

## LDTとは (Local Deformation Transducer)

LDTは、板バネに4枚のひずみゲージを張り付けたセンサーで、上面の伸び、下面の縮を利用して、両端間の $\Delta$ 変位を直接変位測定することができます。

更にこの様な構造の為、LDTの測定長は、板バネの特性に依りますが、初期長さの20%以上も取る事が出来ます。

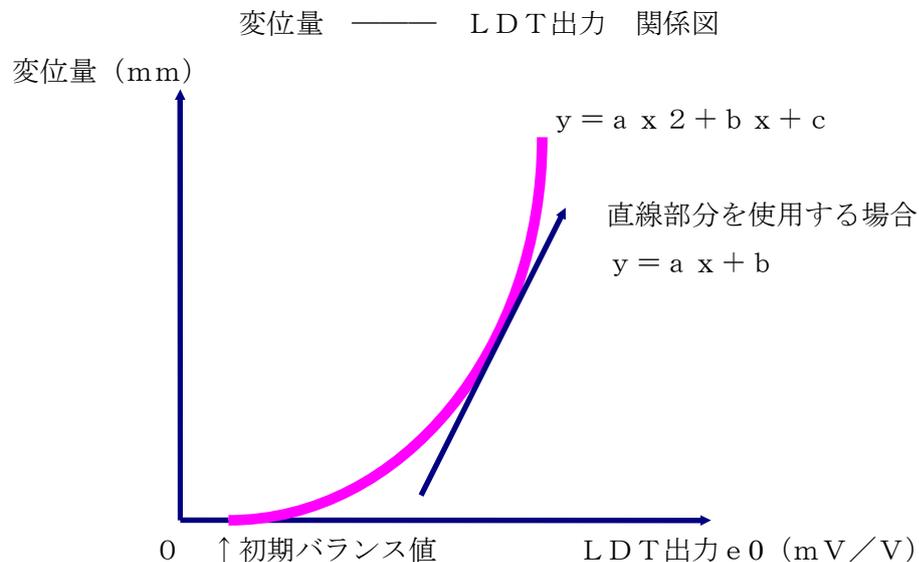
この出力は、試料のひずみを計測する1枚ゲージ張り付け時より同一ひずみで、4倍の出力が得られるようになっています。(ホイーストブリッジ)

更に、LDTは4枚のひずみゲージが温度保証する事で、より良いデータが得られます。しかし、LDTは試料のひずみを直接測定する事は出来ず、LDTの長さ変化を計る事に成ります。

この長さ変化と出力の間係は、構造上直線的でなく曲線関係と成っております。

従いまして、得られたデータから、変位データを得る為には、近似式又は、予め得た校正データを基に、変換しなければなりません。

下図に、変位と出力の関係を示します。



上図よりわかる様に、LDT出力を変位量に置き換えるには、多項式(二次式)を使用しなければなりません。

更に、LDTは、個々が異なる特性(初期バランス値を含む)を持つ為、校正により式を算出する事に成ります。

尚、後述する簡易LDTの使用では、上図の直線部分を使用する事で、一次式が使用可能になります。

従いましてLDTの使用に当たっては、次の事をしなければなりません。

1. 使用するLDT個々の校正データを得る。
2. 校正データより、このLDTの二次式を得る。
3. LDTの特性上、校正及び測定の開始位置を正確に捉えて置かなければ正しい変位量に変換出来なく成ります。従いまして、微小変位を目的とする場合は、取り付け時のLDT出力データを記録する。これは、アンプのゲインを上げるには、現在の出力を“0”にしなければなりません。後で変位量に変換する時、二次式にその情報を与えます。尚、後述ではこの初期値の取り方をもう少し異なる手法で行っております。
4. 測定データを得る。
5. 測定データ及び記録された初期値を、二次式にあてはめて変位量のデータを得る。

