

論文

[1064] 細骨材の物性がフレッシュモルタルの流動性に及ぼす影響

正会員 近田孝夫 (新日鐵化学高炉セメント技術センター)

正会員○前田悦孝 (同 上)

正会員 松下博通 (九州共立大学土木工学科)

1. まえがき

フレッシュコンクリートの理論的な配合設計法の1つとしてKennedy, Powersらによって提唱されたに余剰ペースト膜厚理論がある。[1] この理論は、コンクリートをセメントペーストと骨材の2相材料と考え、セメントペーストの性質および骨材表面に形成されるペースト膜厚によってコンクリートのコンシステンシーが定められるとする考え方である。筆者らは、これまでの研究で、セメントペーストの流動性を一定とした場合には余剰ペースト膜厚理論により求められた最適細骨材率においてコンクリートの流動性が最大となり、最大寸法20~120mmのコンクリートおよび砕砂を使用したコンクリートの最適細骨材率の決定に本理論を十分適用できることを実験的に実証した[2][3]。

本研究は、使用する骨材の性状が変化した場合におけるコンクリートの配合設計への余剰ペースト膜厚理論の適用に関する基礎的研究として、細骨材の粒子形状および粒度の影響を調査するため細骨材材料としてガラスビーズ、海砂、砕砂を用いて粒度曲線の異なる細骨材を作成し、細骨材の単位容積を変化させた場合のフレッシュモルタルのスランプを測定し、細骨材の実績率、粗粒率および余剰ペースト膜厚との関係を検討したものである。

2. 試験方法

2.1 使用材料

セメントは市販の普通ポルトランドセメント(粉末度 3380cm²/g, 比重 3.16 以下、OPCと略記)を使用し、高炉スラグ微粉末は粉末度 4300cm²/g (比重 2.91, 以下、GGBFSと略記)のものを使用した。

混和剤は、リグニンスルホン酸塩系の減水剤を使用し、添加量は(OPC+GGBFS)×0.25 wt%とした。

本試験で使用した細骨材の種別は、ガラスビーズ、海砂、砕砂の3種類である。海砂は、標準ふるいを用いて5.0~2.5mm, 2.5~1.2mm, 1.2~0.6mm, 0.6~0.3mm, 0.3~0.15mmの各単粒度にふるい分け、『細骨材の塩酸溶解物試験方法』[4]に準じて水:塩酸=1:5の溶液を用いて貝殻を溶解させた後、流水にて十分に洗浄し塩酸分および粒子表面に付着している鉱物微粉末を除去した。洗浄はメチルレッド溶液が変色しなくなるまで実施して塩酸分の除去を

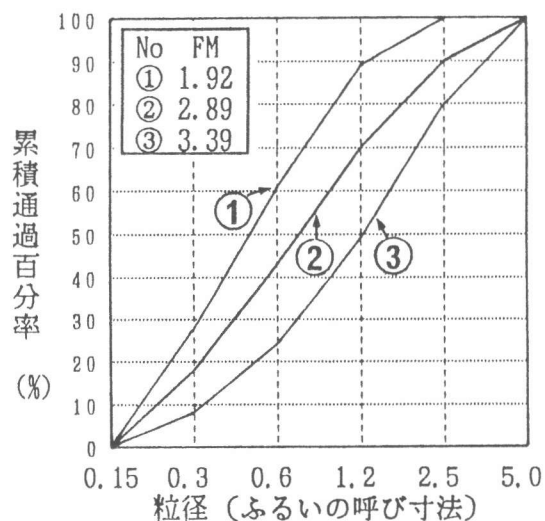


図-1 実験粒度

確認した。砕砂は5種類の単粒度細骨材にふるい分けた後、粒子表面に付着している鉱物微粉末を除去するため流水にて洗浄した。ガラスビーズは数種類の市販品を使用し、必要に応じて過大粒と過小粒をふるい分けたものを組み合わせて、5種類の単粒度細骨材を作成した。これらの単粒度細骨材を細骨材種別毎に組み合わせて図-1に示す粒度曲線を有する実験用の細骨材を作成した。表

表-1 細骨材の性状

細骨材 の種別	粒度 NO	表乾 比重	固有実 積率(%)	粒径判定 実積率(%)	比表面積 (cm^2/g)
ガラスビーズ	1		67.7		161.2
	2	2.47	70.2	63.2	122.4
	3		71.0		81.9
海砂	1	2.56	61.2		188.5
	2	2.56	62.9	58.5	141.3
	3	2.56	63.1		92.1
砕砂	1	2.66	58.5		212.9
	2	2.66	60.9	53.0	164.6
	3	2.65	60.9		111.2

