

2011年東北地方太平洋沖地震による地盤災害と復興への地盤工学的課題

風間 基樹

東北大学 大学院工学研究科・教授

キーワード：地盤沈下、液状化、造成宅地地盤、地盤環境、復旧・復興への視点

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震はM9クラスの海洋型巨大地震であり、現在生きている世代が経験したこれまでのM7～8級の地震とは、質量ともに違った地盤災害をもたらした。津波や地殻変動による地盤の被害は、まさに海洋型巨大地震による特徴的なものである。これまでよく知られた地盤災害である液状化や造成宅地の被害においても、被害が広範に及んだだけでなく、新たな被害形態の局面を呈している。この震災は、単に希少な自然現象による巨大災害ではなく、現代の社会システムのあり様にも大きく影響を及ぼしている。ここでは、筆者が現時点で分かっている震災に関係した地盤災害を振り返るとともに、被災地の復旧・復興に関わる地盤工学的な課題について私見を述べる。

2. 地震による地盤沈下

地震による地盤沈下には、大きく分けて二つの要因がある。一つは、広域地殻変動によるものであり、他方は表層地盤の地盤変状である。後者は、軟弱砂質土層の液状化によって生じるものと軟弱粘性土層の圧密沈下によって生じるものがある。

2.1 地殻変動による広域地盤沈降

今次の地震では、広範囲にわたり地殻変動による地盤沈下が発生した¹⁾。電子基準点牡鹿（宮城県石巻市）では、水平方向に約 5.3m、上下方向に約 1.2m という極めて大きな地殻変動が観測されている。国土地理院は、GPS 衛星の連続観測を行う電子基準点を全国 1240 箇所に約 20km の間隔で設置しているが、その結果の一部を表 2.1 に、国土地理院から公表されている図を図 2.1 に示した。本震の後も、本震時の変動に比べるとわずかに緩やかな地殻変動が続いていることが分かっている。

表 2.1 主な電子基準点の地盤沈下量（精度は約 1cm）²⁾

	点名	変動量 (cm)		点名	変動量 (cm)
岩手県	宮古	-42	宮城県	気仙沼	-65
	山田	-52		矢本	-47
	釜石	-56		利府	-28
	大船渡	-76		亘理	-21

このような事例は、過去の国内外の地震でも生じている。南海地震では、高知市付近が1～1.5m程度沈降し、高知市が冠水する被害を受けてきている。また、1999年のトルコ・コジャエリ地震では、イズ

ミット湾岸で広域地盤沈降が発生し、ギョルジュクは約1.5 m程度の沈降が生じ、1 km²の地区が冠水したことが知られている⁴⁾。

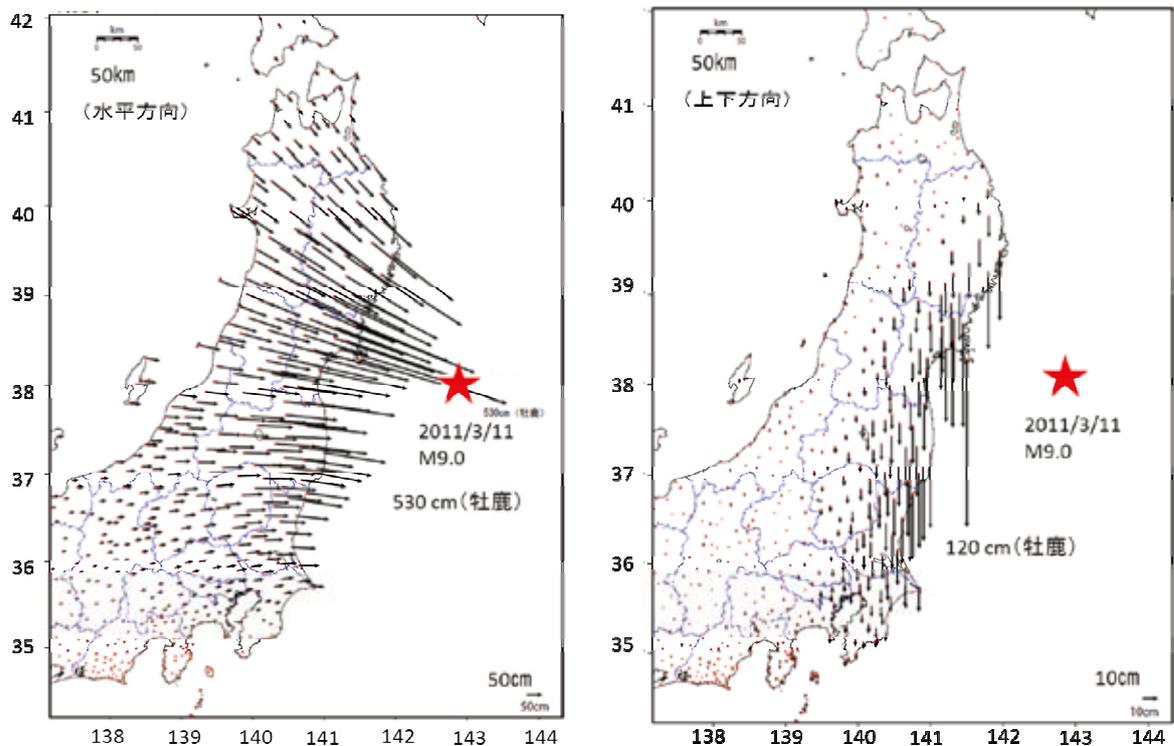


図2.1 本震に伴う地殻変動³⁾ (国土地理院)

(基準期間 : 2011/3/01 21:00-2011/3/09 21:00 比較期間 : 2011/3/11 18:00-2011/3/11 21:00)

図2.2は、仙台平野沿岸部の広域地盤沈下の様子を示している。地震によりゼロメートル地帯の面積が3km²から16km²に増えていることがわかっている。ゼロメートル地帯が一旦浸水し冠水すると、自然流下での排水が期待できないため、排水は強制ポンプ排水に頼らざるを得ない。低地の冠水は、短期的には行方不明者の捜索を困難にさせ、応急復旧の初動を遅らせる原因となった。さらに、中長期的には、高潮災害や洪水に対して非常に脆弱な地帯を生み出したことを意味する。実際、沿岸部では同年の台風12号によって高潮災害を受けた場所も多い。死者行方不明者5000名以上を出した1959年の伊勢湾台風や2005年ハリケーンカトリナの被害の淵源は、広域の地盤沈下にある。

広域の地盤沈降による直接的な被害としては、港湾施設が使用できなくなることや農地の塩害などがある。また、低地部の排水施設（ポンプ場）や下水処理施設の排水計画を再構築する必要も生じる。強制的なポンプ排水は、維持管理にエネルギーが常に必要であり、今回のようにエネルギー源を失うような災害時に脆弱なシステムとなる。復旧・復興では、将来の禍根を少なくするため、できる限りゼロメートル地帯をなくす方向で土地を嵩上げできる場所はすべきであると考えている。

陸域標高と海面標高の相対的な関係という視点で言えば、広域の地殻変動による地盤沈下は、地球温暖化による海面上昇が加速したとも考えることができる。その意味で、地盤沈下を長期的に監視するとともに、沈下が社会に及ぼす影響を分析し、温暖化対策にも生かすことが望まれる。地盤沈下による生活環境への影響を如何に克服するかも地盤工学に課せられた課題である。

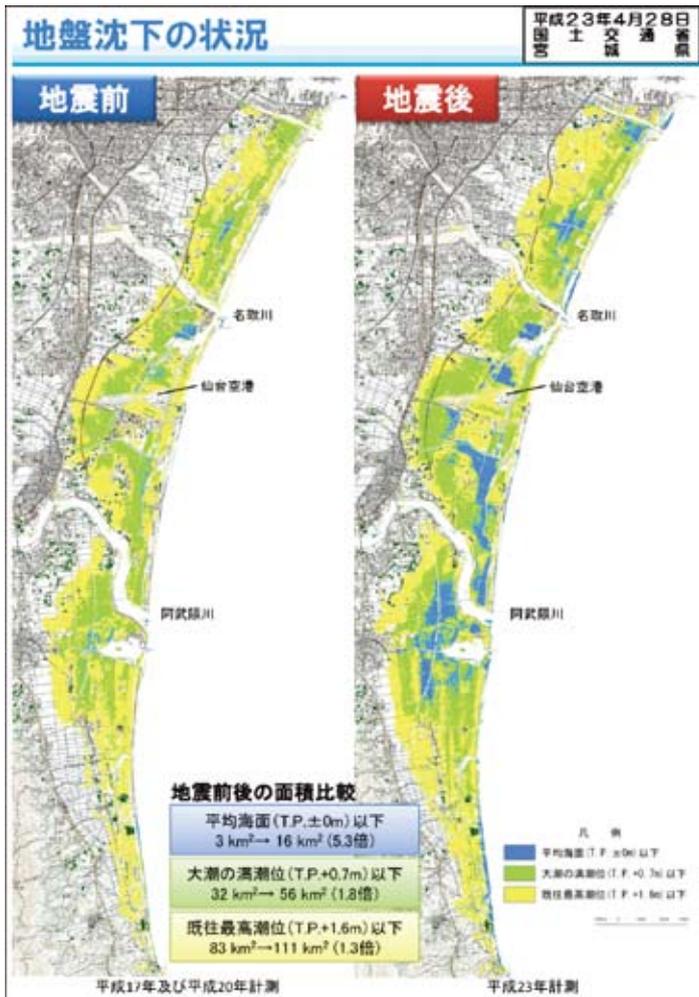


図 2.2 宮城県南部の地震後の広域地盤沈下（東北地方整備局・宮城県）右上 2 枚：地震二日後の石巻市の様子、右下：気仙沼港（2011/10/31）

2.2 液状化や粘土層の圧密沈下による地盤沈下（変状）

図 2.2 は筆者の研究室で約 13 年前に設置しておいた GPS 標点⁵⁾の再測量によって求めた仙台港の地震前後の移動量（平成 8 年 12 月と平成 23 年 8 月時点での GPS 測量の差）をベクトルで示したものである。最も移動量の少ない北西側の標点②の水平移動量は、南東方向に 3.59m、鉛直には 65cm となっている。この値が仙台港中野埠頭付近の地殻変動量にほぼ相当するものと解釈される。これに対して、東南に位置する標点の相対的な動きは、例えば①の位置で、それぞれ南東方向に 4.11m、鉛直には 68cm である。この差は、地殻より上位の地層の動き（大部分は地表層の動きと考えるとよいと思われる）である。このような地表変位の差は、実際、中野埠頭 2 号岸壁で 12cm（相対変位）海側にはらみ出し、70～80cm（絶対変位）ほど沈下があったことと対応している。ちなみに、標点の相対的な移動量から表層地盤に発生したせん断ひずみ量を算定すると、中野埠頭の中央付近で最も大きく、0.5% 程度のせん断ひずみとなった。この値は、土のひずみレベルとしては、中程度のものである。このように、表層地盤の変状によっても地盤位置は移動する。

砂質土系の軟弱地盤は液状化による地盤沈下が生じる。液状化が広く発生した東京湾岸の埋立地では、広域に地盤が最大 50cm 程度沈下している。そのため、自然流下システムが基本である下水道システムをどのように構築するかが問題となっている。一方、水平方向の大きな移動はあまり観測されていない。

