

# 報告 分割練混ぜ工法の既設レディーミクストコンクリート工場への適用

山本 光彦\*1・伊藤 祐二\*2・櫻井 清一\*3・笠井 哲郎\*4

**要旨：**分割練混ぜ工法を既設レディーミクストコンクリート工場に適用するためには、その工場の設備および練混ぜプログラムを改造する必要があった。ダムやトンネルなど、新設現場バッチャープラントへの適用が進む一方で、既設バッチャープラントの改造にはかなりの費用と時間を要するため、工場への適用は進んでいなかった。しかし、近年工場ではパソコンでバッチャープラント動作を制御するようになり、制御プログラムを変更することで、比較的短時間で分割練混ぜ対応プラントに改造可能となった。そこで、既設工場を分割練混ぜ対応バッチャープラントに改造する方法や、出荷コンクリートの品質について報告する。

**キーワード：**分割練混ぜ, レディーミクストコンクリート工場, 練混ぜプログラム, ミキサ負荷

## 1. はじめに

コンクリートの分割練混ぜ工法の主なものとして、Sand Enveloped with Cement (SEC) 工法<sup>1)</sup>およびダブルミキシング (DM) 工法<sup>2)</sup>がある。両工法とも練混ぜ水を分割して加えて練り混ぜる共通の特徴を有する。SEC工法は、練混ぜ水の一部で細骨材表面水量が適度となるように調整した後、セメントを加えて練り混ぜた後に、残りの水を添加して練り混ぜることで製造される。一方、DM工法は水の一部をセメントと練り混ぜた後、残りの水を添加して練り混ぜてセメントペーストを製造し、これに細骨材・粗骨材を加えて練り混ぜることで製造される。本報では分割練混ぜ工法のうち、SEC工法についてのみ検討した内容であるため、DM工法と差別化するため以下では「SEC工法」、「SEC練混ぜ」および「SECコンクリート」等の用語を用いた。図-1にSEC練混ぜのフローを示す。この図のように、まず細骨材表面に一次水を均等に配置した後セメント（結合材）を投入して練り混ぜる（一次練り）ことにより、キャピラリー状態<sup>3)</sup>でセメントと水を練り混ぜることが可能となる。さらに骨材表面がキャピラリー状態の（低水セメント比の）セメントペーストによって覆われること（造殻）が、SECコンクリートの長である。

写真-1にSECおよび通常練混ぜしたコンクリートからモルタルを取り出して、アセトン洗浄した細骨材を示す。この写真より、SEC練混ぜの場合には細骨材が造殻されていることが分かる。この造殻がコンクリート中に存在することと、キャピラリー状態を経てスラリー状態になったセメントペースト（キャピラリーペースト）がコンクリートを形成することにより、以下のようなSECコンクリートの特徴（以下、SEC効果と称す）が生じる

ことが報告されている。

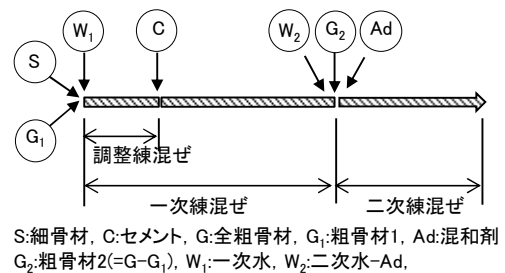


図-1 SEC練混ぜのフロー



写真-1 SECおよび通常練混ぜコンクリートの細骨材

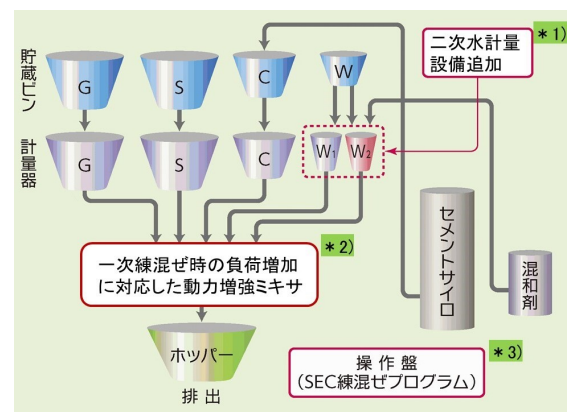


図-2 SEC対応バッチャープラント

\*1 リブコンエンジニアリング株式会社 課長（正会員）

\*2 リブコンエンジニアリング株式会社 顧問 修士（正会員）

\*3 リブコンエンジニアリング株式会社

\*4 東海大学 工学部土木工学科 教授 工博（正会員）

- 1) ブリーディングが減少，材料分離抵抗性が増大<sup>4)</sup>。
- 2) ポンプ圧送性が向上<sup>5)</sup>。
- 3) 振動下の充填性が向上<sup>6)</sup>。
- 4) 構造体コンクリートのひび割れが減少<sup>6)</sup>。
- 5) 構造体コンクリートの強度が安定し，向上<sup>7)</sup>。