HMDでは、これらの問題を解決する為の低ノイズアンプ、高精度基準変位計及び測定用ロガー、パソコンソフト等をサポートしております。

後で、LDTの校正方法、式の算出、取り付け、測定、変位量への変換等を示します。

LDTの利点を、下記に示します。

1. 試料に直接取り付け出来る。更に、ひずみゲージが取り付け不能な試料に対しても、可能と成り得る。
2. ひずみゲージでは不可能な、離れた2点間の測定が出来る。
3. 使用環境が、固形媒体以外の空気中、水中、油等で、これらの低温、高温、高压内で測定出来る。
4. 前図よりわかる通り、初期（平坦時）の出力感度が高い。従いまして、微小変位が測定出来る。
5. ひずみゲージと異なり、センサーとしての測定精度確認が出来る。
6. ひずみゲージと異なり、極度な変形を与え無い限り、或る程度再利用出来る。
7. 4ブリッジ構成の為、温度補償される。

LDT測定では、次の様な問題点を含んでいます。

1. LDT製作時に、発生する初期バランスのずれ。（薄い板のひずみ、ゲージの接着ひずみ、半田付けによるひずみ等）尚、これは校正データで補正出来る。
2. シリコンの剛性による影響。（復帰力）
3. ヒンジの長さ、取り付け方及び位置、ヒンジとLDTの密着性。  
標準縦型LDTでは、試料に接着したヒンジ面の変位が固定されるための影響。  
これを少なくするためには、出来る限り短いヒンジ又は接着部分を少なくする事

です。このLDTの変位変化を測定する事が出来る部分は、上下のヒンジが固定された部分の中心間（測定距離）となります。これは、推測される情報で、実際とは異なることが予想されます。従いまして、この測定距離は、上下ヒンジの接着面の

