

Short Report

ピエゾ極限センサとピエゾ振動センサを用いた露出型柱脚における変位測定

下井信浩¹, 西田哲也², 小幡昭彦², 中正和久³, Carlos Cuadra²¹ 秋田県立大学システム科学技術学部知能メカトロニクス学科² 秋田県立大学システム科学技術学部建築環境システム学科³ 山口大学工学部知能情報工学科

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)は、神戸市内の多数の建物に深刻な被害をもたらした。地震後、多くの鉄骨構造は露出型柱脚接合部を使用して建設された。しかし、地震の衝撃エネルギーを吸収するこれらの接合部の能力はあまり期待できないものであった。そのため、露出型柱脚を用いた鉄骨構造物の設計においては、1階の接合部に特定の高耐震特性を付加する必要があると考えられている。さらに、接合部の健全性における構造モニタリングを実施することを推奨する。本論文では、簡単な測定によって露出型柱脚の耐久性と変位特性を評価するためのピエゾ極限センサの仕様特性について記述する。

キーワード: スマートセンサー, ヘルスモニタリング, 露出型柱脚, アンカーボルト, 異形鉄筋

我が国において、多くの鉄骨造建築物で一般的に使用されている柱脚工法が露出型柱脚である。この工法は、一階基礎の鉄筋コンクリートに埋め込まれたアンカーボルトと鉄骨に溶接されたベースプレートを用いて二つの構造躯体を接合する工法である。鉄骨造露出型柱脚は他の柱脚形式に比べて施工性に優れている一方で、高い回転剛性を得るためにアンカーボルトの本数や呼び径を大きくする等の対策を講じている。大震災を経験している日本において、建築設計基準により震度6強以上の巨大地震が発生した場合でも建物全体を塑性化させて地震エネルギーを吸収させ、建築物を倒壊させずに人命が優先されるように設計されている。しかし、1995年兵庫県南部地震では鉄骨造建築物の露出型柱脚の被害が多く見られたと報告されている。(日本建築学会近畿支部鉄骨構造部会, 2005) これによって、露出型柱脚は鉄骨造建築物における弱点として認識されるようになった。1997年には露出型柱脚を使用した設計に関する考え方が法律に示され、現在でも建築物の確認申請が行われる際の判断基準になっている。

建築物と基礎をつなぐ柱脚部は、構造設計者が意図しないかたちで破壊すると建築物の倒壊につながることを教示しており、構造設計の上でも重要な部分であると報告されている(高松, 銅木, 及び中村, 2002)。しかしながら、現状ではこの部位だけを集中して長期的に精密な計測を行い健全性のモニタリングを実施している等の報告は見当たらない。そこで筆者らは、大震災後の鉄骨造露出型柱脚等の損傷検知のために、鉄骨造建築物の健全性を長期的かつ安価で簡便に計測実施可能なモニタリングシステムの構築とセンサ出力から変位量の同定を可能にするピエゾセンサの計測技術について検討した結果を報告する。

従来技術

構造物の防災や減災を目的とする健全性を定量的に評価する計測技術は、以下のような方法が用いられている。静的荷重による変位や振動計測に使用されているセンサシステムを想定すると、レーザ変位

計または接触式変位計を用いて変位を計測する方法、または常時微動振動計を用いて固有振動を測定し有限要素法等による解析を実施して破壊の状況及び応力集中等の箇所を同定する方法等が考えられる（下井, Cuadra, 及び間所, 2013）. 常時微動計測による手法は、鉛直成分と水平動成分のフーリエスペクトル比を用いて構造物の固有周期を求めている. このスペクトル比はH/Vスペクトル比を求めて水平振動を鉛直振動に基準化することで増幅特性や固有周期として求められる. 計測システムは常時微動計, PC, データロガーから構成され、計測ユニットあたり150～250万円程度の費用を要する. また、レーザドップラー速度計（LDV）による手法も報告されている. レーザ光を測定対象に照射し、その照射光と反射光とのドップラー効果による位相差から速度を検出する. この計測システムはLDV装置2台、データロガー、PC、デジタル変位計から構成され、計測ユニットあたり450～600万円程度の費用を要する. さらにMEMS（Micro Electro Mechanical Systems）応用感震センサシステムは、静電容量式のMEMS3軸加速度計と周辺回路を単一パッケージにしたセンサであり、複数のセンサ接続が可能ないようにハブを介してPCに接続されている. 常時微動計測に関しては、計測した加速度データから固有振動数やモードなどの振動特性を求めている. 計測ユニットには複数の感震センサおよび解析装置, PC, ハブ, NTPサーバ, GPSアンテナが必要となり、構造モニタリングとしての利便性やシステムコスト（300～400万円）を考慮すると実用性は極めて低い. 他方、ひずみゲージやパイゲージによる測定法もあるが、複数のセンサを測定対象物に直接貼付またはボルト・ナットによる固定をする必要があるため、長期のモニタリングには不向きである.

構造物の接合部の安全性や健全性を求めるには20年以上の長期にわたるモニタリングが必要となる. しかし、要求されるモニタリング期間を保証する計測装置や危険の予知までを可能にするスマートセンシングに関する方法は存在しないのが現状である.