粘性土系の軟弱地盤では、今後地盤の圧密沈下が加速する可能性がある。図2.4は、仙台市内の水準点のうち、昭和49年から平成20年までの累積沈下量が200mmを超える地点の沈下を表している。いずれの箇所も仙台市東部の第四紀の沖積低地に位置する水準点である。図を見ると、1978年に一度急激な沈下があり、その後地震前よりも速い調子で沈下が進んでいる。1978年の際の急速な沈下は、地震による即時沈下的なものも含まれている。地震後に沈下傾向が促進したのは、いわゆる構造を持った粘性土（セメンテーションより、緩く嵩張った骨格構造を持った粘性土）が地震により構造を壊され、上載圧力を有効応力で保持できる状態になるまでに長期間圧密進行中の状態になっているものと解釈される。低地部では今次の地震によって、同様なことが生じる可能性が高く、今後の地盤沈下量の推移は注意深く監視する必要がある。



図2.3 仙台港中野埠頭及び背後地の移動量
 (平成8年12月と平成23年8月のGPS測量成果の差を示したもの)

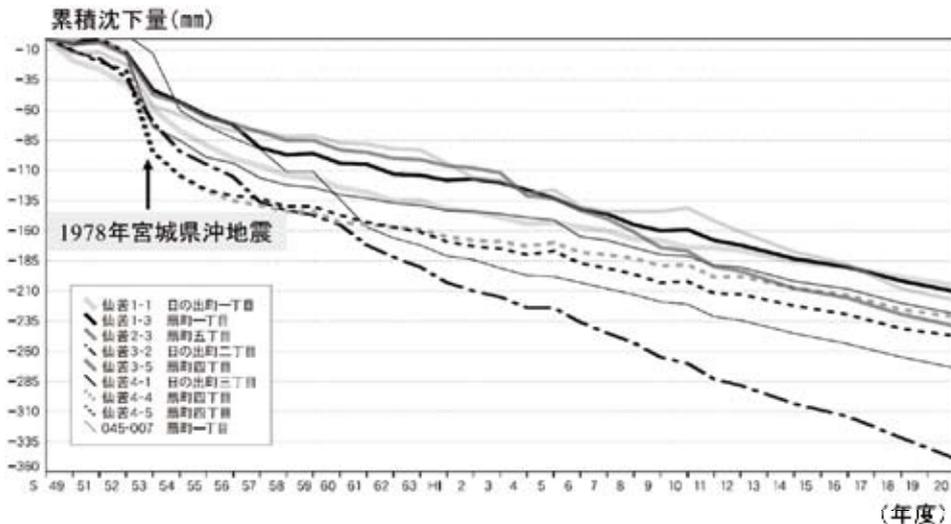


図2.4 仙台市内の水準点の地盤沈下の例（昭和49年から累積沈下量200mm以上の水準点）⁶⁾に加筆

3. 液状化による被害

3.1 関東地方の液状化被害⁷⁾

東京湾岸部を中心にして、埋立地の宅地地盤を中心に液状化被害が顕著であった。東北地方太平洋沖地震による地震動は、東京湾岸地帯ではそれほど大きくなかった（K-NET 浦安における地表最大加速度は157Gal）ことから、地震動の振幅よりもむしろ震動が長時間継続し、せん断の繰返し回数が多くなったことによる液状化であると考えられる。東京湾湾岸部での液状化被害の特徴としては、噴砂が厚く堆積したことが挙げられる。ちなみに、同年2月22日に発生したM6.1のニュージーランドカンタベリー地震（NZ地震）のクライストチャーチ市でも同様に広範囲で液状化被害が発生し、噴砂が厚く堆積した（写真3.1参照）。それを対比してみると大量の噴砂の原因が見えてくる。両地震の液状化発生範囲はNZ地震では約34km²、東北太平洋沖地震では、東京湾岸・利根川流域を中心に液状化災害が顕著な各地の総面積は少なくとも約42km²とされている（図3.1参照）。



写真3.1 2011年NZ地震クライストチャーチ市（左上：The New Zealand Herald、左下：渦岡良介氏提供）と2011年東北太平洋沖地震の浦安市の液状化被害（右2枚：エイト日本技術開発HPより）

図3.2は、両地震の際の噴砂の粒度分布を示したものである。千葉県浦安市の噴砂は、細粒分（ほとんどが非塑性のシルト分）を50%程度含む細砂である。また、クライストチャーチ市の噴砂も同様に細粒分が多いことが特徴である。NZ地震は、内陸直下地震であり、地震動の継続時間はそれほど長くない。したがって、大量の噴砂の原因は地震動の継続時間よりも、むしろ液状化した砂が細粒分を多く含む細砂であったことが影響した可能性が高い。具体的には、細粒分を含み透水性が悪いため、震動によって液状化状態になった後に過剰間隙水圧がなかなか消散せず、液状化状態が長く継続したこと、粒子が細かい間隙水と分離せずに一緒に噴出したことが影響したと考えている。さらに、東京湾岸部の液状化は、約30分後に発生したM7.7の茨城県沖の余震の影響も受けたとも言われている。

非塑性のシルトは、上記の理由で液状化した場合には最もたちが悪い。若齢で固結の進んでいない埋立地では液状化のポテンシャルが高いことを示している。細粒分の影響については、従来から言われているように粘土分が多い場合には液状化しにくい方向になるが、非塑性のシルトはむしろ液状化しやす

いことを再認識すべきである。また、液状化の予測判定における細粒分の影響には、自然地盤と人工埋立地（特にどのような方法で埋め立てられたか、水と混合されたポンプ浚渫による巻出しは最も液状化しやすいと考えられる）と区別が必要ではないだろうか。



図3.1 東京湾岸部の液状化発生エリア⁷⁾

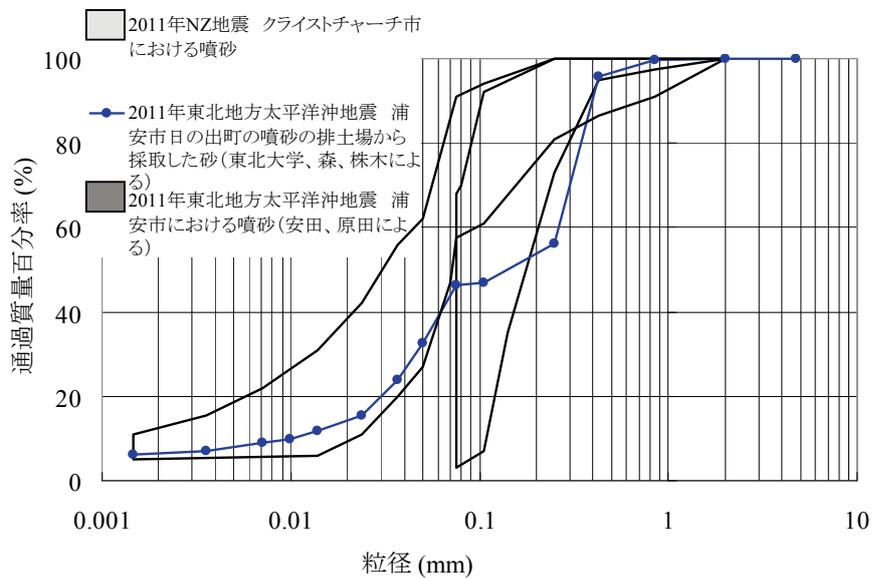


図3.2 2011年NZ地震と2011年東北太平洋沖地震の噴砂の粒度比較

国土交通省は、今次の液状化被害を鑑み、液状化対策技術検討会を発足した。図3.3はその検討会の成果の要約⁸⁾の抜粋である。検討会では、液状化の被害の分析として、まず現行のFL法による液状化の予測判定の検証を行った。また、その他の検討項目として、造成年代の影響（若齢の地盤ほど液状化被害が顕著であった）、継続時間の影響（今次の地震動はこれまでにない長い継続時間の地震動であった）、余震の影響（余震によっても液状化が生じた）を検討した。まず、FL法の分析では、液状化が発生したとみなされる53箇所と液状化しなかった59箇所の合計112箇所を対象にして、FL法の判定を行ったとこ

ろ、液状化したとされる53箇所すべてがFL判定でも液状化と判定され、見逃しがなかったとしている。その一方で、液状化していない箇所の59箇所中35箇所（約60%）はFL法の判定で液状化すると判定される結果となった。検討成果では、現行のFL法は見逃しが無いので直ちに直視する必要性は低いとしている。結果を素直に見れば、現行のFL法は液状化と判定されやすいわけで、外力が大きめに算定されるか、あるいは地盤の液状化強度が小さめに算定されるかのどちらか、あるいは両方が原因である。筆者は、現行のFL法は一次スクリーニングとして使い、液状化しない地盤を液状化すると判定してしまうことが無いように、さらに踏み込んだ詳細判定を行って液状化の判定精度を上げる努力が必要と考えている。また、長い継続時間の影響については、引き続き詳細な検討が望まれる。筆者らは、すでにくつかの検討を行い、長い継続時間の地震動ほど液状化後の地盤の残留変形が大きくなることを示した^{9) -11)}。

「液状化対策技術検討会議」における検討について

国土交通省

1. 検討体制

関係学会と連携して液状化の被害実態等の把握や液状化判定法の検証及び発生メカニズムの確認・解析等を行い、各社会基盤施設等に共通する技術的事項を検討・整理。

2. 検討結果の概要

今回地震の被害実態を把握し、それと代表的な液状化判定法である現行のFL法での判定結果を比較分析。現行FL法を直ちに直視する必要性は低いことを確認するとともに、高度化に向けた今後の課題を整理。

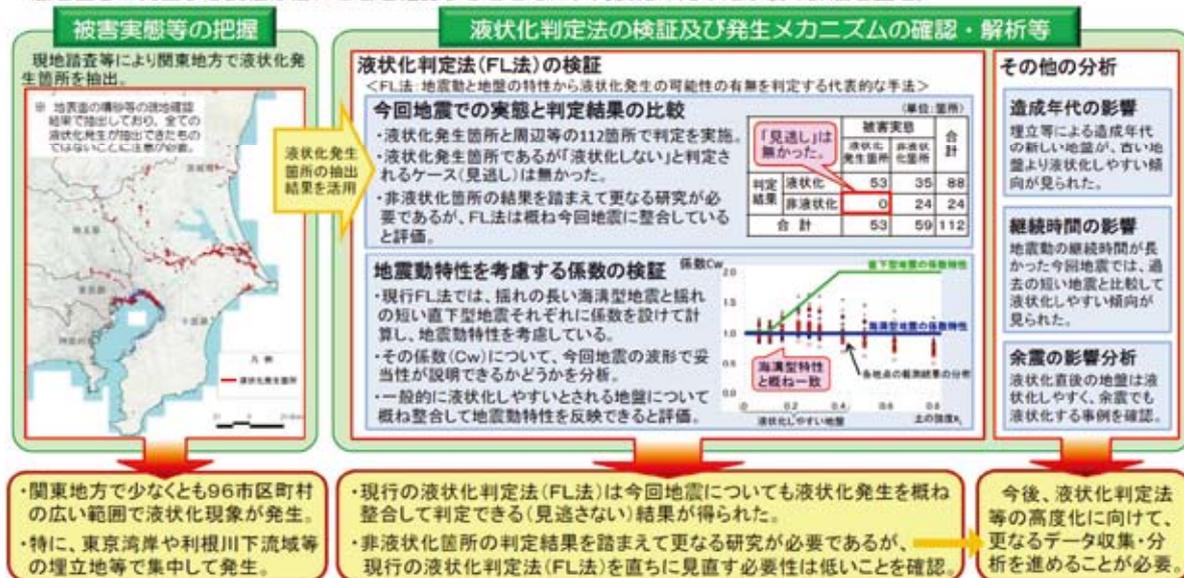


図 3.3 液状化対策技術検討会議の検討成果の要約⁸⁾

3.2 東北地方の液状化被害

東京湾岸部に比較して、東北地方の液状化被害はそれほどクローズアップされていない。これは、沿岸部で発生した液状化による噴砂痕の多くが、引き続いて襲った津波によって消されたからである。その事実を明瞭に示している写真がある(図 3.4 参照)。仙台空港の東側の沿岸を襲う津波をとらえた写真の手前には、噴砂痕が明瞭に確認できる。筆者らが後日、同地点を調査したが、地面は津波の堆積物に覆われていて、噴砂の痕跡はわからなかった。このよ



