

論文 水平振動方式によるコンクリートの締固め効果と表面気泡

河辺伸二*1・岡島達雄*2・M.W.チャロンゲ*3・武藤正樹*4

要旨:鉛直テーブルバイブレータはフレッシュコンクリートの締固めに大きな効果があるが、締固めの間110~120dBの騒音を発生し、作業者の労働安全衛生や近接住民の騒音環境に対する問題の原因となっている。

本研究では、低い騒音での締固めが可能な水平振動方式を提案し、水平振動の振幅、振動数と振動時間がフレッシュコンクリートの締固めに及ぼす影響を把握した。さらに水平振動方式と他の打設方法とで作製した硬化後のコンクリート供試体の表面気泡の有無を比較、検討した。

キーワード: 締固め、水平振動、表面気泡、圧力、フレッシュコンクリート

1. はじめに

一般にコンクリート2次製品などのプレキャストコンクリートの製造には鉛直テーブルバイブレータが用いられる。この方法は、フレッシュコンクリートの締固めの効果が大きいとされるが、締固めの間、110~120dBの騒音を発生し、作業者の労働安全衛生や、近接住民の騒音環境に対する問題の原因となっている。

また、コンクリート2次製品のように、同一規格で大量生産される部材では、コンクリート表面の仕上がりが重要視され、強度上問題がなくとも、製品の表面にできる気泡を施主や施工管理者が嫌う傾向がある。これに対処するため、締固め時に過剰な振動を加える場合が見られるが、骨材分離等の品質の低下をもたらしたり、騒音発生が増大するなどの問題も多い。

鉛直テーブルバイブレータに代わる打設方法として、低振動の理由で低騒音性が達成できると考える、型枠を水平方向に低振動数で振動させる締固め方式（以下、水平振動方式という）を提案する。本研究で開発した水平振動装置は、騒音の実測値が75dB以下であり、低騒音でフレッシュコンクリートを密実に締固める可能性を有している。

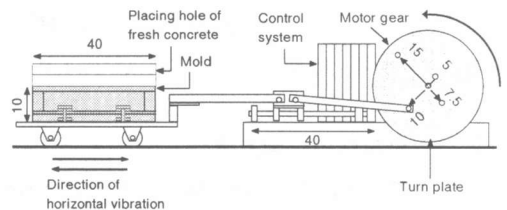


Fig.1 Experimental equipment of horizontal vibration (dimensions in cm)

本研究では、水平振動の振幅、振動数と振動時間がフレッシュコンクリートの締固めに及ぼす影響を把握する。さらに水平振動方式と、他の締固め方法や高流動コンクリートを用いた硬化後のコンクリートの表面気泡¹⁾を比較、検討する。

2. 実験方法

2.1 水平振動方式による締固め

Fig.1に水平振動方式の実験装置を示す。水平振動台の上に型枠を固定して水平方向の振動を与え、型枠内にフレッシュコンクリートを2層に分けて投入し水平振動で締固めを行った。

振幅は15, 10, 7.5, 5cm, 振動数は0.75, 1.0, 1.25, 1.5Hz, 振動時間は45, 60, 90, 120秒の各4種類とした。振動数、振幅、振動時間の組み合わせの違いによるコンクリートの締固めの良否を評価

*1 名古屋工業大学助教授 工学研究科都市循環システム工学専攻 工博(正会員)

*2 名古屋工業大学長 工博(正会員)

*3 名古屋工業大学大学院 工学研究科社会開発工学専攻

*4 (財)日本学術振興会特別研究員 博士(工学)(正会員)

した。組み合わせの違いを定量的に把握する目安として、式(1)に示す振動加速度と式(2)に示す総仕事量を用いた。

$$\alpha = 4a (\pi f)^2 \quad (1)$$

$$W = m (\pi a f)^2 t \quad (2)$$

ここに、 α : 振動加速度 (m/s²)

W : 総仕事量 (J・s)

m : 質量 (kg) f : 振動数 (Hz)

a : 振幅 (m) t : 振動時間 (S)