合計長さの1/2が、不確定な長さと考えられます。

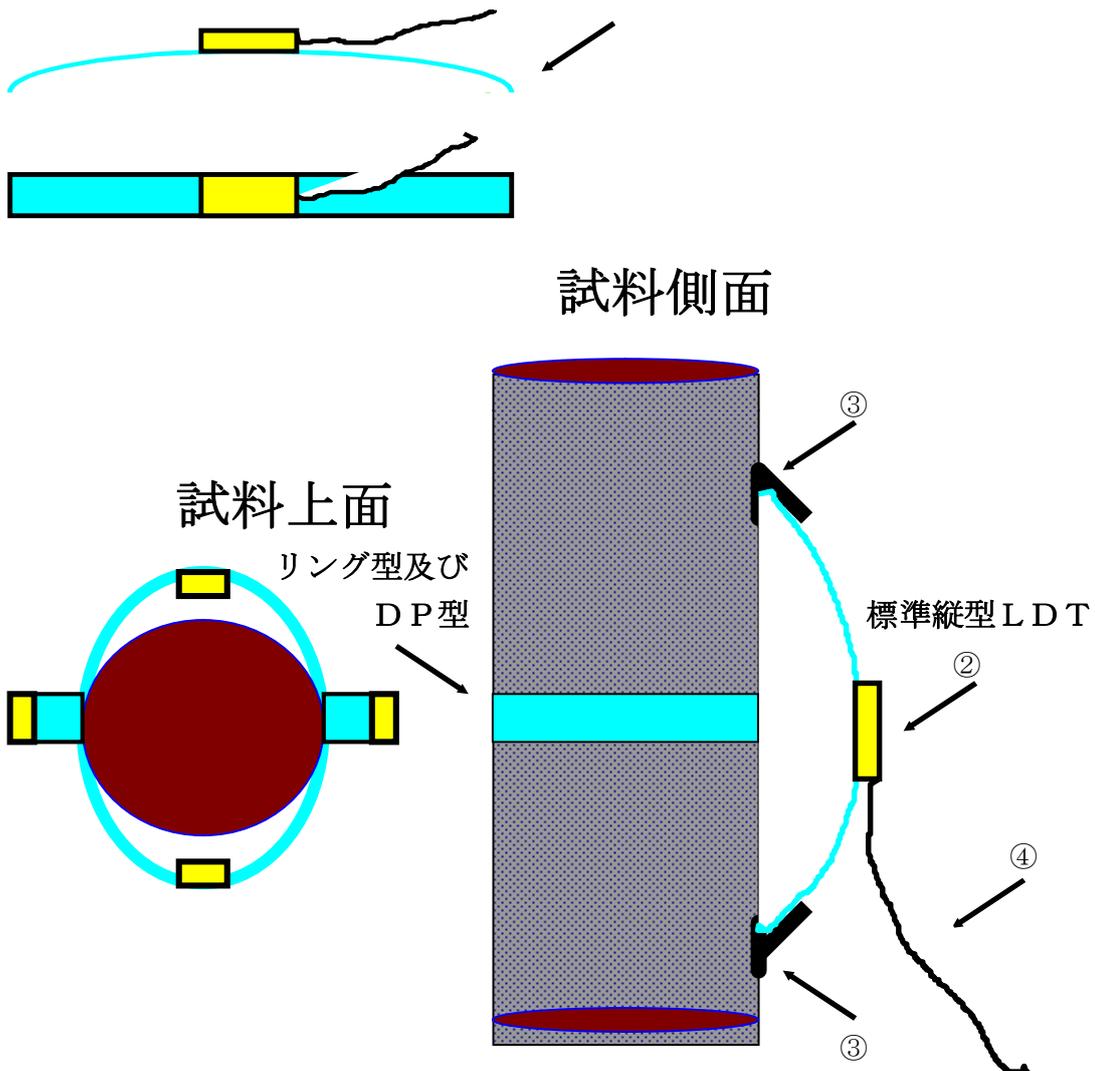
例：HMD ヒンジ STD6 は、接着面の長さが6 mm有ります。

不確定な長さ=(6+6)/2= 6 mmとなります。HMD-LDT 70 mmを使用して中心間（測定距離）を69 mmにセッティングした場合、

計算上の測定距離= 69 ± 6 mm となり、誤差が約10%近くに成ります。

この事から、出来る限りヒンジ接着面の長さを短くする事が測定精度を上げます。

4. リード線の引っ張りによる影響。
5. フラット状態での安定性、校正時と試料に取り付け時での、微小なレベルの違い。



## 簡易LDTの測定は、下記の手順で行います。

HMD-LDTの校正係数を一次式で使用します。標準軸方向LDT(P型)の場合は、縮めた状態(特性の直線部分)から使用します。尚、直径用LDTのPW型、DP型、PR型及び軸方向LDTのR型LDTの特性は、一次式となりますので設定位置を選びません。

与える校正係数は、添付されたエクセルの一次式( $y = a x + b$ )から算出します。

ここに、 $y$  (mm)、 $x$  (mV/V)、 $a$  (係数)、 $E$  = 供給電圧 (V)

### <軸方向LDT>

変位 (mm) で表す場合の校正係数： $k = a / E$

ひずみ (%) で表す場合の校正係数： $k = 100 * (a / E) / L$

$L$ は、LDTの設置時の測定距離 (mm)

ひずみ ( $\mu s$ ) で表す場合の校正係数： $k = 10000 * 100 * (a / E) / L$

$L$ は、LDTの設置時の測定距離 (mm)

### <直径方向LDT>

変位 (mm) で表す場合の校正係数： $k = a / E$

ひずみ (%) で表す場合の校正係数： $k = 100 * (a / E) / D$

$D$ は、試料の初期直径 (mm)

ひずみ ( $\mu s$ ) で表す場合の校正係数： $k = 10000 * 100 * (a / E) / D$

$D$ は、試料の初期直径 (mm)