このように優れた特徴を有する SEC コンクリートであるが，これを製造するためにはこれまで通常のバッチャープラント（以下，BP）に，**図-2**に示すような改造（赤枠で囲われた\*1)~\*3)）を施す必要があった。\*1)は二次水計量設備の追加，\*2)は一次練混ぜ時にミキサ負荷が増加するので動力を増強したミキサへの変更，および\*3)は SEC 練混ぜプログラムへの改造である。しかし，既設 BP の機構や制御装置を改造するためにはかなりの費用と時間を必要とするため，ダムやトンネル，原子力発電所などの施工の際に用いられる現場 BP への適用等は進んでいるものの，レディーミクストコンクリート工場（以下，工場）への適用は進んでいなかった。

近年，公共工事への技術提案制度の浸透に伴い，SEC コンクリートを工場で製造したいとの要望が，多数寄せられるようになった。そこで，既設工場 BP を SEC 練混ぜ対応に改造する方法を再構築すると共に，改造した BP で製造・出荷された SEC コンクリートの品質について評価・検討した結果を報告する。

## 2. 既設工場の SEC 対応化

### 2.1 工場の SEC 対応化フロー

近年，工場では BP 動作の制御がパソコンで行われるようになり，従来のリレー制御などとは異なり，制御プログラムを変更することで比較的短時間で SEC 練混ぜが実施可能となった。場合によっては BP 制御装置が旧式で SEC 対応化には大幅な設備の更新が必要となるため，対応化を断念することもある。

SEC 非対応の工場の対応化の依頼を受けた場合には，依頼者（工事施工者）と打合せの後に**図-3**に示すフローにて対応化を進める。大まかには，工場選定，BP の調査，材料調査，実績配合調査，一次水決定試験，SEC 配

合候補決定，室内試し練り，練混ぜプログラム改造，実機試し練りを経て，SEC コンクリートの出荷となる。

### 2.2 工場ミキサの練混ぜ動作の現状

工場によってミキサへの材料投入のタイミングや練混ぜ時間は様々であるが，実際のミキサの動作では練混ぜが開始（ミキサ羽根が回転）されて材料投入が始まると，練り上がったコンクリートが排出されるまでミキサ羽根は回転し続けている。すなわち，どの工場でもミキサ羽根が回転し始めてから，材料の投入量とタイミング，排出ゲート開閉を制御することで，コンクリートの練混ぜを行っている。

また，工場としては SEC コンクリートの練混ぜによって，ミキサ負荷増大による故障やメンテナンス費用の増大を懸念されることが多いため，このことも考慮して対応する必要がある。

### 2.3 工場の SEC 対応化の方法

SEC 練混ぜを行う場合はミキサに各材料が**図-1**のフローに示されるとおりの順番で投入され，連続した一次および二次練混ぜが行われる。この一連の動作を自動的

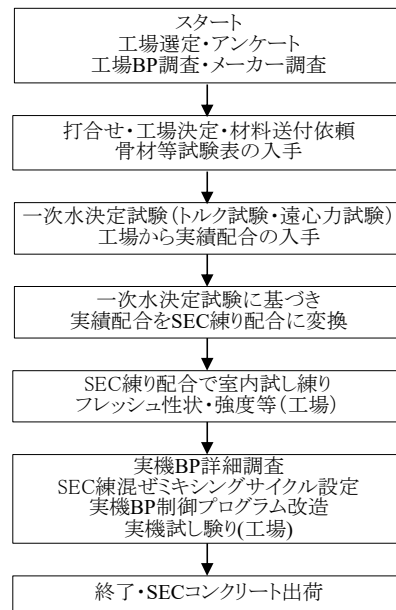


図-3 工場の SEC 対応化フロー

表-1 SEC コンクリート配合例

スランプ (cm)	水セメント比 (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							
				一次水 <i>W1</i>	二次水 <i>W2</i>	全水量 <i>W</i>	セメント <i>C</i>	膨張材 <i>EX</i>	細骨材 <i>S</i>	粗骨材 <i>G</i>	減水剤 <i>Ad</i>
12	49.5	4.5	48.2	92	73	165	314	20	851	958	1.980

