

論文 準高流動および高流動コンクリート中におけるモルタルのレオロジー特性に及ぼす振動の影響

三好征夫*¹・榊田佳寛*²・安田正雪*³・荒金直樹*⁴

要旨：若干の締固めは必要であるが、流動性に優れ、じゃんかなどの施工欠陥を作りにくい準高流動コンクリートおよび殆ど締固めの必要のない高流動・高強度コンクリート中におけるモルタルのレオロジー特性（塑性粘度・降伏値）に及ぼす振動の影響を実験的に検討した。その結果、振動源からの距離および加速度の変化がモルタルの降伏値・塑性粘度に及ぼす影響の程度を明らかにするとともに、モルタルに与える加速度から降伏値・塑性粘度の減少の程度を予測できることを明らかにした。

キーワード：準高流動モルタル、締固め、レオロジー、加速度

1. はじめに

近年、自己充填性を有し、締固め不要の高流動コンクリートが開発され、締固め作業が不可能な箇所や困難な箇所に適用されるようになった。しかし、高流動コンクリートは厳しい製造管理を必要とし、材料コストも高いことから、一般の部位では若干の締固めは必要とするが、高い流動性を有する準高流動コンクリートの出現が望まれるようになった。準高流動コンクリートは広い意味では高流動コンクリートの一種であるが、若干の締固めが必要であることから、ここでは別の範疇とした。しかし準高流動コンクリートの締固めが及ぼす流動性への影響に関する研究は極めて少なく、不明な点が多い。

本研究は、この準高流動コンクリートの施工性に関する基礎資料を得るために、準高流動コンクリートを構成する準高流動モルタルのレオロジー特性に及ぼす振動の影響を実験したものである。

2. 実験方法

2.1 使用材料およびモルタルの調合

使用材料とその物性を表-1 に示す。また、モルタルの調合を表-2 に示す。細骨材は、鹿島産陸砂と笠間産砕砂を 8 : 2 の割合で混合して使用した。高性能 AE 減水剤の使用量は、フロー試験で 15 回落下運動を与えた後のフロー値が 200±20mm あるいは 250±20mm となるよう

表-1 使用材料と物性

材料	種類	記号	物性
粉体	普通ポルトランドセメント	N	P 密度3.16g/cm ³ ,比表面積3330cm ² /g 密度3.24g/cm ³ ,比表面積3260cm ² /g 密度2.70g/cm ³ ,比表面積3600cm ² /g
	低熱ポルトランドセメント	L	
	石灰石微粉末	LS	
水	上水道水	W	
細骨材	鹿島産陸砂	S1	S 表乾密度2.57g/cm ³ ,吸水率2.11%,粗粒率2.62 表乾密度2.61g/cm ³ ,吸水率1.74%,粗粒率3.03
	笠間産砕砂	S2	
混和剤	分離低減剤	V	セルロースエーデル系
	高性能AE減水剤	SP	ポリカルボン酸系
	AE剤	AE	アルキルカルボン酸系

*1 宇都宮大学大学院 工学研究科建設学専攻, (正会員)

*2 宇都宮大学教授 工学部建築学科, 工博 (正会員)

*3 東洋建設 (株) 美浦研究所材料研究室主任研究員 (正会員)

*4 東洋建設 (株) 美浦研究所材料研究室研究員, 工修 (正会員)

表-2 モルタルの調合

No	種類	W/P (%)	容積比(上段)、質量比(下段)					使用量(P×%)	
			W	C	LS	S	V	SP	AE
1-1	準高流動	50	1	0.63	-	1.9	0.001	1.1	0.002
1-2			1	2	-	4.78	-	1.25	0.002
2-1		40	1	0.63	0.19	1.7	-	0.95	0.005
2-2			1	2	0.51	4.29	-	0.85	0.005
3	普通	40	1	0.79	-	1.7	-	1.1	0.005
			1	2.5	-	4.36	-	-	-
4-1	普通	50	1	0.63	-	1.7	-	0.8	0.0035
4-2			1	2	-	4.41	-	0.6	0.0035
5-1	高強度	33	1	0.95	-	1.5	-	1.3	0.005
5-2			1	3	-	3.95	-	0.95	0.005
6-1	低熟	33	1	0.93	-	1.6	-	1.1	0.004
6-2			1	3	-	4	-	0.85	0.004
7-1	普通	33	1	0.95	-	1.7	-	0.95	0.004
7-2			1	3	-	4.25	-	1.3	0.004
8	低熟	33	1	0.93	-	1.7	-	1.25	0.004
			1	3	-	4.3	-	-	-
9	低熟	25	1	1.23	-	1.7	-	1.45	0.005
			1	4	-	4.32	-	-	-

