

論文 水平振動方式による軽量コンクリートの締固めに関する研究

M.W. チャロンゲ^{*1}・河辺伸二^{*2}・岡島達雄^{*3}・武藤正樹^{*4}

要旨: 著者らは、普通コンクリートを高振幅かつ低振動数を用いた水平振動で締固める方式（水平振動方式）を提案し、コンクリート二次製品の製造の可能性を検討してきた。水平振動方式は締固め時の騒音が81dB以下と従来の方式より低騒音となり、作業者の労働安全衛生と工場の近隣住民の快適な音環境が保全されることが分かっている。

本研究は軽量コンクリート二次製品の製造の実用性を検討するために、水平振動方式で軽量コンクリートの締固めの可能性を検討した。結果は水平振動方式で軽量コンクリートを締固めることができる振動パターンを見つけ、実製品の製造の可能性を見いだした。

キーワード: 水平振動, 軽量コンクリート, 振動加速度, 総仕事量, 側圧

1. はじめに

フレッシュコンクリートを型枠内に打設した後、均質かつ密実となる様に、適切な締固めを行わなければならない。コンクリート型枠振動機(JIS A 8611)は普通コンクリートの締固め効果は大きいといわれるが、振動時に約90dBの大きな騒音が発生する。そこで筆者らは、高振幅かつ低振動数を用いた低騒音の水平振動方式を提案し、普通コンクリートのフレッシュコンクリートを締固めるコンクリート二次製品の製造の可能性を検討してきた^{1)~5)}。水平振動方式は振動時の騒音が81dB以下とコンクリート型枠振動機より低騒音となり、作業者の労働安全衛生と工場の近隣住民の音環境が保全されることが分かっている。

また、軽量コンクリート二次製品の実用性を検討するために、人工軽量骨材を用いた軽量コンクリートの開発・研究が多く行われている⁶⁾。低騒音環境の工場において軽量コンクリート二次製品を製造するために、提案した水平振動方式が軽量コンクリートの締固めに応用できるか

否かの可能性を検討する。

2. 水平振動方式でのコンクリートの締固め

現在、一部のコンクリート二次製品の工場では、水平振動方式を用いて、鉄筋コンクリート

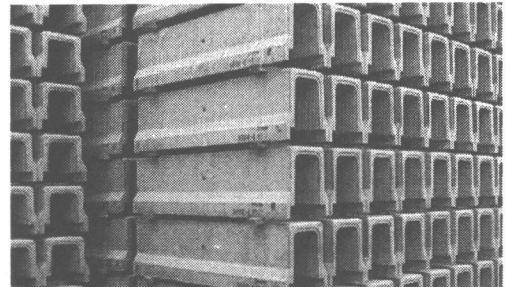


Photo 1 U shape PCa gutters manufactured by horizontal vibration method

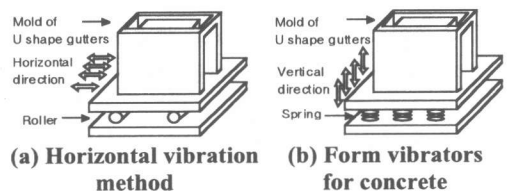


Fig.1 The differences of the horizontal vibration method from form vibrators for concrete

*1名古屋工業大学大学院大学院生 工学研究科都市循環システム工学専攻 修士(工学)(正会員)

*2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)

*3前名古屋工業大学長 工博(正会員)

*4国土交通省 国土技術政策総合研究所 総合技術政策研究センター
建設経済研究室主任研究官 博士(工学)(正会員)

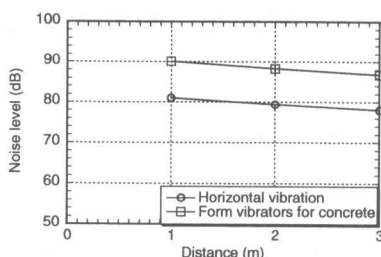


Fig.2 Noise levels of horizontal vibration and form vibrators for concrete

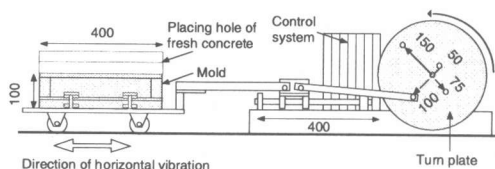


Fig.3 Experimental equipment of horizontal vibration (dimensions in mm)

