

現場注入試験における PC グラウトの品質と品質管理に関する研究

細野 宏巳*1・野島 昭二*2・呉 承寧*3・辻 幸和*4

Some kinds of evaluation on dependence of the temperature and mass measuring errors of PC grout were studied using tests in actual construction site. These tests were performed to examine the validity of the fluidity test methods and the unit mass-volume test (JSCE-F536). As a result, there are many mass measuring errors at the time of cement manufacturing and fluidity changes by changing the temperature during of PC grout construction. For regular tests in the construction site, the validity of the management of temperature and mixing volume used for PC grout were proposed by measuring and keeping the temperature and performing the unit mass-volume test respectively.

Key words : PC grout, temperature and mass dependence, test for unit mass, temperature measurement

1. はじめに

PC グラウトの注入施工において要求性能を満足するためには、PC グラウト材料の選定と配合および製造を適切に行って、要求性能に適合する PC グラウトを得ることが、まず必要である。それと同時に、要求性能を適切に評価できる試験項目に対して品質管理試験を実施し、その要求性能を評価することが重要となる。さらに、要求性能を満足した PC グラウトをシース内に確実に充填するためには、事前の実物大試験などを実施して、充填可能な PC グラウトの流動性を設定しておく必要がある。

PC グラウトの流動性の評価と品質管理方法に関してはすでに報告済みであるが¹⁾、PC グラウトの流動性を含むフレッシュ性状と圧縮強度発現などの硬化特性は、施工時の外気温等により変動することが知られている。また、セメントを含む PC グラウト材料の計量誤差による水セメント比または水粉体比のばらつきが、PC グラウトのフレッシュ性状と強度発現に影響を及ぼすことも懸念されている。

本研究では、PC グラウトの現場注入試験の結果²⁻⁴⁾を報告する。そして、現場注入試験では、日常管理試験方法としての妥当性を検討することを目的として、連続して練り混ぜられた PC グラウトのフレッシュ性状および温度の変動を確認するとともに、シース内へ PC グラウトを注入した際の排出側の PC グラウトを採取し、そのフレッシュ性状および PC グラウト温度の変化を確認した結果も報告する。併せて、数多くの PC グラウト材料（セメント、PC グラウト混和剤およびプレミックス材）の計量を実施し、製造時の材料の計量誤差を確認した結果についても報告する。

2. 試験の概要

2.1 PC グラウトの練混ぜ方法

PC グラウトの練混ぜには、セメント袋が4袋練り用（容量 100 L）の円筒型または角型の PC グラウトミキサを用いた。そして、各 PC グラウト材料の製造者が推奨する練混ぜ方法で行った。円筒型ミキサを写真 - 1 に示す。



写真 - 1 4袋練り用円筒型ミキサ

2.2 試験方法の概要

流動性試験は、土木学会規準 JSCE-F531 に規定されている JP 漏斗を用いて、流下時間を求めた。またフロー値を求めた。コーンは、Φ 50 × H 51 mm (JASS 15M-103) を使用し、日本建築学会基準 (JASS 15M-103) に準拠した。

単位容積質量試験は、JIS A 1116 に準拠した。容器には、Φ 100 × H 200 mm の簡易型枠を用いた。

各試験状況を、写真 - 2 ~ 4 に示す。

*1 Hiromi HOSONO : 三井住友建設 (株) 土木本部

*2 Shoji NOJIMA : 中日本高速技術マーケティング (株) 総務企画部

*3 Chengning WU : 愛知工業大学 工学部

*4 Yukikazu TSUJI : 群馬大学・前橋工科大学 名誉教授



写真 - 2 JP 漏斗を用いた流下時間測定試験



写真 - 3 フロー試験



写真 - 4 単位容積質量試験

3. 現場注入試験の概要

3.1 試験対象橋梁および試験日

現場注入試験は、全国3箇所の現場で実施した。

最初に実施したA橋は、静岡県牧之原市で施工中のPC3径間連続中空床版橋である。橋梁に配置されているPC鋼材のシステムは12S12.7で、鋼材長が28.6m、曲げ角度が7～11度であった。また、シースには鋼製シースが使用されていた。試験日は、2011年11月23日と24日に実施し、外気温は11℃程度（気象庁HPデータより）であった。

2回目に実施したB橋は、神奈川県海老名市で施工中のPRC7径間連続箱桁橋である。下床版に直線的に配置されたPC鋼材のシステムは12S12.7で、鋼材長が24m～37mであった。また、シースにはポリエチレンシースが使用されていた。先に試験を実施したA橋では、排出側のPCグラウトの温度が注入側より低下すると、流動性が著しく低下する傾向が確認されたことから、その傾向を再確認するために、試験にはできるだけ寒い時期にあたる2012年2月23日と24日の2日間に実施し、外気温は10℃程度（気象庁HPデータより）であった。

3回目に実施したC橋は、沖縄県豊見城市で施工中のPC3径間連続箱桁橋である。配置されているPC鋼材のシステムは12S12.7で、鋼材長が24m程度であった。また、シースにはポリエチレンシースが使用されていた。先に現場注入試験を実施した低温環境下での2回の試験で確認されたPCグラウトの流動性が低下する影響を、夏場にはほとんど受けないことを確認するため、暑中グラウトに相当する2012年9月の26日と27日の2日間で実施した。外気温は27℃程度（気象庁HPデータより）であった。

A橋、B橋、C橋のPC鋼材配置図を図-1～3に、PCグラウトの配合および各材料温度を表-1に示す。

いずれの橋においても、1日目に材料の質量測定を実施し、2日目にその他の試験を実施している。

3.2 施工方法

(1) A 橋

A橋での施工状況を、以下に示す。

使用したPCグラウト材料はプレミックスタイプであり、PCグラウトの流動性区分では超低粘性に分類される（JP漏斗による流下時間：3.5～6.0秒）ものである。1バッチあたりの水量は、袋詰め材料が1袋あたり25kgであるとして計算し、計量した。

PCグラウト作業は、支保工下の施工ヤード内に設置したミニプラント（自動計量給水装置、グラウトミキサ2台、

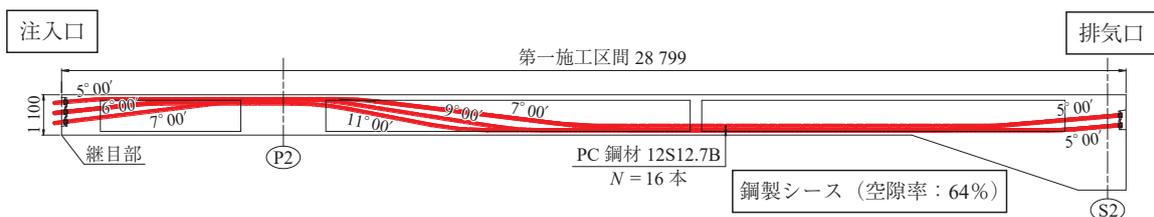


図 - 1 PC 鋼材配置図 (A 橋)

