

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

緑川猛彦¹・丸山久一²・下村匠³・桃井清至⁴

¹正会員 工修 福島工業高等専門学校助手 建設環境工学科 (〒970 いわき市平上荒川字長尾 30)

²フェロー会員 Ph.D. 長岡技術科学大学教授 工学部 (〒940-21 長岡市上富岡町 1603-1)

³正会員 工博 長岡技術科学大学助教授 工学部 (〒940-21 長岡市上富岡町 1603-1)

⁴正会員 工博 長岡技術科学大学教授 工学部 (〒940-21 長岡市上富岡町 1603-1)

本論文は、筆者らが提案した水膜モデルを、各種粉体を用いた高流動モルタルおよび高流動コンクリートに適用し、水膜モデルの適用性について検証したものである。その結果、水膜モデルをモルタルおよびコンクリートに適用することで、高流動モルタルおよび高流動コンクリートのフレッシュ性状と水膜厚が一意的に表現できること、および水膜モデルは配合設計に有効であることなどが明らかになった。

Key Words : particle size distribution, flocculation, water layer model, self-compacting concrete, superplasticizer

1. 序論

高流動コンクリートはコンクリートの粘性と降伏値をバランス良く両立することによって得られるものであり、配合設計においては用いる材料に応じて、水量や混和剤量を適切に決定しなければならない。高流動コンクリートの配合設計において、水量と混和剤量は、セメントペーストのフロー試験から求められる拘束水比をもとに、モルタルのフロー試験・V漏斗試験により粘性と降伏値の両方を満足するように決定することが良いと報告されている¹⁾。しかしながら、高流動コンクリートに用いられる材料や配合は種々であり、それらが変わる度にこれらの試験を行わなければならない。高流動コンクリートの配合設計を複雑なものとしている。

高流動コンクリートの配合設計の確立には、適切な水量の算定が有効かつ不可欠であるとの認識から、水膜モデルを提案した²⁾。筆者らが提案した水膜モデルは、高流動コンクリートの自己充填性において重要な役割を果たすと考えられる粉体について、粉体の粒度分布を累積質量分布関数により表現し、かつ、Van der Waals力と回転慣性力のバランスによって生じる粒子の凝集を考慮し、粒子周りの水膜厚を算出するものである。この水膜モデルをペーストに適用することで、ペースト性状と粒子周りの膜厚は一意的に表現でき、粉体の粒度分布、粒子形状および水

膜厚から、ペースト性状を同じとする水量を算出することが出来る。

本論文は、高流動モルタルおよび高流動コンクリートに水膜モデルを適用し、提案モデルの適用性および高流動コンクリートの配合について述べるものである。

2. 水膜モデル

筆者らが提案している水膜モデルの詳細については別報に示したので²⁾、ここでは概要のみを述べる。

図-1に水膜モデルの概要を示す。水膜モデルの基本概念は、「ペースト中の水量は粒子表面に一定の厚さで固定される水量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、粉体の種類に関わらずペーストは同一のフロー値を示す」というものである。基本的には粒子1個に固定される水膜厚を対象としているが、粉体粒子は凝集するという特性もあることから、凝集力と分散力のバランスにより各粒径における凝集個数を算出し、これをモデルに反映するものとしている。

高性能減水剤を添加したペーストは、一般的に少ない水粉体体積比で、無添加のものと同じフロー値を示す。したがって、水膜厚は無添加のものに比較して薄くなる。これは減水剤を添加することで、粉

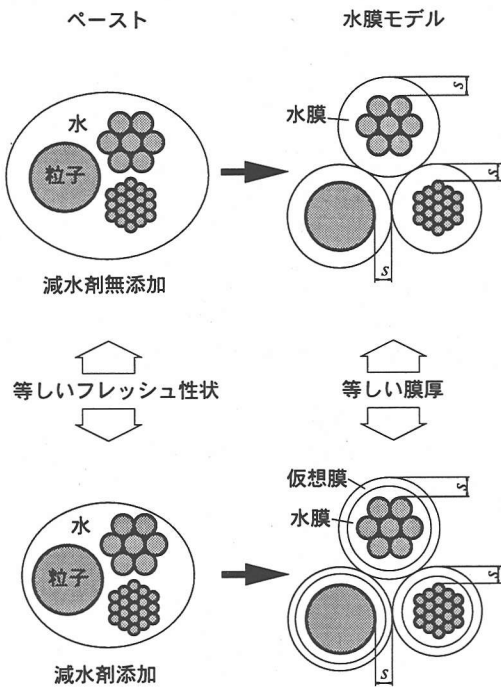


図-1 水膜モデルの概要

体粒子表面に電気的反発力が生じ、粒子が分散することに起因すると考えられる。この電気的反発力は、粉体粒子の化学的成分や粒子形状および減水剤の種類などによりさまざまに異なるため、減水剤の効果を定量的に表現することは困難である。一方、水膜モデルでは「同じ水膜厚であれば同じフロー値を示す」としているため、減水剤の有無に関わらず、フロー値が同じであれば膜厚も同じと仮定することができ、先の結果と矛盾することとなる。この矛盾を解消するために、減水剤を添加した粒子表面には、水膜の他に、粒子の接触を妨げるような電気的反発力による仮想膜が存在すると考えた。この仮想膜は、水のように物理的に粒子間に入り込むことによって粒子間距離を保つものではなく、粒子間距離を保つための電気的反発力を膜厚として換算したものである。つまり、仮想膜の厚さは、減水剤を添加しない時の水膜厚から減水剤を添加した時の水膜厚を差し引いたものであり、減水剤の効果のある程度定量的に表すことができるものである。この減水剤による仮想膜厚と水膜厚を加算することにより、減水剤の有無に関わらず、ペーストのフロー値と粉体粒子周りの膜厚とは一意的に対応することとなった。

