論文　流動化剤を用いた中流動コンクリートの開発

依田　和久[*1]・刑部　知周[*2]・芦沢　良一[*3]・市川　裕嗣[*4]

要旨：スランプフロー45cm 程度を有する中流動コンクリートを開発した。本コンクリートは，新たに開発した流動化剤を添加する流動化コンクリートであり，可能な範囲で細骨材率の変更等調合修正を不要とするものである。本報では，本コンクリートについて，実験室実験での充填性やスランプフロー保持性，現場適用実験でのフレッシュ性状，強度性状，屋外階段に適用した際の充填性や打設効率等について検討した。その結果，本コンクリートについて，普通コンクリートと比べ，材料分離抵抗性および充填性に優れること，さらに現場適用を通じ充填性の良否に起因する施工品質の向上を確認できた。

キーワード：中流動コンクリート，流動化剤，材料分離抵抗性，充填性，施工品質

1. はじめに

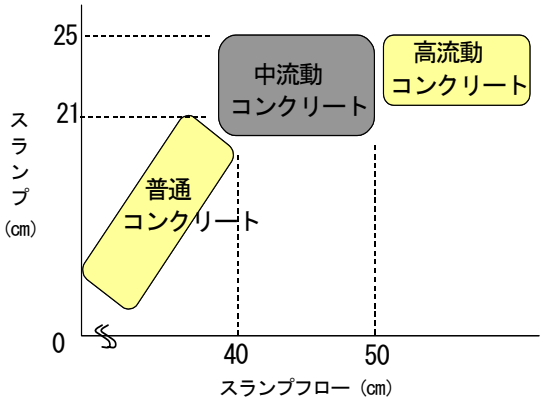
近年，鉄筋コンクリート造の建築現場では，部材断面の制約に伴う過密配筋化や，熟練技術労働者の不足等の理由からコンクリート構造物の品質確保に懸念がもたれている。これを材料的に解決しようとした場合，スランプを大きくし，かつ材料分離抵抗性を高めたコンクリートが求められる。しかし，高い施工性を示す高流動コンクリートでは，型枠補強等の手間やコストが増加し，また，JIS 規格外品となるため，大臣認定の取得が必要となるなど，現場にとって必ずしも使いやすいものではない。多くの現場が求めているのは，軽微な締め固めを厭わないスランプ 23cm，スランプフロー45cm 程度のいわゆる中流動コンクリートである。本コンクリートの概念を**図－１**に示す。中流動コンクリートについては，既往の研究が見られるが [1)]，これをスランプ 23cm の流動化コンクリートとすれば，大臣認定を取得することなく，現場での使用が容易に可能となる。しかし，流動化コンクリートの研究例は１例 [2)] 程度しか見られない。

本報では，流動化剤を用いた中流動コンクリートについて，実験室実験でのスランプ保持性や充填性や，現場適用実験でのフレッシュ性状，強度性状，充填性について報告する。

2. ねらいとする中流動コンクリート

2.1 適用範囲

JASS5（2003 年版）[3)] によると流動化コンクリートにおいて品質基準強度が 33N/mm^2 以上の場合，スランプは，ベースコンクリートで 18cm 以下，流動化コンクリートで 23cm 以下として良



図－１　中流動コンクリートの概念

*1 鹿島技術研究所　建築生産グループ　工博　(正会員)
*2 鹿島技術研究所　建築生産グループ　工修　(正会員)
*3 鹿島技術研究所　材料・LCE グループ　(正会員)
*4 花王（株）　化学品研究所　第 1 研究室

いことが示されている。この規定は品質基準強度が大きいコンクリートは一般的に W/C が小さく，材料分離抵抗性や耐久性が確保されやすいことから示されたものと思われる。したがって，これらの性質を担保するように工夫したものであれば品質基準強度が 33N/mm^2 を下回る場合でも許容され得ると考えた。ここでは，品質基準強度を呼び強度に読み替え，その下限を 24 とした。また，ベーススランプの下限を 15cm とした。