-1に実験用細骨材の物理的性状を示す。本研究では、セメントペーストと細骨材の境界粒子径を $150\mu\text{m}$ とすることとし、細骨材は 0.15mm 以上の粒度曲線を変化させた。これらの実験用細骨材の 0.15mm 以下の粒子含有量は1%以下、洗い試験による 0.075mm 以下の損失量は0%であった。

2.2 余剰ペースト膜厚の算出方法

余剰ペースト量 P (cm^3/l) は、モルタル中に占める骨材容積を%で示した配合実績率 G_c と単位容積質量試験から求まる各細骨材の固有実績率 G_i を用いて式(1)にて算出した。

$$P = 1000 (1 - G_c / G_i) \quad (1)$$

骨材の比表面積 S_s (cm^2/cm^3) は粒径が $0.15 \sim 0.074\text{mm}$ の範囲にある球体の比表面積を $558\text{cm}^2/\text{cm}^3$ として式(2)により算出した。

$$S_s = 5.58 \{ (1/32) (P_1 / \phi_1) + (1/16) (P_2 / \phi_2) + \dots + (1/2) (P_5 / \phi_5) \} \quad (2)$$

ここに、 P_1 は $5.0 \sim 2.5\text{mm}$ の粒子の容積%， P_2 は $2.5 \sim 1.2\text{mm}$ の骨材の容積%， $\dots$ ， P_5 は $0.3 \sim 0.15\text{mm}$ の粒子の容積%である。 $1/\phi_1$ ， $1/\phi_2$ ， $\dots$ ， $1/\phi_5$ は、それぞれ $5.0 \sim 2.5\text{mm}$ ， $2.5 \sim 1.2\text{mm}$ ， $\dots$ ， $0.3 \sim 0.15\text{mm}$ の各単粒度細骨材の角ばり係数であり、Powersが求めた水中軽盛骨材の空隙率と角ばり係数の関係式を棒突き試験法による実績率と角ばり係数の関係に修正した式(3)を用いた。

$$1/\phi_k = 1 + 4.00 (0.64 - G_k / 100), \quad k = 1, 2, 3, 4, 5 \quad (3)$$

ここに、 G_k は $5.0 \sim 2.5\text{mm}$ ， $2.5 \sim 1.2\text{mm}$ ， $\dots$ ， $0.3 \sim 0.15\text{mm}$ の各単粒度細骨材の単位容積質量試験より求めた実績率(%)であり、ガラスビーズ、海砂、砕砂の単粒度細骨材の角ばり係数はそれぞれ、 $1.00 \sim 1.11$ ， $1.19 \sim 1.29$ ， $1.38 \sim 1.46$ であった。余剰ペースト膜厚 δ (μm) は式(1)，式(2)により算出した余剰ペースト量と細骨材の比表面積および単位細骨材容積 V_s (cm^3/l) を用いて式(4)により求めた。

$$\delta = P / (S_s \times V_s) \times 10000 \quad (4)$$

2.3 モルタルの配合

セメントとしてOPCを単味使用した場合は $W/C=30, 35, 40\%$ とし、スラグ置換率50%の場合はOPC単味使用の $W/C=35\%$ の場合とセメントペーストの水/固体容積比(1.11)が同一となる $W/C=36.2\%$ とした。セメントペースト単味の性状を表-2に示す。モルタルの配合は所定の W/C において余剰ペースト膜厚が約 $10\sim 150\mu m$ となる範囲で単位細骨材容積(cm^3/l)を変化させた。

2.4 練り混ぜおよび測定方法

モルタルの練り混ぜは、『JIS R 5201 セメントの強さ試験』に準じ、練り混ぜ量は1.3リットルとした。スランブの測定は上端内径50mm, 下端内径100mm, 高さ150mmのスランブコーンを使用し『JIS A 1173 ポリマーセメントモルタルのスランブ試験方法』に準じて測定した。試験は $20^\circ C$ ・湿度80%の室内にて実施した。