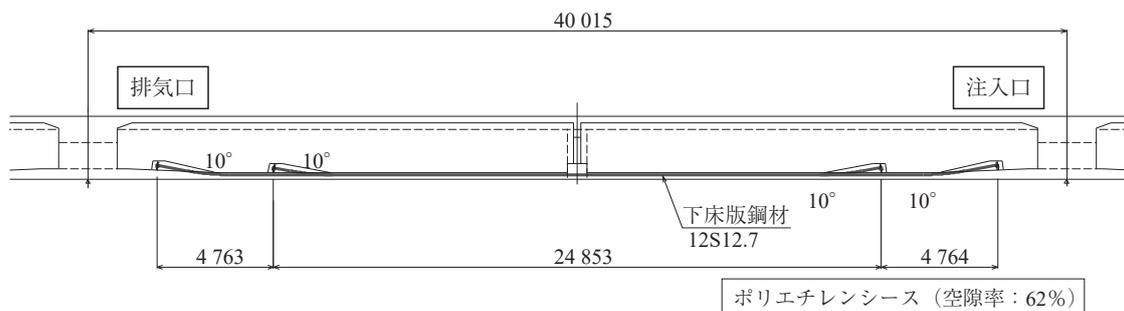


図 - 2 PC 鋼材配置図 (B 橋)

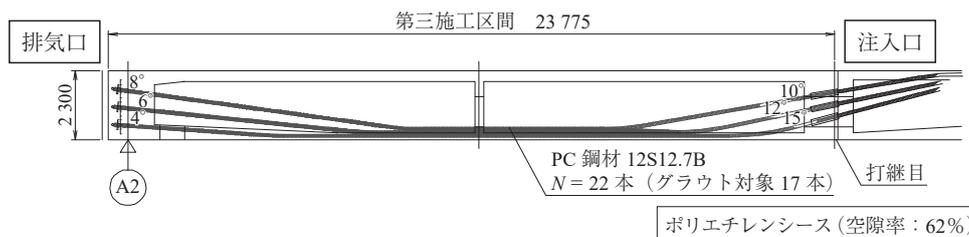


図 - 3 PC 鋼材配置図 (C 橋)

表 - 1 PC グラウトの配合および材料温度

橋梁名	セメント種類	配合 (1 バッチ)				温 度				作業時間
		水セメント比 (水粉体比) (%)	水 (kg)	セメント (粉体) (kg)	混和剤 (kg)	外気温 (°C)	水 (°C)	セメント (粉体) (°C)	練上がり 温度(°C)	
A 橋	プレミックス	36.0	27.000	75.0	-	11~12	15 ※1)	12 ※1)	22 ※1)	9:33~11:51
B 橋	普通ボルトランド セメント	41.5	31.130	75.0	0.750	11~16	21~23	11~14	22~28	9:30~13:40
C 橋	プレミックス	36.0	36.000	100.0	-	28~30	5 ※2)	29	26~29	9:23~12:24

※ 1) A 橋は最初の試験であったため、経時的に温度測定を実施せず、試験開始直後のみの水温と練上がり温度を測定

※ 2) 水温コントロールユニットの使用により、水温を 5℃ に設定していた。ユニットの水温誤差は ±2℃ (カタログより)

PC グラウトポンプ) を使用して、PC グラウトの練混ぜを行った。練混ぜは、公称容量 100 L の円筒型 PC グラウトミキサ (MG-100 型) を用いて、1 バッチで 50 L の PC グラウトを製造した。そして、練混ぜプラントから注入位置までの距離を考慮し、30 m 程度の PC グラウトホースを介して PC グラウトの注入を行った。

(2) B 橋

B 橋での施工状況を、以下に示す。

使用した PC グラウト材料は混和剤タイプであり、PC グラウトの流動性区分では高粘性に分類される (JP 漏斗による流下時間: 14 秒以上) のものである。1 バッチあたりの水量は、袋詰め材料が 1 袋あたり 25 kg であるとして計算し、計量した。

PC グラウト作業は、橋面の作業台に、水槽、PC グラウトミキサおよび PC グラウトポンプからなる PC グラウトプラントを設置して行った。練混ぜは、100 L 練混ぜ用の角型 PC グラウトミキサ (MG-100 型) を用いて、1 バッチで 55 L の PC グラウトを製造した。そして、練混ぜプラントから注入位置までの距離を考慮し、50 m 程度の PC グラウトホースを介して PC グラウトの注入を行った。

(3) C 橋

C 橋での施工状況を、以下に示す。

使用した PC グラウト材料はプレミックスタイプであり、PC グラウト流動性区分では超低粘性に分類される (JP 漏斗による流下時間: 3.5 ~ 6.0 秒) のものである。1 バッチあたりの水量は、袋詰め材料が 1 袋あたり 25 kg であるとして計算し、計量した。

PC グラウト作業は、橋面の作業台に、水温コントロールユニット、PC グラウトミキサおよび PC グラウトポンプからなる PC グラウトプラントを設置して行った。練混ぜは、100 L 練混ぜ用の角型 PC グラウトミキサ (MG-100 型) を用いて、1 バッチで 67 L の PC グラウトを製造した。

練混ぜ水は、暑中グラウト工の注入時の温度が 35℃ 以下であることを満足するように、水温コントロールユニットを使用して 5℃ に保持した水を用いた。そして、練混ぜプラントから注入位置までの距離を考慮し、30 m 程度の PC グラウトホースを介して PC グラウトの注入を行った。

3.3 計量方法

計量に用いたばかりは、セメントまたはプレミックス材タイプの PC グラウト材料 (空袋を含む)、ならびに水の場合は、ひょう量が 30 kg で、最小表示が 10 g のものを、セメントまたはプレミックス材タイプの空袋および PC グラウト混和剤の場合は、ひょう量が 3 kg で、最小表示が 1 g のものを使用した。

セメントまたはプレミックス材タイプの空袋の質量控除については、各現場において最初に使用した数袋分の空袋を測定した結果、その計量結果にばらつきがないことを確認したため、以降の計量は行わず、一律同一の重さであることとして、材料の計量結果から控除した。

4. 材料の質量

4.1 A 橋

袋詰めプレミックス材の質量の計量結果を、図 - 4 に示す。内容量の表示質量が 25 kg に対し、空袋の質量として 0.20 kg を一律控除し、最大は 25.47 kg、最小は 25.11 kg、平均は 25.31 kg であった。表示質量に対して 0.4～1.9% 程度、平均値に対しては -0.8～0.6% (標準偏差：0.07 kg) のばらつきがあったが、計量誤差の小さい均一的な内容量であった。

計量した水量が一定であるとの条件下で、内容量のばらつきが設定した水粉体比の 36.0% に及ぼす影響は、-0.7～-0.2% (平均値を基準とした場合は -0.3～0.2%) となり、表示質量に対しては ±1.0% 以内に収まる結果であった。

