



2007年新潟県中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所での地中地震動 —ペンレコードの数値化による地震動の推定—

田中信也¹⁾・真下 貢²⁾・湯沢 豊³⁾・中島由雄⁴⁾・高橋裕幸⁵⁾・工藤一嘉⁶⁾

- 1) 正会員 東電設計株式会社、工修
e-mail : s.tanaka@tepsco.co.jp
- 2) 非会員 東電設計株式会社、グループマネージャー、工修
e-mail : mashimo@tepsco.co.jp
- 3) 正会員 東電設計株式会社
e-mail : yyuzawa@tepsco.co.jp
- 4) 非会員 東電工業株式会社
e-mail : nakajima@tepico.jp
- 5) 非会員 東京電力株式会社、工修
e-mail : takahas.hiro@tepcoco.jp
- 6) 正会員 日本大学総合科学研究所、教授、理博
e-mail : k4kudo@cit.nihon-u.ac.jp

要 約

2007年新潟県中越沖地震 (M6.8) による東京電力柏崎刈羽原子力発電所の地中地盤系の本震時のデジタル強震記録は余震による上書きにより消失した。しかし地中観測点の一部の成分については熱ペンレコーダーによるモニター記録として残されている。今回このペンレコーダーによる可視記録を、CADを利用して目視による数値化を行い、地中地震動推定のための資料を作成した。

キーワード: 2007年新潟県中越沖地震、東京電力柏崎刈羽原子力発電所、ペンレコード、数値化、鉛直アレー強震記録

1. はじめに

2007年7月16日に発生した新潟県中越沖地震では、東京電力柏崎刈羽原子力発電所内に設置されていた強震計により極めて高いレベルの加速度が観測され、重要構造物の構造的被害は無かったものの¹⁾、地盤や事務棟、水タンクなどの被害は数多く報告されている (東京電力、2007a)²⁾。強震記録は原子炉・タービン建屋内 (以下建屋系という) およびサービスホールの地表・地中系などで得られ公表されている (東京電力、2007b)³⁾ が、1号機と5号機の地中地盤系 (一部建屋を含む) の本震時の観測波形記録 (以下地中地盤系という) は、余震による上書きで消失してしまい、最大加速度の印字記録と一部観測点 (成分) の動作確認用の感熱式ペンレコーダーに出力された波形 (以下「ペンレコード」という) のみが残った。アナログ記録からの波形のデジタル化には、かつてはSMACリーダーのように波形を忠実

に再現できるように読み取られてきたが、最近ではスキャナーを用いた波形の数値化（例えば、年縄・ほか⁴⁾）が行われている。また、今回と類似した例として1995年兵庫県南部地震の際にドットプリンターで得られた大阪府豊中市での強震記録の復元（年縄・他、1997）⁵⁾がある。ただし、今回得られたペンレコードは一部の地震動成分に限られ、しかも紙送り速度が極めて遅く（1 mm/sec）、また一部に振り切れが生じていることから、地震動の完全な復元は望むべくもない。しかし、震源近傍での地中記録は地震学的にも設計用地震動を考察する上でも極めて重要であり、不完全性が余儀なくされるとしても、本震時の地中地震動を推定する、あるいは推定結果の確認のための一つの資料となることが期待される。また、建屋系の地震計の時刻は、GPS・NHK時報などによる時刻校正が行われていないため絶対時刻は不明であるが、既設地震計（ペンレコード）は本震当日に時刻校正がされており、その時刻がタイムコードに残されている。そこでペンレコードを数値化し、タイムコードから読み取った絶対時刻の把握を含めて記録の復元を試みたので、その結果について報告する。

2. ペンレコードの概要

ペンレコードは感熱式ロール紙で、基本的に動作確認のためのモニター記録として使用されていた。本震波形のコピーを図1に示す。なお、図1の最下段はタイムコードである。ペンレコードが残されている観測点と極性を表1に、その配置および接続されていた成分などを図2に示す。ペンレコードは加速度レベルに応じて3段階のAGC（Automatic Gain Control）がかかることから、最終低感度になった部分のみを読み取りの対象とした。なお、AGCは一度切り替わると戻らない仕様になっている。図1のタイムコードの高さが時間経過とともに変化しているが、振幅が変化した時刻がAGCの作動に対応している。記録紙上最も低感度の状態は200Gal/cmであり、400Gal程度までは記録範囲であるが、それ以上では振り切れが生じている。なお、ペンレコードは16ビットのAD変換がなされた後に12ビットのDA変換されたもので、極めて正確に読み取られたとしても、本来のデジタルデータからの精度低下は避けられないことを予め断っておきたい。なお本稿では、東京電力㈱より公開された新潟県中越沖地震の本震時の最大加速度値がGal（0.01m/sec²）標記であることを考慮し、ペンレコードから読み取った加速度の単位についてGalを用いている。

3. 数値化手順と読み取り精度の検証

はじめにペンレコードの原紙をスキャナーで電子ファイル化し、CADに取込み拡大（特に時間軸を拡大）して座標を読み取った。元の記録を引き伸ばした画像とともに図3に示す。また、図に示すPN、PS、PE、PWの記号は、建物方位（Plant Direction）を示し、PNは真北から18.2度東に振れている。読み取る際には、波形の極大・極小値を一つ一つ目で拾うこととした。ペンレコードは、DAの瞬時に一旦ペンが停止するため、画像を横に引き伸ばすことにより点状となるが、2つの極大・極小値を結ぶ直線から間の点が外れる場合には、読み取る極大・極小値を増やすことにより、2つの極大・極小値を結ぶ直線が点状になったペンレコードの中心付近を通るように繋いでいくこととした。影の部分は第1段・2段のAGCの部分であり、読み取りの対象外としている。

次に、波形を追跡して読み取った点のXY座標を時間と加速度に変換する。換算に関しては、スキャンしたペンレコードの方眼紙の長さやタイムコードを基準に行った。最後にコサイン補間法により、0.01秒刻みの波形を推定する。なお、コサイン補間法について、読み取った2点の座標をA（X1,Y1）,B(X2,Y2）とした場合、補間する点の座標（X,Y）は以下の式で求められる。

$$Y = 0.5(Y_2 - Y_1) + 0.5(Y_1 - Y_2) \times \cos\left(\pi \cdot \frac{X - X_1}{X_2 - X_1}\right) \quad (1)$$

ここで、R4観測点のごく近傍（約15m北）で建屋系地震計のデジタルデータ（1R2）が得られており

(東京電力、2007)²⁾、また、最大余震では、G10観測点のEW方向でペンレコードとデジタルデータの両方が得られている。そこで、この2つのペンレコードを読み取り、デジタルデータと比較することから読み取り精度を検討した。

