

土木研究所資料

ダム用高流動コンクリートの配合特性に関する検討 (その2)

平成11年2月

建設省土木研究所
ダム部ダム構造研究室

Copyright©(1999)by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

ダム用高流動コンクリートの配合特性に関する検討

(その2)

ダム構造研究室 室 長 永山 功
主任研究員 渡辺 和夫
町田 宗久
(前) 交流研究員 新井 博之

要 旨

コンクリートダムの施工においては、大量のコンクリートを打設するため、その作業の合理化・省人化が求められている。そこでダム構造研究室では、コンクリートダムの施工に締固め不要の高流動コンクリートを利用するための検討を行っている。

本報告書は、増粘剤系高流動コンクリートを対象として、粗骨材最大寸法と所要の品質のコンクリートを得るために必要な単位結合材量の関係について調査した結果をとりまとめ、考察したものである。

キーワード：高流動コンクリート、ダム用コンクリート、配合設計、粗骨材最大寸法

※交流研究員在職期間（1997年4月から1998年3月）

はじめに

ダム建設工事では、施工の省力化・合理化などを目的としては「RCD 工法」、「拡張レヤ工法」などが開発され、多くのダムで使用されている。しかし、ダム堤体に設置する放流設備などの鋼構造物部や通廊などの鉄筋コンクリート部においては、依然として多くの労力を要している。また、熟練した建設作業員の減少や高齢化への対応、作業環境の改善等の面からさらなる施工の省力化・合理化が求められている。

一方、近年、建築や都市土木の分野で締固め不要の高流動コンクリートが利用されてきている。そこで、ダム構造研究室では、高流動コンクリートをコンクリートダムの施工に利用することを念頭に高流動コンクリートの配合設計手法に関する調査試験を行っている。しかし、高流動コンクリートをコンクリートダムに使用する場合、セメントの水和熱をできるだけ抑えて温度応力を抑制する必要がある。このようなことから、本報告書は、粗骨材最大寸法が高流動コンクリートの単位結合材量の低減に及ぼす効果について調査した結果をとりまとめたものである。

目 次

1	調査目的と試験概要	1
2	使用材料とコンクリート練り混ぜ方法、試験配合	2
2.1	使用材料および物性値	2
2.2	コンクリートの練り混ぜ方法	4
2.2.1	練り混ぜ量と練り混ぜ時間	4
2.2.2	練り混ぜ手順	4
2.3	試験配合	5
2.3.1	配合設計手順	5
2.3.2	配合条件	6
2.3.3	試験配合の選定	6
	(1) セメントペースト配合	6
	(2) モルタル配合	6
	(3) コンクリート配合	6
3	コンクリートの性状評価方法	8
3.1	性状評価試験の概要	8
3.2	評価試験方法	9
	(1) スランプフロー試験	9
	(2) 大型スランプフロー試験	9
	(3) 大型L型フロー試験	10
	(4) 材料分離抵抗性の目視評価	10
	(5) 粗骨材の洗い試験	11
	(6) 充填性試験用供試体	11
	(7) 肌面ジャンカ率試験	14
	(8) 単位容積質量試験	15
	(9) 一軸圧縮強度試験	16
4	実験結果	17
4.1	粗骨材最大寸法と粗骨材絶対容積がフレッシュ性状に及ぼす影響試験	17
4.1.1	実験ケース	17
4.1.2	実験手順	17
4.1.3	実験結果	20

(1) 標準スランプフロー試験	20
(2) 大型スランプフロー試験	21
(3) 材料分離抵抗性の目視評価	28
(4) 大型L型フロー試験	30
(5) 粗骨材の洗い試験	35
4.2 粗骨材最大寸法と粗骨材絶対容積が充填性に及ぼす影響試験	42
4.2.1 実験ケース	42
4.2.2 実験手順	42
4.2.3 実験結果	47
(1) 大型スランプフロー試験	47
(2) 単位容積質量試験	48
(3) 肌面ジャンカ率試験	53
(4) 一軸圧縮強度試験	62
5 まとめ	66

添付資料

資料1 粗骨材配合粒度の検討	69
資料2 二軸強制練りミキサの練り混ぜ時間の検討	72
資料3 練り混ぜ容量の影響の確認	75
資料4 AE 助剤添加量と空気量の確認	76
資料5 モルタルの配合確認	77
資料6 フレッシュ性状と空気量の経時変化の確認	81
資料7 締固めを行った場合の充填性試験結果	83
資料8 試験データ	86

1 調査目的と試験概要

本調査は、ダム用高流動コンクリートの粗骨材最大寸法が単位結合材量の低減に与える影響を求めることを目的として実施した。

本試験では粗骨材最大寸法を 10mm、20mm、40mm、80mm に設定し、各々に対してモルタル配合一定の条件の基で粗骨材絶対容積を変化させて、高流動コンクリートの流動性、材料分離抵抗性、自己充填性を調査した。流動性試験では、ダム構造研究室が開発した大型スランプフロー試験、大型L型フロー試験を行った。材料分離抵抗性試験では、大型スランプフロー試験後に、ダム構造研究室で開発した評価基準に基づいた目視評価と洗い分析試験を行った。また、自己充填性試験では、立方体型枠にエネルギー一定の条件でコンクリートを打設した後、供試体の密度と供試体側面のジャンカ面積を測定し、自己充填性を単位容積質量とジャンカ率で評価した。

なお、高流動コンクリートには「粉体系」、「増粘剤系」、「併用系」の 3 種類があるが、本試験では単位結合材量を最も低減できる可能性のある増粘剤系高流動コンクリートを対象とした。

2 使用材料とコンクリート練り混ぜ方法、試験配合

2.1 使用材料および物性値

使用した材料とその物性値を表-2.1.1 に示す。

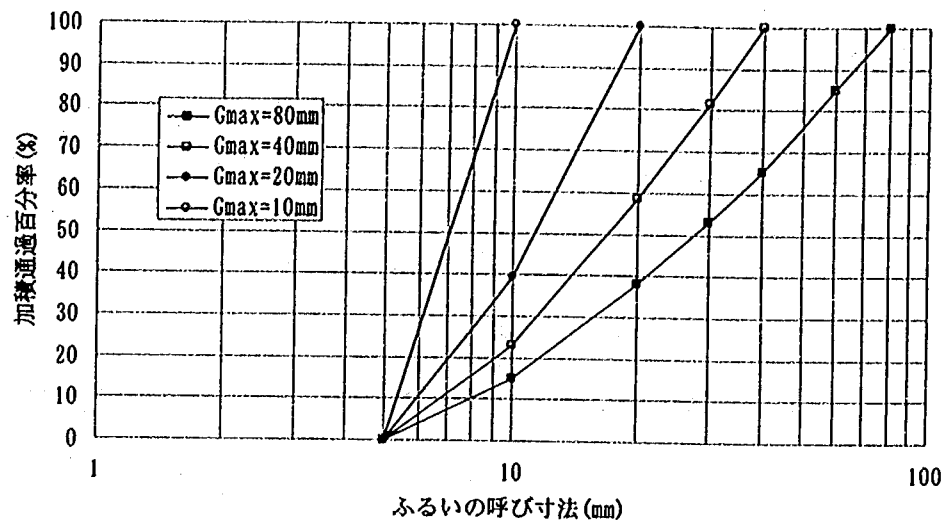
セメントにはダム用コンクリートとして一般的に使用されている中庸熱ポルトランドセメントを用いた。
また、セメントを置換する混和材としてフライアッシュを使用した。

骨材には笠間産砂岩の碎石と砕砂を使用した。粗骨材の粒度分布を図-2.1.1 に、細骨材の粒径加積曲線を図-2.1.2 に示す。なお、粗骨材最大寸法 80mm の粗骨材粒度はコンクリート標準示方書ダム編の粒度範囲内で、細骨材も含めた骨材全体の粒度分布を考慮した値(添付資料-1 を参照)とし、粗骨材最大寸法 10mm、20mm、40mm の粒度は粗骨材最大寸法 80mm の剪頭粒度とした。

また、混和剤には高性能AE減水剤(ポリカルボン酸塩)、増粘剤(水溶性セルロースエーテル)、さらに空気量の調整用としてAE助剤(アニオン系界面活性剤)を使用した。

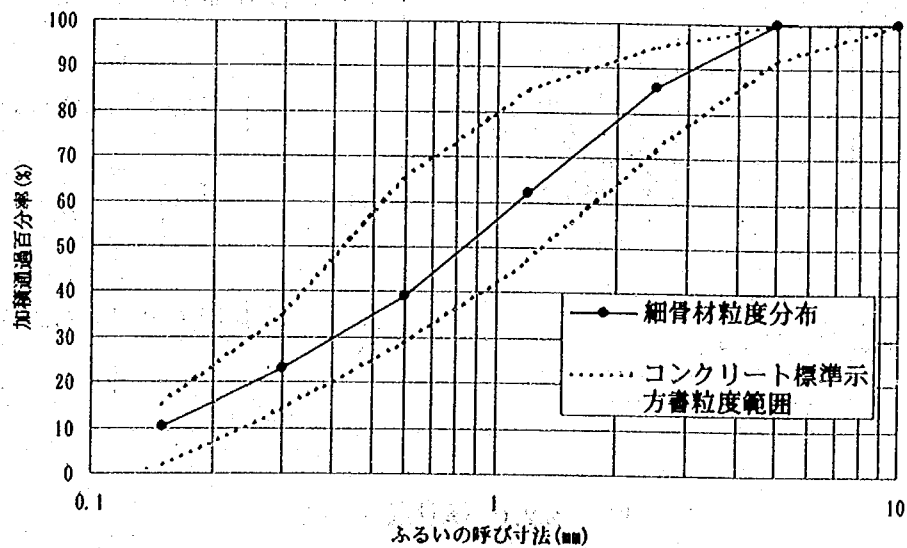
表- 2.1.1 使用材料および物性値

使用材料	種類および性質
セメント	中庸熱ポルトランドセメント 比重：3.20、比表面積：3280 cm ² /g
フライアッシュ	電発フライアッシュ磯子産 比重：2.27、比表面積：3190 cm ² /g
細骨材	笠間産砂岩 比重：2.635、吸水率：1.07 % 粗粒率：2.80、実積率：63.0%
粗骨材	笠間産砂岩 比重：2.673、吸水率：0.40 % [5mm～10mm] 粗粒率：6.00、実積率：56.8% [5mm～20mm] 粗粒率：6.61、実積率：59.6% [5mm～40mm] 粗粒率：7.19、実積率：62.8% [5mm～80mm] 粗粒率：7.82、実積率：66.8%
高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸塩系 (サンフロー HS-700)
増粘剤	水溶性セルロースエーテル系 (SFCA2000)
AE 助剤	アニオン系界面活性剤 (サンフロー AE)



粗骨材粒度	質量百分率 (%)			
	Gmax10mm	Gmax20mm	Gmax40mm	Gmax80mm
5-10mm	100	39	23	15
10-20mm	—	61	35	23
20-30mm	—	—	24	15
30-40mm	—	—	18	12
40-60mm	—	—	—	20
60-80mm	—	—	—	15

図－ 2.1.1 粗骨材粒度分布



図－ 2.1.2 細骨材の粒径加積曲線

2.2 コンクリートの練り混ぜ方法

2.2.1 練り混ぜ量と練り混ぜ時間

高流動コンクリートの練り混ぜには二軸強制練りミキサ（公称容量 100ℓ）を使用し、標準練り混ぜ量を 80ℓとして練り混ぜ時間の検討を行った。その結果（添付資料-2 を参照）、本練り時間は 120 秒とした。

本試験における練り混ぜ量は、後述する各評価試験に要する試料の量を勘案し、表 2.2.1 のとおりとした。なお、同一練り混ぜ時間で、練り混ぜ量を標準 80ℓから 90ℓに増加させても、コンクリートの品質に何ら影響がないことを事前に確認した（添付資料-3 を参照）。

表- 2.2.1 本試験におけるコンクリート 1 バッチ当たりの練り混ぜ量

試験名称	1 バッチ当たりの練り混ぜ量
フレッシュ性状に及ぼす影響試験	90ℓ
充填性に及ぼす影響試験	80ℓ

2.2.2 練り混ぜ手順

練り混ぜにあたっては、材料を粗骨材、細骨材の半分、セメント、フライアッシュ、増粘剤、細骨材の残り半分の順で投入し、30 秒の空練りを行った。その後、高性能 AE 減水剤、AE 助剤を添加した水を投入し、120 秒の本練りを行った。また、コンクリートをミキサから排出後、練り板上で 2 往復の切り返しを行った。練り混ぜ手順を図 2.2.1 に示す。

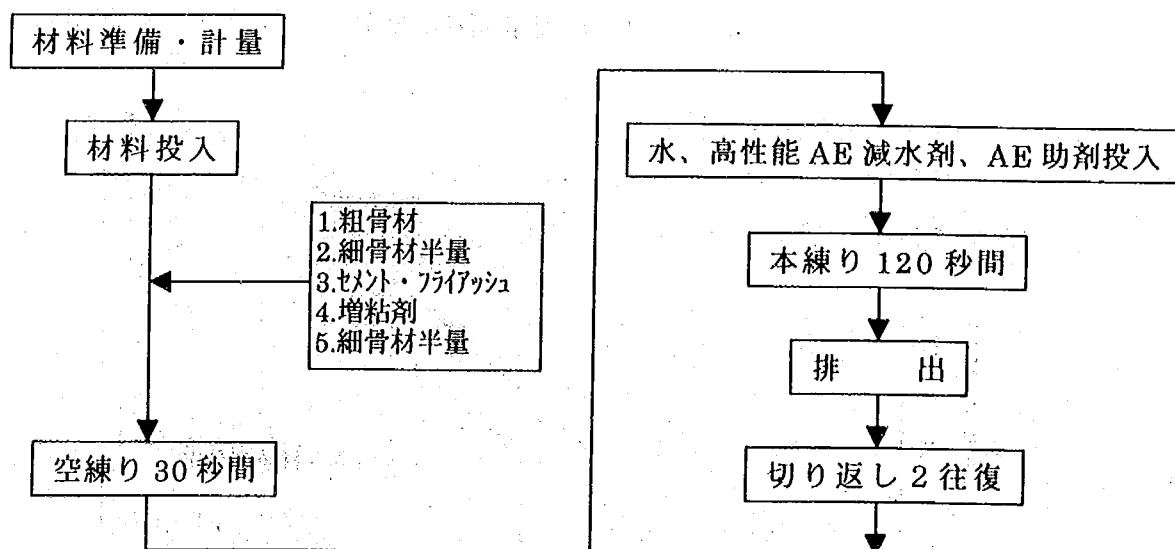


図- 2.2.1 練り混ぜ手順

2.3 試験配合

2.3.1 配合設計手順

高流動コンクリートの配合設計手順はダム構造研究室が提案した配合設計方法（土木研究所資料第 3525 号「ダム用高流動コンクリートの配合特性に関する検討」）に従って行った。図-2.3.1 に配合設計フローを示す。

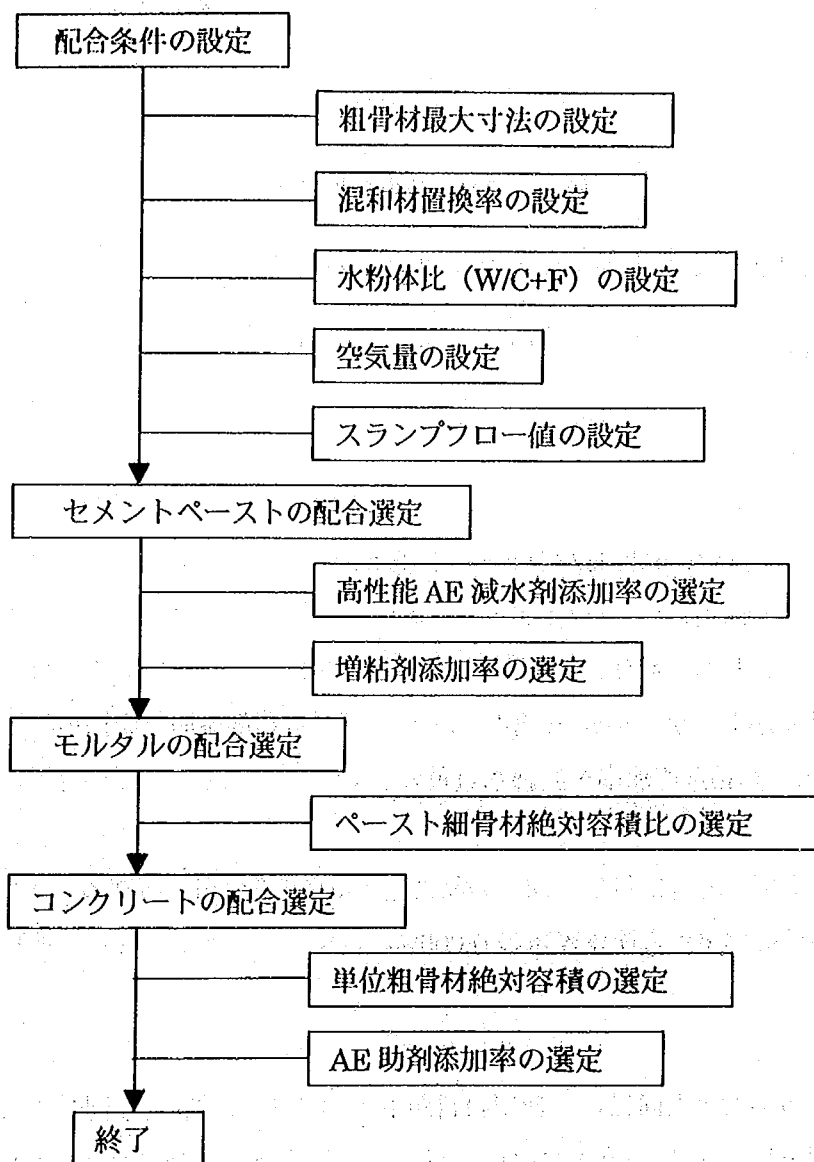


図- 2.3.1 配合設計フロー

2.3.2 配合条件

本試験における配合条件は、構造用コンクリートの配合事例を参考に表-2.3.1のように設定した。

表- 2.3.1 配合条件

粗骨材最大寸法	フライアッシュ置換率 (F/C+F)	水粉体比 (W/C+F)	空気量	標準スランプフロー
10,20,40,80mm	30%	50%	※5±2%	※60±5cm

※基準配合 (G_{max}=40mm、V_g=330ℓ/m³) 時

表- 2.3.2 モルタルの配合

高性能 AE 減水剤添加率 (SP/C+F)	増粘剤添加率 (V/W)	AE 助剤添加率 (A/C+F)	ペースト細骨材絶対容積比 (V _p /V _s)
1.4%	0.3%	0.009%	0.9

2.3.3 試験配合の選定

(1) セメントペースト配合

セメントペーストの配合選定におけるパラメータは高性能 AE 減水剤添加率および増粘剤添加率である。

本試験では、配合条件（水粉体比、フライアッシュ置換率、空気量、標準スランプフロー）と使用材料（セメント、フライアッシュ、骨材、混和剤）が平成 8 年度の試験時と同一であるため、使用材料の生産ロット差により若干の物性差があるが、平成 8 年度の配合と同じ混和剤添加量を採用し、高性能 AE 減水剤添加率を粉体質量の 1.4%、増粘剤添加率を混練水質量の 0.3%とした（表-2.3.2 参照）。その結果、良質のペーストが得られた。

また、本試験では、全ての配合に対して同一の品質のモルタルを使用するため、AE 助剤の添加率についても一定とし、予備試験の結果から粉体質量の 0.009%とした。（添付資料-4 を参照）

(2) モルタル配合

セメントペースト配合の選定と同様に、使用材料が平成 8 年度の試験時と同じことから、ペースト細骨材絶対容積比 0.9 を採用した（表-2.3.2 参照）。なお、ペースト細骨材絶対容積比 0.9 のモルタル配合の適正を粗骨材最大寸法 40mm、単位粗骨材絶対容積 330ℓ/m³ の基本配合条件で確認した。（添付資料-5 を参照）

(3) コンクリート配合

以上の条件のもとで設定した高流動コンクリートの試験配合を表-2.3.3 に示す。

表ー 2.3.3 高流動コンクリートの試験配合

粗骨材 最大 寸法 (mm)	水粉体 比(%)	フライアッシュ 置換率 (%)	ペースト・ 細骨材 絶対容 積比	単位粗 骨材絶 対容積 (ℓ/m^3)	単位量(kg/m^3)							
					水	セメ ント	フライ アッシュ	細骨 材	粗骨材	高性能 AE 減水剤	AE 助剤	増粘剤
Gmax	W/C+F	F/C+F	Vp/Vs	Vg	W	C	F	S	G	SP	A	V
10, 20, 40, 80	50	30	0.9	250	195	273	117	971	668	5.46	0.035	0.585
				290	184	257	110	915	775	5.14	0.033	0.551
				310	178	249	107	888	829	4.99	0.032	0.534
				330	173	242	104	860	882	4.83	0.031	0.518
				350	167	234	100	832	936	4.68	0.030	0.501
				370	161	226	97	804	989	4.52	0.029	0.484
				390	156	218	94	777	1042	4.36	0.028	0.468
				410	150	210	90	749	1096	4.21	0.027	0.451
				430	145	203	87	721	1149	4.05	0.026	0.434
				450	139	195	84	693	1203	3.90	0.025	0.418
				490	128	179	77	638	1310	3.59	0.023	0.384
				510	122	171	73	610	1363	3.43	0.022	0.367

3. コンクリートの性状評価方法

3.1 性状評価試験の概要

高流動コンクリートの性状を評価する試験方法はこれまでに各種提案されているが、大粒径骨材を用いたコンクリートを対象とする例はほとんどないのが現状である。

本試験では、スランプフロー試験のように一般的に用いられている評価試験のほか、ダム構造研究室が開発した評価試験を実施した。実施した性状評価試験の概要を表-3.1.1に示す。

表- 3.1.1 性状評価試験の概要

試験名	測定項目
スランプフロー試験	スランプフロー値、スランプフロー 50cm 到達時間、材料分離抵抗性目視評価
大型スランプフロー試験	スランプフロー値、スランプフロー 100cm 到達時間、材料分離抵抗性目視評価
大型L型フロー試験	Lフロー値、Lフロー到達時間とコンクリート厚 (50,100,150,200cm)、最大粒径粗骨材のフロー距離とコンクリート厚
粗骨材の洗い試験	同心円状に4区分 (直径 30,60,90cm) された各コンクリート中の粗骨材粒径毎の表乾質量
肌面ジャンカ率試験	角柱供試体のせき板面および採取コア供試体側面のジャンカ率
単位容積質量試験	角柱供試体および採取コア供試体の体積および質量
一軸圧縮強度試験	採取コア供試体の一軸圧縮強度と弾性係数

3.2 評価試験方法

(1) スランプフロー試験

JIS A 1101 および土木学会規準 JSCE-F 503「コンクリートのスランプフロー試験方法（案）」に準拠し、スランプ、スランプフロー（長軸とその直角方向でコンクリートの拡がりを測定した平均値）、50cm 到達時間（スランプコーンの引き上げを開始してから、コンクリートの先端部が直径 50cm の円に到達するまでの時間）を測定した。なお、粗骨材最大寸法 80mm のコンクリートに対しては、40mm ふるいでウェットスクリーニングし、40mm 以上の骨材を除いた試料を用いて試験を行った。

(2) 大型スランプフロー試験

粗骨材最大寸法 80mm までのコンクリートの流動性および材料分離抵抗性を評価するため、図-3.2.1 に示す内径 30cm×高さ 70cm の塩ビ管中に高さ 60cm まで（43ℓ）フルサイズのコンクリートを詰め、上面を平らに均した後、塩ビ管をクレーンで引き上げ（引き上げ速度は約 12cm/sec）、100cm 到達時間（塩ビ管の引き上げを開始してから、コンクリートの先端部が直径 100cm の円に到達するまでの時間）を測定した。また、コンクリートの流動が停止した後に JSCE-F 503 に準拠した方法で大型スランプフローを測定した。

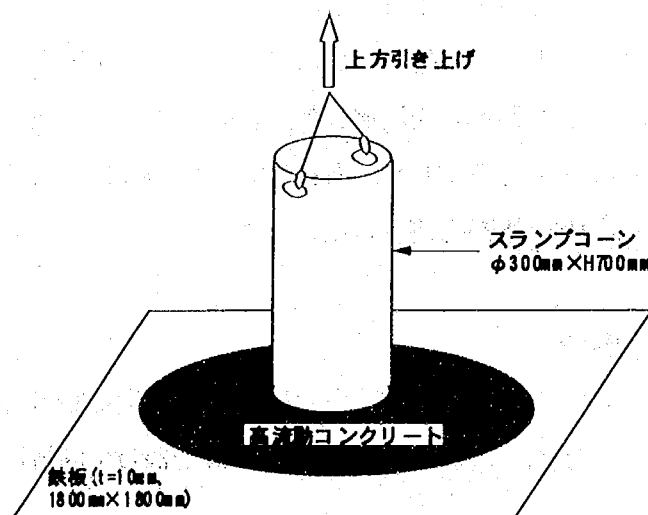


図- 3.2.1 大型スランプフロー試験概念図

(3) 大型L型フロー試験

大型L型フロー試験容器を図-3.2.2に示す。大型L型フロー試験容器の寸法は、粗骨材最大寸法 80mm までのコンクリートに対応できるように設計したものであり、貯留槽の出口寸法は 30cm×30cm となっており、貯留槽の容量は 60ℓである。なお、出口部に鉄筋は配置していない。

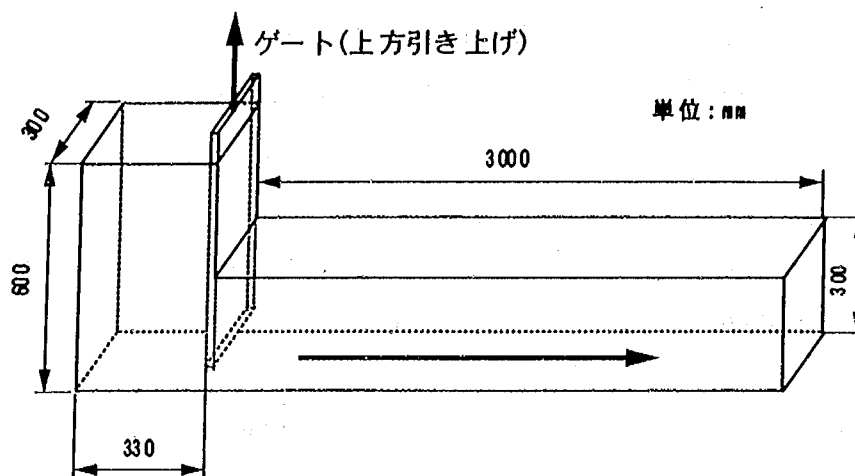


図- 3.2.2 大型L型フロー試験容器

フルサイズのコンクリートを貯留槽の天端まで詰め、天端を平らに均した後、ゲート（堰板）を開けて（引き上げ速度は 12cm/sec）コンクリートを流動させ、コンクリートの先端が 50cm、100cm、150cm に達するまでの時間（大型L型フロー到達時間）を測定した。また、フロー後、貯留槽前面から流動が停止したところまでの距離（大型L型フロー）を測定した。あわせて、各位置でのコンクリート厚、最大粒径粗骨材の到達距離とその位置でのコンクリート厚も測定した。

(4) 材料分離抵抗性の目視評価

スランプフロー試験、大型スランプフロー試験中の材料の分離抵抗性を目視観察で評価した。目視による判定基準を表-3.2.1に示す。なお、必要に応じて中間点 0.5 を設けて評価した。

表- 3.2.1 コンクリートの材料分離抵抗性の評価基準

評価点	評価基準
5	フロー周縁部まで大小の粗骨材が均一に分散している
4	フロー周縁部で粗骨材がやや分離している
3	フロー中央部に比べてフロー周縁部は粗骨材が少ない
2	フロー中央部に粗骨材が集中しており、フロー周縁部の粗骨材はわずかである
1	フロー中央部に粗骨材がほとんど残り、モルタル分だけが流動している

(5) 粗骨材の洗い試験

流動後の骨材の分離状況を調べるために、大型スランプフロー測定後の試料全量に対して洗い試験を行った。洗い試験に使用したフルイ目の寸法は、配合設計に使用した粗骨材の分級区分と同一とした。

試料の採取箇所は、写真-3.2.1のように同心円状に直径30cm、60cm、90cmの3種類の境界板で仕切り、それぞれの仕切板で囲まれた部分および周縁部の4箇所とした。



写真- 3.2.1 コンクリートの洗い試験試料の採取状況

なお、試験方法は JIS A 1112（まだ固まらないコンクリートの洗い分析試験方法）に準拠したが、粗骨材の質量（mg）は、水中における粗骨材の見かけの質量（mg'）を量り、既知の粗骨材表乾比重（Gg）から換算して求めた。計算式を以下に示す。

$$mg = mg' \times \frac{Gg}{Gg - 1}$$

(6) 充填性試験用供試体

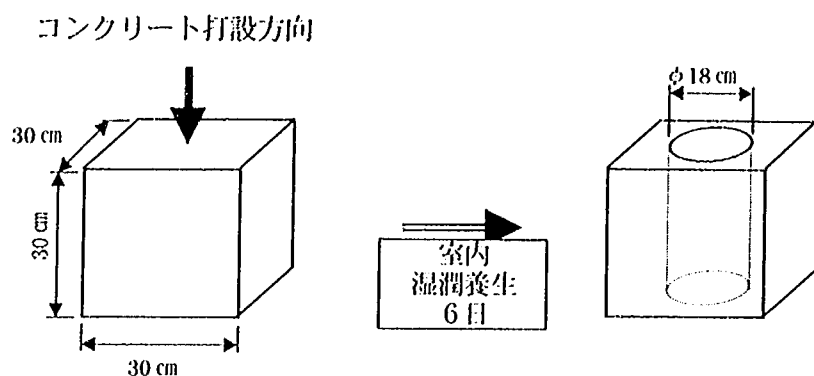
充填性評価試験に使用する供試体は、表-3.2.2に示す2種類とした。

表- 3.2.2 充填性試験に使用する供試体

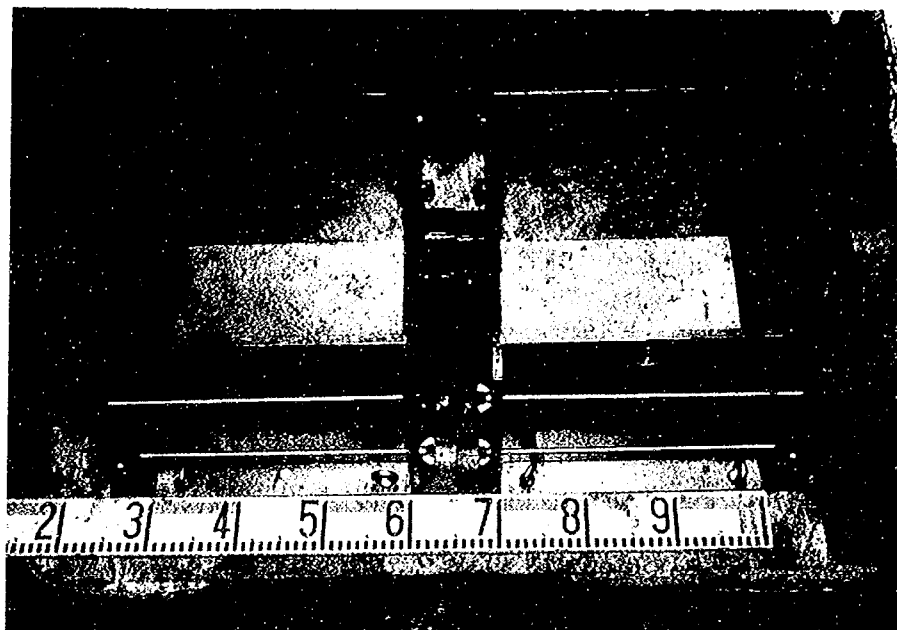
種類	形状	作製方法	評価試験
角柱供試体	30×30×30 cm	フレッシュコンクリートを型枠内へ直接打設	肌面ジャンカ率試験 単位容積質量試験
採取コア供試体	φ18×30 cm	硬化後の角柱供試体中央部からコアを採取	肌面ジャンカ率試験 単位容積質量試験 一軸圧縮強度試験

角柱供試体は、型枠際の充填性が観察できるように考慮したものであり、その寸法は粗骨材最大寸法 80mm のコンクリートにも対応できるように 30cm×30cm×30cm とした。角柱供試体型枠を写真－3.2.2 に示す。

採取コア供試体は、型枠内コンクリートの均一性を観察できるように考慮したものであり、室内(約 20℃)にて湿潤養生した 6 日材齢の角柱供試体の中央部から $\phi 18\text{cm}$ 用のダイヤモンドビットボーリングでコア抜きして作製した。採取コア供試体作製手順を図－3.2.3 に、コア抜き状況を写真－3.2.3 に示す。



図－ 3.2.3 採取コア供試体作製手順



写真－ 3.2.2 充填性試験用角柱供試体型枠



写真－ 3.2.3 角柱供試体のコア抜き状況

(7) 肌面ジャンカ率試験

本試験では、硬化後の高流動コンクリートのせき板面（4 側面）に見られる気泡（直径 2mm 以下の微小な気泡については除外した）やジャンカの面積をせき板全体の面積で割った値を肌面ジャンカ率と定義し、その値によって充填性を評価した。

角柱供試体の肌面ジャンカ率（面積率）は、せき板面に正対したデジタルカメラで該当する面の撮影を行い、その画像データをパソコンへ転送後、汎用画像処理ソフト上で解析処理をして求めた。なお、撮影前には供試体せき板面の気泡やジャンカ部に朱色墨汁で色をつけておき、画像処理ソフトで容易に識別できるように配慮した。肌面ジャンカ率算定作業手順を図-3.2.4 に示す。

