

# 論文 増粘剤系高流動コンクリートの自己充てん性の評価

谷口 秀明<sup>\*1</sup>・藤田 学<sup>\*1</sup>・河上 浩司<sup>\*1</sup>・浅井 洋<sup>\*2</sup>

**要旨:**本研究は、増粘剤系高流動コンクリートの自己充てん性を検討した内容である。土木学会が定めるU形充てん高さを自己充てん性の評価指標とし、コンクリートの配合条件の影響やその他の試験値との関係を調べた。実験の範囲においては、スランプフローと500mmフロー到達時間は、骨材容積比率が一定の場合には高性能AE減水剤と増粘剤の使用量の比によって推定できること、U形充てん高さには骨材の容積比率の影響が大きいこと、ならびにV漏斗流下時間との関連性が高く、スランプフローおよび500mmフロー到達時間との組合せによって推定の精度が高めることができることがわかった。

**キーワード:**高流動コンクリート、増粘剤、自己充てん性、配合、流動性状

## 1. はじめに

自己充てん性を有する高流動コンクリートは、これまでに多くの研究成果と施工実績を有する。学協会の委員会報告や指針類も充実し、その中でも、1998年に制定された土木学会高流動コンクリート施工指針<sup>1)</sup>(以下、指針と称す)は、粉体系、併用系および増粘剤系のいずれの高流動コンクリートについても配合設計や製造・施工が行えるようにマニュアルが整備されている。

しかし、現時点では、指針のマニュアルには、内容の解釈が難しい面も残されている。例えば、自己充てん性は、同一の障害物を持つU形容器もしくはボックス形容器を用いた間隙通過性試験の充てん高さによって評価することになっているが、増粘剤系高流動コンクリートの場合には指針が定めた仕様の試験器による試験結果が少なく、とりわけ、自己充てん性ランク1,3の試験結果はほとんど見られない。

そこで、本研究では、セルロース系増粘剤を用いた増粘剤系高流動コンクリートを対象とし、自己充てん性のランク2を中心に各ランクのU形充てん高さと、配合条件および試験値との関係について検討を行った。

## 2. 実験概要

### 2.1 指針の試験値および配合の目安

表-1は、指針の試験値および配合の目安で、配合の詳細は研究対象である増粘剤系高流動コンクリートの内容を抜粋したものである。高流動コンクリートの種類によって、自己充てん性のランク(以下、ランクと略す)に対応する試験値や単位粗骨材絶対容積の目安が若干異なる。

表-1 指針に記載された試験値と配合の目安

項 目	高流動コンクリートの種類	自己充てん性のランク		
		1	2	3
充てん試験器の障害種類と充てん高さ(mm)	共通	障害R1 300以上	障害R2 300以上	障害なし 300以上
スランプフロー(mm)	増粘剤系 粉体系 併用系	550～700 600～700 650～750	550～700 600～700 600～700	550～650 500～650 500～650
V <sub>75</sub> 漏斗下時間(s)	増粘剤系 粉体系 併用系	10～20 7～13 10～25	7～20 4～11 7～20	7～20 7～15 7～15
500mmフロー到達時間(s)	増粘剤系 粉体系 併用系	5～25 3～15 5～20	3～15 3～15 3～15	3～15 3～15 3～15
単位粗骨材絶対容積(m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	増粘剤系 粉体系 併用系	0.28～0.31 0.28～0.30 0.28～0.30	0.30～0.33 0.30～0.33 0.30～0.33	0.30～0.36 0.32～0.35 0.30～0.35
単位粗骨材かさ容積(m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ) <sup>*</sup>	増粘剤系	0.47～0.52	0.51～0.56	0.51～0.61
水粉体比(%)	増粘剤系	30～65(45～55が事例の約1/2)		
単位水量(kg/m <sup>3</sup> )	増粘剤系		平均**：170～180、推奨：180以下	
単位粉体量(kg/m <sup>3</sup> ) <sup>†</sup>	増粘剤系		耐久性の問題が少ない190以下	
増粘剤使用量(W%) <sup>‡</sup>	増粘剤系	目安**：	300～450	
	増粘剤系	目安**：	0.15～0.3	

