

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公共施設建物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、社会基盤施設の地震被害の軽減を目指す。

平成 16 年度は新設高密度強震観測網による地震観測と既存地震観測網とのネットワーク化、地域の地震環境と地盤特性を考慮した入力地震動特性評価に関する研究開発および耐震改修戦略システムの構築を行った。項目ごとの成果を下記に示す。

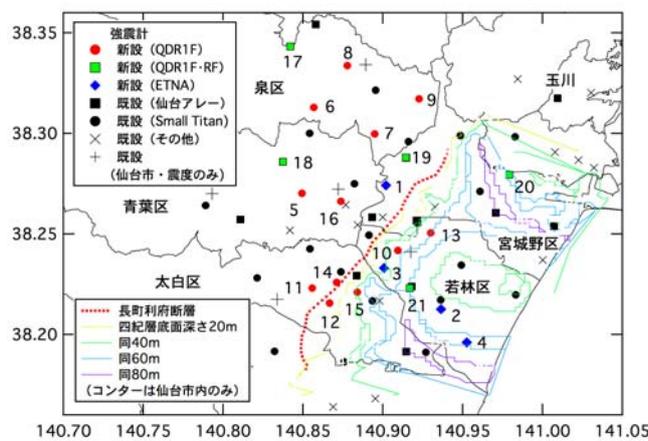


図1 仙台市強震観測点分布

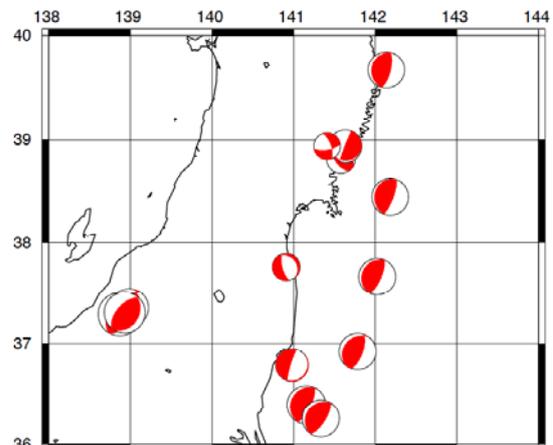


図2 平成 16 年度観測地震分布

2. 新設高密度強震観測網による地震観測と既存地震観測網とのネットワーク化、

昨年度設置した観測網による強震観測を行い、東北の太平洋沿岸および新潟県中越地方で発生した14地震を観測した。また、本研究で設置した観測網と仙台市内及び宮城県の既往地震観測網とのネットワーク化を進め、統一的なデータサーバを構築した。仙台市における既存および新規観測網の観測点分布を図1に、新規観測網による平成16年度の観測地震の分布を図2に示す。なお、平成17年8月16日宮城県沖地震(M7.2)の際に新規観測網で貴重な記録が得られている。

3. 地域の地震環境と地盤特性を考慮した入力地震動特性評価に関する研究開発

2の観測記録から求めたスペクトル特性の地域分布と昨年度データベース化した地盤構造との対応を検討し、両者が概ね対応することを確認した。その結果に基づき、昨年度用いた海溝型と内陸型の地震励起特性の相違を考慮した距離減衰式に、上記の地盤構造の非線形応答を考慮して一様ハザードスペクトルを求め、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した。評価対象地域と表層地質を図3に、スペクトル評価フローを図4に、得られた結果の例を図5に示す。短周期では利府長町断層よりも西側の振幅が大きいが、長周期になるにつれ断層西側の振幅が大きくなる傾向が確認できる。