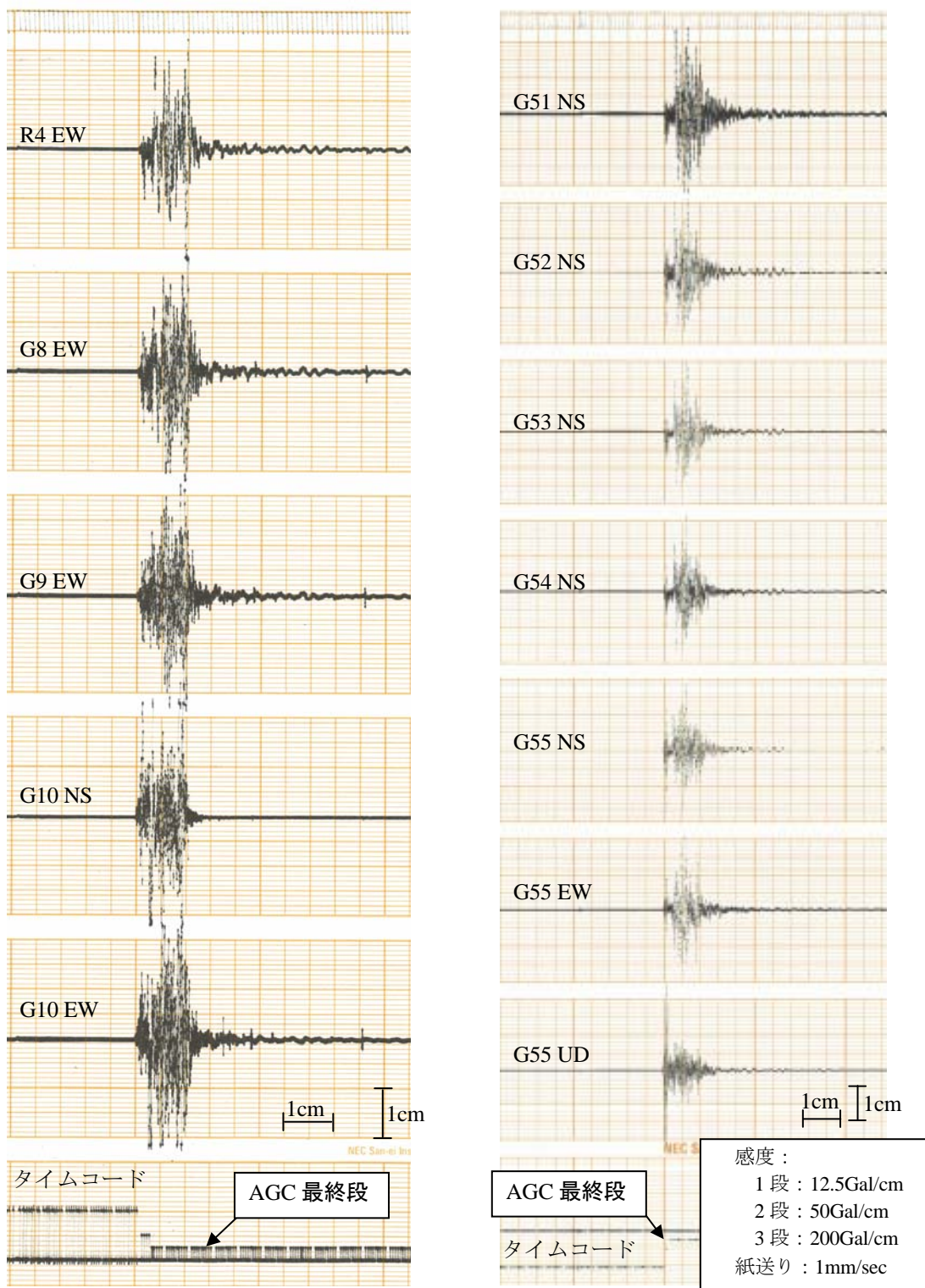
図4に数値化したR4観測点のペンレコードと建屋系地震計(1R2)の記録を比較して示す。本震時のR4観測点については、数値化した波形と観測記録がペンレコードの振り切れ部分を除き、ほぼ一致している。地盤、建物の観測系には、このペンレコードと最大加速度値(PGA)が印字データとして残されており(東京電力、2007)²⁾、多数箇所の振り切れの場合は特定が難しいが、1か所であれば、振り切れ点の加速度値として使うことができる。そこで、最大値の発生時刻は不明であるが、図4に示した振り切れ部分の中間点に最大値があったものと仮定してコサイン補間による時系列も合わせて示してある。

上記の1R2観測波形とペンレコーダー波形、および振り切れ部分をコサイン補間によって推定したペンレコーダー波形それぞれのフーリエスペクトルを図5に示す。なお、比較のための解析区間はペンレコードと同一とし、どちらも0.01秒サンプリング、継続時間8秒の波形として扱う。細部までの一致には程遠いが、卓越周期やスペクトル形状には良い一致が見られる。但し、周期1秒以上と0.15秒以下ではやや過小評価となっている。元々の読み取りが波形の極大極小値を読み取っているため、短周期の再現に限界があるのは当然と言える。また長周期ではDAの分解能低下の影響を受けたものと判断される。

次例として、最大余震の1号機最深部(G10)EW方向のペンレコードの読み取り結果を図6に示す。前例に比べて短周期の成分が多く含まれているため、読み取り精度は悪く、一部位相を追従できていない部分もある。また、AGCが2段しか働かなかったために波形が少なくとも2か所で振り切れており、前例と同様に1つの最大値を1か所に当てはめてコサイン補間により時刻歴を求めた。他1か所は読み取り値のままとしてある。図7にペンレコードからの読み取りとデジタル記録との比較を示す。なお、読み取り波形は後述の5節でもとめたタイムコードの読み取り時刻を用いている。本震記録の基礎マット上での比較よりも一致の程度は悪い。また、観測値よりもやや小さくなっている。ただし、それ以外の波形の特徴的な部分はある程度再現できている。デジタル記録とペンレコーダー波形、および振り切れ部分をコサイン補間によって推定したペンレコーダー波形、それぞれのフーリエスペクトルを図8に示す。なお、比較のための解析区間はペンレコードと同一とし、どちらも0.01秒サンプリング、継続時間3秒の波形として扱う。一部の周期(0.25~0.3秒)での差が顕著ではあるが、その帯域を除き0.1秒から0.7秒程度まではおおそ一致している。余震のやや長周期の成分が少ないために、信頼できる周期0.7秒程度に限られるためと考える。

以上の検討結果から、短周期側は0.1秒程度まで、本震の場合の長周期側は2秒程度までは利用可能と考える。なお、短周期側については、フーリエ振幅の対応から利用可能な周期を判断しており、ペンレコードの線の太さが最大で0.3秒程度に相当する部分もあるが、多くは中心を読み取っているためにある程度の精度が確保されたと考える。線の重なりがある場合を除き、ピーク間隔0.1秒程度まで追従できていると考える。ただし、全ての記録に適用できるとは限らず、扱いにはやや注意が必要と考えられる。

なお、原子炉建屋基礎盤上と地中地盤系の地震計特性は0.05Hz以下に違いはあるが、本報告で議論する周期帯(2~0.1秒)では共に平坦な特性であり²⁾、全く同等に扱っている。



(a) 1号機

(b) 5号機

図1 ペンレコーダーに残された本震の波形記録

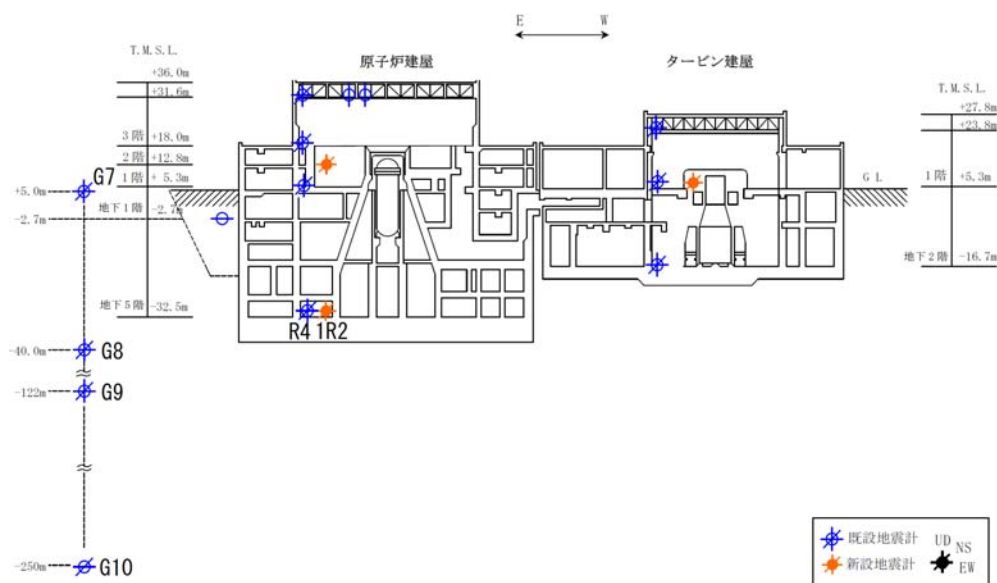
表1 ペンレコードが残されている観測点と地震動成分

1号機 観測点	ペンレコード			地震計設置位置 T.M.S.L(m)	5号機 観測点	ペンレコード			地震計設置位置 T.M.S.L(m)
	NS	EW	UD			NS	EW	UD	
R4	-	既	-	-32.5 (原子炉建屋基礎版上)	G51	新	-	-	+9.3(地盤系)
G8	-	既	-	-40.0(地盤系)	G52	新	-	-	-24.0(地盤系)
G9	-	既	-	-122.0(地盤系)	G53	新	-	-	-100.0(地盤系)
G10	既	新	-	-250.0(地盤系)	G54	新	-	-	-180.0(地盤系)
					G55	新	新	新	-300.0(地盤系)

