地震動記録における地震計基礎の影響

EFFECT OF SEISMOMETER FOUNDATION ON STRONG MOTION RECORDS

安達直人*, 池浦友則**, 内山正次**, 植竹富一***, 菊池政智****

Naohito ADACHI, Tomonori IKEURA, Shoji UCHIYAMA,
Tomiichi UETAKE and Masatomo KIKUCHI

The objective of this study is to clarify the effects of installation condition of seismometers on strong motion records. Simultaneous observation of strong motions is conducted using differently installed seismometers (K-NET type and borehole type). Furthermore spectral characteristics of strong motion records are simulated by an axisymmetric FEM. As the results, spectral characteristics of K-NET type and borehole type are almost similar in the whole frequency range for vertical component and in the frequency range up to about 10Hz for horizontal components. While in the frequencies higher than 10Hz, spectral amplitudes of K-NET type are larger than those of borehole type due to the effects of seismometer base.

Keywords: Earthquake observation, Seismometer foundation, K-NET, Borehole, Spectral characteristics, Axisymmetric FEM
地震観測, 地震計基礎, K-NET, ボアホール, スペクトル特性, 軸対称FEM

1. はじめに

科学技術庁防災科学研究所により設置された *Kyoshin-Net*⁽¹⁾ は、全国に1000点という広範囲かつ多点の観測網により、これまでになく大規模で質の整った強震観測を実現し、多くの人々に貴重な強震動データを提供している。

一般に、地盤震動に注目した強震観測は、地盤にボーリング孔をあけて、観測する深度に地震計を埋設するボアホール式²⁾ が多いが、*Kyoshin-Net*による強震観測は、地中に埋設されたコンクリート基礎上に地震計を設置し、繊維補強プラスチックの保護ケースにより覆う方式で行われている。このため、*Kyoshin-Net*の記録には、特に高周波数帯域において、コンクリート基礎や保護ケースの振動性状による影響が含まれる^{3), 4), 5)} ことが予想され、記録の活用に当たって、その影響を検討しておくことは有意義と考えられる。

本論文では、ボアホール式の観測装置（以後、ボアホールタイプと呼ぶ。）と *Kyoshin-Net* と設置条件を含めてほぼ同型の観測装置（以後、K-NETタイプと呼ぶ。）による同時地震観測を行い、地震計設置条件が地震記録に与える影響を実証的に把握するとともに、シミュレーション解析によって、両タイプの地震観測記録の差異を解析的に明らかにする。さらに、これらの結果を踏まえて、最表層の地盤条件

が異なる場合の両タイプの地震観測記録の違いを、解析的な検討により把握する。

2. 観測概要

観測地点を図-1に、地震観測の模式図を図-2に示す。地震観測は、東京電力福島第一原子力発電所の敷地内に、K-NETタイプとボアホールタイプの地震観測装置を隣接させて設置し、同時地震観測を行った。K-NETタイプの地震観測装置は、科学技術庁防災科学研究所の *Kyoshin-Net* で使用しているものとほぼ同型（収録部のみ一体ではない）であり、地震計は地中に埋め込まれた800×800×1000mmの矩形のコンクリートブロック基礎上（GL+100mm）に設置されている。ボアホールタイプの地震観測装置は、K-NETタイプで用いられているものと同型のセンサーを地中埋設用のケース（長さ1000mm、φ90mm）に収め、中心深度G.L.-760mmに埋設した。ボアホールタイプのセンサーは、K-NETタイプと同一の地動が作用し、かつK-NETタイプの基礎の振動特性が影響を及ぼさないように約5m離れた位置に設置した。観測成分は、両観測点ともNS、EW、UDの加速度3成分である。地震計の周波数特性を図-3⁶⁾ に示す。

本地震観測地点では、観測装置の設置に際しボーリング調査、弾性

* 鹿島建設機軸研究所

** 鹿島建設機軸研究所 博士(工学)

*** 東京電力機軸電力技術研究所 修士(理学)

**** 日本原子力発電機軸開発計画室 修士(工学)

Kajima Technical Research Institute

Kajima Technical Research Institute, Dr. Eng.

Power Engineering R&D Center, Tokyo Electric Power Company, M. Sci.

Projects Development Hq., Japan Atomic Power Company, M. Eng.