\* 実験で使用した粗骨材の実積率59.2%で計算した値

\*\* セルロース系増粘剤を使用した場合

\*1 住友建設株式会社 技術研究所 工修 (正会員)

\*2 住友建設株式会社 技術研究所 (正会員)

なお、以下、断りがない限り、コンクリートは増粘剤系高流動コンクリートを指す。

## 2.2 コンクリートの使用材料

コンクリートの使用材料を、表-2に示す。

粉体は、一般的な構造物への適用を想定して普通ポルトランドセメントのみとした。また、細骨材の微粒分は、今回の実験では粉体の一部に加算していない。混和剤には、セルロース系増粘剤、ポリカルボン酸系高性能AE減水剤およびAE剤を使用した。

## 2.3 コンクリートの配合

コンクリートの配合を、表-3に示す。基準配合はランク2を想定し、水セメント容積比(w/c)を1.50、細骨材モルタル容積比(s/m)を0.525、単位粗骨材かさ容積(gb)を0.500m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>にした。s/mの基準値は、単位水量が過大とならないように配慮し、gbは、試験値の目安をすべて満足できる、0.500m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>を基準とした。基準配合に対して、w/c、s/mおよびgbの値を変化させ、その影響を確認した。主としてランク1,3の検討ではgb,s/mを変化させたが、ランク1については、単位水量が過大にならないよう、w/cを120,135%に小さくした。

増粘剤の使用量(kg/m<sup>3</sup>:V、単位水量に対する質量比率:Rv)は0.3kg/m<sup>3</sup>を基準として0.2~0.6kg/m<sup>3</sup>の範囲とし、スランプフローが550mm以上となるように高性能AE減水剤の使用量(単位セメント量に対する質量比率:Rsp)を1.2~2.2%の範囲で、さらに空気量が4.5±1.5%となるようにAE剤の使用量を調整した。なお、以下、配合指標は記号で表す。

## 2.4 コンクリートの品質に関する試験

コンクリートの品質は、指針で定められるスランプフロー試験、漏斗を用いた流下試験(吐出口75mm×75mmのV漏斗を使用)、U形充てん装置を用いた間隙通過性試験および空気量試験によって確認した。本研究では、スランプフロー(FL)、500mmフロー到達時間(T50)、V漏斗流下時間(Tv)、U形充てん高さ(Uh1,Uh2,Uh3、数字:ランク)を評価指標とした。

表-2 コンクリートの使用材料

材料名	種類	成分・物性など	記号
水	水道水		W
セメント	普通ポルトランドセメント	密度3.15g/cm <sup>3</sup> 、比表面積3370cm <sup>2</sup> /g	C
細骨材	川砂	鬼怒川産、表乾密度2.61g/cm <sup>3</sup> 、吸水率1.55%、粗粒率2.68、微粒分(0.15mm未満:6%)	S
粗骨材	碎石2005	栃木県葛生産、表乾密度2.63g/cm <sup>3</sup> 、吸水率0.38%、実積率59.2%、粗粒率6.53	G
混和剤	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸エーテル系と架橋ポリマーの複合体(空気連行性を有しないタイプ)	SP
	AE剤	変成アルキルカルボン酸化合物系陰イオン界面活性剤	AE
	増粘剤	水溶性セルロースエーテル	V

表-3 コンクリートの配合

配合検討要因	w/c (%)	s/m	gb (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )			
						W	C	S	G
基準	150	0.525	0.500	47.6	54.0	188	395	904	778
w/cの変化	120	0.525	0.500	38.1	54.0	171	449	904	778
	135	0.525	0.500	42.9	54.0	180	420	904	778
	165	0.525	0.500	52.4	54.0	195	373	904	778
	180	0.525	0.500	57.1	54.0	202	353	904	778
s/mの変化	150	0.500	0.500	47.6	52.8	198	416	861	778
	150	0.550	0.500	47.6	55.2	178	374	947	778
	150	0.525	0.475	47.6	55.8	192	404	925	737
gbの変化	150	0.525	0.525	47.6	52.2	184	386	884	817
	150	0.525	0.550	47.6	50.5	180	377	864	856
自己充てん性ランク1,2への追加	120	0.450	0.500	38.1	50.2	198	520	775	776
	120	0.500	0.500	38.1	52.8	180	473	861	776
	135	0.450	0.475	42.9	52.0	213	497	792	740
	135	0.450	0.500	42.9	50.2	209	487	775	778
	135	0.500	0.475	42.9	54.6	194	452	881	740
	135	0.500	0.500	42.9	52.8	190	442	861	778
自己充てん性ランク3への追加	150	0.525	0.575	47.6	48.8	175	369	844	895
	150	0.525	0.600	47.6	47.1	171	360	824	934
	150	0.550	0.525	47.6	53.4	174	366	926	817
	150	0.550	0.550	47.6	51.7	170	357	905	856
	150	0.550	0.575	47.6	50.0	166	349	884	895

