

論文 水膜モデルによる増粘剤ウェランガムの効果に関する研究

緑川猛彦*1・丸山久一*2・坂田昇*3・原竜也*4

要旨:粉体系高流動コンクリートに少量の増粘剤を添加した併用系高流動コンクリートは、増粘剤の働きによりフレッシュ性状のばらつきが抑えられ、品質が安定することが報告されている。本研究は増粘剤としてウェランガムを取り上げ、増粘剤がフレッシュ性状を安定させるメカニズムを水膜モデルを用いて検討した。その結果、ウェランガムの添加はフレッシュ性状を満足させる膜厚を増加させることによりコンクリートの品質を安定させること、また減水剤と増粘剤を併用することによって、粒子間距離を制御できるため高流動コンクリートの作製が容易になること等が明らかになった。

キーワード:併用系高流動コンクリート、ウェランガム、水膜モデル

1. はじめに

粉体系高流動コンクリートは、高い変形性と材料分離抵抗性を満足させるために、水粉体比を極力小さくし高性能減水剤を多量に添加する配合とされる。したがって、製造時における骨材の表面水率や粒度の変動、材料の計量誤差、温度等の影響を受けやすく、自己充填性を満足する高流動コンクリートを製造するためには、使用材料の厳格な品質管理が要求される。しかしながら現場においては、使用材料の厳格な品質管理は困難であるため、ある程度の品質範囲内の材料を用いた場合でも安定したフレッシュ性状を示す高流動コンクリートを製造する必要があり、その一つの方策として増粘剤ウェランガムを少量添加することが行われている。このウェランガムを添加することにより、高流動コンクリートのフレッシュ性状は安定し、自己充填性が向上することが報告されている¹⁾が、そのメカニズムについては未だ明らかにされていないとは言い難い。

本研究は、増粘剤ウェランガムが高流動コンクリートのフレッシュ性状の安定化に寄与するメカニズムを、筆者らが先に報告した水膜モデルに当

てはめ、粉体粒子間距離の観点から検討するものである。

2. 水膜モデル

水膜モデルの基本概念は、「コンクリート中の水量は粉体表面に一定の厚さで固定される水の総和であると考え、粒子を取り巻く水膜の厚さが同じであれば、粉体の種類にかかわらずコンクリートは同じフレッシュ性状を示す」というものである。ただし高流動コンクリートには高性能減水剤が添加されるため、高性能減水剤による粒子の電氣的反発力を仮想膜と考え、この仮想膜厚と水膜厚との和が等しければ、減水剤の有無や粉体種類にかかわらずコンクリートのフレッシュ性状は等しいとするものである。言い換えれば、粉体粒子間距離を等しくすることにより、いかなる粉体を用いた場合でも等しいフレッシュ性状を示す高流動コンクリートを作製することができる²⁾。

3. 実験概要

粉体系およびウェランガムを用いた併用系高流動コンクリートを製造し、フレッシュ性状(スラ

* 1 福島工業高等専門学校助手 建設環境工学科 工博(正会員)

* 2 長岡技術科学大学教授 環境・建設系 Ph.D(正会員)

* 3 鹿島技術研究所 工博(正会員)

* 4 長岡技術科学大学大学院 工修(正会員)

ンプフロー値 65 ± 5 cm, V漏斗流下時間 15 ± 5 秒)を満足する配合を実験により求めた。ウェランガム添加率は、水粉体比や高性能減水剤添加率に大きな影響を与えると考えられるが、本研究では一般的な添加率である0.05%とした。また、材料分離の有無を確認するため、キッチンペーパーへのペーストの付着量 (KP付着量)を測定した³⁾。KP付着量が3g以上の場合、コンクリート中の骨材とペーストが材料分離を生じていると判断される指標である。使用した粉体は、粉体種類を特に考慮しない観点から各種粒径を持つ下水汚泥溶融スラグおよび下水汚泥焼却灰を主とした。使用した粉体の物理的性質を表-1に示す。ここで特に、MFA20Kは吸水性のある粉体であり、ウェランガムの効果を検討するために用いたものである。また、粉体の使用比率および特性値を表-2に示す。比重、長短比は単味の粉体の特性値を混合割合で加重平均したものであり、平均粒径及びパラメータ B , C ²⁾ は単味の粒度分布を加重平均し、新たに算定した粒度分布から求めたものである。

