



新型 K-NET : 強震動データリアルタイムシステムの構築

藤原広行¹⁾, 功刀卓²⁾, 安達繁樹³⁾, 青井真⁴⁾, 森川信之⁵⁾

- 1) 独立行政法人 防災科学技術研究所 主任研究員 理博 E-mail: fujiwara@bosai.go.jp
2) 独立行政法人 防災科学技術研究所 研究員 理博 E-mail: kunugi@bosai.go.jp
3) 独立行政法人 防災科学技術研究所 特別技術員 E-mail: adachi@bosai.go.jp
4) 独立行政法人 防災科学技術研究所 主任研究員 理博 E-mail: aoi@bosai.go.jp
5) 独立行政法人 防災科学技術研究所 特別技術員 理博 E-mail: morikawa@bosai.go.jp

要約

1995年兵庫県南部地震以後, 日本における地震観測網, 特に, 強震観測網は大きく変化し, 世界でも希な高精度・高密度強震観測網が構築されることとなった. K-NETは, その代表的なものの1つである. 兵庫県南部地震からほぼ10年が経過し, 地震直後に整備された観測網の機器の更新が必要となってきた. この10年間における, データ通信, 計算機関連技術の発展は目覚ましく, 様々な新しい技術が利用可能になってきた. 防災科学技術研究所では, 強震記録をオフラインで利用する従来のスタイルの強震動研究だけでなく, 地震直後の即時対応にも利用可能な強震動データリアルタイムシステムの構築を目指し, 新型 K-NET システムを開発し, 新型 K-NET 強震計の整備を実施した.

キーワード: 強震動, 強震観測, 強震計, K-NET, リアルタイム, 兵庫県南部地震

1. はじめに

地震災害の原因となる地震による地面の強い揺れ(強震動)を正確に記録することを目的とした地震計を強震計と呼ぶ. 日本で最初の強震観測が始まったのは, 1953年である. 開発を推進した「強震測定委員会 (Strong Motion Accelerometer Committee)」の名称に因んで, SMAC型強震計と呼ばれる強震計が設置された¹⁾. 初期の強震計は, 機械式と呼ばれるもので, 記録は紙になされ, 記録される地震動の強さや震動の周期が限られ, しかも正確な時刻が記録できないなど改良すべき点も残されていた. その後, 計測技術の進歩により機械式強震計の時代は終わり, 広いダイナミックレンジ, 広い周波数帯域の記録がとれ, しかも時刻を正確に記録することができるデジタル強震計と呼ばれる計測装置が使用されるようになった.

日本全国における強震計の設置台数は, 日本の強震観測の推進を目的として設置された強震観測事業推進連絡会議に登録された強震計の数だけでも, 1980年代半ばには1,500台を超えている. しかしながら, 1995年兵庫県南部地震が発生する以前には, 気象庁が実施している震度観測を除けば, 日本全国を一律にカバーする強震観測網は存在しなかった.

兵庫県南部地震は, それまでの強震観測のスタイルを変える転換点となった. 日本における強震観測体制に対する反省がなされ, 日本のどこで地震が発生したとしても必ず被害地域での記録が取得でき, しかも必要としている全ての人々が, それらの強震記録を自由に利用できる強震観測・データ流通システムを構築する必要性が認識され, 防災科学技術研究所により, 全国規模の強震観測網の整備が開始された. この結果構築されたのが, 全国強震ネットワーク (K-NET)²⁾である. これは, 全国を約25kmメッシュで覆う約1,000カ

所の強震観測網であり、1995年度補正予算により整備が認められ、1996年6月より運用を開始した。さらに、1995年7月には地震防災対策特別措置法が成立し、当時の総理府に地震調査研究推進本部が設置され、基盤的地震観測網³⁾と呼ばれる総合的な地震観測網の整備が開始された。その一環として基盤強震観測網 (KiK-net) と呼ばれる地表及び地中での強震観測網の整備が行われ、観測点数は678カ所 (2006年3月現在) に達している。K-NET及びKiK-netのデータは、すべてインターネットを介して公開されている。

その他、気象庁による震度観測網においては、兵庫県南部地震以前は150点だった観測点数が、現在では600点を超える観測網に強化されている。さらに、総務省消防庁がとりまとめている震度情報ネットワークでは、各自治体が設置した震度計、気象庁の震度計、防災科学技術研究所のK-NETの一部が利用されており、全国で3,300点を超える震度情報ネットワークが構築されている。このように、1995年兵庫県南部地震が転換点となり、日本における地震観測網、特に、強震観測網は大きく変化し、世界でも希な高精度・高密度強震観測網が構築されることとなった。

兵庫県南部地震以後に、気象庁、消防庁及び防災科学技術研究所により整備された震度・強震観測網は、当初は、各機関の各目的のために構築された。消防庁による震度情報ネットワークは、自治体の防災初動体制の確保が目的とされ、観測された震度情報は防災対策立案のため都道府県に震度データを伝送するが、気象庁への情報提供や震度情報の公表は目的とされていなかった。また、研究のためにデータが使用されることも想定されておらず、波形データが取得されないシステムやデータの収集が煩雑なシステムが導入された。防災科学技術研究所が整備したK-NETは、強震動研究のため加速度波形データを収集し流通させることを目的としており、震度情報の提供は想定されていなかった。これら観測網が整備された後、気象庁以外の機関が整備した震度計・強震計からの震度情報の公表を望む声が高まり、気象庁、消防庁、自治体及び防災科学技術研究所が協力・連携し、震度情報の気象庁からの公表を前提とした震度情報ネットワークの整備が開始された。

K-NETは加速度波形を記録することを目的として設計されており、震度計としての機能を有していなかったため、K-NETを利用して震度情報を得るためには、K-NETで記録された加速度波形データを収集した後、波形データから計測震度を計算することが必要とされ、計測震度情報の伝達に時間がかかることが問題点として指摘された。こうしたK-NET仕様上の問題のため、震度情報ネットワークとしてK-NETを利用している自治体の震度情報が公表できないという問題が生じた。これは「K-NET問題」と呼ばれ、本問題を解決するために、気象庁、消防庁、文部科学省及び防災科学技術研究所で検討が続けられてきた。

2. 新型 K-NET 整備の概要

K-NETは、収集された強震観測データを公開することを前提とした観測網として、1996年6月より、ちょうど1,000箇所の観測点で運用が開始されたが、その後、防災科学技術研究所の既存の強震観測点の一部が組み込まれ、現在 (2005年9月) では、観測点数は、1,028点となっている。K-NET観測点の多くは、役場・学校・公園等、公共施設の敷地内の地表に設置されており、人間の生活圏に近い軟弱地盤上での観測が行われている。強震計の設置にあたっては、観測点直下の表層地盤の構造を得るために、10m~20mのボーリング調査を行い、PS検層等で得られた地盤データも強震記録と同時に公開されている。

K-NETが運用を開始して約10年が経過し、この間に鳥取県西部地震、芸予地震、宮城県北部地震、十勝沖地震、新潟県中越地震をはじめとする多くの地震に対する強震動記録が得られた。K-NETは当初、地震発生後1週間以内に強震波形データをインターネットにより公開することを目標として設計された。K-NET構築当時は、強震記録をオフラインで解析し、将来の地震に備えるための研究に資することがK-NETの第一の存在意義であるとされていた。しかし、K-NETが運用を開始して今日までの9年余りの間におけるデータ通信、計測技術の発展は目覚ましく、K-NETを設計した当時では予想できなかった様々な技術が利用可能になってきた。こうした技術の進歩に伴い、K-NETデータの地震直後利用への関心と要望が高まり、自治体から