2.2　開発した流動化剤

本研究で新たに開発した流動化剤は，ポリカルボン酸系の減水剤を主剤とし，少量で増粘効果を示し，凝結遅延が生じ難い多糖誘導体をプレミックスした液体である。スランプフローの保持性は，減水剤における吸着基および側鎖の混合割合により調整可能である。また本剤は流動化剤の品質基準(JASS5T-402)を満足している。

本コンクリートの目標値は，流動化直後でスランプ 23cm，スランプフロー45cm とし，空気量を 4.5%とした。経時保持性を有すべく，流動化 60 分後のスランプフローは 40cm 程度を目安とした。また，増粘性を付与しているため，ワーカビリティーや材料分離抵抗性が確保されていると判断できる場合は細骨材率による調合修正を行わないこととした。

3.室内実験

3.1 実験目的

室内実験は，呼び強度（24，27，33）およびベーススランプ（15 および 18cm）を実験要因とし，中流動化したコンクリートのフレッシュ時の基礎的性状，充填性，ブリーディングおよび粗骨材の分布による材料分離抵抗性，強度性状を把握することを目的に行った。

3.2 実験計画

(1) 使用材料および調合

使用材料を**表－１**に，調合を**表－２**に示す。

(2) 練混ぜおよび養生

練混ぜは,容量100Lの強制二軸ミキサを用い，次のように行った。ベースコンクリートは，10 秒間空練り後，混練水を投入し 90 秒間攪拌し練り舟に排出した。コンクリートの運搬時間を 30 分と想定し，排出から 30 分間静置後，パン型ミキサにコンクリートを移し，流動化剤を添加後 60 秒間攪拌して中流動コンクリートを得た。強度性状を調べるための供試体は，寸法をΦ10×20cm としてフレッシュ時の試験終了後に試料を採取し，成形後，試験材齢（7・28 日）まで標準養生を行った。

表－１　使用材料

種類	種類	物性等
セメント	普通セメント	ρ 3.16g/cm^3
細骨材	山砂（市原産）	ρ 2.58g/cm^3，Q2.27%，FM2.2
	砕砂（鳥形山産）	ρ 2.62g/cm^3，Q2.04%，FM3.2
粗骨材	砕石（峩朗産）	ρ 2.70g/cm^3，Q0.50%，実積率60%
混和剤	AE減水剤	ﾘｸﾞﾆﾝｽﾙﾎﾝ酸化合物ﾎﾟﾘｵｰﾙ複合体
	流動化剤	特殊増粘剤入ﾎﾟﾘｶﾙﾎﾞﾝ酸系減水剤
水	水道水	－

＊ρは密度，特に骨材の場合表乾，Qは吸水率

表－３　試験項目および方法

区分		試験項目	試験方法
フレッシュ	基礎	スランプ	JIS A 1101
		スランプフロー	JIS A 1150
		空気量	JIS A 1128
		ｺﾝｸﾘｰﾄ温度	温度計による
		性状	目視による
	分離抵抗性	ブリーディング	JIS A 1123
		粗骨材の分布	本文に示す
	施工性	充填性	本文に示す
強度		圧縮強度	JIS A 1108

表－２　コンクリートの調合

記号*1	呼び強度	目標ｽﾗﾝﾌﾟ*2 (cm)	調合強度 (N/mm^2)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3) 水	ｾﾒﾝﾄ	山砂	砕砂	砕石	AE減水剤	流動化剤*3
L24	24	15±2.5	29.6	59.0	46.2	170	289	417	417	1008	0.722	1.64
L27	27		32.6	55.0	45.4	174	342	388	388	1013	0.855	
L33	33		39.4	48.0	43.2	177	369	372	372	1015	0.922	
A24	24	18±2.5	29.6	59.0	46.5	179	304	411	411	982	0.760	1.82
A27	27		32.6	55.0	45.8	183	359	381	381	987	0.898	1.64
A33	33		39.4	48.0	43.4	186	388	365	365	989	0.970	

*1. ベースコンクリートは記号の後ろにB（例. L24B）を，流動化コンクリートは同様にR（例. L24R）で表記する。
*2. ベースコンクリート，*3外割

(3) 試験項目および方法

試験項目および方法を**表－３**に示す。フレッシュ性状の基礎に区分した試験は，ベースコンクリートでは練上り直後および同 30 分後に，中流動コンクリートでは流動化直後，30 分後，60 分後に実施した。ブリーディングは基礎的な試験終了後の試料を用いて試験を行った。

