

# 土の高速試験装置におけるロードセルの動的特性について

近藤 博<sup>1</sup>・飯沼孝一<sup>2</sup>・浦丸 剛<sup>3</sup>・沢田 純<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 東海大学教授 工学部土木工学科 (〒259-12 神奈川県平塚市北金目 1117)

<sup>2</sup>正会員 工修 株式会社オオバ 東京支店 (〒153 東京都目黒区青葉台 4 丁目 4 番 12-101 号)

<sup>3</sup>学生会員 東海大学 工学研究科土木工学専攻博士前期課程 (〒259-12 神奈川県平塚市北金目 1117)

動圧密工法などのメカニズム解明のために、土の高速圧縮試験が実施されている。しかし、試験装置に用いられているセンサの動的特性についてはあまり関心が払われていない。そこで、載荷重の測定に用いられているロードセルの動的応答特性について、重複反射理論を用いて検討を試みた。次に、一次元波動理論を適応した 2 ゲージ応力解析法を用いてロードセルの動的応答特性について実験的に検証を行った。この結果、ロードセルは動的応答特性に問題があり、適用範囲が限定されることが確かめられた。

*Key Words: dynamic property, load cell, measurement, test equipment*

## 1. はじめに

埋立て地などの地盤締め固め工法として動的圧密工法がよく用いられている。しかし、その改良メカニズムや改良効果については明確になっていない。したがって、当工法による地盤改良のメカニズム解明のために土の高速圧縮試験が数多く実施<sup>1),2),3),4)</sup>されている。しかし、試験装置は従来の試験装置の載荷部のみ改良しただけで、載荷荷重の測定に対しては一般のロードセルが使用されており、センサの動的特性などにはあまり関心が払われていないようである。通常の荷重測定においては、荷重の作用点と測定点が離れていてもほとんどの場合には準静的平衡状態にあるために問題とならない。しかし、衝撃的な荷重が加わる場合には、荷重の作用点と測定点の間にある材料は動的に挙動し、測定点で作用点での値を正確に捉えることができず差異を生じる。このような観点から、岸ら<sup>5)</sup>は衝撃荷重載荷用ロードセルを試作し、圧力計との比較実験でロードセルの応答特性について検討している。しかし、動的応答特性に問題があるといわれている圧力計<sup>6)</sup>と比較したところに問題があるようである。

本報告は、ロードセルを動的応力測定に利用する場合の構造上の問題点を重複反射理論を用いて示した。

さらに、動的応力を一次元弾性応力波理論を適用し、丸棒の先端に作用する衝撃応力を時間的制約なしに測定できる方法である 2 点ゲージ応力解析法<sup>7),8)</sup>に基づく方とロードセルとで測定し、両者の測定波形の比較検討からロードセルの応答特性について検討した。断面形状が複雑なロードセルは、動的応答特性に問題があることを実験的にも示した<sup>9)</sup>ものである。

## 2. ロードセルの重複反射理論に基づく検証

ロードセルで荷重が測定できる条件は、ロードセルとロードセルに作用する荷重が平衡状態にあるとの仮定が成り立つ場合である。しかし、荷重載荷速度が速いときにはこの仮定が成り立たなくなり、ロードセル系内での応力波の反射と透過が問題となってくる。

一般に市販されているひずみゲージタイプのロードセルは、棒の圧縮ひずみを利用したものやビームの曲げひずみ(比較的 low capacity)を利用したものが多く、

図-1 は幅広く利用されている、棒の圧縮ひずみタイプのロードセルの基本構造を示した<sup>10)</sup>もので、中央の細い部分が受感部になっている。大容量のロードセルは受感部の断面積を大きくできるので、一般に容量と固有振動数は比例関係にあることになる。

