

V-145

内部振動機からコンクリート中に伝播する振動の実験と解析

東洋大学 正会員 坂本信義 岩崎訓明

1. まえがき

近年、コンクリート施工品質の良否が社会的な問題となっている。コンクリート施工の品質を安定させるための一つの手段として、振動による締固め方法が考えられるが、ここでは、内部振動機の振動発生機構を解析の基礎において、コンクリート中に伝播する波動の理論式を導き、実験による検証をした。

2. 偏心重錘式内部振動機から2次元的に伝播する波動

図2.1(OHP)は、実験に用いた鋼製型枠と加速度の測定位置であり、表2.1は、コンクリートの性質を示す。内部振動機は、直径40mmの高周波インバータ式パイプレータで、回転数12000rpmで行った。内部振動機をコンクリート中に鉛直に挿入した振動機の静止状態における回転軸の中心を

表3.1 実験に用いたコンクリートの性質（粗骨材の最大寸法20mm）

原点として、座標軸をとり（図2.2）水平方向への波動の伝播を考える。

コンクリートの種類	スランブ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材料 (%)	単位水量 (kg)	減和剤 (%)	ポリスチレン NO.7.0 25%溶液
普通コンクリート	5.0	2.0	55	46.0	166.0		
AEコンクリート		7.0		43.5	135.0	2.46	7A

偏心重錘軸の重心GがX軸となる角 ϕ （反時計回りを正）とし、GがX軸上の正の位置にきたある瞬間を時間の原点にとって現在の時刻が t (s)であるとすると、点Pに到達している波面が振動筒表面から放射された時刻 t_s (S)は、 $t_s = t - \ell_p / c \dots$

・(2.1)であり、そのときGがX軸となしていた角 ϕ は、

$$\phi = \omega t_s = \omega \left(t - \frac{\ell_p}{C} \right) = \omega \left\{ t - \frac{1}{C} \left(r - \frac{d}{2} \right) \right\} \dots (2.2)$$

ℓ_p : 振動筒表面から点Pまでの距離 (cm)
C : 波速 (cm/s)

である。

振動筒の変位の位相は、Gの位相より $\pi/2$ だけ遅れるから振動筒表面位置におけるコンクリートの変位振幅を a_0 とすると、その θ 方向成分 a_θ は、図2.3より

$$a_\theta = a_0 \cos \left(\phi - \theta - \frac{\pi}{2} \right) = a_0 \sin \left\{ \omega t - \frac{\omega}{C} \left(r - \frac{d}{2} \right) - \theta \right\} \dots (2.3)$$

ω : 重錘軸の回転運動の角速度 (rad/s)

となる。

次に、原点Oを中心とする半径 r 、単位高さの円筒面を通過するエネルギーの1周期の総和は、伝播中に吸収がないとすれば、振動筒表面において単位厚さのコンクリートに伝達されるエネルギーの1周期の総和に等しいことから、 $r = r$ におけるエネルギー密度 E_r と $r = d/2$ におけるエネルギー密度 E_0 の間には、 $E_r/E_0 = d/2r \dots (2.4)$ の関係がある。そして、エネルギーは、変位の2乗に比例するから、 $r = r$ における変位振幅 a_r の $r = d/2$ における変位振幅 a_0 に対する比は、 $\sqrt{d/2r}$ である。さらに、粘性による吸収が伝播距離に対して指数関数であることを考慮すると、点Pにおける振動 $a_{r\theta}$ は、

$$a_{r\theta} = a_0 \sqrt{\frac{d}{2r}} e^{-\beta \left(r - \frac{d}{2} \right)} \sin \left\{ \omega t - \frac{\omega}{C} \left(r - \frac{d}{2} \right) - \theta \right\} \dots (2.5)$$

となる。

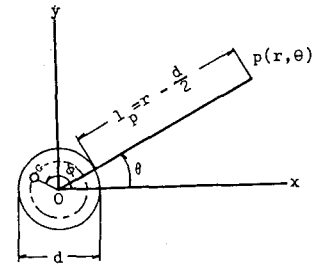


図2.2

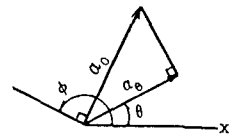


図2.3

3. 内部振動機からコンクリート中に伝播する波動の波面

2.において得られた式(2.5)で表される波動がコンクリート中を伝播するものとして、その波面の形状を求めた。波面は、ある時刻における振幅の位相が等しい点の軌跡であるので、振動加速度がその点の最大値となる点を求めると、

$$\sin \left\{ \omega t - \frac{\omega}{C} \left(r - \frac{d}{2} \right) - \theta \right\} = 1 \quad \cdots \cdots (3.1)$$

$$r = \frac{d}{2} + C t - \frac{C}{\omega} \left(\theta + \frac{\pi}{2} + 2n\pi \right), \quad n = 0.1.2 \quad \cdots \cdots (3.2)$$