表-2 SEC コンクリート一次練り配合および二次練り配合

配合 No.	単位量 (kg)				
	一次水 <i>W1</i>	セメント <i>C</i>	膨張材 <i>EX</i>	細骨材 <i>S</i>	粗骨材 1 <i>G1</i>
1	92	314	20	851	479

配合 No.	単位量 (kg)		
	二次水 <i>W2</i>	粗骨材 2 <i>G2</i>	減水剤 <i>Ad</i>
2	73	479	1.980

に行うことができるように改造する必要がある。具体的には、図-2の赤枠で囲われた\*1)~\*3)の改造に対して、\*1)は改造しない。\*2)は練混ぜ容量の減少や練混ぜ抵抗減少(粗骨材の投入比率の変更)で対応する。\*3)は一次練混ぜ配合と二次練混ぜ配合を連続して、計量・材料投入・練混ぜ・排出するようなプログラムに改造して対応する。これに則した対応の一例を以下に説明する。

表-1は、橋梁床版向けSECコンクリートの配合例を示したものである。この配合を表-2に示すように、一次および二次練混ぜ配合の2配合に分ける。BPの制御プログラムは、まず一次練り配合の材料(配合No.1)を計量して、設定したタイミングで材料をミキサに投入して一次練混ぜを行う。一次練り混ぜ中に二次練り配合の材

料(配合No.2)を計量し、設定したタイミングで材料を投入して二次練り混ぜを行う。最後に二次練混ぜが終了し、SECコンクリートが練り上がるタイミングでゲートを開けて排出する。

図-4に表-2のSECコンクリート配合の一次練混ぜと二次練混ぜを連続して実施する場合の、ミキシングチャート例を示す(2m<sup>3</sup>練混ぜ)。この例では、図-2における赤枠で囲われた\*1)は改造しておらず、練混ぜ容量も通常練混ぜと変えていない。粗骨材の1/2ずつを一次と二次練混ぜに分けて投入することで、ミキサ容量そのままSECコンクリートの練混ぜが可能であった。

