

コンクリート板模型交差部における固体音の統計的エネルギー解析

安田博之 熊本工業大学

1. はしがき 構造物のような多数の振動モードをもつ複雑な結合構造が広帯域ノイズによる定常ランダム振動を受けるとき、その構造体内部を伝搬する弾性波による振動の応答解析において周波数バンド内の振動モードに統計分布を仮定し解析を行う方法として統計的エネルギー解析(Statistical Energy Analysis; S E A)法がある¹⁻³⁾。決定論的手法に比べ、確率論的手法を用いる S E A 法は、現況では解析対象の構造の不確かさと複雑さのために発展が阻害されている。

現在に到っても実物の建築構造物に適応し得る理論及び実験の結果は非常に少ないように思われるが、これは結局 S E A では定常状態で部材間を伝搬する時間平均振動エネルギーが部材のモード密度、部材の内部損失による散逸損失係数、部材間のカップリング損失係数のみで理論的に求められる、ということに起因するためであろう。

本報告ではコンクリート板模型交差部について S E A の基本理論によりどの程度の減衰量予測が可能か、またさらにここでの実験結果が今後の大きな模型にも適用できるか否かについて確認することを目的とした。

2. 結合構造の統計的エネルギー解析

2.1 S E A のパワーバランス¹⁾

図1のような結合構造の振動解析に関する古典理論では、一体形の基準モードを決定し、これらにより解を展開する。一方、S E A では結合構造を図2のようにいくつかの構造に分割できるものと仮定して、各構造の基準モードを決定し、後にこれらの構造をバネなどのカップリング要素で結合してパワーバランスを展開する。

いくつかのサブシステム(モードグループあるいは構成要素)から構成される結合構造について、S E A において推定すべきは、この結合構造の各サブシステムが受ける振動エネルギーである。これは各サブシステムについてのパワー入出力間のバランスにより導出できる。各のサブシステムは外力によりパワー $P_{i,in}$ を受け、ダンピングによってパワーを散

逸する。さらにサブシステム間の接合におけるカップリングによって $i-j$ 間にパワー流 P_{ij} を移送する。サブシステムのエネルギーは時間平均による周波数バンド内の振動エネルギーである。サブシステム i, j について各パワーは次のようにつりあう。

$$P_{i,diss} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n P_{ij} = P_{i,in} \quad (1)$$

$$P_{i,diss} = \omega \eta_{ii} E_{i,t} \quad (2)$$

$$P_{ij} = \omega \eta_{ij} n_i \left(\frac{E_{i,t}}{n_i} - \frac{E_{j,t}}{n_j} \right) \quad (3)$$

i, j, k : サブシステム $i, j, k, k = i, j$

$P_{i,in}$: 曲げ波によるサブシステム i への入力パワー

$P_{i,diss}$: サブシステム i で消費した時間平均パワー

P_{ij} : サブシステム i から j への時間平均パワー

$E_{i,t}$: サブシステム i の時間平均全エネルギー

η_{ii} : サブシステム i の内部損失による散逸損失係数

η_{ij} : サブシステム i, j 間のカップリング損失係数

ω : 周波数バンドの中心角周波数

$n_k(\omega)$: サブシステム k のモード密度、 $k = i, j$

S E A では $n_i \eta_{ij} = n_j \eta_{ji}$ により式(4)が成立する。

$$P_{ij} = \omega \eta_{ij} E_{i,t} - \omega \eta_{ji} E_{j,t} \quad (4)$$

上式より次式のようにサブシステムのパワーバランス式を得る。

$$\omega \left(\eta_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \eta_{ij} \right) E_{i,t} - \omega \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \eta_{ji} E_{j,t} = P_{i,in} \quad (5)$$

$$\eta_{i,t} = \eta_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \eta_{ij} \quad (6)$$