〈記号の説明〉

w/c: 水セメント容積比  
s/m: 細骨材モルタル容積比  
gb: 単位粗骨材かさ容積

W/C: 水セメント比

s/a: 細骨材率  
W: 水、C: セメント、  
S: 細骨材、G: 粗骨材

## 3. コンクリートの流動性状と配合要因

### 3.1 自己充てん性ランク2の評価

#### (1) 骨材容積比率に関する要因(gb, s/m)

図-1に示す通り、ランク2を対象にした配合条件において、gbの変化はU形充てん高さとV漏斗流下時間への影響が大きい。今回の実験の範囲では、指針の目安を得るために、gbを0.500m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>程度にする必要がある。また、s/mに関しては、Rspが1.8%の場合には、s/mが0.525において、U形充てん高さが最大に、V漏斗流下時間が最小となる傾向があるものの、これは、s/m=0.500において材料分離の傾向にあったことが原因であり、Rspを1.5%に抑えれば、s/m

が大きくなるほど、U形充てん高さが低下し、V漏斗流下時間が増加するといったgbと同様の傾向がある。実験の範囲では、s/mが0.525を超える配合では指針の目安を満足するのが難しい。また、スランプフローと500mmフロー到達時間に対してはgbよりもs/mの方が影響しやすいようである。骨材比率要因(gb,s/m)が自己充てん性に及ぼす影響が大きいことは、粉体系の場合<sup>2)</sup>と何ら相違は見られないが、増粘剤系の場合にはw/cが大きいので、s/mを大きな値に設定せざるを得ない。

## (2) 流動性と粘性の調整要因(w/c, Rsp, V)

骨材容積比率の要因が一定の場合、w/c,RspおよびVが、コンクリートの流動性と粘性を決める要因となる。図-2に示す通り、w/cによる試験値の変化は、gb,s/mに比べて緩やかである。w/c=180%においては、U形充てん高さが低下し、

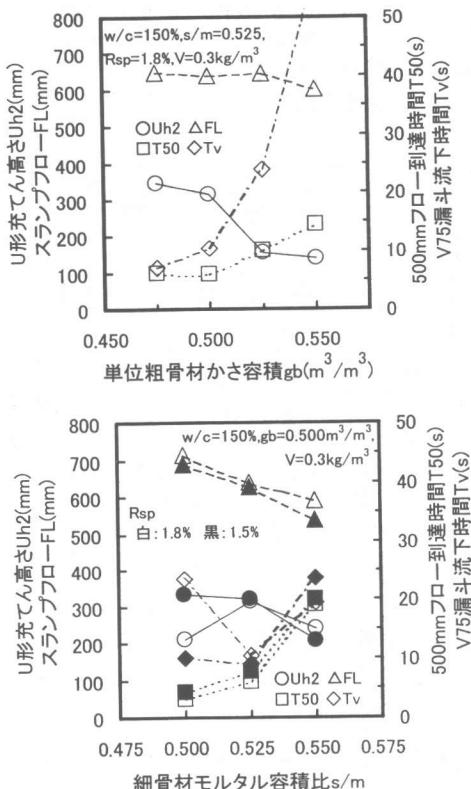


図-1 骨材容積比率(gb, s/m)がコンクリートの流動性状に及ぼす影響

V漏斗流下時間が増加しているが、V=0.3kg/m<sup>3</sup>に固定しているので、500mmフロー到達時間の低下と考え合わせ、コンクリートの粘性の低下によるものと判断される。

