SECコンクリートのブリーディング特性に関する一考察[†]

山本 光彦* 櫻井 清一*
伊藤 祐二* 笠井 哲郎**

A Study on Bleeding Characteristics of SEC Concrete

by

Teruhiko YAMAMOTO*, Seiichi SAKURAI*,
Yuji ITO* and Tetsuro KASAI**

SEC method is one type of two-stage-mixing method of concrete. It had been found that SEC concrete produced by this mixing method had reduced bleeding, improved segregation resistance and high flowability under vibration, and improved strength characteristics and durability. Also, the fact that SEC concrete exhibited excellent properties after hardening was related to the bleeding reduction effect of this concrete. Therefore, in order to improve the bleeding characteristics of this concrete, the authors examined the influence of differences in concrete mixing method, procedure of materials charging, and material temperature. As a result, it was found that the bleeding of cement paste, mortar and concrete produced by the SEC (Sand Enveloped with Cement) method were reduced to about 40% compared to the case of normal mixing of the same proportion. The authors proposed a model on the composition of cement particles in concrete, which can explain the reduction of bleeding, the improvement of material segregation resistance and the fluidity under vibration in such fresh concrete in which differ the mixing method. In the future, the authors will plan to clarify the certainty of proposed model produced by this methods such as trying to visualize cement particle structure.

Key words:

Concrete, Sand Enveloped with Cement, Mixing method, Bleeding, Particle structure model of cement in fresh concrete

1. 緒 言

一般にコンクリートはセメント、水、骨材および混和材料をほぼ同時にミキサに投入し、練り混ぜることにより製造される。使用材料が同じでも練混ぜ方法、材料投入順序を工夫することでフレッシュコンクリートや硬化コンクリートの諸物性を改善できることは古くから知られていたが、その条件や効果に関する系統だった検討は少ない¹⁾。その後、本研究で述べるSEC工法²⁾やダブルミキシング(DM)工法³⁾など、練混ぜ水を分割して加えて練り混ぜる分割混練法が提案された。SEC工法で製造さ

れたコンクリート(以下、SECコンクリートと称す)は、従来の一括で練り混ぜる方法(一括練混ぜ)に比べ、フレッシュコンクリートの性質が変化し、また練混ぜ水を最適の分割比率とすることで、ブリーディングの低減、降伏値や粘着力の増加、振動締固め性の向上、セメントの初期水和の向上などの大幅な改善効果を示すことが報告されている²⁾⁻⁵⁾。このSEC工法は実用化され、吹付けコンクリートやプレキャストコンクリートの製造などに広く適用されている⁶⁾⁻⁸⁾。また、SECコンクリートは硬化後の強度特性や耐久性の向上が図られることも報告されて

Fig.1 Mixing flow of SEC method.

[†] 原稿受理 平成31年2月28日 Received Feb. 28, 2019 ©2020 The Society of Materials Science, Japan

* リブコンエンジニアリング(株) 〒101-0044 東京都千代田区
Livecon Engineering Co., Ltd., Chiyoda-ku Tokyo 101-0044.

** 正 会 員 東海大学 工学部土木工学科 〒259-1292 平塚市北金目
Tokai University, Faculty of Engineering Department of Civil Eng., Kitakaname, Hiratsuka 259-1292.

いる^{9),10)}。この品質向上のメカニズムに関しては、これまで様々な検討が行われてきた。有力な説の一つは、セメントと水の練混ぜにおいて、セメントと一次水をキャピラリー状態¹¹⁾となる量で練り混ぜた後（一次練り）、残りの水（二次水）を加え練混ぜて製造したセメントペーストでは、従来の一括練混ぜに比べ、セメント粒子の分散・凝集構造が大幅に変化し、水を保水しやすい構造となりブリーディングを大幅に低減するとしている^{3),12)}。また、このブリーディング低減効果は、硬化コンクリートのペーストと骨材界面に形成される脆弱層（遷移帯）を低減または改質するために、SEC コンクリートが優れた硬化後特性を発揮するとされている¹³⁾。

