

低振動数と高振幅の水平振動方式によるコンクリートの締固めに関する研究

STUDY ON COMPACTION OF CONCRETE BY HORIZONTAL VIBRATION WITH LOW FREQUENCY AND LARGE AMPLITUDE

M.W. チャロンゲ*, 河辺伸二**, 武藤正樹***, 岡島達雄****

Tjaronge M.W., Shinji KAWABE, Masaki MUTO
and Tatsuo OKAJIMA

The noise of the vibrating table at a concrete plant disturbs the workers at the plant and the people who live around it. This paper proposes a new compaction method that is named as the horizontal vibration method. The new method has the ability to replace the vibrating table method. In this method, the mold is shaken in the horizontal direction with the low frequency and large amplitude.

This paper presents the relationships between the amplitudes, frequencies, compaction time of the horizontal vibration and the resulting compaction, then describes the effect of horizontal vibration on the concrete. The results of this study indicate that the good compaction can be attained with the horizontal vibration method.

Keywords : compaction, horizontal vibration, frequency, segregation of material, distribution of compressive strength, air void on surface of hardened concrete

締固め, 水平振動, 振動数, 材料分離, 圧縮強度分布, 硬化後のコンクリートの表面気泡

1. はじめに

「鉄筋コンクリートU形(JIS A 5305)」のプレキャストコンクリート製造において、テーブルバイブレータ方式を使用して型枠を上下方向に振動させる方式が広く用いられている。この方式はフレッシュコンクリートの締固めには効果が大きいといわれるが、90dBの騒音が締固めの間発生し、作業者の労働安全衛生上の問題や、工場の近隣住民の騒音環境に対する問題を生じる原因となっている。そこで本研究ではフレッシュコンクリートを型枠内に打設した後、低振動数と高振幅で型枠を水平方向に動かすことで低騒音で締固めを行う方式（以下、水平振動方式という）を提案する。そして締固めを評価する上で重要な性能である材料分離、コンクリートコアによる各部の圧縮強度の分布、硬化後のコンクリートの表面気泡について打設実験にて計測し、この方式の実用可能性を検討する。本研究の成果は建築で使用するPCa部材の製造に応用できると考える。なお本研究の一部は参考文献^{1)~5)}で発表している。

内のフレッシュコンクリートを締固めるために、上下方向に高振動数かつ低振幅で型枠を振動する。コンクリート型枠振動機(JIS A 8611)によると、テーブルバイブレータの性能の振動数は2850vpm(47.5Hz)以上であり、振幅は0.5mm以上である。本研究で提案する水平振動方式の振動数は1.5Hzまで、振幅は150mmまでとする。このような水平振動方式の振動数と振幅を、低振動数と高振幅と本研究では定義する。また従来のテーブルバイブレータ方式ではスランプ12cm以下の硬練りコンクリートが用いられるが、本水平振動方式ではスランプ 21 ± 1.5 cmの軟練りコンクリートを用いている。

工場にて、道路側溝プレキャストコンクリートを製造する間の水平振動方式とテーブルバイブレータ方式の騒音を測定した。測定した

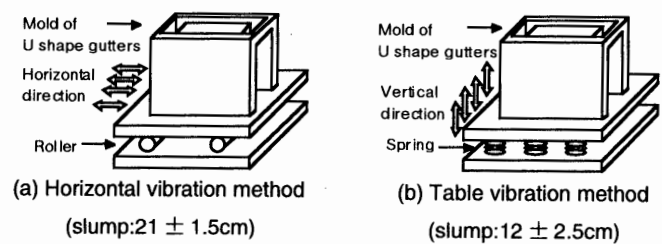


Fig.1 The differences of the horizontal vibration method from table vibration method

2. 低振動数と高振幅の水平振動方式の提案

Fig.1(a)に水平振動方式を、Fig.1(b)にテーブルバイブレータ方式の振動方向の違いの概念図を示す。テーブルバイブレータ方式は型枠

* 名古屋工業大学 大学院生・修士(工学)

** 名古屋工業大学 助教授・工博

*** 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)

**** 前名古屋工業大学 学長・工博

Graduate Student, Dept. of Environmental Technology and Urban Planning, Nagoya Institute of Technology, M. Eng.
Assoc. Prof., Dept. of Environmental Technology and Urban Planning, Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.
Senior Researcher, National Institute for Land and Infrastructure Management, Dr. Eng.
Former President, Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.

