

地震による地盤災害の課題と対策

2011 年東日本大震災の教訓と提言

(要約版)



公益社団法人 **地盤工学会**

2011 年 6 月

公益社団法人 地盤工学会

平成 23 年度 学会提言の検証と評価に関する委員会

東京都文京区千石四丁目 38 番 2 号

TEL: 03-3946-8677

FAX: 03-396-8678

jgs@jiban.or.jp

平成 23 年度 学会提言の検証と評価に関する委員会

委員長	日下部 治	地盤工学会会長 茨城工業高等専門学校
副委員長	龍岡 文夫	東京理科大学理工学部 土木工学科
アドバイザー	沖村 孝	(財)建設工学研究所
アドバイザー	善 功企	九州大学大学院工学研究院建設デザイン部門
アドバイザー	宇野 尚雄	(株)ニュージェック
幹事長	末岡 徹	大成建設(株)技術センター
幹事	風間 基樹	東北大学大学院工学研究科土木工学専攻
幹事	勝見 武	京都大学大学院地球環境学堂
幹事	金谷 守	(財)電力中央研究所地球工学研究所
幹事	古関 潤一	東京大学生産技術研究所人間・社会系部門
幹事	安田 進	東京電機大学理工学部建築・都市環境学系
幹事	吉田 信之	神戸大学都市安全研究センター
委員	谷 和夫	横浜国立大学大学院都市イノベーション研究院
委員	東畑 郁生	東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻
委員	小高 猛司	名城大学理工学部建設システム工学科
委員	堀越 研一	大成建設(株)技術センター土木技術研究所
委員	吉田 望	東北学院大学工学部 環境土木工学科
委員	小濱 英司	(独)港湾空港技術研究所地盤・構造部
委員	渦岡 良介	徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部
委員	若井 明彦	群馬大学工学部建設工学科
委員	佐藤 真吾	(株)復建技術コンサルタント保全部
委員	松下 克也	(株)ミサワホーム総合研究所技術開発部構造研究室
委員	遠藤 和人	(独)国立環境研究所資源循環・廃棄物研究センター
委員	保高 徹生	(独)産業総合技術研究所地圏資源環境研究部門
委員	今西 肇	東北工業大学工学部都市マネジメント学科
委員	河井 正	(財)電力中央研究所地球工学研究所地震工学領域
委員	小林 晃	関西大学環境都市工学部都市システム工学科
委員	毛利 栄征	(独)農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所
委員	高橋 章浩	東京工業大学大学院理工学研究科土木工学専攻
委員	志村 敦	阪神高速道路(株)建設事業本部建設技術課
委員	石原 雅規	(独)土木研究所 つくば中央研究所地質・地盤研究グループ
委員	神田 政幸	公益財団法人鉄道総合技術研究所構造物技術研究部
委員	佐々木 哲也	(独)土木研究所 つくば中央研究所地質・地盤研究グループ
協力者	横田 敏宏	国土交通省国土技術政策総合研究所 下水道研究室

はじめに

地盤工学会は、その会員の多くが地震や豪雨・洪水等による地盤災害の研究、調査、対策工法等を専門とする技術者・研究者であり、地盤災害の軽減を通じて社会に貢献する役割を持っている。これまでも、地盤災害を軽減するための活動を行ってきた。

今回の震災も多くの地盤災害が関係しており、それから教訓を学び、対応策を提案することで復旧・復興に貢献し、全国での今後の震災を防止・軽減するため、提言の作成作業を四つの基本的視点に基づいて行っている。

- 1) 地盤工学は、地盤災害の軽減を通じて、今回、震災の軽減に貢献できたのか？
- 2) 被害の想定と対策が無いか不十分であったため、どのような地盤災害が生じたのか？
- 3) 現在の段階で、復旧・復興、防災・減災のため、どのような地盤工学の手法・技術を提案できるのか？
- 4) 今後地盤災害を軽減するために、進展させる必要のある地盤工学の設計・施工・維持管理の課題は何か？

現在、これらの教訓とそれに基づいた提言を作成している。今回の震災からの復旧・復興だけではなく、全国で近い将来に生じる虞れがある地盤災害を防ぎ、低減するためにも有効であることを目指している。

最終的な提言の作成にはまだ時間が掛るが、今回の震災からの復旧・復興と近い将来の震災を防ぎ低減するためには緊急性が高いことから、今回、以下の重要項目について要約をまとめた。

- (1) 地盤の液状化による被害（特に戸建て住宅）
- (2) 丘陵地の造成宅地の被害と復旧
- (3) 巨大津波による被害と復旧・復興
- (4) 広域の地盤沈降と地盤沈下とその対策
- (5) 災害廃棄物、津波堆積物、塩害、放射能汚染土壌への対処

社会基盤施設の復旧方針と地盤工学技術の活用

(1) 地盤の液状化による被害（特に戸建て住宅）

地盤の液状化による被害および対策効果

東北から関東にかけて広範囲で地盤液状化が発生し、多くの構造物に著しい被害を与えた。震央から最も遠い地盤液状化発生地点は横浜市金沢区（震央距離は422km）であり、国内外の過去の地震と比較して特に遠くない。しかし、地震規模が大きかったため、東京湾岸の若年埋立て地は震央距離が380kmと遠いが、非常に広い範囲で液状化が発生した（図1）。1万戸を越す戸建て住宅が沈下や傾斜して甚大な被害が発生した（図2）。また、下水道などのライフラインと道路が甚大な被害を受けた。同様の被害は関東平野内の湖沼・旧河道の若年埋立て地盤でも数多く発生した。東北においては、丘陵地の造成宅地の一部でも発生した。東北、関東の河川堤防なども主に基礎地盤の液状化により多大な被害を受けた。



図1 推定した液状化発生範囲(安田進、原田健二)



図2 地盤液状化による家屋・道路の被害(安田進)

