

低騒音の水平振動方式による軽量コンクリートの締固め効果

COMPACTION OF LIGHTWEIGHT CONCRETE BY USING HORIZONTAL VIBRATION

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 form vibrators for concrete generate 91 dB of noise during the compaction process and the noise spoils the comfortable sound environment around the factory. When the horizontal large amplitude and low frequency are used to shake the mold, it is possible to control less noise level than 81 dB. This method is referred to as the horizontal vibration method and this method has the ability to replace the form vibrators for concrete in the manufacturing precast concrete.

In this study the lightweight concrete is tried to be compacted in the low level noise environment by using horizontal vibration method. This study indicates that the good compaction can be attained and the segregation of material can be controlled by the horizontal vibration method. Also, the horizontal vibration method gives the flexural strength of the hardened concrete similar as the form vibrators for concrete.

Keywords : compaction, horizontal vibration, frequency, lightweight concrete, segregation of material, flexural strength

締固め, 水平振動, 振動数, 軽量コンクリート, 材料分離, 曲げ強度

1. はじめに

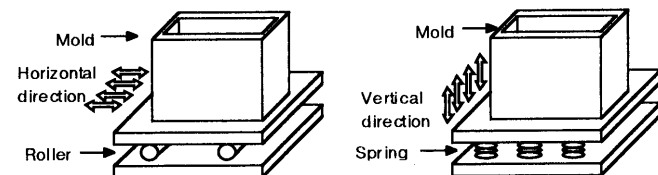
フレッシュコンクリートを型枠内に良好かつ密実に締固めることは重要である。低振幅かつ高振動数を用いたコンクリート型枠振動機 (JIS A 8611) はコンクリートの締固めに広く適用されている。この方式はコンクリートの密実性に大きな効果を与え、締固めが良くなるが、締固め時に 90dB 以上の騒音を発生する。その騒音は作業者の労働安全衛生上の問題や、工場の近隣住民の騒音環境悪化の問題が起きている。そこで筆者らは、高振幅かつ低振動数を用いて低騒音でコンクリートを締固める水平振動方式を提案した。そして普通コンクリートのフレッシュコンクリートを締固めるコンクリート二次製品の製造の実用性を検討してきた^{1)~7)}。水平振動方式は締固め時 81dB 以下の低騒音である。

また最近になって建物の軽量化の要請により、人工軽量骨材を用いた軽量 PCa 部材の開発・研究が多く行われている⁸⁾⁹⁾。そこで本研究では低騒音環境下において軽量コンクリート二次製品を製造するために、提案した低騒音の水平振動方式が軽量コンクリートの締固めに適用できる可能性を実験的に検討する。そして、締固めを評価する上で重要な性能である軽量コンクリートの材料分離¹⁰⁾¹¹⁾、曲げ強度について計測する。

2. 水平振動方式とコンクリート型枠振動機の振動の違い

Fig.1(a)に水平振動方式、Fig.1(b)にコンクリート型枠振動機の概念図を示す。コンクリート型枠振動機は型枠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、コンクリート型枠振動機の性能の振動数は 47.5Hz 以上であり、振幅は 0.5mm 以上である。振動数 60Hz の時、測定距離 1m で発生する騒音は 90dB であった。

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幅と振動数を、高振幅と低振動数と本研究では定義する。測定点と装置との最短距離



(a) Horizontal vibration method (b) Form vibrators for concrete
 Fig.1 The differences of the horizontal vibration method from form vibrators for concrete

* 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)

**** 名古屋工業大学 前学長・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.

1mの測定で、高振幅と低振動数の水平振動方式の騒音は81dBに低減可能となった^{注1)}。

3. 実験方法

3.1 軽量コンクリートの調合

PCa部材の製造において、振動締固めの過不良がコンクリートの品質に特に影響しやすいと考えられるスランブを実験対象とする。水平振動方式が軽量コンクリートのフレッシュコンクリートの締固めに応用できるか否かを検討するために、スランブ12±2.5cmとスランブ18±2.5cmを用いて打設し、実験する。

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。軽量コンクリートの調合を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。いずれの計画調合においても強度は24N/mm²である。

3.2 水平振動方式による供試体の作製

水平振動方式の実験装置をFig.2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として、円盤を回転させて水平方向の往復運動に変換するものである。100(高さ)×100(幅)×400(長さ)mmの型枠内に軽量コンクリートの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。

振動締固めにおいては振動加速度と振動時間が必要な要素である。振動加速度と振動時間を掛け過ぎると、材料分離は生じやすくなる。逆に、振動加速度及び振動時間が不十分な場合はコンクリートの締固めに不具合を生じ、ジャンカが発生する。実験で検討する振動数は0.5Hz, 0.75Hz, 1.00Hz, 1.25Hz, 振幅は0.050m (記号AとE), 0.075m (記号BとF), 0.100m (記号CとG), 0.150m (記号DとH) とし、振動時間は45, 60, 90, 120秒とする。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性の可否を評価する。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¹²⁾を用いる。