作製したコンクリートは、細骨材容積比 (川砂, 比重 2.59, 吸水率 2.16%, 粗粒率 2.63) を 40% とし, 粗骨材量は空気を除いたコンクリートの容積に対する比率で, 粗骨材実積率 (石灰砕石, 比重 2.68, 吸水率 0.43%, 実積率 58.5%, $G_{max}=20$ mm) の 50% とした。作製量は 20 リットルとした。練混ぜはパン型強制練りミキサを使用し, 細骨材, 粗骨材, 粉体, ウェランガム投入後, 空練り 30 秒, 水および高性能減水剤 (ポリカルボン酸エステル系) 投入後 120 秒練り混ぜ

た。

4. 結果および考察

4.1 粉体系高流動コンクリート

表-3に各粉体を用いて作製した高流動コンクリートの配合およびフレッシュ性状を示す。粉体種類により、コンクリートのフレッシュ性状を同一とするために必要な水粉体比および高性能減水剤添加率は異なり、粉体の平均粒径のみで配合とフレッシュ性状との関係を表現できないことが分かる。

この結果を用いて粒子周りの膜厚を水膜モデルにより算定したものを図-1に示す。ここで、MPC-Wは高性能減水剤を用いないで水のみでスランプフロー値あるいはV漏斗流下時間を満足する配合 (MPC-FおよびMPC-V) から算出した水膜厚である。スランプフロー値を満足する水膜厚とV漏斗流下時間を満足する水膜厚は異なり、水のみを用いてこの両者を同時に満足することは物理的に不可能であることが分かる。高性能減水剤を添加した高流動コンクリートの場合、減水剤

表-1 粉体の物理的特性

粉体種類	記号	比重	平均粒径 (μ m)	長短比
中庸熟ポルトランドセメント	MPC	3.22	15.2	1.338
普通ポルトランドセメント	OPC	3.16	17.4	1.325
高炉スラグ	BS	2.89	8.5	1.378
下水汚泥溶融スラグ	MS10	2.97	15.3	1.129
	MS20	2.75	17.8	1.421
	MS80	2.90	81.0	1.523
下水汚泥焼却灰	MFA10	2.63	12.3	1.025
	MFA20A	2.33	20.6	1.037
	MFA20B	2.62	21.8	1.044
	MFA20K	2.36	18.4	1.301

表-2 粉体の混合割合および特性値

No.	粉体種類	混合割合	比重	平均粒径 (μ m)	長短比	パラメータB	パラメータC
1	(MPC)	単味	3.22	15.2	1.338	45602	1.000
2	(MPC)+(BS)	5:5	3.06	11.3	1.358	61190	1.000
3	(MPC)+(MS10)	5:5	3.10	15.2	1.234	45488	1.000
4	(MPC)+(MS20)	5:5	2.99	16.2	1.380	42701	1.000
5	(MPC)+(MS80)	5:5	3.06	26.7	1.431	25938	1.000
6	(MPC)+(MFA10)	5:5	2.93	13.8	1.182	50344	1.000
7	(MPC)+(MFA20A)	5:5	2.78	17.6	1.188	39445	1.000
8	(OPC)+(MFA20B)	5:5	2.89	20.0	1.185	34695	1.000
9	(MPC)+(MFA20K)	5:5	2.79	16.8	1.320	41287	1.000

表-3 粉体系高流動コンクリートの配合およびフレッシュ性状

粉体種類	w/p	単位量(kg/m ³)					減水剤 添加率 (%)	スラン プフロー 値 (cm)	V漏斗 流下時間 (sec)	KP 付着量 (g)
		水	結合材	非結合材	細骨材	粗骨材				
(MPC)-F	2.000	283	456	-	733	784	-	64	-	-
(MPC)-V	1.000	212	683	-			-	-	18.8	-
(MPC)	0.888	200	724	-			1.1	69	10.4	2.1
(MPC)+(BS)	0.839	194	372	334			0.7	67	14.6	2.6
(MPC)+(MS10)	0.744	181	392	362			0.7	64	14.6	2.5
(MPC)+(MS20)	0.826	192	374	320			0.7	68	13.6	2.4
(MPC)+(MS80)	0.774	185	385	347			0.7	68	12.0	2.7
(MPC)+(MFA10)	0.631	164	419	342			0.7	64	14.4	1.6
(MPC)+(MFA20A)	0.757	183	389	282			0.7	63	17.9	2.3
(OPC)+(MFA20B)	0.723	178	389	323			0.7	70	10.0	1.7
(MPC)+(MFA20K)	1.350	244	291	213			1.4	67	12.2	3.1