一方、液状化が広範囲に発生した東京湾岸の若年埋立て地とその外の地域で、道路・鉄道の高架構造物・橋梁、中・高層ビル、共同溝などの構造物の支持地盤の液状化による被害はほとんど無かった。これは、1964年新潟地震以降、建設技術者の間で地盤の液状化は広く認識されて、これら公共機関が整備・管理する社会基盤施設に対する地盤の液状化の予測と対策に関する技術基準が整備されてきて、それによって設計・施工していたからである（図3）。また、大きな民間組織の中・高層ビル（UR等の住宅を含む）や産業施設でも、同様である。地盤液状化対策として地盤改良を施す地区も増えてきており、図1に示した地盤

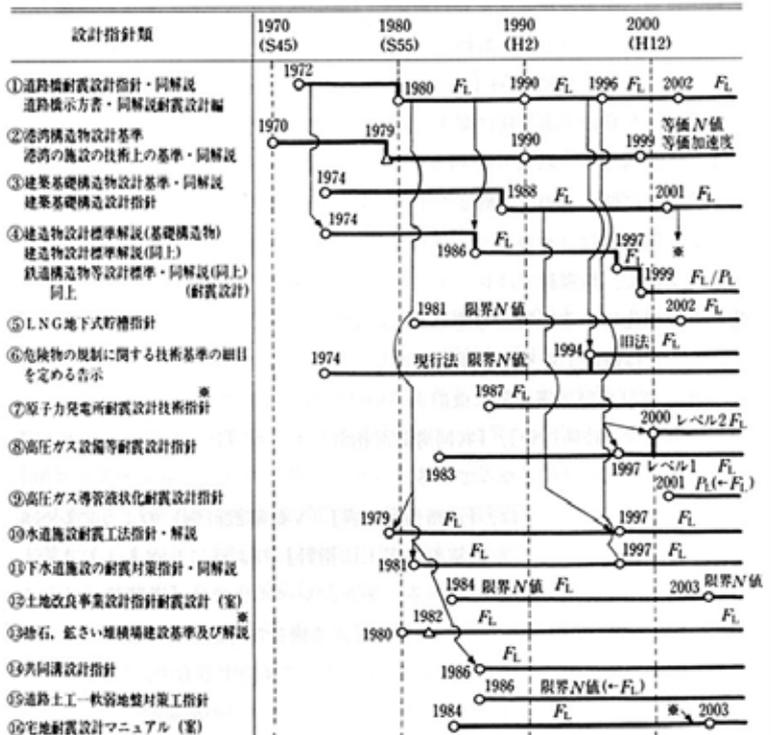


図3 地盤の液状化が各種構造物の設計基準類に取り入れられた年

液状化範囲内でも、地盤改良を行って被害を防いだ地区もある。

すなわち、現在の殆どの技術基準では、レベル II 設計地震動に対して地盤の液状化を予測していることから、それに従えば、実際の地震動はレベル I 設計地震動程度であった東京湾臨海部の若年埋立て地において液状化が生じることを想定し、それに対応することになる。実際も、そうであった。なお、これらの技術基準でも、地震動の継続時間の影響や地盤の液状化に対する強度への年代効果など、今後検討すべき課題はある。

一方、公的な機関が整備・維持管理しているが現行基準を満足しない既存の構造物（上下水道等のライフラインや農業施設のパイプライン等の埋設施設、道路、盛土等）と未対応の自然地盤が多く存在していて、多くの地盤液状化による被害事例があった（6項で説明）。

戸建て住宅の被害の課題と提言

従来から地盤の液状化の対策を行ってきた公共構造物と中・高層ビル等の従来から地盤液状化の対策を行ってきた場合とは異なり、戸建て住宅は地盤の液状化を考慮して設計・建築されて来てはいない。以下は、この状況に対する提言である。

- 1) 宅地が液状化する可能性を調査して、新築戸建て住宅の設計・建築と既設戸建て住宅の補強を行う必要がある。新築の場合、宅地造成時か家屋建築時のどちらかで液状化を考慮すれば良いが、現在の法律では両者のいずれの場合に対しても規制は十分ではない。したがって、建築基準法や宅地造成等規制法の関連法律における規制とか、住宅の品質確保の促進等に関する法律における住宅性能表示事項への地盤の液状化を含めた地盤の品質説明と品質確認の項目の追加、木造建築士の試験内容での地盤の液状化の項目の追加等が必要である。また、丘陵地の造成宅地の被害も多いことから、宅地の常時・地震時安定性などの判断もできる資格の制度を設ける必要がある。さらに、既設の戸建て住宅には、信頼がおけて、かつ低価格な液状化対策方法の開発が急務である。
- 2) 戸建て住宅に適用できる標準的な地盤の液状化の判定法の開発：
 - a) 宅地の液状化の調査の必要性を判断する予備判定法として、ハザードマップは、作成方法を標準化するとともに、旧河道、旧湖沼、埋立てなどの履歴を考慮するなどして信頼性を高める必要がある。
 - b) 宅地の液状化の判定のためにも、統一的な地震荷重を設定する必要がある。特に、東京湾岸の若年埋立て地は、震度は5弱や5強程度で地表最大加速度は150~200Gal程度であったが広範囲に液状化したのは、地震の非常に長い継続時間と29分後の大きな余震のためと考えられる。この要因は、レベル II 設計地震動に対して設計する場合は実質的に考慮される。一方、この要因のため、東海・東南海・南海地震で太平洋沿岸だけでなく瀬戸内海、山陰の若年埋立て層が液状化する可能性があることから、震源位置と地震規模を特定して地盤液状化を予測する場合に備えて検討の必要がある。
 - c) 宅地の標準的な地盤調査法として用いられてきたスウェーデン式サウンディング試験では、地盤の液状化に対する強度の正確な推定は難しいことから、詳細な地盤液状化の調査が必要な箇所の洗い出しに用いるのが良い。より詳細な地盤調査法として、ボーリング孔内の標準貫入試験と採取試料の室内試験等が標準的である。同時に、ある程度精度があり低価格の簡易調査法の開発も必要である。
- 3) 地盤工学会として、戸建て住宅の地盤液状化に被害を防ぐために、社会一般に地盤の液状化による被害とその対策法に関する知識を広く普及する必要がある。地盤工学会は、従来一定の活動をしてきたが、より一層の努力が必要である。