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

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

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=1/s)
- a : 振幅(m) t : 振動時間(s)

3.3 コンクリート型枠振動機による供試体の作製

電圧200V、出力400W、振動数3000/3600VPMのコンクリート型枠振動機を使用する。水平振動方式とコンクリート型枠振動機を用いた供試体の材料分離と曲げ強度を比較、検討する。

3.4 材料分離試験

振動締固めの際における材料分離に及ぼす影響を把握・検討するために、水平振動方式とコンクリート型枠振動機で作製した供試体を切断した。Fig.3に示すように、製造された供試体の切断面2カ所において、上層部の粗骨材個数 A_1 , A_2 と下層部の粗骨材個数 B_1 , B_2 を外観目視調査によって測定し、 A_1 , A_2 の平均値Aを B_1 , B_2 の平均値Bで除した材料分離率の値A/Bを求める。この材料分離率(A/B)を用いて、材料分離に対する抵抗性を評価する。

3.5 曲げ強度試験

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 cm | W/C (%) | s/a (%) | Unit volume (kg/m ³) | | | | AE agent (g/m ³) |
|----------|---------|---------|----------------------------------|-----|------------------|----------------|------------------------------|
| | | | W | C | Coarse aggregate | Fine aggregate | |
| 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: air entrained

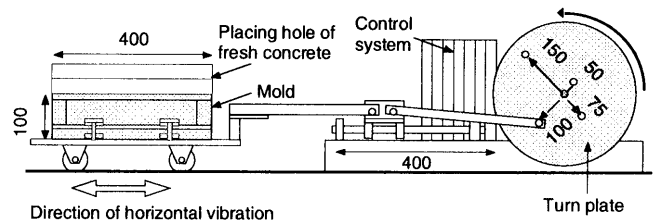


Fig.2 Experimental equipment of horizontal vibration (dimensions : mm)

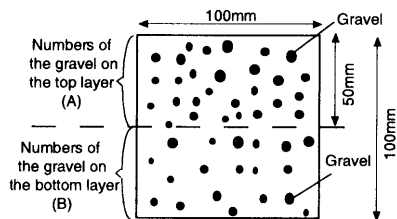


Fig.3 Segregation of material (Evaluated by visualization)

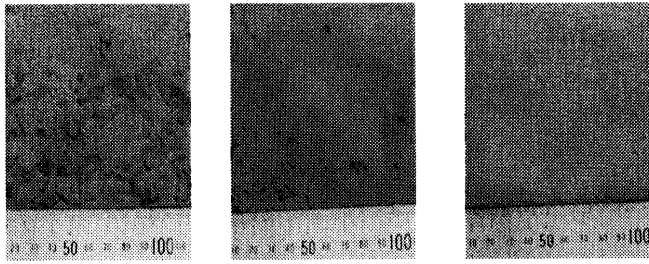
水平振動方式とコンクリート型枠振動機によりそれぞれ締固めを行い、24-48時間現場封かん養生を行った後で、型枠を取り外す。その後、材齢28日に達するまで標準養生を行いJIS A 1106に従って、曲げ強度を測定する。作製した時の現場調査の違いにより強度のばらつきが考えられるため、圧縮強度との関係も考慮に入れ、水平振動方式とコンクリート型枠振動機で製造された供試体の曲げ強度 (f_b) と同時にJIS A 1132に準じて手詰めで作製した円柱供試体($\phi 100 \times 200$ mm)の圧縮強度 (f_c) に対する比率 (f_b/f_c) の関連性を考察する。

4. 実験結果と考察

4.1 水平振動方式による供試体の作製

水平振動方式はコンクリートの締固め結果の可否に及ぼす影響を把握するために、Photo1に示すように締固め状態を3段階に分類した。外観目視調査により、製品として通用しないもの (Photo1.a), 供試体の角に小さいジャンカができるもの (Photo1.b), 製品として通用するもの (Photo1.c) の3段階で評価する。Table3とTable4に示すように、良好な締固めができ、製品として通用する供試体を (○印) で印す。

スランブ12±2.5cmの締固め結果をTable3に示す。実際のスランブの平均は12.7cmであり、空気量の平均は5.6%であった。振幅0.050mにおいては振動数1.00Hzまではフレッシュコンクリートの



(a) Poor (b) Fair (c) Good
Photo 1 Conditions of compaction
(Evaluated by visualization)

