

実大三次元振動実験のためのデータリポジトリシステムの設計

谷村 勇輔[†] 田中 良夫[†]
横川 三津夫[†] 関口 智嗣[†]

実大三次元振動実験により生成される貴重、かつ膨大なデータを格納するためのデータリポジトリシステム「EDgrid Central」を設計した。EDgrid Central はバックエンドに大容量のストレージと振動実験データの格納用に考案されたデータモデルを実装し、フロントエンドではメタデータによる実験データの検索やデータファイルの一括ダウンロード機能を Web インタフェースとして提供する。これは米国の NEES プロジェクトで開発された NEEScentral ソフトウェアをもとに、振動実験のデータを扱うユーザの意見を踏まえて必要な機能の追加・拡張、EDgrid スタイルのデザインへの置き換えを行ったものである。EDgrid Central を運用することで、振動実験データを格納するための半恒久的なリポジトリを確保するとともに、地震工学の研究者がお互いの実験や解析結果を日常的に交換、共有利用する環境を提供することができる。

Design of Data Repository System for 3-D Full-Scale Earthquake Testing Facility

YUSUKE TANIMURA,[†] YOSHIO TANAKA,[†] MITSUO YOKOKAWA[†]
and SATOSHI SEKIGUCHI[†]

A data repository system, that is called EDgrid Central, is designed for storing huge amount of experiment data by using a 3-D full-scale earthquake testing facility. The EDgrid Central prepares large storage capacity and implements a data modeling for the shake test in the backend. The frontend is a portal for users to retrieve the stored data by meta-data search and bulk download. This system uses the NEEScentral developed by the NEES project in the United States by enhancing search and download functionalities, according to the EDgrid users' requirements. The EDgrid Central allows facility sites to have a permanent repository of the shaking table experiment and it also enables civil engineering researchers to share their data and reports in their daily activities.

1. はじめに

地震工学において、構造物の崩壊の理由、崩壊過程を調べることは地震による被害を最小限に抑えるために重要な課題の 1 つである。我が国では 1995 年に発生した兵庫県南部地震での経験を踏まえて、実物大の構造物の崩壊を観察することのできる三次元振動台 (E-Defense^{1),2}) が構築された。E-Defense では鉄筋コンクリート、木造住宅、橋梁、危険物貯蔵タンク、地盤に対して三次元の加振を行い、実大規模の構造物の破壊過程や新しい耐震技術を検証することができる。

E-Defense はその希少性と構築や実験にかかる費用が莫大なことから、実験によって得られたデータは研究者にとって非常に大切である。これまでは、実験データはカメラや各種センサーと接続された計測用 PC に

一時的に保存され、研究者が必要に応じて DVD や CD-R などの運搬可能なメディアによって E-Defense 施設外に持ち出されていた。これらの作業を IT 化し、安全で効率的なデータ保存、およびインターネットを通したリモートアクセスを実現することを目標にしたプロジェクトが E-Defense Grid (EDgrid³) である。本研究では EDgrid の枠組において、データの格納と共有の核となるデータリポジトリシステム「EDgrid Central」を設計し、ユーザの利用シナリオに基づいた検索機能の実装、実験データの高速なダウンロードや実験データへのアクセス制御の実現に向けた検討を行い、今後の開発への指針と課題を明らかにする。

EDgrid Central ではバックエンドとして、E-Defense の実験データのメタデータを格納するための関係データベース管理システム、実験データを格納するための SRB⁴) を用いたストレージシステムを構築する。フロントエンドとして、Apache/PHP による Web インタフェースを提供し、研究者がメタデータを

[†] 産業技術総合研究所
National Institute of Advanced Industrial Science and
Technology

用いて必要なデータを容易に検索し、ダウンロードできる枠組を提供する。これら EDgrid で開発するシステムは、米国 NEES (Network for Earthquake Engineering Simulation)⁵⁾ の NEES Cyberinfrastructure Center (NEESit)⁶⁾ によって研究開発がなされている NEEScentral⁷⁾ をもとに、E-Defense のユーザが必要とする機能が追加された拡張実装である。