図-5にこの場合のミキサへの材料投入タイミングとミキサ負荷(電流値)との関係を示す。セメントや膨張

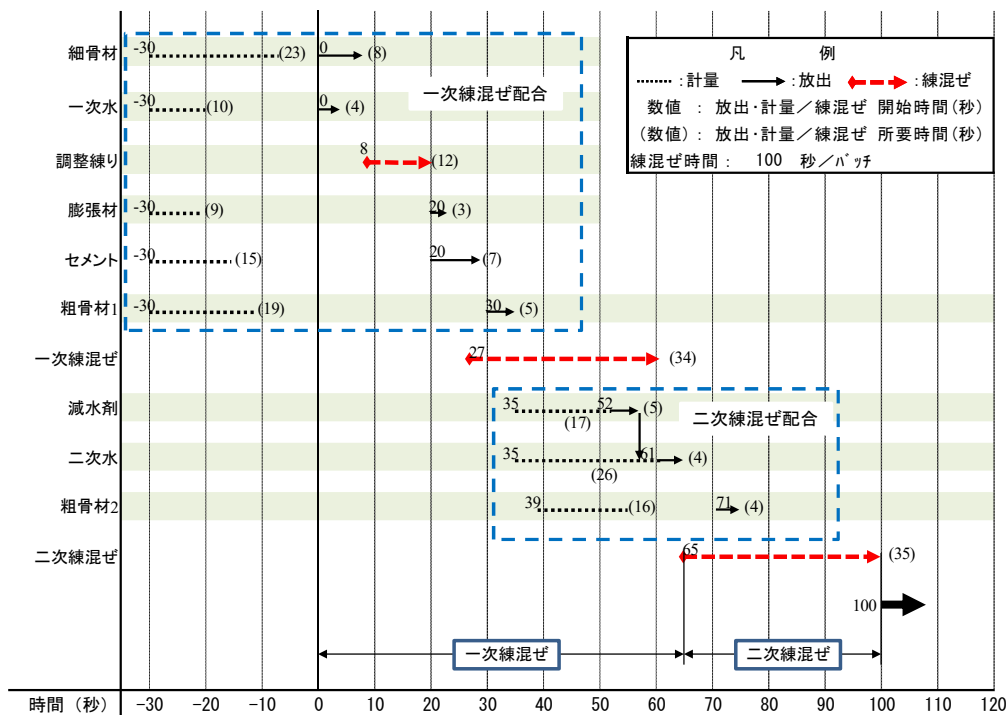


図-4 ミキシングチャート例

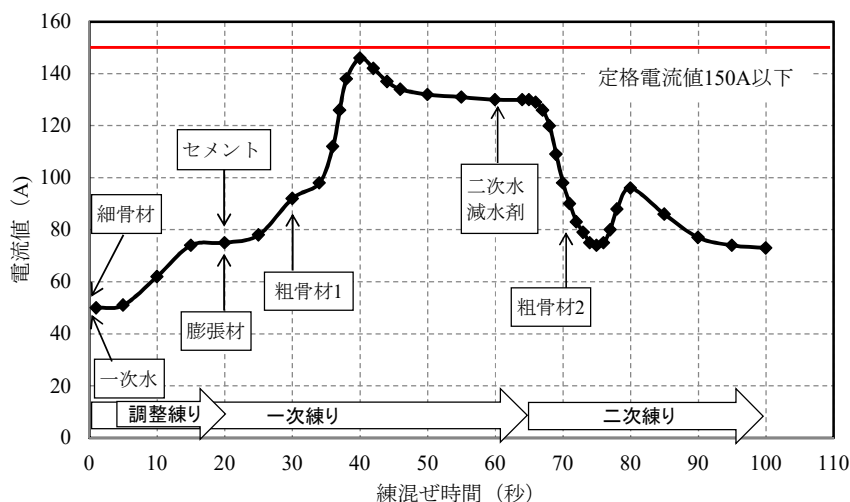


図-5 材料投入のタイミングと電流値の関係

材、粗骨材の投入によってミキサ負荷が上昇し、練混ぜ水(減水剤)の投入によって負荷が減少する。このため、材料投入のタイミングとその量を調整することで、ミキサの電流値を定格電流値以下とすることができた。以上のように、既設工場のSEC対応化においては、ミキサ負荷を許容値以下に制御することが重要となる。このため、以下にミキサ負荷に関する検討を行った。

#### 2.4 SEC練混ぜのミキサ負荷の検討

SEC練混ぜでは一次練混ぜが最終水セメント比(W/C)よりも低くなっているため、この過程でのミキサ負荷が通常練混ぜよりも大きくなる。そのため従来のSEC対応BPではミキサ動力を大きく設定している(図-2参照)。

図-6は同一配合で練混ぜ方法が通常の場合とSEC練混ぜの場合に関し、ミキサ負荷の経時変化を示したもので、図下部にSEC練混ぜの場合の材料投入イベントも示している。試験条件は容量2.5m<sup>3</sup>の2軸強制練混ぜミキサで2m<sup>3</sup>のコンクリートを練混ぜた場合で、SEC練混ぜにおいて粗骨材の一次練混ぜへの投入割合を変更したものである。図より、通常練混ぜの場合(太い実線)の最大負荷が約40kWに対して、粗骨材の全てを二次練混ぜで投入したモルタル先練り方式(▲)の場合もほぼ同様の負荷となり、粗骨材の全てを一次練混ぜに投入した全造殻方式(●)の場合には約50kWと1.25倍になっている。これに対して、粗骨材の75%を一次練混ぜに投入した場合(□)には、最大負荷がモルタル先練り方式に近い値にまで低下している。以上のことより、使用する材料と配合、工場ミキサの許容負荷との関係から、SEC練混ぜ方式(粗骨材投入割合)を変更することでミキサ動力を強化することなく、既設BPをSEC対応BPとして使用することが可能となる。

### 3. 既設工場で製造したSECコンクリートの品質

#### 3.1 一次水セメント比(W1/C)の決定

SEC工法においては使用材料の特性と配合によって、最適な一次水セメント比(最適W1/C)が変化するので、あらかじめ一次水決定試験を行って配合毎に最適W1/Cを算定する<sup>8)</sup>。文献4)などでも説明されているが、最適W1/CとはW1/Cを変化させて同一配合SECコンクリートを練混ぜた場合、ブリーディング率が最も小さくなるW1/Cであり、ブリーディング率はSEC工法による品質改善効果(SEC効果)の代表的指標として以前より用いられてきた。今回の検討にあたって、W1/Cを一次水

