

建物強震観測 DB 公開用 web システムの構築

小島宏章 ——— *1 福和伸夫 ——— *2
飛田 潤 ——— *3 中野 優 ——— *4

キーワード：
建物データ，地盤データ，地震記録，データベース，web

Keywords：
Building data, Soil data, Strong motion seismic records, Database, World Wide Web

DEVELOPMENT OF WEB SYSTEM TO OPEN SEISMIC OBSERVATION DATA OF BUILDINGS

Hiroaki KOJIMA ——— *1 Nobuo FUKUWA ——— *2
Jun TOBITA ——— *3 Masaru NAKANO ——— *4

Both database of seismic observation of existing buildings and a web system to open the data to public use are developed. Dynamic response behaviors of buildings due to strong excitation have not been well understood. Therefore these data help grasping seismic performance of buildings and the development of structural design methodology. This kind of system is expected to be introduced to many seismic observation organizations in order to accumulate valuable data.

1. はじめに

兵庫県南部地震の際に発生した「震災の帯」での地表面加速度は，新耐震設計法の二次設計で想定している 300～400gal を遙かに上回る 1000gal 以上と推定されている。それにもかかわらず，新耐震設計による中低層 RC 建物の被害は極めて少なかった。このギャップの要因について様々な検討が行われている^{例えば 1) - 3)}。しかし，その結果を検証するための強震記録が「震災の帯」ではほとんど得られていない。このため，実構造物の強震時挙動や，本当の耐震性能は十分には明らかになっていないのが現状である^{4) - 6)}。その一方で，免震・制震といった建物応答を制御する技術の導入や，限界耐力計算法における表層地盤増幅特性や，建物と地盤との動的相互作用効果の導入などが進められている。これらの技術を使用するに当たっては，建物に入力する地震動と，実構造物の有している真の耐震性能の両者が明らかになっていることが前提となるが，現状の知見は十分ではなく，検討を行うためのデータも不足している。

地盤の強震観測については兵庫県南部地震以降，防災科学技術研究所，自治省消防庁，気象庁などの公的機関が中心となって，全国に膨大な数の強震計の設置が行われ，強震観測網が整備された⁷⁾。強震計は，自然地盤の地震動の観測が目的であるため地表や基盤に設置されている。得られた地震記録は，強震計の設置状況，地盤データと共にデータベース化（以後，DB 化と略記）され，web などで公開されており，データの共有化が進んでいる。その代表例が K-NET⁸⁾，KiK-NET⁹⁾である。

これに対し，建物を対象とした強震観測は民間を主体としている

ため，不況下で観測点数は頭打ちの状況にある。また，観測対象建物，設置状況等の紹介，地震記録の公開などに関しては，地盤での強震観測事例に比べ，あまり進んでいないのが現状である^{10), 11)}。この原因として，建物が個々に異なること，観測の主体が民間でありオーナーの考え方により強震計の設置やデータ公開が左右されることなどが挙げられる¹²⁾。しかしながら，カリフォルニアでは耐震設計基準を改善するための基礎データ収集を行うことを目的に CSMIP が設立され，同時に強震観測のための課金制度が法制化されている¹³⁾。日本においても地震工学・耐震工学の発展には，強震観測記録の共有化は不可欠である¹⁴⁾。これらより，建物を対象とした強震観測事例と観測記録の DB 化，及びデータの共有化を図る意義は大きい。

このような背景から本報では，建物の強震観測記録の共有化を図るために，名古屋大学東山キャンパス内で行われている複数の建物の強震観測事例¹⁵⁾，¹⁶⁾や常時微動計測記録^{17) - 19)}の DB 化を行い，これらを一元化して web 公開するシステムを開発した。同様の試みを民間の建物を対象として行う場合には，どの程度のレベルの強震観測体制を構築するか，どの程度のデータを最低限公開する必要があるか等を検討する必要がある。本報では，これらの検討を行う際の判断材料となりうるよう，出来る限りのデータを DB 化し，公開を試みている。また，今回構築した web ページは，希望者にはソース提供を行う予定である。これにより今後，他の公的機関や民間の観測機関においても，建物の強震観測事例や観測記録の DB 化とデータ公開が促進されることが期待される。本報で作成した