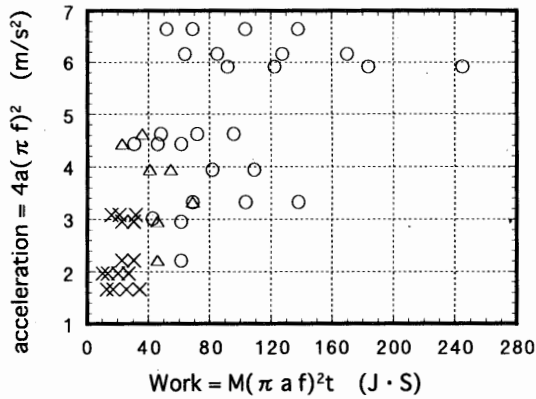


Fig.3 Resulting compaction by using a small mold

さ) × 100 (幅) × 500 (長さ) mm の供試体を水平振動方式で作製する。これは、単純な形の U 形のふたに相当する大きさであり、本研究では前章と区別するために実寸法供試体と呼ぶ^{3~5)}。JIS の U 形のふたは有筋であるが、コンクリートの品質に及ぼす水平振動方式の影響を把握するために、本研究においては無筋の供試体を作製する。Fig.5 に鋼製型枠を示す。打設方法は型枠内を 3 層に分けてフレッシュコンクリートを投入する。型枠の底から約 100mm の高さまでフレッシュコンクリートを投入し、60 秒間型枠を水平方向に振動させる。次に、型枠の底から約 100mm と約 350mm の高さの間までフレッシュコンクリートを投入し、60 秒間水平振動させる。さらに型枠の底から約 350mm と 600mm の高さの間までフレッシュコンクリートを投入し、60 秒間水平振動させる。

一定振動数 0.75Hz, 1.00Hz の実験では、型枠上層部の打設まで一つの振動数を保つ。1.00-0.75Hz の可変振動数の実験では、動力エネルギーの省力化と型枠上部からフレッシュコンクリートの吹きこぼれ防止のために、上層部の打設時は振動数を 0.75Hz に低下させる。一定振動数 0.75Hz, 1.00 Hz と可変振動数 1.00-0.75Hz の条件である振動数、振幅、振動加速度と総仕事量の関係を Table2 に示す。

4.2 コンクリートの作製

コンクリートは、実際にプレキャストコンクリートの製造に用いられる調合とする。骨材の物理的性質を Table3 に示す。コンクリートの調合を Table 4 に示す。普通ポルトランドセメントを使用し、目標空気量は 4.5 ± 1.5% とする。本研究では水平振動方式の低振動数でも、締固め時にフレッシュコンクリートが流動を起こすように、スランプ 21 ± 1.5cm を用いる。実際に使用したフレッシュコンクリートのスランプは 21 ~ 22cm であった。28 日標準養生の円柱供試体 (φ 100 × 200mm) の圧縮強度の平均は 31.3N/mm² であった。

実際のプレキャストコンクリートの製造方法と同様に、実寸法供試体の作製終了からの前置き時間を約 2 時間、蒸気養生を約 3 時間行う。最高温度は 60℃ である。脱型後、圧縮強度と表面気泡測定を行うまで気中養生とする。

4.3 試験方法

(1) 材料分離

水平振動方式により締固められたフレッシュコンクリートの供試体内部の材料分離を調べるために、Fig.5 に示す下、中、上層部の 3 箇所の各層部から締固め後にコンクリートを採取する。まだ固まらないコンクリートの洗い分析試験方法 (JIS A 1112) によって、各層部のコンクリートの単位容積質量を測り Mb (kg/m³) とする⁷⁾。コンクリー

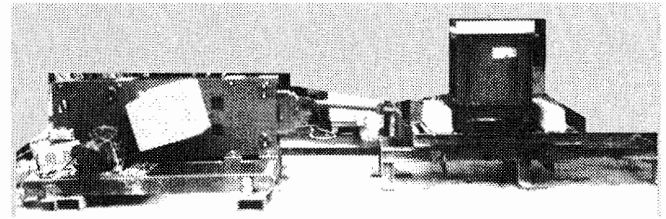


Photo 2 Experimental equipment

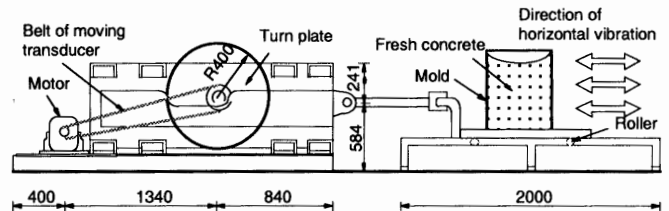


Fig.4 Description of experimental equipment (units: mm)