※ 減水剤添加率は粉体（結合材+非結合材）質量に対して

の仮想膜厚と水膜厚との和により所定の膜厚を同時に満足するが、これは減水剤の「スランブフロー値に対してより高い効果を持つ」性質を利用したものである。

一方、各配合における水膜厚は粉体の種類や粒径にかかわらずほぼ同じであり、高流動コンクリートとなる単位水量は水膜厚を一定とし水膜モデルにより算出することができることが確認された。

No.9の水膜厚は他の水膜厚に比較して大きな値となっている。これはMFA20Kが吸水性粉体であるため、吸水量分の水を余分に必要とした結果であると考えられる。

図-2は粉体系高流動コンクリートについて水膜モデルを粒子間引力の観点から説明した概念図である。コンクリート中の粉体粒子にはVan der Waals力などの引力が働くため、フレッシュ性状は粒子間に働く引力の大きさにより決定されるものと考えられる。いま、この引力に応じて水膜が形成されるとすると、コンクリートのスランブフロー値やV漏斗流下時間は水膜厚と一意的に対応することとなる。しかしながら、高流動コンクリートの一般的なフレッシュ性状であるスランブフロー値65cmとV漏斗流下時間15秒を満足するための粒子間引力が異なるために、それに対応する水膜厚も異なることとなり、水のみではフレッシュ性状を満足する高流動コンクリートを作製することは困難である(図-2(a))。

一方、高性能減水剤の添加は、粉体粒子表面に

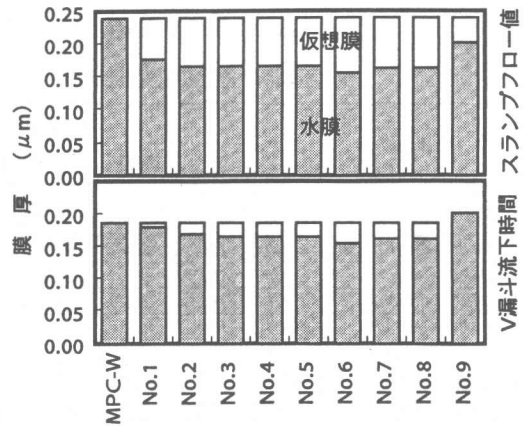


図-1 粉体系高流動コンクリートの膜厚

電氣的反発力を生じさせるため粒子間引力を減少させることとなる(図-2(b))。またこの効果は特にスランブフロー値が高いことが経験的に知られている。この電氣的反発力による粒子間引力の低下を高性能減水剤による仮想膜で表現すれば、フレッシュ性状を満足する膜厚は水膜厚と仮想膜厚との和で達成すれば良いことになる。したがって、水膜厚をV漏斗流下時間を満足するように決定し、スランブフロー値を満足するのに足りない膜厚を高性能減水剤による仮想膜厚で補うことにより、粉体系高流動コンクリートは作製されるものと考えられる。

