

# コンクリートの流動性を長時間保持する「フレッシュキープ®工法」の開発

桜井 邦昭 平田 隆祥

## Development of “FRESH-KEEP Method” Which Can Be Used to Maintain Longer Concrete Workability and Prevent Cold Joint

Kuniaki Sakurai Takayoshi Hirata

### Abstract

Workability of fresh-concrete decreases by lapse times from mixing. Decrease of workability causes filling defect and cold joint. Moreover, durability of concrete structure decreases. Hence, the “fresh-keep method,” which can be used to maintain longer concrete workability and prevent cold joint, was developed. The method was easy, because it involved adding only a special chemical admixture to ready-mixed concrete. This study reports the outline of the method, several test results, and application instances for construction sites.

### 概要

コンクリートは、練上がりからの時間経過に伴いワーカビリティが低下する。ワーカビリティの低下は、圧送時の閉塞や充填不良およびコールドジョイントの発生要因となり、コンクリート構造物の耐久性が損なわれる。そこで、生コン工場で製造したコンクリートに、液状の特殊混和剤を後添加するだけで、所定の流動性を長時間保持でき、コールドジョイントの発生を防止する「フレッシュキープ®工法」を開発した。本稿では、特殊混和剤による流動性保持のメカニズム、検証実験結果および実施工への適用事例を述べる。

### 1. はじめに

フレッシュコンクリートは、練上がりからの時間経過に伴いワーカビリティが低下する。ワーカビリティが低下すると圧送時の閉塞や充填不良が生じるリスクが高まる。また、コンクリートを2層以上に分けて打ち重ねる場合、先に打ち込んだコンクリートの硬化が始まらないうちに上層にコンクリートを打ち重ねないとコールドジョイントが発生する。コールドジョイントは、水分、塩分等の外的要因の侵入経路となり、鉄筋コンクリート構造物の耐久性が大きく低下する原因となる。このため、コンクリート標準示方書や建築工事標準仕様書 JASS5 鉄筋コンクリート工事(以下、JASS5という)では、コンクリートを練り混ぜてから打ち終わるまでの時間の限度、ならびに許容打重ね時間間隔の限度の目安をTable 1およびTable 2のように定めている。

また、コンクリート標準示方書では、コンクリートを型枠内に密実に充填させるには、打込み時に必要なスランプを確実に確保しておく必要があるとの観点から、配筋条件や締め作業高さに応じて打込みの最小スランプを設定し、現場までおよび現場内での運搬に伴う流動性の低下を考慮して出荷時や荷卸し時の目標スランプを選定するよう定めている (Fig. 1)。汎用的に使用されている大半のコンクリートで、Table 1の時間の限度まで所要のスランプ(打込みの最小スランプ)を確保するには、相当地に大きなスランプのコンクリートを製造する必要があり、水量やセメント量の増加により温度・収縮ひび割れの要因となる。

Table 1 練混ぜから打込み完了までの時間の限度の目安  
Limit of Time from Mixing to the Discharge

コンクリート標準示方書		JASS5	
条件	限度	条件	限度
外気温が25℃を超える	1.5時間	外気温が25℃以上	90分
外気温が25℃以下	2.0時間	外気温が25℃未満	120分

Table 2 許容打重ね時間間隔の限度の目安  
Allowable Time Lag between Two Placing Lifts

コンクリート標準示方書		JASS5	
条件	限度	条件	限度
外気温が25℃を超える	2.0時間	外気温が25℃以上	120分
外気温が25℃以下	2.5時間	外気温が25℃未満	150分

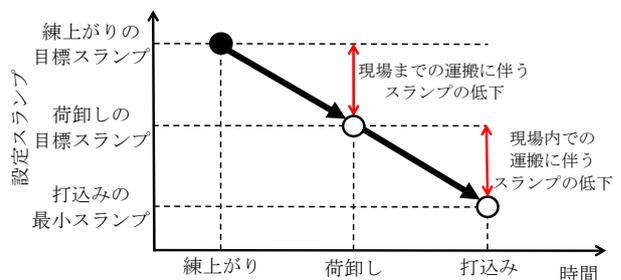


Fig. 1 各施工段階における設定スランプとスランプの経時変化の概念図 (標準示方書を参考に作図)

Relation between a Setting Slump and Time Change of Slump

一方で、昨今の建設投資額の減少などに伴いレディーミクストコンクリート工場(以下、生コン工場という)の集約化が進んでおり、2014年の生コン工場数は3406工場で、ピーク時(1992年)と比べて約30%減少している(Fig. 2)<sup>1), 2)</sup>。このことは、現場までの運搬時間が長時間化する要因となり、結果として現場内での作業可能な時間が短くなっていると想定される。