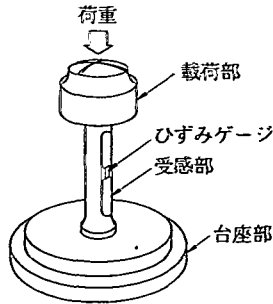


図-1 ロードセルの基本構造図

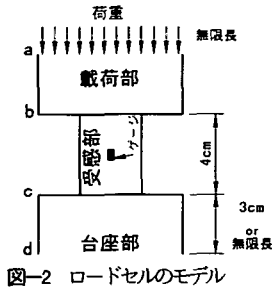


図-2 ロードセルのモデル

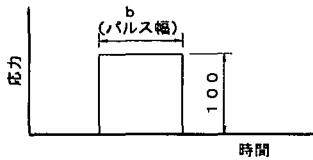
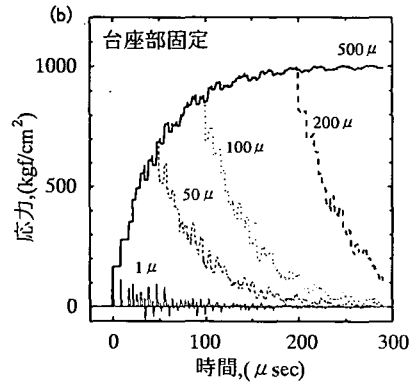
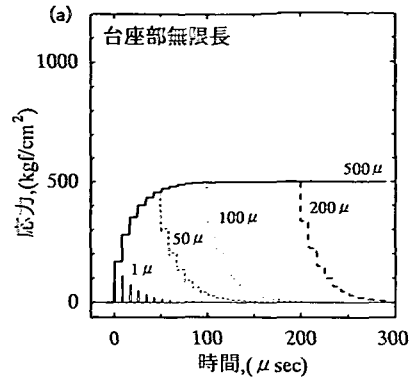


図-3 入射パルス

図-2 は、重複反射理論を適用してロードセルの基本的な問題点を検討するために、図-1 に示したロードセルの基本構造をさらに簡略化して、載荷部、受感部、台座部の3部分に分けて示したものである。各部の断面積の関係は、岸ら<sup>5), 11)</sup>が開発したロードセル等の寸法を参考にして載荷部、受感部、台座部の断面積比を5:1:5とした。また、載荷部の長さは無限長とし、①台座部の長さが無限長の場合、②台座部の長さを3cmとして、剛体に設置した場合の2つの条件について検討を行った。入射応力としては、出力波形の形状変化が判断しやすいパルス波とし、そのパルス幅を5段階に変化させてロードセルの応答特性についての検討を行った。ただし、ロードセルモデル内の波動の伝播速度を5000m/sに仮定した。

図-2 に示したモデルの載荷部に静的に  $100 \text{ kgf/cm}^2$  ( $9.8 \text{ MN/m}^2$ )の応力が作用したときに、受感部の応力は断面積比の関係で  $500 \text{ kgf/cm}^2$  ( $49 \text{ MN/m}^2$ )となる。次に、動的応力が作用したときの場合について検討する。

図-3 はモデルの応答特性を検討するために用いた入射パルスを示したものである。計測波形の変形状況を見るために、入射パルスはパルス高  $100 \text{ kgf/cm}^2$



( $1 \text{ kgf/cm}^2 = 98 \text{ kN/m}^2$ )

図-4 ロードセルモデルの応答

( $9.8 \text{ MN/m}^2$ )と一定とし、パルス幅を1, 50, 100, 200 及び  $500 \mu \text{ sec}$  と5段階に変化させて計算を行った。

図-4(a)は上記①の条件のモデルにパルスが入射したときに、受感部中央に生じる応力波の状況を示したものである。図から明らかのように、 $100 \text{ kgf/cm}^2$  ( $9.8 \text{ MN/m}^2$ )のパルスが入射されたので、立ち上がりの値は各部のインピーダンス  $Z = AE/c$  (ここに、 $A$  は断面積、 $E$  は縦弾性係数、 $c$  は波の伝播速度を表す)<sup>12)</sup> の関係から  $167 \text{ kgf/cm}^2$  ( $16.37 \text{ MN/m}^2$ )の値を示すことがわかる。また、パルス幅が  $1 \mu \text{ sec}$  のときの波形は、最初に  $167 \text{ kgf/cm}^2$  ( $16.37 \text{ MN/m}^2$ )の値を示し、その値は受感部の波動の伝播時間間隔 ( $8 \mu \text{ sec}$ ) で指数関数的に小さくなる (インピーダンスに関係する) パルス波が断続的に計測されることになる。パルス幅  $50 \mu \text{ sec}$  のときは、受感部中央に応力波の到達後、 $60 \mu \text{ sec}$  で  $450 \text{ kgf/cm}^2$  ( $44.1 \text{ MN/m}^2$ )に到達するが、それ以後はやはり指数関数的に減少し、平衡状態である  $500 \text{ kgf/cm}^2$  ( $49 \text{ MN/m}^2$ )に達していない。  $100 \mu \text{ sec}$  で瞬間的にほぼ  $500 \text{ kgf/cm}^2$  ( $49 \text{ MN/m}^2$ )に達し載荷部に作用する応力値が計測されることになるが、入力される波形の形状とはだいぶ異なることとなる。このステップ状