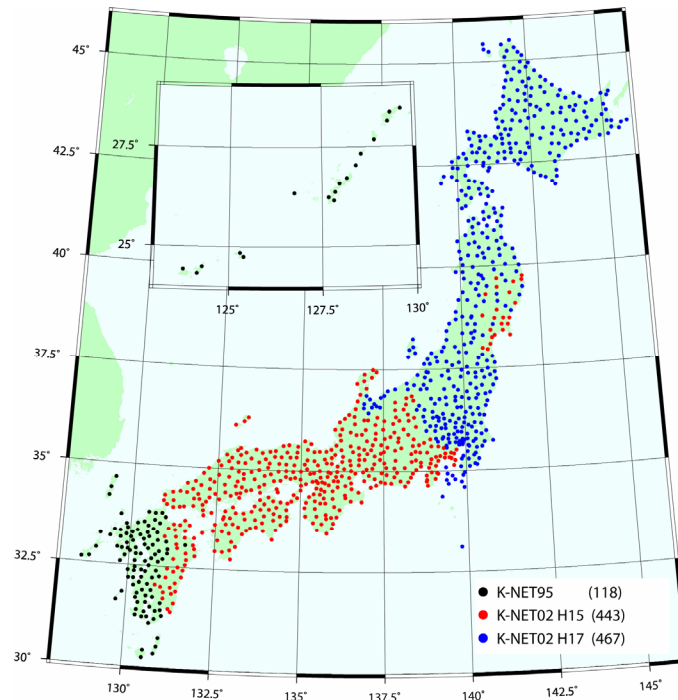


図1 K-NET観測点の分布図. 赤丸が、新型K-NET観測点（平成15年度整備）、青丸が平成17年度整備の新型K-NET観測点、黒丸が旧K-NET観測点を示す。

は、K-NET データを正式な計測震度情報として利用したいとの要望が寄せられ、また、研究者からは、地震直後の強震動データ利用に関する要望が寄せられた。防災科学技術研究所では、こうした社会情勢の変化を背景として、強震動データをオフラインで利用する従来のスタイルの強震動研究だけでなく、地震直後の即時対応にも利用可能な強震動観測システムを目指し、新型K-NETシステムの開発を実施してきた。2002年度には、新型K-NETのためのデータ受信側システムの開発を行い、2003年度は、東南海・南海地震による強い揺れが懸念される西南日本を中心とした地域、および東北地方の一部地域の443観測点を対象に、新型K-NET強震計と現行強震計の入れ替え工事を行った。さらに、2005年度には、北海道から関東にかけての467観測点の整備を行った。2006年度に残り118観測点の整備を完了する予定となっている（図1）。

こうした新型K-NETの整備により、「K-NET問題」も解決される見通しとなった。現在既に整備が完了している910観測点のうち、震度情報が気象庁により公表されている観測点は、466観測点となっている。また、231観測点では、観測点から自治体に震度情報を直接伝送している。こうして、新型K-NETはほぼ完全に震度情報ネットワークの一部に組み込まれ、震度情報公表の責任を担うこととなった。

3. 新型K-NET強震計

新型K-NETシステムの仕様の概要について、表1、2に新型（K-NET02）強震計と旧型（K-NET95）のそれぞれの仕様を示す。地震動を計るセンサーとしては、水平2成分、上下1成分の加速度型強震計が設置され、広ダイナミックレンジのデータ収録装置（A/D変換器分解能24bit）により、実効性能は、旧型19bit以上、新型22bit以上で、また、計測可能な最大加速度は、新型は $4,000\text{cm/s}^2$ 、旧型が $2,000\text{cm/s}^2$ となっている。サンプリング周波数は、双方とも100Hzである。強震計としての総合周波数特性は、DCから30Hzまでほぼ平坦で、それ以上では遮断周波数30Hzの3次バターワース低域通過型フィルターの伝達関数によりほぼ近似で

きる⁴⁾.

図2に、新型K-NET強震計の概要を示す。新型K-NET強震計は、機能的にみて、加速度センサー、計測部、通信部の3つの部分から構成されている。計測部及び通信部のOSとしては、LINUXが採用されており、システムプログラムの更新が容易に行えるようになっている。

表1 (強震計の新旧比較)

	旧型 (K-NET95)	新型 (K-NET02)
最大レンジ	2000 cm/s ²	4000 cm/s ²
ダイナミックレンジ	19bit (114dB) 以上	22bit (132dB) 以上
スケールファクタ (注1)	2.38・10 ⁻⁴ cm/s ² /COUNT程度 2000(cm/s ²)/8388608 (COUNT)より算出	6.34・10 ⁻⁴ cm/s ² /COUNT程度 3920(cm/s ²)/6182761 (COUNT)より算出
消費電力	約16W	約35W (省電力時は5W)
センサー	アカシV403-BT	キネメトリクス FBA-EST (2003年度整備分) 航空電子 JA-40 (2005, 2006年度整備分)
震度計機能	なし	あり
データ通信	シリアル	IP (+シリアル)
記録容量	8MB	512MB
機能追加	不可	可 (Linux採用)
連続収録	不可	可

(注1) スケールファクタの精度は、センサー感度の精度のより決まる。現状ではセンサー感度の精度は1%以下となっている。

表2 (データ通信仕様の新旧比較)

	旧システム	新システム
データ回収の方式	センターからのダイヤルアップ回収	地震を検知すると観測点から自動送信を行う
回線・通信方式	ISDN モデムによるシリアル通信	ISDN ルーターを用いた IP 接続
輻輳対策	特になし	輻輳発生前に通信を確立させる
センター側回線数	24回線、アナログ回線は除く	552回線
データ回収所要時間	気象庁の震度情報を受信後に自動回収開始。回収所要時間は地震の規模(観測点数, トリガー時間)による	トリガー終了と同時に回収終了(トリガー発生から1~5分後)。データ回収から1分以内に波形データが公開可能
輻輳時のデータ回収所要時間	地震発生から半日(大規模地震による輻輳が解消した段階で回収終了)	輻輳が生じる前に回収が可能
データ公開のタイミング(実績/見込み)	地震発生当日(勤務日で輻輳なし)~翌日(輻輳)	地震発生後数分以内

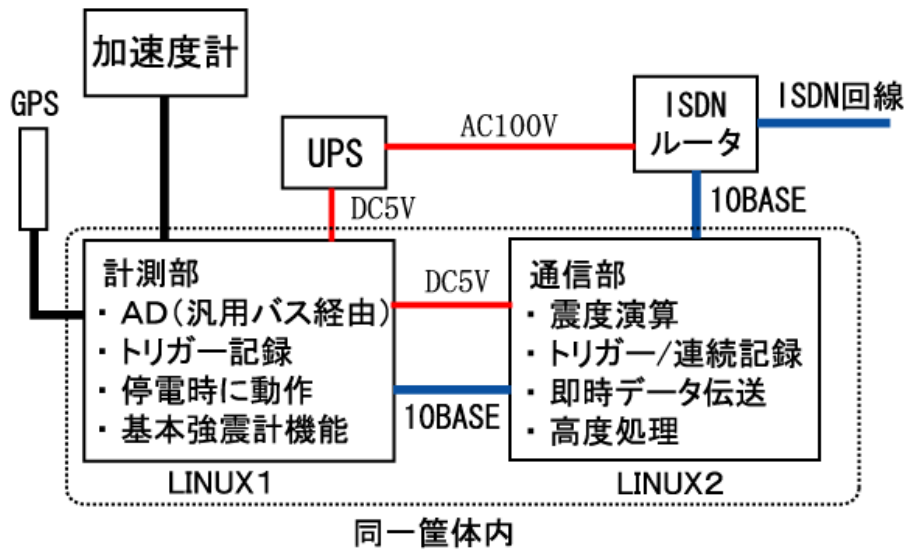


図2 新型 K-NET 強震計の概要. 大きく分けて, 加速度センサー, 計測部, 通信部から構成される.