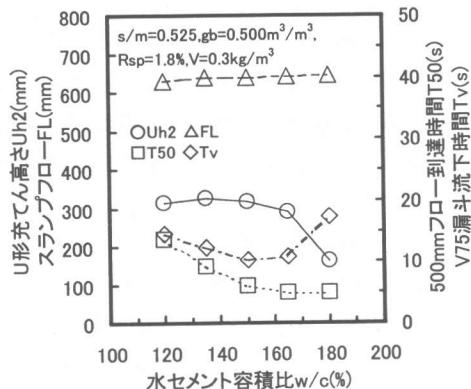


図-2 w/cがコンクリートの流動性状に及ぼす影響

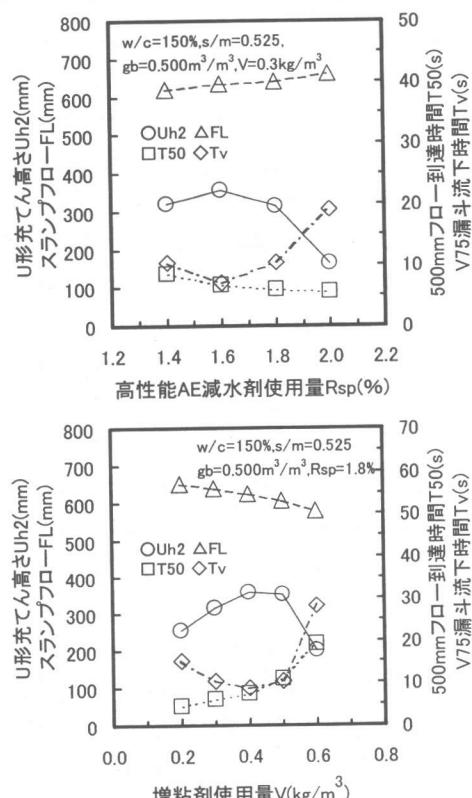


図-3 混和剤使用量(Rsp, V)がコンクリートの流動性状に及ぼす影響(1)

図-3 のように、 $R_{sp}, V$  のいずれかを一定にした場合、スランプフローと 500mm フロー到達時間は、使用量の増加にともなって増減するものの、U 形充てん高さと  $V_{75}$  漏斗流下時間は、最大、最小となる値を持つ二次曲線的な変化となる。また、 $R_{sp}, V$  の双方を変化させた場合には、図-4 に示す通り、U 形充てん高さを最大とする最適な  $R_{sp}$  と  $V$  の組合せは複数存在することになる。なお、600～700mm の範囲におけるスランプフローに対しては、 $R_{sp}, V$  の影響は小さく、500mm フロー到達時間には、 $R_{sp}$  よりも  $V$  の方が鋭敏に影響するようである。

### 3.2 自己充てん性ランク 1, 3 の評価

図-5 は、配合要因が、U 形充てん高さ  $U_{h1}, U_{h2}$  に及ぼす影響を調べたものである。 $gb$  が  $0.500 m^3/m^3$  以下の条件下では、 $w/c$  が大きい場合を除き、U 形充てん高さには  $s/m$  が支配的であり、特に U 形充てん高さ  $U_{h1}$  への影響が大きい。実験の範囲では、ランク 1 の U 形充てん高さ  $U_{h1}$  が 300mm 以上を得るには、 $s/m$  を約 0.450 以下にする必要がある。この場合の単位ペースト量は約  $0.37 m^3/m^3$  になるが、耐久性に配慮して単位水量を  $175 kg/m^3$  とした場合には、単位セメント量は  $600 kg/m^3$  前後に計算される。これは、粉体系や併用系の配合<sup>1)</sup>との明確な違いではなく、実験の範囲では、ランク 1 の U 形充てん高さを満足するための配合条件は、指針の目安よりも限定された範囲である可能性が高い。

