

## 各論

東日本大震災で被災した  
宅地の復旧・復興方法の特徴

安田 進\*

## 1 はじめに

2011年東日本大震災では東京湾岸の埋立地などで無数の宅地で液状化が発生し、戸建住宅が沈下・傾斜する被害が多発した。丘陵地や台地の造成宅地では、盛土の滑落崩壊や変状によって多くの戸建住宅が被災した。さらに、津波に襲われた太平洋沿岸では数多くの住宅が破壊され生活の場を失った。

地震時の住宅被害は1923年関東地震や1995年阪神・淡路大震災時など、過去の大震災のたびに震動や火災によって多く発生してきたが、液状化や盛土の変状といった宅地の地盤の悪さに起因して多数かつ甚大な被害が発生したのは、我が国にとって初めての経験とあってよいであろう。これは、戦後の核家族化で住宅数が急増し、それに伴って海岸の埋立や丘陵地・台地での造成が各地で行われ、しかも十分な締固めや地下水対策が行われずに造成されてきたことに主に起因するであろう。

今回これだけの数の宅地が被災したため、個々の住宅の復旧だけでなく、ある地区全体に対策を施して復興する方策も多く実施されてきている。そこで、まず東日本大震災以前の地震時における宅地の被害および復旧方法を振り返り、次に今回の被害・復旧・復興の特徴と課題を述べてみる。

## 2 東日本大震災以前の宅地の被害と復旧・復興の概要

## 2.1 液状化による宅地の被害に関して

液状化による被害が広く認識される契機となった地震は、1964年に発生した新潟地震である。ただし、種々の構造物で大被害が発生したため、戸建住宅の被害状況や復旧に関する資料はほとんど残されていない。その後、我が国では1～2年おきに液状化の被害が発生してきているが、次に液状化が広範囲に発生したのは1983年日本海中部地震である。この地震では秋田県から青森県にかけて数多くの住宅が液状化によって被災した。特に能代市では砂丘性の地盤が広範囲に液状化し、甚大な住宅被害が発生した。筆者の手に残っている住宅の復旧状況を示す写真を写真-1に示す。ここでは傾いたマンションをジャッキで持ち上げて復旧することが行われた。そ



写真-1 1983年日本海中部地震の際に能代市で沈下したマンションを持ち上げて復旧している状況

のほかにも木造住宅を持ち上げて基礎を直している写真も残っているので、最近の呼び方でいうと「沈下修正」工事が各地で行われたのではないと思われる。

その次に、広範囲に液状化したのは1995年阪神・淡路大震災である。埋立地や人工島が液状化し、芦屋浜や築地地区などで戸建住宅の被害が発生した。また、直接基礎のアパートは沈下・傾斜し、杭基礎の中層マンションでも杭が破損する被害が発生した。これらのうち、築地地区では復興するに当たって、地区全体の地盤の嵩上げおよび地下水位の低下の対策が施された<sup>1)</sup>。

2000年鳥取県西部地震では、米子市の2つの団地が液状化により甚大な被害を受けた。そのうち、安倍彦名団地では住民の方々の努力により詳細な実態説明が行われ、また一致団結して復興に当たられた<sup>2)</sup>。各家屋の四隅の沈下量を測定し傾斜角と被害程度の関係が明らかになったが、それによると10/1,000程度以上傾いた家の中になると眩暈や吐き気が生じることが分かってきた。復旧に当たっては、補助金の申請や沈下修正工事を一括発注して復旧費を下げる努力がされた。

その後、2007年新潟県中越沖地震では柏崎市から刈羽村にかけて砂丘背後斜面などが広い範囲で液状化し、多数の戸建住宅が被災した。そのうち、柏崎市の山本団地では砂丘背後の緩やかな斜面上の宅地が液状化し、戸建住宅が甚大な被害を受けた。そこで、地区全体の地下水位を地表面から2～3mの深さまで下げることが計画され、暗渠管(排水管)を道路と宅地内に設置し、集めた地下水を写真-2に示すように斜面下方にある鯖石川に