また，充填性および粗骨材の分布は，**図－２**に示す L 型フロー試験装置を用いた。充填性の試験は，A 室にコンクリートを充填させた後，仕切り板を引き上げ，コンクリートを B 室に充填させて行った。測定は，流動停止までの時間 T，コンクリートの到達長さ L について行った。引き上げ直後にコンクリート先端が B 室の妻壁（L=800 ㎜）に到達しない場合は，Φ30mm の棒状バイブレータを A 室のコンクリート天端から 250 ㎜挿入して１回につき３秒間振動をかけ，コンクリートが妻壁に到達するまでの合計の振動時間 VT を測定した。また，粗骨材の分布の試験は，L 型フロー試験終了後，先端部と後端部から試料を採取し，５㎜ふるいでモルタル分を洗い流して粗骨材を採取し，各部における粗骨材量の質量割合を算出して行った。

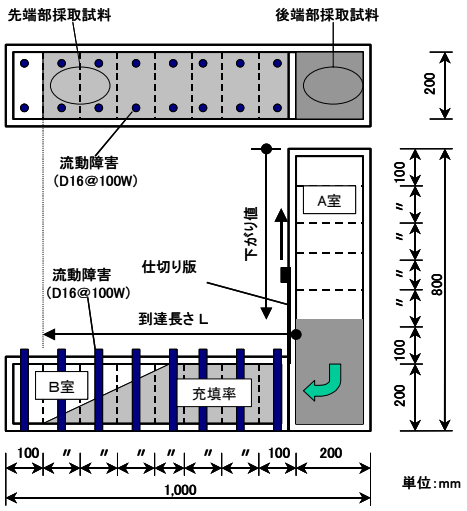
3.3 実験結果および考察

(1) フレッシュ時の基礎的な性状

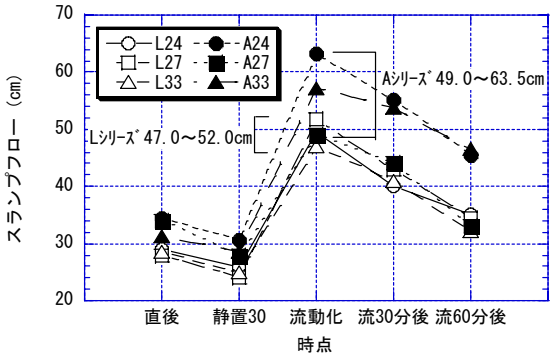
スランプは，静置 30 分において，L シリーズが 13.5～15.0cm であり，A シリーズが 16.5～18.0cm であり，目標値をいずれも満足していた。

スランプフローの経時変化を**図－３**に示す。流動化直後のスランプフローは A24 および A33 において目標値の 45cm よりも 10cm 以上大きな値となった。両者とも流動化剤の添加量によるものと考えられた。その他のコンクリートは 45cm 程度であった。**写真－１**に一例を示す。

また，スランプフローロスが全体的に大きく流動化 60 分後でスランプフローは 10cm 以上低下し，流動化直後のスランプフローが 45cm 程度のものは，40cm を確保することが困難であった。空気量は 4.5±1.5%であり，目標値を満足した。コンクリート温度は，18.9～22.4℃であった。

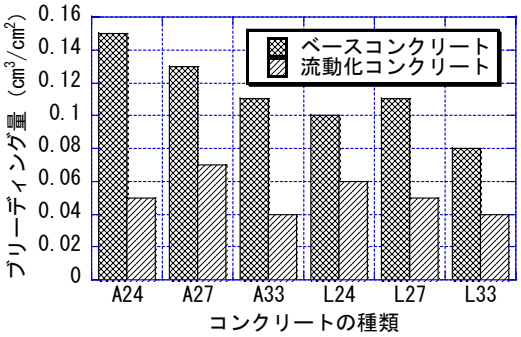


図－２　L 型フロー試験装置



図－３　スランプフローの経時変化

写真－１　スランプフロー（L24：49.5cm）



図－４　コンクリートのブリーディング量

(2) 分離抵抗性

各コンクリートのブリーディング量を**図－４**に示す。中流動コンクリートは全て，そのベースコンクリートよりも，ブリーディング量が少なくなった。これは，流動化剤に含まれる増粘成分の効果によると考えられる。