また、近年では地球温暖化や夏期の猛暑などのニュースが取りざたされることが多い。気象庁ホームページの過去の気象データ<sup>3)</sup>によれば、東京の8月の日最高気温および日平均気温は、この30年で概ね1.5℃程度増加している(Fig. 3)。さらに、文献<sup>4)</sup>によれば、直近の30年間(1981~2010年)の平均値として、日平均気温が25℃を超える日数(暑中コンクリートの範疇となる日数)は、いずれの地域においても、1961~1990年の30年間の平均値に対して1割以上増加している(Fig. 4)。これらのデータは、コンクリートのワーカビリティを確保することが年々難しい環境条件となっていることを示している。

このような社会的背景および環境条件において、コールドジョイントを生じることなく耐久的な鉄筋コンクリート構造物を構築するには、ワーカビリティを長時間確保できる技術が必要となる。

そこで、生コン工場で製造したコンクリートに、特殊混和剤を後添加することで、流動性を長時間保持して、コールドジョイントの発生を防止できる「フレッシュキープ<sup>®</sup>工法」を開発した。本稿では、本技術の概要と適用事例について述べる。

## 2. フレッシュキープ工法の概要

### 2.1 現状技術の概要とフレッシュキープ工法の特徴

フレッシュキープ工法の概要図をFig. 5に示す。先述のように、コンクリートは練上がりからの時間経過に伴い流動性が低下する。現状の対策としては、①流動性の低下を見越したスランブの大きなコンクリートを製造・出荷する、②施工現場にて流動化剤を後添加する、③超遅延剤を用いるなどの手法が行われている。しかしながら、それぞれ①単位水量やセメント量が多くなるため、硬化後に収縮ひび割れが生じやすくなる、②流動性は一時的に回復・増大するが、その後ふたたび急激に低下する、③ブリーディング量が増大するとともに、初期の強度発現が遅れて脱型時期が遅延する等の課題がある。

そこで、上記の課題を解決するため、生コン工場などで製造したコンクリートに液状の特殊混和剤を後添加することで、容易に流動性を長時間保持できるフレッシュキープ工法を開発した。

本工法の特徴を以下に示す。

- a) 目標とする流動性を長時間保持でき、充填不良やコールドジョイントの発生を防止できる(特殊混和剤の添加による流動性の増大はほとんど生じない)。

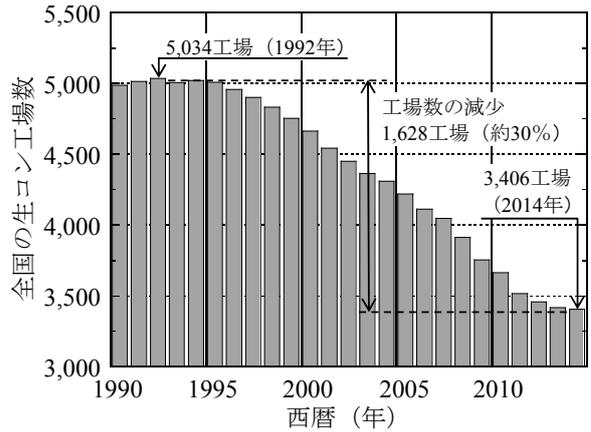


Fig. 2 全国の生コン工場数の推移<sup>1), 2)</sup>  
Transition for Number of Ready-Mixed Concrete Plants in Japan

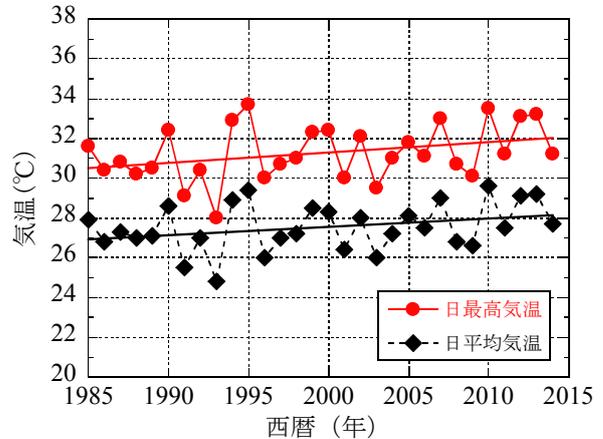


Fig. 3 東京の8月の日最高気温と日平均気温の推移<sup>3)</sup>  
Transition for The Day Highest Temperature and Daily Mean Temperature in Tokyo in August

