高流動コンクリートの流動性に及ぼす粗骨材の影響に関する研究

STUDY ON INFLUENCE OF COARSE AGGREGATE ON
FLOWABILITY OF SELF-COMPACTING CONCRETE

宮野和樹*, 梶田佳寛**, 中村成春***, 五味信治****
Kazuki MIYANO, Yoshihiro MASUDA, Shigeharu NAKAMURA
and Shinji GOMI

The influence of quantity and shape of coarse aggregate and flowability of mortar on flowability of self-compacting concrete is investigated in this study. The coefficient of thickness of mortar layer is introduced based on coefficient of coarse aggregate's shape, quantity of coarse aggregate and solid content in coarse aggregate. The coefficient of coarse aggregate's shape is introduced by projection circumference, projection area, volume and grading of coarse aggregate. The flowability of self-compacting concrete can be estimated by coefficient of thickness of mortar layer and flowability of mortar.

Keywords: Self-Compacting Concrete, Shape of Coarse Aggregate, Grading of Coarse Aggregate, Solid Content in Coarse Aggregate, Flowability of Mortar

高流動コンクリート、粗骨材形状、粒度分布、実積率、モルタルの流動性

1. はじめに

高流動コンクリートの流動性に及ぼす調査要因の影響を理論的に把握する方法として、コンクリートを粗骨材とモルタルまたは骨材とセメントペーストの二相材料と考え、モルタルやセメントペーストの膜厚に基づいて評価する方法が報告されている¹⁾²⁾³⁾。これは、骨材周りの空隙を占めるモルタルやセメントペーストの厚さと流動性によりコンクリートの流動性を評価するものである。モルタルやセメントペーストの厚さは、骨材量、骨材形状の影響を受けると考えられる。

一方、一般にコンクリートの流動性に及ぼす粗骨材形状の影響を評価する場合は、実積率が特性値として用いられることが多いが、高流動コンクリートの流動性は、実積率のみでは十分に評価できない⁴⁾。実積率以外に、比表面積なども有用な特性値として考えられ、それらの特性値を考慮した高流動コンクリートの調査方法を確立する必要があると考えられる。そこで、粗骨材形状を定量化するために、粗骨材の表面積または表面積の大小の傾向を表す値を算出することにより、膜厚理論に関連づけて、高流動コンクリートの流動性を評価することができると考えられる。

本研究は、高流動コンクリートの流動性に及ぼす粗骨材量、粗骨材形状およびモルタルの流動性の影響を実験的に検討したものであ

る。ここで、まず、粗骨材形状と粒度分布を考慮した粗骨材特性値を提案する。次に、その特性値と実積率および粗骨材絶対容積とを関連づけ、膜厚理論に基づき実験結果を考察する。さらに、モルタルの流動性を考慮することにより、高流動コンクリートの流動性を膜厚理論に基づき評価することとした。

2. 粗骨材形状の評価

2.1 評価概要

骨材形状を評価する指標として、骨材体積に対する骨材表面積の割合が重要である。しかし、骨材表面積を実際に測定することは、非常に困難である。細骨材の表面積の近似値を求める方法としては、水透過法により測定する方法⁵⁾、定水位透水試験により得られた透水係数と試料の空隙率から算出する方法⁶⁾⁷⁾などがある。しかしこれらは粗骨材のように径が大きい骨材の表面積を測定するには適当ではない。粗骨材の表面積の近似値を求める方法としては、粗骨材と同径の球体の比表面積と粗骨材の表面係数および角張り係数より算出する方法⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾、粗骨材を楕円体で近似し、その直交3方向の径を計測し、それをもとに楕円の面積を求め、その平均の4倍を表面積とする方法¹¹⁾、粗骨材の3方向の投影面積の平均の4倍を表面積とする方法¹²⁾¹³⁾がある。これらの方法は、粗骨材の形状をある程度評

* 宇都宮大学大学院工学研究科 大学院生・修士(工学)

