

造成宅地の耐震化の現状と課題

Situation and Issue of Seismic Reinforcement to Ground Developed for Housing Lots

二 木 幹 夫 (ふたき みきお)

一般財団法人 ベターリビング 業務執行理事・つくば建築試験研究センター所長

1. はじめに

宅地開発を行うには、宅地の安全性、快適性の他、相隣関係、利便性を含めた都市としての環境整備が求められる。その中でも安全性については、住環境の基本的な要求事項として、本来は最も重要視されるべき項目の一つではあるが、現実には、利便性や日常の住環境の快適性などが優先されて宅地の選定が行われている印象が強い。したがって、安全性の担保が確かでない宅地が市場に存在していることも事実である。

地震時における宅地被害では、低地の液状化現象や小規模な斜面崩壊などは以前から知られているが、我が国では、大規模なものとして阪神大震災における六甲山周辺にある丘陵地での宅地被害以降、新潟県中越沖地震における県内の造成宅地、東日本太平洋沖地震でも仙台市を中心に多くの丘陵地での宅地盛土に甚大な被害が発生している。また、東京湾沿岸地帯の広範な低地における埋立て造成宅地に液状化による被害が発生して、その後の復旧対策の方法も含めて大きな社会問題となっている。日常の環境の中では、使用される器具や施設は、ある安全性の中で製造され整備が行われている。人工改変地である宅地（以後、造成宅地）は人為的に整備が行われているとはいえ、宅地の安全性に関わる事柄の多くは立地条件に依存している点が多い。宅地には自然の地盤が簡単に整地されている場合や盛土と切土が大規模に行われて、施工方法や施工管理に依存した宅地地盤の品質が支配的になっている場合とがある。地震防災の観点から見て自然地盤と造成宅地とを比較すると、自然地盤では大規模な崩壊や表層の斜面崩壊なども少なからず発生しているが、被害として顕在化しているのは圧倒的に造成宅地での災害が多く、原因としては、人工地盤での耐震性の不十分さや集中した宅地密度の問題なども関係している。ここでは、地震時における被害が顕在化しつつある造成宅地の耐震性について述べるが、これからの耐震対策などの議論をするには、新しく造成される宅地の場合と既に住民の生活が営まれ市街地化している宅地（以後、既存宅地）を分けて考えることが適切である。また、造成宅地は人工物であるがゆえに、宅地の品質はその供給を行うための制度などと密接な関係にあり、宅地耐震化の推進には地盤に関する技術論のみでは解決出来ない問題が少なからず含まれ、問題の解決を複雑化していることに留意しなければならない。

2. 造成時の宅地耐震化

造成宅地での地震被害の多くは、盛土や埋土による宅地部分に集中しており、造成地周辺に接する自然地盤や切土において斜面崩壊などが生じている場合もあるが、被害の発生は多くはない。造成時における宅地盛土に関する基準には、大きく土の締固め度などの施工基準と斜面の安定性に関する設計基準とがあるが、開発される区域、規模などによって、適用や推奨される法律、基準が異なっており、また、許可を必要としない小規模な造成宅地や区域が存在する。平成18年度に宅地造成等規制法による宅地耐震化への取り組みが始まるまでは、宅地地盤での災害対策の対象は降雨災害への地盤対策と盛土荷重による沈下対策など長期の安定性を主たる検討の対象としていた。

2.1 丘陵地における宅地の場合

過去の地震被害から、地震時に大きな被害を発生している盛土の特徴としては、丘陵地における旧谷部を埋め立てたひな壇造成地（谷埋め盛土）や比較的急斜面に盛土した盛土（腹付け盛土）が指摘されている。谷埋め盛土では、素地に残る底部の軟弱土や腐植土の存在及び盛土を行ったことによる地盤レベルの変更に伴う地下水位の上昇などが考えられている。また、腹付け盛土では、旧地形の勾配が滑り線になり易いことや造成地周縁での法勾配が比較的急勾配となることがある。

谷埋め盛土が地震時に不安定になる第一の要因としては沈下水位の形成が指摘されている。盛土内に地下水位が存在すれば、地盤内の有効応力が減少して盛土のせん断強度が低下することと地震時の慣性力が大きくなり、地震時に大きく斜面の安定性が低下することはよく知られている。また、地下水位と緩い砂質土が盛土底部等に存在すれば、液状化に近い状況を生み出すこともあり、緩斜面であっても斜面方向への変形が助長され易い。