Table 2 Relationships between acceleration and work by using a large mold

Series	Layer	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)
Fixed frequency 0.75 Hz	Bottom	0.100	0.75	180	11.56	2.22	115.40
	Middle	0.100	0.75	120	28.92	2.22	192.47
	Top	0.100	0.75	60	28.92	2.22	96.23
Fixed frequency 1.00 Hz	Bottom	0.100	1.00	180	11.56	3.94	205.16
	Middle	0.100	1.00	120	28.92	3.94	342.17
	Top	0.100	1.00	60	28.92	3.94	171.08
Variable frequency 1.00-0.75 Hz	Bottom	0.100	1.00	180	11.56	3.94	175.24
	Middle	0.100	1.00	120	28.92	3.94	267.32
	Top	0.100	0.75	60	28.92	2.22	96.23

Table 3 Physical properties of aggregate

	S (fine)	S (coarse)	G (φ 15)	G (φ 25)
Maximum size (mm)	1.2	2.5	15	25
Density (kg/m ³)	Surface dry	2.58	2.67	2.63
	Oven dry	2.55	2.65	2.59
Water absorption (%)	1.51	0.98	1.60	1.25
Bulk density (kg/ℓ)	1.56	1.58	1.58	1.64

Table 4 Mix design of concrete (slump: 21 ± 1.5cm)

W/C (%)	s/a (%)	Unit volume (kg/m ³)				AE agent (g/m ³)	Water reducing agent (g/m ³)		
		W	C	S (coarse)	S (fine)				
48	45	157	327	619	263	283	660	32.7	3270

Notes: S: sand, G: gravel, W: water, C: Cement, a: aggregate, AE: Air Entraining

トを 5mm ふるいを用いてふるい分け、粗骨材とモルタルに分離する。得られた粗骨材を水洗し、表面乾燥飽水状態として質量を量り、単位粗骨材量 Mg (kg/m³) とする。単位モルタル量 Mm (kg/m³) を式 (3) で求める。

$$Mm = Mb - Mg \quad (3)$$

(2) コンクリートコアの圧縮強度の分布

実寸法供試体の下層部から上層部の圧縮強度の分布を調べるために、Fig.6 の様に供試体の下、中、上層部から φ 100mm のコアをドリルで採取する^{7) 8)}。コアの採取方向は、コンクリートの打設方向に直交する方向とする。コアビットの径は 102mm であり、回転数を 500r.p.m. に設定する。供試体の端面を研磨した後、材齢 4 週後のコアの圧縮強度をアムスラー型圧縮試験機で測定する。3 本のコアの平均強度を各層部の圧縮強度とする。

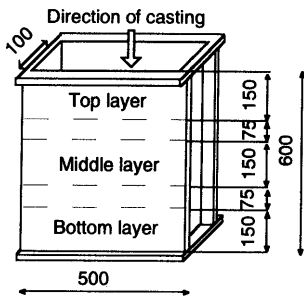


Fig.5 Mold and layer of concrete (units :mm)

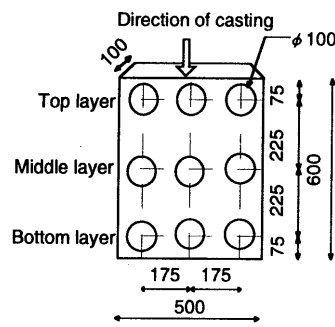


Fig.6 Locations of core (units :mm)