表-3 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
フロー	JIS A 5201
空気量	JIS A 1128
温度	棒状温度計
加速度	加速度計(容量20G)
レオロジー	内円板型回転粘度計

に定めた。

2.2 試験項目と試験方法

試験項目および試験方法を表-3 に示す。モルタルの練混ぜは、容量 100 ㍓強制一軸パン型ミキサを用いて行い、練混ぜ量は 50 ㍓とした。練混ぜ手順は、固形分を 15 秒間空練りした後、水と混和剤を投入し、90～270 秒間練り混ぜた。フロー試験は、コーン抜き取り直後と 15 回落下運動後のフロー値を測定した。測定は、練混ぜ直後と 30 分後に行った。フロー試験後、加速度計を振動機の挿入予定位置から 10、20、40、60、80cm 離れた位置に設置した 9×11×120cm の合板製型枠の中にモルタル試料を充填し、高周波棒形振動機（振動数 14400v.p.m、棒径 25mm）で振動させた時の加速度を測定した。加振中のレオロジー一定数は、練混ぜ直後のモルタル試料を用いて棒形振動機

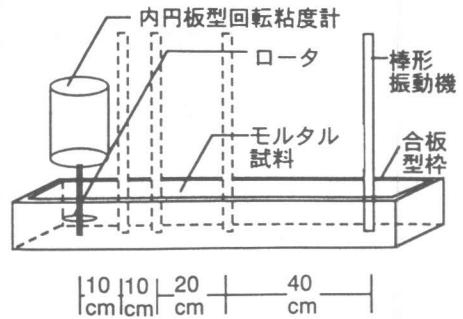


図-1 測定方法

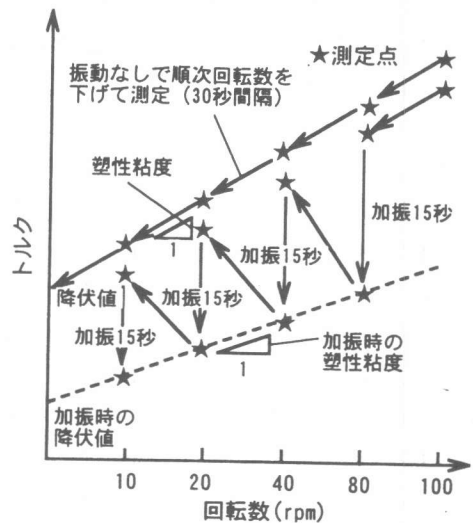


図-2 レオロジー測定手順

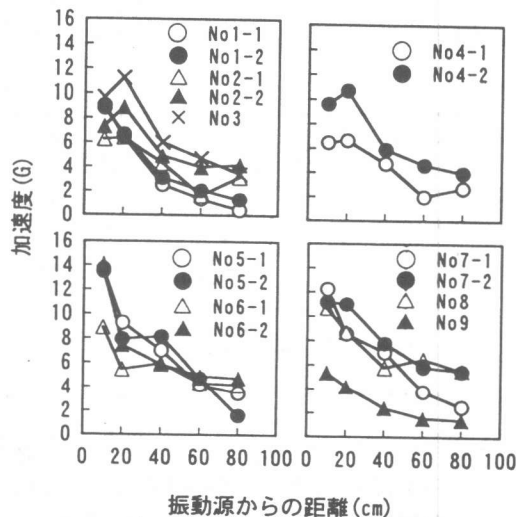


図-3 振動源からの距離と加速度の関係

表-4 モルタルの試験結果

No	種類	W/P (%)	練混ぜ直後(加振距離80cm・20cm)				練混ぜ30分後(40cm・10cm)	
			0打	15打	空気量(%)	温度	0打	15打
1-1	準高流動	分離低減剤	150×148	194×188	4.7	21	128×129	175×173
1-2			218×208	242×238	3.8	22	157×162	199×198
2-1		石灰石微粉末	171×169	250×248	5.2	22	123×123	194×194
2-2			133×137	209×212	7.1	22	117×116	191×190