図-2に水膜モデルによる水粉体体積比算出のフローを示す。今、ある粉体を用いて作製した高流動

コンクリートが、要求されるフレッシュ性状を満足しており、粒子周りの水膜厚が明らかであるとする。他の粉体を用いた場合の水粉体体積比は、各粒子(粒子群)の表面に一定の厚さで付着する水量を、粒子(粒子群)個数分加算すれば算出することができる。

ある粒径における粒子の個数は、粒度分布の測定値を精度良く表現できる関数を用いることにより求めることができる。ここではその関数を、累積質量分布関数と定義する³⁾。すなわち、単位質量中におけるそれぞれの粒子個数は、累積質量分布関数を粒径について微分し、それぞれの粒子1個の質量で除することで求めることができる。

一方、水膜厚と粒径および粒子形状から、粒子間に作用する凝集力と分散力を求めることができる。本研究では凝集力としてVan der Waals力、分散力として粒子の回転慣性力を採用することとした。凝集個数は、これらの作用力の比で決定されるが、粉体の化学的成分の相違による電気・化学的要因や粒子形状のばらつきによる作用力の算定誤差などにより算定される凝集個数は変化すると考えられる。本研究ではこれらの不確実な要因を粉体固有の特性値と考え、パラメータ α として表すこととした。パラメータ α は、同じ粉体であれば減水剤の添加による凝集作用に及ぼす電気的作用力の効果を表しており、 α が小さいほど電気的反発力が大きく粒子の分散性が大きいというものである。

したがって、基準となる水膜厚が明らかである場合、水膜モデルを適用すれば、使用する粉体の粒度分布と粒子形状から水粉体体積比を算出することができる。

3. 実験方法

(1) 使用材料

本研究では5種類8ケースの粉体を使用した。使用した粉体の物理的性質を表-1に示す。ここで、比表面積はブレン空気透過装置により測定した。また、表示した粒径は、測定された粒径加積曲線から求めるメジアン径(50%粒径)であり、パラメータ B は、メジアン径を用いて算出したものである。本研究においては事前の検討結果より、パラメータ C を一定($C=1.000$)とすることとした。

使用した粉体の粒度分布と同定されたパラメータ B 、 C を用いて計算された累積質量分布を図-3に示す。粒度分布の測定は分散媒としてエタノールを用い、超音波分散を60秒行った後、レーザー回折・散乱式粒度分布測定装置により測定した。

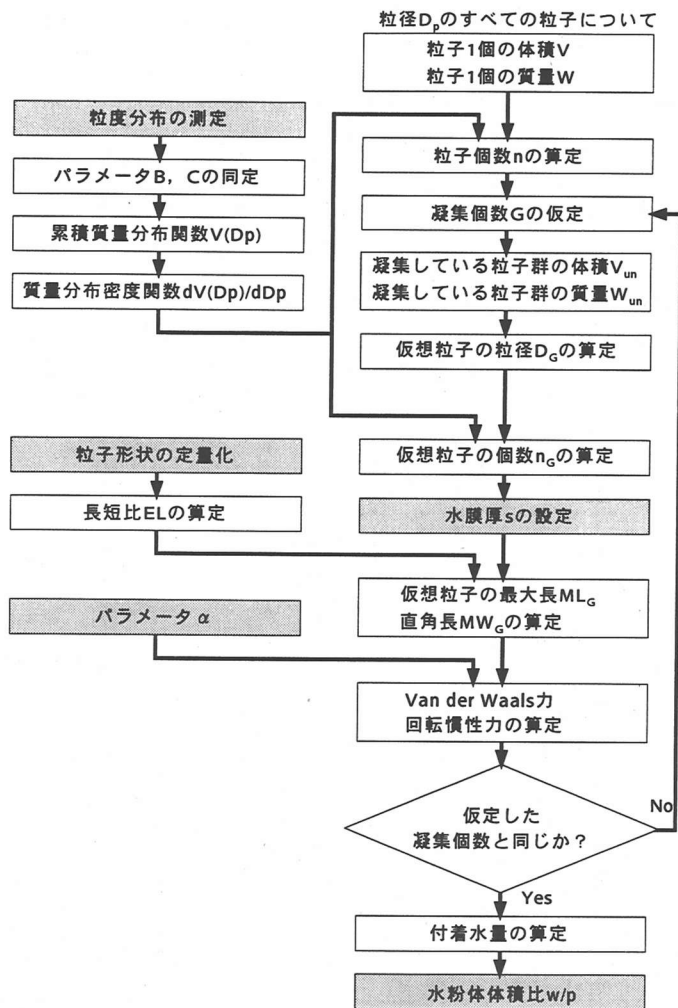


図-2 水膜モデルによる水粉体体積比算定のフロー

長短比の算出は電子顕微鏡 (SEM) 写真を用いる方法で行った。標本個数は1粉体につき50個とし、写真倍率は1000倍 (40 μ m程度 \times 15個)、3000倍 (20 μ m程度 \times 20個)、5000倍 (10 μ m程度 \times 15個)として測定した。各粉体粒子について長短比を算出した後、平均値をもって代表値とした⁴⁾。