U形 (JIS A 5305) のコンクリート二次製品を製造している。水平振動方式で製造された鉄筋コンクリートU形の本体を **Photo1** に示す。

Fig.1(a) に水平振動方式を、**Fig.1(b)** にコンクリート型枠振動機の振動方向の違いの概念図を示す。コンクリート型枠振動機 (JIS A 8611) によると、上下振動の振幅は 0.5mm 以上であり、振動数は 47.5Hz 以上である。本研究で検討する水平振動方式の振幅は 150mm まで、振動数は 1.5Hz までとする。このような振幅を高振幅、振動数を低振動数と本研究では定義する。

工場にて、鉄筋コンクリートU形のコンクリート二次製品を製造する騒音を測定する。**Fig.2** に示す様にコンクリート型枠振動機は振動数 60Hz の時、測定距離 1m で発生する騒音は 90dB である。水平振動方式は測定距離 1m で発生する騒音は 81dB 以下の低騒音^{注1)} である。

3. 実験方法

3.1 実験装置と締固めについて

水平振動方式の実験装置を **Fig.3** に示す。この振動装置はインバータ制御のモーターを動力に、円盤を回転させて水平方向の往復の動力に変換する。100(高さ)×100(幅)×400(長さ)mm の型枠にフレッシュコンクリートを2層に分けて投入し水平方向に振動させ、締固めを行う。

Table 1 Physical properties of artificial lightweight aggregate (expanded shale)

		Coarse	Fine
Maximum size (mm)		15	2.5
Density (kg/ℓ)	Surface dry	0.91	1.88
	Oven dry	0.89	1.63
(24 hours) Water absorption (%)		10.0±3.0	10.0±3.0

Table 2 Mix design of lightweight concrete

Slump	W/C	s/a	Unit volume (kg/m ³)				AE
cm	(%)	(%)	W	C	Coarse aggregate	Fine aggregate	agent (g/m ³)
12±2.5	43.1	41.9	168	390	333	450	39.0
18±2.5	44.3	45.8	178	402	481	304	40.2

Notes:

W: water, C: cement, s: sand, a: aggregate, AE: airetrained

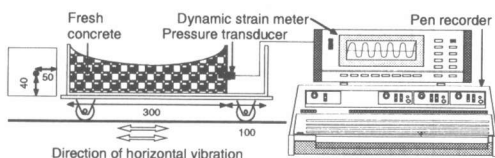


Fig.4 Pressure transducer equipment (dimensions in mm)

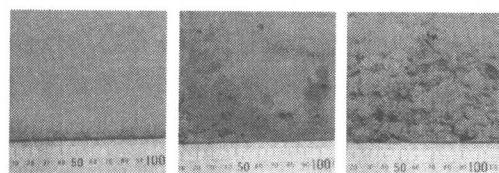


Photo 2 Conditions of compaction (Evaluated by visualization)

3.2 コンクリートの調査

使用する人工軽量骨材は膨張頁岩系であり、人工軽量骨材の物理的性質を **Table1** に示す。水平振動方式の締固め性を検討するために、スランプ 12±2.5cm とスランプ 18±2.5cm^{注2)} の2種類を用いて実験する。コンクリート調査を **Table2** に示す。普通ポルトランドセメントを用い、目標空気量は 5±1.5% とする。

3.3 水平振動方式の振動加速度と総仕事量

振幅別、振動数別と振動時間別の組み合わせの違いによる軽量コンクリートの締固めの良否を評価する。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⁷⁾を用いる。検討する振動数は 0.5Hz, 0.75Hz, 1.00Hz, 1.25Hz, 振幅は 50mm (記号 A と E), 75mm (記号 B と F), 100mm (記号 C と G), 150mm (記号 D と H) とする。

