

GPS 時計を用いた浅間火山地震観測の時刻補正

辻 浩*・及川 純**・井田喜明**・小山悦郎***

Time Correction Using a GPS Clock for Seismic Observations at Asama Volcano

Hiroshi TSUJI*, Jun OIKAWA**, Yoshiaki IDA** and Etsuro KOYAMA***

はじめに

浅間山の火山性地震は, 統計的に見ると規模の小さなものが殆どである. その信号は, 山体から離れるにしたがって減衰し, S/N 比は小さくなる. 浅間観測所では当初から, 良質な波形データを確保するために地震計を山体上に設置してきた. 1996 年に火口周辺に 4 点の地震観測点を新設したのもそのためである(辻ほか, 1998). 結果的に浅間火山の地震観測ネットは, 非常に狭い範囲に密集することになった.

ところがその信号伝達方式は, 観測点の設置年代などの違いにより複雑である. 例えば, 観測点との間を数キロにわたり電線で結んでいる観測点もあれば, 無線地震計や公衆回線を併用している観測点もある. 近年はそれらを集約し, 衛星を介してデータの収集, 処理がなされている.

狭い地域での地震観測網における時刻管理は極めて重要である. 浅間観測所では以前から時計の精度とその管理には特に留意してきた. しかし, 複雑化したデータ伝送方式のために, 各観測点の時刻精度は不明であった.

そこで浅間観測所では 1998 年と 1999 年に携帯可能な GPS 時計 DATAMARK LS-20 K を用いて, 地震信号入口から最終出口に至るデータ伝送経路全体を通した時刻補正観測を行った. 本稿ではその観測結果を報告する.

地震観測点の分布とデータの流れ

現在, 浅間観測所は 16 点の地震観測点を保持している.

図 1 にその分布を示す. 東西約 8 km, 南北約 6 km の中に 15 観測点が密集した地震観測ネットであることがわかる. この他に, 中域点として, 本白根山腹に ISH がある.

図 2 に, 地震観測網のデータの流れを示す. KUR, MAE, FJM, SAN, GIP, SKS, HOT, AVO の 8 観測点は電線のみで, KAH, KAM, KAN, KAC の 4 観測点は電線と光ケーブルを併用して, SEN は電線と無線と NTT 回線を併用して, ONI は電線と NTT 回線を併用して, ISH は NTT 回線のみでそれぞれいったん浅間観測所に集められる. 浅間観測所に集約されたデータは更に衛星地震観測システムによって小諸火山化学研究施設に送られデータの収集, 処理が行われる. TKA は電線と無線を併用して, 直接小諸火山化学研究施設に伝送されている.

TKA の観測データはサンプリングレートが 100 Hz であり, それ以外の観測点は全て 120 Hz である.

GPS 時計を用いた計測方法

今回の観測に使用した GPS 時計は, DATAMARK LS-20 K である(図 3). 計測にはパルス出力コネクタから得られる, type 6 (1 分フレーム, 0.5 秒インデックス)の時刻コードを用いた. このパルスの発信は衛星捕捉時, JST (日本標準時)にたいし $10\mu\text{s}$ 以下の精度をもっている. 携帯性に優れたこの GPS 時計は, 山頂の観測点や登山道から外れた山腹に点在する観測点にも比較的容易に持ち込むことが可能である.

計測方法は, まず地震観測点の各々に LS-20 K を携帯し, そこに設置されている地震計の信号の代わりに LS-20 K のパルス信号を入力する. この際, 各地震計のアンプゲインは観測時のままであり, LS-20 K の 5 V の出力電圧は, 自作のアッテネーターで 1 V 弱に減衰させた. ちなみに, 観測時の衛星捕捉数は 5~8 衛星であった. このパルス信号は通常の観測と全く同じ経路を経て, win システム(ト部・束田, 1992; ト部, 1994)の raw データとしてワー

1999 年 9 月 8 日受付, 1999 年 11 月 12 日受理.

* 東京大学地震研究所火山噴火予知研究推進センター小諸火山化学研究施設.

** 火山噴火予知研究推進センター,

*** 浅間火山観測所.

* Komoro Observatory of Volcano-Chemistry,

** Volcano Research Center,

*** Asama Volcano Observatory, Volcano Research Center, Earthquake Research Institute, University of Tokyo.

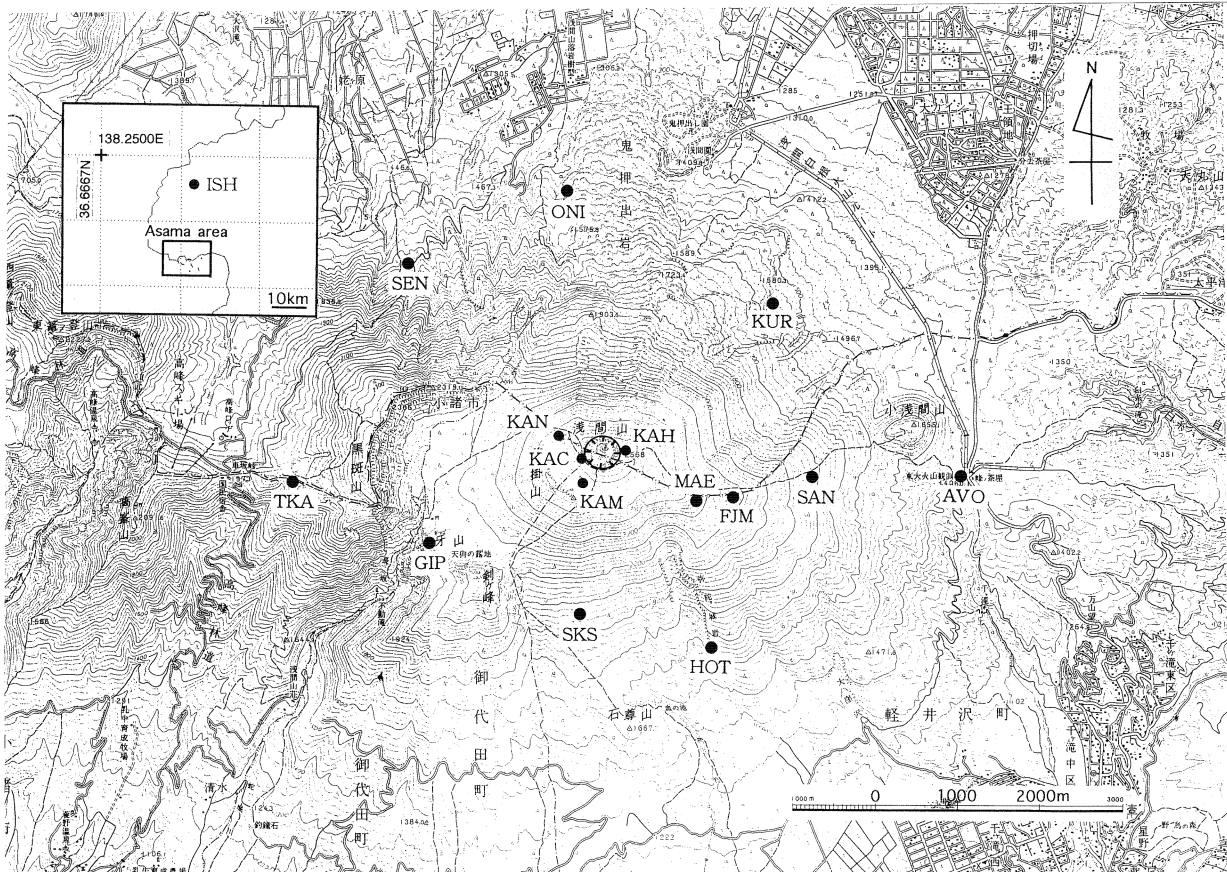


図 1. 浅間山地震観測点の分布. ISH は中域点. 図中 GIP, SKS, HOT, SEN, ISH は上下動成分, それ以外は全て 3 成分観測.