Table 3 Relationships between acceleration, work, and the resulting compaction (slump $12 \pm 2.5\text{cm}$)

| Series | No | Amplitude a (m) | frequency f (Hz=1/s) | time t (s) | Concrete M (kg) | acceleration $4a(\pi f)^2$ (m/s^2) | Work $M(\pi a f)^2 t$ ($\text{J} \cdot \text{s}$) | Result |
|--------|-------|-----------------|----------------------|------------|-----------------|---|---|--------|
| A | A-1 | 0.050 | 1.25 | 45 | 5.87 | 3.08 | 10.17 | ○ |
| | A-2 | 0.050 | 1.25 | 60 | 5.87 | 3.08 | 13.56 | ○ |
| | A-3 | 0.050 | 1.25 | 90 | 5.87 | 3.08 | 20.34 | ○ |
| | A-4 | 0.050 | 1.25 | 120 | 5.87 | 3.08 | 27.12 | ○ |
| B | B-1 | 0.075 | 1.25 | 45 | 5.87 | 4.62 | 22.88 | ○ |
| | B-2 | 0.075 | 1.25 | 60 | 5.87 | 4.62 | 30.51 | ○ |
| | B-3 | 0.075 | 1.25 | 90 | 5.87 | 4.62 | 45.77 | ○ |
| | B-4 | 0.075 | 1.25 | 120 | 5.87 | 4.62 | 61.02 | ○ |
| C | C-1-1 | 0.100 | 1.00 | 45 | 5.87 | 3.94 | 26.04 | ○ |
| | C-1-2 | 0.100 | 1.00 | 60 | 5.87 | 3.94 | 34.71 | ○ |
| | C-1-3 | 0.100 | 1.00 | 90 | 5.87 | 3.94 | 52.07 | ○ |
| | C-1-4 | 0.100 | 1.00 | 120 | 5.87 | 3.94 | 69.43 | ○ |
| | C-2-1 | 0.100 | 1.25 | 45 | 5.87 | 6.16 | 40.68 | ○ |
| | C-2-2 | 0.100 | 1.25 | 60 | 5.87 | 6.16 | 54.24 | ○ |
| | C-2-3 | 0.100 | 1.25 | 90 | 5.87 | 6.16 | 81.36 | ○ |
| | C-2-4 | 0.100 | 1.25 | 120 | 5.87 | 6.16 | 108.48 | ○ |
| D | D-1-1 | 0.150 | 0.75 | 45 | 5.87 | 3.33 | 32.95 | ○ |
| | D-1-2 | 0.150 | 0.75 | 60 | 5.87 | 3.33 | 43.93 | ○ |
| | D-1-3 | 0.150 | 0.75 | 90 | 5.87 | 3.33 | 65.90 | ○ |
| | D-1-4 | 0.150 | 0.75 | 120 | 5.87 | 3.33 | 87.87 | ○ |
| | D-2-1 | 0.150 | 1.00 | 45 | 5.87 | 5.92 | 58.58 | ○ |
| | D-2-2 | 0.150 | 1.00 | 60 | 5.87 | 5.92 | 78.11 | ○ |
| | D-2-3 | 0.150 | 1.00 | 90 | 5.87 | 5.92 | 117.16 | ○ |
| | D-2-4 | 0.150 | 1.00 | 120 | 5.87 | 5.92 | 156.21 | ○ |

Note: ○ ...condition of compaction is good

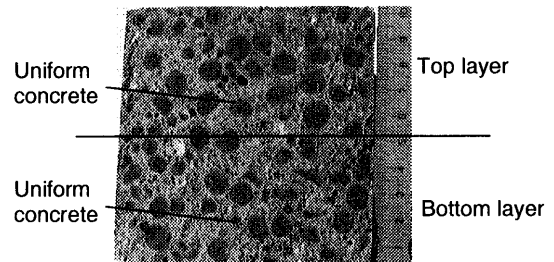
締固め結果が悪いが、振動数 1.25Hz (振動加速度 3.08m/s^2 , 総仕事量 $10.17\text{J} \cdot \text{s}$ 以上) にすると、軽量コンクリートは型枠の隅部まで密実に充填することができ、締固め結果がよくなる。振幅 0.075m においては振幅 0.050m の締固めパターンと同様に、振動数 1.00Hz までの締固めをしても結果は不良であるが、振動数を 1.25Hz (振動加速度 4.62m/s^2 , 総仕事量 $22.88\text{J} \cdot \text{s}$ 以上) にすると締固め結果がよくなる。振幅 0.100m において振動数 1.00Hz (振動加速度 3.94m/s^2 , 総仕事量 $26.04\text{J} \cdot \text{s}$ 以上) にすると、締固め結果がよくなる。振幅 0.150m において振動数 0.75Hz (振動加速度 3.33m/s^2 , 総仕事量 $32.95\text{J} \cdot \text{s}$ 以上) 振動すると、締固め結果がよくなる。

