

(別紙 1)

建設技術研究開発費補助金総合研究報告書概要版

研究課題名：低コスト・高精度な地盤調査法に基づく宅地の液状化被害予測手法の開発

研究期間（元号）：平成 24 年度-平成 25 年度

代表者名：大島昭彦（大阪市立大学・教授）

研究代表者名：大島昭彦（大阪市立大学・教授）

共同研究者名：三村衛（京都大学・教授）、田中洋行（北海道大学・教授）、田中洋行（北海道大学・教授）、平田茂良（大和ハウス工業(株)総合技術研究所・副所長）、深井公（積水ハウス(株)品質管理室・課長）、利藤房男（応用地質(株)エンジニアリング本部技術管理部・部長）、下平祐司（(一財)日本建築総合試験所建築確認評定部・部長）、金哲鎬（報国エンジニアリング(株)技術本部・技術統括部長）、飛田哲男（京都大学・准教授）、山本 浩司（(一財)地域地盤環境研究所・主幹研究員）

補助金交付総額（円）：18,600,000 円

研究・技術開発の目的：

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）では、東北・関東地方で砂地盤の液状化現象によって約 2 万 7 千棟もの戸建住宅が被災した。この原因は埋立、埋戻し、盛土、干拓などによる人工改変地に対して適切な地盤改良・補強を施していなかったことにあるが、そもそも宅地に対する地盤調査の重要性や液状化対策の認識が低かったことが素因と考えられる。

現在、宅地に対する地盤調査法はスウェーデン式サウンディング（SWS）試験が標準であるが、この試験結果のみでは液状化判定はできない。一方、土木構造物や中規模以上の建築物に対しては、ボーリング調査（標準貫入試験と採取試料の粒度試験を含む）によって液状化判定を行っているが、これを宅地調査に適用するのはコスト的に無理がある。東日本大震災を経て、現在、宅地の液状化判定と対策のための地盤調査法の開発が喫緊の課題となっている。

本研究では、まず地震時に宅地に要求される地盤性能（沈下量、傾斜角など）の評価手法を検討し、宅地の地盤調査法で求めるべき地盤特性の仕様を求める。次に、宅地調査として標準的に使われる SWS 試験に加え、最近利用が増えている大型、中型動的コーン貫入試験（SRS、MRS）を対象とし、高精度に地盤強度と土質判定が得られるように改良し、低コストのまま液状化判定ができる地盤調査法を開発する。なお、液状化判定を目的とする宅地の調査深度は 10m までとする。さらに、この地盤調査法で得られた地盤特性を有効応力原理に基づく数値解析法に取り込んで本研究による液状化判定・被害予測を検証する。同時に、既往および本研究の調査結果を取り入れて液状化判定・被害予測の機能を持たせた「宅地地盤情報データベース」を開発する。これらの研究項目によって、低コスト・高精度な地盤調査法に基づく宅地の液状化被害予測手法の開発を行うのが本研究の目的である。

圧倒的に数の多い宅地の液状化問題を対象に、既存の地盤調査法を低コストのまま高精度な地盤特性が得られるものに改良して、それに基づく液状化判定と被

害予測手法を開発することが研究目標である。具体的な研究目標は以下の3点である。

- ①SWS 試験と SRS、MRS 試験を高精度に地盤強度と土質判定が得られるように改良し（実証実験）、液状化判定ができる地盤調査法を開発する。
- ②上記地盤調査法で得られた地盤特性を有効応力原理に基づく数値解析法に取り込んで本研究による液状化判定・被害予測を検証する。同時に、既往及び本研究の調査結果を取り入れて液状化判定・被害予測の機能を持たせた「宅地地盤情報データベース」を開発する。
- ③上記の地盤調査法に基づく宅地の液状化被害予測手法を開発し、実用化を図る。これにより、宅地の液状化検討のための地盤調査費用を従来の手法（ボーリング調査に基づくもの）よりも 40%～60%程度削減させる。

研究・技術開発の内容と成果：

本研究開発の目的である低コスト・高精度な地盤調査法に基づく宅地の液状化被害予測手法を開発するために、以下の6つの個別研究題目について研究を行い、以下の結論を得た。

(1) 宅地の液状化判定・被害予測の評価手法の検討

まず、宅地の性能評価は傾斜角で判定するのが基本で、傾斜角が 10/1000 を超えると健康障害が発生し、16.7/1000 を超えると建物に有害な沈下・変形が生じて修復不能な大規模半壊以上の被害となる。しかし、傾斜角の事前予測は難しいので、それに相関する不同沈下量で判定することに置き換えることができ、80～100mm を超えないことが妥当と考えられる。ただし、不同沈下量も事前予測は難しいので、地表面沈下量を予測することにより、液状化被害予測を行うこととなる。

宅地といえども液状化判定を目的とする宅地の調査深度は 10m まで必要で、FL 法による液状化判定が有効である。宅地の液状化判定に必要な地盤特性として、地盤強度としての N 値（換算 N 値）、サンプリングした土試料（少なくとも 1m 間隔）の細粒分含有率 F_c 、粘土分含有率又は塑性指数 I_p 、及び地下水位と各層の単位体積重量の情報が必要である。

(2) 液状化判定可能な動的コーン貫入試験の開発

SRS、MRS 試験実施後の試験孔を利用して、通電型水位計によって地下水位を精度よく測定できる。また、SRS 試験用の開閉式新型サンプラー、MRS 試験用として手動式バイブロサンプラーを用いれば、液状化判定のための土質判定として、精度よく細粒分含有率 F_c 値を測定できる。