記録は, イベントトリガー方式で行われている. スタートレベルは通常2ガルを基本としているが, ノイズレベルによりそれ以上の値に設定している観測点もある. 記録時間は, 1ファイルにつき最短で1分間, 最長で5分間としている. データは, 強震計に内蔵されたメモリーカードに記録される. メモリー容量は, 旧型 K-NET が, 8MB (記録時間約2時間半) であったのに対して新型 K-NET では, 512MB と大幅に増加している. 収録装置の時刻は, GPS 信号を用いて校正している.

新システムでは, データ通信の即時化のために, 地震を検知すると自動的につくばの防災科学技術研究所内に設置された観測センターと通信を行い, 地震波形データおよび震度データを送信する機能が組み込まれている. これに対応するため, 観測センター内には, INS1500 が24回線設置され, 同時に最大で552カ所の

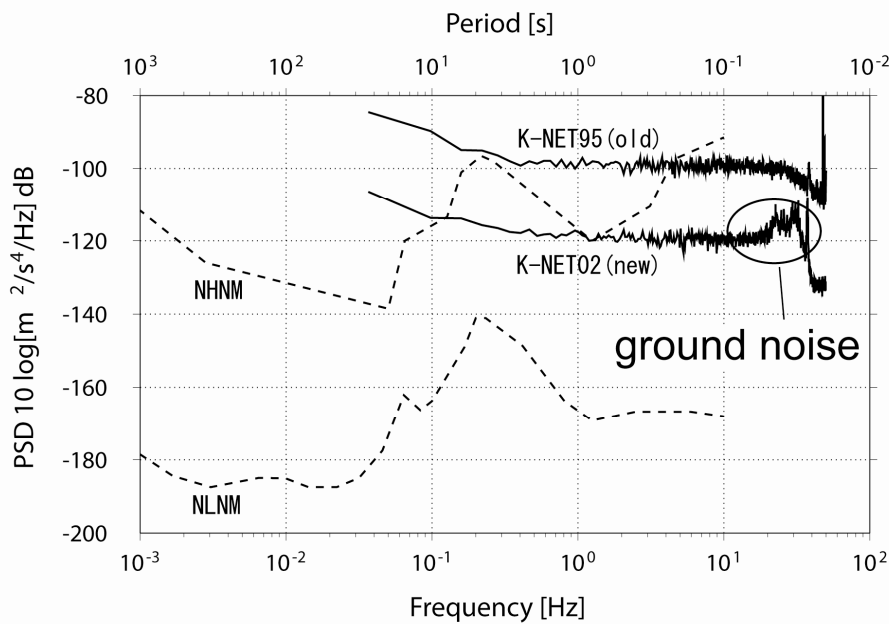


図3 旧型 (K-NET95) と新型 (K-NET02) による記録の比較.

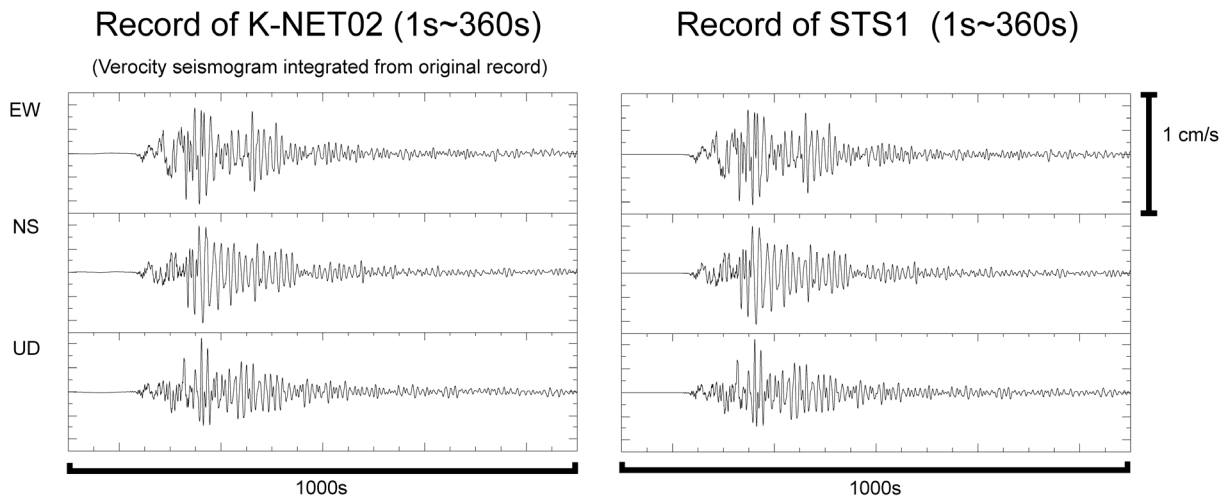


図4 紀伊半島南東沖地震時のつくば地震観測施設における新型 K-NET 強震計（左側）の記録と F-net 広帯域地震計（STS1）の記録（右側）の比較。

強震計からのリアルタイムデータを受信可能となっている。旧型強震計は、24 回線の INS64 を使用して、観測センターからダイヤルアップでデータ回収を行う方式をとっているため、データ回収の対象となる観測点が多い場合には、全データの回収までかなりの時間を要する場合があった。特に被害を伴うような大きな地震の場合、地震発生後に生じる電話回線の輻輳のため、震源域近傍のデータ回収に時間がかかることが指摘されていた。新型 K-NET の整備により、地震発生からデータ公開までの時間が大幅に短縮され、地震発生後数分以内には暫定的な波形データが利用可能となった。

図3に、旧型（K-NET95）と新型（K-NET02）による記録の比較を示す。これは無地震時に、つくば地震観測施設にて観測された微動の加速度のパワースペクトル密度をデシベル表示（ $0 \text{ dB}=1\text{m}^2/\text{s}^4/\text{Hz}$ ）したものである。K-NET95 の記録はほぼ機器ノイズであるが、K-NET02 の記録は20Hz以上で微動を記録している。なお、NHNM, NLNMは、世界中の広帯域地震計記録を解析して得られた広帯域地震観測点のノイズレベルの範囲を示している⁵⁾。この図から、新型強震計は、強震動が測定できるだけでなく、極めて微弱な地動まで正確に計測できることがわかる。

