

「東日本大震災を教訓に東海・東南海・南海3連動地震に備える—地盤工学における課題(2011年12月6日)」

## 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

地盤工学会 2011年東日本大震災・学会提言の検証と評価に関する委員会  
幹事長 末岡 徹(大成建設技術センター)

### 1. 地盤工学会の地盤災害に関する最近の活動 (広報・出版の一部)

- 2005年12月 首都圏を直下地震から守るために  
—地盤工学からの提言—
- 2009年8月 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—
- 2011年7月 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)
- 2011年9月 Geo-Hazards during Earthquakes and Mitigation Measures  
—Lessons and Recommendations from the 2011 Great East Japan Earthquake—



地盤工学会出版の「地震時における地盤災害の課題と対策」及び  
「Geo-Hazards during Earthquakes and Mitigation Measures」

### 2. 学会提言の検証と評価に関する委員会活動

#### ■ 東日本大震災の地盤災害に関する5つの視点

- 1) それぞれの地盤災害のメカニズムと原因は解明されたか？
- 2) 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？
- 3) 被害の想定と対策が無いが不十分であったため、どのような地盤災害が生じたのか？
- 4) 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？
- 5) 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調査・設計・施工・維持管理の課題は何か？

公益社団法人 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)

## ■ 今回の地震で地盤工学の技術や指針が有効だった例

- 最近の耐震設計基準で設計・施工された構造物  
(社会インフラ, 中・高層建築, 産業施設とその基礎構造物)
- 適切に耐震設計していた土構造物(新幹線等の補強土擁壁等)
- 近代的なロックフィルダム
- 液状化対策を行なった構造物(社会インフラ, タンク等の産業施設, 中高層建築)

→ 最近の耐震規準や液状化予測に基づいた設計・施工・対策が実際に行われた構造物は被害が少なかった(災害は軽減できる)

## ■ 今回の地震で地盤工学の適用が不十分(指針・規準・法令が不十分あるいは不徹底等)で大きな災害となった例

- ① 宅地を中心として地盤の液状化被害
- ② 丘陵地の造成宅地の被害  
①②→ 過去において指針・規準・法令・予測法に基づいた設計・対策工が不徹底(諸規準や対策工の順守徹底で災害は軽減できる)
- ③ 付帯設備の地盤災害によるシステムの機能障害(BCP)  
→ 産業施設・社会インフラはシステムで機能している(BCP・システム考慮で災害は軽減できる)
- ④ 巨大津波による災害
- ⑤ 広域多所災害(現状復旧だけでは十分でない)
- ⑥ 災害廃棄物, 津波堆積物, 塩害, 放射性廃棄物,  
④⑤⑥→ あまりにも広域・巨大な災害に対しては重要土構造物の耐震診断・耐震補強とハードのみでなくソフト対策も必要

## ■ 緊急性が高い重要項目の要約

- (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\*
- (6) 社会基盤施設の復旧方針と地盤工学技術の活用
- (7) システムの機能障害とBCPの重要性\*\*

\* 2007年地盤工学会提言では、欠けていたか、弱かった項目

\*\* 日下部会長がまえがきで指摘、末岡が今回追加

## (1) 地盤の液状化による被害(特に戸建て住宅)

### ■ 被害

- ・地震規模が大きかったため、震央から遠い東京湾岸の若年埋立地でも広範囲に液状化、1万戸を超す戸建て住宅が沈下・傾斜、下水道などのライフライン、道路も甚大な被害
- ・関東平野内の湖沼・旧河道の若年埋立地でも、同様な被害
- ・東北、関東の河川堤防等も、支持地盤の液状化により多大な被害



推定した液状化発生範囲(安田進、原田健二)