粗骨材の分布について, L 型フロー試験後の先端部および後端部における粗骨材量が全体に占める割合を**図－５**に示す。中流動コンクリートは先端部と後端部の粗骨材の割合が同等であった。ベースコンクリート（L24B および A24B）は，先端部に比べ，後端部の粗骨材の割合が少なくなり，相対的に不均質な結果となった。これらの結果から，同一の充填状態の場合，中流動コンクリートは，ベースコンクリートに比べ，粗骨材の分布における均質性に優れるといえる。

(3) 充填性

L 型フロー試験の充填状況の例として，L24B および L24R を図－６に示す。この図から中流動コンクリートの充填性が普通コンクリートのものに比べ優れていることがわかる。試験装置の妻壁に到達するまでバイブレータで締め固めた時間は, L24B が 21 秒と最も長く, A24B が 9 秒, A24R と L27R が 3 秒で，その他は 0 であった。即ち，中流動コンクリートの締め固め時間は３秒以下であった。中流動コンクリートは，振動時間が短く充填性に優れるといえる。

(4) 強度性状

流動化前後の圧縮強度の比較を**図－７**に示す。コンクリート種類に関わらず，流動化後のコンクリートの圧縮強度は，流動化前のコンクリートのものと同等であった。圧縮強度について，流動化剤を添加しても空気量が許容値を超えていなければ，圧縮強度は同等になるという従来の研究結果[4] と同様なことがいえる。

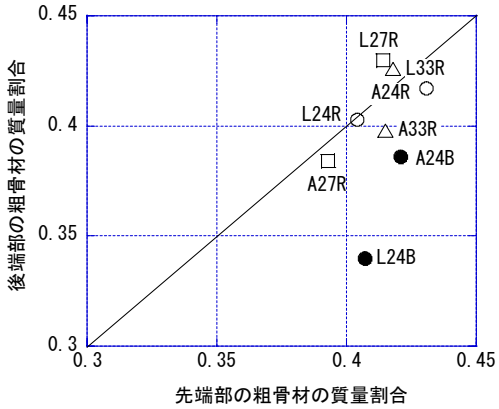
3.4 室内実験のまとめ

流動化剤を用いた中流動コンクリートについて室内実験の結果から次のことがいえる。

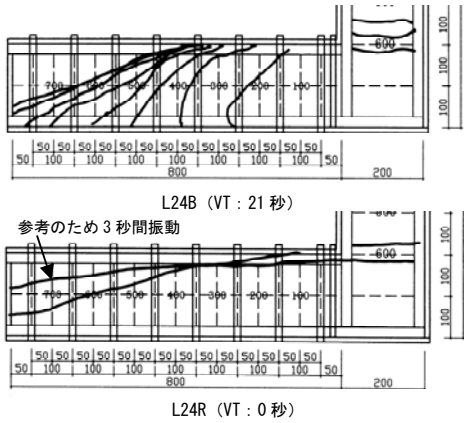
(1) 流動化剤を用いることによりスランプフロー45cm 程度のコンクリートが得られた。ただし，流動化 60 分後のスランプフローロスは 10cm 以上であった。

(2) ベースコンクリートに比べ, ブリーディング量が少なく， L 型フロー試験後の各部における粗骨材の分布が均質であることから材料分離抵抗性に優れるといえる。

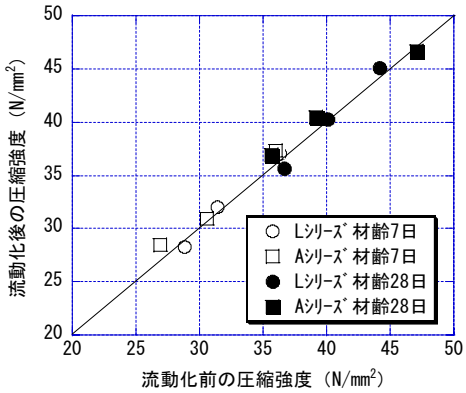
(3) ベースコンクリートに比べ，充填性は，スランプフローを大きくしたことにより向上した。また，圧縮強度は同等であった。