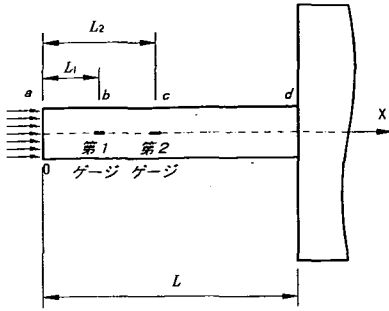


図-5 2ゲージ法の解析モデル

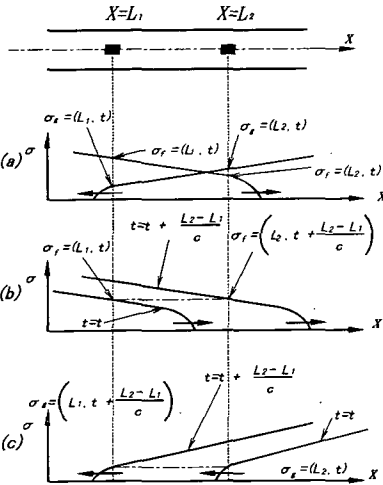


図-6 2ゲージ法の計算モデル

の応力  $\sigma_n$  は、載荷部から受感部へ応力が入射するときの反射係数を  $\alpha$  とおくと次のように表せる。

$$\sigma_n = \frac{1-\alpha}{1+\alpha} \{1 - (-\alpha)^n\} \sigma_i \quad (1)$$

$$\alpha = -\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

ここに、 $n$  は受感部を波頭が行き来する回数、 $\sigma_i$  は載荷部へ入射される応力、 $Z_1$  および  $Z_2$  は、それぞれ載荷部と受感部のインピーダンスを表す。

また応力が概略  $500 \text{ kgf/cm}^2 (49 \text{ MN/m}^2)$  に達したときの4倍の時間を1周期と考えると、このロードセルモデルの周波数特性は  $2.5 \text{ kHz}$  となる。また、図-4(b)は上記②の条件のモデルに①と同様なパルスを入射したときの測定波形の形状を示したものである。図から明らかのようにロードセルを剛な場所に設置した場合には、受感部中央の応力は①の条件の場合の2倍の  $1000 \text{ kgf/cm}^2 (98 \text{ MN/m}^2)$  で飽和する傾向を示す。また、飽和値に達するにも2倍程度のパルス幅が必要である。このように、静的の場合にはあまり問題とならないロ

ードセルの構造や設置場所の条件が動的の場合には非常に大きな問題となる。これらの検討から、ロードセルの応答性能をよくし、早く平衡状態に達するには受感部の長さを短くすること、受感部と他部の断面積比を小さくすればよいことが明らかになった。しかし、受感部の断面積を大きくすれば、当然ロードセルの感度が落ちることになる。また示した結果はロードセルの構造を単純化した場合の検討結果であり、断面構造の複雑になっている実際のロードセルの場合にはさらに詳細な検討の必要性を示唆するものである。

### 3. 2点ゲージ法の理論的基礎

#### (1) 応力波の分離 (進行波と後退波)

図-5は、2点ゲージ法における解析モデルを示したものである。図に示したように、載荷端(a点)からの距離  $L_1$  と  $L_2$  の2点に、第1ゲージと第2ゲージを設置してある。また、載荷前には弾性棒中には応力波は存在しないものとする。

図-6は弾性棒中の進行波と後退波の状況を模式的に示したものである。ある時刻  $t$  における第1ゲージ点の応力  $\sigma(L_1, t)$  と、第2ゲージ点の応力  $\sigma(L_2, t)$  は、図-6(a)に示したように、重ね合わせの原理により、次のように表せる。

$$\sigma(L_1, t) = \sigma_f(L_1, t) + \sigma_g(L_1, t) \quad (2)$$

$$\sigma(L_2, t) = \sigma_f(L_2, t) + \sigma_g(L_2, t) \quad (3)$$

時刻  $t = t$  に第1ゲージ点を通る進行波  $\sigma_f(L_1, t)$  は、時刻  $t = t + (L_2 - L_1)/c$  に第2ゲージに到達する。したがって、第2ゲージ点を通る進行波  $\sigma_f(L_2, t)$  は次のように表せる(図-6(b)参照)。

$$\sigma_f(L_2, t) = \sigma_f(L_1, t - T_{12}) \quad (4)$$

ここで、 $T_{12}$  は、第1ゲージ点と第2ゲージ点との間の弾性波の伝播時間である。

後退波  $\sigma_g$  についても、同様にして次の関係が導かれる(図-6(c)参照)。

$$\sigma_g(L_2, t) = \sigma_g(L_1, t + T_{12}) \quad (5)$$

以上の関係から第1ゲージ点の進行波と後退波は次のように表せる。

$$\sigma_g(L_1, t) = \sigma(L_2, t - T_{12}) - \sigma_f(L_1, t - 2T_{12}) \quad (6)$$

$$\sigma_f(L_1, t) = \sigma(L_1, t) - \sigma(L_2, t - T_{12}) + \sigma_f(L_1, t - 2T_{12}) \quad (7)$$