そこで本研究では、SEC コンクリートのブリーディング特性をより改善することを指向し、SEC 工法における練混ぜ時間、練混ぜ水の分割比率、練混ぜ水の投入時期および練上がり温度の影響等に関し実験的検討を行い、これらの練混ぜ条件の相違がブリーディングに及ぼす影響について明らかにした。また、SEC コンクリートの改質のメカニズムに関し、フレッシュコンクリート中のセメント粒子の分散・凝集構造の変化から考察を加えた。なお、本論では SEC 工法によってブリーディングが低減する現象を SEC 効果と称し、以下に用いる。

2. SEC練混ぜ

コンクリートの製造において練混ぜ水を分割して練り混ぜる方法を、一般に分割練混ぜと称している。この分割練混ぜ工法において、骨材に最適一次水量を加えて練り混ぜて骨材表面水率を調整した（調整練混ぜ）後、セメント（結合材）を加えて一次練混ぜを行い、その後二次水を加えて練り混ぜる方法を SEC 練混ぜという²⁾。このような練混ぜを行うことで、コンクリート中のセメントペーストを改質し、骨材表面に水セメント比の小さいセメントペースト層を形成させることを特長としている。SEC 練混ぜのフローを Fig.1 に示す。この練混ぜにおける一次練混ぜの役割は、①骨材に一次水を混ぜて表面に水を一様に分布させる（調整練り）。②前述の骨材にセメント（結合材）を加え、骨材周囲でセメントと一次水をキャピラリー状態で効率的に練ることでペーストの改質を行う。③骨材表面のキズやくぼみなどの欠陥の影響を少なくし、ペーストと骨材との付着を向上させる。などである。一方、二次練混ぜの役割は、二次水を加えて練り混ぜ、要求された流動性と空気量を有する均質なコンクリートを得ることである。

なお、SEC 練混ぜにおける最適一次水量は使用材料と配合によって変化するので、事前に使用セメント（結合材）および細骨材での SEC 一次水決定試験を行い、SEC 練混ぜの最適一次水量基本式¹⁴⁾にて算出する。

3. 試験概要

3・1 使用材料および配合

コンクリートの使用材料は、セメントに普通ポルトランドセメント（密度：3.16 g/cm³、比表面積：3190cm²/g）、細骨材に石灰岩砕砂（密度：2.69 g/cm³、吸水率：1.66%、吸着水率：1.59%）、粗骨材に硬質砂岩碎石（密度：2.65g/cm³、吸水率：0.71%）を使用した。コンクリートの配合を Table 1 に示す。なお、練混ぜ水の記号は W とし、一次と二次水に分割する場合には、W₁ および W₂ とし、全ての場合に W=W₁+W₂ である。また、表の W₁ および W₂ の値は、先に示した最適一次水量基本式から算出したものである。

3・2 試験方法

セメントペーストおよびモルタルの練混ぜは容量 10l のホバート型ミキサーを、コンクリートには容量 60l の二軸強性練りミキサーを用いた。練混ぜ方法は一括練混ぜ（Normal-Mixing:NM）と分割練混ぜであり、セメントペーストの分割練混ぜは TSM（Two-Stage-Mixing）、モルタルとコンクリートの分割練混ぜは SEC とした。Fig. 2 に練混ぜ方法をまとめて示す。また、SEC 練混ぜにおける一

Table 1 Mix proportion of concrete.

G _{max} (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
			W ₁	W ₂	C	S	G
20	55	40.7	103	97	364	729	1044

The water content in the case of normal mixing is 200 kg/m³.

Cement Paste

Mortar

Concrete

Fig.2 Mixing method.

Fig.3 Relationship between initial temperature and bleeding ratio.

次練混ぜ時間は 120 秒，二次練混ぜ時間は 60 秒を基準とするが，練混ぜ時間の影響に関する検討では，同図に示す範囲で練混ぜ時間を変化させた。

ブリーディング試験はセメントペースト，モルタルおよびコンクリートとも JIS A 1123 に準拠して行った。なお，本試験に用いた試験容器の寸法は，コンクリートの場合 $\phi 25 \times 28\text{cm}$ ，セメントペーストとモルタルの場合 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ としたが，練混ぜ温度の影響を検討する試験では，全ての場合に $\phi 25 \times 28\text{cm}$ を用いた。また，本研究ではコンクリート，モルタルおよびセメントペーストのブリーディング試験結果を統一基準で評価するために，どの試験方法（試験容器）の場合ともブリーディング率は，試料中の全水分量でブリーディング水量を除いて求めた百分率（ブリーディング率：BL 率）とした。