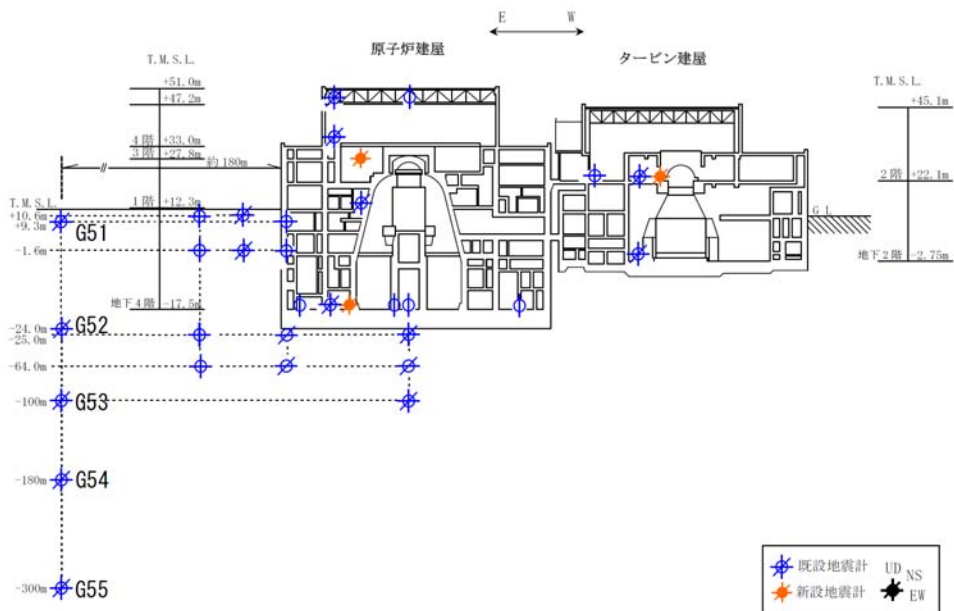
注) 新：ペンレコードの極性が新設の基礎版地震計と同じ。

既：ペンレコードの極性が既設の地中地盤系の地震計と同じ。

-：ペンレコーダーには結線されていない。



(a) 1号機



(b) 5号機

図2 ペンレコーダーに接続されていた地盤系観測点（成分）の配置図（概念図）

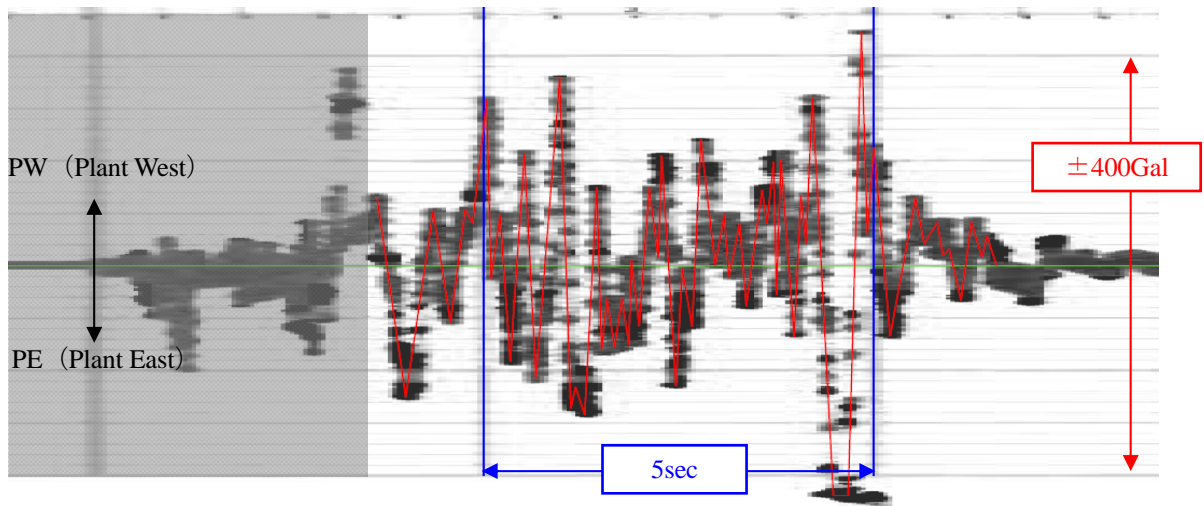


図3 R4観測点EW成分のペンレコード拡大画像（黒）と数値化結果（赤）との比較

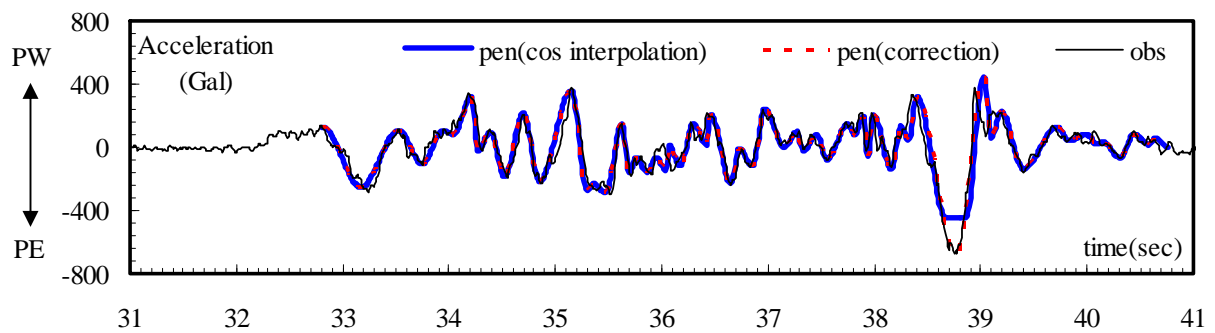


図4 1号機原子炉建屋基礎版上1R2EW成分観測記録（黒実線）とR4観測点EW成分のペンレコードの数値化記録（青実線）および振り切れ部分に最大値情報（絶対値）を取り入れコサイン補間した時刻歴（赤点線）の比較