** 宇都宮大学工学部建設学科 教授・工博

*** 宇都宮大学工学部建設学科 助教授・工博

**** りんかい日産建設技術研究所 所長

Graduate Student, Graduate School of Engineering, Utsunomiya Univ., M. Eng.
Prof., Dept. of Architecture and Civil Engineering, Faculty of Engineering,
Utsunomiya Univ., Dr. Eng.
Assoc. Prof., Dept. of Architecture and Civil Engineering, Faculty of Engineering,
Utsunomiya Univ., Dr. Eng.
General Manager, Research and Development Institute, Nissan Rinkai Construction

価していると考えられるが、粗骨材のふくらみ具合や表面の凹凸は十分に反映できていないと考えられる。ここで、ふくらみ具合とは、図-1に示すように、3方向の径は各々同じであるが、形状が異なるという意味である。これらの形状の粗骨材では、それぞれコンクリートの流動性に及ぼす影響が異なると考えられるが、これらを楕円体で仮定するとすべてを同じ形状として捉えることになる。また、表面の凹凸とは、概念図で示すと、図-2に示すような違いのことである。図-2において、面積および周長は、凹凸なしの値を1.00とした場合の比を凹凸ありに示した。これらの形状の粗骨材についても、それぞれコンクリートの流動性に及ぼす影響が異なると考えられるが、投影面積で仮定すると同じ形状として捉えることになる。そこで、本研究では、粗骨材の体積に対する表面積の代わりに、粗骨材の投影面積に対する投影周長を求め、粗骨材の投影単位面積あたりの周長を算出した。この粗骨材の単位面積あたりの周長は、粗骨材体積に対する粗骨材表面積の大小の傾向を表していると考えられる。粗骨材の体積の影響をなくすため、単位体積あたりの単位面積周長を求め、さらに、単位体積あたりの粗骨材の各ふるいの残留体積を用い、粒度分布を考慮した値を求めた。この値を粗骨材形状係数とし、粗骨材体積に対する表面積の傾向を表す特性値と考えた。

2. 2 使用材料

使用した粗骨材の種類および特性を表-1に、粗骨材の粒度分布を表-2に示す。粗骨材は、硬質砂岩碎石、石灰岩碎石、川砂利の3種類とし、実積率がそれぞれ59.9%、61.0%、65.3%と異なる。また、粒度分布は3種類ともほぼ同程度の値となった。

2. 3 測定方法

各粗骨材を、5~10mm（以下1005とする）、10~15mm（以下1510とする）、15~20mm（以下2015とする）、20~25mm（以下2520とする）の粒度範囲にふるいを用いて分級し、粒度範囲1005、1510では30個を、粒度範囲2015では10個を、粒度範囲2520では5個を四分法により無作為抽出して測定試料とした。粒度範囲2015、2520は、粒度分布において占める割合が小さく影響が少ないため、測定試料数を少なくした。

各粗骨材において図-3に示すように、粗骨材の最長径を基準とし、直交3方向の画像I、II、IIIをデジタルカメラにより撮影した。一つの粗骨材について、より多くの方向からの粗骨材画像を用いることが望ましいが、計測上の利便性の観点から、直交3方向であれば、粗骨材全体の形状を評価することができると考えられるため、直交3方向を用いた。次に、パソコン内に画像を読み込み、その画像をトレースした。また、粗骨材個々について絶乾質量を測定し、絶乾密度により体積を算出した。

2. 4 評価方法

各粗骨材の投影周長、投影面積、体積を用いて、粗骨材種類の違いによる形状の差異と粗骨材の粒度分布を考慮した粗骨材形状係数を以下のように算出した。

まず、粒度範囲*i*の*j*個目の粗骨材単体の単位面積あたりの周長 L_{ij} は次式で算出した。

$$L_{ij} = \frac{\frac{L_{ji1}}{S_{ji1}} + \frac{L_{ji2}}{S_{ji2}} + \frac{L_{ji3}}{S_{ji3}}}{3} \quad [1]$$