写真 3.2 2011/4/11 地震による再液状化、小名浜港 3 号埠頭先端部詰所沈下 (4/12: 東北地方整備局提供)

うな事例は、筆者の知るだけでも、名取市の閑上地区の埋立地（名取川河口部右岸）、亘理町荒浜小学校（阿武隈川河口部右岸）、仙台空港、女川港、石巻港、小名浜港などがある。なお、本震時には津波によって痕跡が消失していても、4/7（M7.1）と4/11（M7.0）の際に再液状化した事例も多く、本震時にも激しい液状化が生じたことが推察できる。写真3.2は、4/11の地震の際に生じた小名浜港の再液状化の例である。また、内陸部においても液状化は生じており、河川堤防・産業施設・宅地地盤に被害をもたらしている。



図 3.4 津波来襲前に確認できる液状化による噴砂痕跡
（3月11日午後3時55分、宮城県名取市で共同通信社へりから）写真提供：共同通信社

3.3 仙台空港の液状化対策

仙台空港は砂から構成される自然堤防上に構築された海浜空港である。砂地盤はN値が多くが20以上でよく締まっており、液状化の可能性は少ないと判断された。しかしながら、滑走路を横断する地下構造物近傍の埋戻し土の液状化が懸念されたため、図3.5のピンク色ハッチで示された箇所で液状化対策（浸透固化処理、クロスジェット工法、コンパクショングラウチング工法）が実施されていた。仙台空港の被害状況によれば、液状化対策の一部未施工エリアで液状化による陥没が確認されているから、液状化対策の効果があったものと認められる¹²⁾。

しかし、空港は滑走路が健全なだけでは使えない。ターミナルビルの機能、空港の管制機能、空港までのアクセス機能などすべてが整わないと航空輸送機能は100%発揮できない。仙台空港では、メイン滑走路は地震に対して致命的な被害に至らなかったものの、津波で浸水したターミナルビルはその機能を失った。来たる宮城県沖地震の際に期待されていた緊急時の救援機能も発揮できなかった。システムの機能を早期に復旧できるような被害でとどめることのできるハード・ソフトの防災対策が望まれる。現在、BCP（Business Continuity Plan：事業継続計画）の検討は、巷の流行である。行動計画の策定には災害の程度を想定しなければならないが、簡単なようで難しい。最終的には、施設の耐震化や日頃の業務の頑強性を強靱にするしかないのではと思っている。

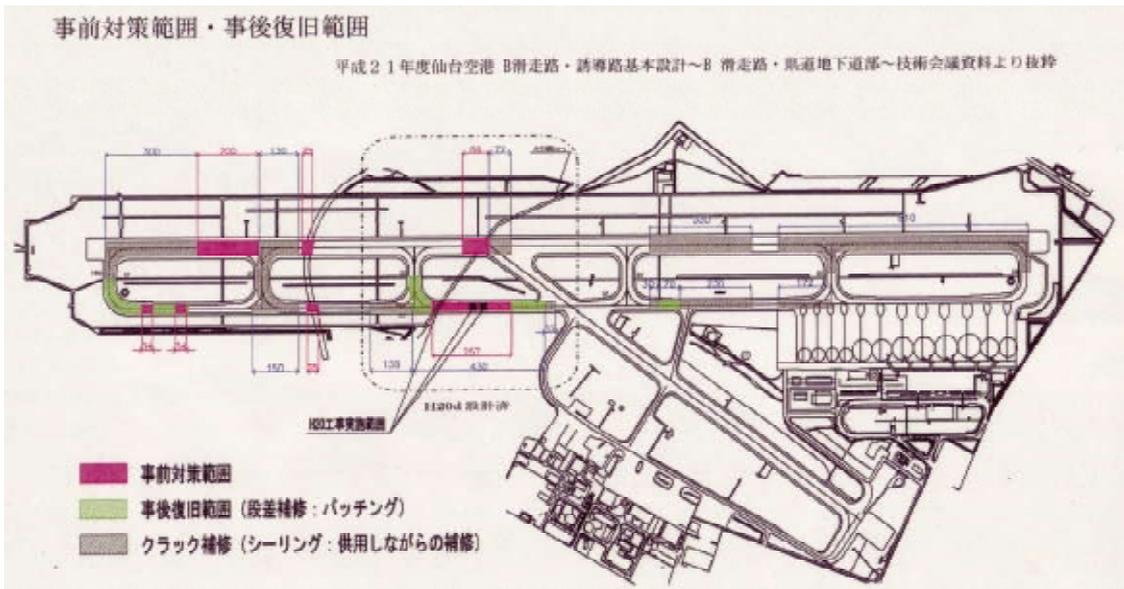


図 3.5 仙台空港の液状化対策とその効果 (東北地方整備局)

3.4 河川堤防の液状化被害

東北地方整備局が管理する 12 水系のうち太平洋側 5 水系、9 河川において計 1195 箇所被害が発生した。うち、特に被災規模の大きかった 29 箇所については緊急復旧工事が行われ、7 月 11 日に全 29 箇所ですべての復旧が完了している。一方、関東地方整備局が管理する水系では、4 水系 10 河川において被害が発生した。被害箇所は余震の度に増え、7 月 31 日時点で 939 箇所になった。うち、特に被害の大きかった 24 箇所ですべての復旧工事が行われ、6 月 2 日に全 24 箇所ですべての復旧が完了している。

被災の原因は、河口部の被害においては津波、内陸部においては液状化によるものとほとんどされている。図 3.6 に東北地方北上川水系と鳴瀬川水系の大規模被災箇所位置を示す。関東地方の被害はそのほとんどが液状化に起因するものとされている。また、液状化対策が施された地点の被害は無いまたは軽微なものに留まっていることも報告されている。



図 3.6 北上川、鳴瀬川水系の大規模被災箇所 (参考 13 に加筆)

内陸部の河川堤防の被害原因のほとんどが液状化による被害であるが、その中で注目された特徴的な被害がある。図3.7は、鳴瀬川中流部の被災箇所の開削調査結果とメカニズムの概略を示したものである。被災後の開削調査によると、軟弱粘性土で構成される基礎地盤直上の堤防砂質土が液状化した痕跡が観察された。具体的には、堤防が側方に大きく移動し短冊状に破壊した部分では、堤防上部に向かう砂脈の貫入痕が観察されたと同時に、液状化したと考えられる薄い（高々1m程度）砂層が側方に絞り出されたような痕跡が確認された。これは、堤体の材料である砂質土が基礎地盤の圧密沈下によって地下水位以下の飽和状態になると同時に、応力緩和によって緩い状態になっていたため、液状化したものと考えられている。このような事例としては、これまで1991年釧路沖地震の際にピート地盤上に構築された堤体砂質土が液状化したことが報告されているが、特殊な事例として認識されていた¹⁵⁾。今回の地震被害では、軟弱地盤上に構築された河川堤防で見られる多くの被害の主メカニズムとなっている。このような知見から、国土交通省河川堤防耐震対策緊急検討委員会では、堤体の液状化により沈下・変形の生じやすい堤防の特徴、点検・照査における着目点として、図3.8のような項目を挙げている¹⁶⁾。すなわち、

- ①堤体材料＝砂質土：堤体の液状化が原因と推定される大規模被災箇所の堤体材料としては、細粒分が少なく低塑性のものが多い傾向にある。
- ②堤体内の水位：飽和した堤体の範囲が広いほど大きな変形が生じやすいと考えられる。被災区間と隣接する無被災区間で堤体内水位の顕著な差が認められた箇所も存在した。
- ③圧密沈下による堤体のめり込み量：めり込みにより、飽和しやすい堤体の領域が増える。また、めり込みに伴う堤体の側方伸張変形により、密度の低下や拘束力の低下（ゆるみ）が生じ、より液状化しやすく変形しやすい状態となっている可能性もある。
- ④基礎地盤条件＝軟弱粘性土：雨水等による浸透水が滞留しやすい。また、圧密沈下による堤体のめり込み量が大きくなりやすい地盤条件。

以上から、砂質土で構成される河川堤防の耐震性強化には、堤体内の飽和度を低くすることが最も重要である。具体には、堤防下部材料の液状化に配慮が必要である。さらに、堤体構成材料によっては、毛管張力によって高い飽和度を保持する場合にも配慮する。今次の災害では、河口部で大量の津波堆積土砂が発生しているが、これらを堤防材料の粒度調整材料としてうまく利用することも考えられる。

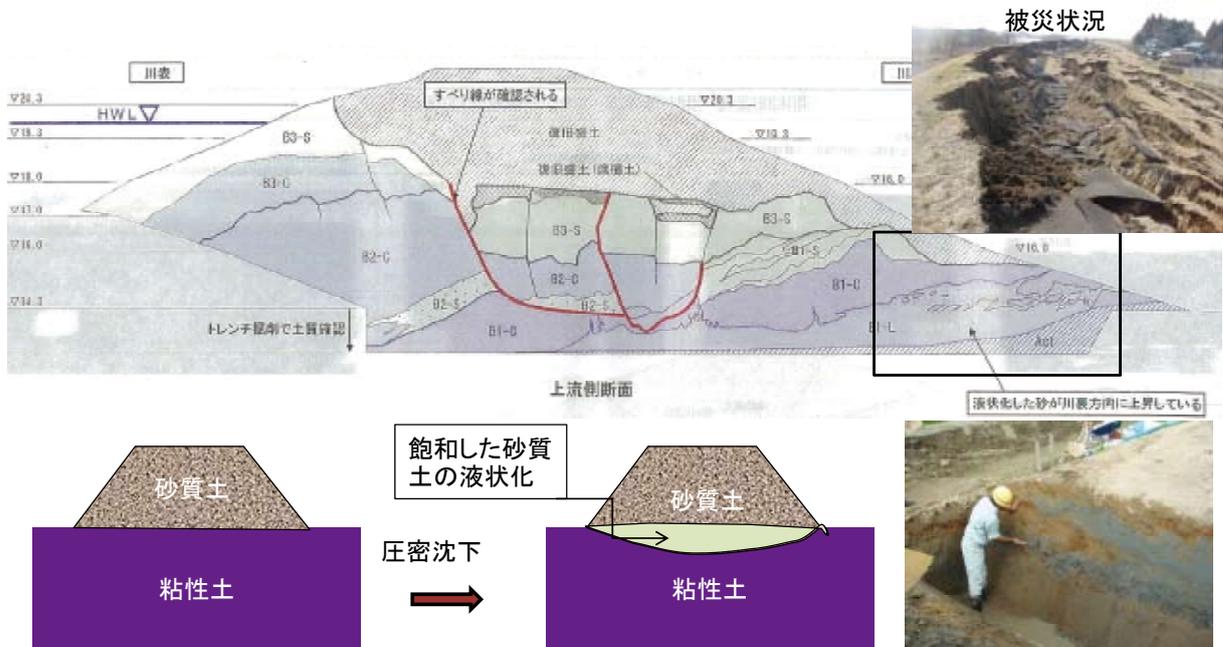


図3.7 今次の地震の河川堤防の液状化被害に見られた特徴的被害のメカニズム（堤体材料の液状化）
 鳴瀬川中流部左岸30km 下中ノ目上流地区の開削調査（国土交通省東北地方整備局による）¹⁴⁾