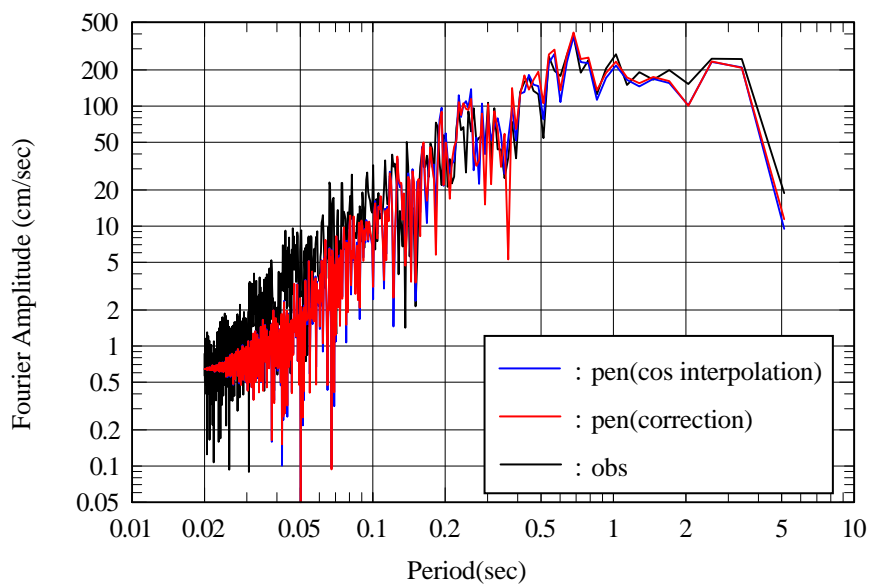


図5 1号機原子炉建屋基礎版上EW成分とペンレコードの数値化記録とのフーリエスペクトルの比較

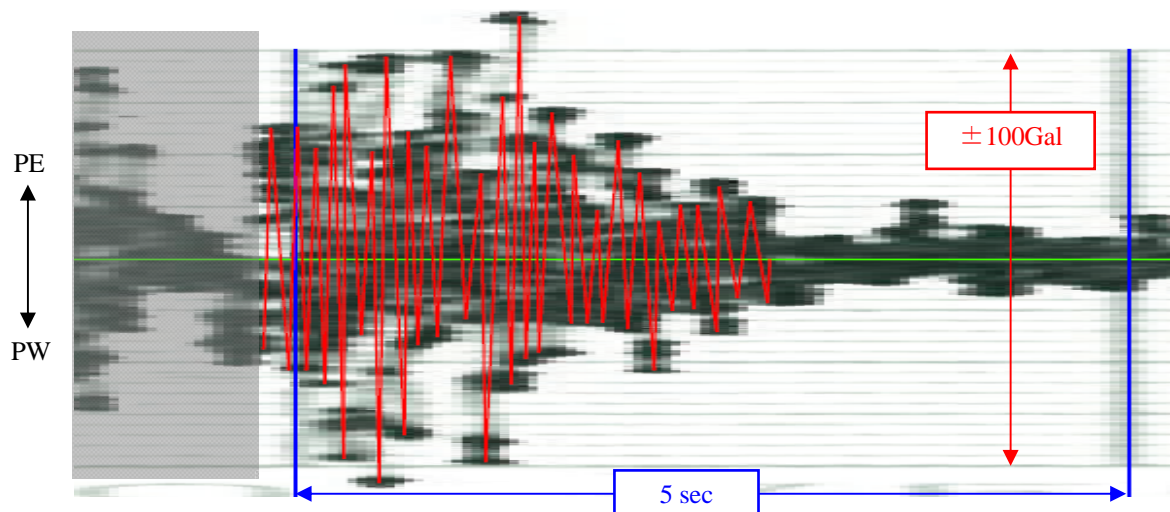


図6 最大余震 G10 観測点 EW 成分のペンレコード拡大画像（黒）と数値化結果（赤）との比較

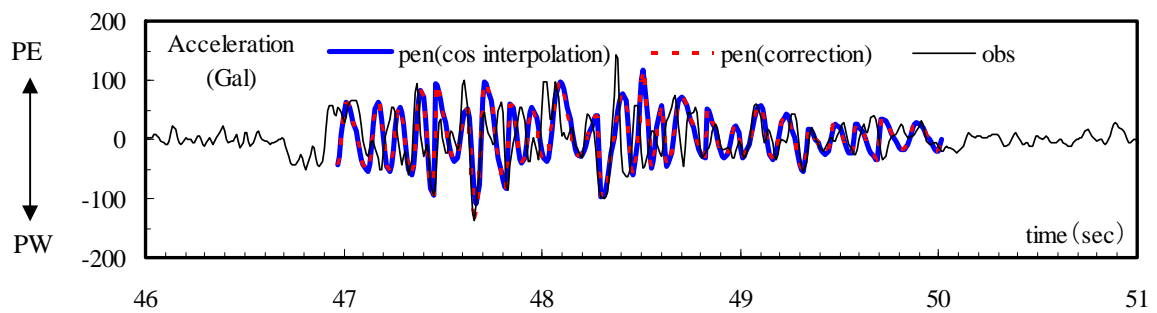


図7 1号機地盤系最深部 G10 EW 成分観測記録（黒実線）と同観測点のペンレコードの数値化記録（青実線）および振り切れ部分に最大値情報を取り入れコサイン補間した時刻歴（赤点線）の比較

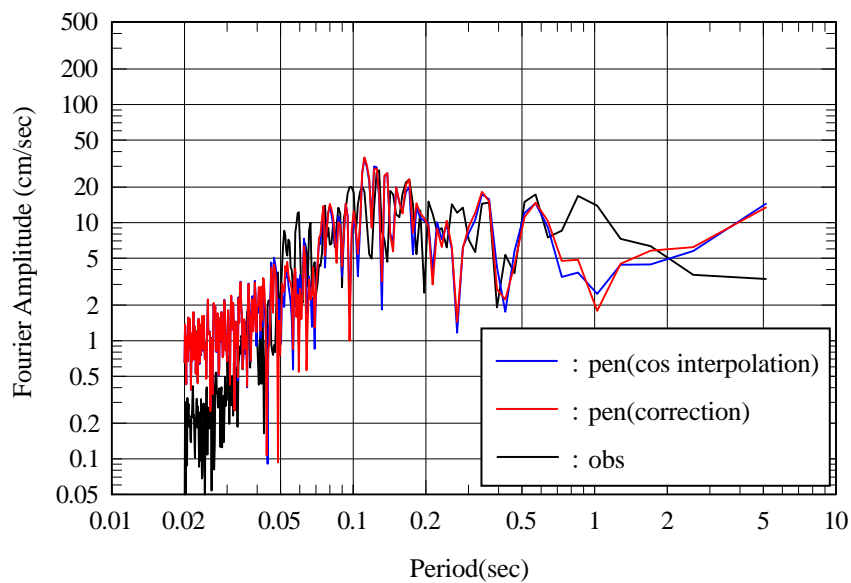


図8 最大余震での1号機地盤系最深部 G10 EW 成分とペンレコードの数値化記録のフーリエスペクトルの比較

4. 数値化した記録と特徴

前節で検討した手法を用いて数値化した加速度値を本震のペンレコードと最大加速度を5号機について図9に、1号機について図10に示す。なお、極性は表1に示す通りである。タイムコードの読み取りについては5節で述べるが、図9、図10の時間軸はタイムコードから読みとった時刻である。以下、読み取った波形の特徴について述べる。

4.1 G52～G55 (5号機地盤系)

5号機地盤系の読み取ったペンレコーダー波形を図9に示す。G52のペンレコードからわかるように、3節の最大余震の例で見られるような短周期成分はそれほど多くはなく、比較的読み取りやすい波形と言える。また、振り切れている点もG55のEW方向に1点のみである。NS方向については、いずれの深さについても前半で最大加速度が決まっている。また、G55のEW方向の後続のパルスは1号機地盤系と比べて明らかに小さい。この関係は原子炉建屋基礎版上の記録と同じ傾向である。

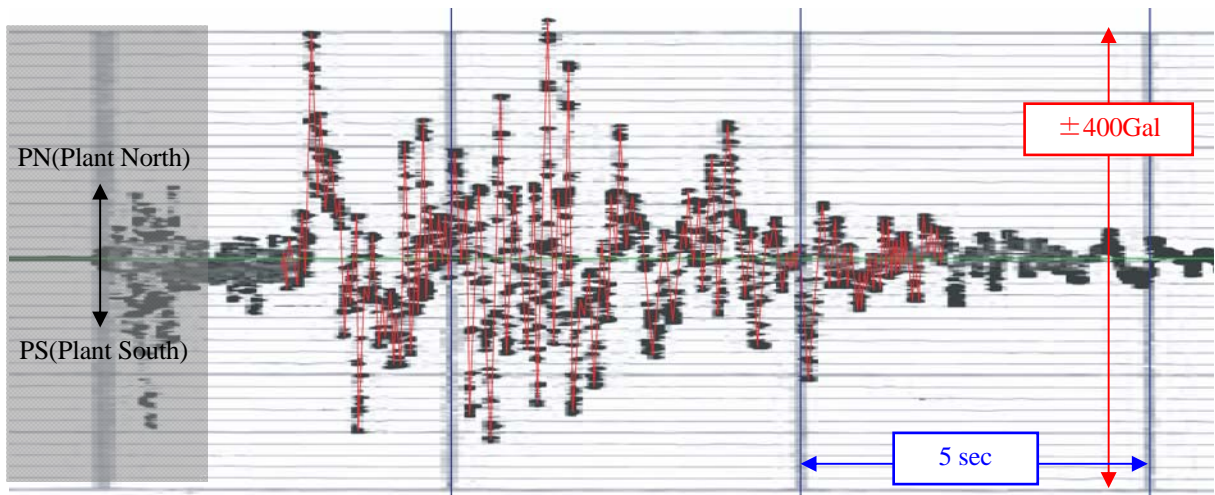
なお、G51については、振り切れている点が多いことから読み取りを行っていない。

4.2 G8～G10 (1号機地盤系)

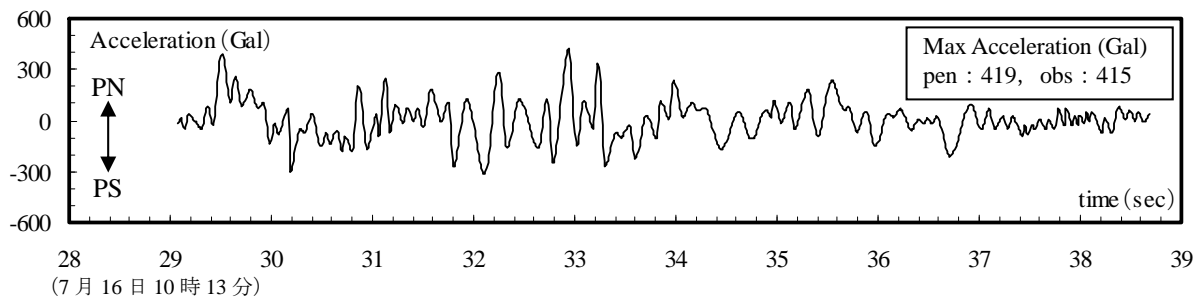
1号機地盤系の読み取ったペンレコーダー波形を図10に示す。G8～G10のペンレコードから、短周期成分が多く読み取りが前例に比べて難しい波形であり、5号機と比べて読み取りの信頼性は低いであろう。また、G9、G10については3点以上振り切れている点があり、最大加速度も含めた完全な再現は難しいことがわかる。一方、G8については、後続で振り切れている2点のみであり、読み取りもG10より容易であり、信頼性は比較的高いと考えられる。

