

地震時の擁壁被災事例と宅地造成盛土の課題

The Example of Retaining Walls Damaged and Issues of the Embankment
for Residential Land at Earthquakes

神 村 真 (かみむら まこと)

(株)サムシング 開発部長

永 井 優 一 (ながい ゆういち)

(株)サムシング 開発部

田部井 香 月 (ためがい かづき)

(株)サムシング 開発部

青 木 宏 (あおき ひろし)

(株)サムシング 代表取締役 社長

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震では、沿岸部の人工地盤における液状化、内陸部の大規模造成地における谷埋め盛土等の滑動等に起因する宅地の被害が多数発生した。いずれも、従来からその危険性が指摘されていた地域での被災であり、抜本的な対策の必要性が示されたものと言える。中でも、大規模造成地における被災状況から、一度被災した箇所でも繰り返し被害が生じることが確認されており、既存の盛土地盤に対する耐震補強の必要性が高いことが分かる。

ここでは、造成宅地での被災事例に着目し、これまでの知見を整理するとともに、擁壁の倒壊による宅地の被災事例を取り上げ、被害の状況から復旧までを示し、造成宅地における耐震補強の必要性とそこに至るまでの課題を示す。

2. 造成宅地での被災状況と法制度の関係

2.1 これまでの地震での宅地及び住宅の被災状況

沖村らは、兵庫県南部地震により被災した擁壁の被災率を、造成団地の開発時期に関連付けて整理し¹⁾、表—1のようにまとめている。表—1から、1961年以前に建設された擁壁の被災率が、その他の時期に建設されたものよりも著しく高く、その傾向は、造成地のみならず市街地でも同様であることが分かる（市街地での被災擁壁は、すべて1961年以前に建設されたものと推測される）。このことは、1961年に施行された宅地造成等規制法（以下、宅造法と称す）が、防災上、有効に機能していることを示すものと判断できる。特に、1961年以降、宅造法が直接関与しない市街地においても、被災率が低下していることは、法制度の波及効果の大きさを示すものと考えられる。

表—2に、2011年東北地方太平洋沖地震による仙台市の丘陵部宅地の家屋の全半壊被害と造成年代の関係を示す²⁾。表—2から、被害が発生した地区数は、1961～1967年に開発された地区が最大となり、1968年以降に開発された地区では減少する傾向を示す。1968年は都市計画法が施行された年であり、宅造法と合わせて、土地利用に関する制約がさらに高まったことで、被災する

可能性が低下したものと推測できる。なお、全半壊率は、1967年以前に開発された地区では6～7%であったのに対して1968年以降に開発された地区では3%程度の値を示している。このことは、1968年以降、法制度の普及によって造成宅地の耐震性が向上したことを示すものと推測できるが、1968年までの法整備では限界があるため、1968年以降の開発地については、被災率が変化しないものと考えられる。

近年、谷埋め盛土の滑動や地下水の滞留による盛土材の劣化とこれに起因した地震時の盛土破壊が報告されており^{3)～5)}、上記の全半壊率が一定値に留まることは、これらの課題に起因すると考えられる。新規の開発に関連し、谷埋め盛土を行う際の技術的指針は、2007年の宅地防災マニュアルの改訂⁶⁾で周知されることになったが、既存盛土については同様の対応はなされておらず、課題として残留しており、この点の法制化が必要と考えられる。既存の造成地内で新たになされた開発行為の場合、新たに施工された盛土は適切な処理がなされているものの、既存盛土は未処理のまま残置される可能性がある。この場合、建築士が残存する危険を感知できる可能性は低く、住宅の全半壊率が増加する可能性がある。

2.2 被災の程度に関する基準

前述の仙台市での調査結果では、住宅の被災の程度は、内閣府が定める被災建物被害認定の調査・判定方法⁷⁾に基づいている。この判定方法における住宅の傾斜に関する基準と「住宅の品質確保の促進等に関する法律（以下、品確法と記す）」で定められる基礎傾斜に関する基準⁸⁾