一方、図-6 によれば、ランク 3 を対象とした U 形充てん高さ  $U_{h3}$  は、 $s/m=0.525, 0.550$ において、 $gb=0.580 m^3/m^3$  まで 300mm 以上となり、スランプフローについても、 $R_{sp}$  の調整によって 600mm 前後を確保できる。しかし、コンクリートの練り上がり性状は必ずしも良好とは言えず、粗骨材の分離傾向が徐々に目立つ様子が確認された。また、 $V$  漏斗流下時間は、図-1 で示した通り、 $gb$  が約  $0.500 m^3/m^3$  以上では指針の目安を満足することはできない。限られた実験条件ではあるが、ランク 3 の試験値および配合の目安についても詳細な再検討を要する。

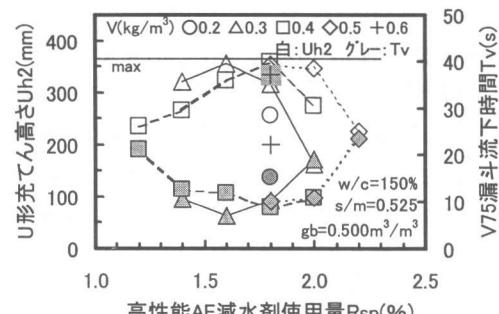


図-4 混和剤使用量( $R_{sp}$ ,  $V$ )がコンクリートの流動性状に及ぼす影響(2)

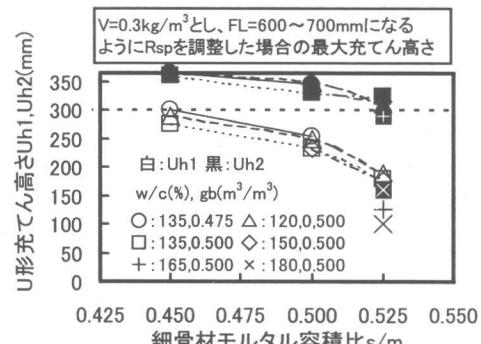


図-5 配合条件が U 形充てん高さ  $U_{h1}, U_{h2}$  に及ぼす影響

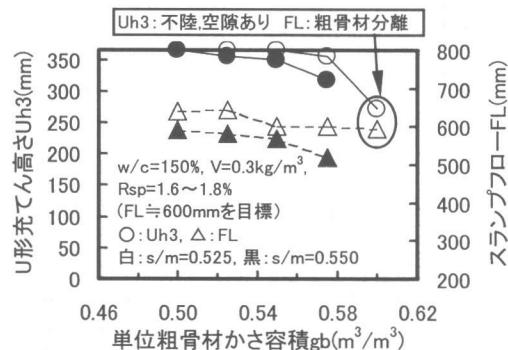


図-6 配合条件が U 形充てん高さ  $U_{h3}$  に及ぼす影響

## 4. 試験値の定量的な評価の試み

### 4.1 スランプフローおよび 500mm フロー到達時間

図-7 は、 $R_{sp}/R_v$  と推定した降伏値および塑性粘度の関係を表したものである。500mm フロー到達時間はスランプフローの大きさによるので、スランプフローと 500mm フロー到達時

間は、黒川らの研究<sup>3)</sup>に基づいて計算した降伏値と塑性粘度で表現した。また、Rsp/Rv は混和剤使用量の比であるが、単位セメント量、単位水量に対する質量比率であるので、分子は水量と高性能 AE 減水剤、分母はセメントと増粘剤の単位量を乗じた値の比でもある。図によれば、推定した降伏値および塑性粘度は、s/m,gb あるいは w/c の影響を受けるものの、配合条件が決まつていれば、Rsp/Rv によって全体的な傾向を把握でき、調整が可能である。

#### 4.2 V 漏斗流下時間

図-8 のように、推定した降伏値および塑性粘度と V 漏斗流下時間の関係を表した場合、スランプフローを 550mm 以上とした実験の範囲では、推定降伏値が V 漏斗流下時間に及ぼす影響は小さいものの、推定塑性粘度に関しては、推定塑性粘度の増加に伴って V 漏斗流下時間も大きくなっている。500mm フロー到達時間と V 漏斗流下時間は、コンクリートの粘性を表す指標<sup>4)</sup>であるが、図-8 の結果では粘性以外の要因が含まれるものと判断される。