*1 名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻 大学院生・修士（工学）
日本学術振興会特別研究員
（〒464-8603 名古屋市千種区不老町）

*2 名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻 教授・工博

*3 名古屋大学工学部社会環境工学科 助教授・工博

*4 名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻 助手・博士（理学）

*1 Graduate Student, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, M. Eng.
Research Fellow of the Japan Society for the Promotion of Science

*2 Prof., Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Dr. Eng.

*3 Assoc. Prof., School of Engineering, Nagoya University, Dr. Eng.

*4 Res. Assoc., Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Dr. Sci.

web サイトは以下の URL よりアクセス可能である。

<http://sharaku.nuac.nagoya-u.ac.jp/~smsr/higashi/>

なお、上記のサイトのサーバはハードウェアに Fujitsu 製 GP400S model10 ,OS は Solaris2.6 ,web サーバソフトに Apache を用いたが、固有の機能は使用していない。他の機器やソフトを用いても同様の web サイトが運用可能である。作成した web ページは一般的なブラウザソフトで閲覧可能である。ただし、一部の補助的な機能は Java Script で実装しているため、Java Script が実行できるブラウザソフトを推奨している。

2. web サイトの概要

建物の強震観測記録を利用する際には、地震記録そのものだけではなく、建物の諸元や地盤データ等の設計時に使用されるデータと、センサー配置や観測機器等の強震観測に関わる一連のデータが必要となる。これらのデータを web で公開するためには、様々なデータをカテゴリごとに分類し、ユーザが得たい情報を容易にアクセスできるシステムを構築する必要がある。同時に、管理者サイドが更新等を容易に行えるよう、更新の必要がほとんどない静的なデータと、更新を頻繁に行う必要のある動的なデータを分離しておかなければならない。そこで今回構築した web サイトでは、建物の強震観測に関わるデータを図 1 に示すように、静的なデータである「建物データ」「地盤データ」「観測機器」と動的なデータである「地震記録」の 4 つのカテゴリに分類した。これらのカテゴリに web ページの概要を含む「ホーム」と、web ページを構築する際に参考にした「参考文献」、データの利用規則や使用方法を含む「データ利用」を加えて、web サイトのメニューとして活用している（図 2）。これによって必要な情報を容易に閲覧、またはダウンロードすることが可能になっている。以下、前述の 4 つのカテゴリに含まれるデータを詳細に紹介する。

2.1 建物データ

建物データには、図 1 に示すように「マップ」「建物リスト」「詳細データ」「写真集」の 4 つのカテゴリが含まれており、これらは web では図 2 に示すようにサブメニューとしている。

「マップ」では、東山キャンパス内の建物配置と強震観測点が一覧できるようになっている。また、建物の概観を容易に捉えるために、各建物のイラストにマウスを当てると写真が現れるロールオーバー効果を施した。多点強震観測建物は、後述する「詳細データ」へリンクされている。

