

# 回転貫入杭の羽根近傍地盤の観察に基づく貫入メカニズムの検討

# STUDY ON PENETRATION MECHANISM OF SCREW PILE BASED ON SOIL MOVEMENT AROUND HELICAL WING

土屋 勉 ——\*1      中沢楓太 ——\*2  
 島田正夫 ——\*3

Tsutomu TSUCHIYA ——\*1      Futa NAKAZAWA ——\*2  
 Masao SHIMADA ——\*3

キーワード：  
 回転貫入杭, 貫入メカニズム, 模型実験, 可視化

Keywords:  
 Screw pile, Penetration mechanism, Model test, Visualization

Model tests were conducted to observe the soil movement around helical wing, in order to investigate the penetration mechanism of screw pile. In the tests, to observe the soil movement from the inside of pile shaft by the fiberscope, the translucent acryl pipe and the polished rice were replaced for the pile and the soil, respectively. The results show the streams of rice particles around the helical wing, and how the cavernous zone propagates with the penetration of pile. Finally, we have discussed the effect of the space of helical wing upon the efficiency of penetration of screw pile.

## 1. はじめに

最近、場所打ち杭や一般の埋込み杭に見られる残土処理、更には騒音振動の問題を克服した回転貫入型の杭工法の開発が活発となっている<sup>1)</sup>。これらの工法では、施工時における様々な情報（回転トルク、押圧力、1回転当りの貫入量 etc.）を得ることが出来るが、杭の支持力推定に利用できる段階まで到達しておらず、杭の打ち止め管理としての利用にとどまっている。その理由として、回転貫入杭の貫入メカニズムが十分に解明されていないことがあげられる。

本研究では、回転貫入杭の推進力を生み出すと考えられる羽根の作用を検討することを目的として、杭貫入中の羽根近傍地盤の粒子挙動を杭内部から直接観察を試みる。試作した実験装置は杭を一定の速度で貫入させることが可能であり、杭を模擬した透明なアクリルパイプ内に取り付けられたファイバースコープによって、地盤を模擬した米の流動状況を追跡することが出来る。本報では、本装置を利用して羽根近傍地盤の基本的な挙動を把握した後、杭の貫入性能に及ぼす羽根始端と終端間の切り欠き角や1回転当りの貫入量の影響について検討した。

## 2. 実験装置および実験方法

実験装置を図1に示す。本報告の形状を有する回転杭は、通常の施工では杭頭を時計回りに回転させることによって貫入する。これに対して本実験では、荷重フレームを一定速度で降下させながら、杭の回転を拘束した状態でターンテーブルに載せた土槽を反時計回りに回転させる方式とした。また、杭の貫入を容易にするために、大きさの異なる2つの土槽の間に生じる隙間を利用して、杭先端よ

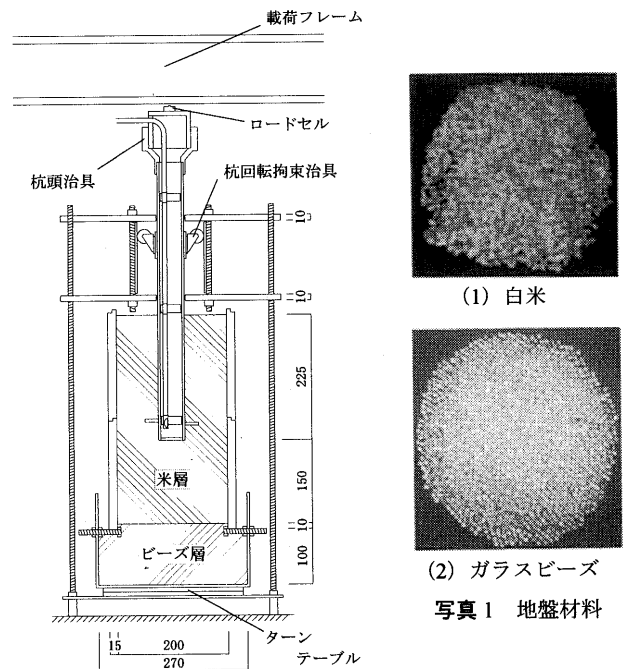


図1 実験装置

表1 地盤材料の性質

	最大密度 (g/cm <sup>3</sup> )	最小密度 (g/cm <sup>3</sup> )	作製地盤密度 (g/cm <sup>3</sup> )	安息角 (°)	内部摩擦角 (°)
白米	0.962	0.825	0.862 (D <sub>r</sub> =29%)	30	33
ガラス ビーズ	—	—	—	18	—

\*1 室蘭工業大学 教授・工博  
 (〒050-8585 北海道室蘭市水元町27-1)  
 \*2 室蘭工業大学 大学院博士前期課程  
 \*3 室蘭工業大学 技術職員

\*1 Prof., Muroran Inst. of Tech., Dr. Eng.