本計量結果より、使用したプレミックス材タイプの超低粘性の PC グラウト材料は、袋詰めの表示質量を用いても、質量のばらつきが水粉体比に及ぼす影響は小さいと考えられる。

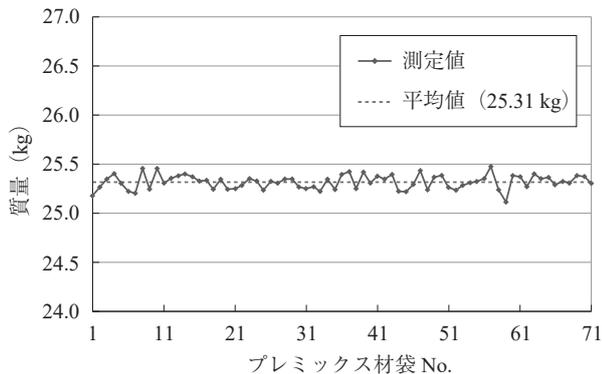


図 - 4 プレミックス材の計量結果 (A 橋)

4.2 B 橋

セメントの質量および PC グラウト混和剤の質量の計量結果を、それぞれ図 - 5 および図 - 6 に示す。

セメントの質量は、内容量の表示質量が 25 kg に対して、最大は 25.60 kg から最小は 24.58 kg (平均は 25.04 kg) まで差があり、-1.7～+2.4% (標準偏差：0.18 kg) のばらつきがあった。さらに測定した袋詰めセメントの約半数が 25 kg を下回る結果であった。

PC グラウト混和剤の質量は、内容量の表示質量が 750 g に対して、最大は 760 g から最小は 755 g までで、+0.7～+1.3% の誤差であった。PC グラウト混和剤は質量のばらつきが小さく、かつ 750 g を下回る袋はなかった。

4.3 C 橋

袋詰めプレミックス材の質量の計量結果を、図 - 7 に示す。内容量の表示質量が 25 kg に対し、最大は 25.52 kg、

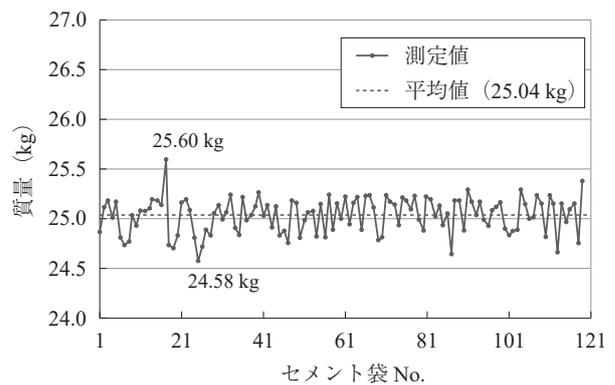


図 - 5 袋詰めセメントの計量結果 (B 橋)

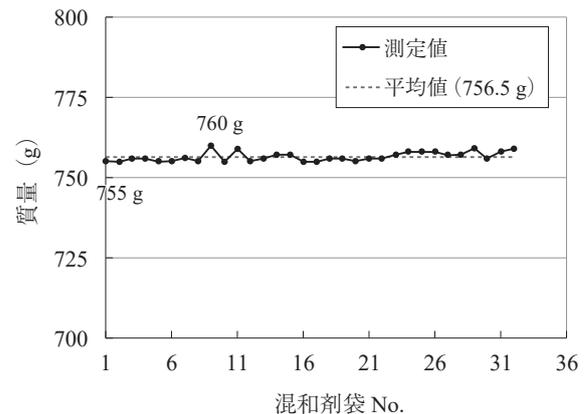


図 - 6 PC グラウト混和剤の計量結果 (B 橋)

最小は 25.10 kg、平均は 25.27 kg と、表示質量に対して 0.4～2.1% (標準偏差：0.08 kg) のばらつきであった。また、平均値に対しては -0.7～1.0% と、計量誤差の小さい均一的な内容量であった。

計量した水量が一定であるとの条件下で、内容量のばらつきが設定した水粉体比の 36.0% に及ぼす影響は、A 橋と同様に、-0.7～-0.2% であり、平均値を基準とした場合は -0.3～0.2% となり、表示質量に対しては ±1.0% 以内に収まる結果であった。

本計量結果と A 橋の結果を考慮すると、使用したプレミックス材タイプの超低粘性の PC グラウト材料は、質量のばらつきが水粉体比に及ぼす影響は非常に小さいといえる。

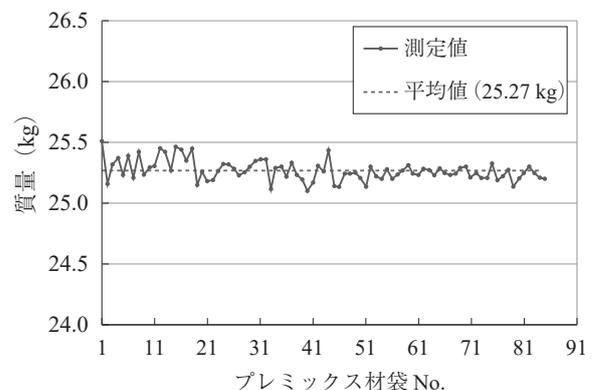


図 - 7 プレミックス材の計量結果 (C 橋)

5. JP 漏斗による流下時間

PC グラウトの流動性試験には、JP 漏斗による流下時間を測定した。その方法は、土木学会規準 JSCE-F 531 に準拠した。

流下時間の測定箇所と内容については、各グラウトミキサから練混ぜられた直後のグラウト材を全バッチ測定したもの（以降、練混ぜ直後の PC グラウトの JP 漏斗による流下時間）と注入側のホースからグラウト材を注入し、排出側のホースから排出されたグラウト材を全鋼材本数分採取し測定したもの（以降、シースの排出側で採取した PC グラウトの JP 漏斗による流下時間）の 2 つとした。

5.1 A 橋

A 橋における練混ぜ直後とシースの排出側で採取した PC グラウトの JP 漏斗による流下時間の測定結果を、図 - 8 に示す。排出側の結果は、主桁上に突出しているそれぞれのグラウトホースから排出された PC グラウトをバケツに半分程度受け取り、測定位置まで運んだあとに流下時間を測定したものである。そのため、採取方法、運搬から計測開始までの時間差とその時間差による温度変化等の影響もあり参考値ではあるものの、練混ぜ直後の流下時間（平均 4.60 秒）に比べて、排出側の流下時間（平均 12.54 秒）は非常に遅くなった結果である。