## ■対策の効果等

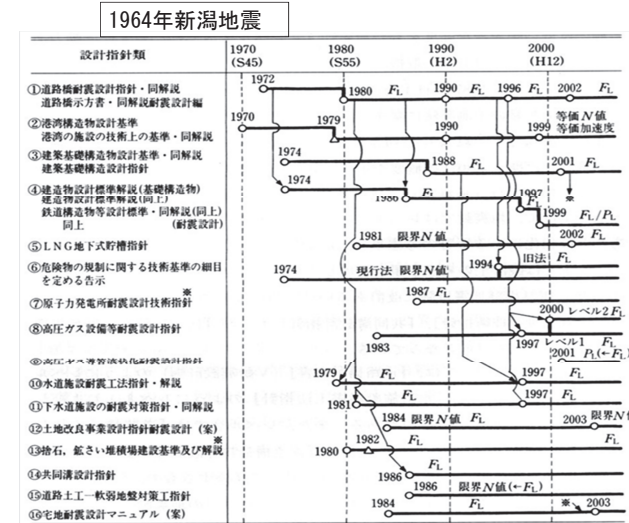
一方、広範囲に地盤が液状化した地域でも、それを想定して対策をしていた道路・鉄道の高架構造物・橋梁、中・高層ビル、共同溝などは、ほとんど無被害。一部では地盤改良済み。

・1964年新潟地震の後、建設技術者の間で地盤の液状化は広く認識。公共機関などが整備・管理する社会基盤施設に対しては、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いて、それに従って設計・施工。

・民間の中・高層ビル(UR等の住宅を含む)や産業施設も同様  
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、図に示す地盤液状化の発生範囲内でも、地盤改良を行って被害を防いだ地区もある(例、浦安市のディズニーランドの主要な建物)。

・過去 レベルⅠ設計地震動でカバー。その後レベルⅡ設計地震動でも考慮。

## 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



## 戸建て住宅の被害の課題と提言 - 1

1) 若年埋立地等の宅地は、液状化の可能性を考慮して、新築戸建て住宅の設計・建築を行い、既設戸建て住宅は必要な補強を行う必要

新築の場合、宅地の液状化は宅地造成時か家屋建築時に対応できる。しかし、現在の法律では、いずれの場合に対しても規制が不十分

⇒ 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が必要

- ・住宅の品質確保の促進等に関する法律での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追加が必要
- ・木造建築士の試験内容での地盤の液状化の項目の追加が必要
- ・丘陵地の造成宅地の液状化による被害も多いことから、宅地の常時および地震時安定性などの判断もできる「地盤品質判定士」のような資格の制度を設ける必要

⇒ 既設の戸建て住宅に対しては、信頼がおけて低価格な液状化対策法を開発する必要

## 戸建て住宅の被害の課題と提言 - 2

2) 戸建て住宅にも適用できる、標準的な地盤の液状化の判定法の開発

a) ハザードマップ:

- ・宅地の液状化の調査の必要性を判断する予備判定法
- ・作成方法を標準化し、埋立て等の履歴を考慮して、信頼性の向上

b) 宅地の液状化の判定のための統一的な地震荷重の設定が必要:

- ・東京湾岸の若年埋立地では、震度は5弱～5強で地表最大加速度150～200GalのレベルⅡ程度であったが、広範囲に液状化。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、戸建て住宅に対して、

- ・レベルⅡ設計地震動を考慮する設計とすれば、実質的に考慮される
- ・震源位置と地震規模を特定して地盤の液状化を予測する場合には重要

⇒ 東海・東南海・南海地震によって、瀬戸内海、山陰の若年埋立て層が液状化するか、判定する場合

## (2) 丘陵地の造成宅地の被害と復旧

### ■被害の特徴

- ・多数の箇所、丘陵地を切り盛り工事した宅地造成地が被害

### ・宮城県内：

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事例

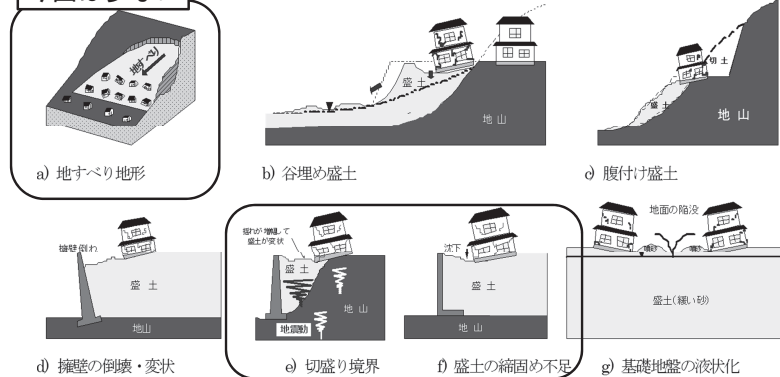
新たに被災した事例：その原因の一つとして、1978年宮城県沖地震よりも振幅が大きく継続時間が長い地震動