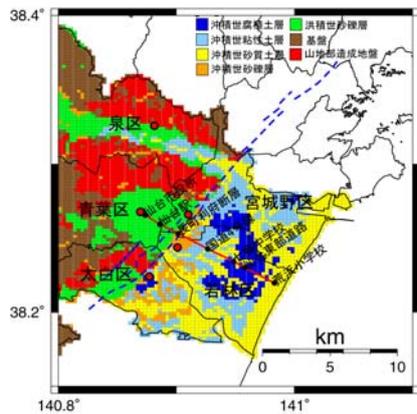


図3 評価対象地域

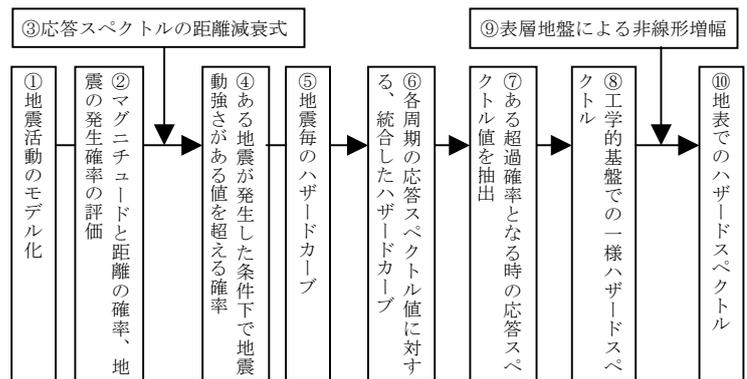


図4 評価フロー

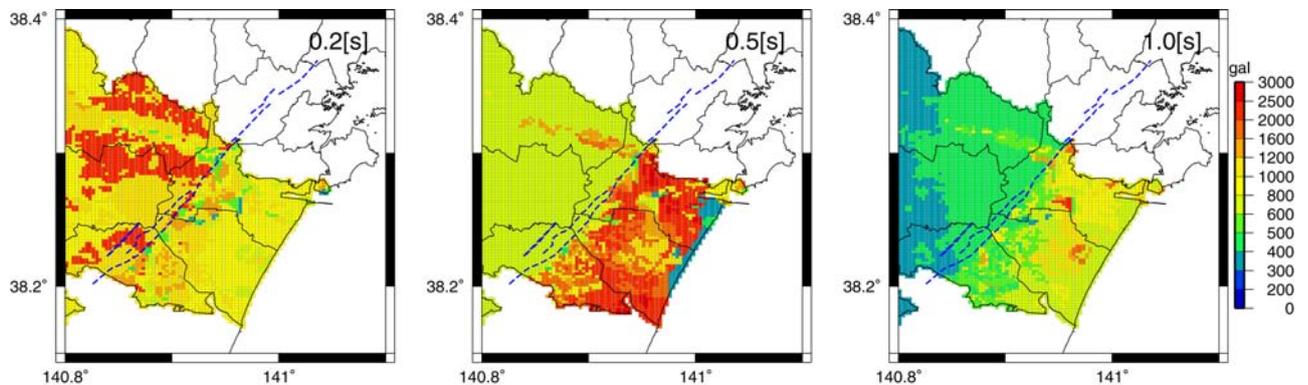


図5 仙台市の地表ハザードスペクトルの周期別分布

一方、地域の3次元地盤構造を反映した地震動評価のための波動伝播解析手法としてウェーブレート変換に基づく新たな解析手法の検討を合わせて行った。

4. 耐震改修戦略システムの構築

行政の防災担当者が耐震改修優先順位に関する意思決定を行うための支援システムとして、仙台市の公共建築物を対象とした耐震改修支援システムの構築を行うとともに、木造建物群の耐震改修支援システムについても検討を行った。

構築した既存公共建築物に対する耐震改修支援システムでは、対象とした建築物について、どのような地震に対して、どのような優先順位で、どのような補強（目標とする I_s 値（構造耐震指標）の設定）を行えばよいかを検討することができる。

建築物の耐震改修優先順位は、①「直接被害の低減」、②「間接被害の低減」、③「建替え計画との整合性」という3つの評価基準により総合的に評価される。①は地震時に建物がどれだけ被害を受けるかを評価する基準で、設定した地震に対する建物位置の地震動の大きさと建物の耐震性を考慮し、大きな被害を受けるものを優先する。②は地震時に建物が被害を受けることで、どれだけ社会的な影響を及ぼすかを評価する基準で、地震時に周囲に与える影響が大きいものを優先する。③は建替えによる費用対効果と改修による費用対効果を評価する基準で、改修による利益（費用対効果）が大きいものを優先するものである。

対象建築物の3つの評価基準に対する評価値は、あらかじめ地震応答解析などのシミュレーションにより算出した結果より与えており、各評価値を足し合わせたもの（優先度）が大きいものほど耐震改修の優先順位が高いものとなる。しかし、耐震改修の優先順位決定問題に対して、各評価基準が他の評価基準よりどの程度重要かは利用者によって考え方が異なる。そこで構築したシステムでは、優先度の決め方に利用者の意思決定を反映できるように、階層化分析法（AHP）の対比較による各評価基準の重み付けで評価値の足し合わせ方を考慮できるようにした。

開発したシステムの操作フローを図6に、入出力例を図7に示す。利用者（意思決定者）はシステム画面より、まず耐震改修の対象となる建築物群を選択する。建築物群の選択では、耐震診断を行った建物のデータベースから、全ての建物あるいは特定の建物を選択することができる。