#### 4.3 U 形充てん高さ

図-9 は、今回の実験結果と文献<sup>1,5,6,7)</sup>の結果に関し、V 漏斗流下時間と U 形充てん高さ Uh2 との関係を調べたものである。V 漏斗流下時間が増加すると、U 形充てん高さが低下する傾向があり、V 漏斗流下時間によってある程度の推測が可能であることは、既往の研究<sup>8)</sup>の見解と一致する。しかし、図中の土木学会の調査結果<sup>1)</sup>は、目安の範囲にあれば、U 形充てん高さが 300mm 以上であるものの、本研究を含めて実験段階の結果は 300mm 未満のものも多い。また、下限の 7 秒よりも短い流下時間であっても U 形充てん高さが確保され、全体的な傾向では、V 漏斗流下時間はなるべく短い方が良い。

V 漏斗流下時間は、コンクリートの粘性以外に、骨材のアーチングに伴う隙間通過性の評価を合わせ持つことが知られている<sup>4)</sup>。そこで、式(1)に示す通り、V 漏斗流下時間  $T_v$  をコンクリートの粘性に伴う流下時間  $T_\eta$  と骨材のアーチ

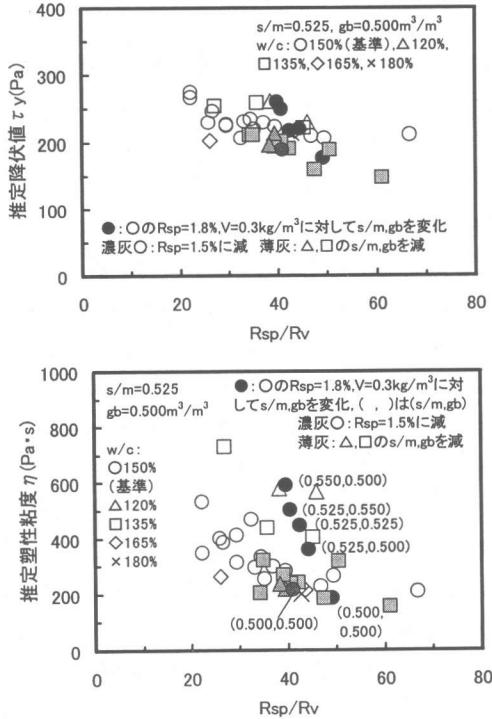


図-7 Rsp/Rv と推定降伏値・塑性粘度の関係

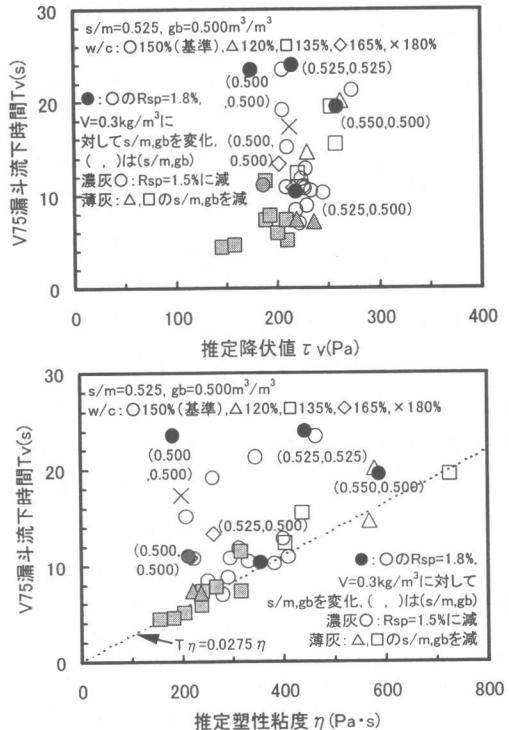


図-8 推定降伏値・塑性粘度と V 漏斗流下時間の関係

チングに伴う流下時間  $T_a$  の和とし、さらに、 $T_\eta$  は推定塑性粘度と比例し、図-8の結果をもとに式(2)で表されるものと仮定した。

$$T_v = T_\eta + T_a \quad (1)$$

$$T_\eta = 0.0275 \eta \quad (2)$$

図-10に示す通り、流下時間  $T_a$  の増加に伴ってU形充てん高さが低下する傾向が明らかである。U形充てん高さ  $U_{h1}$  は、 $T_a \approx 0$ において150~305mmの広い範囲に分布しており、粘性に伴う流下時間  $T_\eta$  の影響や、吐出口75mmのV漏斗によってU形充てん容器の開き35mmの通過を評価できないことなどが考えられる。このように、スランプフロー、500mmフロー到達時間およびV漏斗流下時間によってU形充てん高さの推定精度を高めることができるもの、式(2)の誘導が実験結果からの仮定によるものであり、もう少し理論的な裏付けが必要である。

