

強震観測網を用いた都市構造物群の耐震改修戦略システムの開発

研究代表者 源栄正人（東北大学工学研究科災害制御研究センター 教授）

1. はじめに

近年頻発する地震災害に対して、強く安全で豊かな住宅・社会基盤に対する社会的ニーズが高まっている。特に都市・構造物群の耐震改修が急がれるが、現実にはそのための予算は限られている。さらに、宮城県沖や東南海・南海では次の地震の発生が迫っており、時間的な余裕も限られている。このように地震の発生確率が年々高まり、地震危険度が経時的に変化する地域では、限られた予算と時間の中で、構造物の耐震性と重要度を考慮しつつ、地域の防災力を高めるように戦略的に改修方法や優先順位を決定する方法の確立が求められている。

その際、現在の既存建物の耐震診断・補強においては、地震環境や地盤環境により地震動レベルに明確な相違があるにもかかわらず、地震動の場所による相違がほとんど考慮されていない。また、たとえそのような地震・地盤環境の相違を考慮した地震危険度評価を行ったとしても、それを実際の構造物群の耐震改修に反映させるためには、構造物群の耐震性や被害率関数を実証的に把握しておく必要がある。

以上の背景を踏まえ本研究では、発生確率がきわめて高い宮城県沖地震による震災が懸念されている仙台地域を対象として、主に学校群に小型強震計からなる高密度地震観測網を構築する。この強震観測システムを用いて地域の地震環境・地盤環境を考慮した地震動・地震危険度評価法を確立するとともに、地域防災拠点である学校群の耐震性能評価を行う。その結果を用いて地震被害想定を行い、意思決定理論に基づいて戦略的に構造物群の耐震改修方法や優先度を決定するシステムを構築する。これにより、宮城県沖地震や長町 利府断層に対する社会基盤施設の地震被害の軽減を目指す。

平成 15 年度は新規強震観測網を構築するとともに、地域の地震環境・地盤環境を考慮した入力地震動評価および耐震改修方法について既往データを用いた検討を進めた。項目ごとの成果を下記に示す。

2. 新規高密度強震観測網設置

政府の地震調査研究推進本部の長期評価により、各地域の地震発生確率が発表されているが、そのうち宮城県沖地震の発生確率は、2003 年時点で 20 年以内に 88%、30 年以内に 99%であり、他の地域に比べて大地震の発生確率が極めて高い地域環境にある。

このような社会状況をふまえ、主に仙台市内の防災拠点である学校群に対して、強震計を 21 カ所新規設置した。その際、項目 3 で地震動強さの分布を実証的に把握できるように、既存の観測網を面的に補填するように配置した。また、項目 4 で耐震性を実証的に把握できるように、5 カ所については構造物基礎および構造物上部に超小型強震計を設置した。図 1 に設置場所の分布を示す。なお、設置申請手続きに時間がかかり当初予定より設置が遅れた（年度内には設置）ため、その間地震計を昨年 7 月の宮城県北部地震の余震観測に振り向け、震源域の地震動推定の検討などに用いた。

福島県沖の地震に対して得られた観測波形と応答スペクトルを、既存観測網で最も堅い地盤である玉川の記録とともに図2に示す。図1に示した四紀層底面分布は長町-利府断層の東側で深くなっているが、図2から観測記録は断層の東側で直達波・後続波とも振幅が大きいこと、今回設置した観測点の記録はほぼ全周期帯で玉川の記録を上回り、さらに断層の東側の No.2-4 の記録には共通して周期2秒程度の山があることが確認できる。このように、今回設置した観測網により、地盤環境の相違に起因する仙台市内の地震動の相違を実証的に把握できるようになった。