\*2 Graduate Student, Muroran Inst. of Tech.  
 \*3 Technician, Muroran Inst. of Tech.

り生じる力を地盤の外に逃がす構造となっている。

模型地盤は写真 1 に示す白米とガラスビーズ ( $\phi 2.1 \sim \phi 2.3$ ) を材料として作製した。地盤材料の性質を表 1 に示す。白米の粒子はその形状から異方性が考えられるが、内部摩擦角が珪砂 6 号に比較的近似していたので、地盤材料として採用した。ガラスビーズは粒子間の摩擦が小さく、動きやすい性質がある。これらの材料を図 1 に示す位置に用いることで、杭貫入に伴う杭先端部の粒子の移動がスムーズになり、小さな土槽での模型実験が可能になった。また、杭貫入中の視覚による粒子追跡を容易にするために、食紅で着色した白米を 5% 程度混ぜている。なお、本実験では拘束圧が小さいこともあり、杭の貫入による白米の粒子破碎はほとんど観察されなかった。

模型杭は図 2 に示すような軸部 ( $\phi 48, t 4$ ) および羽根部 ( $\phi 96, t 5$ ) である。軸部は内部から地盤の様子を観察できるように透明アクリルパイプ (ヤング係数:  $E=2940\text{N/mm}^2$ , ポアソン比:  $\nu=0.36$ ) とし、同図に示す杭外側周面には杭体トルク計測用のひずみゲージ (型式: KFP-2-120-C1-65L3M3R) を貼付した。羽根部は 1 枚の螺旋羽根であって、比較的大きな曲げが作用する<sup>2)</sup>と考えられたので、鋼材を加工したものとし、3 種類の切り欠き角  $\theta$  ( $\theta=0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ ) を有している。また、図 1 に示す杭頭部位置には杭頭荷重計測用のロードセル (型式: R-LMA-1KN) を設置する。

撮影用具はファイバースコープ (型式: FS-1000LR) と照明用のペンライトであって、それぞれを図 3 のように配置する。ペンライトの光を杭先端内部に貼付したアルミホイルに反射させることで、杭内部の明るさを十分に確保することができ、撮影した映像が鮮明

なものになった。ファイバースコープの固定は図 3 中の固定具で行ない、杭の内径に沿うものとなっている。この状態でファイバースコープとビデオカメラを接合し、杭貫入中における羽根近傍地盤の粒子挙動を撮影する。なお、貫入中の撮影は 1 回の実験につき 1 箇所とし、ファイバースコープの視野角 ( $60^\circ$ ) と画像のゆがみを考慮して模型杭に設定した 9 つの観察 Point (図 4) について行なった。貫入終了後は、羽根下面に生じる空洞部の様子を観察するために、全 Point について撮影した。

### 3. 基本モデルの粒子挙動

表 2 は実験条件であって、羽根部の切り欠き角  $\theta$  および貫入率  $\mu$  (杭 1 回転当りの貫入量を羽根ピッチで除した値) の因子が杭の貫入性能に及ぼす影響について検討する。基本モデルは 0-0.4 である。なお、荷重フレームの降下速度が一定 ( $28.5\text{mm/min}$ ) であるため、貫入率  $\mu=0.3, 0.4, 0.5$  に応じて、土槽の回転速度をそれぞれ、4.3, 3.2, 2.6 (回/min) とした。この間の全回転数は貫入量が 60mm 程度に相当する 6~9 回転とした。

図 5 は、基本モデルにおける杭貫入中の羽根近傍地盤の粒子挙動を観察した結果を平面展開して描いたものである。本実験から、羽根上面に粒子が供給される領域 (供給域) と粒子がスムーズに流動する領域 (流動域) があることを確認した。その他に羽根始端刃先には粒子が停滞する部分 (コア) と、羽根下面には空洞とほとんど粒子が動かない部分 (不動部) があり、更に、羽根終端刃先に羽根上面からこぼれ落ちる粒子との間で一時的に空洞が生じることを確認した。羽根上面の粒子の流れに着目すると、羽根始端の近くでは