## 5. 結論

セルロース系増粘剤を使用した増粘剤系高流動コンクリートの自己充てん性の評価に関し、本実験の範囲で得られた知見を、以下に示す。

- (1)スランプフローと500mmフロー到達時間による推定降伏値・塑性粘度は、混和剤使用量の比  $Rsp/Rv$  によって調整することができる。
- (2)いずれのランクにおいても、U形充てん高さには、骨材の容積比率の影響が大きいが、その値が指針の目安の範囲であっても、必ずしも自己充てん高さを確保できるとは限らない。
- (3)ランク1,2のU形充てん高さは、V漏斗流下時間との関連性が高く、スランプフローおよび500mmフロー到達時間を併せて測定することにより、推定の精度を高めることができる。

## 参考文献

- 1)土木学会：高流動コンクリート施工指針、1998.7
- 2)枝松良展ほか：フレッシュコンクリートの自己充填性に及ぼす細・粗骨材量の影響、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.19, No.1, pp.49-54, 1997.6
- 3)黒川善幸ら：フレッシュコンクリートのスランプ試験およびスランプフロー試験に関する研

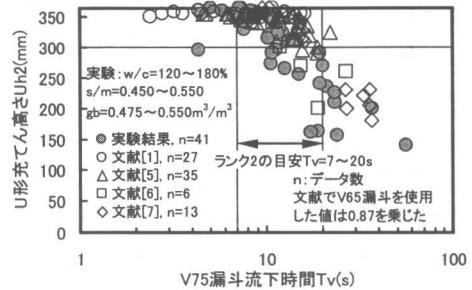


図-9 V漏斗流下時間とU形充てん高さの関係

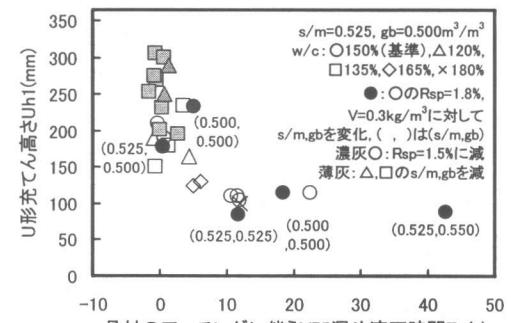
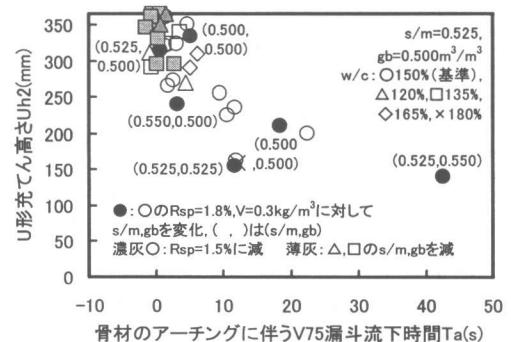


図-10 骨材のアーチングに伴うV漏斗流下時間とU形充てん高さの関係

究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.16, No.1, pp.437-442, 1994.6

4)土木学会：フレッシュコンクリートのコンシステンシー評価に関する技術の現状と課題、2000.7

5)増田和機ほか：混和剤を後添加した高流動コンクリートの諸性状、コンクリート工学論文集、Vol.10, No.1, pp.109-122, 1999.1

6)南将行ほか：後添加型高流動コンクリートの埋設水圧鉄管への適用、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.20, No.2, pp.499-504, 1998.6

7)斎藤力ほか：高流動コンクリートの自己充填性に及ぼす粗骨材の影響について、土木学会第52回年次学術講演会、V部門、pp.866-867, 1997.9

8)近松竜一ほか：高流動コンクリートの間隙通過性試験方法に関する一考察、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.21, No.2, pp.523-528, 1999.6