図-1 ふくらみ具合の概念

図-2 表面の凹凸の概念

表-1 粗骨材の種類および特性

種類	特性
硬質砂岩碎石	表乾密度2.66g/cm ³ 、絶乾密度2.64g/cm ³ 吸水率0.82%、実積率59.9%
石灰岩碎石	表乾密度2.71g/cm ³ 、絶乾密度2.70g/cm ³ 吸水率0.28%、実積率61.0%
川砂利	表乾密度2.60g/cm ³ 、絶乾密度2.56g/cm ³ 吸水率1.49%、実積率65.3%

表-2 粗骨材の粒度分布

種類	粗粒率	ふるいの通過質量百分率(%)				
		25mm	20mm	15mm	10mm	5mm
硬質砂岩碎石	6.67	100	96	81	37	0
石灰岩碎石	6.67	100	95	81	37	0
川砂利	6.66	100	95	82	39	0

図-3 粗骨材の撮影方向

ここに、 L_{ij} 、 L_{ijn} 、 L_{ijm} ：粒度範囲 i の j 個目の粗骨材画像 I、II、III の投影周長(cm)、 S_{ij} 、 S_{ijn} 、 S_{ijm} ：粒度範囲 i の j 個目の粗骨材画像 I、II、III の投影面積(cm^2)

次に、粒度範囲 i の粗骨材 1cm^3 あたりの単位面積周長 L_i を次式で算出した。

$$L_i = \frac{\sum_{j=1}^N L_{ij}}{N} \quad [2]$$

ここに、 V_{ij} ：粒度範囲 i の j 個目の粗骨材体積(cm^3)、 N ：各粒度範囲の粗骨材の個数(個)

最終的に、粗骨材種類ごとに形状の差異と粒度分布を考慮した粗骨材形状係数 L を次式で算出した。

$$L = \sum V_i V_i \quad [3]$$

ここに、 V_i ：全粗骨材が 1cm^3 である場合の粒度範囲 i の粗骨材体積(cm^3)

2. 5 計算結果および考察

粗骨材種類ごとの L_i および L の計算結果を表-3に示す。 L_i は、粒度範囲 2520、2015 では、粗骨材種類による相違はみられないが、粒度範囲 1510、1005 では、硬質砂岩碎石が他の2種類より大きく、石灰岩碎石および川砂利は同程度の値となった。 L は、粒度範囲 1510、1005 の L_i と同様に、硬質砂岩碎石が他の2種類より大きく、石灰岩碎石および川砂利は同程度の値となった。これは、粗骨材 1cm^3 あたりの各粒度範囲における粗骨材の体積が粒度範囲 1510、1005 において大きいために粒度範囲 1510、1005 の L_i と同様の傾向になったと考えられる。最終的に求められた L は粗骨材のふくらみ具合および表面の凹凸を考慮することができたと考えられる。

3. コンクリート試験における粗骨材形状の影響評価

3. 1 要因と水準および使用材料

粗骨材種類は、表-1と同様で、硬質砂岩碎石、石灰岩碎石、川砂利の3種類とした。対象とした高流動コンクリートは、普通ポルトランドセメントと高炉スラグ微粉末を質量比で1:1に混合したものを結合材とした。水結合材比は45%、細骨材とモルタルの体積比(以下 s/m とする)は55%、高性能 AE 減水剤の添加率は結合材の質量に対して1.05%、分離低減剤の添加率は水の質量に対して0.08%とし、すべてにおいて一定とした。目標空気量は $2.0 \pm 1.0\%$ とし、測定結果は、いずれも目標空気量の範囲内であった。実験の要因と水準を表-4に、粗骨材以外を使用材料を表-5に示す。

3. 2 試験項目および試験方法

高流動コンクリートの試験項目として、スランブフロー試験、50cm フロー到達時間および空気量を測定した。スランブフロー試験は、JIS A 1150 に準じて行い、試料の詰め方は、3層に分けて詰め、各層の突き回数を5回として行った。空気量試験もスランブフロー試験と同様に、3層に分けて詰め、各層の突き回数を5回として行った。