図－５　L 型フロー試験における粗骨材の分布



図－６　コンクリートの充填状況



図－７　流動化前後の圧縮強度の比較

4. 実施工実験

4.1 実験目的

今回，屋外階段に中流動コンクリートを適用する機会を得て，実機レベルにおけるコンクリート性状に関するデータの蓄積と，施工性および施工品質について検討することを目的とする。

4.2 実験計画

（1）実験概要

本実験では，まず，室内実験で課題となったスランプフロー保持性を確保した流動化剤を得ることを主目的とした室内試し練りを行い，流動化後のスランプフローロス（静置）が 10cm 以内に留まる流動化剤を選定した上で現場適用を行った。適用部位は，**図－８**に示す屋外階段である。全体を５つの部位に分け，中流動コンクリートを適用する部位は下側から４部位（18.2 m^3，生コン車５台）とし，**図－９**に示す通り，全て蓋型枠を施し，各部の最上段１箇所にコンクリート投入段（投入口）を設け，ポンプ筒先からコンクリートを投入し，振動締め固めを適宜行った。また，比較用の普通コンクリートを適用する部位は最上部の１部位（4.3m^3，生コン車１台）とし，**図－10** に示す通り，蓋をすることなく，１段ごとに打設し，振動固めを行った後鏝均しを施す通常の工法で施工した。

