

都立大学 正員 村田二郎
 都立大学 正員 川崎道夫
 都立大学 正員 大作 淳

1. まえがき

コンクリートの振動締固め過程をレオロジー的に解析することを目的とし、超硬ねりコンクリートの振動により空隙率に変化する過程の物性値を、波動法によって求める手法について検討したものである。

2. フレッシュコンクリート中の振動の伝播

フレッシュコンクリート中の振動の伝播は、一般的に式(1)で表わされており、 $G \ll K$ および $\eta_v \approx 0$ として解より求めた体積弾性率(K)およびポアソン比(ν)は、式(2)、(3)で与えられる。式(2)、(3)で $\beta \ll K$ とするとさらに簡単に式(4)、(5)となる。コンクリートが、気泡を含む場合の体積弾性率および密度は、式(6)、(7)で与えられ、これらを式(4)に代入して波速を求めると、式(8)となる。すなわち、 $\beta \ll K$ の場合には、フレッシュコンクリート中の振動の伝播速度は、式(8)に従う。

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \left(k + \frac{4}{3} G \right) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \left(\eta_v + \frac{4}{3} \eta \right) \frac{\partial^3 u}{\partial t \partial x^2} \dots (1)$$

$$K = \frac{\rho R^2 C^2 (R^2 - \beta^2)}{(\beta^2 + R^2)^2} \dots (2) \quad \nu = \frac{3\beta \rho R^2 C}{2(\beta^2 + R^2)^2} \dots (3)$$

ここで、 $R: 2\pi f / C$, C : 波速, β : 減衰率, f : 周波数

$$K = C^2 \rho \dots (4) \quad \nu = \frac{3\beta C^3 \beta}{8\pi^2 f^2} \dots (5)$$

$$K = K_a / \nu \dots (6) \quad \rho = (1 - \nu) \rho_0 \dots (7)$$

ここで、 ν : 空気量, K_a : 空気の体積弾性率
 ρ_0 : 空気を含まないコンクリートの密度

$$C = \left\{ \frac{1}{\nu(1-\nu)} \cdot \frac{K_a}{\rho_0} \right\}^{\frac{1}{2}} \dots (8)$$

3. 試験方法

(i) 試験装置 装置の概要を図1に示す。加振装置は、電磁式加振機(最大加振力30kg)に中9cmのアクリル製加振板をおき棒で連結させたものを使用した。型枠寸法は、15×15×50cmとし、内側に吸音材として厚さ約1cmのスポンジをはりつけた。受信は、防滴コーティングをし、中1.2mmの柔軟なリード線を取っ付けたゲージ型加速度計を用いた。コーティング材は、試料との付着を良くするため、柔軟性に富むシリコンコーティング材を用いた。データの記録および再生は、データレコーダおよび電磁オシログラフを使用した。データレコーダのテープ速度は、記録時152%、再生時1.5%、また電磁オシログラフのチャート速度は10%とした。従って、測定可能な読みとり最小時間は、 5×10^{-5} 秒である。

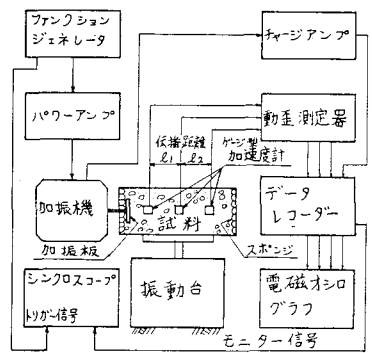


図1 試験装置の概要

(ii) 試験方法 試験は、種りませ終了後試料を型枠に打ちし、加速度計を加振板から、約5、15および35cmの位置に埋め込み、周波数75~500Hzの範囲で正弦振動を与えた。波速は、各加速度計の設置間隔および応答の時間差より求め、また減衰率は、若測尺の加速度より求めた。試料の空隙率は、初期値約15%とし、振動台を用いて締固めを行い、空隙率を6~9段階に変化した。空隙率は、試料上面の沈下を6分前測定し、体積と試料重量から求めた。

(iii) 試験に供する縦波の波数に対する検討 波数の少ない波を試料に与えた場合、その進行に伴い、波形の弛み(周波数の変化)が生ずるといわれている。従って、安定した測定値が得られる波数を調べる為、パルス波(1波)、バースト波(約10波)および連続波の3種について検討した。試料は、フロー約180のモルタルを締固め用いた。表1は、原信号200Hzのパルス波の試験結果である。応答周波数は、1サイクルの前および後半、なるびに振源からの距

離によって異っており、また、波速および減衰率も1サイクルの前、後半で差がある。図2は、パースト波の試験結果を示したもので、パースト波の場合は、周波数、減衰率および波速のいずれも5サイクル目以降においてほぼ一定となった。連続波の場合は、パースト波と同様に約5~6波以降安定しているが、1~2秒程度の振動でも空隙率を変化させる可能性がある。以上より、フレッシュコンクリートの物性を測定するための正弦波の波数は、10波程度のパースト波を与え、解析には、5波以降の測定値を用いることとした。