3		普通ボルト	115×118	197×196	7.1	23.5	130×125	206×207
4-1	普通	普通ボルト	140×139	232×230	5.6	22	116×114	209×219
4-2			131×127	217×217	5.2	22	117×116	203×200
5-1	高強度	普通ボルト	274×273	-	5.7	21	290×290	-
5-2			157×157	213×212	7.5	21	127×126	190×185
6-1		低熱ボルト	150×148	207×204	4.9	21	165×167	222×220
6-2			118×119	196×194	5.1	21	113×114	186×185
7-1	高強度・高流動	普通ボルト	146×147	206×207	7.5	21.5	110×109	169×171
7-2			269×147	-	5.6	22	224×225	250×249
8		低熱ボルト	174×176	227×229	5.7	21	173×171	228×227
9		低熱ボルト	178×176	216×213	3.6	22	177×174	216×215

の位置が内円板型回転粘度計から 80cm のところで測定し、測定後、直ちに試料を練りさじで掻き混ぜ、同様に 20cm の位置で測定を行った。次に、容器に保存しておいたモルタル試料のフロー値を測定し、同様に、棒形振動機の位置を内円板型回転粘度計から 40cm、10cm として測定した。図-1 にレオロジー一定数の測定方法を示す。また、図-2 に測定手順を示す。

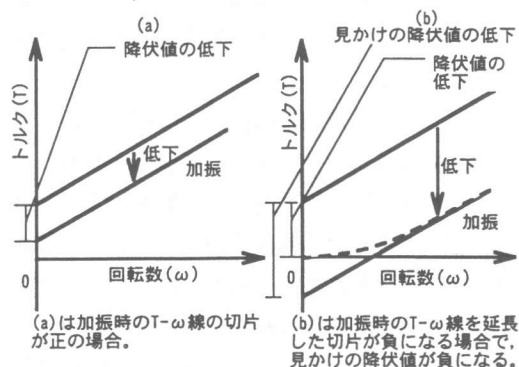


図-4 降伏値および見かけの降伏値の算出法

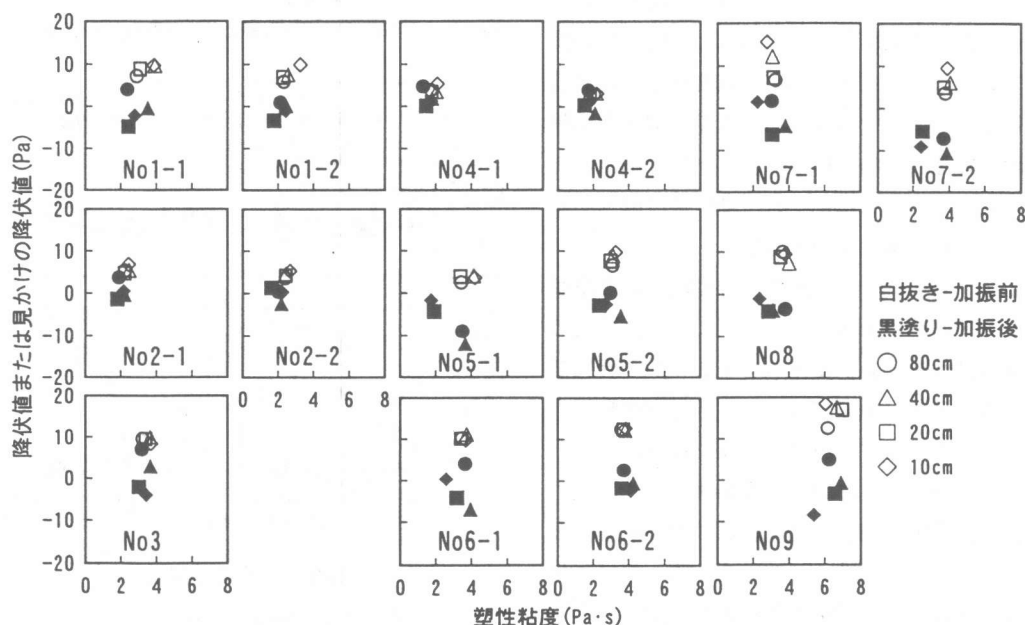


図-5 塑性粘度と降伏値または見かけの降伏値の関係

3 実験結果及び考察

3.1 加速度

振動源からの距離と加速度の関係を図-3 に示す。モルタル中に伝播される加速度は、振動源から離れるにつれ減少する傾向にあり、特に高強度モルタルではその傾向が著しい。なお、普通モルタルでは長く加振していると分離の傾向が見られた。