(2) 丘陵地の造成宅地の被害と復旧

今回の被害の特徴とパターン分類

多数の箇所、丘陵地を切盛りした宅地造成地が被害を受けた。このうち、宮城県内では、1978年宮城県沖地震によって被災した箇所が再び被災した箇所と新たに被災した箇所がある。新たに被災した原因の一つとして、1978年宮城県沖地震より振幅が大きく長い継続時間の地震動が考えられる。

一般に、造成宅地の基礎地盤の地震被害のメカニズムは、図1のようなパターンに分類できる。このうち大規模な被害としては、自然地盤内で発生する滑り面をもつような地すべり性の崩壊現象（パターンa）による宅地被害は少なく、谷地形を埋めたいわゆる谷埋め盛土部の斜面開口部での被害（パターンb）が多発している。また、継続時間が長い地震動の影響のためと思われる切盛り境界部での盛土沈下（パターンe）や盛土部の沈下（パターンf）による宅地建物の不同沈下も非常に多い。図2の写真はパターンb)の被害の事例である。

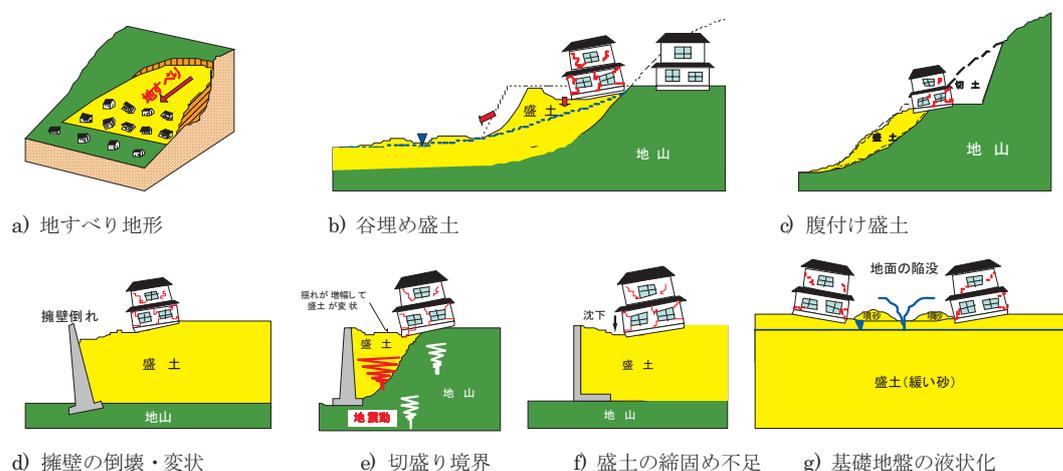


図1 宅地の基礎地盤の地震被害のメカニズムによるパターン分類



図2 左 (Google 画像) : 宮城県白石市では、1978年宮城県沖地震で被災した造成宅地が再び被災したが、集水井などの対策によって被害が限定的にとどまった。仙台市太白区緑ヶ丘でも、1978年宮城県沖地震で被災して抑止杭と地下水位低下工法を併用した対策を行っていたため、今回の地震では盛土全体の滑動崩落を防げた。このように、一度被災した宅地が再度被災した事例としては、2004年中越地震と2007年中越沖地震の事例がある。中 : 今回の地震での谷埋め盛土部の斜面開口部の変状事例、右(宮城県) : 谷埋め盛土の位置図、写真(中)は図の上部の谷埋め盛土部の斜面開口部に位置する

復旧での課題

復旧には、被害の程度に応じて行政の適切な関与が必要である（下表参照）。宅地の基礎地盤が被害を

受けた場合には、建物のみ建替えや修繕にとどまらないため、個人の費用負担も大きくなる。特に、数十の宅地地盤に跨る被害の場合には、個人でできる対策範囲を越える場合が多く、個々の宅地・擁壁の被害に加えて道路等の公共社会基盤施設の被災も含まれる。公共的な社会基盤施設と宅地を恒久的に安定させるためには盛土全体のすべり移動を抑止する強化復旧が望まれる。これにより、宅地安定化・耐震化に対する住民負担も軽減する。この仕組みの一例として、1995年阪神・淡路大震災後の、道路災害復旧事業や急傾斜地防止工事の特例措置である民間宅地擁壁復旧事業がある。また、その復旧では、狭隘な場所での施工や降雨による二次災害への対応も必要となる。

被害の程度分類	被害のパターン分類						
	a)	b)	c)	d)	e)	f)	g)
1) 数十戸以上の宅地に関する大規模な被害（個人の対応を越えるもの）	◎	◎	—	—	—	—	◎
2) 数戸の宅地に関する中程度の被害、公共施設や隣地に危険が及ぶ被害	—	○	○	○	—	—	○
3) 個別の宅地の範囲内で限定される被害（個人の対応となるもの）	—	—	△	△	△	△	△
個別の宅地地盤の被害であるが原因が共通的で被害戸数が非常に多い被害	—	—	—	○	○	○	◎

復旧において◎：行政の関与が望まれる被害、○：行政のある程度の関与が望まれる被害、△：行政の関与が不要な被害

個人資産である戸建て住宅の地盤災害の重要性の社会認識は、不十分であった。また、宅地基礎地盤の耐震診断・耐震補強の制度は整備されたものの、その実施状況は不十分であり、危険な状態で長期間放置されることも多い。この課題に対して、まず、大規模盛土造成地（谷埋め型、腹付け型）のうち今回の地震で被害を受けた箇所と受けなかった箇所の詳細を調査・比較して被災の原因を究明し、今後の宅地基礎地盤の耐震化に活かす必要がある。社会システムに対しては、以下の改善対応策が望まれる。