(2) モルタル

各種粉体を用いたモルタル性状を一定とする、水量および減水剤量を実験により算出した。なお、モルタル性状はフロー値およびV漏斗流下時間で評価した。

モルタルおよびコンクリートの作製に使用した粉体を表-1に、その他の材料を表-2に示す。

モルタルの配合は、細骨材容積比 (細骨材体積の、

空気量を除いたモルタル容積に対する比率) を40%とし¹⁾、作製量は2リットルとした。細骨材はあらかじめ水洗いし、洗浄水を濁す微粒分を取り除いたものを使用した。練混ぜは、JIS R 5201に規定されているモルタルミキサを使用し、細骨材、粉体および水を投入後、低速 (自転速度: 140 \pm 5rpm, 公転速度: 62 \pm 5rpm) 1分、高速 (自転速度: 285 \pm 10rpm, 公転速度: 125 \pm 10rpm) 1分、低速3分の計5分間行った。

水量および減水剤量は、以下に示すフロー試験およびV漏斗試験でフロー値 250 \pm 10mm および流下時間 10 \pm 1秒となるように調整した¹⁾。

モルタルのフロー試験は、JIS R 5201「セメントの物理試験方法」に定めるモルタルのフロー試験を準用し、フローテーブルの代わりに水平に設置したガ

表-1 粉体の物理的特性

材 料	記号	比 重	比表面積 (cm^2/g)	粒径 (μm)	パラー-B	パラー-C	相関係数	長短比
下水汚泥溶解スラグ	MS10	2.99	3990	7.9	87851	1.000	0.996	1.459
	MS15	3.04	3360	18.0	38530	1.000	0.997	1.479
石灰石微粉末	LS05	2.69	6410	4.2	164643	1.000	0.991	1.380
	LS10	2.69	5050	10.1	68833	1.000	0.971	1.437
	LS15	2.69	4280	12.5	55496	1.000	0.964	1.407
フライアッシュ	FA	2.31	3410	23.9	29051	1.000	0.995	1.109
普通ポルトランドセメント	OPC	3.16	3400	16.9	40045	1.000	0.998	1.325
中庸熟ポルトランドセメント	MPC	3.22	3230	16.0	43458	1.000	0.997	1.338

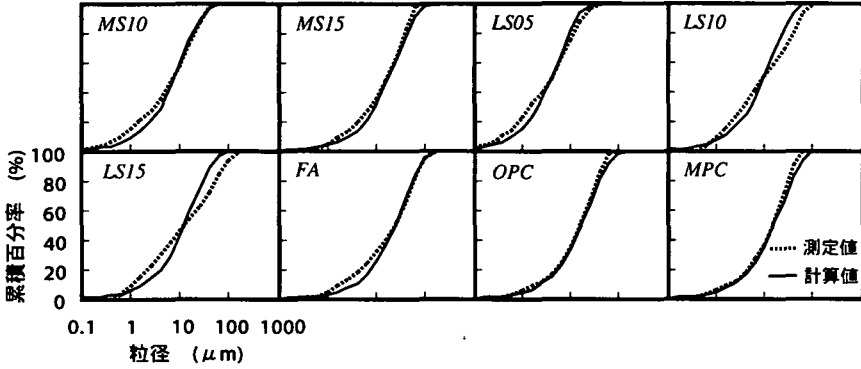


図-3 粉体の粒度分布

表-2 使用材料

使用材料	摘 要
細骨材	川砂 (比重2.69, 吸水率2.07%, 粗粒率3.58)
粗骨材	石灰碎石 (比重2.54, 吸水率0.50%, 実績率58.5%, $G_{\text{max}}=20\text{mm}$)
水	水道水
高性能減水剤	ポリカルボン酸エステル系

ラス板上で行い、振動を与えないモルタルの広がり
をフロー値とした。

V漏斗試験は、図-4に示すモルタル用V漏斗を用い、
漏斗に満たしたモルタルがすべて流下するまでに要する時間を測定し、これをV漏斗流下時間とした。

(3) コンクリート

モルタルの検討結果を踏まえ、あらためて算定した水粉体体積比をもとにコンクリートを作製し、フレッシュ性状の確認を行った。

作製したコンクリートは、細骨材容積比を40%とし、粗骨材量は、空気を除いたコンクリート容積に対する比率で、粗骨材実績率の50%とした⁹⁾。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ーを使用し、細骨材、粗骨材、粉体投入後、空練り30秒、水および減水剤投入後90秒練り混ぜた。

減水剤量は以下に示すスランブフロー試験により、スランブフロー値が $65 \pm 5\text{cm}$ となるように調整した。

コンクリートのスランブフロー試験は、JIS A 1101「コンクリートのスランブ試験方法」に規定されているスランブコーンを用い、スランブコーンを引き上げた後のコンクリートの広がり(広がり最大と思われる直径とその直交する位置での直径)について測定し、この平均値をスランブフロー値とした。スランブコーンへの試料の投入は、受け容器から一気に流し込む方法とし、突き固めをしない一層詰めとした⁹⁾。