写真-2 2007年新潟県中越沖地震で被災した地区に設置した排水管で集めた地下水を川に自然流下させている状況

\* YASUDA Susumu 東京電気大学 理工学部 建築・都市環境学系教授, 工博 | 埼玉県比企郡鳩山町石坂



(1) 2010年9月の地震(約20cm沈下)

(2) 2010年2月の地震(約50cm沈下)

(3) 2013年12月

写真-3 クライストチャーチで液状化した住宅地の対応の仕方



写真-4 1978年宮城県沖地震で被災した後に抑止杭と集水ボーリングで滑動崩落対策をしていた宅地で東日本大震災の際に発生した変状

自然流下する方法がとられた。この対策の費用は住民の方々が1/4ほど負担された。

このほか、海外の復興事例を2つほどあげてみる。トルコのアダパザル市では1999年トルコ・コジャエリ地震の際、液状化や震動に起因して多くの建物が壊れ、街全体を移す計画が持ち上がった。筆者が学会の調査団で行ったときに、実際に場所の選定作業も行われていた。ただし、結局街は移されなかった。ニュージーランドのクライストチャーチ市では、東日本大震災の17日前に大きな揺れに襲われ、広範囲にわたって液状化した。その面積は東西約7km、南北約8kmの範囲内の約60%もあり、しかも東京湾岸と同様に住宅地として使用されている地区に該当した。このため、写真-3(2)に示すように数多くの家屋が沈下し傾いた。この地震は実はその約半年前の2010年9月に発生した地震の余震であり、9月の余震でも広い範囲で液状化し、この家は写真-3(1)のように約20cm沈下していた。さらにその後も2、3回の余震で液状化した。このように液状化によって甚大な被害が発生した地区はレッドゾーンとして指定され、集団移転が行われた。写真-3(3)は2013年の12月に撮影したものであるが、この地区の家はすっかり取り壊され野原になっていた。後述する我が国の復興とはまるで異なる考えがとられた。

## 2.2 丘陵地・台地の造成宅地の被害に関して

1968年に発生した十勝沖地震の際、札幌市の南部の丘陵地地の造成宅地で谷埋め盛土部のすべりや沈下により

76戸の住宅が被害を受けた。これが我が国において地震時に大規模な造成宅地で被害を受けた初めての事例といえるであろう。続いて1978年の宮城県沖地震では、仙台市の谷を埋めて造られた盛土の崩壊により多くの住宅が大きな被害を受け、造成盛土地の被害が注目された。その後、1987年千葉県東方沖地震、1993年釧路沖地震、1995年阪神・淡路大震災、と被害が続くようになってきた。このように被害が続出し始めたのは、1960年代頃から我が国の諸都市で近郊の丘陵地・台地を開発して宅地化することが多く行われてきたためであろう。宮城県沖地震で甚大な被害を受けた仙台市緑ヶ丘では、復旧に当たって滑落崩壊を防止するために抑止杭や集水ボーリングが施工された。2011年東日本大震災では、これが功を奏して緑ヶ丘1丁目では被害が発生しなかった。ところが、3丁目では滑動崩落はくい止めたものの、抑止杭が変形して写真-4に示すように宅地に変状が発生し住宅が被害を受けた。

さて阪神・淡路大震災後も、2003年十勝沖地震、2004年新潟県中越地震、2007年新潟県中越沖地震と造成宅地の被害が相次いだ。そして2006年には宅地造成等規制法が改正になり、既設の大規模盛土造成地に対して地震時の安定性を検討することが必要とされ、国交省からガイドラインが示された。ここでは震度法による法面の安定性の検討に0.25の水平震度を用いることになった。これに従って、全国の自治体で大規模盛土造成地の調査が始まった。ただし、危険箇所の対策を施すまでには至っていない。