新型 K-NET 強震計では、ダイナミックレンジが19bit から22bit に向上し微弱な地動から強震動までの観測範囲が広がった。これにより、これまでは加速度計では計測が難しいと考えられてきた長周期地震動までを正確に記録することが可能となった。例として、図4に、紀伊半島南東沖地震（2004年9月5日）に、つくば地震観測施設に設置された新型 K-NET 強震計により記録された加速度波形を積分して得られた速度波形と、同観測施設に設置されている F-net 広帯域地震計(STS-1)による速度波形の比較を示す。長周期の地震動が新型 K-NET 強震計により正確に記録されていることがわかる。

4. K-NET 観測施設

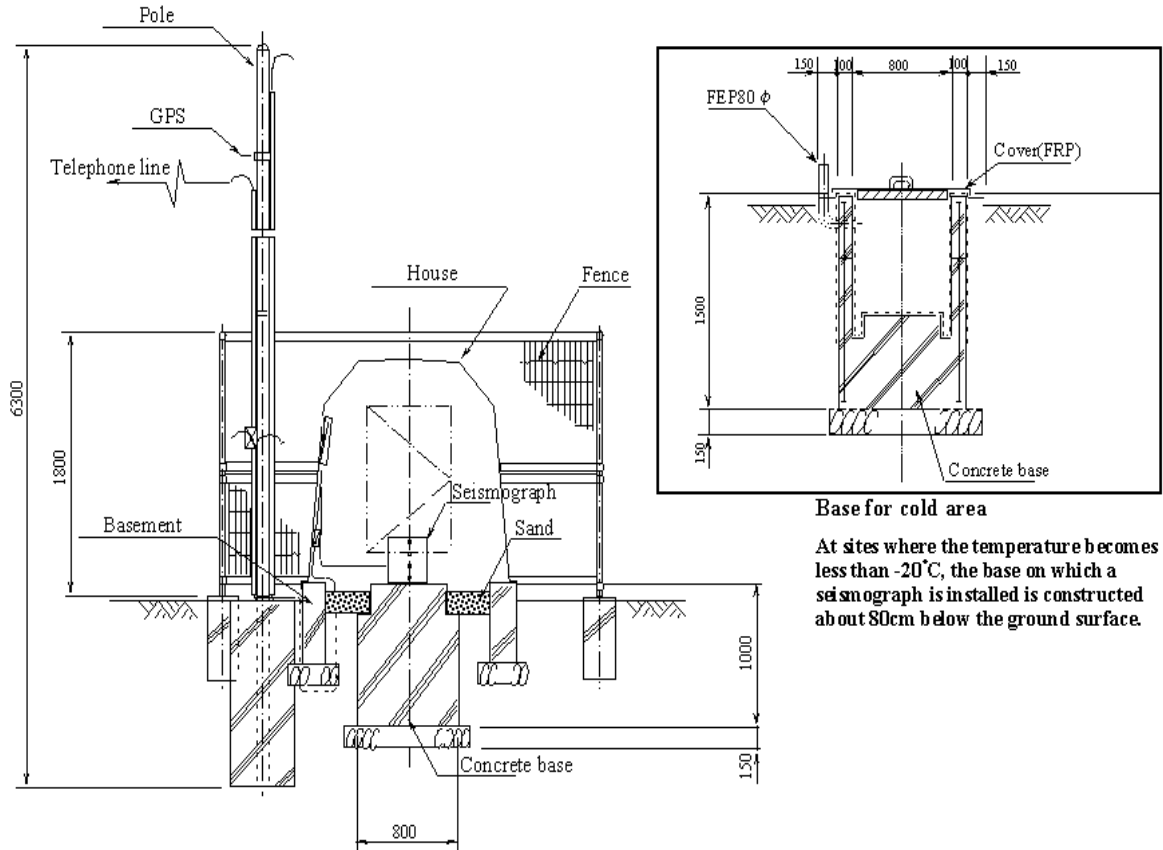


図5 K-NET 観測施設

観測施設そのものについては、今回の新型 K-NET 整備では特に新たな整備を行わず、旧型 K-NET と同じのものを使用している (図 5)。強震観測施設は、3m 四方の敷地内に設置され、耐候性・耐雪性を考慮した FRP 製の上屋を中心に、強震計基礎、電力・電話設備及び保護用フェンスで統一的に構成されている。また、気温が冬季に -20°C 以下になる可能性のある寒冷地域では、強震計基礎を地中埋設し温度低下を防ぐことにより、強震計の機能を確保している。

K-NET 観測点の多くは、役場・学校・公園などの公共施設の敷地内の地表に設置されており、人間の生活圏に近い軟弱地盤上での観測が行われている。強震計の設置にあたっては、観測点直下の表層地盤の構造を得るために、10m~20m のボーリング調査を行い、PS 検層等で得られた地盤データも強震記録と同時にインターネットを利用して公開されている。

ただし、兵庫県南部地震直後に整備された K-NET は、極めて短期間に整備が進められたことも一因となって、強震計設置場所選定の困難性等の理由により、局所的な地盤条件の影響を受けやすい環境に設置された強震計の数が相当数に上ると考えられ、観測環境等の影響を十分考慮した上での、観測記録の利用が望まれる状況になっている。こうした局所的な地盤条件の影響を強く受ける可能性が高い設置環境の改善は、震度情報としての信頼性の向上や、より高度な K-NET データの利用のための課題である。

5. 新型 K-NET の運用

新型 K-NET の運用・管理は、防災科学技術研究所防災研究情報センター内に設置された強震観測管理室（つくば観測センター）により実施されている。

旧型 K-NET の場合、強震記録の回収は、NTT のデジタル公衆回線 ISDN（INS64）24 回線を用いて、つくば観測センター側からのダイヤルアップ方式で行っていた。記録の回収は、震度 3 以上の地震が起きた場合に、気象庁より緊急衛星情報同報システムにより配信される震度・震源情報をもとにして、記録を回収すべき地域を判断し、自動的にダイヤルアップするシステムにより行われてきた。回収された記録は、担当者により波形等のチェックを行った後、データベースサーバに登録され、正常と判断された観測点の波形は公開用 Web サーバから公開されている。記録回収から公開に至るまでの作業は、自動化されていないため、通常の勤務時間内に発生した地震については、ほぼ半日程度で記録公開ができるように作業を行ってきたが、通常の勤務時間以外に発生した地震については公開までには、数日かかる場合があった。さらに、旧型 K-NET のデータ収集システムは、運用上の問題だけでなく、システムの仕様面からも、気象庁の震源速報をトリガーとしていたため、地震発生からデータ収集開始までに数分の遅れがあり、大規模な地震では電話回線の輻輳が起こり、波形データ公開までに数時間を要するという弱点を持っていた。

こうした問題を解消するため、新型 K-NET システムでは、つくば観測センター側の回線数を増やし、強震動を検知すると観測点側から能動的にデータを送信する方式を採用し、つくば観測センター側で自動的にデータ受信し、暫定的なデータ公開を可能とするシステムを開発することにより、強震データ回収に必要な時間を大幅に短縮することを可能とした。さらに、新型 K-NET 強震計は、気象庁より認定された震度計としての機能を有し、正式な震度情報が発信可能となった。新型 K-NET で得られた震度情報は、つくば観測センターから気象庁へ送信されている。2006 年 3 月 1 日現在で、466 地点が正式な震度観測点として採用され、気象庁から震度情報が公表されている。