2.2 コンクリートの調査

普通コンクリートの調査をTable1に示す。普通ポルトランドセメントを用い、目標空気量は4±1%とした。高流動コンクリートの調査をTable2に示す。高炉セメントB種及びポリカルボン酸系高性能AE減水剤³⁾を使用し、目標空気量は4±0.5%とした。

2.3 供試体の作製方法

実験では10(高さ)×10(幅)×40(長さ)cmの型枠を使用した。普通コンクリートでは、水平振動、手詰め、棒状パイプレーター、テーブルパイプレーターで締固めを行い、高流動コンクリートでは、コンクリートの自己流動により型枠に充填した。硬化後に各コンクリート供試体の表面気泡を目視により評価し、さらに気泡測定装置により気泡の面積と個数を測定した。

2.4 水平振動方式による圧力試験

十分な振動を与えられたフレッシュコンクリートは流動し、水平振動の折り返しの時、型枠の端面(妻部分)に当たる。この時、フレッシュコンクリートの流動によって生じる型枠の端面への圧力と締固めの良否の関連を調べるために、圧力試験を行った。また生じる圧力を測定することで、型枠への負担が把握でき経済的な型枠の設計や寿命の予測に応用することが期待される。

圧力試験の装置をFig.2に示す。型枠の一つの端に圧力計を取付け、フレッシュコンクリートの水平振動による圧力を測定した。フレッシュコンクリートを型枠に投入後水平振動を開始し、振動開始から120秒間の圧力を動歪計とペンレコーダーを用いて計測した。

Table 1 Mix proportion of concrete (slump : 21 cm)

W/C (%)	s/a (%)	Unit volume (kg/m ³)						AE agent (g/m)	Water reducing agent (g/m)
		W	C	S (coarse)	S (fine)	G (φ15)	G (φ25)		
48	45	163	346	654	157	291	685	6.9	3460

Table 2 Mix proportion of high fluidity concrete

Slump flow (cm)	W/C (%)	s/a (%)	Unit volume (kg/m ³)				Chemical admixture (C×%)
			W	C	S	G	
60~70	32	49.2	175	547	779	817	0.83

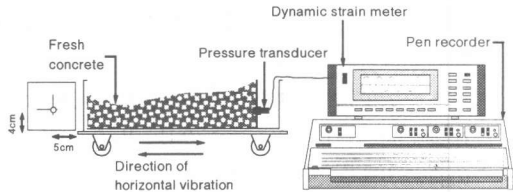


Fig.2 Pressure transducer equipment

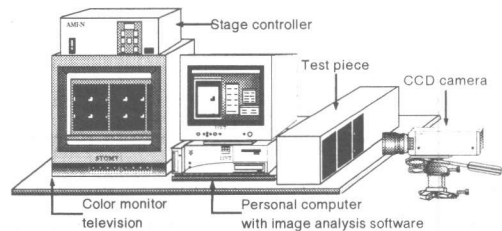


Fig.3 Image analysis equipment

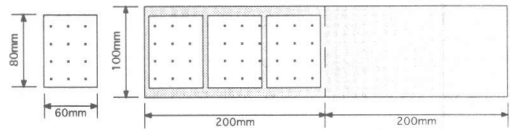
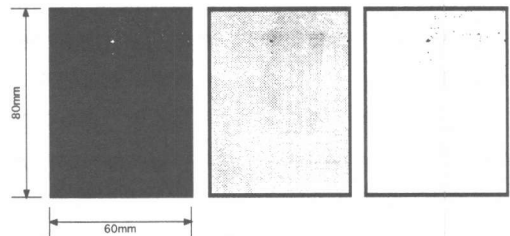


Fig.4 Measuring area of air void on surface



(a) Recording image (b) Change the density (c) Evaluated image

Fig.5 Evaluation process of air void on surface by image analysis

2.5 他の締固め方式の条件

手詰め、棒状パイプレーター、テーブルパイプレータの各方式と高流動コンクリートによる打設方法を以下に示す。いずれの方法も、フレッシュコンクリートの投入開始から成型終了までの時間を約120秒以内とした。