決定試験の計算で得られた最適W1/Cとした場合(29.2%)とその前後のW1/C=10, 20, 40%とした場合、および通常練混ぜを行った場合を試験練りミキサで練り混ぜ、フレッシュ性状試験などを実施した。なお、SEC練混ぜはモルタル先練り方式を採用した。

使用材料を表-3に、SECコンクリートの配合(24 8 20BBの配合に相当)を表-4に、フレッシュ性状を表-5に示す。フレッシュ性状は、W1/C=10%においてスランプと空気量が僅かに小さくなったが、練混ぜ方法による差異は小さい。図-7にブリーディング試験結果を示す。この図より、一次水決定試験で得られた最適W1/Cを用いた、SECコンクリート配合の場合が他のSEC配合や通常練混ぜの場合と比べて、最もブリーディング率が

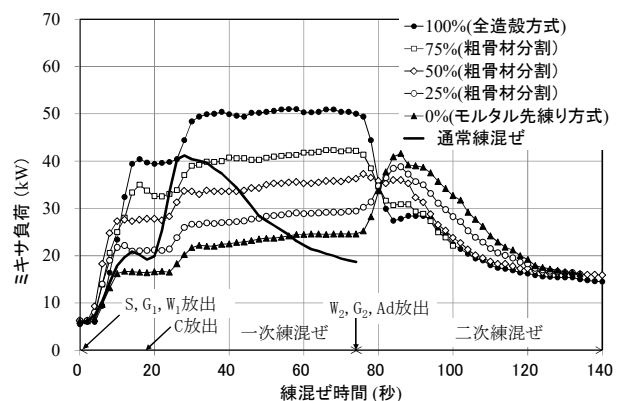


図-6 練混ぜ方法によるミキサ負荷の比較

表-3 使用材料

種別	特性値
セメント(C)	高炉セメントB種(T社製, 密度3.04)
細骨材1(S1)	川砂(FM2.95, 表乾密度2.60)
細骨材2(S2)	山砂(FM1.85, 表乾密度2.56)
粗骨材(G)	碎石2005(実績率58.0%, 表乾密度2.69)
減水剤(Ad)	リグニン系(F社製)

表-5 フレッシュ試験結果

種別	スランプ(cm)	空気量(%)	温度(°C)
通常練混ぜ	9.0	5.0	22.9
SEC:W1/C=10%	8.0	4.5	23.2
SEC:W1/C=20%	9.5	4.9	23.5
SEC:W1/C=29.2%	9.5	5.0	23.4
SEC:W1/C=40%	9.5	4.9	23.1

表-4 SECコンクリート配合(W1/C=29.2%)

スランプ(cm)	水セメント比(%)	空気量(%)	細骨材率(%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )							
				一次水 W1	二次水 W2	全水量 W	セメント C	細骨材1 S1	細骨材2 S2	粗骨材 G	減水剤 Ad
8	54.0	4.5	45.9	85	72	157	291	667	167	1002	2.910

小さいことが分かる。

### 3.2 工場 BP で製造した SEC コンクリート

現在の土木工事においてはグリーン調達为标准であるため、コンクリートに高炉セメント等を用いることが多い。そこでここでは、セメントに普通ポルトランドセメント (N) と高炉セメント B 種 (BB) を使用した場合について検討した。

普通ポルトランドセメント使用配合 (30 8 20N) では、同一配合のコンクリートを SEC 練混ぜとした場合と、通常練混ぜとした場合について、工場の実機ミキサで練り混ぜ、フレッシュ性状と圧縮強度試験を実施した。なお、練混ぜは容量 2.5m<sup>3</sup> の 2 軸強制練混ぜミキサで、通常の出荷の場合と同様に練混ぜ量 2m<sup>3</sup> にて行った。

コンクリートの材料を表-6 に、配合を表-7 に、フレッシュ試験結果を表-8 に、ブリーディング試験結果を図-8 に示す。SEC 練混ぜの場合のブリーディング率は通常練混ぜの場合の約 50% となっており、SEC 効果が十分現れている。また、図-9 に圧縮強度試験結果を示すが、材齢にかかわらず SEC 練混ぜの場合の強度が大きくなっている。

