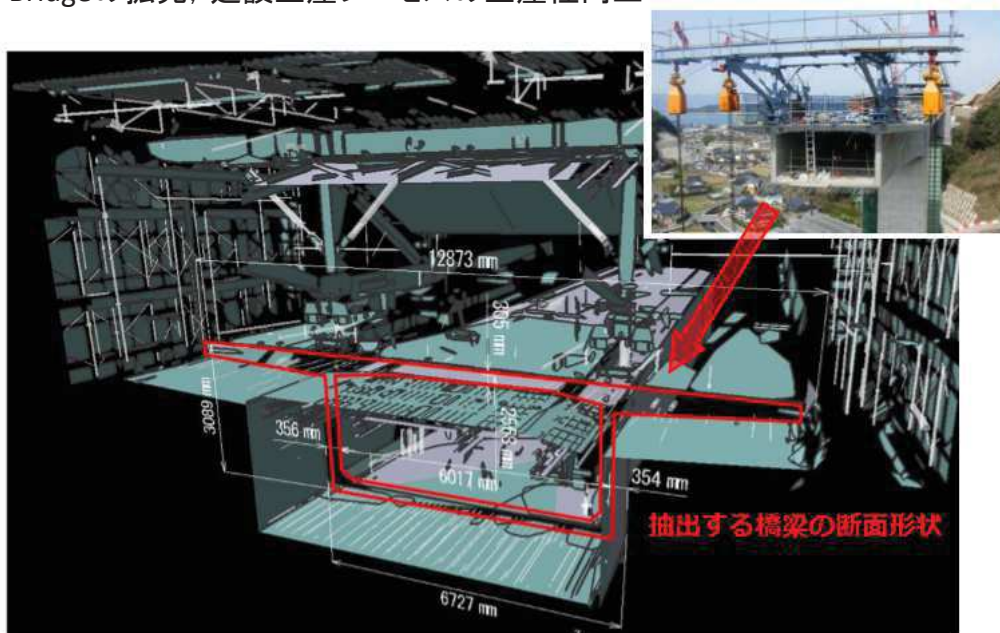


<引用> 三井住友建設ニュースリリース(<https://www.smcon.co.jp/topics/release/>)2017.11.7



## 3Dレーザースキャナを用いた橋梁の出来形検測システムの開発

SMC-Bridgeの拡充，建設生産プロセスの生産性向上



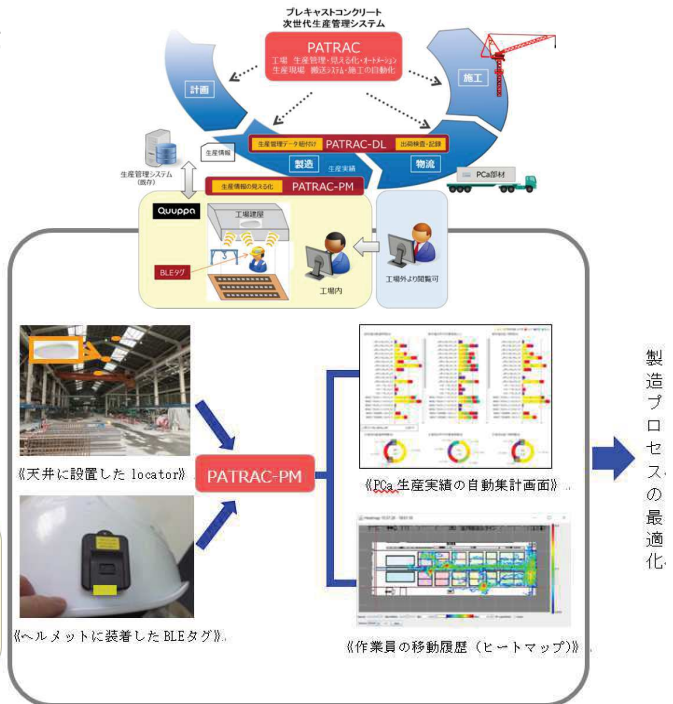
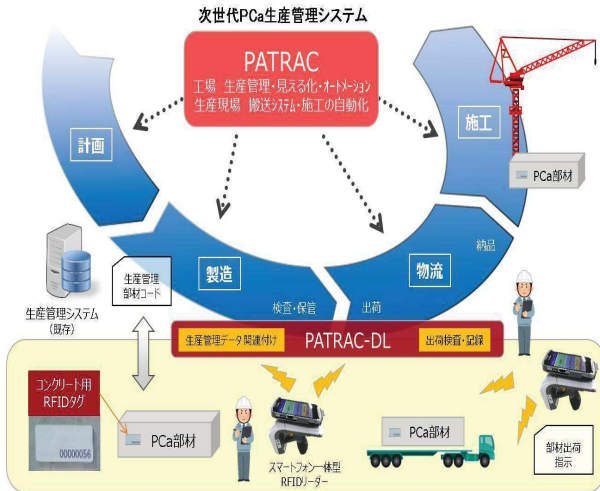
【3Dレーザースキャナの三次元点群データから自動抽出される橋梁断面形状の一例】

<引用> 三井住友建設ニュースリリース  
(<https://www.smcon.co.jp/topics/release/>)2018.8.9



# IoTを活用した次世代PCa生産管理システム「PATRAC」の開発

プレキャストコンクリート部材の高品質化と生産性向上に向けて、IoTを利用した生産管理システムの開発に着手。



■ PATRAC-DL: 出荷工程管理システム

■ PATRAC-PM: 製造管理システム

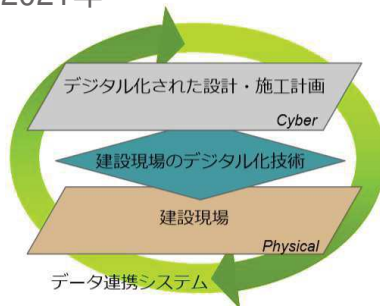
<引用> 三井住友建設ニュースリリース

(<https://www.smcon.co.jp/topics/release/>) DL:2018.12.18, PM:2019.09.15



# 当社の技術開発の方向性

中期経営計画2019~2021年



構成要素

デジタル化された設計・施工計画

BIM/CIMにより3次元化した設計・施工計画とそれを活用した横算・解析・シミュレーション

建設現場のデジタル化技術

設計・施工計画と建設現場をつなぎギャップを埋める認識コード・センサー・システム群

データ連携システム

設計・施工計画と建設現場から収集・蓄積されたデータがつながり活用される仕組み

2030年の将来像「Smile生産システム」

## 技術戦略

- [1] SMile生産システムの実現に向けた技術開発
  - ・建設現場のデジタル化、機械化、自動化
  - ・PCaを用いた新工法の開発、適用拡大
- [2] サステイナブルな独自技術・サービスの開発
  - ・構造物の長寿命化に向けた技術開発 (Dura-Bridge、サスティンクリート※)
  - ・ベンチャー企業との協業等による技術開発
- [3] 技術開発基盤の強化
  - ・マーケティング機能の強化
  - ・知財管理と有効活用

※ Dura-Bridge：鉄製部材を使用しない超高耐久橋梁  
サスティンクリート：超低収縮コンクリート

<引用> 三井住友建設(<https://www.smcon.co.jp/investor/middle-term/>)



# 当社の2030年の将来像



<引用>三井住友建設(<https://www.smcon.co.jp/investor/middle-term/>)