採取コア供試体（ $\phi 18\text{cm} \times h 30\text{cm}$ ）の肌面ジャンカ率は、その肌面が曲面であるため、ジャンカ測定用シートを供試体に巻き付けて密着させ、肌面の気泡やジャンカを透写スケッチし、スキャナーで読み取った画像データを汎用画像処理ソフト上で解析処理して求めた。なお、ジャンカ測定用シートには透明で可とう性があり、かつ伸縮性の小さいビニールシート（厚さ 0.2mm）を用いた。肌面ジャンカ率算定作業手順を図-3.2.5 に示す。

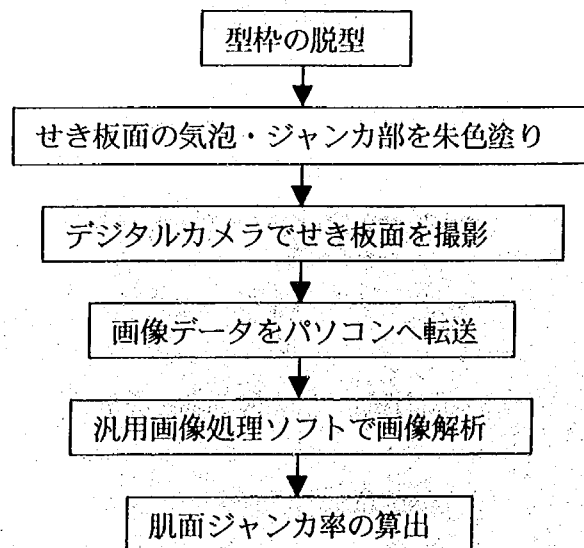
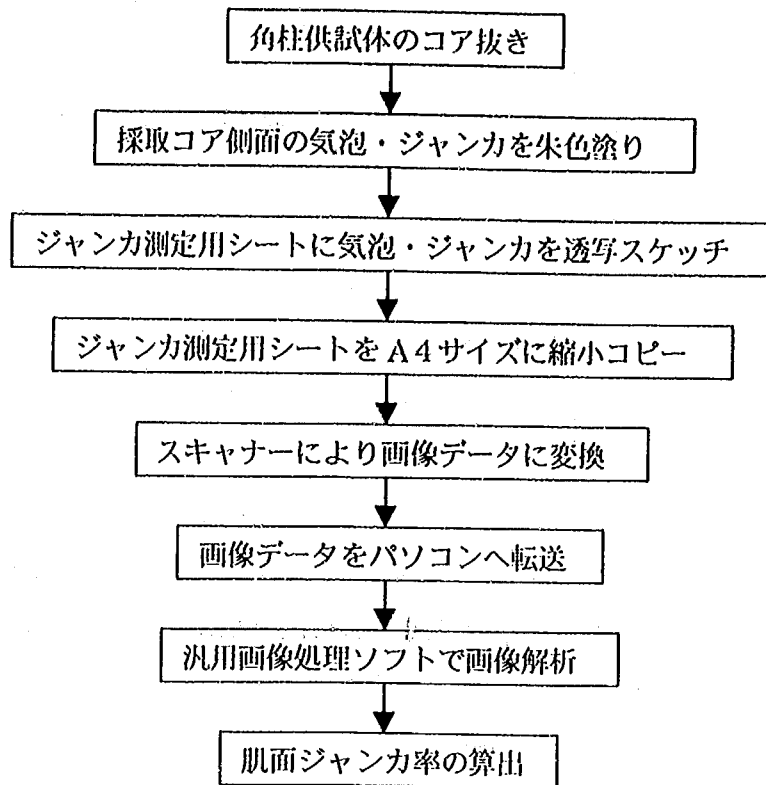


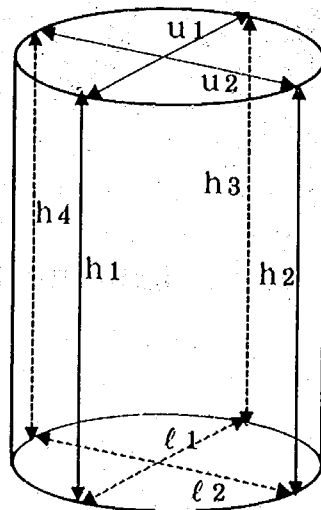
図- 3.2.4 角柱供試体の肌面ジャンカ率算定作業手順



図－ 3.2.5 採取コア供試体の肌面ジャンカ率算定作業手順

(8) 単位容積質量試験

コンクリートの充填性を評価するため、硬化後の角柱供試体（30cm×30cm×30cm）および採取コア供試体（ $\phi 18\text{cm} \times h 30\text{cm}$ ）のコンクリート単位容積質量を測定した。



図－ 3.2.6 供試体の寸法測定箇所（採取コア供試体の場合）

採取コア供試体の寸法測定箇所は、図-3.2.6 に示すように、供試体の上下端面で互いに直交する2方向の直径 (u_1, u_2 および ℓ_1, ℓ_2) と上下面の直交端4点間の高さ (h_1, h_2, h_3, h_4) とし、それぞれの平均長さを用いて体積を算出した。なお角柱供試体の場合も採取コア供試体に準じた箇所の寸法を測った。

(9) 一軸圧縮強度試験

コンクリートの充填性と一軸圧縮強度には密接な関係があると考え、採取コア供試体 ($\phi 18\text{cm} \times h 30\text{cm}$) の一軸圧縮強度試験を行い、充填性の評価を行った。

試験材齢は実験サイクルを考慮して 14 日とし、打設後 7 日間を室内湿潤養生 (室温約 20°C)、コア抜き後 7 日間を水中養生 (水温約 20°C) とした。

供試体上面の仕上げはペーストキャッピングとし、キャッピング面のレイタンスを金ブラシで除去した後、写真-3.2.4 のようにキャッピング用治具を採取コア上端に巻き付けてキャッピングを行った。

一軸圧縮強度試験は JIS A 1108 (コンクリートの圧縮強度試験方法) に従った方法で行い、同時に供試体高さ方向にひずみゲージ (ゲージ長 120mm) を 3 箇所取り付け、コンクリートの弾性係数の測定も行った。

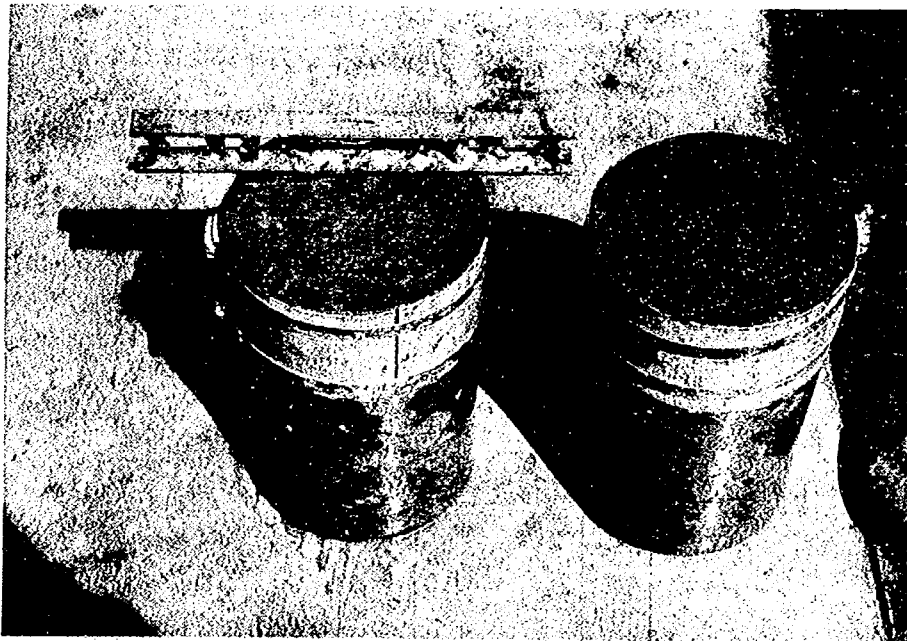


写真- 3.2.4 キャッピング用治具の取り付け状況

4 実験結果

4.1 粗骨材最大寸法と粗骨材絶対容積がフレッシュ性状に及ぼす影響試験

4.1.1 実験ケース

フレッシュ性状に関する影響試験では、粗骨材最大寸法を 10mm、20mm、40mm、80mm の 4 種類とし、単位粗骨材絶対容積を $250 \sim 450 \ell/m^3$ の間で変化させ各々 5～7 ケースを設定し、試験を行った。実験ケースを表-4.1.1 に示す。

表- 4.1.1 フレッシュ性状影響試験における実験ケース

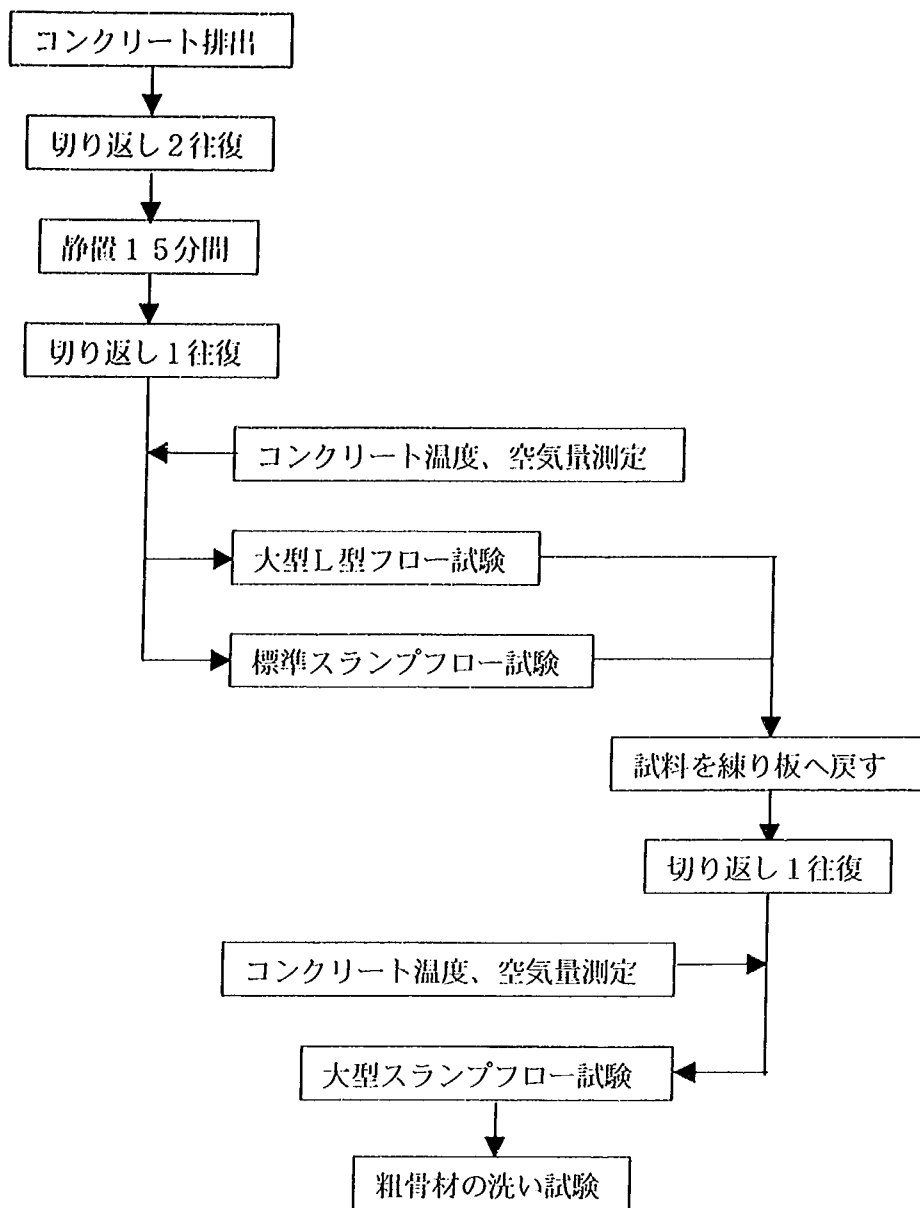
粗骨材 最大寸法	単位粗骨材絶対容積 $V_g (\ell/m^3)$									
	250	290	310	330	350	370	390	410	430	450
10mm	○	○	○	○	○	○				
20mm		○		○		○	○	○		
40mm		○		○		○	○	○	○	○
80mm		○		○		○	○	○	○	○

4.1.2 実験手順

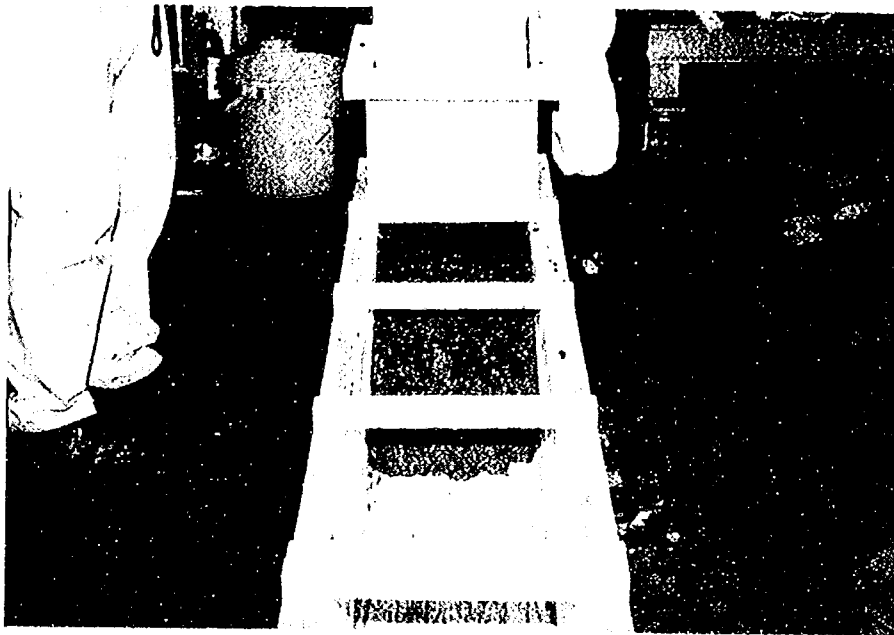
コンクリートをミキサから練り板上に放出後、2 往復の切り返しを行い、混和剤の性状が安定するまで 15 分間静置した（添付資料-6 を参照）。

15 分後、再度 1 往復の切り返しを行い、大型 L 型フロー試験および標準スランプフロー試験を実施し、試験終了後に使用した試料を練り板上に戻し、1 往復の切り返しを行って大型スランプフロー試験を実施した。また、大型スランプフロー値測定後、粗骨材の洗い試験を行った。また、コンクリート温度および空気量の測定を大型 L 型フロー試験前と大型スランプフロー試験前の 2 回行った。実験フローを図-4.1.1 に示す。なお、コンクリート練り上がりから大型スランプフロー試験終了までに要する時間は約 45 分であり、高流動コンクリート性状の経時変化に何ら影響がないことを事前に確認した（添付資料-6 を参照）。

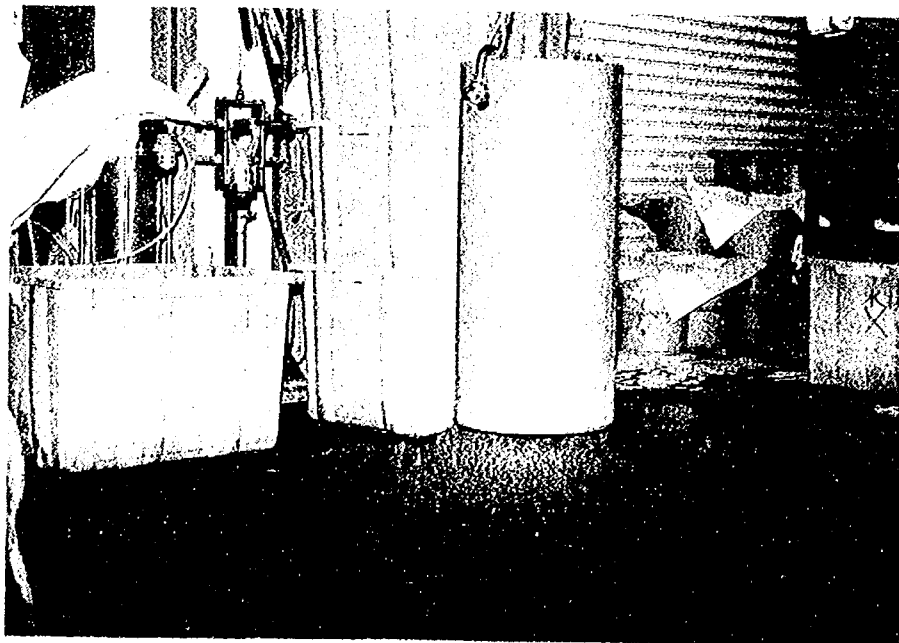
大型 L 型フロー試験状況を写真-4.1.1 に、大型スランプフロー試験状況を写真-4.1.2 に示す。



図ー 4.1.1 フレッシュ性状に及ぼす影響試験の実験フロー



写真－ 4.1.1 大型L型フロー試験状況



写真－ 4.1.2 大型スランプフロー試験状況

4.1.3 実験結果

(1) 標準スランプフロー試験

粗骨材最大寸法が 10～40mm の各場合について、単位粗骨材絶対容積と標準スランプフローの関係を図-4.1.2 に示す。

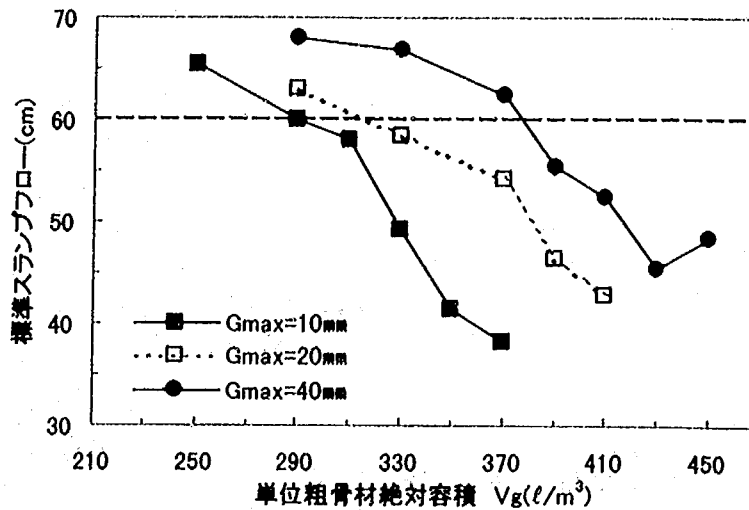


図- 4.1.2 単位粗骨材絶対容積と標準スランプフローの関係
($G_{max}=10\sim40mm$)

図によれば、単位粗骨材絶対容積が増加するとスランプフローは徐々に減少していき、粗骨材最大寸法によらず概ねスランプフローが 60cm 以下になると、スランプフローは極端に小さくなっていくことがわかる。

また、粗骨材最大寸法の影響について見ると、粗骨材最大寸法が大きくなるほど、所要の流動性を確保できる単位粗骨材絶対容積の限界値が大きくなっている（モルタル量が低減する）。例えば、表-4.1.2 に示すように、標準スランプフロー 60cm を確保できる単位粗骨材絶対容積の限界値は、 $G_{max}=10mm$ では $290\ell/m^3$ 程度であるのに対し、 $G_{max}=40mm$ では $380\ell/m^3$ 程度と約 $90\ell/m^3$ （単位結合材量にすると約 $45kg/m^3$ ）の差が見られる。

表- 4.1.2 標準スランプフロー 60cm 時の単位粗骨材絶対容積と単位結合材量

粗骨材最大寸法	単位粗骨材絶対容積	単位結合材量
10mm	$290\ell/m^3$ 程度	$365kg/m^3$ 程度
20mm	$320\ell/m^3$ 程度	$350kg/m^3$ 程度
40mm	$380\ell/m^3$ 程度	$320kg/m^3$ 程度

次に、粗骨材最大寸法が 80mm の高流動コンクリートを 40mm ふるいでウェットスクリーニングした高流動コンクリートと粗骨材最大寸法が 40mm の高流動コンクリートについて、単位粗骨材絶対容積と標準スランプフローの関係を比較した結果を図-4.1.3 に示す。なお、図における 40mm ウェットスクリーニング後のコンクリートの単位粗骨材絶対容積は、配合表から計算した理論値である。一方、粗骨材最大寸法が 40mm の高流動コンクリートの粗骨材配合粒度は、粗骨材最大寸法を 80mm とした場合の剪頭粒度としている。したがって、理論的にはこの 2 つのグラフは同一（連続）のグラフとなるはずである。しかし、図によれば、ウェットスクリーニングしたコンクリートの方がフロー値は小さくなる傾向にあり、ウェットスクリーニング後のコンクリートのフロー値が 60cm 以下においてはその差が顕著になった。これは、単位粗骨材絶対容積が大きくなるに従い、ふるいに残る粗骨材に付着したモルタル分が相対的に大きくなるため、単位モルタル量が減少していくことによるものと考えられる。

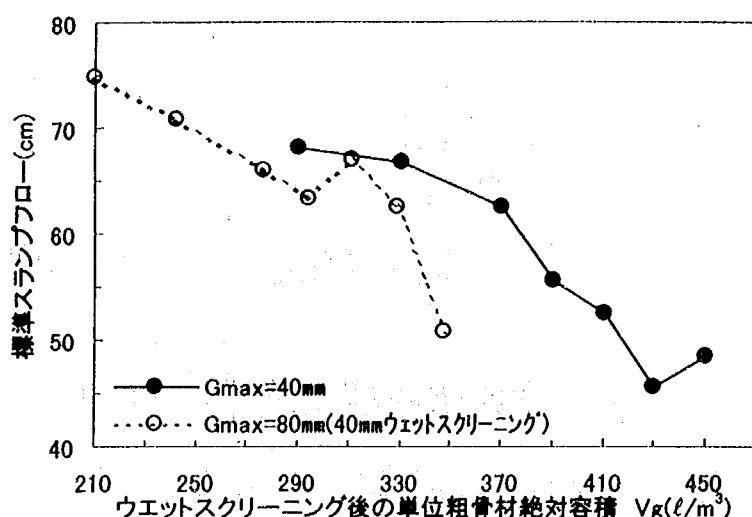


図- 4.1.3 ウェットスクリーニング後の単位粗骨材絶対容積と標準スランプフローの関係
($G_{\text{max}}=40\text{mm}$ 、 80mm)

(2) 大型スランプフロー試験

粗骨材最大寸法が 10～80mm の各場合について、単位粗骨材絶対容積と大型スランプフローの関係を図-4.1.4 に示す。

図によれば、標準スランプフローの場合と同様に、単位粗骨材絶対容積が増加すると大型スランプフローは徐々に減少していき、粗骨材最大寸法によらず概ね大型スランプフローが 130cm 以下になると、大型スランプフローは極端に小さくなっていくことがわかる。

大型スランプフロー試験後の状況を写真-4.1.3～4.1.6 に示す。スランプコーン引き上げ時のコンクリートは、大型スランプフローが 120cm 程度以上ではコーン下端から四方へ滑らかに流動して拡がっていったが、大型スランプフローが 100cm 程度以下になるとコンクリートは横方向に崩れるような流動状態になり、フロー後は山が残る状態となった。

また、所要の流動性を得るために必要なモルタル量の低減効果は、粗骨材最大寸法が 10mm～40mm 間では顕著に現れているのに対し、粗骨材最大寸法が 40mm と 80mm の間では小さいことがわかる。すなわち、表-4.1.3 に示すように、大型スランブフロー 130cm を得る高流動コンクリートの単位粗骨材絶対容積は、 $G_{max}=10\text{mm}$ では 310l/m^3 程度であるのに対し、 $G_{max}=40\text{mm}$ では 390l/m^3 程度、 $G_{max}=80\text{mm}$ では 400l/m^3 程度となり、40mm と 80mm の間では単位粗骨材絶対容積で約 10l/m^3 (単位結合材量にすると約 5kg/m^3) 程度の差となっている。

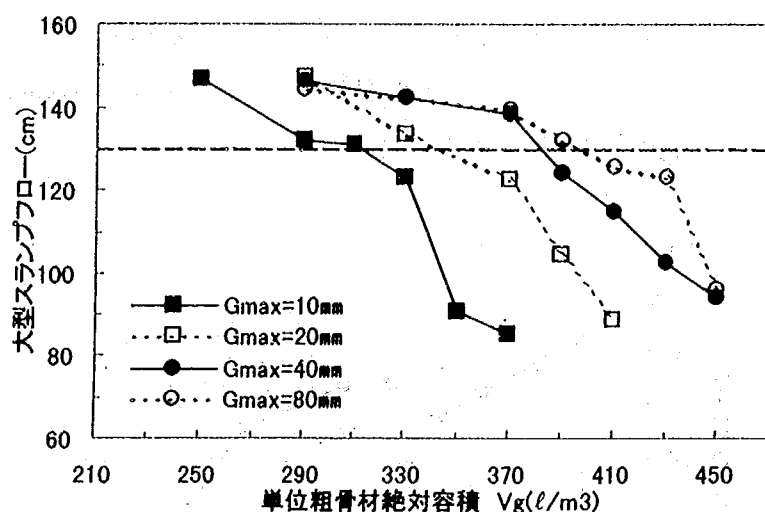
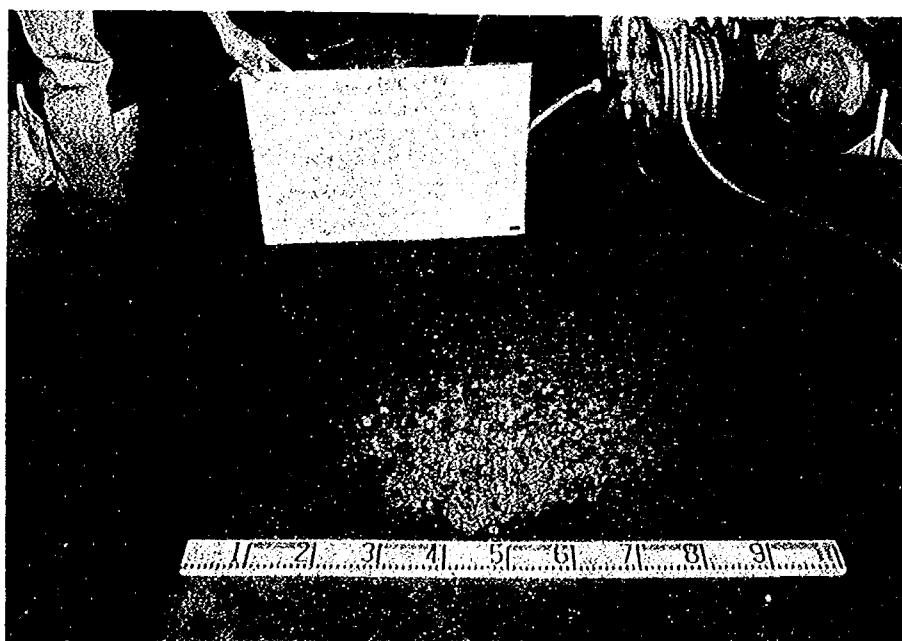


図- 4.1.4 単位粗骨材絶対容積と大型スランブフローの関係



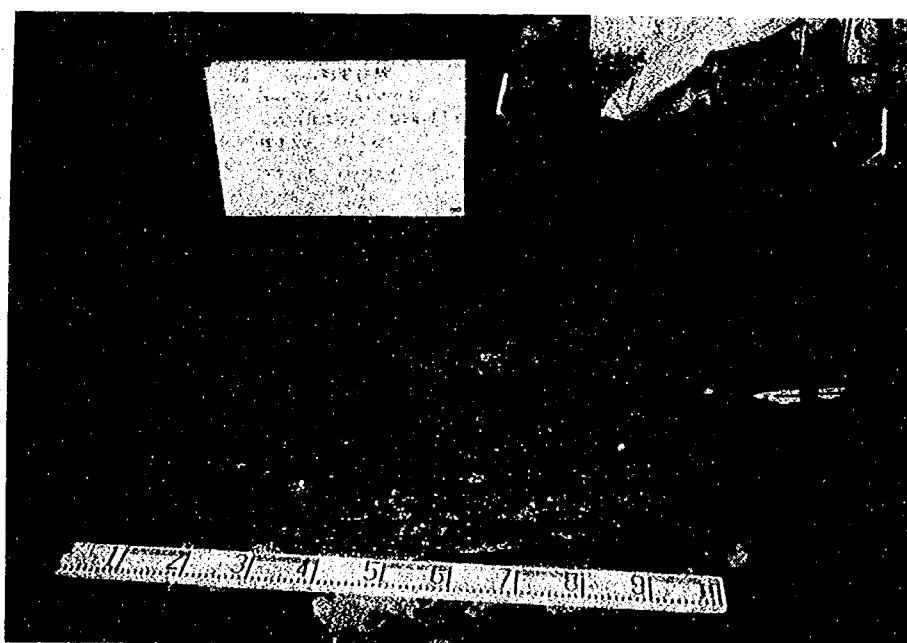
写真－ 4.1.3 大型スランプフロー試験後のコンクリート状況
($G_{max}=20\text{ mm}$, $V_g=330\ell/\text{m}^3$, フロー値 $134\text{ cm}\times 132.5\text{ cm}$)



写真－ 4.1.4 大型スランプフロー試験後のコンクリート状況
($G_{max}=20\text{ mm}$, $V_g=410\ell/\text{m}^3$, フロー値 $99.5\text{ cm}\times 77.5\text{ cm}$)



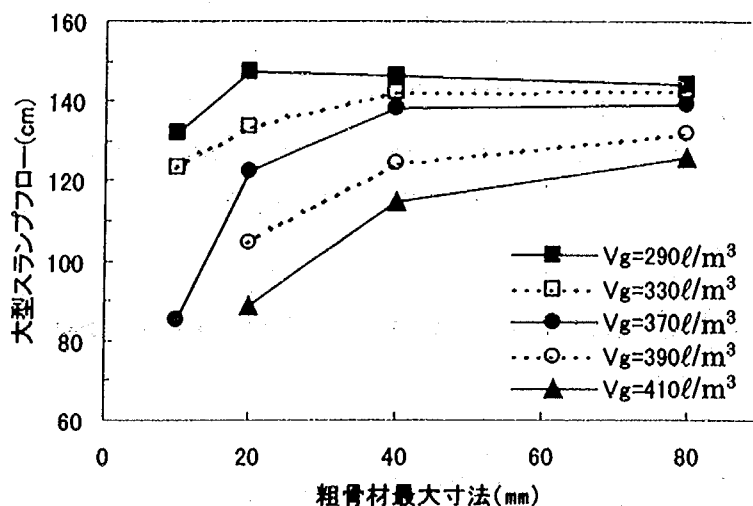
写真－ 4.1.5 大型スランプフロー試験後のコンクリート状況
($G_{max}=80\text{ mm}$, $V_g=290\ell/\text{m}^3$, フロー値 $148\text{ cm}\times 140\text{ cm}$)



写真－ 4.1.6 大型スランプフロー試験後のコンクリート状況
($G_{max}=80\text{ mm}$, $V_g=410\ell/\text{m}^3$, フロー値 $127\text{ cm}\times 124.5\text{ cm}$)

表－ 4.1.3 大型スランブフロー 130cm 時の単位粗骨材絶対容積と単位結合材量

粗骨材最大寸法	単位粗骨材絶対容積	単位結合材量
10mm	310ℓ/m ³ 程度	355kg/m ³ 程度
20mm	350ℓ/m ³ 程度	335kg/m ³ 程度
40mm	390ℓ/m ³ 程度	310kg/m ³ 程度
80mm	400ℓ/m ³ 程度	305kg/m ³ 程度



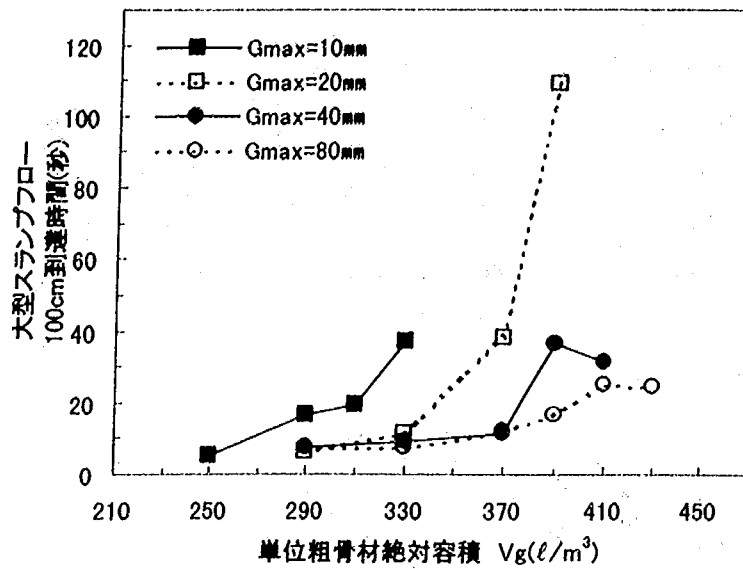
図－ 4.1.5 粗骨材最大寸法と大型スランブフローの関係
(単位粗骨材絶対容積を一定)

図－4.1.5 は、単位粗骨材絶対容積毎に、粗骨材最大寸法と大型スランブフローの関係を示したものである。この図から、粗骨材最大寸法が大きくなると単位粗骨材絶対容積の影響が小さくなっているのがわかる。