V漏斗試験は、図-4に示すコンクリート用V漏斗を用い、漏斗に満たしたコンクリートがすべて流下するまでに要する時間を測定し、これをV漏斗流下時間とした。

スランブフロー試験およびV漏斗試験を行った後、

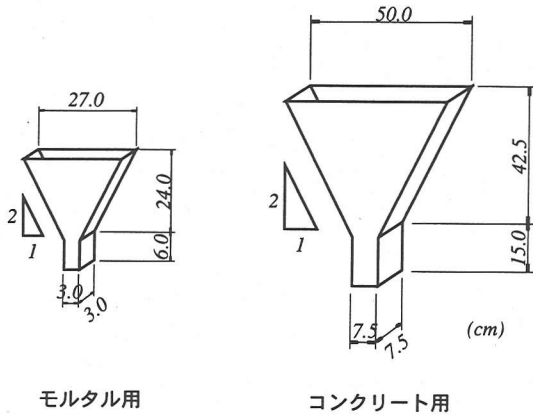


図-4 V漏斗の外形

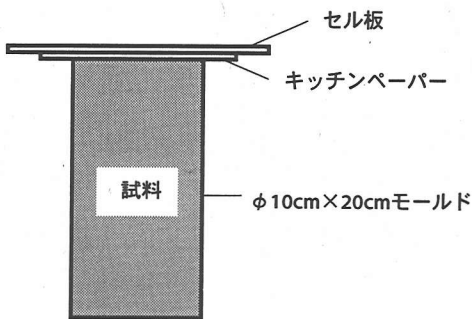


図-5 材料分離評価試験装置

図-5に示す材料分離評価試験装置により、材料分離の有無を確認した⁶⁾。まず、φ10cm×20cmの軽量モールドに試料を詰め、ストレートエッジで表面を平滑にする。その上にキッチンペーパーを置き、さらにキャッピング用のセル板を置いて、5分間静置する。その後、キッチンペーパーの質量を測定し、材料分離を評価した。使用したキッチンペーパーは表面をエンボス加工したもので、厚さ0.28mm~0.35mm、吸湿度1.5秒(JIS S 3104に基づく)で、材質はパルプ100%である。

4. モルタル性状

(1) 水膜厚

表-3および図-6に、モルタルのフロー値を250±10mm、V漏斗流下時間を10±1秒とした場合の、水粉体体積比および減水剤添加率を示す。粉体種類により、モルタル性状を一定とするために必要な水量および減水剤量は異なり、細かい粉体ほど多くの水

表-3 配合結果

記号	水粉体体積比 w/p	減水剤添加率 (%)	作成条件
MS10	0.759	0.76	フロー値 250mm および V漏斗 10秒
MS15	0.818	0.68	
LS05	0.632	0.62	
LS10	0.590	0.67	
LS15	0.558	0.50	
FA	0.494	0.75	
OPC	0.774	1.50	フロー値のみ
MPC	0.782	1.10	
LS10	1.558	0.00	
LS10	0.967	0.00	V漏斗のみ

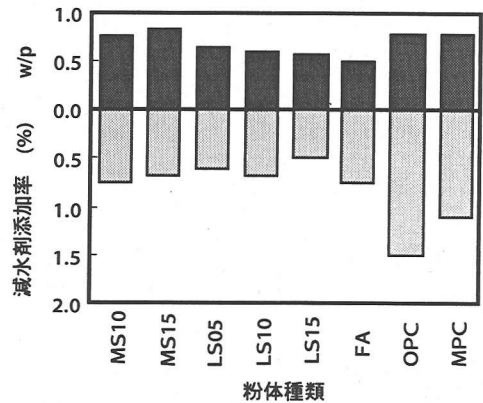


図-6 モルタルの配合

量を必要とすることが分かる。

前報のペーストの検討²⁾において、水膜モデルを適用することにより、ペースト性状と粒子周りの膜厚は一意的に対応することが明らかとなった。そこで、モルタルに水膜モデルを適用し、粒子周りの水膜厚を算出することとした。ただし、本研究では各モルタルにおいて細骨材量を一定としており、粉体の影響を検討する見地から、細骨材粒子周りの膜厚を考慮しないこととした。

図-7に粉体種類と水膜厚との関係を示す。粉体種類により多少ばらつきはあるものの、水膜厚は最も小さいLS15で5.8μm、最も大きいOPCで7.6μmとその差は1.8μmであり、ほぼ一定であることがわかる。よって、モルタル性状と水膜厚は一意的に対応し、水膜モデルはモルタルにおいても適用可能であることが明らかになった。このことにより、モルタルに水膜モデルを適用することで、粉体の粒度分布からモルタル性状を一定とする水量の算定が可能であることが示唆された。

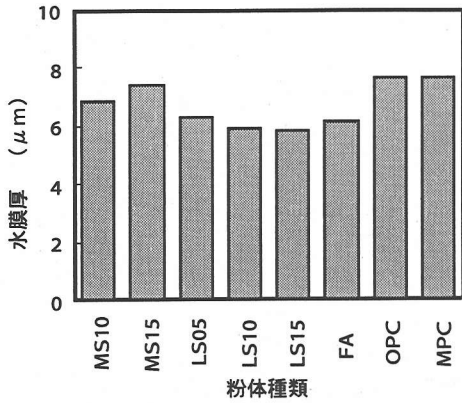


図-7 各粉体の水膜厚

次に、石灰石微粉末 *LS10* の水膜厚を基準とし、その他の粉体について、膜厚が一定となるためのパラメータ α を逆算した。ここで、基準となる *LS10* (w/p=0.590, SP=0.67%) のパラメータ α は、予備実験より求めた減水剤添加率とパラメータ α との関係(図-8)から、 $\alpha = 17.64 \times 10^{-22}$ とした。