「建物リスト」では、強震観測を行っている建物の強震観測点数、

常時微動記録の有無、その他の情報の有無を一覧するためのリストが示されており、このリストからも、各建物の詳細データへアクセスできるようにリンクが張られている。

「詳細データ」には、各建物に含まれる様々な情報をカテゴリ別に閲覧できるよう、図 1 に示す「建物概要」「構造概要」「ボーリングデータ」「図面」「常時微動記録」「強震観測概要」に分類をした。「建物概要」には、竣工年、位置情報（緯度・経度）、建築面積、延床面積、階数、高さ、軒高、用途が含まれ、「構造概要」には、構造種別、骨組形式、基礎種別（支持層、基礎形式）、スパン、柱・梁サイズ、伏図などが含まれる。「建物概要」と「構造概要」は図 3 に示すように一つのページにまとめ、写真とともに見ることで、その建物の諸元が容易に把握できるようにした。「ボーリングデータ」には図 1 に示すように、調査地点、柱状図、N 値、推定 S 波速度、推定単位体積重量が含まれる。これらのデータは図 4 のように図化して示すことにより、概観が捉えられるようにした。PS 検層を行っている地点については、図中にデータを追記してある。ボーリング調査は建物建設時に行われたものがほとんどであり、建物周辺に調査地点が複数ある場合が多い。これらのデータは図 4 に示すようにクリックابلマップから閲覧可能である。「図面」には図 5 に示すように、構造図面一式（杭伏図、基礎伏図、梁伏図、軸組図、部材リスト）が含まれている。本 web サイトでは、ユーザが構造解析モデルを構築できるよう、部材リストも示すこととした。「常時微動記録」には



図 2 建物データ（マップ）

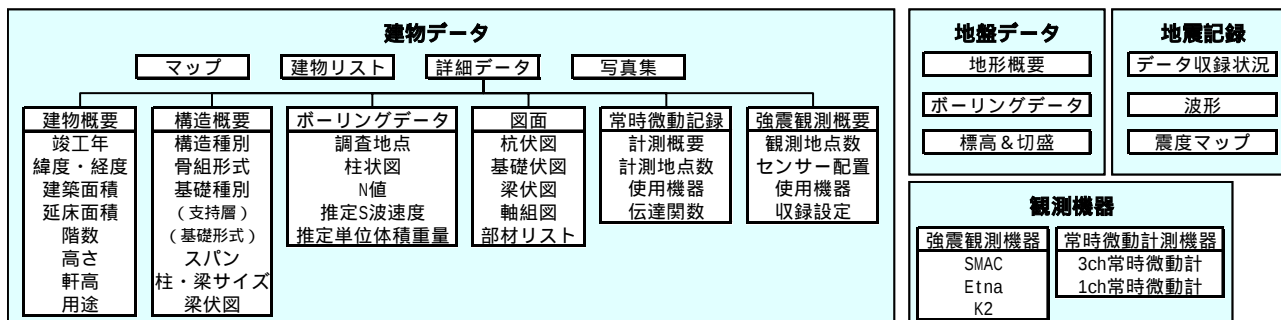


図 1 データ分類

図 6 に示すように、常時微動計測から得られた伝達関数などが示してあり、建物の振動特性が把握できるようになっている。「強震観測概要」には図 7 に示すように、観測地点数、センサー配置、使用機器、収録設定が記述してある。使用機器については、「観測機器」のカテゴリで機器の詳細なスペックを示した。収録設定には、地震記録を用いる際に重要となる、時刻校正、サンプリング振動数、トリガレベル等の情報が記述してある。

2.2 地盤データ

「地盤データ」には、図 1 に示すように「地形概要」「標高&切盛」「ボーリングデータ」のカテゴリが含まれ、「建物データ」の場合と同様に図 8 に示すようにサブメニューを構成している。