（2）使用材料・調合

使用材料は実内実験と同一であり，ベースコンクリートの調合は，元々計画されていたコンクリートのスランプ（15cm）に合わせて L24 とした。

（3）練混ぜ・養生

練混ぜは，強制二軸ミキサ（容量 3m^3）を用いた。供試体の養生は室内実験と同様に標準水中養生とした。

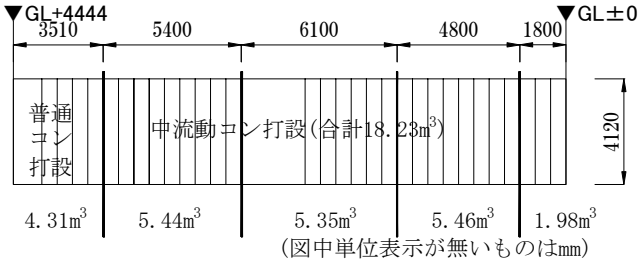
(4) 試験項目および方法

試験項目および方法を**表－４**に示す。

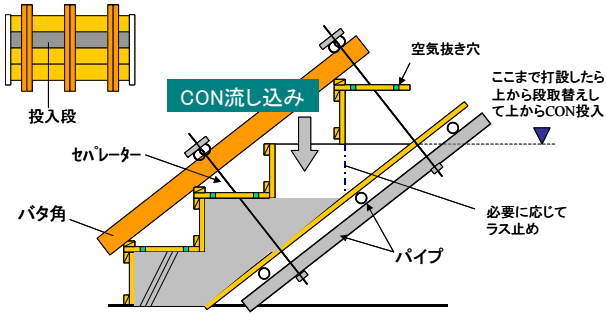
4.3 実験結果および考察

(1) フレッシュおよび強度性状

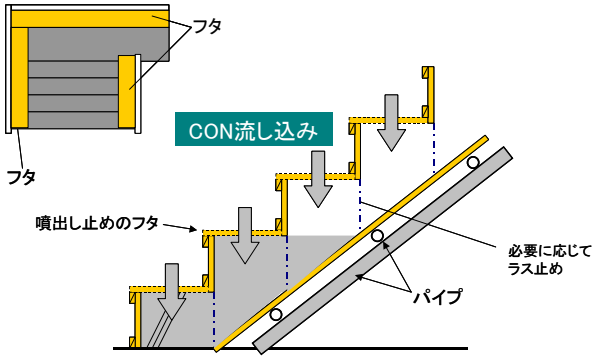
５台目の生コン車から採取した試料による試験結果を表－４に示す。



図－８　屋外階段の概要



図－９　中流動コンクリートの施工方法



図－10　普通コンクリートの施工方法

表－４　試験項目・方法および結果

区分		試験項目	試験方法	材齢	流動化 荷卸*2	流動化 直後*3	流動化 筒先	普通 荷卸
フレッシュ	基礎	スランプ(cm)	JIS A 1101	－	15.0	25.0	23.0	15.5
		スランプフロー(cm)	JIS A 1150		－	51.5	43.0	－
		空気量(%)	JIS A 1128		5.2	3.7	3.8	4.7
		ｺﾝｸﾘｰﾄ温度(℃)	温度計による		23.6	23.7	24.1	23.7
		性状	目視による		良	良	良	良
	分離抵抗性	ブリーディング量*1	JIS A 1123	－	0.03	0.06	－	0.04
	打設効率	作業時間	ｽﾄｯﾌﾟｳｫｯﾁで計測	－	－	本文参照		
強度		圧縮強度(N/mm²)	JIS A 1108	7日	23.1	24.4	26.0	24.2
				28日	35.0	35.5	36.7	35.0
施工品質		仕上がり	目視による	－	－	本文参照		

*1cm³/cm², *2荷卸時のベースコンクリート, *3流動化直後を意味する

流動化直後のスランプフローは 51.5cm であり，室内実験時の値 49.5cm と同等であった。この時の流動化剤添加量は，1.0kg/m^3 であり，室内実験の 1.64kg/m^3 に比べ少なくなる傾向を示した。これはコンクリート量の多少が一因と考えられた。

また，流動化直後と筒先の試料によるコンクリートの試験結果を比較した場合，筒先のスランプフローは 43.0cm であり，約 20 分経過していることも加味する必要があるが，小さくなる傾向が見られた。この他の試験項目は，流動化直後と筒先で同等な結果となった。

(2) 打設効率

中流動コンクリートの打設効率は 16.4～21.8 m^3/h であり，比較用の普通コンクリートのものは 21.6m^3/h と差は見られなかった。また，作業者種別および投入人工についても明確な差を把握できなかった。これらの結果は，主に作業者の習熟度が影響していると考えられ，今後，別に機会を設けて明らかにしていきたい。

(3) 充填性の良否に起因する施工品質

中流動コンクリートの仕上がり状況を**写真－２**に示す。中流動コンクリートの外観を観察した結果，踏面と蹴上げで構成される角部がシャープに仕上がっているのがわかる。また，階段蹴上げ部分のコンクリートは十分充填されていることがわかる。一方，普通コンクリートは**写真－３**に示す通り，スペーサ下部においてわずかであるが空隙がみられる。一例であるが中流動コンクリートは，普通コンクリートに比べ，充填性が良く施工品質が向上することを示唆する結果であるといえる。

4.4 実施工実験のまとめ

屋外階段として現場に適用した中流動コンクリートについて次のことがいえる。

(1) フレッシュ時および強度性状は室内練り実験と同等であった。

(2) 施工性は，作業者の習熟度が影響したため明確な効果が見られなかった。

(3) 普通コンクリートに比べ，施工品質が向上した箇所がみられた。

写真－２　中流動コンクリートの仕上がり状況

写真－３　普通コンクリートの未充填部

5. まとめ

中流動コンクリートについて実施した室内実験および現場適用実験の結果について報告した。筒先でのスランプフローロスなど一部課題があるものの，十分実用性を有していることが確認できた。今後，課題を克服し，過密配筋部等構造部材への適用を図っていきたい。

なお，本研究を行うに当たり，アサノコンクリート㈱品川工場をはじめ関係諸氏にご協力頂きました。紙面を借りて謝意を表します。

参考文献

1) 例えば，桝田，三好ほか：準高流動コンクリートの基礎的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.975～978，1998.9

2) 日本建築センター：高性能流動化コンクリート「エルクリート」，建築施工技術・技術審査証明報告書，1997.6

3) 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，p.397，2003.2

4) 日本建築学会：流動化コンクリート施工指針・同解説，p.117，1989.9