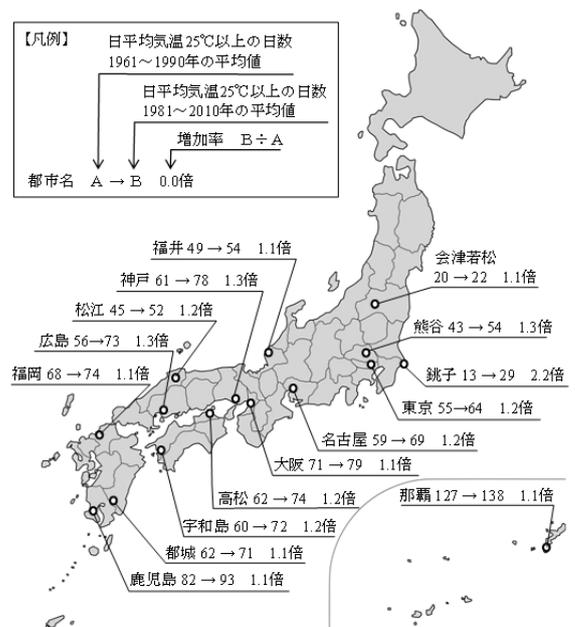


Fig. 4 日本各地の日平均気温25℃以上の日数<sup>4)</sup>  
Days for Over 25 Degree of Daily Mean Temperature in Several Areas of Japan

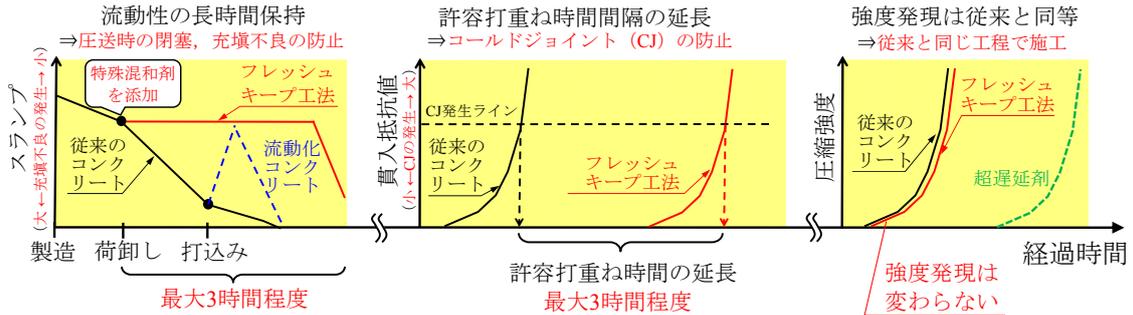


Fig. 5 フレッシュキープ工法の概要図  
Outline of Flesh-Keeper Method

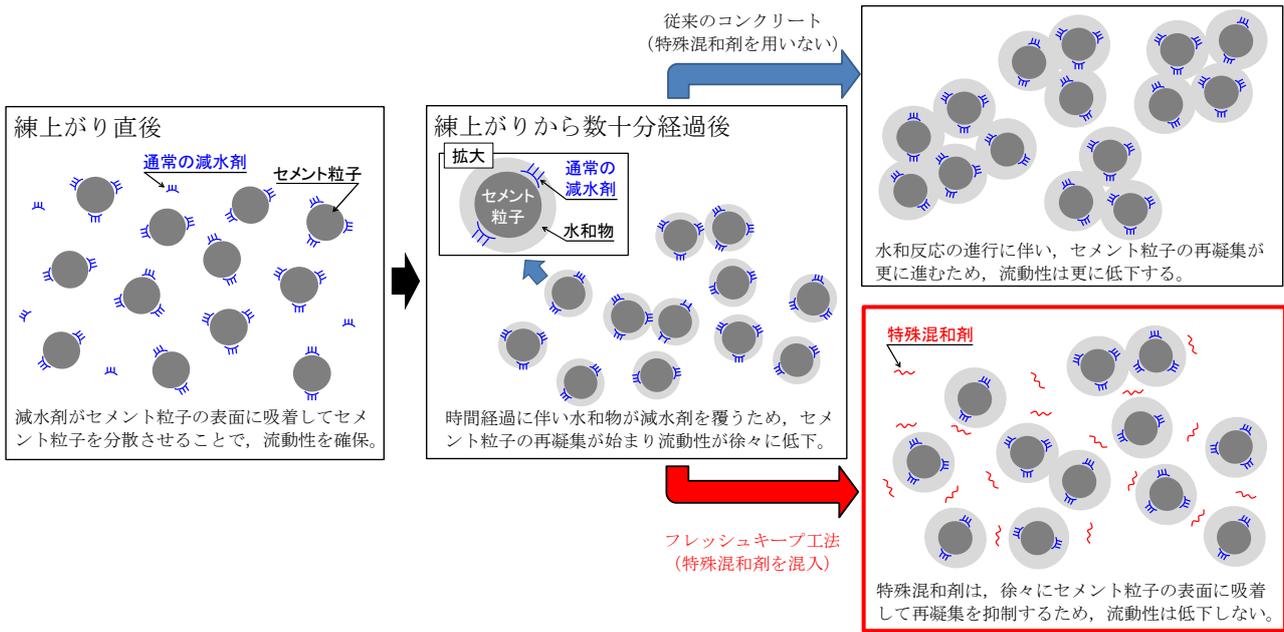


Fig. 6 特殊混和剤による流動性保持の概念図  
Mechanism of Keeping Flowability by Special Chemical Admixture

