

## 仙台市の宅地被災メカニズムと対策事業の現状

著者	飛田 善雄, 山口 晶, 森 友宏, 風間 基樹
雑誌名	東北学院大学工学部研究報告
巻	47
号	1・2
ページ	24-31
発行年	2013-02
URL	<a href="http://id.nii.ac.jp/1204/00024571/">http://id.nii.ac.jp/1204/00024571/</a>

# 仙台市の宅地被災メカニズムと対策事業の現状

## Damages of Hillside Embankments in Sendai city during the 2011 Great East Japan Earthquake and the actual status of countermeasures

飛田善雄<sup>\*</sup>、山口晶<sup>\*</sup>、森友宏<sup>\*\*</sup>、風間基樹<sup>\*\*</sup>

Yoshio TOBITA, Akira YAMAGUCHI, Tomohiro MORI, Motoki KAZAMA

### Abstract

The 2011 Great East Japan Earthquake brought about severe damages to housing and housing lots. In particular the hillside valley filled embankments for residential use surrounding the downtown of Sendai city suffered from serious damages. Some hillside lands which had been damaged during the 1978 off Miyagi- Prefecture earthquake were subjected to damages again. Typical damaged hillside embankments in Sendai city were investigated and discussed in this paper. The concept of countermeasures to the damaged hill for preventing further large slip type failure is also discussed. The construction of countermeasures is believed to be effective for the prevention of large slip type failure; however, the efforts by the residential to reduce the cracks and differential settlement during seismic motions are still of special importance to prevent the housings from damaging.

Keywords : Great East Japan Earthquake, damage of housing lots, slope failure, valley filled embankment

### 1. はじめに

平成23(2011)年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(以下、東日本大震災と記す。)において、東北地方および関東地方に大きな被害が発生した。東北地方においては、津波による被害が甚大であり18,000人を超える死者・行方不明者の大多数を占めるとともに、家屋、工場、商業施設等の被害が顕著であったために、地上構造物の被害が軽視されがちであった。しかし、地震動の継続時間が極めて長い地震動であったために、繰り返し載荷に弱いとされる地盤構造物の被害も顕著であったことが時間の経過とともに明らかになってきた。地上構造物に大きな被害を与えると考えられる周期1秒前後の成分波が少なく、地震動による建築構造物の被害は幸いにして少なかった。

仙台市においては、1978年の宮城県沖地震においても発生した丘陵造成団地の宅地被害が、その規模を大きくして発生した。2012年9月の段階の調査で、5,000を超える宅地の被害が調査の対象となっている。

被害の甚大さを考慮して、仙台市の丘陵造成地の宅地被害については、宅地耐震化事業に基礎をおいて、「造成宅地滑動崩落緊急対策事業」が新たに復興交付金による事業として採択され、250億円(仙台市の特別事業80億円と合わせて合わせて330億円)の対策事業が実施されようとしている。本稿では、仙台市の造成宅地被害のメカニズムを議論し、さらに地震時斜面安定解析および対策工事の基本的考え方を紹介する。今後の地震に対して個々の宅地被害を軽減するためには、現時点での対策には限界があり、住民個人の宅地を健全に保とうとする努力が不可欠である理由

を、地震被害の実態と対策事業の隔たりをもとに説明する。さらに、宅地被害対策事業の現状を広い観点より簡潔に議論する。

### 2. 仙台市丘陵造成宅地被災の概要

仙台市の丘陵造成地の被害状況を図-1に示す<sup>1)</sup>。造成年代が古い仙台市の中心街を囲む地区の被害が大きい状況が理解できる。仙台市において先行して調査された17地区と宮城県により行われた緑ヶ丘3丁目の被害調査結果の概要を表-1にまとめている<sup>2)</sup>。

宅地被害を受けた地区に共通する事項を以下に箇条書きにする。

- 1) 盛土材料が粒子の直径75 $\mu\text{m}$ 以下の細粒分を多く含んでいる。
- 2) 地下水位が一部の地区を除いて、浅い深さに位置している。
- 3) 標準貫入試験のN値が小さく、表層地盤が緩い状態になっている。

表の中の谷埋め盛土とは、本来谷(あるいは沢)地形であったところを埋めた盛土であり、腹付盛土とは、地山に盛土を押し付けるように造成して宅地を広く確保したものである。周辺の雨水を集める地形を造成し、さらに細粒分を多く含む土で盛土がなされているので、雨水の浸透などにより盛土材料の劣化と地下水位の上昇が生じていたものと推察できる。

古い年代に造成された宅地が多く被害を受けた理由の一つとして法的整備がなされていなかった点が指摘できる。特に宅地造成等規制法(1961年施行)以前の造成地の被害が顕著になっている。近年では、宅地に対する耐震化マニュアルが作成されるなど地震時の耐震化については改善がみられる。