スランプ $18 \pm 2.5\text{cm}$ の締固め結果を Table 4 に示す。実際のスランプの平均は 18.5cm であり、空気量の平均は 5.5% であった。振幅 0.050m と振動数 1.25Hz の組み合わせ (振動加速度 3.08m/s^2 , 総仕事量 $10.29\text{J} \cdot \text{s}$ 以上) では供試体内にジャンカは発生せず、締固め結果がよくなる。振幅 0.075m において 1.00Hz (振動加速度 2.96m/s^2 , 総仕事量 $14.82\text{J} \cdot \text{s}$ 以上) で振動すると締固め結果がよくなる。振幅 0.100m においては振幅 0.075m との締固めパターンと同様に、フレッシュコンクリートを 1.00Hz (振動加速度 3.94m/s^2 , 総仕事量 $26.35\text{J} \cdot \text{s}$ 以上) に振動すると締固め結果がよくなる。振幅 0.150m においてはフレッシュコンクリートを振動数 0.75Hz 以下で締固めると、角に小さいジャンカが生じるが、0.75Hz 以上 (振動加速度 3.33m/s^2 , 総仕事量 $33.36\text{J} \cdot \text{s}$ 以上) で振動すると、締固め結果が

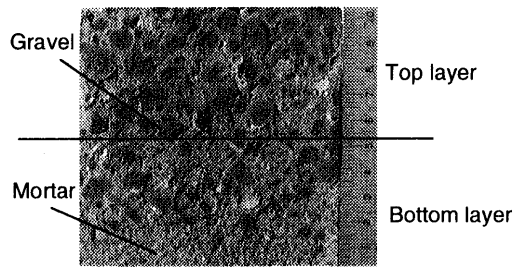
Table 4 Relationships between acceleration, work, and the resulting compaction (slump $18 \pm 2.5\text{cm}$)

| Series | No. | Amplitude a (m) | frequency f (Hz=1/s) | time t (s) | Concrete M (kg) | acceleration $4a(\pi f)^2$ (m/s^2) | Work $M(\pi a f)^2 t$ ($\text{J} \cdot \text{s}$) | Result |
|--------|-------|-----------------|----------------------|------------|-----------------|---|---|--------|
| E | E-1 | 0.050 | 1.25 | 45 | 5.94 | 3.08 | 10.29 | ○ |
| | E-2 | 0.050 | 1.25 | 60 | 5.94 | 3.08 | 13.73 | ○ |
| | E-3 | 0.050 | 1.25 | 90 | 5.94 | 3.08 | 20.59 | ○ |
| | E-4 | 0.050 | 1.25 | 120 | 5.94 | 3.08 | 27.45 | ○ |
| F | F-1-1 | 0.075 | 1.00 | 45 | 5.94 | 2.96 | 14.82 | ○ |
| | F-1-2 | 0.075 | 1.00 | 60 | 5.94 | 2.96 | 19.77 | ○ |
| | F-1-3 | 0.075 | 1.00 | 90 | 5.94 | 2.96 | 29.65 | ○ |
| | F-1-4 | 0.075 | 1.00 | 120 | 5.94 | 2.96 | 39.53 | ○ |
| | F-2-1 | 0.075 | 1.25 | 45 | 5.94 | 4.62 | 23.16 | ○ |
| | F-2-2 | 0.075 | 1.25 | 60 | 5.94 | 4.62 | 30.88 | ○ |
| | F-2-3 | 0.075 | 1.25 | 90 | 5.94 | 4.62 | 46.33 | ○ |
| | F-2-4 | 0.075 | 1.25 | 120 | 5.94 | 4.62 | 61.77 | ○ |
| G | G-1-1 | 0.100 | 1.00 | 45 | 5.94 | 3.94 | 26.35 | ○ |
| | G-2-2 | 0.100 | 1.00 | 60 | 5.94 | 3.94 | 35.14 | ○ |
| | G-2-3 | 0.100 | 1.00 | 90 | 5.94 | 3.94 | 52.71 | ○ |
| | G-2-4 | 0.100 | 1.00 | 120 | 5.94 | 3.94 | 70.28 | ○ |
| | G-2-1 | 0.100 | 1.25 | 45 | 5.94 | 6.16 | 41.18 | ○ |
| | G-2-2 | 0.100 | 1.25 | 60 | 5.94 | 6.16 | 54.91 | ○ |
| | G-2-3 | 0.100 | 1.25 | 90 | 5.94 | 6.16 | 82.36 | ○ |
| | G-2-4 | 0.100 | 1.25 | 120 | 5.94 | 6.16 | 109.81 | ○ |
| H | H-1-1 | 0.150 | 0.75 | 45 | 5.94 | 3.33 | 33.36 | ○ |
| | H-1-2 | 0.150 | 0.75 | 60 | 5.94 | 3.33 | 44.47 | ○ |
| | H-1-3 | 0.150 | 0.75 | 90 | 5.94 | 3.33 | 66.71 | ○ |
| | H-1-4 | 0.150 | 0.75 | 120 | 5.94 | 3.33 | 88.95 | ○ |
| | H-2-1 | 0.150 | 1.00 | 45 | 5.94 | 5.92 | 59.30 | ○ |
| | H-2-2 | 0.150 | 1.00 | 60 | 5.94 | 5.92 | 79.06 | ○ |
| | H-2-3 | 0.150 | 1.00 | 90 | 5.94 | 5.92 | 118.60 | ○ |
| | H-2-4 | 0.150 | 1.00 | 120 | 5.94 | 5.92 | 158.13 | ○ |