これと同時期に、地盤工学会関東支部では造成宅地の耐震調査・検討・対策に関する委員会を設置し、手引き書やケーススタディー集<sup>3)</sup>を作成した。そして既設の盛土法面に対する崩壊の対策方法として、地下水位排除工、グラウンドアンカー工、地盤改良工、抑止杭工、鋼矢板工、抑え盛土工を取り上げ、図-1に示すように具体的なレイアウトも示していた。

## 3 東日本大震災における宅地の被害の特徴と復旧・復興の概要

### 3.1 液状化によって被災した宅地の復旧・復興

東日本大震災では東北から関東にかけて広い範囲で液状化が発生し、液状化を考慮せずに建設されてきていた戸建住宅や平面道路、液状化に対する補強がまだ一部し



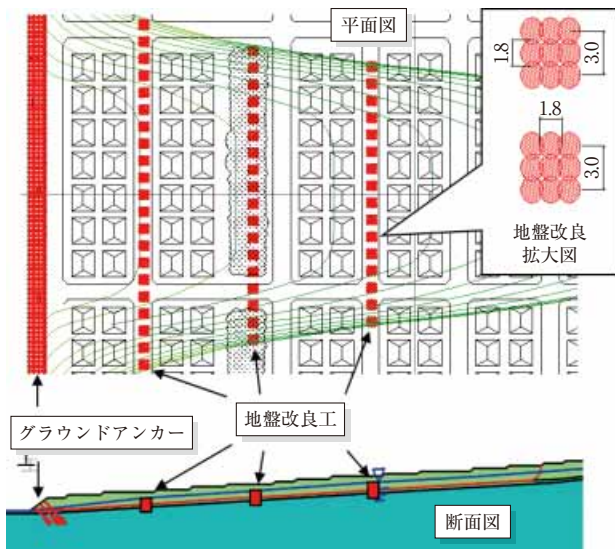


図-1 東日本大震災より前に提案していた既設造成宅地の滑動崩落の対策案例<sup>3)</sup>

が行われてきていなかった河川堤防やライフラインなどが甚大な被害を受けた。住宅地の液状化による被害の特徴をあげると以下ようになる。

- ① 住宅地では戸建住宅が沈下・傾斜だけでなく、ライフライン、生活道路の被害も多く発生した。
- ② 戸建住宅の被害は約27,000棟に及んだ。特に東京湾岸や利根川沿いの埋立地で多くの住宅が被災した。
- ③ 杭基礎のマンションでは建物自体は被害を受けなかったが、ライフラインが使えなくなって生活が困難になり(参考文献4)に状況が詳しく描かれている)、しばらく避難せざるを得ない事態も発生した。

さて、前述したように2000年鳥取県西部地震の安倍彦名団地での調査で、10/1,000程度とわずかに傾いただけで、家の中にいると眩暈や吐き気を催して生活できなくなることが分かってきていたこともあり、東日本大震災の2ヵ月後に内閣府から表-1に示すような新たな被災判定基準が示された。これにより、液状化による住宅の被害の実態と合った判断が行われるようになった。

液状化によって被災した家では、写真-5に示すようにジャッキなどで家を持ち上げて基礎を補修し、水平に載せ直す「沈下修正工事」が各住宅で行われてきた。一戸当たり200~400万円かかったので、一部補助も出された。ところが、沈下修正工事だけだと将来の地震によって再液状化が発生し、再び被害を受ける危険性がある。これに対して、被害を受けないようにするには以下の4つのケースの対策方法がある<sup>5)</sup>。

- ケース1：被災した地区全体の家を取り壊し、地盤改良など液状化対策を行って建て直す。
  - ケース2：被災した個々の家のみ取り壊し、液状化対策を施して建て直す。
  - ケース3：被災した家の沈下修正を行った後に地区全体の液状化対策を施す。
  - ケース4：被災した家の沈下修正を行った後に個々の家の対策を施す。
- これらのうち、ケース1は従来から開発されてきた各