Table 3 Relationships between acceleration, work, and the resulting compaction (slump : 12 ± 2.5cm)

Series	No	Amplitude a (m)	frequency f (Hz=1/s)	time t (s)	Concrete M (kg)	acceleration 4a(πf) ² (m/s ²)	Work M(πaf) ² t (J・s)	Result
A	A-1-1	0.050	0.50	45	5.87	0.49	1.63	×
	A-1-2	0.050	0.50	60	5.87	0.49	2.17	×
	A-1-3	0.050	0.50	90	5.87	0.49	3.25	×
	A-1-4	0.050	0.50	120	5.87	0.49	4.34	×
	A-2-1	0.050	0.75	45	5.87	1.11	3.66	×
	A-2-2	0.050	0.75	60	5.87	1.11	4.88	×
	A-2-3	0.050	0.75	90	5.87	1.11	7.32	×
	A-2-4	0.050	0.75	120	5.87	1.11	9.76	×
	A-2-5	0.050	0.75	960	5.87	1.11	78.11	×
	A-3-1	0.050	1.00	45	5.87	1.97	6.51	×
	A-3-2	0.050	1.00	60	5.87	1.97	8.68	×
	A-3-3	0.050	1.00	90	5.87	1.97	13.02	△
	A-3-4	0.050	1.00	120	5.87	1.97	17.36	△
	A-3-5	0.050	1.00	540	5.87	1.97	78.11	○
	A-4-1	0.050	1.25	45	5.87	3.08	10.17	○
	A-4-2	0.050	1.25	60	5.87	3.08	13.56	○
B	A-4-3	0.050	1.25	90	5.87	3.08	20.34	○
	A-4-4	0.050	1.25	120	5.87	3.08	27.12	○
	B-1-1	0.075	0.50	45	5.87	0.74	3.66	×
	B-1-2	0.075	0.50	60	5.87	0.74	4.88	×
	B-1-3	0.075	0.50	90	5.87	0.74	7.32	×
	B-1-4	0.075	0.50	120	5.87	0.74	9.76	×
	B-2-1	0.075	0.75	45	5.87	1.66	8.24	×
	B-2-2	0.075	0.75	60	5.87	1.66	10.98	×
	B-2-3	0.075	0.75	90	5.87	1.66	16.48	×
	B-2-4	0.075	0.75	120	5.87	1.66	21.97	×
	B-3-1	0.075	1.00	45	5.87	2.96	14.64	△
	B-3-2	0.075	1.00	60	5.87	2.96	19.53	△
	B-3-3	0.075	1.00	90	5.87	2.96	29.29	△
	B-3-4	0.075	1.00	120	5.87	2.96	39.05	△
	B-4-1	0.075	1.25	45	5.87	4.62	22.88	○
	B-4-2	0.075	1.25	60	5.87	4.62	30.51	○
C	B-4-3	0.075	1.25	90	5.87	4.62	45.77	○
	B-4-4	0.075	1.25	120	5.87	4.62	61.02	○
	C-1-1	0.100	0.50	45	5.87	0.99	6.51	×
	C-1-2	0.100	0.50	60	5.87	0.99	8.68	×
	C-1-3	0.100	0.50	90	5.87	0.99	13.02	×
	C-1-4	0.100	0.50	120	5.87	0.99	17.36	×
	C-1-5	0.100	0.50	540	5.87	0.99	78.11	×
	C-2-1	0.100	0.75	45	5.87	2.22	14.64	△
	C-2-2	0.100	0.75	60	5.87	2.22	19.53	△
	C-2-3	0.100	0.75	90	5.87	2.22	29.29	△
	C-2-4	0.100	0.75	120	5.87	2.22	39.05	△
	C-2-5	0.100	0.75	360	5.87	2.22	117.16	○
	C-3-1	0.100	1.00	45	5.87	3.94	26.04	○
	C-3-2	0.100	1.00	60	5.87	3.94	34.71	○
	C-3-3	0.100	1.00	90	5.87	3.94	52.07	○
	C-3-4	0.100	1.00	120	5.87	3.94	69.43	○
D	C-4-1	0.100	1.25	45	5.87	6.16	40.68	○
	C-4-2	0.100	1.25	60	5.87	6.16	54.24	○
	C-4-3	0.100	1.25	90	5.87	6.16	81.36	○
	C-4-4	0.100	1.25	120	5.87	6.16	108.48	○
	D-1-1	0.150	0.50	45	5.87	1.48	14.64	×
	D-1-2	0.150	0.50	60	5.87	1.48	19.53	×
	D-1-3	0.150	0.50	90	5.87	1.48	29.29	×
	D-1-4	0.150	0.50	120	5.87	1.48	39.05	×
	D-2-1	0.150	0.75	45	5.87	3.33	32.95	○
	D-2-2	0.150	0.75	60	5.87	3.33	43.93	○
	D-2-3	0.150	0.75	90	5.87	3.33	65.90	○
	D-2-4	0.150	0.75	120	5.87	3.33	87.87	○
	D-3-1	0.150	1.00	45	5.87	5.92	58.58	○
	D-3-2	0.150	1.00	60	5.87	5.92	78.11	○
	D-3-3	0.150	1.00	90	5.87	5.92	117.16	○
	D-3-4	0.150	1.00	120	5.87	5.92	156.21	○