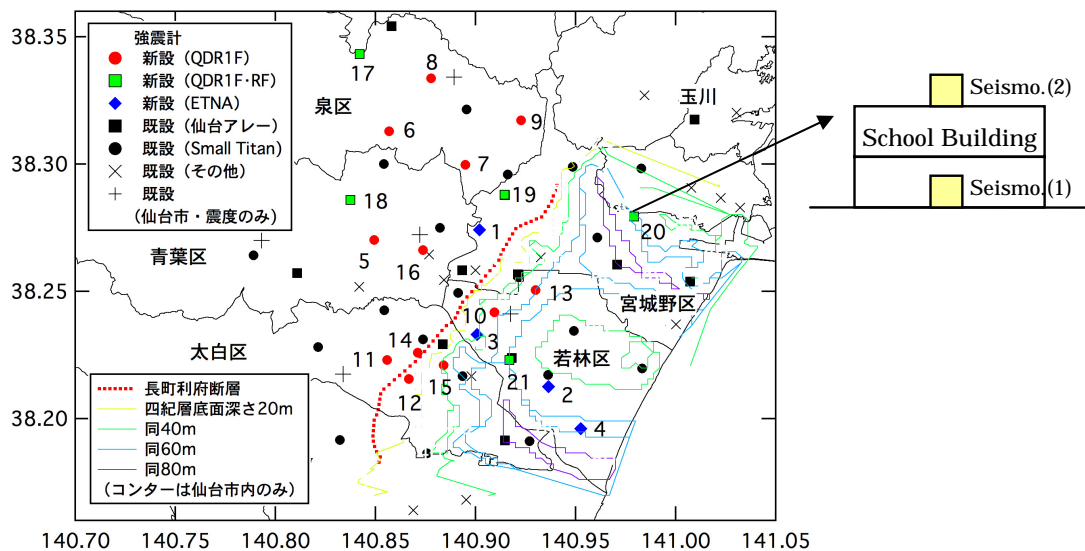


図1 地震計設置場所

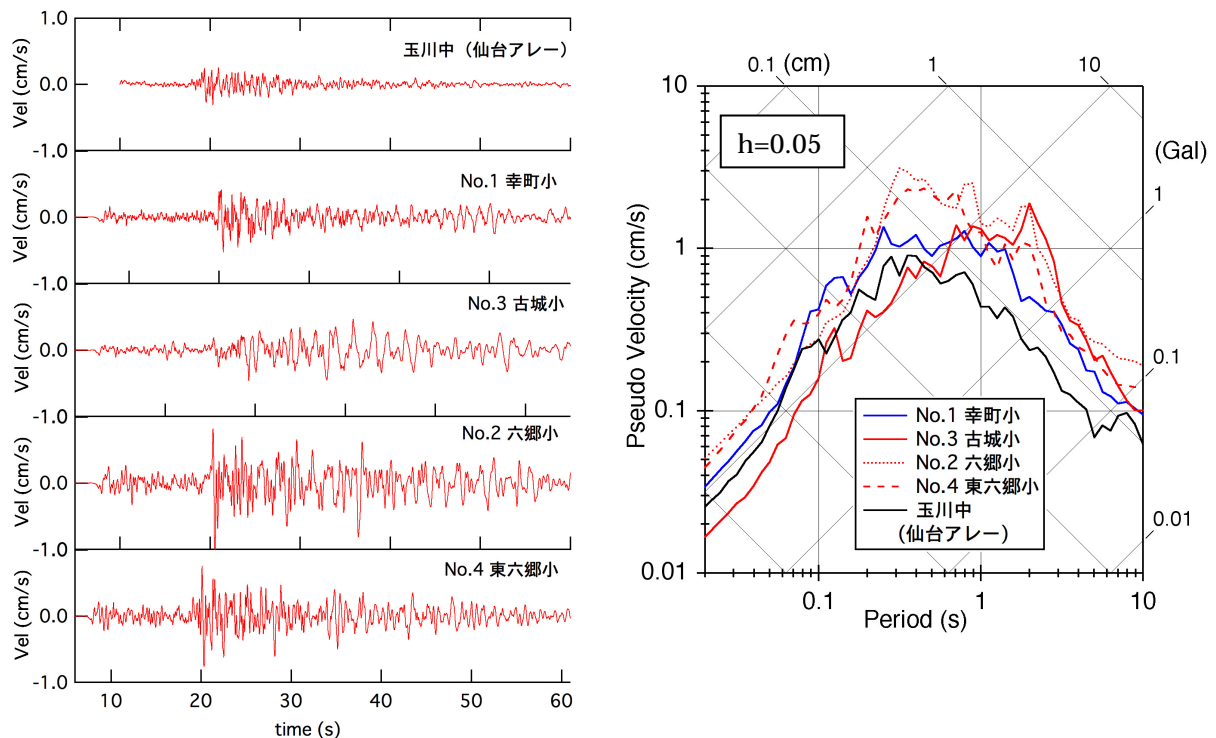


図2 観測記録の速度波形(左)と擬似速度応答スペクトル(右)(No.1-4は新規設置観測網)

3. 地域の地震環境と地盤環境を考慮した入力地震動特性評価に関する研究開発

平成 15 年度は既往経験式と宮城県内の内陸・海溝型の被害地震記録を比較し，図 3 に示すように内陸地震については両者は概ね整合するが，海溝型の地震では観測記録の方が大きく，経験式を 2 倍にしておおむね対応する傾向が得られた。