式(6)と式(7)がそれぞれ第1ゲージ点での進行波と後退波を求める式である。

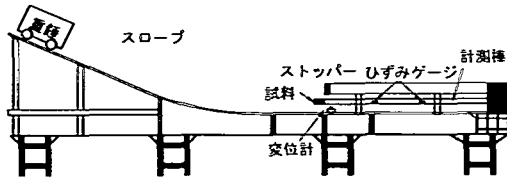


図-7 実験装置概要図

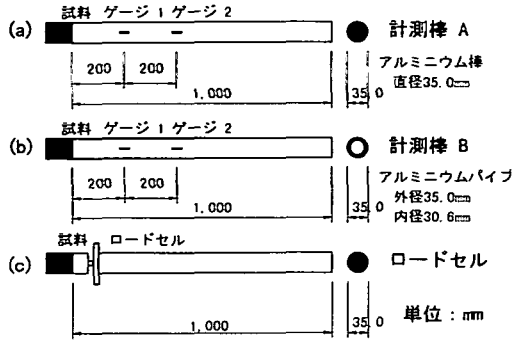


図-8 センサ概要図

弾性棒を打撃する以前には、弾性棒中には応力波は存在しないものとし、載荷した時点点を  $t=0$  とする。式(7)と式(6)を用いることにより、第1ゲージで測定した応力波  $\sigma(L_1, t)$  と第2ゲージ点で測定した応力波  $\sigma(L_2, t)$  から第1ゲージ点の進行波  $\sigma_f(L_1, t)$  と後退波  $\sigma_s(L_1, t)$  を求めることができる。これにより弾性棒中のすべての点の応力の算定が可能となる。

## (2) 弾性棒中の応力

弾性棒中の任意の点 ( $x = x$ ) でのある時刻  $t$  の応力  $\sigma(x, t)$  は、次式で表せる。

$$\sigma(x, t) = \sigma_f(x, t) + \sigma_s(x, t) \quad (8)$$

また、 $\sigma_f(x, t)$  と  $\sigma_s(x, t)$  は第1ゲージ点における進行波と後退波を用いて、次式のように表すことができる。

$$\sigma_f(x, t) = \sigma_f(L_1, t - T_{1x}) \quad (9)$$

$$\sigma_s(x, t) = \sigma_s(L_1, t + T_{1x}) \quad (10)$$

ここで、 $T_{1x}$  は棒中の任意の点  $x$  と第1ゲージ点との間の弾性波の伝播時間である。したがって

$$\sigma(x, t) = \sigma_f(L_1, t - T_{1x}) + \sigma_s(L_1, t + T_{1x}) \quad (11)$$

となる。さらに、載荷端 ( $x=0$ ) での応力  $\sigma(0, t)$  は、次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \sigma(0, t) &= \sigma_f(0, t) + \sigma_s(0, t) \\ &= \sigma_f(L_1, t + L_1/c) + \sigma_s(L_1, t - L_1/c) \end{aligned} \quad (12)$$

表-1 供試体の土質特性等

土質特性	供試土 a	供試土 b	供試土 c
$q_u$ kgf/cm <sup>2</sup>	10.1	27.2	54.0
$\gamma_t$ gf/cm <sup>3</sup>	1.83	1.83	1.83
$\omega$ %	30.0	27.2	28.8
配合比	標準砂	1	1
	YA 丸	0.7	0.7
	石膏	0.5	1

(1kgf/cm<sup>2</sup>=98kN/m<sup>2</sup>)

## 4. 実験装置と実験方法

### (1) 実験装置

図-7 は実験装置の概要を示したものである。供試体への載荷方法は、スロープ上の所要の高さから車輪のついたスチール製の重錘(幅:12cm, 高さ:10cm, 長さ:22cm)を落下させて、測定棒の先端に設置されている試料を重錘で直接動的載荷するようになっている。載荷速度は約 80cm/sec から約 350cm/sec まで変化させることが可能である。今回の実験では、土供試体の圧縮強度は、載荷速度 100cm/sec 前後で一定値に収束する<sup>9),13)</sup>とされているので、主として、載荷速度 100cm/sec と 200cm/sec の 2 段階で行った。重錘の重量は土供試体の試験時に一定速度で圧縮できるように可能な限り重い方がよいが、今回用いた重錘の重量は約 22kgf(215.6N)である。また、重錘の載荷直前から実験終了までの移動速度は、レーザ変位計により計測した。