- b) 使用材料やコンクリートの種類によらず、製造後のコンクリートに特殊混和剤を後添加するだけであり、取り扱いが容易である。
- c) 特殊混和剤の混入によるブリーディングの増大や初期の強度発現の遅延は生じない。
- d) 施工時の突発的なトラブル(生コン車の遅延、天候の急変、コンクリートポンプの故障等)発生時の対策として限定的に利用することもできる。

2.2 特殊混和剤による流動性保持のメカニズム

フレッシュキープ工法で用いる特殊混和剤は、ポリカルボン酸系化合物の液体であり、JIS A 6204「コンクリート用化学混和剤」の減水剤規格に適合する。

特殊混和剤による流動性保持の概念をFig. 6に示す。現在、汎用的に使用されているコンクリートにはAE減水剤や高性能AE減水剤などの減水剤が用いられている。練上がり直後は、これらの減水剤がセメント粒子の表面に吸着されて、セメント粒子を分散させることで所要の流動



Photo 1 特殊混和剤のアジテータ車への投入状況  
Situation of Special Chemical Admixture into Agitator Car

性を確保している。しかし、時間が経過すると、セメントの水和反応の進行に伴い水和物が減水剤を覆うため、セメント粒子同士が凝集して流動性が徐々に低下する。一方で、特殊混和剤は、添加直後にはセメント粒子に

Table 3 コンクリート配合  
Mix Proportion of Concrete

目標 スランブ (cm)	目標 空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				混和剤 (C×%) WR
				W	C	S	G	
18±2.5	4.5±1.5	55.0	44.0	175	318	786	1007	0.20

Table 4 使用材料  
Used Materials

項目	記号	物理的性質など
セメント	C	普通ポルトランドセメント, 密度3.16g/cm <sup>3</sup>
水	W	上水道水
細骨材	S	陸砂, 表乾密度2.63g/cm <sup>3</sup> , F.M.2.77
粗骨材	G	砕石2005, 表乾密度2.65g/cm <sup>3</sup> , 実積率58.9%
混和剤	WR	AE減水剤。コンクリート製造時に使用 (C×0.2%)
特殊混和剤	—	フレッシュキープ工法に使用。 練上がり30分後にC×0.5%添加
流動化剤	—	流動化コンクリートに使用。 スランブが低下した後C×0.3%添加
超遅延剤	—	遅延コンクリートに使用。 練上がり30分後にC×0.3%添加

Table 5 試験項目  
Test Items

試験項目	準拠規準	備考
スランブ	JIS A 1101	練上がり30分ごとに測定
空気量	JIS A 1128	同上
ブリーディング率	JIS A 1123	
許容打重ね 時間間隔	JIS A 1147	プロクター貫入試験で、貫入抵抗値 が0.1N/mm <sup>2</sup> に達する時間まで測定
圧縮強度	JIS A 1108	材齢24時間, 7日, 28日
断熱温度上昇量	—	空気循環式断熱温度上昇試験装置で測定
長さ変化試験	JIS A 1129	材齢7日で試験を開始
促進中性化試験	JIS A 1152 JIS A 1153	促進期間: 8週間 促進条件: CO2濃度5%, 湿度60%
塩分浸漬試験	JSCE-G572	促進期間: 8週間 促進条件: 20℃, 10%NaCl溶液
凍結融解試験	JIS A 1148	材齢28日で試験を開始

吸着しないため、セメント粒子の分散は生じず流動性は変化しない。その後、特殊混和剤が徐々にセメント粒子の表面に吸着するので、セメント粒子同士の凝集を抑制でき、長時間にわたり同じ流動性を保持できる。

特殊混和剤は、従来の流動化剤と同様に、アジテータ車のホッパーから投入したのち、ドラムを約60秒間高速攪拌する (Photo 1)。現場までの運搬時間が長時間となる場合には生コン工場の出荷時に投入しても良いし、現場内での作業可能時間を延長したい場合には荷卸し時点で投入しても良い。