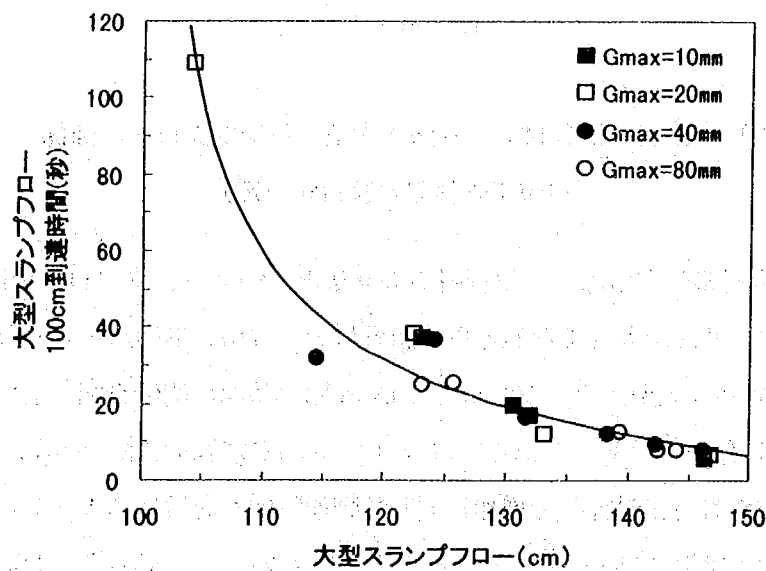
次に、単位粗骨材絶対容積と大型スランブフロー 100cm 到達時間の関係を図－4.1.6 に示す。図より、単位粗骨材絶対容積の増加に伴い、大型スランブフロー 100cm 到達時間も徐々に増加していき、到達時間が20～30 秒を越えると単位粗骨材絶対容積の増加に対して到達時間が急激に増大することがわかる。

また、粗骨材最大寸法の影響について見ると、大型スランブフローと同様に粗骨材最大寸法 40mm までは効果が見られるが、粗骨材最大寸法 40mm と 80mm の間では効果があまり認められない。

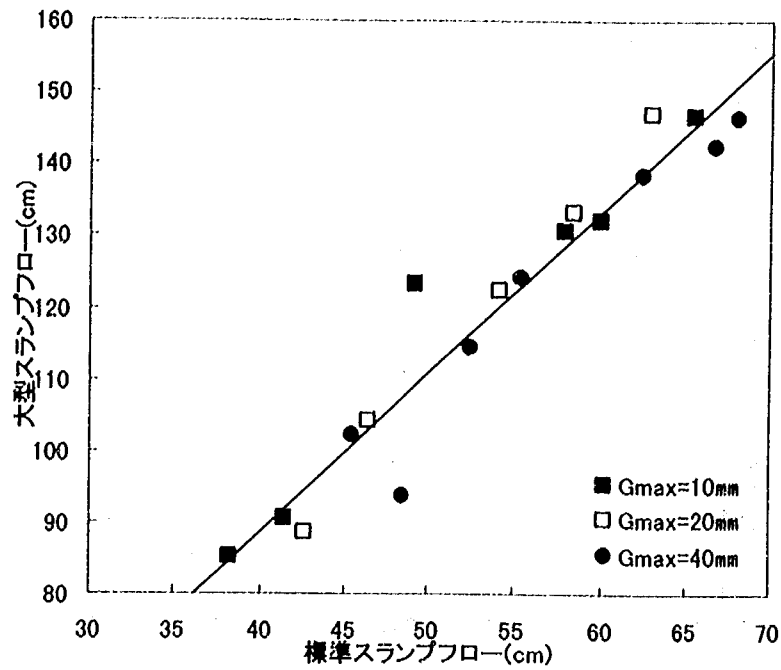
次に、図－4.1.7 は大型スランブフローと大型スランブフロー 100cm 到達時間の関係を示したものである。粗骨材最大寸法に関わらず両者の間には1：1の相関関係があることがわかる。



図ー 4.1.6 単位粗骨材絶対容積と大型スランプフロー 100cm 到達時間の関係



図ー 4.1.7 大型スランプフローと大型スランプフロー 100cm 到達時間の関係



図－ 4.1.8 標準スランプフローと大型スランプフローの関係

ここで、粗骨材最大寸法 40mm 以下のコンクリートについて、標準スランプフローと大型スランプフローの関係を求めた結果を図－4.1.8 に示す。図によれば、粗骨材最大寸法に関わらず両者の間には直線的な相関関係があり、その関係式は次式で表すことができる。

$$LSF = 2.23 \times SSF - 0.64$$

ここに、

LSF : 大型スランプフロー値(cm)

SSF : 標準スランプフロー値(cm)

(3) 材料分離抵抗性の目視評価

単位粗骨材絶対容積と材料分離抵抗性目視評価点の関係を、標準スランプフロー試験時について図-4.1.9に、大型スランプフロー試験時について図-4.1.10に示す。

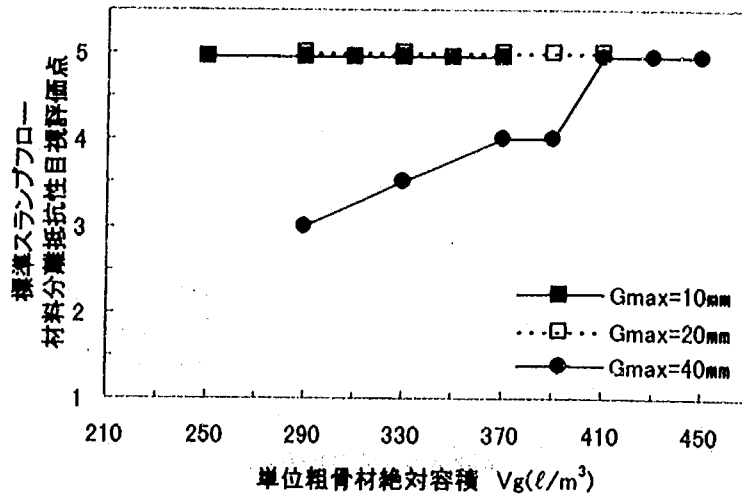


図- 4.1.9 単位粗骨材絶対容積と材料分離抵抗性目視評価点の関係
(標準スランプフロー試験)

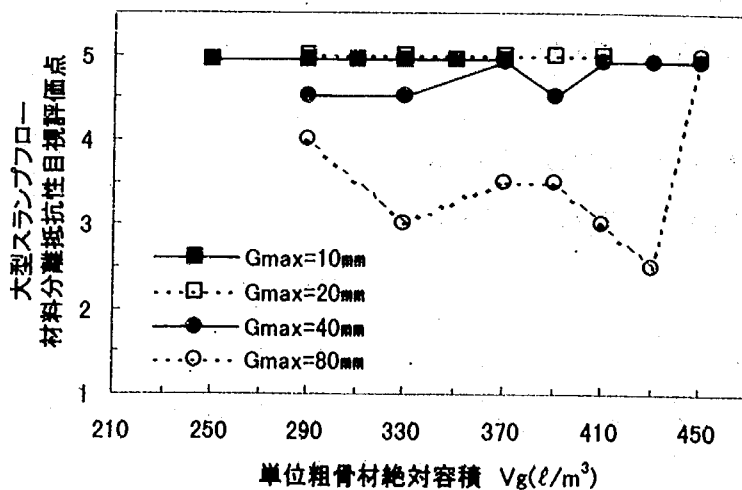


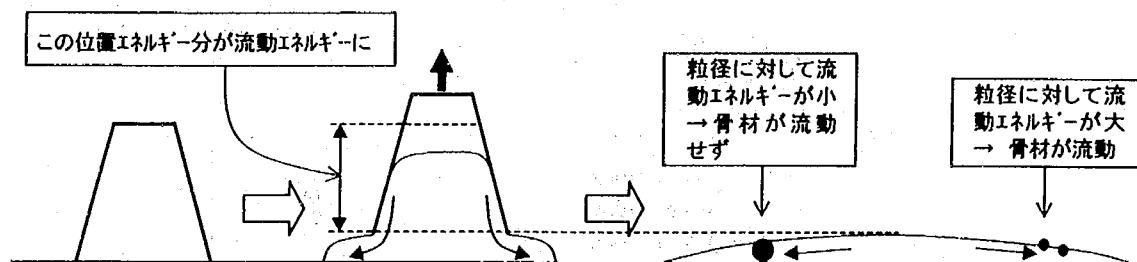
図- 4.1.10 単位粗骨材絶対容積と材料分離抵抗性目視評価点の関係
(大型スランプフロー試験)

図より、粗骨材最大寸法が 10mm、20mm の場合は、両試験ともすべてのケースにおいて評価点 5 点となっており、粗骨材が一様に分布して流動していることがわかる。粗骨材最大寸法が 40mm の場合は、

標準スランプフロー試験では単位粗骨材絶対容積が大きくなるに従い、評価点は3点から5点へと徐々に高くなる傾向にあるが、大型スランプフロー試験ではすべてのケースにおいて評価点が4.5～5点と高く、単位粗骨材絶対容積による差が見られない。粗骨材最大寸法が80mmの場合は、大型スランプフロー試験のみで目視評価をしたが、良好なフロー（120cm以上）のケースでの評価点が2.5点～4点とばらつきが大きく、また単位粗骨材絶対容積との関係も明確でない。なお、評価点5点のケースはフローが100cm以下で山になった状態で流動性が乏しいケースである。

ここで注目すべき点は、粗骨材最大寸法が40mmの場合の両試験における評価点の相違である。標準スランプフロー試験の傾向から、単位粗骨材絶対容積が減少すると粗骨材の表面に拘束されるペースト分が減少するので、材料分離が生じやすくなると思われた。しかし、大型スランプフロー試験での評価点が全ケース高くなったことから、この相違はスランプコーンの大きさが影響していると考えられる。すなわち、図4.1.11に示すようにスランプコーン解放前に持つコンクリートの位置エネルギーにより、大型スランプフローの場合には、粗骨材が均一に分散されたと考えられる。一方、粗骨材最大寸法が80mmの場合、評価点のばらつきが大きく、材料分離抵抗性と単位粗骨材絶対容積の関係を見出すことはできなかったのは、80mmの粗骨材を流動させるのに必要なエネルギーを大型スランプコーンでは十分得られなかったためと考えられる。

以上のことから、材料分離抵抗性評価を目視で行う場合、粗骨材最大寸法に応じた適切な大きさの容器を用いて評価することが必要と思われる。



図ー 4.1.11 スランプコーンの大きさが流動性に及ぼす影響の概念

(4) 大型L型フロー試験

単位粗骨材絶対容積と大型L型フローの関係を図-4.1.12 に、単位粗骨材絶対容積と大型L型フロー150cm 到達時間の関係を図-4.1.13 に示す。

両図とも大型スランプフロー試験の結果と酷似しており、単位粗骨材絶対容積が増加すると大型L型フローは徐々に減少していき、大型L型フローが 180cm 以下ではその傾向が顕著である。なお、粗骨材最大寸法の影響について見ると粗骨材最大寸法が 40mm まではその効果が顕著に現れているが、粗骨材最大寸法が 80mm になると 40mm との差はあまり顕著に見られなくなる。

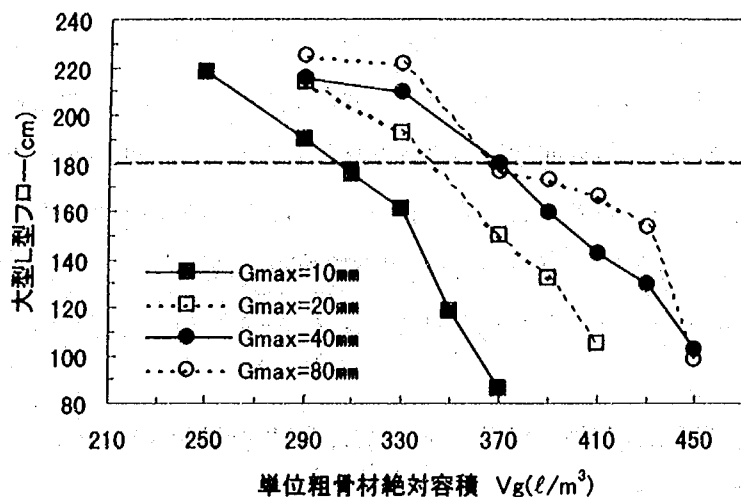


図- 4.1.12 単位粗骨材絶対容積と大型L型フローの関係

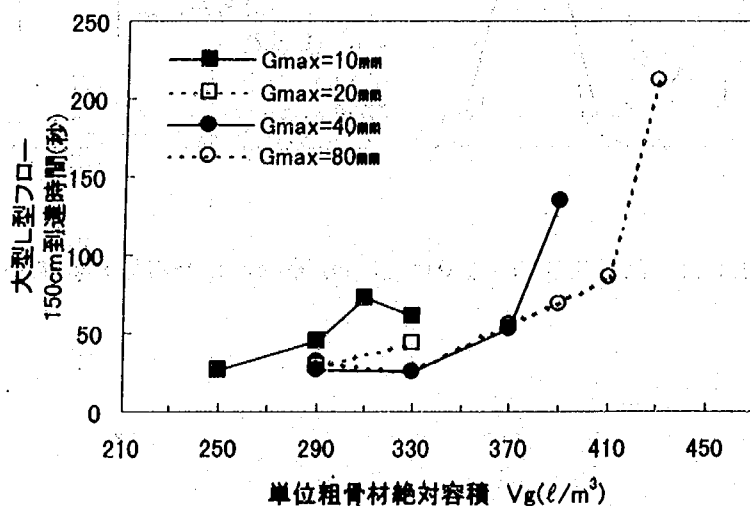
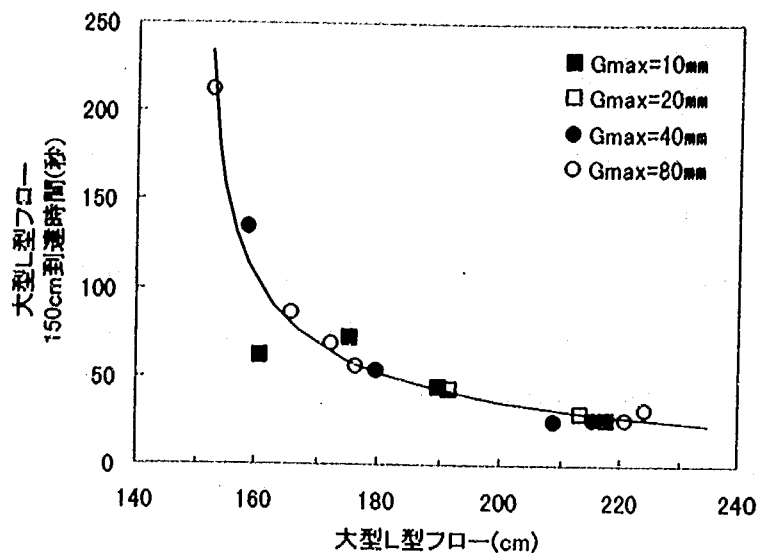
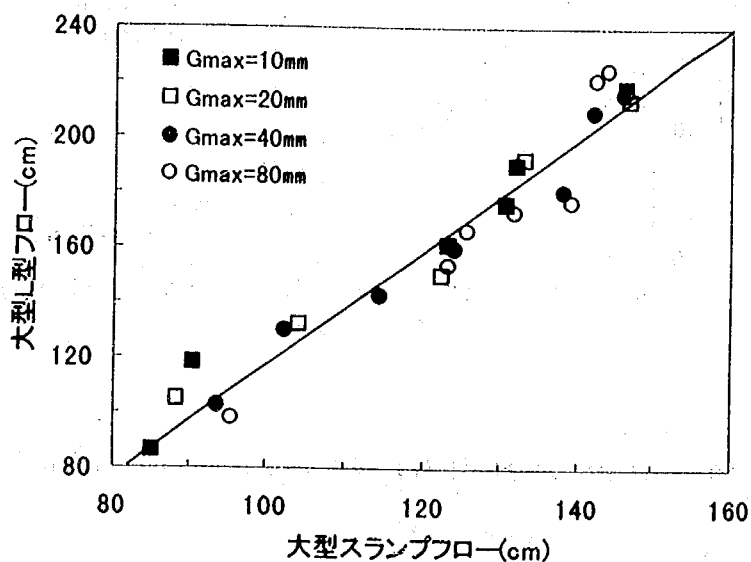


図- 4.1.13 単位粗骨材絶対容積と大型L型フロー 150cm 到達時間の関係



図－ 4.1.14 大型Ｌ型フローと大型Ｌ型フロー 150cm 到達時間の関係



図－ 4.1.15 大型スランプフローと大型Ｌ型フローの関係

図－4.1.14 は大型Ｌ型フローと大型Ｌ型フロー 150cm 到達時間の関係を示したものであるが、大型スランプフロー試験の結果と同様に、粗骨材最大寸法に関わらず両者の間には1：1の相関関係があることがわかる。

また、図－4.1.15 は大型スランプフローと大型Ｌ型フローの関係を示したものである。図によれば、粗骨材最大寸法に関わらず両者の間には直線的な相関関係があり、関係式は次式で表すことができる。

$$LLF=2.04 \times LSF - 86.0$$

ここに、

LLF : 大型L型フロー値(cm)

LSF : 大型スランプフロー値(cm)

このことからコンクリートの流動性に対する評価試験方法として大型スランプフロー試験と大型L型フロー試験とは互換性があることがわかった。

次に、粗骨材最大寸法が 10mm、20mm、40mm、80mm の各ケースについて、大型L型フロー試験におけるフローの縦断面形状および最大粒径粗骨材の流動距離についてまとめたものを図-4.1.16～図-4.1.19 に示す。また、粗骨材最大寸法と大型L型フロー平均流動勾配の関係を図-4.1.20 に示す。

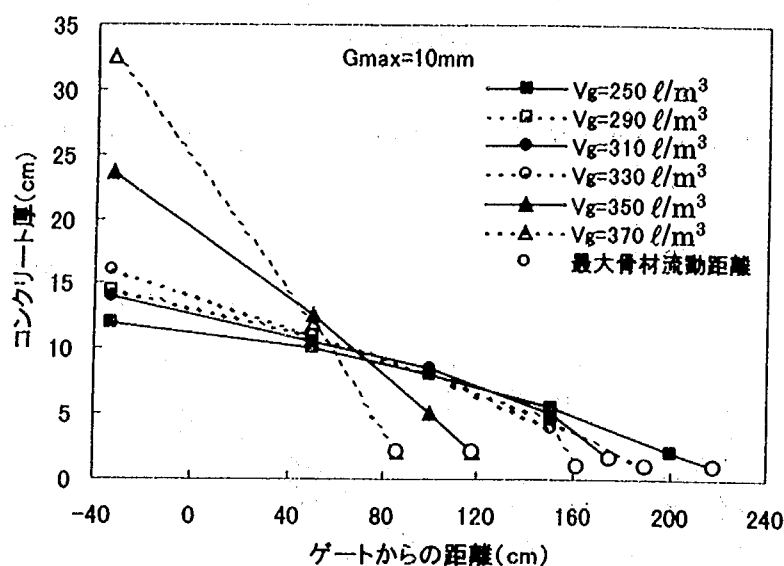
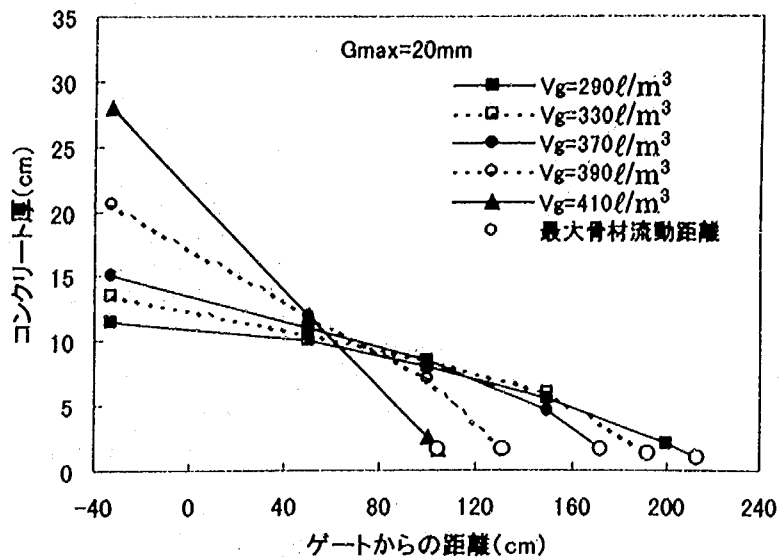
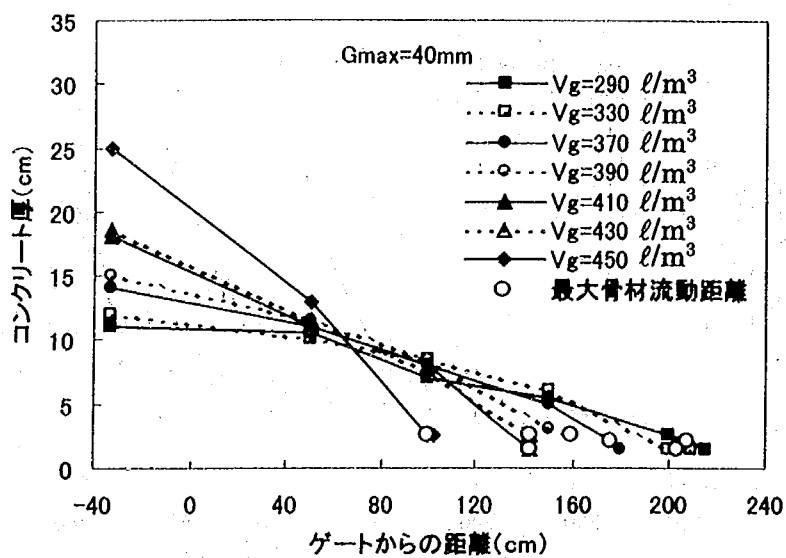


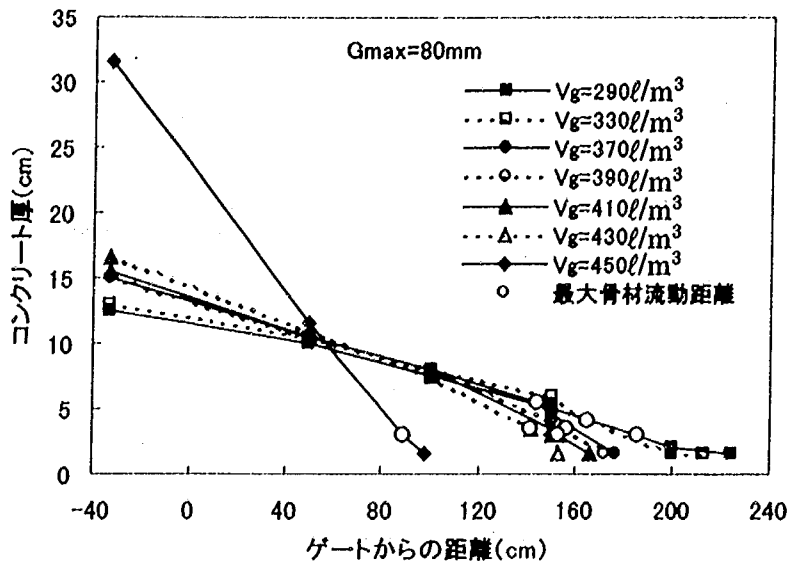
図- 4.1.16 大型L型フローの断面形状 (Gmax=10mm)



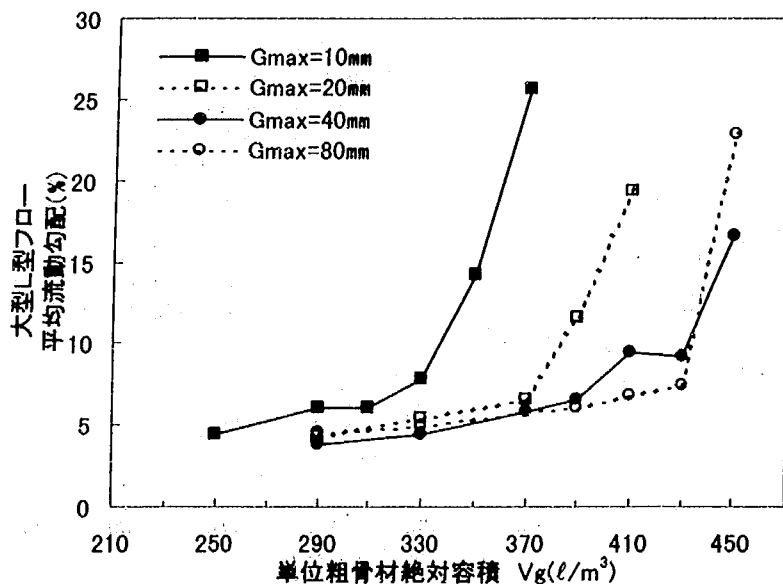
図－ 4.1.17 大型L型フローの断面形状 ($G_{max}=20\text{mm}$)



図－ 4.1.18 大型L型フローの断面形状 ($G_{max}=40\text{mm}$)



図－ 4.1.19 大型 L 型フローの断面形状 (Gmax=80mm)



図－ 4.1.20 単位粗骨材絶対容積と大型 L 型フロー平均流動勾配の関係

図－4.1.16～4.1.19 から、単位粗骨材絶対容積が増加するに従い、大型 L 型フローの流動勾配も徐々に大きくなっていくことがわかる。また、図－4.1.20 から、粗骨材最大寸法に関わらず、流動勾配が概ね 6%を超えると単位粗骨材絶対容積の影響が大きくなることがわかる。

次に、最大粒径粗骨材の流動距離に着目すると、粗骨材最大寸法が 10mm および 20mm の場合、全ケースともフロー先端まで最大粒径粗骨材が流動しており、粗骨材最大寸法が 40mm の場合も、単位粗骨材絶対容積の少ない一部のケースを除いて、フロー先端まで最大粒径粗骨材は流動している。一方、粗骨材最大寸法が 80mm の場合は、全てのケースでフロー先端まで最大粒径粗骨材が流動到達していない。これらの状態は、材料分離抵抗性の目視評価で得た結果とよく一致している。

次に、最大粒径粗骨材の流動到達位置におけるコンクリート厚に着目すると、その値は単位粗骨材絶対容積に関わらず粗骨材最大寸法によって定まる一定の厚さとなっていることがわかる。最大粒径粗骨材流動到達位置での平均コンクリート厚を表－4.1.4 に示す。

この値を対象となる最大粒径粗骨材を遠くまで流動させるコンクリート量の限界値と仮定すれば、大粒径の粗骨材を流動させるためには、それに相応したコンクリート量が必要であるということがわかる。

表－ 4.1.4 最大粒径粗骨材流動到達位置での平均コンクリート厚
(大型 L 型フロー試験)

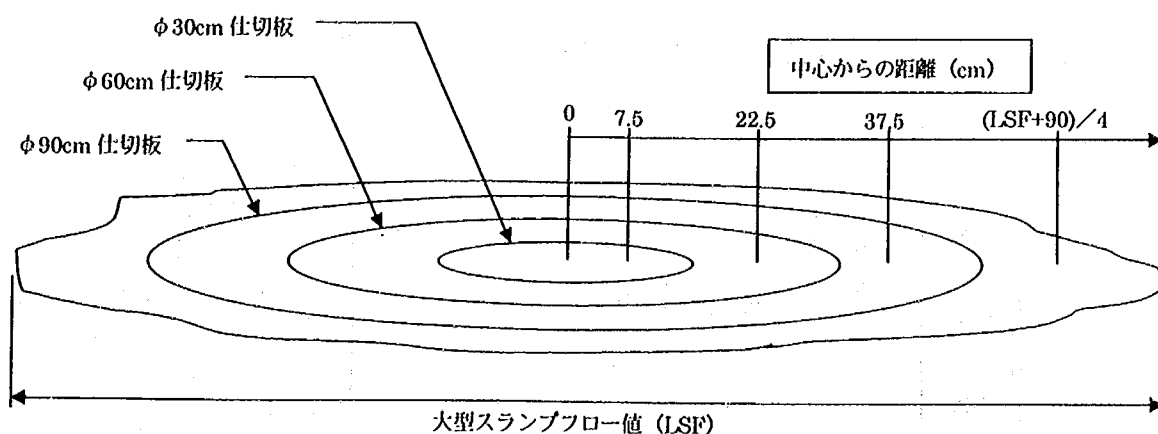
粗骨材最大寸法	最大粒径粗骨材流動到達位置 平均コンクリート厚
10mm	1.4cm
20mm	1.4cm
40mm	2.1cm
80mm	3.6cm

(5) 粗骨材の洗い試験

大型スランプフロー試験時に行った材料分離抵抗性の目視評価を補間する目的で、粗骨材の洗い試験を実施した。

試料は直径が 30cm、60cm、90cm の仕切板で同心円状に仕切られた各部分および周縁部の 4 箇所から採取し、図－4.1.21 で示す中心からの距離を代表値としてデータ整理を行った。

各試料採取位置での粗骨材量の分布状況を見るため、粗骨材モルタル質量比を粗骨材最大寸法毎に整理したものを図－4.1.22～4.1.25 に示す。



図－ 4.1.21 洗い試験における対象試料の中心からの距離の定義

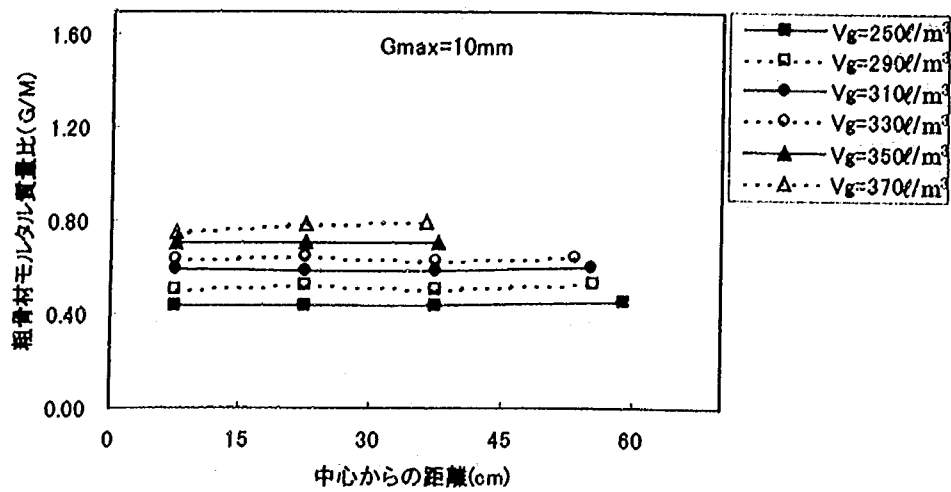


図- 4.1.22 フロー中心からの距離と粗骨材モルタル質量比の関係 (Gmax=10mm)

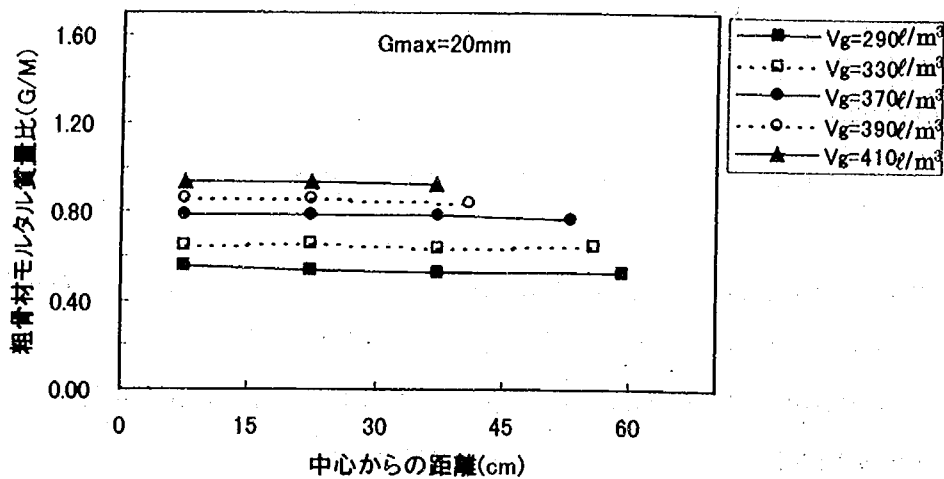


図- 4.1.23 フロー中心からの距離と粗骨材モルタル質量比の関係 (Gmax=20mm)

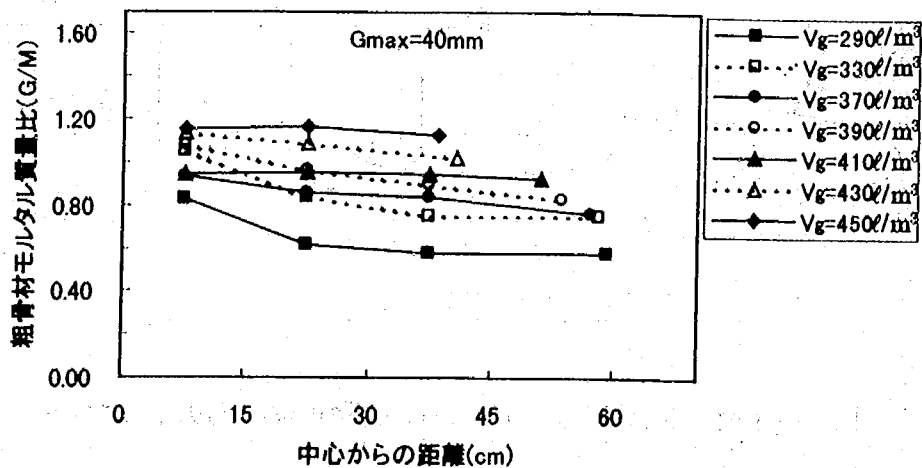
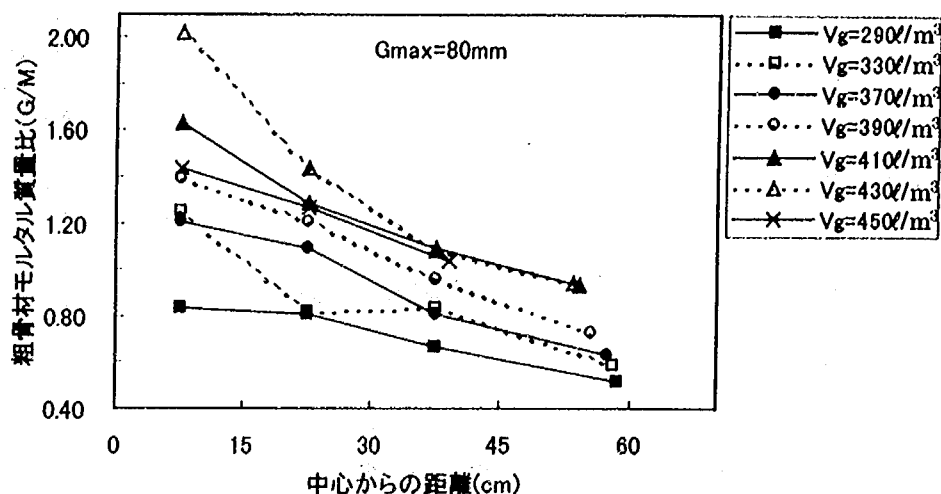