図-9にモルタルとペーストのパラメータ α の比較を示す。パラメータ α は、電気・化学的作用力が粒子の凝集に及ぼす影響を示しているものと考えられ、粉体種類が同じであれば、化学的特性が同じことから、ほぼ同値をとると考えられる。同一種類において多少ばらつきがあるものの、その差は最も大きい石灰石微粉末シリーズ(モルタル)で 6.3×10^{-22} であり、種類毎にほぼ同じである。また、モルタルのパラメータ α はペーストに比較して減少する傾向が認められるが、特に *FA* はこの傾向が大きい。これはモルタルの配合においては減水剤が添加されているため、粒子の分散が進み、パラメータ α が減少したものと推察され、粉体の化学的特性により減水剤の効果が異なるものと考えられる。

一般的に高流動コンクリートには、減水剤が多量に使用されることが多い。減水剤の添加によりいずれの粉体においてもパラメータ α が減少することを考慮すれば、高流動モルタルおよび高流動コンクリートにおいて、凝集に及ぼすパラメータ α の影響は小さいものと考えられる。

(2) 減水剤の仮想膜厚

前報において、減水剤を添加したペーストに水膜モデルを適用することで、減水剤による仮想膜厚が算出できることを報告した²⁾。仮想膜厚の算出は、モルタル性状に及ぼす減水剤の役割を定量的に把握する観点から重要であると考えられ、本研究においても、さまざまな性状を示すモルタルの実験結果から

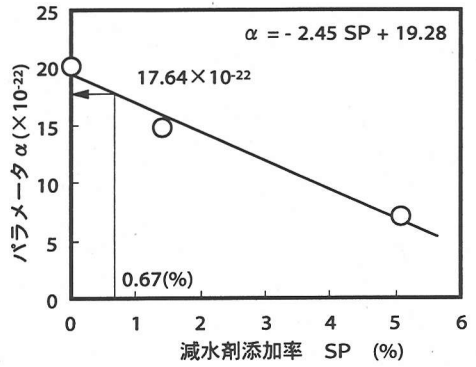


図-8 減水剤添加率とパラメータ α との関係

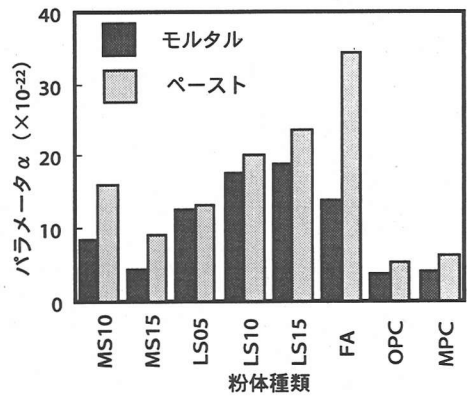


図-9 パラメータ α の比較

仮想膜厚を算出し、高流動コンクリートの配合理論について検討することとした。

まず、フロー値 250mm および V 漏斗流下時間 10 秒を満足させるために必要な水膜厚を求めるため、減水剤を添加しない石灰石微粉末 *LS10* における実験結果を用いて水膜厚を算出した。この時のパラメータ α は、減水剤を添加しないペーストの検討時に用いた $\alpha = 20 \times 10^{-22}$ とした。

次に *LS10* を用いて、さまざまな性状を示すモルタルを作成し、水膜厚および仮想膜厚を算出した。仮想膜厚は、水だけを用いてフロー値または V 漏斗流下時間を満足させる配合にて算出した水膜厚から、表-4 の配合にて算出した水膜厚を差し引いたものとした。パラメータ α は、図-8 を用いて減水剤添加率から算定した値を用いた。モルタルの配合および膜厚を表-4 に示す。

LS10-F と *LS10-V* の比較において、フロー値 250mm を満足させるために必要な水膜厚と V 漏斗流下時間 10 秒を満足させるために必要な水膜厚とは異なり、フロー値を満足するために必要な水膜厚がより多く

表-4 モルタル性状と膜厚

記号	水粉体体積比 w/p	減水剤添加率 (%)	水膜厚 (μm)	仮想膜厚 (μm)		フロー値 (mm)	V漏斗 (sec)
				フロー	V漏斗		
LS10-F	1.558	0.00	9.46	0.00	—	250	—
LS10-V	0.967	0.00	7.67	—	0.00	—	10.0
LS10-1	0.590	0.60	5.88	2.39	1.70	155	16.4
LS10-2	0.590	0.65	5.88	3.00	1.77	207	11.1
LS10-3	0.590	0.67	5.87	3.79	1.82	264	9.3
LS10-4	0.590	0.70	5.87	4.78	1.86	333	8.0
LS10-5	0.615	1.00	5.94	5.66	1.84	397	6.7
LS10-6	0.615	1.50	5.86	5.67	1.89	393	7.3

必要であることが分かる。したがって、水だけを用いてこのように異なる膜厚を同時に満足させることは困難であり、減水剤の働きにより両者を満足させなければならない。

水粉体体積比が一定の場合、減水剤添加率を増加するにしたがい、粒子の分散が進むため、水膜厚は減少する傾向を示す。しかし、その減少率は微小であることから、水粉体体積比が一定であれば水膜厚もほぼ同じと考えることができる。仮想膜厚は減水剤添加率により大きく変化し、その変化率はフローに関する仮想膜厚が、V漏斗に関する仮想膜厚に対して数倍大きいことが分かる。また、V漏斗流下時間は、V漏斗に関する仮想膜厚が増加することにより早くなるが、一方、LS10-4とLS10-5の比較においては、仮想膜厚が低下しているにも関わらず水膜の増加により、流下時間が早くなる傾向をも示している。