Note: ○ ...condition of compaction is good



(a) Sample by the horizontal vibration method



(b) Form vibrators for concrete

Photo 2 Cross section of specimen of lightweigh concrete
(Evaluation of segregation material)

よくなる。

Table 3 と Table 4 により、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。いずれのスランプでも水平振動方式で製造された供試体の締固め結果が良好である。

4.2 材料分離試験

一部の材料分離試験結果について、水平振動方式の供試体を Photo 2 (a) に、コンクリート振動機の供試体を Photo 2 (b) に示

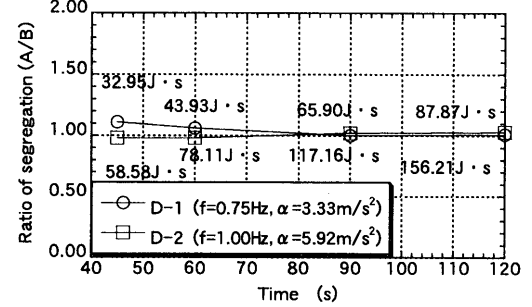
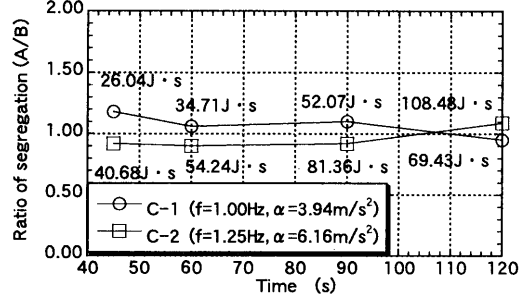
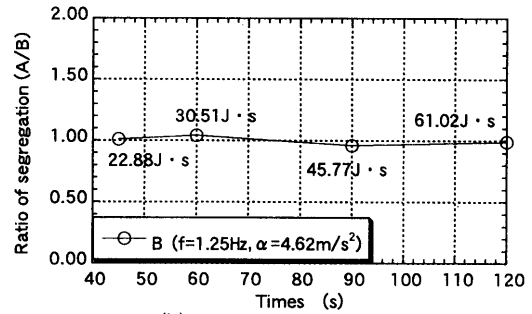
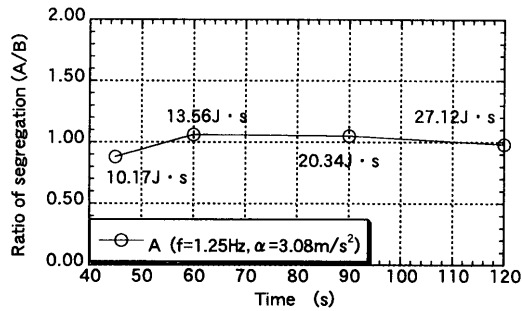


Fig.4 Segregation of material (slump 12 ± 2.5 cm)

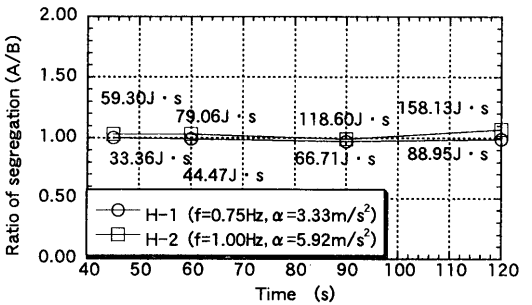
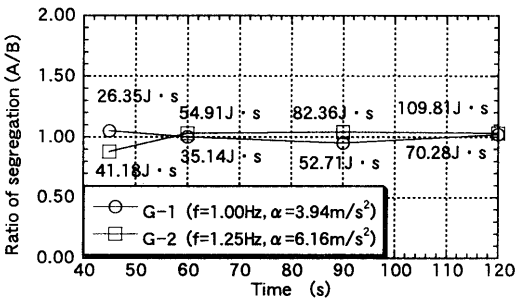
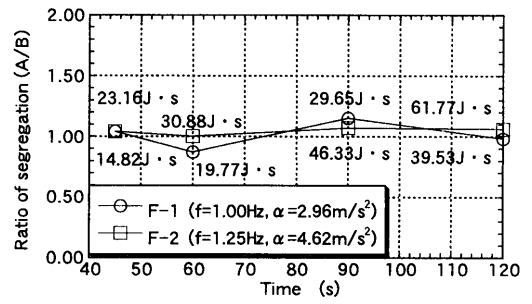
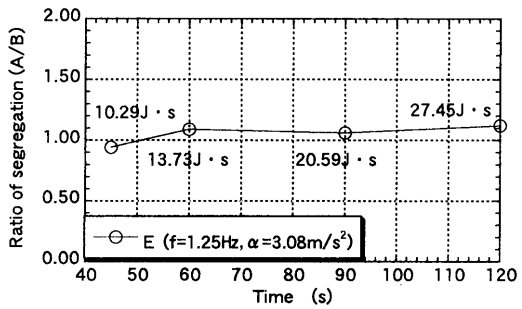