3.2 降伏値・塑性粘度

表-4 にモルタルの試験結果を示す。加振時の回転数とトルクを各々 X 軸、Y 軸にとり、その関係をプロットして、そのまま延長すると図-4 に示すように Y 切片が 0 以下になり、見かけ上降伏値が負になるものがある。その場合は各回転数に対する応力の低下の平均的な値を見かけの降伏値の低下とすることとした。このように得られた塑性粘度と降伏値あるいは見かけの降伏値の関係を図-5 に示す。加振によって降伏値および塑性粘度とも低下しているが、降伏値また見かけの降伏値の低下に比べ、塑性粘度の低下は極めて小さいことがわかる。また、図-6 に振動源からの距離と降伏値および見かけの降伏値の減少を示した。見かけの降伏値の減少では、準高流動および高流動・高強度モルタルにおいて距離が近くなるほど降伏値の減少は増大する傾向にあるが、高強度モルタルおよび普通モルタルでは距離と降伏値の減少の関係は明確でない。降伏値では、すべての調合において距離が近くなるにつれ、降伏値の減少が若干大きくなる傾向が見られる。

また、図-7 に振動源からの距離と塑性粘度の減少率の関係を示す。距離による塑性粘度の減衰は降伏値の減少に比べて小さいが、普通モルタルを除き、距離が近くなるほど塑性粘度の減少は若干大きくなる傾向が見られる。

3.3 加速度とレオロジーの関係

図-8 に降伏値または見かけの降伏値の加振による減少と加速度との関係を、図-9 に塑性粘度の加振による減少率と加速度の関係を示す。見かけの降伏値の減少は加速度が大きくなるに