図-1 観測地点及び観測地震の震央位置

図-2 地震観測の模式図

波探査、密度検層、PS 検層の4項目について地盤調査を実施した。地盤調査により得られた結果を図-4に示す。地震観測地点の地盤は、土質柱状図によれば中砂、砂礫、砂、泥岩の順に堆積し、地盤のせん断波速度は、中砂で260～270 m/s、砂礫で390～450 m/s、砂で290 m/s、泥岩で460 m/sである。また、弾性波探査から地震観測地点の周辺半径約15mの範囲では、ほぼ水平成層であることが確認されている。

3. 観測記録の分析

最大加速度振幅値の分析

本地震観測では、1997年9月～2000年2月までに、M3.3～7.1、深さ11～457kmの54地震を記録した。これらの地震の多くは、宮城県沖から茨城県沖の地震であり、図-1中には、それらの震央分布を示した。

このうち、最も大きな加速度振幅を記録した1997年12月7日の福島県沖地震(M5.3、深さ83km、震源距離111km)について、その地震動波形を図-5に示す。K-NETタイプとポアホールタイプによる地震動波形は、各成分とも概ね一致している。

図-6に、この地震動波形の最大加速度振幅値が発生する時刻を含

図-3 地震計の周波数特性

図-4 地盤調査結果

む2秒間を拡大して示す。拡大波形によれば、EW成分とUD成分についてピーク付近で、K-NETタイプの方がポアホールタイプよりも振幅がわずかに大きくなっている。

地震計設置条件による最大加速度振幅値の違いを把握するために、いずれかの成分で最大加速度値が10cm/s²を超えた22地震を選び、K-NETタイプとポアホールタイプの最大加速度振幅値の関係を調べた。結果を図-7に示す。今回比較できたのは、最大加速度振幅が100 cm/s²以下の振幅レベルに限られているが、この範囲では、ポアホールタイプとK-NETタイプの最大加速度振幅値は良く対応しており、振幅レベルによる顕著な違いも認められない。また、図中には、Y=M1×X (M1は傾き) により回帰した結果を点線にて併記している。回帰結果によれば、K-NETタイプは、ポアホールタイプに比較してやや大きい、その違いはNS成分で1.2%、EW成分で5.6%、UD成分で1.8%程度であり、大きな差ではない。

観測記録のスペクトル特性の分析

2つの異なる地震計設置条件で得られた観測記録について、平均スペクトル比を求めることにより地震計設置条件の違いが観測記録の周波数特性に与える影響について検討した。

図-5 観測地震動波形

ただし、本観測の地震計は、図-3に示すように20Hzよりも高周波数帯域で振幅特性が低下するので、スペクトル特性を高周波数帯域まで検討する場合には注意が必要である。そこで、まず観測記録の全区間から求められるパワースペクトルおよびブレイブント区間（観測記録のうちP波が入射する以前の常時微動記録の区間）から求められるパワースペクトルの比較から、観測記録の高周波数帯域の有効性を調べた。K-NETタイプとボアホールタイプのNS成分における全区間から求められるパワースペクトルおよびブレイブント区間から求められるパワースペクトルを比較して図-8に示す。

図-8(a)は、加速度振幅レベルが比較的大きな場合（最大加速度値約70cm/s²）について検討を行った結果である。この場合、K-NETタイプとボアホールタイプのいずれの記録でも、全区間のパワースペクトルは、ブレイブント区間のパワースペクトルに比較して、全帯域で地震動記録としての有効性が確認できる。一方、図-8(b)は、加速度振幅レベルが比較的小さい場合（最大加速度値約1.5cm/s²）について行った結果である。この場合は、K-NETタイプとボアホールタイプのいずれの記録でも、約20Hzよりも低周波数側では全区間のパワースペクトルがブレイブント区間のパワースペクトルを上回るが、高周波数側では両者が同等となり地震動としての情報を得ることが困難となっている。