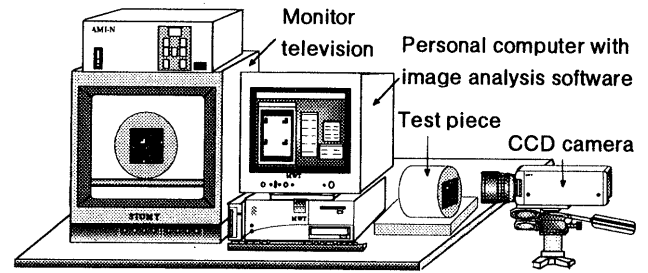


Fig.7 Image analysis equipment

(3) 表面気泡⁹⁾

表面気泡測定装置を Fig.7 に、測定画像処理手順を Photo3 に示す。供試体の下、中、上層部の各層部の3箇所から $\phi 100\text{mm}$ のコンクリートコアを採取する。気泡部を潰さない様に表面に墨汁(黒色)を塗り、気泡部に炭酸カルシウム粉末(白色)を充填する。各コアの $50 \times 50\text{mm}$ の面積の表面気泡数を測定し、3本のコアの合計を各層部の表面気泡数とする。

4.4 実寸法供試体の実験結果及び考察

(1) 材料分離

材料分離の結果を Fig.8 に示す。実寸法供試体の寸法において、一定振動数 0.75Hz と 1.00Hz と可変振動数 $1.00\text{--}0.75\text{Hz}$ の振動数で、単位粗骨材量は上層部ほど減少する傾向がみられ、逆に単位モルタル量は下層部ほど増加する傾向がみられる。下層部から上層部への単位粗骨量と単位モルタル量の差は 100 kg/m^3 程度であった。下層部から上層部のコンクリートの単位容積質量はほぼ同じであった。一定振動数 0.75Hz 、 1.00Hz と可変振動数 $1.00\text{--}0.75\text{Hz}$ 、振幅 100mm 、振動時間 180 秒の条件においては、フレッシュコンクリートに十分な水平振動が与えられかつ過剰な振動が加えられなかったので材料分離は小さいと考えられる^{注2)}。

(2) コンクリートコアの圧縮強度の分布

実寸法供試体から採取したコアの圧縮強度を Fig.9 に示す。一定振動数 1.00Hz は上下層部の強度差は認められなかった。一定振動数 0.75Hz と可変振動数の $1.00\text{--}0.75\text{Hz}$ の供試体の圧縮強度は、下層部から上層部へ行くほど減少した。水平振動方式の供試体のコアの圧縮強度は 25N/mm^2 以上であった^{注3)}。一定振動数 0.75Hz 、 1.00Hz と可変振動数の $1.00\text{--}0.75\text{Hz}$ の供試体の下層部から上層部への圧縮強度の標準偏差はそれぞれ 1.02 、 0.18 、 2.40N/mm^2 であり、下、中、上層部の位置による圧縮強度のばらつきは小さかった。

(3) 表面気泡

水平振動方式の3種類の振動数により作製された硬化後のコンク

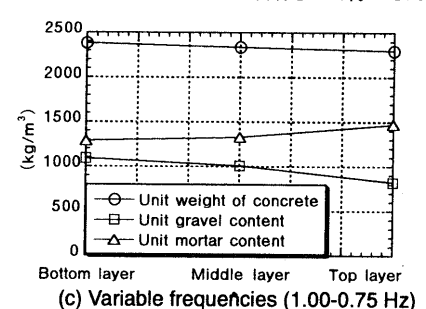
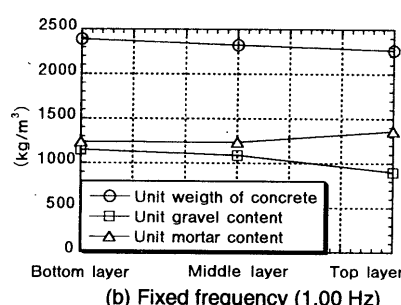
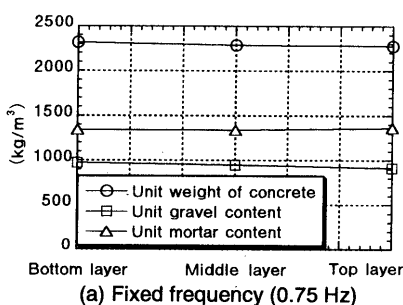
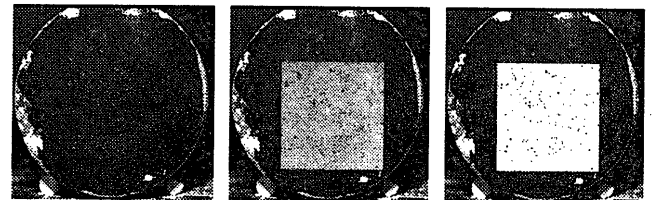


