

◇技術紹介 Technical Report

高性能な流動化コンクリート 「フローアップクリート®」 Application Examples of High-Flowing Concrete “Flow-Up-Crete®”

神代 泰道
酒井 正樹
吉田 理紗

Yasumichi Koshiro
Masaki Sakai
Risa Yoshida

1. はじめに

建築物の耐震性向上に伴い、コンクリート工事においては高密度配筋や締固めが困難となる箇所が多くなり、流動性の高いコンクリートに対するニーズが高くなっている。これまでは単位セメント量を多くして流動性と分離抵抗性を高めた高流動コンクリートを用いることが多かった。しかしながら、建物に要求される設計基準強度が 36N/mm^2 以下であっても、強度レベルを上げた高流動コンクリートで対応するケースが多く、コストアップや水和熱による温度ひび割れの可能性が高くなるなどの課題があった。これに対して近年では、トンネル覆工用として、増粘型高性能 AE 減水剤により単位セメント量の増加を抑制した中・高流動コンクリートが適用されている¹⁾。しかし、スランプフロー管理となるため、JIS A 5308 レディーミクストコンクリートの範囲外となり、建築物に適用する場合には国土交通大臣の認定を取得する必要がある、普及しにくかった。そのため増粘成分を有する流動化剤を用いて、従来の流動化コンクリートよりも高い流動性と材料分離抵抗性を併せ持つ、高性能な流動化コンクリート「フローアップクリート」を開発した。ここでは適用事例と用途拡大に向けた実験結果について報告する。

2. 技術の概要

高性能な流動化コンクリート「フローアップクリート」に用いる流動化剤は増粘成分と分散剤（ポリカルボン酸系）を組み合わせたもので、JIS A 6204 「流動化剤」の規格に適合する。JIS A 5308 レディーミクストコンクリートに適合する呼び強度 45 以下の普通コンクリートの荷卸し後に、JIS A 6204 の流動化剤を添加する点は従来の流動化コンクリートと同様である。日本建築学会 JASS5（2009）における流動化コンクリートは、流動性を高めると材料分離の恐れがあるため、調合管理強度が 33N/mm^2 以上の場合、ベースコンクリートのスランプは 18cm 以下、流動化後のスランプは 23cm 以下としている²⁾。これに対して、増粘成分を有する流動化剤では、高い流動性に見合った材料分離抵抗性を付与できるため、流動化後のスランプをさらに大きくすることができる。また、ブリーディングが少なく均質性に優れ、流動化後の流動性の保持能力が高い流動化コンクリートを実現できる。Table 1 にフローアップクリートの性能、Fig. 1 に

流動化後のスランプの経時変化のイメージを示す。詳細については文献 3), 4) を参照されたい。単位セメント量を増加させずにコンクリートの流動性を高めることができ、従来の高流動コンクリートと比較して水和熱によるひび割れの発生リスクが低減され、経済性にも優れる。また、トラックアジテータによる攪拌で製造可能で、特別な装置・設備は不要であるため、高強度コンクリートの製造実績のない地区においても流動性の高いコンクリートを供給できる。

なお、フローアップクリートの適用にあたっては、室内試験練りを必ず実施して品質を確認する、流動化剤の投入は専任の技術者が行い流動化の前後でコンクリートの品質管理を実施する、流動化後のコンクリートの品質の責任区分を明確にする、などの点に留意する必要がある。

Table 1 フローアップクリートの特長

Performance of Flow-Up-Crete	
比較対象	特長
従来の流動化コンクリート	・より高い流動性と材料分離抵抗性を付与 ・流動性を長時間保持できる
ベースコンクリート	・ブリーディング量は減少する ・圧縮強度は同等 ・乾燥収縮率は同等以下