露出柱脚部への破壊試験及び計測方法

実装試験の概要

図1に破壊試験に用いた試験体を示す. 試験体は中低層鉄骨造建築物の柱脚部を想定し、 \square -300×300×16の角形鋼管柱および38mm厚のベースプレート、及びM27のアンカーボルトで構成した. ベースプレートに角形鋼管柱を全周完全溶込溶接で接合し、基礎部を模擬したアンカープレートとベースプレートとを4本のM27アンカーボルトで締結した. ベースプレートとアンカープレートの間（50mm）にモルタルを充填することで鉄骨造建築物の柱脚部を模擬した. 使用した鋼材の材料強度を表1に示す. モルタルには設計強度30N/mm²のプレミックスタイプのセメント系無収縮モルタルを使用した.

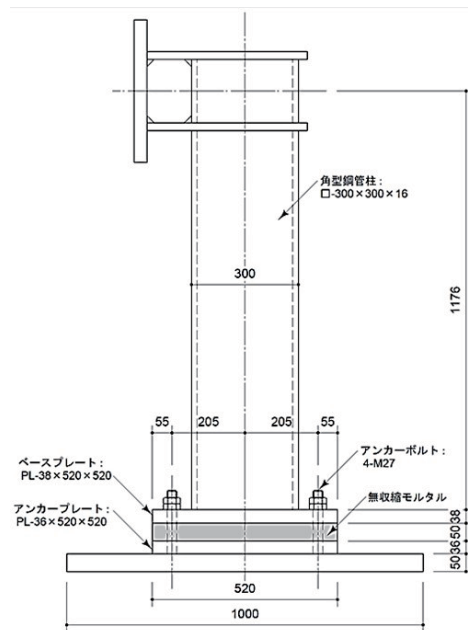


図1 破壊試験体形状・寸法

表1 使用鋼材の材料強度

部品	寸法・形状	降伏点強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
角形鋼管柱*	□-300×300×16 (mm)	358.0	474.0
ベースプレート	PL-38	293.0	433.0
アンカーボルト	M27	309.1	432.9
アンカープレート	PL-36	285.5	440.2

*: この材料強度はミルシートによる.

試験方法

図2に加力装置を示す。試験体のアンカープレート部を架台に高張力ボルトで固定し、試験体頂部に設けた加力部に500kN油圧ジャッキを接続し地震時を模擬した水平方向への加力を実施した。水平加力は頂部変位を基準として、表2に示す3回の加力試験を実施した。加力1, 2は建築基準法における中小地震時の変形制限値に相当する正側と負側の加力であり、加力3は加力1の3倍の変形(変位量)で大地震時の変形量に相当する。なお加力の正側・負側の方向は図2に示す通りである。

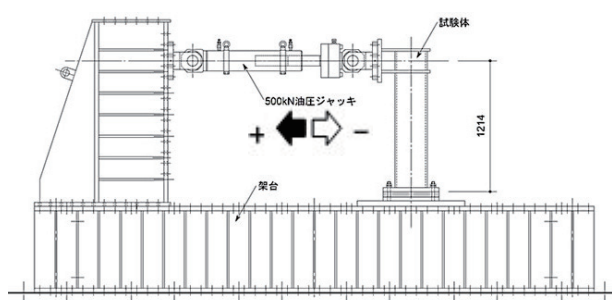


図2 加力装置

表2 加力方法

加力	最大変位 (mm)	変形角 (rad)	加力方向
加力1	6	1/200	+
加力2	-6	-1/200	-
加力3	18	1/67	+

図3に変位計とセンサ計測位置、図4にピエゾ振動センサ(動的荷重センサ)、図5にピエゾ極限センサ(静的荷重センサ)の構造を示す。また、図6(1)に試験装置の正側加力状態、図6(2)にピエゾ振動センサの計測実施状況、図6(3)にピエゾ極限センサおよび計測金具の取付状況を示す。図6(1)では正側加力により頂部変位 D_1 が強制されると P_1P_2 側が鉛直上に引っ張られて浮き上がり、 P_3P_4 側を回転中心としたモーメントが発生する。

加力時の荷重は油圧ジャッキに取り付けられたロードセルによって計測し、下記の変位計によって図3に示した位置の変位を計測した。また図6(1)に示した頂部変位計 D_1 は加力心位置の水平変位を示し、変位計 $P_1 \sim P_4$ はピエゾ振動センサ(動的荷重センサ)位置のベースプレート上面における鉛直方向

