

# 宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針

吉田 桂治

東日本大震災により、東京湾岸の宅地を中心に広域な宅地の液状化被害が生じた。このような被害を受けて、国土交通省では被災実態を分析した上で、戸建て住宅を対象とした宅地の液状化被害可能性を判定する指針を策定し、平成25年4月に公表した。さらに、戸建て住宅における個人・民間等による対策を促進するため、適切な判断のための様々な情報提供を行っている。本稿では、宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針の他、宅地の液状化対策に関する国土交通省の取り組み状況について概説する。

キーワード：戸建て住宅、液状化、被害可能性判定、非液状化層厚、 $P_L$  値、 $D_{cy}$  値

## 1. はじめに

平成23年3月11日の東日本大震災により、埋立地や河川の周辺などで液状化現象が発生し、特に東京湾岸や利根川沿いの宅地を中心に広域にわたり約27,000件という甚大な被害が発生した。

これらの被災地においては、復興交付金事業により、地方公共団体が復旧と再発防止のための工事を行うこととなっており、個人の建物被害については、生活再建支援制度や地震保険、融資等に対応することとなっている。

液状化被害については、古くは関東大震災でも被害が生じたとの記録もあるが、特に被害状況がクローズアップされたのが昭和39年の新潟地震である。戦後の土地需要の増大によりそれまで低利用であった低湿地や、新たに造成された埋立地における液状化対策が必要となったが、新潟地震を契機に研究や技術基準の整備が進むにつれ、道路・橋梁・堤防・護岸といった公共施設やビル・マンションといった建築物については各種技術基準に従った液状化対策が施され、東日本大震災においても基準に準拠した構造物については大きな液状化被害は生じなかった。

一方で、戸建て住宅等を想定した判定手法は必ずしも明確ではなかったため、国土交通省では学識経験者による研究会において検討を行い、平成25年4月1日に「宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針(以下、液状化被害判定指針と呼ぶ)」を取りまとめた。

本稿では、宅地の液状化に対する取り組みと液状化被害判定指針について紹介する。

## 2. 液状化現象と液状化被害について

液状化現象は、緩く堆積し地下水で飽和された砂地盤に対し地震動が加わることにより、砂地盤が液体状の挙動に変化する現象で、その上に建つ構造物にとっては突然支持力を失う状態となる。これは、地盤を構成する砂粒子に対し繰り返しのせん断力が加わることにより、砂粒子間を満たす地下水の間隙水圧が高まり、砂粒子間に働く摩擦力を間隙水圧が上回った時に、砂粒子間の結合が離れバラバラの状態になって地下水の中を浮遊する状態になるため発生する現象である。その後、地震動が収まるにつれ砂粒子が再堆積し、再び砂地盤へと戻るわけであるが、高まった間隙水圧により噴砂という形で地下水が地盤外に出たり砂粒子が再堆積したりする過程において地盤が収縮する状態になることがある。

この地盤が液体状になったり、収縮したりすることにより発生するのが液状化被害であり、液体状の地盤が側方へ流動することにより護岸等の構造物を变形させたり、液体状になることで支持力を失う状態になって構造物が倒壊したり、浮力が生じる状態になって地下埋設管等が浮き上がったり、地盤が収縮することで液状化現象が起きていない地盤と差が生じたり、不等沈下が起きて構造物が傾いたりといったものが主な被害の形態となる。また、噴砂が道路へ流出すると交通の障害となり迅速な避難の妨げになったり、下水管に流入すると長期間にわたって下水道が使用不能になり都市機能の回復に対し大きな障害となったりすることもある。



写真一 住宅地の噴砂の状況  
(提供：民間コンサルタント)



写真二 地下埋設物の浮き上がり  
(提供：関東地方整備局)