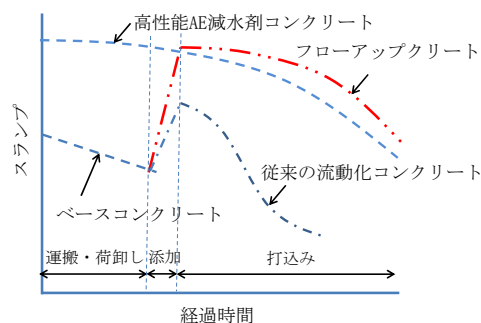


Fig. 1 流動化後のスランプの経時変化のイメージ
Concept of Concrete Slump Change with Time

3. 適用事例

フローアップクリートは、CFT 造、免震基礎、耐震改修工事、マスコンクリート工事³⁾、トンネル 2 次覆工など現在 9 件の適用実績がある。ここでは CFT 造におけるポンプ圧入工法とトンネル 2 次覆工における長距離圧送の事例について紹介する。

3.1 CFT 造

3.1.1 概要 8階建ての建築物のCFT造（コンクリート充填鋼管構造）の圧入工法にフローアップクリートを適用した。コンクリートの設計基準強度は 24N/mm^2 であった。圧入工法とは、鋼管柱の柱脚に設けた圧入口からコンクリートを一気に数10mの高さまでポンプによって押し上げる工法である。本工法では、締め固めができないため、スランプフローで管理する高強度コンクリートを用いるが、近隣の生コン工場は高強度コンクリートの製造実績がなく、出荷ができなかった。そのため、フローアップクリートを適用することとなった。CFT造へは初めての適用であったため、事前に Photo 1 に示す高さ10mのCFT模擬柱を用いた実大施工実験を行い、圧入工法への適用性を確認した⁴⁾。これらの実験結果を施工計画に反映し、ベースコンクリートは生コン工場における呼び強度40、スランプ18cm、高性能AE減水剤を用いたコンクリートとし、荷卸し後に流動化剤を添加してスランプフロー $60\pm 10\text{cm}$ のフローアップクリートとした。ベースコンクリートの調合表を Table 2 に示す。柱は内ダイアフラムを有する角型鋼管（ $650\times 650\text{mm}$ 、開口率15.8%）であり、本数は30本である。コンクリートを充填する高さは30mであり、これを12mと18mの2回に分け、1回目は6月、2回目は7月に圧入した。

3.1.2 適用結果 コンクリートの品質管理データを収集するため、スランプおよびスランプフロー試験については全車に対して、空気量および圧縮強度の試験は3台ごとに行った。ベースコンクリートの荷卸し時と流動化後のフレッシュ性試験状況を Photo 2 に示す。ベースコンクリートと流動化コンクリートのスランプおよびスランプフローの試験結果を Fig. 2 に示す。ベースコンクリートのスランプは管理値 $18\pm 2.5\text{cm}$ に対して $16.5\sim 20.5\text{cm}$ の範囲であり、平均で 19.0cm であった。流動化後のスランプフローは管理値 $60\pm 10\text{cm}$ に対して $50.0\sim 69.5\text{cm}$ であり、平均は 60.0cm であった。なお、コンクリート温度は $26\sim 31^\circ\text{C}$ であり、空気量は流動化の前後で $\pm 1\%$ 程度変動したが、いずれも管理値内（ $3.5\pm 1.5\%$ ）であった。以上のようにベースコンクリートおよび流動化コンクリートともにフレッシュコンクリートの管理状況は良好であった。CFT造の鋼管内部のコンクリートの打込み状況を Photo 3 に示す。平面を保持した状況で打ち上がり、鋼管に作用する圧力に著しい上昇もなく、良好な施工性を確認できた。Fig. 3 に圧縮強度の試験結果を示す。圧縮強度は流動化の方が平均して 1.6N/mm^2 高かった。

Table 2 ベースコンクリートの調合
Mix Proportion of Base Concrete

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)					SP (%)
		W	C	S	G1	G2	
36.5	48.5	170	472	805	434	430	0.55