変位を示す。また、変位計 $B_1 \sim B_4$ はアンカーボルト上端における鉛直方向変位を示し、変位計 $S_1 \sim S_4$ は比較計測用のピエゾ極限センサを固定している治具における鉛直方向の変位を示す。なお、加力中心位置の頂部変位計により得られた変位 D_1 をベースプレート下面から加力心までの距離(1,214mm)で除した値を変形角とする。参考として図6(1)に正側加力時の変形状態と変位計 $D_1, P_1 \sim P_4$ の関係を示す。ピエゾ振動センサの取付位置は図3、図6(2)に示したように、アンカーボルトと同位置(柱心から205mmの位置)に開けたベースプレートの穴から設置し、先端をアンカープレートに設けた雌ねじで止めた。ピエゾ振動センサ V_1, V_4 は、微小変形からセンサに引張力が作用するようにセンサの頭がベースプレート上面に接するように設置し、ピエゾ振動センサ V_2, V_3 は、微小変形時にはセンサに引張力が作用しないように意図してベースプレート上面とセンサ頭下面の間に1mmの隙間を作って設置した。また、別途静荷重を測定するためにピエゾ極限センサ $L_1 \sim L_4$ を比較計測のために設置した。ただしその内1ユニット(図3の予備センサとして示す)はデータロガーのチャンネル数の制限により計測していない。荷重および変位の計測サンプリングは1秒とし、ピエゾ振動センサとピエゾ極限センサおよびデータ同期用の荷重計測サンプリングは1/100秒とした。なお、ピエゾ振動センサからの出力電圧はアンプにより800倍に増幅して計測している。

図4に示したピエゾ振動センサ(動的荷重センサ)は、ピエゾケーブル(東京センサ AWG 80mm)を中空のウレタン樹脂($\phi 15\text{mm} \times 135\text{mm}$)の中心に挿入後、接着固定したものであり、外形は円筒型のボルト形状である。メモリロガー(HIOKI LR8431)に有線で接続するため、センサには $\phi 4\text{mm}$ の被覆リード線2mを接続し絶縁処理を施した。本センサシステムはピエゾケーブルの変形に応じて出力された電圧の大きさを測定して、この値に相対した柱脚の損傷による変位や振動の大きさを簡易的に測定することが可能である。

図5に示すピエゾ極限センサ(静的荷重センサ)は、硬質ガラス管の中にピエゾフィルム(東京センサ製 DT2-028K/L)を紫外線硬化樹脂を用いて接着固

定し、ウレタン製のパッキングゴムの栓に穴を開けてリード線を挿入後、外部のケーブルと接続するコネクタを付加している。このガラス管を常用はめ合い程度の公差によるギャップでホルダに挿入して使用する。センサ外装に使用するホルダは、測定対象物の材質に応じてアルミ、真鍮、鉄材等に変更可能である。本センサは、真鍮の外装を選択し、破壊に応じてセンサ本体がせん断または圧壊等により破損する。この加力に応じてガラス管内部のピエゾフィルムが変形し計測対象物の破壊の状態に応じた電圧による出力を可能としている。このようにして出力電圧の発生時に静的荷重における測定対象物の破壊が始まる応力や完全破壊に至る変位を求めることができる。

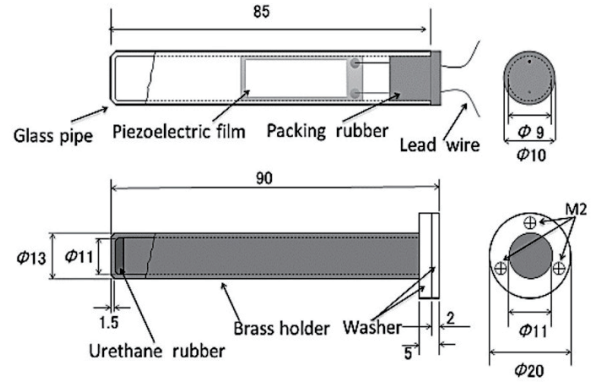


図5 ピエゾ極限センサの構造

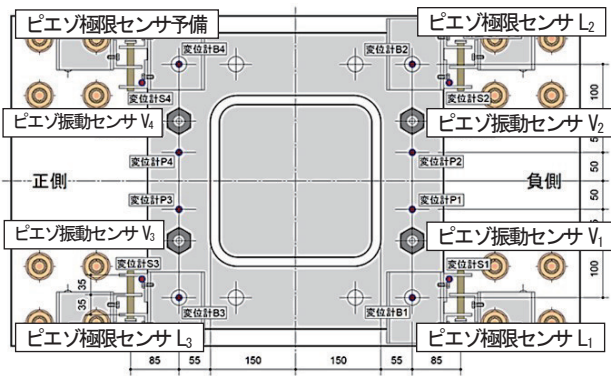
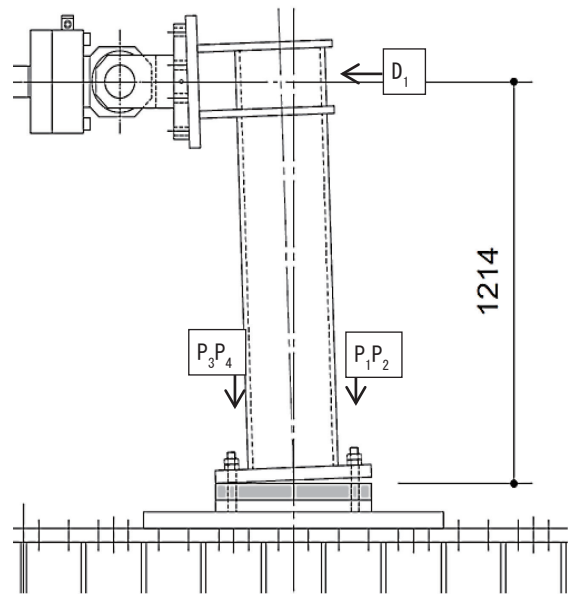