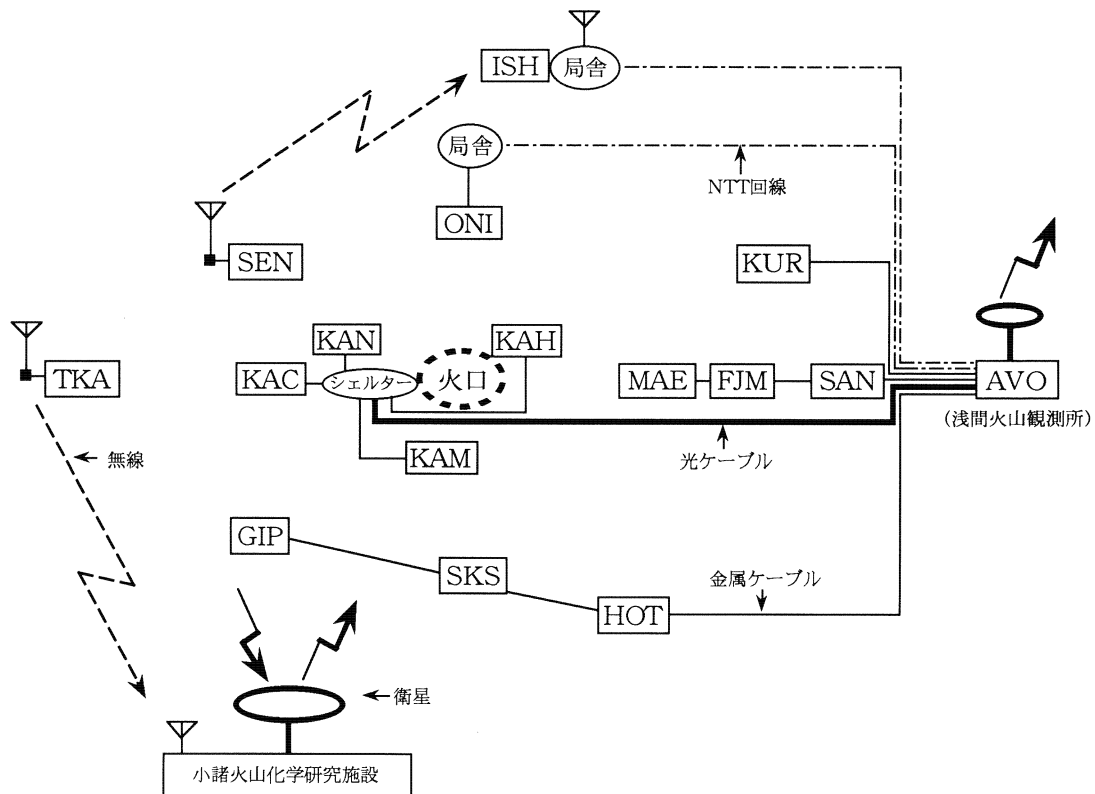


図 2. 浅間山地震観測点のデータの経路. TKA 以外の地震データはいったん浅間観測所に集約され, 更に衛星地震観測システムにより小諸火山化学研究施設に転送される. TKA は直接, 小諸に伝送される.

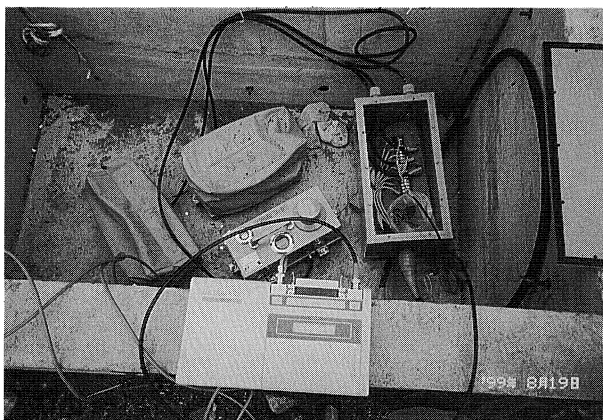


図 3. GPS 時計による ISH の観測風景。一番手前が DATAMARK LS-20 K 本体。

クステーションに取り込まれた。

計測から得られた遅延時間

ワークステーションに取り込まれた GPS 時計のパルス信号は、win システムの時計上で正分から 60 秒間の部分が切り出され、くり返し間隔、0.5 秒の 120 個をスタッキングして、S/N 比を向上させた。図 4 の (a) ~ (j) は各観測点、各成分ごとのパルス信号（矩形波）とスタッキング処理した波形の立ち上がり部の拡大図である。

観測結果を、同時に行った GPS 測位観測によって得られた新しい観測点座標値と共に表 1 に示す。結果は、殆どの観測点において遅延時間が ± 0 秒であった。

この中で、最も遅延時間の大きい観測点は SEN で、グラフから読みとった数値は +192 msec であった。予めパラメータとして設定しておいたものとの時間差は +82 msec である。この観測点は、浅間山で最も発生頻度の高い B 型地震の波はほとんど減衰してしまう。しかし、時折発生する A 型地震については比較的明瞭な波形を得ることができる重要な点である。伝達経路は電線と明星 GTA-34 型 PCM テレメータと NTT 回線を併用しており、浅間山の地震観測点中最も複雑である。次に大きい ISH の読みとり値は +117 msec であった。ここは浅間山の中域点として設置した地震観測点である。ISH とほぼ同じ値を示したのは ONI で、読みとり値は +100 msec であった。SEN, ISH, ONI の 3 観測点は NTT 回線を使用しているため、富士通 FACOM 1921 A モデムを設置した当初、富士通によって計測された遅延時間 +110 msec を予めパラメータとして設定してあった。これは今回の ISH と ONI

の計測値と極めて近い数値である。

TKA の遅延時間は +40 msec であった。TKA も SEN 同様、A 型地震について重要な観測点である。伝達経路は電線と明星 GTA-34 型 PCM テレメータを併用しており、直接小諸火山化学研究施設に送られている。TKA と SEN は共に PCM テレメータを使用しているが、それによる遅延時間は不明だったため、NTT 回線による遅延時間以外は何も設定していなかった。今回の計測によって、この 2 観測点の誤差が比較的大きいことがわかった。