これらのことから、減水剤添加量を増加することによりフロー値は増大し、かつV漏斗流下時間も早くなるが、減水剤の効果は特に、フローに関する仮想膜厚を増加させフロー値を増すことであることがわかる。また、V漏斗流下時間はV漏斗に関する仮想膜厚の増加により早くなるものの、水膜厚の変動に対してより敏感であると考えられる。したがって、高流動モルタルは、減水剤がV漏斗流下時間よりもフロー値に対してより大きく働くという効果を活用し作製されていることが明らかになった。

図-10は表-4の結果をグラフ化し、モルタルの膜厚とフレッシュ性状との関係を示したものである。減水剤を添加しないLS10Wは表-4のLS10-FとLS10-Vの結果を図化したものであるが、フロー値を満足させるために必要な水膜厚と、V漏斗流下時間を満足させるために必要な水膜厚が異なるため、水だけを用いてこのように異なる水膜厚を同時に達成させることは物理的に無理である。一方、減水剤を添加してほぼ同じフレッシュ性状を示すLS10-3では、水膜厚を低く抑え不足する膜厚を減水剤の仮想膜厚で補うことにより両者を同時に満足させている。つまり、

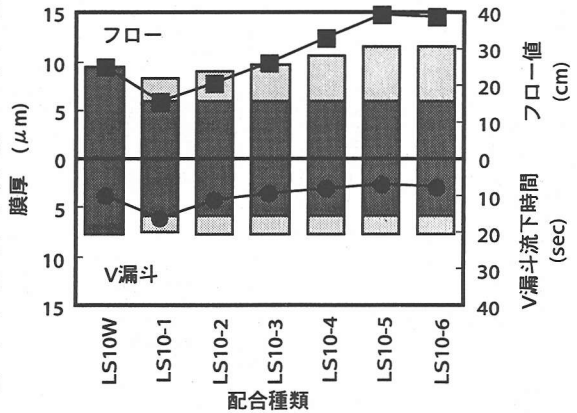


図-10 モルタルの膜厚と性状との関係

減水剤がV漏斗に対するよりフロー値に対してより大きな仮想膜厚を作成するという特性を利用し、フロー値とV漏斗流下時間を同時に満足する膜厚を達成させている。

一般的に、高流動コンクリートの作製には、スランプフロー値は降伏値に関係することから減水剤量により調整し、V漏斗流下時間は粘性に関係することから水量により調整する方法が採られている。しかしながら、これらのことを定量的に表現した例は少ない。本研究で提案した水膜モデルを適用し、膜厚を算出することにより、減水剤の効果および配合理論がほぼ定量的に示されることとなった。

図-11は上記の考察をもとに、高流動コンクリートの性状と膜厚との関係を模式的に表現したものである。高流動コンクリートを作製するためには、スランプフロー値とV漏斗流下時間を満足させる、異なる膜厚を、水膜厚と仮想膜厚との和によって同時に満足させなければならない。

減水剤を添加せず水のみで高流動コンクリートを作製しようとする時、水膜厚はスランプフロー値に対してもV漏斗流下時間に対しても同じ膜厚となるため、異なる膜厚を同時に達成することは無理であ

