

東日本大震災における地盤災害から今後を考える

東北大学 大学院工学研究科・教授
風間 基樹

巨大地震による地盤災害

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、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。地震動による被害に加えて、地殻変動による地盤沈降や津波の被害は、まさに海洋型巨大地震に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、被害が著しく広範に及び、新たな被害形態も露呈させた。

地盤沈下はボディブロー的な災禍

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、広域の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。

(1) 地殻変動による広域地盤沈降

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、岩手県から茨城県の沿岸部にかけて数十センチメートルの沈下が観測された。また、岩手県洋野町から福島県南相馬市までの沿岸域では、津波により約470 km²が浸水し、そのうち3月13日時点で・湛水面積約170km²となった。

ゼロメートル地帯などの低地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状況となる。低地への冠水は、被災直後の救援や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。東北地方整備局は全国から約120台の排水ポンプ車を集結させ、24時間体制で排水にあたった。排水作業は8月26日まで延べ122日間行われた。

地盤沈下の短期的直接的な被害としては、港湾機能への支障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システムを再構築する必要も生じる。中長期的には、高潮災害や洪水などの水害に対して非常に脆弱な地帯を生み出したことによる被害が懸念される。実際、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ーナの被害の淵源は、広域の地盤沈下にある。

このように地盤沈下は、長期にわたりボディブロー的な災禍をもたらす。復旧・復興では、将来の禍根を少なくするよう、可能な限り低地対策を行うべきである。



写真1 地震二日後の石巻市の様子

(2) 表層地盤の地盤変状による地盤沈下

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。液状化による沈下は、通常震動が治まってから、およそ数時間から数日で終息する。

粘性土系の軟弱地盤も大きな震動を受けると、沈下が加速する可能性がある。過去の地震でも数年に渡って沈下が進んだ事例が知られている。地震後に沈下傾向が促進するのは、堆積過程で緩く嵩張った骨格構造を持った粘性土層が震動により構造を壊されるためである。低地部では今後の地盤沈下量の推移を注意深く監視する必要がある。

危機管理上考慮すべき液状化被害と対策

東京湾岸部埋立地を中心に液状化被害が顕著であった。東北地方でも液状化を原因とする様々な被害があったが、津波被害に対して相対的に見落とされがちになっている。

一般に、液状化が生じると地盤の支持力やせん断抵抗力が極端に小さくなり、上部構造物を支持する基礎地盤としての役割に支障が生じるが、一瞬のうちに壊れるような急激な破壊とならないため、液状化が人的被害に直結することは稀である。しかし、危機管理上考慮されるべき液状化がある。

(1) インフラの液状化被害による二次災害

液状化による社会基盤施設の被害が二次的に人的被害につながることが考えられる。今次の震災でも次のようなことが顕在化した。

- ・大量の噴砂・噴水によって、道路など交通システムが障害を受け、救急・消防活動に支障をきたした。
- ・多くの空港には防災計画上、大規模震災直後に救援拠点機能が期待されているが、滑走路に液状化が生じた場合には、この初期救援機能が果たせない。仙台空港では津波の前に一部液状化が生じ、エプロン・誘導路が一部被害を受けている。液状化と津波によって空港は予定の防災機能を果たせなかつた。
- ・電気・ガス・上水道・通信などのライフラインの拠点施設の被害により、その供給が断たれる二次被害。今次の震災では、特にガソリンの供給不足は様々な面で被害を拡大させた。
- ・住家を下流に持つダムが崩壊し、貯水が一気に洪水流となって下流に押し寄せる。福島県の藤沼ダムの事例はこの典型例であるが、同ダムの決壊原因として砂質土の盛土が震動により強度低下した可能性が指摘され、液状化が関係している可能性が示唆されている。