ま と め

地震観測に限らず、観測や計測をするにあたって、精度の追求は重要である。

今回、GPS 時計を観測点から入力し計測した結果、各観測点について精密な遅延時間を得ることができた。これらのデータを新たなパラメータとして入力したことにより、地震観測経路における遅延時間は、完全に解消されたことになる。今後は震源決定の精度が向上されるものと期待される。

しかし、観測結果を得る過程にはいくつかの問題点もあった。まず、GPS 時計の精度が、地震観測のサンプリングレートによって十分に生かされなかったこと、さらに、GPS 時計から出力された矩形波が、アンプリフターの D/A A/D コンバートによって、そのフェイズが鈍ってしまったことである。また、老朽化した金属ケーブルによる S/N 比の低下も、明瞭な波形を得るための障害になった。

より精度の高い地震観測を行い、良質なデータを確保するためには、小さな誤差を一つ一つ取り除いていくことが必要である。

謝 辞：今回の観測には、さくら銀行職員（当時、東京大学大学院生）の加藤寛章さん、東京大学大学院生の寺田暁彦さんのご協力をいただいた。GPS 時計のデータ収録には、地震研究所地震地殻変動観測センターの酒井慎一氏のご協力をいただいた。ここに記して感謝いたします。

文 献

- 辻 浩・行田紀也・小山悦郎・及川 純・井田喜明, 1998, 浅間火山の山頂地震観測, 東京大学地震研究所技術研究報告, No. 2, 135-140.
- ト部 卓・東田進也, 1992, WIN-微小地震観測網波形検測支援のためのワークステーション・プログラム（強化版）, 地震学会 1992 年度秋季大会講演予稿集, No. 2, 331.
- ト部 卓, 1994, 多チャンネル地震波形データのための共通フォーマットの提案, 地震学会 1994 年度秋季大会講演予稿集, No. 2, 384.

(a)

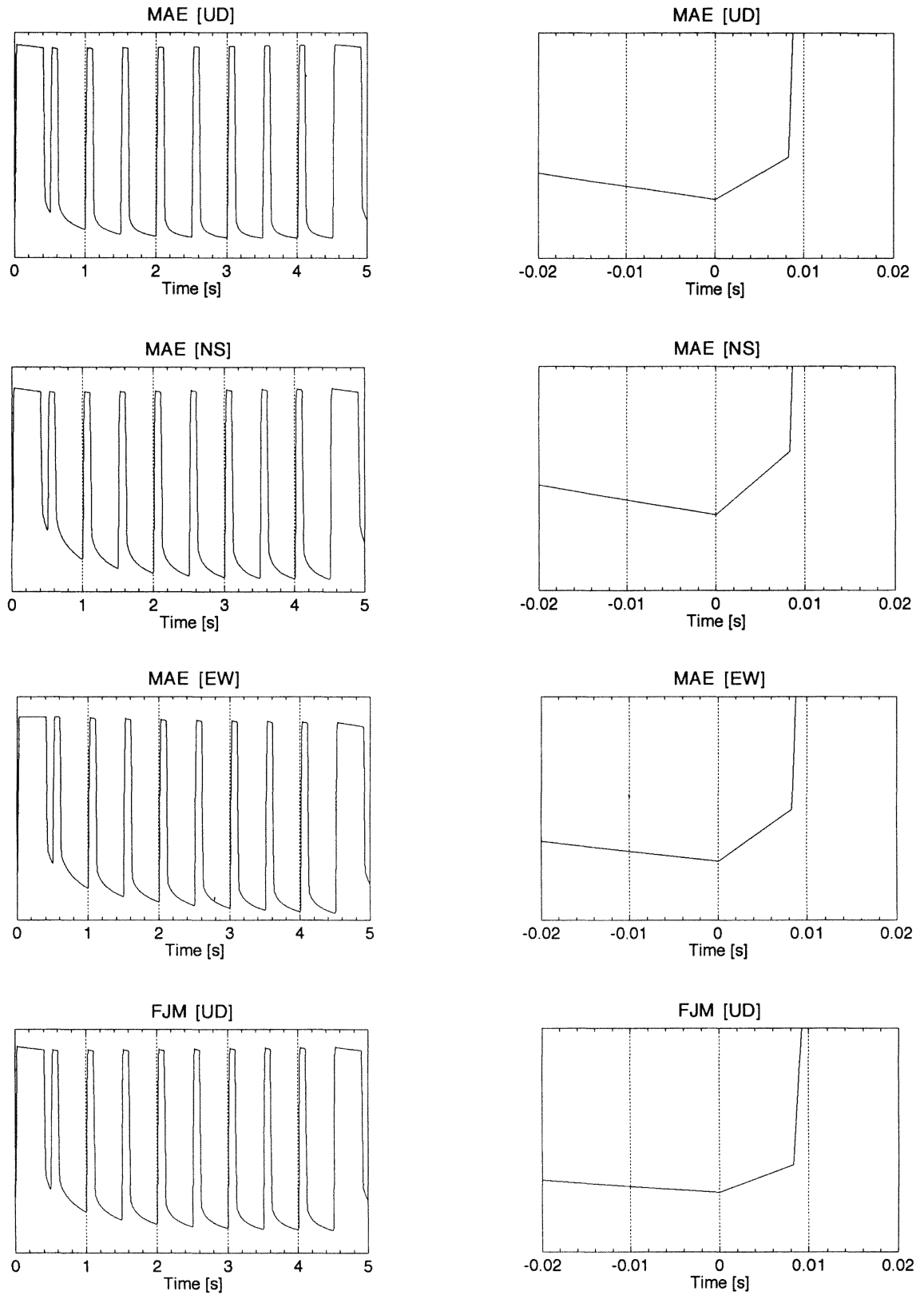


図 4. (a) GPS 時計によって得られた MAE [UD], [NS], [EW], FJM [UD] の観測波形
 左側の列は GPS 時計のパルス信号の波形。右側の列はスタッキング処理後の波形の立ち上がり部の拡大図。

(b)