図3 変位計とセンサ計測位置



(1) 正側加力時の変形状態と変位計の関係

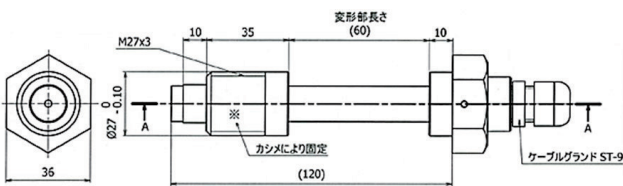
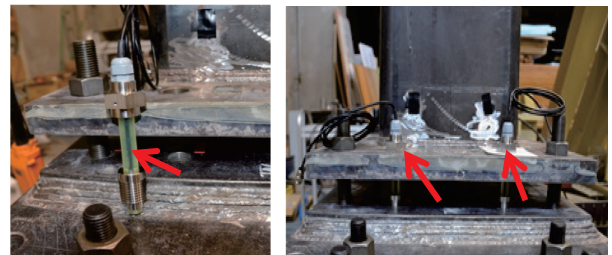
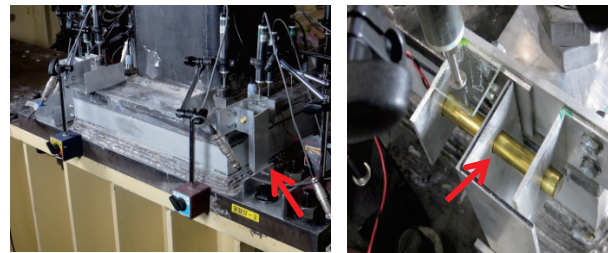


図4 ピエゾ振動センサの構造



(2) ピエゾ振動センサの計測実施状況



(3) ピエゾ極限センサおよび計測金具の取付状況

図6 変位測定方法

露出柱脚部への破壊試験結果

加力によるベースプレート鉛直方向の変位関係

図 7 (1) に頂部変位量の違いによる荷重と加力時間の関係を示す。正側加力 1 は 6mm の頂部変位量、負側加力 2 は -6mm の頂部変位量、正側加力 3 は 18mm の頂部変位量になるまでの加力変化を表している。この結果から正側加力 1 は約 175 秒の加力経過後に 90kN で破壊限界、負側加力 2 は約 100 秒の加力経過後に -90kN で破壊限界、正側加力 3 は約 240 秒の加力経過後に 140kN で破壊している。ここで加力 1, 2 を最終破壊まで測定しなかったのは、加力 3 において完全破壊の測定結果を得るために破壊の限界前で中断したためである。

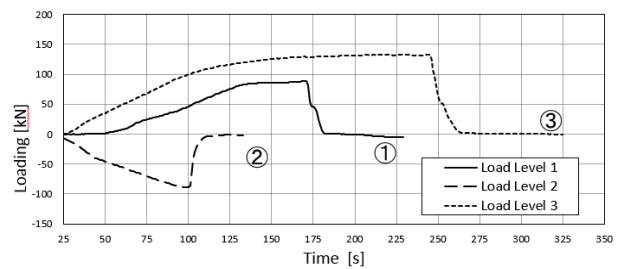
図 7 (2) の (a) (b) に加力 1 (正側加力 : 6mm の頂部変位量)、図 7 (2) の (c) (d) に加力 2 (負側加力 : -6mm の頂部変位量) を加えた時のピエゾ振動センサの出力と変位の関係を示す。図 (a) よりセンサ V₁ の出力は 170 秒で最大変位 -0.4mm を示し、センサ V₁ の最大出力は 5V であった。(b) におけるセンサ V₂ の出力は、170 秒の経過時に -0.45mm の最大変位が生じ、5V の出力があった。さらに加力 2 (負側加力) の測定結果である (c) においては、100 秒経過時に最大変位 -0.35m, センサ V₃ の最大出力値 3.5V が認められた。(d) においては 100 秒経過時の最大変位は -0.4mm, センサ V₄ の最大出力は 5V であった。

加力 1~3 における水平加力時の荷重およびベースプレート上面の鉛直方向の変位はベースプレートの上方向への変位がマイナス値で示される。図 6 (1) に示した鉛直変位 P₁, P₂ では正側加力時にベースプレートが浮き上がるため、マイナス値の変位が生じる。一方で、負側加力ではベースプレートの沈み込みがほとんど生じないため、P₁, P₂ 側の変位はほとんど変化しなかった。これらの鉛直方向の変位は各変位計の隣に設置されたピエゾ振動センサがベースプレートによって上方に引き伸ばされる変形量を表していると考えることができる。