一方、腹付け盛土では、地形的には集水地形ではないが、旧斜面からの地下水があればその影響は少なからず受け、また、斜面周縁部などの位置的特徴から締固め作業などが不十分となり易いなど、盛土の施工管理上の問題や斜面端部での地震動の局所的増幅作用なども考えられる。造成時における耐震対策としては、盛土を行うための基本的な技術的基準が施工時に遵守されていることが一義的に重要であり、谷埋め盛土では、素地の表土や軟弱地盤の除去や改良、地下水排除のために排水層を設

置し盛土の強度低下を起こす要因を除去しておくこと、さらには、盛土の適切な締固め基準が定められその基準に沿った品質管理が施工管理や適切な検査段階で行われていなければならない。宅地造成等規制法の改正により、盛土を行う際の巻き出し厚さをほぼ30 cm 未満とすることが政令に規定された。これも、宅地耐震化の実効性を高めるためではあるが、これ以外の締固め密度や排水施設などの管理基準は、参考図書である宅地防災マニュアルに示されている¹⁾。宅地の開発行為では適用される指針類に即した内容で開発が許可されるが申請時の約束が守られる仕組みが不十分であると期待した結果が得られない場合が当然あり得る。建築物では設計時の内容が実現されていることを施工時の検査である程度確認することが制度として一般化されているが、同様に宅地についても開発許可段階での十分な審査の他、施工中の中間検査での設計条件との整合性及び完了検査での品質を確認する仕組みが重要である。また、地震時の盛土の安定性については、法律では、震度法による基準となる水平震度を0.25とし、地域係数を考慮して設計震度を定めているが、地震時にどの程度の余裕を担保出来るかは、大きくは地下水位と盛土の締固めに伴う非排水せん断強度（動的強度）の大きさに依存している。一般的には、土の締固め度を85～90%とある程度の盛土の品質を確保すれば、非排水せん断時の有効応力経路は、過剰間隙水圧の上昇を抑えるようになり、また、締固めが不十分な場合には、大きな水圧が発生する可能性が残る（図—1）。

腹付け盛土の場合には、盛土勾配や盛土底部の勾配が大きく、複雑になったり、また、施工条件が厳しく必要な盛土の強度も高くなるので、これらの影響要因の設計への配慮と地盤改良や地盤補強材を使用したより耐震性を期待出来る補強土盛土の採用も考慮して適切な対策を講じておくことが大切である。

2.2 低地における宅地の場合

多くの住宅地に発生した液状化現象による被害は、そのほとんどが、旧河道における改変地あるいは海岸や湿地、池、窪地あるいは土砂採取跡地など地下水位以下の地盤で埋立てや埋土が行われて宅地化された造成地である。今回の東日本大震災でも自然地盤上における液状化被害は少なく、これらの傾向は、最近の液状化現象による宅地の被害の一般的な傾向になりつつある。地盤の埋立て時などにその後の土地の利用形態に応じた要求性能が明らかになっていけば、長期の沈下対策や液状化対策（耐震対策）などを施しておくことは、既に多くの対策

工法の提案もあり技術的にはさほど難しい問題ではない。しかし、実態は、埋立て時などにこれらの対策が十分にとられないまま宅地の供給が行われ、単に経済的な理由ばかりではなく、必要な対策技術が適用される仕組みが不十分であれば、これらの技術が利用される場も少なくなる。

低地における宅地開発では、現在、軟弱地盤対策として、主に地盤沈下の障害に対応した種々の対策を検討する基準になっている。しかし、液状化対策については、建築物での対応が可能であることもあり、注意喚起は行われているが対策の義務化は行われておらず、今回の大震災を受けて、国においても、現在、その対応方針などが検討されている。

3. 既存宅地の耐震化

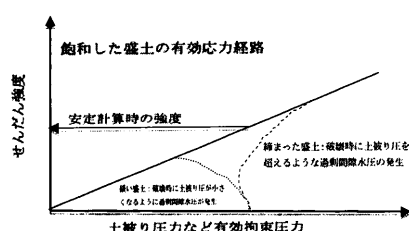
既に供給された宅地の耐震化を図るには多くの課題を克服しなければならない。前述したように、最近まで宅地には法律などで耐震化が明確に求められていなかったことを理解しておかねばならない。また、住宅建設に際しては、自然地盤と造成宅地の区別無く液状化する可能性がある地盤などでは、住宅の建設が制限されてはならず、地盤の支持力確保のための地盤改良や杭基礎の使用が設計者の判断で行われている。