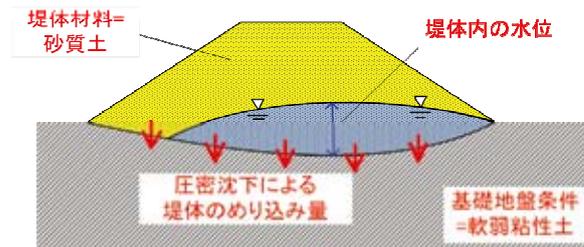


図3.8 堤体の液状化により沈下・変形の生じやすい堤防の特徴、点検・照査における着目点¹⁶⁾

3.5 鉱さい堆積場の液状化

今回の地震では、鉱さい堆積場の液状化被害も見られた。気仙沼市の南に位置する鉱さいの堆積場の堤が壊れて、液状化した鉱さいが下流の沢部に流出した（図3.9参照）。4/7の衛星画像から明瞭に流れた様子が確認できる。鉱さいは、鉱山で鉱物を採ったあとの残渣であり、粒度がそろった細粒のシルトである。鉱さいは水と混ざってポンプ圧送され堆積場に埋められることが多いが、粒度が悪い材料の上に、緩く飽和しているため潜在的に液状化の可能性が高い。一旦液状化すると水が分離しないため、流動化して長距離を移動する。このような被害は、過去にも報告されていて、1978年北伊豆地震の持越し鉱山や2010年チリ地震の例がある。筆者は、流動性が高い点で、鉱さいの液状化被害はきれいな砂の液状化被害とは似て非なるものであると考えている。このような被害を避けるためには、貧配合でもよいので埋立時に固化することが有効と思われる。



図3.9 鉱さい堆積場の液状化による流動化 (Google Earth 画像4/7)

4. 丘陵地の造成宅地の被害

4.1 造成宅地の被害の概要

宮城県・福島県では、多数の箇所では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、宮城県内の被害では、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や、新たに被災した箇所がある。新たな箇所が被災した原因の一つとしては、1978年宮城県沖地震よりも振幅が大きく継続時間が長い揺れが考えられる。

一般に、造成宅地基礎地盤の地震被害のメカニズムは、図4.1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、a) 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による宅地被害はほとんどなく、b) 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が多発している。図4.2に示すのはこのパターンの被害例であり、谷埋め盛土部の斜面開口部の変状事例である。また、長い継続時間の地震動の影響のためと思われる e) 盛土部の圧縮沈下（いわゆるゆすり込み沈下）も非常に多く、切盛り境界部の宅地建物の不同沈下となって被害が顕在化している。

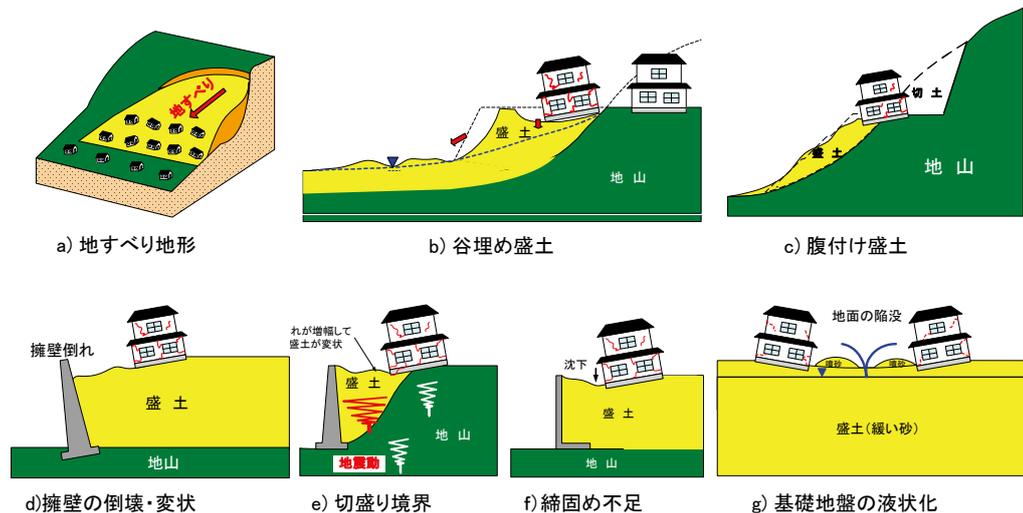


図4.1 宅地造成地の被害パターン分類¹⁷⁾



図4.2 谷埋め盛土部の斜面開口部の変状事例（宮城県南部）と切盛り位置図（佐藤真吾氏）

4.2 仙台市内の造成宅地被害

図4.3、図4.4は、仙台市内宅地開発履歴と被害の関係を示したものである。1978年宮城県沖地震当時に比べて、2000年までに（2000年以降の造成地は少ない）約2.5倍の宅地開発許可が下りている。図4.4は、①1968年新都市計画法施行前まで、②同法施行後から1977年まで、③1978年宮城県沖地震後から昭和の終わりの1988年まで、④平成に入ってから以降の4区分によって色分けし、丘陵地の造成宅地を示したものである。また、図中の四角の赤枠は、1978年宮城県沖地震の際に、地盤変状が原因でおよそ10戸以上の宅地がまとまって被害を受けた地区を、図中の赤丸は、2011年東北太平洋沖地震におけるそれを示している。また、表4.1に、これら造成年代別の地域におけるまとまって被害を受けた宅地地域の割合を示す。図表から、わかることを列挙すると、

- 1) 1978年宮城県沖地震でまとまって被害を受けた13地域は1968年新都市計画法施行前の場所である。

- 2) 1978年に被害を受けた箇所は今次の地震でも再び被害を受けている。
 3) 古い造成年代の開発地域ほど被害率が大きい。

総じて古い開発年代のほど被害が大きい理由としては、1968年以前は宅地造成に関する法体系が整備されておらず、技術的にも盛土の適切な締固めや排水工の設置、材料の吟味が不十分だった可能性がある。1981年の建築基準法の改正により建物の耐震化があったことも理由の一つと考えられる。また、長年の間に、盛土内の地下水位が上昇するなど、盛土材料の風化が進み、脆弱になった可能性もある。また、造成計画や施工技術が進んだことも理由かもしれない。しかし、以上は概略の話であって、すべての造成地をそのように一般化することは不適切である。同じ地域の同じような盛土でも被害を受けている場所といない場所が混在するからである。

2) に関して誤解の無いようにコメントを加えれば、再度災害を受けた場所の被害程度は、1978年宮城県沖地震の被害よりも対策を施したことによって小さくなっている。例えば、宮城県白石市の事例では、1978年宮城県沖地震の際に被害を受けた寿山造成宅地が再び被害を受けた。しかし、集水井などの対策によって被害が限定的にとどまっている。仙台市太白区緑ヶ丘でも、1978年宮城県沖地震の被害を受け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ぐことができた。このように、一度被害を受けた宅地が再度、被災を受けた事例としては、2004年新潟県中越地震と2007年新潟県中越沖地震の事例がある。

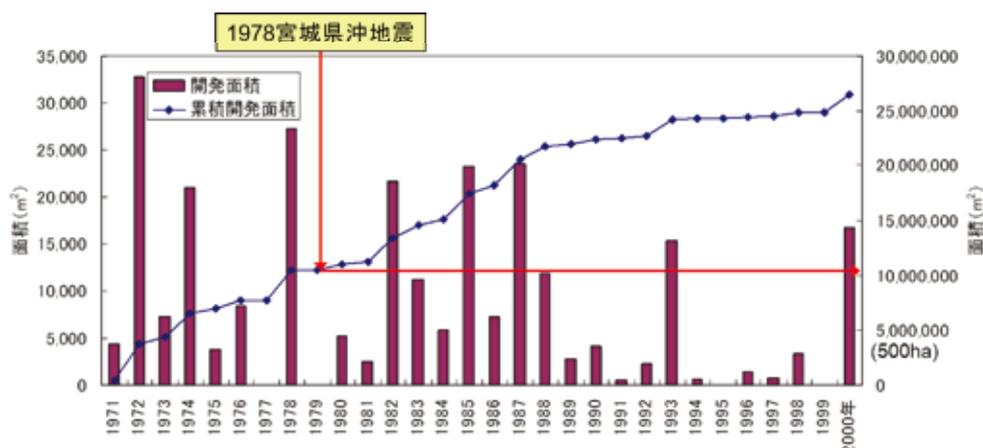


図4.3 仙台市の宅地開発許可の推移 [仙台市都市区画整理事業、開発許可区域図(平成16年2月)から抜粋作成したもの]

表4.1 仙台市周辺の造成宅地開発状況と地震被害

造成年代	宅地数	1978年 宮城県沖地震		2011年 東北地方 太平洋沖地震	
		被災数	被災率	被災数	被災率
～ 1967	34	13	(38%)	23	(68%)
1968 ～ 1977	58	0	(0%)	16	(28%)
1978 ～ 1988	51	-	(-%)	4	(8%)
1989 ～	21	-	(-%)	1	(5%)
小規模造成、その他	-	-	(-%)	20	(-%)
計(～1977)	92	13	(14%)		
計(全体)	164			64	(27%)