4.2 併用系高流動コンクリート

増粘剤ウェランガムを添加した併用系高流動コンクリートの配合およびフレッシュ性状を表-4に示す。粉体系高流動コンクリートの配合と比較

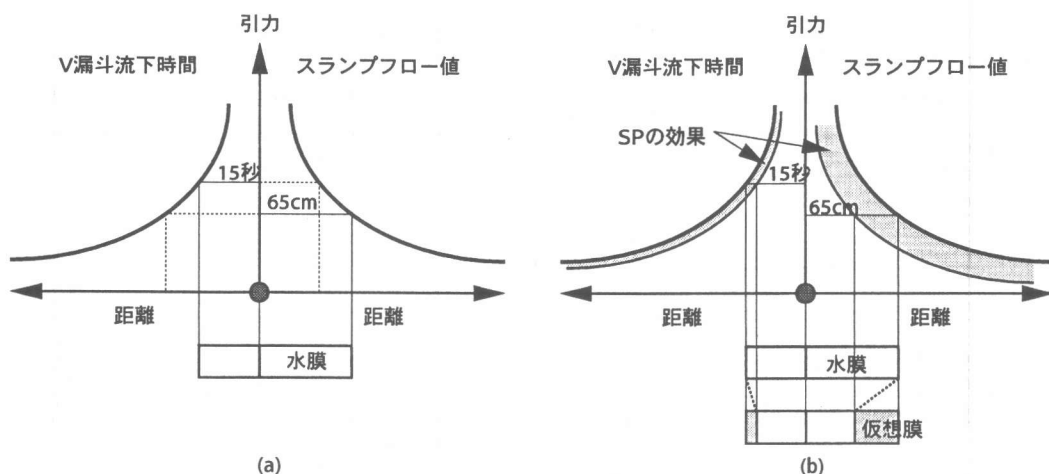


図-2 粉体系高流動コンクリートの粒子間引力および水膜モデル

表-4 併用系高流動コンクリートの配合およびフレッシュ性状

粉体種類	w/p	単位量(kg/m ³)					減水剤添加率 (%)	ウレランガム添加率 (%)	スランプフロー値 (cm)	V漏斗流下時間 (sec)	KP 付着量 (g)
		水	結合材	非結合材	細骨材	粗骨材					
(MPC)	0.888	200	724	-	733	784	1.7	0.05	63	18.5	1.9
(MPC)+(BS)	0.839	194	372	334			1.0	0.05	64	15.5	1.5
(MPC)+(MS10)	0.802	189	379	350			0.8	0.05	62	15.1	2.3
(MPC)+(MS20)	0.826	192	374	320			1.2	0.05	65	16.3	1.9
(MPC)+(MS80)	0.774	185	385	347			1.3	0.05	70	20.2	1.8
(MPC)+(MFA10)	0.631	164	419	342			1.1	0.05	67	11.7	1.4
(MPC)+(MFA20A)	0.819	191	376	272			1.3	0.05	78	12.2	1.6
(OPC)+(MFA20B)	0.723	178	389	323			1.1	0.05	60	13.1	1.3
(MPC)+(MFA20K)	1.418	249	283	207			2.5	0.10	67	19.0	1.0

※ 減水剤添加率は粉体（結合材+非結合材）質量に対して
 ※ ウレランガム添加率は水量に対して

すると、ウレランガムを添加したことによる配合の変化は大きく二つのパターンに分けることができる。一つは水粉体比は変化せずに高性能減水剤添加量が増加するパターンであり、もう一つは水粉体比が増加しかつ高性能減水剤添加量が増加するパターンである。いずれの場合にも、ウレランガムを添加することにより高性能減水剤添加量は増加することとなり、その増加量は粉体系に比較して1.1~1.9倍程度であった。

高性能減水剤量を増加させずにウレランガムのみを添加した場合、コンクリートのスランプフロー値およびV漏斗流下時間は低下するものと予想される。これはウレランガムの添加により粒子間引力が増大することに起因すると考えられる。したがって、ウレランガムを添加して高流動コンクリートのフレッシュ性状を満足させるため

には、粒子間引力を低くするために粒子間距離をより大きく保たなければならない。

図-3は上記の観点から考察した併用系高流動コンクリートの膜厚およびウレランガムの効果を模式的に示したものである。ウレランガムを添加することにより粒子間引力は大きくなるため、粒子間引力を等しくするためには粒子間距離をより大きくしなければならない。この粒子間距離を膜厚で表現すれば、高流動コンクリートのフレッシュ性状を満足するための膜厚は増加することになる。したがって、減水剤添加量を粉体系と等しくした場合、フレッシュ性状を満足する膜厚を達成することができなくなり、スランプフロー値やV漏斗流下時間が低下することとなる。ウレランガムを添加してフレッシュ性状を満足させるためには、不足する膜厚を仮想膜や水膜により補わな