以上のように、全区間とブレイブント区間のパワースペクトル振幅の関係は、地震動のレベルにより異なる。そこで、平均スペクトル比の評価に当たっては、観測記録毎のSN比を考慮することとした。全54地震の観測記録から求められるボアホールタイプに対するK-NETタイプの平均スペクトル比は、観測記録毎のSN比で重み付けを行うこととし、次式により求めた。

$$\overline{\log R_{K/B}(\omega)} = \frac{\sum_{i=1}^n \log \left\{ \frac{F_{K_i}(\omega)}{F_{B_i}(\omega)} \right\} \sqrt{\frac{P_{K_i}(\omega)}{N_{K_i}(\omega)}} \sqrt{\frac{P_{B_i}(\omega)}{N_{B_i}(\omega)}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{P_{K_i}(\omega)}{N_{K_i}(\omega)}} \sqrt{\frac{P_{B_i}(\omega)}{N_{B_i}(\omega)}}} \quad (\text{式-1})$$

ここに、 $\overline{\log R_{K/B}(\omega)}$ は、ボアホールタイプ(B)に対するK-NETタイプ(K)の平均スペクトル比であり、 $F_{K_i}(\omega)$ と $F_{B_i}(\omega)$ がi番目の地震による観測加速度波形のフーリエスペクトルを表す。また、 $P_{K_i}(\omega)$ と $P_{B_i}(\omega)$ および $N_{K_i}(\omega)$ と $N_{B_i}(\omega)$ は、それぞれK-NETタイ

図-6 最大値付近の観測地震動波形の比較

図-7 各観測成分の最大加速度振幅値の比較

プとボアホールタイプの全区間から求められるパワースペクトルおよびブレイブント区間から求められるパワースペクトルである。

各成分の平均スペクトル比を図-9に実線で示す。平均スペクトル比のUD成分は、全周波数帯域で1倍を中心に小さく変動する程度であり、両タイプの違いはそれほど大きくない。これに対して、NS成分とEW成分では、10Hz以下の低周波数帯域ではほぼ1倍であるが、10Hzを超える周波数帯域では、ボアホールタイプに対するK-NETタイプの倍率は周波数とともに徐々に増加し、30～40Hz付近で2～5倍程度となる。さらに、高周波数帯域では、再び低下して50Hz付近で1～1.5倍程度である。また、スペクトル比のピーク・トラフに注目すると、NS成分では、30Hz、40Hz付近にピーク、

図一八 全区間とブレイイベント区間の
パワースペクトルの比較

33Hz、37Hz 付近にトラフが見られ、EW 成分では、40Hz 付近にピーク、25Hz、33Hz、37Hz にトラフが見られる。

ポアホールタイプの地震観測では、一般に地中における上昇波と下降波の相殺効果によってスペクトル上にトラフが形成されるため、それが原因でK-NETタイプ/ポアホールタイプのスペクトル比が大きくなることが考えられる。しかしながら、今回の地震観測では埋設深度が浅いため、その効果は、対象周波数範囲においてスペクトル比を数倍にまで持ち上げるほど顕著ではなく、また、図一9に見られるように複雑なスペクトル特性を生じるようなものではない。このため、観測結果のスペクトル比の周波数特性は、K-NETタイプにおける基礎の振動特性を反映したものと推測される。

なお、スペクトル特性の高周波数帯域で両者に違いが見られるにも関わらず、最大加速度振幅値に大きな違いが見られないのは、最大加速度が発生する周波数が、両者のスペクトル特性に違いが見られない10Hz以下の周波数帯域に限られることが多いためと考えられる。

4. 観測記録の解析的検討

観測記録のスペクトル特性の分析において、K-NETタイプのスペクトル特性にポアホールタイプのスペクトル特性と異なる性状が確認され、この原因がK-NETタイプの振動性状を反映するものと推測された。ここでは、この考察の妥当性を確認するために、地震計設置条件を考慮した地盤—基礎系の振動モデルを用いて観測記録のシミュレーション解析を行った。解析は、図一10に示すモデルを用いて軸対称FEM^{7), 8)}により周波数領域において行った。全体モデルは、水平方向に20m、深さ方向に10mとし、境界条件は側方をエネルギー伝達境界、底面を粘性境界とした。解析ケースを表一1に示す。解析ケースは、地盤のみの条件、ポアホールタイプの地震計が

図一九 ポアホールタイプに対する
K-NETタイプの平均スペクトル比

設置された条件、およびK-NETタイプの地震計が設置された条件について各々独立に行った。図一10(a)は、地盤のみの解析モデルを示しており、K-NETタイプとポアホールタイプについては、図一10(a)の○印の部分に、図一10(b)の地震計モデルを置き換えた解析モデルとして行った。