本稿ではデータリポジトリの設計の詳細を述べた後、今後の課題として、ED-NEES の相互アクセスを実現するために必要な検討事項、データのダウンロードの高速化、アクセス制御機能の拡張などについて、考えられる実装方法を述べる。

2. E-Defense Grid

2.1 概要

E-Defense Grid (EDgrid) は、E-Defense を用いて行われる実験や実験によって得られたデータ解析などの研究活動を IT 技術の面で支援するプロジェクトである。防災科学技術研究所および慶應大学によって主導され、東京工業大学、室蘭工業大学、産業技術総合研究所が参加して進められている。EDgrid の研究チームは大きく 2 つに分かれ、2005 年 4 月から始まった 5 年間のプロジェクト期間のうち、2007 年 3 月までにデータ・協調グリッドの開発と整備を進めるチームと 2010 年 3 月までにセンサーグリッドの研究を進めるチームに分かれる。特に前者において、複数の組織に所属する地震工学の研究者がインターネットを介して実験データにアクセスしたり、研究者間で解析結果やドキュメントなどを共有したりすることが想定され、将来的には日本国内だけでなく NEES の研究者とのデータ共有も目標の 1 つに掲げており、グリッド技術を適用することが課題となっている。

2.2 NEESgrid との関連

EDgrid のデータ・協調グリッドは、NEES が進めてきた IT 技術の利用研究や NEESgrid プロジェクト⁸⁾ の成果を参考に、E-Defense の実験データを国内・国外を問わず公開し、研究者間でデータを共有することを可能にするフレームワークを構築するものである。振動台だけでなく津波やその他の実験設備を対象に、幅広い地震工学のデータリポジトリの構築を目指している NEESgrid の状況と異なり、EDgrid は実験設備が E-Defense だけであるため、振動台の実験データに即したデータモデルの実装と検索インタフェースを提供する。

また、NEESgrid では実際の実験とシミュレーションを組み合わせた Multi-Site Online Simulation Test (MOST)⁹⁾ に挙げられるようなデータをリアルタイム

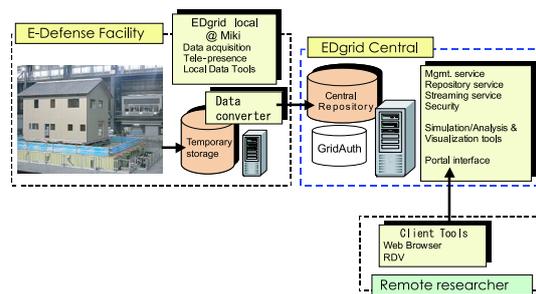


図 1 EDgrid のアーキテクチャ概要

に共有する技術の応用研究とツールの開発がメインとなっており、実験データの格納や効率的な検索を行うためのデータモデルの研究はシステムに組み込んでの実証段階にまで至っていない。それに対して、EDgrid では実験データのリポジトリへの格納が優先課題であり、それらのデータを研究者の手元のマシンに持ってくる仕組みの効率化を NEES に先行して進めているといえる。

3. データリポジトリシステムの設計

本章では E-Defense を用いて行われた実験データを扱うためのデータリポジトリシステム「EDgrid Central」の設計について述べる。

3.1 利用シナリオとユーザからの要求

まず、図 1 に EDgrid システムの全体構成を示す。E-Defense はプライベートなネットワークに接続された機器を通して制御され、加振実験が行われる。計測機器としてはセンサが 960ch、カメラが 27ch、HD カメラが 2ch あり、E-Defense の制御機器とは別のネットワークを用いて、計測機器を制御するコンピュータに接続されている。計測機器の制御コンピュータは計測データの一時ストレージの役割も果たし、従来であれば、ここから研究者は DVD や CD-R といった媒体にデータを保存して持ち帰ることになっていた。本研究で設計する EDgrid Central は計測機器の制御コンピュータと接続し、データコンバータを介して一時ストレージに保存されたデータの入力を受け付ける。一方、EDgrid Central は外部ネットワークに接続され、インターネットを介して遠隔の研究者が実験データにアクセスするためのポータルを果たすことになる。以下に想定される利用シナリオを述べる。