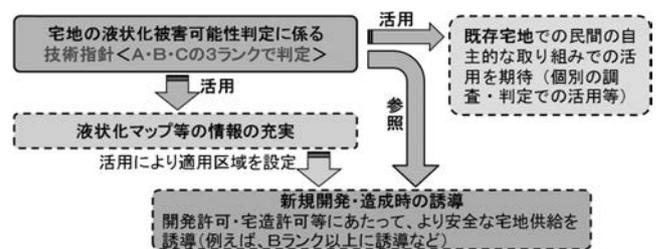
東日本大震災では、千葉県を中心に、噴砂による道路・河川の埋没や下水管の埋塞、地下埋設物の浮き上がり、杭で支えられた建築物と沈下した地盤との間に生じた段差、電柱の傾斜、戸建て住宅の不等沈下といった被害が発生した（写真一、二）。

特に、戸建て住宅では住宅が傾斜することにより日常生活への支障のみならず住み続けることによりめまい等の健康被害が発生することもあり、被災者生活再建支援制度においても、住宅四隅の傾斜の平均が1/100以上1/60未満で半壊、1/60以上1/20未満で大規模半壊と認定するよう内閣府では基準を見直している<sup>1)</sup>。

### 3. 宅地の液状化に対する国土交通省の取り組み

前章で述べたとおり、液状化現象による被害は都市機能維持の足かせとなったり個人財産が毀損したりはするが、一方では液状化現象は直接的に人命被害につながらないのが実態であり、戸建て住宅を考えた場合、現在の建築基準法における「大地震時に人命を損なわない」といった耐震基準と比較すると、液状化被害を発生させないために規制を強化することは困難と考えられる。また、液状化被害はそれぞれの地盤の状況によって発生の有無や程度が左右され、現在の技術レベルからもあらゆる被害を予測することができないことや、その対策費用も相当程度高額となる場合があることから、一律に調査や対策を義務付けることも困難と考えられる。

このため、地震時の被害抑制には、主に戸建て住宅地における個人・民間等による対策を促進することが



図一 宅地の液状化に対する国土交通省の取り組み

重要であり、そのためには、適切な判断のための様々な情報の提供を充実する必要があることから、国土交通省では次のような取り組みを進めている（図一）。

#### (1) 液状化被害判定指針

必ずしも明確でなかった戸建て住宅を対象とした判定手法に対し、学識経験者の検討結果から「宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針」を取りまとめた。

この指針は、宅地の液状化に関する調査や対策を義務付けるものではないが、少なくとも今後開発・造成される新たな宅地については、この基準を参考にして、より安全な宅地供給が行われることを期待するとともに、既存の宅地についても、民間の自主的な取り組みにおいて広く活用されることを期待しているものである。

なお、液状化現象は、震度・継続時間等の地震特性、局所的地層変化、建物特性等が複雑に関連しており、被害可能性判定は、現実的なコストを前提にすると技術的に限界がある。このため、この指針は、宅地の液状化被害の可能性を判定する目安であり、個別の宅地毎に被害の有無等を保証するものではない。

液状化被害判定指針については、次章で詳しく解説する。

## (2) 液状化関連情報の内容の充実

液状化の可能性を判断するために重要なボーリングデータについては、国土交通省の直轄工事に伴う約11万本について、国土交通省のウェブサイトにて全て公表している。また、17の都道府県で公共事業に伴うデータを公表しているが、まだ全体の3分の1程度である。さらに、市町村工事のデータは、ほとんど公表されていないので、データの一層の整理・公表が必要と考えている。

地域ごとの液状化の可能性の程度を則地的に示した液状化マップは、40の都道府県で公表されているが、地域ごとの傾向は読み取れるものの、個別の宅地や街区単位まで判別できるものは少ないのが現状である。また、より詳細なマップが282市町村で公表されているが、全国的に見れば未作成団体が多数あるのが現状で、作成を進める必要がある。さらに、地方公共団体によって、液状化の可能性を高低4区分で示すものや、あり・なし2区分で示すものなど、マップの内容が様々であり、今回策定した技術指針を基に、戸建て住宅を想定した統一的な基準でのマップ作りも求められている。

このような公共団体におけるボーリングデータの収集・公表や宅地液状化マップの作成については、平成25年度から国庫助成を行っており、公共団体による様々な調査を促進し、液状化関係の情報の充実を進めていく予定である。