表—1 兵庫県南部地震での神戸市での擁壁被災率¹⁾

開発時期	造成団地	市街地
1961年以前	4%	1.2%
1962～1974	0.2%	
1975年以降	0.01%	0.04%

表—2 東北地方太平洋沖地震での仙台市の丘陵部宅地での家屋の全半壊率²⁾

開発時期	対象地区数	全半壊率
1960年以前	8	7.4%
1961～1967	44	6.0%
1968～1977	14	3.4%
1978～1988	8	3.1%
1989年以降	1	3.1%

表—3 住宅の傾斜と被害状況の関係^{7),8)}

被害の状態	内閣府	品確法
常 時 (瑕疵が存在)	—	6/1,000以上※
災害時 (半壊)	1/100以上1/60未満	—
災害時 (大規模半壊)	1/60以上1/20未満	—
災害時 (全壊)	1/20以上	—

※当該告示では傾斜が 6/1,000 以上で構造体力上主要な部分に瑕疵が存在する可能性が高いとしている

を、表—3 にそれぞれ示す。

被災建物被害認定で示された基礎傾斜の最小値は 1/100 であるが、品確法で定める傾斜角の最大値は 6/1 000 で、両者には整合性がない。また、地震保険では、傾斜角 1/100 未満は一部損壊に位置付けられ、保険料は契約金額の 5% と極めて少ない額となる。すなわち、地震によって発生した住宅の傾きが 1/100 未満の場合、軽微な損害と判断され、わずかな保険料しか受け取れず、経済的なリスクを十分回避できない可能性がある。このことは、液状化対策等の初期投資をすることで、被害を最小に抑えようとするほど、地震保険で認定される保険金額が小さくなることを意味しており、地震に対する地盤対策への積極的な投資を鈍らせるとともに、地震保険への積極的な加入を留まらせる原因になっているとも考えられる。

2.3 法制度上の課題

以上のように、造成盛土に関しては、以下のような課題が残されている。

(1) 既存盛土の維持管理に関する未対応の課題

既存盛土内の地下水滞留は、盛土材の劣化、地震時の有効応力の低下による安定性の低下など多くの問題を引き起こす。新規開発時の対応法については宅地防災マニュアルで整理されたものの、既存盛土の維持管理手法については確立されたものが存在しない。今後の技術基準の確立と法制化が望まれる。

(2) 現行法制度で不適格となる造成盛土の取り扱い

既存の造成地内で新たになされる開発行為の場合、新規盛土は宅地防災マニュアルに則った対策がなされるものの、既存盛土は未対策となる可能性がある。この場合、建築士が住宅の安全性を考慮して対策を講じても、造成盛土や擁壁などの工作物の安定性が確保されていないので住宅は被災する可能性がある。このため、住宅が宅地に要求する性能をより明確化し、造成宅地の要求性能として施工管理項目を明確にする必要があると考えられる。

(3) 地震時の住宅の許容傾斜角

現行の災害時の被害認定制度は、事前対策を行って被害を最小に抑えようとするほど、受け取れる保険金額が減少する可能性がある。このことは、減災のための積極的な初期投資を抑制していると考えられる。

これは、住宅の許容傾斜角に対する許容値の考え方が不明瞭であることも関係していると考えられる。常時・災害時に関わらず、住宅の傾斜角が 1/100 を超えると住民に健康被害が発生する可能性が高まると言われており⁷⁾、この値を外力に関わらず維持すべき最低品質と

規定し、これに対する対策の有無で地震保険の料金に差を持たせるとか、税制上の優遇措置を設けるなど施策がなされなければ、減災に対する戸別の初期投資は一向に進まないことが推測される。

3. 大規模造成地での被災事例

以上のように、現行の造成盛土は、宅造法や都市計画法の導入によって災害時の安全性が高まってはいるものの、近年明らかにされた地盤工学上の課題に起因して発生する被害が依然として存在している。また、その被害の中には、法制度上の課題に起因するものも少なくない。ここでは、既存の大規模造成地内で新たに開発された造成地での被災事例を示し、現在の課題を明らかにする。

3.1 地盤状況

2011 年東北地方太平洋沖地震の際に、既存の大規模造成地内に新たに開発された造成地の隅角部にあった L 型擁壁が倒壊し、擁壁に隣接する住宅 3 棟が全半壊する被害が発生した。図—1 に、当該地周辺の旧地形図を、図—2 にボーリング柱状図をそれぞれ示す。