Fig.5 Segregation of material (slump 18 ± 2.5 cm)

す。水平振動方式で製造された供試体シリーズにおいて、均一なコンクリートが得られる。コンクリート型枠振動機は締固め時間を45秒間に短くしても、人工軽量粗骨材が浮上しモルタルが底面に沈下する材料分離の傾向が見られる。

水平振動方式の振幅別におけるスランプ 12 ± 2.5 cmの材料分離試験の結果をFig.4に、図中の数値は総仕事量(単位:J·s)を表す。材料分離率(A/B)は0.85 - 1.18であり、平均値は1.01である。45 - 120秒での締固めについて、水平振動方式の振動条件(振幅a, 振動数f, 振動時間t)即ち振動加速度と総仕事量を大きくすると材料分離が小さくなる傾向が見られる。

振幅別におけるスランプ 18 ± 2.5 cmの材料分離試験の結果を

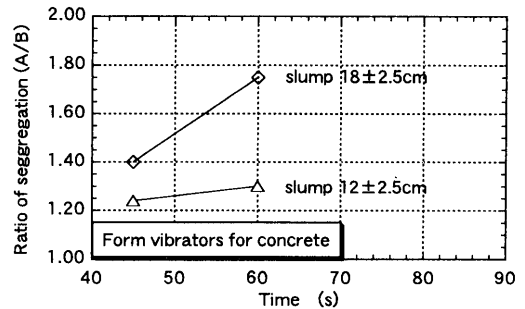


Fig.6 Segregation of material

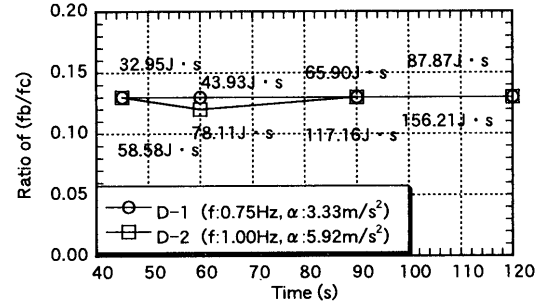
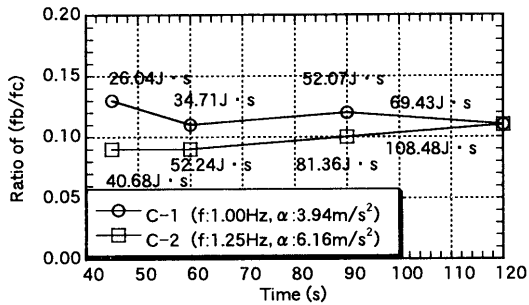
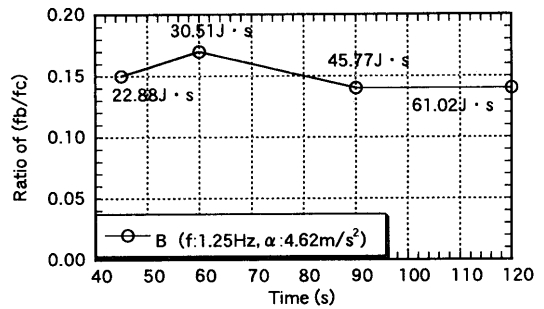
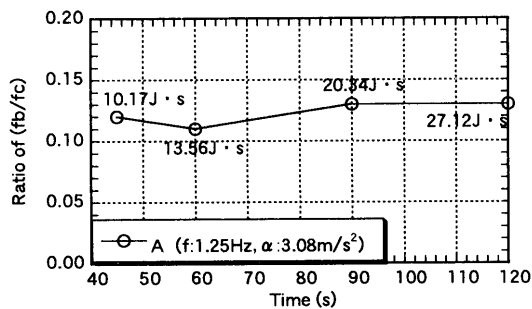


Fig.7 Ratio of flexural strength with compressive strength (slump 12 ± 2.5 cm)