解析に用いた定数を表一2に示す。周辺地盤の定数は、地盤調査による弾性波探査とPS検層の結果(図一4)に基づき決定した。K-NETタイプの繊維補強プラスチックの保護ケースと地震計設置によ

る埋土の定数については、地震計設置後に行った保護ケースと地震計基礎を打撃することによる自由振動測定から表-3に示すように固有周波数を求め、これらの結果を反映する定数を設定し用いた。

地盤のみの解析ケースによる自由地表応答に対するK-NETタイプとボアホールタイプの解析ケースによる地震計位置の応答(NS成分、EW成分)のスペクトル比を図-11に示す。ボアホールタイプは地表から-760mmの深度に埋設されているため高周波数になるにつれて振幅比1よりも小さくなる。これに対して、K-NETタイプのNS成分では、基礎の卓越周波数付近である35Hz付近で大きなピークが見られ、EW成分では、基礎の卓越周波数付近にピークが見られる他に、繊維補強プラスチックの保護ケースの卓越周波数付近である32Hz付近でトラフが形成されている。

ボアホールタイプに対するK-NETタイプのスペクトル比の解析結果を、図-9に点線で示した。解析結果は、NS、EW方向の10Hz付近から高周波数になるにつれて、1倍から徐々に大きくなる観測記録の傾向を良く表現している。また、EW成分の40Hz付近のピークに関しては、平均スペクトル比の振幅についてもほぼ説明されている。しかし、NS成分の33Hz、37Hzのトラフや、EW成分の25Hz、

表-2 解析定数

材料番号	Vs (m/s)	ρ (kN/m ³)	ν	E (kN/cm ²)	h
① 地盤 (GL0~-1m)	260	16.9	0.134	25.9	0.05
② 地盤 (GL1~-2m)	260	16.9	0.134	25.9	0.05
③ 地盤 (GL2~-3m)	260	16.9	0.134	25.9	0.05
④ 地盤 (GL3~-4m)	260	16.9	0.134	25.9	0.05
⑤ 地盤 (GL4~-5m)	270	18.1	0.413	37.3	0.05
⑥ 地盤 (GL5~-6m)	270	18.1	0.413	37.3	0.05
⑦ 地盤 (GL6~-7m)	390	19.3	0.458	85.6	0.05
⑧ 地盤 (GL7~-8m)	390	19.3	0.458	85.6	0.05
⑨ 地盤 (GL8~-9m)	450	19.5	0.468	115.7	0.05
⑩ 地盤 (GL9~-10m)	450	19.5	0.468	115.7	0.05
⑪ コンクリート	—	24.0	0.167	2241.5	0.05
⑫ ボアホール	—	43.7	0.330	41197.9	0.05
⑬ 保護ケース (NS)	—	36.0	0.260	349.2	0.05
⑭ 保護ケース (EW)	—	36.0	0.260	142.1	0.05
⑮ 埋土砂	53	17.0	0.300	1.2	0.05
⑯ 埋土 (上部)	63	17.0	0.300	1.8	0.05
⑰ 埋土 (下部)	85	17.0	0.300	3.2	0.05

表-3 K-NET基礎と保護ケースの固有周波数

	NS成分	EW成分
K-NET基礎	37Hz	37Hz
K-NET保護ケース	51Hz	33Hz

(a) 地盤モデル

(b) 地震計モデル

図-10 軸対称FEM解析モデル

表-1 解析ケース

解析ケース	NS成分	EW成分	UD成分
地盤のみ	○	—	○
ボアホールタイプ	○	—	○
K-NETタイプ	○	○	○

図-11 自由地表応答に対するK-NETタイプとボアホールタイプのスペクトル比

37Hzのトラフに関しては十分に表現できておらず、本解析のような単純な解析モデルでは説明できない。この要因としては、K-NETタイプの基礎による影響の他に、基礎底面地盤の剛性や側面埋土等のローカルな不均一性などが考えられる。

5. 表層地盤条件が地震記録に与える影響

これまでの観測とシミュレーション解析の結果から、K-NETタイプの地震計基礎は、高周波数帯域における30~40Hzにかけてボアホールタイプに対して2~5倍の振幅を与えることが明らかとなった。しかし、この特性は、今回観測を実施した地点の地盤条件に対する結果であり、異なる地盤条件によっては、この影響の度合いも異なることが考えられる。ここでは、K-NETタイプによる強震記録に最も影響を与えると考えられる表層地盤の条件の違いについて、前出のモデルを用いて解析的に検討を行った。対象とする地盤としては、当該観測