(1) 手詰め方式

Table 3 Relationship between acceleration, work and compaction

Series	f (Hz)	a (m)	t (s)	$4a(\pi f)^2$ (m/s ²)	$m(\pi a f)^2 t$ (J·s)	Compaction	
A	A-1	1.00	0.075	45	2.96	22.96	×
	A-2	1.00	0.075	60	2.96	30.61	×
	A-3	1.00	0.075	90	2.96	45.92	△
	A-4	1.00	0.075	120	2.96	61.23	○
B	B-1	1.00	0.100	45	3.94	40.82	△
	B-2	1.00	0.100	60	3.94	54.42	△
	B-3	1.00	0.100	90	3.94	81.64	○
	B-4	1.00	0.100	120	3.94	108.85	○
C	C-1	1.00	0.150	45	5.92	91.84	○
	C-2	1.00	0.150	60	5.92	122.46	○
	C-3	1.00	0.150	90	5.92	183.68	○
	C-4	1.00	0.150	120	5.92	244.91	○
D	D-1	0.75	0.075	45	1.66	12.92	×
	D-2	0.75	0.075	60	1.66	17.22	×
	D-3	0.75	0.075	90	1.66	25.83	×
	D-4	0.75	0.075	120	1.66	34.44	×
E	E-1	0.75	0.100	45	2.22	22.96	×
	E-2	0.75	0.100	60	2.22	30.61	×
	E-3	0.75	0.100	90	2.22	45.92	△
	E-4	0.75	0.100	120	2.22	61.23	○
F	F-1	0.75	0.150	45	3.33	51.66	△
	F-2	0.75	0.150	60	3.33	68.88	○
	F-3	0.75	0.150	90	3.33	103.32	○
	F-4	0.75	0.150	120	3.33	137.76	○
J	J-1	1.25	0.075	45	4.62	35.88	△
	J-2	1.25	0.075	60	4.62	47.83	○
	J-3	1.25	0.075	90	4.62	71.75	○
	J-4	1.25	0.075	120	4.62	95.67	○
K	K-1	1.25	0.100	45	6.16	63.78	○
	K-2	1.25	0.100	60	6.16	85.04	○
	K-3	1.25	0.100	90	6.16	127.56	○
	K-4	1.25	0.100	120	6.16	170.08	○
M	M-1	1.50	0.050	45	4.44	22.96	△
	M-2	1.50	0.050	60	4.44	30.61	○
	M-3	1.50	0.050	90	4.44	45.92	○
	M-4	1.50	0.050	120	4.44	61.23	○
N	N-1	1.50	0.075	45	6.66	51.66	○
	N-2	1.50	0.075	60	6.66	68.88	○
	N-3	1.50	0.075	90	6.66	103.32	○
	N-4	1.50	0.075	120	6.66	137.76	○
X	X-1	1.00	0.050	45	1.97	10.20	×
	X-2	1.00	0.050	60	1.97	13.61	×
	X-3	1.00	0.050	90	1.97	20.41	×
	X-4	1.00	0.050	120	1.97	27.21	×
Y	Y-1	1.25	0.050	45	3.08	15.94	×
	Y-2	1.25	0.050	60	3.08	21.26	×
	Y-3	1.25	0.050	90	3.08	31.89	×
	Y-4	1.25	0.050	120	3.08	42.52	○

Note : × :Concrete can not be compacted.
 △ :Concrete can be compacted, but little honey comb occurs at the both of lower corner.
 ○ :Condition of compaction is good.

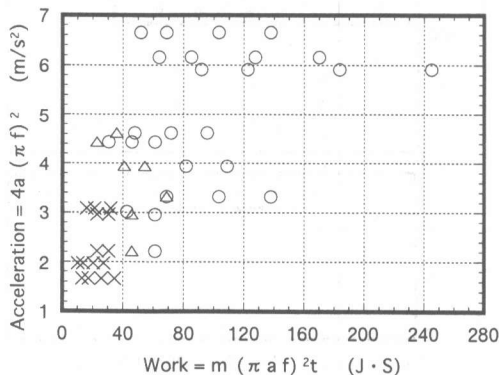


Fig.6 Compaction result obtained with horizontal vibration method

型枠内にフレッシュコンクリートを2層に分けて投入し、各層40回均一に棒で突き、さらに型枠外面を木づちで軽く叩き密実に締固めた。

(2) 棒状パイプレータ方式

出力150W、振動数8500rpm、φ25mmの棒状パイプレータを用いた。フレッシュコンクリートを2層に分けて投入し、一本の棒状パイプレータで、約7秒間を4カ所で各層密実に締固めた。