4.3 深さ方向の比較

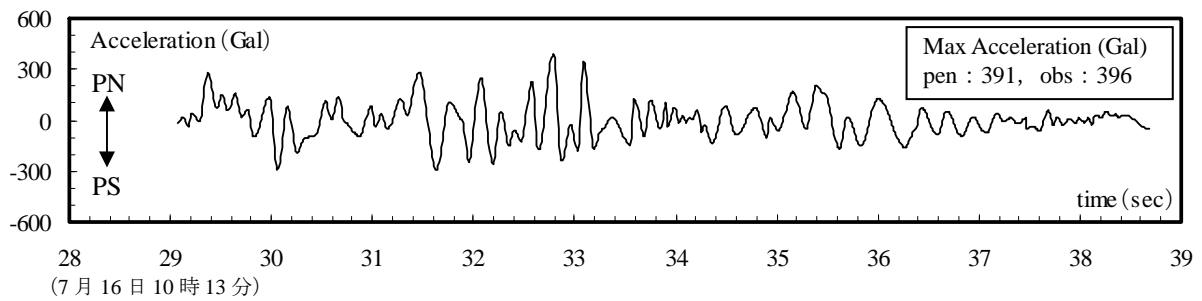
地盤系観測点の読み取ったペンレコーダー波形を1号機についてはEW方向、5号機についてはNS方向について深さ方向に並べて図11に示す。1号機原子炉建屋基礎版上で観測された時刻歴(図11の太赤線)に見られる後続部分の特徴的なパルスの部分は、地盤系最深部G10では、より短周期の波で構成されていることがわかる。



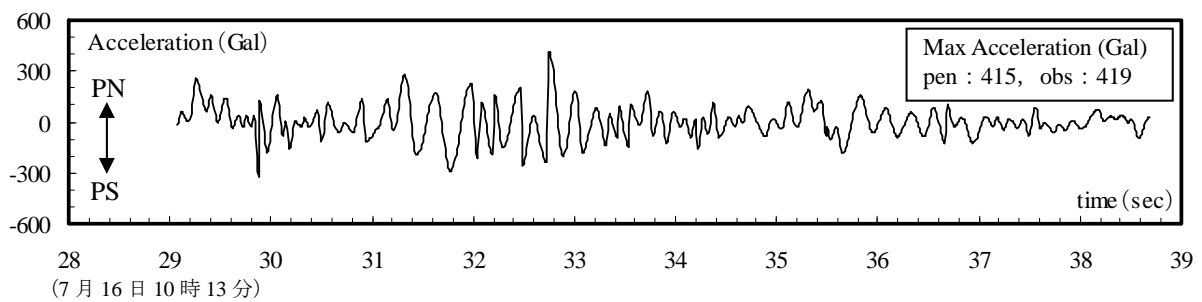
(a)G52 NS 方向 (ペンレコード)



(b)G52 NS 成分

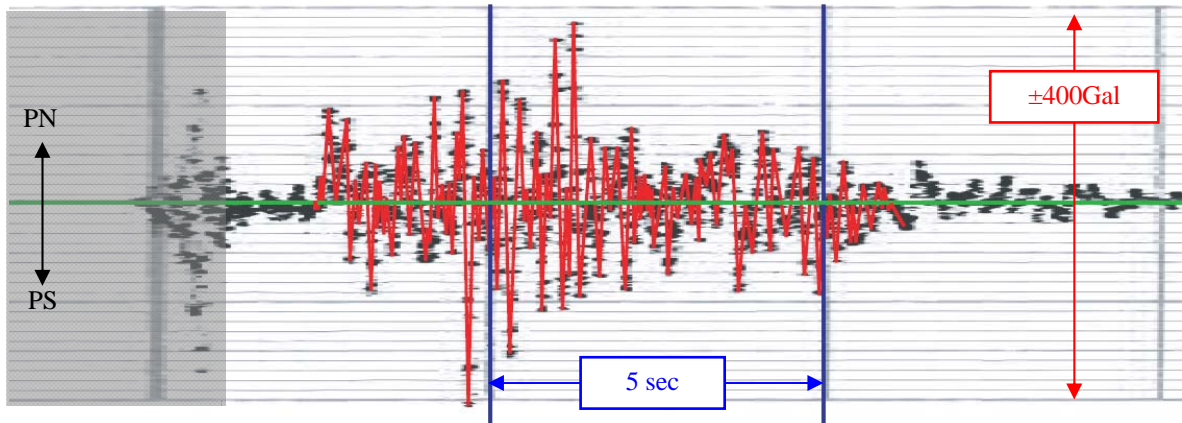


(c)G53 NS 成分

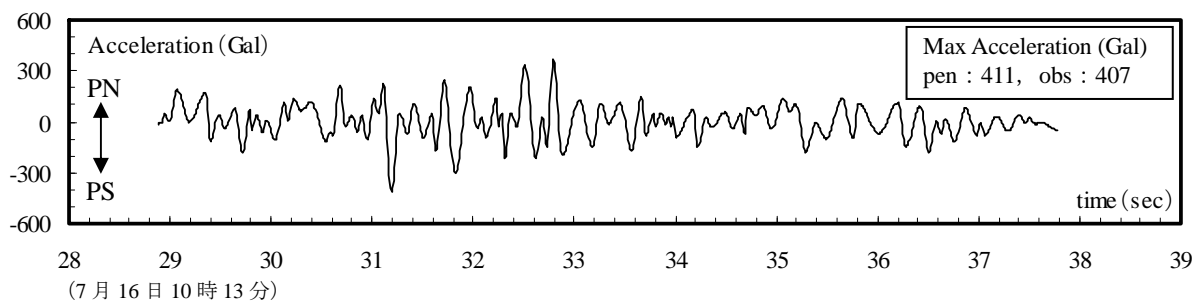


(d)G54 NS 成分

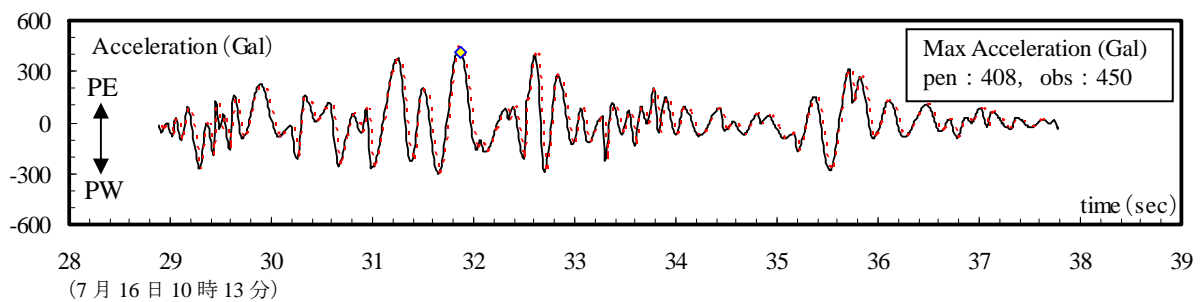
図9 (1) コサイン補間したペンレコーダー波形 (5号機 地盤系 その1)