表-1 液状化による住宅の被害に関し内閣府から出された新たな被災判定基準

分類	判定基準
全壊	四隅の基礎や床の傾斜の平均が20分の1以上
	床上1mまで沈下(雨天時に床上1m浸水)
大規模半壊	四隅の基礎や床の傾斜の平均が60分の1以上で20分の1未満
	床まで沈下(雨天時に床上浸水)
半壊	四隅の基礎や床の傾斜の平均が100分の1以上で60分の1未満
	基礎の天端25cmまで沈下(雨天時に床下浸水)



写真-5 液状化で沈下した家を持ち上げている状況(浦安市内)

種地盤改良工法を用いれば容易に行えるが、今回適用された地区はなかった。それに対し、ケース2では狭隘な土地で工事をしないといけないので、従来の大型の地盤改良装置は使えない。また、ケース4のためには新しい工法を開発しないといけない。そこで、地震後にケース2や4が可能な対策工法がいくつか開発されてきた。ただし、ケース2で200万円程度、ケース4ではその倍くらいの液状化対策費用がかかるため、実際に対策が施された家は少なかった。

これに対し、ケース3の考えによる「市街地液状化対策事業」が、地震の8ヵ月後に国土交通省により創設された。これは、ある地区内の道路や下水道などの公共施設と民間の宅地とを一体化して液状化対策を施そうとするものである。この事業では2つの大きな課題があった。1つめは技術的な課題で、既存の住宅地を家が建ったままでどんな方法で対策を施せるかである。地区全体の地下水位を下げる方法と、各戸の宅地を格子状に囲って地盤改良する方法が候補に上がり、検討が行われてきた。2つ目の課題は住民の合意形成である。この事業に必要な費用は公共施設を公費で賄う一方、宅地内は住民が負担する方式であり、そのため対象区域内の住民の合意が必要である。これらについて種々の検討が行われた結果、数都市で地下水位低下方法が選定され、潮来市や神栖市ですでに工事が始まり、千葉市や鹿嶋市、久喜市でもまもなく工事が始まる予定となっている。

地区全体の地下水位を低下させる工法を適用するに当たっては、水位の適切な低下量、水位の低下方法、水位

低下のための排水管や浅井戸の設置間隔、水位低下に伴う地盤の沈下量の推定方法、稼働中の排水量と維持管理方法などを決める必要があり、各都市で被災事例の分析・解析、および実証実験が行われてきた。その結果、以下のような結論が得られてきている。

- ① 地下水位は地表から3m程度の深さに下げると、その下部の層が液状化したとしても戸建住宅が大きくめり込み沈下して傾くような被害は発生し難いので、この程度の深さまで下げる（これは被災・無被災住宅の地下水位を比較して結論付けられたが、筆者がイメージしている理由を図-2に示す）。
- ② 地下水位は図-3に示すように、(a)開削工法や推進工法で3m程度の深さに排水管を設置し、これを1カ所に集めて川や海に放水する、(b)浅井戸を3m程度の深さに設置して地下水を汲み上げ側溝などに流す、といった方法で下げる。
- ③ 排水管を道路下に40m程度の間隔で設置するだけで、図-4、5に示すようにその間の宅地の地下水位も十分に下がるので、特に宅地内に枝管の排水管を設置しなくてよい。
- ④ 東京湾岸の埋地地などでは地表面の標高が+3~+4mと高く、地下水位を地表面から3m程度の深さに下げても海水面より高くなる。したがって、汲み上げる地下水は雨水が地盤内に浸透してきたものだけで、汲み上げるべき地下水位の量は多くない。例えば降水量の半分程度と想定しておくだけでよい。
- ⑤ 液状化対象層の下部に軟弱な粘土層が厚く堆積して