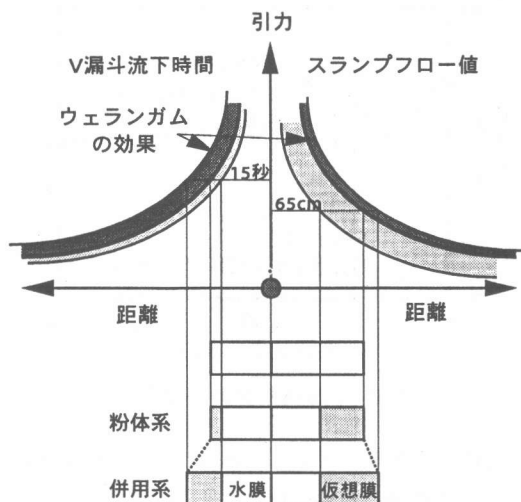


図-3 ウェランガムの効果の概念図

ければならず、結果として高性能減水剤添加量や水粉体比が増加するものと考えられる。

粉体系高流動コンクリートは、高性能減水剤添加量や水粉体比の増加により粒子間引力を低下させることにより作製される。したがって、配合設計の出発点は粒子間引力が最大の場合である。一方、併用系高流動コンクリートの場合、粒子間引力をウェランガムの添加により増大させることができるため、フレッシュ性状を満足する膜厚を配合により操作しやすくてできるものと考えられる。

図-4はウェランガムがコンクリートのフレッシュ性状の安定化に寄与するメカニズムを模式的に示したものである。ウェランガムの添加により粒子間引力を増大させることができるため、コンクリートのフレッシュ性状を満足する粒子間引力の範囲に対する、膜厚の許容範囲を広げることができる。さらにこの膜厚は水膜厚と仮想膜厚のどちらで補っても良いため、結果として水量や高性能減水剤の変動に対して安定したコンクリートを作製することができるものと考えられる。

4.3 スランプローの経時変化

図-5は(MPC)+(MFA10)を用いて別途作製した高流動コンクリートについて、スランプロー値の経時変化を示したものである。ウェランガムを添加しない粉体系高流動コンクリートの場合、

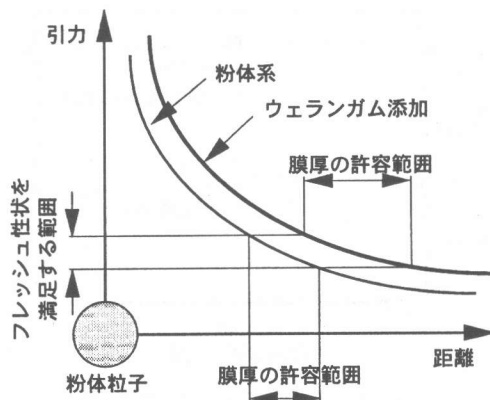


図-4 フレッシュ性状の安定化

スランプロー値は時間とともに減少し、約20分程度で高流動コンクリートの範囲をはずれる結果となった。しかし、併用系の場合には60分経過後においてもほとんどスランプロスを生じておらず、終始良好なフレッシュ性状を示した。

稲葉らによれば、コンクリート中の高性能減水剤残存量が流動性保持に寄与することが報告されている⁴⁾。併用系の場合、ウェランガムの添加によりフレッシュ性状を満足する膜厚が増加するために、高性能減水剤を多量に添加して不足する膜厚を補わなければならない。したがってコンクリート中に多量の高性能減水剤が残存することとなり、スランプロスを生じにくくしているものと推察される。

4.4 吸水性粉体の配合

通常、コンクリートに使用する粉体は吸水性を持たないものを対象とするが、フライアッシュや今回対象とした下水污泥焼却灰等には多少吸水性のある粉体も見受けられる。表-3の(MPC)+(MFA20K)は吸水性粉体であるが、水粉体比は水膜モデルで算定する値よりかなり大きく、多くの水量を必要とすることが分かる。したがって、所要のフレッシュ性状を満足する高流動コンクリートの作製は試行錯誤に頼らざるを得ず、また、吸水率の変動からフレッシュ性状が不安定であった。そこで、吸水性粉体にウェランガムを添加することによりフレッシュ性状の安定化を試みた。