図- 4.1.24 フロー中心からの距離と粗骨材モルタル質量比の関係 (Gmax=40mm)



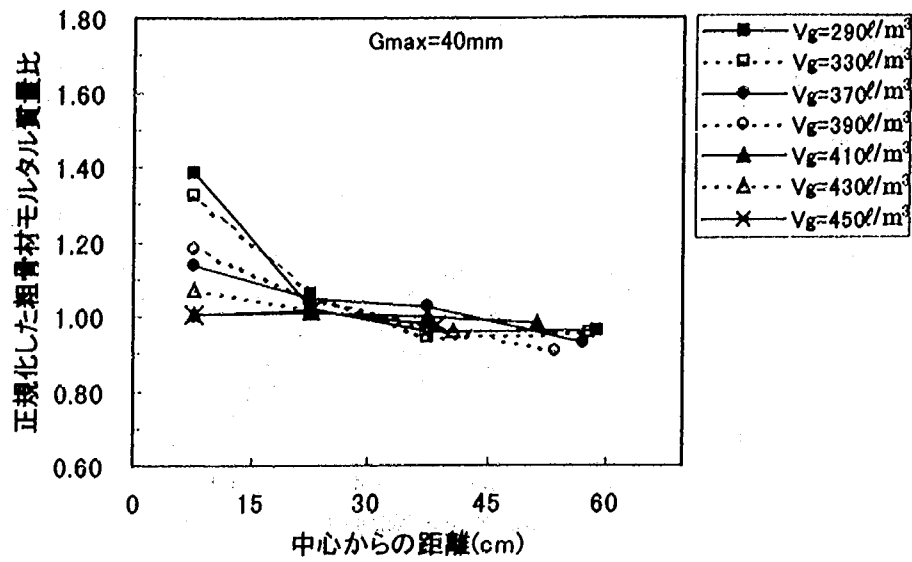
図－ 4.1.25 フロー中心からの距離と粗骨材モルタル質量比の関係 (Gmax=80mm)

図から、粗骨材最大寸法が 10mm および 20mm の場合については、粗骨材モルタル質量比が中心からの距離に関わらず一定であることから、フロー円全体に粗骨材量が均等に分布しているといえる。このことは、大型スランプフロー試験後の材料分離目視評価点 (図－4.1.10) においても 5 点であったことと合致している。粗骨材最大寸法が 40mm の場合についても、中心からの距離により粗骨材モルタル質量比に若干のばらつきがあるケースがあるものの、粗骨材量はほぼ均等に分布しており、材料分離目視評価点 (図－4.1.10) が 4.5～5 点であったことと合致している。しかし、粗骨材最大寸法が 80mm の場合については、粗骨材モルタル質量比がフロー円中心に近いほど大きくなる傾向が見られ、中心部に近いほど粗骨材量が多く、モルタル量が少なくなることがわかる。これは、材料分離抵抗性目視評価点 (図－4.1.10) が 2.5～4 点と低い結果となったことと合致している。

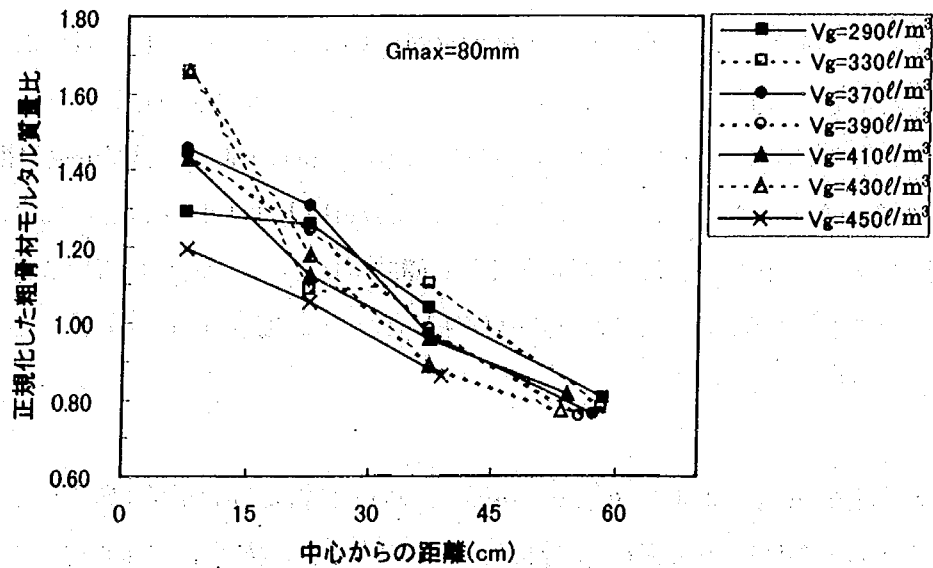
粗骨材最大寸法が 40mm および 80mm の場合について、粗骨材モルタル質量比と単位粗骨材絶対容積との関連を見るため、それぞれの部分の粗骨材モルタル質量比を試料全体の粗骨材モルタル質量比で除して正規化して比較した。その結果を図－4.1.26 および図 4.1.27 に示す。

図より、粗骨材最大寸法が 40mm の場合、中心部の正規化した粗骨材モルタル質量比は、単位粗骨材絶対容積が小さくなるに従って他の位置に比べて突出して大きくなる傾向にある。

一方、粗骨材最大寸法が 80mm の場合、単位粗骨材絶対容積に関わらず正規化した粗骨材モルタル質量は中心部ほど大きくなっている。また、その値は、単位粗骨材絶対容積が小さくなるに従って大きくなる傾向にある。また、材料分離抵抗性目視評価点 (図－4.1.10) との関係を見ると、評価点が 2.5～3 と低いケース (Vg=330、370、430 l/m³) では中心部の正規化した粗骨材モルタル質量比は他に比べて大きいことがわかる。



図一 4.1.26 フロー中心からの距離と正規化した粗骨材モルタル質量比の関係
($G_{max}=40mm$)



図一 4.1.27 フロー中心からの距離と正規化した粗骨材モルタル質量比の関係
($G_{max}=80mm$)

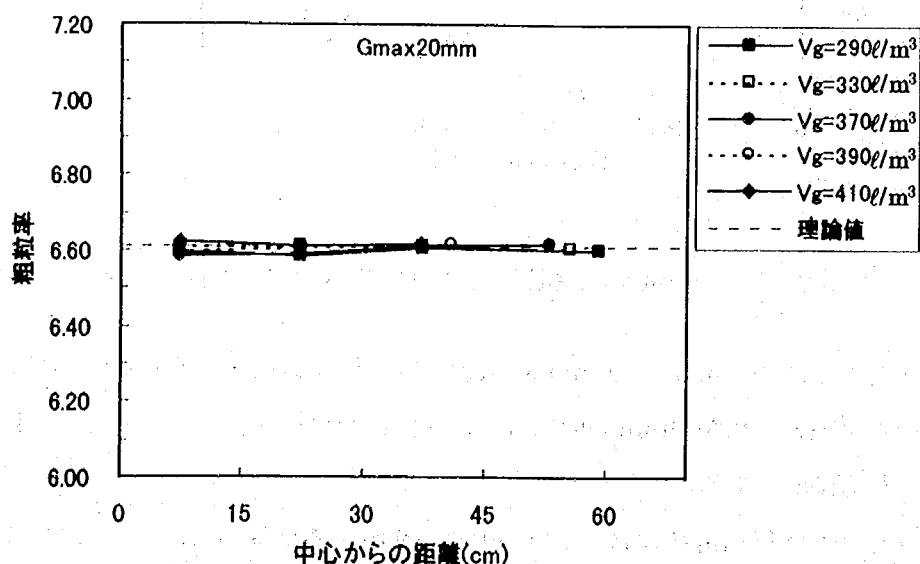
次に、粗骨材最大寸法 20～80mm の各場合について、各試料採取位置での粗骨材粒度分布状況を見るため、フロー中心からの距離と粗骨材の粗粒率の関係を整理した結果を図－4.1.28～4.1.30 に示す。なお、粗骨材の粗粒率は以下の式により算定した。また配合理論粗粒率を表－4.1.5 に示す。

$$\text{粗粒率}(FM) = \frac{\left(\begin{array}{l} 80,40,20,10,5,2.5,1.2,0.6,0.3,0.15 \text{ の各ふるいに} \\ \text{留まる量の全試料に対する質量百分率の和} \end{array} \right)}{100}$$

$$= \frac{\left(\begin{array}{l} (60 \sim 40\text{mm} \text{ 粒径の粗骨材質量の全量に対する質量百分率}) \times 9 \\ + (40 \sim 20\text{mm} \text{ 粒径の粗骨材質量の全量に対する質量百分率}) \times 8 \\ + (20 \sim 10\text{mm} \text{ 粒径の粗骨材質量の全量に対する質量百分率}) \times 7 \\ + (10 \sim 5\text{mm} \text{ 粒径の粗骨材質量の全量に対する質量百分率}) \times 6 \end{array} \right)}{100}$$

表－ 4.1.5 各配合の理論粗粒率

粗骨材最大寸法	理論粗粒率
10mm	6.00
20mm	6.61
40mm	7.19
80mm	7.82



図－ 4.1.28 フロー中心からの距離と粗骨材の粗粒率の関係 (Gmax=20mm)

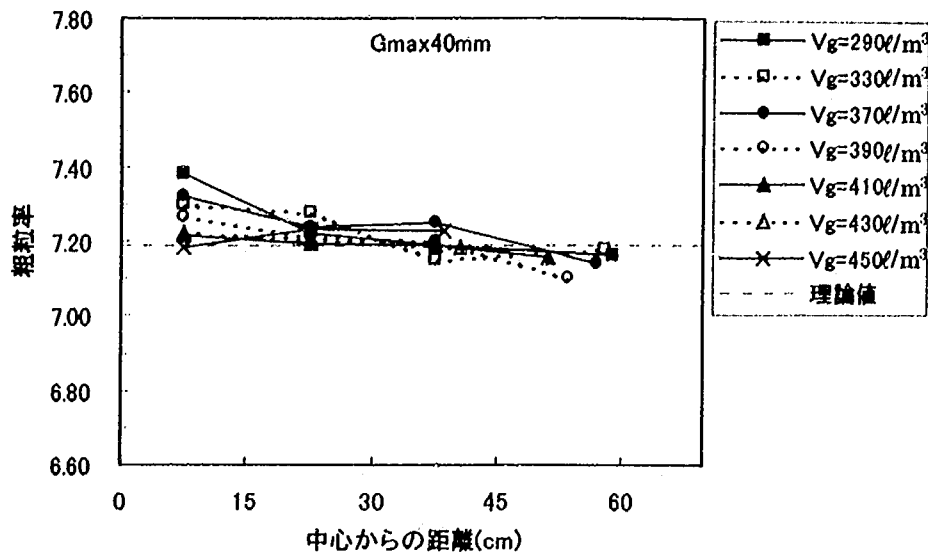


図- 4.1.29 フロー中心からの距離と粗骨材の粗粒率の関係 (Gmax=40mm)

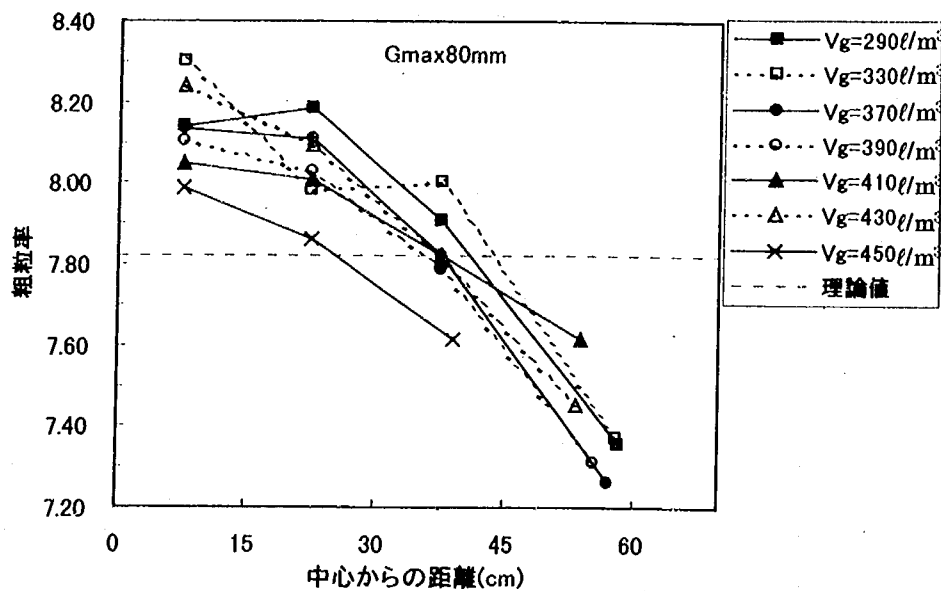


図- 4.1.30 フロー中心からの距離と粗骨材の粗粒率の関係 (Gmax=80mm)

図より、粗骨材最大寸法が 20mm、40mm の場合、粗骨材の粗粒率は理論値付近でほぼ一様に分布している。ただし、粗骨材最大寸法が 40mm の場合は、単位粗骨材絶対容積が小さくなるに従い、中心部の粗粒率が若干大きくなる傾向がある。

一方、粗骨材最大寸法が 80mm の場合、フロー中心から離れるに従い粗粒率は小さくなっており、また、単位粗骨材絶対容積が小さくなるに従い、中心部と周縁部の粗粒率の差も大きくなる傾向がある。

以上、粗骨材の洗い試験結果と大型スランプフロー後の材料分離抵抗性目視評価点との関係についてまとめたものを表-4.1.6 に示す。

表- 4.1.6 粗骨材の洗い試験結果と材料分離抵抗性目視評価点の関係

粗骨材 最大寸 法 (mm)	単位粗 骨材絶 対容積 (ℓ/m^3)	大 型 ス ラ ン プ フ ロー (cm)	材 料 分 離 目 視 評 価 点	粗骨材量の分布					粗骨材粗粒率の分布				
				粗骨材モルタル質量比の全体に対する相対比					粗骨材粗粒率の理論値との差				
				$\phi 30\text{cm}$	$\phi 60\text{cm}$	$\phi 90\text{cm}$	周縁部	内外差	$\phi 30\text{cm}$	$\phi 60\text{cm}$	$\phi 90\text{cm}$	周縁部	内外差
40	290	146.25	4.5	1.38	1.02	0.96	0.96	0.42	0.19	0.03	0.00	-0.03	0.22
	330	142.25	4.5	1.32	1.06	0.94	0.95	0.37	0.11	0.09	-0.04	-0.01	0.12
	370	138.25	5.0	1.14	1.05	1.03	0.93	0.21	0.13	0.05	0.06	-0.05	0.18
	390	124.25	4.5	1.18	1.05	0.98	0.91	0.27	0.08	0.02	0.01	-0.09	0.16
	410	114.50	5.0	1.00	1.01	1.00	0.98	0.02	0.02	0.01	0.00	-0.03	0.06
	430	102.25	5.0	1.07	1.02		0.96	0.11	0.03	0.02		-0.01	0.04
	450	93.75	5.0	1.01	1.02		0.98	0.03	-0.01	0.04		0.04	-0.05
80	290	144.00	4.0	1.29	1.26	1.03	0.80	0.48	0.32	0.36	0.08	-0.46	0.78
	330	142.50	3.0	1.66	1.08	1.10	0.77	0.88	0.48	0.16	0.18	-0.45	0.93
	370	139.25	3.5	1.45	1.31	0.97	0.76	0.69	0.31	0.29	0.00	-0.56	0.87
	390	131.75	3.5	1.44	1.24	0.99	0.75	0.68	0.28	0.21	-0.04	-0.51	0.79
	410	125.75	3.0	1.42	1.12	0.96	0.81	0.61	0.22	0.19	0.00	-0.21	0.43
	430	123.25	2.5	1.65	1.17	0.89	0.77	0.88	0.42	0.27	-0.01	-0.37	0.78
	450	95.75	5.0	1.19	1.06		0.86	0.33	0.17	0.04		-0.21	0.37

4.2 粗骨材最大寸法と粗骨材絶対容積が充填性に及ぼす影響試験

4.2.1 実験ケース

充填性に関する影響試験では、フレッシュ性状影響試験と同様に、粗骨材最大寸法を 10mm、20mm、40mm、80mm の 4 種類とし、各々に対して、単位粗骨材絶対容積をフレッシュ性状試験結果から得られた流動性状の限界点付近を中心とした $290 \sim 510 \text{ l/m}^3$ の間で 3～6 ケースを設定し、試験を行った。

なお、充填性試験では、実験誤差によるデータのばらつきを抑えるため 1 ケースについて 3 回の試験を行い、その平均値によって評価した。また、各評価試験におけるデータの信頼性を確認するため、参考として締固めを行った場合の供試体も同時に作製した。実験ケースを表-4.2.1 に示す。

表- 4.2.1 充填性影響試験における実験ケース

粗骨材 最大寸法	単位粗骨材絶対容積 $V_g \text{ (l/m}^3\text{)}$											
	290	310	330	350	370	390	410	430	450	470	490	510
10mm	○		○		○							
20mm			○		○		○	○				
40mm			○		○		○		○		○	○
80mm					○		○		○		○	○

4.2.2 実験手順

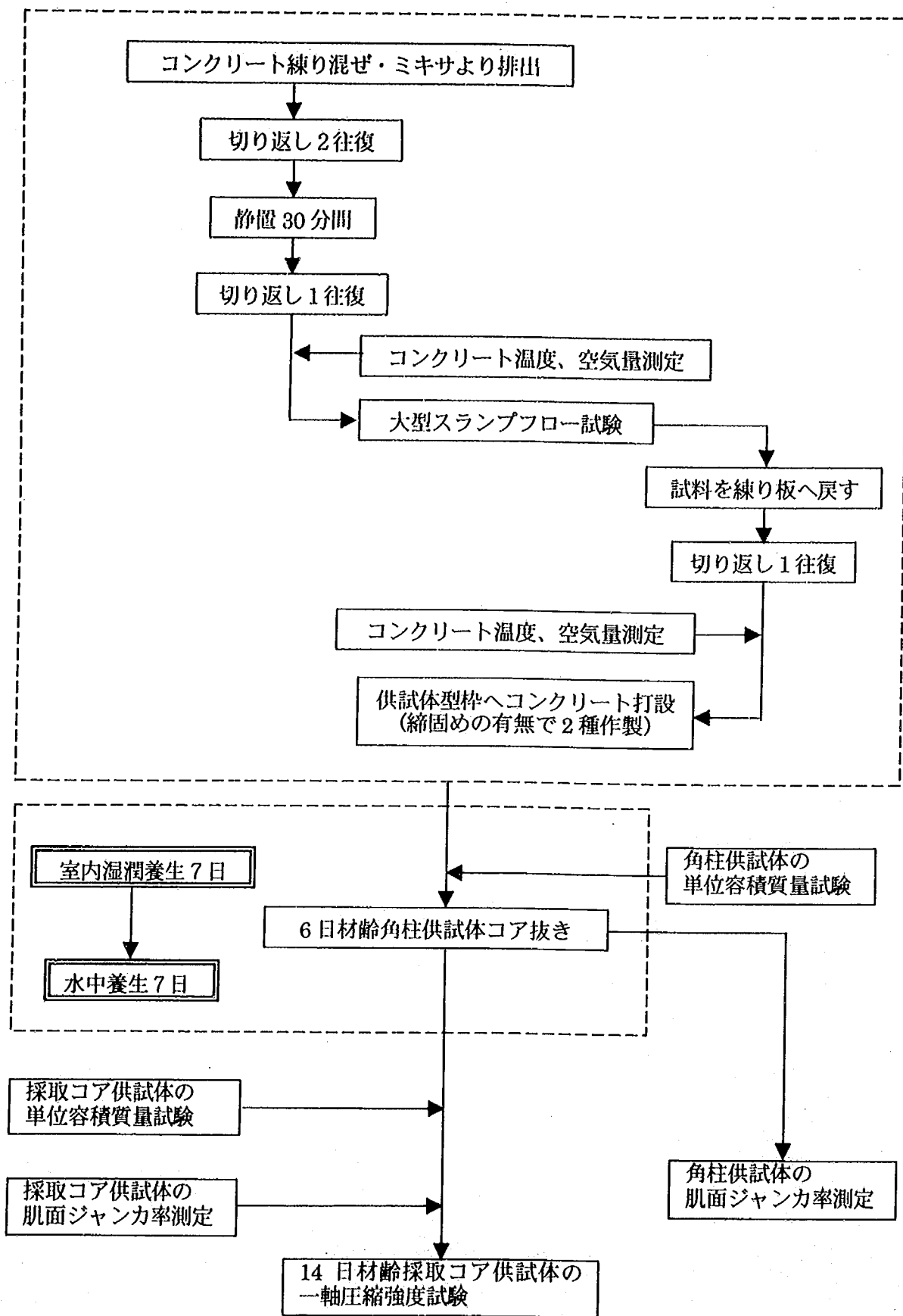
実験フローは図-4.2.1 に示すとおりである。コンクリートをミキサから練り板上に放出後、2 往復の切り返しを行い、30 分間静置し、再度 1 往復の切り返しを行い、大型スランプフロー試験を実施してフレッシュ性状を確認した。その後、フロー試験で用いた試料を一旦練り板上に戻し、1 往復の切り返しを行った後、2 個の充填試験用角柱供試体（ $30\text{cm} \times 30\text{cm} \times 30\text{cm}$ 、容量 27l ）を打設し、一方については締固めを行った。なお、コンクリート温度および空気量の測定は大型フロー試験前と供試体へのコンクリート打設前の 2 回行った。

角柱供試体にコンクリートを打設する場合、練り板上にショベルで一様に敷均されたコンクリートを写真-4.2.1 のように 4 区画に区切り、1 つの供試体に対し、対角線上の 2 カ所から試料を採取した。角柱供試体へのコンクリート投入には、図-4.2.2 に示すコンクリート投入用ホッパー（投入口径 $\phi 15\text{cm}$ の円錐台型、容量 $6 \sim 7\text{l}$ ）と打設用架台を用い、4 層に分けて打設した。コンクリート打設状況を写真-4.2.2 に示す。なお、打設天端については、こてを用いず、ハンスコップで丁寧にコンクリートを投入して平らになるように仕上げた。また、2 個の供試体のうち、一方については棒状バイブレータを図-4.2.3 に示す 5 カ所に挿入し、1 カ所当たり約 5 秒間の締固めを行った。

充填性評価に用いる供試体は、角柱供試体と角柱供試体の中心部からコア抜きした採取コア供試体（ $\phi 18\text{cm} \times 30\text{cm}$ ）の 2 種類であり、コア抜きは材齢 6 日に行った。

一軸圧縮強度試験は 14 日材齢の採取コア供試体について行った。養生は、約 20°C の室内で材齢 7 日ま

で供試体を濡れむしろで覆った後、水中養生（水温約 20℃）を 7 日間行った。また、単位容積質量試験は、角柱供試体についてはコア抜き直前に、採取コア供試体については一軸圧縮強度試験直前に行った。また、肌面ジャンカ率を測定するため、供試体の画像データを角柱供試体についてはコア抜き後に、採取コア供試体については一軸圧縮強度試験直前に採取した。なお、採取した画像データについては、研究室内のパソコンにおいて画像解析を行い、ジャンカ率を算定した。



図－ 4.2.1 充填性に及ぼす影響試験の試験フロー

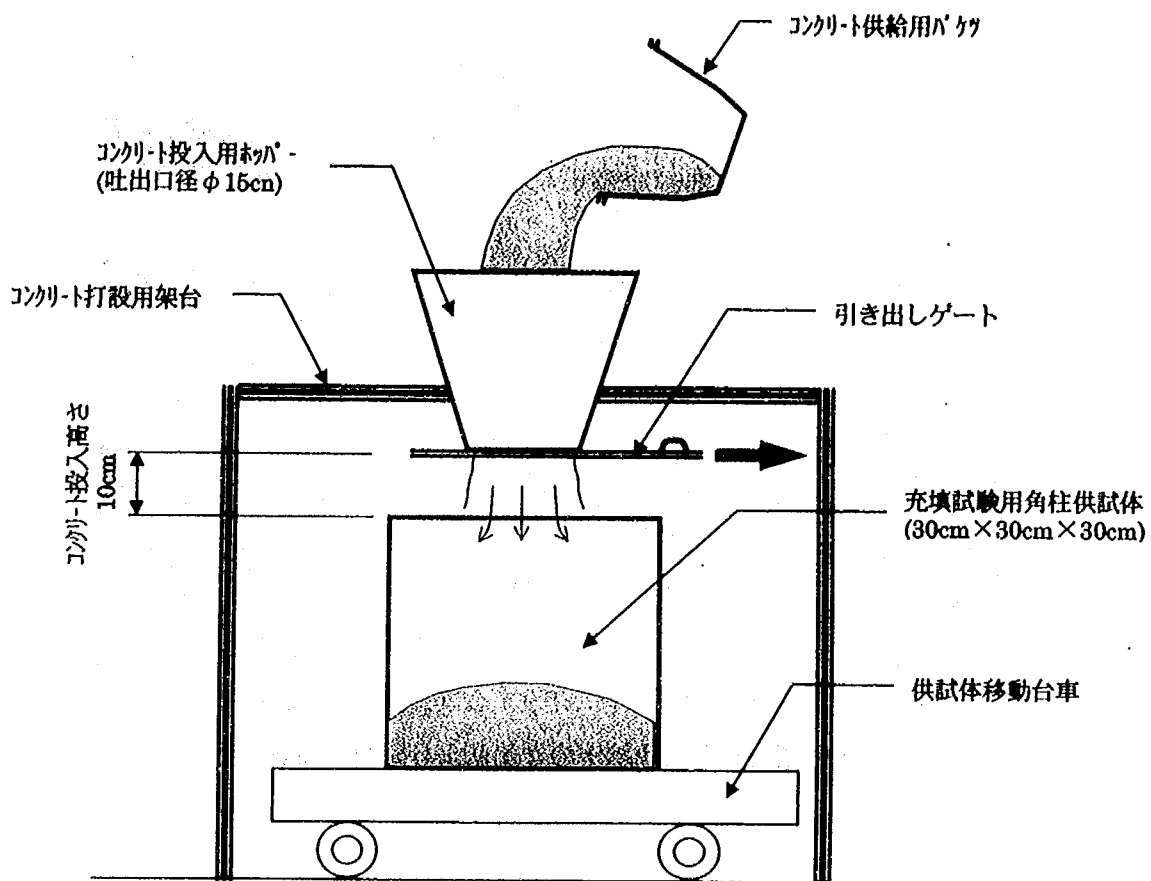


図- 4.2.2 コンクリート投入用ホッパーと打設用架台

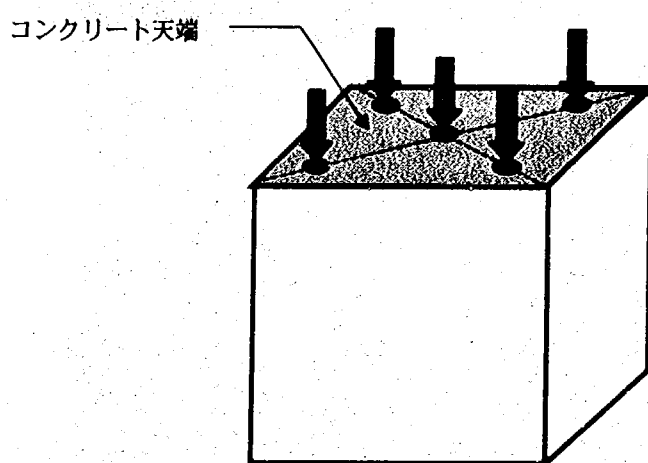
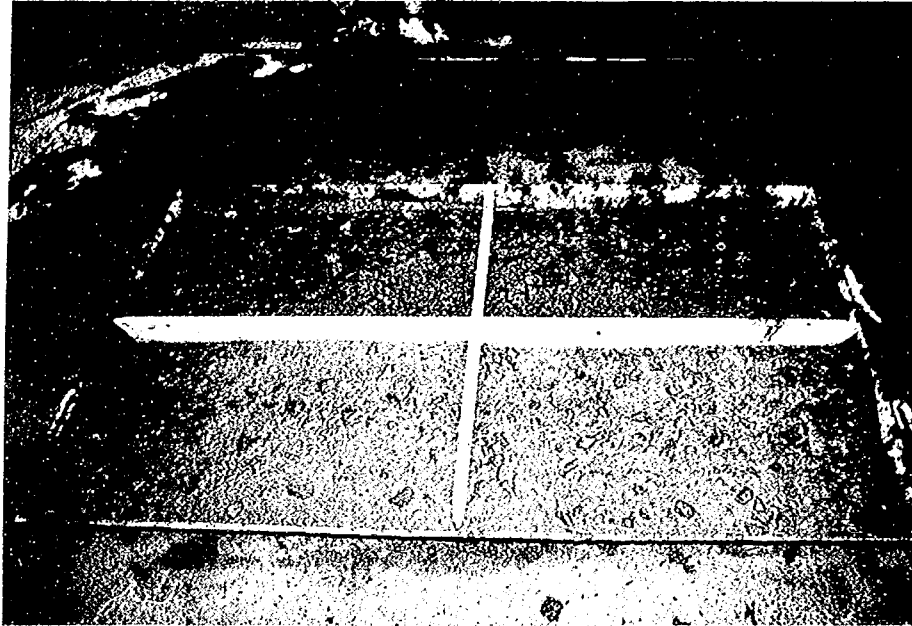
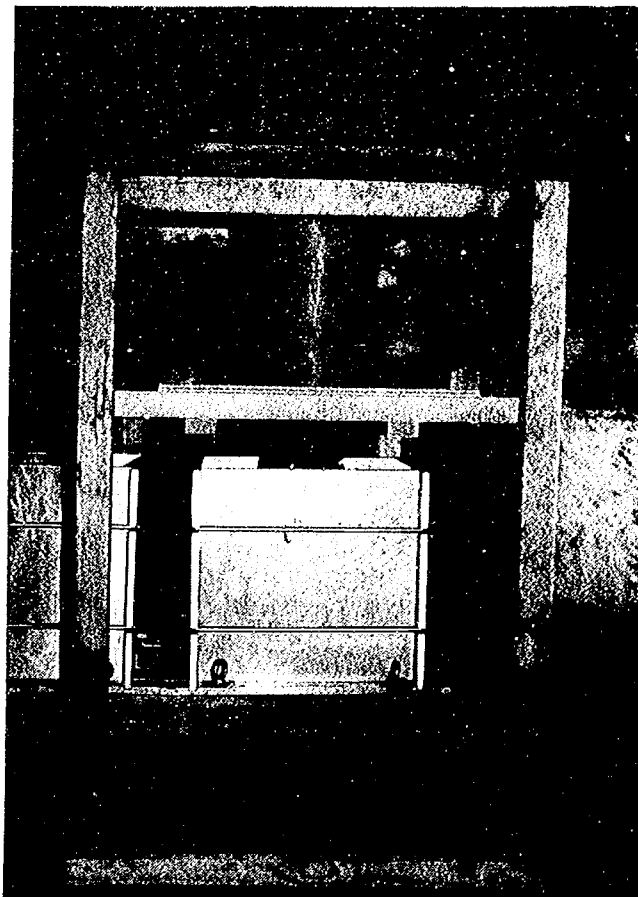


図- 4.2.3 棒状バイブレータ挿入位置



写真－ 4.2.1 充填試験用供試体に打設するコンクリート試料の分割状況
(4分割された対角線上の2箇所より試料を採取)



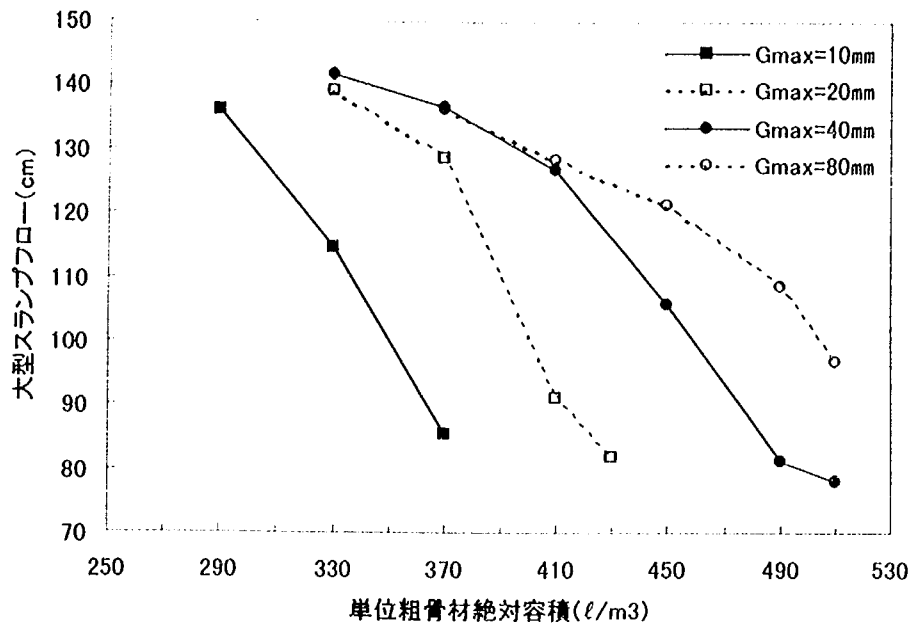
写真－ 4.2.2 コンクリート投入用ホッパーと打設架台を用いた供試体へのコンクリート打設状況