つくば観測センター内に設置されている K-NET 運用システムは、データ収集サーバが 6 台と、ロードバランサでクラスタ化された 2 台の WEB/FTP サーバと 2 台のデータベースサーバ、気象庁接続サーバ、公開情報作成サーバから構成されている（図 6）。全てのサーバやネットワーク機器は、それぞれ 1 台以上の予備機を備えた冗長構成になっており、故障発生時やメンテナンス時でも、システムは停止することなく連続で稼働するよう設計されている。

各観測施設には NTT の INS64 が 1 回線、つくば観測センターには INS1500 が 24 回線設置され、同時に最大で 552 カ所の強震計からのリアルタイムデータを受信可能となっている。地震が発生して強震計がトリガーすると、強震計はデータ収集サーバに TCP で波形データと震度電文を送信する。送信が開始されると、両者はダイヤルアップルータを介して PPP 接続され、送信が完了すると、自動的に PPP 接続は解除される。

新型 K-NET 強震計は、強震 WIN32 フォーマット（東京大学で開発された WIN フォーマットを防災科学技術研究所で強震観測用に拡張したもの）の波形データを、データ収集サーバにパケット送信する。データ収集サーバは、そのパケットを所内の特定のネットワークやホストにリアルタイムで UDP 転送し、利用者に配信する。またデータ収集サーバに集められた波形データは、受信完了後、直ちに K-NET フォーマットのアスキーファイルに変換され、WEB/FTP サーバからインターネットを介して、暫定版の即時情報として一般に公開される（図 7）。

さらに、新型 K-NET 強震計は震度計の機能を持ち、波形と同時に震度電文を送信する。震度電文はデータ収集サーバから気象庁接続サーバに集められ、気象庁に送られる。気象庁は、これらの震度情報を気象庁独自の震度計のデータと合わせて一般に公表している。

各観測点から直接のデータ配信機能があり、これを利用して、一部の自治体へは観測点から直接に震度情報を市町村役場へ配信している。具体的には、新型 K-NET 強震計は TCP 接続ポートの他、シリアルインタフェースの自治体接続ポートを持ち、これを利用して各地方自治体に震度電文を配信している。旧型 K-NET 強

震計では、波形を一度転送した後、波形から計測震度を計算する必要があったが、新型 K-NET 強震計は震度計の機能を持っているため、直接、震度電文を配信することが可能となり震度情報配信のための時間が大幅に短縮された。

新型 K-NET の運用では、自動的に行われる即時公開の他、旧型 K-NET と同様にオペレータの手を介した正式データ公開も行っている。地震が発生すると、数分後に気象庁から震源情報が配信される。震源情報は、気象庁接続サーバを経由してデータベースサーバに送られ、データベースに自動登録される。また、この震源情報はデータベースサーバからメールで関係者に自動的に通知され、地震の規模や影響によっては、関係者の緊急招集に利用されている。

K-NET システム運用オペレータは、収集した波形データと震源情報をもとに、データの選別、編集、解析を行い、公開情報を作成し、WEB/FTP サーバ上に公開する。これらの作業は、UNIX のコマンドと、イントラネットの WEB インタフェースで行われている。

なお、データの収集・公開作業は、前述のとおり完全に自動化されているわけではないので、24 時間体制でのデータ公開は実現していない。現状では、通常の勤務時間（月曜日～金曜日の 8 時半～17 時 15 分）以外に起きた地震については、データ収集の担当者は、気象庁発表の最大計測震度値が、5 弱あるいは 5 強の場合には連絡待機で、強震観測管理責任者の指示を待つこととなっており、気象庁発表の最大計測震度値が、6 弱以上の場合には、担当者全員が自主的に参集してデータ収集・公開作業にあたることになっている。