\*東北学院大学工学部環境建設工学科

\*\*東北大学大学院工学研究科

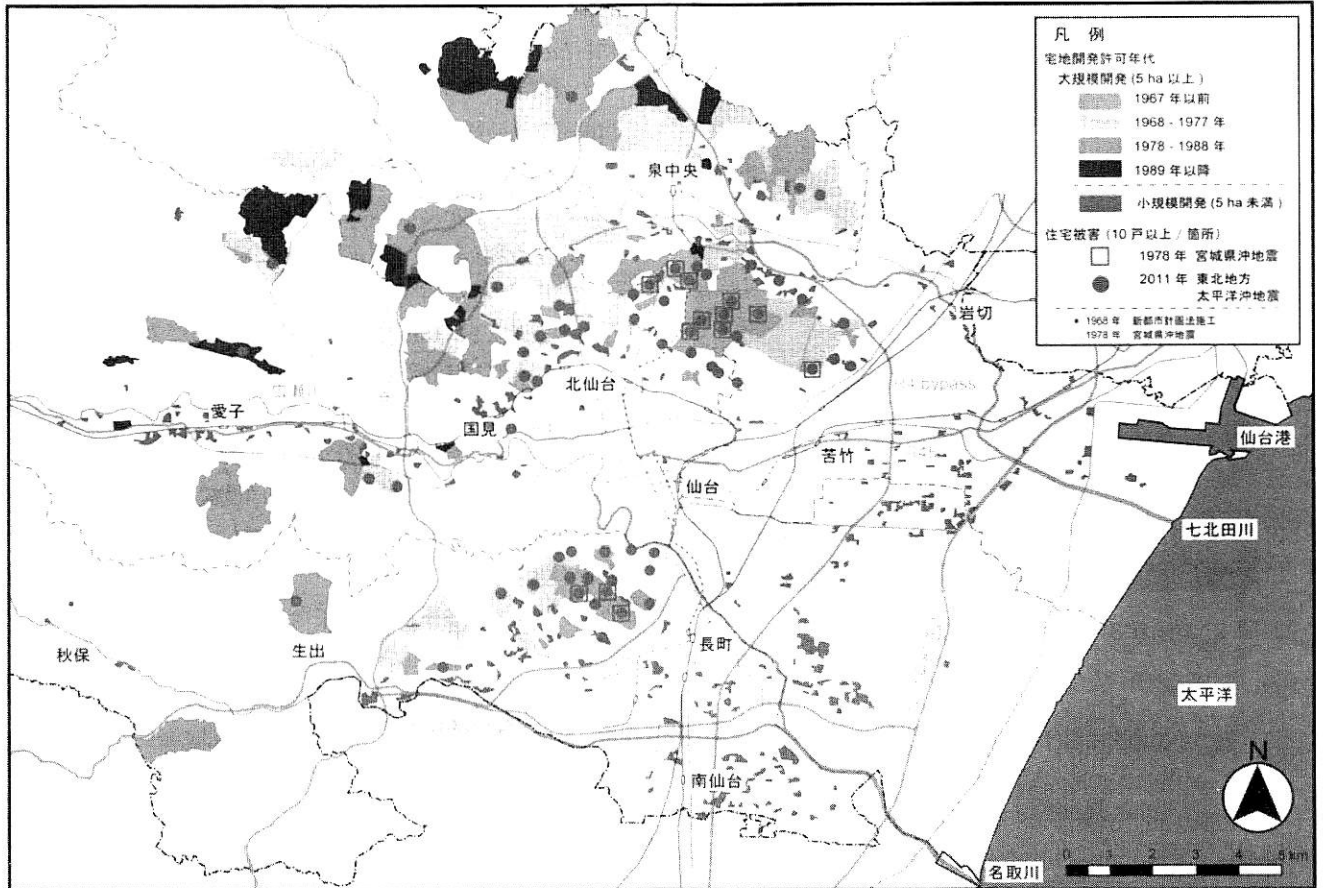


図 1 仙台市近郊造成地における被害分布の状況 (文献1) より引用

表 1 仙台市宅地被災の代表的地区の調査結果 (仙台市調査による)

造成地名	罹災	造成年代	盛土様式	盛土材料	締結含有率 (%)	主たる崩壊要因	平均勾配 (深20-5m)	盛土高さ (最大/平均, m)	現地表面の	地山の	地下水位の高低 (地表面より)
	戸数								西暦		
1 緑ヶ丘2丁目	30	1965-1964	谷埋め	砂礫混じり粘土	76.3	①, ②, ③	0-4	8.0/5.0	9	11	3-4
2 緑ヶ丘3丁目	94	1961-1962	谷埋め	礫混じり砂質シルト	47.7	①, ②, ③	0-8	21.0/10.0	8	7	13-18
3 緑ヶ丘4丁目	107	1960-1965	谷埋め, 腰付	シルト質砂	34	①, ②	0-3	7.0/5.0	12	8	0.5-6
4 大崎町	47	1965-1960	谷埋め	硬粘土混じり砂	61.2	①, ②, ③, ④	0-2	7.0/3.0	11	8	2-6
5 豊和町	53	1965-1960	谷埋め	締結砂質礫	30.2	①, ②, ③	2-4	15.0/3.0	12-14	4	1
6 香山1丁目	110	1963	谷埋め	硬混じり粘土質砂	37	①, ②, ③, ④	0-5	21.0/16.0	8	3	1-15
7 香山2丁目	25	1963	腰付	硬混じりシルト質砂	53.4	②	0-5	8.0/3.0	9	9	0.5-7.3
8 松ヶ丘	45	1960-1967	谷埋め	硬混じり粘土質砂	36.7	④, ⑤, ⑥, ⑦	3-4	26.0/18.0	7	8	3
9 折立5丁目	57	1965-1972	谷埋め	硬混じり砂質粘土	59.7	①, ④	1-2	12.0/7.0	8	8	3.0-5.7
10 西花苑	20	1975-1978	谷埋め	硬砂混じり砂質シルト	49.1	①	1-5	10.0/6.0	15	17	1-10
11 高野原1丁目(北)	10	1989-1995	谷埋め	硬混じり細砂	38.3	①	5	5.7/4.0	8	10	1-3
12 高野原1丁目(南)	4	1989-1995	谷埋め	硬混じり砂質粘土	52.3	②, ⑤	2-4	8.7/6.0	11	13	9
13 高野原2, 3丁目	41	1989-1995	腰付および谷埋め	砂礫混じり砂質粘土	41.4	①, ②	1-3	16.0/12.5	11	6	6-9
14 中山1丁目(滝通)	22	1965-1975	谷埋め	シルト質砂	49.4	①, ④, ⑤, ⑥	1-3	12.5/6.3	22	25	0-1.6
15 中山5丁目	31	1965-1975	谷埋め	シルト質砂	36.2	①, ④, ⑤, ⑥	0-4	15.0/12.0	8	5	1-3
16 双葉ヶ丘	54	1961-1965	谷埋め	硬混じり粘土質砂	不明	①, ④, ⑤	3	16.0/5.0	11	12	2.5
17 南光台6丁目	14	1962-1985	谷埋め	硬混じりシルト質砂	27.9	①, ④, ⑤, ⑥, ⑦	平均6.6	14.0/10.0	8	5	2-4
18 陣ヶ原	11	1975-1976	谷埋め	硬混じりシルト質砂	21.2	①, ②, ③	2-3	6.0/5.0	2	4	2