4.2.3 実験結果

以下の実験結果で示すデータは、締め固めなしの供試体を対象としている。締め固めた場合の供試体については、添付資料－7を参照されたい。

(1) 大型スランプフロー試験

充填性に及ぼす影響試験においても大型スランプフロー試験を実施し、フレッシュ性状の確認を行った。単位粗骨材絶対容積と大型スランプフローの関係を図－4.2.4に示す。



図－ 4.2.4 粗骨材絶対容積と大型スランプフローの関係
(充填性試験)

図によれば、単位粗骨材絶対容積と大型スランプフローの関係は前述したフレッシュ性状試験の結果（図－4.1.4）とよく一致している。また、粗骨材最大寸法の影響に着目してみても、フレッシュ性状試験の結果と同様の傾向が得られたが、充填性試験では粗骨材最大寸法の 40mm と 80mm の差がやや大きくなる結果となった。

(2) 単位容積質量試験

角柱供試体および採取コア供試体における単位粗骨材絶対容積と相対単位容積質量比の関係を図-4.2.5、図-4.2.6に示す。なお、相対単位容積質量比は次式により計算した。

$$\text{相対単位容積質量比} = \frac{\text{供試体の単位容積質量}}{\text{配合から求めた理論単位容積質量}}$$

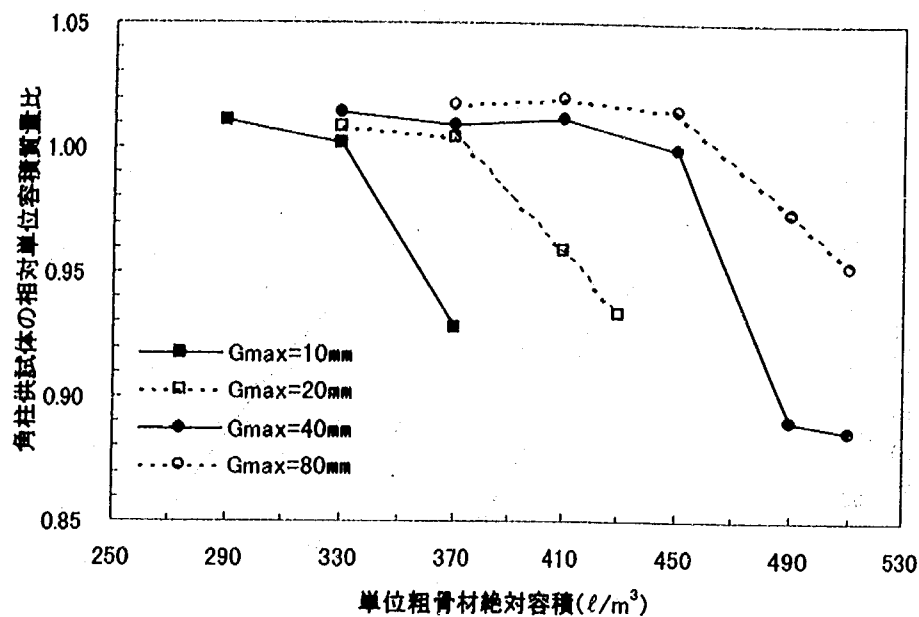


図- 4.2.5 単位粗骨材絶対容積と相対単位容積質量比の関係 (角柱供試体)

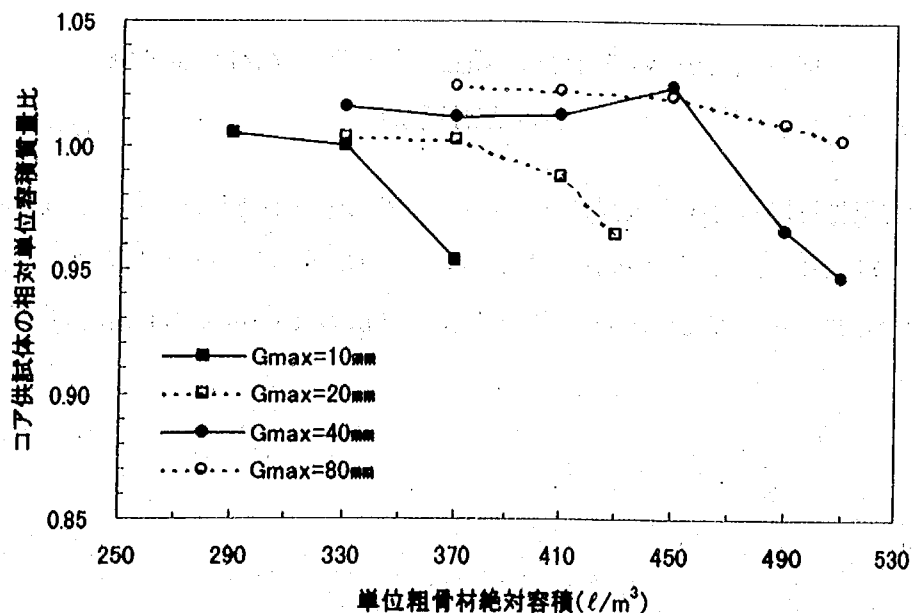
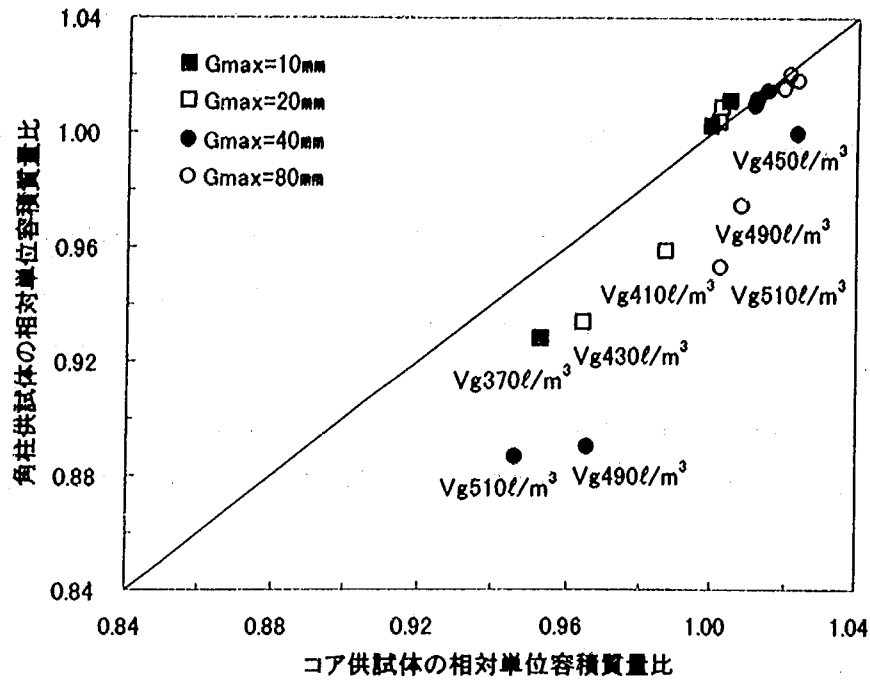


図- 4.2.6 単位粗骨材絶対容積と相対単位容積質量比の関係 (コア供試体)



図－ 4.2.7 コア供試体と角柱供試体における相対単位容積質量比の関係

図－4.2.5 および図－4.2.6 より、角柱供試体、コア供試体のいずれにおいても、単位粗骨材絶対容積が増加すると相対単位容積質量比が急激に低下する限界単位粗骨材絶対容積が存在し、その値は、角柱供試体とコア供試体とも同じ値になった。なお、限界単位粗骨材絶対容積を超えた場合の相対単位容積質量比の低下率は、角柱供試体に比べてコア供試体の方が小さいことがわかる。表－4.2.2 に限界粗骨材絶対容積を示す。

図－4.2.7 はコア供試体と角柱供試体の相対単位容積質量比の関係を示したものである。単位粗骨材絶対容積が限界単位粗骨材絶対容積以下のケースでは、コア供試体と角柱供試体の相対単位容積質量比が等しく、コンクリートが角柱供試体内に均一に充填されていることがわかる。一方、限界単位粗骨材絶対容積を超えるケースでは、コア供試体の方が角柱供試体に比べて相対単位容積質量比が大きくなり、角柱供試体の表面付近に空隙が集中していることがわかる。

表－ 4.2.2 単位容積質量から見た充填性の限界単位粗骨材絶対容積

粗骨材最大寸法	限界粗骨材絶対容積
10mm	330ℓ/m³程度
20mm	370ℓ/m³程度
40mm	410ℓ/m³程度
80mm	450ℓ/m³程度

次に、角柱供試体およびコア供試体におけるモルタル粗骨材空隙比（ β 値）と相対単位容積質量比の関係を図-4.2.8 および図-4.2.9 に示す。なお、モルタル粗骨材空隙比は次式により計算した。

$$\begin{aligned} \text{モルタル粗骨材空隙比} &= \frac{\text{単位モルタル容積}}{\text{合成粗骨材の空隙容積}} \\ &= \frac{1000(\ell) - \text{単位粗骨材絶対容積}(\ell) - \text{空気量}(\ell)}{\left(\frac{1}{\text{合成粗骨材の実積率}} - 1 \right) \times \text{単位粗骨材絶対容積}(\ell)} \end{aligned}$$

ここに、粗骨材の実積率は JIS A 1104 「骨材の単位容積質量及び実積率試験方法」に準拠して試験を行った結果である。（表-2.2.1 参照）また、空気量はフレッシュ状態における実配合の空気量である。

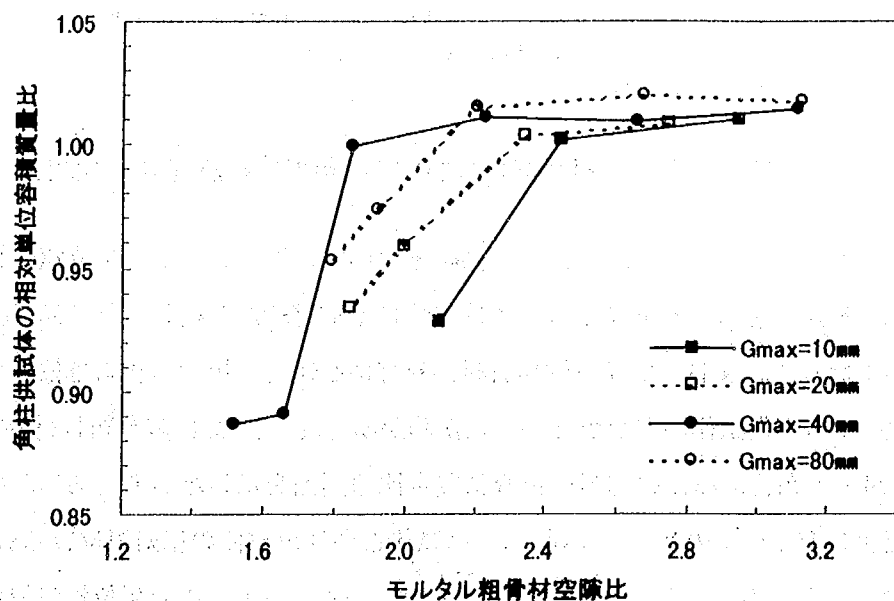


図- 4.2.8 モルタル粗骨材空隙比と相対単位容積質量比の関係（角柱供試体）

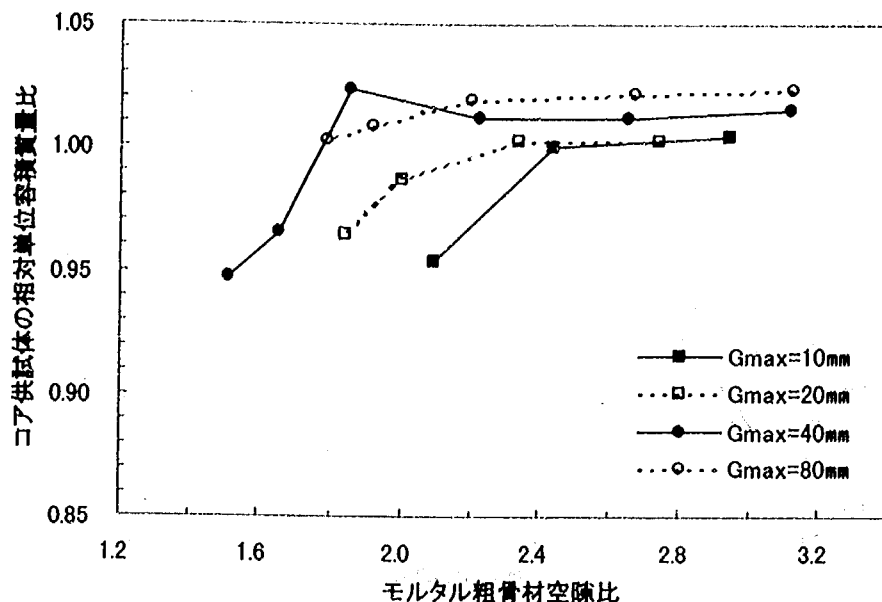
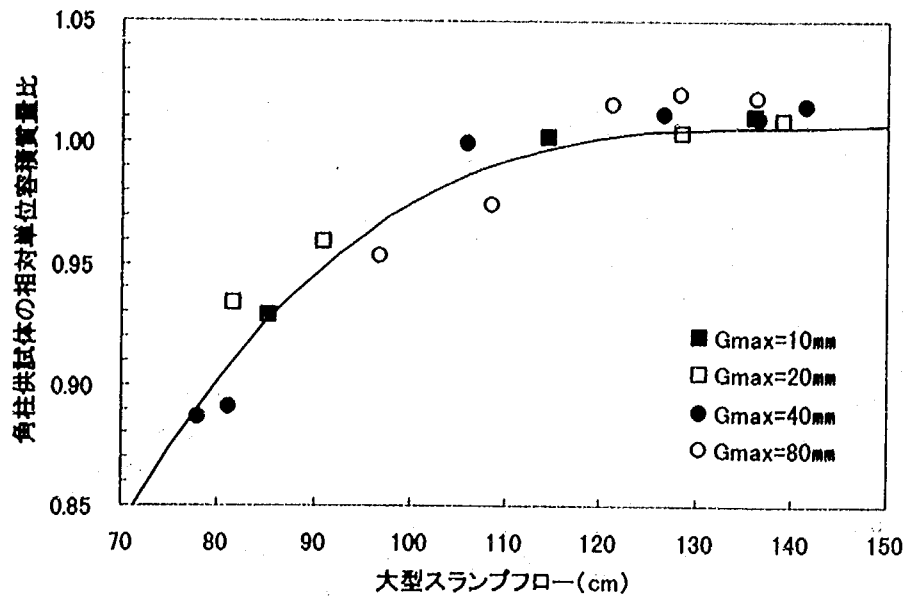


図- 4.2.9 モルタル粗骨材空隙比と相対単位容積質量比の関係（コア供試体）

図-4.2.8 および図-4.2.9 より、角柱供試体、コア供試体のいずれにおいても、モルタル粗骨材空隙比が減少すると相対単位容積質量比が急激に低下する限界モルタル粗骨材空隙比が存在し、その値は角柱供試体とコア供試体ともほぼ同一で、粗骨材最大寸法に関わらず 2.2~2.4 であることがわかる。

相対単位容積質量比が急激に低下する限界モルタル粗骨材空隙比が角柱供試体、コア供試体ともほぼ同一であることから、角柱供試体に着目し、大型スランプフローと角柱供試体における相対単位容積質量比の関係を示したものが図-4.2.10 である。図より、大型スランプフローが小さくなると、相対単位容積質量比が急激に低下する限界大型スランプフローが存在し、その値は粗骨材最大寸法に関わらず概ね 120~130cm であることがわかる。



図ー 4.2.10 大型スランプフローと角柱供試体の相対単位容積質量比の関係

表ー 4.2.3 単位容積質量から見た充填性の限界モルタル粗骨材空隙比および大型スランプフロー

粗骨材最大寸法	モルタル粗骨材空隙比	大型スランプフロー
10mm	2.2~2.4	120cm~130cm
20mm		
40mm		
80mm		

(3) 肌面ジャンカ率試験

角柱供試体およびコア供試体における単位粗骨材絶対容積と肌面ジャンカ率の関係を図-4.2.11 および図-4.2.12 に示す。

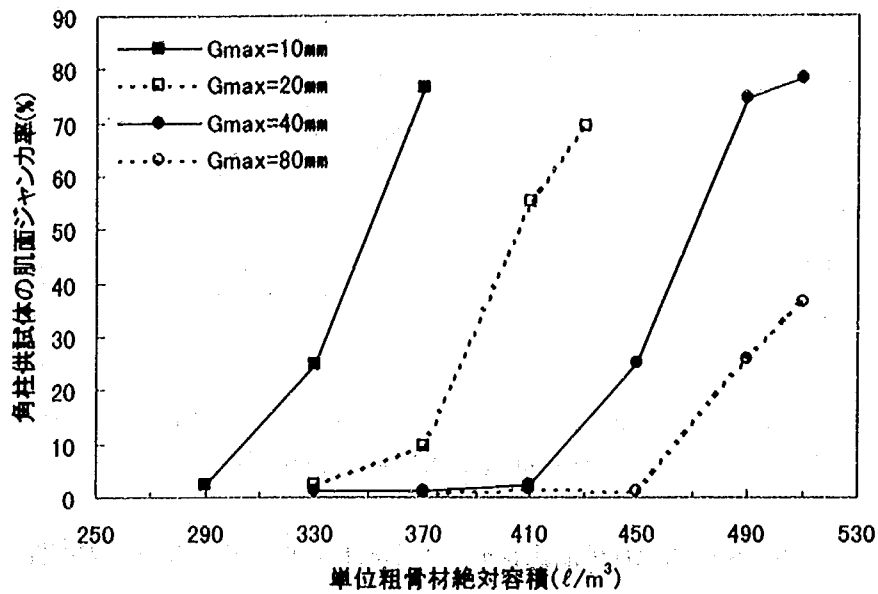


図- 4.2.11 単位粗骨材絶対容積と肌面ジャンカ率の関係 (角柱供試体)

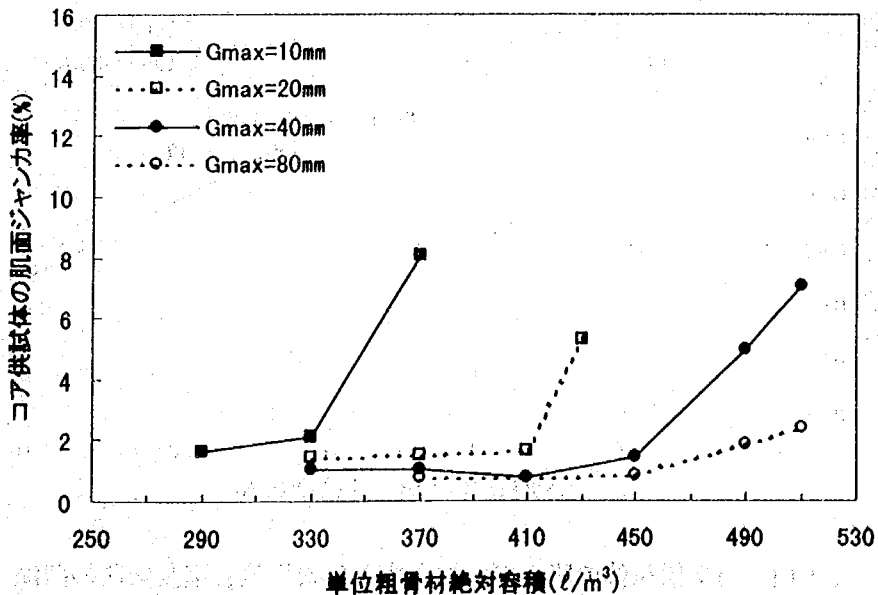
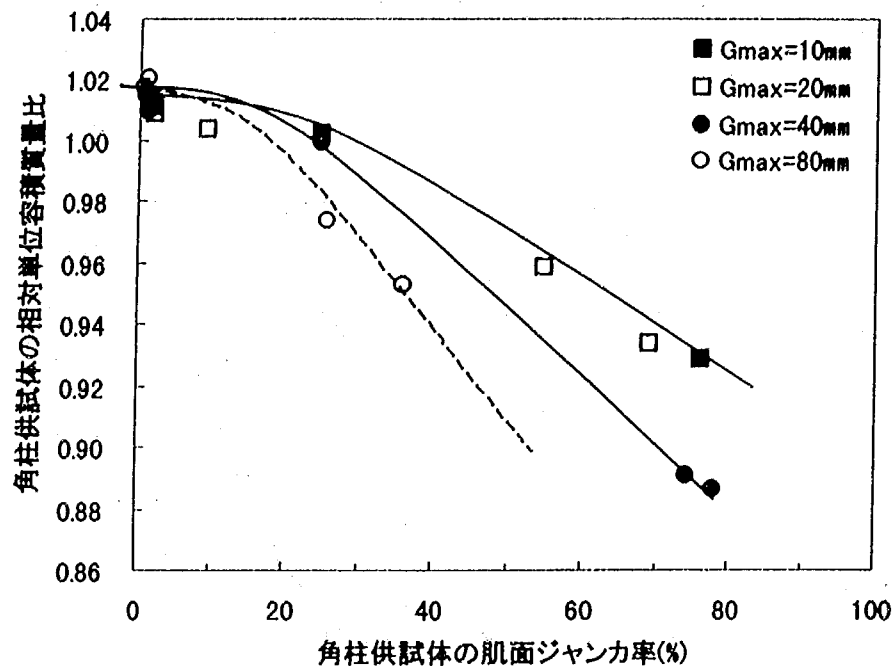
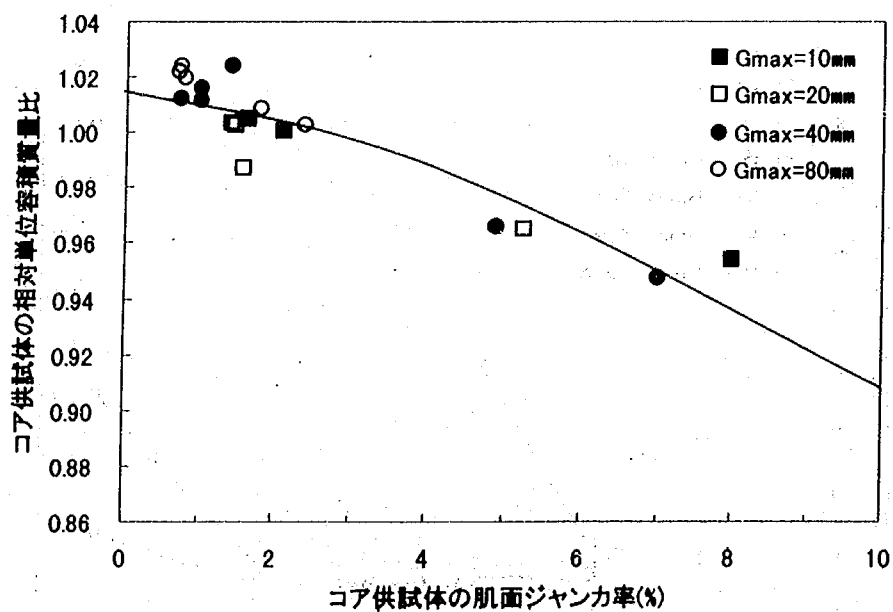


図- 4.2.12 単位粗骨材絶対容積と肌面ジャンカ率の関係 (コア供試体)



図－ 4.2.13 角柱供試体の肌面ジャンカ率と相対単位容積質量比の関係



図－ 4.2.14 コア供試体の肌面ジャンカ率と相対単位容積質量比の関係

図-4.2.11 および図-4.2.12 より、角柱供試体、コア供試体のいずれにおいても、単位粗骨材絶対容積が増加すると肌面ジャンカ率が急激に増加する限界単位粗骨材絶対容積が存在する。なお、限界単位粗骨材絶対容積以下において肌面ジャンカ率は 1~2% でほぼ一定であり、これは微小な気泡分がジャンカ率としてカウントされたものである。

限界粗骨材絶対容積を表-4.2.4 に、角柱供試体の代表的ケースにおける肌面状況を写真-4.2.3~4.2.6 に示す。

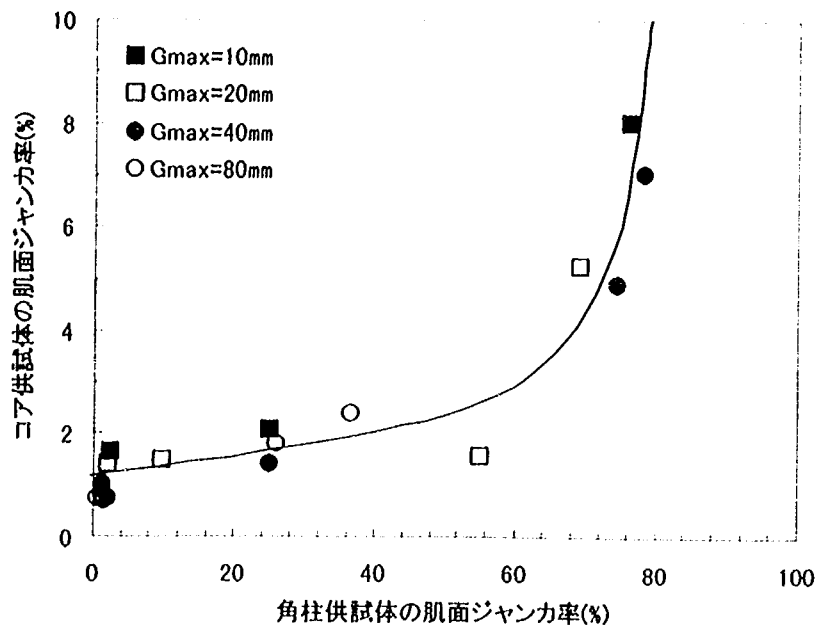
表- 4.2.4 ジャンカ率から見た充填性の限界粗骨材絶対容積

粗骨材最大寸法	限界粗骨材絶対容積	
	角柱供試体	コア供試体
10mm	290ℓ/m ³ 程度	330ℓ/m ³ 程度
20mm	330ℓ/m ³ 程度	410ℓ/m ³ 程度
40mm	410ℓ/m ³ 程度	450ℓ/m ³ 程度
80mm	450ℓ/m ³ 程度	450ℓ/m ³ 程度

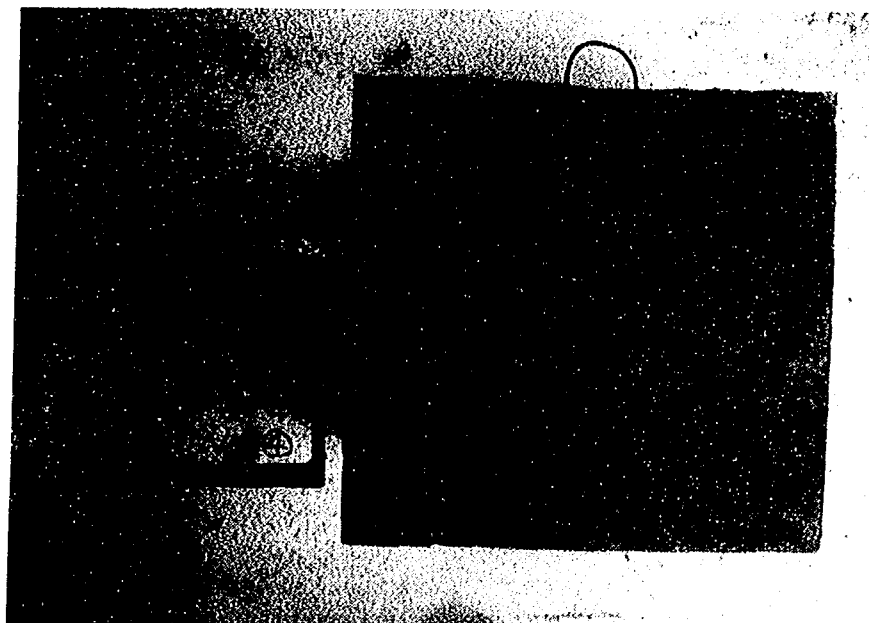
表より、各粗骨材最大寸法における限界単位粗骨材絶対容積は、粗骨材最大寸法が 80mm の場合を除くとコア供試体の方が角柱供試体よりも 40ℓ/m³ 程度大きい値となっている。

図-4.2.14 は、コア供試体のジャンカ率と相対単位容積質量比の関係を示したものである。角柱供試体に比べて粗骨材最大寸法の影響はあまり見られず、ジャンカ率が概ね 2% 以下であれば相対単位容積質量比は 1 を確保できることがわかる。

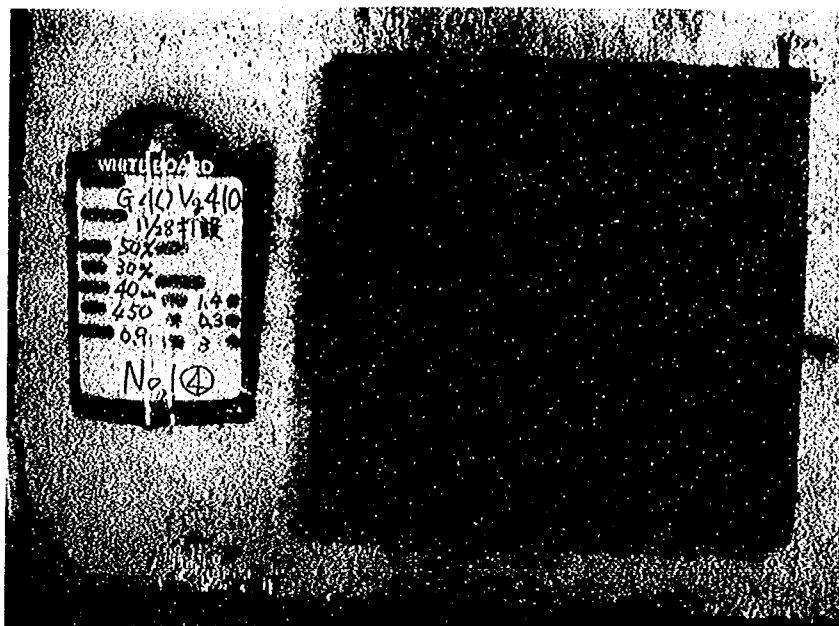
図-4.2.15 は、角柱供試体とコア供試体のジャンカ率の関係を示したものである。図より、両者の間には相関があるが、角柱供試体のジャンカ率に比べてコア供試体のジャンカ率は極端に小さく、角柱供試体のジャンカ率が 20% 程度（写真-4.2.5 参照）でもコア供試体のジャンカ率は 1~2% で微小な気泡程度のジャンカしか生じてないことがわかる。（写真-4.2.7 参照）



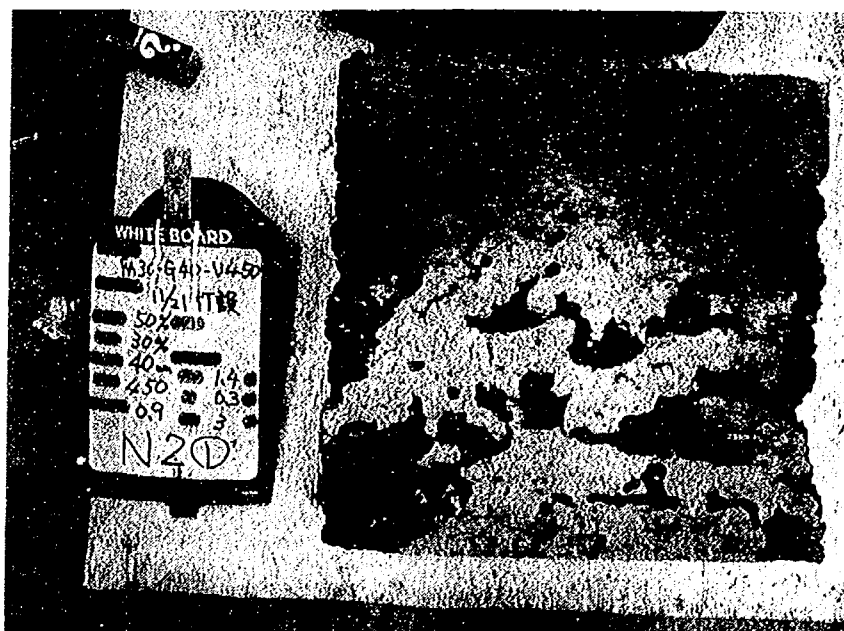
図ー 4.2.15 角柱供試体とコア供試体の肌面ジャンカ率の関係



写真ー 4.2.3 角柱供試体における脱型後のコンクリートせき板面状況
($G_{max}=40\text{ mm}$, $V_g=330\text{ l/m}^3$, ジャンカ率 0.8%)



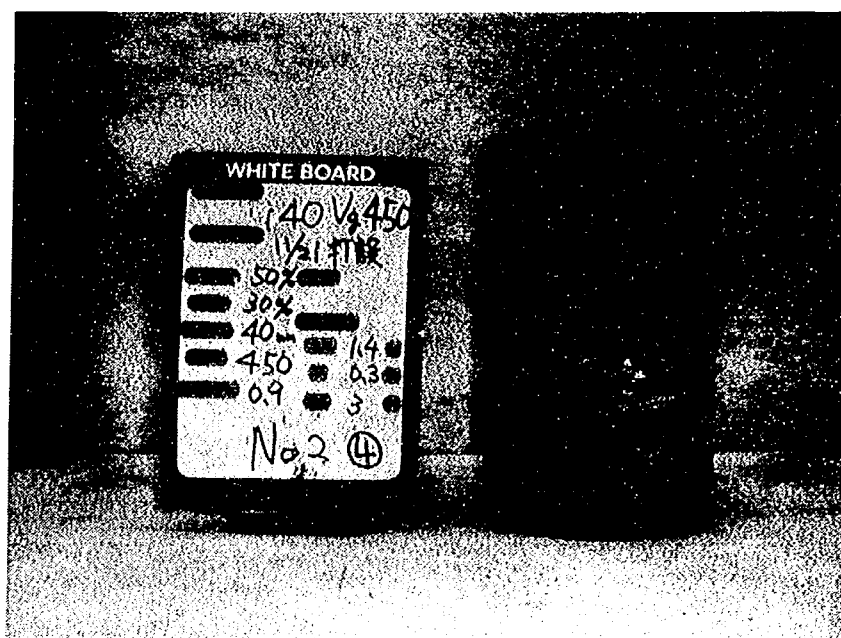
写真－ 4.2.4 角柱供試体における脱型後のコンクリートせき板面状況
($G_{max}=40\text{ mm}$, $V_g=410\ell/\text{m}^3$, ジャンカ率 1.8%)