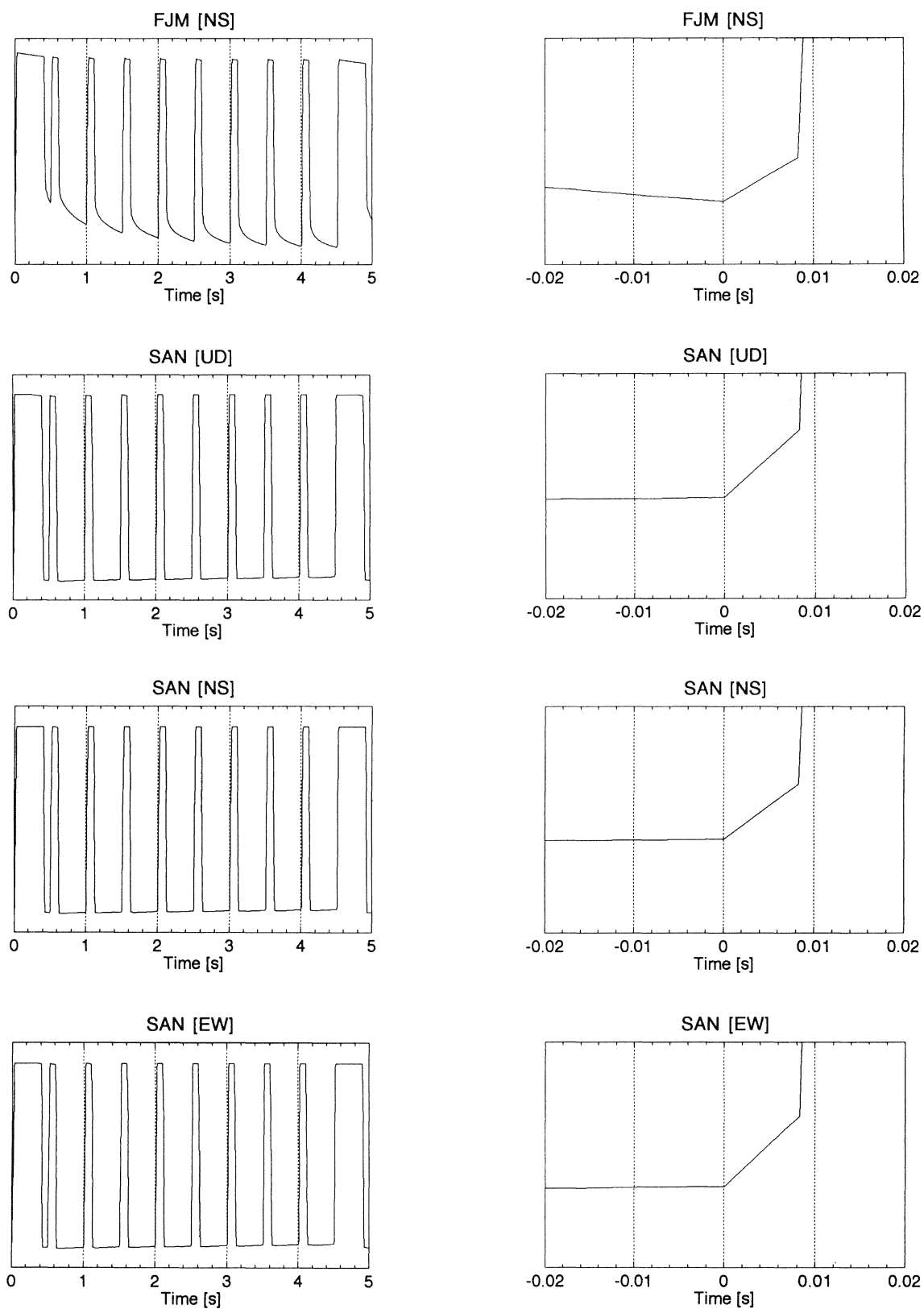


図 4. (b) GPS 時計によって得られた FJM [NS], SAN [UD], [NS], [EW] の観測波形. FJM [EW] は未計測. 左側の列は GPS 時計のパルス信号の波形. 右側の列はスタッキング処理後の波形の立ち上がり部の拡大図.

(c)

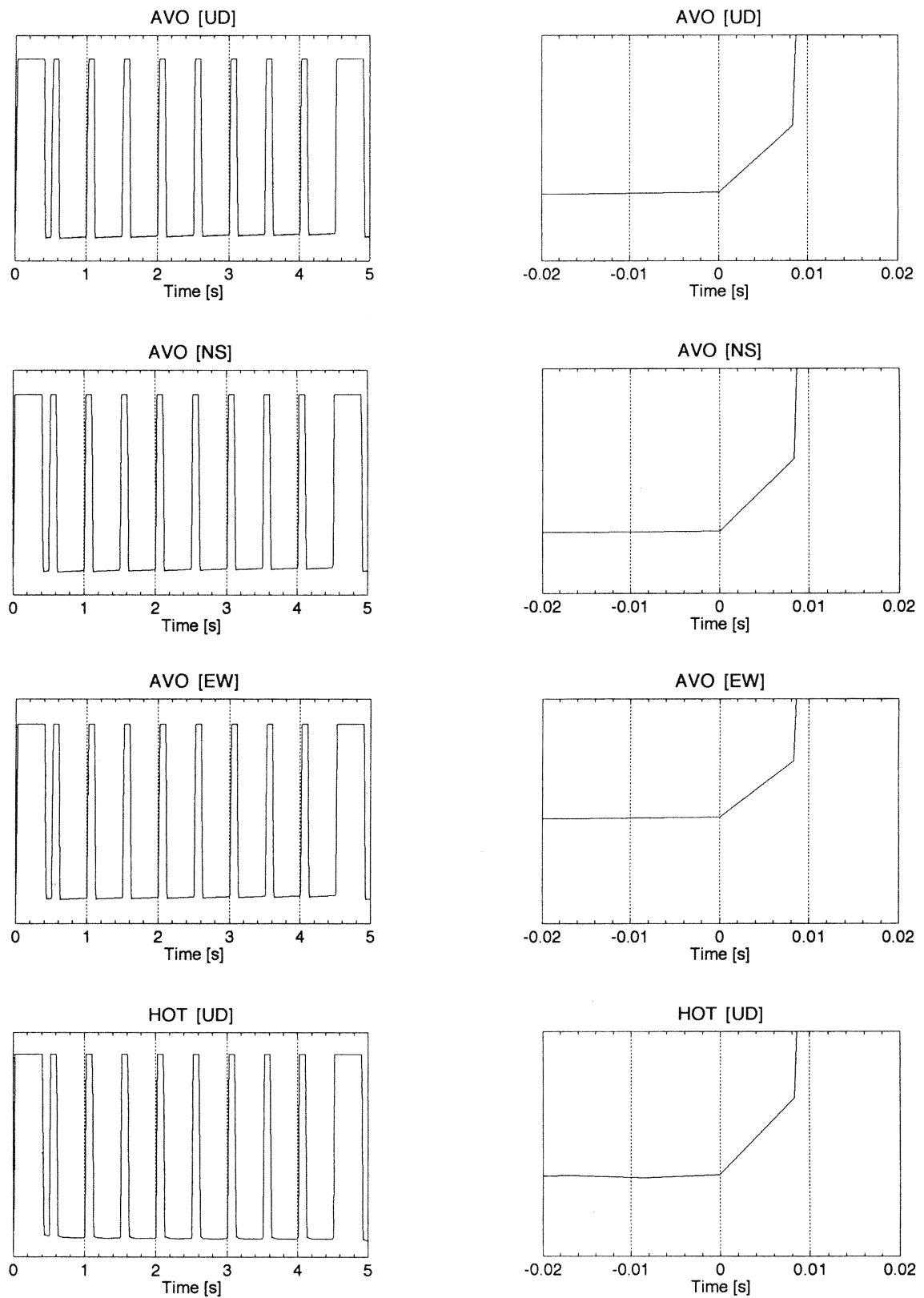


図 4. (c) GPS 時計によって得られた AVO [UD], [NS], [EW], HOT [UD] の観測波形。
左側の列は GPS 時計のパルス信号の波形。右側の列はスタッキング処理後の波形の立ち上がり部の拡大図。