### (2) センサ部の概要

図-8 はセンサ部の概要を示したものである。

図-8(a)は、アルミ丸棒を 2 点ゲージ法でのセンサ(以下計測棒 A)として用いたもので、丸棒の直径は 35mm で長さは 1000mm となっている。第1及び第2ゲージは載荷端からそれぞれ 200mm, 400mm の位置に、曲げの影響を排除するために丸棒の中心軸に対してそれぞれ対象に貼り付けてある。丸棒の長さはもっと短くてよいが、実験の実施上の容易さから今回は 1000mm のものを用いた。

図-8(b)は、アルミパイプ棒を 2 点ゲージ法のセンサ(以下計測棒 B)として用いたもので、パイプの載荷端側に厚さ 2mm のアルミ製円板を貼り付けたものである。これは、試料の強度が小さく、丸棒では応力値が小さくなり計測不能のときに、変断面の計測棒が使用できるかどうか調べたもので、ゲージ貼り付け部分の断面積は計測棒 A の 24% になっている。計測棒の外径とゲージの貼り付け位置は計測棒 A と同様である。

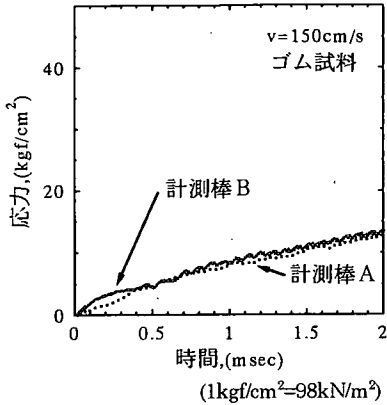


図-9 計測棒Bの検証

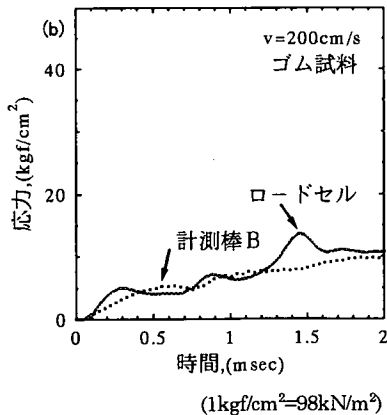
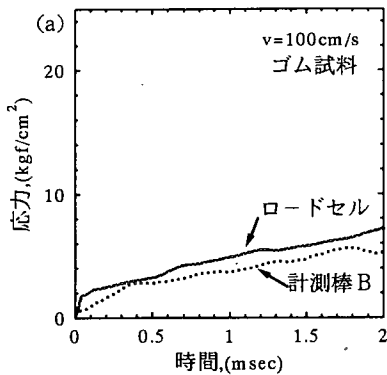


図-10 ロードセルの検証

図-8(c)は、供試体を設置するための台座の付いたロードセルをアルミ丸棒の先端に取り付けたものである。一般の試験装置でのロードセルは载荷棒の中間部に位置するが、今回は図示するように設置し、かつ計測棒 A,B とほぼ同条件になるように、全長 1000mm にしてある。また、用いたロードセルの定格容量は

2t(19.6kN)及び 1t(9.8kN)で、それぞれの固有振動数は 23.0kHz,16.0kHz,となっている。

また、各計測波形は、11bits A/D 変換器を用い、サンプリング時間 4 $\mu$ sec でデジタル化しコンピュータに取り込んだ。

計測棒 A と計測棒 B の較正值は、実験で使用したロードセルと各計測棒を直列に配置し、静的载荷試験を行い決定した。したがって、静的荷重に対しては 3 者ともほぼ同じ値を示すことになっている。

### (3) 供試体

土の試験に利用するセンサの動的特性を検討する観点から、次のような供試体で実験を行った。大変形しても破壊しない試料としてのゴム試料（ヤング率：約 100kgf/cm<sup>2</sup>(9.8kN/m<sup>2</sup>)) および試料破壊時のセンサの応答特性を観測するために小さなひずみで破壊するとともに、破壊強度のばらつきを小さくするために人工土試料を採用した。