表-3 L_i および L の計算結果

粗骨材種類	粒度範囲 i の L_i				L
	2520	2015	1510	1005	
硬質砂岩碎石	0.38	0.55	1.71	21.26	8.73
石灰岩碎石	0.33	0.60	1.46	17.64	7.34
川砂利	0.25	0.41	1.36	16.68	7.20

表-4 要因と水準

要因	水準
粗骨材種類(実積率)	硬質砂岩碎石(59.9%)
	石灰岩碎石(61.0%)
	川砂利(65.3%)
粗骨材絶対容積(l/m^3)	280、300、320、340
	360、380、400

表-5 使用材料

材料	種類	特性・主成分
結合材	普通ポルトランドセメント	密度 3.16g/cm^3 比表面積 $3290\text{cm}^2/\text{g}$
	高炉スラグ微粉末	密度 2.90g/cm^3 比表面積 $4900\text{cm}^2/\text{g}$
細骨材	大井川水系陸砂	密度 2.59g/cm^3 吸水率 2.01%、粗粒率 2.56
混和剤	高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸系
	分離低減剤	セルロースエーテル系

図-4 試験結果

コンクリートの練混ぜは、温度 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ の室内で、容量 50l のパン型強制練りミキサを用いて、1回の練混ぜ量を 40l で行った。練混ぜ手順は、結合材、細骨材、分離低減剤をミキサに投入後、15秒間空練りした後、水、高性能 AE 減水剤を投入し、30秒間練混ぜた。かき落としをし、さらに60秒間練混ぜた後、粗骨材を投入し90秒間練混ぜた。300秒静置した後排出し、直ちに試験を行った。

3. 3 実験結果

試験結果を図-4に示す。粗骨材絶対容積が大きくなるとスランブフローは小さくなり、50cm フロー到達時間は大きくなる。粗骨材種類ごとに比較すると、スランブフローにおいて、石灰岩碎石と川砂利は同程度の値および傾向を示している。しかし、硬質砂岩碎石は他の2種類より小さくなり、粗骨材絶対容積が 320l/m^3 以上になると減少度合いが他の2種類より大きくなる。50cm フロー到達時間においては、石灰岩碎石と川砂利は同程度の値および傾向を示しており、硬質砂岩碎石は他の2種類より値が大きくなる。図より硬質砂岩碎石が他の2種類より流動性が劣り、石灰岩碎石と川砂利は同

程度の流動性であることがわかる。この傾向は、使用した粗骨材の粒度分布および粗粒率は同程度の値であるため、粒度分布および粗粒率の影響を受けたとは考えられない。また、実積率は、硬質砂岩碎石 59.9%、石灰岩碎石 61.0%、川砂利 65.3%で、硬質砂岩碎石と石灰岩碎石の値が近く、実積率のみの影響を受けたとも考えられない。これらのことから、高流動コンクリートの流動性には、粗骨材の形状も大きく影響を及ぼしていると考えられる。

3. 4 モルタル膜厚係数における評価

高流動コンクリートの流動性に及ぼす粗骨材形状の影響を評価するためには、粗骨材の実積率と粗骨材のふくらみ具合および表面の凹凸を同時に考慮する必要があると考えられる。これらを同時に考慮するため、粗骨材形状係数 L は粗骨材の比表面積の傾向を表していると考え、膜厚理論を用いて考察することとした。膜厚の概念を図-5に示す。まず、モルタルの総体積から粗骨材の最密充填状態時の空隙体積を引いたものを余剰モルタル体積とした。コンクリート 1cm^3 について、余剰モルタルの体積 V_{SM} を次式で算出した。

$$V_{SM} = (1 - V_g) - \frac{V_g(100 - G)}{G} \quad [4]$$

ここに、 V_g ：コンクリート 1cm^3 中の粗骨材体積(cm^3)、 G ：粗骨材の実積率(%)