### <HMDロガーを使用する場合>

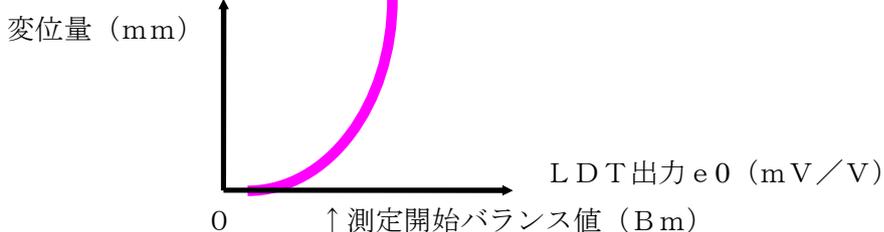
1. マルチロガーJrを使用する場合は、設定情報に上記係数をそのまま与えます。
2. LDTを、直接センサー名として与える事が出来ない為、適当なセンサー名を使用して行います。例として、“H1102/H1203では、軸変位2又は縦/横ひずみ”、“H1103では、+軸変位”として与えます。又は、全く別なセンサーに割り当てることも出来ます。
3. H1102/H1203で、縦/横ひずみとして使用する場合、ゲージ率=1として行います。
4. 増設ユニットがある場合は、低ノイズアンプHS9545が使用出来、通常“C5~C8”で、任意のチャンネルに設定出来ます。ない場合は、通常“A5~A8”が使用出来ます。この場合は、ゲインが小さい為、微小レベルは、使用出来ません。その他の場合では、LDTに供給する電圧は3V以下にします。
5. 各ロガー用のセンサーグループファイルが用意されていますので、参考にしてご使用下さい。

## 多項式使用のLDTの測定は、下記の手順で行います。

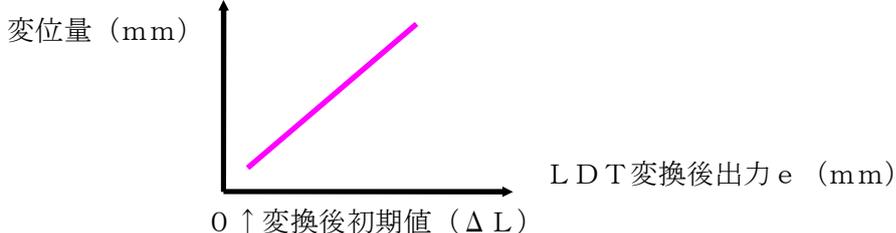
以下の手順で、測定及び変換を行います。

1. LDTの測定単位は、 $mV/V$ で行います。
2. 使用アンプのオフセットを“0”にします。
3. 試料にセットした時バランス修正する場合は、この測定開始バランス値 ( $B_m$  ( $mV/V$ )) を記録して、バランス調整します。
4. 測定を行います。
5. 測定データを、エクセルに読み込み、提供された使用LDTの多項式 ( $y=ax^2+bx+c$ ) を使用して変位量 (mm) に変換します。尚、バランス修正した場合は、測定データに、測定開始バランス値 ( $B_m$ ) を加えます。
6. 変換後の測定データの先頭は、取り付けにより短くなったLDTの減少分 ( $\Delta L$ ) を示します。
7. 変換後の測定データのオフセットの除去を行います。全てのデータから、先頭データ値を差し引きます。これにより“0”から始まる測定データと成ります。