また土試料は、所要の 3 段階の強度を持つように、豊浦標準砂、YA クレー及び石膏の配合を表-1 に示したように変化させた混合土を用いた。また、同表には混合土の他の土質特性についても示してある。

供試体の寸法は、ゴム試料で直径 35mm、長さ 50mm、土試料で直径 35mm、長さ 70mm になっている。

## 5. 実験結果と検討

### (1) 計測棒 B の応答特性

計測棒 B は強度の小さい供試体の試験用で、計測棒の断面積を小さくするためにパイプを使用したものである。従って、供試体を設置する都合上、パイプの载荷端に 4. (2) で述べたように、厚さ 2mm の同材質の円板が貼り付けられている。この影響を調べるためにゴム供試体を用いて、計測棒 A と計測棒 B を用いて試験したときの応力-時間関係（応力値は式(12)を適用して求めたものである）が、図-9 に示してある。この図から、両者の値はほぼ一致しており、円板を貼り付けたことにより発生する高周波の影響が無視できることがわかる。また、図中の v の値は重錘が供試体に接触した瞬間の速度を示してある。

### (2) ロードセルの動的特性

図-10 はロードセルの動的特性を検証するためにゴム供試体を用いて、高速圧縮試験を行ったときの応力-時間関係を示したものである。

図-10(a)は载荷速度 100cm/sec の場合のものであるが、ロードセルの測定値が、計測棒 B での値より

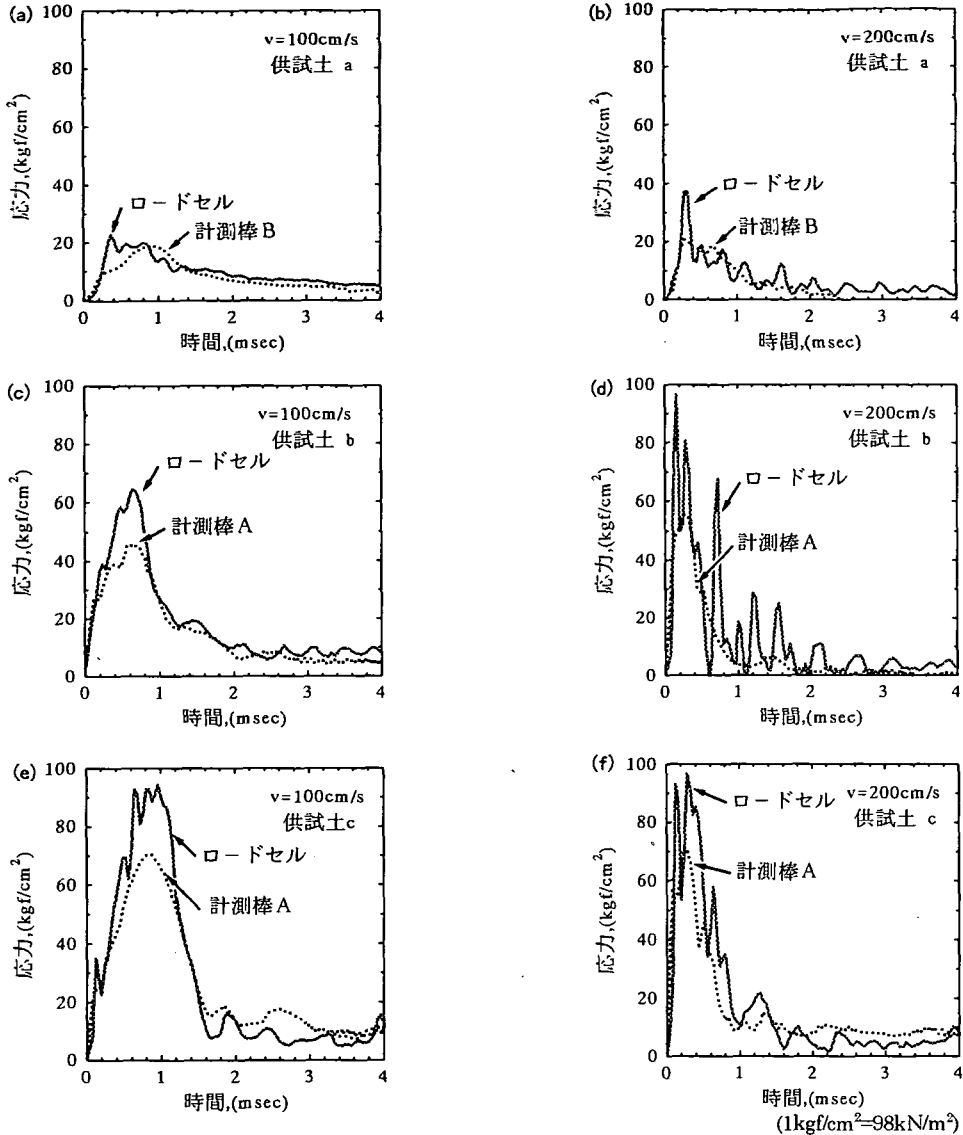


図-11 土試料の応力-時間関係

少し大きめであるが、ほぼ同様の傾向を示すことがわかる。従って、ロードセルに静的とは異なる、動的補正値を適用することにより利用可能なことが分かる。

図-10(b)は、荷重速度 200cm/sec の場合のものである。荷重速度が大きくなると、破壊しないゴム供試体の場合には、計測棒 B での結果のように、図-10(a)での値を縦軸方向に拡大したような形状を示すはずであるが、ロードセルでの波形形状は大きく乱れていることがわかる。また、1.4msec 付近では計測棒 B の応力値の約 1.8 倍の値を示していることもわかる。このように、ロードセルは、「1. はじめに」の項に記し

たような構造上の問題から、ゴム供試体の場合であっても、速度が速くなると測定値に乱れが生じることがわかる。