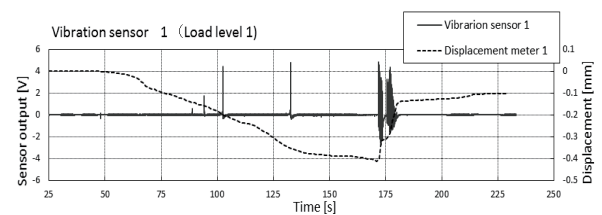
正側加力 3 は、加力 1 の 3 倍の変形量荷重 (18mm) を加え大震災を想定した荷重としている。図 7 (2) の結果からピエゾ振動センサ V₁ では加力 1 で最大約

1.4mm (遊びの 1mm を実測値に加算した値) 程度、加力 3 においては、加力 1 における 3 倍の変位で計算すると、最大約 4.2mm 程度の伸び変形が強制されたと想定される。同様に、ピエゾ振動センサ V₄ では、負側の加力 2 においても最大約 0.4mm 程度の伸びが強制されている他は、正側加力である加力 1, 3 においても変位は僅かであったことから、大きな伸びは強制されていないと判断している。

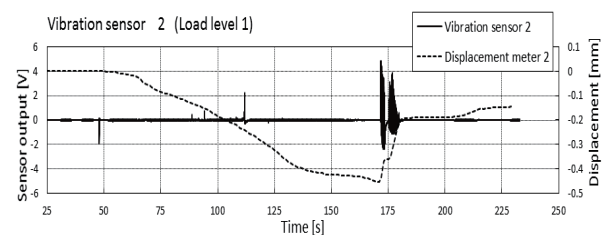
なお、ピエゾ振動センサ設置時にベースプレート上面とボルト頭下面に 1mm の隙間を設けている。これは、ピエゾ振動センサ V₂, V₃ がベースプレートに 1mm 以上の浮き上がりが生じた場合にピエゾ振動センサに伸びが強制されるように意図しているものであった。しかし、モルタル充填時にベースプレート穴とピエゾ振動センサとの隙間にモルタルが充填され意図したような伸び強制の遅延効果は得られなかったと考えられる。



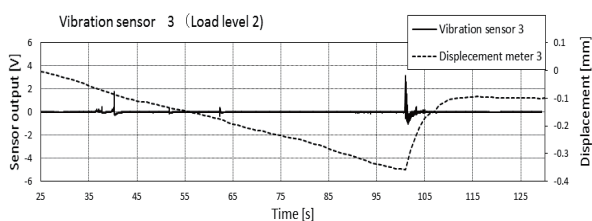
(1) 加力時間と荷重の関係 (加力 1~3)



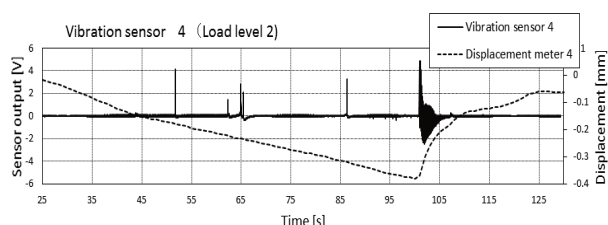
(a) ピエゾ振動センサ V₁ (加力 1)



(b) ピエゾ振動センサ V₂ (加力 1)



(c) ピエゾ振動センサ V₃ (加力 2)



(d) ピエゾ振動センサ V₄ (加力 2)

(2) ピエゾ振動センサの出力電圧 (加力 1, 2)

図 7 ピエゾ振動センサの出力電圧

ピエゾ振動センサとピエゾ極限センサの比較検討

図 8 (1) に加力 1 におけるピエゾ振動センサ V₁, V₂ およびピエゾ極限センサ L₁, L₂ の測定比較を示す。

(a) でピエゾ振動センサ V₁ は約 170 秒経過時に最大出力 5V が計測され、変位は -0.4mm であった。(b) は同条件におけるピエゾ極限センサ L₁ の出力を計測した結果である。約 170 秒経過後に最大変位 -0.7mm が計測されたが、ピエゾ極限センサ L₁ の出力は計測されなかった。これは、ピエゾ極限センサは柱脚に損傷が認められる様な大きな変位が生じた時のみ出力が計測されるように設計されているため、加力 1 レベルの荷重では試験体に損傷がないことを忠実に証明している。(c) においても約 170 秒後にピエゾ振動センサ V₂ は最大出力 5.2V を示し、変位は -0.45mm であった。しかし、同条件の (d) においては 170 秒後の最大変位が -0.5mm 認められているが、ピエゾ極限センサ L₂ の出力は (b) と同様の理由から出力値は一切認められなかった。

図 8 (2) に加力 3 におけるピエゾ振動センサ V₁, V₂ およびピエゾ極限センサ L₁, L₂ の測定比較を示す。

(a) のピエゾ振動センサ V₁ は、約 105 秒後において 2.1V を出力し、-0.8mm の変位を示した。その後の判定は、変位計の最大値から想定して 240 秒経過時に最大出力が推定される。この時の変位は -5.5mm であり、センサ V₁ の出力電圧は 1.6V であっ