SRS 従来機・自重低減機の N_d 値と N 値を比較した結果、砂質土では $N_d \approx N$ となるが、粘性土では $N_d > N$ となった。土質によって N_d 値と N 値の関係が異なる理由は、中実コーンである SRS と中空サンプラーである SPT の貫入メカニズムの相違から説明することができた。

MRS 従来補正、新補正と SRS 自重低減機の N_d 値を比較した結果、新補正の N_d 値は SRS 自重低減機と整合し、従来補正ではやや小さめの N_d 値を与えた。今後、SRS は自重低減機が標準的な試験機となるので、MRS の補正方法は新補正によるのが妥当と判断できた。

(3) 液状化判定可能なスウェーデン式サウンディング試験の開発

SWS 試験実施後の試験孔を利用し、有孔管（中空ロッド）を挿入して交流式比抵抗水位計で地下水位を計測する手法は精度が高く、ボーリングでの地下水位と概ね一致した。また、測定棒を挿入してそのぬれ具合から地下水位を測定する方法でも測定精度は問題ないと判断された。一方、土試料の簡易サンプラーとして、SWS 試験と併用して別孔で削孔する自動式バイブロサンプリング機による試料採

取は SPT 試料の結果と概ね一致し、実用的なサンプリング方法であることがわかった。さらに、SWS 試験孔を利用した簡易サンプラーとして、ドリル式、開閉式、開閉貫入式を比較し、ドリル式はロームなどを対象とする場合は、簡便であり比較的精度が高いこと、開閉式と開閉貫入式は地下水位以深でも試料採取が可能であった。

SWS 試験による W_{sw} 、 N_{sw} と N 値の関係を再検討した結果、砂質土では、かなり大きくばらつくが、稲田式は平均的な関係を表していることがわかった。その理由は、SWS は静的貫入と回転貫入という異なるメカニズムの貫入方式を採り、基本的に排水条件での試験であるのに対し、単純な動的貫入である SPT は非排水条件での試験であるためと考えられた。

(4) 数値解析による液状化判定・被害予測の検証

液状化による沈下量の簡易推定式を求めることを目的とし、有効応力解析法を用いて、本研究で調査実施した4地点に対して1次元の有限要素解析を行った。その結果、既往の推定式では考慮されていない、表層の非液状化層厚(地下水位以浅と以深の層厚を考慮)の影響を考慮した沈下量推定式を提案し、解析結果と良い一致を示すことが確認できた。

(5) 宅地地盤情報データベースの開発

既存の宅地地盤情報及び新たな地盤調査法による調査情報を統合化するための宅地地盤情報データベースの基本設計を行い、その基礎部分となるシステム機能の提案と検証構築(試作)を行い、この検証構築を通して提案するシステムの実現化の第一歩を示した。

(6) 低コスト・高精度な宅地の液状化被害予測手法の開発

まず、本研究による SWS、SRS、MRS 試験に基づく液状化判定手法を示した。次に、その液状化判定結果に基づいて、液状化被害の予測手法を示した。被害予測は地盤沈下量を予測し、それから住宅の傾斜角を予測する手法を提案した。最後に、「低コスト・高精度な地盤調査法に基づく宅地の液状化被害予測手法」に基づく実施マニュアルをまとめた。

研究成果の刊行に関する一覧表：

刊行書籍又は雑誌名(雑誌のときは雑誌名、巻号数、論文名)	刊行年月日	刊行書店名	執筆者氏名
滋賀県守山市における地盤調査一斉試験(その1)～(その12)	平成25年7月	地盤工学会、第48回地盤工学研究発表会、pp.171-194.	大島昭彦・他
各種地盤調査法の一斉試験による比較	平成25年12月	日本建築学会、小規模建築物の地盤調査法シンポジウム「宅地の液状化判定のための地盤調査法」、pp.7-16.	大島昭彦
低コスト・高精度な地盤調査法に基づく宅地の液状化被害予測手法の開発	平成26年5月 (印刷中)	地盤工学会、330p.	大島昭彦・他
大型動的コーン貫入試験における打撃装置自重の影響、他	平成26年7月 (投稿中)	地盤工学会、第49回地盤工学研究発表会、No.37～49	大島昭彦・他

研究成果による知的財産権の出願・取得状況：

なし。

成果の実用化の見通し：

本研究で開発した SRS、MRS、SWS による液状化判定の調査費用は、ボーリング調査 (SPT と採取試料の粒度試験を含む) に比べて、かなり安く、複数箇所実施してもなお 40%～60%のコスト縮減となる。また、調査に要する時間もボーリング調査では数日要するが、SRS、MRS、SWS は 1 日で複数箇所実施できることから、今後、本研究による宅地の液状化判定・被害予測手法が標準的なものとなると考えられる。

その他：

この研究の実施に当たっては、公益社団法人地盤工学会内に産官学の合計 23 名の委員からなる「低コスト・高精度な地盤調査法に基づく宅地の液状化被害予測研究委員会 (委員長：大島昭彦)」を設置し、研究の遂行に対して有益な情報と適切な助言を幅広く収集した。また、同じ地盤工学会内の既存の震災関連の特別委員会や研究委員会とも連携して研究を推進した。