丘陵地における既存の造成宅地では、被害が直接的に人命に損傷を与えることがあること、また、造成地全体の耐震性が個々の宅地に大きな影響を与え、被災した場合の影響が広範囲に及ぶことや復旧までの時間が長期にわたることや地域のコミュニティの破壊を生じ兼ねないなどの理由により、公的な支援を受けて既存宅地の耐震化に取り組む施策が実施に移されている。

これに対して、地盤の液状化被害に代表される低地における既存宅地に対しては、丘陵地に対する耐震化が制度化されている事情とは、表—1に示す点において異なっている。この状況に加えて、既存の不適合住宅の耐震化が必ずしも進んでいない現実では、地盤の耐震化をも合わせて進めることは簡単ではない。主たる理由は、経済的な理由の他、人損への影響が少ない対象に取り組む動機付けが難しい上に、既存宅地の耐震化は、新設の宅地に施工出来る対策に比較して技術的にも格段に困難になることは想像に難くない。いずれにしても、既存宅地の耐震化を進めるためには、まず、現在の耐震性の評価（耐震診断）とその結果にも基づいた耐震補強方法の提示と補強後の精度のある検証が必要である。

表—1 液状化地盤に対する耐震化を進めにくい要因

- 1) 液状化による人的被害のリスクはかなり小さい。
- 2) 危険性による避難を伴うことが少ない。
- 3) 各宅地の液状化対策は個別に行い得るので、一体として取り組むような制度と馴染み難い（補助金等の制度は可能）。
- 4) 安全性を損なってコミュニティを破壊するような事態を生じ難い。
- 5) 建築構造部による対策が可能である。
- 6) 既存宅地への地盤対策は、建築物での対策に比べて割高である。



図—1 非排水せん断強度に及ぼす締固め程度の影響

4. 宅地の耐震診断と耐震補強

4.1 耐震診断

既存宅地の耐震化を進めるには、宅地の現有する耐震性能についての評価（宅地耐震診断）を行わなければならない。これは、多くの構造物で行われているように、その後の耐震補強の方法を決める上でも基本的な事項である。しかし、宅地地盤については、その診断方法を含めて、関連する事項についての提案は行われていないので、今後、その方法や診断基準についての整備が行われていく必要がある。

建築物に関しては、構造種別ごとにその特徴に応じて耐震診断や耐震補強に関する詳細な基準が定められているが、地盤が脆弱であっても杭基礎などの基礎構造物に頼るなど、地盤そのものについての要求性能が無いあるいは曖昧な状況である。震災後に行われている復興事業についても、本来は、これらの技術基準などが整備されていることが不可欠であるが、現実には、単なる原状復旧（被災前の性能）が行われることも多い。これらの基準は宅地の形態ごとに決められなければならないが、大まかに上述した耐震補強が必要であると考えられる谷埋め盛土、腹付け盛土、低地の埋土について、表—2に示すような内容が考えられる。しかし、住宅のような軽微な建築物（直接基礎を採用する場合が多い）では、地盤の耐震性能が建築物の耐震性に大きな影響を与える場合が高く、4号建築物への簡素化された規制の中で、地盤での対策が不十分な現状には何らかの対応が必要な状況が生じている。本来は地盤と合わせた議論が必要でありまた合理的でもあるが、残念ながら社会的にコンセンサスを得た規定を設けることができる機運には無い。

4.2 耐震補強

既存宅地の耐震性の評価や適切な耐震補強を行う場合、対象とする地震動レベルが決められていなければならない。例えば、谷埋め盛土などを対象とした宅地耐震化事業では、解析方法である震度法に依存した外力として、基準となる水平震度0.25を基にした設計震度が決められているので、耐震補強は不足する滑動抵抗力の付加などの補強方法を施工した状態での耐震性の検証が可能である。また、低地における液状化対策では、補強対策後の推定沈下量がある値以下にするなどの提案や住宅の地盤

支持力を確保する案などがあるが、地震動の大きさをどの程度のレベルに設定するかなどは一様な判断が難しい状況である。

既存宅地の耐震補強では、対策が必要な地盤の位置に住宅やインフラ設備が既に存在しているため、それらを撤去せずに行う施工方法が限定的にならざるを得ないこと、連続した地盤に一定の耐震性能を担保させようとすると、存在する宅地、住宅、公的施設・設備などを所有する権利関係の調整が簡単ではなく、広い範囲での地盤対策が行い難いことなどがある。