た。しかし、最大出力時間と最大変位の関係を特定するためには、出力波形の状況結果のみでは困難であった。(b) は同条件におけるピエゾ極限センサ L₁ の出力計測結果である。125 秒経過後に 2.25V の出力と -1.5mm の変位を記録している。最大変位は約 175~210 秒経過時に -4.5~-5.8mm の数値が計測されている。(a) のピエゾ振動センサ V₁ の出力が示した 240 秒経過時の最大出力値はピエゾ極限センサ L₁ では認められず、この個所における最大変位(破壊を想定する場所)の -6.8mm を記録していないことを確認した。(c) のピエゾ振動センサ V₂ の出力は約 115 秒経過時に 4.8V を記録し、-1.3mm の変位を計測した。約 240 秒経過時には 1.7V の出力と -5.8mm の最大変位が認められている。しかし、最大出力時間と最大変位の関係をピエゾ振動センサ V₂ の出力の大きさのみで特定することは困難であった。

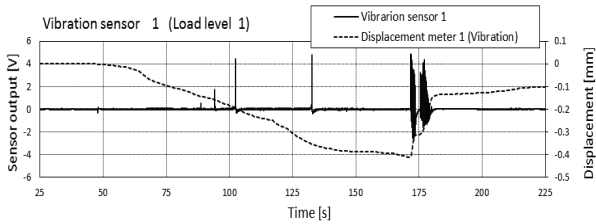
(d) は同条件におけるピエゾ極限センサ L₂ の出力を計測した結果である。約 125 秒後に 2.2V、-1.8mm の変位を記録しており、約 190 秒経過時には、-2.2V の出力と -5.2mm の変位を記録している。最大変位は約 190~210 秒経過後に -5.2~-5.8mm を測定し、出力電圧は最大 -2.2V を計測した。しかし (c) のピエゾ振動センサ V₂ の出力が示した 240 秒経過時の最大出力はピエゾ極限センサ L₂ では認められず、この個所における最大変位(破壊時)の 6.8mm の変位点においてもセンサ L₂ から出力されないことが認識された。

図 3 における変位計 S₁, S₂ ポイントで両センサの性能を比較すると、動的荷重用のピエゾ振動センサでは出力値の大きさや経過時間から最大変形領域の特定や変位の状況を判定することは困難であったが、静的荷重用のピエゾ極限センサの出力からは 125 秒経過時の破壊の始まりを示す出力と破壊の限界を示している。175~210 秒経過時の出力は 2.2~-0.8[V] であることが明確に判定され、その時の変位も 4.5~5.8mm になることがピエゾ極限センサ L₁, L₂ の両センサから判定されている。

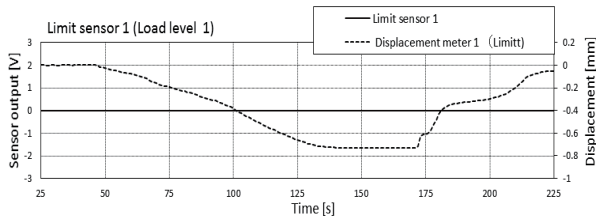
さらに図 7 (1) の加力 1~3 における時間と荷重の関係を見ると、加力 1 では最大荷重が約 175 秒時点、加力 2 では約 100 秒時点、加力 3 では約 240 秒時点であることから、ピエゾ振動センサが示した最

大変位の出力時点と整合性が認められる。

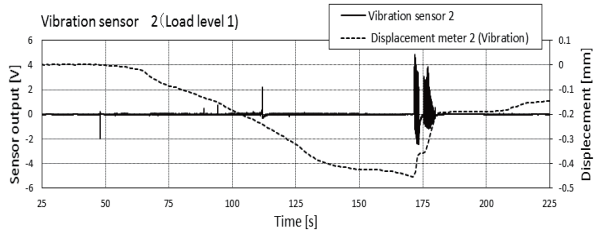
そして、ピエゾ極限センサの出力に関しては、動的荷重用センサで判定が困難な場合でも静的荷重用センサでは目的の出力が得られ、完全破壊（最大変位）を示す荷重の直前にセンサの使用目的に合致した出力を認めることが可能であった。



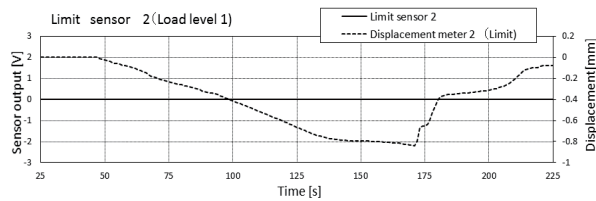
(a) ピエゾ振動センサ V_1 (加力 1)



(b) ピエゾ極限センサ L_1 (加力 1)

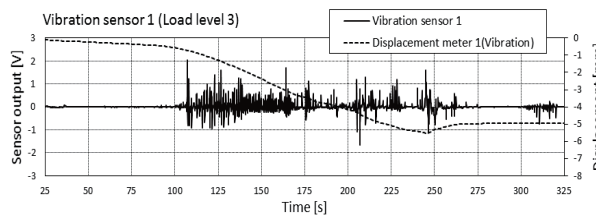


(c) ピエゾ振動センサ V_2 (加力 1)