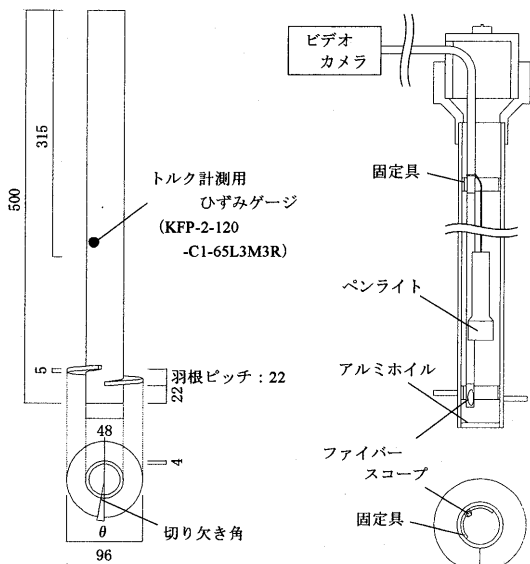


図 2 模型杭

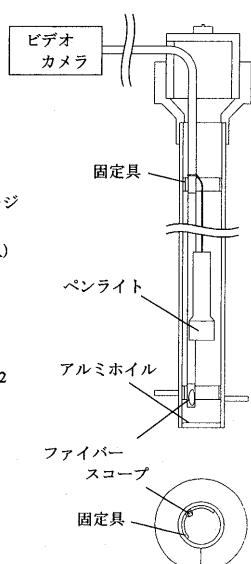


図 3 撮影用具

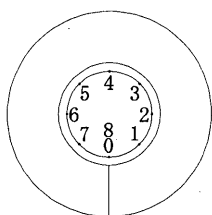


図 4 観察 Point

表 2 実験条件

		貫入率 $\mu$		
		0.3	0.4	0.5
切り欠き角 $\theta$	$0^\circ$	0-0.3	0-0.4	0-0.5
	$10^\circ$	-	10-0.4	-
	$20^\circ$	-	20-0.4	-

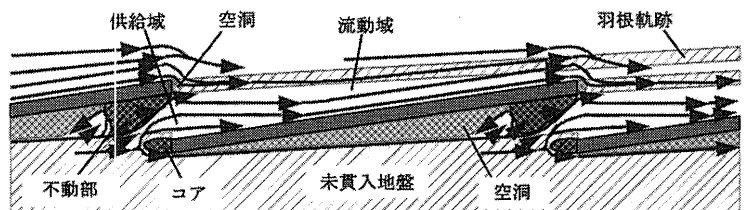


図 5 基本モデルの粒子挙動

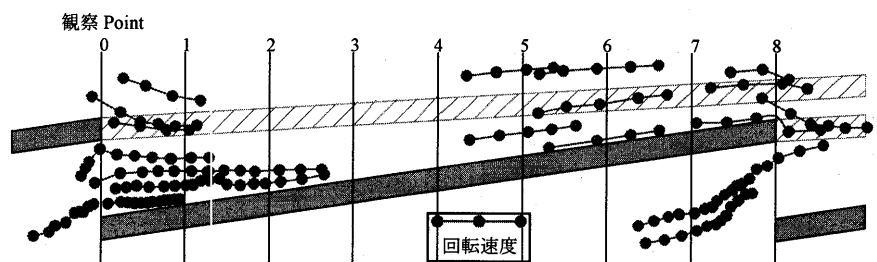


図 6 基本モデルの粒子移動速度

低速度でほぼ水平に流れているが、羽根終端に近づくにつれて速度を増し、羽根面と平行に流れている。

図6はこれらの粒子の移動速度をポイント表示したものである。羽根始端からPoint2付近までは土槽の回転速度よりも遅いが、羽根終端付近では土槽の回転速度とほぼ同様である。このことから、羽根部と前回の羽根軌跡との間の地盤密度はPoint0からPoint2に向かって上昇し、Point3付近以降では大きな推進力を生み出していると推察される。また、羽根上面への供給域を通過する粒子の流れは極めて遅い。これは羽根終端下部に生じる不動部と羽根始端刃先に形成されるコアによる抵抗の他に、羽根終端上面からこぼれ落ちた粒子が再び羽根面へ供給されることや、羽根下面の空洞の存在によって粒子が押し出されにくいからである。