崩壊要因: ①谷埋め盛土の底盤崩り ②腰付盛土の崩壊 ③地山の地すべり ④切盛の境界 ⑤擁壁の崩壊 ⑥盛土の陥み ⑦液状化

注記: 本一覧表は、仙台市近郊の造成宅地の全体的な調査結果を概観するためのものである。個々の宅地の被害については厳密性には欠ける資料である。

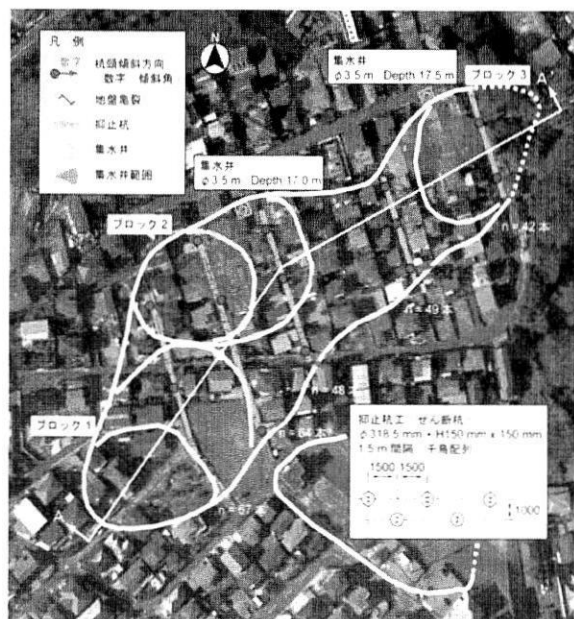


図2 緑ヶ丘3丁目地盤変状と既存の対策

3. 幾つかの地区における検討

代表的な幾つかの造成地について、その被害状況を検討する。ここで取り上げるのは1978年にも被害を受け再度被害となった緑ヶ丘3丁目、1978年地震では無被害であったが、今回大きな被害となった折立5丁目、液状化現象が見られた陣ヶ原、および盛土端部が被害を受けた西花苑の4地区である。これらの地区を取り上げたのは、今後の宅地耐震化を考える上で重要な事例と考えるためである。以下、被害事例を簡潔に説明する。

3.1 緑ヶ丘3丁目

緑ヶ丘3丁目は、1978年の宮城県沖地震でも被害を受け、抑止杭、集水井による盛土内排水などの対策工事が実施された。しかし、今回の地震で再度宅地被害を受けた。

1978年の地震での被害を受けて、直径32cm、長さ16・25mの地すべり防止杭が427本ほぼ斜面の運動方向に直交するように打たれ、さらに2つの集水井が設置された(図-2参照)。これらの対策工と今回の被害状況の断面図を図-3に示す。盛土材料は礫混じり砂質土および礫混じり粘性土である。後者は細粒分を多く含むために盛土材料としては好ましくない。住民の情報によれば、噴砂が見られたということであるので一部液状化を原因とする変位もあったものと推察される。

集水井による盛土内排水は有効に機能したと考えられ、地下水位は地表面以下、13m~18mに位置しており、他の被災地区の浅い地下水位と好対照をなしている(表-1参照)。地すべり防止杭は今回の地震により破損したが、有効に機能し大規模なすべりの発生を防いだ。しかしながら、宅地および家屋は大きな被害を受けており、周辺地区の被害と同程度となっている。この事例は、大きなすべりの発生を防いでも、地盤が緩い状態であれば、深さ3~4mの浅いすべりや盛土表面の斜面下、クラックなどにより家屋被害が大きくなることを示している。盛土表面の地盤改良の必要性が唆されている。

この地区の対策事業としては、破損した地すべり防止杭の再設置、集水井の補修とともに、地すべり杭間に発生する小さなすべりに対する対策工事がなされる。

3.2 折立5丁目

折立5丁目は、1965年に造成が開始され1972年に完成した団地である。1978年の地震では被害は報告されていないが、2011年の地震で多くの宅地と家屋が被害を受けた(図-4および図-5に断面図と平面図を示す)。盛土材料は礫混じり粘性土であり、シルト岩および礫岩を母岩としている。

地下水位は3mと浅く、標準貫入試験によるN値は0~3であり、盛土はかなり緩い状態である。震災前後の航空写真を利用して計測した表面地盤の水平変位は、すべりの頂部で0.6m、中心で2.5m、先端部で2.0mであった。盛土のすべりは小規模なものが連なったものであり、その深さは5.0mから7.0m程度で