PC グラウトの温度に関して、この橋では排出側の温度計測を行っていなかった。そのため低下温度を特定できな

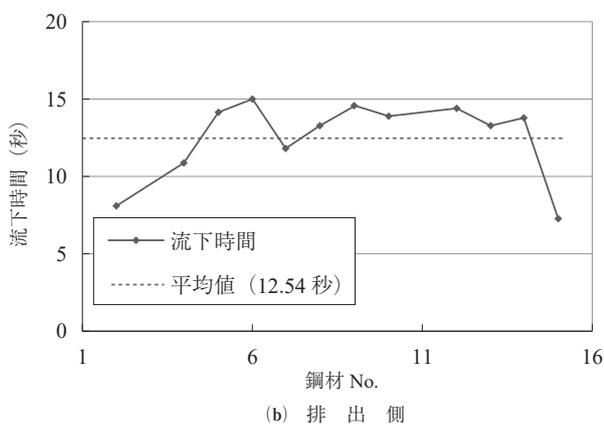
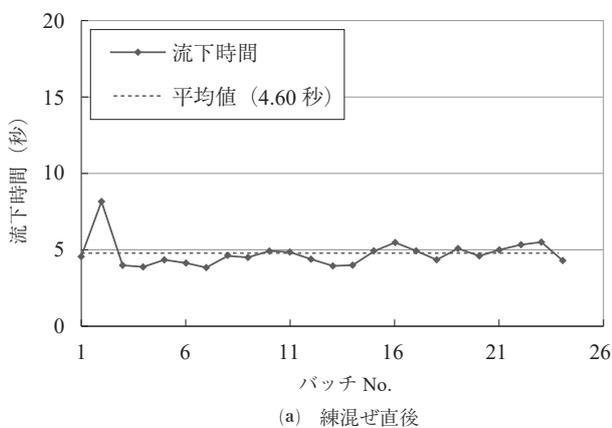


図 - 8 JP 漏斗による流下時間 (A 橋)

かったが、排出された PC グラウトの触感により明らかに PC グラウト温度が低下していたことを確認している。施工日の前夜は例年の平均最低気温 10℃ 程度に対して 5℃ 程度まで下がっており、翌日に外気温が 11℃ 程度に回復した。すなわち、注入した PC グラウトがシースや PC 鋼材を通過する際に温度が下げられた理由として、コンクリート内部に配置されているシースでは、日中において同程度の温度回復が行われなかったことが考えられる。なお、1 本のケーブルに PC グラウトを注入する時間は 20 分程度であった。

PC グラウトの流動性には、PC グラウトの温度が大きく影響を及ぼす。そのため、排出側で PC グラウトのフレッシュ性試験を実施する際には、PC グラウト温度の計測も同時に実施することが必要であると考えている。

5.2 B 橋

B 橋における練混ぜ直後とシースの排出側で採取した PC グラウトの JP 漏斗による流下時間の測定結果を、図 - 9 に示す。排出側の測定方法については、A 橋と同様にグラウトホースから排出された PC グラウトをバケツに半分程度受け取り、測定位置まで運んだあとに流下時間を測定したものである。

注入側と排出側ともに PC グラウト温度の上昇と降下に伴い、JP 漏斗の流下時間も変動する傾向にあることが確認される。また、排出側においては、練混ぜ直後の PC グラウトが注入作業により冷却され、PC グラウト温度が 10℃ 程度下がり、そのため流下時間も 5 秒程度長くなっていることが確認される。

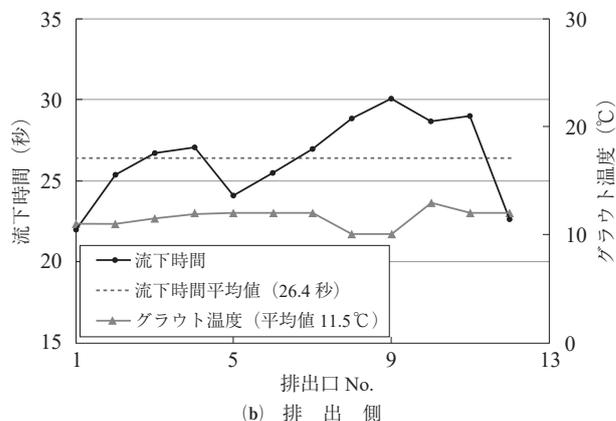
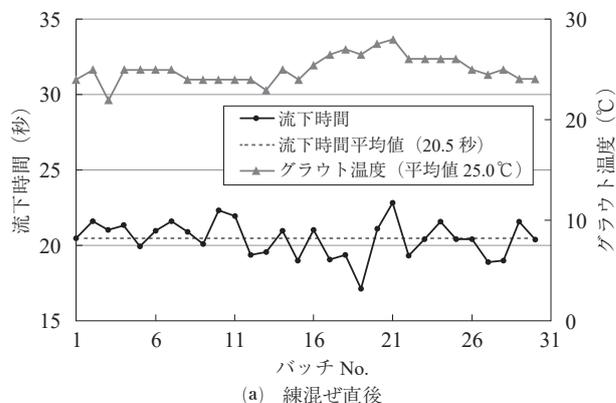


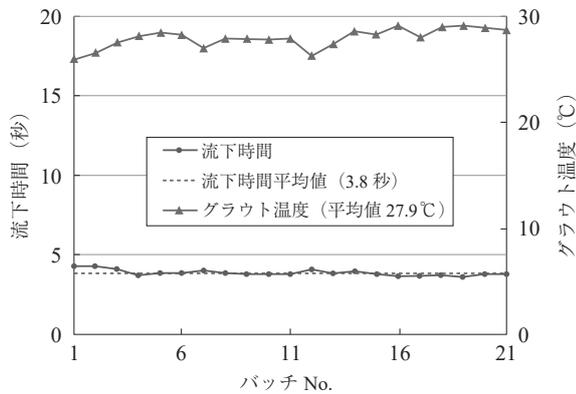
図 - 9 JP 漏斗による流下時間 (B 橋)

5.3 C 橋

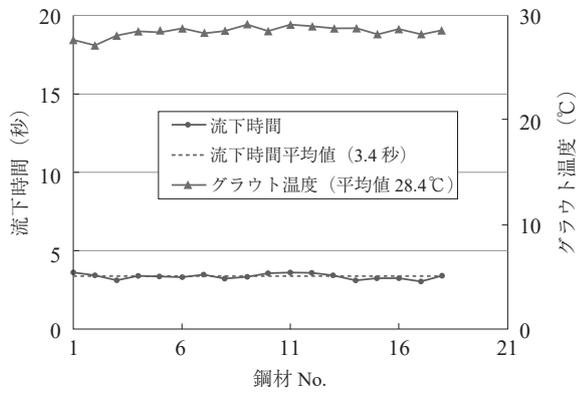
C 橋における練混ぜ直後とシースの排出側で採取した PC グラウトの JP 漏斗による流下時間の測定結果を、図 - 10 に示す。排出側の測定方法については、A 橋および B 橋と同様である。