- (1) EDgrid Central 管理者は、一時ストレージに保存されている生の実験結果をデータコンバータを介してデータフォーマットを変換し、EDgrid Central のストレージ (Central Repository) に入力する。
- (2) EDgrid Central ユーザは、Web ブラウザを用

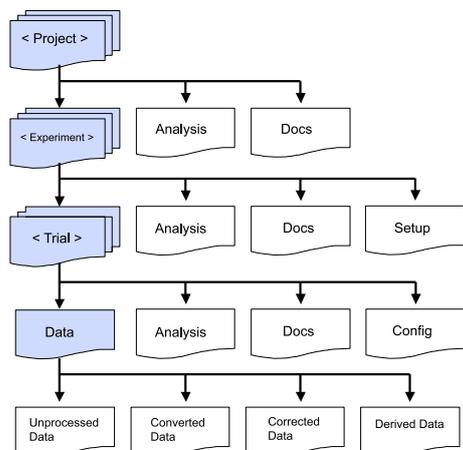


図 2 データを格納するためのリポジトリ内のディレクトリ構造

いて EDgrid Central にアクセスし、ユーザ名とパスワードを用いてログインする。

- (3) ユーザは任意のキーワードを入力、あるいはプロジェクト等をリストから選択して入手したいデータの検索を行う。検索結果の画面ではヒットした実験データファイルの一覧が表示される。詳細表示ボタンを押すことで、実験データに関連づけられているメタデータを確認できる。
- (4) ユーザは検索によって見つけたデータをダウンロードリストに適宜追加する。
- (5) ユーザは検索機能を用いずに図 2 のツリーを辿ることで目的のデータファイルを見つける。検索結果の画面同様、詳細ボタンを押すことでデータに関連づけられたメタデータを確認できる。
- (6) ユーザはツリーを辿って見つけたデータをダウンロードリストに適宜追加する。
- (7) ダウンロードの画面に移ると、上記で選択されたデータがリストとして表示される。ダウンロードボタンを押すことで、これらのデータファイルが 1 つの ZIP ファイルにまとめられ、ユーザは名前を付けて自分のマシンにそれを保存する。
- (8) ユーザは必要なデータをダウンロード後、クライアントマシンでデータの解析を行う。
- (9) ユーザは解析の結果、作成したレポートや論文を EDgrid Central にアップロードする。
- (10) ユーザは一連の作業が終了した後、EDgrid Central からログアウトする。

このようなシナリオにおいて、特にユーザから要求が高かった EDgrid Central が持つべき機能は次の通りである。

- データコンバータを介してデータをリポジトリに

入力する際のメタデータの inputs は、研究者にとって付加的な作業になる。この作業を軽減するためのテンプレートを used したメタデータの inputs を簡易化する機能。

- 任意のキーワードを指定してプロジェクトや実験を検索する機能。
- 図 2 のツリーを辿るインターフェースは、NEEScentral では Web ページのリンクを辿る形式であり、ツリー全体を見ることもできない。ディレクトリをツリー表示し、クリックを伴わずにカーソルを動かすだけで素早く目的とするデータファイルにアクセスできる機能。
- 実験データにアクセスできるユーザをプロジェクト毎、実験毎、試験毎に制限できる機能。また、プロジェクトのメンバであってもデータを閲覧するだけのユーザとメタデータを修正できるユーザを分けることが可能なアクセス制御機能。
- データファイルを 1 つずつダウンロードするのではなく、複数のファイルをまとめて、あるいは実験や試験のディレクトリごとデータをダウンロードする機能。
- メタデータ、およびデータファイル名の日本語対応。
- クライアントマシンにはツールを追加的にインストールしたくない。標準的な Web ブラウザだけでアクセスできるインターフェース。