※宅地数は5ha以上のもの。被災数は10戸/箇所以上のもの。
 ※1968年:新都市計画法施行
 ※1978年:宮城県沖地震

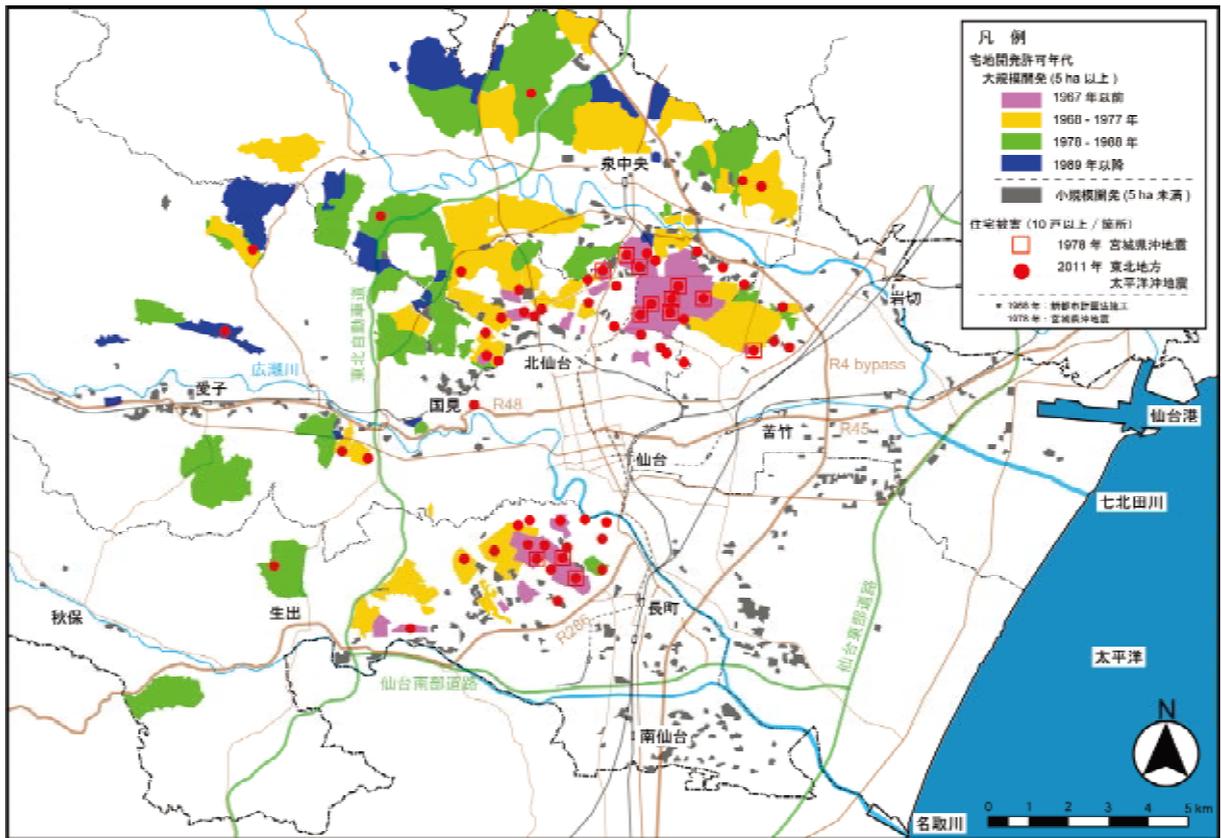


図4.4 仙台市内の宅地開発履歴と地震被害の関係

4.3 盛土部は揺れやすいのか

筆者らは、宅地地盤の耐震性を実証的に検討するために、仙台市内のある地区を対象に盛土部と切土部の宅地地盤での地震観測を行っていた¹⁸⁾。残念ながら、本震の記録は取得できなかったが、4/7および4/11の余震の記録が取得されたのでそれを紹介する。図4.5は、その概要を示したものである。図中の区画は個別の宅地を表しており、赤が濃いほど盛土が厚く、青が濃いほど切土の厚さが厚いことを示している。左側が4/7のM7.1の余震のデータ（No.1とNo.7は欠測している）、右側が4/11のM7.0の余震のデータである。切土部と盛土部の観測結果を見ると、狭い範囲でも計測震度にして最大0.4、最大加速度にして約1.5倍の違いがあることがわかる。被害の誘因となる地盤震動は、明らかに盛土部の方が切土部よ

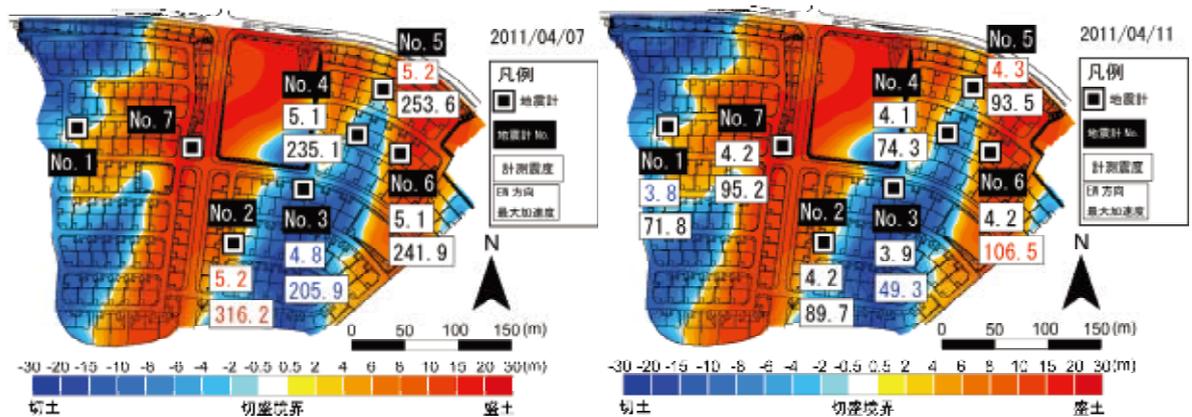


図4.5 仙台市内のある造成宅地で観測された計測震度と最大加速度

り大きいといえる。このことから、震動が宅地に被害を与える閾値レベルを超えるような場合には、盛土か切土かによって被害が生じるか生じないかの明暗を分ける場合も出てくるであろう。これについては、実際に2次元3次元の地震応答解析を行えば、このような増幅率の差は計算可能であるから、要点は現状の地盤の切盛りや盛土地盤の軟らかさ、地下水位の位置などを精度良く、しかも簡易に調べる調査手法の開発にあると思われる。なお、幸いにして、震度5強となったこの地区での大きな地盤災害は発生していない。

4.4 大規模な造成宅地被害の復旧時の課題

震災復旧に関しては、「宅地擁壁復旧技術マニュアル(1995年)」や「被災宅地復旧技術マニュアル(暫定版)(1994年)」¹⁹⁾等に加えて、宅地所有者の啓発のために、「我が家の擁壁チェックシート」²⁰⁾や「我が家の宅地安全マニュアル」²⁰⁾等も自己啓発用として発行されている。しかし、その実行は個人に任されていたため、確実な実行性は低かった。さらに、現状でも復旧工法には耐震対策を明文化したものが少ないため、周期的に起こる大地震に対する対策は不十分と言わざるを得なかった。このような状態に対し、平成18年(2006年)に宅地造成等規制法が改正になり、都道府県知事は地震時に居住者に危害を生じる発生のおそれ大きい大規模盛土造成宅地を“造成宅地防災区域”として指定することが出来るようになった。震災時は、各地の自治体で地震時における変動予測調査が始められているところであった。

複数の宅地に跨って基礎地盤の変状が生じている場合の復旧の課題では、個人での対応が困難となる場合が多い。一般に、宅地の基礎地盤が被害を受けた場合には、建物みの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。このような状況に鑑み、行政による一定の関与が求められている。ここでは、仙台市青葉区の折立団地の事例から、若干の筆者の私見を述べたい。



図 4.6 宅地の被災例(仙台市青葉区折立)

図 4.6 は、仙台市青葉区折立の宅地地盤の被災平面図と写真を示したものである。約 50 戸の宅地地盤が変状し、赤線で示すようなクラックや段差が生じ、ほとんどの建物が全壊判定となった。この地区の盛土は、事後の地盤調査によって、厚さが最大 8mほどで、地下水位が豊富であり、地表面に近い盛土は礫混じり粘性土質であり N 値 1~2 の非常に柔らかい性状であること、特に地表面から 4m ほどの深さまで比較的せん断波速度が小さく軟弱な土層構成となっていることが分かっている。復旧工法を考え

の上での問題は、折立団地だけの問題ではないが、被害のメカニズムをどう考えるかである。折立団地の場合には、地表の変状から地中に生じている滑りをどうとらえるかで専門技術者の意見が分かれた。例えば、図4.7最上段のように滑りを地山と盛土の境界と考えるのか、それとも比較的浅い部分の小ブロックの変状ととらえるかである。通常、自然斜面の地すべりと異なって、盛土材料は不均質であり、ボーリング調査などから明らかな滑り面を特定することは難しい。また、地震による変状の場合には、動態観測をしても明瞭なすべり変形の進展が観測されない場合も多い。このような理由から、メカニズムを明瞭に評価できない。さて、対策と言えば、深いすべりを想定する場合には、地すべりに対するような対策工が主になるであろうし、浅いすべりの場合には、排土工や擁壁の再構築が主体の対策工が考えられる（後者の場合、再区画整理が必要である）。地すべり対策は、太白区緑が丘の再度被害の事例を考慮すれば、大きな滑動崩落を抑止することにはある程度効果を期待できるが、小さなブロックの宅盤の変状防止には無力となる懸念がある。一方で、杭工や集水工などの地すべり対策は、個人の宅盤に触れず公共の道路などから対策することになるため、区画整理事業で必要となる個人宅地の権利の調整が不要で、復旧対策に早期に手を付けやすいという長所もある。

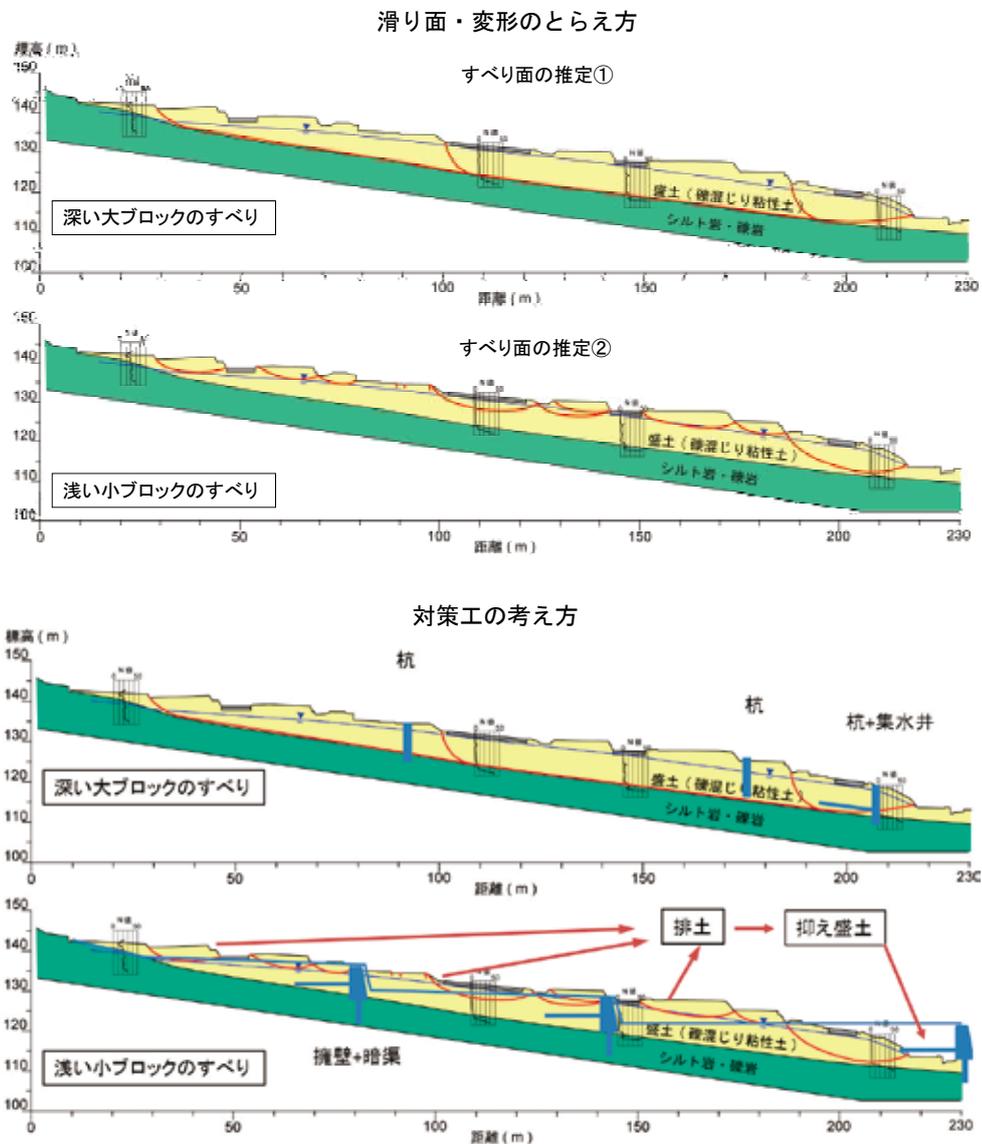


図 4.7 宅地の被災例（仙台市青葉区折立）の地中変状の想定とそれによる対策工の違い

実際に、そのどちらを選択するかは、とりうる制度の中で復旧までの速さや住民の費用負担、合意形成などを総合的に考えて判断することになる。地盤工学の技術者としては、再度災害の防止の観点から、技術的なアドバイスはできるが、技術論のみで対処できない状況にある。