4. 試験結果および考察

4・1 練上り温度の影響

コンクリートのブリーディングは種々な要因で変化することが知られている。ここでは，各練混ぜ方法ごと，練上り温度によってコンクリート，モルタルおよびセメントペーストのブリーディングがどのように変化するかを検討した。コンクリート，モルタルおよびセメントペーストの練混ぜは練上り温度を $10 \sim 35^\circ\text{C}$ の範囲とし，目標温度が 10, 20, 30, 35°C となるように，材料および試験容器などの温度を管理して行った。なお，モルタルおよびセメントペーストの配合は，Table 1 に示したコンクリートの配合の内，それぞれ粗骨材および細骨材と粗骨材を除いたものとした。ブリーディング試験は，それぞれの試験条件の練上り目標温度に管理された恒温室で行った。また，各材料は練混ぜ 2 日前に練上り目標温度の恒温室に保管して恒温とし，使用した。

Fig.3 に練上り温度とブリーディング率の関係を示す。図より，コンクリート，モルタルおよびセメントペーストの場合とも，すべての温度条件において分割練混ぜの場合は，一括練混ぜの場合に比べブリーディング率が 4 割程度に低下している。このことは，分割練混ぜによるブリーディング低減効果は，練上がり温度が $10 \sim 35^\circ\text{C}$ の範囲であれば，常温 (20°C) の場合とほぼ同等な効果を発揮することを示すものである。一方，すべての条件で練上り温度が低いほどブリーディング率は増加している。

また，コンクリートとモルタルのブリーディング率は，練上がり温度が異なっても同一温度において練混ぜ方法ごとにほぼ等しい値を示しているが，セメントペーストでは，コンクリートやモルタルの場合に比べ 2 倍程度の値を示している。このように，モルタルやコンクリートのブリーディング率がセメントペーストの場合より大幅に小さい理由として，ブリーディング水が細・粗骨材に捕捉されて上面まで上昇しないためであることが指摘されている¹⁵⁾。骨材によるブリーディング水の捕捉効果は骨材物性や配合，試験容器などによって変化することが知られているが，本試験条件の範囲では，この補足

効果は粗骨材よりも細骨材の方がより顕著であることが推察される。

4・2 練混ぜ時間の影響

これまでにコンクリートの練混ぜ時間とそのブリーディングに関する検討は行われているものの，そのほとんどが一括練混ぜに関するものであって，コンクリートでは練混ぜ時間が長いほどブリーディングが減少する傾向であることが報告されている¹⁶⁾。一方，分割練混ぜに

Fig.4 Relationship between mixing time and bleeding ratio.

Fig.5 Influence of surface moisture of fine aggregate and mixing method on bleeding ratio of mortar.

関しては、田澤らや城戸らがセメントペーストの場合について報告している^{4), 17)}が、モルタルおよびコンクリートについて検討した報告はない。そこでここでは、一括および分割練混ぜ（SEC または TSM）における練混ぜ時間がコンクリート、モルタルおよびセメントペーストのブリーディング率に及ぼす影響について検討した。

Fig. 4(a)~(c)は、順にセメントペースト、モルタルおよびコンクリートの練混ぜ時間とブリーディング率の関係を示したものである。なお、分割練混ぜの場合、セメントペースト、モルタルおよびコンクリートごとにそれぞれ二次練混ぜ時間を 90 秒、60 秒および 30 秒と一定とし、一次練混ぜ時間を変化させてそれらの合計時間を練混ぜ時間とした。

Fig. 4(a)より、セメントペーストでは練混ぜ時間の増加に伴い、一括練混ぜの場合ブリーディング率はほぼ一律に増加するが、分割練混ぜでは一次練混ぜ時間の増加に伴い、練混ぜ時間 330 秒（一次練混ぜ時間 240 秒）まではブリーディング率が大幅に減少するが、それ以上長い場合、ブリーディング率は僅かに増加する結果となった。一次練混ぜ時間が長い場合にブリーディングが増加する現象に関し、城戸らは一次練混ぜ時におけるセメントの水和と練混ぜ水の蒸発により最適一次水セメント比と異なる条件で一次練混ぜが行われていること、またセメントの少量混合成分が影響していることを指摘している¹⁸⁾。

