

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19560579  
 研究課題名（和文） サーモグラフィによる回転貫入杭の施工性及び支持力評価に関する研究

研究課題名（英文） Visualization of Execution Ability and Bearing Capacity of Screw Pile Using Thermography

## 研究代表者

藤井 衛 (FUJII MAMORU)  
 東海大学・工学部・教授  
 研究者番号：70130094

研究成果の概要（和文）：回転貫入杭の施工性能と支持力との関係を明らかにするために、杭周辺の土の乱れをサーモグラフィによってとらえることを試みた。まず、適切な地盤は砂と粘土の比率が7：3で、含水比が6%～8%であり、ライトの照射距離は60cm、照射時間は15秒間であった。以上の条件をもとに、回転貫入杭の貫入速度を4種類に変えて施工性及び支持力に関する実験を行ったところ、きわめて明確にその性能を評価することができた。

研究成果の概要（英文）：This Study proposes a method of visualization using thermography suitable for the evaluation of execution ability and bearing capacity of the screw pile. The correlation between the temperature distribution and stress appears most clearly by thermography with a sand : clay mixing ratio of 7:3 and with a water content of 7%. And the proper distance from the test samples to the lamp was 60cm and proper heated time was 15seconds. Based on these results, the pile was driven into the soil at 4 different penetration speeds. As a result, it is possible to evaluate the performance of a screw pile and the mobility of soil using thermography images.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	300,000	90,000	390,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学、建築構造・材料

キーワード：基礎構造、サーモグラフィ、可視化、杭

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 建築の特に小規模建築物の場合、杭先端に羽根を付けた回転貫入杭が数多く用いられている。先端の羽根の形状には数多くの種類があり、その種類によって施工性や支持

力性能の違いがあることはわかっているが、試験によってそれを評価する方法はこれまで開発されるまでには至らなかった。

(2) パイプの中に水平面上で4つの種類の

着色砂をセットし、先端に1枚板を取り付けて貫入させ、着色砂の混合状態を調べたが、混合の程度しかわからなかった。

(3) 着色砂ではなく、砂に酸化鉄を混ぜて発熱させ、その熱の分布を赤外線サーモグラフィによってとらえてみたところ、発熱が大きすぎて画像が不鮮明であったが、混合された部分には明確な温度分布の違いが現れた。

(4) 発熱させると、温度変化がきわめて大きく、どのように安定した温度分布の画像が得られるかが重要な課題であるとわかった。また、地盤を構成する土粒子の大きさや含まれる水分量もサーモグラフィの画像の鮮明さに大きな影響を与えることも予想され、地盤条件と画像の鮮明度との関係を明らかにすることも課題の1つであるとわかった。

## 2. 研究の目的

(1) サーモグラフィによって最も鮮明に映し出される地盤条件(砂と粘土の配合比率及び最適含水比)を明らかにする。

(2) サーモグラフィの映像が最も鮮明に写るライトの照射条件を明らかにする。

(3) サーモグラフィの映像と FEM 解析による応力分布との関係を明らかにする。

(4) サーモグラフィの映像と土壌硬度計による地盤強度分布図との関係を明らかにする。

(5) 回転貫入杭の貫入に伴う杭周辺の土の乱れをサーモグラフィと土壌硬度計による地盤強度分布図から定量的に評価できる可能性を検討する。

## 3. 研究の方法

(1) けい砂7号と笠岡粘土の配合比率を1:9から9:1まで9種類に変化させた人工配合土を作製し、さらにそれぞれの配合比につき含水比を1%から11%の7種類に変化させたものを使用した。これらの人工配合土をφ50mm×100mmの鋼製型枠に2層に分けて投入し、各層の密度が一定になるように突き固めた。そして、この状態で上部から3kNの圧縮荷重を作用させ、その後、型枠の半分を除去し、ストレートエッジで試験体を縦半分に切断した。この切断面に対してサーモグラフィを通して画像の鮮明さを検討した。