「地形概要」では、名古屋大学東山キャンパス周辺の地盤条件の概要を把握できるよう、東山キャンパス及び名古屋市域の地形概要、地質概要、地形形成過程が示してある。



図 3 建物の詳細データ（建物概要と構造概要）

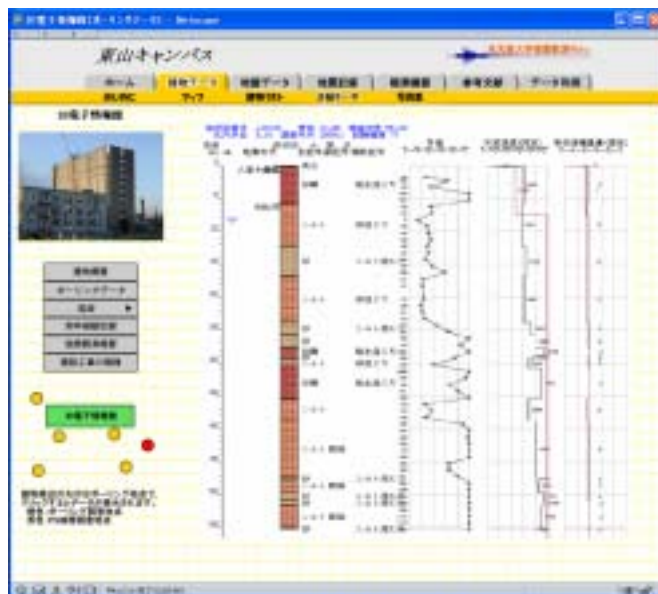


図 4 建物の詳細データ（ボーリングデータ）

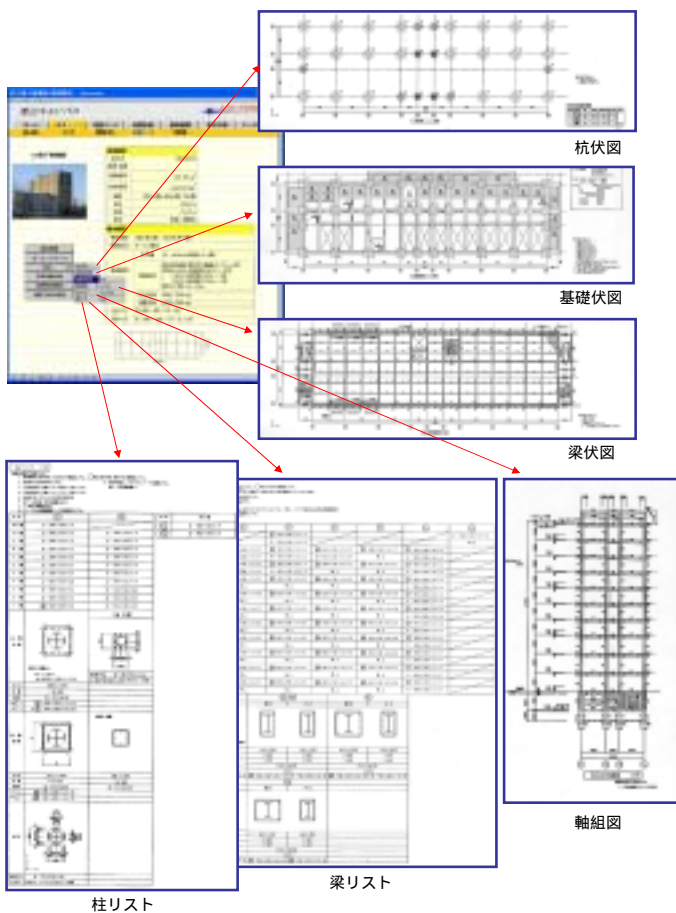


図 5 建物の詳細データ（図面）



図 6 建物の詳細データ（常時微動記録）



図 7 建物の詳細データ（強震観測概要）

「標高&切盛」には、図 8 に示すように東山キャンパスの 1936 年と 1991 年の標高、及びその差から求められる切盛マップ²¹⁾が示してある。これにより、キャンパス開発に伴って地形変化が大規模に行われた様子が分かる。これらの図は、地形変化に伴う局所的な地盤の不整形性が地盤震動に及ぼす影響を検討する際の情報として意義を持っている。

「ボーリングデータ」には、図 9 に示すようにボーリング調査地点が記されており、調査地点をクリックすると図 4 に示したボーリングデータの図のみが現れるクリッカブルマップになっている。