### 3. 検証実験

#### 3.1 従来工法との比較

フレッシュキープ工法の効果を検証するために、Table

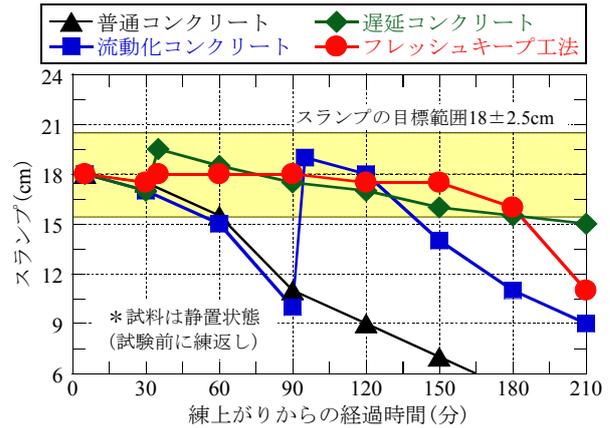


Fig. 7 各種コンクリートのスランブの推移  
Transition for Slump of Several Concretes

Table 6 各種コンクリートの試験結果  
Test Result for Several Concretes

コンクリートの種類	許容打重ね 時間間隔*1 (h-m)	凝結時間(h-m)		ブリー ディング 率 (%)	材齢 24時間 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
		始発	終結		
普通コンクリート	3-00	6-20	8-30	4.4	5.4
フレッシュキープ工法	5-00	7-40	9-50	4.5	4.9
流動化コンクリート	3-30	7-20	10-10	5.1	5.0
遅延コンクリート	12-00	16-00	18-50	14.6	0.9

\*1 プロクター貫入試験で貫入抵抗値0.1N/mm<sup>2</sup>に達する時間

3に示す配合のコンクリートを対象に室内試験練りを行った。使用材料をTable 4に、試験項目をTable 5に示す。検討ケースは、①比較用の「普通コンクリート」、②荷卸し時点で特殊混和剤を後添加した「フレッシュキープ工法」、③流動性が低下した後に流動化剤を添加した「流動化コンクリート」、および④荷卸し時点で超遅延剤を後添加した「遅延コンクリート」の4ケースとした。なお、試験は20℃の室内で行った。

3.1.1 フレッシュコンクリートの品質 各種コンクリートの練上がりからの時間経過に伴うスランブの推移をFig. 7に示す。比較用の普通コンクリートは時間経過に伴い流動性が低下し、練上がり60分後には目標とするスランブ範囲から逸脱する結果となった。一方で、荷卸し時点とした練上がり30分後に特殊混和剤を後添加したフレッシュキープ工法の場合、添加に伴う流動性の変化は認められず、その後180分後まで所定のスランブを保持できており、普通コンクリートと比べた場合、流動性の保持時間を120分延長できる結果が得られた。スランブ低下後に流動化剤を添加した場合、スランブは一時的に回復したがその後急激に低下する状況が確認された。

各種コンクリートの許容打重ね時間間隔、凝結の始発および終結時間、ブリーディングの測定結果ならびに圧縮強度の測定結果をTable 6に示す。なお、許容打重ね時間間隔は、指針<sup>5),6)</sup>を参考に、プロクター貫入試験におけ