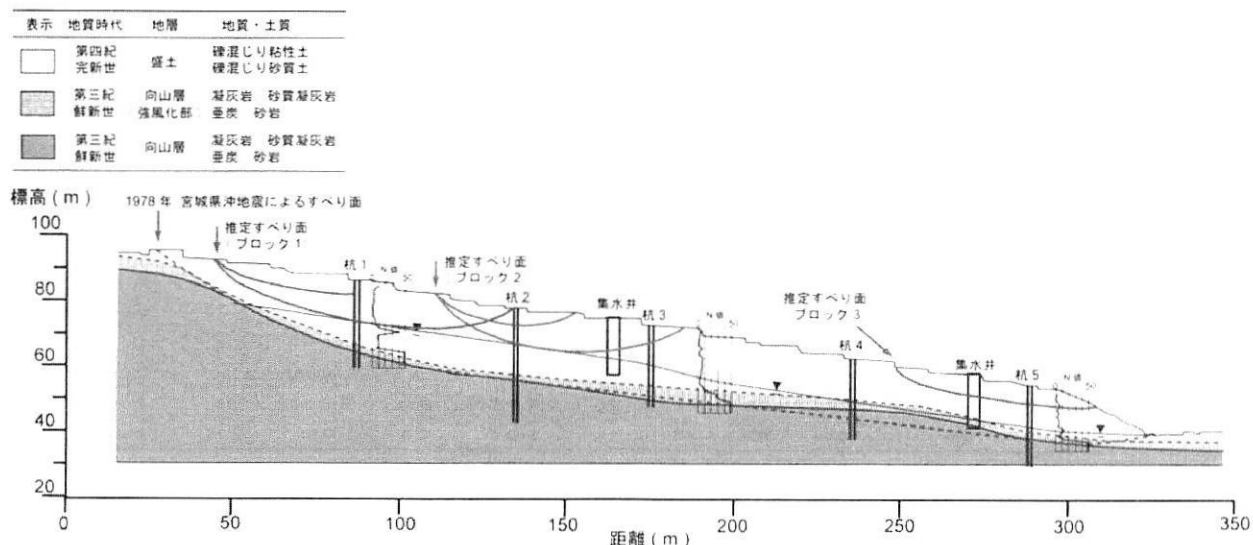


図3 緑ヶ丘3丁目 被害断面図

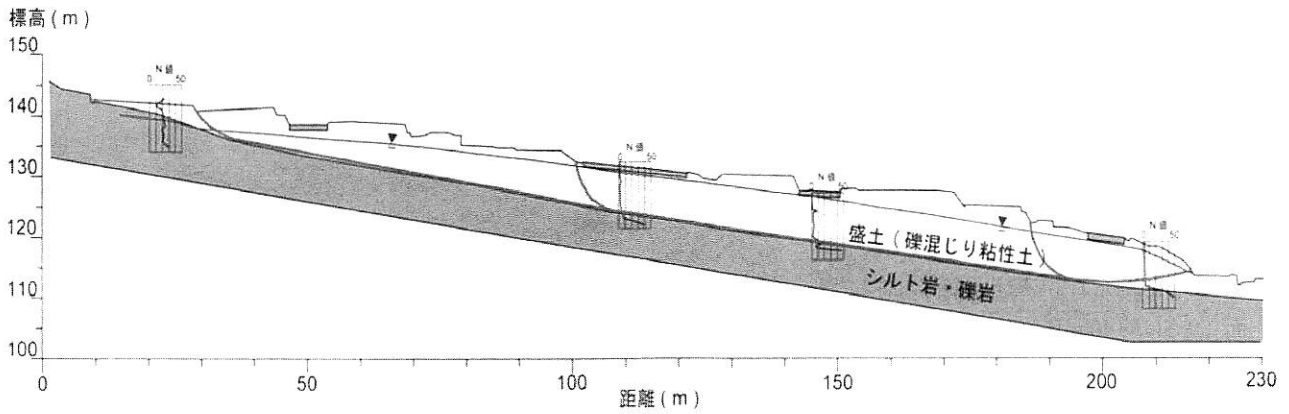


図4 折立5丁目断面図 : 深いすべりに対する検討

仙台市折立5丁目(1978年被災なし)の事例

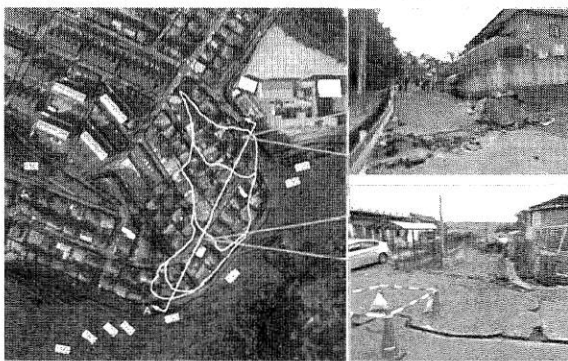


図5 折立5丁目の被害状況



図6 陣ヶ原地区の震災前後の状況 (上: 震災前, 下: 震災後)

あろうと推察される。宅地や家屋の被害の多くが、クラックや不同沈下など浅い小規模な地盤変状に起因するものと考えられるが、大きなすべりも発生しているようにも見られる。

対策事業としては、全体のすべりを止める杭工と地盤の安定をはかるための盛土内排水工が計画されている。

3.3 陣ヶ原地区

陣ヶ原地区は、仙台駅から北北東に約5.0 kmの位置にある。造成前の地形は七北田川の支川をなす沢があり、沼地を形成していた。南光台団地の造成が終了した後、1975～1978年ごろに造成された。沼地の半分程度は、現在南光台団地の調整池となっている。

造成された盛土は礫分を含む砂質土であり、盛土厚さは8・10 m程度でありN値は2～3であり緩い状態であった。(地下水位は盛土内に位置し、地盤深部に飽和状態の砂が過剰間隙水圧を上昇させるとともに調整池側の擁壁の基礎が支持力を失い、調整池側に転倒することにより盛土地盤全体が流動した。震災前後の当該地区の状況を比較した写真<sup>3)</sup>を図-6に示す。この地区においては、図-7に一例を示すように、流動、クラック、段差の宅地変状が顕著であったことより全壊家屋が多く、地盤条件が良かった被害軽微な2軒を除いて住民は震災後転居している。