3. 試験結果および考察

3.1 単位細骨材容積とスランブの関係

図-2にセメントペースト部分の配合をOPC単味使用で $W/C=35\%$ とした場合とスラグ置換率50%で $W/C=36.2\%$ とした場合の単位細骨材容積(以下、細骨材容積と称す)とスランブの関係を示す。細骨材容積が比較的小さい領域では細骨材の粒度や種別によるスランブの差は小さく、細骨材容積が低下すると同程度のスランブとなる傾向がある。一方、細骨材容積が増加するほど細骨材の粒度や種別によるスランブの相違が明確になっている。いずれの細骨材種別においても細骨材容積の増加に伴ないスランブは減少するが、同一細骨材容積におけるスランブは細骨材粒度が小さいほど小さくなっている。同一粒度で細骨材種別による相違を比較するとガラスビーズ、海砂、砕砂の順に同一細骨材容積におけるスランブは大きく、細骨材容積の増

表-2 セメントペーストの性状

結合材	水/固体容積比	W/C (%)	フロー値 (cm)	Jロート 流下時間(秒)
OPC単味	0.95	30.0	209	完全流下せず
	1.11	35.0	246	完全流下せず
	1.26	40.0	279	22.0
OPC+GGBFS 置換率50%	1.11	36.2	265	44.8

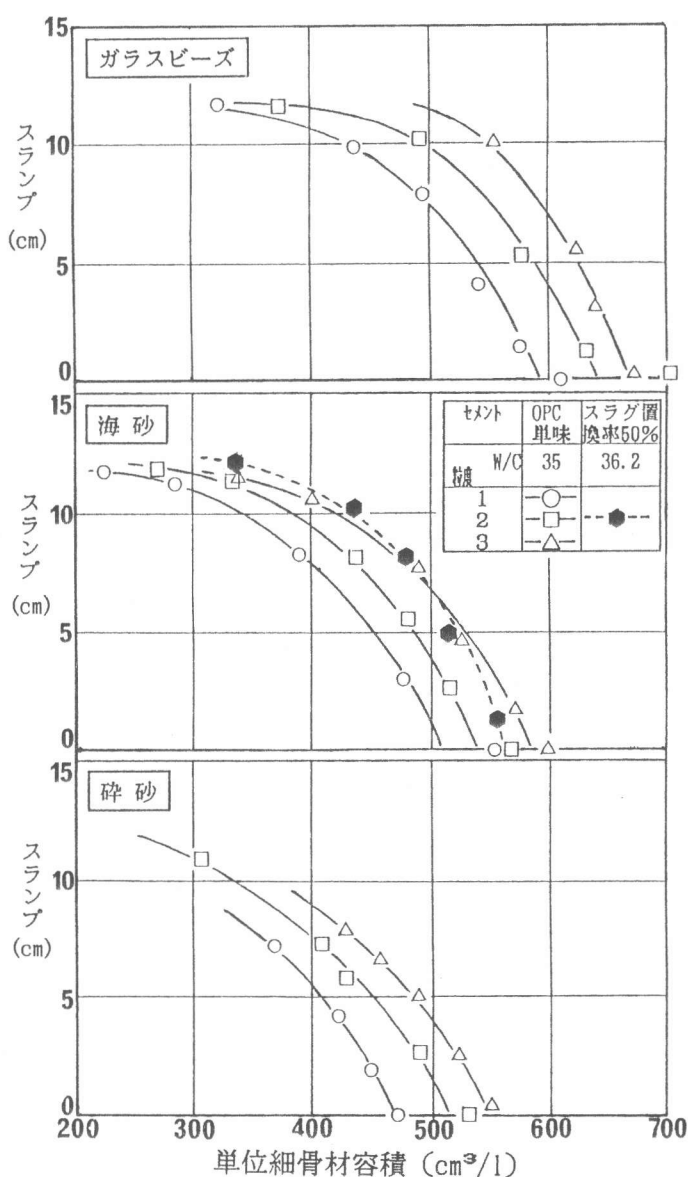


図-2 単位細骨材容積とスランブの関係

加に対するスランプの減少割り合いも大きくなっている。また、セメントペーストの水／固体容積比が同一でもOPC単味使用の場合に比較してスラグ置換率50%の場合は同一細骨材容積におけるスランプが大きく、細骨材容積の増加に対するスランプの減少割り合いも大きい。

3.2 粗粒率の影響

図-3は、OPC単味使用の場合でスランプ4cm, 8cmとなる細骨材容積を縦軸にとり粗粒率との関係を示した図である。これより、粗粒率の増加に伴ない同一スランプとなる細骨材容積を大きくできるが、いずれの場合も粗粒率の増加が1.92~2.89の場合より2.89~3.39の場合の方が細骨材容積の増加割合は大きくなった。