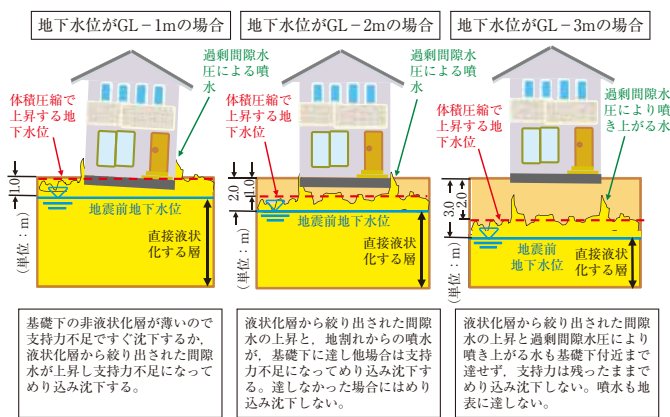
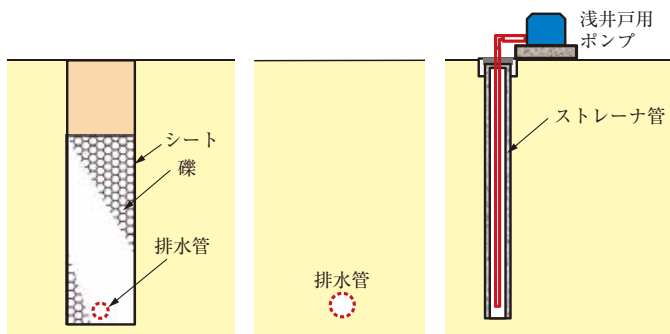


図-2 地下水位が家屋被害に与える影響の概念図



(1) 開削工法で排水管設置 (2) 推進工法で排水管設置 (3) 浅井戸の設置

図-3 地下水位を低下させる工法

いても、地表面から3m程度の深さまで地下水位を下げるだけでは有害な地盤沈下は生じない。理由としては、(a)図-6に示すように表層の地下水位を下げた場合に、下がる間隙水圧は深さ方向に一定値ではなく、深くなると変化しない、(b)軟弱粘性土といえども、浅いところでは少し過圧密になっていることが多い、といったことがあげられる<sup>5)</sup>。

この事業はまだ途中段階であり、いずれ課題はまとめられると思えるが、現時点では以下の課題があげられる。

- ① 今回は下水道の復旧と別個に排水管の設置が行われ

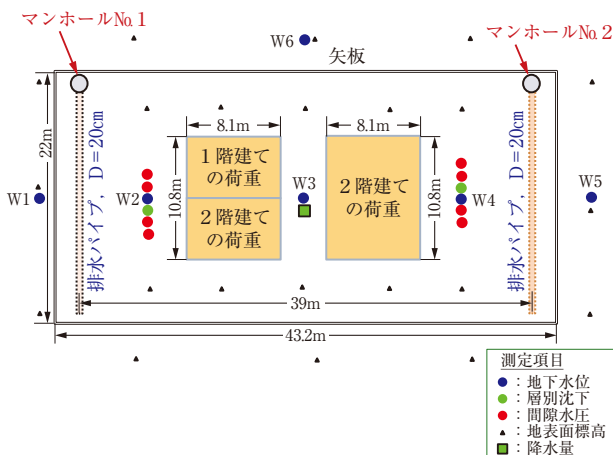


図-4 千葉市における地下水位低下実証実験の平面図 (千葉市の資料<sup>6)</sup>を模式化)

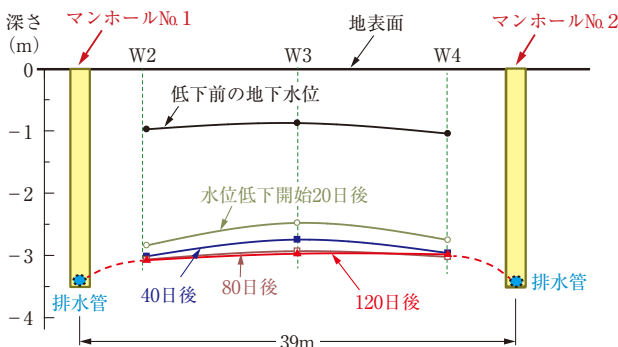


図-5 千葉市の実証実験における水位の低下状況 (千葉市の資料<sup>6)</sup>を模式化)