当該地は、かつては谷底低地と台地の境界部に位置しており、貝殻を含む砂質土による盛土の層厚は 9~10 m と厚い。また、地下水位は、擁壁底版から 2 m 程度の深度に確認でき、層厚 10 m 程度の盛土の大半が飽和した状態にあると考えられる。ただし、G.L.-3~-3.5 m 付近を除いて、20% 粒径 D_{20} は 0.1~0.2 mm 程度と大きく、透水係数は 2×10^{-5} m/sec 程度と高い排水性を有するものと判断できる。また、当該地には当初から 3 m 程度の高低差があり、法面があった。倒壊した L 型擁壁は、この法面部を宅地化するために、2001 年に建設されたもので、盛土地盤の透水性が良好であることから、液状化対策は実施されていない。

3.2 被害状況

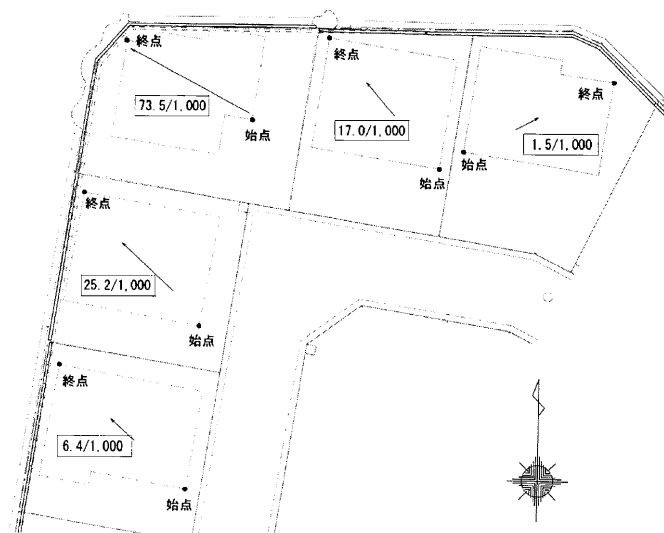
図—3 に、被災した地区の家屋の最大傾斜角とその方向を示す。北側隅角部の擁壁を中心に、擁壁天端は北西方向に約 300 mm 変位しており、これにより住宅に発生した傾斜角は、隅角部住宅で最大で 73.5/1 000 ($>1/20$: 全壊)。それに隣接する住宅で 17/1 000~25.2/1 000 ($>1/60$: 大規模半壊) であった。なお、擁壁下部からは大量の噴砂が流出したことが周辺住民のヒアリングから明らかになっており、当該造成地北側の隣接公園、西側の民家内でも噴砂現象の発生が確認されている。さらに、当該造成地西側の家屋の大谷石塀が転倒、北西方向の隣接家屋も不同沈下発生等、当該地から北側 30 m、西側 20 m 程度の広い範囲で、周辺地盤が大きく変状していた。

3.3 被災の原因と課題

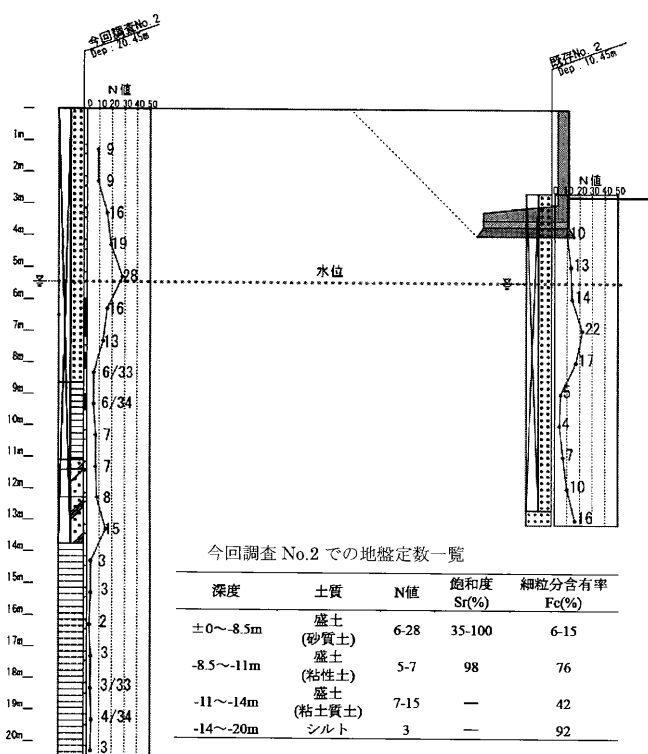
図—4 に、液状化安全率 F_L の深度方向分布図を示す。図—4 から、当該地の砂質盛土地盤は、大半が飽和しており、繰り返し荷重が加われば、有効応力が低下することが考えられる。さらに、当該地には層厚 3 m 程度の高低差があるため、基礎地盤が地震動によって強度低下すれば、安定性が低下し円弧すべりが発生すると考えら