不動部は、貫入開始後すぐに形成され、その領域の大きさはその後ほとんど変化しない。この不動部は羽根始端刃先にコアが生じることで羽根の入り口に向かう粒子の流れが上向きになり、羽根終端下面の粒子の流れを妨げることや、羽根下面の空洞の存在によって粒子が押し出されないことで生じ、刃先のコアと共に貫入抵抗となると考えられる。羽根下面の空洞は貫入開始と同時に羽根始端から形成されて徐々に拡大して、不動部の形成時に最大となり、その後

はほとんど変化しない。

以上の羽根上部および下部の粒子挙動から羽根面で生み出される推進力は、羽根始端ではその上方に空洞が存在することからほとんど生じず、羽根終端に近づくにつれて大きくなるが、終端部では不動部の影響で減少することが示唆される。

#### 4. 切り欠き角および貫入率が及ぼす影響

##### 4.1 粒子挙動

図7は、切り欠き部の粒子挙動について、切り欠き角および貫入率を変化させて比較したものである。切り欠き角を大きくすると、流動域が広がって不動部が減少し、流れ①および②は上向きになっている。また、流れ③の移動速度は、切り欠き角が大きいほど速い。以上より、切り欠き角を大きくすることで、羽根上面への粒子の供給量が増加して羽根面でより大きな推進力が得られ、杭の貫入性能が向上することが示唆される。 $\theta=0^\circ$ で貫入率を変化させた場合は、同図(2)に示すように粒子挙動に大きな変化は見られなかった。

図8は貫入終了後の羽根近傍地盤を平面展開したものである。切り欠き角を大きくすると、羽根下面の空洞域は広くなり、推進力を

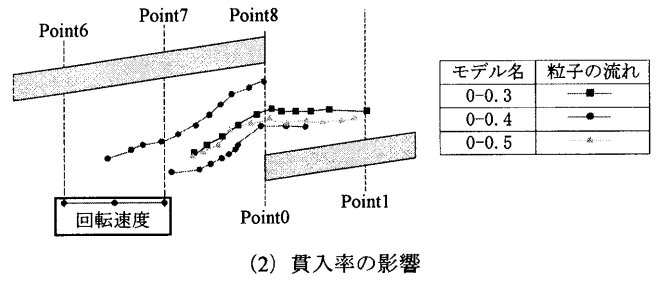
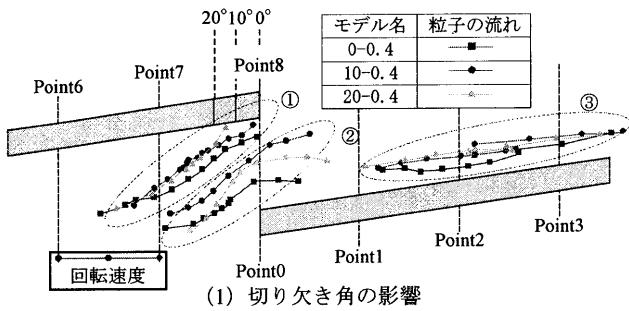