次に、対象とする地震を選択する。本システムにデータベース化されている地震動は、自治体の被害想定で行っている特定のシナリオ地震や国土交通省告示による地震動に加え、項目2で求めた確率論的地震ハザードも含まれている。そのため、地震の切迫性（発生確率）や複数の地震の影響も考慮して改修順位を決定できる。

引き続き、建築物の目標とする耐震性能（目標 I_s 値）の設定方法を選択する。耐震補強のための目標 I_s 値は、“指定 I_{s0} 値”、“最適 I_s 値”という2通りの目標値を設定することができる。指定 I_{s0} 値は、耐震診断基準に改正基準法の考え方（表層地盤の増幅特性）を取り入れたものである。最適 I_s 値による場合は、 I_s 値の上昇値の最適値を図8のように遺伝的アルゴリズムにより決定するものであり、評価関数を補強後損傷額と補強費用の和とし、これが最小となるように I_s 値を最適値として決定する。なお補強前、補強後、あるいは最適 I_s 値を算出する過程では、設定した地震動に対する損傷度評価を行っている。地震動に対する建物応答は限界耐力計算法を使用しており、損傷度は塑性率の算定により評価した。

最後に、意思決定者によって判断される各評価基準の重要度（耐震改修優先順位決定問題に対してどの評価基準がどれくらい重要か）を設定し、AHP 演算（重み付き評価値の足し合わせ）により優先度評価を行う。優先順位の演算結果は表形式と GIS マップ形式で出力することができる。

