

放熱管を埋め込んだコンクリート舗装版の力学的挙動の解析

石川工業高等専門学校 ○正会員 西澤辰男

北海学園大学大学院 学生員 本間裕介

北海学園大学工学部 正会員 武市 靖

福井県雪対策・建設技術研究所 正会員 宮本重信

1 まえがき

道路の融雪のために、地中で熱交換された水を舗装体内に通した管に流すシステムが開発されている¹⁾。この場合、熱効率を上げるためになるべく舗装の表面に放熱管を設置することが望ましい。しかしながらそのことが、交通荷重による舗装全体の力学的な応答を変化させ、早期の破損をもたらす恐れがある。本研究では、コンクリート舗装版に放熱管を埋め込んだモデル舗装によって実験的にその影響を検討している。ここでは、その結果を用いて FEM 解析による応力解析を行った結果を報告する。

2 解析モデル

解析には舗装の構造解析用に開発された動的な 3 次元有限要素プログラム DynPave3D を用いた²⁾。実験に用いられたモデル舗装を 3 次元的に再現するために、図-1 のような要素分割を行った。コンクリート版に埋め込まれた鋼管、ポリエチレン管については、それらの曲げ剛性を考慮した等価断面厚の考え方で、コンクリート版の厚さに換算した。すなわち、管を有する換算コンクリート版厚 h' を以下のように計算する。

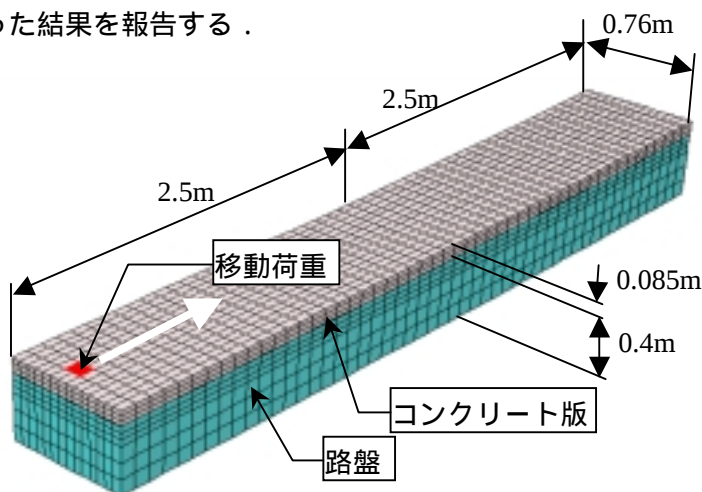


図-1 実験解析用の要素分割

図-2 を参照して、断面内の力のつりあいより、

$$\frac{1}{2} E_c x^2 \phi = E_s x_1 \phi A_s + \frac{1}{2} E_c x_2^2 \phi - E_c x_1 \phi A_c \quad (1)$$

ここに、 E_c 、 E_s ：コンクリートおよび鋼管の弾性係数， A_c 、 A_s ：管の穴および管の面積， ϕ ：曲率， x ：下面から中立軸までの距離， $x_1 = h - d' - D/2$ ， $x_2 = h - x$ ， D ：管の外径， d' ：管のかぶり(30mm)，である。式(1)を x について解き、 $h' = 2x$ の関係より次式が得られる。

$$h' = \frac{h^2 + 2(nA_s - A_c)(h - d' - \frac{D}{2})}{h + nA_s - A_c} \quad (2)$$

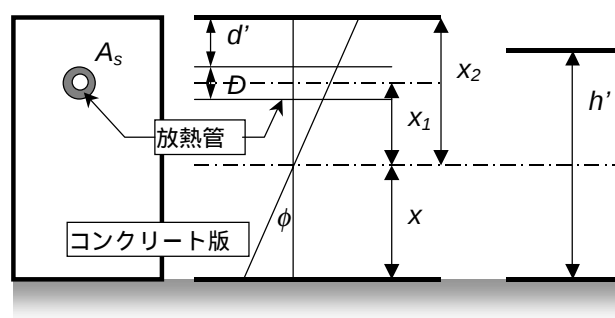


図-2 換算コンクリート版厚

ここに、 $n = E_s / E_c$ である。今回の計算では、管のない場合（断面 A），外径 13.9mm（内径 9.4mm）の鋼管を 6 本配置した場合（断面 B）および外径 13mm のポリエチレン管を 6 本配置した場合（断面 C）を想定した。

計算に必要な定数は、表-1 に示すように仮定した。コンクリート版、鋼管の弾性係数は単体の曲げ試験より求めた。路盤については、小型 FWD の逆解析から 3 種類を設定した。この表から、断面 A、B、C に対する h' は、式(2)より、それぞれ、85mm、85.7mm、84.8mm となる。

キーワード：融雪，放熱管，コンクリート舗装，3DFEM，動的解析

連絡先：929-0392 石川県河北郡津幡町 石川工業高等専門学校 環境都市工学科，TEL:076-288-8167，FAX:076-288-8171

表-1 材料定数

コンクリートの弾性係数	30,000 MPa	路盤の弾性係数	30, 50, 100 MPa
コンクリートポアソン比	0.2	路盤のポアソン比	0.35
コンクリートの密度	2.4 kg/cm ³	路盤の密度	1.8 kg/cm ³
鋼管の弾性係数	200,000 MPa		