(3) 鉛直テーブルパイプレータ方式

出力150W、振動数3000/3600VPMのテーブル振動台を使用した。型枠内にフレッシュコンクリートを2層に分けて投入した。約30秒間各層で振動させ密実に締固めた。

(4) 高流動コンクリート

型枠内にフレッシュコンクリートを2層に分けて投入し、自然に充填した。

2.6 表面気泡の測定方法

表面気泡測定装置をFig.3に示す。表面気泡の測定範囲はFig.4の様に、80×60mmの面で3箇所を測定し、この3箇所の合計気泡数を供試体の気泡度数として表し、画像解析ソフトウェアで測定した。画像処理の手順をFig.5に示す。

(a) 取込み画像：コンクリート表面の気泡部を潰さないように供試体の表面に墨汁（黒色）を塗り、気泡部には白墨（白色）を充填¹⁾した。

(b) 濃度変換（反転）画像：明暗を反転することで測定の対象となる気泡部を黒くした。

(c) しきい値設定後の画像：画像(b)をしきい値（一つの濃度値）を設定する事で黒と白の濃度のみを持つ画像にした。

3. 実験結果及び考察

3.1 水平振動による圧力と締固め状態

それぞれの振動条件（振動数f、振幅a、時間t）、加速度α、総仕事量Wと締固めの可否○△×の関係をTable 3とFig.6に示す。○は製品として通用するもの、△は角にジャンカができるもの、×は製品として通用しないものである。Fig.7に各振幅別における水平振動方式の圧力の変化を示す。

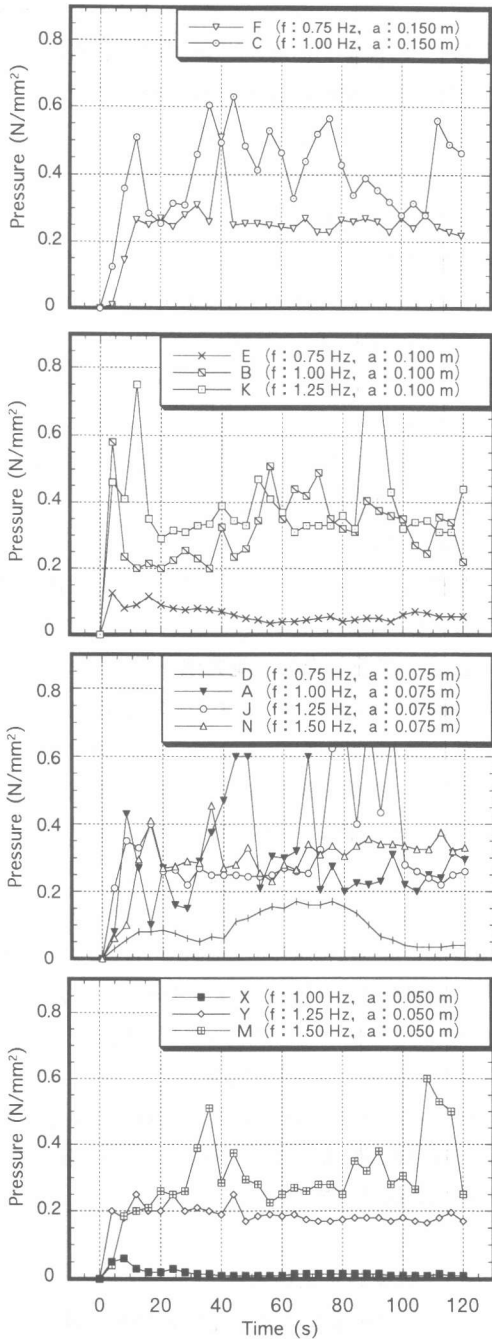
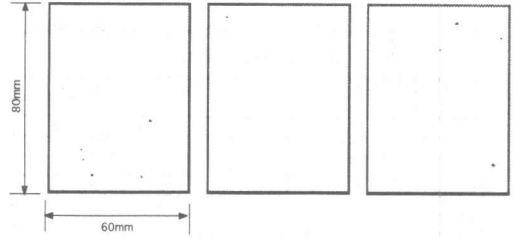