3.3 固有実績率の影響

図-4は、OPC単味使用のW/C=35%の場合においてスランプ4cm, 8cmとなる細骨材容積を縦軸にとり固有実績率との関係を示したものである。これより、粒度曲線が同一の場合で比較すると、固有実績率が大きい細骨材を使用した方が同一スランプとなる細骨材容積を大きくでき、固有実績率が同一であっても細骨材の粗粒率が大きい場合の方が同一スランプとなる細骨材容積を大きくできる傾向がある。

3.4 余剰ペースト膜厚とスランプの関係

図-5は、細骨材種別毎に余剰ペースト膜厚とスランプの関係を示したものである。これより、セメントペーストの配合をOPC単味のW/C=35%とした場合は、余剰ペースト膜厚の増加に対するスランプの増加は細骨材種別毎に粒度によらずほぼ1本の曲線で近似されるものと考えられる。また、海砂における結果から、W/Cが変化した場合も余剰ペースト膜厚の増加に対するスランプの増加は、細骨材の粒度によらずそれぞれのW/C毎にほぼ1本の曲線で近似されるものと考えられる。しかし、W/C=30%の場合はW/C=35, 40%の場合に比較して同一膜厚におけるスランプのばらつきがやや大きくなっており、細骨材粒度が大きいほどスランプが小さくなる傾向が認められる。これらの結果では、余剰ペースト膜厚がある程度増加するまではスランプが0となる領域が存在しており、W/C=35, 40%の場合は余剰ペースト膜厚が約10~15 μ m以下でスランプ0となるの

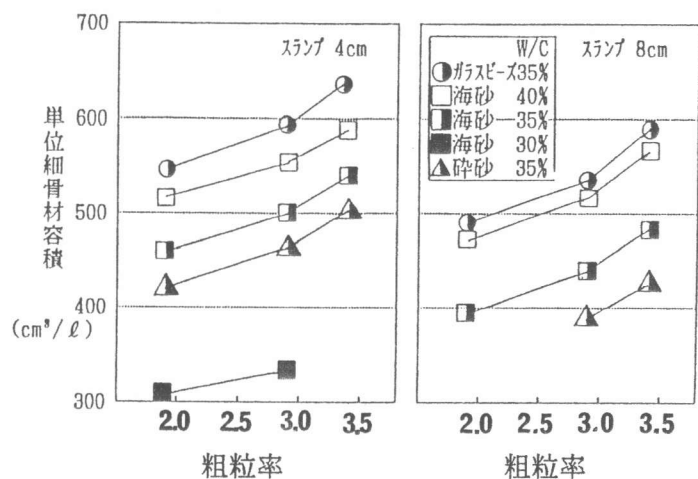


図-3 粗粒率と同一スランプとなる単位細骨材容積の関係

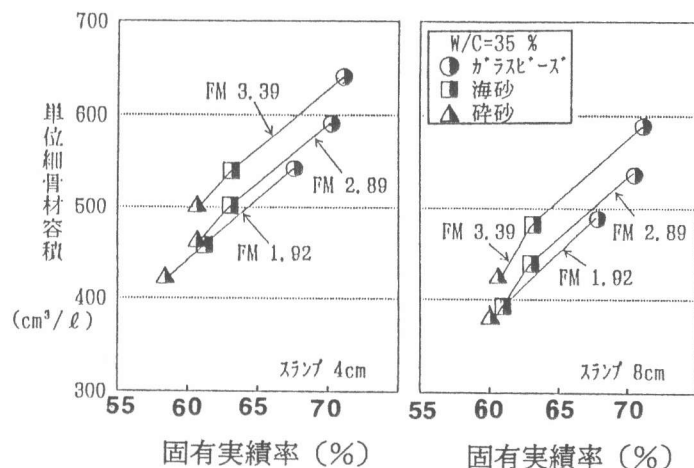


図-4 固有実績率と同一スランプとなる単位細骨材容積の関係

に対して、 $W/C=30\%$ の場合のスランプが0となる膜厚は約 $35\mu m$ 程度と推定され $W/C=35, 40\%$ の場合より大きくなっている。

一方、海砂においてセメントペーストの配合をOPC単未使用の $W/C=30\sim 40\%$ とした場合およびスラグ置換率50%で $W/C=36.2\%$ とした場合を比較すると、同一膜厚におけるスランプは、表-2に示すセメントペースト単味の流動性が大きい場合ほど大きくなっている。