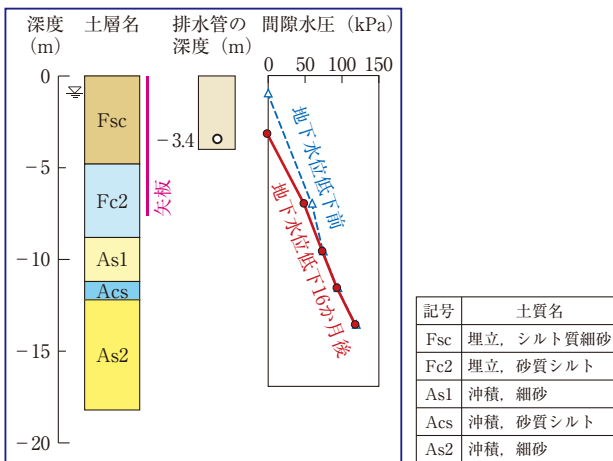


図-6 地下水位低下に伴う間隙水圧分布の変化の測定例 (千葉市の資料<sup>6)</sup>を模式化)



たが、両者の時期を合わせて掘削すると合理的になる。

② 簡易な地下水位低下方法を開発する必要がある。例えば、埋立地では配水管を護岸まで導き先端に弁を付け、干潮時に海に自然放流できるようにすると簡単になるであろう。

③ 中層の建物からなる団地にも適用されるとライフラインや道路の被害が防げる。

なお、このようにある地区の地下水位を下げる方法は、今後予防事業として全国の都市で適用されることが期待されている。

### 3.2 丘陵地・台地で滑動崩落や変状によって被災した造成宅地の復旧・復興

丘陵地・台地の造成宅地の被害は、岩手県から茨城県にかけて多くの都市で発生した。特に仙台市の被害が多く、2013年7月現在で5,728ヵ所の造成宅地が被害を受けたとされている。被害は住宅だけでなくライフラインや道路にも及んだ。宅地の被害の要因や形態は様々であったが、佐藤らはこれを表-2に示す7つの被害要因と3つの被害形態に分類している<sup>7)</sup>。このうち、ひな壇のすべりは過去の地震時にあまり指摘されてこなかった被害形態であった。数は少ないがこのほかにも、①複数の谷の合流箇所盛土した地盤に地震動が集中して大きくなり被災した、②緩やかな傾斜地盤で過剰間隙水圧が発生し地盤の流動的なすべりが生じて被災した、といった被災形態もあったと考えられる<sup>8)</sup>。

なお、甚大な被害宅地箇所では盛土のN値が0~4程度で締め固め度が85%以下の非常に緩い状態にあったことや、一部の地域では地下水位が地表面下1~2m程度と非常に高かった、といった特徴を佐藤らはあげている<sup>7)</sup>。

滑動崩落が発生したような大きな被害箇所では、「造成宅地滑動崩落緊急対策事業」が適用されて復興が行わ

れてきた。これは、盛土上に10戸以上の家屋が存在する区域で、滑動崩落によって道路や避難地などに被害が及ぶおそれがある場合に適用され、再度災害防止のために公共事業で行われた事業である。仙台市では、この事業が160地区に適用された。具体的な対策工法としては、各地区の撤去状況や地盤条件などに応じて、抑止杭工（鋼管杭、矢板併用）、網状鉄筋挿入工、固結工、アンカー工、鉄筋挿入工、暗渠工が用いられた<sup>9)</sup>。全体の滑動崩落だけでなく、ひな壇の変形に対しても対策が施された点に特徴がある。図-7に仙台市によって描かれた折立5丁目の対策工断面図の下流部の2/3を模式化したものを、また写真-6に工事風景を示す。ここでは全体の滑動崩落は各ひな壇部の基礎部に設置した固結工によって抑止し、固結工は基盤岩に定着させるようにされた。さらに、各ひな壇の変形は擁壁背面を固化材盛土工や網状鉄筋挿入工で抑止するようにされた。