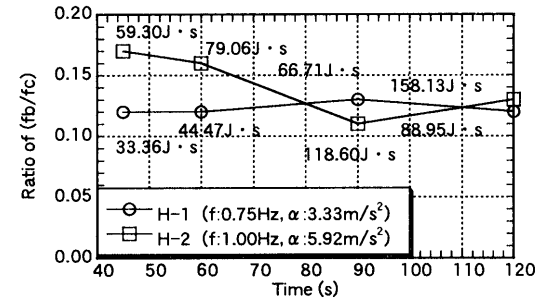
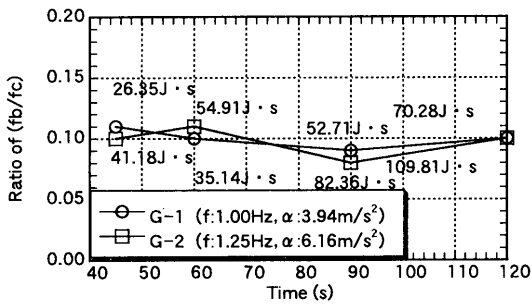
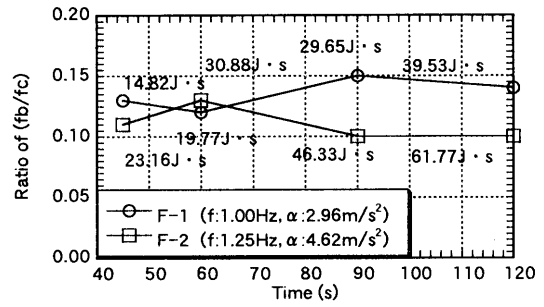
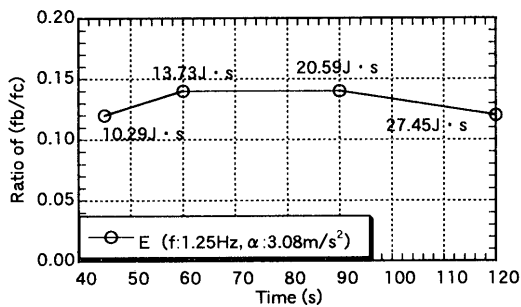


Fig.8 Ratio of flexural strength with compressive strength (slump 18 ± 2.5 cm)

Fig.5に示す。材料分離率 (A/B) は 0.87 - 1.15 であり、平均値は 1.02 である。どの供試体シリーズにおいても、水平振動方式の振動条件 (振幅 a, 振動数 f, 振動時間 t), 即ち振動加速度と総仕事量の大きさによって材料分離が促進する影響は見られない。むしろ、振動時間が長くなるにつれて、材料分離率 (A/B) の値が 1.0 付近に収束する傾向が見られる。

コンクリート型枠振動機で製造された供試体の材料分離試験結果を Fig.6 に示す。45 秒間締固めを行ったところ、スランプ 12 ± 2.5 cm では (A/B)=1.2, スランプ 18 ± 2.5 cm は (A/B)=1.4 となる。締固めを 60 秒間行ったところ、スランプ 12 ± 2.5 cm では (A/B)=1.3, スランプ 18 ± 2.5 cm は (A/B)=1.7 となり、材料分離が著しく進ん

でいた。

水平振動方式により締固められた軽量コンクリートはコンクリート型枠振動機を用いて締固められた場合に比較して、材料分離が生じにくく、均質かつ密実な締固めが得られる。これは締固めの振動方向が重力の作用には関係ない水平方向の慣性力の影響であるためと考えられる。

4.3 曲げ強度試験

水平振動方式により締固められたコンクリートの外観目視調査による締固め評価が「製品として通用するもの」(本研究では○と表記する)であっても、管理強度においては、強度のばらつきが発生すると考えられる。そこで、より最適な水平振動条件を得るために、

fb/fc (圧縮強度に対する曲げ強度の比率) を測定して、コンクリートの強度に及ぼす水平振動条件 (振幅 a, 振動数 f, 振動時間 t) の影響を把握・検討する。

水平振動方式で製造された供試体の圧縮強度に対する曲げ強度の比率 (fb/fc) をスランブごとにそれぞれ Fig.7 と Fig.8 に示す。図中の値は総仕事量 (単位: J・s) を表す。

スランブ 12 ± 2.5 cm の調査 (供試体シリーズ A - D) における標準養生円柱供試体の圧縮強度は平均 26.10 N/mm², 標準偏差 2.08 N/mm² であり, スランブ 18 ± 2.5 cm の調査 (供試体シリーズ E - H) における標準養生円柱供試体の圧縮強度は平均 28.35 N/mm², 標準偏差は 2.33 N/mm² である。

