

4. 新しい振動締め機の開発

前田建設工業(株)：*小川 朗二・渡部 正・山田 一守

1. まえがき

現在、RCDコンクリートダム、ロックフィルダム、道路盛土等の締め作業には、振動ローラ、振動コンパクタ等の振動を利用した機械が使用されている。これら締め機械の起振方式は、一般に回転軸に偏心体を直接取りつけ、軸に回転運動を与えることで振動を発生させる一軸偏心式か、二軸偏心式かのいずれかである。いずれにしてもこれら振動機械の振動波形は、一種類の振動数から得られる正弦波である。一方、ポーランドのK.H. Eymannは、フレッシュコンクリートをより強力に締める方法としてパルス波を利用することを考えた。本報告は、このパルス振動の発生原理と、パルス振動と正弦波振動を利用し、振動締め実験を行った結果の一部について述べたものである。

2. パルス振動

2.1. パルス振動の原理

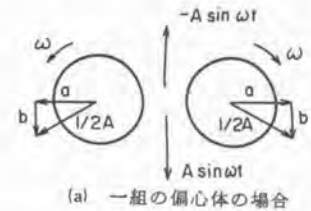
パルス波とは、多数の正弦波を重ね合わせることによって得られる質量を伴った衝撃力である。この衝撃力は急激にあらわれかつ短時間のうちに作用する大きな力で、数組の偏心体の遠心力が一方向に集中した場合に生じる。

図-1(a)は、一組の偏心体が一定の角速度 ω で互いに反対方向に回転する状況を示したものである。偏心体の遠心力 $1/2 A$ の垂直成分 b は集積されるが、水平成分 a は互いに逆向きで打ち消される。これを式では、

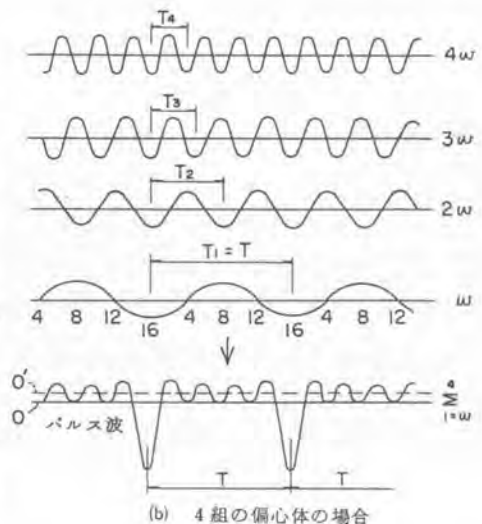
$$P = 2b = A \sin \omega t \quad \dots \dots \dots (1)$$

と表わされる。ここで P は垂直方向に集積された力であり、 A は遠心力である。図-1(b)は、4組の正弦波を重ねることによってパルス波を発生させる原理を示したものである。パルス波の周期は、一番遅く回転する偏心体の一回転に等しい。パルス波を発生させるには、次の3つの条件を満たしていなくてはならない。

- (1) 偏心体に回転運動を与える前に、全ての偏心体を所望のパルス方向に合わせて固定する。
- (2) 対をなす偏心体は、互いに異なった速度で回転運動をし、それが互いに連続した整数になるようにする。
- (3) 全ての偏心体の遠心力の大きさを等しくする。



(a) 一組の偏心体の場合



(b) 4組の偏心体の場合

図-1 パルス波発生原理

2.2 パルス振動発生方法の一例

図-2は、パルス振動発生方法の一例を示したものである。この方法は、遊星歯車に偏心体を取り付け、固定した太陽歯車の周りを回転させることで、偏心体に自転、公転運動を与え、パルス振動を得る方法である。このパルス振動を発生させる原理について以下に述べる。