- 1) 公共的社会基盤設備での土構造物の場合と同様に、新規の造成宅地地盤の排水や締固め等の設計・施工に対しても、国レベルでの技術管理や建設後の維持管理に関わるシステムの整備が必要である。
- 2) 土地・地盤の成り立ちを反映した土地利用計画や防災計画のガイドラインの策定：土地改変履歴、旧地形の把握、造成年代、災害履歴等のデータベースの整備と開示（法的整備含む）および現状での土地利用と防災計画の明示などが必要である。
- 3) 既存の造成宅地地盤の耐震性調査手法の確立するために、施工履歴と現状（盛土材料、締固め度・N値、変形状態、地下水・表面水等）の把握が不可欠である。低価格の補強方法の開発も必要である。
- 4) 損害保険の適用法の修正：例えば地盤災害の対策を施した場合、保険料を低減する制度などの導入が望まれる。
- 5) 新設戸建て住宅の購入予定者が地盤の品質確認できるように、販売者による地盤の品質説明の義務化をする必要がある。

公益社団法人地盤工学会としては、今回の災害を受け、以下の方策を進めたい。

- 6) 被災した個人や地域に対する復旧支援体制を確立する。具体的には、復旧に必要な技術的事項の実施マニュアルの整備、緊急時の自治体等と地盤工学技術者の協力体制や技術支援体制を確立する。
- 7) 地盤の品質確認に役に立つ地盤情報の公開として、すでに「関東の地盤」（2010）などを出版しているが、加えて全国各地域の地盤情報を収集・整理し公開する。これを推進するため、①国と地方公共団体が保有する地盤情報の公開、②道路・鉄道・電力・通信・ガス等の社会基盤施設の整備・管理に責任のある民間企業から地盤情報の公開の協力を推し進める。
- 8) 造成宅地の耐震性の研究・技術開発成果を一般市民に分かりやすく解説し、減災事業を推進してゆく。

3) 巨大津波による被害と復旧・復興

巨大津波による地盤災害

今回の大震災は、地震動被害と津波被害が複合するなど、震災の規模・内容は内陸型活断層地震とは大きく異なっていた。巨大津波に対しては、防潮堤・防波堤は不十分にしか、あるいは部分的にしか機能しなかった。また、漁業施設、道路・鉄道、産業施設、発電所等が被災したが、これらには津波による各種の土構造物と地盤の災害が関連していた。津波による農地塩害、災害廃棄物、有害物質・放射能汚染土壌・津波堆積土等の管理処理問題など、様々な形態の地盤災害も生じた（5項で説明）。

地盤工学の二つの課題

1) 津波防御施設（防潮堤・防波堤、海岸堤防・河口近くの河川堤防等）の設計・建設・維持の課題

津波高さが想定高さを超えるまでは機能していたが、その多くは越波してからの越流・浸食・洗掘等により基礎地盤および本体が崩壊し、多くは完全に機能喪失した。今後、盛土形式での既往の法面対策工の津波に対する効果、盛土形式での津波波力・越流・洗掘・浸水による堤体の崩壊のメカニズム、基礎地盤の洗掘のメカニズム等の解明、洗掘に強い防潮堤・防波堤の建設が必要である。

2) 津波防御施設以外の各種社会基盤構造物の津波に対する耐力の確保の課題

i) 津波耐力がある港湾施設

ii) 津波耐力がある河川堤防の付帯設備の堰・水門・排水機場

iii) 津波耐力がある道路・鉄道：

- ・ 橋梁： 背面盛土・橋桁・橋台・基礎（洗掘に強い基礎）
- ・ 盛土： 津波による浸食、洗掘，流出の防止策（例：補強土工法による越流許容型ため池堤体）
- ・ 津波に対する街作りに応じた路線選定と、それに対応した構造的対処

多重防御施設と居住地高台移転への地盤工学技術の適用

巨大津波による被害を防ぐために、津波防御施設と避難システムだけではなく、多重津波防御施設と居住地高台移転の構想がある。この構想には、次の地盤工学の課題がある。

- 1) RC 構造物の防潮堤を建設する場合には、滑動と転倒防止に杭等の基礎構造物の非常に大きなせん断・引抜き抵抗を確保する必要など課題がある（場合により、地盤の液状化の影響を考慮する必要）。
- 2) 従来の盛土形式の防潮堤は、津波波力・洗掘・越流に対する耐力が低い。道路・鉄道盛土に二次的な津波溯上阻止を期待する場合も、従来の盛土形式では越流が仮に起きた場合には耐力が低い。
- 3) 両者とも一定の高さが必要であるが、法面が緩い通常の盛土では、堤体幅と土工量が非常に大きくなる（図1）。高さが15m、法面勾配が2割5分で天端幅が10mとすると、盛土の底面幅は85mにもなる。
- 4) 住居地を高台移転する場合、盛土・切土工事が必要になる。締固め管理が甘く排水設備が不十分な状態で従来形式の盛土を建設し、また安定化処理が不十分なまま地山を掘削して急勾配切土面とすれば、今回の大震災で経験したように、地震時に崩壊する虞れが高くなる。

多重防御施設と居住地高台移転の構想が有効に機能するために、以下の地盤工学の活用を提案できる。

- 1) 防潮堤などの盛土の造成に、津波被害によって発生した廃棄物を塩分処理等をして活用する。
- 2) 津波波力・洗掘に対する抵抗力が高く越流時にも耐力を保ち、高い耐震性を発揮するように、盛土建

設には適切な締固め管理と排水設備と法面工の配置、必要により各種の地盤改良工法や切土には各種の法面工などによる安定化工法など、地盤工学技術を適用する必要がある。

- 3) 安定化と敷地確保と言う矛盾に対しては、法面が急勾配あるいは鉛直に近い盛土をジオテキスタイル等で補強して安定化する盛土補強土工法によって、掘削法面が急勾配である地山を内部に鉄筋等を挿入して安定化する地山補強土工法によって建設することを提案できる（図2）。
- 4) その上で、住宅や重要施設はできるだけ安定化した切土部に配置し、生活道路や公園等は安定化した盛土部に配置するのが良い。