2.3 地震記録

「地震記録」には、図 1 に示すように「データ収録状況」「波形」「震度マップ」と「ダウンロード」のカテゴリが含まれる。

「データ収録状況」では、1996 年度より行われている強震観測のデータ収録状況を一目で把握するために、図 10 のようにイベント発生日、震源時、震央地名、緯度、経度、深さ、規模、震度、情報源、地点名と記録の有無を DB 化した。また、発生日の日付をクリックすると、図 11 に示す東海地区での震度マップが現れるようにすることで、震源方向や地震規模を容易に把握できるようにした。

「波形」では、全ての強震観測建物の名称が示してあり、それをクリックすると、図 12 のように選択した建物で得られている全ての成分の加速度波形が表示される。加速度波形は日付毎に左から EW、NS、UD 成分の順に示してある。多点観測地点の場合は、建物では上から最上階、1 階、地盤の順に表示し、地盤では上から地表、地中のように示してある。表示される波形の大きさは十分とはいえない

いが、振幅レベル、包絡形、建物あるいは地盤での増幅の様子、ノイズの有無などの概略が一見して捉えられるようになっている。

「ダウンロード」では、デジタルデータのダウンロードが行えるようにしている。ダウンロード方法やデータフォーマットの詳細は後述する。

2.4 観測機器

「観測機器」には、図 1 に示すように強震観測機器、常時微動計測機器のカテゴリが含まれる。強震観測機器では、東山キャンパス内に設置されている強震計（SMAC、Etna、K2）のフィルタ特性や分解能などのスペックと特徴が記述してある。常時微動計測機器も同様に、機器のスペック、特徴が記述してある。

3. ダウンロード方法

本節では 2.3 節で述べた地震記録のダウンロード方法を述べる。地震記録をダウンロードするためには、ユーザ登録を行う必要がある。ユーザ登録制とした理由は、以下に示す注意事項に同意した上でデータを利用してもらうためである。

web 内に含まれるデータの著作権は名古屋大学に帰属すること。

提供される情報・データ及びその使用により生ずる一切の責任はユーザが負うものとする。

なお、ユーザ登録は、「データ利用」メニューの「ユーザ登録」サブメニューから行うことが出来る。ユーザ登録を終えた後の操作は、「地震記録」メニューの「ダウンロード」サブメニューをクリックするとユーザ名とパスワード入力画面が表示される。