(2) けい砂7号と笠岡粘土の比率を7:3に調整し、含水比を7%とした人工配合土をφ

50mm×100mmの鋼製型枠に詰め込み、上記に示す(1)の方法にて試験体を縦半分に切断し、その切断面に対してライトの照射距離と照射時間を変えて、切断面のサーモグラフィ画像の鮮明さについて検討を行った。

(3) けい砂7号と笠岡粘土の比率を7:3とし、含水比を7%とした人工配合土に先の(1)で作製した方法にて供試体の切断面にライトを照射距離60cmから15秒照射して得たサーモグラフィの画像とFEM解析による応力分布を比較した。

(4) 先の(2)の人工配合土を直径260mm、高さ50mmの鋼製型枠に所定の密度となるように詰め込み、この人工地盤に対して、図1に示すようにフリクションカッターを取り付けた杭Aと刃が内側に取り付けられている杭Bを、図2に示す貫入装置に取り付け、貫入速度90mm/min、深さ300mmまでセットし、その後、土槽の縦半分をはずし、カッターで断面の半分を除去した。その切断面に対してサーモグラフィの画像を得た。撮影後、写真1に示すように切断面に格子状のネット(1辺が20mm×20mm)をのせ、断面上の交点において土の強度を山中式土壌硬度計で計測し、これによる切断面の強度分布とサーモグラフィの画像を比較検討した。

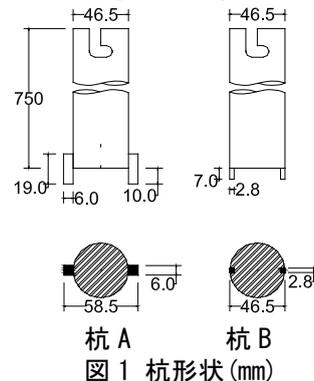


図1 杭形状 (mm)

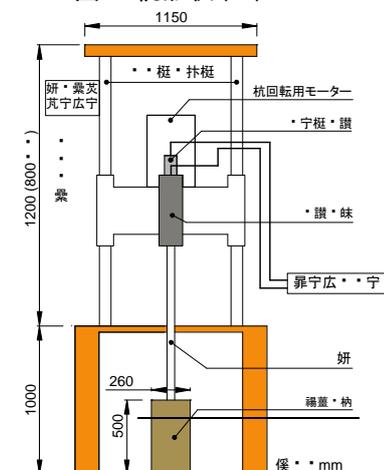


図2 貫入装置



写真1 土壌硬度計を用いた計測状況

(5) 図3に示すような羽根の径が72.8mm、ピッチが13.7mm、軸径が48.7mmの模型杭に貫入速度を45mm/min、90mm/min、189mm/min、270mm/minの4種類に変え、これを(4)の方法にてサーモグラフィにより切断面の画像を得、さらに切断面に対して土壌硬度計により地盤強度分布を求め、サーモグラフィの画像と地盤強度分布図を比較することにより、回転貫入杭の施工性及び支持力の性状がうまく現れるかどうかを検討した。サーモグラフィの計測状況を写真2に示す。

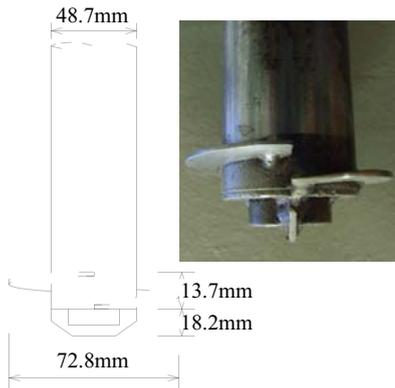


図3 スクリュー杭の寸法



写真2 サーモカメラ

#### 4. 研究成果

(1) 写真3に示すように、けい砂7号と笠岡粘土の配合比率の7:3の配合土が最も鮮明な画像を示すことがわかった。また、含水比の大きさが6%~8%の試料土が最もサーモグラフィに鮮明に映し出されることがわかった。