写真－ 4.2.5 角柱供試体における脱型後のコンクリートせき板面状況
($G_{max}=40\text{ mm}$, $V_g=450\ell/\text{m}^3$, ジャンカ率 33.2%)

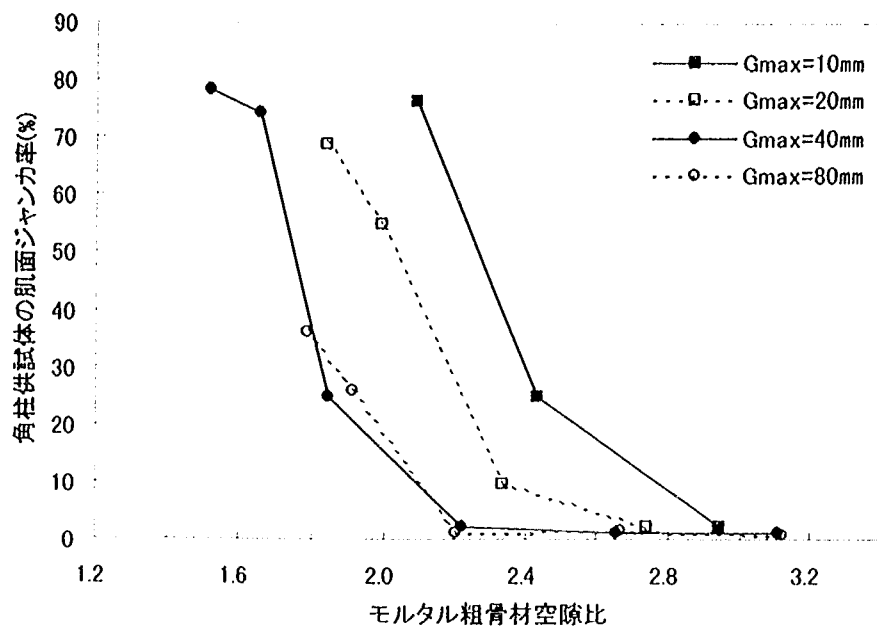


写真－ 4.2.6 角柱供試体における脱型後のコンクリートせき板面状況
($G_{max}=40\text{ mm}$, $V_g=510\ell/\text{m}^3$, ジャンカ率 76.9%)

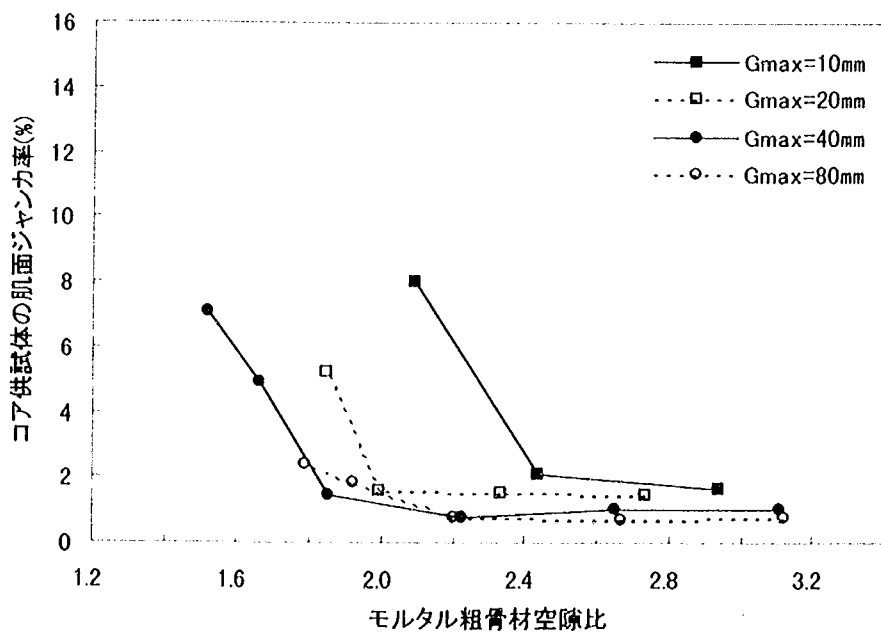


写真－ 4.2.7 コア供試体におけるコンクリート肌面状況
($G_{max}=40\text{ mm}$, $V_g=450\ell/\text{m}^3$, ジャンカ率 1.8%)

次に、角柱供試体およびコア供試体におけるモルタル粗骨材空隙比と肌面ジャンカ率の関係を図－4.2.16 および図 4.2.17 に示す。



図－ 4.2.16 モルタル粗骨材空隙比と肌面ジャンカ率の関係（角柱供試体）



図－ 4.2.17 モルタル粗骨材空隙比と肌面ジャンカ率の関係（コア供試体）

図－4.2.16 より、各粗骨材最大寸法の場合ともモルタル粗骨材空隙比が減少していくと角柱供試体の肌面ジャンカ率が急激に増大する限界モルタル粗骨材空隙比が存在することがわかる。また、図－4.2.17 より、コア供試体においても角柱供試体と同様のことがいえるが、粗骨材最大寸法が 80mm ではそれほど顕

著な傾向は見られなかった。肌面ジャンカ率から見た限界モルタル粗骨材空隙比を表-4.2.5 に示す。

表- 4.2.5 ジャンカ率から見た充填性の限界モルタル粗骨材空隙比

粗骨材最大寸法	限界モルタル粗骨材空隙比	
	角柱供試体	コア供試体
10mm	3.0 程度	2.4 程度
20mm	2.6 程度	2.0 程度
40mm	2.2 程度	1.8 程度
80mm	2.2 程度	1.8 程度

表より、粗骨材最大寸法の影響に着目すると、角柱供試体、コア供試体とも、粗骨材最大寸法が大きくなるに従い、限界モルタル粗骨材空隙比が小さくなるが、粗骨材最大寸法が 40mm 以上になるとその影響はほとんど見られないことがわかる。

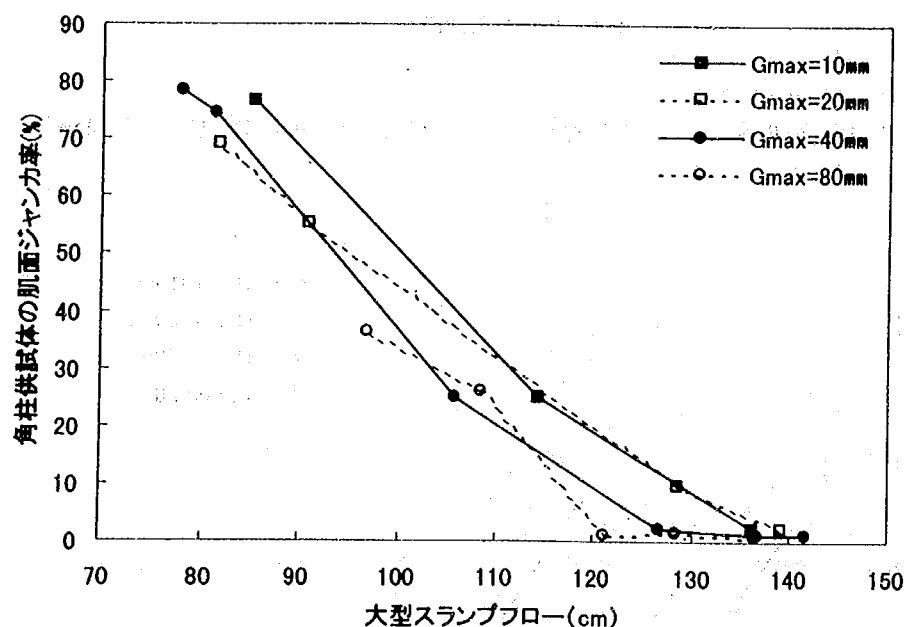


図- 4.2.18 大型スランプフローと肌面ジャンカ率の関係 (角柱供試体)

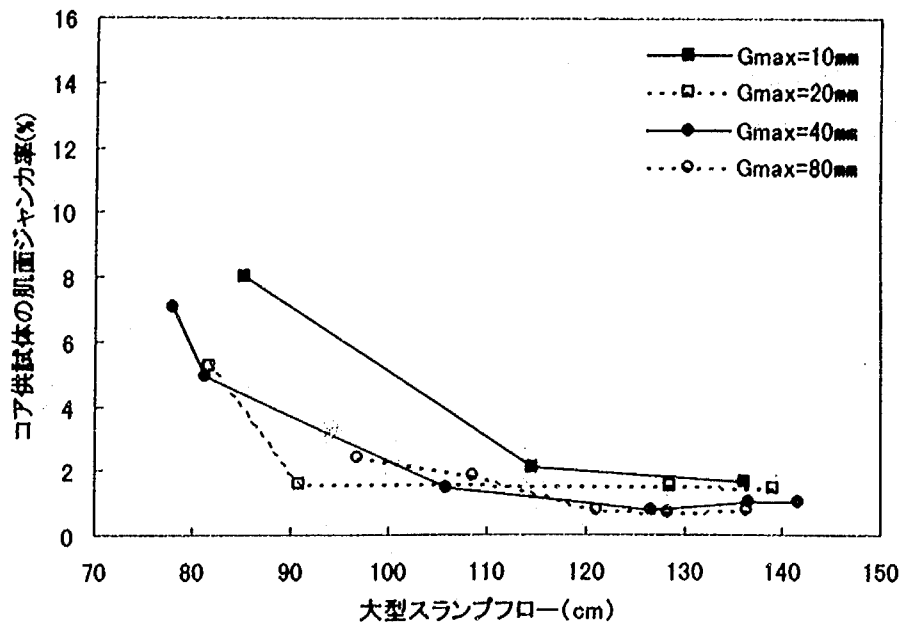


図- 4.2.19 大型スランプフローと肌面ジャンカ率の関係（コア供試体）

図-4.2.18 および図-4.2.19 は、大型スランプフローと角柱供試体およびコア供試体のジャンカ率の関係を示したものである。角柱供試体では大型スランプフローが減少するに従ってジャンカ率が急激に大きくなる限界スランプフローが存在することがわかる。一方、コア供試体では角柱供試体に比べてジャンカ率の増加は比較的緩やかであり、粗骨材最大寸法が 80mm の場合、限界スランプフローは明確には現れなかった。なお、大型スランプフローと角柱供試体のジャンカ率の関係をみると、粗骨材最大寸法が大きくなると限界スランプフローは小さくなる傾向が認められる。ジャンカ率から見た限界大型スランプフロー値を表-4.2.6 に示す。

表- 4.2.6 ジャンカ率から見た充填性の限界大型スランプフロー

粗骨材最大寸法	限界大型スランプフロー	
	角柱供試体	コア供試体
10mm	130～140cm	100～120cm
20mm		
40mm	120～130cm	
80mm		

(4) 一軸圧縮強度試験

単位粗骨材絶対容積と採取コア供試体の一軸圧縮強度および弾性係数の関係を図-4.2.20 および図-4.2.21 に示す。また、一軸圧縮強度と弾性係数の関係を図-4.2.22 に示す。なお、締固めを行った場合の採取コア供試体データについても参考としてプロットした。

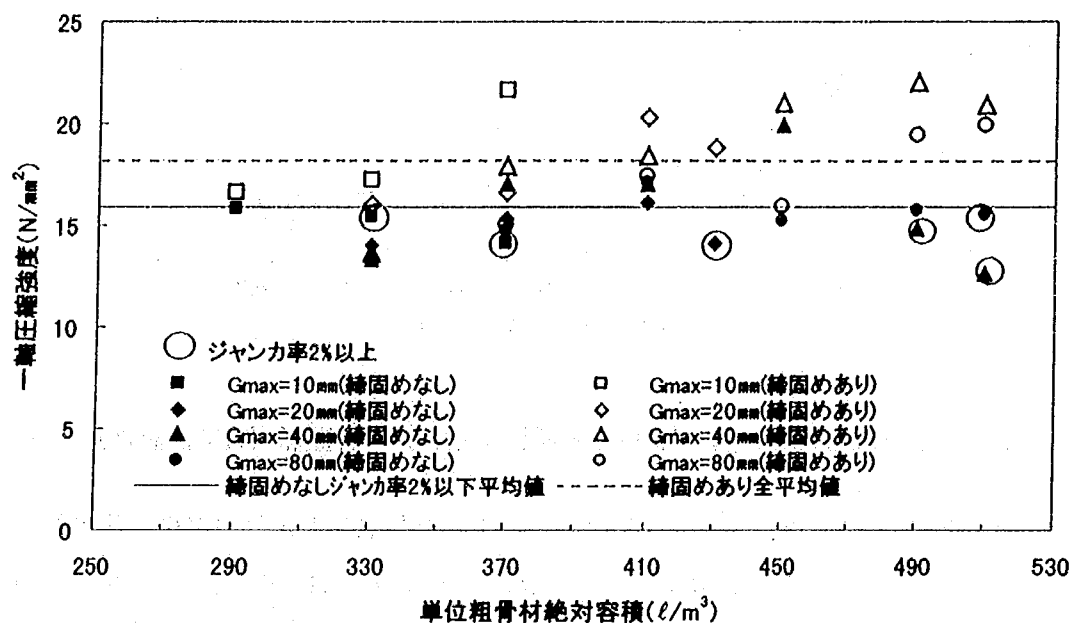


図- 4.2.20 単位粗骨材絶対容積と一軸圧縮強度の関係

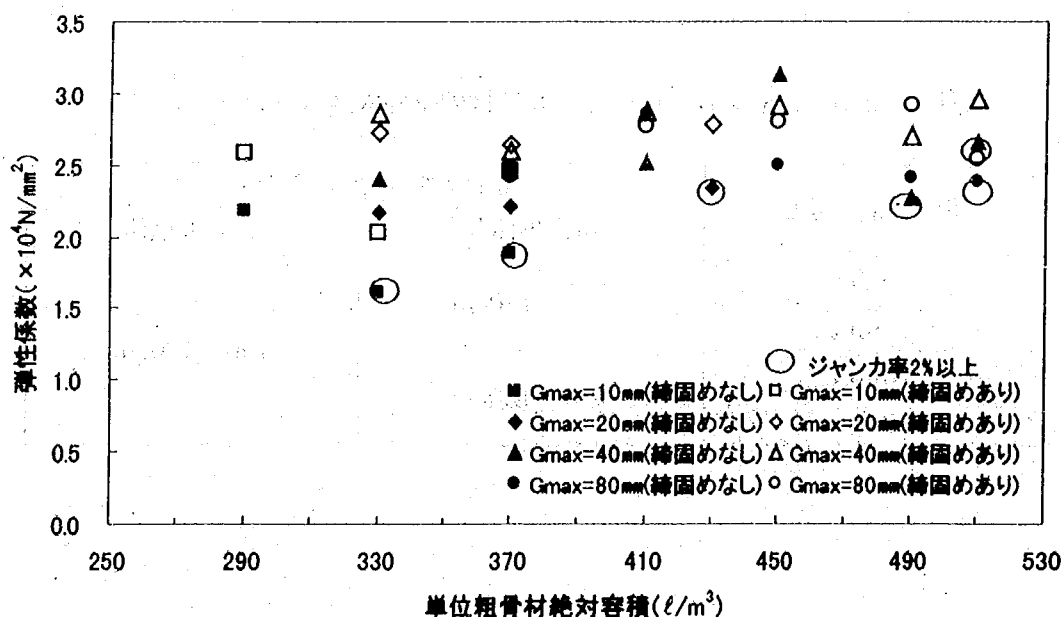
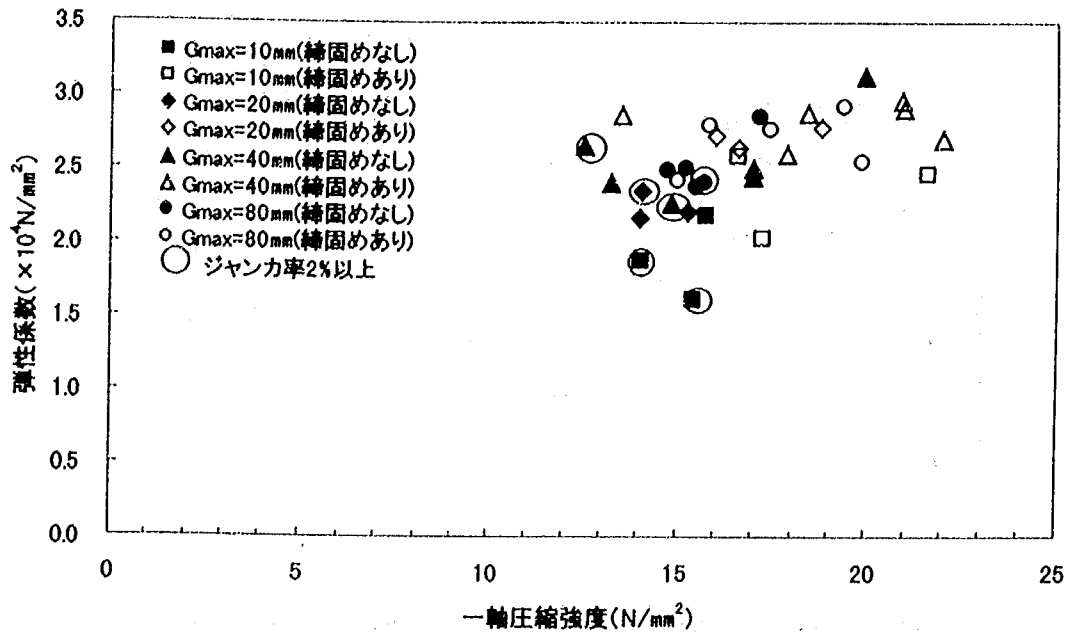


図- 4.2.21 単位粗骨材絶対容積と弾性係数の関係



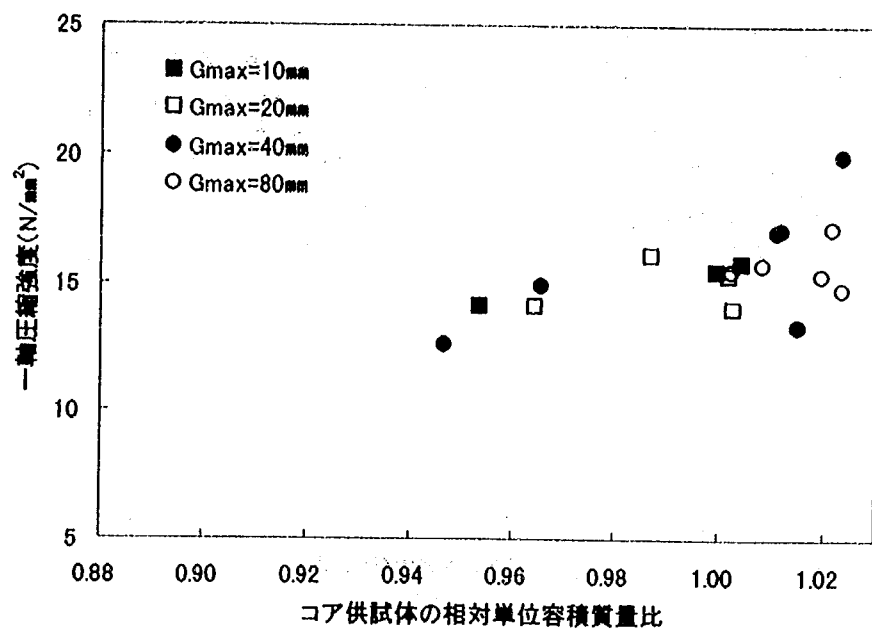
図－ 4.2.22 一軸圧縮強度と弾性係数の関係

図－4.2.20 で、締固めの有無により供試体を分類して見ると、締固めありの方が一軸圧縮強度が大きく、粗骨材絶対容積が大きい場合ほどその差が大きいようである。また、図中にマークをしたジャンカ率 2%以上の供試体の一軸圧縮強度は、ジャンカ率 2%以下の供試体の一軸圧縮強度に比べて低下する傾向にある。

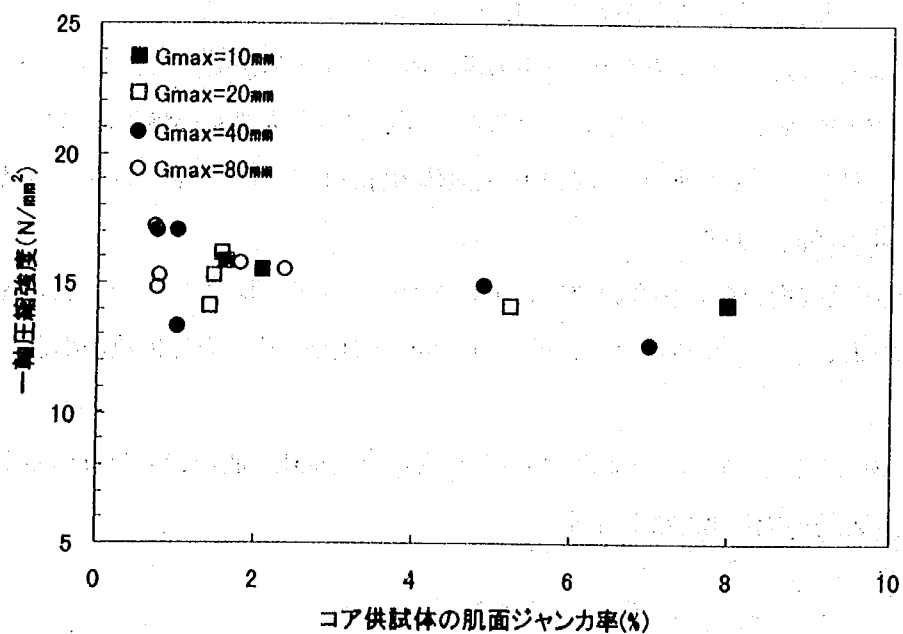
一方、図－4.2.21 で弾性係数への影響を見てみると、ばらつきが大きく一軸圧縮強度の場合ほど明瞭な関係は見られない。しかし、ジャンカ率 2%以上の供試体の弾性係数は、ジャンカ率 2%以下の供試体に比べて弾性係数が低下する傾向がある。

図－4.2.22 は一軸圧縮強度と弾性係数の関係を示したものである。図によれば一軸圧縮強度と弾性係数の間には正の相関があり、また、締固めなしの場合の方が一軸圧縮強度、弾性係数が小さくなる傾向が認められる。

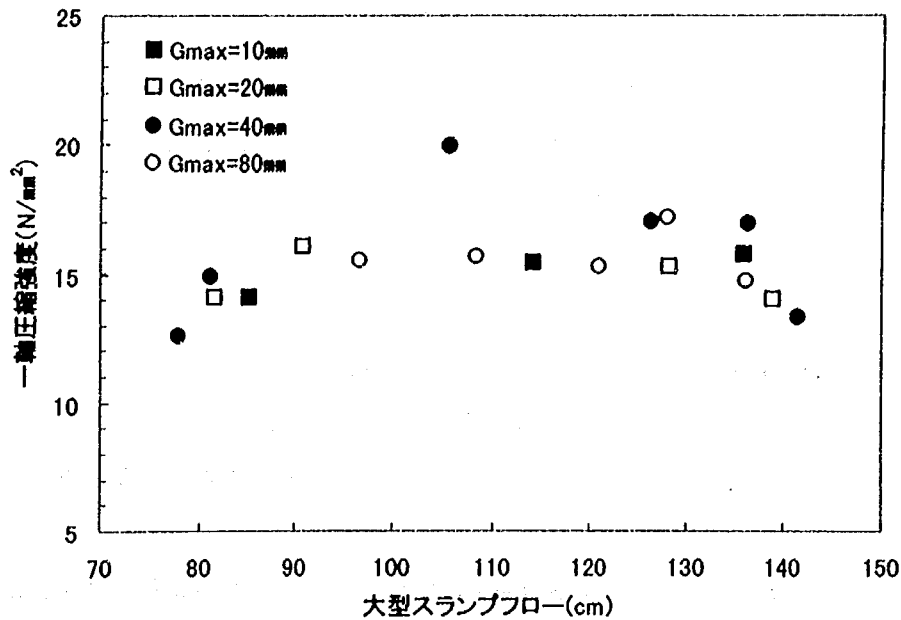
次に、締固めなしの場合について、一軸圧縮強度と単位容積質量比、肌面ジャンカ率および大型スランブフローの関係を図－4.2.23～図－4.2.25 に示す。



図一 4.2.23 コア供試体の相対単位容積質量比と一軸圧縮強度の関係



図一 4.2.24 コア供試体の肌面ジャンカ率と一軸圧縮強度の関係



図一 4.2.25 大型スランプフローと一軸圧縮強度の関係

図-4.2.23 よりコア供試体の相対単位容積質量比が 0.95 程度までの範囲では、一軸圧縮強度への影響がほとんどないように思われる。また、図-4.2.24 よりコア供試体のジャンカ率が増加すると一軸圧縮強度はやや小さくなる傾向がある。しかし、ジャンカ率が 10%程度まででは一軸圧縮強度の低下に及ぼす影響は小さいようである。また、大型スランプフローとの関係においても、スランプフローが減少するに従い一軸圧縮強度はやや小さくなる傾向があるが、あまり明確な関係は得られなかった。

5 まとめ

粗骨材最大寸法が 10、20、40、80mm の増粘剤系高流動コンクリートについて流動性、材料分離抵抗性、充填性の面からダム用高流動コンクリートの配合特性を明らかにした。その結果を整理すると、以下のとおりである。

【流動性】

- ①粗骨材最大寸法が大きな高流動コンクリートの流動性を評価する方法として、大型スランプフロー試験と大型 L 型フロー試験を採用した結果、適切に評価できることがわかった。また、大型スランプフロー値と標準スランプフロー値の間、大型スランプフロー値と大型 L 型フロー値の間には、粗骨材最大寸法によらず線形関係があることがわかった。
- ②単位粗骨材絶対容積を増加させていくと流動性が急激に減少する（流動性の限界を示す）値が存在し、粗骨材最大寸法が大きくなるほど流動性の限界を示す単位粗骨材絶対容積は大きくなり、単位モルタル容積（単位結合材量）を低減できることがわかった。ただし、粗骨材最大寸法が 40mm 以上になると、その効果はあまり見られなかった。また、流動性の限界を示す単位粗骨材絶対容積における大型スランプフロー値は、粗骨材最大寸法に関わらず、概ね 120～130cm であることがわかった。
- ③単位粗骨材絶対容積を増加させていくと、大型 L 型フロー後の流動勾配が徐々に大きくなり、粗骨材最大寸法に関わらず流動勾配が概ね 6% 以下であれば、良好な流動性を有する高流動コンクリートが得られることがわかった。

【材料分離抵抗性】

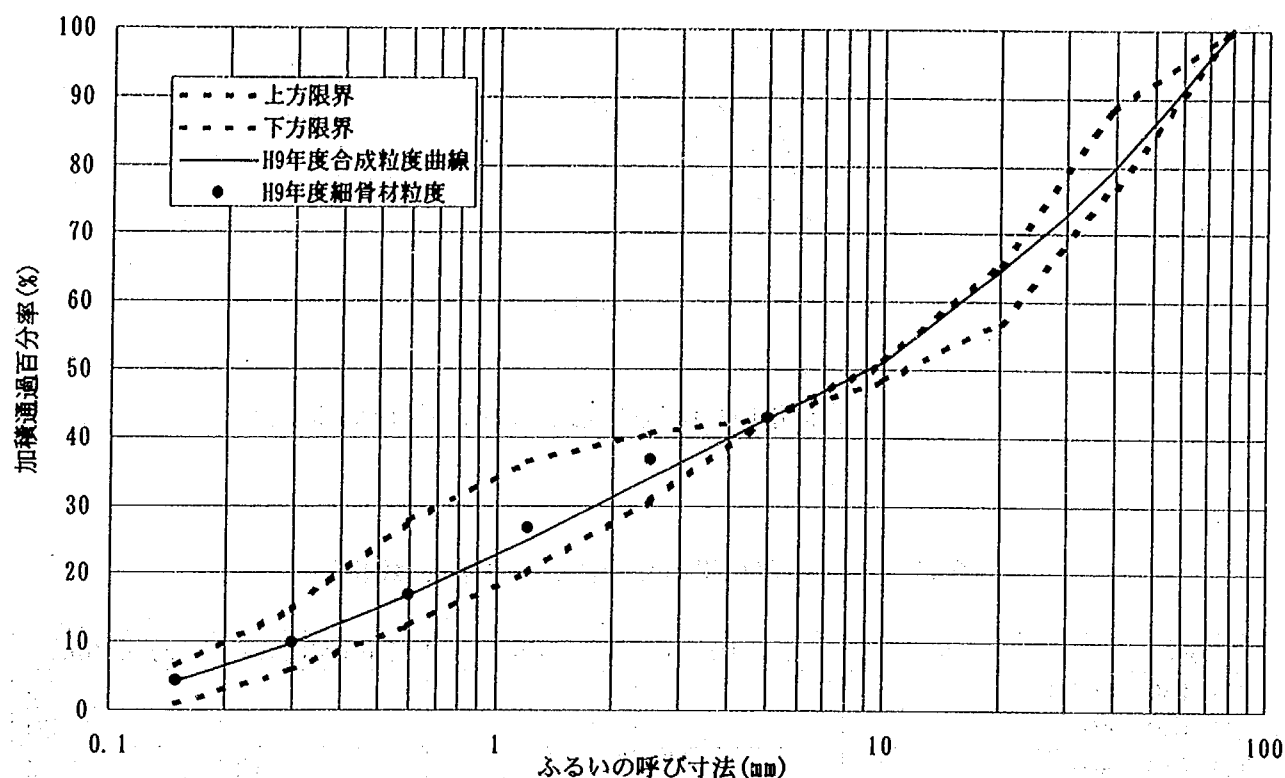
- ①大型スランプフロー試験後と標準スランプフロー試験後に行った材料分離抵抗性の目視評価点を比較すると、粗骨材最大寸法が 10、20mm の場合はともに全て 5 点であった。粗骨材最大寸法が 40mm の場合は、標準スランプフロー後の評価点が 3～5 点であったが、大型スランプフロー後では 4.5～5 点と高い評価点が得られた。このことから、スランプコーンの大きさによってフロー後の材料分離状況が異なることがわかった。また、粗骨材最大寸法が 80mm の場合、大型スランプフロー後の材料分離目視評価は 2.5～4 点とやや低い評価点となったが、これは配合上の影響以外にスランプコーンの大きさの影響もあったものと考えられる。
- ②大型 L 型フロー試験における最大粒径粗骨材の流動距離は、粗骨材最大寸法が 40mm 以下であればほぼフロー先端まで到達していたが、粗骨材最大寸法が 80mm の場合には、フロー先端まで最大粒径粗骨材は到達していなかった。なお、最大粒径粗骨材の流動到達位置はコンクリート厚さに関係しており、粗骨材最大寸法が 80mm の場合は 3.5cm 程度であった。
- ③粗骨材の洗い試験の結果、大型スランプフロー後の材料分離目視評価は粗骨材の分布量とよい対応を示した。なお、粗骨材最大寸法が 80mm の場合、粗骨材が材料分離せずに流動する範囲は大型スランプフローで概ね 100cm 程度であった。

【自己充填性】

- ①単位粗骨材絶対容積を増加させていくと角柱供試体の単位容積質量が急激に低下する値が存在する。この場合、粗骨材最大寸法が大きくなるほど限界単位粗骨材絶対容積は大きくなり、単位モルタル容積（単位結合材量）を低減できることがわかった。
- ②角柱供試体の単位容積質量が急激に低下する充填性の限界値をモルタル粗骨材空隙比で評価すると、粗骨材最大寸法に関わらず概ね 2.2～2.4 であった。また大型スランプフローで評価すると、粗骨材最大寸法に関わらず概ね 120cm～130cm であった。
- ③単位粗骨材絶対容積を増加させていくと角柱供試体の肌面ジャンカ率が急激に増加する値が存在する。この場合、粗骨材最大寸法が大きくなるほど肌面ジャンカ率で評価した充填性の限界単位粗骨材絶対容積は大きくなり、単位モルタル容積（単位結合材量）を低減できることがわかった。
- ④角柱供試体の肌面ジャンカ率が急激に増加する充填性の限界値をモルタル粗骨材空隙比および大型スランプフローで評価すると、粗骨材最大寸法が大きくなるに従ってその値は小さくなる傾向にある。ただし、粗骨材最大寸法が 40mm を越すとその効果はあまり認められなかった。なお、角柱供試体の肌面ジャンカ率で評価した充填性の限界値は、粗骨材最大寸法が 40mm 以上の場合、モルタル粗骨材空隙比で概ね 2.2 程度、大型スランプフローで概ね 120cm～130cm であった。
- ⑤角柱供試体の中心部（採取コア供試体）では充填性が高く、外側でジャンカ率が 20%程度でも中心部では 2%程度と微小な気泡程度しか生じていない。