モルタル膜は、粗骨材の大きさにかかわらず一定の厚さになると考え、モルタル膜厚係数 d_M を次式で定義した。なお、モルタル膜厚係数 d_M の次元は長さ(cm)となる。

$$d_M = \frac{V_{SM}}{V_g \times L} \quad [5]$$

計算した各調査のモルタル膜厚係数 d_M を表-6に示す。

モルタル膜厚係数 d_M と各試験値の関係を図-6に示す。 d_M が大きくなると、スランプフローは大きくなり、50cm フロー到達時間は小さくなる。図よりいずれも一本の曲線で示すことができると考えられるため、スランプフローは対数関数で近似し、50cm フロー到達時間は指数関数で近似した。図より、モルタル膜厚係数 d_M を用いることによって粗骨材種類にかかわらず高流動コンクリートのスランプフロー、50cm フロー到達時間を推定できると考えられる。

また、これまでに提案されている、粗骨材を楕円体で近似し表面積を算出する方法¹¹⁾や粗骨材の投影面積より表面積を算出する方法¹²⁾¹³⁾により求めた表面積から計算したモルタル膜厚と各試験値の関係をそれぞれ図-7、8に示す。なお、それぞれの方法で表面積を算出する際に用いた粗骨材は粗骨材形状係数 L を算出するときに用いた粗骨材と同じものを用いた。図-6、7、8を比較すると、図-6が最も良く評価できており、これより、粗骨材形状を粗骨材形状係数 L で評価し、モルタル膜厚係数 d_M を用いる方法が有効であることがわかる。

4. コンクリート試験におけるモルタル流動性の影響評価

4. 1 実験概要

高流動コンクリートの流動性に及ぼすモルタルの流動性の影響を

図-5 膜厚の概念

表-6 各調査のモルタル膜厚係数 d_M

粗骨材 絶対容積 (l/m^3)	粗骨材種類		
	硬質砂岩碎石	石灰岩碎石	川砂利
280	0.218	0.263	0.283
300	0.191	0.231	0.250
320	0.167	0.202	0.221
340	0.146	0.177	0.196
360	0.127	0.155	0.173
380	0.110	0.135	0.153
400	0.095	0.117	0.135

図-6 モルタル膜厚係数 d_M と各試験値の関係

図-7 モルタル膜厚と各試験値の関係
(粗骨材を楕円体と仮定し、表面積を算出)

図-8 モルタル膜厚と各試験値の関係
(粗骨材の投影面積より表面積を算出)

検討するために、3.とは調合の異なるコンクリートについて検討した。モルタルは、コンクリートの調合から粗骨材を除いた調合のモルタル（以下モルタルとする）の流動性を用いて評価した。要因と水準を表-7に、使用材料を表-8に示す。対象とした高流動コンクリートは、3.のコンクリートと同様に、普通ポルトランドセメントと高炉スラグ微粉末を質量比で1:1に混合したものを結合材とし、水結合材比は45%一定とした。高性能AE減水剤の添加率は結合材の質量に対して、s/m49%では1.10%、s/m52%では1.45%、s/m55%では1.80%とした。分離低減剤の添加率は、水の質量に対して、s/m49%では0.16%、s/m52%では0.13%、s/m55%では0.10%とした。粗骨材は、硬質砂岩碎石のみとした。

試験項目として、コンクリートでは、スランプフロー、50cmフロー到達時間を、モルタルでは、フローおよびJ14漏斗流下時間を測定した。モルタルフロー試験は、JIS R 5201のフローコーンを用い、落下回数を0回として行った。

コンクリートの練混ぜは、3.と同様に行った。モルタルの練混ぜは、温度、ミキサ、練混ぜ量は、コンクリートと同様とした。練混ぜ手順は、結合材、細骨材、分離低減剤をミキサに投入後、15秒間空練りした後、水、高性能AE減水剤を投入し、30秒間練混ぜた。かき落としをし、さらに60秒間練混ぜた。300秒静置した後排出し、直ちにモルタル試験を行った。