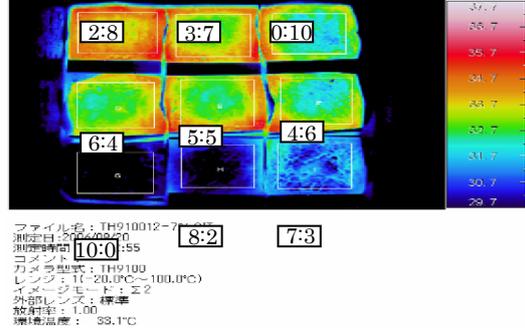


写真3 各種配合土のサーモグラフィ

(2) 図4は、供試体にライトの諸条件を変えて得られたサーモグラフィの画像の結果である。この図から温度のばらつきや画像の鮮明さが最も優れているのは、ライトから60cm離して、15秒間照射したケースであった。

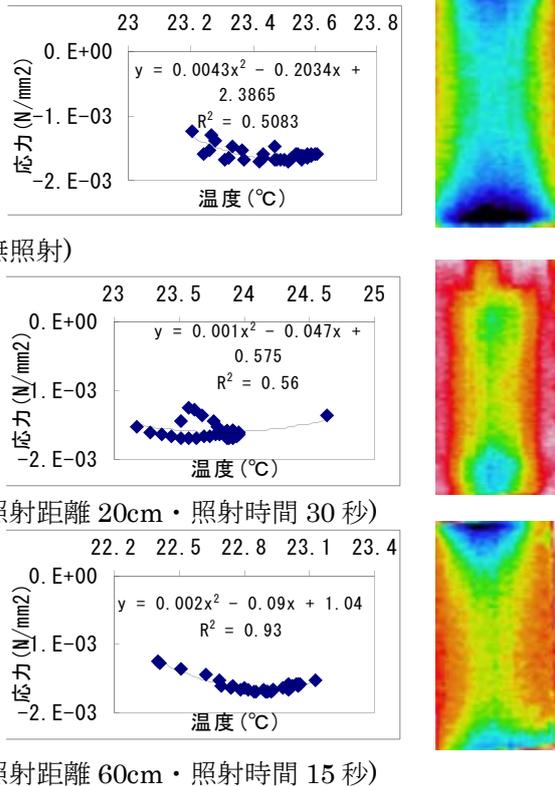


図4 ライトの各諸条件で圧縮した時の温度分布とサーモグラフィ画像

(3) 図5と図6は、FEM解析による応力分布とサーモグラフィの画像を示したものである。FEM解析の入力条件を図7に示す。両図は非常によく対応している。本来、サーモグラフィとは、温度分布を表すものであり、応力分布とは性質を全く異なるものであるが、土粒子の挙動が土の粗密に影響を与え、それが水分量の大小の分布となって現れ、結局、応力分布と同じ性状を示すものと考えられる。

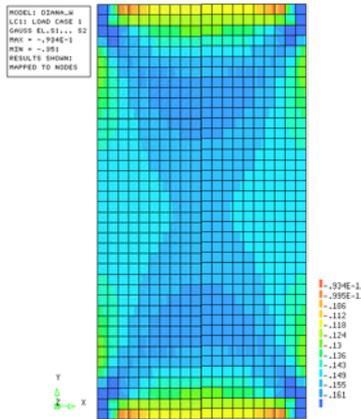


図5 FEM解析結果

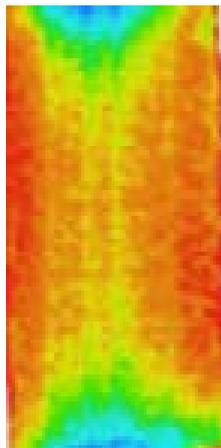


図6 サーモグラフィ画像

高さ(mm)	100	
幅(mm)	50	
強制形態(mm)	26.5	
载荷体	上下	
強制変形位置	上	
L1拘束条件	なし	
試料土	ヤング係数(N/mm <sup>2</sup> )	0.005
	ポアソン比	0.4
鉄板	ヤング係数(N/mm <sup>2</sup> )	5000
	ポアソン比	0.3