図-3は、半径 a の遊星歯車が、半径 $2a$ の固定された太陽歯車の周りを角速度 ω で回転している状況を示したものである。遊星歯車には偏心量 r 、偏心体質量 m なるものが取り付けられている。この偏心体は、太陽歯車の中心 O 周りに公転し、かつ遊星歯車の中心 P 周りに自転運動を行う。この運動によって発生する慣性力が振動源となる。時刻 $t = 0$ において P の位置にいる遊星歯車の中心は、時刻 t において P' に移動する。また偏心体の重心 G は、この間に G' に移動する。遊星歯車と太陽歯車の半径比が $1 : 2$ であるから G は P の周りを 2θ ($=2\omega t$) だけ回転する。ところが G の回転軸である P もまた、太陽歯車の中心 O を中心として θ だけ回転していることを考慮すれば、 G は X 軸に対して 3θ 回転することになる。 O を原点とし、時刻 t における偏心体の中心 G' の座標は、次式で表わされる。

$$x = 3a \cos \omega t + r \cos 3\omega t \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$y = 3a \sin \omega t + r \sin 3\omega t \quad \dots\dots\dots (3)$$

この運動によって発生する慣性力は、

$$F_x = 3ma\omega^2 \cos \omega t + 9mr\omega^2 \cos 3\omega t \quad \dots\dots (4)$$

$$F_y = 3ma\omega^2 \sin \omega t + 9mr\omega^2 \sin 3\omega t \quad \dots\dots (5)$$

となる。 X 軸方向の慣性力 F_x について考えると、(4)式から F_x は、調和振動の θ 成分と 3θ 成分を合成したものとなっている。偏心量 r を、 $r = a/3$ とすると、(4)式は、

$$F_x = 3ma\omega^2 (\cos \omega t + \cos 3\omega t) \quad \dots\dots\dots (6)$$

となる。図-4(a)は、 1ω と 3ω の合成された振動波形を示したものである。

同様にして、太陽歯車と遊星歯車の半径比が $1 : 1$ で遊星歯車が太陽歯車の周りを角速度 2ω で回転している時、 X 軸方向の慣性力 F_x は、

$$F_x = 8m'a'\omega'^2 (\cos 2\omega t + \cos 4\omega t) \quad \dots\dots\dots (7)$$

となる。ただし、 m' は偏心体質量、 a' は太陽歯車、および遊星歯車の半径である。ここで(6)式と(7)式で $3ma = 8m'a'$ を満たすように合成すると、

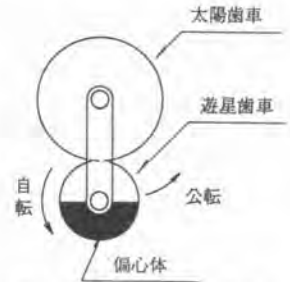


図-2 パルス振動発生方法

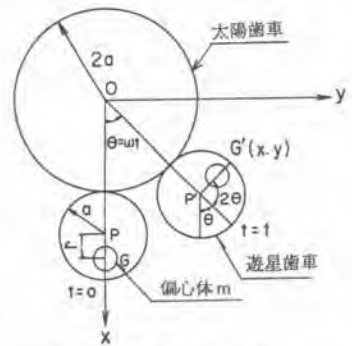
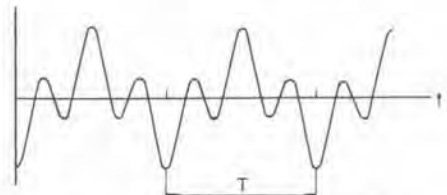
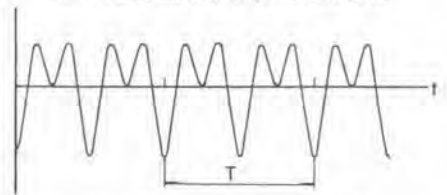


図-3 遊星歯車の動き (1ω と 3ω の場合)



(a) 1ω と 3ω から得られる振動波形



(b) 2ω と 4ω から得られる振動波形

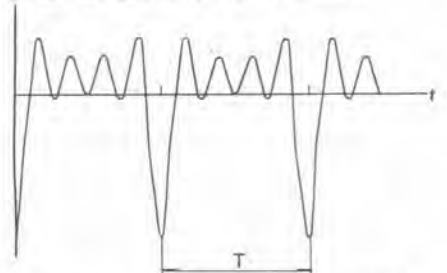


図-4 (c) 2組の遊星歯車機構を組み合わせて得られるパルス振動波形

$$F_x = 3ma\omega^2(\cos\omega t + \cos 2\omega t + \cos 3\omega t + \cos 4\omega t) \quad \dots\dots\dots (8)$$