4.2 実験結果および考察

コンクリート試験結果を図-9に示す。スランプフロー、50cmフロー到達時間ともに3.の試験結果と同様の傾向となる。図-4と比較すると、スランプフローは、やや大きく、50cmフロー到達時間はやや小さくなる。

モルタル試験結果を図-10に示す。モルタルの流動性を比較するため3.の材料および調合で行った試験結果も同時に示す。モルタルフローは、スランプフローの傾向と同様に3.で示した値よりやや大きくなる。J14漏斗流下時間も、50cmフロー到達時間の傾向と同様に3.の値よりやや小さくなる。コンクリートの傾向とモルタルの傾向が同様であることより、モルタルの流動性がコンクリートの流動性に大きく影響を及ぼしていることがわかる。

ここで、モルタルの流動性を考慮するため、モルタル膜厚係数 d_m を用いて評価することとした。4.の実験で用いた材料および調合よりモルタル膜厚係数 d_m を3.と同様に算出した。モルタル膜厚係数 d_m と各試験値の関係を図-11に示す。s/m49、52、55%いずれも、スランプフローでは3.の結果より大きく、50cmフロー到達時間では3.の結果より小さくなる。これは、モルタル膜厚係数 d_m のみでは、粗骨材形状の影響しか捉えることができないためである。そこで、モルタルの流動性を考慮するために、相対フロー F_R 、相対時間 T_R を用いることとした。相対フロー F_R 、相対時間 T_R は、次式で定義した。

$$F_R = \frac{SF}{F_m} \quad [6]$$

$$T_R = \frac{FT_{50}}{T_{J14}} \quad [7]$$

ここに、 SF :スランプフロー(cm)、 F_m :モルタルフロー(cm)、 FT_{50} :50cmフロー到達時間(s)、 T_{J14} :J14漏斗流下時間(s)

表-7 要因と水準

要因	水準
細骨材モルタル比(%)	49、52、55
粗骨材絶対容積(l/m^3)	240、270、300、330、360
高性能AE減水剤の添加率($B \times \%$) [細骨材モルタル比(%)]	1.10[49]、1.45[52]、1.80[55]
分離低減剤の添加率($W \times \%$) [細骨材モルタル比(%)]	0.16[49]、0.13[52]、0.10[55]

表-8 使用材料

材料	種類	特性・主成分
結合材	普通ポルトランドセメント	密度 $3.16g/cm^3$ 比表面積 $3320cm^2/g$
	高炉スラグ微粉末	密度 $2.89g/cm^3$ 比表面積 $4320cm^2/g$
細骨材	大井川水系陸砂	密度 $2.60g/cm^3$ 吸水率 2.12% 、粗粒率 2.74
粗骨材	硬質砂岩碎石	表乾密度 $2.65g/cm^3$ 吸水率 0.67% 、実積率 60.1%
混和剤	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系
	分離低減剤	セルロースエーテル系

図-9 コンクリート試験結果

図-10 モルタル試験結果

図-11 モルタル膜厚係数 d_m と各試験値の関係

モルタル膜厚係数 d_M と相対フロー F_R 、相対時間 T_R の関係を図-12に示す。それぞれ、対数関数、指数関数で近似すると一本の曲線で示せ、概ね良く評価できている。

ここで、他データ¹⁴⁾において、本稿の評価方法を適用させた。なお、粗骨材は硬質砂岩碎石を用いていたため、2.で算出した硬質砂岩碎石の L_i を用い、粗骨材形状係数 L を算出した。他データと本研究データの評価結果の比較を図-13に示す。比較のため、図-12における近似曲線も同時に示した。モルタル膜厚係数 d_M が小さい場合、多少バラツキがみられるものの、概ね良く評価できている。

これより、モルタル膜厚係数 d_M と相対フロー F_R および相対時間 T_R を用いることによって、粗骨材形状、モルタルの流動性の違いにかかわらず高流動コンクリートのスランプフロー、50cm フロー到達時間を推定できると考えられる。