(d)

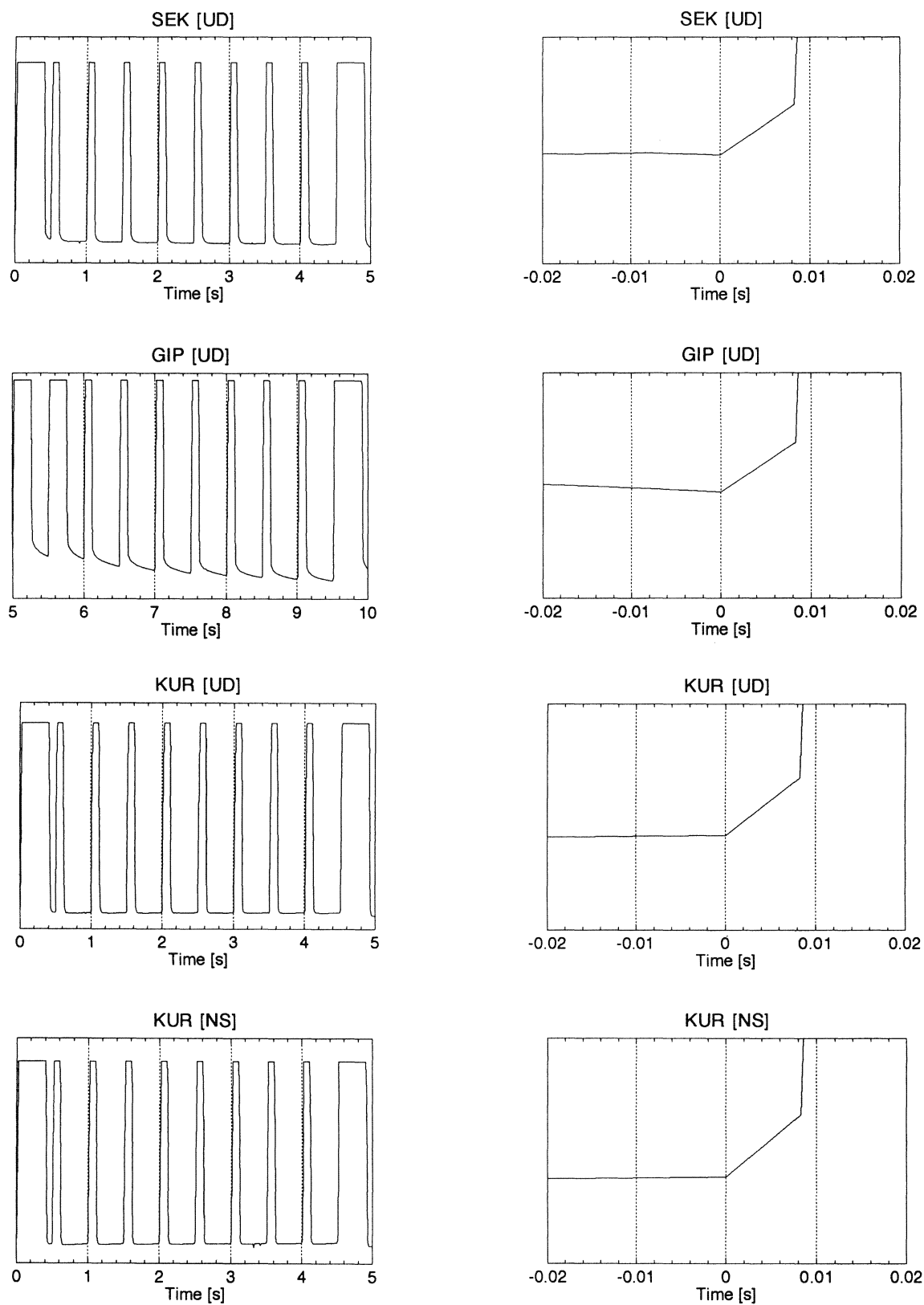


図 4. (d) GPS 時計によって得られた SEK [UD], GIP [UD], KUR [UD], [NS] の観測波形。
左側の列は GPS 時計のパルス信号の波形。右側の列はスタッキング処理後の波形の立ち上がり部の拡大図。

(e)