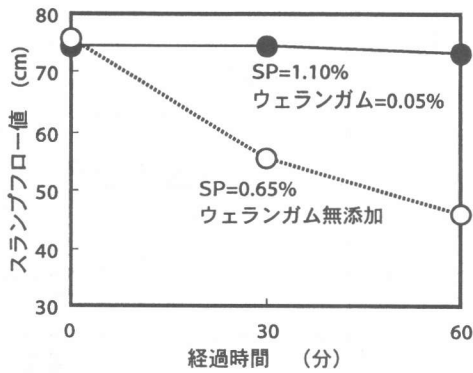


図-5 スランプフローの経時変化

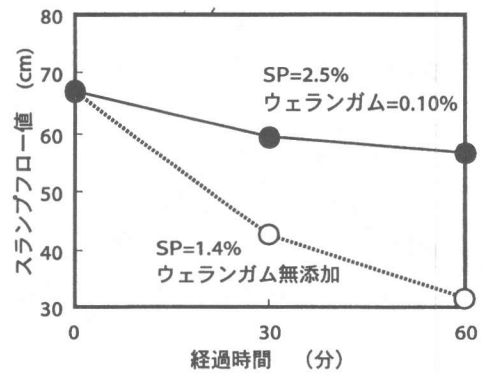


図-6 吸水性粉体の経時変化

図-6にウェランガムの有無によるスランプフロー値の経時変化を示す。粉体系高流動コンクリートの場合、練上がり直後のフレッシュ性状を満足させるために多量の水を添加したにもかかわらず、時間の経過とともにスランプフロー値が大きく低下する結果となった。これは時間の経過につれて粉体が水を吸水したためと考えられる。一方、ウェランガムを添加した併用系の場合、吸水性のない粉体に比較してスランプロスが生じるものの、その傾向は緩慢であり、吸水の影響をそれほど受けないことが明らかになった。

これは、ウェランガムの効果である水量の変動にタブなことと、高性能減水剤が多量に残存していることによるものと考えられ、ウェランガムを用いることにより、多少吸水性を持つ粉体を用いた場合でもフレッシュ性状が安定した高流動コンクリートが製造できることが明らかになった。

5. 結論

本研究では増粘剤ウェランガムが高流動コンクリートのフレッシュ性状を安定させるメカニズムを、水膜モデルを用いて粒子間距離の観点から検討した。本研究範囲内で得られた知見を以下に示す。

(1) ウェランガムは、水や高性能減水剤の粒子間引力を低下させる作用とは逆に、粒子間引力を増加させる作用を持つ。したがって、フレッシュ性状を満足するような粒子間距離を達成する場合、高性能減水剤添加量とウェランガム添加量の

両者により制御できることとなり、高流動コンクリートの製造が容易になる。

(2) ウェランガムを添加することにより粒子間引力が増大するため、フレッシュ性状を満足する範囲に対する膜厚の許容範囲が増加する。したがって高性能減水剤量や水量の変動に対して高い安定性を示すようになる。

(3) ウェランガムの添加によりフレッシュ性状を満足する膜厚が増加する。これを補うために高性能減水剤添加量が増えるため、コンクリート中の減水剤残存量が多くなりスランプロスに対して高い抵抗性を持つようになる。

謝辞：本研究は長岡技術科学大学 丸山久一教授研究グループの研究の一部であり、実験実施にあたって、前山篤史氏（長岡技術科学大学院修士課程）に多大なご助力を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 坂田昇・丸山久一・南昌義：増粘剤ウェランガムがフレッシュコンクリートの自己充填性に及ぼす影響，土木学会論文集，No.538/V-31，pp.57-68，1996.5
- 2) 緑川猛彦・丸山久一・下村匠・桃井清至：各種粉体を用いたモルタルおよびコンクリートの流動性評価に関する水膜モデルの適用，土木学会論文集，No.578/V-37，pp.89-98，1997.11
- 3) 皆口正一・丸山久一・稲葉美穂子・坂田昇：高流動コンクリートの材料分離測定方法に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.18，No.1，pp.87-92，1996.7
- 4) 稲葉美穂子・丸山久一・皆口正一・坂田昇：高流動コンクリートの流動性保持機構に関する一考察，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.18，No.1，pp.129-134，1996.7