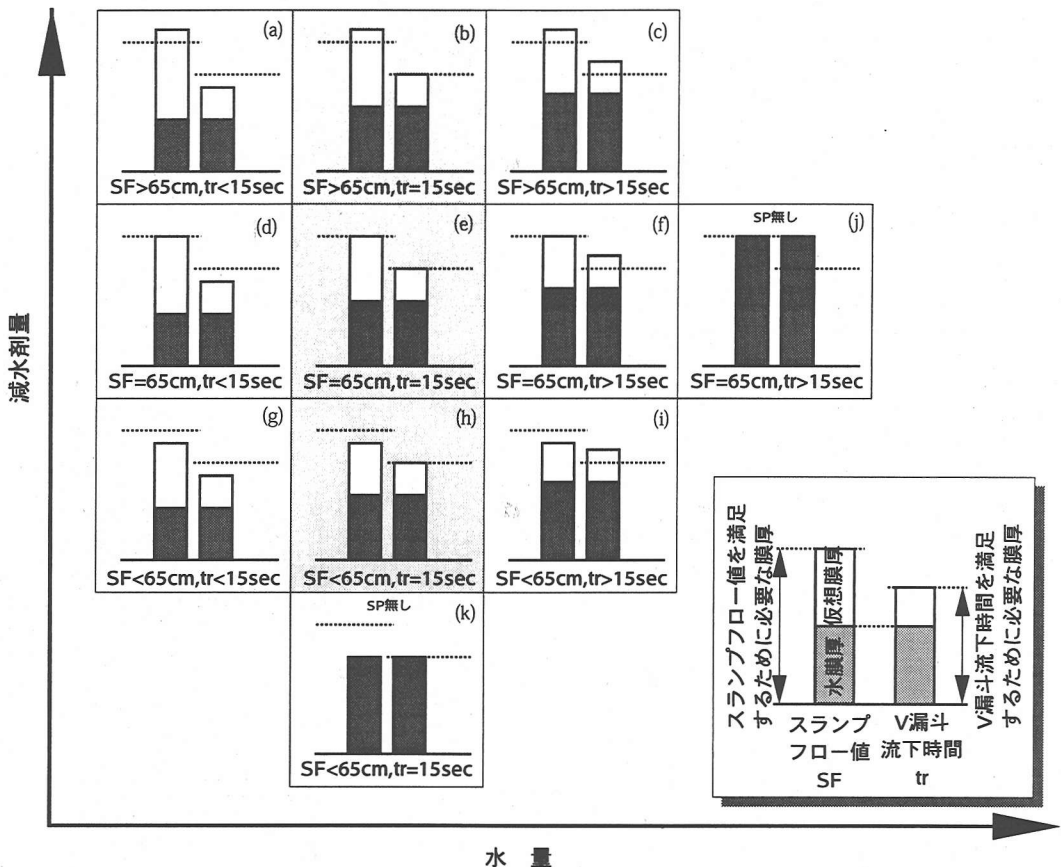


図-11 膜厚を考慮した配合の概要

り、高流動コンクリートを作製することはできない。つまり、水膜厚がスランブフロー値を満足するように、単位水量を設定すれば、V漏斗流下時間を満足する膜厚を越える (j) こととなりV漏斗流下時間は早くなる。逆にV漏斗流下時間を満足するように単位水量を設定すれば、スランブフロー値を満足する膜厚を下回る (k) こととなりスランブフロー値は小さくなる。

一方、減水剤を用いて高流動コンクリートを作製する場合、そのフレッシュ性状をスランブフロー値とV漏斗流下時間により分類すると9ケースに分けることができる。今、規定のスランブフロー値を65cm、V漏斗流下時間を15秒とすると、(a) スランブフロー値SF>65cm、V漏斗流下時間tr<15秒、(b) SF>65cm、tr=15秒、(c) SF>65cm、tr>15秒、(d) SF=65cm、tr<15秒、(e) SF=65cm、tr=15秒、(f) SF=65cm、tr>15秒、(g) SF<65cm、tr<15秒、(h) SF<65cm、tr=15秒、(i) SF<65cm、tr>15秒である。これらを膜厚の観点から図化すると図-11の(a)から(i)に対応する。これらの性状は、水膜厚と仮想膜厚と

のバランスにより決定され、水膜厚と仮想膜厚の和がスランブフロー値を満足する膜厚やV漏斗流下時間を満足する膜厚を達成しているか否かによって表現することができる。

V漏斗流下時間は減水剤添加量により仮想膜厚が増減するものの、その量は単位水量の増減による水膜厚の変化に比べて小さいため、主に単位水量に依存することとなる。一方、スランブフロー値は、減水剤添加量が仮想膜厚を効果的に増減させるため、主に減水剤添加量に依存することとなる。

高流動コンクリートの作製は、水膜厚と仮想膜厚との和が規定の膜厚に到達するようにそれぞれの量を決定すれば良いが、現在のところ簡単な方法はなく、試験練りにより求めているのが現状である。

先の高流動モルタルの検討において、水膜モデルを適用することにより、モルタル性状と水膜厚との関係が一意的に決定され、モルタル性状を等しくするためには粒子周りの水膜厚を同じとすれば良いことが明らかになった。したがって、フレッシュ性状が等しい高流動コンクリートを作製する場合におい

表-5 コンクリートの配合と性状

記号	水粉体体積比 w/p	減水剤添加率 (%)	フロー値 (mm)	V漏斗 (sec)	付着量 (g)
LS10	0.649	0.55	635	17.2	1.7
MS10	0.848	0.50	795	11.2	—
MS15	0.924	0.53	680	10.5	2.9
LS05	0.691	0.65	675	15.2	1.4
LS15	0.611	0.57	715	19.1	1.5
FA	0.542	0.85	730	15.1	1.5
OPC	0.859	1.50	650	21.4	1.1
MPC	0.873	0.90	755	13.9	—

ても、粒子周りの水膜厚を等しくすれば良く、水膜モデルを用いることにより単位水量を容易に算定することができると考えられる。

一方、減水剤添加量は減水剤の種類や用いる粉体などにより効果に変化するため、仮想膜厚から添加量を算定することは困難である。したがって、目下のところ試験練りにより求めなければならない。

5. コンクリート性状

(1) コンクリートの配合

これまでの検討より、ペーストおよびモルタルの性状を等しくするためには、水膜モデルを用いて、粒子周りの膜厚を同一とすれば良いことが明らかになった。そこで、コンクリートにおける水膜モデルの適用性を検討するために、各種粉体を用いた高流動コンクリートを作製し、フレッシュ性状の比較を行うこととした。

水膜モデルを適用し、基本コンクリートから水量を算定するためには、基本コンクリートにおける粒子周りの水膜厚をあらかじめ算出しておく必要がある。したがって、まず石灰石微粉末LS10を基本とし高流動コンクリートを作製した。基本コンクリートのフレッシュ性状は、スランプフロー値 65 ± 5 cm、V漏斗流下時間 15 ± 5 秒とした。基本コンクリートの配合およびフレッシュ性状を表-5に示す。

基本コンクリートの水粉体体積比、LS10のパラメータB、C、粉体の密度、長短比を用いて、式(21)から水膜厚を算出した結果、水膜厚は $6.2 \mu\text{m}$ となった。ここで、パラメータ α はモルタルの検討時に用いた $\alpha = 17.64 \times 10^{-22}$ を使用した。また、細骨材および粗骨材周りの水膜厚は、コンクリート容積に対するそれぞれの容積を一定としており、粉体間の比較を行う観点から、考慮しないこととした。