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

$$W = M(\pi af)^2 t \quad (2)$$

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=1/s)

a : 振幅 (m) t : 振動時間 (s)

3.4 水平振動方式による側圧試験

水平振動の折り返しの時、フレッシュコンクリートは流動し、型枠の端面 (妻面) に当たる。

Table 4 Relationships between acceleration, work, and the resulting compaction (slump : 18 ± 2.5cm)

Series	No	Amplitude a (m)	frequency f (Hz=1/s)	time t (s)	Concrete M (kg)	acceleration 4a(πf) ² (m/s ²)	Work M(πaf) ² t (J・s)	Result
E	E-1-1	0.050	0.50	45	5.94	0.49	1.65	×
	E-1-2	0.050	0.50	60	5.94	0.49	2.20	×
	E-1-3	0.050	0.50	90	5.94	0.49	3.29	×
	E-1-4	0.050	0.50	120	5.94	0.49	4.39	×
	E-1-5	0.050	0.50	1200	5.94	0.49	43.92	×
	E-2-1	0.050	0.75	45	5.94	1.11	3.71	△
	E-2-2	0.050	0.75	60	5.94	1.11	4.94	△
	E-2-3	0.050	0.75	90	5.94	1.11	7.41	△
	E-2-4	0.050	0.75	120	5.94	1.11	9.88	△
	E-2-5	0.050	0.75	960	5.94	1.11	79.06	△
	E-3-1	0.050	1.00	45	5.94	1.97	6.59	△
	E-3-2	0.050	1.00	60	5.94	1.97	8.78	△
	E-3-3	0.050	1.00	90	5.94	1.97	13.18	△
	E-3-4	0.050	1.00	120	5.94	1.97	17.57	△
	E-3-5	0.050	1.00	540	5.94	1.97	79.06	○
	E-4-1	0.050	1.25	45	5.94	3.08	10.29	○
F	E-4-2	0.050	1.25	60	5.94	3.08	13.73	○
	E-4-3	0.050	1.25	90	5.94	3.08	20.59	○
	E-4-4	0.050	1.25	120	5.94	3.08	27.45	○
	F-1-1	0.075	0.50	45	5.94	0.74	3.71	×
	F-1-2	0.075	0.50	60	5.94	0.74	4.94	×
	F-1-3	0.075	0.50	90	5.94	0.74	7.41	×
	F-1-4	0.075	0.50	120	5.94	0.74	9.88	×
	F-1-5	0.075	0.50	960	5.94	0.74	79.06	△
	F-2-1	0.075	0.75	45	5.94	1.66	8.34	△
	F-2-2	0.075	0.75	60	5.94	1.66	11.12	△
	F-2-3	0.075	0.75	90	5.94	1.66	16.68	△
	F-2-4	0.075	0.75	120	5.94	1.66	22.24	△
	F-3-1	0.075	1.00	45	5.94	2.96	14.82	○
	F-3-2	0.075	1.00	60	5.94	2.96	19.77	○
	F-3-3	0.075	1.00	90	5.94	2.96	29.65	○