このように個人の宅地地盤の復旧は、社会的な要素も強い。将来に向けて誤解を恐れず言えば、地盤情報（宅地地盤としての性能の良否、災害履歴、その他ハザードの可能性など）が市民レベルに開示された後には、地盤に関するリスクを市民が自ら判断し、リスクがある場合にはそれなりの対策（住宅基礎のグレードを上げるハード対策、財産のことだけなら保険も考えられる）を施すような社会にすべきであると考えている。そうすれば、不良地盤による地盤災害に対する社会的なコストも大きく軽減されるであろう。これまで、地盤工学は軟弱地盤の克服の歴史から、昔の人なら活用できなかった地盤をも改良し、人間社会の活動の場を広げてきた。今後は、我国の将来の人口減少社会を見据えて、地盤の良否を峻別し、宅地地盤として不適切な地盤の利用を制限して行く必要がある。

5. 津波による地盤や土構造物の被害

5.1 港湾および海岸施設の被害

港湾構造物は、地震動とそれに引き続いて津波の外力作用を受けている。被災原因がどちらなのか、あるいは複合的な原因によるものなのかは、現時点では明確に結論がでていない。総じていえば、防波堤（津波防波堤を含む）は主に津波による被害、岸壁は主に地震動と液状化の被害であると整理されている。また、東北地方の北部の港湾ほど津波による影響が大きく、石巻港、仙台塩釜港以南は地震力の影響が大きくなっている。岸壁の被害については、地震動の影響とそれに引き続いて襲った津波の複合的被害が果たしてあったのかなかったのか。あったとすれば、今後、そのような荷重条件をどう考えるのが課題である。



写真 5.1 釜石港の津波による防波堤の被害（港湾空港技術研究所提供）

大津波を受けた港湾および海岸施設は津波の越流・浸食・洗掘等によって基礎地盤とともに崩壊した。盛土形式の防潮堤は両のり面と天端面はコンクリート工で三面張りにしてあるが、越流した津波が下流側（陸側）ののり面を急速に流下する際に、盛土に固定されていない天端のコンクリートスラブと下流側最上段のコンクリートのり面工が剥ぎ取られ、そこから盛土の浸食が開始されて、やがて全断面が喪失したものと考えられる。写真 5.1 に示す釜石の湾口津波防波堤は、津波エネルギーの軽減に貢献したとされているが、その崩壊と完全機能喪失のプロセスには不明な点が多い。地盤工学的な課題としては、越流後の基礎地盤の浸食が堤体の安定性の喪失にどの程度影響したのかを解明しなければならない（図 5.1 参照）。

復旧に関しては、広域地盤沈下のための嵩上げの方策（すでに、仙台港では津波の堆積土砂を利用して嵩上げの復旧工事が着手されている。）や防波堤ケーソンの再利用可能性の判定や移動したケーソンの再設置方法などが技術的な課題である。

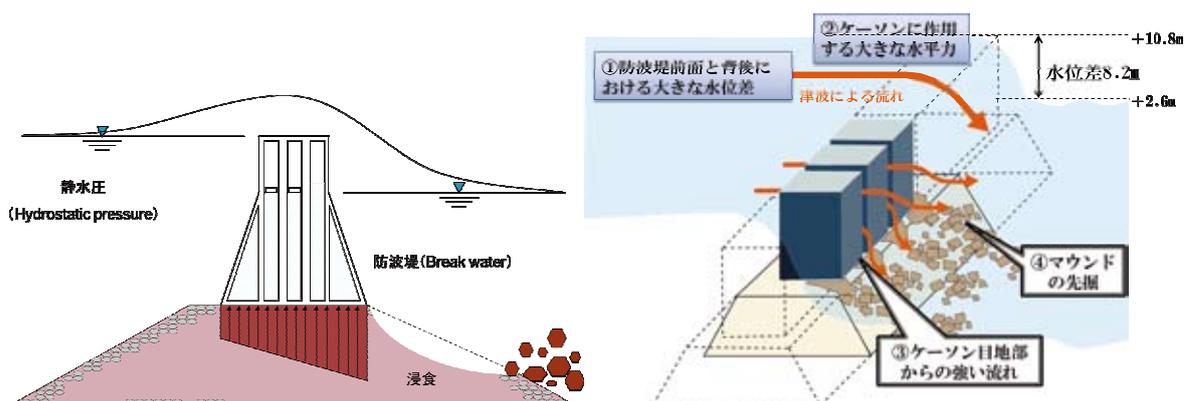


図 5.1 津波による防波堤の被害のメカニズムの推定

5.2 河口部の河川堤防の被害

宮城県内の阿武隈川・鳴瀬川・名取川・北上川の河口部では津波によって、堤防で守るべく地域が壊滅的に被害を受けた。特に北上川河口部右岸では 1.1km にわたって河川堤防が流失した(写真 5.2) このため、このような河口部での堤防復旧については、津波に対する地域復興の観点から計画を一から作る必要があり、単純にハードを元に戻すという復旧に手を付けられない状況である。沿岸部の鉄道在来線も同じである。地殻変動による地盤沈降もあり、今後の街づくりのあり方が問われている。この問題は、地域の合意形成に時間を要することも進まない要因になっている。

津波によって壊滅的な被害を受けた地域では、津波対策を盛り込んだ復興計画が立てられている。その際、土地の嵩上げや道路・鉄道盛土などの土(地盤)を用いた計画案が検討されている。現状で、耐津波性能(水流に対する耐浸食性や越流しても粘り強く機能を損なわない)を有する地盤や盛土などに関する具体的技術基準はない。仮に、仙台東部道路がもっと海岸寄り、津波の力が減勢されていない箇所位置していたら、写真の北上川河口部右岸の河川堤防のように流失していた可能性もある。



写真 5.2 北上川河口部の河川堤防の被害の様子 ((東北地方整備局提供))

5.3 道路橋取付け部や建物基礎回りの洗掘による土砂流失

道路施設は、東北地方太平洋沿岸部を南北に結ぶ国道 45 号線を中心に、津波による被害が発生した。沿岸部を南北に結ぶ主要ルートが閉ざされたことから、国土交通省東北地方整備局は、“櫛の歯作戦”と称される道路啓開作戦を実施した。まず、東北地方の背骨に位置する内陸の国道 4 号線を啓開した後、沿岸部の被災地に向けて櫛の歯状に道路交通を確保する作戦がとられたことはよく知られている²¹⁾。

国道 45 号線の道路施設の主な被災形態としては、橋梁の橋脚や桁の流失もあるが、土構造に関するものとしては、橋梁取付け部の盛土部分が津波によって浸食されたもの(浪板橋:岩手県大槌町, 写真 5.3

左) などがある。また、海浜沿岸部に位置する下水道施設の被害も甚大である。下水処理施設の建物の周りは、津波の水流により洗掘されている箇所が多い。(写真 5.3 右参照)



写真 5.3 左：国道 45 号線波板橋の取付け部の流失状況，右：県南浄化センター建物周りの土砂の流失

5.4 建築物基礎の津波被害

建物基礎の被害としては、女川町の RC 建物の被害が注目される。写真 5.4 左は基礎杭を持つ RC 建物が津波によって転倒した事例である。これには、津波来襲前の地盤の液状化により杭基礎の引き抜き耐力が低下していたのではないかという推察もある。写真右は、同じく直接基礎の RC 建物が波力によって転倒したものである。これらは、津波に対する避難建物の基礎の設計の際に、大いに参考にすべき被災事例である。



写真 5.4 左：女川町における津波により転倒した杭基礎の RC4F 建築物（小高猛司氏提供）、右：同じく直接基礎の建物（高橋一雄氏提供）

6. 復旧・復興への地盤工学的課題

災害の規模が大きくなると、「啓開（ケイカイ）」と「復興」というフェーズが付け加えられる（図 6.1 参照）。「啓開」とは、水路や道を切り開くことを言う。今次、主に沿岸部での津波によって発生した道路や航路の障害物を除去する意味で使われ、広く知られることになった²²⁾。例えば、港湾の泊地・航路は津波による漂流物（コンテナ・原木・漁具・建物等）、沈設物（自動車、船舶など）、海上流出油などが障害となっていたが、これを除去して泊地・航路を開くことを言う。

一方、「復興」とは単に壊れたものを元に戻すことを意味する「復旧」と使い分けられており、新たな価値を付け加え、前よりも盛んになることを言う。被災を受けたそれぞれの自治体が復興計画を作っており、5年から10年の期間を、「復旧期」→「再生期」→「発展期」などに分けている²³⁾。

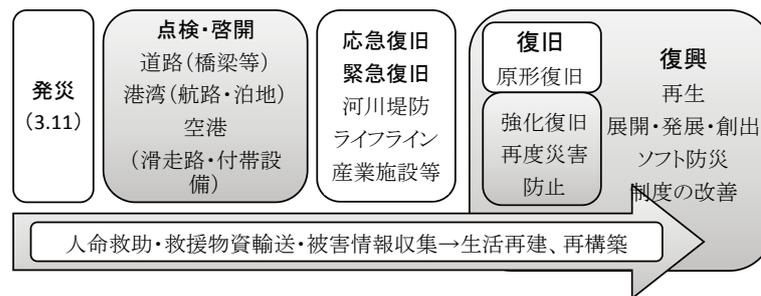


図 6.1 巨大地震災害の復旧・復興の時系列

東北地方太平洋沖地震を受けて、地盤工学会では「地震時における地盤災害の課題と対策」と題する東日本大震災の教訓と提言（第一次）¹⁷⁾を出している。また、中央防災会議：東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会²⁴⁾でも、いくつかの地盤工学に関わる課題が指摘されている。ここでは、これらの提言に加えて、筆者の感じている地盤工学的な課題を述べたい。

6.1 地盤環境工学関連の課題

(1) 津波堆積土砂の特徴と利用

津波によって運ばれてきた土砂は、場所によって砂が主体であったりシルトで主体であったりする。北上川河口部に位置する石巻市や東松島市では、湾内や運河に堆積していた底泥が運ばれてきているためシルト分が多く、仙台港以南の海浜部では砂が主体である。砂は、水流が弱くなると早く堆積するのに対して、シルト分は濁流となった津波に運ばれて一緒に移動する。津波の後に冠水した水量が多いところでは、海水に含まれていたシルト分がゆっくりと沈殿し、下部の砂層と上部のシルト層に分かれて



写真6.1 津波堆積土砂の特徴（地盤工学会 地盤環境工学委員会調査による）

左上：東松島市、シルト分を主体とするヘドロ状の津波堆積土、右上：相馬市松川浦周辺の農地、析出した塩が白く見える、 左下：相馬市松川浦周辺の農地、水田に堆積して乾いたシルト分、右下：堆積物の断面：下部に砂層、上部にシルト層が見える

堆積している（写真6.1右下参照）。例えば、写真6.1左上に示すシルトは、東松島市内の冠水したある事業所の建物内から排土されたものであるが、冠水高さ約1.5mに対して、水が引いた後にヘドロ状のシルトが約30cmも堆積していた。地盤工学会地盤環境工学委員会の調査では、津波の浸水の仕方に対応して、場所によって土砂の種類と量の違いを調査している。また、写真6.1の残りの3枚は、福島県相馬市の松川浦周辺の農地に堆積した津波堆積土砂の様子を示している。長期間冠水した農地の上部には塩分が析出し、今年度は耕地になっていない（写真右上）。放射性物質の汚染状況を含め、これらの土砂の質と量を評価する必要がある。