図-6は、ガラスビーズ、海砂、砕砂の余剰ペースト膜厚とスランプの関係を同一粒度曲線(No. 2)の場合で比較したものである。細骨材の種別によって余剰ペースト膜厚とスランプの関係は異なっており、ガラスビーズは同一膜厚におけるスランプが他より大きい。これは、形状や表面性状など細骨材を構成する粒子の性状の違いによるものと考えられる。

以上の結果より、細骨材の種別すなわち細骨材を構成する粒子の性状がほぼ同一であり粒度曲線が比較的連続的な場合は、粗粒率や固有実績率が異なる場合でもモルタルのスランプは余剰ペースト膜厚とセメントペーストの流動性によりほぼ定まるものと考えられる。

ここで、細骨材の粒子形状の影響について考察するため、粒形判定実績率と同一スランプとなる余剰ペースト膜厚の関係を図-7に示した。これより、粒形判定実績率が小さくなると同一スランプとなる余剰ペースト膜厚が大きくなる傾向があり、粒子の形状が角ばった細骨材を使用する場合は同一スランプを得るための余剰ペースト膜厚が増大するものと考えられる。この図ではスランプが大きい場合ほど粒形判定実績率の低下に対する余剰ペースト膜厚の増加割合は増大し、また、粒度No. 1, 2(粗粒率1.92, 2.89)に比較して粒度No. 3(粗粒率3.39)はその増加割合が大きくなる傾向となった。これは、スランプが大きくなるほど余剰ペースト膜厚の増加に対するスランプの増加量が小さくなり、同一スランプを得るための余剰ペースト膜厚の差が大きくなるためである。図-5, 6に示すように同一膜厚におけるスランプを比較すると、余剰ペースト膜厚が大きいほど、即ちスランプが大きくなるほど細骨材種別や粒度による差はむしろ小さくなっている。