	F-3-4	0.075	1.00	120	5.94	2.96	39.53	○
G	F-4-1	0.075	1.25	45	5.94	4.62	23.16	○
	F-4-2	0.075	1.25	60	5.94	4.62	30.88	○
	F-4-3	0.075	1.25	90	5.94	4.62	46.33	○
	F-4-4	0.075	1.25	120	5.94	4.62	61.77	○
	G-1-1	0.100	0.50	45	5.94	0.99	6.59	×
	G-1-2	0.100	0.50	60	5.94	0.99	8.78	×
	G-1-3	0.100	0.50	90	5.94	0.99	13.18	×
	G-1-4	0.100	0.50	120	5.94	0.99	17.57	×
	G-1-5	0.100	0.50	540	5.94	0.99	79.06	×
	G-2-1	0.100	0.75	45	5.94	2.22	14.82	△
	G-2-2	0.100	0.75	60	5.94	2.22	19.77	△
	G-2-3	0.100	0.75	90	5.94	2.22	29.65	△
	G-2-4	0.100	0.75	120	5.94	2.22	39.53	△
	G-2-5	0.100	0.75	360	5.94	2.22	118.60	○
	G-3-1	0.100	1.00	45	5.94	3.94	26.35	○
	G-3-2	0.100	1.00	60	5.94	3.94	35.14	○
H	G-3-3	0.100	1.00	90	5.94	3.94	52.71	○
	G-3-4	0.100	1.00	120	5.94	3.94	70.28	○
	G-4-1	0.100	1.25	45	5.94	6.16	41.18	○
	G-4-2	0.100	1.25	60	5.94	6.16	54.91	○
	G-4-3	0.100	1.25	90	5.94	6.16	82.36	○
	G-4-4	0.100	1.25	120	5.94	6.16	109.81	○
	H-1-1	0.150	0.50	45	5.94	1.48	14.82	△
	H-1-2	0.150	0.50	60	5.94	1.48	19.77	△
	H-1-3	0.150	0.50	90	5.94	1.48	29.65	△
	H-1-4	0.150	0.50	120	5.94	1.48	39.53	△
	H-2-1	0.150	0.75	45	5.94	3.33	33.36	○
	H-2-2	0.150	0.75	60	5.94	3.33	44.47	○
	H-2-3	0.150	0.75	90	5.94	3.33	66.71	○
	H-2-4	0.150	0.75	120	5.94	3.33	88.95	○
	H-3-1	0.150	1.00	45	5.94	5.92	59.30	○
	H-3-2	0.150	1.00	60	5.94	5.92	79.06	○
	H-3-3	0.150	1.00	90	5.94	5.92	118.60	○
	H-3-4	0.150	1.00	120	5.94	5.92	158.13	○

軽量コンクリートのフレッシュコンクリートの水平振動による側圧と締固めの良否の関連性を把握するために、側圧試験を行う^{1)~4)}。Fig.4に示す様に、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側圧を動歪計とペンレコーダーを用いて測定する。

4. 実験結果と考察

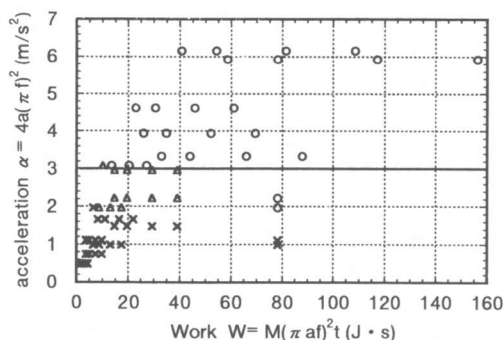


Fig.5 Compaction result obtained with horizontal vibration method (slump:12 ± 2.5cm)