図一 1 2 自由地表応答に対する K-NET タイプとポアホールタイプのスペクトル比

地点の他に、周辺の K-NET 地点の中から最表層地盤の物性が異なる 広野 (FKS010)、大熊 (FKS007)、川内 (FKS031) を取り上げた。対象地点の位置を図-1 に、地盤条件(せん断波速度)を表-4 に示す。周辺 K-NET 地点の地盤条件は、科学技術庁防災科学技術研究所の公開情報⁹⁾を引用した。強震記録に最も影響を与えられとされる最表層 1 m 部分の S 波速度は、本検討の観測地点が 260m/s で、周辺 K-NET 観測地点の広野が 100m/s、大熊が 180m/s、川内が 390m/s である。解析地盤定数は、前出のモデルにおける材料番号の①～⑩の地盤定数に表-4 の値を適用し、周辺 K-NET 観測地点の埋土の定数については、本観測地点と同様と仮定した。解析ケースは、各

表-4 観測地点と周辺 K-NET 地点の地盤のせん断波速度 (m/s)

材料番号	観測地点	大熊	広野	川内
① 地盤 (GL0～-1m)	260	100	180	390
② 地盤 (GL-1～-2m)	260	260	180	390
③ 地盤 (GL-2～-3m)	260	260	180	450
④ 地盤 (GL-3～-4m)	260	260	380	450
⑤ 地盤 (GL-4～-5m)	270	270	380	450
⑥ 地盤 (GL-5～-6m)	270	270	380	450
⑦ 地盤 (GL-6～-7m)	390	390	700	450
⑧ 地盤 (GL-7～-8m)	390	570	700	450
⑨ 地盤 (GL-8～-9m)	450	570	700	450
⑩ 地盤 (GL-9～-10m)	450	570	700	450
⑮ 埋土砂	53	53	53	53
⑯ 埋土 (上部)	63	63	63	63
⑰ 埋土 (下部)	85	85	85	85

図一 1 3 ポアホールタイプに対する K-NET タイプの平均スペクトル比

地点においてシミュレーション解析と同様に、表-1 に示す 3 つの条件で独立に行った。

地盤のみによる解析ケースで自由地表応答を評価し、それに対する K-NET タイプとポアホールタイプの応答倍率を求めた結果 (NS 成分、EW 成分) を図-1 2 に示す。ポアホールタイプは、地中観測における上昇波と下降波の相殺効果のため、高周波数になるにつれて振幅比は 1 よりも小さくなり、その傾向は、最表層地盤の S 波速度が小さいほど顕著である。一方、広野を除く地点の K-NET タイプでは、10Hz を超える辺りから振幅比 1 倍よりも大きくなる傾向が見られ、さらに高周波数帯域では、K-NET タイプの地震計基礎の影響に

よるピークが37Hz～40Hz付近に形成される。また、最表層のS波速度が最も小さい広野では、10Hz付近から振幅比1倍よりも大きくなる傾向が他の3地点よりも小さく、逆に、高周波数帯域で振幅比1倍よりも小さくなり、NS成分では40Hz付近に、EW成分では30Hz付近にトラフが形成されている。

K-NETタイプの埋土の地盤剛性は、一般的に低いことが予想される。上記の結果は、埋土の地盤剛性に比較して周辺地盤の最表層地盤剛性が大きい場合(埋土と周辺地盤剛性のインピーダンス比が大きい場合)には、埋土部分に振動エネルギーがとどまることによって基礎の応答が大きくなり、逆に小さい場合(埋土と周辺地盤剛性のインピーダンス比が1に近い場合)には、周辺に振動エネルギーが逸散されるため、基礎の応答が大きくなり難いことを表している。本解析の結果によれば、自由地表応答に対するK-NETタイプの振幅比は、インピーダンス比が大きい場合には、水平成分の20Hz付近で1.5倍程度に大きくなり、インピーダンス比が1に近づくとも1.2倍程度にとどまり、さらに高周波数帯域では1倍を下回る傾向を示した。