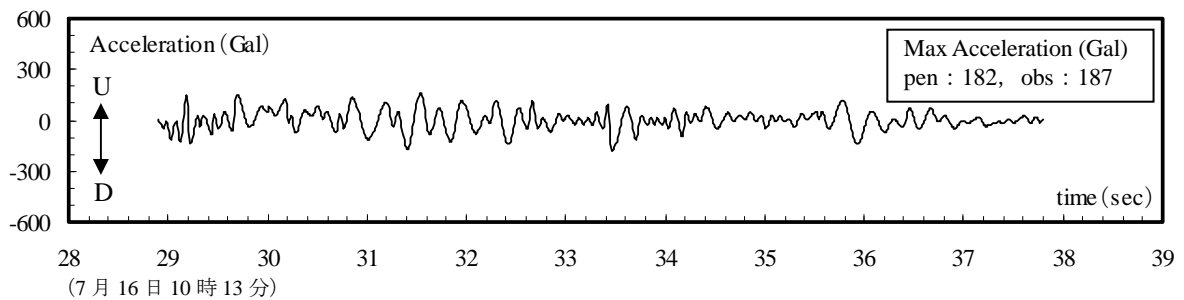
(a) G55 NS 方向 (ペンレコード)



(b)G55 NS 成分



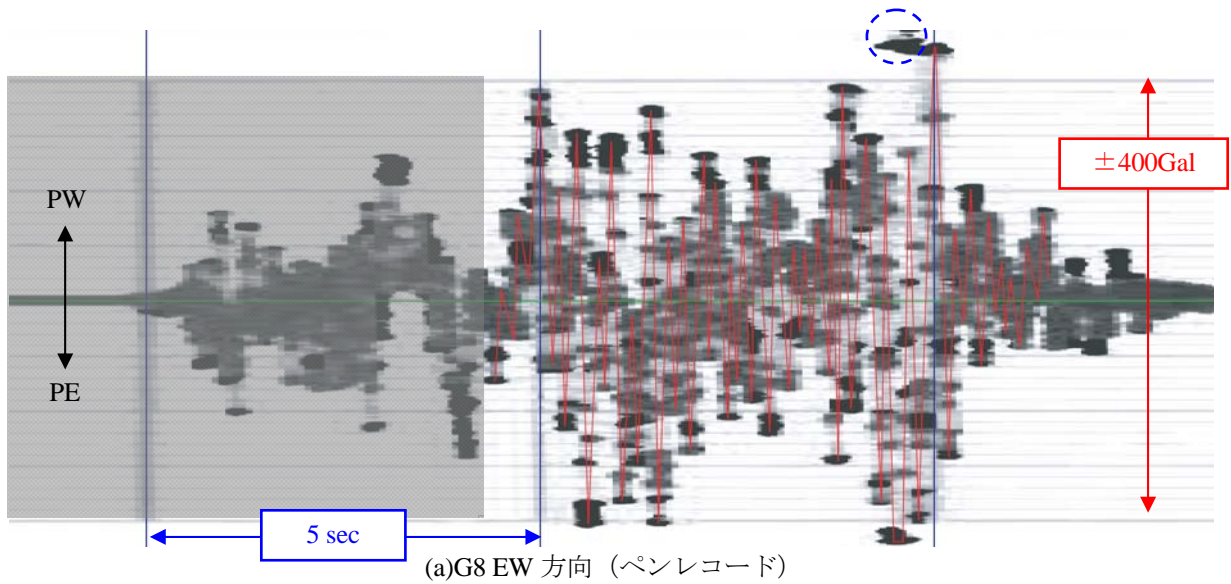
(c)G55 EW 成分



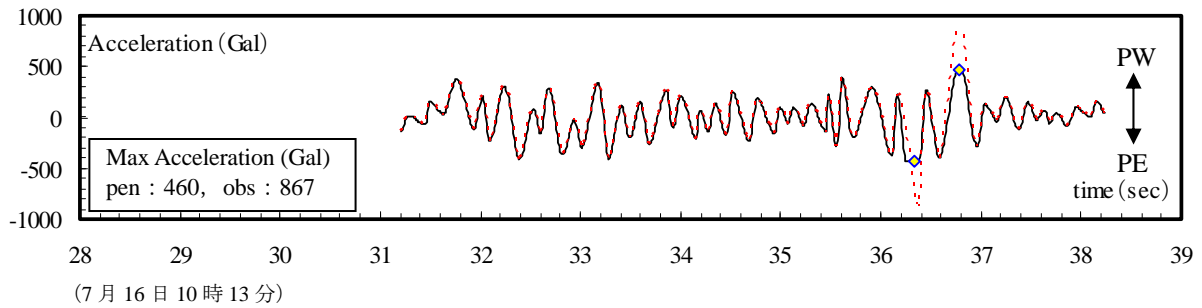
(d)G55 UD 成分

注) 赤線は、振り切れ部分に最大値情報(絶対値)を取り入れコサイン補間した時刻歴波形。
◇印は振り切れている可能性がある点

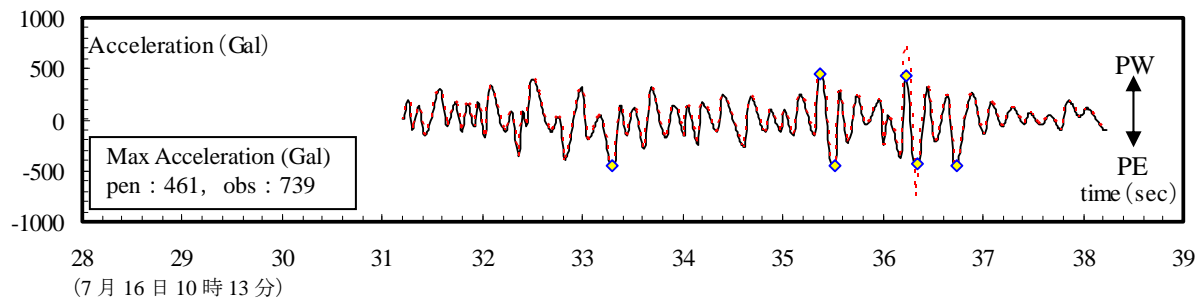
図 9 (2) コサイン補間したペンレコーダー波形 (5号機 地盤系 その2)