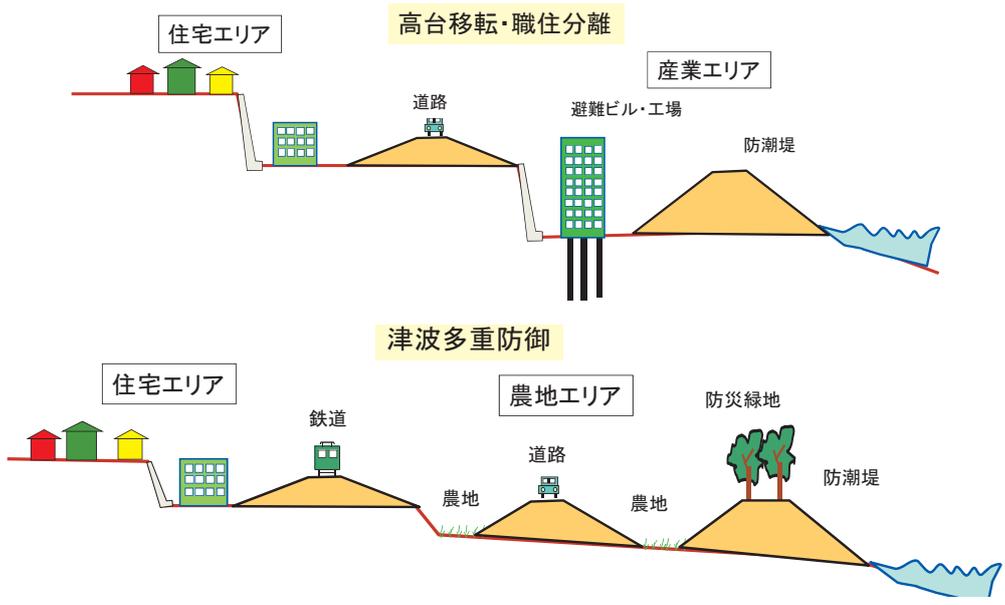


図1 復興計画に従来の地盤工学技術を適用した場合の模式図

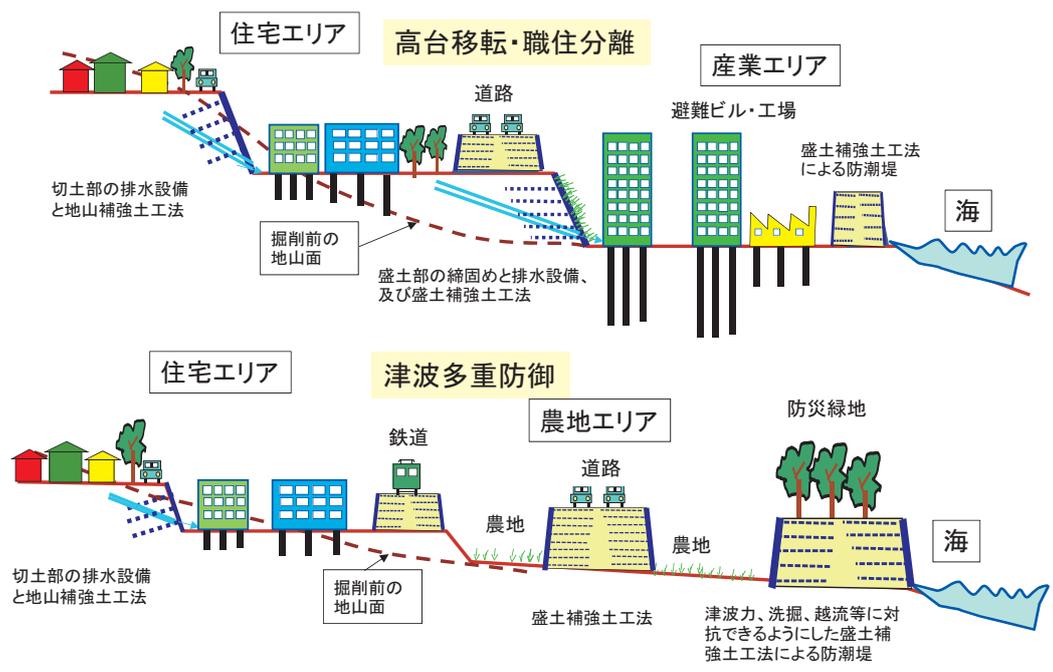


図2 津波多重防御施設と居住地高台移転構想で最新の地盤工学技術の適用の例

4) 広域の地盤沈降と地盤沈下とその対策

地震時に、地盤は地殻変動に伴い沈降・隆起することがあり、締め固っていない地盤は地震時に揺すり込み沈下や液状化後に過剰間隙水圧が逸散することによる沈下が生じることがある。

地盤沈降の概要と今後の対応

東北から関東にかけての太平洋沿岸部で非常に広い範囲で地盤が沈降した。これは地盤の圧縮によるものではなく地殻変動に伴うものであり、各所で数10cmの沈降（牡鹿半島では1.2メートル）が生じた。仙台平野では、海拔ゼロメートル以下の面積が地震前の3km²から16km²に増え、5.3倍になった（図1）。沈降により各地で図2に示すように住宅や農地が冠水した状態が続いた。さらに、津波によって被災した地区の復旧の妨げになっている。排水しようにも海岸堤防が破壊されたり、堤防高さが足りなくなっている。海岸堤防の復旧には長時間かかり、その間浸水被害が続き、さらに沈降ともなって地下水の塩水化が進行していくため、浸水地域の復興に深刻な問題を投げかけている。

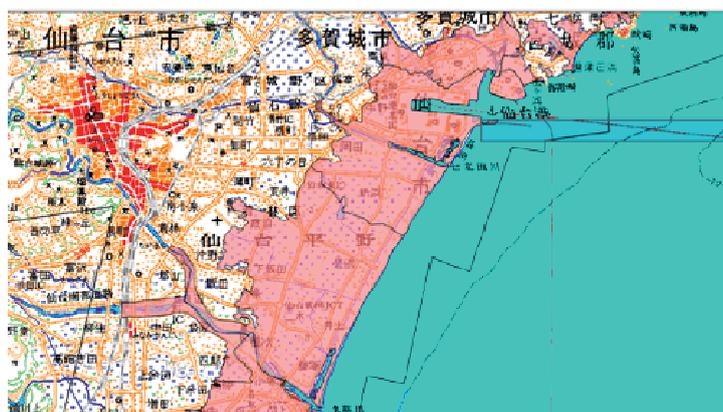


図1 仙台平野の地盤の浸水地域(国土地理院による)



