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

㈱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
室蘭工業大学		川口	秀樹
同上		鏡	愼

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)}.

(1)

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

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,±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 . $a = \sqrt{2}b$ (4)

この場合,周波数 *f* = 2.45 GHz の電磁波を用いると,空間波長はλ = 122.4 mm となる.加熱容器の短軸長 を 2 b = 7 x 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. がれる 構円近似 -a -a -b 短軸

雷磁波の入射

放物編





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

-001

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(ε_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300mm×幅75 mm×高さ25mm)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500W,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 CO₂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