4.1 水平振動方式の振動加速度と総仕事量
式(2)の総仕事量から、フレッシュコンクリート質量、振幅、振動数の増加とともに振動時間の経過に従って総仕事量は増加する。振動加速度の増加と総仕事量の増加とともにコンクリートの締固めに及ぼす影響を把握するために、Photo2に示す様に締固め状態を3段階に分類した。目視で外見調査により、製品として通用するもの(○印)、角に小さいジャンカができるもの(△印)、製品として通用しないもの(×印)の3段階で評価する。

(1) スランプ 12 ± 2.5cm の締固め結果

スランプの平均は 12.7cm、空気量の平均は 5.6%であった。Table3と Fig.5 より、3.08m/s²以上の振動加速度ではフレッシュコンクリートを 45 秒間締固めをし、総仕事量は 10.17J・sであり、製品として通用するもの(○印)になる。1.66m/s²以下の振動加速度ではフレッシュコンクリートを 120 秒間まで締固めをし、総仕事量は 21.97J・sになっても締固めができない。また、供試体 A-2-5 (振動加速度: 1.11m/s²) を 960 秒間 (総仕事量: 78.11J・s)、C-1-5 (振動加速度: 0.99m/s²) を 540 秒間 (総仕事量: 78.11J・s) まで締固めしても、結果が悪い。1.97 ~ 2.22m/s²の振動加速度かつ 8.68 ~ 39.05J・s の総仕事量の範囲では締固め状態としては角に小さいジャンカができるもの(△印)である。供試体 A-3-5 (振動加速度: 1.97m/s²) を 540 秒間 (総仕事量: 78.11J・s) と C-2-5 (振動加速度: 2.22m/

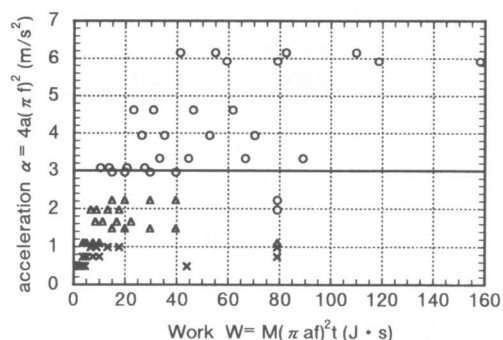


Fig.6 Compaction result obtained with horizontal vibration method (slump:18 ± 2.5cm)

s²) を 540 秒間 (総仕事量: 117.16J・s) まで締固めすると、結果がよくなる。

(2) スランプ 18 ± 2.5cm の締固め結果

スランプの平均は 18.5cm、空気量の平均は 5.5%であった。Table4と Fig.6 より、製品として通用するもの(○印)は、振動加速度 2.96m/s²以上かつ総仕事量 14.82J・s以上である。角に小さいジャンカができるもの(△印)は 1.11 ~ 2.22m/s² (総仕事量: 3.71 ~ 118.60J・s) である。製品として通用しないもの(×印)は 0.99m/s²以下である。長い振動時間の経過と総仕事量の増加がフレッシュコンクリートの締固めに与える影響を把握するために、E-1-5、E-2-5、E-3-5、F-1-5、G-1-5、G-2-5は 120 秒間以上で締固めを行う。E-1-5、E-2-5、F-1-5、G-1-5は 120 秒間の結果同様に締固めができない。E-3-5、G-2-5は時間の経過に伴い総仕事量が増加して、締固めの結果がよくなる。

4.2 水平振動方式による側圧試験

実験では振動数と振幅を変えること、即ち振動加速度の変化によりフレッシュコンクリートが型枠の妻面に与える側圧を測定する。フレッシュコンクリートを型枠内に打設後水平振動を開始し、120 秒間の側圧を計測する。図では 4 秒ごとの最大値を示す。スランプ 12 ± 2.5cm のフレッシュコンクリートの側圧の変化を Fig.7、スランプ 18 ± 2.5cm のフレッシュコンクリートの側圧の変化を Fig.8 に示す。Fig.7 と Fig.8 より、振動加速度が大きい程、側圧値が大きくなって