Fig. 4(b)より、モルタルでは練混ぜ時間の増加に伴い、一括練混ぜではブリーディング率は僅かに増加する傾向を示すが、分割練混ぜ（SEC）では一次練混ぜ時間の増加に伴いブリーディング率は小さくなり、一括練混ぜの 1/5 程度となった。また、Fig. 4(c)の分割練混ぜ（SEC）のコンクリートでもモルタルの場合とほぼ同様な傾向を示し、最適な一次水セメント比の条件で一次練混ぜ時間の増加に伴い、ブリーディングを減少させる効果がより顕著となる結果が得られた。

以上より、分割練混ぜにおける一次練混ぜ時間がブリーディング率に及ぼす影響は、骨材の有無によって異なり、モルタルおよびコンクリートでは、一次練混ぜ時間が長いほど一律にブリーディングは小さくなった。

Fig. 5 は、細骨材の表面水率（sm）を 0%または 1.4%および 4.7%とし、練混ぜ時間を変化させて一括および分割練混ぜ（SEC）で製造したモルタルのブリーディング率を示したものである。図より、分割練混ぜ（SEC）では細骨材の表面水率の大小に関わらず、練混ぜ時間とブリーディング率の関係は Fig. 4(b)の場合と同様に一次練混ぜ時間の増加に伴い、ブリーディング率が小さくなる傾向を示し、またブリーディング率の値は表面水率に関わらず各練混ぜ時間でほぼ同等の値となっている。一方、一括練混ぜでは細骨材の表面水率および空練り（Dry mixing）の有無に関わらず、練混ぜ時間の増加に伴いブリーディング率は僅かに大きくなる傾向を示した。また両表面水率の場合とも空練りのない場合の方がブリーディング率は

小さく、さらに、表面水率が大きい方がブリーディング率は小さい値となっている。

以上の様にモルタル・コンクリートの配合が同一であっても、細骨材の有無や細骨材表面水の大小、および練混ぜ方法の相違によって、ブリーディング率が変化する。この理由として、練混ぜ中および練混ぜ後のセメント粒子の凝集と分散状態、または再凝集の状態が様々な要因で変化し、練混ぜ水の分離を拘束する保水状態に差が生じたためであることが指摘されている^{5), 12)}。次章では、分割練混ぜ（SEC）工法によるブリーディング低減効果に関し、セメント粒子の凝集・分散状態の観点から検討する。

5. SEC効果の発現に関する検討

Fig. 6 は粒子と液相の混合物において、両容積比率の相違による粒子間の液相の存在状態の一般的な分類を示したものである¹¹⁾。Fig. 6(b)がフェニキュラー状態で水が粒子の空隙で連結して網状組織を形成し、空気がその間に点在している。他方、Fig. 6(d)はスラリー状態であり、水が粒子を完全に覆い自由水が存在する。SEC コンクリートの練混ぜにおいて、一次練混ぜ時の状態は Fig. 6(c)に示すキャピラリー状態（粒子間のすべての空隙が水で満た

Fig. 6 Presence state of liquid phase between particles¹¹⁾.

Fig. 7 Bleeding ratio of cement paste at W/C=55%.

され粒子表面にだけ気液界面が存在し自由水が無い状態で、練混ぜエネルギーも最大を示す。)とされている⁴⁾。また、セメントペーストではW/Cが21~25%の場合キャピラリー状態、W/Cがこれより小さい場合フェニキュラー状態、大きい場合スラリー状態であるとされている。