注) 青の破線円はこの成分ではなく、記録紙上1つ上に印字された成分 (R4) の振り切れ部分



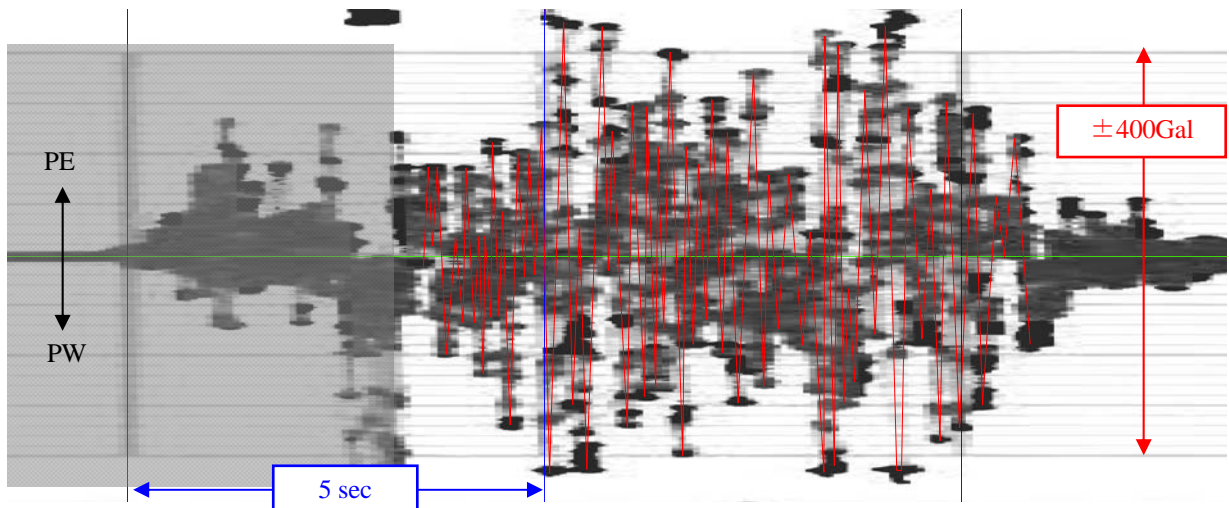
(b) G8 EW 成分



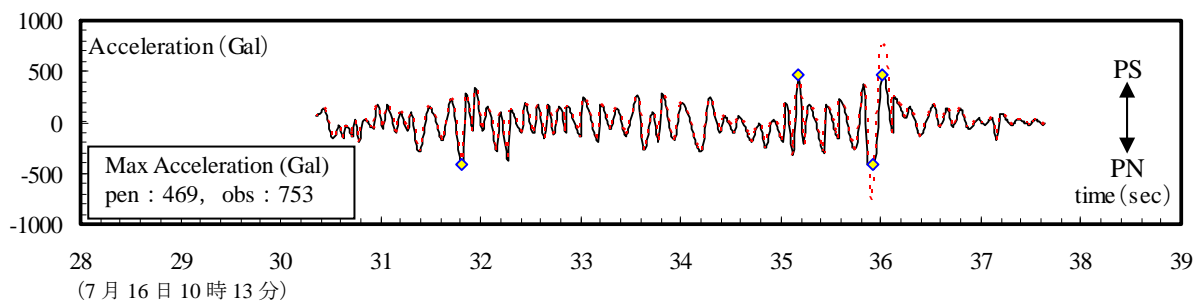
(c) G9 EW 成分

注) 赤線は、振り切れ部分に最大値情報 (絶対値) を取り入れコサイン補間した時刻歴波形
◇印は振り切れている可能性がある点

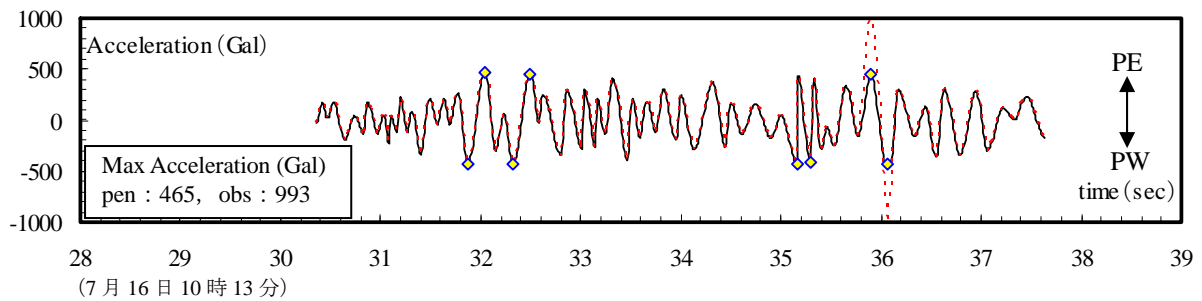
図 10 (1) コサイン補間したペンレコーダー波形 (1号機 地盤系 その1)



(a)G10 EW 方向 (ペンレコード)



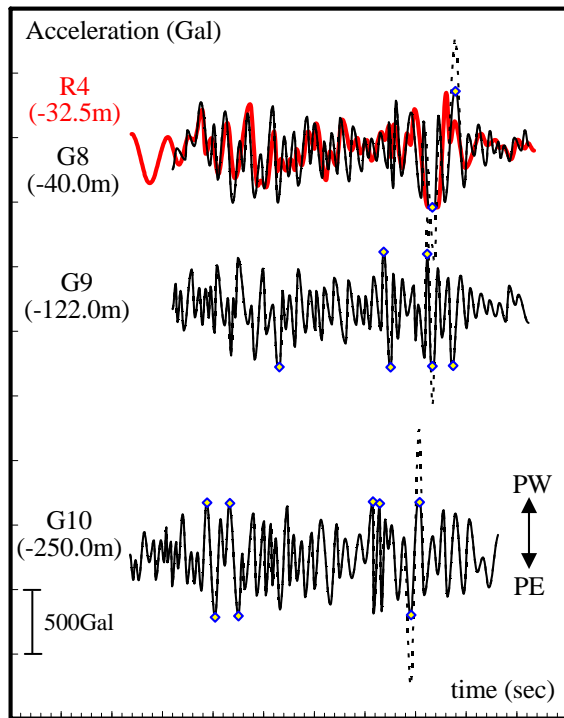
(b)G10 NS 成分



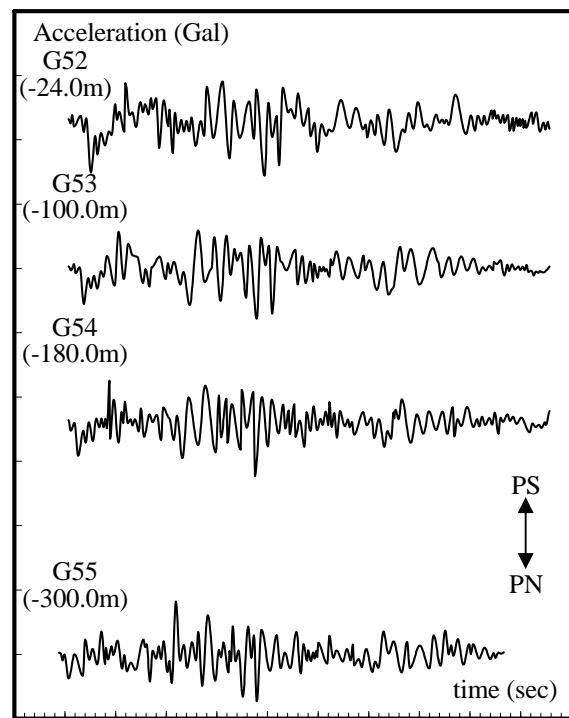
(c)G10 EW 成分

注) 赤線は、振り切れ部分に最大値情報(絶対値)を取り入れコサイン補間した時刻歴波形
◇印は振り切れている可能性がある点

図 10 (2) コサイン補間したペンレコーダー波形 (1号機 地盤系 その2)



(a) 1号機 (EW成分)



(b) 5号機 (NS成分)

図11 数値化したペンレコードと最大加速度印字記録（絶対値）を参考に振り切れ部分をコサイン補間した波形のレコードセクション

5. 地震到達波時刻の評価

建屋系の地震計の時刻は、GPS・NHK 時報などによる時刻校正が行われていないため、絶対時刻は不明である。一方、既設地震計（ペンレコード）は、本震当日（1号機：7月16日4時、5号機：7月16日10時）に時刻校正がされていることから、絶対時刻の精度は確保されていると判断し、タイムコードの読み取りから地震到達時刻を推定した。

P波到達時刻を異なる方法により読み取り、その精度とばらつきについて検討した。読み取りに関しては、以下の3つの方法でそれぞれ異なる人間が行った。

方法1（紙+定規）：紙記録から定規で読み取り、換算して時刻を求める。

方法2（CAD）：スキャン画像から読み取り、CADの寸法から換算し時刻を求める。

方法3（Word）：スキャン画像から読み取り、Wordの寸法から換算し時刻を求める。

長さから時間への換算について、方法1と方法2はタイムコード30秒間の長さから、方法3はタイムコード2秒間の長さから換算している。なお、5号機のタイムコードと方眼紙からの換算値では0.01mm/sec程度のずれがあったのでタイムコードからの換算値を正としている。なお、前述の読み取り波形の換算についても同様である。

各方法による読み取り時刻を表2に示す。方法間の誤差は概ね線の太さの半分程度におさまっていることから、読み取ったP波到達時刻については、ある程度の妥当性が確認されたと考えられる。また、その精度は線の太さの半分である0.1秒程度と考えられる。

一方、方法2については、図7の最大余震の記録を用いて検証を行っており、図8は既設地震計の記録と、読み取り時刻に合わせて数値化したペンレコードを重ね合わせたものである。特徴的な位相の時

刻は、比較的良く対応しており、方法2による読み取り時刻がある程度の精度をもつことを確認した。

以上の検証を踏まえ、本稿では方法2を用いて算定したP波到達時刻から推定した絶対時刻を、1号機、5号機地盤系ペンレコードの絶対時刻として用いている。

公開されている本震時の原子炉建屋基礎版上での時刻歴波形から、P波到達時刻を読み取り、前述の絶対時刻を反映する。具体的には、1号機原子炉建屋上でのP波到達時刻がわかり、また地盤系最深部で比較すると、5号機では1号機よりも0.28秒早くP波が到達しているため、5号機はこの時刻差を基準として求める。それ以外の号機については、震源(37° 33.4' N, 138° 36.5' E, 深さ17km: 気象庁)からの距離(X)に応じて補間してP波到達時刻を求めた。図12は縦軸を震源距離にとり、横軸に絶対時刻を反映させて波形を並べたものである。図から、S波の初動直後の周期1秒程度の波は5号機から1号機にかけて見掛け2km/sec程度であるが、EW成分の後半部である時刻10時13分36秒付近のパルスは全ての号機でほぼ同時に到着している。