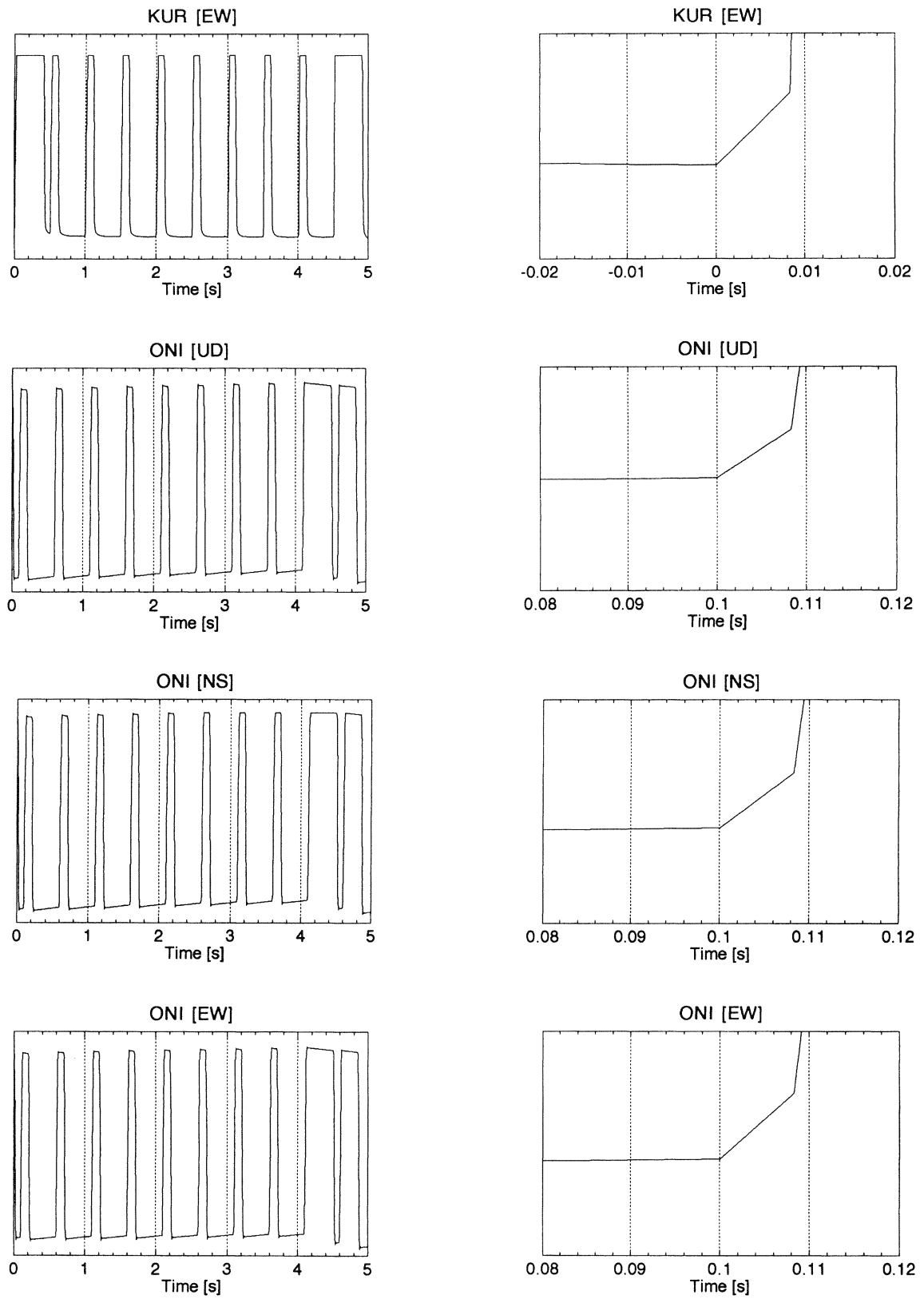


図 4. (e) GPS 時計によって得られた KUR [EW], ONI [UD], [NS], [EW] の観測波形。
左側の列は GPS 時計のパルス信号の波形。右側の列はスタッキング処理後の波形の立ち上がり部の拡大図。

(f)

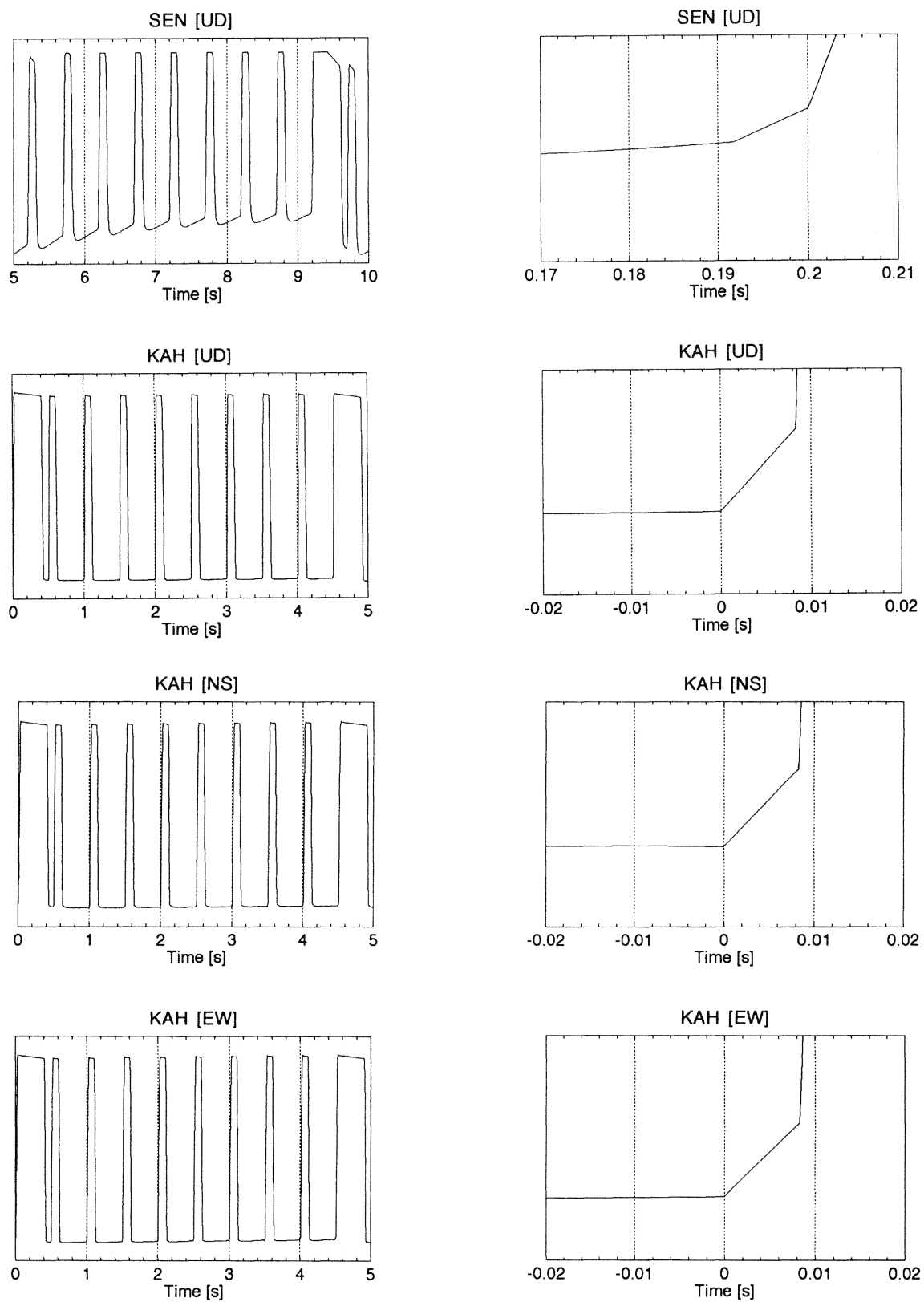


図 4. (f) GPS 時計によって得られた SEN [UD], KAH [UD], [NS], [EW] の観測波形.
 左側の列は GPS 時計のパルス信号の波形. 右側の列はスタッキング処理後の波形の立ち上がり部の拡大図.

(g)