ユーザ名とパスワードを入力すると、図 13 に示す建物の選択画面になる。

ダウンロードを行いたい建物をクリックすると、図 14 に示す各建

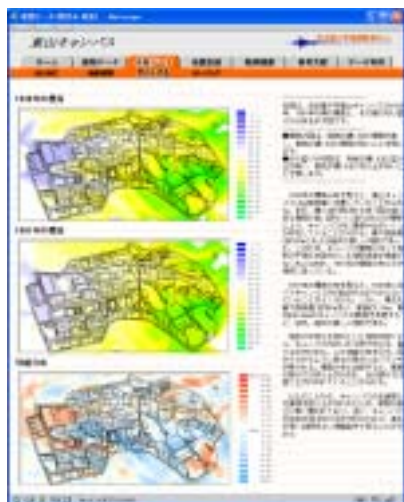


図 8 地盤データ（標高&切盛）



図 9 地盤データ（ボーリングデータ）

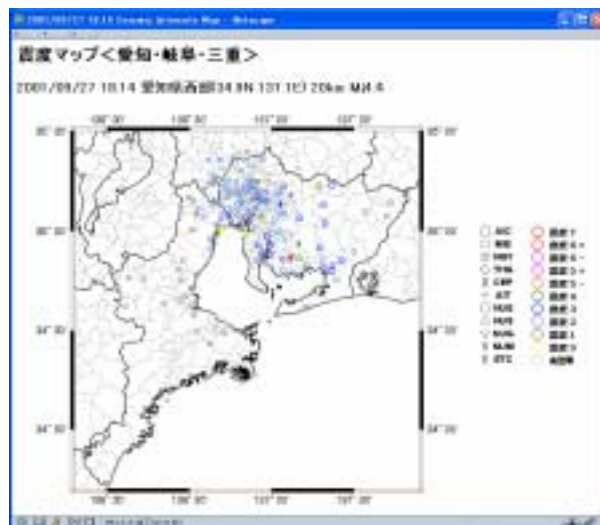


図 11 地震記録（震度分布）



図 10 地震記録（データ収録状況）

物の地震記録の一覧から、ダウンロードできる画面が現れる。

ダウンロードを行いたいデータ(図14の○印,又は▲印)をクリックするとダウンロードが行われる。

ダウンロードされるデータフォーマットの詳細は後述する。図14のDBに記されている▲印は,コメント欄に記述されているように,ノイズが含まれているなどのため,取り扱いに注意が必要なデータであることを意味する。図14のメニューバー右下にある<波形表示>をクリックすると図12に示した加速度波形が新しいウィンドウで表示される。また,図14の日付をクリックすると,図11に示した震度マップも新しいウィンドウに現れる。したがって,ユーザは地震記録DB,加速度波形,震源マップの3つのウィンドウを見ながら,選択的に地震記録のダウンロードを行うことができる。

ダウンロードを行えるデータは,データの信頼性を十分確認したものとした。今後,他の建物でも同様の確認をした上で,公開を順次進めていく予定である。また,地盤観測点の記録については,地盤の不整形性を詳細に検討が出来るよう,浅層地盤のデータを整理した後,順次公開を行う予定である。

4. データフォーマット

本システムよりダウンロードされる地震記録のファイル名は,図15に示すように観測点コード,年月日,時分秒,地点コード,拡張子の順に並んでいる。なお,時分秒はトリガタイムである。トリガレベル,プレトリガ,ポストトリガ,サンプリング振動数など強震計の設定条件は,2.1節で述べたように,「建物データ」メニューの「詳細データ」サブメニューの「強震観測概要」に記してある。データフォーマットは,今回ユーザとして対象としている研究者や実務設計者が一般的な表計算ソフトで容易に扱えるようテキスト形式とし,表1に示すようにタブ区切りで左から,時間(sec),EW,NS,UD成分の数値データが順に並んでいる形式とした。表1では説明のためヘッダがつけてあるが,ダウンロードされるファイルには数値データのみが納められている。

ファイルはZIP形式で圧縮してあるが,展開は各種フリーウェア,

シェアウェアをインストールすれば可能である。ダウンロードしたデータを扱う上で注意する必要があることを以下に記述する。

公開した地震記録は,強震計固有のデータフォーマットからアスキー型に変換し,ゼロ線補正のみを行ったものである。

地盤の強震計設置方位と,建物の強震計設置方位は異なる。地盤の強震計設置方位は真北を基準としているが,名古屋大学東山キャンパスの建物群は図16に示すように,真北に対して25.5度時計回りに回転した方位を基準としている。したがって,地盤と建物の記録を同時に使用する際にはどちらかの方位補正をする必要がある。

5. まとめ

名古屋大学東山キャンパスに既存の建物強震観測事例と観測記録を対象として,DB化とweb公開システムの構築を行った。今後,地震が発生すると自動的にデータを更新するシステムの構築が課題として残されている。今後,同様のシステムを地域全体の建物に広げることで,強震時にリアルタイムで被害情報を収集し,震後の防災支援システムに拡張できると考えられる。近い将来に東海,東南海,南海地震が発生するであろうと予測されている東海地区におい



図13 地震記録(ダウンロードの建物選択)