排出側の結果は、参考値ではあるが、PC グラウトの温度変化がほとんどなく、練混ぜ直後と排出側の流下時間は安定しており、ほぼ同じ結果となっている。

低温環境下での A 橋および B 橋の報告では、PC グラウトの温度に関して、A 橋の排出側の温度を計測していなかったものもあるが、PC グラウトの温度が低下していたことが推測できた。これらの結果より、PC グラウトの流動性には PC グラウトの温度が大きく影響することが改めて確認できた。



(a) 練混ぜ直後



(b) 排出側

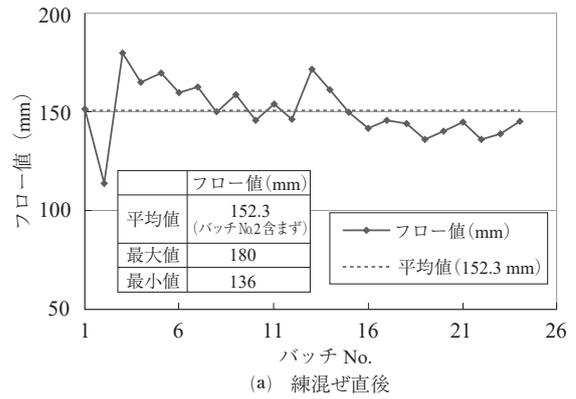
図 - 10 JP 漏斗による流下時間 (C 橋)

6. フロー値

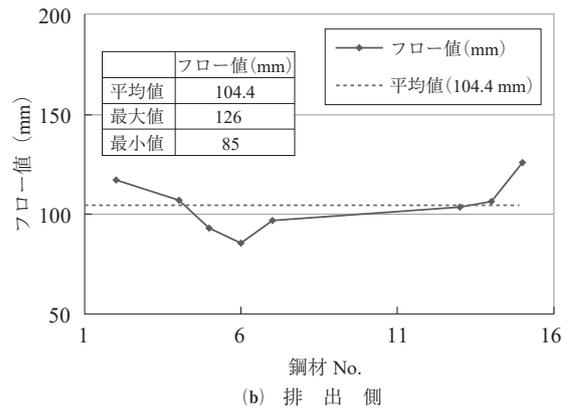
フロー値の測定には、フローコーン Φ 50 × H51 mm (JASS 15M-103) を使用し、日本建築学会基準 (JASS 15M-103) に準拠した。

6.1 A 橋

A 橋における練混ぜ直後とシースの排出側で採取した PC グラウトのフロー値の測定結果を、図 - 11 に示す。流下時間と同様に、排出側のフロー値の平均値は、練混ぜ直後の 152 mm より小さい 104 mm になっている。この結果より、既往の研究¹⁾と同様に、PC グラウトの温度が低く



(a) 練混ぜ直後



(b) 排出側

図 - 11 フロー試験によるフロー値 (A 橋)

なると、JP 漏斗の流下時間が長くなるとともに、フロー値が小さくなっている。

6.2 B 橋

B 橋における練混ぜ直後とシースの排出側で採取した PC グラウトのフロー値の測定結果を、図 - 12 に示す。注入側におけるフロー値の平均値は 146 mm であったが、排出側では 158 mm と若干大きくなっている。PC グラウト温度が 10°C 程度下がり、かつ流下時間も前述したように、平均で 20.5 秒から 26.4 秒に、5 秒程度長くなっている。既往の研究¹⁾においては、JP 漏斗の流下時間の増加に伴いフロー値は低下する傾向にあるとされているが、今回の試験においてはそれとは逆の傾向が認められる。

排出側で採取された PC グラウトは、10°C 程度の温度低下とともに、PC グラウトの水分が注入中に PC 鋼材などの表面で吸着して減少したことなどが、フロー値と流下時間に温度低下が及ぼすそれぞれの影響程度が異なることなどの原因であると考えられる。今後検討していきたい。

また、19 バッチにおいて、フロー値が突出していることが確認できた。前述した JP 漏斗による流下時間を見ても、平均値より 3 秒以上も遅くなっており、双方の関係から、JP 漏斗による流下時間では数秒の差であるが、フロー値には大きな影響を及ぼしたものと推測している。

6.3 C 橋

C 橋における練混ぜ直後とシースの排出側で採取した PC グラウトのフロー値の測定結果を、図 - 13 に示す。注入側と排出側でのフロー値の平均値はほぼ同じで、かつ変

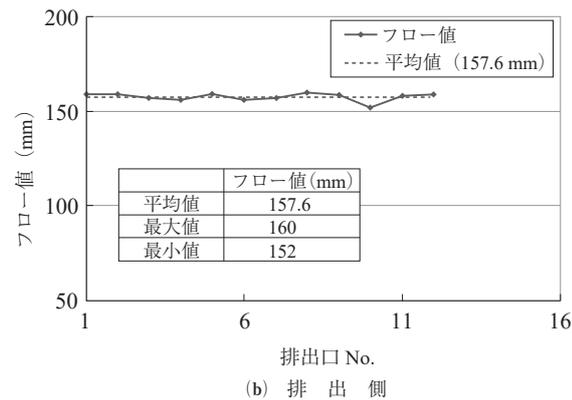
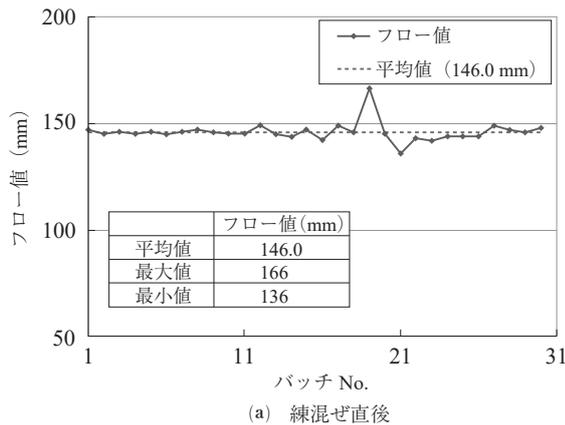


図 - 12 フロー試験によるフロー値 (B橋)

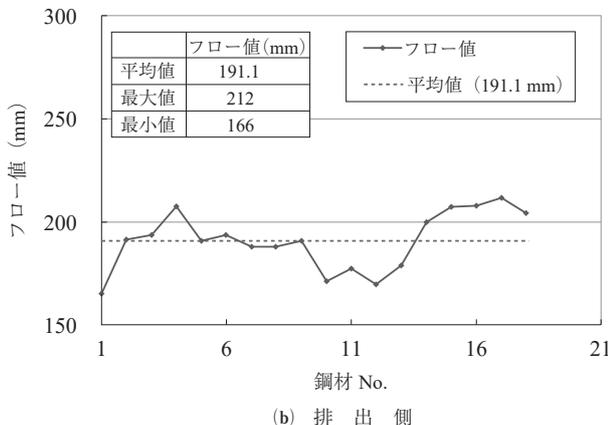
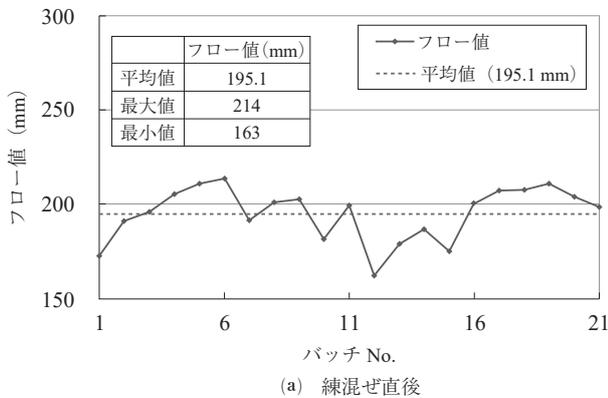