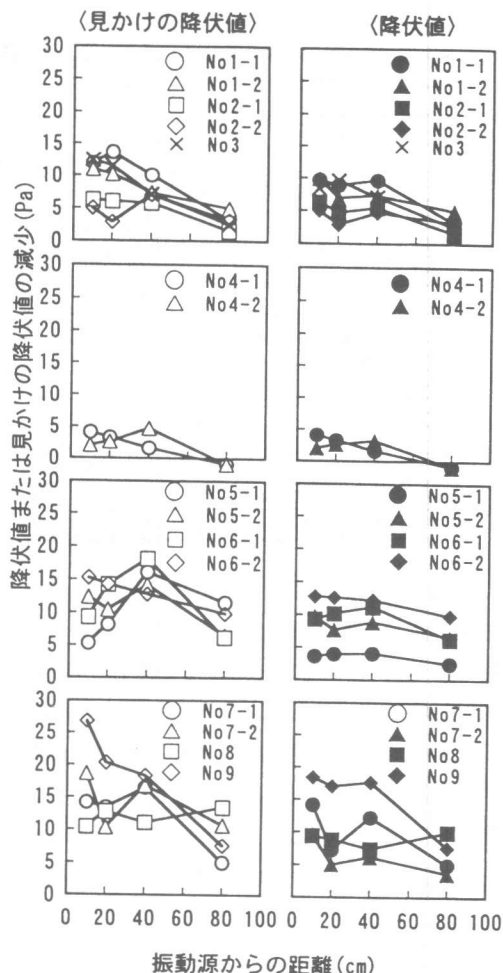


図-6 振動源からの距離と降伏値の減少の関係

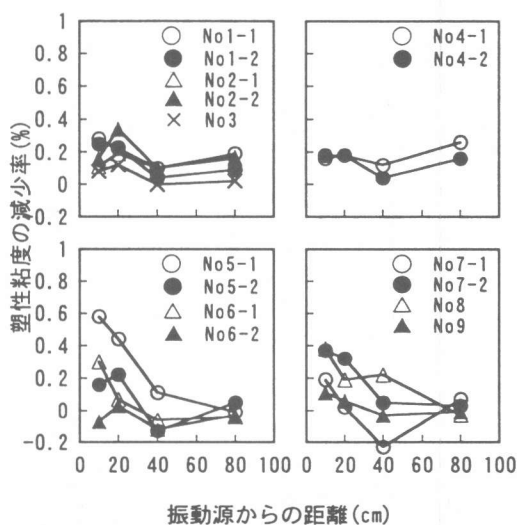


図-7 振動源からの距離と塑性粘度の減少率の関係

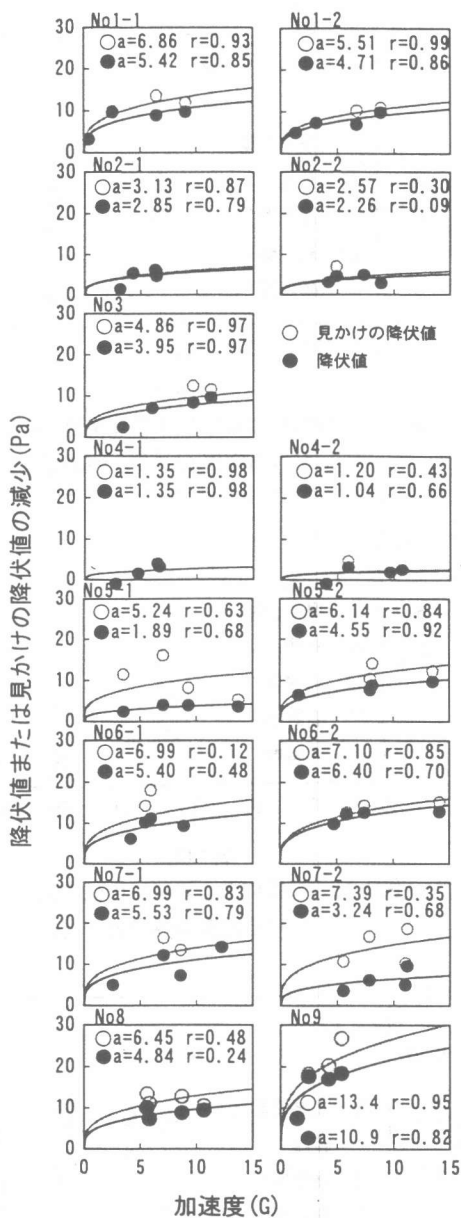


図-8 加速度と降伏値減少の関係

つれ大きくなっている。降伏値の減少では見かけの降伏値ほどではないものの同様に加速度が大きくなるにつれ、大きくなっている。また、塑性粘度に及ぼす加速度の影響は非常に小さい。塑性粘度の減少は、降伏値の場合と同様に加速度が大きくなるにつれ減少する比率が増大する傾向にあるが、降伏値の変化に比べてきわめて僅かである。このことから加振の影響はモルタルの降伏値を大きく減少させるが、塑性粘度に