(2) 産業施設の液状化被害による二次災害

液状化は産業関連施設に大きな被害を与えるが、次のようなことが懸念されている。

- ・石油などエネルギー備蓄施設の多くは、液状化の懸念される湾岸地帯埋立地に立地している。液状化によってタンクの不同沈下や付帯の管路の被害が火災につながる可能性がある。発生してからの対応の強化ではなく、事前の予防的対策が最も有効で急務である。
- ・鉱さいの液状化によって、重金属を含む鉱さいが流出する。今次の震災でも、気仙沼の大谷鉱山跡の鉱さいダムから、鉱さいが流出する事故が発生している（図1参照）。

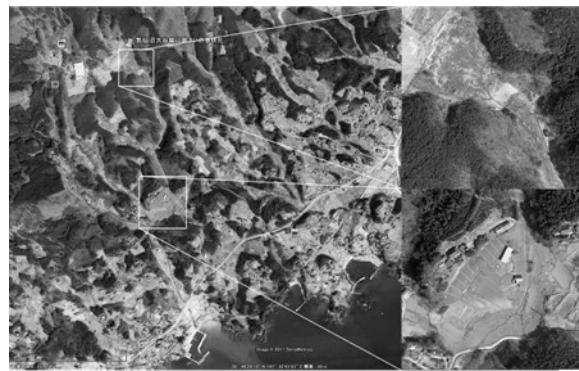


図1 鉱さい堆積場の液状化による流動化

(Google Earth 画像2011/4/7)

なお、産業施設の液状化被害に関しては、必ずしもその全貌が明らかになっていない面がある。おおよそ可能な限り公表して、真摯に事後対策を進めることが、その企業の社会的信頼性を増すことにもつながる。

(3) 液状化被害予測図の利用法に工夫の余地

最近では、多くの自治体が、ハザードマップとして液状化被害予測図を市民に開示している。筆者も、想定宮城県沖地震に対する液状化による被害予測に一部関わった。しかし、予測図が今次の震災の防災にどの程度活かされたかとなると、反省が必要である。マップでは危険性を大きめに見積もるため、液状化の危険度は低地部のいたるところで真っ赤になるほど高い。しかし、マップを見て、液状化対策として何をすべきなのかが見えてこない。市民個人レベルでできることと行政が行うべきことの仕分けができていないし、作っただけで終わっていると言われても過言ではない。今後は、減災につながるマップの利用方法を具体化してゆく必要がある。

(4) 液状化研究の今後

液状化の予測や対策に関する工学的研究は、ここ半世紀の間に精力的に行われ、技術がある程度実務に定着している感がある。しかし、現状で満足して良いわけではなく、改善してゆく余地は多い。例えば、

- ・地震動の継続時間や余震の影響の考慮
- ・噴砂・噴水量が多くなる原因の解明
- ・鉱さいなどが流動性崩壊をする液状化の解明
- ・事後調査で地中の液状化した層を同定する技術
- ・宅地の不同沈下量・絶対沈下量の予測評価法
- ・薄層の液状化が大被害つながる機構解明（堤防基礎地盤に存在する薄層の液状化が堤体の崩壊を招いた事例が多発した）など、研究や技術開発の課題がまだ多く残されている。

丘陵地の造成宅地被害を減じるには

(1) 問題は既存宅地にある

宮城県や福島県を中心に、丘陵地を切盛りして造成された多くの宅地が被害を受けた。造成地盤は人工的なものであるから、造成地の設計施工の段階で耐震対策をとることが最も効果的な対処法

である。問題は耐震性の低い既存宅地地盤である。

(2) 古い造成年代ほど被害が多い

被災宅地の造成年代を調べると1968年新都市計画法施行前までの宅地に被害が多い。それまでは宅地造成に係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つたため、より基礎地盤の被害が目立つようにな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上昇や盛土材料の風化が進み、脆弱になった可能性もある。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つて、すべての造成地をそのように一般的に評価することはできない。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し、原因が特定できないことが多いからである。

(3) どのような宅地地盤が被災を受けたのか

造成宅地地盤の地震被害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によるものはほとんどなく、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が多発した（写真2参照）。また、震動による盛土部の圧縮沈下（ゆすり込み沈下）も多く、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た。