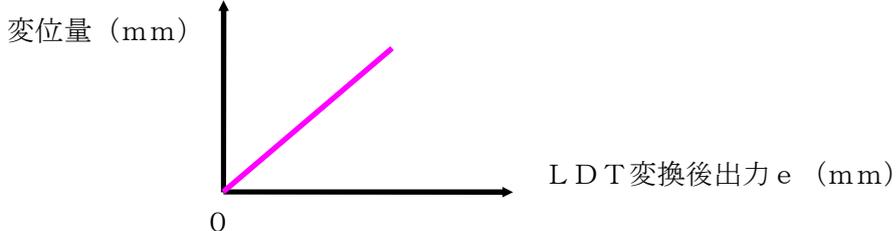
<測定データ> 変位量 ——— LDT出力 関係図



<変換データ> 変位量 ——— LDT出力 関係図



<変換データ> 変位量 ——— LDT出力 関係図



**試料へのヒンジ及びLDT取り付けは、下記の手順で行います。**

それぞれの場合、接着後1分程度は試料に影響ない程度の力で押さえる。

<一軸試料（砂、粘土等）対象とする場合>

1. ヒンジは標準型、長針付きヒンジ取り付け台（1～1.5cm）を使用する。
2. 治具等を用いて、ヒンジ取り付け台の位置を決める。
3. 治具位置を確認しながら、両方の台を取り付け位置に素早く固定する。接着剤は、粘度の高い瞬間接着剤で、裏側及び長針に十分付ける。
4. 固定するまで、1～2分程度待つ。
5. 治具位置を確認しながら、下方のヒンジを取り付け位置に素早く固定する。接着剤は、裏側に一滴付ける。
6. 固定するまで、1～2分程度待つ。
7. 上記5同様に、上方のヒンジを取り付け位置に素早く固定する。接着剤は、裏側に一滴付ける。又は、LDTを下方のヒンジに挟み込んで、尚かつ、LDTの上方はヒンジに挟み込み取り付け位置を修正しながら素早く固定する。
8. LDTの予定のたわみ及び平行度を、確認して取り付けを完了する。更に、必要ならば、LDT出力を監視しながら固定する。

<一軸試料（軟岩等）対象とする場合>

1. ヒンジは標準型を使用する。
2. ヒンジの取り付け位置を決め、サウンドペーパー等でその位置を綺麗にし、ライン又はラインテープで正確に印す。（必要ならば、治具を用いる）
3. 下方のヒンジを取り付け位置に素早く固定する。接着剤は、粘度の高い瞬間接着剤で、裏側に十分付ける。（必要ならば、治具を用いる）
4. 固定するまで、1～2分程度待つ。
5. 上記3同様に、上方のヒンジを取り付け位置に素早く固定する。接着剤は、裏側に十分付ける。又は、LDTを下方のヒンジに挟み込んで、尚かつ、LDTの上方はヒンジに挟み込み取り付け位置を修正しながら素早く固定する。
6. LDTの予定のたわみ及び平行度を、確認して取り付けを完了する。更に、必要ならば、LDT出力を監視しながら固定する。

<三軸試料（砂、粘土等）対象でメンブレンに取り付ける場合>

1. ヒンジは標準型を使用する。薄手の両面テープを使用する場合は、予めヒンジ裏側に貼り付けておく。
2. 試料に通常の如く、メンブレンを被せ、セルにセットする。
3. 治具等を用いて、ヒンジ取り付け位置を決める。
4. HMD-LDTセットの取り付け具を使用して取り付けの場合は、予め決めた位置にゆっくりと平行に押しつけて取り付け、慎重にヒンジを工具より引き離す。この場合は、以下の項は不要。
5. 工具を使用しない場合は、下方のヒンジを、取り付け位置に素早く固定する。接着剤の場合は、裏側に一滴付け、固定するまで1～2分程度待つ。
6. 上記5同様に、上方のヒンジを、取り付け位置に素早く固定する。又は、LDTを下方のヒンジに挟み込んで、尚かつ、LDTの上方はヒンジに挟み込み取り付け位置を修正しながら素早く固定する。
7. LDTの予定のたわみ及び平行度を、確認して取り付けを完了する。更に、必要ならば、LDT出力を監視しながら固定する。