3.2 設 計

次に、前節で述べた利用シナリオとユーザからの要求を踏まえて EDgrid Central を設計する。ただし、NEESit により開発されているソフトウェア群¹⁰⁾のうち Real-time Data Viewer (RDV) や Flexible TelePresence System (FlexTPS) などのツールは EDgrid においてもそのまま利用するため、NEEScentral のアーキテクチャを継承し、そのまま利用できる部分は NEEScentral のコードを用いる。NEEScentral に不足して EDgrid が必要とする部分の開発を重点的に行うようにする。

EDgrid Central は図 3 に示すアーキテクチャをとる。Web ブラウザからは HTTPS で接続され、ユーザ認証には GridAuth¹¹⁾ を用いる。GridAuth はアカウントデータベースを持ち、アカウント名やパスワードのほか本名や所属、連絡先を格納し、ユーザがログイン中にはセッション ID を保存する。EDgrid Central のバックエンドとしては、実験データを格納するために SRB、実験データのメタデータを格納するために関係データベース管理システム (RDBMS) を用いる。RDBMS は、EDgrid プロジェクトにおいて検討された振動台実験のデータモデルを実装し、実験データの

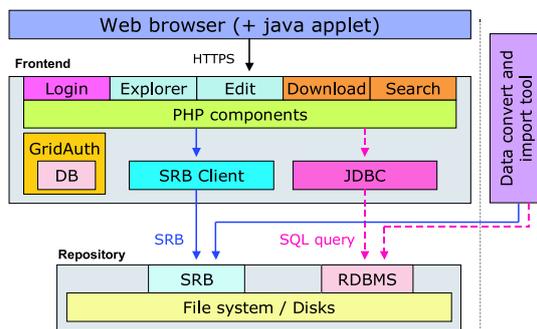


図 3 EDgrid Central のアーキテクチャ

表 1 詳細検索のオプション

Project	プロジェクト名から選択
Experiment	実験名から選択
Trial	試験名から選択
Sensor type	センサータイプを選択
Channel	チャンネル番号 (1-960) を選択
Max. data range	データの最大値を指定可能
Min. data range	データの最小値を指定可能

テーブルに SRB のファイルパスを保存する。すなわち、メタデータ検索によって実験データのファイルを得るには、検索パラメータに合致する実験テーブルを得て、その中の SRB ファイルパスを参照してファイルを取得する手順となる。メタデータによる RDBMS の検索、すなわち SQL による問い合わせや SRB へのアクセスプログラムは PHP を用いて記述され、Web インタフェースを使ってデータへ簡単にアクセスする仕組みを実現している。実験データファイルをリポジトリにインポートする際には、データコンバータを用いて SRB および RDBMS に直接アクセスする。

3.2.1 検索

任意のキーワードを入力して検索する機能と表 1 に示すメタデータを指定して検索する詳細検索機能を用意する。任意のキーワード入力に基づく検索では、NEEScentral が実装している検索機能を拡張し、複数の単語を指定できるようにする。これはプロジェクトや実験の名称、説明文などに対してキーワード検索を行う。

詳細検索では、表 1 のデータ範囲を除くオプションをプルダウンメニューから選び、必要であればデータの最大値や最小値を入力して検索を行う。選択は同時に複数を選ぶことができる。詳細検索は EDgrid 独自の機能であり、EDgrid の振動台実験のデータモデルを用いて、チャンネルやセンサのタイプ、データ範囲に基づいた検索を可能にする。EDgrid のデータモデルはイベントテーブルを中心に実験データ、プロジェクト、人、施設、時刻が関連づけられたモデルとなつて