高炉セメント B 種使用配合 (24 8 25BB) では、普通セメントの場合と同様にフレッシュコンクリートの試験、および圧縮強度試験を実施した。コンクリート材料を表-9 に、配合を表-10 にフレッシュ試験結果を表-11 に示す。練混ぜは容量 1.5m<sup>3</sup> の 2 軸強制練混ぜミキサで通常の出荷の場合と同様に練混ぜ量 1.33m<sup>3</sup> (モルタル先練り方式) とした。表-11 によると、スランブと空気量はいずれの練混ぜ方法とも、通常練混ぜの場合とほぼ同程度となった。また、ブリーディング試験結果を図-10 に、圧縮強度試験結果を図-11 に示す。これらの図によると、SEC 練混ぜの場合のブリーディング率は通常練混ぜの場合の

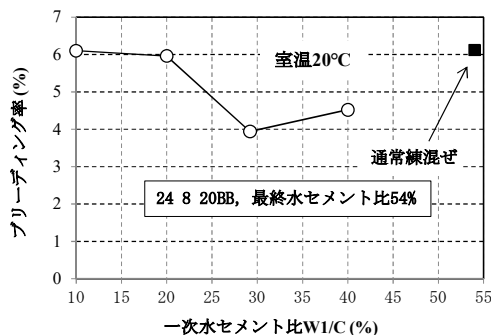


図-7 W1/C とブリーディング率の関係

表-7 SEC コンクリート配合 (N 使用の場合, W1/C=28.7%)

スランブ (cm)	水セメント比 (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							
				一次水 W1	二次水 W2	全水量 W	セメント C	膨張材 EX	細骨材 S	粗骨材 G	減水剤 Ad
8	50.0	4.5	47.9	89	66	155	290	20	884	975	2.480

合の 50%未満であり、また材齢にかかわらず SEC 練混ぜの場合の強度が大きく、SEC 効果が明確に現れている。

表-6 使用材料

種別	特性値
セメント(C)	普通ポルトランド (S 社製, 密度 3.15)
膨張材(EX)	CSA 系 (D 社製, 密度 3.11)
細骨材(S)	砕砂 (FM2.67, 表乾密度 2.63)
粗骨材(G)	砕石 2005 (実績率 57.0%, 表乾密度 2.67)
高性能 AE 減水剤(Sp)	ポリカルボン系 (B 社製)

表-8 フレッシュ試験結果

種別	スランブ(cm)	空気量(%)	温度(°C)
通常練混ぜ	8.0	4.9	28.0
SEC 練混ぜ	10.5	6.0	28.0

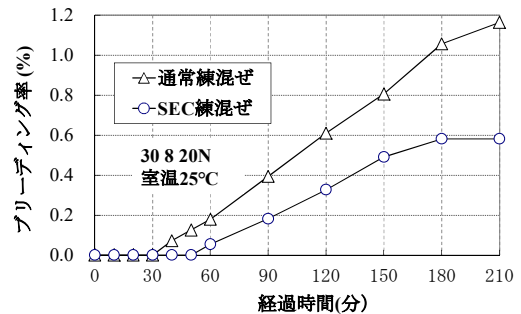


図-8 ブリーディング試験結果

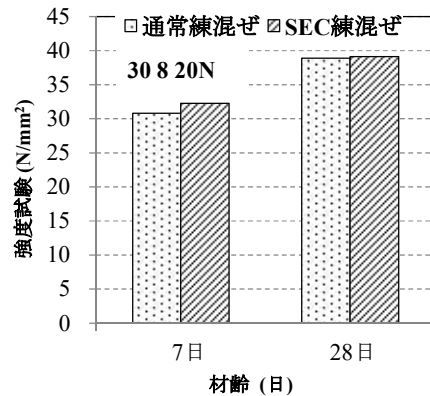


図-9 圧縮強度試験結果

表-9 使用材料

種別	特性値
セメント(C)	高炉セメント B 種 (T 社製, 密度 3.04)
細骨材(S)	川砂 (FM2.95, 表乾密度 2.60)
粗骨材(G)	砕石 2505 (実績率 60.4%, 表乾密度 2.62)
減水剤(Ad)	リグニン系 (B 社製)

表-10 SEC コンクリート配合 (BB 使用の場合, W1/C=30.3%)

スラン プ (cm)	水セメ ント比 (%)	空気量 (%)	細骨 材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						
				一次水 <i>W1</i>	二次水 <i>W2</i>	全水量 <i>W</i>	セメント <i>C</i>	細骨材 <i>S</i>	粗骨材 <i>G</i>	減水剤 <i>Ad</i>
8	50.0	4.5	42.5	91	59	150	300	780	1064	0.600