図3.1は、 $d = 4 \text{ cm}$ 、 $C = 5000 \text{ cm/s}$ 、 $\omega = 400\pi \text{ (rad/s)}$ として、 $t = 0.02 \text{ s}$ における結果を図示したものであって、振動機からの振動は渦巻き状に伝播して行くことが示された。

(3.2)式において、 $r = r' + 2\pi c/\omega \cdots \cdots (3.3)$ とおくと、

$$\omega t - \frac{\omega}{C} \left(r - \frac{d}{2} \right) - \theta = \omega t - \frac{\omega}{C} \left(r' - \frac{d}{2} \right) - \theta - 2\pi$$

となって、 θ が一定のときは、 $r = r'$ の点と、 $r = r' + 2\pi c/\omega$ の点では、同位相である。このことは波面の間隔が $2\pi c/\omega (= c/f)$ であることを示している。コンクリート中を伝播する波動の波面が実際に図3.1のようになっているか否かを確かめるために図3.2に示すような振動機を中心として、同一円周上の7点において加速度の変化を測定する実験を行った。

測点の半径を15cmと25cmとした2回の実験結果は表3.1(OHP)のようであった。測点は、振動機から同一距離にあるから、加速度のピーク時刻の差は伝播方向による波速の相違と偏心重錘軸の回転運動に起因する。そこで波速の相違による影響がないものとして、回転運動による時間差だけを求めると、 $\Delta t = \Delta \theta / \omega = \Delta \theta / 2\pi f \cdots \cdots (3.4)$ となるから、実測した周波数 f と測点1との間の角度差を用いて、(3.4)式によって理論上の時間差を計算し併せて、表3.1に示した。次に、測点1において他の測点では、ピークに達していないので、原点とこれらの測点とを結ぶ直線上でのピークの位置をピーク時刻の差と波速とから $r = 15 - c\Delta t \cdots \cdots (3.5)$
 $r = 25 - c\Delta t \cdots \cdots (3.6)$ によって求めたものが表3.2と表3.3である(OHP)一方、式(2.5)によって測点1の加速度のピーク時刻を求めると、

$$\omega t - \frac{\omega}{C} \left(r - \frac{d}{2} \right) - \theta = \frac{\pi}{2} + 2n\pi \quad \cdots \cdots (3.7)$$

上式において、 $n = 0$ 、 $c = 26.67 \text{ m/s}$ 、 $f = 193.6 \text{ Hz}$ (実測値)より
 $\omega = -387.2\pi$ (負号は重錘軸の回転方向が時計回りであることによる) $\theta = 0$ 、 $r = 15$ とすることにより、 $t = 0.00358 \text{ s}$ が得られる。この値を3.7式に入れば、 θ と r との関係は、 $r = 15 + 2.192\theta \cdots \cdots (3.8)$ となる。

図3.3は、3.8式を図示したものである。図中の○印は表3.2(OHP)に示した実験における加速度のピークの位置で理論的に求めた波面にきわめて近い。

4. あとがき

偏心重錘式内部振動機からコンクリート中に伝播する波動について理論式を導き、この式が任意の点における任意時刻の変位振幅または加速度振幅を表すことを実験により確認した。(この研究報告は、科研費による研究成果報告の一部であることを付記させていただきます。)

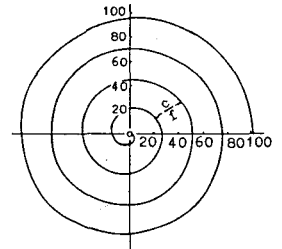


図3.1 振動機から伝播する波動の波面

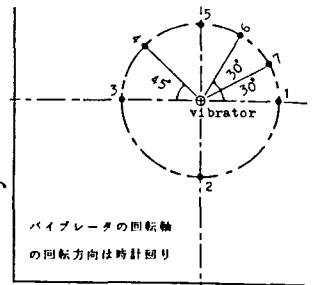


図3.2 同一円周上での加速度の測定位置

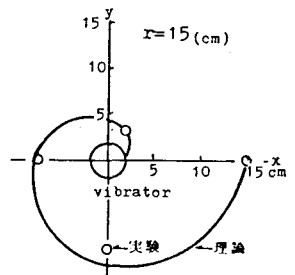


図3.3 実験から求めたピーク位置と理論式から求めた波面との関係