おり、検索クライアントではユーザの検索シナリオに沿った SQL 問い合わせのパターンを用意する。

3.2.2 一括ダウンロード

NEEScentral では特別なダウンロードツールが提供されておらず、ユーザは HTML に埋め込まれたリンクからデータをダウンロードしていた。EDgrid Central では、複数の実験データファイルをまとめてダウンロードできる機能を提供する。インタフェースには、オンラインショッピングで用いられているようなショッピングカートを用意する。ユーザはダウンロードしたいデータをカートに随時追加して、最後にそれらを 1 つの ZIP ファイルにまとめた形でダウンロードすることが可能である。

3.2.3 アクセス制御

NEEScentral ではアクセス制御機能として、プロジェクト毎に公開、非公開を選択できるようになっており、プロジェクトに属するメンバはプロジェクトの公開属性に関わらずファイルの閲覧、修正が可能である。プロジェクトに属さないメンバは公開プロジェクトのデータは閲覧可能であり、非公開プロジェクトのデータは閲覧できない。EDgrid Central では、この仕組みをそのまま利用する。

3.3 日本語対応

日本語対応としては、日本語のファイル名を EDgrid Central が扱えるようにすることと、メタデータを日本語で入力して日本語で検索できるようにすることの 2 点 - 115 - である。前者においては、本研究で開発するダウンロードツールにおいて日本語化の対応を行い、NEEScentral で開発されているアップロードツールを修正して日本語化対応を行う。問題は SRB が日本語ファイル名を正式にサポートしていない点であり、動作はするものの、より詳しい調査が必要である。後者は、メタデータサーバへの入力データが UTF-8 であり、PHP で記述する検索クライアントも UTF-8 の文字を扱う仕様とすることで対応する。

4. 今後の課題

本研究では前章で述べた設計に基づいてプロトタイプシステムの開発を進めている。そこで、設計とプロトタイプの実装を通して明らかになった課題、また ED-NEES 相互アクセスを実現するのに必要な検討事項を説明する。

4.1 ED-NEES 相互アクセスに向けて

EDgrid では、E-Defense の実験データと NEES に参加している各機関が持つ実験データをお互いに交換する基盤を整備することは 1 つの研究課題となっている。そのような ED-NEES の相互アクセスを実現す

るためには、図 4 に示すレイヤの問題を解決する必要がある。

EDgrid の認証基盤は NEEScentral の認証アーキテクチャを採用し、GridAuth¹¹⁾ を用いている。GridAuth は PKI を用いて、EDgrid Central にログインしたユーザがバックエンドのストレージやその他の資源を使うことのできる仕組みを提供する。しかしながら、アカウントデータベースの中にユーザ証明書とその秘密鍵が保存され、ユーザ名とパスワードによる認証を通ったユーザのプロキシ証明書が自動的に生成されて、バックエンドへのアクセスに利用される仕組みである。これは従来の PKI の利用形態とは一線を画し、ユーザの認証自体はユーザ名とパスワードのままであること、認証局の運用の手間などを考慮して、EDgrid では GridAuth での PKI の利用を見送っている。

これを解決して、両サイトで PKI を用いるようになった場合、次は相互の認証局を信頼する枠組を構築しなければならない。EDgrid が自身での認証局の運用や第三者の認証局の利用を考える必要があるのは当然であるが、NEESit の認証局は NEES コミュニティに対して独自に運用されているものであり、相互信頼に向けて NEES 側のポリシー変更や運用の努力も必要になる。

認証基盤とは別に、データリポジトリのアーキテクチャのどの部分に PKI を用いた認証を導入するかの検討が必要である。メタデータを用いた実験データのファイルパスの取得は、お互いのフロントエンドを通してアクセスすることが望ましい。一方、実験データの取得はフロントエンドを介す方法や、フロントエンドを介さずに直接 SRB にアクセスする方法が考えられる。後者を採用する場合、外部から SRB ストレージサーバへのアクセスの際に GSI 認証を行う仕組みを実装することになる。