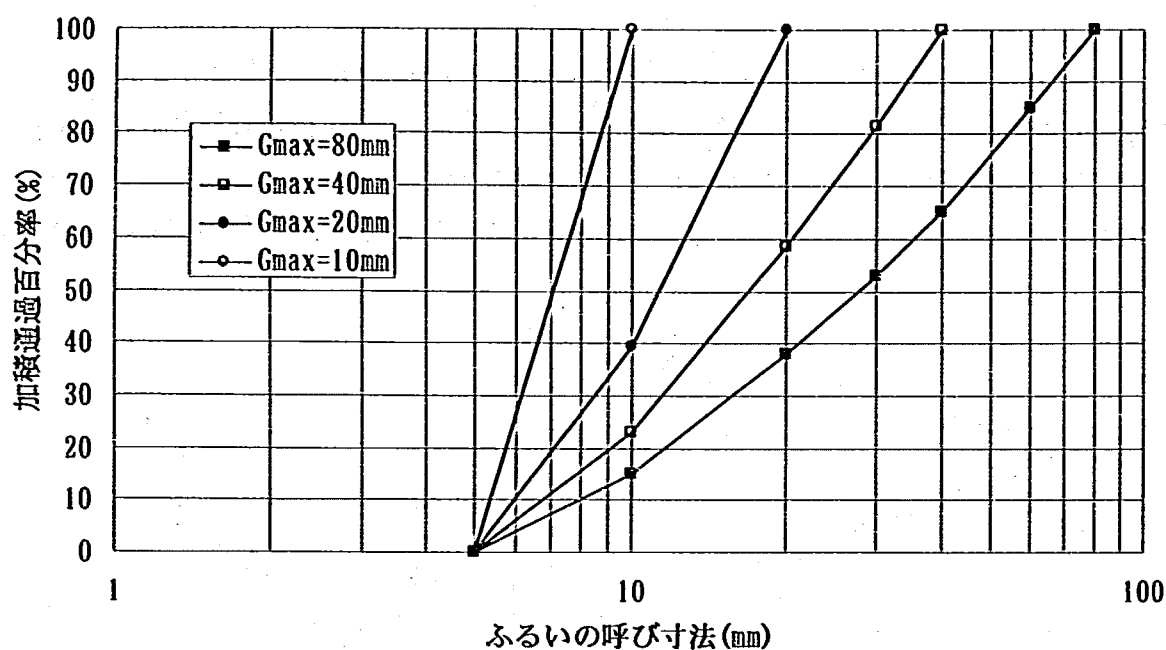
添付資料－１ 粗骨材配合粒度の検討

粗骨材最大寸法 $G_{max}=10, 20, 40\text{mm}$ の粒度分布は、 $G_{max}=80\text{mm}$ の剪頭粒度となるように設定した。また、 $G_{max}=80\text{mm}$ の粗骨材粒度分布は実験ケースで概ね中央値に当たる単位粗骨材絶対容積 $V_g=390\ell/\text{m}^3$ で細骨材まで含めた全骨材の粒度分布を考慮して決定した。すなわち、標準粒度を参考に、全骨材の粒径加積曲線ができるだけ平滑な曲線となるように設定することとした。設定した試験粒度を資図－1.1 に示す。



資図－ 1.1 骨材の合成粒度曲線の設定 ($G_{max}=80\text{mm}, V_g=390\ell$)

資図－1.2 に各粗骨材最大寸法毎の粒度分布を示す。また、資表－1.1 に粒度分布、粗粒率、実積率を示す。



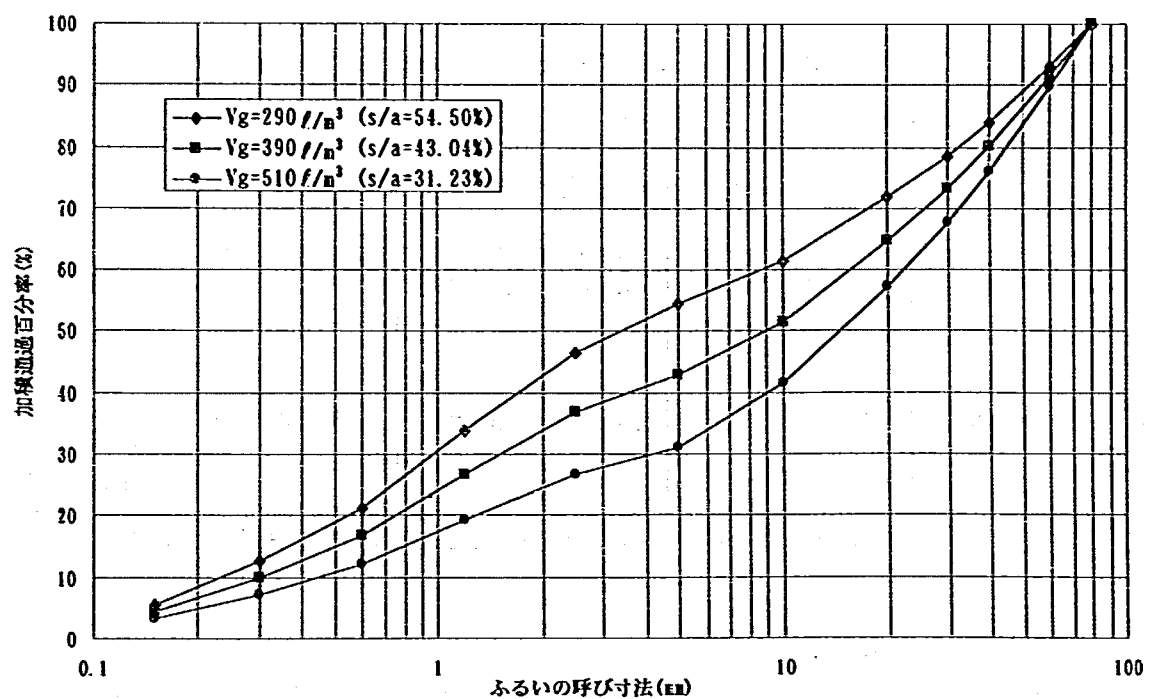
資図－ 1.2 試験に用いた粗骨材最大寸法毎の粒径加積曲線

資表－ 1.1 試験に用いた骨材粒度分布と実積率

粒径		細骨材	Gmax10mm	Gmax20mm	Gmax40mm	Gmax80mm
重量百分率	G1 (80－60)					15
	G1 (60－40)					20
	G1 (40－30)				18	12
	G1 (30－20)				24	15
	G1 (20－10)			61	35	23
	G1 (10－05)		100	39	23	15
	G1 (05－)	100				
粗粒率		2.80	6.00	6.61	7.19	7.82
実積率 (%)		63.0	56.8	59.6	62.8	66.8

※実積率試験は JIS 法による

また、Gmax=80mm の場合について、本試験で用いた単位粗骨材絶対容積 V_g の設定範囲を資図－1.3 に示す。



資図－ 1.3 骨材の合成粒度曲線 ($G_{max}=80\text{mm}$, $V_g=290\sim 510\text{l/m}^3$)

添付資料－２ 二軸強制練りミキサの練り混ぜ時間の検討

本試験に先立ち、二軸強制練りミキサの練り混ぜ時間を決定するための試験を行った。

試験ケースは資表－2.1 のとおりであり、練り混ぜ量は 80ℓである。

資表－ 2.1 試験ケース

ケース	Vg	F/C+F	Vp/Vs	Gmax	AE 助剤	空練り時間	本練り時間
1	370ℓ/m ³	30%	0.9	40mm	0.012%	30 秒	60 秒
2							90 秒
3							120 秒
4							180 秒

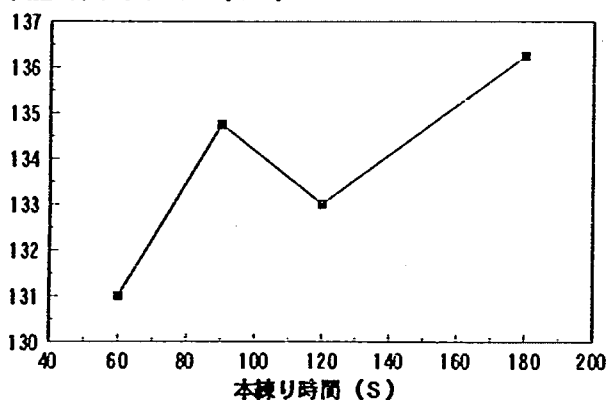
※H8 年度試験の材料を使用。H8 年度試験の AE 助剤添加率は結合材量の 0.015%

1) 大型スランプフロー試験と空気量試験の結果

練り混ぜ時間を 4 種類に設定してそれぞれ大型スランプフロー試験と空気量測定試験（30 分後）を実施した。結果を資図－2.1 および資図－2.2 に示す。

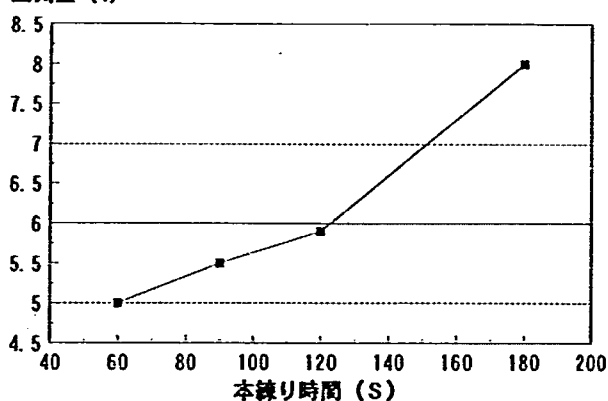
これらの図から、スランプフローは、練り混ぜ時間が 90 秒以上で概ね一定となるが、空気量は練り混ぜ時間の増加とともに増加する傾向がある。

大型スランプフロー (cm)



資図－2.1 練り混ぜ時間と大型スランプ
フローの関係

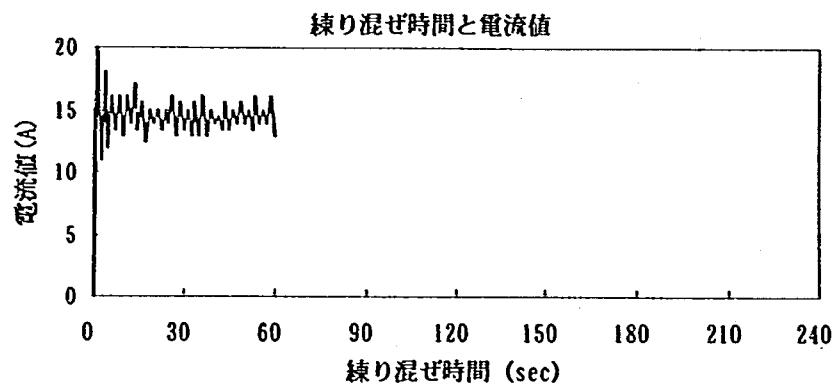
空気量 (%)



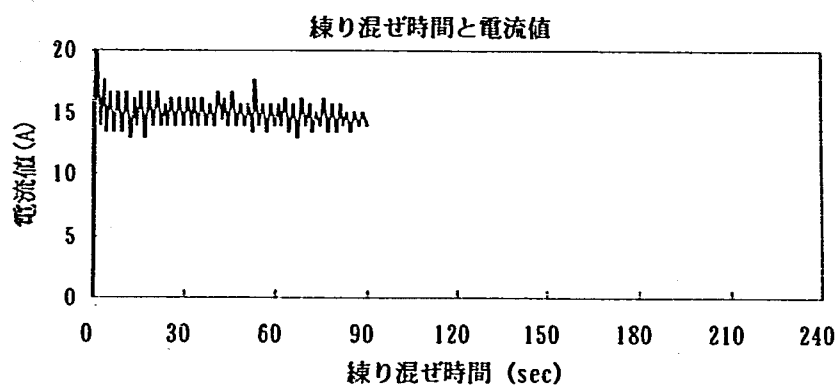
資図－2.2 練り混ぜ時間と空気量の関係

2) アンメータの計測結果（ミキサ駆動モーターの消費電力量）

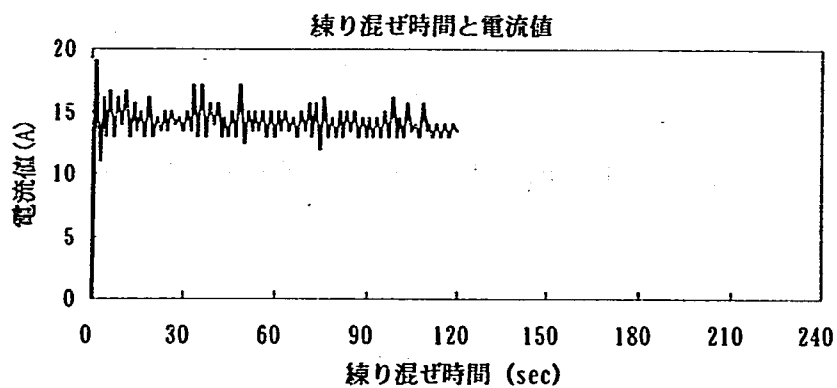
次に、練り混ぜ時のアンメータの指示電流値をビデオ録画したものを 0.25 秒毎に読みとり、その結果を資図－2.3～資図－2.6 に示す。



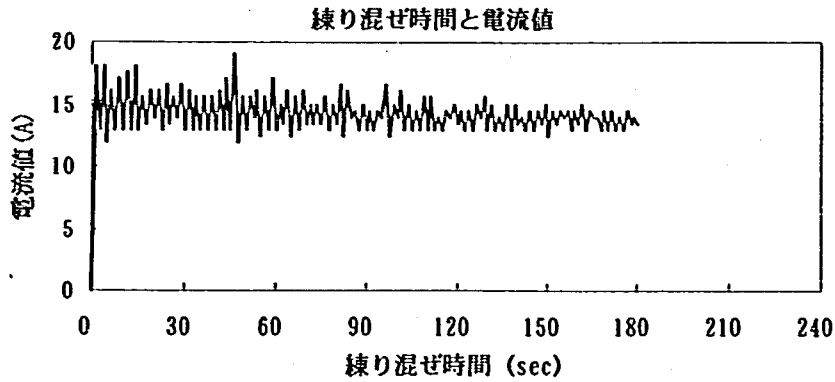
資図－ 2.3 練り混ぜ時間と電流値の関係 (60 秒練り)



資図－ 2.4 練り混ぜ時間と電流値の関係 (90 秒練り)



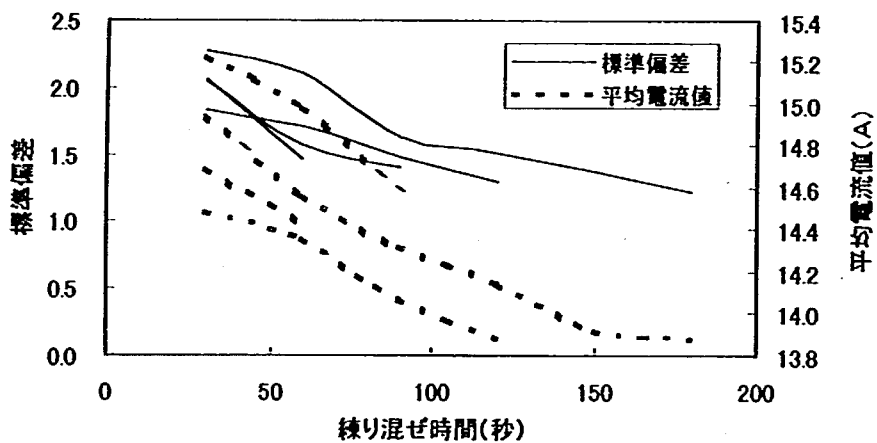
資図－ 2.5 練り混ぜ時間と電流値の関係 (120 秒練り)



資図－ 2.6 練り混ぜ時間と電流値の関係 (180 秒練り)

これらのグラフから、練り混ぜ時間が増加するとアンメータの振れ幅が小さくなる傾向にある。

また、練り混ぜ時間 180 秒のケースにおいて、電流値を 30 秒区間毎の平均値と標準偏差で整理した結果を資図－2.7 に示す。この図から練り混ぜ時間の増加と共に電流値の平均値と標準偏差が減少する傾向にある。



資図－ 2.7 練り混ぜ時間と電流値の標準偏差および平均電流値

3) 練り混ぜ時間の決定

- 1) 練り混ぜ時間が 90 秒以上で大型スランプフローが概ね一定となる。
- 2) 練り混ぜ時間が 90 秒以上でミキサの電流値の標準偏差が概ね一定となる。また、練り混ぜ時間が 120 秒以上でミキサの電流値が安定する傾向にある。

以上の予備試験結果から総合的に判断して、練り混ぜ時間を 120 秒に選定することとした。

添付資料－ 3 練り混ぜ容量の影響の確認

本試験においては、フレッシュ性状試験と充填性試験の評価試験で必要となる試料の量がそれぞれ 90ℓおよび 80ℓとなる。そこで、二軸強制練りミキサーの練り混ぜ量が高流動コンクリートのフレッシュ性状に及ぼす影響を事前に確認した。試験ケースを資表－3.1 に示す。

資表－ 3.1 試験ケース

Gmax	Vg	練り量 (ℓ)
40mm	430ℓ/m ³	70
		80
		90

これまでの結果からスランプフロー値が小さくなるほど（単位モルタル量が少ないほど）、練り混ぜ時の均一性がフレッシュ性状に影響するため、確認試験は粗骨材最大寸法 Gmax=40mm、単位粗骨材絶対容積 Vg=430ℓ/m³で実施した。また、練り混ぜ時間は、本試験と同様に空練り 30 秒、本練り 120 秒とした。

フレッシュ性状の比較は、練り混ぜ後 15 分静置したのちに実施した。試験結果を資表－3.2 に示す。

資表－ 3.2 15 分静置後のフレッシュ性状試験結果

練り量 (ℓ)	空気量 (%)	標準スランプフロー試験				大型スランプフロー			
		スランプ(cm)	スランプフロー(cm)	平均(cm)	評価点	スランプ(cm)	スランプフロー(cm)	平均(cm)	評価点
70	4.1	—	—	—	—	—	—	—	—
80	3.9	24.0	58.5×54.5	56.50	4	22.8	131.0×123.5	127.25	5
90	3.7	24.2	58.0×54.0	56.00	4.5	24.2	123.0×121.0	122.00	5

この結果、空気量および標準スランプフロー試験は練り混ぜ量によらず一定値を示しており、また大型スランプフロー試験においてはフロー値にして 5cm 程度の差が生じているが、その差は有意なものでないと判断した。

添付資料－４ AE 助剤添加量と空気量の確認

本試験における AE 助剤添加量を決定するため、以下の検討を行った。試験ケースと配合条件を資表－4.1 に示す。

資表－ 4.1 試験ケースと配合条件

試験 ケース	配合条件						
	Gmax (mm)	Vg (ℓ/m ³)	Vp/Vs	AE 助剤 (%/p)	高性能 AE 減水剤 (%/p)	増粘剤 (%/w)	モルタル容積 (ℓ/m ³)
①	40	370	0.9	0.009	1.4	0.3	580
②	上記①を 20mm でウェットスクリーニングしたコンクリート						
③	20	254	0.9	0.009	1.4	0.3	696
④	40	250	0.9	0.009	1.4	0.3	700
⑤	10	250	0.9	0.009	1.4	0.3	700

※ケース③はケース②の配合を 1m³ 当りに換算した配合

試験結果を資表－4.2 に示す。

資表－4.2 試験結果から得られる単位モルタル当たりの空気量

配合条件			空気量 測定値	1m ³ 当たりの容積			単位モルタル当たり空気量	
ケース	Gmax	Vg		Vair	Vg	Vm+Vair	試験値	理論値
①	40 mm	370ℓ	5.9%	59ℓ	370ℓ	630ℓ	9.37%	7.46 ±3.00%
③	20 mm	254ℓ	5.4%	54ℓ	254ℓ	746ℓ	7.24%	
④	40 mm	250ℓ	4.9%	49ℓ	250ℓ	750ℓ	6.53%	
⑤	10 mm	250ℓ	5.7%	57ℓ	250ℓ	750ℓ	7.60%	

表－4.2 より、AE 助剤添加率を一律 0.009%/p とすれば、ほぼ目標空気量を満足できる結果が得られることがわかった。

添付資料－５ モルタルの配合確認

本試験を行うにあたり、H8 年度で選定した最適ペースト細骨材絶対容積比 (V_p/V_s) =0.9 のモルタル配合で、基本配合となる粗骨材最大寸法 $G_{max}=40\text{mm}$ 、単位粗骨材絶対容積 $V_g=330\ell/\text{m}^3$ の条件で高流動コンクリートが目標の性状範囲にあるかを確認する試験を行った。また、本試験は、 G_{max} を $10\text{mm}\sim 80\text{mm}$ で行うことから、 $V_p/V_s=0.9$ が $G_{max}=10\text{mm}$ および 80mm においても適当であるかを検証するため、基本配合とほぼ同等のフロー値が得られる単位粗骨材絶対容積 (V_g) を選定し、確認試験もあわせて行った。

試験ケースを資表－5.1 に、基本配合における目標性状を資表－5.2 に示す。

資表－ 5.1 試験ケース

試験目的	基本配合の確認	V_p/V_s の最適値の確認	
粗骨材最大寸法	40mm	10mm	80mm
単位粗骨材絶対容積	$330\ell/\text{m}^3$	$250\ell/\text{m}^3$	$370\ell/\text{m}^3$
※AE 助剤添加率	0.009%	0.0075%	0.009%
V_p/V_s	0.9	0.8、0.9、1.0、1.1	

※目標空気量になるように設定

資表－ 5.2 基本配合における目標性状

スランプフロー	$60\pm 5\text{cm}$
空気量	$5\pm 2\%$
その他	材料分離を生じない

(1) 基本配合の確認

試験結果を資表－5.3 に示す。

資表－5.3 基本配合の確認試験結果

測定項目	1 回目	2 回目	平均	H8 度
標準スランプフロー (平均値)	65.0×64.5 (64.8cm)	65.0×65.0 (65.0cm)	(64.9cm)	62.0×57.0 (59.5cm)
スランプフロー 50cm 到達時間	10.0 s	11.1 s	10.6 s	18.0 s
スランプ値	24.8cm	25.6cm	25.2cm	23.0cm
材料分離抵抗性目視評価点	4	4.5	4.3	4
空気量	4.7%			4.4%
コンクリート温度	22.9℃			18.0℃

試験結果から

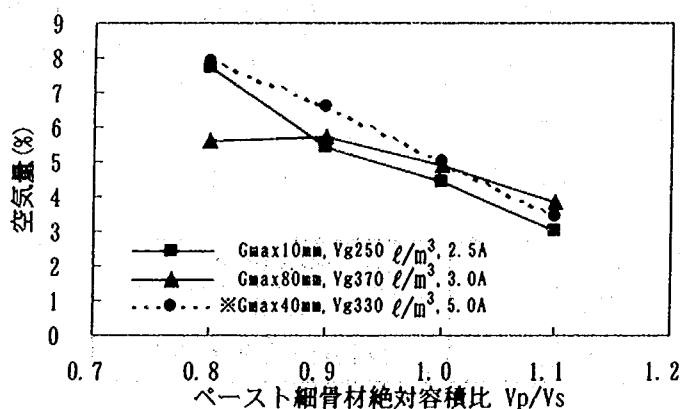
- ・スランプフローについては目標範囲に入る結果を得た。また H8 年度に比べるとやや流動性が高くなった。
- ・空気量についても目標空気量の範囲に入り、H8 年度とほぼ同等の結果を得た。
- ・材料分離抵抗性目視評価点では 2 回の測定ともに 3.5 点以上となった。

以上のことから今回設定した基本配合は目標性状を満足し、良好な高流動コンクリートと判断できる。

(2) 粗骨材最大寸法 $G_{max}=10\text{mm}$ 、 80mm におけるペースト細骨材絶対容積比 V_p/V_s の最適値の確認

粗骨材最大寸法 $G_{max}=10\text{mm}$ では標準スランプフロー試験を行った。また、 $G_{max}=80\text{mm}$ では大型スランプフロー試験を実施するとともに 5mm ふるいでウェットスクリーニングしたモルタルのフロー試験を行い、モルタルの性状も確認した。また、空気量の測定も行った。

ペースト細骨材絶対容積比 V_p/V_s と空気量の関係を資図-5.1 に示す。なお、図中の※で示す $G_{max}=40\text{mm}$ 、 $V_g=330\ell/\text{m}^3$ の結果は H8 度試験の結果である。

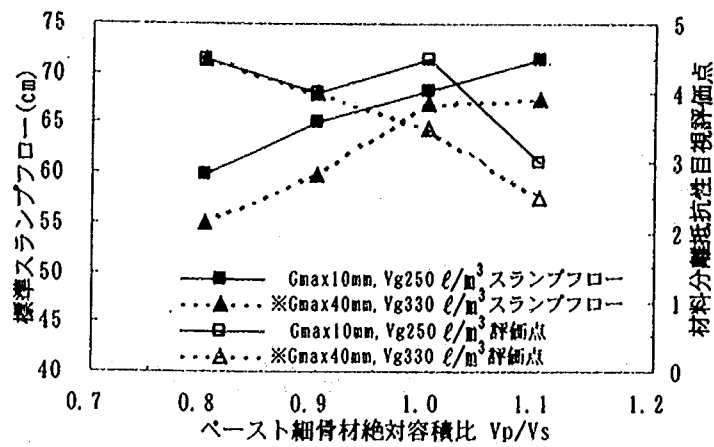


資図- 5.1 ペースト細骨材絶対容積比と空気量の関係

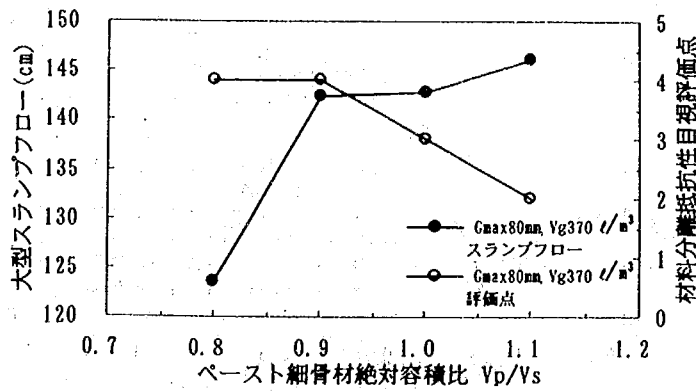
図より、粗骨材最大寸法に関わらずペースト細骨材絶対容積比が大きくなると空気量は小さくなる傾向にあることがわかる。

次にペースト細骨材絶対容積比と標準（大型）スランプフローおよび材料分離抵抗性目視評価点の関係を資図-5.2 および資図-5.3 に、 V_p/V_s と標準（大型）スランプフロー 50cm（100cm）到達時間の関係を資図-5.4 および資図-5.5 に示す。

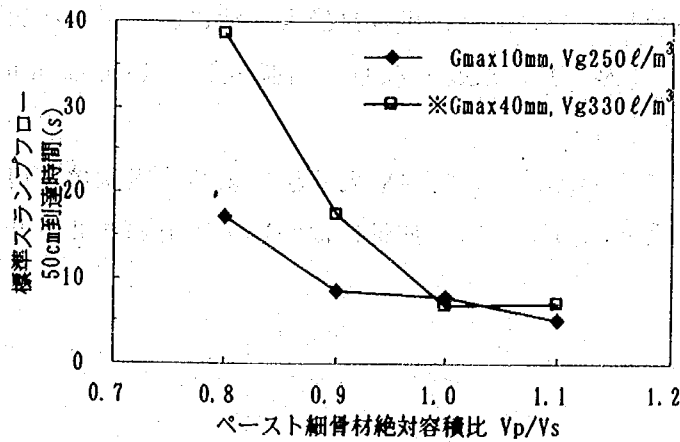
また、ペースト細骨材絶対容積比と 5mm ふるいでウェットスクリーニングしたモルタルの 0 打モルタルフローおよび材料分離抵抗性目視評価点の関係を資図-5.6 に示す。



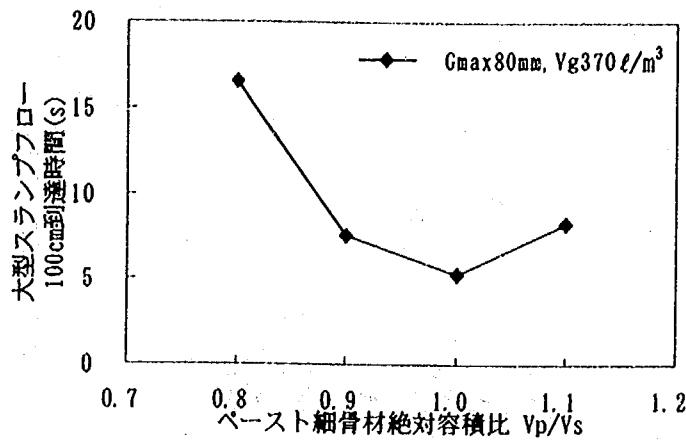
資図－ 5.2 ペースト細骨材絶対容積比と標準スランプフローおよび材料分離抵抗性目視評価点の関係
(Gmax=10mm)



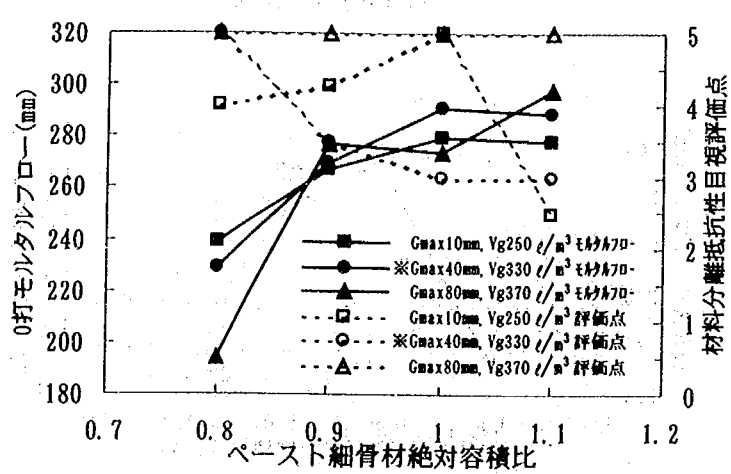
資図－ 5.3 ペースト細骨材絶対容積比と大型スランプフローおよび材料分離抵抗性目視評価点の関係
(Gmax=80mm)



資図－ 5.4 ペースト細骨材絶対容積比と標準スランプフロー 50cm 到達時間の関係 (Gmax=10mm)



資図ー 5.5 ペースト細骨材絶対容積比と大型スランプフロー 100cm 到達時間の関係 ($G_{max}=80mm$)



資図ー 5.6 ペースト細骨材絶対容積比と 0 打モルタルフローおよび材料分離抵抗性目視評価点の関係

図より

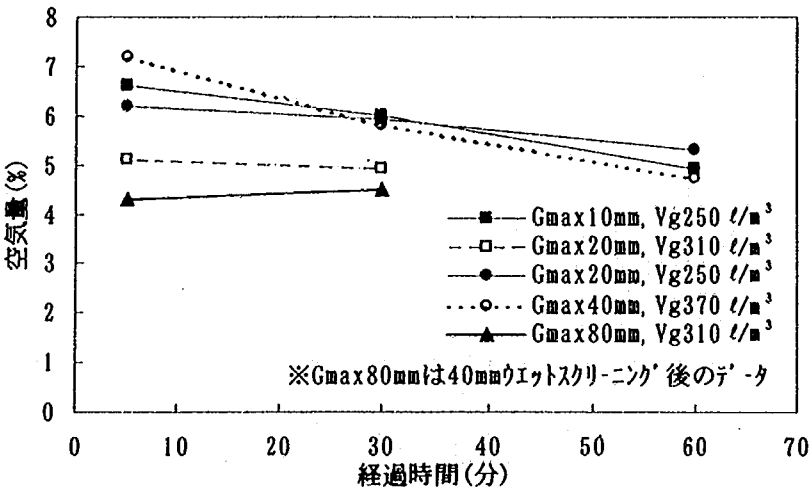
- ・コンクリートの材料分離抵抗性については、粗骨材最大寸法によらず最適値は目視評価点からペースト細骨材絶対容積比 $V_p/V_s=0.9\sim1.0$ 程度となり、流動性については 50cm(100cm)到達時間から $V_p/V_s=0.9$ 程度と選定される。
- ・モルタルの材料分離抵抗性については、粗骨材最大寸法によらず最適値は目視評価点からペースト細骨材絶対容積比 $V_p/V_s=1.0$ 程度以下となり、流動性については 0 打モルタルフロー値から $V_p/V_s=0.9$ 程度以上と選定される。

添付資料－6 フレッシュ性状と空気量の経時変化の確認

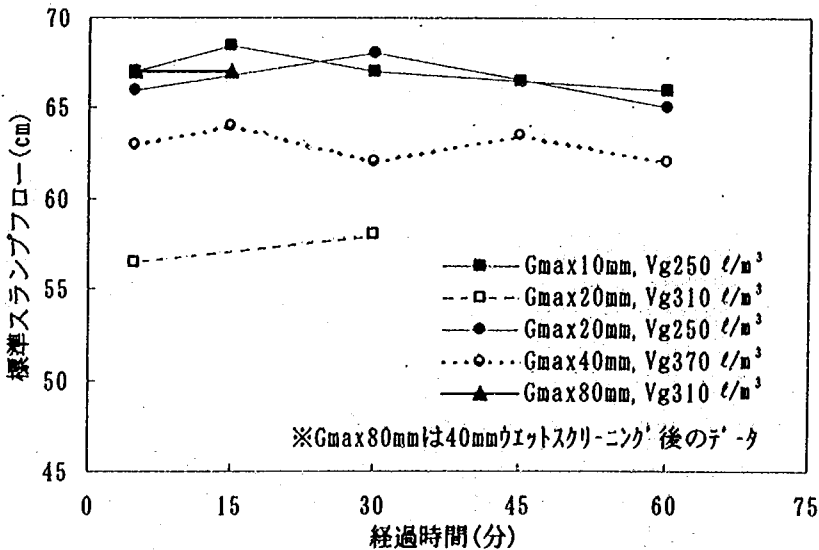
本試験では同一バッチのコンクリートを繰り返し使用して各種試験を行うため、フレッシュ性状と空気量の経時変化の有無を確認した。特に、フレッシュ性状影響試験では、最初に行う大型L型フロー試験から最後の大型スランプフロー試験終了まで 30 分以上かかるため、練り上がり後に性状が安定するまでの静置時間についての検討が必要であった。

経時変化確認試験では、各粗骨材最大寸法に対してランダムに数種の配合を選定し、練り上がり 5 分、15 分、30 分、45 分、60 分後の空気量および標準スランプフローの経時変化を調べた。