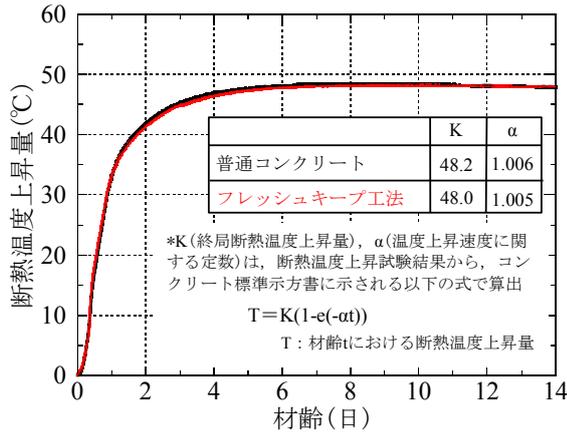


Fig. 8 断熱温度上昇試験結果

Test result of Adiabatic Temperature Rise of Concrete

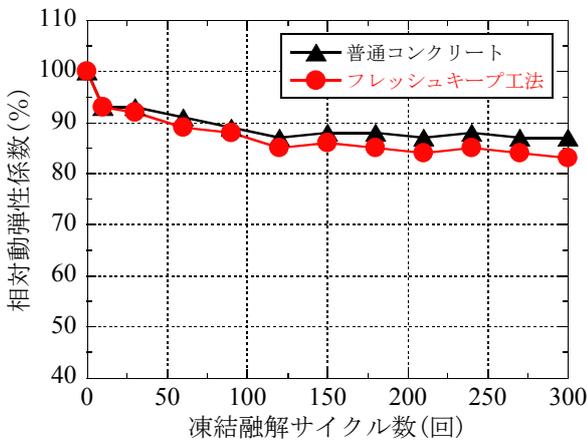


Fig. 10 凍結融解試験結果

Test Result for Freezing and Thawing Resistance

る貫入抵抗値が0.1N/mm<sup>2</sup>に達する時間とした。

普通コンクリートの許容打重ね時間間隔は3時間であった。これに対し、フレッシュキープ工法は、所要の流動性の保持時間を普通コンクリートに比べ120分(2時間)延長できた効果により、許容打重ね時間間隔も5時間にまで延長できた。一方、両者の凝結の始発および終結時間の差は約1時間であり、材齢24時間の圧縮強度は同程度であった。また、ブリーディング率も同等であった。

超遅延剤を用いた場合は、Fig. 7に示すように、フレッシュキープ工法と同様に180分後まで目標とするスランプを確保できたが、ブリーディング率が14%程度と著しく増大するとともに、凝結の終結時間も遅延し、材齢24時間の圧縮強度は1N/mm<sup>2</sup>以下と小さい結果になった。

今回の試験では、フレッシュキープ工法の採用により、普通コンクリートに比べて、スランプの保持時間および許容打重ね時間間隔をそれぞれ2時間延長できる結果が得られた。このことは、仮に現場までの運搬時間を30分とした場合、現場内での打込み作業の可能な時間が約5倍、打重ね可能な時間間隔が約2倍に延長できることになり、充填不良やコールドジョイントの発生リスクを大幅に低減できることを示している。

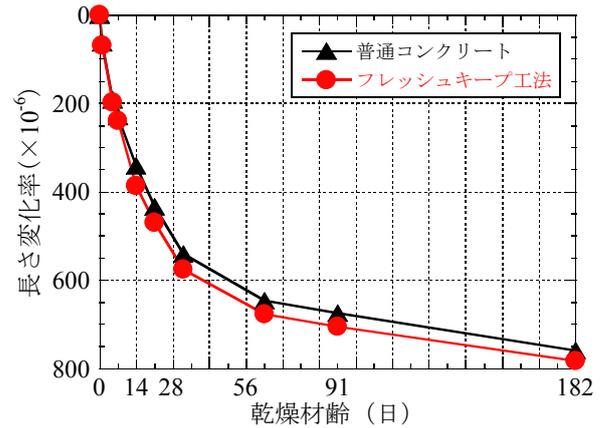


Fig. 9 長さ変化測定結果

Test Result of Length Change of Concrete

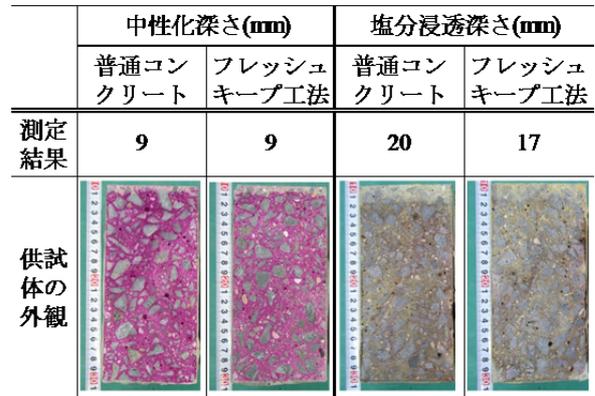


Photo 2 促進中性化および塩分浸漬試験結果

Test Result for Carbonation Depth and Salt Penetration Depth

3.1.2 硬化コンクリートの品質 比較用の普通コンクリートとフレッシュキープ工法を対象に、断熱温度上昇試験および各種の耐久性試験を実施した。

断熱温度上昇試験結果をFig. 8に示す。フレッシュキープ工法の断熱温度上昇特性(終局断熱温度上昇量: K, 温度上昇速度に関する定数: α)は、比較用の普通コンクリートと同等であり、特殊混和剤を用いることがセメントの水和発熱を助長・促進させることはなく、温度ひび割れに対して影響しないことを確認した。

長さ変化試験結果をFig. 9、凍結融解試験結果をFig. 10、促進中性化および塩分浸漬試験結果をPhoto 2にそれぞれ示す。いずれの試験においても、普通コンクリートとフレッシュキープ工法とに違いは認められず、特殊混和剤を混入しても硬化コンクリートの品質に影響しないことを確認できた。

### 3.2 暑中コンクリートへの適用性

気温が高いと、それに伴ってコンクリートの温度も高くなるため、運搬中のスランプの低下が顕著となり、上述した充填不良やコールドジョイントの発生の危険性が高まる。そこで、フレッシュキープ工法を用いることで、