いることが判る。

(1) スランプ $12 \pm 2.5\text{cm}$ の締固め

Fig.7 から判断すると、側圧が終始 $6.0 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$ 以下の振動条件はA-1, A-2, B-1, B-2, C-1, D-1 であり、これらは Table3 から明らかに締固め状態が悪い。側圧 $6.0 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2 \sim 9.0 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$ の範囲はA-3, B-3, C-2 であり、これらは角に小さいジャンカができるもの (Δ 印) であり、A-4は側圧 $9.0 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$ の値を振動数の増加に従って繰り返し上下する回数が多くなって、良好な締固めができる。以上のことから、スランプ $12 \pm 2.5\text{cm}$ のフレッシュコンクリートは $9.0 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$ 以上の側圧がコンクリートの締固めに大きい効果を与え、良好な締固めができる。

(2) スランプ $18 \pm 2.5\text{cm}$ の締固め

Fig.8 と Table4 から、スランプ $18 \pm 2.5\text{cm}$ のフレッシュコンクリートは側圧 $5.0 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$ の大小を境に締固めの評価が分かれている。側圧が終始 $5.0 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$ 以下の振動条件はE-1, E-2, E-3, F-1, F-2, G-1, G-2, H-1 であり、これらは角に小さいジャンカができるもの (Δ 印) と製品として通用しないもの ($\times$ 印) である。E-4, F-3, F-4, G-3, G-4, H-2, H-3 は側圧 $5.0 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$ を超え、良好な締固めができる。

5. 結論

水平振動方式による軽量コンクリートの締固めについて以下の結果を得た。

- (1) 45～120秒間での締固めにおいてスランプ $12 \pm 2.5\text{cm}$ の場合振動加速度が 3.08m/s^2 以上で、スランプ $18 \pm 2.5\text{cm}$ の場合振動加速度が 2.96m/s^2 以上で良好な締固めが可能である。
- (2) スランプ $12 \pm 2.5\text{cm}$ の場合軽量コンクリートの側圧が $9.0 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$ 以上で、スランプ $18 \pm 2.5\text{cm}$ の軽量コンクリートの側圧が $5.0 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$ 以上で良好な締固めが可能である。

注)

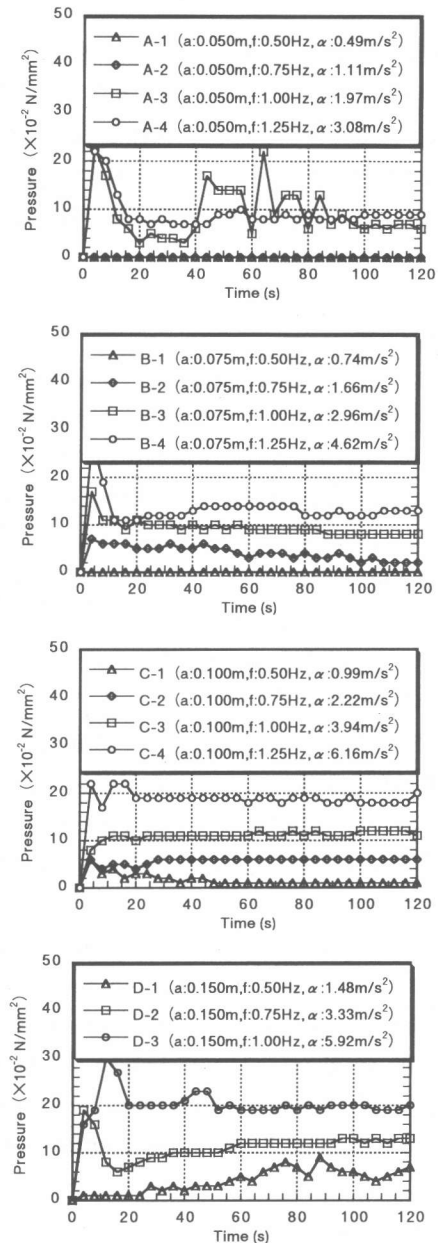


Fig. 7 Pressure of fresh concrete (slump: $12 \pm 2.5\text{cm}$)