宅地の被災例(仙台市青葉区折立)(風間基樹)

## 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

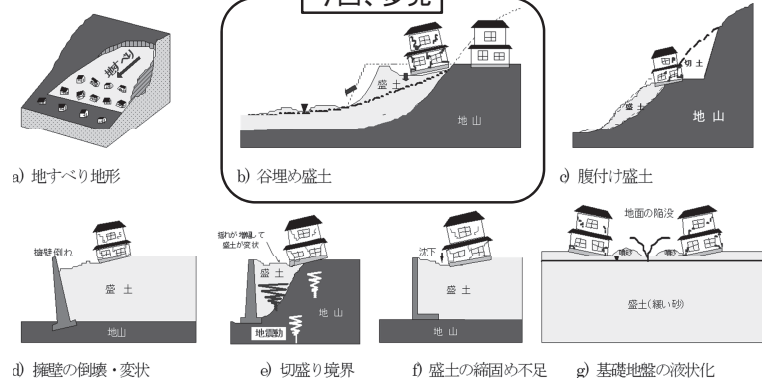
今回は少ない



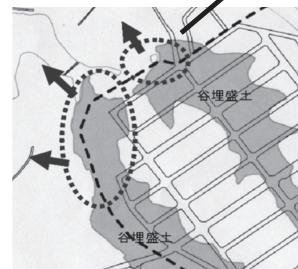
継続時間が長い地震動の影響

## 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

今回、多発



b) 谷埋め盛土





## 課題と提言 - 1

### ■復旧には、被害の程度に応じて行政の適切な関与が必要

- ・宅地の地盤被害の場合、建物の建替えや修繕にとどまらないため、個人の費用負担が大

被害程度と行政の関与案

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係する大規模な被害（個人の対応を超えるもの）	◎	◎	—	—	—	—	—	◎
2) 数戸の宅地に関係する中程度の被害、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

## 課題と提言 - 2

- 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。また、宅地基礎地盤の耐震診断・耐震補強の制度は用意されたものの、その実施状況は不十分で、危険な状態で長期間放置される場合が多い

⇒1) 大規模盛土造成地（谷埋め型、腹付け型）の被害、無被害の事例を詳細を調査・比較して、被災の原因を究明、今後の耐震化に活かす必要

### 2) 社会システムの改善

- ・新規造成宅地地盤に対して、公共的な土構造物と同様に、排水設備、締固め等の設計・施工の技術管理、維持管理の国レベルのシステム
- ・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）
- ・上記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（次頁につづく）

## 課題と提言 - 3

- 3) 既存の造成宅地地盤の耐震性調査手法の確立と低価格の補強方法の開発
- 4) 損害保険の適用法の修正  
例) 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
- 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

### ■公益社団法人地盤工学会の対応

- 6) 被災を受けた個人や地域に対する復旧支援体制
  - ・復旧に必要な技術的事項の実施マニュアル
  - ・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
- 7) 地盤の品質確認に役に立つ地盤情報の公開
  - 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による地盤情報の公開の協力が必要
- 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、減災事業の推進に貢献

## (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と二つの課題と対応

- 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）は、津波高さが想定高さを超えるまでは機能。しかし、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、完全に機能喪失

⇒・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  
・越流・浸食・洗掘に強い防潮堤、防波堤の建設

- 2) 津波による各種の土構造物と地盤の災害により、河川堤防の付帯設備の堰・水門・排水機場、漁業施設、港湾施設、道路・鉄道の橋梁・盛土、産業施設、発電所等が被災

⇒・津波に対する耐力を確保するための地盤工学的な対応  
・津波に対する街作りに応じた道路・鉄道の路線選定と構造的対処

- 1) 防潮堤の造成に、津波被害による廃棄物を塩分処理等をして活用
- 2) 津波波力・洗掘・越流にも耐力を保ち、高い耐震性を発揮するように、
  - ・盛土は適切な締固め管理と排水設備の配置、各種の地盤改良工法
  - ・のり面には、盛土の補強材と連結した法面工が必要
- 3) 安定化と敷地確保と言う矛盾の解決
  - ・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
  - ・地山を鉄筋等を挿入して安定化する地山補強土工法