図—1 旧地形図（1967年：国土地理院）



図—3 家屋の最大傾斜角とその方向（2011年3月24日）



図—2 推定地層断面図（2011年4月）

れる。また、当該地は、南から北に向かって傾斜している。

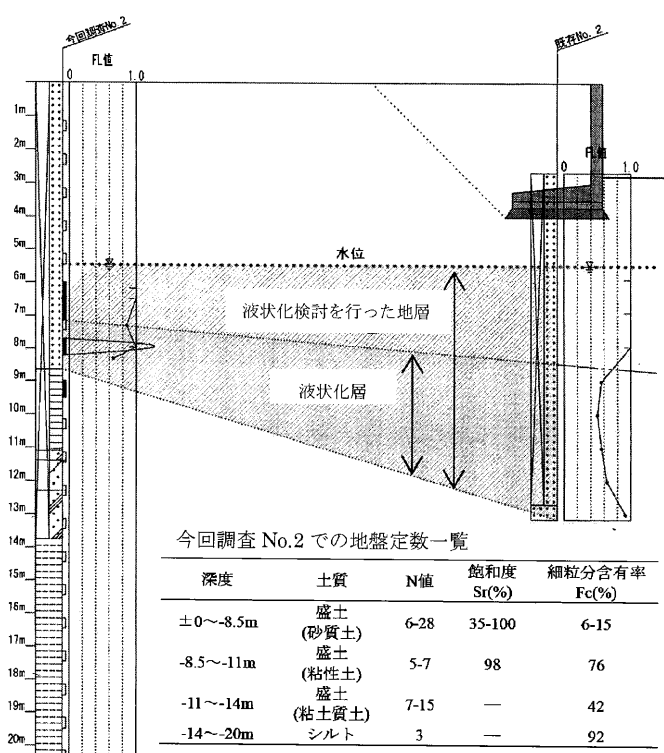
これらの事から、当該地では、飽和した砂質盛土層で液状化が発生して擁壁を有する盛土部が不安定化し、円弧すべりが発生したものと推測される。同時に、当該地は北側に傾斜しており、液状化層が流動した可能性も考えられる。

4. 倒壊擁壁を有する宅地の復旧と課題

ここでは、3.で紹介した被災地での復旧事例を示すとともに、復旧に至るまでのプロセスで明らかになった課題を示す。

4.1 要求条件

近年の住宅の耐震性能は極めて高く、基礎が破壊に至っていなければ、今回のような基礎の傾斜による不同沈下であっても住宅の主要構造部には顕著な被害が認められないことが起こりうる。このため、可能であれば被災

図—4 飽和度及び F_L の深度分布図

住宅は温存し、擁壁のみを復旧することが望まれる。幸い、当該地ではハウスメーカーが、擁壁復旧に対して経済支援を行ったことから、このような複雑な工事が可能となった。

4.2 仕様決定

住民の要求条件から、住宅を温存したまま、被災した擁壁を撤去・再建することとなった。このため、表—4に示す工程を採用する必要があった。図—5に、復旧仕様の模式図を示す。

4.3 設計・施工上の留意事項

(1) 液状化対策

擁壁基礎地盤の液状化により、住宅が大きく傾斜し、居住不能な状態に陥った。このことから、擁壁下部の砂質土層が、地震時に水平抵抗力を期待できないものとし