試験ケースを資表－6.1 に、空気量および標準スランプフローの試験結果を資図－6.1 および資図－6.2 に示す。



資図－ 6.1 空気量の経時変化



資図－ 6.2 標準スランプフローの経時変化

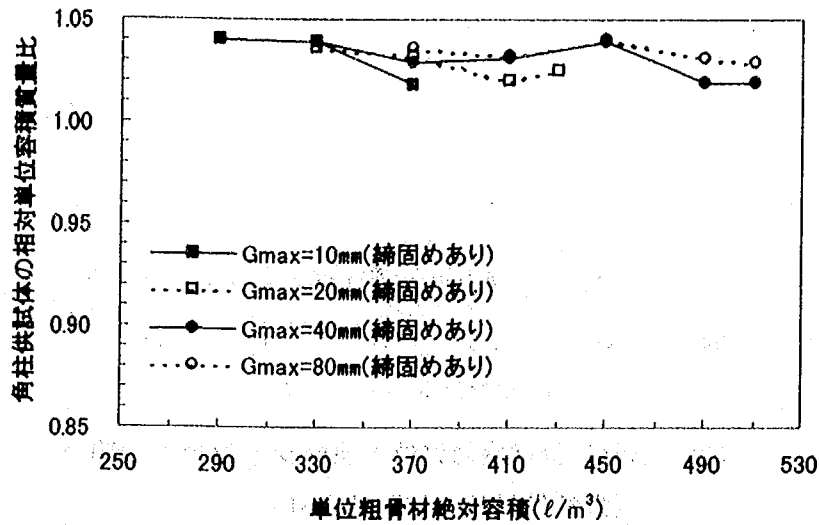
図より、空気量は時間とともに低下の傾向が見られる。しかし、空気量の低下は大きくても 1~2%程度であり、空気量測定毎に直前で切り返しを行ったことも影響しているものと考えれば、実質の差はさらに小さいものと考えられる。

スランプフローについては練り上がり直後から 15 分後までは増加傾向にあり、その後 60 分後にかけて徐々に低下傾向にある。また、15 分後から 60 分後のスランプフローの低下は 1~2cm であるが、この差は測定誤差の範囲程度の小さいものである。

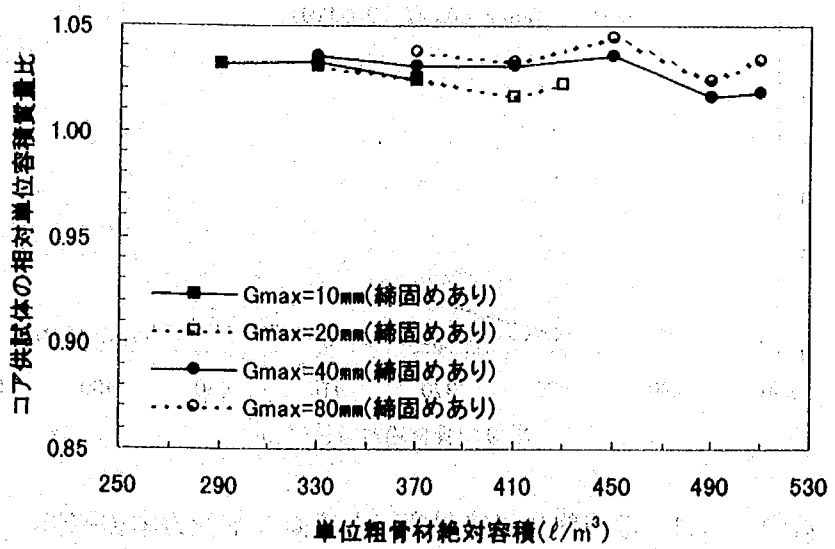
以上のことから、練り上がり後 15 分から 60 分の間の高流動コンクリートは、性状的に安定しているものと判断できる。よって、各種評価試験を行うまでの静置時間を、試験項目の多いフレッシュ性状に及ぼす影響試験では 15 分に、充填性に及ぼす影響試験では作業工程から余裕を見て 30 分とした。

添付資料－ 7 締固めを行った場合の充填性試験結果

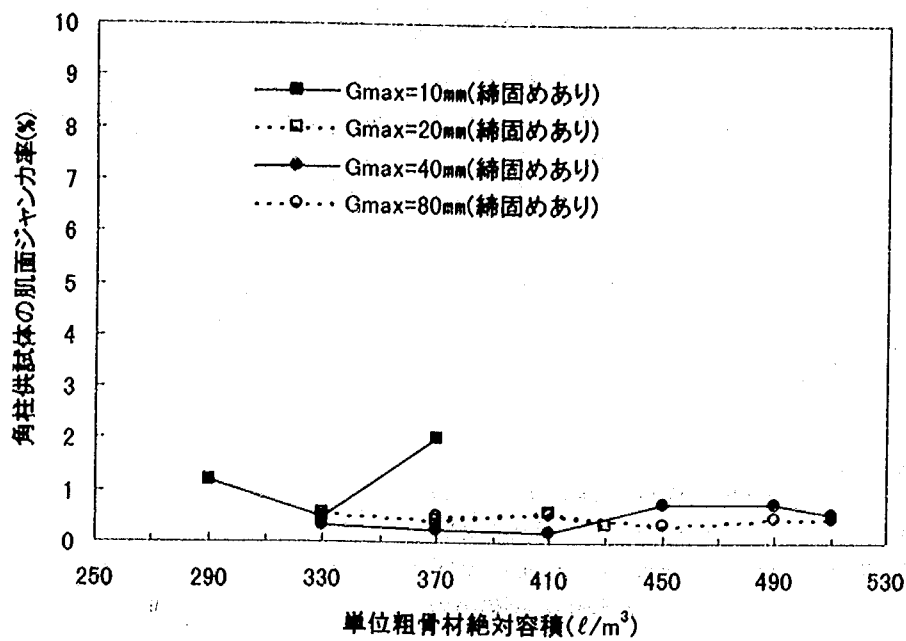
充填性試験として、バイブレーターによる締固めを行った供試体についての各種試験結果を以下に示す。



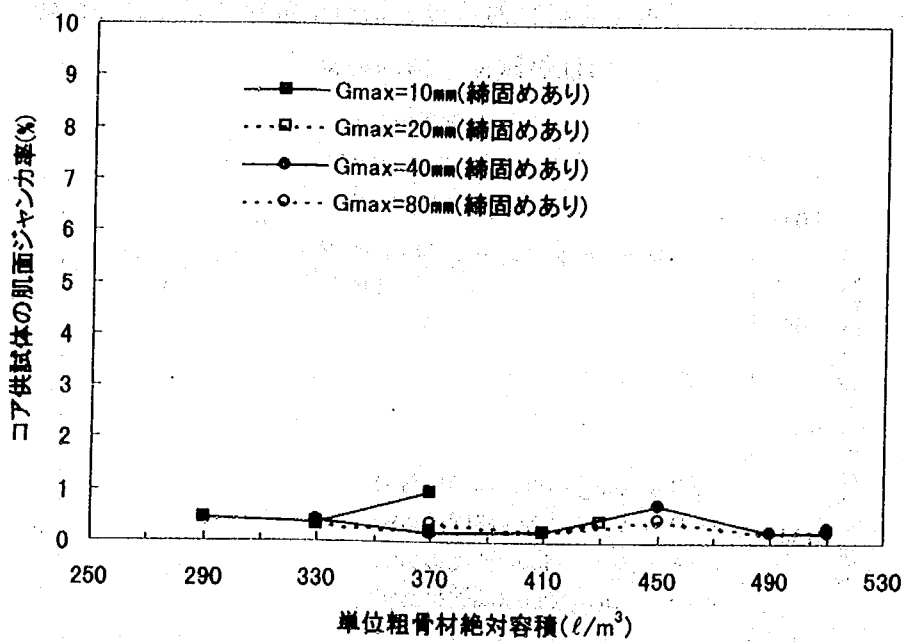
資図－ 7.1 単位粗骨材絶対容積と相対単位容積質量比の関係
(角柱供試体、締固めあり)



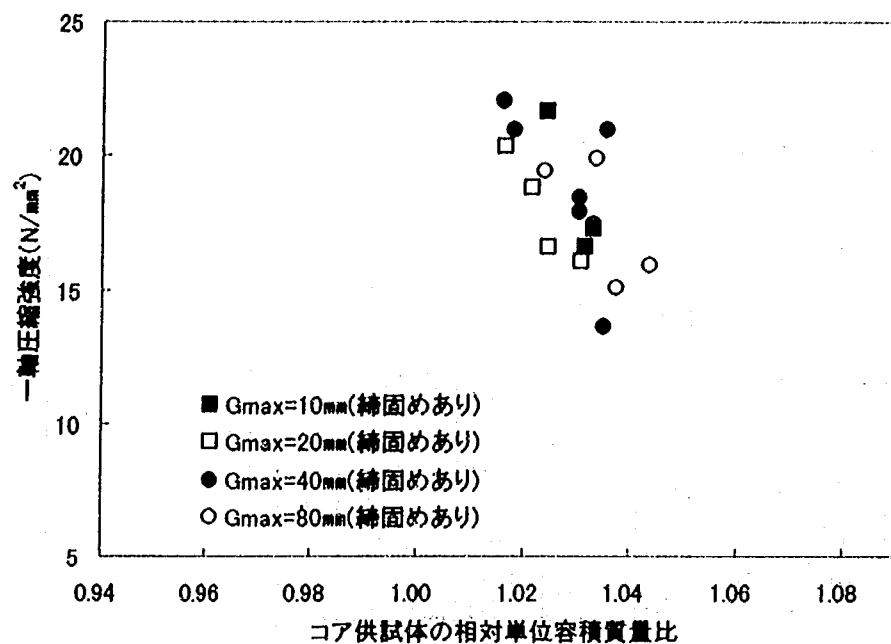
資図－ 7.2 単位粗骨材絶対容積と相対単位容積質量比の関係
(コア供試体、締固めあり)



資図－ 7.3 単位粗骨材絶対容積と肌面ジャンカ率の関係
(角柱供試体、締固めあり)



資図－ 7.4 単位粗骨材絶対容積と肌面ジャンカ率の関係
(コア供試体、締固めあり)



資図 -- 7.5 コア供試体の相対単位容積質量比と一軸圧縮強度の関係
(締固めあり)

フレッシュ性状に及ぼす影響試験結果一覧①

粗骨材 最大寸法 (mm)	単位粗骨材 絶対容積 (L)	試験日	練混ぜ温度 (℃)	練上がり15分後		Lフロー後		大型L型フロー													
				コンクリート 温度(℃)	空気量 (%)	コンクリート 温度(℃)	空気量 (%)	到達時間(秒)				フロー値 (cm)	高低差(cm)					流動勾配	Gmax フロー値(cm)	Gmax コンクリート圧(cm)	
								50cm	100cm	150cm	200cm		貯留槽	50cm	100cm	150cm	200cm				
10	250	10/3	20.7	23.7	7.2	23.0	6.5	1.55	5.90	25.70	125.41	218.00	12.00	10.00	8.00	5.50	2.00	5.00	218.0	1.0	
10	290	11/14	21.7	19.7	8.0	19.0	6.9	2.46	10.02	44.17	—	190.00	13.00	10.50	8.50	5.00	—	5.33	190.0	1.0	
10	310	11/6	20.9	19.6	7.8	19.3	6.6	2.76	13.40	71.76	—	175.50	14.00	10.50	8.50	5.00	—	6.00	175.5	1.5	
10	330	10/3	19.9	23.6	5.6	22.9	4.8	3.40	14.67	61.11	—	161.00	16.00	11.00	8.00	4.00	—	8.00	161.0	1.0	
10	350	11/13	20.3	20.5	6.0	20.0	6.7	16.23	88.23	—	—	118.00	23.50	12.50	5.00	—	—	18.50	118.0	2.0	
10	370	11/4	19.2	19.8	5.1	19.9	4.0	64.50	—	—	—	86.00	32.50	12.00	—	—	—	13.67	86.0	2.0	
20	290	10/23	21.1	23.2	8.4	22.7	6.3	1.62	6.24	29.06	143.73	213.50	11.50	10.00	8.00	5.50	2.00	6.33	213.5	1.0	
20	330	10/9	20.2	22.3	7.7	—	5.7	1.83	8.82	42.78	—	192.00	13.50	10.50	8.50	6.00	—	5.00	192.0	1.3	
20	370	11/13	21.3	20.6	6.0	19.5	5.6	6.18	30.37	—	—	149.50	17.00	11.50	8.00	—	—	9.00	149.5	1.5	
20	390	10/30	19.7	20.4	5.9	19.9	4.0	8.93	50.03	—	—	132.00	20.50	12.00	7.00	—	—	13.50	132.0	1.5	
20	410	10/24	20.7	23.9	5.2	23.3	4.2	18.87	108.87	—	—	104.50	28.00	12.00	2.50	—	—	25.50	104.5	1.5	
40	290	10/28	20.6	20.4	9.0	19.8	6.9	1.43	5.61	25.93	139.82	215.50	11.00	10.50	7.00	5.50	2.50	4.25	207.5	2.0	
40	330	10/3	20.7	23.1	5.1	22.6	4.4	1.66	6.40	24.67	127.75	209.00	12.00	10.00	8.50	6.00	1.50	5.25	203.0	1.0	
40	370	10/28	20.7	20.6	7.0	20.2	6.0	2.27	10.03	52.84	—	180.00	14.00	11.00	8.00	5.00	—	6.00	176.0	2.0	
40	390	11/4	19.2	19.2	7.2	18.4	5.3	3.75	19.57	134.66	—	159.00	15.00	11.50	8.50	3.00	—	6.00	159.0	2.5	
40	410	10/24	21.4	23.3	6.7	22.7	4.5	4.61	31.30	—	—	142.50	18.00	11.00	8.00	—	—	5.00	142.5	1.5	
40	430	11/13	21.0	20.1	4.9	19.7	4.4	6.97	40.03	—	—	129.50	19.50	12.00	7.50	—	—	6.00	129.5	2.5	
40	450	11/7	21.4	19.5	5.5	19.0	3.9	18.29	135.41	—	—	102.50	25.00	13.00	2.50	—	—	11.25	100.0	2.5	
80	290	10/28	20.9	19.3	9.2	17.7	7.0	2.38	8.19	31.19	125.51	224.50	12.50	10.00	7.50	5.00	2.00	5.25	186.0	3.0	
80	330	11/14	20.2	20.6	7.4	20.2	5.9	2.83	7.49	25.29	109.11	221.00	13.00	10.50	8.00	5.00	2.00	5.50	173.5	3.5	
80	370	10/23	20.7	21.6	8.0	21.7	5.3	3.92	12.60	55.79	—	176.50	15.00	10.50	8.00	4.50	—	5.25	144.0	5.5	
80	390	10/30	19.7	19.8	6.7	19.2	4.6	4.47	15.78	68.03	—	172.50	15.00	10.50	8.00	4.00	—	5.50	156.0	3.5	
80	410	11/6	19.5	18.5	7.0	17.2	4.2	4.22	17.09	85.97	—	166.00	15.50	10.50	8.00	3.50	—	6.00	153.0	3.0	
80	430	11/7	22.2	18.4	7.1	18.0	5.1	6.29	27.89	211.95	—	153.00	16.50	11.00	7.50	3.00	—	6.75	141.5	3.5	
80	450	10/24	21.2	23.4	5.5	22.8	4.4	19.55	—	—	—	98.00	31.50	11.50	—	—	—	40.00	89.0	3.0	

フレッシュ性状に及ぼす影響試験結果一覧②

粗骨材 最大寸法 (mm)	単位粗骨材 絶対容積 (L)	試験日	練混ぜ水温度 (°C)	練上がり15分後		Lフロー後		標準スランブフロー						大型スランブフロー					
				コンクリート 温度(°C)	空気量 (%)	コンクリート 温度(°C)	空気量 (%)	スランブ (cm)	フロー値(cm)		50cm到達時間(秒)	平均	評価点	スランブ (cm)	フロー値(cm)		100cm到達時間(秒)	平均	評価点
									平均	平均				平均	平均	平均			
10	250	10/3	20.7	23.7	7.2	23.0	6.5	27.0	65.5×65.5	65.50	5.88×12.8	9.24	5.0	27.0	148.5×144.5	146.50	3.4×5.68×4.2×8.12	5.3	5.0
10	290	11/14	21.7	19.7	8.0	19.0	6.9	25.7	61.0×59.0	60.00	22.47×29.04	25.76	5.0	24.3	132.0×132.0	132.00	17.48×20.14×12.02×16.4	16.5	5.0
10	310	11/6	20.9	19.6	7.8	19.3	6.6	26.0	58.5×57.5	58.00	25.04×31.37	28.21	5.0	23.7	134.5×127	130.75	13.2×20.1×12.19×32.11	19.4	5.0
10	330	10/3	19.9	23.6	5.6	22.9	4.8	24.3	50.0×48.5	49.25	34×—	34.00	5.0	24.0	125.0×121.5	123.25	13.03×20.89×30×82.9	36.7	5.0
10	350	11/13	20.3	20.5	6.0	20.0	6.7	21.8	44.5×38.5	41.50	—	—	5.0	15.8	105.0×76.0	90.50	—	—	5.0
10	370	11/4	19.2	19.8	5.1	19.9	4.0	20.8	39.5×37.0	38.25	—	—	5.0	15.4	93.0×77.5	85.25	—	—	5.0
20	290	10/23	21.1	23.2	8.4	22.7	6.3	26.5	64.0×62.0	63.00	9.79×18.52	14.16	5.0	25.2	148.0×146.0	147.00	6.17×7.21×5.01×6.36	6.2	5.0
20	330	10/9	20.2	22.3	7.7	—	5.7	25.5	55.0×59.0	57.10	15.7×38.2	26.95	5.0	25.5	134.0×132.5	133.25	10.57×13.52×11.1×11.2	11.6	5.0
20	370	11/13	21.3	20.6	6.0	19.5	5.6	25.1	57.0×51.5	54.25	30.94×61.98	46.47	5.0	20.5	125.0×120.0	122.50	29.74×52.73×18.38×50.47	37.8	5.0
20	390	10/30	19.7	20.4	5.9	19.9	4.0	24.6	47.0×46.0	46.50	—	—	5.0	19.2	104.5×104.0	104.25	110.3×53.27×163.23	108.9	5.0
20	410	10/24	20.7	23.9	5.2	23.3	4.2	21.2	48.5×37.0	42.75	—	—	5.0	14.5	99.5×77.5	88.50	—	—	5.0
40	290	10/28	20.6	20.4	9.0	19.8	6.9	26.1	68.0×68.0	68.00	7.57×9.9	8.74	3.0	24.1	147.0×145.5	146.25	5.53×8.3×7.17×8.29	7.3	4.5
40	330	10/3	20.7	23.1	5.1	22.6	4.4	25.5	68.5×65.0	66.75	5.39×6.29	5.84	3.5	25.2	142.5×142.0	142.25	3.72×5.8×11.02×16.46	9.3	4.5
40	370	10/28	20.7	20.6	7.0	20.2	6.0	24.9	63.5×61.5	62.50	9.89×15.2	12.55	4.0	25.8	140.0×136.5	138.25	5.74×12.5×11.23×16.65	11.5	5.0
40	390	11/4	19.2	19.2	7.2	18.4	5.3	24.8	56.5×54.5	55.50	34.82×50.14	42.48	4.0	20.5	128.0×120.5	124.25	28.79×63.56×22.59×30.83	36.4	4.5
40	410	10/24	21.4	23.3	6.7	22.7	4.5	24.3	54.0×51.0	52.50	27.24×36.3	31.77	5.0	20.7	115.0×114.0	114.50	29.43×33.34×26.32×36.58	31.4	5.0
40	430	11/13	21.0	20.1	4.9	19.7	4.4	21.7	48.5×44.5	45.50	—	—	5.0	17.3	103.5×101.0	102.25	—	—	5.0
40	450	11/7	21.4	19.5	5.5	19.0	3.9	22.5	49.0×48.0	48.50	49.81×—	49.81	5.0	17.5	94.5×93.0	93.75	—	—	5.0
80	290	10/28	20.9	19.3	9.2	17.7	7.0	24.9	76.0×73.5	74.75	76×73.5	3.31	2.0	23.6	148.0×140.0	144.00	5.99×11.41×5.47×6.06	7.2	4.0
80	330	11/14	20.2	20.6	7.4	20.2	5.9	26.5	71.0×70.5	70.75	71×70.5	6.61	3.0	20.2	141.0×144.0	142.50	7.5×8.3×8.33×7.59	7.4	3.0
80	370	10/23	20.7	21.6	8.0	21.7	5.3	26.2	68.5×65.5	66.00	66.5×65.5	9.41	4.0	22.0	143.5×135.0	139.25	12.61×19.64×6.2×10.33	12.2	3.5
80	390	10/30	19.7	19.8	6.7	19.2	4.6	24.5	65.0×61.5	63.25	65×61.5	12.13	3.5	21.1	133.0×130.5	131.75	7.98×9.91×21.41×25.81	16.3	3.5
80	410	11/6	19.5	18.5	7.0	17.2	4.2	25.2	66.2×67.5	66.85	66.2×67.5	8.30	3.5	20.4	127.0×124.5	125.75	13.57×35.16×13.91×38	25.2	3.0
80	430	11/7	22.2	18.4	7.1	18.0	5.1	25.5	63.5×61.5	62.50	63.5×61.5	12.67	3.5	19.2	127.0×119.5	123.25	6.4×19.0616×48.57	24.7	2.5
80	450	10/24	21.2	23.4	5.5	22.8	4.4	24.5	52.0×49.5	50.75	52×49.5	—	5.0	12.8	96.5×95.0	95.75	—	—	5.0

フレッシュ性状に及ぼす影響試験結果一覽③

検査材 最大寸法 (mm)	単位検査材 絶対容積 (L)	試験日	平均 (cm)	大型スランブフロー試験後の骨材洗い試験																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
				φ30cm												φ50cm												φ80cm												層別値												合計																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
				80-60-60-40-40-30-20-20-10-05	G計	M計	C計	80-60-60-40-40-30-20-20-10-05	G計	M計	C計	80-60-60-40-40-30-20-20-10-05	G計	M計	C計	80-60-60-40-40-30-20-20-10-05	G計	M計	C計	80-60-60-40-40-30-20-20-10-05	G計	M計	C計	80-60-60-40-40-30-20-20-10-05	G計	M計	C計	80-60-60-40-40-30-20-20-10-05	G計	M計	C計	80-60-60-40-40-30-20-20-10-05	G計	M計	C計	80-60-60-40-40-30-20-20-10-05	G計	M計	C計	80-60-60-40-40-30-20-20-10-05	G計	M計	C計																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
10	250	10/3	148.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												

充填性に及ぼす影響試験結果一覧

尤度性及ばり影響試験結果一覧																								
Gmax	Vg	試験日	バッチ 番号	大型スランブフロー試験				大型スランブフロー前		供試体打設前		単位容積質量試験				肌面ジャンカ率試験				一軸圧縮強度試験				
				スランブ	大型スランブフロー	100cm到達時間	目視	コンクリート	空気量	コンクリート	空気量	角柱供試体		採取コア供試体		角柱供試体		採取コア供試体		一軸圧縮強度		静弾性係数		
				(cm)	(cm)	(秒)	(点)	(℃)	(%)	(℃)	(%)	ノハイフ	ハイフ	ノハイフ	ハイフ	ノハイフ	ハイフ	ノハイフ	ハイフ	ノハイフ	ハイフ	ノハイフ	ハイフ	
(mm)	(L/m3)			(cm)	(cm)	(秒)	(点)	(℃)	(%)	(℃)	(%)	(ton/m3)	(ton/m3)	(ton/m3)	(ton/m3)	(%)	(%)	(%)	(%)	(N/mm2)	(N/mm2)	(N×10 ⁴ /mm ²)	(N×10 ⁴ /mm ²)	
10	290	12/9	1	25.5	137.75	10.2	5.0	20.4	7.1	20.7	6.1	2.234	2.298	2.218	2.280	2.15	1.66	0.92	0.84	14.8	15.9	2.15	3.18	
			2	24.7	135.25	12.6	5.0	20.2	6.9	19.4	6.2	2.235	2.298	2.223	2.284	2.49	0.48	1.62	0.25	15.3	16.9	2.12	2.63	
			3	25.0	135.25	13.0	5.0	20.6	6.2	19.9	—	2.248	2.316	2.237	2.293	2.26	1.41	2.40	0.38	17.3	16.9	2.29	1.93	
	330	12/5	1	21.5	117.75	58.7	5.0	16.3	6.6	15.7	6.0	2.249	2.326	2.234	2.311	16.33	0.42	2.73	0.59	15.0	17.4	1.12	2.48	
			2	21.3	113.50	71.7	5.0	17.3	6.5	16.5	6.0	2.251	2.332	2.260	2.314	21.42	0.53	2.11	0.19	16.2	17.1	1.77	1.90	
			3	20.4	112.50	53.5	5.0	18.0	5.6	20.0	5.5	2.237	2.327	2.228	2.322	36.78	0.48	1.47	0.29	15.2	17.2	1.95	1.69	
	370	12/2	1	15.3	88.75	—	—	18.9	4.3	18.8	4.3	2.163	2.341	2.201	2.326	66.71	1.85	5.98	1.33	13.2	20.7	1.48	2.54	
			2	13.0	84.00	—	—	19.6	4.8	19.1	3.9	2.126	2.351	2.185	2.342	83.37	1.57	9.59	0.34	14.0	22.8	1.98	2.83	
			3	13.1	83.25	—	—	20.3	4.9	19.5	4.1	2.111	2.328	2.189	2.395	78.90	2.61	8.44	1.20	15.1	21.3	2.19	1.99	
20	330	1/13	1	26.2	139.50	11.4	5.0	14.6	6.3	13.9	5.7	2.267	2.324	2.244	2.300	1.88	0.48	1.99	0.29	13.3	14.7	2.19	2.31	
			2	25.6	139.50	11.4	5.0	15.7	5.9	15.0	5.2	2.269	2.332	2.259	2.318	2.43	0.44	0.95	0.23	14.4	15.8	2.19	3.71	
			3	26.3	138.50	12.0	5.0	16.2	7.0	15.5	5.9	2.259	2.325	2.254	2.330	2.19	0.69	1.31	0.41	14.4	16.4	2.11	2.16	
	370	1/9	1	23.0	129.50	24.8	4.5	15.0	5.5	14.4	4.5	2.284	2.362	2.297	2.343	8.01	0.48	1.70	0.21	15.0	15.8	2.04	2.49	
			2	22.7	127.25	28.0	5.0	16.6	4.6	16.0	4.0	2.308	2.374	2.305	2.353	13.23	0.20	1.16	0.26	15.0	17.0	2.37	2.96	
			3	23.3	129.00	24.9	5.0	16.5	4.9	16.0	4.3	2.308	2.372	2.297	2.356	7.56	0.66	1.60	0.12	15.8	17.0	2.22	2.48	
	410	1/6	1	16.2	85.50	—	—	14.7	3.8	14.3	3.3	2.229	2.383	2.302	2.375	59.18	0.55	1.48	0.17	14.8	19.4	—	—	
			2	16.6	93.00	—	—	17.0	4.1	16.3	3.4	2.226	2.381	2.297	2.371	57.31	0.78	1.97	0.19	16.1	21.1	—	—	
			3	16.6	94.50	—	—	17.1	4.0	16.3	3.4	2.258	2.379	2.313	2.372	48.94	0.42	1.33	0.19	17.3	20.4	—	—	
430	1/30	1	10.1	78.75	—	—	14.8	—	14.1	3.5	2.100	2.421	2.188	2.411	79.54	0.55	9.44	0.43	10.7	18.5	2.57	3.08		
		2	12.6	80.00	—	—	16.0	3.3	15.0	2.9	2.205	2.396	2.289	2.388	73.00	0.25	3.58	0.30	14.2	18.6	2.54	2.75		
		3	14.4	86.25	—	—	15.8	3.7	14.9	3.1	2.273	2.400	2.316	2.396	54.85	0.32	2.74	0.44	17.2	19.3	1.92	2.52		
40	330	2/20	1	24.8	138.75	7.4	4.5	15.7	6.6	15.5	6.0	2.277	2.327	2.277	2.315	0.81	0.21	1.55	0.59	12.6	14.1	2.52	3.12	
			2	24.8	144.50	7.2	4.5	16.9	6.8	16.5	5.9	2.267	2.325	2.266	2.321	1.07	0.33	1.03	0.38	13.4	14.2	2.32	2.71	
			3	24.9	141.75	8.1	4.5	17.4	7.0	16.8	6.4	2.257	2.314	2.266	2.305	1.24	0.44	0.49	0.20	13.9	12.3	2.35	2.75	
	370	12/12	1	24.6	137.00	10.1	4.5	18.4	5.0	17.9	4.5	2.315	2.349	2.320	2.359	1.56	0.30	0.56	0.19	16.6	17.0	2.60	2.75	
			2	24.4	137.25	10.5	4.5	18.1	6.0	17.9	5.0	2.291	2.347	2.308	2.352	0.98	0.11	1.20	0.08	17.7	18.5	2.54	2.41	
			3	24.6	135.50	9.8	4.5	18.1	5.7	17.3	4.9	2.303	2.349	2.298	2.345	0.74	0.25	1.24	0.22	16.6	18.1	2.21	2.61	
	410	11/28	1	20.8	123.25	31.1	3.5	20.0	4.6	18.6	—	2.336	2.370	2.332	2.370	0.88	0.31	0.73	0.25	18.0	19.2	2.62	2.77	
			2	22.1	128.00	23.1	3.5	20.3	5.7	18.9	4.7	2.327	2.373	2.326	2.370	3.62	0.09	0.68	0.19	17.1	19.1	2.40	3.07	
			3	22.5	128.75	21.4	4.5	20.0	7.1	19.1	5.5	2.307	2.361	2.318	2.361	1.94	0.15	0.84	0.12	15.9	16.9	2.48	2.77	
450	11/21	1	19.8	110.00	84.3	3.5	19.8	5.5	—	5.0	2.303	2.391	2.373	2.380	24.43	0.43	1.25	0.64	19.7	21.0	2.64	2.87		
		2	16.9	103.75	62.4	5.0	20.2	6.1	19.6	5.1	2.299	2.387	2.339	2.384	33.63	0.88	1.81	0.73	19.4	21.3	3.60	2.97		
		3	16.9	103.75	—	—	20.5	7.0	20.2	6.9	2.290	2.386	2.345	2.377	16.66	0.96	1.24	0.74	20.7	20.6	3.14	2.90		
490	2/17	1	10.5	80.75	—	—	16.2	3.2	14.6	2.7	1.968	2.434	2.296	2.427	79.35	0.50	6.21	0.15	14.3	21.8	2.15	2.93		
		2	11.8	82.50	—	—	15.7	3.5	14.4	2.8	2.203	2.420	2.307	2.413	73.07	1.16	3.71	0.17	15.2	21.2	2.57	2.16		
		3	10.2	80.50	—	—	16.3	3.3	16.1	3.0	2.195	2.431	2.302	2.426	71.15	0.57	4.80	0.26	15.0	23.1	2.09	2.98		
510	2/10	1	9.6	79.00	—	—	14.7	3.3	14.3	3.2	2.115	2.429	2.271	2.431	78.27	0.59	6.46	0.19	13.4	19.7	2.85	2.82		
		2	9.6	77.50	—	—	15.7	4.1	15.3	3.2	2.091	2.436	2.233	2.436	84.39	0.50	6.99	0.20	10.1	21.1	2.34	3.43		
		3	12.1	77.50	—	—	16.3	3.4	15.9	3.1	2.134	2.428	2.269	2.416	71.84	0.61	7.62	0.23	14.2	21.9	2.78	2.62		
80	370	1/27	1	22.2	137.25	9.1	4.0	14.9	6.6	14.2	5.8	2.306	2.350	2.320	2.351	0.86	0.44	0.40	0.33	16.1	15.3	2.42	2.79	
			2	21.2	134.75	10.4	3.5	15.3	6.7	14.6	5.7	2.304	2.350	2.313	2.347	0.55	0.73	1.19	0.40	14.7	14.8	2.51	2.46	
			3	19.0	137.00	10.1	3.5	16.1	6.7	15.1	5.6	2.300	2.335	2.320	2.348	0.65	0.38	0.65	0.28	13.4	15.1	2.53	2.01	
	410	1/23	1	19.2	127.50	22.8	3.0	16.1	5.0	15.6	4.4	2.352	2.385	2.352	2.394	1.77	0.59	0.73	0.17	16.3	17.5	3.42	2.78	
			2	17.7	129.00	20.9	3.5	15.5	5.7	15.4	4.9	2.347	2.367	2.358	2.368	1.26	0.54	0.67	0.28	17.2	17.7	2.65	3.02	
			3	19.4	128.75	31.0	3.5	16.6	5.5	15.4	4.7	2.350	2.380	2.349	2.377	1.03	0.52	0.77	0.17	17.9	17.0	2.49	2.51	
	450	2/6	1	19.8	124.75	—	—	3.0	15.7	7.0	15.1	6.1	2.334	2.385	2.338	2.380	0.86	0.20	0.80	0.30	13.8	14.1	2.25	2.54
			2	18.5	115.00	—	—	3.0	16.7	7.0	16.2	5.4	2.331	2.402	2.358	2.442	1.67	0.38	0.82	0.38	16.6	18.2	2.53	3.13
			3	17.1	123.75	—	—	3.0	16.8	6.4	16.1	5.8	2.329	2.379	2.329	2.370	0.97	0.44	0.73	0.62	15.4	15.2	2.71	2.72
490	2/13	1	17.2	106.25	—	—	15.8	5.1	15.7	4.5	2.275	2.426	2.365	2.361	27.29	0.51	2.65	0.23	16.3	19.3	2.40	3.09		
		2	17.8	109.75	—	—	17.0	5.3	16.6	4.5	2.274	2.420	2.372	2.427	25.94	0.43	1.38	0.23	15.4	19.3	2.66	2.82		
		3	15.7	109.75	—	—	17.5	5.1	17.1	4.0	2.310	2.415	2.364	2.421	24.53	0.47	1.39	0.16	15.4	19.6	2.16	2.83		
510	2/3	1	14.6	98.00	—	—	15.3	4.2	14.1	3.6	2.261	2.442	2.381	2.450	33.15									