<三軸試料（軟岩等）対象とする場合>

1. ヒンジは標準型、短針付きヒンジ取り付け台（0.5cm）を使用する。
2. 試料にライン又はラインテープを印して、ヒンジ取り付け台の位置を決める。（必要ならば、治具を用いる）
3. 位置を確認しながら、両方の台を取り付け位置に素早く固定する。接着剤は、粘度の高い瞬間接着剤で、裏側及び短針に十分付ける。
4. 固定するまで、1～2分程度待つ。
5. 両方の台に接着剤を十分付けて、メンブレンで覆い、台とメンブレンを固定する。
6. 固定するまで、1～2分程度待つ。
7. 台の位置にライン又はラインテープを印して、ヒンジ取り付け位置を決める。（必要ならば、治具を用いる）
8. 位置を確認しながら、下方のヒンジを台の取り付け位置に素早く固定する。接着剤は、裏側に一滴付ける。
9. 固定するまで、1～2分程度待つ。
10. 上記8同様に、上方のヒンジを台の取り付け位置に素早く固定する。接着剤は、裏側に一滴付ける。又は、LDTを下方のヒンジに挟み込んで、尚かつ、LDTの上方はヒンジに挟み込み取り付け位置を修正しながら素早く固定する。
11. LDTの予定のたわみ及び平行度を、確認して取り付けを完了する。更に、必要ならば、LDT出力を監視しながら固定する。

## HMD LDTの三軸セルへの取り付け

防水及びシール処理された三軸セルからのLDTケーブル取り出し用機構（ジョイントプラグ）が、以下の様に用意されております。

1. Oリングシール（Φ22）タイプ（三軸セル上部エアースペース用、シール対策）  
LDT直接接続で、プッシュ型端子台に取り付けます。LDTの交換が簡単です。  
アンプ接続コネクタは、NDIS（多治見PRC03型7Pメス/オス）



アンプ接続コネクタがオスの場合のセルに取り付ける手順を、以下に示します。

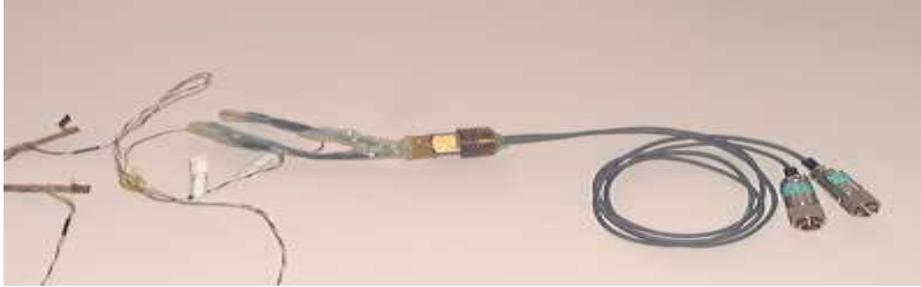
1. セル内側より1個目のコネクタを通します。
2. 1個目のコネクタの撚り線部分（ジョイントプラグのすぐ上）をほぐして平らにします。
3. 2個目のコネクタを、1個目のコネクタの撚り線部分を傷つけないように押し込みます。

2. メクラビス (1/8 P T) タイプ (完全防水)

三軸セルの上下どちらからでも取り付け出来ます。

L D Tの取り外しは、配線及びシリコンシールの除去が必要になります。

アンプ接続コネクタは、セル内側より取り付ける場合は、丸形小型5 P又は4 P  
外側から取り付ける場合は、N D I S (多治見P R C 0 3型7 Pオス/メス)



3. Oリングシール (Φ 2 2) タイプ (三軸セル上部エアースペース用、シール対策)

L D T直接接続 (完全防水) と、丸形小型4 Pコネクタ (シール対策) があります。  
直接接続は、三軸セルの下部からの取り付けも出来ます。

L D Tの取り外しは、配線及びシリコンシールの除去が必要になります。

コネクタ接続は、三軸セルの上部エアースペースに取り付けます。

L D Tの取り外しは、簡単にコネクタで行います。

アンプ接続コネクタは、N D I S (多治見P R C 0 3型7 Pオス/メス)



アンプ接続コネクタがオスの場合のセルに取り付ける手順を、以下に示します。

1. セル内側より1個目のコネクタを通します。
2. 1個目のコネクタの撚り線部分 (ジョイントプラグのすぐ上) をほぐして平らにします。
3. 2個目のコネクタを、1個目のコネクタの撚り線部分を傷つけないように押し込みます。