楕円型共振器を用いたアスファルト混合物のマイクロ波加熱に関する検討

(株)NIPPO コーポレーション 正会員 岩間 将彦 同 上 正会員 尾本 志展 室蘭丁業大学 川口 秀樹 愼 鏡

同 上

1.はじめに

昨今,地球温暖化に伴う環境問題を背景に,CO2削減工法やリサイクルのための技術開発は社会的要請とな っている 1). 舗装分野における合材プラントでのバーナー加熱や路上再生工法での既設舗装の加熱では,多く のエネルギーが使われており、CO2の排出を抑制するという観点からも効率的な加熱方法の検討が必要と考え られる、そこで本研究では、アスファルト混合物等をマイクロ波によって直接的に加熱する方法について、使 用する加熱装置の形状とそのエネルギー分布に関する基本的な検討を実施した.

2 . Fabry-Perot 共振器

本検討では,マイクロ波加熱器の基本として Fabry-Perot 共振器を採用した. Fabry-Perot 共振器は,対向す る2つの反射面により構成され、焦点を共有する放物状のものは中心部に効率的にマイクロ波を集中させるこ とができる.使用した加熱器の概要形を図-1に示す.2つの放物線を楕円として近似するため,以下の式より 形状を決定した 2),3).

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1\tag{1}$$

これを x=0 の近傍について放物近似すると

$$y \cong \pm \left(b - \frac{b}{2a^2}x^2\right) \tag{2}$$

また,焦点F(0,0)を持ち, $(0,\pm b)$ 原点を通る放物線の式は

$$y = \frac{1}{4f}x^2\tag{3}$$

ここで式(2) (3)より 短軸aと長軸bの関係は次のようになる.

$$a = \sqrt{2}b\tag{4}$$

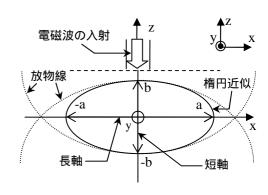


図-1 Fabry-Perot 共振器の楕円近似

この場合,周波数 $f=2.45~\mathrm{GHz}$ の電磁波を用いると,空間波長は $\lambda=122.4~\mathrm{mm}$ となる.加熱容器の短軸長 を 2 b = 7 × λ/2 = 428.4 mm と選ぶと , 式(4)より長軸長 2 a = 605.8 mm となる . また , 楕円空胴内の高さは導波 管高さと同じ 27 mm とし,数値解析と実験の両面で2次元電界エネルギー分布を検討することとした。

3.数值解析

楕円型共振器内の2次元エネルギー特性を把握するため,2次 元境界要素解析を実施した.解析結果を図-2に示す.

結果より,共振器内のエネルギー分布として短軸上に強い部分 が 7 つ現れていることがわかる.また,7 つの点のなかでも,導 波管側から2番目の点で最も強い共振を示していることが確認で きる.これより, 楕円型共振器を使用して効率的にアスファルト 混合物を加熱するために,短軸上に沿って加熱対象物を設置する ことが考えられる.

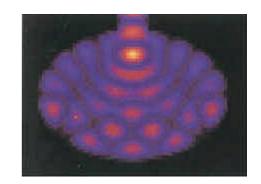


図-2 解析より算出した空洞内のエネルギー分布

キーワード マイクロ波, Fabry-Perot 共振器, エネルギー分布, アスファルト混合物

連絡先 〒140-0002 東京都品川区東品川 3-32-34 ㈱NIPPO コーポレーション 技術研究所 TEL 03-3471-8541

4.実験結果

4.1 エネルギー分布

上述の設計値をもとに楕円型加熱器を試作し、容器内のマイクロ波によるエネルギー分布を確認することとした。その検討ではまず、共振器内部の電磁場を比較的乱さない厚さ $1.0\,$ mm のベークライト板(比誘電率 $\epsilon_s=3.5$)を容器内に設置し、その上に $50\,$ で変色するサーモペイントを塗布した。その後、容器内部の x-z 平面および y-z 平面の 2 次元エネルギー分布を確認するため、入力電力 $500\,$ W、加熱時間 約 $30\,$ 秒とし加熱試験を実施した。x-z および y-z 平面でのエネルギー分布の様子を図-3、図-4に示す。結果より、検討した 2 平面共に強い点は $7\,$ つ現れ、 $y\,$ 方向には均一であることがわかる。理論的に Fabry-Perot 共振器の共振条件は、反射面の間隔が半波長の整数倍と言われている。今回楕円短軸方向長が入射した電磁波の半波長の $7\,$ 倍と仮定しており、図- $3\,$ および図- $4\,$ に示されているエネルギー分布も強い点が $7\,$ 点現れていること



図-3 x-z 平面のエネルギー分布

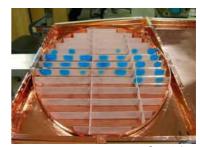


図-4 y-z 平面のエネルギー分布

から,理論値と実験値が一致した結果であると考えられる.さらに,数値解析結果と比較すると,図-2 に示す共振点と図-3 に示す共振器内の共振点がほぼ一致していることが確認できる.そのため,設計した加熱器の妥当性が数値解析と実験の両面で実証できたと言える.

4.2 アスファルトコンクリート供試体を使用した加熱試験

解析と実験より求めたエネルギー分布と加熱対象物の昇温特性の関係を把握するため,アスファルト混合物供試体($\epsilon_s=2.7$)を加熱器内に入れ,温度上昇と温度分布を検証した.

加熱試験では,加熱器短軸に沿うように供試体(長さ 300 mm×幅 75 mm×高さ 25 mm)を中心部に置き,温度上昇と温度分布を観察することとした.その後,試験条件として入力電力 500 W,加熱時間 420 秒で試験を実施し,加熱後の供試体温度分布を赤外線サーモグラフィで確認した.図-5 に供試体温度分布を,図-6 に加熱後の供試体の様子をそれぞれ示す.図-5 より,加熱後の供試体は温度が高い部分で約 90 まで上昇していることがわかる.また,図-3 に示すサーモペイントを使用した検討結果と比較すると,導波管から 2 番目の箇所でサーモペイントが変色しており,温度分布の高い箇所と一致する.解析結果と比較しても,共振点と温度分布が概ね一致していると判断でき,設置した供試体は楕円型加熱器により効率的に加熱されたと考えられる.

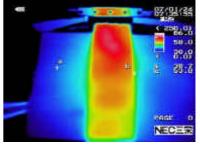


図-5 加熱後の供試体温度分布(x-z 平面)

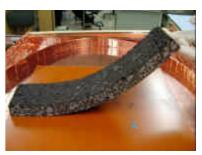


図-6 加熱後の供試体状況(y-z 平面)

5. おわりに

Fabry-Perot 共振器を基本とする楕円型加熱器のアスファルト混合物の加熱への適用を数値解析と実験の両面より検討した.数値解析では設計した楕円型加熱器の妥当性を確認し,加熱試験では数値解析で予測したエネルギー分布を実証することができた.また,アスファルト混合物供試体を使用した加熱試験では,サーモペイントの示したエネルギー分布どおりに供試体が加熱されたと推測できる.今後は,入力電力および加熱時間などの条件変化による加熱効率の最適化が課題となる.

参考文献: 1) 寺田ほか , "舗装工事における CO_2 排出量削減技術の取り組み", 土木技術資料 50-8, pp 22-27, 2008 2) 榎戸武揚,"異方性媒質を含む開放型共振器および導波系に関する研究",学位論文, pp 52-93, 1971 3) 織笠光明,"マイクロ波加熱に関する二 , 三の考察",学位論文, pp 154-221, 1983