図2 宮城原石巻市(二日後)(東北地方整備局提供)

地震に伴う広域の地盤沈降のため、各地の海岸地域、港湾施設、農地、市街地では排水不全状態になり浸水・冠水の被害が生じ、水没の危険に晒された。この広域地盤沈降は、温暖化による海水準の上昇と同じく、高潮・津波・豪雨・洪水による浸水被害や地下水の塩水化などの問題を長期的に深刻化させる。特に、地盤沈降した場所における海岸堤防は、背後のゼロメートル以下の標高の堤内地と海岸潮位との相対的標高差が増大し、基盤を浸透する海水浸透の動水勾配が増加する。堤防の安定性、堤内地の地盤の塩水化防止（特に農用地として活用する場合）に対処するため、堤防の敷幅増大や止水壁の利用などを考える必要があるが、これらには地盤工学の知識が不可欠である。

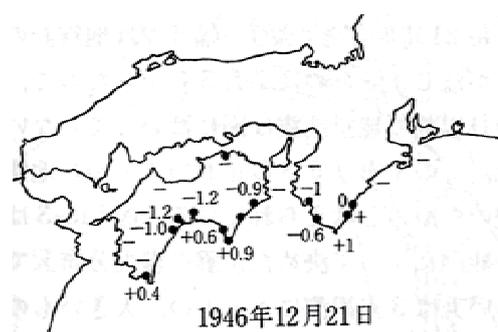


図3 過去の地震における高知付近の地盤の隆起と沈降(河角廣博士による)

地震にともなう広域な地盤沈降は過去の地震でも発生してきた。国内では南海地震のたびに図3に

示すように高知市付近が1～1.5m程度沈降し、高知市内も冠水する被害を受けてきている。今後、南海、東南海、東海地震により、また同様な地盤沈降が生じる可能性は大である。また海外では、1999年のトルコ・コジャエリ地震でもイズミット湾岸で広域に地盤沈降が発生した。ギオルチュックでは、1.5m程度の沈降が生じ、1km四方の地区が冠水した。地盤工学会も調査団を派遣し、地盤調査を含む詳細な調査を行った。

以下は、上記に対する対策の提言である。

- 1) 地盤沈降が社会に与える影響を、今回の地震の事例などから整理する。
- 2) 関連学会と協働して、地形変化のデジタルマッピング等の調査を行い、広域の地盤沈降のメカニズムを解明する。
- 3) 原位置被災残壊物・津波堆積物・掘削土の市街地の嵩上げ、防波堤・防潮堤・埋め立てへ利用する。

地盤沈下と今後の対応

浦安市などでは、図5に示すように液状化にともなって広域に地盤が最大50cm程度も沈下した。幸い浸水にまで至っている地区は無いものの、浦安市やなどでは広い範囲で地盤全体が沈下している。そのため、自然流下のシステムをとっている下水道の復旧を今後どのように進めるかなど、大きな問題を抱えている。

このように広域に地盤が沈降や沈下を生じると、生活に困難をきたすとともに、高潮の際に洪水を生じるなど災害に弱い地区となってしまう。東京の低地のゼロメートル地帯では護岸や海岸堤防・河川堤防の耐震補強が進められ、地震水害の危険性は徐々に解消されてきている。今回の地震では、幸い堤防や護岸の被害がなく浸水被害が発生しなかった。しかし、浸水の危険性はまだ完全には無くなっていない。必要な耐震点検と耐震強化等の早急な対策が必要である。また、全国に多くある低地でも、このような災害の弱点を有しており、浸水危険地帯となっている。今後、危険性の検討を行い、対策を施していくことが必要である。

東京、名古屋、大阪等の人口密集するゼロメートル地帯では、巨大津波等による地下街・地下鉄の浸水は、人命に直結する深刻な課題である。このような場所では、浸水が生じないようにする対策が急務である。また、津波に対する街作りに応じた道路・鉄道の路線の選定が必要となるが、それに対応した盛土形式あるいはRC高架形式等の構造的な対処が必要となる。これらの場合に対して、上記の対策とともに、列車・自動車の制御と退避を含めた防災計画が必要になる。



図4 トルコ・コジャエリ地震によるギオルチュックの冠水状態(安田進)



図5 浦安市、地盤の液状化による沈下(安田進)

5) 災害廃棄物、津波堆積物、塩害、放射能汚染土壌への対応

震災に伴う地盤環境問題

今回の地震では、膨大な量にのぼる災害廃棄物や津波堆積物の処理と有効利用、巨大津波によって広範囲の農地が冠水したことによる塩害、地震や津波等で漏洩した有害物質や放射性物質で汚染された土壌への対応など、様々な場所において様々な形態の地盤環境課題が多く確認された。

災害廃棄物ならびに津波堆積物の有効利用

東日本大震災では多量の災害廃棄物（2490 万トンと推定）ならびに津波堆積物（1000 万³以上と推定）が発生しており、その処理が問題となっている。地震により発生した廃棄物のうち環境影響の懸念のないものや、津波堆積物の中でも砂分を主体とするものは有効利用しやすい性状であることから、収集・仮置き段階で分別するなどして地盤工学的な資材として再生し、利用するように努めることが望まれる。そのためには、a) 資源再生化のための材料評価および処理手法の確立、b) 有害物質を含有しつつもその種類や量により環境リスクが極めて少ない材料の利用を促進するための、環境リスクに基づいた「管理型有効利用」の方法の提示、c) 津波被災廃棄物に含まれる塩分の評価法と資材利用時の長期的影響の検討、d) 資源化された材料を嵩上げや高台、防潮堤の造成に適用するにあたっての地盤工学的適性の評価、e) 再資源化材料と利用用途のマッチング、f) 津波堆積物の量と性状の把握法の確立、といった取り組みが必要で、特に a)、b)、d)、e)において地盤工学の知見が貢献できる。(図の①、②に対応)