次に、他の7種類の粉体について、基本コンクリートと水膜厚を等しくし、粉体のパラメータB、C、密度、長短比を用いて、水粉体体積比を算出した。こ

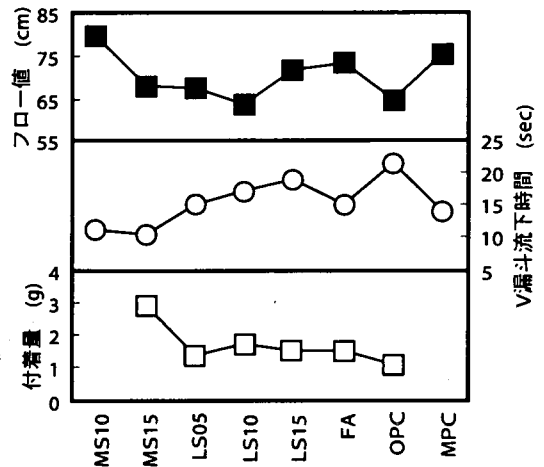


図-12 コンクリートのフレッシュ性状

で、パラメータ α はモルタル検討時のものを使用した。求めた水粉体体積比にてコンクリートを作製し、スランプフロー試験、V漏斗試験を行い、スランプフロー値が 65 ± 5 cmとなるまで減水剤量を調整しながら実験を繰り返した。また、スランプフロー値が規定範囲内であることが確認された時点で、材料分離評価試験⁷⁾を行った。表-5にコンクリートの配合、および図-12にフレッシュ性状を示す。

(2) コンクリート性状

水粉体体積比を固定し、減水剤添加率だけを調整することにより、フレッシュ性状が基本コンクリートとほぼ同じとなる、高流動コンクリートを作製することができた。特に、水量に大きく関係すると思われるV漏斗流下時間は、モルタル検討時のパラメータ α を使用したにもかかわらず、基本コンクリートに対し-6.7秒~+4.2秒の範囲内であり、減水剤をより正確に調整することで、その差は縮まるものと考えられる。

本研究で採用した材料分離評価試験に関して、皆

口らの研究によれば、キッチンペーパーへのモルタルの付着量が3g未満の場合、材料分離は生じていないとみなされることが報告されている⁷⁾。本研究においてもこの基準を採用することとし、材料分離を評価することとした。いずれの粉体を用いたコンクリートにおいてもキッチンペーパーへのペーストの付着量は3g未満であり、材料分離は生じていないと考えられる。また、目視による観察でも材料分離は認められなかった。

これらの結果から、コンクリートに水膜モデルを適用することにより、粉体の粒度分布から、フレッシュ性状をほぼ同じとするために必要な、水量の算定が可能であることが明らかになった。ただし、本論文は、細骨材量および粗骨材量を一定として行った結果であるため、今後、粉体、細骨材、粗骨材を含めた粒子周りの水膜厚について検討する必要があると考える。

6. 結論

高流動コンクリートの配合設計の確立には、適切な水量の算定が重要であるとの認識から、各種粉体を用いて作製したモルタルに水膜モデルを適用し、その適用性について検討するとともに、膜厚の観点から配合設計について考察を加えた。また、得られた結果を基に高流動コンクリートの配合を決定し、フレッシュ性状の確認を行った。本研究範囲内で得られた結果を以下に示す。

(1) 水膜モデルを高流動モルタルに適用することにより、モルタル性状と粒子周りの水膜厚とは一意的に対応する。このことにより、モルタル性状を等しくするために必要な水量は、粉体の粒度分布から算定できる可能性がある。

(2) 減水剤による仮想膜厚を考慮することにより、高流動コンクリートの配合理論をある程度定量的に説明することができる。

(3) 水膜モデルを高流動コンクリートに適用することにより、使用する粉体の粒度分布から、フレッシュ性状を等しくするコンクリートの水量を算定できる可能性がある。

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、中村博之氏（長岡技術科学大学大学院修士課程、現大林組）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) 岡村甫, 前川宏一, 小澤一雅: ハイパフォーマンスコンクリート, 技報堂出版, pp.38-43, 1993.
- 2) 緑川猛彦, 丸山久一, 下村匠, 桃井清至: 粉体特性の定量化手法に基づくペーストの流動性評価法, 土木学会論文集, No.550/V-33, pp.99-110, 1997.
- 3) 下村匠, 前川宏一: 微視的機構に基づくコンクリートの乾燥収縮モデル, 土木学会論文集, No.520/V-28, pp.35-45, 1995.
- 4) 緑川猛彦, 丸山久一: 保水能力に関する各種粉体の粒子形状や粒度分布の評価, 土木学会論文集, No.544/V-32, pp.121-130, 1996.
- 5) コンクリート技術シリーズ 高流動コンクリートシンポジウム論文報告集, 土木学会, pp.216-217, 1996.
- 6) 坂田昇, 丸山久一, 南昌義: 増粘剤ウエ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.
- 7) 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.

(1997.2.25 受付)

APPLICATION OF WATER LAYER MODEL TO MORTAR AND CONCRETE WITH VARIOUS POWDER

Takehiko MIDORIKAWA, Kyuichi MARUYAMA,
Takumi SHIMOMURA and Kiyoshi MOMONOI

Fresh property of mortar and concrete with various powder are analyzed by the water layer model which involves flocculation of powder. It was examined the relation of water layer thickness which is calculated using water layer model from the water powder volume ratio to flow and V-funnel value by mortar and concrete.

The results indicated that fresh property of mortar and concrete and a water layer thickness correspond directly, a water powder volume ratio of concrete is calculated from the size distribution of powder, and the water layer model is effective in designing the mix proportion of self-compacting concrete.