5. まとめ

高流動コンクリートの流動性に及ぼす粗骨材量、粗骨材形状およびモルタルの流動性の影響を実験的に検討した結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 粗骨材の投影周長、投影面積、体積および粒度分布を考慮した粗骨材形状係数 L を用いることによって、粗骨材形状を定量化することができた。
- (2) 粗骨材形状係数 L と粗骨材実積率より算出されたモルタル膜厚係数 d_M を用いることによって、粗骨材種類にかかわらず高流動コンクリートのスランプフロー、50cm フロー到達時間を推定できた。
- (3) モルタル膜厚係数 d_M と相対フロー F_R および相対時間 T_R の関係は、定式化することができる。すなわち、粗骨材量、粗骨材形状およびモルタルの流動性より高流動コンクリートのスランプフロー、50cm フロー到達時間を推定できることが示された。

謝辞

本研究の実験を進めるにあたり、りんかい日産建設(株) 岡本将昭氏、当時宇都宮大学卒論生 小川原一太君、香川清児君にご協力いただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 呉相均、野口貴文、友沢史紀：余剰ペースト膜厚を用いた高流動コンクリートのレオロジー定数の予測、材料、Vol.48、No.10、pp.1193-1198、1999.10
- 2) 緑川猛彦、G.I.Pelova、J.C.Walraven：粒度分布の異なる細骨材を用いた高流動モルタルへの水膜モデルの適用、コンクリート工学年次論文集、Vol.23、No.2、pp.943-948、2001
- 3) 日本コンクリート工学協会：フレッシュコンクリートの力学モデル研究小委員会報告書、1996.4
- 4) 高山俊一、江頭智嘉、巽勇二：種類が異なる骨材の混合と高流動コンクリートの流動性、コンクリート工学年次論文集、Vol.24、No.1、pp.891-896、2002
- 5) 近田孝夫、前田悦孝、松下博通：余剰ペースト膜厚理論における骨材の形状評価とモルタルの流動性に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.18、No.1、pp.441-446、1996

図-12 モルタル膜厚係数 d_M と相対フロー F_R および相対時間 T_R の関係

図-13 他データと本研究データの評価結果の比較

- 6) 吉野公、西林新蔵、井上正一、黒田保：モルタルのレオロジー定数に及ぼす使用材料の性質の影響、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.16、No.1、pp.461-466、1994
- 7) 吉野公、西林新蔵、井上正一、黒田保：コンクリートのレオロジー定数に及ぼす使用材料の影響、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.17、No.1、pp.581-586、1995
- 8) 松下博通、田中邦博、近田孝夫：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、42、pp.88-91、1988
- 9) 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
- 10) 松下博通、近田孝夫、前田悦孝：コンクリートの配合設計への余剰ペースト理論の適用に関する基礎的研究、土木学会論文集、No.578/V-37、pp.57-70、1997.11
- 11) 寺田謙一、谷川恭雄、森博嗣、黒川善幸、三島直生：形状係数による粗骨材の比表面積の簡易測定法、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)、A-1、pp.549-550、1998.9
- 12) 三島直生、谷川恭雄、森博嗣、寺田謙一：フレッシュコンクリートのせん断変形性質における圧力依存性および寸法効果に関する実験的研究(その1：実験概要)、日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)、A-1、pp.447-448、1996.9
- 13) 寺田謙一、谷川恭雄、森博嗣、黒川善幸、三島直生：フレッシュコンクリートのレオロジー性質に及ぼすせん断層厚さおよび粗骨材要因の影響に関する研究、日本建築学会構造系論文集、No.513、pp.15-22、1998.11
- 14) 須藤栄治、五味信治、松尾暁、梶田佳寛：高流動コンクリートの流動性予測に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.21、No.2、pp.511-516、1999

(2003年3月10日原稿受理、2003年10月24日採用決定)