C：高炉セメント B 種，S：川砂，G1：川砂利，G2：山砂利，SP：高性能 AE 減水剤（ポリカルボン酸系）



Photo 1 実大施工実験⁴⁾

Experiment on Construction with Full-Scale CFT Column



ベース

流動化後

Photo 2 荷卸し時と流動化後のフレッシュ性

Property of Fresh Concrete before and After High-Flowing

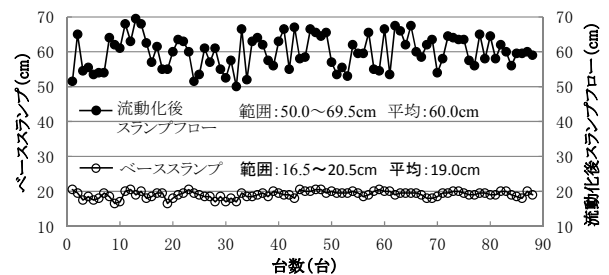


Fig. 2 スランプ・スランプフローの試験結果

Test Results of Slump and Slump-Flow



Photo 3 CFT 造の鋼管内の打込み状況

Concrete Placement in Steel Tube by CFT Column

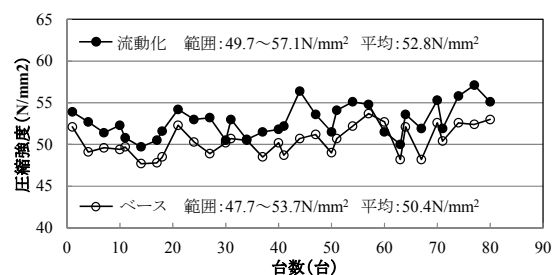


Fig. 3 圧縮強度の試験結果

Test Results of Compressive Strength

3.2 トンネル二次覆工

3.2.1 概要 本トンネルは合流式下水道の改善及び浸水被害の軽減を図るため整備される下水道幹線で、口径 ϕ 2,200mm、長さ2,023mの泥土圧シールド工で構築された。トンネル二次覆工用コンクリートは、地上に設置されたポンプ車から最大距離で650m圧送する計画である。コンクリートのスランプは原設計では21cmであったが、夏期における長距離のポンプ圧送性を確保するため、6月中旬からフローアップクリートに切り替えた。ベースコンクリートの調合をTable 3に示す。呼び強度30、スランプ21cmであり、荷卸し後に流動化剤を添加してスランプ23cmとした(Photo 4)。型枠セントルの長さは12mであり、型枠頂部に設けた1ヶ所の投入口から圧入した。側面の確認孔から必要に応じてパイプレータを用いて締固めを行った。

3.2.2 適用結果 コンクリートの打込み状況をPhoto 5に示す。側面の確認孔からもコンクリートが分離することなく流動している様子を確認できた。ポンプ主油圧は適用前に比べて60%程度に小さくなった。650mの長距離圧送においても、ポンプ配管の閉塞もなく順調に圧送できた。コンクリートの仕上がり状況はPhoto 6に示すように良好であった。また、打込みの翌日に型枠セントルを移動するが、その際のコンクリートの剥離性もよく、型枠の清掃時間を短縮することができた。

4. 軽量・重量コンクリートの性状改善

フローアップクリートの用途拡大として、軽量骨材、重量骨材を用いたコンクリートへの適用を実験的に検討した。軽量コンクリートは、経過時間と圧送によるスランプ低下が大きくなり、高所圧送時には配管閉塞などのトラブルも多く、高い流動性を保持することが課題である。重量コンクリートは、材料分離が生じやすいため、スランプの小さい調合にする必要があるが、鉄筋や設備スリーブが多く配置された部材への適用する場合、充填性の確保が課題となる。フローアップクリートの適用により、それぞれの課題の解決が可能と考える。