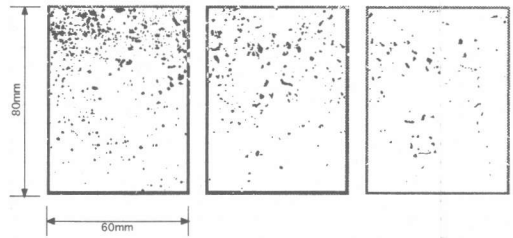
Fig.7 Variation of pressure

圧力値は動歪計を用いて300Hz以上(PASS)で測定したが、図では4秒ごとの最大値で示す。

供試体E, D, A, Y, Xの結果から加速度 3.0m/s^2 以下で締固め可能な供試体はE-3, -4, A-3, -4, Y-4であり、また供試体F, E, B, A, Yの結果より



(a) Compaction by horizontal vibration method



(b) Compaction by rodding

Fig.8 Example of surface evaluation by image analysis

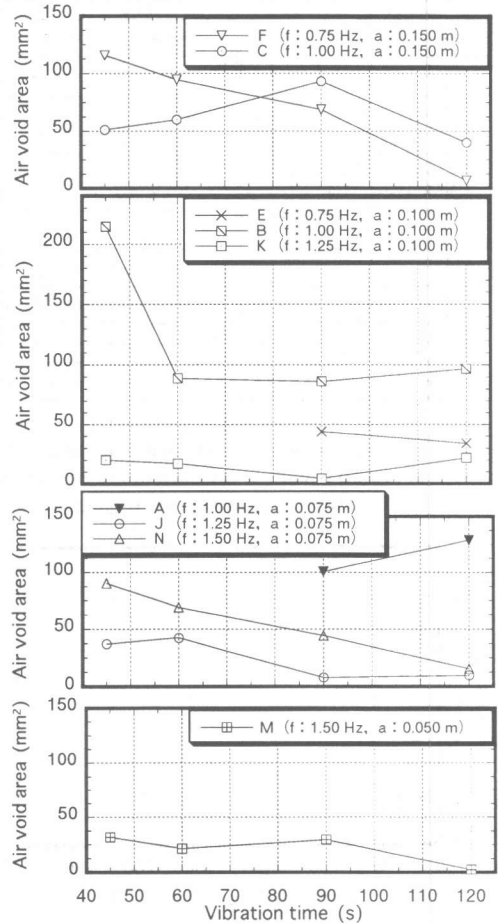
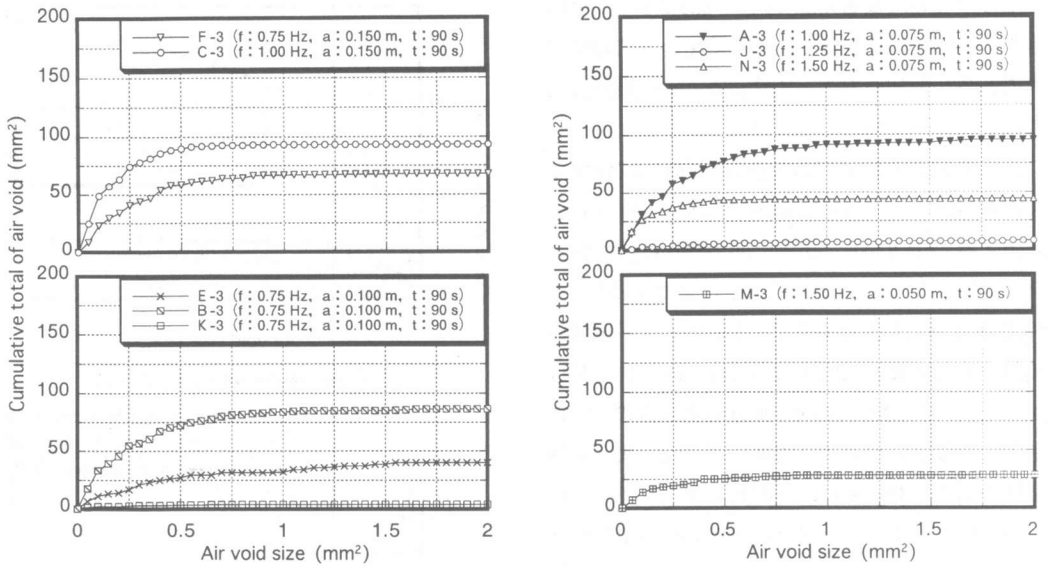
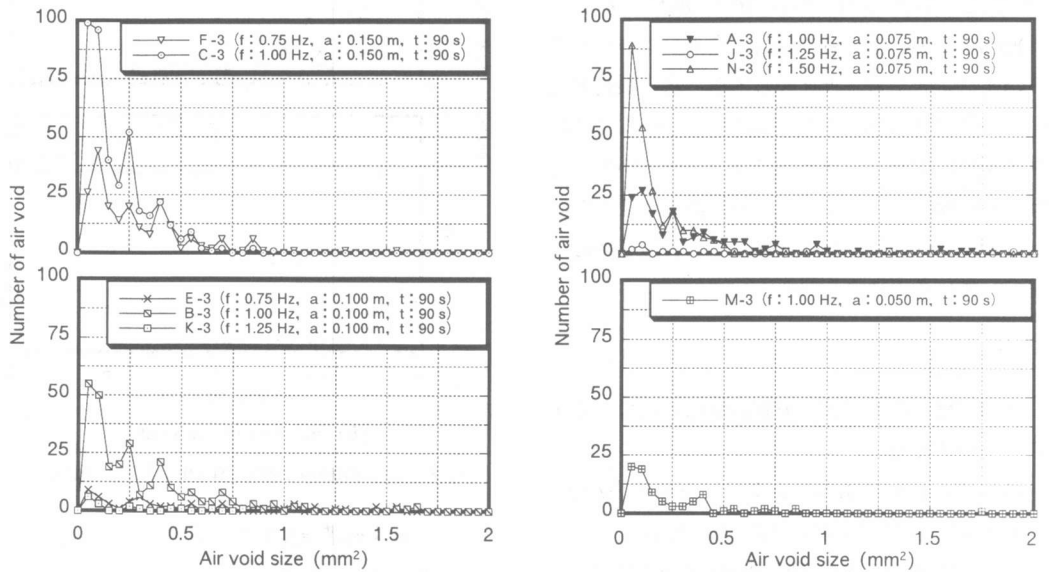


Fig.9 Relationship between vibration time and decreasing of air void on surface



(a) Cumulative total of air void



(b) Number of air void

Fig.10 Evaluation result of air void on surface (vibration time 90 second)

振動時間の増加とともに総仕事量も増加することから締固め状態も良好になる。また供試体J-1, -2, M-1, -2は、加速度が大きいので、総仕事量が小さいにも関わらず締固めが良好である。この締固め結果から、コンクリートの圧力は振動数、振幅と振動時間に依存することがわかった。

Fig.7から判断すると、圧力 0.2 N/mm^2 の大小を境に締固めの評価が分かれている。圧力が終始 0.2

N/mm^2 に満たない振動条件はE, D, Xであり、これらはTable3から明らかに締固め効果が低いことがわかる。また圧力 0.2 N/mm^2 の値を繰り返し上下しているA, Yに関しても、締固め効果が良いとは言えない。以上のことから、 0.2 N/mm^2 以上の圧力がコンクリートの締固め効果に良好な影響を与えると考えられる。