対策工事としては、残る2軒が利用する道路部分に対して安定

処理工事を実施し、宅地と調整池に設置されていた擁壁の代わりに法面工事を実施することとしている。

宅地造成等規制法の対象とはなっていない小規模な造成地であるが、沼沢地の盛土であるとともに半分は調整池として利用されており、盛土の上に全体の宅地を支える擁壁があるという状況であることから地震に対しては脆弱な造成といえる。



図7 陣ヶ原における被災状況 (調整池側の家屋)

### 3.4 西花苑地区

この地区では谷埋め盛土がすべり変状を生じている。盛土部分は造成前には沢部となっており、地震時の地下水位は浅かったと推定される。 $N$ 値は5以下であり盛土の状態は緩かった。旧地形で2本の沢部に位置する谷埋め盛土がすべり、2戸の家屋が転倒している、反して地山部の3戸の家屋の被害は小さい(図-8参照)。

被害のあった箇所は西花苑団地の西端部に位置し、今回崩壊した斜面(高さは約40m)の下の平地には別の団地の家屋群が存在している。被害箇所は、団地の周回道路の外側に位置しており、団地本体に大きく遅れて宅地として分譲されたものと推察される。

斜面の高さが大きい場合には、地震時に特に斜面天端においては地震動が増幅し、被害が大きい傾向はこれまでの地震でも報告されている。周回道路のさらに斜面側に位置する盛土については宅地として利用するのではなく、公園等公共利用地としての利用が望ましいことは常識である。見晴らしがよいということで同様の箇所が宅地として分譲されている例が散見されるが、地震時の安定性に問題があることを周知する広報活動が必要であろう。

対策事業としては、盛土内排水を目的とする暗渠工法と斜面安定工法の適用が計画されている。

## 4. 被害調査、安定計算および対策工法選定の方針

### 4.1 被害調査の概要

被災各地区に対して詳細な調査が仙台市によって実施されている。主たる項目は、家屋および宅地の被害調査、被害メカニズム同定に必要な測量、ボーリング、土質試験などからなっている。平成23年度においては、盛土と地山をすべり面とする大きな滑り(大規模滑動崩落)を主たる対象として調査を実施していた。しかし、平成24年度調査においては後述するように、対象とすべき被害事象が拡張され、浅いすべりによる被害も対象となり、そのすべり面を推定するために、S波(せん断波)速度分布を求め地盤の緩い領域を判断する表面波探査も実施した。これらの調査結果をもとに、地盤変状メカニズムを判断し、事業の実施に必要な地震時安定計算を行い、対策工法の選定を行った。その結果は、仙台市の宅地保全審議会内に設置された技術専門委員会にて技術的観点から検討し、妥当性を検証している。

### 4.2 盛土の地震時安定計算

盛土の地震時の地盤変状を予測するためには、実際の地震動を人力として動的解析を実施するのが正当であるが、被災後の対策工法の緊急性を要する検討の場合には不向きである。その理由としては以下のことが挙げられる。

- 1) 通常業務の手法とするには動的解析は難しい。
- 2) 動的解析に必要とされる物性値を求めることが困難である。
- 3) 動的解析を実施したとしても、計算結果に対する信頼度は、必要とされる経費と比較したとき、高くない。

今回の地震時安定計算においても、多くの建造物の耐震性の



図8 西花苑地区の被害状況

検討に利用される「震度法」を利用することとした。震度法は、不規則な実際の地震荷重を静的な水平(あるいは垂直)荷重に置き換えて静的な安定計算を行うものである。

阪神大震災の事例解析を踏まえて造成宅地滑動崩落緊急対策事業において、水平震度が $k_h = 0.25$ に指定されているので、これを採用した。

震度法による解析の妥当性を、幾つかの被災地区を対象として、動的解析、地すべり等で利用される解析手法も実施し、対策事業での安定解析の妥当性を検証した。

震度法による地震時安定解析は宅地防災マニュアルに準拠して行い、以下の式を基本とした<sup>9)</sup>。

$$F_s = \frac{\Sigma [C + \{ (W - ub) \cos \alpha - k_h W \sin \alpha \} \tan \phi]}{\Sigma (W \sin \alpha + k_h W)} \quad (1)$$

式(1)の詳細の説明は参考文献5)に譲るが、最も注意すべきは粘着力 $C$ と内部摩擦角 $\phi$ の設定である。被災現地より不攪乱試料を採取して、適当な圧密条件を与えて非排水せん断試験を行い $C$ と $\phi$ を決定すべきと上記マニュアルでは記述されているが、不攪乱試料の採取が困難であること、被災した斜面の土質が一定ではないことなどより、緊急の検討が必要な場合の実務においては利用できない。

今回は、被災斜面に対して、内部摩擦角 $\phi$ は代表的な地区の3軸圧縮試験結果(圧密非排水試験, CU)より $\phi = 15^\circ$ として、地震後の変位が大きい場合には式(1)による安全率 $F_s$ が0.8であったとし、小さい場合には $F_s = 0.95$ として、粘着力 $C$ を逆算して求めた。これらの計算において式(1)に含まれる間隙水圧 $u$ は地下水による静水圧の影響のみを考慮している。せん断時あるいは地震時の過剰間隙水圧については、 $15^\circ$ という小さな内部摩擦角を選定することでその影響を含めている。

対策工法の妥当性については、対策効果を $P$ としたとき、

$$F_s = \frac{\Sigma [C + \{ (W - ub) \cos \alpha - k_h W \sin \alpha \} \tan \phi] + P}{\Sigma (W \sin \alpha + k_h W)} \quad (2)$$