注1)90dBは鉄道ガード下の騒音, 80dBは地下鉄車内の騒音に相当する。

注2)軽量コンクリートとしては、スランプ $18 \pm 2.5\text{cm}$ は大きいと考えられるが、高低2種のスランプと水平振動条件の組み合わせによる材料分離や強度に与える影響や振動中の側圧を明確にするための実験条件として採用した。

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。日本メサライト工業（株）の材料提供によってなされたもので、ここに記して感謝の意を表します。また、当時の卒論生堀貴雄氏にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) M.W. チャロンゲ, 河辺伸二, 武藤正樹, 岡島達雄, 阿見直行: 水平振動方式によるフレッシュコンクリートの締固め, 日本建築学会東海支部研究報告集, pp.9-12, 1999.2
- 2) 河辺伸二, 岡島達雄, M.W. チャロンゲ, 武藤正樹: 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, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.2, pp.943-948, 1999.6
- 3) M.W. チャロンゲ, 河辺伸二, 武藤正樹, 岡島達雄: 締固めの水平振動がプレキャストコンクリートの表面気泡に与える影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A, pp.203-204, 1999.9
- 4) M.W. Tjaronge, Shinji Kawabe, Tatsuo Okajima, Masaki Muto and Shigeyoshi Matsuoka, Compaction of Fresh Concrete with Long Amplitude and Low Frequency of Vibration in Manufacturing Precast Concrete, Proceedings of the Second International Conference on Advanced Materials Development and Performance Evaluation and Application, The University of Tokushima, pp.501-506, Nov. 1999
- 5) M.W. チャロンゲ, 河辺伸二, 武藤正樹, 岡島達雄, 多賀啓介: 水平振動方式によるコンクリートの締固め効果と非破壊試験による圧縮強度, 日本建築学会東海支部研究報告集, pp.49-52, 2000.2
- 6) 高性能軽量コンクリート研究委員会: 軽量コンクリートの性能の多様化と利用の拡大に

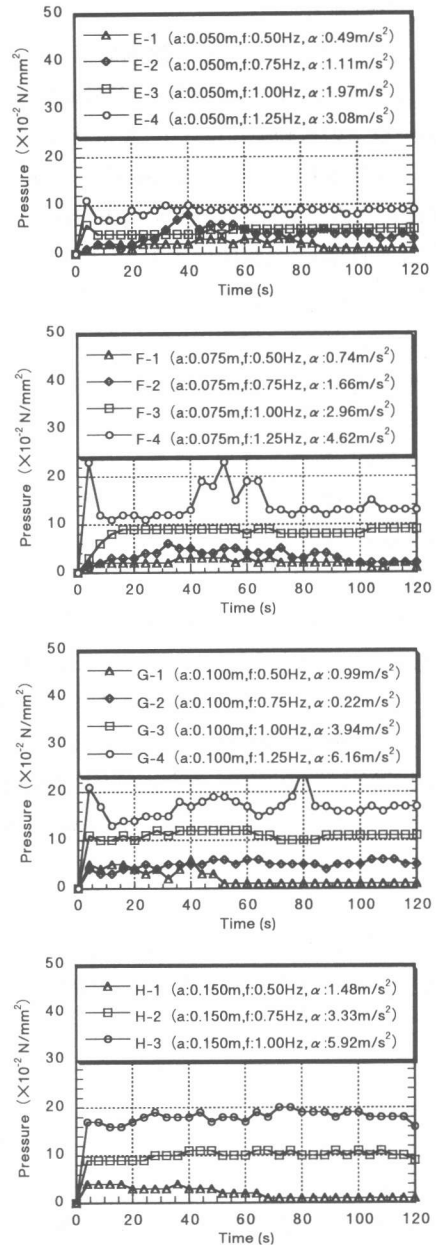


Fig.8 Pressure of fresh concrete (slump : 18 ± 2.5cm)

関するシンポジウム, (社) 日本コンクリート工学協会, 2000.8

- 7) フレッシュコンクリートの挙動研究委員会振動締固めワーキンググループ: 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