スランプ試験はその値が10cmを越えるようなモルタルに対してはコンシス

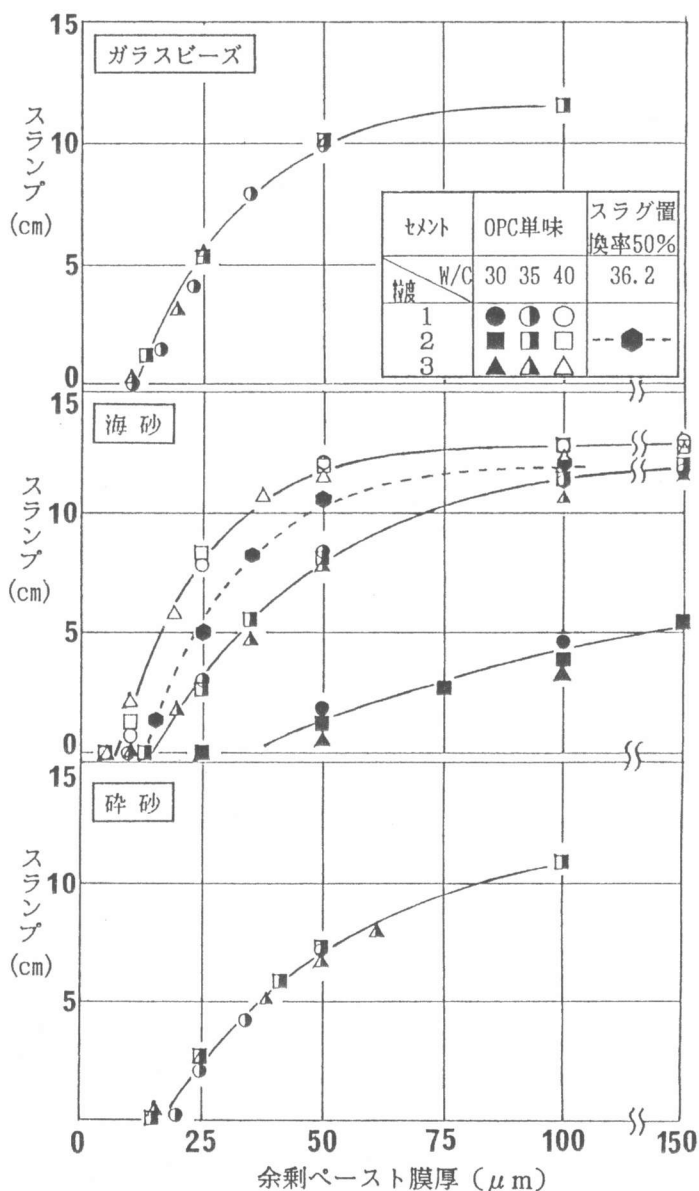


図-5 余剰ペースト膜厚とスランプの関係

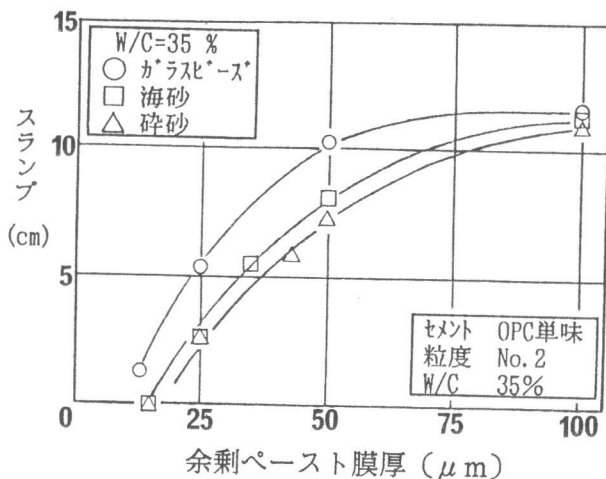


図-6 余剰ペースト膜厚とスランプの関係
(細骨材種別が異なる場合の比較)

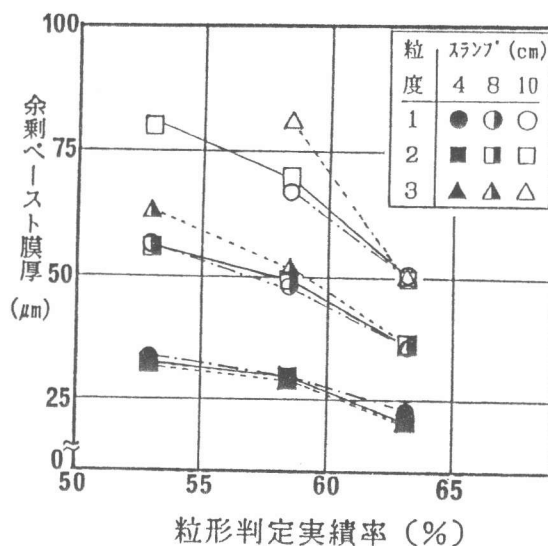


図-7 粒形判定実績率と同一スランプ
となる余剰ペースト膜厚の関係

テンシーの評価が鈍感になると考えられるため、このようなモルタルのコンシステンシーと余剰ペースト膜厚との関係を考察するためにはフロー値やJロート流下時間などの他の方法によりコンシステンシーを測定する必要があると考えられる。

4. まとめ

本実験の結果をまとめると以下の通りである。

- (1) 同一単位細骨材容積におけるスランプは、同一種別の細骨材では骨材の粒度が小さいほど小さく、同一粒度で比較するとガラスビーズ、海砂、砕砂の順に大きくなった。
- (2) 粗粒率の増大に伴ない同一スランプとなる単位細骨材容積は増大するが、その増加割合は粗粒率の増加が1.92~2.89の場合より2.89~3.39の場合の方が大きくなった。
- (3) 固有実績率の増大に伴ない同一スランプとなる単位細骨材容積は増大するが、固有実績率が同一の場合でも粗粒率の大きい細骨材の方が単位細骨材容積を大きくできる。
- (4) 同一種別の細骨材では粒度曲線や固有実績率が異なる場合でも余剰ペースト膜厚の増加に対するスランプの増加はほぼ1本の曲線で近似された。
- (5) 細骨材の種別が異なると粒度曲線が同一であっても余剰ペースト膜厚とスランプの関係は相違し、粒形判定実績率が小さい細骨材を使用する場合は同一スランプを得るための余剰ペースト膜厚は大きくする必要がある。

[参考文献]

- 1) T.C.Powers: The Properties of Fresh Concrete. Jhon Wiley and Sons Inc. 1968
- 2) 松下博通・近田孝夫: 余剰ペースト理論の配合設計への適用に関する研究、セメント・コンクリート論文集、No. 43、pp. 84~89、1989
- 3) 松下博通・近田孝夫・田中邦博: 砕砂コンクリートの細骨材率に関する一考察、セメント技術年報 No. 42、pp88~91、1988
- 4) 細骨材の品質がコンクリートの諸性状に及ぼす影響、(社)セメント協会 コンクリート専門委員会報告 F-32、pp2、1981