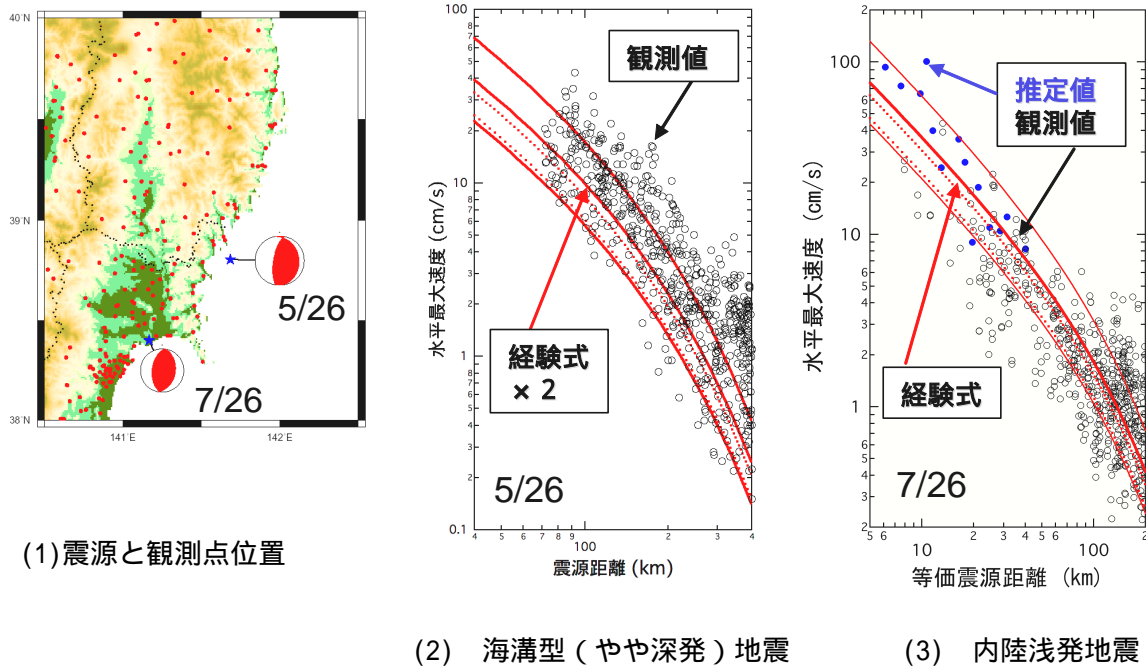


図 3 既往経験式と 2003 年の東北の被害地震記録との比較

この結果に基づいて海溝型の地震に対しては経験式の振幅を 2 倍に修正し，宮城県に影響を及ぼす海溝型地震や内陸活断層を対象として地震の発生時期を考慮した地震ハザード評価を行った。図 4 に仙台市内での評価例を示す。宮城県沖地震と長町・利府断層による地震の影響が大きい，最大速度が大きくなるにつれ後者の影響が支配的となっていることがわかる。