Fig.8 Segregation of material



(a)Recording image (b)Change the shade (c)Evaluated image
Photo 3 Evaluation process by using image analysis

リートの表面気泡の大きさ別の度数を Fig.10 に示す。水平振動方式による締めめは、コンクリートが隔々まで密実に充填し、供試体内にジャンカは発生せず、結果は良好であった。

硬化後のコンクリートの表面は「さらさら」とした触感を有するほど平滑となる。振動数の違いによる硬化後のコンクリートの表面気泡を比較すると、可変振動数 $1.00\text{--}0.75\text{Hz}$ が最もコンクリートの表面気泡が小さく、この度数も少ない^{注4)}。気泡はあるが膜が被って見えないため、コンクリート表面が平滑になっていることが表面の目視観察から分かる。これは、水平方向にフレッシュコンクリートと型枠の面とが接する現象が、フレッシュコンクリート表面を金こてで仕上げる現象と同様な効果をもたらし、この結果表面気泡が隠れたと考えられる。

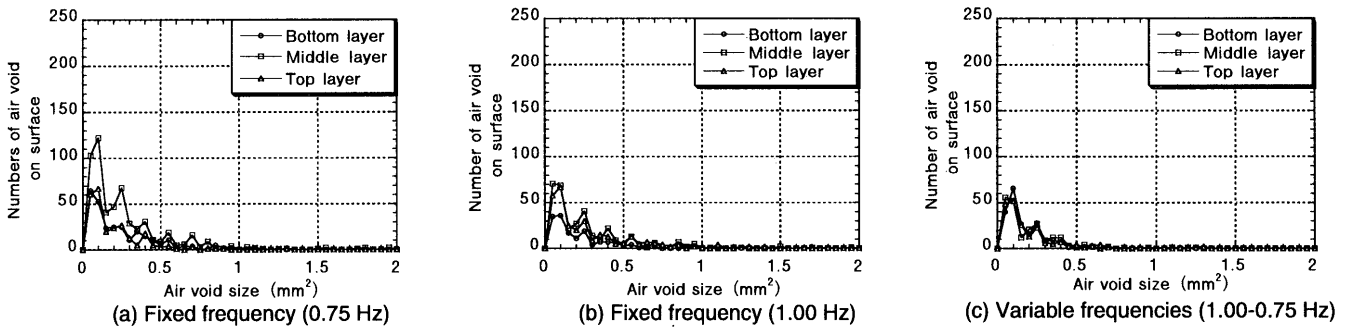
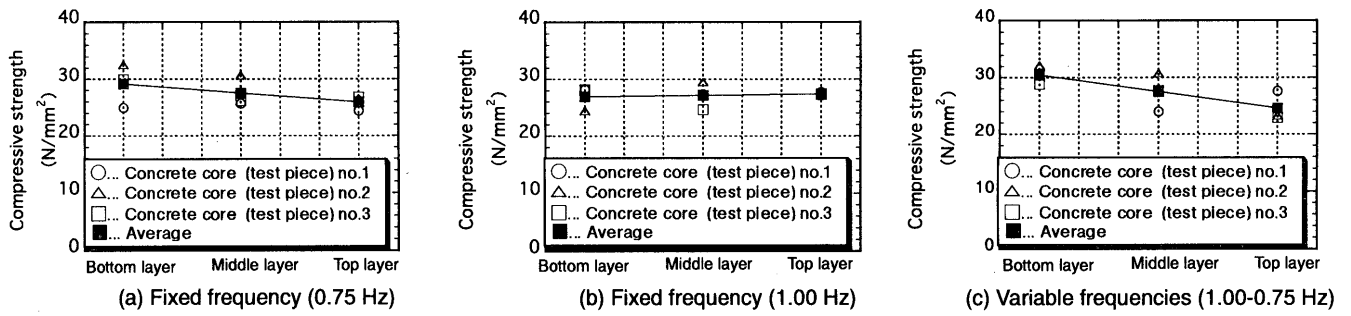
5. 結論

低振動数と高振幅の水平振動方式について以下の結果を得た。

- 1) 測定距離 1m で発生する騒音は 81dB 以下の低騒音であった。
- 2) 振動加速度が 3.0m/s^2 以上かつ総仕事量が $35\text{J} \cdot \text{s}$ 以上の場合には締めめが良好であった。
- 3) 一定振動数 0.75Hz 、 1.00Hz と可変振動数 $1.00\text{--}0.75\text{Hz}$ 、振幅 100mm 、振動時間 180 秒において、材料分離は小さかった。下、中、上層部の位置による圧縮強度のばらつきは小さかった。また硬化後のコンクリートの表面気泡は平滑であった。