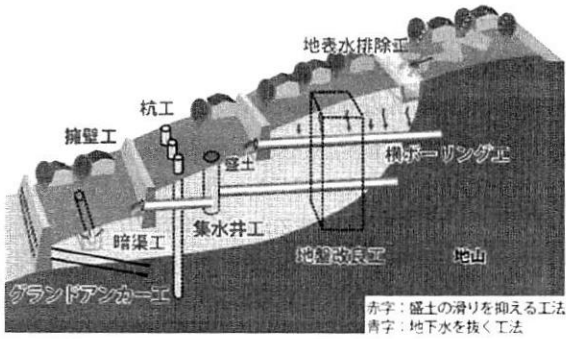


図 9 対策工法：抑制工法と抑止工法

式(2)で定義される地震時安全率  $F_s$  が 1.0 以上となることを要求している。

### 4.3 被災造成地の対策工法選定の難しさ

盛土地盤の耐震化を実施する工法を大きく分類すると、図 9 に示すように、構造物により抵抗力を増加させる抑止工法と地下水位を低下させるなどの地盤状態を改善する抑制工法に分けられる。地盤の安定を図る抑制工法の方が一般に安価であり、費用便益も高いと考えられている。

仙台市のように細粒分を多く含む盛土材料からなる宅地においては、地下水を下げる過程での表層地盤の不同沈下による家屋破損が懸念されることより、抑制工法の適用は難しい。

予防措置としての耐震化事業の場合には、十分な時間をかけて住民のコンセンサスを得ながら、抑制工法を主体とした費用便益の高い工法を選定できる余地がある。しかし、被災後の復旧事業の場合には、施工可能な用地の確保、家屋が存在する場合の施工制約などにより、適用できる工法は大きな制限を伴い、高価な抑止工法の採用が必然となる場合が多い。

### 4.4 震災後の対策工事費用の矛盾

多くの家屋が全壊して撤去され更地となる大きな被災を受けた地区の場合には、施工に関する制約条件が緩和されることより、多様な対策工法の選定が可能である。

一方、住居可能な家屋が残存する被災地区の場合には、斜面安定化に有効な手法であるグラウンドアンカー工法では、アンカーが家屋下を通ることが嫌われ実施できない、地盤の強度を上げる固化工法が採用できない場合が多く、制約の多い条件での対策工法の選定が必要となる。

これらのことより、全壊家屋の多い地区の方が安価な工法を採用でき、家屋被害が少ない地区の方が高価な工法を採用することになるという矛盾が生じることになる。

震災後の対策事業は、施工の制約条件が強く、高価な工法となるとともに、高い施工レベルが必要となり極めて困難になる。震災前の宅地耐震化が強く望まれる。

## 5. 宅地耐震化と震災後の対策事業

### 5.1 地震時の宅地被害の歴史と法的整備<sup>11)</sup>

表 2 宅地規制等の法的措置と地震被害

年	地政および法律名称	法律等の概要
1951	建築基準法	建築基礎等の指定
1962	宅地造成等規制法	宅地造成に関する技術的基準の明示
1971	新都市計画法	ある規模以上の宅地造成に規制
*1978	宮城県沖地震	仙台市および近郊で造成宅地災害
1989	宅地防災マニュアル	宅地造成等規制法および都市計画法の運用の体系的整理
*1995	阪神大震災	丘陵造成地の大規模すべり被害
1998	宅地防災マニュアルの改訂	阪神大震災の宅地被害を踏まえ宅地の耐震化の促進
*2004	中越地震	谷埋め盛土の地すべりの変動(滑动前落)の発生
2006	宅地造成等規制法改定	宅地造成に関する耐震性の確保
2007	宅地防災マニュアル改訂	既存盛土の滑动前落防止対策を再追加
*2007	中越沖地震	柏崎市山本団地に大規模滑动前落防止事業適用
*2011	東日本大震災	造成宅地の被害が仙台市をはじめとして顕著に発生
2012	滑动前落緊急対策事業	滑动前落対策事業の要件緩和、復興交付金による事業

1960年代、わが国は高度成長期にあり、効率的、合理的な生産体制を確立するため、生産基地は大都市周辺に立地することになり、多くの労働人口が大都市周辺に集中することとなった。このため、この増大した人口の住宅を確保するため、低地の氾濫原、後輩湿地、埋積谷、三角州、埋立地などの軟弱地帯が住宅化するとともに、段丘崖下部や山麓部では切盛による宅地造成が盛んに行われるようになった。

この時代は、造成工事が、安全基準作成に先行して行われた結果、安全条件を満たさない宅地が多く造られることになった。これらの宅地が、集中豪雨により被害を発生させたこと、山麓部の造成宅地は階段状の宅地が多く、一区画の宅地災害が下流側の宅地にまで被害を及ぼす連鎖性があることが明らかになり、改善勧告や改善命令等の強制力を有した「宅地造成等規制法」が1962年施行された。この法では、安全な宅地を造成するため、宅地造成工事規制区域を設定し、この区域内の造成工事は許可制となり、安全な基準を見たした場合のみ許可されることとなった。

しかし、同法が施行されている面積は、国土の2.7%に過ぎず、これらの区域のみ開発行為に伴う審査が行われている。

1995年の阪神大震災および2011年の東日本大震災においては、宅地造成等規制法の施行以前と以後とを比較すると、施行以前の被害率と比較して、施行後の造成宅地のそれが著しく低いことが調査の結果明らかとなっており、一定の成果は得られたと考えることができる。

1989年(平成元年)に、宅地造成等規制法および新都市計画法を踏まえ自治体の管理運営を円滑に実施することを目的として、宅地防災マニュアルが刊行された。

阪神・淡路大震災では、地表面勾配が20°以内で、盛土基礎の勾配も10°~15°の緩傾斜で、盛土厚さが10m以内の薄い

盛土が、長さ300m~400mに亘って変状を起こし、2m~3mも移動する現象が見られた。これは、従来の地震による造成地被災には見られなかった被災事象(宅盤変状)であった。1996年に、阪神大震災の教訓を踏まえ、宅地の耐震対策として配慮すべき事項をまとめ、宅地防災マニュアルが改訂されている。