また、過去の液状化の被害履歴を地図上に示した被

災履歴図と、液状化の可能性の判断に有効な埋立地等を示す地形区分図を、国土交通省において順次作成している。首都圏・中部圏の一部で作成済みで、大阪周辺等で調査中であり、今後も大都市を中心に順次作成する予定である。

## (3) 一元的な情報提供等

液状化に関連する様々な情報は、国土交通省の各局、各公共団体などが個別に提供しており、消費者等の利便の観点から一元的な情報提供が望まれる（図-2）。

このため、液状化マップについては、国土交通省のホームページにあるハザードマップポータルサイトにおいて、建物被害予測などとともに、全国的な作成状況の一覧を示すとともに、各公共団体のマップへのリンクを設定している。また、ボーリングデータについては、独立行政法人防災科学技術研究所のデータベースである「ジオ・ステーション」において、国土交通省の公表データを含め、全国の公表済みデータの相当部分が、ワンストップで、誰でも見ることが可能である。

さらに、これらの情報を一元的に紹介する液状化関係情報ポータルサイトを、平成25年3月下旬に開設した（[http://www.mlit.go.jp/toshi/toshi\\_fr1\\_000010.html](http://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_fr1_000010.html)）。

このサイトでは、液状化に関する基礎知識や取り組み状況、技術指針などを紹介するとともに、国土交通省のハザードマップポータルサイト、防災科学技術研



図-2 ポータルサイトのイメージ

究所の「ジオ・ステーション」、各公共団体のボーリングデータベース、液状化被災履歴図や地形区分図を公開している国土交通省のページなどにリンクしている。

(4) その他

液状化の可能性等の地盤情報の重要性を消費者等が十分に認識することは重要であるので、住宅性能表示制度においても液状化に関する情報を記載できるようにする予定である。

このように、自宅や購入予定地の情報を収集し対応を検討することにより、宅地の安全性の向上につなげていくことが重要であることから、様々な場面で、様々な主体との連携により、啓発を進めていくことが必要と考えている。

さらに、情報提供だけでなく、液状化の可能性が高く優先的に対策を講じるべき区域について、宅地と一体的に行う道路等の公共施設の液状化対策工事に対する国庫助成を平成 25 年度予算から行っており、地権者等との連携の下で、事前対策も進めることができるようになった。

4. 「宅地の液状化被害発生可能性に係る技術指針」の概要他

東日本大震災での広範囲にわたる液状化被害に対し、国土交通省では、まず各種技術基準等で地盤が液状化するかどうかを判定するために用いられてきた液状化に対する安全率 ( $F_L$  値) について、東日本大震災における液状化の実態と比較検討をおこなった。その結果、平成 23 年 8 月 31 日に「液状化の発生の有無について、空振りがあったもの見逃しはなかったため、現行の  $F_L$  値を用いた液状化発生の有無に関する判定は妥当」との検討結果を公表した<sup>2)</sup>。

この結果を受けて、橋梁や下水道、港湾等の様々な

分野で液状化被害を判定する手法の見直しを行ったが、当課においては戸建て住宅の宅地に対する検討を学識経験者等（座長：東畑郁生東大教授）と行い、「宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針（案）」として取りまとめ公表し、地方公共団体や地盤工学会の意見を聴いた後、平成 25 年 4 月 1 日に指針として各地方公共団体に技術的助言として通知し、公表した。以下、指針の概要と検討の経緯を紹介する。

(1) 液状化被害判定指針の概要

この指針は、基本として深度 20m のボーリング調査結果から得られる土層ごとの液状化に対する安全率 ( $F_L$  値)<sup>a)</sup> を用いて、非液状化層 ( $H_1$  値)<sup>b)</sup> 及び液状化指数 ( $P_L$  値)<sup>c)</sup> や地表変位量 ( $D_{cy}$ )<sup>d)</sup> を計算し、それを図-3 の判定図にプロットし、A, B, C のどの領域に位置するかにより、液状化被害が発生する可能性を、顕著な被害の可能性が「低い」「比較的高い」「高い」の 3 つのランクで表すものである。また、この指針で判定の対象とする地震動は中地震動（震度 5 程度、具体的には  $M = 7.5 \cdot 200gal$  または  $khgl = 0.20$ ）としているが、あくまでも宅地の液状化被害の可能性の程度の目安を示すもので、個別には建物特性等によって被害発生状況は異なり、被害の有無等を保証するものではない。