となる式を得る。図-4(b)は、 2ω と 4ω から得られる合成された振動波形であり、図-4(c)は、これら2組の遊星歯車機構から得られるパルス振動波形を表わしている。

3. 実験概要

パルス振動と正弦波振動を利用し、貧配合の超硬練りコンクリートを使って振動締固め実験を行った。実験に使用した配合を表-1に示す。実験は、図-5に示すように鋼製の円形型枠を用いて行った。可傾式ミキサーで3分間練り混ぜたコンクリートを、底板から55cmの高さまで骨材が均一に分布するよう注意して投入した。なお、締固め実験と並行してVC試験機を用いてVC値の測定を行った。単位水量が $85\text{kg}/\text{m}^3$ 以下では、モルタルの浮上が見られず、VC値の測定はできなかった。締固め時間は10分間とし、経過時間ごとに表面沈下量を測定した。締固めたコンクリートは、硬化後脱型し、水中養生にした。養生後コアボーリングを行い、材令91日でコアの圧縮強度試験を行った。また、起振機の自重、および起振力は、正弦波振動用、およびパルス振動用の両者が等しくなるよう調整した。ここで起振力とは、正弦波振動の場合、偏心体が一定の角速度で回転している時に発生する遠心力であり、一方、パルス振動の場合、数組の偏心体が異なった角速度で回転している時、同一方向に生ずる遠心力の総和を称している。

表-1 配合表

配合	G _{max} (mm)	W/O (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)				VC値 (小型)
				W	C	S	G	
1	80	87.5	34	105	120	766	1513	21
2	*	79.2	*	95	*	776	1530	57
3	*	70.8	*	85	*	785	1547	-
4	*	62.5	*	75	*	794	1567	-
5	*	54.2	*	65	*	803	1583	-

セメント：中筋熟ポルトランドセメント
 細骨材：秩父産硬質砂岩系細砂 比重2.66, 吸水率1.41
 粗骨材：秩父産硬質砂岩系砕石 比重2.71, 吸水率0.58
 空隙率31.9% (VC試験機使用)
 混和剤：リヂニンスルホン酸塩系A E減水剤

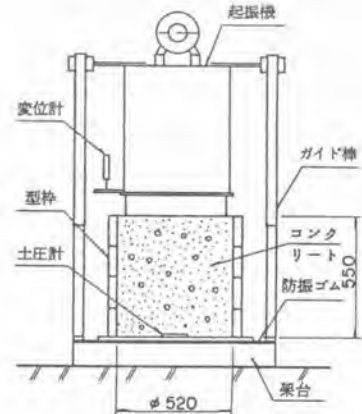


図-5 実験装置

4. 実験結果および考察

4.1. 締固め時間と密度の関係

締固め密度は、型枠内に投入したコンクリート重量と沈下量の関係から算出した。締固めの進行に伴う密度比の変化曲線は、図-6、図-7に示すとおりであり、振動波の違いによる影響が明確に表われている。なお、密度比とは、次式のように定義したものである。

$$\text{密度比} = \frac{\text{締固め密度}}{\text{理論最大密度}} \quad \dots\dots\dots (9)$$

パルス振動の場合、単位水量が $W=95, 105\text{kg}/\text{m}^3$ の配合では、締固め5分後にベースト分が浮上し、ブリージング水が認められ、その時点で密度比がほぼ1.0に達した。一方、正弦波振動でも、これらの配合ではベースト分の浮上が認められたが $W=95\text{kg}/\text{m}^3$ で10分