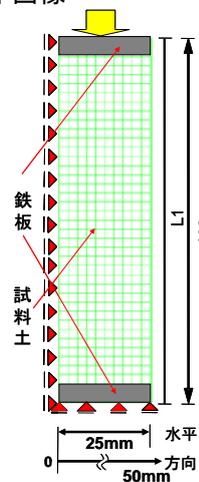


図7 FEM解析の入力条件

(4) 図8は、研究方法(4)に示す杭Aと杭Bについて得られたサーモグラフィ画像に土壤硬度計によって得られた強度の分布をコンターラインとして重ねたものである。杭Aについては、フリクションカッターが外側に付いているため、杭周辺部の乱れが杭Bに比較して大きく現れている。また、杭先端に関しては、逆に杭Bに比較して杭Aの土の乱れは少ない。以上のように、サーモグラフィの画像に土壤硬度計による地盤強度分布図を重ねると、杭周辺の土の乱れが視覚的にきわめて明確にとらえられることがわかった。

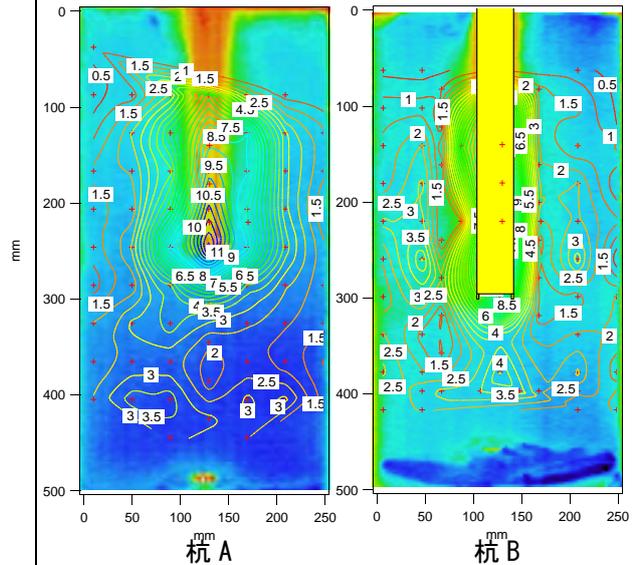


図8 各杭の貫入時サーモグラフィと土壤硬度の応力分布計( $\times 10^{-1}N/mm^2$ )の結果

(5) 図9~図12は、杭の貫入速度を45mm/min、90mm/min、180mm/min、270mm/minとした時の地盤強度分布図(左)とサーモグラフィ(右)の結果を示したものである。図9の45mm/minと図10の90mm/minでは、いずれも杭周辺の地盤強度は大きくサーモグラフィも杭周辺の温度が高く現れており、杭周辺の摩擦力が大きく現れているのに対し、図11の180mm/minと図12の270mm/minでは、地盤強度が分散しており、サーモグラフィでは熱が分散している状況が非常によく現れている。すなわち、貫入速度が少なくとも90mm/min以下では、杭の貫入に伴い杭周辺の土は締固められるが、180mm/min以上では杭は周辺の土を破壊しながら貫入している。以上のように、サーモグラフィでは、どの領域が締固められているのか定量的に評価でき、地盤強度分布図と併せると、回転貫入杭の施工及び支持力に関する多くの情報を得ることができるとわかった。