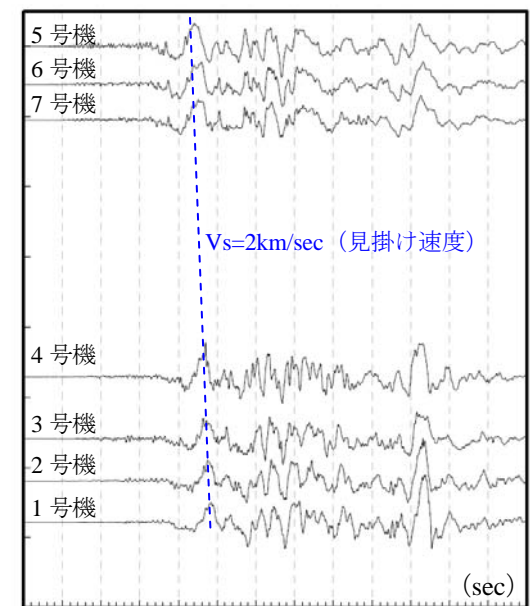
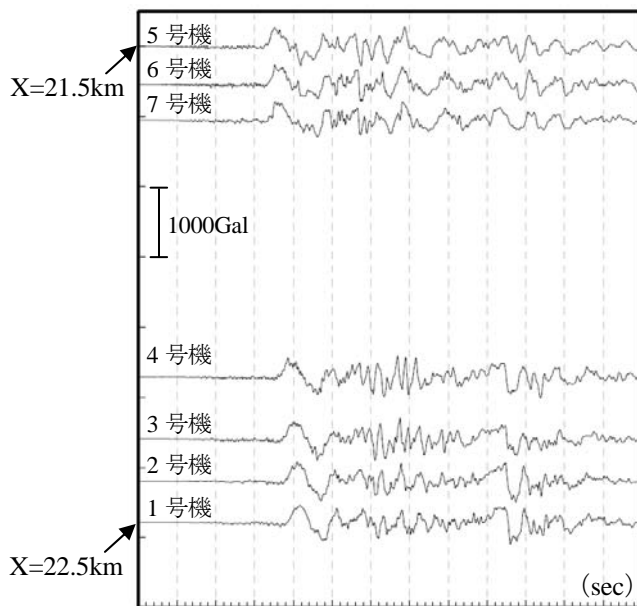
表2 P波到達時刻の読み取り結果

(a) 1号機

観測点	地震到達時刻 (方法1)	地震到達時刻 (方法2)	地震到達時刻 (方法3)
R4-EW	10:13:26.65	10:13:26.58	10:13:26.54
G8-EW	10:13:26.44	10:13:26.45	—
G9-EW	10:13:26.44	10:13:26.40	—
G10-NS	10:13:26.34	10:13:26.34	10:13:26.37
G10-EW	10:13:26.34	10:13:26.34	10:13:26.37

(b) 5号機

観測点	地震到達時刻 (方法1)	地震到達時刻 (方法2)	地震到達時刻 (方法3)
G51-NS	10:13:26.22	10:13:26.28	—
G52-NS	10:13:26.16	10:13:26.25	10:13:26.17
G53-NS	10:13:26.09	10:13:26.22	—
G54-NS	10:13:26.05	10:13:26.15	—
G55-NS	10:13:25.89	10:13:26.06	10:13:26.13
G55-EW	10:13:25.89	10:13:26.06	10:13:26.13
G55-UD	10:13:25.89	10:13:26.02	10:13:26.02



26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39
(7月16日10時13分)

26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39

(a) NS成分

(b) EW成分

図12 5号機と1号機のP波到達時刻の差(0.28秒)を考慮した
原子炉建屋基礎版上の加速度時刻歴波形

6. まとめ

新潟県中越沖地震の際に消失した柏崎刈羽原子力発電所の一部の観測記録について、ペンレコードを数値化し復元を試みた。ペンレコードはモニター記録であり、一部の観測点・成分に限られること、AGCが最終段（最低感度）になった以降の数値化であること、それでも振り切れ部分が部分的に生じていること、ペンレコーダーの紙送り速度が遅いなどの理由から、完全な記録の復元は出来ていない。しかし、その中でも5号機の場合は、振り切れた箇所は1箇所、1号機に比べると短周期が見かけ上支配的ではないため、比較的精度の良い再現が可能であったと判断される。一方、1号機の観測記録は振り切れ部分が多く、精度にはやや注意が必要であると言えるが、現在各方面で進められている地中地震動あるいは解放基盤面での地震動推定の作業には、参考値として利用できるのではないかと考える。

また、デジタル記録が得られている各原子炉建屋の基礎版での記録は多方面で利用されているが、絶対時刻が不明のため利用の制限がある。今回、ペンレコードから判定した時刻からは、地盤最深部のP波地震到達時刻は、5号機が1号機より0.28秒早く到達していることがわかった。

1号機のペンレコードは振り切れ部分が多いため、地盤応答解析などを行い再検討し、改めて報告する予定である。また、読み取りデータについては、利用を希望される方にはご提供する予定であり、筆頭著者 (s.tanaka@tepsc.co.jp) までご連絡頂きたい。

謝 辞

この研究を実施するに当たっては、東京電力㈱から提供され（財）震災予防協会から頒布された地震観測記録集（CD-ROM）を用いております。3名の査読者のご指摘とご意見は本稿の改善に大変役立ちました。東京電力㈱植竹富一氏には有益なコメントを頂きました。記して感謝致します。

参考文献

- 1) 新潟県中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所への影響に関する国際原子力機関（IAEA）のフォローアップ調査団報告書（http://www.nisa.meti.go.jp/text/kokusai/IAEA/iaea-report_wayaku.pdf）など。
- 2) 東京電力㈱HP：新潟県中越沖地震に係わる不適合管理状況（http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu07_j/images/070817a.pdf）など。
- 3) 東京電力㈱、2007、東京電力㈱柏崎刈羽原子力発電所における「平成19年(2007年)新潟県中越沖地震」の加速度時刻歴波形データ、震災予防協会、CD-ROM.
- 4) 年縄巧・翠川三郎・大町達夫・中村豊、1991、パソコンとイメージスキャナよりなるアナログ強震記録の解析システム、構造工学論文集、37A、903-910
- 5) 年縄巧・赤澤隆士・香川敬生、1997、1995年兵庫県南部地震の際大阪府豊中市で観測された強震記録の復元、地震2、50、337-340

（受理：2008年2月8日）
（掲載決定：2008年5月28日）

**Strong motions during the 2007 Niigata-Chuetsu-oki earthquake at
down-hole sites in the Kashiwazaki-Kariwa Nuclear Power Station
-Digitizing the pen-writing monitoring-record and estimation of strong
motions at depths-**

Shinya Tanaka ¹⁾, Mitsugu Mashimo ²⁾, Yutaka Yuzawa ³⁾,
Yoshio Nakajima ⁴⁾, Hiroyuki Takahashi ⁵⁾ and Kazuyoshi Kudo ⁶⁾

1) Tokyo Electric Power Services Company, M. Eng

2) Assistant Manager, Tokyo Electric Power Services Company, M. Eng

3) Tokyo Electric Power Services Company

4) Toden Kogyo Co., Ltd.

5) Tokyo Electric Power Company, M. Eng

6) Nihon Univ. and Tokyo Electric Power Services Company, Dr. Eng.

ABSTRACT

Two down-hole array strong-motion digital records on IC-memory cards at the Kashiwazaki-Kariwa Nuclear Power Station of Tokyo Electric Power Company during the main shock of the 2007 Niigata-Chuetsu-oki earthquake ($M_j=6.8$) were overwritten by succeeding aftershocks due to the less memory-capacity of the recording system. However, the monitoring pen-writing records were remained; therefore, we tried to retrieve the waveforms during the main shock by digitizing the pen-writing records using a CAD system and we prepared the report for estimating the strong-motions at some down-hole sites.

Key Words: Niigata Chuetsu-oki earthquake, Kashiwazaki-Kariwa Nuclear Power Station, pen-writing records, digitization, vertical array strong-motion data