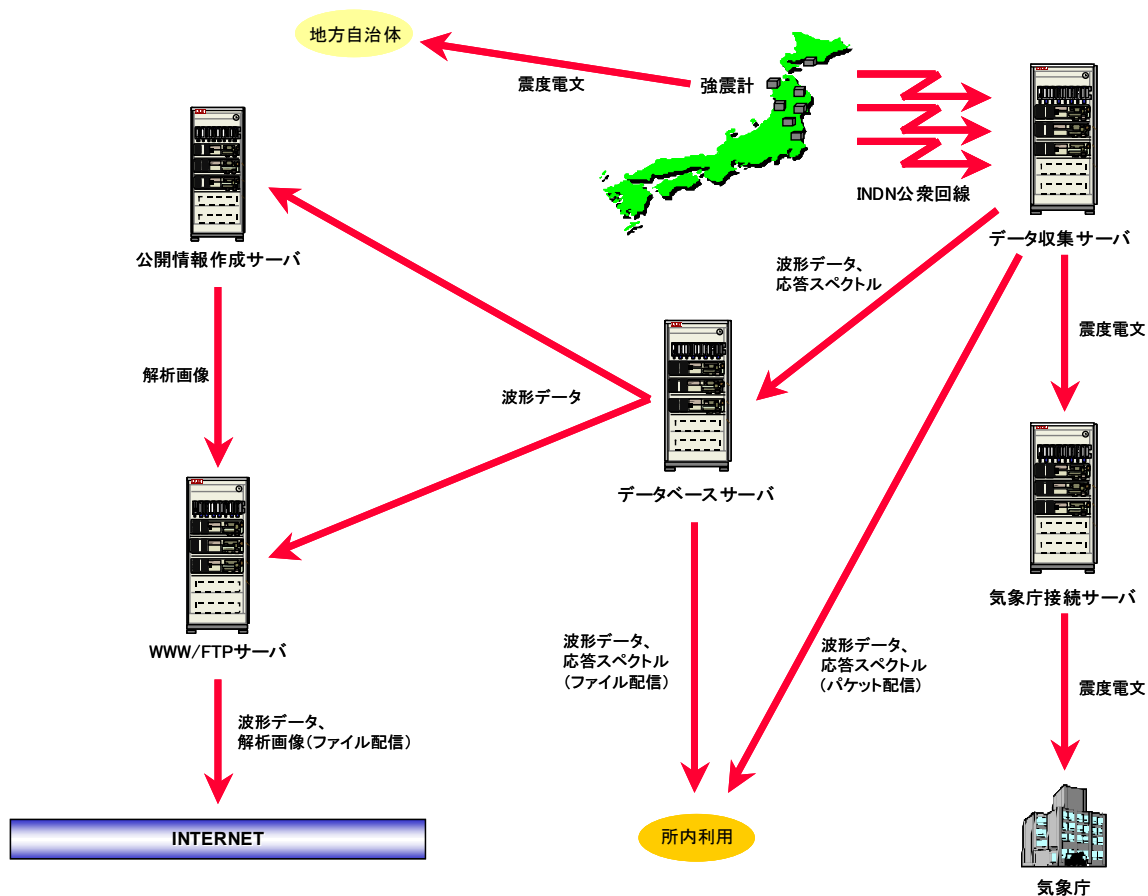


図 6 新型 K-NET におけるデータの流れと運用システムの概要。

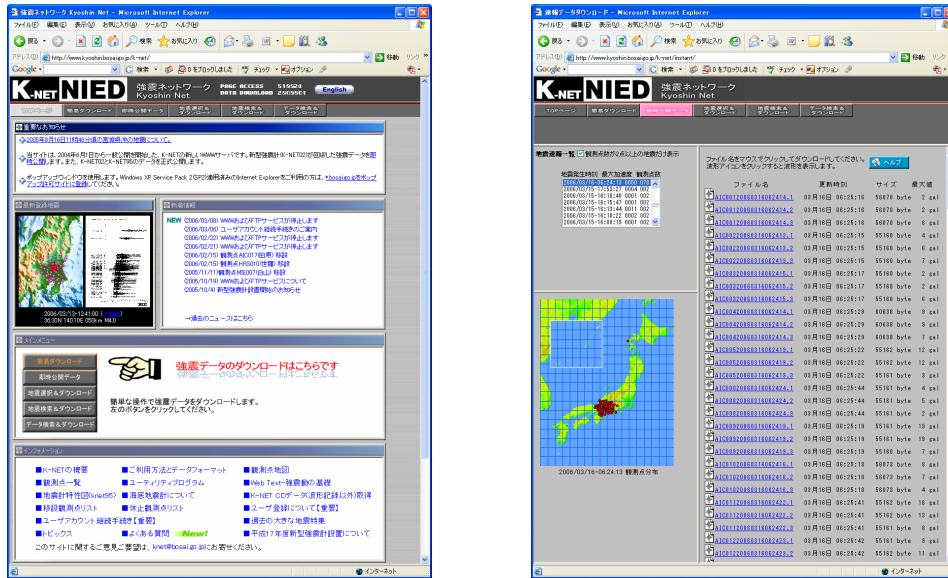


図7 K-NETのWEBサイト. トップページと速報ページの表示例.

6. 新型 K-NET システム運用の実例

6.1 紀伊半島南東沖地震の場合

2004年9月5日23時57分に発生した紀伊半島南東沖の地震(M7.4)では、K-NET全体では、425観測点において記録が取得された。このうち新型K-NET観測点では、363観測点で新型強震計からのデータの自動送信に成功した(図8(a))。これら新型K-NET観測点に関しては、地震検知5分5秒後の6日0時2分45秒に全データの公開が完了した。動作記録を詳細に検証した結果、すべての観測点において、トリガーが成立してから回線を確認し最初のデータを伝送するまでに2秒~5秒を要していることがわかった。回線容量等を考慮して推測すると、引き続き約2秒以内には15秒分のプレトリガーデータを伝送し終え、結果としてトリガー成立から4~7秒後にはリアルタイムで波形が伝送される状態になったと考えられる。各観測点毎にトリガー終了からデータ公開までに要した時間を図8(b)に示す。ここで示した時間は、各観測点からのデータ転送の遅延時間及び観測センターにおけるフォーマット変換等のデータ処理時間の合計を示している。常時接続回線は使用していないにもかかわらず、リアルタイム性は飛躍的に向上していることが確認され、リアルタイム地震情報発信に關しての新型K-NETシステムの利用可能性及び有効性が示された。

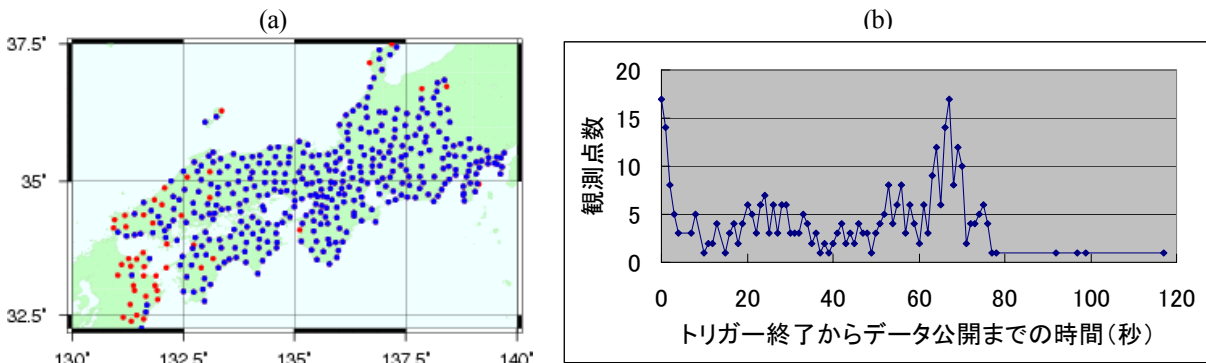


図8 (a) 青丸が紀伊半島南東沖地震でトリガーした新型K-NET観測点を示す。赤丸は記録しなかった地点。(b) 新型K-NETで観測地点ごとにトリガー終了から暫定版波形データ公開までにかかる時間の例。

6. 2 新潟県中越地震の場合

2004年新潟県中越地震ではK-NET325観測点で観測記録が得られた。この時点では、西南日本を中心に整備された443カ所の新型K-NETと残り585カ所は旧型K-NETという2種類の機器が混在する観測体制となっていた。震源域近傍の新潟県は、旧型K-NETが設置されている状態であったため、地震直後から発生した電話回線の輻輳によりデータの回収には半日程度の時間を要した。図9に、実際にデータ回収に要した時間を示す。図9(a)は、地震発生後12時間でのデータ回収の進展の様子を示している。旧型K-NETでは、つくば観測センター側から24回線でのダイヤルアップ方式でのデータ回収に加え、電話回線の輻輳のため、特に赤色で示した新潟県内に示した地点でのデータ回収に時間がかかっていることがわかる。一方、新型K-NETでは、データ回収は極めて迅速に行えていることがわかる。図9(b)に、地震発生後60分間でのデータ回収の様子を示す。この図から、新型K-NETでは、ほとんどの観測点で、地震発生後3分以内にデータ回収が終わり、5分以内にすべてのデータが回収を終了していることが読みとれる。

この地震で、震源域に近いK-NET小千谷では、3成分合成最大加速度が $1,500\text{cm/s}^2$ を記録しており、加速度波形を積分して得られた3成分合成最大速度値も 137cm/s で、計測震度相当値6.7(震度7相当)の揺れであった。こうした、大振幅の加速度が頻繁に記録されるようになった背景には、高精度・高密度強震観測網の整備による強震観測点の絶対数の飛躍的な増加が考えられる。設置点数の増加は、設置環境の多様性を増加させている。強震計設置場所選定の困難性等の理由により、局所的な地盤条件の影響を受けやすい環境に設置された強震計の数も相当数に上ると考えられ、観測環境等の影響を十分考慮した上での、観測記録の利用が望まれる状況になっている。