このように、造成宅地滑動崩落緊急対策事業が適用された地区では滑動崩落・変形被害に対して対策が施されたが、表-2に示されるように、滑動崩落はしなくても沈下による被害も多く発生している。このうち液状化によって沈下・傾斜した家屋に関しては、地下水排除工で地下水位を下げた範囲の外に対して対策は施されていないことになる。また、写真-7に示すような切盛境界で生じた段差によって被災した家屋に対しても対策が施されていない。これらは今後の課題と考えられる。

表-2 仙台市の造成宅地の地震被害要因と形態  
(佐藤ら<sup>7)</sup>による)

被害要因	被害形態
(a)谷埋め型盛土の滑動に起因	①滑動崩落・変形被害（全体すべり、ひな壇すべり）
(b)腹付け型盛土の滑動に起因	
(c)切盛境界に起因	②沈下被害（揺すり込み沈下、液状化による沈下）
(d)法面の安定性不足に起因	
(e)擁壁の安定性不足に起因	③擁壁被害（擁壁の安定性不足による変状）
(f)緩い盛土状態に起因	
(g)地盤の液状化に起因	



写真-6 折立5丁目の工事状況

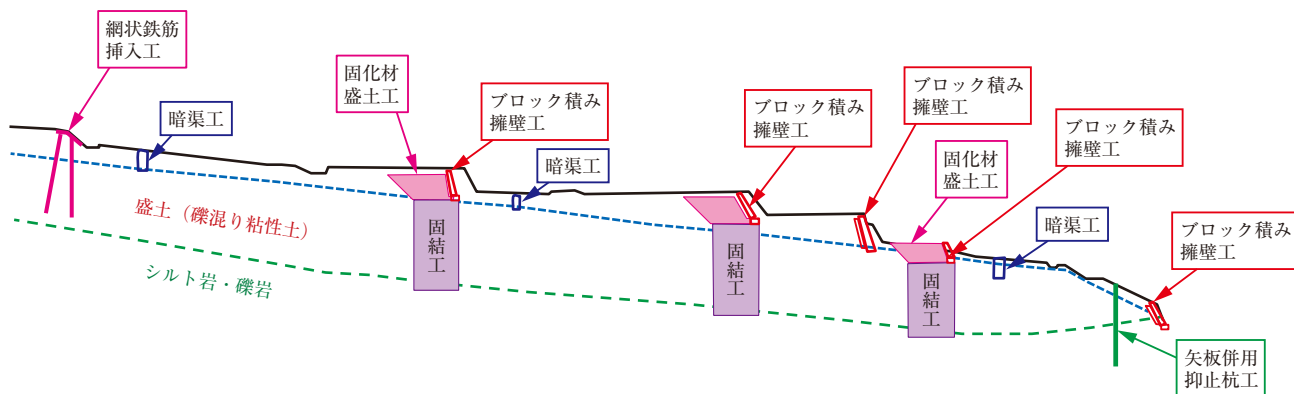


図-7 折立5丁目の対策方法（仙台市の資料をもとに下流部の2/3を模式化）



写真-7 切盛境界の段差による被害事例

### 3.3 津波で被災した宅地の復興

津波で被災した都市では、将来の津波に備え、被災した低地部で復興を目指す都市では（津波シミュレーションによるレベル2対応の）10m超に及ぶ高盛土の造成や防潮堤築造と一体的な整備が現在行われつつある。また、低地部を津波危険区域と指定し、住宅や都市機能を移転させる都市においては、後背地の高台を切り開き集団移転を促進している。そして、盛土の造成に当たっては以下のような考え方で進められている。

- ① 盛土の締固め度を90%以上とする。
- ② 盛土法面の安定性の検討は地震時対応レベル2（設計水平震度0.25）とする。
- ③ 現況地盤が軟弱などの場合は必要に応じ地盤改良を施す。
- ④ 盛土内に地下水位が上がってこないように地下排水工（暗渠）を設ける。また、必要に応じ盛土内水平排水施設の設置も行う。