図7 切り欠き部の粒子挙動

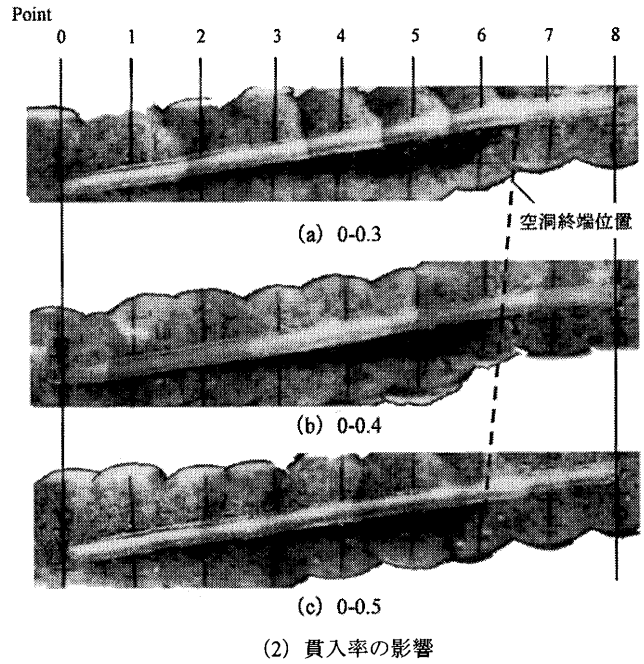
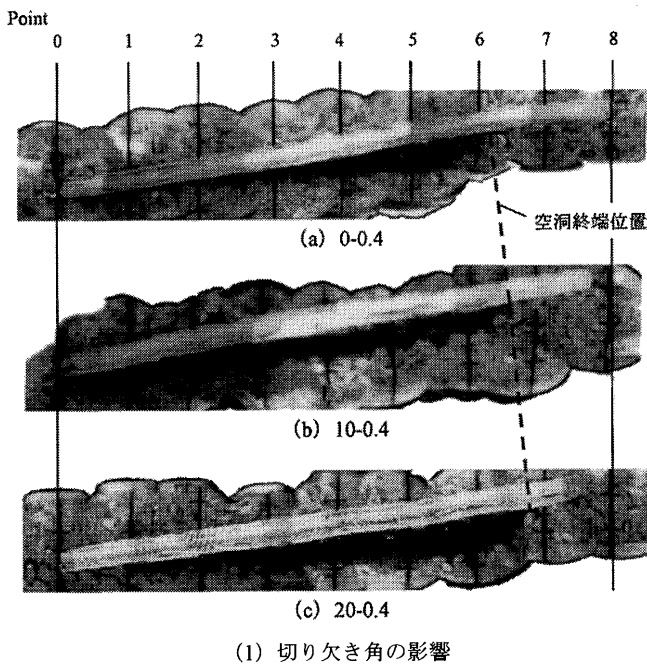


図8 貫入終了後の羽根近傍平面展開図

減少させると考えられる不動部は狭くなっている。また、貫入率を大きくすると、空洞域が狭くなっている。これらの現象はその後の載荷に対する鉛直支持性能に影響するものと考えられる。

4. 2 杭頭荷重および杭体トルク

図9は、貫入の進展に伴う杭頭荷重および杭体トルクの計測値の一例であるが、杭回転拘束治具の取り付け位置が杭頭より200mm程度下部にあるため、杭頭部が円を描きながら貫入し、概ね1回転に相当する周期をもって変動している。そこで、以降では計測値を1回転当りに平均化して評価する。

図10および図11は、貫入の進展に伴う各モデルの杭頭荷重および杭体トルクを示したものである。なお、試験回数は $\mu=0.4$ の場合ではそれぞれの切り欠き角で10回、 $\mu=0.3$ および $0.5$ の場合では5回であり、図中の曲線はそれらの平均値である。それによると、 $\theta=20^\circ$ のモデルの杭頭荷重および杭体トルクが小さくなっており、切り欠き角が杭の貫入性能を向上させる因子の一つと考えられる。貫入率を変化させた実験では、 $\mu=0.3$ のモデルの杭頭荷重および杭体トルクが最小になった。

5. まとめ

本報告では、杭貫入中の羽根近傍地盤を直接観察することが可能な実験装置を製作し、羽根近傍地盤の基本的な粒子挙動を確認すると共に、羽根の切り欠き角および貫入率が杭の貫入性能に及ぼす影

響について検討し、以下の知見が得られた。

- ①. 羽根上面を粒子が流動する領域や羽根下面の空洞の他に、羽根始端刃先にコアや羽根下面に不動部が生じる。
- ②. 羽根上面のスムーズな粒子の流動域は推進力を生み出すが、コアおよび不動部は貫入抵抗となると推察される。
- ③. 切り欠き角を設けることで、羽根上部への粒子の供給量が増加して、貫入性能は向上するが、同時に羽根下面の空洞域が増加することで鉛直支持性能が低下することも懸念される。
- ④. 貫入率を増加させると、羽根下面の空洞域が減少して、鉛直支持性能が向上することが推察される。
- ⑤. 切り欠き角は貫入性能を向上させる因子であり、本実験の範囲では $\theta=20^\circ$ のモデルが優れている。

参考文献

- 1) 土屋勉：最近の埋込み杭施工法の動向と今後の展望，基礎工，Vol.31，No.9，pp.11-15，2003.9.
- 2) 大杉富美一，土屋勉，他：大型加圧土槽を利用した回転貫入模型杭の貫入実験，日本建築学会構造系論文集，No.591，pp.69-75，2005.5.
- 3) 中沢楓太，土屋勉，他：回転貫入杭の貫入中における羽根近傍地盤の観察（その1，その2），第41回地盤工学研究発表会，pp.1469-1472，2006.7.