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。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) 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第21号, pp.943 ~ 948, 1999.7
- 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, pp.501 ~ 506, The University of Tokushima, 1999.11
- 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) 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
- 7) 加賀谷誠, 徳田弘, 川上洵: 振動締固めによるコンクリートの内部組成と力学的性質の変動について, 第2回コンクリート工学年次講演会, (社)日本コンクリート工学協会, pp.105 ~ 108, 1980.5
- 8) Yip, W.K. and Tam, C.T : Concrete Strength Evaluation Through

the Use of Small Diameter Cores, Magazine of Concrete Research, Vol.40 No.143, pp.99~105, 1988.6

9) 田代侃, 沼田修: 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, 日本建築学会大会学術講演梗概集A, pp.771 ~ 772, 1997.9

注)

- 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) 加速度0.54G, 振動数50Hzのテーブルバイブレータを用い, 水平振動方式の投入方法と同様に, フレッシュコンクリートを3層に分けて600(高さ)×100(幅)×500(長さ)mmの型枠内に投入して, 上下方向の振動で密実に締固めた。使用したコンクリートの調合をTable 5に示す。普通ポルトランドセメントを使用し, 目標空気量は $4.5 \pm 1.5\%$ とし, 目標スランプは $12 \pm 2.5\text{cm}$ である。実際に使用したフレッシュコンクリートのスランプは13cmであった。28日標準養生の円柱供試体 ($\phi 100 \times 200\text{mm}$)の圧縮強度の平均は 32N/mm^2 であった。テーブルバイブレータ方式による材料分離をFig.11 (a)に示す。水平振動方式による材料分離は, テーブルバイブレータの打設方法と比べ同等以下である。
 注3) テーブルバイブレータ方式による実寸法供試体から採取したコアの圧縮強度をFig.11 (b)に示す。水平振動方式による圧縮強度はテーブルバイブレータの打設方法と比較すると同等以上である。
 注4) テーブルバイブレータ方式による硬化後のコンクリートの表面気泡の大きさ別の度数をFig.11 (c)に示す。テーブルバイブレータ方式と比較しても, 水平振動方式による供試体表面は特に平滑であった。

Table 5 Mix design of concrete (slump: $12 \pm 2.5\text{cm}$)

W/C (%)	s/a (%)	Unit volume (kg/m^3)			AE agent (g/m^3)	Water reducing agent (g/m^3)		
		W	C	S (coarse)				
48	46	132	275	628	267	1038	27.5	2750

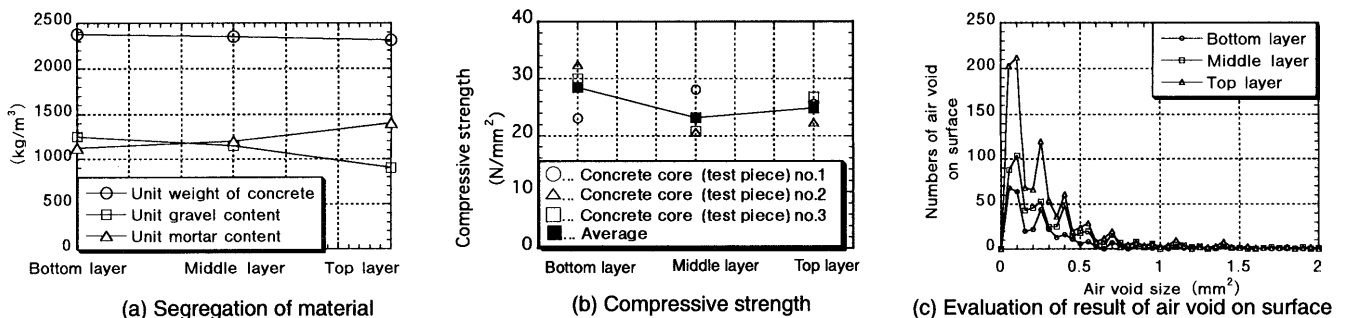


Fig.11 Table vibration method (slump: $12 \pm 2.5\text{cm}$)