Fig.7は、次に示す①~③の方法で練混ぜて製造したW/C=55%のセメントペースト(以下、CPで示す)のブリーディング試験結果を示したものである。なお、CPの製造方法がどの場合であっても、ブリーディング試験時のW/Cはいずれも55%で一定である。①練混ぜ方法1 (Mixing method 1) : $W_1/C=10, 20, 25, 30, 35\%$ の条件で一次練混ぜを行い、各々、最終W/C=55%となるように二次水を加えて二次練混ぜを行い、CPを製造した場合である。②練混ぜ方法2 (Mixing method 2) : 練鉢内のセメントに水を連続的に添加して W_1/C を徐々に増加させながら一次練混ぜを行う。この際、 W_1/C が10, 15, 20, 22, 24, 26, 30, 45%となった時点で、試料の定量を取り出し、各々 W_1/C の試料にW/C=55%となるように二次水を加えて二次練混ぜを行った場合である。③練混ぜ方法3 (Mixing method 3) : $W_1/C=35\%$ のCPを練り、CPの一部を採取して最終W/C=55%のCPを練混ぜてブリーディング試験を実施した後、残余のCPにW/C=25%となるようにセメントを追加して練混ぜ、このCPの一部を採取しW/C=55%となるように水を添加してCPを練混ぜ試験を行う。更に、残余のCPにW/C=30%となるように水を追加して練り、CPの一部を採取して最終W/C=55%のCPを練混ぜて試験を実施する。これを繰返してW/C=35%のCPを練り、最終W/C=55%のCPを練混ぜて試験を実施したものである。

図より、練混ぜ方法1では W_1/C がキャピラリー状態($W_1/C=25\%$)で一次練混ぜを行った場合に、最小のブリーディング率となっている。練混ぜ方法2ではフェニキュラー状態で一次練混ぜしたCPであっても水を追加して、再度キャピラリー状態での練混ぜを行うことで、ブリーディングが大幅に低減している。また、キャピラリー状態で一度練混ぜした後、 W_1/C が26%より大きい条件でもブリーディングが低減している。練混ぜ方法3ではスラリー状態のCPに、セメントを追加してキャピラリー状態で一次練混ぜを行ったものであるが、この場合も練混ぜ方法1および2の場合と同様にブリーディングが大幅に小さくなっている。

Fig.8は、Fig.7の練混ぜ方法2および3の結果を模式的に示したものである。図に示すようにキャピラリー状態となる W_1/C (図中の W_{01}/C)より小さい W_1/C から水を加えた場合(図中の曲線(a))または、大きい W_1/C からセメントを加えた場合(図中の曲線(b))であっても、練混ぜ過程のいずれかの段階でキャピラリー状態 W_{01}/C で練混ぜたCPは、通常の一括練混ぜで製造したCPよりブリーディングが大幅に低減することが判明した。すなわち、分割練混ぜによりブリーディングを低減させるためには、キャピラリー状態で一次練混ぜを行うことが肝要であると推察される。

以上のセメントペーストにおける分割練混ぜの効果発現のメカニズムの知見を基に、以下にSECコンクリートの場合について検討する。

通常、コンクリートの練混ぜ試験はJIS A 1138「試験室におけるコンクリートの作り方」によって、試験室で実施されている。Fig.9に試験ミキサによるコンクリートの練混ぜの際の加水時における、セメントおよび細・粗骨材と水との遭遇状態を示す。Fig.9(a)の一括練混ぜの場合には骨材は「表面乾燥飽水状態またはこれに近い湿潤状態」であり、JISにより練混ぜ手順には特に規程はないものの骨材とセメントをミキサに投入した後、一定時間の

Fig.8 Concept of bleeding of CP via capillary state.

Fig.9 Encounter state of cement and water in test mixer.

Fig.10 Concept of cement particle bonding state in concrete.

空練りを行った後、水を投入して練混ぜる場合が多い。この空練り後、ミキサ内では細・粗骨材間にセメントが均等に分散した状態となっており、その上部から練混ぜ水の全量が投入される。この場合のセメントペーストに着目すると、その水セメント比(W/C)は最終(計画配合)の値より、大きな値から徐々に最終の値へと小さくなって行くことになる。従って、コンクリートを一括練混ぜする場合その練混ぜの過程で、セメントペーストは常にスラリー状態となっている。

一方、Fig.9(b)のSECコンクリートの練混ぜを行う場合には、数%程度の表面水率に調整した細骨材と表乾状態の粗骨材を用い、一次水(W_1)を投入して調整練混ぜを行った後セメントを投入して一次練混ぜを行ない、その後二次水(W_2)を投入して二次練混ぜを行う。この場合、セメントペーストは最終のW/Cより小さいW/Cから徐々に最終のW/Cへと大きくなって行くことになる。従って、SECコンクリートの練混ぜの場合には、そのセメントペーストは練混ぜ直後にフェニキュラー状態であり、次にキャピラリー状態での練混ぜを経て、スラリー状態のコンクリートとなる。