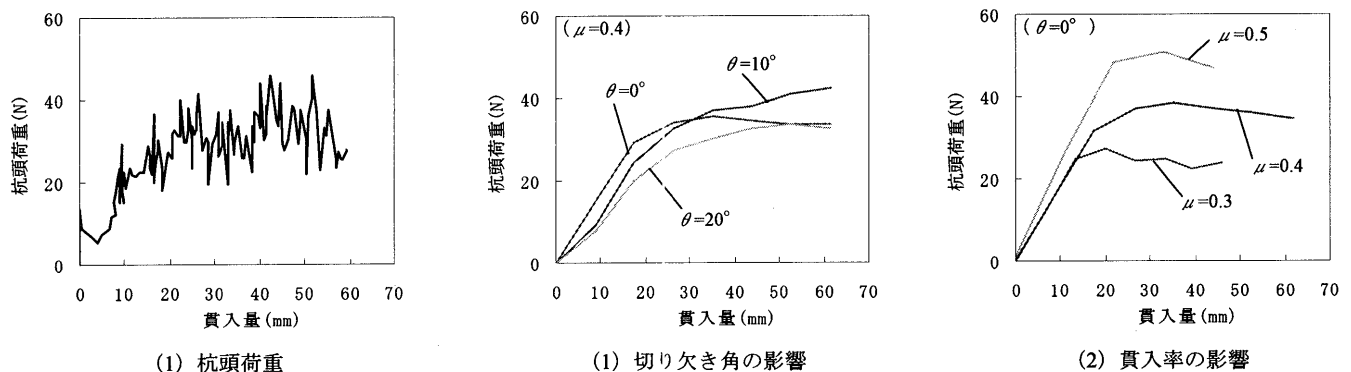


図10 杭頭荷重

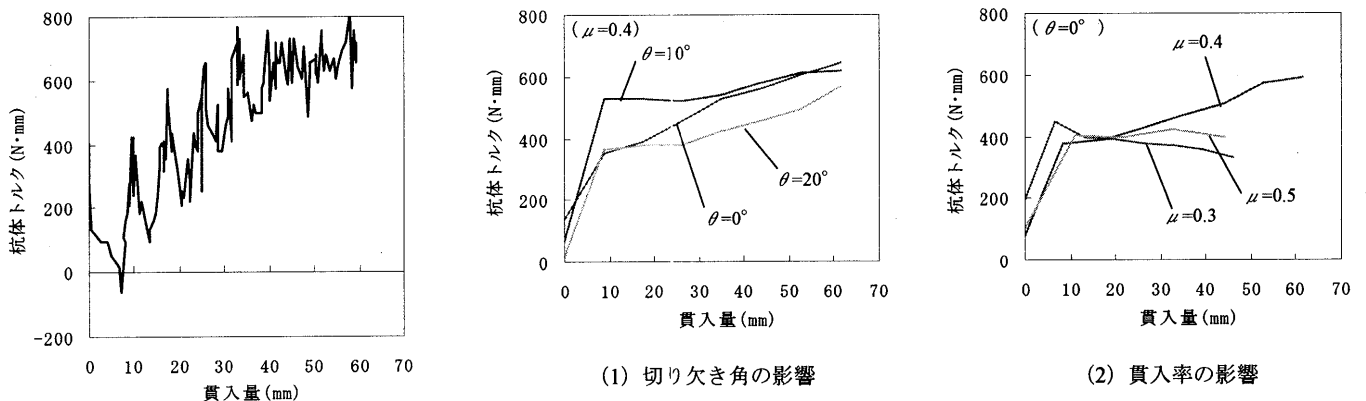


図11 杭体トルク

図9 計測値の例

[2006年10月19日原稿受理 2007年2月19日採用決定]