なお、SEC コンクリートがブリーディング率の減少や圧縮強度の増加を示すのは、分割練混ぜによってキャピラリーペーストが初期に拘束水を多く含むことと、造殻の過程を経ることで骨材周囲の遷移帯が減少することによると報告されている<sup>9)</sup>。

本節での検討は、配合や工場が異なりミキサ容量に対する SEC 練混ぜ量の比率も異なるものの、通常出荷の場合と同一練混ぜ量にて実施した。その結果、制御プログラムを改造して SEC 対応とした既設 BP で製造された SEC コンクリートには SEC 効果が明確に現れた。

#### 4. まとめ

既設工場を SEC 対応 BP に改造する方法を再構築すると共に、改造した BP で製造・出荷された SEC コンクリートの品質について評価・検討を行った。その結果、本報告の範囲内で以下の結論が得られた。

- (1) SEC コンクリートは工場 BP の練混ぜプログラム改造により、通常のコンクリートと同様な自動制御で出荷が可能である。
- (2) SEC 対応 BP への改造に当たっては、工場設備の改造や増設は不要で、SEC 練混ぜ方式を変更することでミキサの動力強化も必要ない。
- (3) 工場ミキサで練混ぜられた SEC コンクリートの品質は、セメントが普通ポルトランドおよび高炉セメント B 種の場合、フレッシュ性状、ブリーディング低減や圧縮強度向上など、従来の SEC 効果が明確に現れた。

#### 参考文献

- 1) 一般財団法人土木研究センター：建設技術審査証明報告書 性能向上のために分割練混ぜをしたコンクリート「SEC コンクリート」, pp.2, 2018.8
- 2) 田澤榮一ほか：ダブルミキシングで作成したセメントペーストの諸物性について, コンクリート工学年次講演会論文集, pp.125-128, 1982.6
- 3) 三輪茂雄：粉体工学通論, 日刊工業新聞社, pp.43, 1981.2
- 4) 岸谷孝一, 伊東靖郎, 加賀秀治, 山本康弘：SEC コンクリート工法, 建築技術, No.380, pp.1-18, 1983.4

表-11 フレッシュ試験結果

種別	スランプ(cm)	空気量(%)	温度(°C)
通常練混ぜ	9.0	5.0	31.5
SEC 練混ぜ	8.0	4.4	31.5

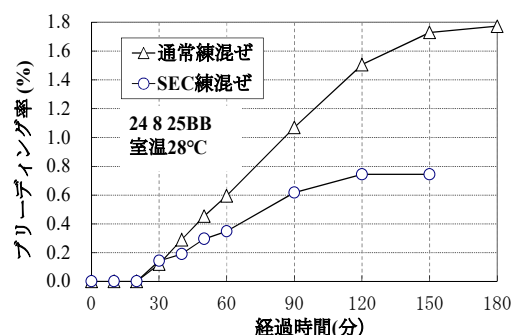


図-10 ブリーディング試験結果

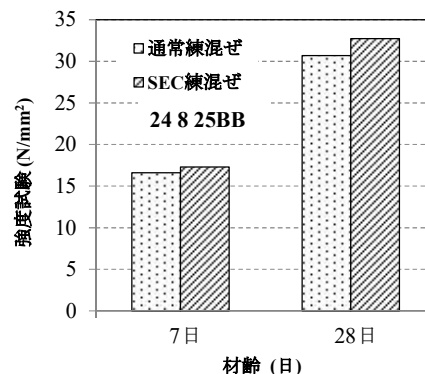


図-11 圧縮強度試験結果

- 5) 加賀秀治, 山本康弘, 伊東靖郎：SEC コンクリートの特性と建築工事への適用, 建築の施工技術, No.226, pp.53-64, 1984.10
- 6) 塩永亮介, 戸田勝哉, 伊藤祐二, 高橋晴香：SEC 工法によるコンクリートの性能改善と微細構造の分析, コンクリート工学, Vol.53, No.10, pp.874-881, 2015.10
- 7) 伊藤祐二, 戸田勝哉, 塩永亮介：SEC コンクリートによる橋梁床版の品質改善に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, pp.784-789, 2014.6
- 8) 一般財団法人土木研究センター：建設技術審査証明報告書 性能向上のために分割練混ぜをしたコンクリート「SEC コンクリート」, pp.60-64, 2018.8