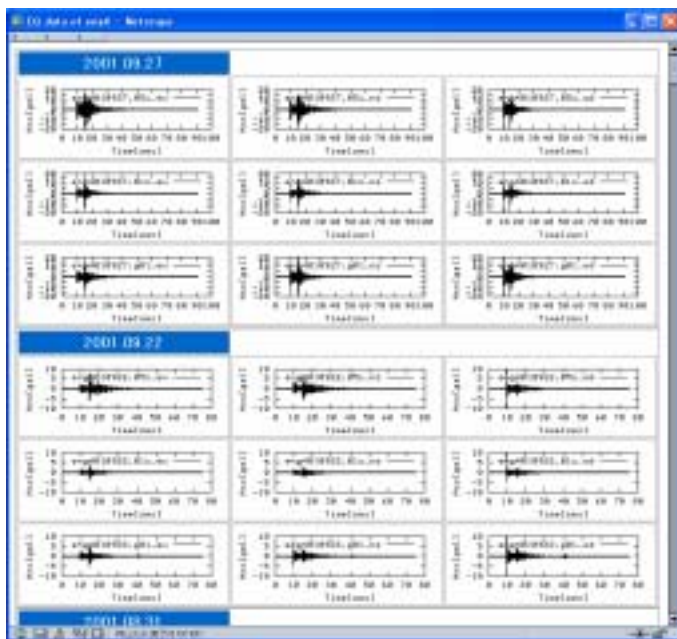


図12 地震記録(波形)

図14 地震記録(各建物のダウンロード画面)

て、本報で構築したシステムは大きな意味を持つと考えられる。しかしながら、これらを実現させるためには、民間データの共有化が欠かせない。そのため本報では、民間からデータ公開を少しでも促せるよう、出来る限りのデータ公開を試みた。また、今回構築したシステムを希望者にはソースも提供することで、本報と同様の強震観測記録のDB化と公開が行われ、データの共有化が進むことが期待される。

謝辞

環境振動モニタリングシステムの運用・管理の一部は、名古屋大学振動集中管理室の南雲秀樹氏にご協力頂いた。付記して謝意を表する。本研究費の一部は日本学術振興会特別研究員研究奨励金による。付記して謝意を表する。

参考文献

1) 安井謙, 井口道雄, 赤木久真, 林康裕, 中村充: 1995 年兵庫県南部地震における基礎有効入力動に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 512 号, pp.111-118, 1998.10

2) 林康裕, 安井謙, 高橋郁夫: 相互作用と上部構造の応答, 第 6 回構造物と地盤の動的相互作用シンポジウム - 相互作用の過去・現在・未来, 相互作用と性能設計 -, 日本建築学会, pp.53-62, 2001.3

3) 福和伸夫: 耐震設計における動的相互作用に関わる課題, 第 6 回構造物と地盤の動的相互作用シンポジウム - 相互作用の過去・現在・未来, 相

eng4 010927. 181506. 05c. zip

観測点 コード	年月日	時分秒	地点 コード	
eng4	010927	181506	05c	
eng9				
engn				

観測点コード	建物名称	地点コード	地点	備考
eng4	工学研究科4号館	11c	11F(中央)	10階建ての場合は屋上
eng9	工学研究科9号館	05c	5F(中央)	4階建ての場合は屋上
engn	工学研究科新1号館	01w	1F(西端)	
		g01	GL -1m	
		g14	GL -14m	
		g57	GL -57m	
		e1c	東館1F(中央)	隣接する建物の場合
		w1c	西館1F(中央)	隣接する建物の場合

図 15 地震記録のファイル名称

表 1 ダウンロードした地震記録の
ファイルフォーマット

Time(sec)	EW	NS	UD
0	-0.073185	0.750233	1.002294
0.01	-0.195256	0.597645	0.956517
0.02	-0.103703	0.704457	1.017552
0.03	-0.103703	0.704457	1.017552
0.04	-0.195256	0.628163	0.987035
0.05	-0.057926	0.765492	1.002294
⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮

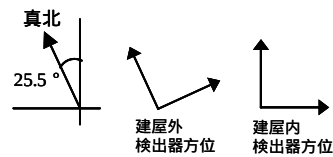


図 16 強震計の設置方位

相互作用と性能設計 -, 日本建築学会, pp.135-150, 2001.3

4) 福和伸夫, 飛田潤: 建物 - 地盤の動的相互作用から見た強震観測, 第 2 回強震データの活用に関するシンポジウム(2000) - 建物の耐震性能設計を目指した強震観測 -, 日本建築学会, pp.57-68, 2000.12