⑤ 宅地地盤として必要な品質管理を行う。

## 4 あとがき

宅地の地震後の復旧・復興の歴史を振り返り、東日本大震災後にとられた地区全体の復興方法に関して焦点を当てて述べてみた。今回の新しい試みの経験が今後の予防対策として各地に適用されることが望まれる。同時に、個々の宅地の経済的な対策方法の開発も進められることが必要と考えられる。

なお、津波で被災した都市の復興の考え方に関しては西村真二氏（UR都市機構）に教えていただいた。感謝する次第である。

### 参考文献

- 1) 諏訪靖二：地下水位低下工法による液状化対策の実施例，基礎工，Vol. 40，No10，pp. 81～84，2012.
- 2) 安田進：鳥取県西部地震による団地の被害，日本建築学会総合論文誌，第2号，pp. 45～46，2004.
- 3) 地盤工学会関東支部造成宅地の耐震調査・検討・対策の事例研究委員会：造成宅地の耐震調査・検討・対策のケーススタディー，2009.
- 4) 世鳥アスカ：明日，地震がやってくる，KADOKAWA，2014.
- 5) 安田進：東日本大震災における住宅地の液状化対策工法の開発，地盤工学会誌，Vol. 62，No.6，pp. 1～5，2014.
- 6) 千葉市：千葉市液状化対策推進委員会資料，2014年.
- 7) 佐藤真吾，風間基樹，大野晋，森友宏，南陽介，山口秀平：2011年東北地方太平洋沖地震における仙台市丘陵地造成宅地の被害分析—盛土・切盛境界・切土における宅地被害率と木造建物被害率—，日本地震工学会論文集，第15巻，第2号，pp. 97～126，2015.
- 8) 安田進，佐藤真吾，石川敬祐：東日本大震災で被災した造成宅地における切盛地図を用いた現地調査，日本地震工学会・大会—2011梗概集，pp. 26～27，2012.
- 9) 仙台市復興事業局宅地復興部：仙台市宅地保全審議会技術専門委員会，[http://www.city.sendai.jp/fuzoku/1197681\\_2699.html](http://www.city.sendai.jp/fuzoku/1197681_2699.html)

# 新刊紹介

## 住宅地盤の調査・施工に関わる技術基準書

NPO住宅地盤品質協会

〈価格〉協会員価格1,000円(協会員外1,200円)税込 A4判142ページ



住宅地盤品質協会は住宅地盤の調査・施工に関わる技術基準書の第3版を発行した。明解で健全な住宅地盤の調査・補強工事を実現するための指針となることを目的として2007年1月に初版を発行してから9年が経ち、細部の修正を加えながら、研修会やセミナーの参考資料として活用され、会員への周知、浸透が図られてきた。第3版を2016年1月に発行した。今回の改定では、技術の向上と地盤事故の減少という観点から基準の一部見直しと、よりわかり易くするために文章などの修正・統一を行っている。

主な改定内容はJIS規格変更への追従、柱状改良の改良径500mm以上600mm未満を条件付で許容、小口径鋼管の鋼管長制約および拡底翼の大きさ制限の緩和など。

〈住品協発行図書購入方法〉

HP内の住品協図書館より書籍購入申込書をダウンロードして必要事項を記入しFAXでお申込下さい。

住品協図書館 URL：<http://www.juhinkyo.jp/books/library/>

〈お申込・お問い合わせ先〉

NPO住宅地盤品質協会 事務局

〒113-0034 東京都文京区湯島4-6-12 湯島ハイタウンB-222

TEL：03-3830-9823 FAX：03-3830-9852

### 〈目次〉

- 1 総則
- 2 地盤調査
- 3 地盤補強工事
  - 3.1 表層地盤改良
  - 3.2 柱状地盤改良
  - 3.3 小口径鋼管
  - 3.4 小口径既製コンクリートパイプ