既存宅地では、造成時に施工することが出来る地盤補強材の敷設や砂の締固めなどの耐震対策が、施工上の障害や既存構造物への悪影響のためほとんど利用出来ない。丘陵地での盛土では、地滑り防止杭や矢板による抑止、空地でのネイリングなどの地盤補強、弱層への固化による地盤改良、住宅地での地盤沈下が問題とならなければ地下水位低下工法などの利用が検討されている¹⁾。また、震災からの公費による復興事業として検討されている低地の液状化対策では、道路を含めた一体対策として、沈下が問題とならない範囲での地下水位低下工法、まとまった区画単位での格子状地盤改良工法による地盤補強が提案されている。

一方、個別の宅地での液状化対策としては、機械的な締固め工法、グラウト等による締固め工法、固化による非液状化地盤の構築、礫や人工透水管材による排水による間隙水圧の消散工法、木杭、礫杭やモルタル杭による締固めと荷重の支持あるいは軽量材を使用した浮き基礎等の他、一般的な基礎杭、柱状改良などの工法が提案されている^{2),3)}が、単に沈下修正工法であったり、工事費用が高額であるなど、また、論理的には可能であるが、開発段階での技術提案に留まっている工法もあり、補強効果の確認方法や実証的な検証が不十分である工法が少なくない。また、地盤対策を前提とせず、住宅への事前の沈下修正機構の付与や保険による物損への備えなども広義には液状化対策の選択肢として考えられる。耐震補強については、補強方法の妥当性や工事後の結果責任などを考えると明示的に補強効果を示すことが望ましく、この点に関する検討は今後さらに進められる必要がある。

5. 耐震化事業の展開と法制度など今後の展開

宅地の耐震化など宅地の技術的な問題を考えるには、宅地が供給される仕組みについて理解しておくことが大切である。宅地は、丘陵地や平地における素地の区画形質の変更の他、海の埋立てや廃棄物による盛土であったりするなど、造成の過程によっては管理する仕組みや技術基準などが異なっているが、最終的には同じ宅地として消費者に供給される。しかし、当初から住宅地としての土地利用計画がなければ、住宅地として耐震性能を担保させることも期待出来ず、一部の公的に供給された宅地を除けば、これまで、住宅地の耐震性を担保するための十分な仕組みが整っていない。理由は、耐震化技術が未発達であるとか不足しているというよりも、耐震性を

表—2 耐震診断の内容など検証項目の概要

- 1) 谷埋め盛土／腹付け盛土：宅地耐震化事業における造成宅地防災区域指定に向けた一連の作業を参照：盛土の抽出—危険宅地の選定—地震時の滑動検証（基準となる水平震度 0.25）などの他各宅地での擁壁、法面などの耐震性の検証。
- 2) 低地の埋土：上記の事業と同じように埋土宅地の抽出—1次判定による絞り込み（FI 値、PI 値など）—基礎仕様との関係。
 ＊直接基礎：液状化層、非液状化層との関係、想定される沈下量、液状化時の支持力の判定など、対象とする地震荷重。
 ＊杭や柱状改良：補強の長さ、液状化の発生位置、支持層の位置など。

確保するための法制度などの仕組みやその仕組みを実現する社会的コンセンサスが不十分であることが一義的に大きい。

宅地造成等規制法では、平成18年度から丘陵地における既存の盛土造成地を含めて耐震化を進めており、そのための補助金制度が創設されている。これまで、宅地の耐震化を求める声は以前からあったがほとんど実施されず、民間が主体的に行う事業においては、耐震性の規定が法的に設けられていることは極めて重要であり、既存宅地の耐震化事業は大きな推進役として期待される。この事業では、宅地の耐震化が必要であると判断された宅地を「造成宅地防災区域」として指定し、具体的な耐震化対策事業が国、自治体の補助を受けて民間との協同で展開されるが、大きな問題として対象区域によっては対象盛土の絞り込みが簡単ではないこと、絞り込みから防災区域の指定の順序付け、具体的な対策工事の実施に向けて、住民との協議、具体案を作る過程における対象宅地と費用負担の決定方法、民地と公有地が共存した状態での対策工事の設計、施工の具体化、対策工事のメンテナンスと責任や費用負担の在り方など多くの課題を解消しなければならない。特に、事業の実施に公的な補助が行われていても民間負担が伴う事業の展開には、慎重な運営と精緻な議論が欠かせない。