以上のことから、コンクリートの練混ぜの過程で、セメントペーストがキャピラリー状態となる時期の有無がコンクリートのブリーディング特性に影響するものと推察され、一括とSECコンクリートとのフレッシュ性状の相違をもたらすものと考えている。

6. フレッシュコンクリートのセメント粒子構造

練混ぜ方法が相違するコンクリートにおけるセメント粒子の構造については、例えば文献12)などの研究が行われている。筆者らは、これらの研究を参考にSECコンクリート中のセメント粒子構造をFig.10のように推察した。

SEC練混ぜの場合は、一次練混ぜにおいて高い剪断力で練混ぜられたセメントは、凝集することなく分散される(図中のCapillary Mixing)。田澤ら¹⁸⁾は、セメントペーストのダブルミキシング効果に関する検討から、二次練混ぜ中またはその直後にセメント粒子の凝集力が最大となる時期が存在することを指摘しているが、この凝集力により二次練混ぜ後にセメント粒子は、二次粒子フロク(Second particle flock)から成る弱い立体的結合を形成し、練混ぜ水を緩く拘束する。この場合のセメント粒子結合は内部に拘束水を有するので、一括練混ぜの場合と比べてブリーディングが減少する。

一方、一括練混ぜの場合は、練混ぜ開始時では、セメントと過剰な水を練り混ぜると、急速にセメント粒子の凝集体(アグロメレート:粒子数30個程度)が生成される。この粒子の結合はvan der Waals力(引力)が主となる強い結合と考えられる。セメント粒子表面には負の電位を持つとしても、水中ではクーロン力は遮へいされるので斥力は小さい。また、電気二重層は発達しておらずこれによる斥力も小さい。更に、練混ぜ終了時には凝集体同士が弱い結合をしたり(アグロメレートフロク)、

堆積したりする。このような粒子構造が、ブリーディング量が多くなり、流動性が悪くなることの原因となる。また、一括練混ぜの場合であっても、長時間の練混ぜにより粗骨材の衝撃効果でアグロメレートが壊され、部分的に二次粒子となってSEC練混ぜの効果を発揮することもある(図中斜め左上への矢印)。このように、練混ぜ方法によってセメント粒子の結合状態が異なるので、ブリーディング特性が異なったものと考えられる。

7. 結 言

SECコンクリートのブリーディング特性をより改善する目的で、練混ぜ方法や材料投入手順、材料温度の相違などがブリーディングに及ぼす影響について実験的に検討するとともに、SEC効果の発現メカニズムに関し検討した結果、以下の結論が得られた。なお、本研究で使用した細・粗骨材は、それぞれ一種類のみであるが、今後、SEC効果に及ぼす骨材の種類や岩種等の影響についての検討が必要である。

(1) 分割練混ぜによるブリーディングは、コンクリート、モルタルおよびセメントペーストの場合とも、一括練混ぜの場合に比べブリーディング率が4割程度に低減し、またその低減効果は、練上がり温度が10~35℃の範囲で、常温の場合とほぼ同等な効果を発揮する。

(2) 分割練混ぜにおける一次練混ぜ時間がブリーディング率に及ぼす影響は、骨材の有無によって異なり、モルタルおよびコンクリートでは、一次練混ぜ時間が長いほど一律にブリーディングは小さくなった。一方、セメントペーストでは、一次練混ぜ時間の増加に伴い、練混ぜ時間330秒(一次練混ぜ時間240秒)まではブリーディング率が大幅に減少するが、それ以上長い場合、ブリーディング率は僅かに増加する結果となった。

(3) セメントペーストの練混ぜにおいて、練混ぜ過程のいずれかの段階でキャピラリー状態で練混ぜを行うと、そのブリーディングは大幅に低減することが判明した。

(4) (3)の結果からSEC効果の発現は、コンクリートの練混ぜの過程で、コンクリート中のセメントペーストがキャピラリー状態となる時期の有無に依存するものと推察した。