これらは、堆積土砂の処理計画を練る上で基礎資料になるものである。大量に生じた土砂を資源と捉えて有効利用するためには、土砂管理マネジメントが必要であり、その対処は地盤環境の保全にも寄与すると考えられる。

(2) 震災廃棄物の有効利用の視点

今次の災害では、震災廃棄物が多量に発生している。これらの処理については、環境省によって、処理指針が2011/5/16に示されている²⁵⁾（図6.2参照）。処理は、まず分別が基本であり、分別した材料ごとの種類別の処理方針が示された。また、2011/10/6に国土交通省は、復興に係る公園緑地整備の基本的考え方（中間報告）²⁶⁾の中で、原則として災害廃棄物は全て分別され、再生利用が可能なものは可能な限り活用されるべきであるとしている。また、やむを得ない状況により分別が難しい災害廃棄物が、混合状態の災害廃棄物として処分されることを想定し、管理型処分場を緑地の中に整備し、安定後に上部を緑地として活用すること等についても言及した。その際、緑地の活用方法、安全性の確保方法、周辺への影響防止方法等について留意するとしている。また、建設資材として使う場合には粒度調整を行うことが必要であるとしている。

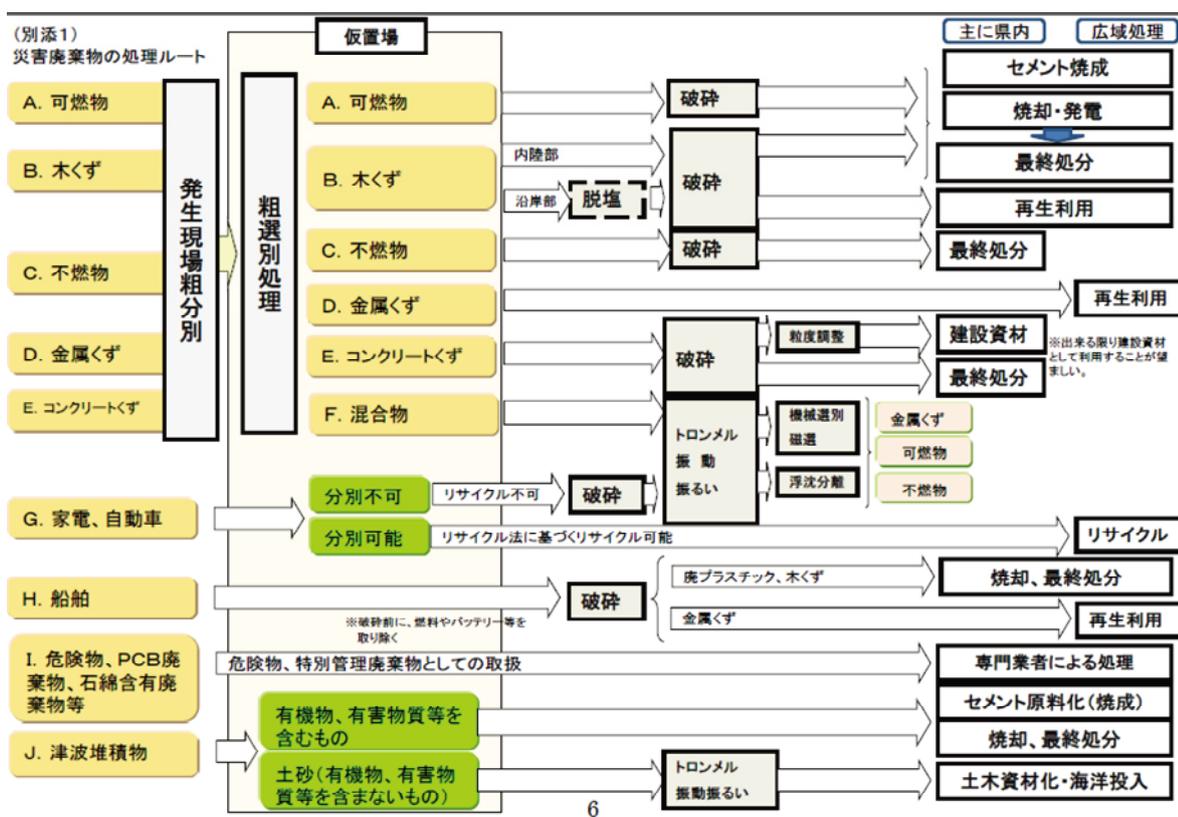


図6.2 東日本大震災に係る災害廃棄物の処理指針（マスタープラン）（H23/5/16）²⁵⁾



写真6.2 がれきの処理のパイロット事業 (2011/10/31 東北支部学術合同調査委員会視察 釜石市)

まず、処理の基本方針を迅速に提示したことに敬意を表したい。地盤工学的には、これまで盛土材料で培った工学的知見をベースに、どのような粒度の土がどのような用途に使えるのか、有機物（特に木くず）を多く含む土が経年的にどのような変化をもたらすのかをよく吟味し、品質の悪いものでも積極的に使っていくことに貢献できる。今後は、発生した質の違う様々な土をどこにどう使うかという視点でのニーズの掘り出しが必要である。土砂は沈下した地盤や集団移転地の地盤の嵩上げ、津波防護のための海浜部の公園緑地帯の嵩上げに大量に必要である。これまでにない新しい活用策を実践してほしい。むしろ単に復旧・復興にとらえずに、日常の廃棄物処理やダム湖の堆積土砂の処理問題まで解決できるような枠組みで進めてもよいと思っている。

(3) 放射性物質の地盤環境中での挙動と対策

福島第一原子力発電所の事故によって放出された放射性物質の問題は、現在進行形の被害である。汚染物質の処理には、除染技術、減容化技術、管理保管技術などが求められているが、これも地盤工学が貢献できる課題である。これについては、参考文献29) によく整理されているので参照されたい。

6.2 土構造物に要求される耐震性能・耐津波性能

(1) 耐震性能の向上で考えるべきこと

常時外力に対する設計と違って、耐震設計の性能は、地震を被って初めて結果が知られることが多い。また、(誤解を恐れず言えば) 地震のような外力は不確実性が高いから、今次のように当初設計で考慮した外力を超える外力を被る場合もよくあることである。今回の地震・津波の被害の教訓の第一としては、地震時に設計以上の外力が作用した場合でも、致命的な破壊や被害を回避することを第一目標に置くべきではなかったかということである。いわゆる靱性(ねばり)である。すでに、RC構造などではこのような靱性能の確保の概念が設計に取り入れられているが、こと土構造物や液状化被害については靱性の概念を明確に評価してこなかった点は、大いに改善すべき点であると考えている。今後は、これまで以上に土の破壊形態を制御・評価する技術について研究すべきである。このような研究は、地震動の継続時間の影響や繰返し回数の影響の評価にもつながり、耐震性の向上に大きく寄与するであろう。なお、その際補強土工法は、大いに活用すべき余地がある。利活用に向けて、より一層合理的で使いやすい技術指針の整備が求められる。

(2) 盛土構造の耐津波性能など

復旧・復興を考える上で、再来する津波にどのように対応すべきかは重要な問題である。土木学会では、津波防護レベル(レベル1: 数十年から百数十年に一度の津波を対象とし、人命及び資産を守るレベル)と津波減災レベル(レベル2: レベル1をはるかに上回り、構造物対策の適用限界を超過する津波に対して、人命を守るために最大限の措置を行うレベル)の二つを考えることを提案している²⁷⁾。

レベル2の数百年という年月は、現状の地圏環境のままではないと思われる。例えば、縄文海進の際には、現在より海面が4~6mも高かったことが知られている。そのような地質学的なイベント(千年先であろうと必ず再び来る津波)に対して、現代に生きる人がどこまで将来の人のために、対策するのか

が問われている。

今次の災害では、沿岸部に位置する土構造物が津波によって浸食を受け、ひいては流失に至っているケースが多く見られた。その一方で、仙台東部道路の盛土は、仙台平野に浸入した津波をくい止めて、それより内陸側の被害を減少させたという評価がある。現在、仙台平野では、津波に対する多重防護策として、仙台東部道路よりも沿岸により近い県道を盛土によって嵩上げし、今次のような津波に対する防護機能を持たせる案が検討されている。例えば、仙台市の震災復興計画（平成 23 年 11 月）では、**図 6.3** のように、津波対策施設のイメージが示されている。しかし、地盤工学に係る者としては、震災から 10 か月が経過して落ち着いて考えてみるに、この県道の盛土嵩上げ（二線堤の役割を持たせる）案には大いに疑問である。その理由のいくつかを上げれば、以下のとおりである。

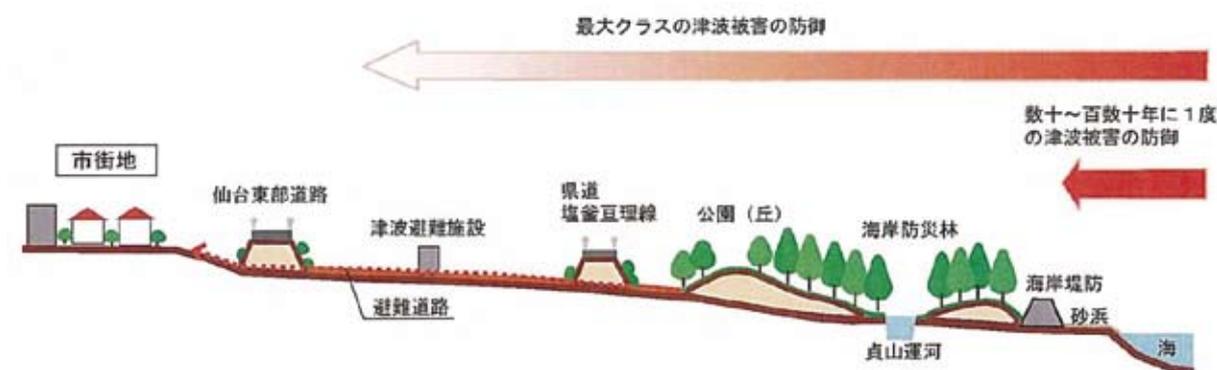


図 6.3 仙台平野部の津波対策施設イメージ（断面図、仙台市震災復興計画より）²⁸⁾

- 先にも述べたが、まず、技術的に耐津波・耐浸食性能を持つ土構造物の技術的要件については、研究の余地が多い。例えば、我が国の河川堤防は越水しないことを前提としてつくられており、越水堤防の研究すらない。そのような理由から、現在、越流を許すダムの洪水吐け、遊水地への誘導部分は、コンクリート構造で造られている。仮にコンクリートで覆うにしても、数百年劣化しないコンクリートはないと言ってよい。
- その盛土が津波に対して防護機能を発揮するのは数百年後のことである。今次のような稀な災害のための対策によって、日常生活に大きな代償を強いるようなものは避けるべきである。
- 津波に対する第一線の防御施設は海岸堤防や河川堤防である。それをも乗り越えた津波に対して、それよりも整備レベルの劣る二線堤で軽減できるものは限定的と考えられる。大将の後から家来が出てゆくようなものだという意見もある。
- 効果が限定的とするならば、費用と効果の視点で計画を評価すべきであり、同じ費用を費やすなら、海岸堤防や河川堤防の整備レベルを上げて、内陸の土地利用に支障を減らす方がよいという結論になるのではないだろうか。
- 今次のような最大クラスの津波に対してはハードに頼らないのが大方針でなかったのか。万全な効果があるかどうか不明な盛土を境界にして土地利用を線引きすることはソフト防災を含めた総合的視点から検討が必要ではないか。