供試体シリーズ A - D においては, 曲げ強度の平均は 3.22 N/mm², 標準偏差は 0.55 N/mm² であり, 曲げ強度の圧縮強度に対する比率 (fb/fc) は平均 0.12, 標準偏差 0.02 となった。また, 振動条件 (振幅 a, 振動数 f, 振動時間 t), 即ち振動加速度と総仕事量の増加とともに曲げ強度の圧縮強度に対する比率 (fb/fc) は一定の値に収束している。

一方, 供試体シリーズ E - H においても振動時間の経過により, 曲げ強度の圧縮強度に対する比率 (fb/fc) が一定の値に収束する傾向が見られる。曲げ強度の平均は 3.36 N/mm², 標準偏差 0.46 N/mm² であり, 曲げ強度の圧縮強度に対する比率 (fb/fc) は平均 0.12, 標準偏差 0.02 となった。

コンクリート型枠振動機で製造された供試体の圧縮強度に対する曲げ強度の比率 (fb/fc) を Fig.9 に示す。45 秒間締固めを行ったところ, スランブ 12 ± 2.5 cm では (fb/fc) = 0.10, スランブ 18 ± 2.5 cm では (fb/fc) = 0.14 となる。締固めを 60 秒間行ったところ, スランブ 12 ± 2.5 cm では (fb/fc) = 0.10, スランブ 18 ± 2.5 cm では (fb/fc) = 0.15 となった。

水平振動方式の供試体の圧縮強度に対する曲げ強度の比率 (fb/fc) は, 0.08 - 0.17 の範囲に収まり, 標準偏差が 0.02 であることから, 安定した強度が得られたといえる。また, 水平振動方式で締固められた軽量コンクリートは, コンクリート型枠振動機の締固めで作製された場合の圧縮強度に対する曲げ強度の比率と同等と考えられる。

5. 結論

低騒音の水平振動方式による人工軽量骨材を用いた軽量コンクリートの締固め効果を検討した。外観目視調査により締固めが良好となった供試体において振動条件 (振幅 a, 振動数 f, 振動時間 t) 別に, 材料分離に対する抵抗性, 曲げ強度を調べた。また, これらを 2 種類のスランブにおいて比較・検討を行った結果, 以下のことが判った。

- (1) 低騒音環境下において水平振動方式が軽量コンクリートの締固めに適用できる可能性を見いだした。
- (2) 軽量コンクリートを水平振動方式により締固めを行うと, 人工軽量粗骨材が上層部に浮き上がるような材料分離は生じにくい。
- (3) 水平振動方式により締固められた供試体の圧縮強度に対する曲げ強度の比率は, 従来の締固め方式であるコンクリート型枠振動機による比率と同等である。
- (4) 外観目視調査により締固めが良好となった供試体においては, スランブ 12 ± 2.5 cm, 18 ± 2.5 cm の違いは, 材料分離に対する抵抗性

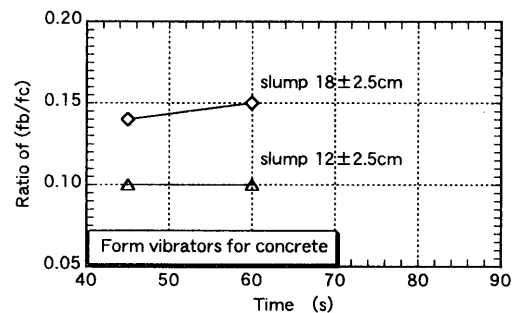


Fig.9 Ratio of flexural strength with compressive strength と曲げ強度に大きな影響を与えない。

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) 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圧縮強度に与える影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A, pp.665 - 666, 2000.9
- 7) M.W. チャロンゲ, 河辺伸二, 武藤正樹, 岡島達雄, 堀貴雄: 高振幅と低振動数との水平振動方式による軽量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.1 - 4, 2001.2
- 8) 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関するシンポジウム, (社) 日本コンクリート工学協会, 2000.8
- 9) 高性能軽量コンクリート研究委員会: 報告書 (軽量骨材および軽量コンクリートの沿革と動向・軽量骨材の原料および製造方法とその性能・軽量骨材および軽量コンクリートの性能・軽量コンクリートの構造性能・軽量コンクリートの課題と展望), (社) 日本コンクリート工学協会, 2000.8
- 10) 加賀谷誠, 徳田弘, 磯崎真一, 庄谷政美: 振動締固めによる軽量コンクリートの材料分離に関する 2, 3 の実験的考察, セメント技術年報 No.38 pp.246 - 249, 1984.5
- 11) 中村敦士, 岡本亨久, 榎木隆, 上野雅之: 軽量コンクリートの配合条件が締め固め時の材料分離性状に及ぼす影響, 土木学会第54回年次学術講演会論文集第V部門, pp.296 - 297, 1999.9
- 12) 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

注)

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