3.2 表面気泡評価

画像処理した表面気泡の例をFig.8に示す。(a)は水平振動方式の試験体で、(b)は手詰め方式の供試体である。手詰め方式と比較して、水平振動方式では表面気泡が極めて少ない。

振動時間と表面気泡の関係を把握するために、締固め可能な供試体(Table3の△と○の供試体)を評価する。Fig.9から、振動時間の増加に伴い表面気泡が減少する傾向が見られる。またTable3とFig.9より今回の実験条件下において、水平振動時間が約90秒で良好な締固めが可能であることがわかった。水平振動時間が約90秒の供試体の(a)気泡累計面積と気泡面積の関係、(b)気泡個数と気泡面積の関係をFig.10に、高流動コンクリート、手詰め、棒状バイブレーター、テーブルバイブレーター方式の(a)気泡累計面積と気泡面積の関係、(b)気泡個数と気泡面積の関係をFig.11に示す。

Fig.10とFig.11から、表面気泡の少ないテーブルバイブレーター方式と比較しても、水平振動方式による供試体表面は特に平滑であった。これは、水平振動によるフレッシュコンクリートが型枠と擦られる現象が、コンクリート表面を金こてで仕上げるのと同様な効果をもたらし、表面を特に平滑としていると考えられる。

4. 結論

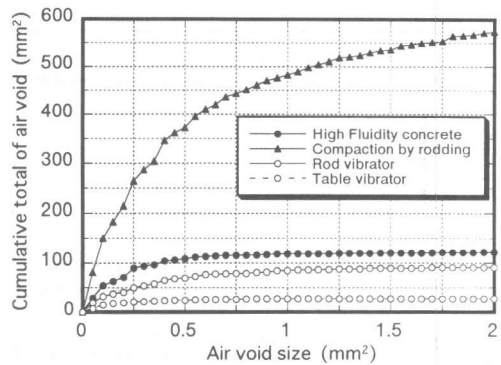
今回開発した水平振動方式の締固めについて次のことが言える。

- (1) 水平振動によるコンクリートの圧力が0.2 N/mm²以上で良好な締固めが可能である。
- (2) 振動時間が約90秒で締固めが可能である。
- (3) 水平振動の締固めでコンクリート表面が特に平滑になる。

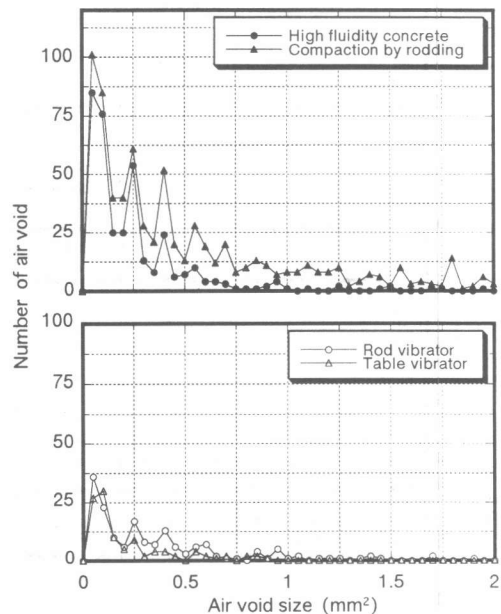
謝辞 本研究は、松岡コンクリート工業(株)との共同研究にて行いました。ここに深く謝意を表します。また、当時の卒論生阿見直行氏と本学技官南口泰彦氏にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 田代侃他：プレキャストコンクリートの表面性状に及ぼす成型方法の影響，日本建築学会



(a) Cumulative total of air void



(b) Number of air void

Fig.11 Evaluation result of air void on surface

大会学術講演梗概集 (関東), A-1, pp. 771~772, 1997.9

- 2) コンクリートの振動締固めに関する実験報告書，(社)日本コンクリート工学協会，p.7, 1990.3
- 3) 青山晴洋他：障害物を有する壁型枠への高流動コンクリートの打設実験，日本建築学会学術講演梗概集，A, pp.741~742, 1997
- 4) 林志翔他：粉体系高流動コンクリートの表面気泡に関する研究，(社)セメント協会，pp.230~231, 1998