(5) SEC効果の発現メカニズムに関し、コンクリート中のセメント粒子の凝集・分散構造の相違を用いて、SECコンクリートのブリーディング低減モデルを提案した。

今後は、これらセメント粒子構造の可視化を試みるなどの方法で、提案モデルの妥当性を明確にしたいと考えている。

参 考 文 献

- 1) T. Yoshida, "On the order in which the concrete material should be charged into the mixture", Kyushu University, Faculty of Engineering Reports pp.3-6(1931).
- 2) (General Foundation corporation) Public works research center, "SEC concrete which made by tow stage mixing

- for improvement of performance ", Construction technical examination certificate report, No.0309, pp.30-38 (2003).
- 3) E. Tazawa, Y. Matsuoaka, S. Kaneko and Y. Ito, "On the properties of fresh cement paste prepared by double mixing" , The Proceeding of JCI, Vol.4, pp.125-128(1982).
 - 4) E. Tazawa and T. Kasai, "Double mixing effects of fresh cement paste", Journals of JSCE, No. 396, Vol.9, pp. 135 -142(1988).
 - 5) Y. Nakagawa, S. Fujii, K. Yoshioka and E. Tazawa, "Effect of double mixing on early hydration of cement", the Proceeding of JCI, Vol.29, No.1, pp 51-56(2007).
 - 6) Y. Ito, T. Tosaka, S. Sakurai, M. Suenaga and T. Asakura, "Study on construction performance of high quality shotcrete", Journals of JSCE E, No. 4, Vol.65, pp. 419- 430(1988).
 - 7) T. Kasai, E. Tazawa and H. Isogai, "Application of double mixing method for steam cured precast concrete", the Proceeding of JCI, Vol.31 , No.1 , pp.2185-2190(2009)
 - 8) S. Suzuki, E. Tazawa, J. Paweena and T. Kasai, "Study on frost damage characteristics and pore structure of pre-cast concrete manufactured by double mixing metod", the Proceeding of JCI, Vol.36, No.2, pp. 355-360(2014).
 - 9) H. Kaga, Y. Yamamoto, K. Kuroha, M. Hayakawa and Y. Ito , " Study on S.E.C. concrete (Characteristics and Strength)", Summaries of technical papers of annual meeting architectural institute of japan, pp.57-58(1980).
 - 10) K. Kishitani, Y. Ito, H. Kaga and Y. Yamamoto, "SEC concrete method - Basic theory and characteristics, practical application", Building technology, No.380, pp.1-18(1983).
 - 11) S. Miwa, "Commitment to powder engineering", Nikkan Kogyo Shimbun, pp.43(1981).
 - 12) K. Yoshioka, "Influence of mineral composition and mixing method on the bonding structure of cement particles", Doctoral dissertation, pp.56-67(1999).
 - 13) R. Shionaga, K. Toda, Y. Ito and H. Takahashi, "The evaluation of the hydration rate and the width of the interfacial transition zone and the influence for the water permeability of the concrete mixed by separated mixing method", the Proceeding of JCI, Vol.37, No.1, pp.541-546(2015).
 - 14) (General Foundation corporation) Public works research center, "SEC concrete which made by tow stage mixing for improvement of performance ", Construction technical examination certificate report, No.0309, pp.68-72 (2003).
 - 15) S. Date, K. Hasegawa, M. Ikeda and Y. Tsuji, "Influence of sand property on bleeding behaviors of mortar produced by sand enveloped with cement method", the Proceeding of JCI, Vol.26, No.1, pp.615-620(2004).
 - 16) K. Kishi, T. Watanabe, K. Yamada and T. Uomoto, "Effect of type of mixer and mixing time on properties of concrete", Journals of JSCE, No.402, V-10, pp.53-60(1989).
 - 17) R. Shiroto, T. Yamamoto, Y. Ito and T. Kasai, "Influence of primal mixing time by separate mixing on the properties of flesh concrete", the Proceeding of JCI, Vol.40, No.1, pp.1065-1070(2018).
 - 18) E. Tazawa and T. Kasai, "Mechanism and effects of double mixing on properties of cement paste", Journals of the Society of Materials Science, Japan, Vol.39, No.442, pp.1007-181(1990).