2004年中越地震でも、阪神大震災と同様の地山と盛土の境界をすべり面とする滑動崩落による宅地被害が見られ、2006年に宅地造成等規制法の改正が行われ、既存宅地に対しても「造成宅地防災区域」を指定することが可能となり、既存宅地の耐震化を進める法律的根拠が与えられた。

これらを踏まえて、2007年に宅地防災マニュアルが再度改訂され、既存盛土の滑動防止対策が追加された。

2007年の中越沖地震では、柏崎市の山本団地で初めて滑動崩落事業が適用され、盛土内排水工事を目的とする暗渠工法が採用され、1億6千万円の費用のうち4分の1が住民負担であった。

2011年東日本大震災においては、丘陵造成宅地の被害が顕著であり、家屋の被害が必ずしも地山と盛土の境界面をすべり面とする大規模滑動崩落ではなく、浅い小規模のすべりにも起因していることが明らかとなり、造成宅地滑動崩落緊急対策事業が2011年11月に制定された<sup>8)</sup>。さらに2012年4月に宅地耐震対策工法選定ガイドライン<sup>9)</sup>が制定され、これらに準拠して仙台市の被災宅地の対策事業が検討されることとなった。

これらの一連の動きを表-2にまとめる。大きな被害を受けて、ようやく法的整備がなされるという状況が理解できる。

## 5.2 造成地の耐震化事業および震災後対策事業の対象範囲

造成宅地の耐震化事業は、インフラ構造物や近隣に大きな影響を与えることが懸念される場合が対象となっている。平地での地震被害の場合には、近隣への影響がなく個人の宅地・家屋被害に限定されるために公的対策事業は適用されない。しかし、2011年東日本大震災の場合には、浦安市をはじめとして平地での埋立て造成地の液状化による被害が甚大であったために、公的支援の可能性が検討されている。

宅地は個人資産であるので、災害後の復旧は個人の負担となるのが原則とされている。しかし、被災者の生活再建支援の観点も踏まえて、震災後の宅地被災に対する公的支援対策事業の適用範囲について、広い観点からの今後の検討が必要である。

## 5.3 個人宅地の耐震化に必要なこと

今回の震災で適用された「造成宅地滑動崩落緊急対策事業」においては、地山と盛土の境界をすべり面とする大規模滑動崩落ばかりでなく、小規模のすべりに対しても、住民負担なしで対策を行うことが可能となった。しかし、この事業だけでは個人の宅地および家屋の被害防止は完全ではない。個人レベルでの耐震化のためには、さらに個人個人の努力が必要となる。

個人レベルでの対策が必要な最大の理由は、家屋被害をもたらす原因を検討することによって明らかとなる。森・風間<sup>7)</sup>の泉区造成団地に関する詳細な調査によれば、当該地区の家屋被害の原因は、表層地盤のクラック、段差、不同沈下が多くを占めている。これらの現象は、表層地盤の密度が低く緩い状態に

あるという理由で生じている場合が多い。すなわち、大規模すべり、小規模すべりを防止できたからといって、家屋被害をもたらす要因のすべてを消去したことはない。

個々の宅地の表層地盤を密にする有効な工法は、固化处理などが考えられるが、かなり高価なものとなる。個々の宅地レベルでの安価な耐震化工法については、現在建設各社が開発を試みているが実用化にはまだ時間がかかる。現時点では、家屋基礎の構造として杭基礎を利用するなどの処置の方が現実的と考えられる。しかし、既存宅地の基礎構造の改善は、高価であり個人レベルでは負担が大きいものとなる。

## 5.4 被災住民の生活再建のために、今後考えるべきこと

仙台市は、今回の宅地被災について、造成地滑動崩落緊急対策事業および対策工法選定ガイドラインに準拠して対策事業を進めることとし、仙台市宅地保全審議会内の技術専門委員会を中心に被害メカニズムの検討、対策工法の具体的方法を検討してきた。この事業が実施された地区は、大きなすべり及び擁壁を含むような小さなすべりに対して耐震性を有するようになり、震災前よりも耐震性の高い宅地となる。

極めて条件が悪い地区に関しては、現在地での耐震化対策事業を実施することなく、個人宅地を自治体が買い上げ、近隣に大きな影響を与えない程度の必要最小限の工事を実施し、緑地公園など公的空間としての利用する方が、経済的であり住民の生活再建に寄与する。緑ヶ丘4丁目の一部区域については、このような考えから、防災集団移転事業<sup>10)</sup>の利用がより効果的であると仙台市保全審議会が判断している。

地盤技術、適切な工法選定のみで、宅地被災に関わる問題のすべてが解決するわけではない。今回大きな被害を受けた地区は造成年代が古く、住居者は高齢となっている。高齢者にとって、宅地の耐震化が実施されても、住居を新築あるいは大規模改築する費用を捻出することは困難である。そのような現状にある住民に対して、現地での宅地耐震化事業の経費(1戸当たり換算して1,500万円から2,000万円程度の経費が予想される)と比較できるような生活再建の支援の方策は現時点ではない。わずかに生活再建支援法(1998年制定、2004年改定)が、住居を新築再建した場合に最高額300万円が支給できるとしているだけである。

高齢者が独自での住居再建をあきらめ、災害公営住宅の入居を望む場合に、個人宅地を自治体が購入し、被災者の新しい生活への資金とするとともに、自治体は当該地区を再造成して高度に耐震化された造成地を新たな住居希望者に販売するなどのフレキシブルな方法が可能となるような法体系の整備が望まれる。