地盤環境影響の評価と適切な対策

今回の震災では、油などの有害物質を保有していた事業所・施設が地震と津波により被災し、これらの物質が漏洩して土壌汚染を引き起こしている懸念がある。また、津波堆積物についても、場所によって自然由来のフッ素やヒ素、事業所等から漏洩した有害物質を含有している懸念がある。土壌汚染が懸念される範囲が広域に渡ることから、効率的で合理的な地盤環境影響の評価と対策を行うことが必要であり、そのためには、a) 迅速かつ戦略的な対策を実施するための、効率的な調査の実施、b) 土壌汚染・地下水汚染・土壌粉塵・悪臭など様々な地盤環境影響評価の実施、c) がれきや災害廃棄物の処理・埋立に伴う地盤環境影響の評価と防止、d) 津波堆積物の量と性状の把握法の確立、といった取り組みが必要で、ここでも地盤工学の知見の活用が期待される。

農地の塩被害への対応

津波による農地の塩被害に対しては、これまでの実績に基づいた除塩の方法が有効と考えられ、防潮堤・排水設備等による多重防護・面的防護が必要である。(図の③に対応)

放射性汚染土壌への対応

放射能汚染土壌の長期管理・処理は長期的な課題であり、a) 原位置での放射能汚染土壌の管理（例えば現在採用されている天地返し等）の地盤環境影響評価と管理技術に関する提言、b) 放射能汚染土壌からの放射性物質の除去方法の検討、c) 放射能汚染土壌・廃棄物の処理・封じ込めの技術評価といった取り組みへの地盤工学の貢献が必要である。(図の④に対応)

災害用井戸の活用

災害対策用井戸から得られる地下水は、飲料水として使うことが水質面から難しくても、生活用水としての水の確保という点で災害後の公衆衛生を保全することが可能であり、今回の震災でも極めて有効であった。そのため、災害時の地下水利用をより積極的に考え、そのための整備を進める必要がある。(図の⑤に対応)



(遠藤和人)

(6) 社会基盤施設の復旧方針と地盤工学技術の活用

最新地盤工学技術の有効性

今回の地震では、公的機関と大規模民間組織によって最近の耐震設計基準に順じて設計・構築され維持管理されてきた社会基盤施設、中・高層建築物、産業施設とその基礎構造物と、新幹線等鉄道と道路などに建設されていた補強土擁壁、近代的ロックフィルダム、一部の河川堤防など、耐震診断・耐震補強していた土構造物は、震動被害が無いか軽微であった。このことは、地盤工学を含む建設技術での耐震設計が活かしたことを示している。

現行基準を満足しない既存土構造物と未対応の自然地盤・斜面

盛土・擁壁等の土構造物は、廉価で短期間に造成可能な場合が多いこと、トンネルなどの掘削工事とバランスした盛土工事は経済的で自然環境に与える影響が小さくなること、他の人工構造物と比較して耐久性、修復性が優れていることなどから、古来膨大な量が建設されてきて、将来も建設される。しかし、建設技術と社会の安全性と機能性に対する要求レベルは常に進展してきていることから、今日、膨大な数の現行基準を満足しない既存土構造物¹⁾と未対応の自然地盤・斜面²⁾が存在している。これは、歴史的に見て不可避なものである。

注1) 基本的に旧技術・旧基準で建設されたものであり、現行の技術基準で要求する性能を満足しない既存の道路・鉄道・宅地・ため池堤体などの盛土・擁壁等の土構造物、河川・海岸堤防、埋立て

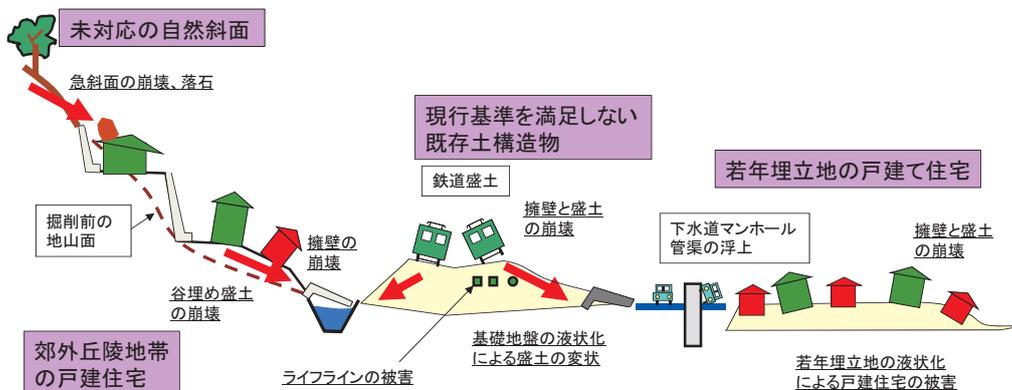


図1 地盤被害の説明図



図2 農業用幹線パイプラインの埋戻し土液状化に浮上 (毛利栄征) 図3 白河市葉木平、自然斜面の崩壊 (安田進)

地、下水道等のマンホール・管渠施設、農業用パイプライン等の地下埋設構造物など
 注2) 崩壊した場合に社会に対する影響が大きい、調査あるいは対策が未対応の自然地盤・斜面

社会基盤施設としての土構造物の耐震診断・耐震補強と耐震設計は一定程度進められてきてはいたが、対策の現状は不十分なものであった。今回の地震でも、鉄道・道路・宅地等の盛土・擁壁、埋立て地、ため池堤体、河川堤防、下水道マンホール・管渠施設等の地下埋設物などの現行基準を満足しない既存土構造物と未対応の自然地盤・斜面が多く被災して、社会に深刻な被害を与えた（図1、2）。

広域多所災害に備えた耐震診断・耐震補強、耐震設計、強化復旧

既存土構造物と未対応の自然地盤・斜面は、数量が膨大であるため、その耐震診断と対策は安全性の確保との追いつきになっていて、永続的な課題となっている。それでも、これらを継続することは、安全な国土建設への避けて通れない道である。

