

I-335 構造部材中を伝播する応力波動の位相遅れ特性

島田建設㈱ 正員 斎藤 隆行
北見工業大学 正員 大島 俊之
㈱長 大 陸田 俊紀

1. まえがき

構造部材が振動する間に、弾性エネルギーの一部は常に熱に変化し、これらのメカニズムは全体として内部摩擦による減衰効果に含まれる。従ってこの内部摩擦による減衰量は振動の振幅や振動数に依存することとなる。この減衰の振動数依存の関係は図1のような傾向となる。モルタルのように砂粒子がセメントおよび空隙、水分などによって結合されている粒状体組織においては、微視的にみれば変形は異方性で複雑な挙動を示すこととなり、粒子と粒子の間で温度が異なり微量の熱の流れは粒子境界を横切って流れることとなる。振動する構造体の熱伝導による損失の場合、振動数にはある下限が存在し、この振動数では変形は非常にゆっくり生じ、体積変化は等温的であり、何らエネルギー損失は生じない。これはかなり小さい振動数の場合である。一方振動数の上限も存在する。この振動数では変形が非常に速く生じ、振動する間に熱の流れ（移動）が生じる時間が存在しない場合であり、この場合も何のエネルギー損失もない。従って最大の損失は適用される振動数がこの二つの限界の間に入ってきた時に生じ、またこの振動数の値は粒状体の径とその他の媒体の熱的伝導性に依存することとなる。¹⁾このように構造部材の内部減衰や振幅および、環境温度等に大きく依存することとなるので、ここでは、これらに関連した簡単な実験と考察について述べる。

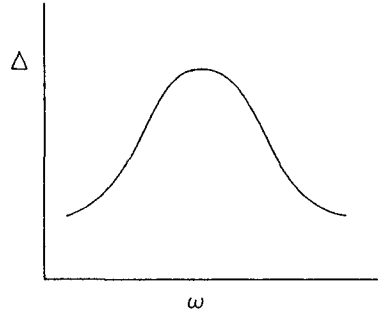


図1 内部減衰と振動数の関係

表1 配合の割合

w/c	W	C	S
35 Model O	0.35 (1.10)	1.0 (1.0)	0.95 (1.14)
50 Model L	0.50 (1.57)	1.0 (1.0)	2.0 (2.09)
65 Model P	0.65 (2.02)	1.0 (1.0)	2.52 (3.02)

2. 内部摩擦に関する実験

本研究で対象としている構造部材の内部摩擦による影響を調べるため、ここでは簡単な実験結果を紹介する。実験では表1に示すような配合の異なる3種類のモルタル長方形板供試体を用意した。供試体は長さ70cm、高さ40cm、板厚3cmで配合はw/cが35%、50%、65%の3種類である。表1の数字は上段が重量比、下段が体積比を示している。測定システムは文献^{2), 3)}で述べているものと同様であり、応力波の入射と受波は長方形板の境界辺で行う。図2には観測された到達波の比較の一例を示しているが、この図からw/cが大きく、セメントに比較して砂および水分が多いモデルほど、位相遅れが大きく生じていることがわかる。

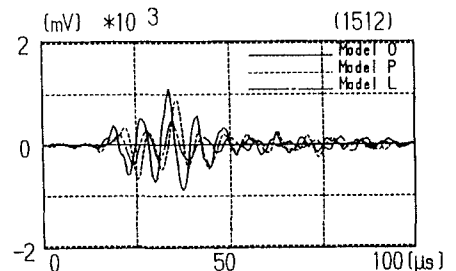


図2 配合の変化が内部減衰に及ぼす影響

3. 内部減衰のモデル化

材料の内部減衰のモデル化の一例として図3の三要素粘弾性モデルを考えると、応力と歪のつりあい関係式は

$$\varepsilon_a + \varepsilon_b = \varepsilon, \quad \sigma = E\varepsilon + E_1\varepsilon_a, \quad E_1\varepsilon_a = \eta_1\dot{\varepsilon}_b \quad (1)$$

また加振円振動数を ω として次のようにおく。

$$\varepsilon = \bar{\varepsilon} \sin \omega t, \quad \varepsilon_a = \bar{\varepsilon}_a \sin(\omega t + \alpha), \quad \varepsilon_b = \bar{\varepsilon}_b \cos(\omega t + \alpha) \quad (2)$$

ここで式(1)の第3式より

$$\tan \alpha = -\bar{\varepsilon}_a / \bar{\varepsilon}_b = \omega \eta_1 / E_1 \quad (3)$$

一方対数減衰率 Δ と $\tan \alpha$ との間には次の関係がある。

$$\tan \alpha = \Delta / \pi = 2h\omega / \rho_r \quad (4)$$

ただし ρ_r は減衰自由円振動数の実部

以上より応力と全歪との関係式は次のようになる。

$$\sigma = \varepsilon (E + E_1 \cos^2 \alpha) \sin \omega t + 1/2 \varepsilon E_1 \sin 2\alpha \cos \omega t \quad (5)$$

また式(5)の位相差 ϕ （したがって内部減衰特性）は

$$\tan \phi = \frac{K_E \tan \alpha}{1 + K_E + \tan^2 \alpha}, \quad K_E = E_1 / E \quad (6)$$

となり、図1の傾向を示すことがわかる。

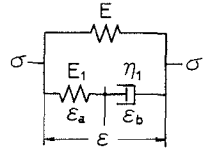


図3 三要素粘弾性モデル

4. あとがき

本研究では構造部材の内部減衰に焦点をしばり、入射波の確定法とその伝達による振動応答の解析について述べた。ここでの内容はまだ充分なものではないが、今後さらに発展させて精度のよい解析ができるよう努力したい。本研究の実験および解析に当たっては北見工大開発工学科の卒業論文学生山本裕之君、中村好宏君の援助があった。ここに深く感謝致します。

参考文献

- 1) 三上、大島、能町：複合長方形梁の動的応答に関する研究、土木学会北海道支部論文報告集、No. 44、1988。
- 2) 三上、大島、能町：複合材料長方形ばりの応力波動解析とその健全度評価への応用、構造工学論文集、Vol. 35A、1989。
- 3) H.Kolsky : Stress Wave in Solids, Dover Publication, 1963.
- 4) 大島：弾性波による老朽構造物の劣化と内部損傷の早期発見に関する研究、昭和62年度科学研究費補助金（一般研究（c））研究成果報告書、昭和63年3月。
- 5) N.J.Carino, M.Sansalone, N.H.Hsu : A Point Source-Point Receiver, Pulse-Echo Technique for Flaw Detection in Concrete, ACI Journal, Technical Paper, March-April, 1986.
- 6) 明石：コンクリートの非破壊試験に関する研究、土木学会論文集、第390号/V-8、1988。
- 7) T.Oshima, S.G.Nomachi, T.Kida, S.Mikami : Stress Wave Propagation in a Rectangular Composite Beam, Proc. of 4th Japan-U.S. Conference on Composite Materials, Washington, D.C., June, 1988.