a) 液状化に対する安全率 ( $F_L$  値)：想定される地震動に対する各層の液状化の発生のしやすさを示す指標で、 $F_L \leq 1.0$  で液状化する可能性ありと判断される。通常は、深さ 1 m 毎に判定を行う<sup>3), 4)</sup>。

b) 非液状化層 ( $H_1$  値)：地表面から液状化しない条件を満足する連続した層厚で、図-4 のように土質区分と地下水位と  $F_L$  値とで定義される<sup>5)</sup>。

c) 液状化指数 ( $P_L$  値)：その地点における地盤の液状化の激しさの程度を表す指標で、各深度での  $F_L$  値を算出し、その値を深さ方向に重みをつけて足し合わせ、調査地点での液状化危険度を表す。液状化の

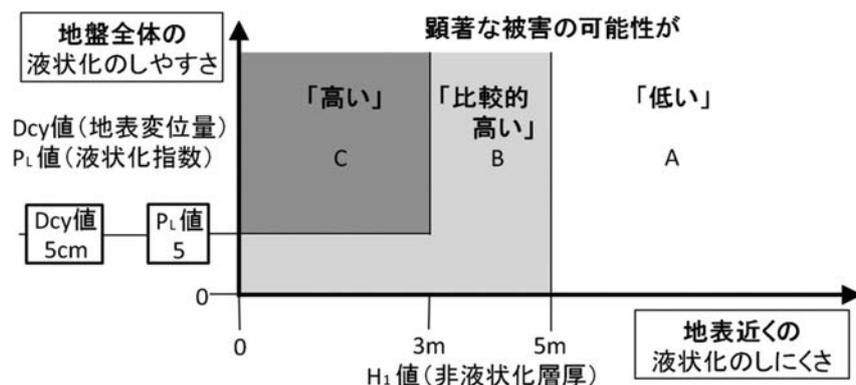
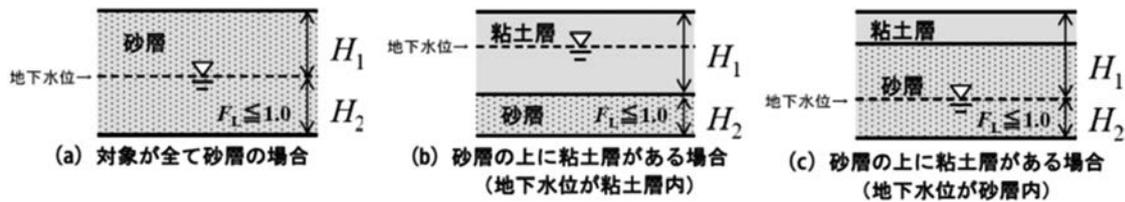


図-3 宅地の液状化被害可能性の判定図

図-4  $H_1$  の層厚

発生する深さや層厚，非液状化層の厚さを勘案されており，液状化危険度マップの作成に使われることが多い指標である<sup>6)</sup>。

- d) 地表変位量 (Dcy 値)：液状化時に発生する地盤の沈下量であり，液状化による生じる地盤の水平変位量と同等となっている<sup>4)</sup>。

## (2) 判定の手順

図-5 のフローに従い，下記の①～③の手順で判定を行う。

- ①一次判定：地形データ等の既存資料等により，二次判定の要否を判定する。既存資料は，新・旧地形図，地盤データベース，液状化予測図等を対象とし，既存資料及び現地調査によって，「顕著な被害の可能性が低い」ことが明らかな場合には，そのように判定し，それ以外の場合には，二次判定を行う。
- ②二次判定：地盤調査結果に基づき，顕著な被害の可能性を3ランクで判定する。20mのボーリング調査結果から，土層ごとの  $F_L$  値