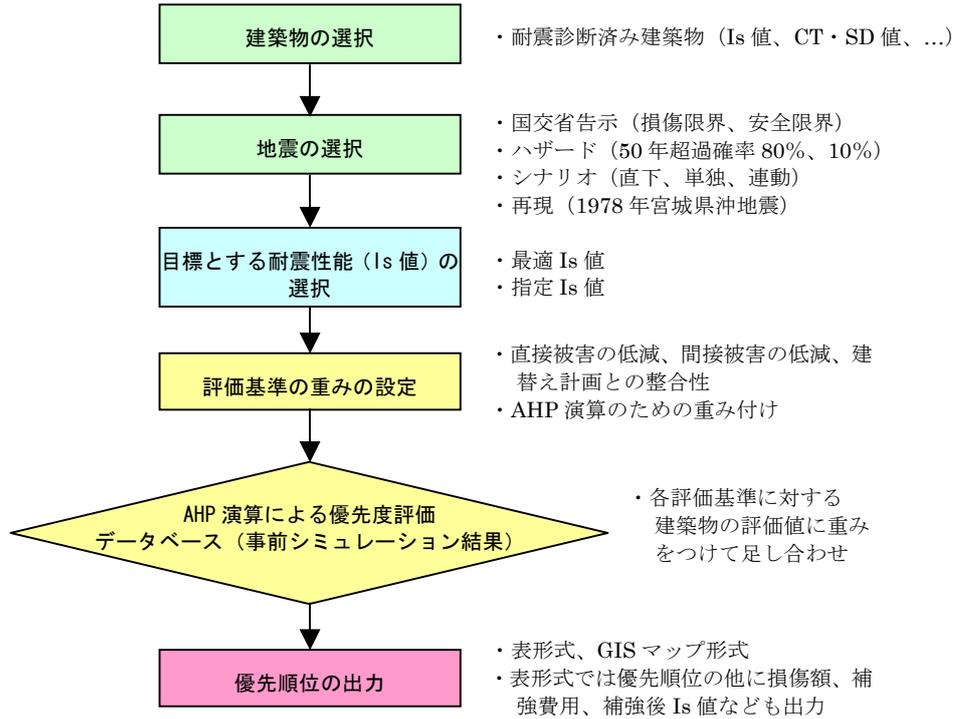


図6 システム操作の流れ

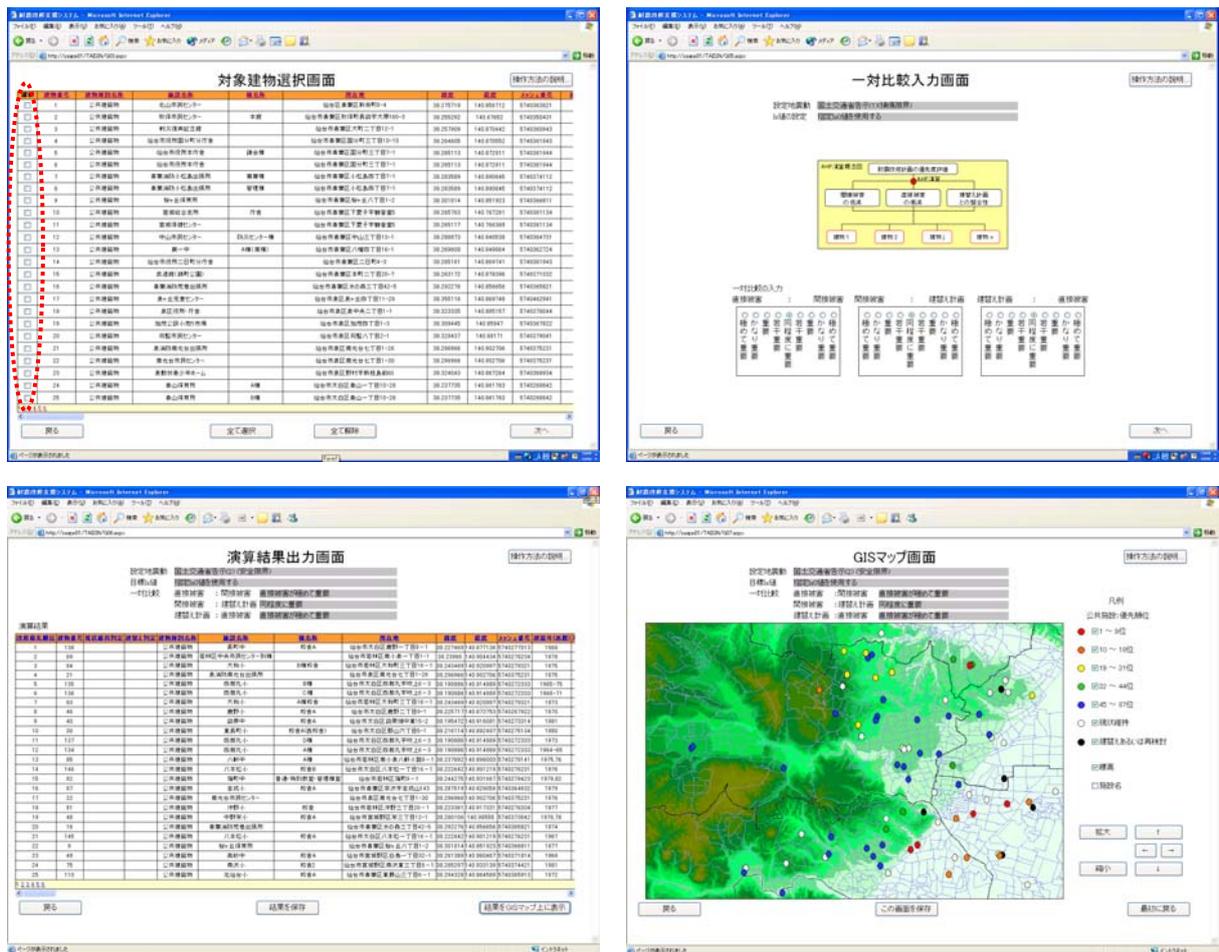


図7 耐震改修支援システム操作画面例(上段が入力, 下段が出力画面)

図9は仙台市公共建築物281棟を対象に、本システムで改修順位を決定した例である。建物強度(Is値のみ)を考慮した場合に比べ、地盤による地震動強さの相違が考慮されている。その結果、上位30棟のうち17棟が入れ替わり、「たとえIs値が高くても、地震動が他よりも大きく予想される場合は改修順位を高くする」結果が得られている。