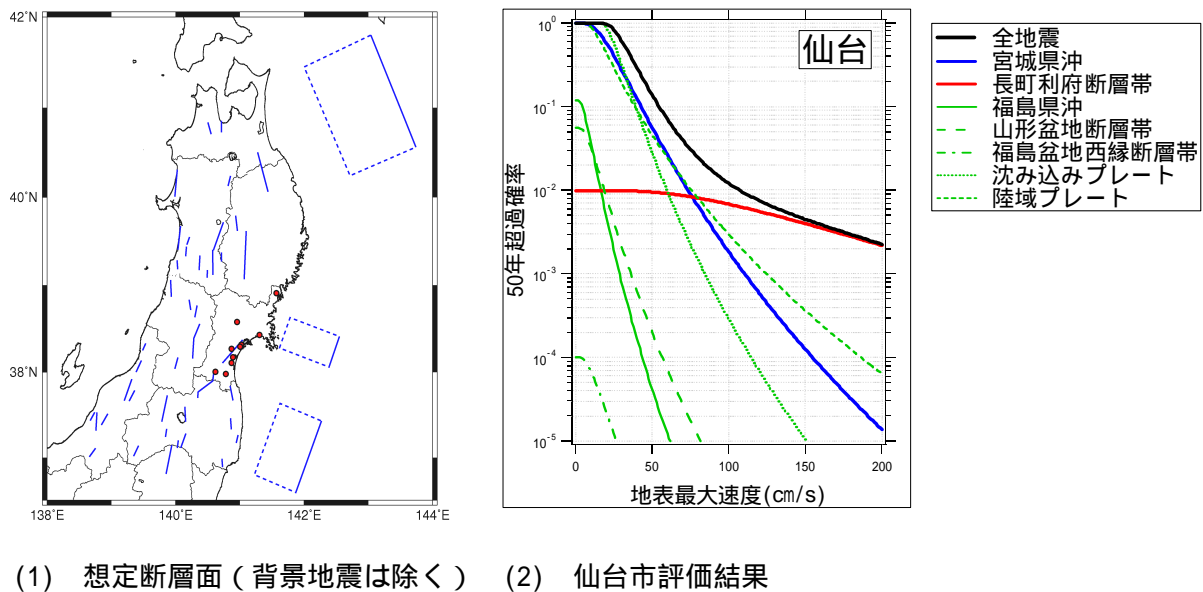


図 4 仙台における地震ハザード評価結果（最大速度）

なお、これらの地震に対し、地域の地盤環境を考慮した一様ハザードスペクトルの評価手法を開発した。また、仙台市の深部3次元地盤構造の整理・データベース化を行うとともに、3次元地盤構造を考慮するための効率的な地震動解析法の開発を行った。さらに、項目1で得られる複数地点の強震記録から、自己組織化マップによる補間法を用いて仙台市内の地震動分布を精度よく推定するためのシステム開発を行った。

4. 耐震改修戦略システムの構築

平成15年度は、地域の地盤環境の違いにより生じる地震被害に対する格差を損傷額として評価する手法および、構造物損傷などの直接被害と避難者収容などの間接被害の双方を考慮した、耐震改修優先順位を決定する手法の開発を行った。

前者については、1978年宮城県沖地震における住友生命ビルの強震記録に基づいて表層・深部地盤構造の相違を反映した仙台市内の地表の地震動スペクトルを推定し、RCのモデル構造物を設定して図5のフローにしたがって損傷額を推定した。図6はそれに高さ別建物棟数の分布を考慮して推定した仙台市内の総損傷額である。長町利府断層（図1参照）の東側の地盤が軟らかく揺れが大きい場所で、かつ仙台中心部に近く建物棟数が多い場所で損傷額が大きくなっていることがわかる。このように、揺れ易さ（自然環境）と建物分布（社会環境）の双方を考慮した損傷額の推定手法を開発した。

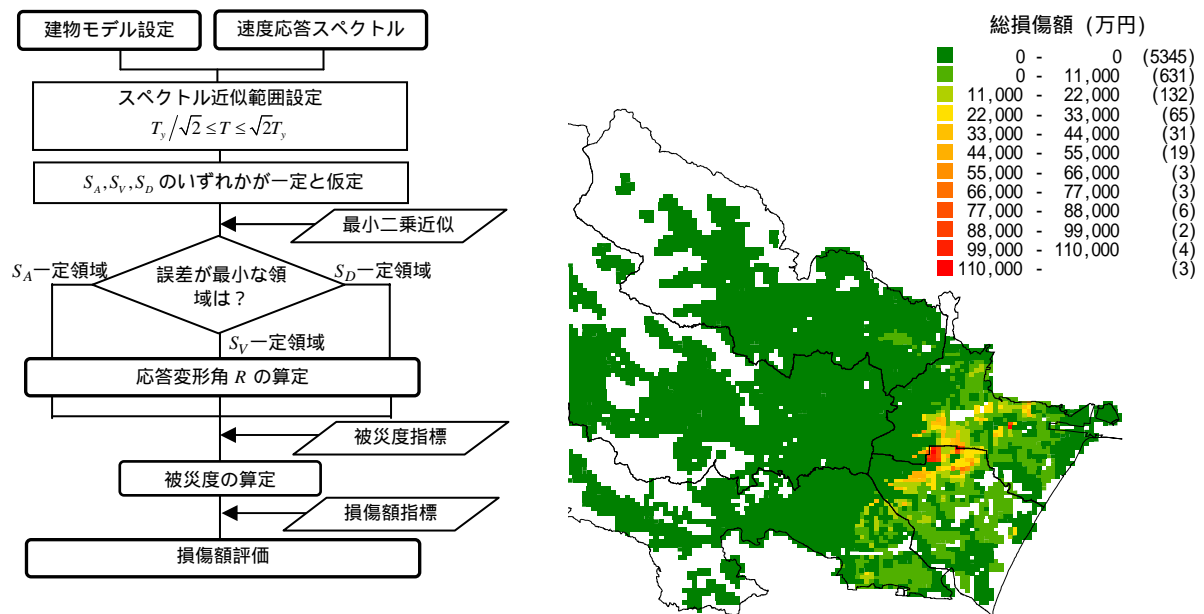


図5 損傷額評価フローチャート

図6 入力地震動の地域内格差と高さ別建物分布を考慮した宮城県沖地震に対する推定総損傷額

後者については、まず既存公共建築物の耐震性能評価のために、構造物強度だけでなく地盤指標を考慮した耐震診断用の判定指標を設定した。この指標に対して図7に示すAHP（階層分析法）を用いて、構造物損傷などの直接被害と避難者収容などの間接被害の双方を考慮した耐震改修優先順位を決定する手法を開発した。図8は仙台市の公共建築物の耐震診断データに基づき、この