Table 7 コンクリートの配合 (暑中期の検討)

目標 スランプ (cm)	目標 空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					混和剤 (C×%)
				W	C	S1	S2	G	
21±2	4.5±1.5	51.6	51.0	175	339	619	272	888	1.15

C: 普通ポルトランドセメント(密度3.16g/cm<sup>3</sup>)  
 S1: 山砂(表乾密度2.58g/cm<sup>3</sup>), S2: 砕砂(表乾密度2.61g/cm<sup>3</sup>)  
 G: 碎石2005(表乾密度2.66g/cm<sup>3</sup>), 混和剤: 高性能AE減水剤

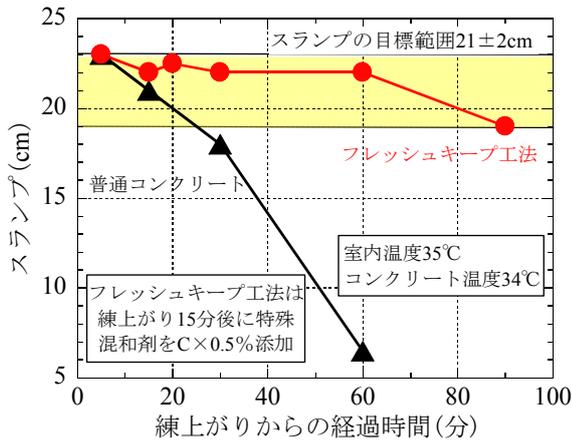


Fig. 11 スランプの経時変化 (暑中期の検討)  
 Transition for Slump of Hot Weather Concreting

暑中期においても長時間にわたり流動性を保持できることを検証するため、室温35°Cの条件下で試験練りを行った。試験配合30-21-20NをTable 7に示す。試験時のコンクリート温度は平均34°Cであった。

比較用の普通コンクリートは、練上がりからの時間経過に伴いスランプが急激に低下するのに対し、練上がり15分後に特殊混和剤(セメント量の0.5%)を後添加したフレッシュキープ工法は、練上がりから90分間にわたり目標とするスランプの範囲を満足できた(Fig. 11)。フレッシュキープ工法が、暑中期の著しいスランプ低下の抑制対策としても効果的であることを示す結果と考えられる。

#### 4. 実施工への適用

本章では、既設の鉄道トンネルのインバート補強工事においてフレッシュキープ工法を適用した事例を示す。この工事は、Fig. 12に示すように、既設のインバートコンクリートの下に、新たにコンクリートを打ち込んで補強するものである。工事の詳細は文献<sup>7),8)</sup>を参照されたい。

施工部位がインバート下の閉鎖空間で、締固めを行うことができないことから、自己充填性(ランク2)を有する高流動コンクリートを採用した(Table 8)。また、①トンネル内には軌道が設置されており、アジテータ車およびコンクリートポンプ車が通行できず、坑口部でコンクリートをバケットに積み替えて、台車(トロッコ)にて運搬する必要がある、②坑内運搬に時間を要するとともに、

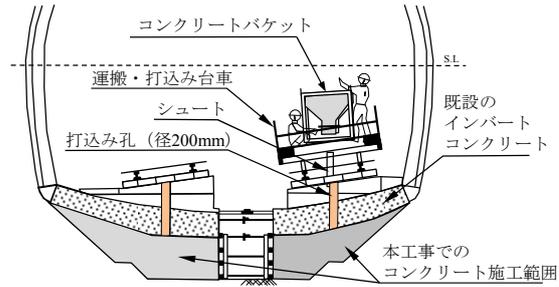


Fig. 12 インバート補強工事の概要

Outline of Reinforced Construction of Tunnel Invert Concrete

Table 8 高流動コンクリートの配合

Mix Proportion of Self-Compacting Concrete

自己充填性の ランク	目標 スランプ フロー (cm)	目標 空気量 (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				混和剤 (B×%)	
					W	B		S		G
ランク2	65±7.5	4.5±1.5	31.9	50.1	175	529	20	771	780	1.3

C: 高炉セメントB種(密度3.05g/cm<sup>3</sup>), EX: 膨張材(密度3.11g/cm<sup>3</sup>)  
 S: 陸砂(表乾密度2.56g/cm<sup>3</sup>), G: 砂利2505(表乾密度2.60g/cm<sup>3</sup>)  
 混和剤: 高性能AE減水剤