認証とデータファイルへのアクセス基盤が整備されれば、双方が用意したメタデータサーバにそれぞれ問い合わせを行うことでデータを検索し、入手可能になる。一方、メタデータのモデルに互換性があれば、より効率的な検索を行うことが可能となる。

実験データのフォーマットは、現在でも EDgrid と NEESit において協調して作業を行っており、NEESit のフォーマットに合わせる形で EDgrid がデータコンバータを開発している。これにより、E-Defense の実験データを NEESit が開発しているデータ表示用ソフトウェアを用いて表示することができる。

4.2 ダウンロードの高速化

本研究にて開発した EDgrid Central のプロトタイプ

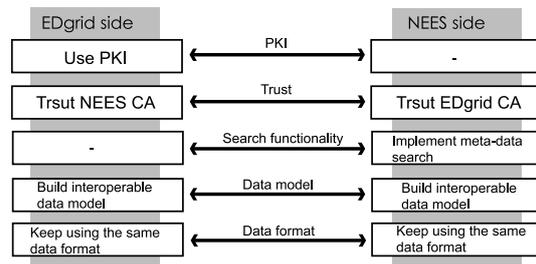


図 4 ED-NEES 相互アクセスのための検討項目

では、一時的に作成する ZIP ファイルは EDgrid Central のフロントエンドにできる。そのため、フロントエンドにデータを一時的にコピーして ZIP ファイルにする時間がユーザの待ち時間として表れること、フロントエンドのディスク容量が少ない場合に、複数ユーザからの同時ダウンロードが制限されることが分かっている。これを解決するためには、SRB から直接データをダウンロードできるようになることが望ましい。ダウンロード速度の観点では、数百 MB から数 GB のデータをダウンロードすることも想定されるため、並列ストリームや圧縮転送に対応していくことも課題の 1 つといえる。また、ダウンロードしたデータを研究者が手元で管理しやすいように、メタデータを XML ファイルに保存し、データと一緒にダウンロードできる機能の実装も期待されている。

4.3 サブグループレベルでのアクセス制御

本研究にて開発したプロトタイプは、NEEScentral のプログラムに最小限の変更を加えて作ったものであるため、細かいアクセス制御機能は未実装である。しかしながら、アクセス制御はユーザからの要求が高く、近い将来に実装を進める必要がある。比較的開発のコストが少ない実装案を 2 つ挙げると、実装案 1 はプロジェクトとそれに属するメンバグループが 1 対 1 に対応している部分を変更し、1 つのプロジェクトに対して複数のグループを対応づけられるようにする。また、グループのグループを設定可能にする。これによって大きなプロジェクトの中で、複数のサブグループを作成してデータのアクセス制御を行うことができる。

実装案 2 は、SRB においてファイルの閲覧のみができるユーザと閲覧および修正ができるユーザの 2 種類を用意する。EDgrid Central のアカウントには、いずれかの SRB ユーザがプロジェクトとともにマップされる。これによって、プロジェクトメンバであっても閲覧しかできないユーザと、データの修正ができるユーザを分けることができる。

4.4 NEEScentral との統合

EDgrid Central のプロトタイプの実インストールは、

NEEScentral をインストールした後にパッチを当てる形で拡張機能を追加する手順となっている。これは NEEScentral の新しいバージョンがリリースされるたびに、それに合わせたプログラムの修正とパッチを準備することになり好ましくない。この問題を解決するためには、EDgrid やその他の機関が開発している拡張機能を簡単に追加できるよう、NEEScentral のインストーラとパッケージ方法を修正せねばならず、NEESit と協調しながら検討を進める必要がある。

4.5 その他

EDgrid のユーザから要求のあった実験データのディレクトリのツリー表示は、プロトタイプでは実装していない。これは NEES コミュニティにおいても高い要望があり、NEESit が高い優先度で開発を進めている。すなわち、将来的に NEEScentral のパッケージに含まれることが期待される。