図-11 は、土試料を用いて荷重速度 100cm/sec と 200cm/sec で高速圧縮試験を実施したときの応力-時間関係を示したものである。図-11(a), (b)は土試料 a の場合のものであるが、試料の剛性が大きくなるとゴム供試体のときとは異なり荷重初期にロードセルによる測定値が計測棒 B の値に比較的大きくなっている。特に荷重速度 200cm/sec の場合には、ロードセルでの最大応力値が約 85%増になっていることもわかる。

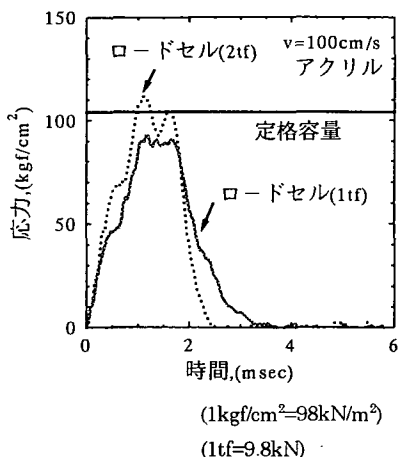


図-12 ロードセルの定格容量

また、荷重速度が速くなると、ロードセルは構造上、慣性の影響が無視できないようである。このことは、計測波形の上下の変動が起こることからも推察される。

図-11(c), (d)は土試料 b の場合のものである。土試料 a の場合と同様にロードセルの測定値は計測棒 A に比べて大きくなっている。また、土試料の強度が大きくなると、荷重速度の違い 100cm/sec の場合であっても、両者の最大応力値に差が生じることがわかる。このときの 2 点ゲージ法の測定は、供試体の強度が大きくなったので、計測棒 A で行ったものである。

図-11(e), (f)は土試料 c の場合のものである。全体的にはロードセルの測定値と計測棒 A の測定値の関係は図-11(c), (d)と同様な傾向を示したが、供試体の強度が大きくなると、両者の差が小さくなる傾向を示すことがわかる。また、土試料 c の場合のロードセルの測定値は、土試料 a, b の場合とは異なり、荷重速度が変化してもほぼ同じ最大応力の値を示した。これは、実験値（供試体の断面積：9.62cm<sup>2</sup>）が、ロードセルの定格容量 1tf(9.8kN)付近に近づいたための影響と判断できる。これらの検証をするために、定格容量 1tf(9.8kN)のロードセルと定格容量 2tf(19.6kN)のロードセルで、衝撃荷重 1tf(9.8kN)付近の実験を行った。センサ部の破損防止のために、試料の位置にアクリル棒（直径 35mm, 長さ 40mm）を設置し実験を行った結果が図-12 である。図から、定格容量 2tf(19.6kN)計での値の方がピーク値で 25%ほど大きく測定されていることがわかる。また、図中の横線は、1tf(9.8kN)計の定格容量(1000 ÷ 9.62 = 104kgf/cm<sup>2</sup>(10.2kN/m<sup>2</sup>))の位置を示したものである。ロードセルは静的試験に利用する場合には定格容量の 2,3 割増しの荷重まで測定できると言われているが、図から明らかなように動的試験