図 - 13 フロー試験によるフロー値 (C橋)

動状況も同様な傾向である。この結果からも、PCグラウトの温度変化がほとんどない場合には、PCグラウトの流動性はほとんど変動しないことが改めて確認された。

また、B橋と同様に、JP漏斗による流下時間ではほとんど測定値に差がないが、フロー値では測定値が大きく変動していることが確認された。

7. 単位容積質量および水粉体比または水セメント比

単位容積質量試験は、JIS A 1116 に準拠した。容器には、Φ100×H200 mm の簡易型枠を用いた。計量に用いたばかりは、ひょう量が3 kgで、最小表示が1 gのものを使用した。

7.1 A 橋

(1) 単位容積質量

A橋における練混ぜ直後のPCグラウトの単位容積質量の計量結果を、図 - 14 に示す。流下時間の測定やフロー試験と異なり、2バッチ目の値が特異となっていない。ここでは、測定作業の都合により、2バッチ目のみが試料採取後すぐに計測を行うことができなかったため、試料の静置による流動性の低下が流下時間とフロー値に影響を及ぼしたことが原因であると推測している。しかしながら、単位容積質量の試験にはこのような影響を及ぼさない結果である。

PCグラウト材料の内容量が25 kgの袋である場合には、計算による単位容積質量は1.99 g/cm³となる。また、袋でのPCグラウト材料の計量結果の平均値である25.31 kgを用いて計算した場合には1.99 g/cm³となる。単位容積質量試験の結果は平均値が2.00 g/cm³であり、計量結果の平均値から求める値に近い結果を示しており、比較的精度良く水粉体比の測定が行えると考えられる。

排出側の計量結果を表 - 2 に示す。練混ぜ直後と排出側の比較では、排出後の単位容積質量が大きくなっている。これは、PCグラウト注入時に僅かに水分がPC鋼材などの表面に吸着されたことが原因と考えられる。

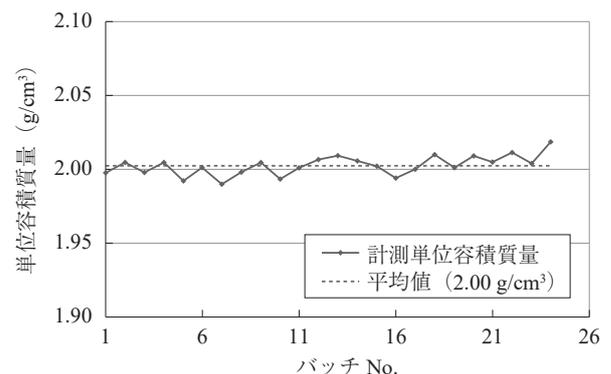


図 - 14 練混ぜ直後の単位容積質量 (A橋)

表 - 2 単位容積質量の試験結果 (排出側)

ケーブル	単位容積質量 (g/cm ³)
1	2.03
2	2.03
3	2.03
平均値	2.03

(2) 水粉体比 (W/P)

練混ぜ直後の単位容積質量の試験結果から算出した水粉体比を、図 - 15 に示す。実際に練り混ぜられた PC グラウトの水粉体比の平均値は 34.7% となっている。一方、プレミックス材の質量計量結果から推定した水粉体比は、35.6% (計量時の平均値) であり、試験結果が推定値より、1.0% 程度小さい値となっている。

計測により求めた水粉体比が推定値よりも小さくなったのは、用いた PC グラウトは超低粘性のものであり流動性が高く、水に近い性状を示すため、測定時の試料上面が表面張力によって盛り上がっていることによると考えている。すなわち、計測した PC グラウトの質量が容器の容積のものよりも多めのものであったと考えられる。

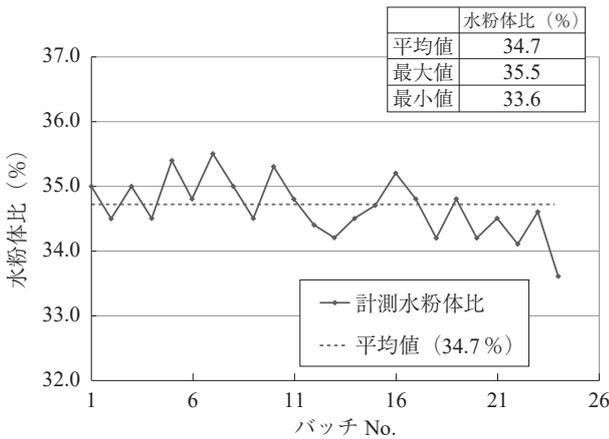


図 - 15 単位容積質量の試験結果から推定した水粉体比 (A 橋: 練混ぜ直後)

7.2 B 橋

(1) 単位容積質量

B 橋における練混ぜ直後とシースの排出側で採取した PC グラウトの単位容積質量の計量結果を、図 - 16 に示す。実測した単位容積質量は、セメントの実質量の計算値に対して最大でも 1% 程度の誤差であり、実測値の変動に対してセメント実質量から求めた計算値も追従した値を示している。ここに示すセメントの実質量の計算値とは、事前に測定したセメント質量を用いて、練混ぜバッチごとの単位容積質量を計算した値である。

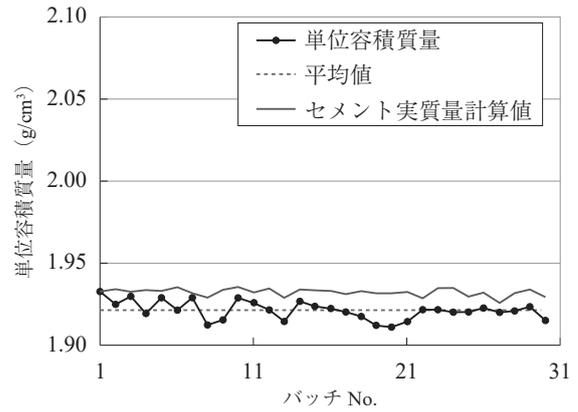
この試験からも、単位容積質量試験は、水セメント比を推定するためには、かなり精度の良い試験方法である。