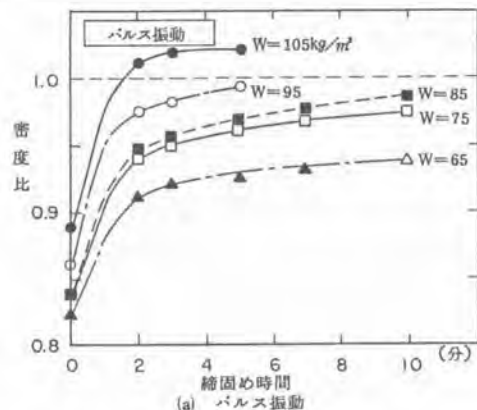


図-6 締固め時間と密度比の関係

W=105kg/m³で7分と、パルス振動より長い締固め時間を要した。

4.2 コア供試体の品質特性

締固め終了後の供試体を標準水中養生し、それよりφ20×40cmのコアを採取した。そして材令91日で密度および圧縮強度を測定した。単位水量と密度、および密度比の関係を図-8に、単位水量と圧縮強度の関係を図-9に示した。図-8を見ると、単位水量がW=95kg/m³および、105kg/m³では、パルス振動、正弦波振動とも密度は同程度の値であるが、それより少ない単位水量では、正弦波振動で著しい低下が認められる。W=65kg/m³で比較すると、パルス振動における密度比が0.966であるのに、正弦波振動では、0.881しかない。図-9の圧縮強度においても、密度の場合と同様な傾向が認められ、W=95kg/m³と105kg/m³では、それぞれの振動波による違いは見受けられないが、それ以下の単位水量では、正弦波振動の方が著しい低下を示し、特にW=65kg/m³では、両者間に2倍以上の圧縮強度差が生じている。

5. まとめ

貧配合の超硬練りコンクリートを用いて締固め実験を行った結果明らかになったことは、

- (1) パルス振動は、正弦波振動に比較して、同じ密度比になるのに締固め時間が少なくてよい。
- (2) 密度、圧縮強度を比較した結果から判断すると単位水量が少ない配合ほど、パルス振動の効果が大きい。

以上、パルス振動が従来式の正弦波振動に比較して優れた締固め特性を有していることが実験的に明らかとなったが、今後とも実験を重ね、パルス振動の有効性を十分に確認するつもりである。

参考文献

- 1) K.H.Eyman : Pulses in Concrete Technology ACI JOURNAL March-April 1980
- 2) R C D I 法によるダム施工 ; (財)国土開発技術センター編集

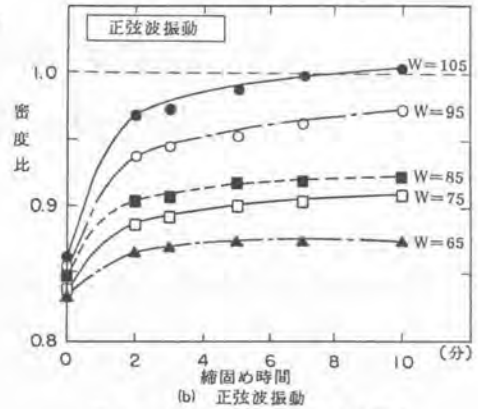


図-7 締固め時間と密度比の関係

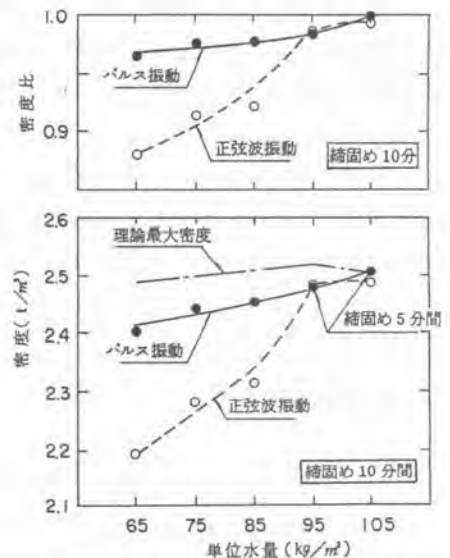


図-8 コア供試体における単位水量と密度、密度比の関係

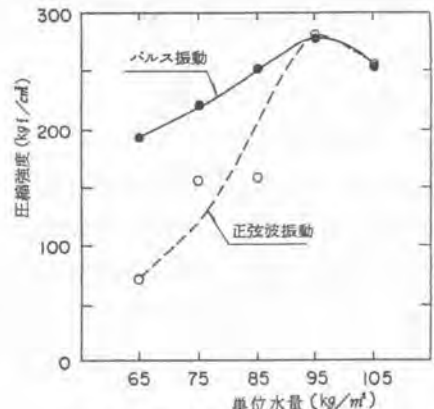


図-9 コア供試体における単位水量と圧縮強度の関係