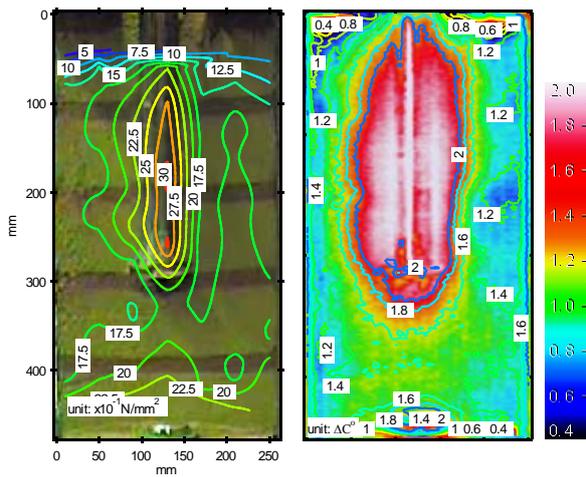


図9 45mm/minの貫入速度の場合の地盤強度とサーモグラフィ

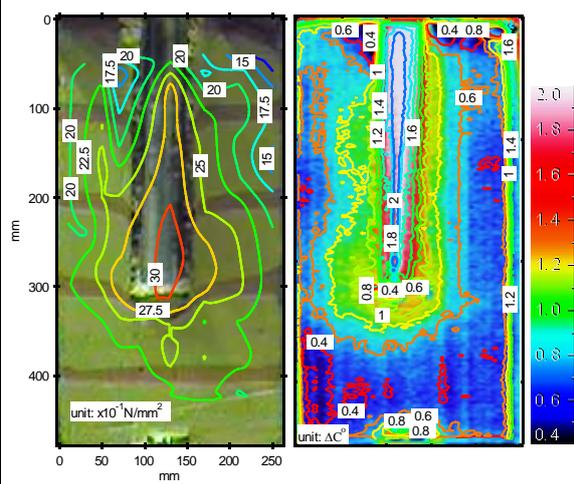


図12 270mm/minの貫入速度の場合の地盤強度とサーモグラフィ

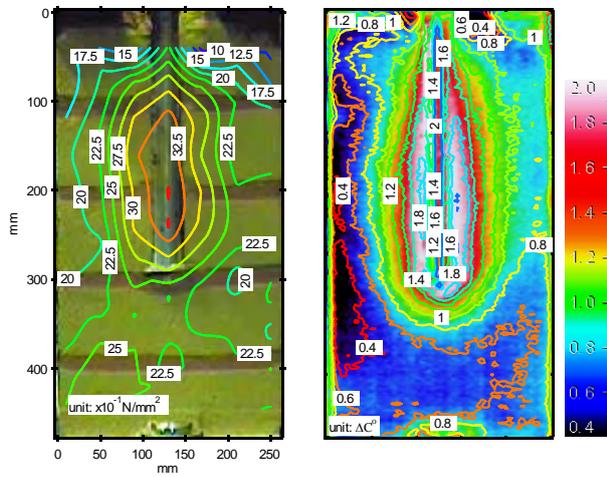


図10 90mm/minの貫入速度の場合の地盤強度とサーモグラフィ

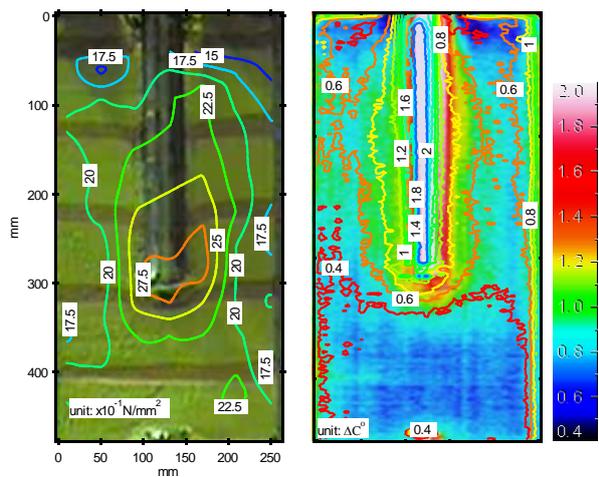


図11 180mm/minの貫入速度の場合の地盤強度とサーモグラフィ

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

① M. Fujii, M. J. Arai, K. Watanabe, Visualization of soil mobility surrounding a model pile using thermography, Geotechnical Challenges in Megacities, International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 2010, Moscow, Russia

[学会発表] (計2件)

① 藤井衛、新井マウリシオ淳、サーモグラフィを用いた杭のフリクションカッターによる土粒子挙動の可視化、日本建築学会大会学術講演梗概集、日本建築学会、2009年8月27日、pp. 623, 624、東北学院大学

② 藤井衛、新井マウリシオ淳、サーモグラフィによる土粒子挙動の可視化、第44回地盤工学研究発表会、地盤工学会、2009年8月19日、pp. 115, 116、関東学院大学

### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤井 衛 (FUJII MAMORU)

東海大学・工学部・教授

研究者番号：70130094