最後に、ボアホールタイプに対するK-NETタイプの水平成分(NS成分、EW成分)のスペクトル比を図-13に示す。振幅比は、20Hz以上の高周波数帯域では、K-NETタイプの地震計基礎の影響によりピークやトラフが形成されるため、最表層地盤の条件によって大きく変化するが、20Hzから低周波数帯域では地盤条件による違いはほとんど認められない。20Hzにおけるボアホールタイプに対するK-NETタイプの振幅比は約1.5倍である。

6. まとめ

本論文では、ボアホールタイプとK-NETタイプの同時地震観測により、地震計設置条件が地震記録に与える影響を検討し、また、両観測記録のシミュレーション解析を行って観測結果の違いを検証するとともに、観測地盤と異なる地盤に対する解析から、地盤条件の違いが地震記録に与える影響についても検討した。その結果を以下にまとめて示す。

- 1) 本観測における観測記録の最大加速度振幅値は、最大加速度振幅値100 cm/s²以下のレベルに限られるが、ボアホールタイプとK-NETタイプで良い相関が見られ、両者の関係に振幅依存性は見られなかった。また、K-NETタイプの最大加速度振幅値は、ボアホールタイプよりもわずかに大きい、その差は大きくても5%程度であった。
- 2) 本研究の比較観測によれば、K-NETタイプの水平成分の観測記録は、10Hz付近まではボアホールタイプの観測記録とほぼ対応するが、10Hz以上の高周波数帯域では、地震計基礎の応答特性によって、30～40Hz付近でボアホールタイプより2～5倍程度大きくなる。この特性は、観測記録のシミュレーション解析からも明らかとなった。
- 3) 本解析結果によれば、10Hz以上の高周波数帯域における自由地表応答に対するK-NETタイプの振幅増加傾向は、埋土と周辺地盤剛性のインピーダンス比で変化する、インピーダンス比が大きい場合には、水平成分の20Hz付近で1.5倍程度に大きくなるが、インピーダンス比が1に近づくとも1.2程度にとどまり、さらに高周波数帯域では1倍を下回る傾向を示した。

4) 以上の検討から、K-NETタイプによる観測記録は、概ね10Hz程度までは地盤条件によらず地盤と同程度の振幅が得られることが確認された。また、さらに高周波数帯域までの強震動特性を検討する際には、地盤—基礎間の相互作用効果に対する配慮が必要であることが明らかとなった。

謝辞

本研究は、東京電力㈱原子力技術部建築技術グループマネージャー山下利夫氏により提起されたものであり、研究の実施にあたっては、多大な御協力を頂きました。ここに記して、深く謝意を表します。

参考文献

- 1) Shigeo Kinoshita : Kyoshin Net(K-NET), Seismological Research Letters, Volume 69, Number 4, pp.309-332, July/August 1998
- 2) 日本建築学会:地震動と地盤—地盤震動シンポジウム10年の歩み—5章 地震動観測, pp.179-251, 昭和58年7月
- 3) C.B. CROUSE, GEORGE C. LIANG, GEOFFREY R. MARTIN: EXPERIMENTAL STUDY OF SOIL-STRUCTURE INTERACTION AT AN ACCELEROGRAPH STATION, BSSA, Vol. 74, No. 5, pp. 1995-2013, October 1984
- 4) G.N. BYCROFT: THE EFFECT OF SOIL-STRUCTURE INTERACTION ON SEISMOMETER READINGS, BSSA, Vol. 68, No. 3, pp. 823-843, June, 1978
- 5) C.B. CROUSE, BEHNAM HUSHMAND, SOIL-STRUCTURE INTERACTION AT CDMG AND USGS ACCELEROGRAPH STATIONS, BSSA, Vol. 79, No. 1, pp. 1-14, February 1989
- 6) 木下繁夫、上原正義、斗沢敏雄、和田安司、小久江洋輔: K-NET95型強震計の記録特性、地震、第2輯、第49巻、pp467-481、1997
- 7) 日本建築学会:入門・建物と地盤との動的相互作用、1996年4月
- 8) 福岡篤信、宮本裕司、酒向裕司、古江守、安達直人、喜多村英司、岩本賢治: 複合基礎の地震応答解析法に関する実証的研究、日本建築学会構造系論文集、第506号、pp109-116、1998.4
- 9) <http://www.k-net.bosai.go.jp/>

(2000年11月9日原稿受理、2001年1月16日採用決定)