を計算し， $H_1$  値及び  $P_L$  値または Dcy 値を計算し，判定図を用いて顕著な被害の可能性を3ランクで判定する。

- ③三次判定：必要に応じて詳細な調査・解析(例えば，繰返し非排水三軸試験を実施して求められた  $F_L$  値を用いる等)を行い，顕著な被害の可能性を3ランクで判定する。

## (3) 指針の活用について

この指針は，液状化による被害状況に着目して検討した指針であるため，前章で紹介された液状化マップの作成においても，情報内容の充実に役立つものと考えられる。また，今後の新規開発や造成においても，例えばCランクのまま造成しないといった形で，開発許可や宅造許可が誘導されていくことも期待される。さらには，既存の宅地においても，個別の調査・判定での活用等といった民間の自主的な取り組みでの活用も期待されることである。

## (4) 指針の検討経緯

今回の指針を検討するにあたっては，まず東日本大震災による被災状況を分析し，既存の判定手法に当てはめ，宅地の被害実態と判定結果が合うかどうかの検討を行った。しかし，既存判定手法については，東北地方太平洋沖地震がマグニチュード9という巨大地震で地震動の継続時間が長かったことや30分後に発生した余震の影響が液状化現象に影響を与えていること，さらに既存判定手法が戸建て住宅の被害を想定したものでないことといった要因により，既存手法について一定の傾向は見られるものの，精度良く宅地の被害実態を判定するものとはならない結果となった。

その後，データの精査や，計算方法の見直し等を行った上で， $H_1$  値と  $P_L$  値， $H_1$  値と Dcy 値といった複数の指標を組み合わせることで，宅地の被害実態を概ね判定できることとなり，既存判定手法のしきい値を参考にしながら，A，B，Cの3つのゾーンを区分した。

- (a) データの収集・分類・定義について

東日本大震災で液状化被害のあった地域から室内試

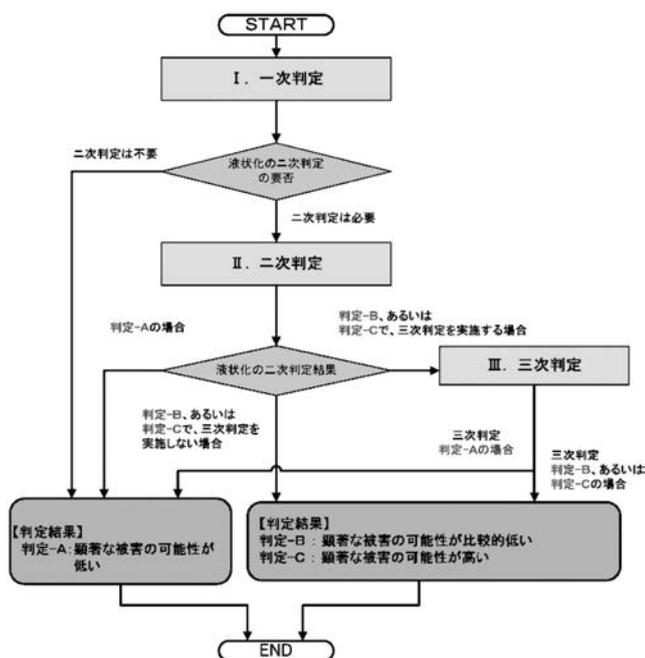


図-5 判定フロー図

験値のある83本のボーリング調査結果を収集し、ボーリング地点の被害状況の確認を行った。続いて、各地点の液状化安全率  $F_L$  値を算定し、道路橋示方書に基づく液状化指数  $P_L$  値（以下、「 $P_L$ 法」と略記）、および「宅地耐震設計マニュアル（案）」に基づく非液状化層厚  $H_1$  と液状化層厚  $H_2$  の関係による判定（以下、「 $H_1$ - $H_2$ 法」と略記。） $P_L$ 法や $H_1$ - $H_2$ 法により液状化被害程度を判定した。実際の液状化被害と判定結果とを比較し、両者の整合性を評価した。

①ボーリングデータの選定：液状化現象が発生した地域の周辺（図-6）で、被害無しの場合も含め被害の程度を分類することができ、粒度試験、液性限界・塑性限界試験が実施されているデータを用いた。