5) 林康裕: 地震被害から見た地震荷重, 地震動と地震荷重を繋ぐ, 2002 年度日本建築学会大会(北陸)パネルディスカッション資料, pp.2-10, 2002.8

6) 飛田潤: 観測記録から見た地震荷重, 地震動と地震荷重を繋ぐ, 2002 年度日本建築学会大会(北陸)パネルディスカッション資料, pp.12-21, 2002.8

7) 飛田潤, 福和伸夫, 中野優, 山岡耕春: オンライン強震波形データ収集システムの構築と既存強震計・震度計のネットワーク化, 日本建築学会技術報告集, 第 13 号, pp.49-52, 2000.7

8) 青井真: K-NET, 日本地震学会ニュースレター, Vol.9, No.5, pp.8-9, 1998

9) 青井真, 小原一成, 堀貞喜, 笠原敬司, 岡田義光: 基盤強震観測網(KiK-net), 日本地震学会ニュースレター, Vol.12, No.3, pp.31-34, 2000.9

10) 佐藤吉之: 公的機関を中心とした強震観測の現状, 第 2 回強震データの活用に関するシンポジウム(2000) - 建物の耐震性能設計を目指した強震観測 -, 日本建築学会, pp.3-10, 2000.12

11) 渡壁守正, 佐間野隆憲, 高橋克也: 強震動データベースに望まれる姿, 第 2 回強震データの活用に関するシンポジウム(2000) - 建物の耐震性能設計を目指した強震観測 -, 日本建築学会, pp.27-34, 2000.12

12) 高橋克也: 民間での強震観測の光と陰, 地震学会ニュースレター, Vol.12, No.6, pp.9-12, 2001.3

13) Anthony F. Shakal: The California Strong Motion Instrumentation Program and Recent Developments, 日本地震学会ニュースレター, Vol.13, No.2, pp.50-54, 2001.7

14) 日本建築学会強震観測小委員会, <http://www.eqgmo.aij.arch.metro-u.ac.jp/> /eqgmo/, 建物の強震観測に関する将来像(案),

15) 福和伸夫, 山田耕司, 石田栄介, 森保宏, 辻本誠, 松井徹哉: オンライン強震観測・地震被害想定・振動実験システムの構築, 日本建築学会技術報告集, 第 3 号, pp.41-46, 1996.12

16) 福和伸夫, 飛田潤, 西阪理永: 学内 LAN の利用による環境振動モニタリングシステム, 日本建築学会技術報告集, 第 5 号, pp.158-162, 1997.12

17) 松山智恵, 福和伸夫, 飛田潤: 強震観測・強制振動実験・常時微動計測に基づく隣接する中低層建物の振動特性, 日本建築学会構造系論文集, No.545, pp.87-94, 2001.7

18) 岡田純一, 福和伸夫, 飛田潤: 観測記録に基づく SRC 造 10 階建物の平面増築による振動特性変化, 構造工学論文集, Vol.48B, pp.437-444, 2002.3

19) 小島宏章, 福和伸夫, 飛田潤: 常時微動計測・強震観測に基づく動的相互作用効果の階数依存性に関する研究 - S 造及び SRC 造 10 階建物の建設段階毎の動特性の変化 -, 構造工学論文集, Vol.48B, pp.453-460, 2002.3

20) M. Ali Ghannad, J. Tobita, N. Fukuwa, M. Nakagawa, R. Nishizaka and E. Koide: A Study of the effect of soil-structure interaction on the dynamic properties of RC structures based on the microtremor records, 構造工学論文集, Vol.43B, pp.441-450, 1997.3

21) 福和伸夫, 石田栄介, 荒川政知, 山田耕司: GIS を用いた広域施設群の総合振動分析システム, 日本建築学会技術報告集, 第 2 号, pp.195-200, 1996.3