なお、注入側と排出側での単位容積質量の変化を比較すると、排出側のほうが大きくなっている。これは、PC グラウトが注入側から排出側まで移動する際に、ポリエチレンシーソおよび PC 鋼材の表面で水分が吸着されたことによるものと考えられる。

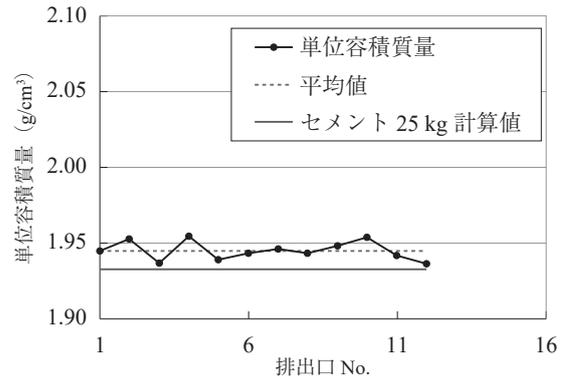
(2) 水セメント比 (W/C)

練混ぜ直後の単位容積質量の試験結果から推定した水セメント比を、図 - 17 に示す。ここで示す実水セメント比とは、事前に測定したセメント質量を用いて、練混ぜバッチごとに水セメント比を計算した値である。

単位容積質量の試験結果から推定した水セメント比は、



(a) 練混ぜ直後



(b) 排出側

図 - 16 単位容積質量 (B 橋)

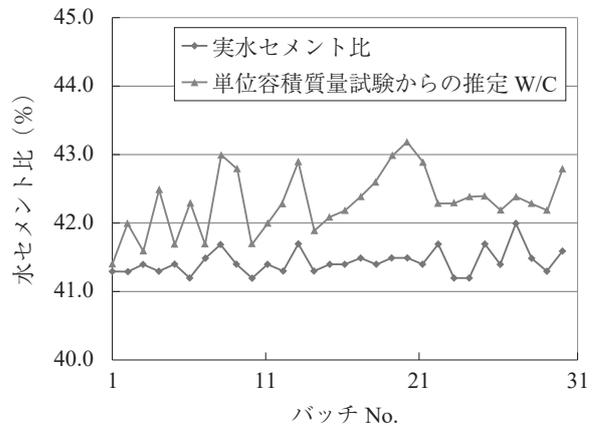


図 - 17 単位容積質量の試験結果から推定した水セメント比 (B 橋: 練混ぜ直後)

実水セメント比と比べて若干大きめの値 (1% 程度) を示しているが、この差は同じような変動傾向にある。

単位容積質量の試験結果から推定した水セメント比が実水セメント比に比べ若干大きくなるのは、単位容積質量の試験結果から推定した水セメント比には、セメント 1 袋を実際に測定した値より若干小さい 25 kg を用いて計算していることによる。また、高粘性の PC グラウトであることから、投入時と練混ぜ時に空気を巻き込んでいたが、この空気量は水セメント比の計算には考慮していないためであると考えられる。

7.3 C 橋

(1) 単位容積質量と水粉体比 (W/P)

C橋における単位容積質量の練混ぜ直後とシースの排出側で採取したPCグラウトの計量結果を、図-18に示す。排出側の単位容積質量の測定結果には、若干のばらつきが見られるが、注入側の測定結果とほぼ同じ値となっている。

PCグラウト材料の内容量が25kg/袋である場合の単位容積質量は1.99g/cm³であり、PCグラウト材料の計量結果の平均値である25.27kg/袋を用いて計算した場合は2.00g/cm³である。単位容積質量の試験結果から推定したものの平均値は2.00g/cm³であり、プレミックス材の実質量の平均値から推定した値とほぼ同じ結果を示しており、かなり精度良く水粉体比の測定が行えることが改めて確認された。

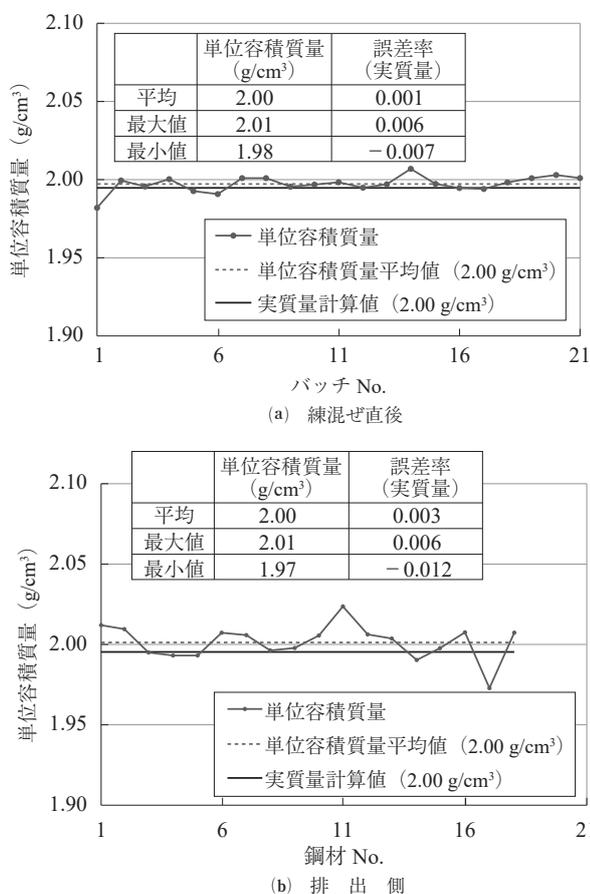


図-18 単位容積質量 (C橋)

8. 現場注入時における品質管理方法の提言

PCグラウトは配置されたPC鋼材のシース内に確実に充填させることにより、PC鋼材の保護およびコンクリートとの一体性を確保することができる。そのためには、PCグラウトそのものに関わる要求品質の一つである「材料そのものにかかわる品質」のプリーディング率、体積変化率、圧縮強度および塩化物イオン含有量の規定値を満足しなければならない。また、「充填性を担保するための適切なPCグラウトの流動性」を確保する必要がある⁵⁾。

PCグラウトの「材料そのものにかかわる品質」については、検査手法とその規格値が明確化されている。そして、各製造会社による基準試験と工事ごとの基準試験において、それぞれ所定の方法と頻度で確認されている⁵⁾。

一方、「充填性を担保するための適切なPCグラウトの流動性」については、検査手法と規格値は明確化されているが、その値が直接的に充填性を担保することにはならない。そのため、それぞれの指標を確認し、間接的に充填性を担保している⁵⁾。

工事ごとの基準試験および施工時の日常管理試験においては、現場注入試験の結果²⁻⁴⁾とこれまで報告した温度と材料の計量誤差がPCグラウトの品質に及ぼす影響の結果⁶⁻⁸⁾に基づいて、以下に示す品質管理方法を、特に現場注入時において適用することを提示する。