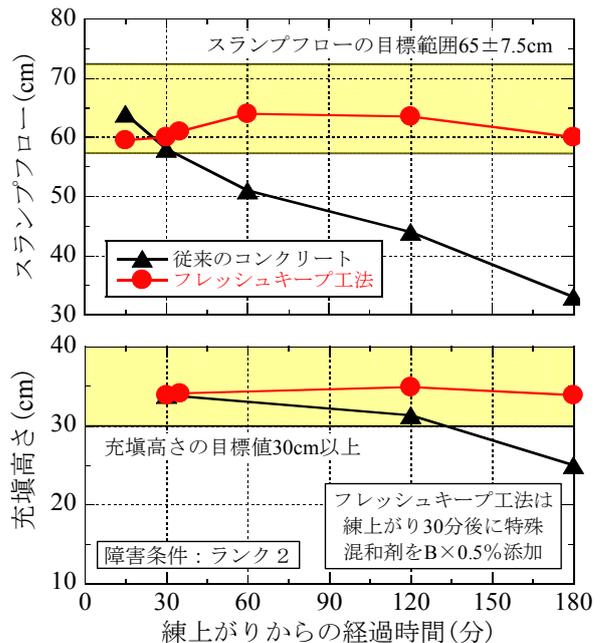


Fig. 13 スランプフローおよび充填高さの推移

Transition for Slump-Flow and Self-Compacting Height

バケット打設のため打込みにも時間を要することから、目標とする自己充填性を3時間確保することが要求された。そのため、フレッシュキープ工法を適用した。

施工に先立ち、室内にて試験練りを行い、フレッシュキープ工法を用いることで、練上がりから3時間にわたり目標とする流動性と自己充填性を確保できることを確認した(Fig. 13)。なお、図中の充填試験は、JSCE-F511「高流動コンクリートの充填試験方法」に準じて行い、充填性のランク(障害条件)はランク2とした。

実施工時に荷卸し時点で特殊混和剤を添加した後の高

流動コンクリートのスランプフロー試験状況をPhoto 3に示す。材料分離は認められず良好な状態であった。施工は4～6月の春期に行い、施工時のコンクリート温度は20℃前後であった。コンクリートの打込み作業は計画通り行われ、既設インバートとの隙間も無く確実に充填できた。

## 5. まとめ

生コン工場などで製造したコンクリートに特殊混和剤を後添加するだけで、所要の流動性を長時間保持することができ、コールドジョイントの発生を防止できるフレッシュキープ工法を開発した。本稿の範囲で得られた知見を以下に示す。

- 1) フレッシュキープ工法を用いたコンクリートは、用いないコンクリートと比べて、所要の流動性の保持時間や許容打重ね時間間隔を2時間以上延長できる。
- 2) フレッシュキープ工法を用いても、ブリーディングの増大や初期の強度発現の遅延は生じない。また、中性化、塩分浸透および凍結融解に対する抵抗性は変わらない。
- 3) 気温が30℃以上の暑中期においても、フレッシュキープ工法を用いることで、所要の流動性を長時間保持できる。また、フレッシュキープ工法は、普通コンクリートばかりでなく、高流動コンクリートにも適用できる。

今後は、練上がりから打込み完了までの時間が長い場合や、施工面積が広く打重ねに長時間を要する場合、暑中期で流動性の低下が著しい場合など、従来技術では施工時に不具合の生じるリスクの高い状況に積極的に適用することで、耐久性に優れたコンクリート構造物の構築に役立てたいと考えている。

なお、フレッシュキープ工法は、竹本油脂株式会社と共同開発したものです。



Photo 3 実施工時のスランプフロー試験状況  
Test Situation for Slump-Flow Test on Site

## 参考文献

- 1) 全国生コンクリート連合会ホームページ：  
<http://www.zennama.or.jp/> (閲覧日：2016.6.20)
- 2) セメントジャーナル社：生コンクリート製造業の集約化に関する調査・検討事業報告書，pp.3-9，2010.3
- 3) 気象庁ホームページ：  
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (閲覧日：2016.6.20)
- 4) 小山智幸，小山田英弘，伊藤是清：暑中コンクリートの現状と対策，コンクリート工学，Vol.50，No.3，pp.239-244，2012.3
- 5) 土木学会：コンクリートライブラリー103 コンクリート構造物のコールドジョイント問題と対策，pp.7-20，2000
- 6) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事，pp.262-264，2009
- 7) 三浦貴幸，柿崎昌志，湊敦之，田湯正孝：開業直前にインバート盤ぶくれ対策を施工—北陸新幹線 飯山トンネル板倉工区—，トンネルと地下，第46巻6号，pp.7-16，2015.6
- 8) 柿崎昌志，長崎裕幸，伊藤哲：開業前の軌道直下におけるインバート補強対策工，土木学会第70回年次学術講演会概要集，VI-661，pp.1321-1322，2015.9