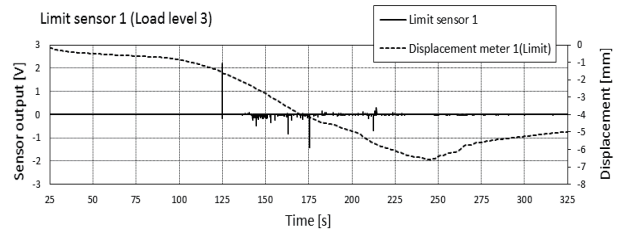


(d) ピエゾ極限センサ L_2 (加力 1)

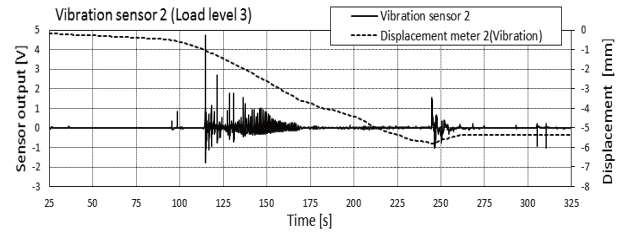
(1) 加力 1 における出力電圧



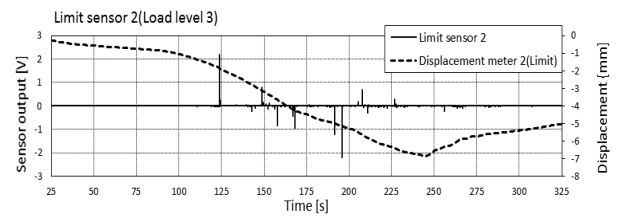
(a) ピエゾ振動センサ V_1 (加力 3)



(b) ピエゾ極限センサ L_1 (加力 3)



(c) ピエゾ振動センサ V_2 (加力 3)



(d) ピエゾ極限センサ L_2 (加力 3)

(2) 加力 3 における出力電圧

図 8 ピエゾ振動センサおよびピエゾ極限センサの出力電圧と変位の関係

露出柱脚部における破壊の解析

荷重によるベースプレート鉛直方向の変位計算

図 9 に示すような構成のベースプレート鉛直方向の変位計算には、高松ら (2007) や、山西ら (2007) が提案している式を使用して求めることができる。

柱の変形角 R は、(1) 式のようにベースプレートの回転による頂部変位 δ_θ と柱の曲げ変形による頂部変位 δ_c の和をベースプレート下面から加力心位置までの距離 1214mm で除すことによって求められる。

$$R = (\delta_\theta + \delta_c) / 1214 \quad (1)$$

この変形角 R が構造安全性の評価値となり、中小地震時には $R \leq 1/200$ rad, 大地震時には一般的に $R \leq 1/75$ rad となるように設計されている。

ここで、柱の曲げ変形による頂部変位 δ_c は、水

平力 P : ベースプレート上面から加力心位置までの柱の長さ (1214-38=1176mm), 柱の断面二次モーメント I , 鋼材のヤング係数 E を用いて, (2) 式より求めることができる.

$$\delta_c = \{ P \times (1176)^3 \} / 3EI \quad (2)$$

ただし, 柱の曲げ変形による頂部変位 δ_c が変形角 R に占める割合は, 様々な条件 (柱の断面サイズ・長さ, アンカーボルトの本数等) により変化するので, それがどの程度であるかは一概にいうことはできない. 今回の実験では, 変形角 R に占める割合は 2 割程度であったため, ベースプレートの回転角 θ と変形角 R の関係は概ね (3) 式となる.

$$\theta = 0.8 R \quad (3)$$

よって, S_1 の変位 δ_{S1} は, ベースプレートの回転角 θ と回転中心から S_1 の変位測定位置までの距離 410mm を考慮して, (4) 式により算定できる.

$$\delta_{S1} = \theta \times 410 = 0.8R \times 410 \quad (4)$$

中小地震時および大地震時に予想される S_1 の変位 δ_{S1} を表 3 に示す. 実測値と計算値の比較として図 7, 図 8 の計測結果を検証すると, 正側方向の加力 1 については平均 0.35mm, 負側方向の加力 2 については平均 0.31mm の変位しか認められていない. これは, 試験体の設計時に 1mm の遊びを設けているために実際には加力 1 の + 方向で 1.35mm, 加力 2 の - 方向では 0.31mm の変位が生じたと考えられる. また, + 方向の加力 3 についてはピエゾ振動センサの示した値の平均は 5.56mm, ピエゾ極限センサの出力から求められた変位は 4.85~5.8mm の推定幅であった. これより, 本センサは破壊の始まりと破壊の最終状態をセンサ出力から判定することが可能であると示唆している. よって図 8 (2) の (b), (d) の結果から判断すると, 概ね 1.5~1.8mm 程度の変位が生じると部分的な破壊が起きていると推察できる.