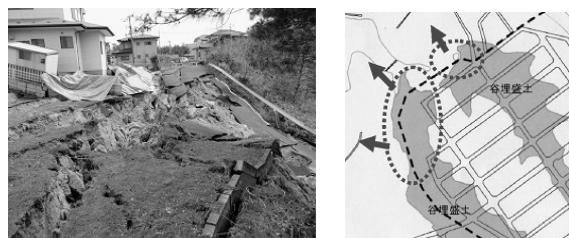


写真2 谷埋め盛土開口部斜面での被害例

(4) 見過ごされている地中の変状による被害

地震直後にはすぐに顕在化していないものの、そのあとの豪雨によって被害が拡大する場合がある。震動によって生じた地下空洞や地下排水設備の被害は、直後にはわからないものの、後日の豪雨によって土砂流失や排水不良として被害が顕在化する場合がある。場合によっては、1年以上を経過した後に生じる被害もある。

(5) 対策を講じなければ再度災害の可能性は高い

宮城県内の被害事例では、1978年宮城県沖地震によって被災した箇所は、程度の差こそあれ再び被災している。液状化被害の場合と同様に、対策を施さなければ、再び同程度の震動で被害を受ける可能性は高い。また、1978年には被災を受けず、今回新たに被災を受けた箇所もある。地震動が強かったことと、地下水環境の変化や地盤の経年劣化が原因と考えられる。逆に言えば、今次の震災で被害を受けなかったからと言って、次の地震の安全性を保証するものではない。

(6) 危険度の高い宅地の抽出と対策の問題点

既存の宅地の中から、危険度の高い宅地を抽出し、対策を講じるためには、地盤調査に始まって対策の必要性の有無の判断、対策方法の選定・設計の技術が必要である。しかし、現状ではこの技術が必ずしも十分に確立されていない。技術的な問題に加えて社会的な問題もある。財政難の現状のなかで、対象となる宅地の数が多く、現状が一気に改善される見込みは少ない。加えて、宅地地

盤の耐震性が低いと診断された場合、対策は宅地所有者個人でできないため、複数の住民の合意形成が必要となる。個人資産である宅地に行政が積極的にどこまで関与するべきかなども、社会的な合意が形成されているわけではない。

今後は市民に地盤情報（地盤データ・災害履歴など）を分かりやすく開示し、市民自らがリスクを判断できるようにするべきである。先にも述べたが、宅地は個人の私有財産であるし、被災を受けたら公が補償してくれるというのであれば、モラルハザードにもなりかねない。現状は、これまで一般市民は宅地の耐震性を十分に知るすべが無かったので、たとえ宅地が個人財産であったとしても、被災を受けた場合に、ある程度の援助支援が公的に行われているものと理解している。

大震災の地盤災害がすべてではない

今回は、数百年に一度といわれるような巨大地震に翻弄され、非常に広い範囲で被害を受けた。しかし、沿岸部の津波被害に比較して内陸部での震動がそれほどでもなかったことから、地盤災害としては低地部に関係する地盤災害が主であった。山体崩壊、斜面崩壊、土石流、火山災害（火砕流・泥流）など山地部特有の地盤災害はそれほど大規模なものは発生していない。また、世界的に見ても、地下街が発達し、地下空間が高度に利用された大都市は、大きな揺れや津波の洗礼を受けていない。今後の対策を考える場合には、今次の震災の事例に特化した対策を講じるのではなく、それ以外の潜在的ハザードを如何に抽出するかが重要である。震災を受けて対処するという後手の対応では、効果は薄い。震災を受けて防災減災のマインドが高まるることは良いが、対策は本来常時から肅々とやるべきものではないだろうか。

参考文献

- 1) 風間基樹：2011年東北地方太平洋沖地震の地盤災害と復興への地盤工学的課題、東日本大震災に関する技術講演会論文集、 pp.41～65、 2012.2.