このように本システムを用いることで、建物強度のみならず、地盤や震源の条件、また社会的な影響度などを総合的に評価して改修順位を決定できる。

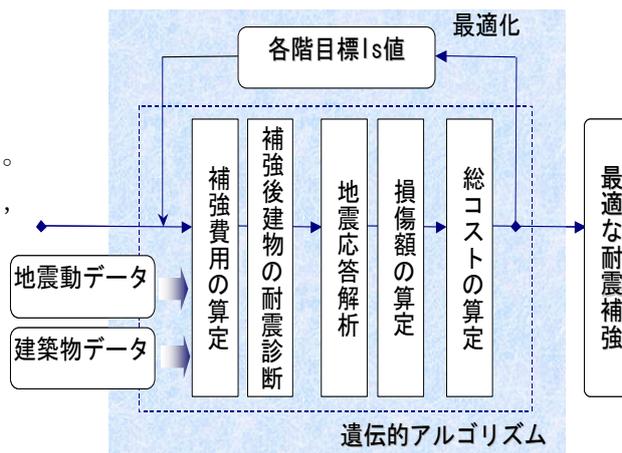


図8 最適 Is 値を用いた場合のフロー

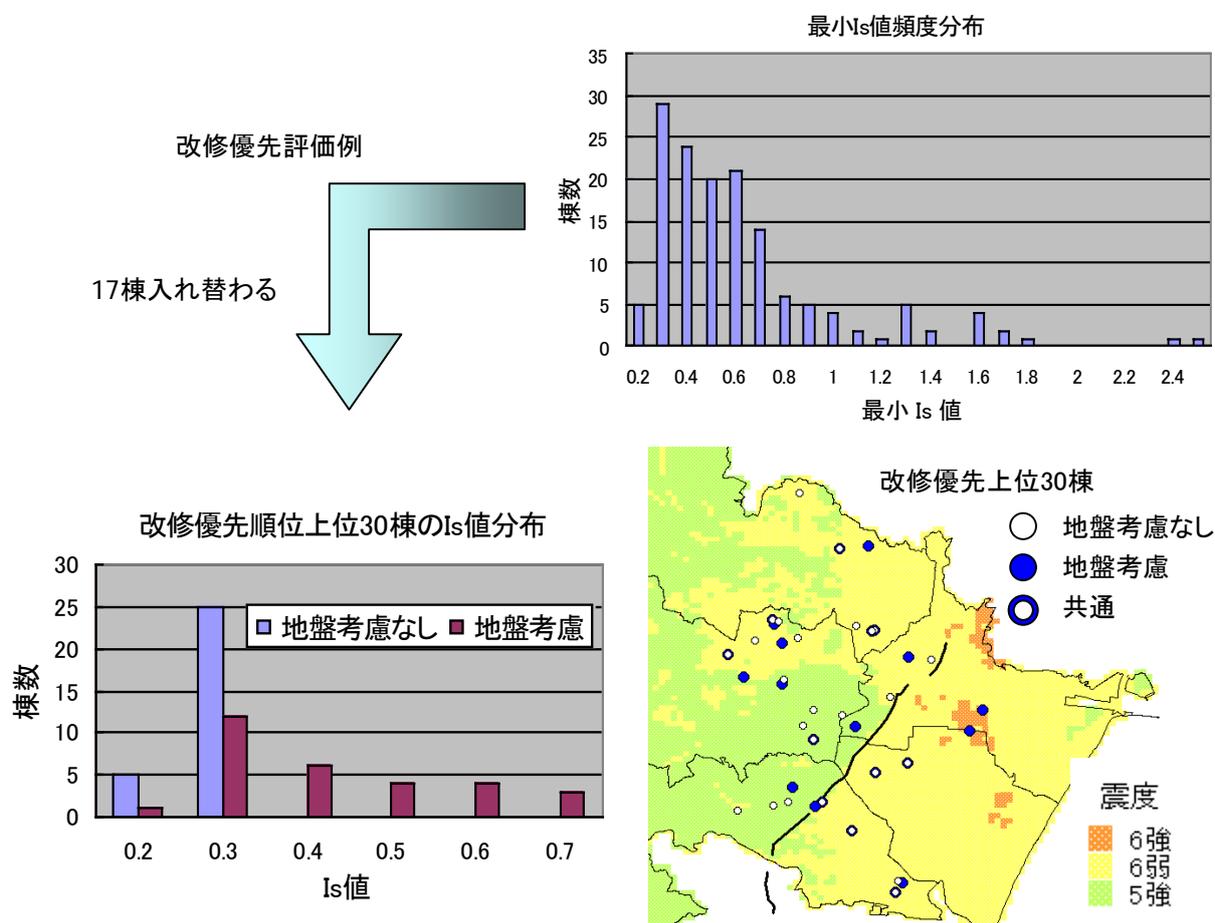


図9 本システムによる耐震改修優先順位の決定例

また、木造建物群に対しては、耐震改修助成金交付申請に対する行政担当者の優先順位決定支援を目的として、250mメッシュの地震動データと建設年代区分ごとの平均的な耐震性能に基づいて限界耐力設計法による応答評価を行い、AHPを用いて建設年代に応じた町丁目単位の改修優先度を評価するシステムの検討を行った。