4.1 軽量コンクリート

軽量コンクリートは高い流動性を保持することが課題となる。そこでスランプの経時変化を実験的に確認した⁶⁾。実験では経過時間90分においてスランプ18cm以上確保することを目標とした。コンクリートはスランプ21cmの通常のものとはベースコンクリートのスランプを18cmとし、これを21cmと23cmに流動化した場合とを比較した。23cmに流動化した場合のスランプ試験の形状をPhoto 7に示す。スランプ23cmとしても骨材等の分離は見られなかった。また、ブリーディング量は $0.09\text{cm}^3/\text{cm}^2$ で、通常のスランプ21cmの $0.14\text{cm}^3/\text{cm}^2$ より減少した。スランプの経時変化をFig.4に示す。21cmに流動化した場合、通常のコンクリートとほぼ同様の変化を示し、75

分程度で18cmを下回った。一方、23cmに流動化した場合は、90分まで18cm以上確保できた。以上の結果、23cmに流動化することで、高い流動性を長時間保持できることを確認した。

Table 3 ベースコンクリートの調合

Mix Proportion of Base Concrete							
W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
		W	C	S1	S2	G	SP
51.6	51.0	175	339	619	272	888	3.90

C：普通ポルトランドセメント，S1：山砂，S2：石灰砕砂，G：石灰砕石，SP：高性能 AE 減水剤（遅延型）

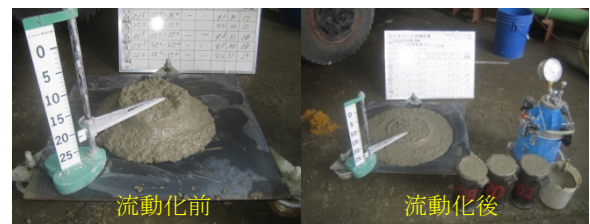


Photo 4 流動化前後のフレッシュ性状

Property of Fresh Concrete before and After High-Flowing



Photo 5 コンクリートの打込み状況
Concrete Placement in Steel Form



Photo 6 コンクリート表面の仕上がり状況
Finishing of Concrete Surface

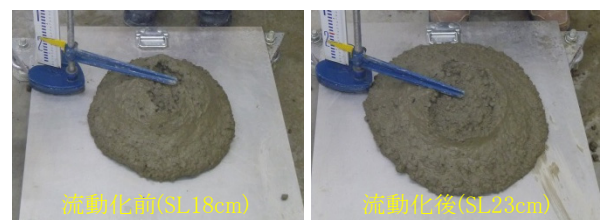


Photo 7 軽量コンクリートのスランプの形状
Test Results of Light Weight Concrete Slump

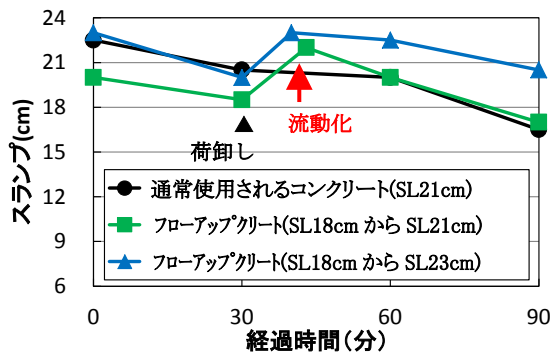


Fig. 4 軽量コンクリートのスランプの経時変化
Light Weight Concrete Slump Change with Time

4.2 重量コンクリート

重量コンクリートについては、模擬部材 (W800×D400×H2000mm) を用いた実大施工実験を行って適用性を確認した⁷⁾。実験では構造体コンクリートの気乾単位容積質量が 3.3t/m^3 以上となることを目標とした。表乾密度が 4.0g/cm^3 以上の金属スラグ系の重量骨材を用い、ベースコンクリートのスランプ 10cm とし、これを 21cm に流動化した。スランプの形状を Photo 8 に示す。左側は同じ骨材を用いたスランプ 18cm のコンクリートであるが、骨材の分離が認められた。一方、右側のフローアップクリートでは、増粘成分の効果により高い材料分離抵抗性が確保できた。また、ブリーディング量もベースコンクリートの $0.28\text{cm}^3/\text{cm}^2$ に対し、流動化後では $0.15\text{cm}^3/\text{cm}^2$ に低減した。