「盛土・擁壁等の土構造物や自然斜面は、壊した場合は早期に原状復旧する」と言う方針を基本とすると、今回のように広域多所災害が起きた場合に対処することが困難になり、復旧・復興が大幅に遅れる。特に、地震後の緊急輸送ルート確保、生活のための基本的なライフラインの確保等にとって重要である要所での現行基準を満足しない既存の土構造物と未対応の自然地盤・斜面は、早急に耐震診断と低価格で効率的な耐震補強をする、と言う方針に転換する必要がある。

また、被災した盛土・擁壁等の土構造物と崩壊した自然斜面は、機能と安全性をできるだけ早期に原状復旧する必要があるが、現行基準の要求を満たさない構造に原状復旧するのではなく、耐震性が高く低価格である土構造物・斜面に強化復旧する必要がある。それには、図3に示すように、盛土の適切な締固め管理・排水設備の設置等の地盤工学の基本技術とともに、各種の地盤改良技術や補強土工法等の最新の地盤工学技術を活用する必要がある。

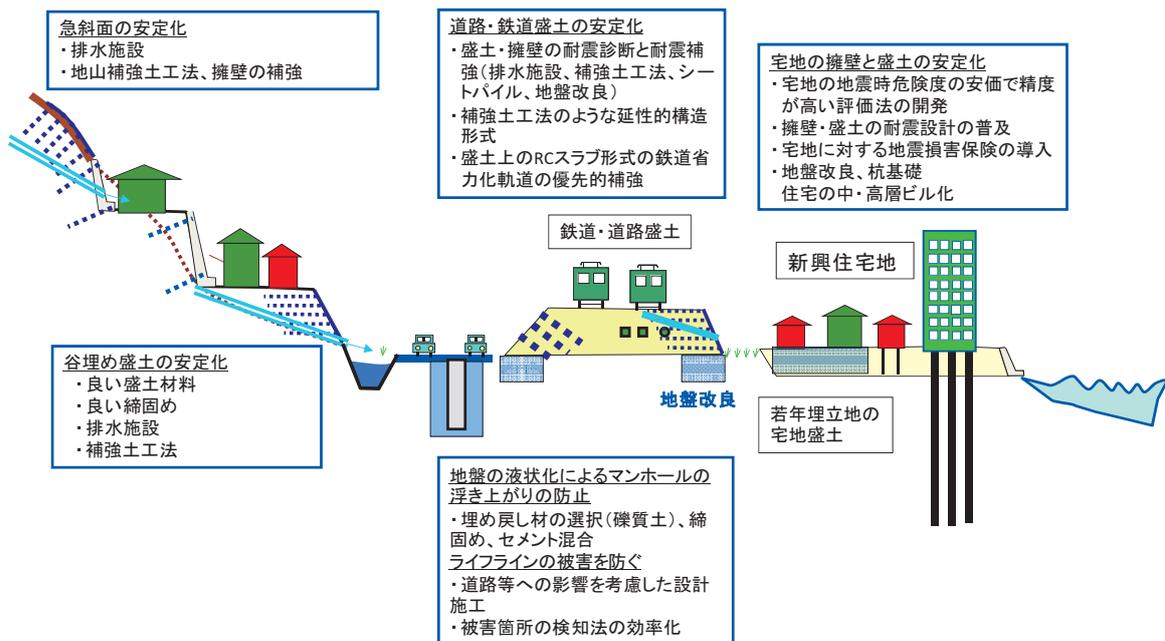


図4 地盤災害を防ぐための多様な地盤工学技術の例

地盤工学会の地盤災害関係（地震・豪雨・洪水等）の 主な研究報告等資料・出版物（2000年以降）

- 液状化による地中埋設構造物の浮き上がり被害に関する研究（その2）報告書 2003年3月 液状化による地中埋設構造物の浮き上がり被害に関する受託研究委員会
- 液状化地盤中の杭挙動と設計法に関するシンポジウム 2004年12月 液状化地盤中の杭挙動と設計法に関する研究委員会
- 地盤環境振動の予測と対策の新技术に関するシンポジウム 2004年5月 地盤環境振動の予測と対策の新技术に関する研究委員会
- 土構造物の地震時における性能設計と変形予測に関するシンポジウム 2007年 土構造物の地震時における許容変形と性能設計に関する研究委員会
- 首都圏を直下地震から守るために—地盤工学からの提言—
2005年12月「首都圏直下地震に対する地盤工学からの提言」策定委員会 地盤工学会関東支部
- 造成宅地における耐震調査・検討・対策の手引き—地震から既存の住宅を守るために—
2007年2月 造成宅地の耐震調査・設計・対策・方法に関する検討委員会 地盤工学会関東支部
- 液状化を考慮した地盤等構造物の性能設計 2008年液状化を考慮した地盤と構造物の性能設計に関する研究委員会 地盤工学会関東支部
- 事業継続を可能にするための既存構造物周囲の地盤改良（補強）工法に関する研究委員会活動報告書 2009年3月 地盤工学会関東支部
- 地震と豪雨・洪水による地盤災害を防ぐために—地盤工学からの提言—
2009年8月 2007年度会長特別委員会
- 造成宅地の耐震調査・検討・対策ケーススタディー—宅地造成等規制法改正に伴うわかり易い実物例—
2009年11月 造成宅地の耐震調査・検討・対策の事例研究委員会 地盤工学会関東支部
- まさ土地帯の風化及び降雨浸透特性と斜面災害に関する研究報告書 2003年3月 まさ土地帯の風化および降雨浸透特性と斜面災害に関する研究委員会 地盤工学会中国支部
- 豪雨時の斜面崩壊のメカニズムおよび危険度予測に関する研究報告 2003年3月 豪雨時の斜面崩壊のメカニズムおよび危険度予測に関する研究委員会
- 斜面防災を考える 2004年4月 平成16年度総会特別講演会 地盤工学会関西支部
- 降雨時の斜面モニタリング技術とリアルタイム崩壊予測に関するシンポジウム 2006年11月 降雨時の斜面モニタリング技術とリアルタイム崩壊予測に関する研究委員会
- 斜面災害における予知と対策技術 2007年12月 九州における地盤災害と防災技術研究委員会 地盤工学会九州支部