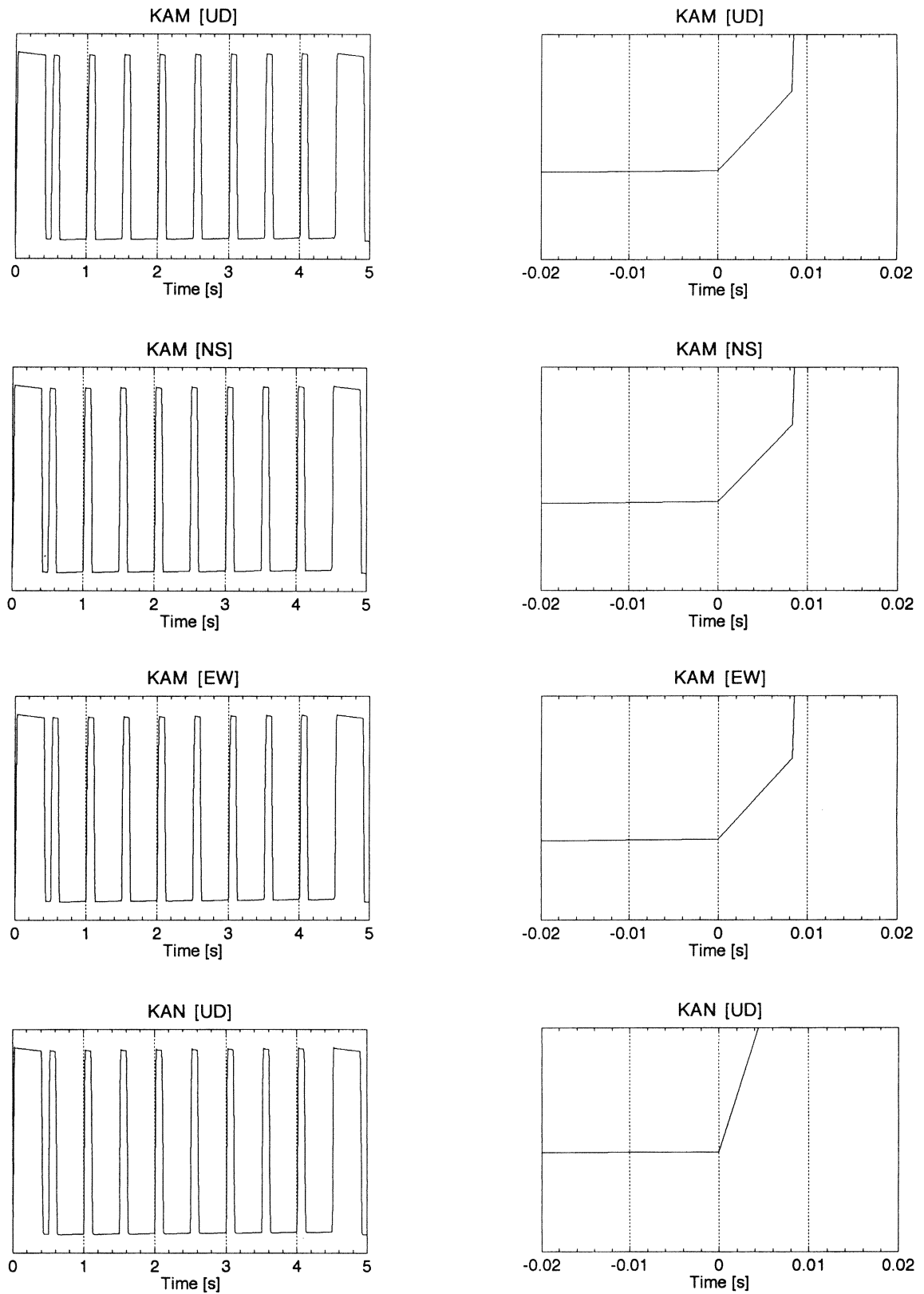


図 4. (g) GPS 時計によって得られた KAM [UD], [NS], [EW], KAN [UD] の観測波形。
 左側の列は GPS 時計のパルス信号の波形。右側の列はスタッキング処理後の波形の立ち上がり部の拡大図。

(h)

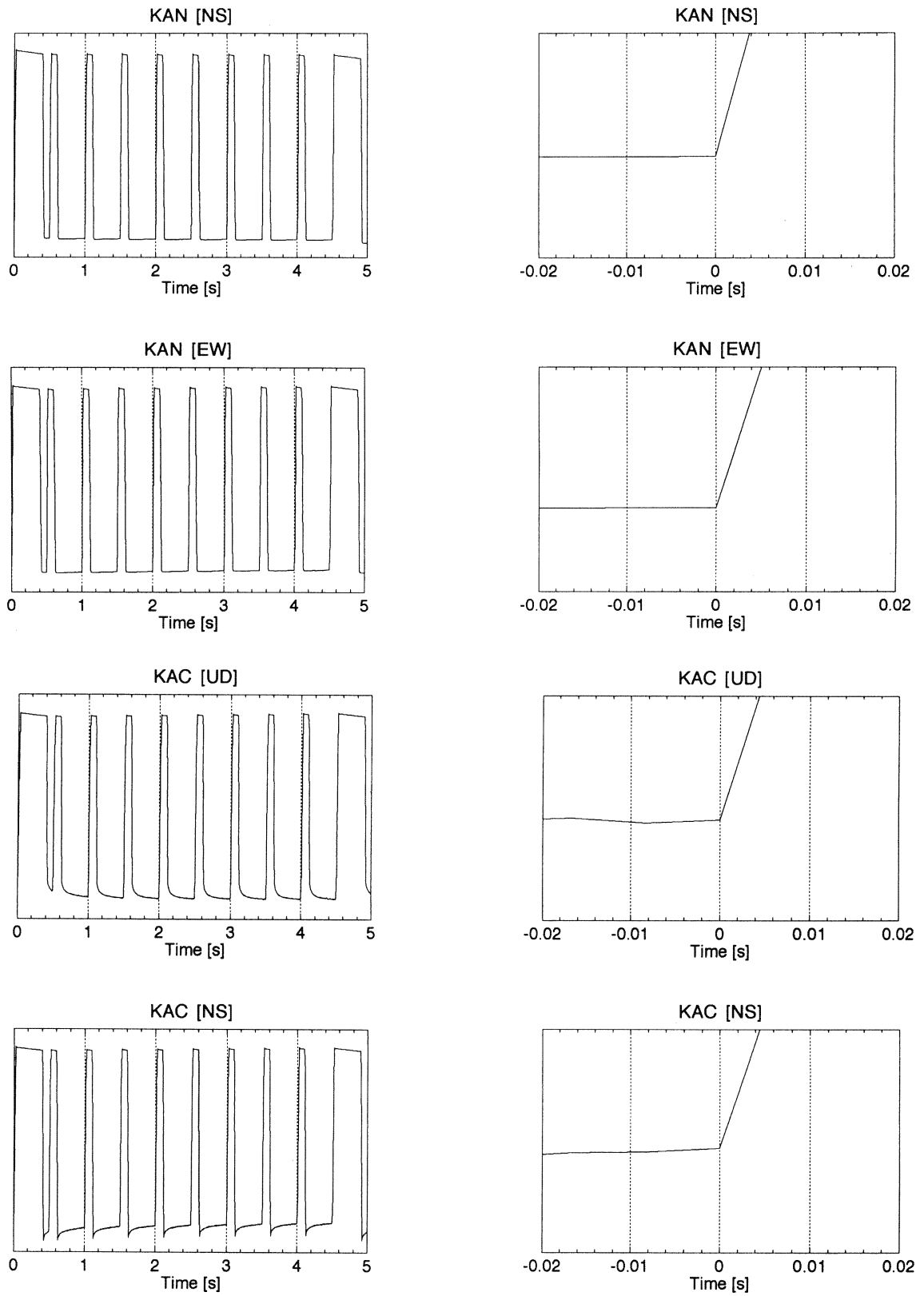


図 4. (h) GPS 時計によって得られた KAN [NS], [EW], KAC [UD], [NS] の観測波形。
 左側の列は GPS 時計のパルス信号の波形。右側の列はスタッキング処理後の波形の立ち上がり部の拡大図。

(i)