実大模擬部材の仕上り状況とコアによる単位容積質量の分布を Fig. 5 に示す。実大模擬部材は落とし込みにより打ち込んだが、普通骨材を用いたコンクリートと同様に内部振動機を用いて締固めができた。鉄筋およびスリーブの周囲にも骨材が均質に回り込み、充填性は良好であった。単位容積質量は、下部ほど大きくなる傾向があるが、いずれの箇所も目標値を確保できることを確認した。

5. まとめ

増粘成分を有する流動化剤を用いた高い流動性と材料分離抵抗性を有する高性能な流動化コンクリート「フローアップクリート」について、CFT 造におけるポンプ圧入工法とトンネル 2 次覆工における長距離圧送の事例について紹介した。また、軽量コンクリートや重量コンクリートの性状を改善できることを示した。今後もフローアップクリートを活用し、信頼性の高いコンクリート構造物の構築に役立てたい。

謝辞

本技術の適用にあたり、日本シーカ株式会社の方々に多大なご協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。



通常の重量コンクリート (SL18cm) フローアップクリート (SL10cm→21cm)

Photo 8 重量コンクリートのスランプの形状
Test Results of Heavy Weight Concrete Slump

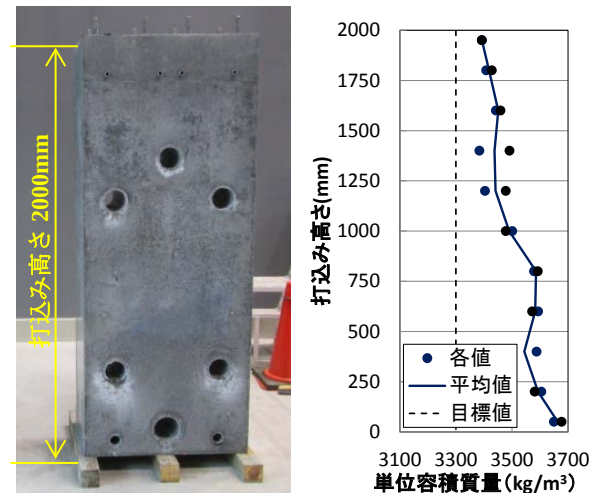


Fig. 5 実大模擬部材の仕上り状況と単位容積質量
Finishing and Unit Weight of Concrete Model

参考文献

- 1) 桜井邦昭, 近松竜一, 谷口信博, 秋好賢治: トンネル覆工用増粘剤系中流動コンクリートの実用化検討, コンクリート工学年次論文集, Vol. 33, No.1, p.p.1343-1348, 2011
- 2) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 JASS5, pp.440-442, 2009
- 3) 小河俊博, 齋藤賢, 神代泰道, 一瀬賢一: 増粘型流動化剤を用いた流動化コンクリートの各種性状, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, pp.1426-1431, 2014
- 4) 神代泰道, 並木憲司: 高性能な流動化コンクリートの開発, 大林組技術研究所報, No.77, 2013
- 5) 都築 正則, 神代 泰道, 酒井 正樹: 施工性および品質を改善したコンクリートの開発と適用, 大林組技術研究所報 No.78 2014
- 6) 吉田理紗, 神代泰道, 酒井正樹, 並木憲司: 軽量コンクリートのスランブロス対策に関する実験, 日本建築学会学術講演梗概集 (関東), pp.495-486, 2015
- 7) 神代泰道, 酒井正樹, 吉田理紗, 並木憲司: 重量コンクリートを用いた実大施工実験, 日本建築学会学術講演梗概集 (関東), pp.781-784, 2015