表 3 地震時に予想される変位

	変形角 R (rad)	変位 δ_{S1} (mm)
中小地震	1/200	1.6
大地震	1/75	4.4

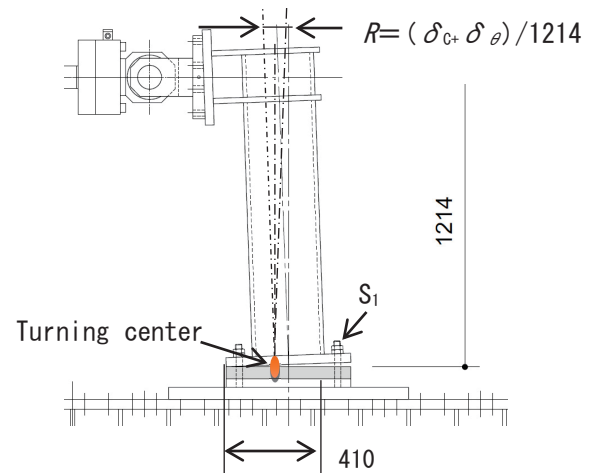


図 9 角型鋼管柱のベース

結言

本論文では, 露出型柱脚の構造物における静的荷重計測用ピエゾ極限センサと動的荷重計測用ピエゾ振動センサを用いた簡易計測システムを提案し, 静的荷重による加力と変位の関係を種類の異なる性質のセンサを用いて計測し比較した結果, 以下に示す知見を得られた.

(1) 本計測システムの使用により, 従来の試験方法では計測困難であった露出型柱脚の「破壊の始まり」と「最終破壊直前」の状況をピエゾ極限センサの出力により認識可能であることを実装試験において確認した.

(2) 露出型柱脚を使用した構造物の健全性をモニタリングするために, ピエゾ極限センサと取付金具を用いた計測手法は有効である. 構造物が受けたダメージ状況をセンサ出力の電圧値から推測することが可能だと思われる.

(3) ピエゾ振動センサの出力値から構造物の破壊の始まりや最終破壊状況を推測することは困難であるが, ピエゾ極限センサの計測値から破壊の始まりや最終破壊の限界を認知することが可能である.

(4) 露出型柱脚のベース面における変位は実測値と比較して計算値はやや小さい値であるが、ピエゾ極限センサの出力された時点の変位計の数値は計算値と非常に近い値であった。

〔 2019年6月30日受付
2019年7月9日受理 〕

(5) 静的荷重の計測に用いられるひずみ計やレーザ変位計等を用いた計測システムと比較して、本簡易計測システムはコスト面で1/20以下であり計測用のセンサ電源も不要で有るため実用的である。また、測定結果をセンサ出力電圧でそのまま判定可能にしているため利便性が高い。

以上から、本システムを用いることによって、静的荷重の負荷による長期的な健全性のモニタリングや、大震災後の構造物の変形や異常を定量的に測定することが可能になり、建築物の安全性の推測に役立つと思われる。また、将来的に本計測システムの信頼性を向上させることにより、新規に建設される露出柱脚や老朽化した建築構造物の安全性と強度保証のために多くの地域で活用される可能性が認められる。

文献

- 日本建築学会近畿支部鉄骨構造部会（2005）。「1995年兵庫県南部地震鉄骨構造建物被害調査報告書」, 22-108.
- 高松, 銅木, 中村（2002）。「鉄骨露出型露出柱脚の復元力特性に関する研究」『鋼構造年次論文報告集』第10巻, 499-506.
- 下井, Cuadra, 間所, 西條（2013）。「簡易ピエゾケーブル変位センサと有限要素法を用いた伝統木造構造物の振動解析」『日本機械学会論文誌』C編, 79-806, 3442-453.
- 高松, 玉井, 松村, 山西, 松尾（2007）。「一定軸力下の鉄骨露出柱脚の復元力特性モデル」『鋼構造年次論文報告集』第15巻, 97-104.
- 山西, 高松, 玉井, 松尾（2007）。「アンカーボルトを多数配列したノンスリップ型露出柱脚の復元力特性-無軸力下の場合のセルフセンタリング性能」『日本建築学会構造系論文集』第621号, 155-162.

Comparison of Displacement Measurements in an Exposed Type Column Base Using Piezoelectric Vibration Sensors and Piezoelectric Limit Sensors

Nobuhiro Shimoi¹, Tetsuya Nishida², Akihiko Obata², Kazuhisa Nakasho³ and Carlos Cuadra²

¹ *Department of Intelligent Mechatronics, Faculty of Systems and Technology, Akita Prefectural University*

² *Department of Architecture and Environment Systems, Faculty of Systems and Technology, Akita Prefectural University*

³ *Department of information Science and Engineering, Faculty of Engineering, Yamaguchi University*

The Hyogoken Nanbu earthquake (Kobe earthquake) that occurred on January 17, 1995, caused extensive and severe damage to a large number of buildings in Kobe city area. After the earthquake, many steel structures were constructed using exposed-type column-base joints; however, the capacity of these joints to absorb energy during earthquakes is small. For this reason, higher earthquake resistant characteristics must be provided in the design of steel structures that use exposed-type column-base joints, especially in joints on the first floor. Moreover, structural health monitoring is recommended. In this paper, the use of piezoelectric limit sensors to evaluate the resistance and displacement characteristics of an exposed-type column-base using simple measurements is presented.

Keywords: Smart Sensor, Health Monitoring, Exposed-type column base, Anchor bolt, Deformed bar