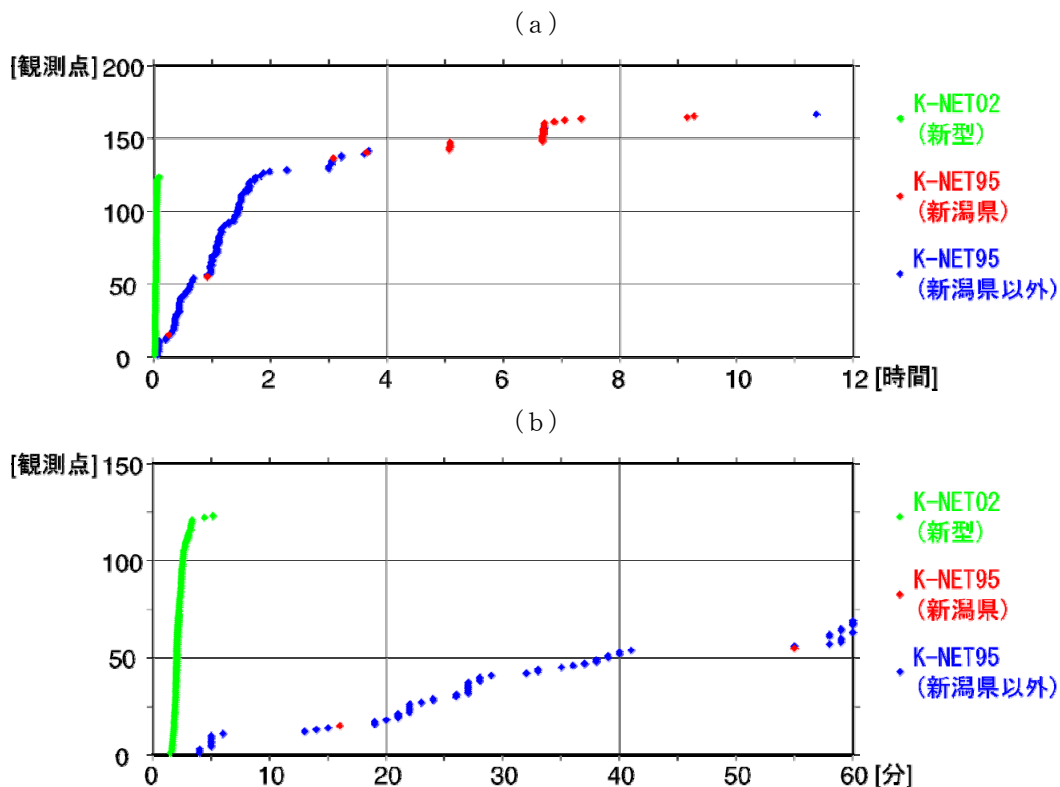


図9 新潟県中越地震の記録回収に要した時間。(a)は、地震発生後12時間でのデータ回収の推移を示し、(b)は、地震発生後60分間での推移を示している。

6.3 データ公開までの流れと処理時間

2006年2月1日20時36分に千葉県北西部で発生した地震(M5.1, 深さ101km)を例として, データ公開までの具体的な処理の流れと各処理に要する時間を図10に示す. ここでは, 自動処理による即時公開及びデータベース登録までの処理及び所要時間を示している. この地震では, 20時36分8秒に最初のトリガーがかかった. データ受信から即時公開までの処理が並列して行われ, 観測網での最初の地震検知後2分44秒以内に, トリガーした全ての観測点からのデータを受信し終え, 3分15秒後には203観測点の即時データ公開が完了している. 最終的には, 207観測点からのデータをデータベース登録するために9分4秒を要し, 11分50秒で自動処理によるデータ登録までのプロセスが全て完了している. この後, オペレータの目視による波形チェックのプロセスを経て, 正式なデータ公開がなされる. 図10では, 人間による作業時間は除いて, 計算機による自動処理及びネットワークを介したデータ転送に必要な時間をまとめている. 即時データ公開に限れば, この例で示す程度の中規模の地震であれば, 地震後2~3分程度でインターネットによる波形公開が可能となっていることがわかる.

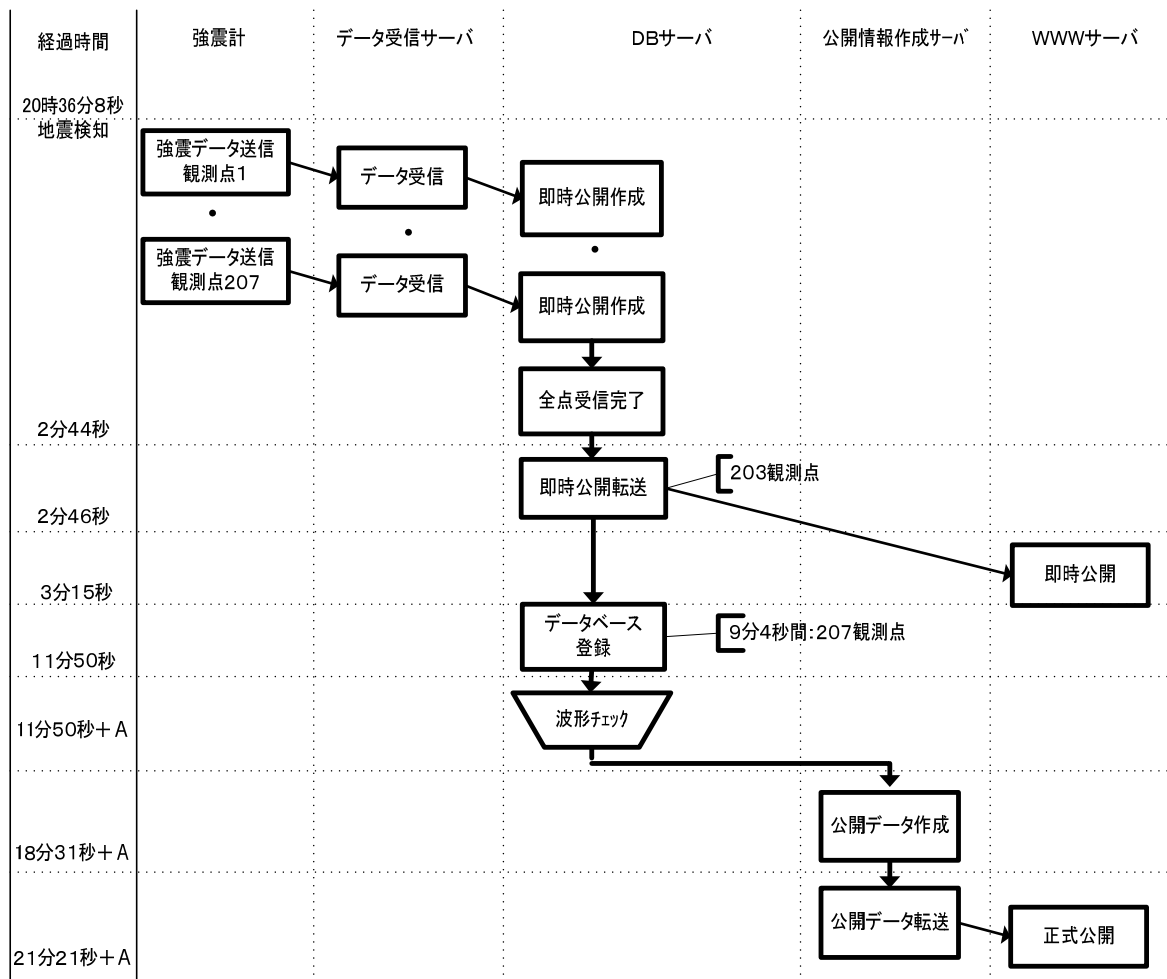


図10 データ公開までの流れと処理時間の例. 2006年2月1日20時36分の地震の場合. 観測網での最初の地震検知後2分44秒以内に94観測点の記録が即時公開された. 3分15秒後には203観測点の記録が即時公開され, 11分50秒後にはデータベース登録が完了した. 経過時間でAとして示されているのは, 目視による波形チェックに要する時間.