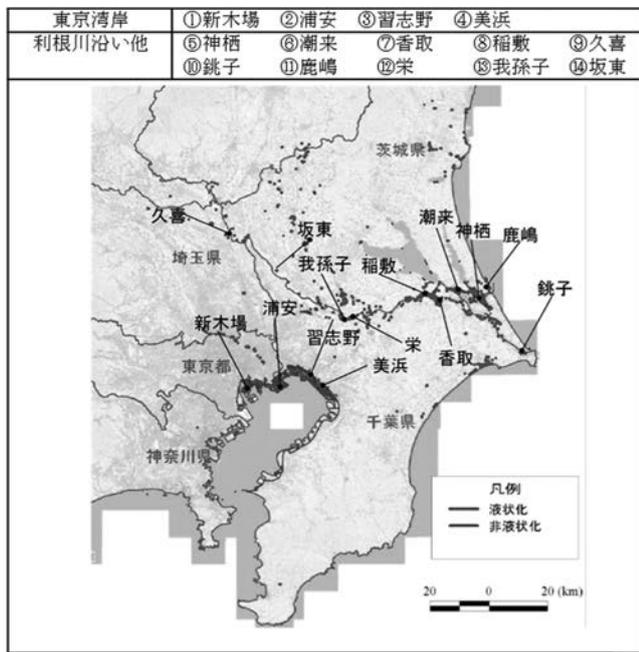


図-6 ボーリングデータ収集地点

②液状化被害程度の設定：実際の液状化被害程度は、罹災証明、現地踏査結果や千葉県環境研究センターの調査結果等を参考に、表-1の3段階で分類した。周辺に戸建て住宅が無いボーリング地点については、地盤変状から戸建住宅の被害程度を推察した。

表-1 液状化被害程度の設定例

| 液状化被害分類 | 戸建住宅の被害程度 |
|---------|-----------|
| 大■      | 大規模半壊～全壊  |
| 中△      | 半壊        |
| 軽微～なし○  | なし～一部損壊   |

③作用震度：検討箇所近傍の地表面における地震観測記録を適用し、最大加速度  $a_{max}$  (gal) を採用した。作用震度は重力加速度を  $g$  (gal) とし  $K_H = a_{max}/g$  を用いました。また、今回の地震動は極端な方向性

がなかったため、NS方向とEW方向の合成値を採用している。

④地下水位の設定：地下水位は孔内水位を基本として設定した。ただし、地下水位が周辺に比べて極端に低かった検討箇所については、孔口標高と地下水位標高の一次回帰式を作成し、これにより設定した。

(b) 既存判定手法による液状化被害判定結果

$P_L$ 法による判定を行った結果、図-7に示すとおり被害の程度と  $P_L$  値が相対的に整合している傾向が見てとれるが、液状化地域ゾーニングマニュアルに示される「液状化による影響は大きい」の範囲 ( $5 < P_L \leq 15$ ) に、「軽微～なし」の地点が多く分布しているため、液状化被害を過大に判定している可能性が考えられる。

また、 $H_1$ - $H_2$ 法による判定を行った結果、図-8に示すとおり中地震のラインを境に、右側に位置する場合は「液状化の影響が地表面に及ばない」、左側の場合は「液状化の影響が地表面に及ぶ」と判定することになるが、被害「大」の地点ほど、「液状化の影響が地表面に及ぶ」と判定されていることが分かるものの、液状化の影響の有無を中地震のラインで区分できるほどの明確な差は認められなかった。