8.1 工事ごとの基準試験 (試し練り)

- (1) PCグラウトの「充填性を担保するための適切なPCグラウトの流動性」は、外気温などの環境条件に依存するため、工事ごとの基準試験は、実際にPCグラウトを施工する時期の外気温などにできるだけ近づけて実施する必要がある。
- (2) 工事ごとの基準試験は、「材料そのものにかかわる品質」を確認するとともに、「充填性を担保するための適切なPCグラウトの流動性」を設定する必要がある。具体的には、実物を模擬して、実施工の機械・器具を用いた実物大試験を実施し、PCグラウトの充填性が確保される流動性を設定する必要がある。
- (3) 年間を通してPCグラウトの施工を行うような現場においては、冬期、夏期および春期・秋期を代表する3種類の外気温などにおける工事ごとの基準試験を実施して、確実にPCグラウトが充填される適切な流動性を選定する必要がある。

8.2 日常管理試験

- (1) 施工前に使用材料を計量し、平均質量を算出して、配合計画を行う必要がある。そして、袋詰めセメントについては、搬入された材料の一部または全数を計量し、その平均値を配合計算に使用する質量とする。なお、PCグラウト混和剤およびプレミックス材については、材料に表示されている質量を用いてよい。
- (2) 材料の保管については、外気温との差異が小さくなるように適切に保管する。そして、直射日光の影響を避けるために、シート掛けまたは倉庫内で貯蔵する。特に夏期の施工時においては、セメント類を温度調整設備が配置されている倉庫において保管すること、および材料の練混ぜ時の温度上昇に備えた水温コントロールユニット等の機材を用いることを、それぞれ推奨する。
- (3) 施工日ごとの外気温に合わせて、工事ごとの基準試験の外気温などに基づいて設定した水粉体比または水セメント比を微調整する。そして、実物大試験で設定した「充填性を担保するための適切なPCグラウトの流動性」を確保する必要がある。
- (4) PCグラウトの練混ぜ直後には、JP漏斗またはフロー

コーンによる流動性試験を実施し、その日に使用した PC グラウト材料の品質を確認することにより、選定した PC グラウトの品質を担保しておく。

- (5) 最初の連続3バッチで JP 漏斗またはフローコーンによる流動性を測定し、それと並行して PC グラウトの温度を測定し、その後は、全バッチの温度測定をすることにより、日常管理試験を厳格化し、かつ簡素化することができる。なお、流動性を連続的に安定させるためには、材料の質量を所定の範囲に収めるとともに、最初の連続3バッチの PC グラウトの流動性が安定して、かつ練り混ぜられた PC グラウトの温度も安定していることを確認することが、もっとも適切な方法である。
- (6) 施工中に PC グラウトの温度が 5℃以上変化した場合には、材料の恒温状態が維持できていない変動があったと想定されることから、その時点で PC グラウトの流動性の確認を行うこととする。
- (7) 単位容積質量試験は、練り上がった PC グラウトのわずかな水セメント比または水粉体比の変動に対しても追従しており、これらの推定が可能である。品質管理における有効な手法の一つであるため、PC グラウトの注入前に、単位容積質量試験を実施する。

9. ま と め

PC グラウトの温度および単位容積質量が品質に及ぼす影響を把握するために、現場注入試験を3箇所において実施した結果をまず報告した。すなわち、現場注入試験では、日常管理試験方法を検討することを目的として、連続して練り混ぜられた直後の PC グラウトとシースの排出側で採取された PC グラウトにおけるフレッシュ性状と練混ぜ温度の変動、ならびにセメント、PC グラウト混和剤またはプレミックス材の PC グラウト材料の質量を計量し、PC グラウトの製造時における材料質量のばらつきが及ぼす影響を報告した。そして、現場注入試験の結果とこれまで報告した温度と材料の計量誤差が PC グラウトの品質に及ぼす影響の結果に基づいて、現場注入時における日常管理方法を提示した。本研究により、以下の知見が得られた。

- (1) プレミックス材および PC グラウト混和剤の質量のばらつきは±1.0%以内であり、質量管理が比較的良い。
- (2) 袋詰めセメントの質量については、+2.4～-1.7%の大きなばらつきがあり、25 kg を下回るものが半数程度確認できた。そのため、袋詰めセメントの一部または全部を計量しなければならない。
- (3) A 橋の冬期施工においては、注入した PC グラウトがシース内で冷やされると、練混ぜ直後より排出側の方

が JP 漏斗による流下時間は長くなり、フロー値は小さくなることが確認できた。

- (4) B 橋と C 橋の結果から、グラウト温度が変化しないことにより、PC グラウトのフレッシュ性状が安定して変化しないことが確認できた。そのため、PC グラウトの温度を一定に保つことにより、PC グラウトのフレッシュ性状を安定させることができる。
- (5) 単位容積質量試験は、練り混ぜられた PC グラウトの水粉体比または水セメント比を推定する有効な手法であり、PC グラウトの、特に現場注入時における品質管理に有用である。

謝 辞

本論文は、プレストレストコンクリート工学会 PC グラウトの設計・施工規準改訂委員会の検査 WG における平成 23、24 年度の活動成果の一部を報告したものである。

参考文献

- 1) 細野宏巳, 山口光俊, 野鳥昭二, 山口隆裕, 辻 幸和: PC グラウトの流動性評価と品質管理方法に関する研究, 土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造) Vol.71, No.1, pp.72-85, 2015.1
- 2) 國富康志, 武部行男, 中田 学, 呉 承寧: 近年の PC グラウトに関するフレッシュ性状確認統一試験 (フィールド試験 1), 第 21 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, pp.605-608, 2012.10.
- 3) 西村一博, 矢口 稔, 細野宏巳, 呉 承寧: PC グラウトのフレッシュ性状に関する統一試験 (フィールド試験 2), 第 21 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, pp.609-612, 2012.10.
- 4) 細野宏巳, 大城 敦, 野鳥昭二, 呉 承寧: PC グラウトのフレッシュ性状に関する統一試験 (フィールド試験 3), 第 22 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, pp.249-252, 2013.10.
- 5) (公社)プレストレストコンクリート工学会: PC グラウトの設計施工指針-改訂版-, 2012.12.
- 6) 吉松秀和, 山口隆裕, 野鳥昭二, 呉 承寧: PC グラウトのフレッシュ性状に関する統一試験 (室内試験 1), 第 21 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, pp.597-600, 2012.10.
- 7) 鈴木雅博, 野鳥昭二, 堀 健治, 呉 承寧: 低温環境下における各種 PC グラウトの材料特性 (室内試験 2), 第 21 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, pp.593-596, 2012.10.
- 8) 本田 亮, 二井谷教治, 野鳥昭二, 呉 承寧: PC グラウトのフレッシュ性状に関する統一試験 (室内試験 3), 第 21 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, pp.601-604, 2012.10.

【2017 年 10 月 12 日受付】