荷重条件としては、実験に合わせて 50mm×100mm の設置面に 4.9kN の荷重を 1km/h (27.78cm/sec) で走行させた。

3 解析結果

図-3はコンクリート版表面の走行方向ひずみ e_x の経時変化である。計算値はすべての断面で同じとなり、1つの曲線になってしまう。路盤の弾性係数による違いは明瞭で、路盤の弾性係数が大きいほどひずみは小さい。実験結果と計算結果はほぼ一致している。

図-4はコンクリート版表面の横断方向ひずみ e_y の経時変化である。コンクリート版は縦に長いので、横断方向のひずみは走行方向に比べかなり小さい。路盤の弾性係数の影響は小さい。計算値と実測値はよく一致している。

図-5は路盤底面の鉛直応力の経時変化である。実験結果と計算結果の変化の様子は両者似通っているが、大きさは実験結果のほうがかなり大きい。路盤の鉛直応力についてもコンクリート断面の違いによる影響はないが、路盤の弾性係数が大きいほど応力は小さくなる。

4 まとめ

コンクリート舗装版の力学的な応答に及ぼす、埋め込まれた放熱管の影響について FEM によって検討した。その結果、今回の実験のような断面においては、管の影響はまったくないことが判明し、これは実験結果とも一致した。この実験はモデルであるためコンクリート版の厚さに比べて管の径は大きいですが、それでもその影響はわずかであることから、実際の舗装においても舗装全体の挙動に及ぼす管の影響は非常に小さいと予想される。

なお、本研究は科学技術振興事業団、平成14年度エネルギー有効利用基盤技術先導研究開発事業の成果の一部である。

参考文献

- (1) 宮本重信，竹内正紀，木村照夫：基礎杭利用による地熱融雪法の設計施工運転と数値シミュレーション，土木学会論文集，No.609/VI-41，1998。
- (2) 西澤辰男，村田芳樹，国府勝郎：交通荷重による薄層ホワイトトッピング構造の動的挙動，土木学会論文集，No.725/V-58，2003。

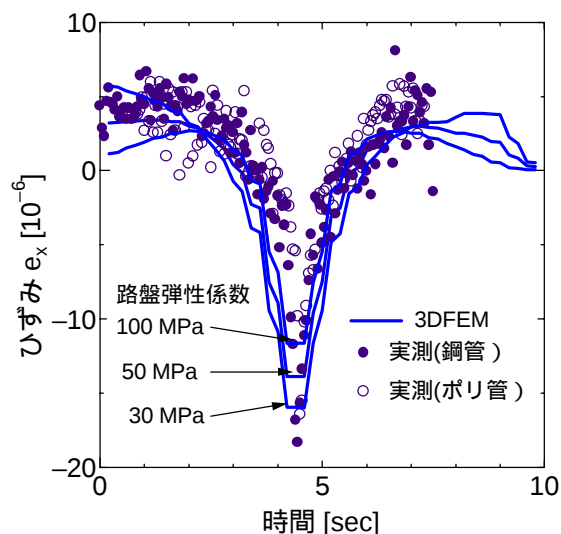
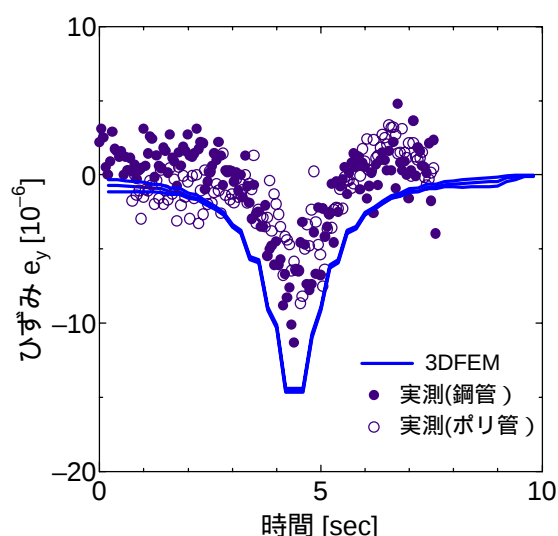
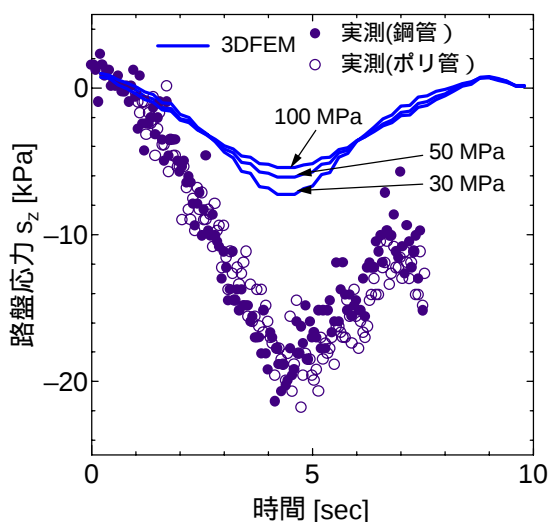
図-3 コンクリート版表面の e_x の経時変化図-4 コンクリート版表面の e_y の経時変化

図-5 路盤下面の鉛直土圧の経時変化