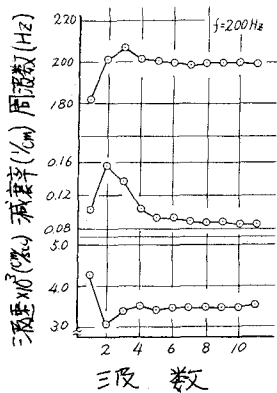


図2 パースト波の試験結果

4. 試験結果

(i) 波速および減衰率の検討 フロー約180としたアレーンおよび3種のAEモルタル(空気量 15.9, 29.5および35.7%)について予備的に試験を行い、波速および減衰率について検討した。試験は、周波数200Hzから、100Hz毎に500Hzまで実施した。波速と空気量の関係を、周波数500Hzの場合について図3に示す。図3において、波速は空気量の減少に伴い増加しており、また式(8)を用いて計算した理論値ともほぼ一致している。図4は、AEモルタルについて加速度比(振源の加速度を1.0とした)と振源からの距離の関係の一例を示した。図5は、横軸に以上の試験で求めた k/β 、縦軸に式(8)で計算した波速(c)に対する実測波速(c)の比をとったものである。図5において、式(8)が適合する k/β は、約5以上であった。従って、 k/β が5以上であれば、空気を多量に含むフレッシュコンクリート(モルタル)においても、弾性波理論が適用出来るものと思われる。

表1 パルス波の試験結果

振源の距離 (cm)	周波数(Hz)			減衰率(1/cm)		波速(1000 cm/sec)	
	前半	後半	合計	前半	後半	前半	後半
4.5	96	102	198	0.113	0.103	5500	3670
10.0	85	-	-	-	-	-	-

(ii) 超硬ねりコンクリート(モルタル)の試験結果

フロー約110とした硬ねりアレーンモルタル($w/c=40\%$, $s/c=2.5$)を用い、空隙率を変化させた場合の波速および減衰率の試験結果を図6に示す。周波数は、通常用いられるバイブレータの周波数を考慮し、75および200Hzとした。図6において波速と空隙率の関係は、図3の結果と逆になっている。これについては、現在検討中である。未解明を残しているが、これらの測定値および式(2), (3)を用

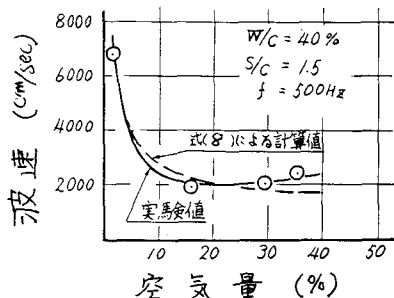


図3 波速と空気量との関係

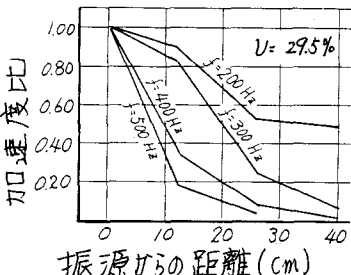


図4 加速度比と振源からの距離の関係

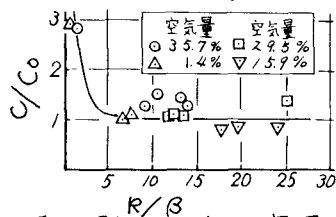


図5 c/c_0 と k/β との関係

いて計算した K および η と空隙率の関係を図7に示した。図7において空隙率が減少するに従い、 K は増加し、また、 η は減少する傾向にある。

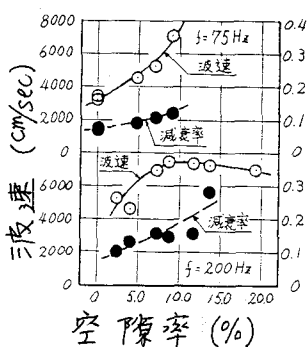


図6 波速および減衰率と空隙率との関係

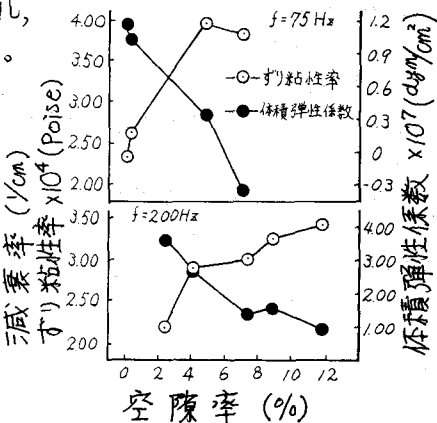


図7 剪り粘性率および体積弾性係数と空隙率との関係