プロトタイプでは、内部的には NEEScentral のオリジナルのコードが利用する実験データのメタデータベースと EDgrid のデータモデルを実装するメタデータベースが分かれている。プロジェクトや実験のリンクを辿る際には NEEScentral のデータベースを使用し、データの詳細検索を行う際には EDgrid のデータベースに問い合わせがなされる。そして、データの入力時には2つのデータベースに対して同時に同じデータを入力することでデータの整合性を保つようになっている。これは NEEScentral のコードに大きな変更を加えない形でプロトタイプを実装したためであり、実運用を行うシステムにおいてはデータベースの一元化が必要である。

5. おわりに

本論文では EDgrid のユーザの意見を聞きながら、NEEScentral の機能を部分的に拡張し、EDgrid Central を設計した。実際の運用や性能を考えると不足している機能も少なくないが、プロトタイプシステムを試験的に運用して、テストユーザの意見を取り入れながら改善を図っていく予定である。

謝辞

本研究は(独)防災科学技術研究所が進める「実大三次元振動破壊実験施設 (E-ディフェンス) を活用した国内外共同モデル研究」において、グリッド技術の適用性に関する防災科研との共同研究の一部として実施しました。本研究を遂行するにあたり、ご支援を頂いた慶應大学 三田彰先生をはじめ、EDgrid プロジェクトメンバに感謝いたします。また、本設計を行うにあたり貴重なご意見を頂いた EDgrid Central 開発チームの皆様にも感謝いたします。

参考文献

- 1) Sato, M. and Inoue, T.: GENERAL FRAMEWORK OF RESEARCH TOPICS UTILIZING THE 3-D FULL-SCALE EARTHQUAKE TESTING FACILITY, *Journal of Japan Association for Earthquake Engineering*, Vol. 4, No. 3 (2004).
- 2) Ohtani, K., Ogawa, N., Katayama, T. and Shibata, H.: CONSTRUCTION OF E-DEFENSE (3-D FULL-SCALE EARTHQUAKE TESTING FACILITY), *Proceedings of the International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia* (2003).
- 3) Mita, A.: EDgrid AS CYBER INFRASTRUCTURE FOR E-DEFENSE, *Proceedings of the International Symposium on Innovation and Sustainability of Structures in Civil Engineering* (2005).
- 4) SRB: Storage Resource Broker, <http://www.sdsc.edu/srb/>.
- 5) NEES: <http://www.nees.org/>.
- 6) NEESit: <http://it.nees.org>.
- 7) Warnock, T. and Einde, L. V. D.: Managing Research Data in NEEScentral, http://it.nees.org/documentation/library/meta_data/000281.php (2005).
- 8) Spencer Jr., B., Finholt, T. A., Foster, I., Kesselman, C., Futrelle, C. B. J., Gullapalli, S., Hubbard, P., Liming, L., Marcusiu, D., Pearlman, L., Severance, C. and Yang, G.: NEESGrid: A Distributed Collaboratory for Advanced Earthquake Engineering Experiment and Simulation, *Proceedings of 13th World Conference on Earthquake Engineering (WCEE)* (2004).
- 9) Spencer, B. F., Elnashai, A., Nakata, N., Saliem, H., Yang, G., Futrelle, J., Glick, W., Marcusiu, D., Ricker, K., Finholt, T., Horn, D., Hubbard, P., Keahey, K., Liming, L., Zaluzee, N., Pearlman, L. and Stauffer, E.: The MOST Experiment: Earthquake Engineering on the Grid, Technical Report NEESgrid-2004-41, NEESgrid (2004).
- 10) Whitmore, S., Einde, L. V. D. and Warknock, T.: NEESit Software Overview: IT Tools That Facilitate Earthquake Engineering Research and Education, *Paper submitted to 8NCEE Conference*.
- 11) Warnock, T., Deng, W. and Miller, L.: The GridAuth Credential Management System, http://it.nees.org/document/pdf/gridauth_credential_management.pdf.