7. K-NET メンテナンス状況

観測施設の維持管理については、観測機器及び施設に異常が発生する度に個別に修理を依頼する方式をとっている。異常の内訳としては、通信不良が最も多く、次に、強震計・センサーの不良、観測小屋・フェンスの破損等が続いている。ほぼ1週間サイクルで、施設の異常の把握、修理等の対策を行っている。観測点の稼働率は、2003年度に整備した新型K-NET443カ所については、表3に示すように、ほぼ99%以上を維持している。地震のデータそのものが収録できない記録障害と比較して、地震のデータ収録ができて通信によるデータ転送ができない通信障害が多い。これらは、夏季期間中に増える傾向にあり、落雷が原因であると考えられている。新型K-NETは震度情報ネットワークに組み込まれているため、単に記録が収録されるだけでなく、確実にデータ転送が行える状態を維持することが求められている。

K-NET 観測点は、役場の敷地や公園・学校等に設置されている場合が多く、自治体の土地利用計画の変更のため観測点の移設を求められる場合があり、年間で数件から10件弱の観測点移設工事を行っている。移動距離がごくわずかな場合には、土質調査のためのボーリングによるPS検層等は行わないが、設置環境が大きく変わる場合には、改めて土質調査も実施している。

表3 新型K-NET(443カ所)の障害発生率の月別内訳

	通信障害件数 (日数)	記録障害件数 (日数)	通信障害率 (%)	記録障害率 (%)
2004/ 6	8 (27.1)	1 (2.6)	0.20	0.02
2004/ 7	18 (58.1)	1 (2.6)	0.42	0.03
2004/ 8	22 (159.0)	4 (1.4)	1.16	0.01
2004/ 9	11 (63.0)	2 (2.6)	0.47	0.02
2004/10	2 (14.0)	1 (0.1)	0.10	0.00
2004/11	3 (25.0)	3 (14.1)	0.19	0.11
2004/12	0 (0.0)	0 (0.0)	0.00	0.00
2005/ 1	2 (2.0)	0 (0.0)	0.01	0.00
2005/ 2	1 (2.0)	1 (0.0)	0.02	0.00
2005/ 3	2 (4.0)	2 (0.0)	0.03	0.00
2005/ 4	6 (6.0)	0 (1.2)	0.05	0.01
2005/ 5	1 (24.0)	3 (14.0)	0.17	0.10
2005/ 6	5 (42.0)	2 (20.3)	0.32	0.15
2005/ 7	8 (112.0)	2 (54.1)	0.82	0.39
2005/ 8	10 (61.0)	0 (5.1)	0.44	0.04
2005/ 9	11 (75.5)	3 (137.7)	1.32	1.04
2005/10	5 (26.0)	2 (18.5)	0.19	0.13
2005/11	2 (3.0)	1 (1.1)	0.02	0.01
2005/12	2 (2.0)	0 (0.0)	0.01	0.00
2006/ 1	1 (1.0)	0 (0.0)	0.01	0.00
2006/ 2	0 (0.0)	0 (0.0)	0.00	0.00

記録障害とは、地震のデータが収録できない状態。

通信障害とは、地震のデータが収録できてデータ転送が出来ない状態。

この期間での新型K-NET(443カ所)の稼働率は、99.67%となる。

8. 今後の課題

現在K-NETは99%以上の稼働率が維持されている。しかし、M7以上の地震では数100点でトリガーがかかり、数点では機器不良のため記録が取得できない可能性がある。確実な記録取得のためには、少なくとも99.9%以上の稼働率を維持することが望ましいが、現行の運用体制では限界がある。稼働率低下の原因の1つとして通信不良の問題がある。通信不良の早期発見、迅速な修理が稼働率向上には不可欠であるが、落雷等の要因による通信不良の発生は押さえることが困難であり、確実な通信手段の確保のためには、通信回線の2重化が望ましい。K-NETでは災害時優先指定のISDN回線を使用しているが、地震直後の電話回線の輻輳問題に対して完全な解決がなされているわけではなく、輻輳が発生した後に起こる余震に対しては、強震計からのデータ自動伝送が確実に機能することは保証されていない。つくばの防災科学技術研究所が被災した場合のバックアップサイト構築も今後の課題である。

謝辞

兵庫県南部地震を契機として整備されたK-NETは、整備に直接携わった関係者のみならず、関係行政機関の多大なる協力により、既に10年間にわたる観測を維持し続けることができ、多数の強震記録を得てきた。木下繁夫氏（現：横浜市立大学）は、K-NET立ち上げにおいて多大な貢献をされ、K-NETの生みの親と呼ぶにふさわしい。宮本誠氏は、K-NET運用を軌道にのせるため多大な貢献をされた。小林光男氏は、宮本氏の仕事を引き継いで、K-NETの安定した運用のため自治体等との連絡調整を行ってきた。新型K-NET整備には、実に8年以上にわたる気象庁、消防庁、文部科学省（旧科学技術庁）、防災科学技術研究所の4者間でのねばり強い調整作業が必要であった。また、1,000を超える自治体の関係者には、研究所が運用する不安定なシステムに対して、時にはお叱りを頂きながらも、設置環境維持に関しての多大なる協力を頂いた。新型K-NETの整備においては、応用地質株式会社、白山工業株式会社、キネメトリクス社、日本航空電子工業株式会社、三菱スペース・ソフトウェア株式会社のご協力を頂いた。ここに書ききれなかった方々も含め、K-NETの運用、新型K-NETの整備にご協力いただいた方々に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 強震観測事業推進連絡会議：強震観測，1985.
- 2) Kinoshita, S.: Kyoshin net (K-net), Seism. Res. Letter, 69, 1998, pp.309-332.
- 3) Okada, Y., Kasahara, K., Hori, S., Obara K., Sekiguchi S., Fujiwara, H. and Yamamoto, A.: Recent progress of seismic observation networks in Japan. - Hi-net, F-net, K-NET and KiK-net -, Earth Planets Space, 56, 2004, pp. xv-xxviii.
- 4) 木下繁夫：K-NET95型強震計の記録特性，地震，第2輯，第49巻，1997，pp.467-481.
- 5) Peterson, J.: Observation and modeling of seismic background noise, U.S.G.S. Open-file report, 1993, pp.93-322.

(受理：2006年4月25日)
(掲載決定：2006年8月15日)

New K-NET: Development of real-time system for strong-motion observation

FUJIWARA Hiroyuki¹⁾, KUNUGI Takashi²⁾, ADACHI Shigeki³⁾, AOI Shin⁴⁾,
MORIKAWA Nobuyuki⁵⁾

1) National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, E-mail: fujiwara@bosai.go.jp

2) National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, E-mail: kunugi@bosai.go.jp

3) National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, E-mail: adachi@bosai.go.jp

4) National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, E-mail: aoi@bosai.go.jp

5) National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, E-mail: morikawa@bosai.go.jp

ABSTRACT

After the 1995 Hyogo-ken-Nanbu earthquake, new national projects have stated to improve seismic observation systems in Japan. A large number of strong-motion seismographs were installed to construct dense and uniform networks covering the whole of Japan. The K-NET is one of the nationwide strong-motion observation networks and consists of about 1,000 strong-motion seismographs installed all over Japan. The strong-motion records obtained by the K-NET are available on the Internet. The operation of the K-NET began in June 1996. Ten years have passed since the K-NET started and many strong-motion records are obtained. During these years the progress in information technologies is remarkable and new technologies become to be available. The NIED has developed the new seismographs for the K-NET using the new technologies. The main features of the new strong-motion seismograph are functions for real time data communications and processing JMA seismic intensity. The new seismographs have been installed at 910 observatories. The operation of the new K-NET system started in June 2004.

Key words : Strong-motion, Strong-motion observation, Strong-motion seismograph, K-NET, Hyogo-ken-Nanbu earthquake