手法で耐震改修優先順位上位 50 位を評価したものである。図には通常の構造物強度のみを考慮した場合も示しているが、地盤指標を考慮すると地盤増幅率が大きな長町 利府断層東側の優先度が高くなり、上位 50 位のうち 31 棟が入れ替わる結果となった。

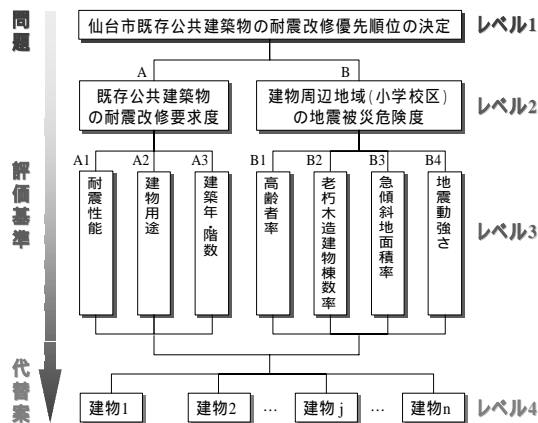


図7 直接被害・間接被害を考慮した AHP の階層構造モデル

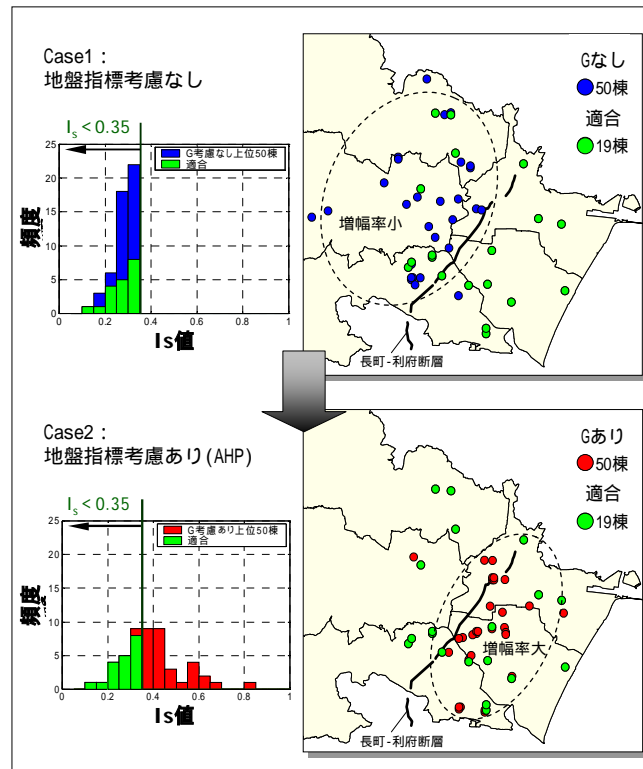


図8 地盤指標・間接被害の考慮の有無による耐震改修優先順位上位 50 棟の比較

5. 平成 16 年度の研究内容の概要

(1) 高密度観測網設置

平成 15 年度に設置した観測網による強震観測を行い、実測に基づく地震動分布の評価を行う。さらに既往観測網とのネットワーク化を進め、統一データベースを作成する。

(2) 地域の地震環境と地盤環境を考慮した入力地震動特性評価に関する研究開発

地域の地震タイプ別の地震動特性を評価すると共に、平成 15 年度に整理したデータおよび解析手法を用いて、深部地盤構造の不整形性や表層地盤の非線形性を考慮した増幅特性を評価する。これらに基づいて仙台地域の地震・地盤の地域性を考慮した地震ハザードマップを作成する。なお、ここで構築する深部 3 次元構造および地震動解析手法は最近注目されている長周期地震動の評価に有効であり、付加価値が高いと考えられる。

(3) 耐震改修戦略システムの構築

平成 15 年度に構築した地盤指標を考慮した優先度評価手法と項目(2)で構築した地震ハザード評価手法を統合し、意思決定理論に基づいて戦略的に耐震改修の優先度を決定するシステムを構築する。