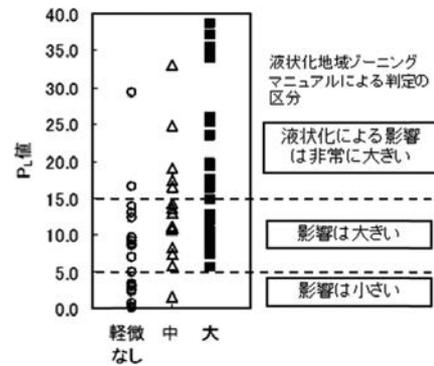


図-7  $P_L$ 法による判定結果

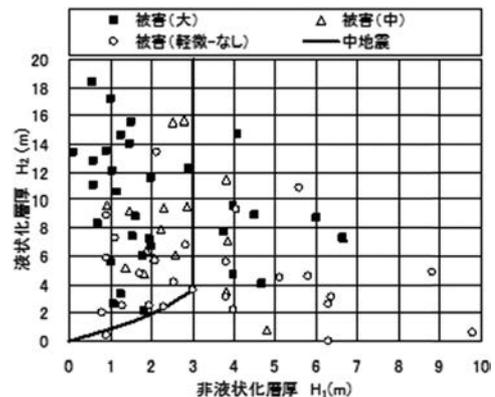


図-8  $H_1$ - $H_2$ 法による判定結果

(c) 再現性に着目した液状化判定手法  
 既存手法について、以下の3点に着目して計算方法等を修正した。

- ①地震動の継続時間の影響
- ②軟弱粘性土層の変状の影響
- ③液状化強度に対する地盤生成年代の影響

これらの修正を行った上、判定精度の向上を図る目的で液状化層の液状化程度を定量的に反映できる  $P_L$  値と非液状化層厚  $H_1$  を組み合わせた  $H_1$ - $P_L$  判定図にプロットした。その結果、図のとおり被害「大」「中」のほとんどが  $H_1 \leq 3$ ,  $P_L \geq 5$  にプロットされ、「軽微～なし」のほとんどが  $P_L < 5$  もしくは  $H_1 > 3$  m にプロットされる結果となり、 $H_1$ - $P_L$  判定図により「軽微～なし」と「大」「中」を概ね区別でき、 $H_1 = 3$ ,  $H_1 = 5$ ,  $P_L = 5$  をしきい値として液状化被害程度を説明できる結果となった(図-9および表-1参照)。

また  $H_1$  値と  $D_{cy}$  値とを組み合わせてプロットした結果も、ほぼ同じ結果となったので、 $H_1$  値と  $P_L$  値との組合せと同様に、 $H_1 = 3$ ,  $H_1 = 5$ ,  $D_{cy} = 5$  をし

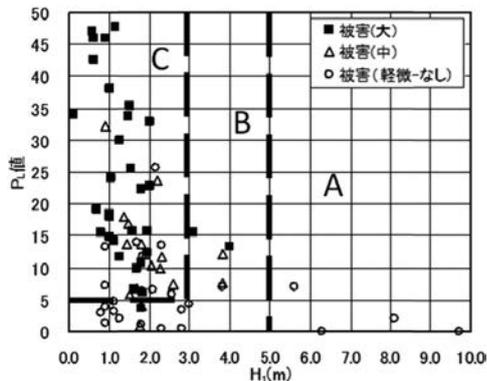


図-9  $H_1$  と  $P_L$  の組合せによる判定結果

きい値としている。

これらのしきい値については、既存の判定手法で用いられていたしきい値と整合がとれる結果となっている。

### 5. おわりに

東日本大震災によって広範囲にわたって発生した液状化被害により、今後は、住宅や建築物を建築しようとする方に対し、その土地が液状化するおそれがあるかどうかを認識していただく重要性が改めて注目されているところである。国土交通省では、今後発生が懸念される南海トラフ巨大地震や首都直下地震における宅地の液状化被害が軽減されるよう、今回紹介した取り組みを進めいく予定である。

JCMA

#### 《参考文献》

- 1) 地盤に係る住家被害認定の見直しについて、内閣府(防災)記者発表資料, 2011
- 2) 「液状化対策技術検討会議」の検討成果について、国交省記者発表資料, 2011
- 3) 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編, (公社)日本道路協会, 2012
- 4) 建築基礎構造設計指針, (一社)日本建築学会, 2001
- 5) 宅地耐震設計マニュアル(案), 都市基盤整備公団 2008
- 6) 液状化地域ゾーニングマニュアル, 国土庁防災局震災対策課, 1999

#### [筆者紹介]

吉田 桂治 (よしだ けいじ)  
 国土交通省  
 都市局都市安全課 都市防災対策推進室  
 企画専門官