の場合には、特性が落ちることがわかる。また、図から固有振動数の大きい 2tf(19.6kN)計の方が立ち上がり速度が速いこともわかる。以上から、ロードセルは、比較的試料が柔らかく、かつ荷重速度が小さい場合には使用できるが、試料の剛性が大きな場合や荷重速度が大きい場合には、ロードセルを動的荷重の測定に用いることは適当でないことが明らかになった。

## 6. まとめ

土の高圧圧縮試験装置に一般に用いられているロードセルの動的特性について、重複反射法に基づく検討と 2 点ゲージ法との比較により実験的にも検討を試みたものである。得られた結果を要約すると次の通りである。

- (1) 重複反射理論に基づいた検証により、ロードセルは、構造上の問題から、測定波形は、入力波形とは大きく異なることが分かった。
- (2) 測定棒 B のように、パイプに円板を貼り付けし、計測棒に断面変化のある場合でも、板の厚さが薄い場合には、計測棒の断面変化を無視して解析できる。
- (3) ロードセルで動的荷重を測定する場合には何等かの方法で動的較正し、使用範囲を限定する必要がある。
- (4) ロードセルの定格容量付近での使用は避けるべきである。

また、今回の試験では、比較的長い計測棒を用いて、サンプリング時間 4μsec で計測処理した。精度の高いと推察される 2 点ゲージ法をロードセルの代わりとして使用するためには、計測棒を 10cm 程度まで縮小することが要求されると思われる。今後は計測システム全体を検討することにより、動的応力測定システムの開発を試みたい。

## 参考文献

- 1) 朝日秀定, 沢田義男, 岡田努: 衝撃応力の粘土に及ぼす影響, 第 17 回土質工学研究発表会講演集, pp.1745 ~1748, 1982.
- 2) 鈴木正人, 石原研而, 浅見都樹: 衝撃力を受けた粘性土の挙動, 第 17 回土質工学研究発表会講演集, pp.1741 ~1744, 1982.
- 3) 保国光敏, 山田功: 衝撃三軸試験による緩い砂の締固め試験, 土と基礎, Vol.33, No.2, pp.51 ~57, 1985.
- 4) 四宮圭三, 兵動正幸, 安福規之, 村田秀一: 重錘落下締固め工法における砂質土の圧縮性評価のための三軸試験, 土木学会論文集, No.469/III-23, pp.111 ~120, 1993.
- 5) 岸徳光, 村岡健一, 中野修, 後藤雪夫: 衝撃荷重載荷用ロードセルの試作, 落石等による衝撃問題に関する

- シンポジウム講演論文集, pp.115~118, 1991.
- 6) 林卓夫, 田中吉之助: 衝撃工学, 日刊工業新聞社, pp.1~4, 1988.
- 7) 柳原直人, 斉藤博: 一次元弾性波理論に基づく衝撃力, 速度, 変位の測定理論と測定システム, 機械学会論文集(C編), 51巻, 464号, pp.790~796, 1975.
- 8) 西田義親, 松本樹典, 河上清和, 石本一鶴: 2点ゲージ法による杭打ち時の応力解析, 第22回土質工学研究発表会講演集, pp.1219~1222, 1977.
- 9) 飯沼孝一, 近藤博: 土の高速圧縮試験に関する一考察, 第21回関東支部技術研究発表会講演概要集, pp.306~307, 1993.
- 10) 共和電業(株): 共和・電子計測器総合カタログ '96~'97, p.50, 1996.
- 11) 中野修, 岸徳光, 後藤雪夫, 遠藤紘: 落石覆道における三層構造緩衝システムの開発, 土木学会誌, 77巻, 4号, pp.20~22, 1992.
- 12) A.P.フレンチ(平松惇, 安福精一監訳): 振動・波動, 培風館, pp.235~240, 1986.
- 13) 南部悟: 農機研究の不思議な情報, 農業機械学会誌, 52巻, 6号, pp.1~2, 1990.

(1997. 1. 6 受付)

## DYNAMIC PROPERTY OF LOAD CELL TRANSDUCERS IN HIGH SPEED TEST OF SOIL

Hiroshi KONDO, Kouichi IINUMA, Takeshi URAMARU and Jun SAWADA

Recently, the high speed compression test has been carried out in order to elucidate the mechanism of dynamic consolidation. However, detailed studies for the dynamic property of sensors used for this kind of test equipment has not been performed. The dynamic property of load cell transducers is examined using a multiple reflection theory. Next, the analytical method of two-point stress measurement applied to the theory of one dimensional wave propagation is studied for the dynamic response of the load cell transducer experimentally. This study shows that the use of load cell transducers should have the restriction for the high speed test because of its low sensitivity to the dynamic test.