個人個人の生活再建支援のための宅地被災復旧事業は1995年の阪神大震災以来充実する方向である。2011年東日本大震災においては、造成宅地被災について数戸程度の小さなすべりに対しても、住民負担なしに対策事業が実施できるように拡張された。大きな被害が発生したことを考えれば、適切な拡張と言えようが、反面、震災前に実施すべき造成宅地の(事前)耐震化事業には負の効果を与えることも懸念される。震災前に実施すると



住民負担があり、震災後であれば住民負担がないという矛盾を含んでいる。

さらに、震災からの生活再建に必要な個人レベルでの宅地や家屋の復旧については、地震保険の充実により達成すべきで、安易に公的支援を拡大すべきではないとする意見もある。

首都直下型地震、西日本での連動型大地震の発生が危惧されている状況では、造成宅地の耐震化は喫緊の課題である。これらの地震で起こるであろう造成宅地の被害は、現状のままでは、東日本大震災の被害をはるかに上回るものになろう。多くの被災者の住環境が崩壊すれば、仮設住宅の設置場所の確保も困難であり、社会不安も増大し大きな混乱も予想できる。

限られた予算の中で有効な宅地耐震化を実施するためには、個人宅地レベルでの耐震化を可能とする安価な工法の開発という技術的問題ばかりでなく、法的制度・地震保険制度の整備、公的資金の有効利用に関する社会的コンセンサスの確立など課題は山積している。

## 6. まとめ

2011年東日本大震災における仙台市の丘陵造成宅地の被害状況について、被害メカニズム、被害要因、造成宅地の地震時安定性の計算手法、対策工法、宅地被災に関わる諸問題について、その概要を示した。

仙台市の造成宅地の被害を大きくした要因は、地震の主要動の継続時間が3分を超えるという巨大地震であったことが誘因であるが、素因としては、盛土が細粒分を含み、比較的緩い状態であったこと、細粒分を多く含むことにより盛土内の地下水位が高く、地震動を受けて間隙水圧が上昇し、滑動に対するせん断抵抗が低下したことが挙げられる。

対策工法を決定するためには、地震時の盛土の安定計算が必要であるが、今回は震度法を用いて実施し、逆解析により盛土の平均的な粘着力  $C$ 、内部摩擦角  $\phi$  を決定した。工法の選択にあたっては、水平震度  $k_h = 0.25$  を与えたときに、安全率  $F_s$  が1.0を超える抵抗力を有する工法とし、さらに施工の制約条件を加味して最終的な工法を選定した。

滑動崩落緊急対策事業の実施により、50戸程度の宅地を含む大きなすべり及び数戸程度の小さなすべりに対する対策事業はなされることになる。しかし、家屋被害は、個々の宅地レベルの地盤変状（クラック、段差、不同沈下）によって生じることが多い。

このために、対策事業の実施が個々の宅地や家屋の地震時の安定性を保証することにはならず、個人レベルでの努力が不可欠であることを示した。

最後に、宅地被災の復旧・復興に関して、造成地や宅地の復旧が被災住民の生活再建に必ずしも結び付くわけではない現状を説明した。災害復旧・復興および被災した住民の生活再建に投資できる費用は制限されるが、より効果的な投資とするためには、災害基本法の抜本的改正などの法律面での整備とともに、復興のあり方について、被災前に十分に検討し、適用可能な公的事業の内容とその実施方法、自助、共助、公助のあり方等について社会的コンセンサスを得る努力が必要である。

## 謝辞

本論文に利用した地盤データは、仙台市が震災後に実施した調査結果に基づくものであり、仙台市宅地保全審議会技術専門委員会で公開された資料を利用した。調査・設計に多大の努力をされた仙台市職員および現地調査、報告書作成に当たった地盤調査・設計に携わった技術者の努力に敬意と謝意を表したい。

## 参考文献

- 1) 若井明彦, 佐藤真吾, 三辻和弥, 森友宏, 風間基樹, 占閑純 (2012): 東北地方太平洋沖地震による被害調査報告—宮城県内陸—仙台市内の造成宅地を中心に, 地盤工学ジャーナル, Vol.7, No.1, pp.79-90
- 2) Mori, T., Tobita, Y., Okimura, T. (2013): Damages of Hillside Embankments in Sendai city during the 2011 Great East Japan Earthquake, Soils and Foundations (in print)
- 3) 仙台市宅地保全審議会技術専門委員会公開資料
- 4) 浅田秋江(2008): 怖いのは地震ではなく地盤である! (総括と提言) 自悠工房
- 5) 宅地防災研究会 (編) (2007): 宅地防災マニュアルの解説, 第二次改訂版
- 6) 沖村孝(2011): 地震動における宅地盛土の被災原因と安全性向上への課題, 建設工学研究所論文報告集, Vol.53
- 7) 森友宏, 風間基樹(2012): 2011年東北地方太平洋沖地震における仙台市泉区の谷埋め盛土造成宅地の被害調査, 地盤工学ジャーナル, Vol.7, No.1, pp.163-173
- 8) 国土交通省 HP: 造成宅地滑動崩落緊急対策事業の創設について, [www.mlit.go.jp/toshi/toshi\\_tk1\\_000003.html](http://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_tk1_000003.html)
- 9) 国土交通省 HP: 宅地耐震対策工法選定ガイドラインの解説, [www.mlit.go.jp/common/000209184.pdf](http://www.mlit.go.jp/common/000209184.pdf)
- 10) 国土交通省 HP: 防災集団移転促進事業のページ, [www.mlit.go.jp/crd/city/sigaiti/tobou/g7\\_1.html](http://www.mlit.go.jp/crd/city/sigaiti/tobou/g7_1.html)