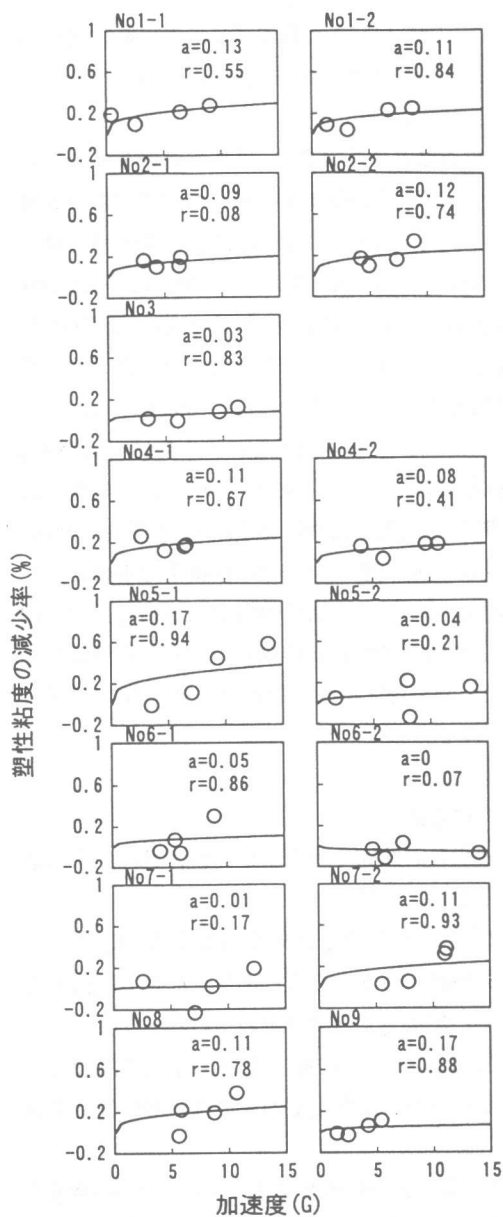


図-9 加速度と塑性粘度減少率の関係

はあまり影響を及ぼさないことがわかる。一部相関係数が低いものもあるが、これはすべて3乗根で回帰したためである。

図-8、図-9 から降伏値および見かけの降伏値の減少、あるいは塑性粘度の減少率と加速度との関係は次のような指数関数で近似されと考えられる。

$$Y = a \cdot X^b \quad (1)$$

ここで、Y：降伏値及び見かけの降伏値の減少(Pa)，または塑性粘度の減少率(%)，X：加速度(G)，a，b：定数。

式(1)における定数 b は各調合のモルタルにおける回帰式の係数のほぼ平均値である 0.3 を採用した。図-10 に加振による見かけの降伏値の低下における定数 a と水粉体比 W/P の関係を示す。a の値は W/P の小さい高流動・高強度モルタルから W/P の大きい普通モルタルになるにつれて、小さくなる傾向を示し、準高流動モルタルと高強度モルタルでは a の値はほぼ同じであった。また、図-11 に加振による降伏値の低下における定数 a と W/P の関係を示す。a の値は見かけの降伏値の場合に比べ若干小さいが、同様の傾向が見られる。図-12 に塑性粘度における定数 a と W/P の関係を示すが、a の値が非常に小さく、この関係は明確でない。

4 まとめ

本実験の範囲で得られた実験結果は、次のようにまとめられる。

(1) モルタル中を伝播する振動の加速度は、振動源から遠ざかるほど小さくなり、高強度モルタルでは、その傾向が著しい。

(2) モルタルを加振すると、降伏値は大きく減少するが、塑性粘度の変化は非常に僅かである。

(3) モルタルの降伏値および見かけの降伏値の低下に及ぼす振動時の加速度の影響は、加速度の指数関数で表される。

謝辞 ポゾリス物産(株)横山氏，宇部三菱セメント(株)千葉氏，小島氏，三光生コン(株)石井氏，宇都宮大学卒論生宮野氏の協力を得ました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

1) 梶田佳寛，安田正雪，荒金直樹，太田一浩：準高流動コンクリートに関する実験的研究(そ

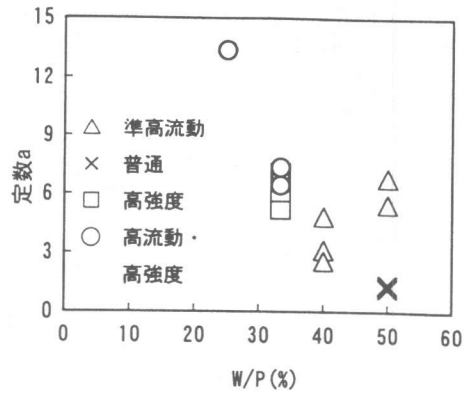


図-10 加振による見かけの降伏値の低下における定数aとW/Pとの関係

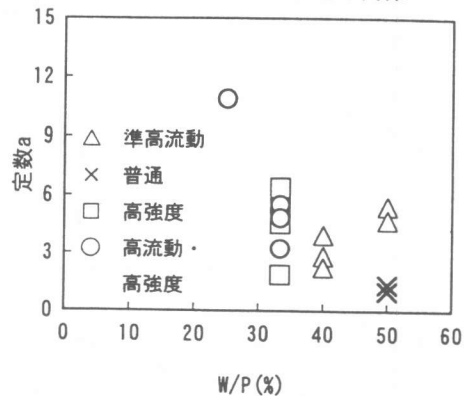


図-11 加振による降伏値の低下における定数aとW/Pとの関係

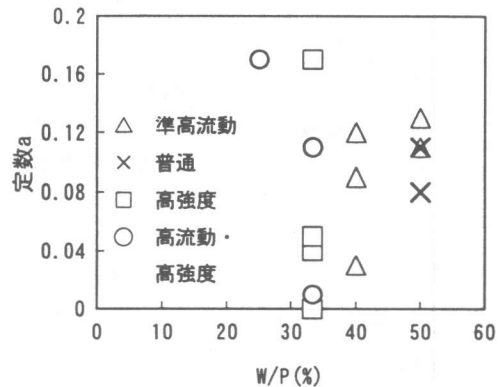


図-12 加振による塑性粘度の変化における定数aとW/Pとの関係

の1～その3)，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.219～224，1997

2) フレッシュコンクリートの挙動研究委員会報告書