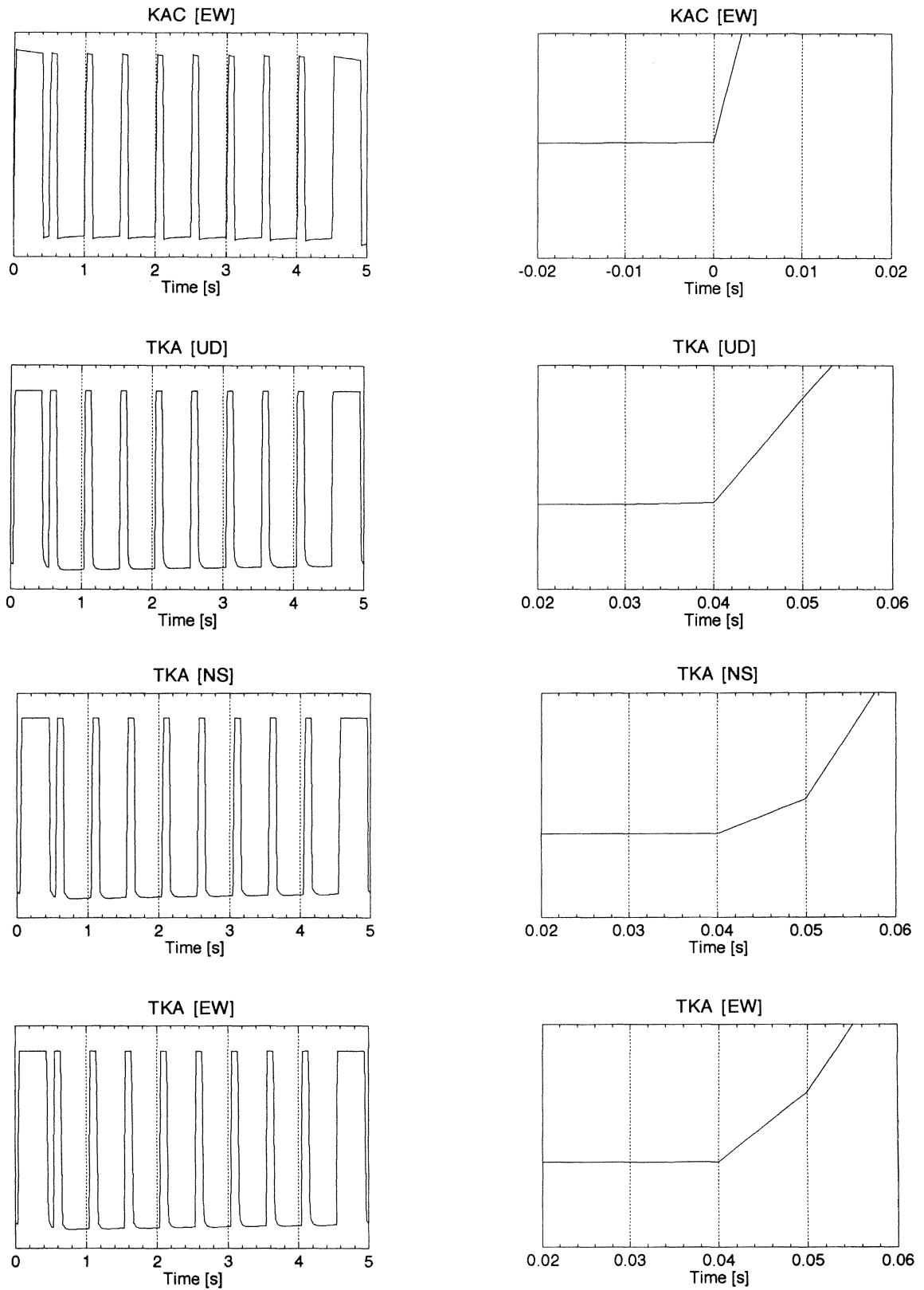


図 4. (i) GPS 時計によって得られた KAC [EW], TKA [UD], [NS], [EW] の観測波形.
左側の列は GPS 時計のパルス信号の波形. 右側の列はスタッキング処理後の波形の立ち上がり部の拡大図.

(j)

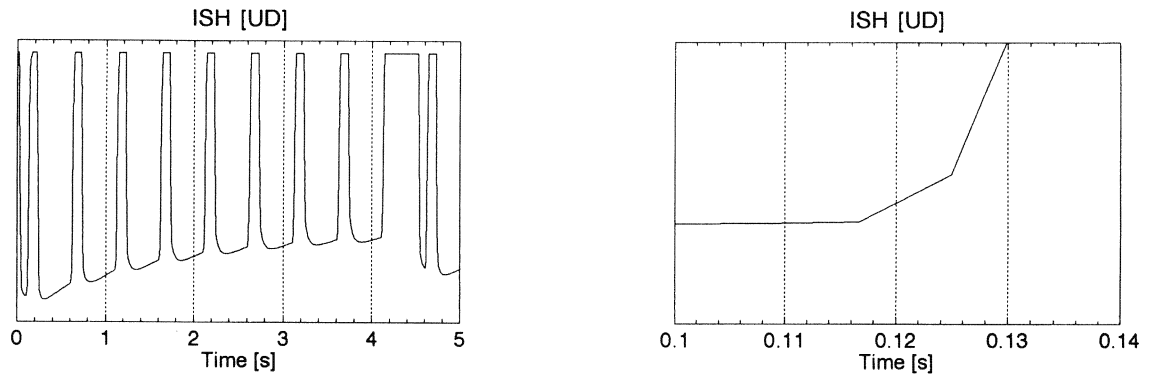


図 4. (j) GPS 時計によって得られた ISH [UD] の観測波形。
左側は GPS 時計のパルス信号の波形，右側はスタッキング処理後の波形の立ち上がり部の拡大図。

表 1. 浅間山地震観測点の遅延時間と新しい座標。

観測点名	遅延時間 (ms)	旧遅延時間 (ms)	計測差 (ms)	北緯 (度)	東経 (度)	標高 (m)
MAE (前掛山)	± 0	± 0	± 0	36.39905	138.53586	2256
FJM (富士見坂)	± 0	± 0	± 0	36.39914	138.54107	2132
SAN (三の鳥居)	± 0	± 0	± 0	36.40125	138.55170	1825
AVO (浅間観測所)	± 0	± 0	± 0	36.40156	138.57170	1382
HOT (仏岩)	± 0	± 0	± 0	36.38052	138.53856	1576
SKS (石尊山)	± 0	± 0	± 0	36.38803	138.51832	1918
GIP (牙山)	± 0	± 0	± 0	36.39428	138.49991	2034
KUR (黒豆河原)	± 0	± 0	± 0	36.41993	138.54547	1556
ONI (鬼押出し)	+ 100	+ 110	- 10	36.43280	138.51732	1433
SEN (仙人岳)	+ 192	+ 110	+ 82	36.42996	138.49618	1520
KAH (火口東)	± 0	± 0	± 0	36.40416	138.52621	2557
KAM (火口南)	± 0	± 0	± 0	36.40036	138.52047	2467
KAN (火口西)	± 0	± 0	± 0	36.40587	138.51766	2428
KAC (火口カメラ)	± 0	± 0	± 0	36.40349	138.52042	2519
TKA (高峰)	+ 40	± 0	+ 40	36.40074	138.48016	2021
ISH (石津)	+ 117	+ 110	+ 7	36.59788	138.54044	1562