疑問を呈する視点は景観や内水の洪水の問題など他にもあるが、申し上げたいことは、二線堤防整備は一つのメニューではあるが、技術的にも困難であるし、大きな費用の割に限定的な効果しか期待できないのではないかとこの疑問である。代案として、筆者は以下のように考えている。

- 今次のレベルの津波に対しては明示的にハードで対応するのではなく避難を中心とした対策方針を大前提にする。
- レベル 1 対応のハードは復旧事業として数年のうちに迅速に行う。
- レベル 2 対応の余裕しろとしてのハード整備は海岸部の緑地帯の嵩上げ強化を中心に考えるべき。よ

り自然環境に適合した沿岸部の緑地防災ベルトを、貞山堀の活用方策と合間って整備すればよい。その期間は、数十年という長期間でも構わない。雇用対策の視点も入れ、日常の廃棄物処理と事業をリンクさせてもよい。緑地帯の樹木は数年で再生しないのだから。

最大クラスの津波対策施設については、費用や優先度なども含め、大いに議論すべきである。復旧復興の速度は重要だがレベル2対応のハード整備については、拙速なことはしなくてよいと思っている。なお、三陸沿岸部に対する対応については、平野部と津波の来襲頻度が違うし、漁業従事者も多いため、自ずと対応は違ってくる。専門外であるので、ここでは言及しない。

6.3. 復旧・復興に求められる技術³⁰⁾

迅速性・多地点対応：復旧は周辺条件を考慮した上で、その機能をいつまでにどこまで回復させるかを目標設定しなければならない。道路や河川堤防盛土の場合には、応急復旧工に迅速な施工が要求される。具体には、特別な機材が不要で現場条件に大きく左右されないことである。また、被災箇所が多すぎて、復旧資材や人員が所定の時間内に対応できない場合も想定される。その場合には、被災箇所復旧の優先度や被災した建造物の残存耐力・性能を評価する技術が必要になる。

特殊な場所で使える技術：災害の現場は、しばしば特殊な現場条件を作り出す。岩手・宮城内陸地震では、山地部の河道閉塞箇所まで運ぶことのできる分解型重機や土石流堆積現場で使える超湿地ブル、遠隔操作重機などが活躍した。今次の地震災害でも、放射線で汚染された原発での遠隔操作ロボットなどの需要もあった。沿岸部の被害でも、冠水した水を早く少ないエネルギーで排水できる技術、がれきを効率よく分別できる技術など、現場のニーズは多いと思われる。研究技術開発では、災害の復旧現場から学ぶことが多い。

仮設から本設へ：応急復旧は仮設的に取り扱われるが、大災害になるとその期間が長期化する。例えば、耐候性のない土嚢袋などは2-3ヶ月で破れてしまう。仮設的なものであっても少ない手戻りで本設構造に転用できるものがあるとよい。

安価な個人宅地向け復旧技術：丘陵造成宅地被害や埋立地の宅地の液状化被害は、夥しい数である。建物の被害に関しては、地震保険でカバーすることも可能であるが、宅地地盤変状に起因する被害は、個人に大きな経済的負担が生じる。安価で狭隘な場所でも施工できる復旧技術が求められている。新設の場合には、不同沈下を容易に修正できる基礎形式を工夫してもよい。

強化復旧：災害復旧は、原形復旧が基本である。しかし、被災した側に立てば、再度災害防止の観点で復旧することは、当然の行為である。行政的な判断としては原形復旧と強化復旧を区別することに意味があるのかも知れないが、筆者は、必ずしも両者をことさら区別する必要はないと思っている。技術は日々進歩しており、復旧時点の最新技術に基づいて行うと決めれば、自ずと強化復旧になると思うからである。普段から、日々進歩している技術を常に積極的に取り入れ、設計施工指針にいち早く反映させてゆくという姿勢が必要である。このとき、既存不適格も順次解消される。

7. おわりに

今回、宮城県沖地震対策研究協議会と東北地質調査業協会から地盤災害に関する報文の寄稿を依頼されたことを光栄に存じます。ここでは、筆者の専門の立場をやや逸脱して私見を述べた感もあり、被災された方はもとより、復旧・復興に深い造詣のある諸氏や現場の一線で働いている方々には、異論も多いことと思います。この拙文が寄稿依頼の意図に十分答えたかどうかは、甚だ疑問であります。どうかご容赦願いたい。筆者としては、地盤工学・地震工学に30年ほど携わったものの、未熟さ、まだわからないことが多いと痛感し、これまでの科学技術の考え方を根本的に問い直すことも必要であると感じているところです。最後になりますが、震災復興に真摯に取り組んでいる皆さんに敬意を表します。日々、多くの皆さんが被災地の復旧・復興のために勤勉に働いている姿を目の当たりにし、被災地の復興を確信しております。

参考文献

- 1) 国土地理院：平成 23 年（2011 年）東北太平洋沖地震に伴う地盤沈下調査，
<http://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/sokuchikijun40003.html>
- 2) 国土地理院：各観測点における地盤沈下調査結果一覧表，<http://www.gsi.go.jp/common/000060316.pdf>
- 3) 国土地理院：GPS 連続観測から得られた電子基準点の地殻変動，
<http://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi40005.html>, 2011.
- 4) 金谷 守，規矩大義，国生剛治，石原研而，三村 衛，後藤洋三，森本 巖：1999 年トルココジャエリ地震によるギョルジュック水没地点の調査，第 35 回地盤工学研究発表会講演集，2 巻，pp.219-220,2000.
- 5) 風間基樹，清野純史，加賀谷俊和，佐々木静男，GPS を用いた地盤変状の把握 とその利用，第 10 回日本地震工学シンポジウム，Vol.1, pp.3605-3608, (1998).
- 6) 仙台市の環境、平成 21 年度実績報告書、<http://www.city.sendai.jp/kankyou/kikaku/report09/1-5.pdf>.
- 7) 安田進，原田健二：東京湾岸における液状化被害、地盤工学会誌、Vol.59、No、7、pp.38 -41、2011.7
- 8) 国土交通省 報道発表資料「液状化対策技術検討会議」検討成果資料 2：検討概要
http://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08_hh_000154.html
- 9) 風間基樹，阪神大震災以降の液状化研究－液状化した土の残留変形特性の評価，電力土木，No.348，pp.1-6, 2010.
- 10) Kazama, M. Residual deformation property of liquefied soil and related phenomena, pp.85-97, The 14th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Hong Kong, China, 2011.
- 11) 高橋啓久、吉田純也、仙頭紀明、森友宏、渦岡良介、風間基樹、K₀ オンライン地震応答実験による地震後の残留変形評価、土木学会論文集 C (地圏工学), 12p, 掲載予定, 2012.
- 12) 菅野高弘，仙台空港の液状化対策，建設業界，pp.16-19, 2011.11.
- 13) 東北地方整備局河川部：東日本大震災における河川・海岸施設の被害および復旧状況，15p，平成 23 年 7 月，<http://www.thr.mlit.go.jp/Bumon/B00097/K00360/taiheiyouokijishinn/hukyuu/0711.pdf>.
- 14) 財団法人、国土技術研究センター：北上川等堤防復旧技術検討委員会（10 月 7 日資料）、<http://www.thr.mlit.go.jp/Bumon/B00097/K00360/taiheiyouokijishinn/kenntoukai/111007/03shiryuu2.pdf>、2011.
- 15) 佐々木康：河川堤防の被害事例，地震時の地盤・土構造物の流動性および永久変形に関するシンポジウム，地盤工学会，1998.
- 16) 河川堤防耐震対策緊急検討委員会報告書：東日本大震災を踏まえた今後の河川堤防の耐震対策の進め方について，22p，平成 23 年 9 月，http://www.jice.or.jp/sonota/t1/pdf/2309_houkoku.pdf.
- 17) 地盤工学会：地震時におけ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（第一次）、60p、2011 年 7 月.
- 18) 瀬尾玄輝，森友宏，風間基樹：造成宅地地盤における盛土厚分布の推定手法による地震応答特性の違い，第 46 回地盤工学研究発表会，pp.1815-1816, 2011.7.
- 19) 国土交通省報道発表資料（平成 16 年）新潟県中越地震による被災宅地復旧のための技術マニュアル等について，http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha04/04/041227_3_.html, 2004.12.
- 20) 国土交通省：わが家の宅地安全マニュアル，<http://www.mlit.go.jp/crd/pamphlet.html>
- 21) 国土交通省東北地方整備局道路部，
http://www.thr.mlit.go.jp/road/jisinkannrenjouhou_110311/110315_17_kokudou.pdf.
- 22) 国土交通省東北地方整備局：被災後の初動体制から応急復旧に向けた対応：土木学会誌、Vol.96、No.7、pp.9～13、2011.
- 23) 宮城県震災復興計画～宮城・東北・日本の絆・再生から更なる発展へ～，
<http://www.pref.miyagi.jp/seisaku/sinsaihukou/keikaku/index.htm>.
- 24) 中央防災会議，東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告、平成 23 年 9 月 28 日.
- 25) 環境省，東日本大震災に係る災害廃棄物の処理指針（マスタープラン）について（H23/5/16）
http://www.env.go.jp/jishin/attach/haiki_masterplan.pdf.
- 26) 国交省報道発表資料，東日本大震災からの復興に係る公園緑地整備の基本的考え方（中間報告），
http://www.mlit.go.jp/report/press/toshi10_hh_000079.html, 2011.10.6
- 27) 土木学会津波特定テーマ委員会第 2 回資料：
http://committees.jsce.or.jp/2011quake/system/files/110613_tsunami.pdf.
- 28) 仙台市。仙台市震災復興計画、15p、平成 23 年 11 月.
- 29) 保高徹生，放射性物質の土壌中での挙動及び農作物への影響：対策の整理と課題，地盤工学フォーラム東北 2011 講演概要集，pp.23-35, 2012.1.
- 30) 風間基樹，地盤災害と復旧－東日本大震災の復旧・復興に感じること－，地盤工学会誌、総説，pp.1-3，Vol.59, No.11, 2011.11.

著者略歴



氏名 風間 基樹 (カザマ モトキ)
生年月日 昭和 34 年 2 月 7 日
本籍 山梨県
所属 東北大学 大学院工学研究科 土木工学専攻
研究分野 地盤工学・地震工学
最終学歴 1981 年 東北大学工学部土木工学科卒
職歴 1981 年 運輸省入省 港湾技術研究所 構造部振動研究室 研究官
1989 年 同 主任研究官
1994 年 東北大学 工学部 助教授 へ異動
2000 年 東北大学大学院工学研究科教授 地盤工学分野を担当
学会活動 日本地震工学会 理事 (平成 17 年度～平成 18 年度)
地盤工学会 理事 (平成 20 年度～平成 22 年度) など
受賞 土木学会研究業績賞 (2010) 地盤工学会功労賞 (2010)
土木学会論文賞 (2000, 2008) など

震災関係委員

土木学会 東日本震災特別委員会 幹事長
東日本大震災に関する東北支部学術合同調査委員会 副幹事長
国土交通省 液状化対策技術検討会議 委員
国土交通省 河川堤防耐震対策緊急検討委員会 委員
国土交通省 東北港湾における津波震災対策技術検討委員会 委員
自治体 (宮城県・仙台市・名取市) の復興計画の関係委員会 委員
仙台市宅地審議会 委員 (平成 23 年震災後～) など

E-mail kazama_motok@civil.tohoku.ac.jp

TEL 022-795-7434

FAX 022-795-7435