低地における宅地の液状化現象については、対策を進める柱となる仕組みはほとんど無く、また、全国的な対象面積の広さを考えると今後の展開を考える上でも一層その対応が難しいことが考えられる。現在、各地の液状化による被災地で計画されている震災復興による対策では、公的なインフラ設備への対策に合わせて個人所有の宅地への効果的で一体的な対策を模索する試みが行われている。国庫負担を伴う同様な手法による液状化対策の推進の可能性は、これからの国の防災に係る施策に依存している。一方、液状化による住宅の沈下や不同沈下による障害への対応策は、必ずしも地盤への対策だけとは限らない。特に、被害が人命の損失に及ぶリスクが非常に少なく経済的な損失に留まっている範囲では、建築物での復旧対応や経済的な損害を地震保険などで補償する対応も費用対効果を考慮した上での選択肢としてあり得る。ただし、このような方法は、建築物の建て替えに合わせて繰り返して対応することが必要なもので、根本的な対応を図るには、地盤への対応が望ましい。しかし、提案されている液状化対策工法は、一般的な基礎工事費に比較するとかなり高額な費用になっていることなどもあり、低価格の対策工法の開発を期待したい。一方、液状化現象のように地盤が不安定になる場合にも、住宅を建設する段階で十分な規制が設けられていない現状は、必ずしも国民が承知していないことも事実であり、将来は、住宅での健全性（主に構造物の物損の抑制）の確保をも求めるかどうかは今後の議論に待たねばならない。しかし、住生活基本法（平成18年）の制定以後、耐震化を含めてより高度な住宅品質の向上の促進あるいは長期にわたり住宅を使い続けることなどを国の施策として推進

していることもあり、これらの住宅に対しては、基本的に支持地盤の液状化などによる不安定化を避けるような方向性が大切であり、耐震性を啓蒙する何らかのインセンティブを与える社会的仕組みが欠かせない。

例えば、液状化の危険性がある地盤を避けて宅地を選定することが出来るように不動産の取引時に宅地の性能を明示するなどの提案が実現されれば、必要な対策も行われ、また、これらの宅地を避けることも可能となろう。しかし、これらの情報の精度や取得方法あるいは提供の方法、費用負担の在り方と情報提供の責任の所在など、社会制度として成立するための様々な検討と仕組みを検討しなければならないと同時に、地価への影響や制度に伴う国民負担などは避けられないので、それに伴う社会的な変化は享受しなければならない。今後の動向に注視したい。

建築物の耐震化においても、公的建築物の耐震化は公費によってある程度進みつつあるが、民間建築物の耐震化は非常に遅れている事実がある。大きな原因は、費用対効果を考える中で、次の建て替え時期との関係など経済的配慮を優先する選択肢があることの影響が大きい。今年、病院や学校、大きな商業施設などへの耐震診断が義務化される方向性が打ち出され、同時に、耐震診断、耐震補強への公的負担率の引き上げも検討されており、このような仕組みが宅地の耐震化にも拡大されることを期待したい。

6. ま と め

住宅を建設するための宅地は、軽微な住宅の基礎を考えれば、宅地地盤が地盤変状などへの抵抗を十分有した品質を確保するために、造成宅地時であれば必要な地盤の耐震化が行われていることが望ましい。しかし、地盤の耐震性の欠如がこれまで看過されてきた既存宅地の耐震化については、耐震性能の評価、対策方法の選定、効果の把握、経済的な負担など多くの問題を解決しなければならない。住宅にとって宅地地盤は建物を支える重要な要素ではあるが、杭基礎などで不十分な宅地の性能を補う形で実務での対応も大過なく行われてきている。また、液状化による被害への対応は、地盤への直接的な対策の他、基礎構造での対応や被災後の復旧に合わせて損害保険で経済的な損失を補填する方法も可能であることから、費用対効果も加味して多くの選択肢があり得る。まずは、適切な段階で必要な情報を消費者に与え、消費者自らが自主的に宅地災害への備えを選択できるように社会的環境を整備して行く努力が必要である。

参 考 文 献

- 1) 宅地防災研究会：宅地防災マニュアルの解説〈第二次改訂版〉、2008年12月、ぎょうせい。
- 2) 液状化対策実現可能性技術検討委員会資料：浦安市ホームページ。
- 3) 二木幹夫：住宅の液状化被害への対応—ユーザへの情報提供の重要性—、ベース設計資料、No. 155 建築編（後）寄稿文、建設工業調査会、pp. 46～50。

（原稿受理 2013.1.27）