住宅エリア

高台移転・職住分離

産業エリア

避難ビル・工場

盛土補強土工法

海

道路

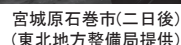
掘削前の地山面

切土部の排水設備と地山補強土工法

盛土部の締固めと排水設備、及び盛土補強土工法

#### (4) 広域の地盤沈下・沈降とその対策

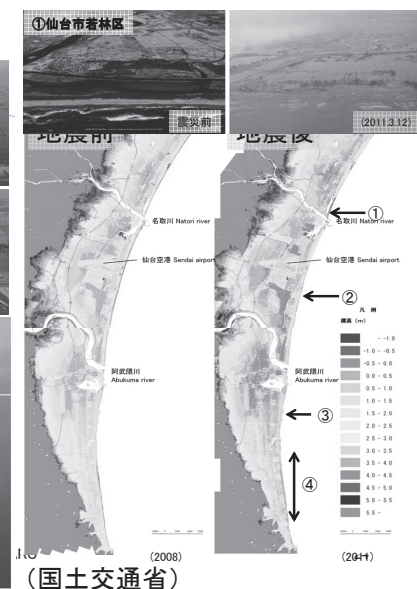
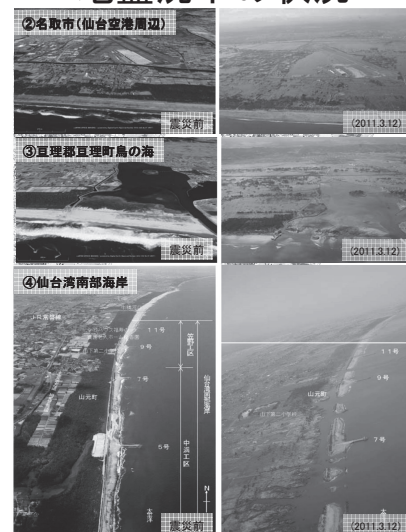
- ・地盤は地殻変動に伴い沈降・隆起
- ・締固っていない地盤は揺すり込み沈下、  
液状化後に過剰間隙水圧が逸散して沈下



- ・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沈降
- ・各所で数10cmの沈降(牡鹿半島では1.2メートル)
- ・仙台平野では、海拔ゼロメートル以下の面積が地震前の3km<sup>2</sup>から16km<sup>2</sup>に増え、5.3倍

⇒住宅や農地が冠水状態、津波の被災地区の復旧の妨げ

## 地盤沈下の状況

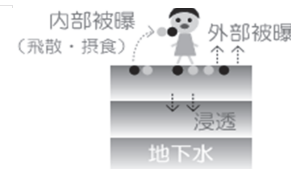




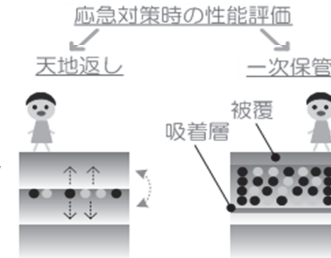
## ■放射性汚染土壌への対応

放射能汚染土壌の長期管理・処理は長期的な課題

a) 原位置での放射能汚染土壌の管理(例、現在採用されているすき取り、天地返し等)の地盤環境影響評価と管理技術の提言



b) 放射能汚染土壌からの放射性物質の除去方法(除染)の検討



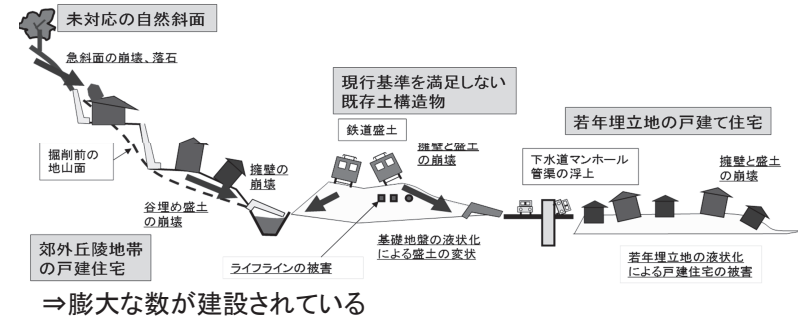
c) 放射能汚染土壌・廃棄物の処理・封じ込めの技術評価といった取り組みへの地盤工学の貢献(様々な方法提案あり、モデル実証事業で効率的な除染方法を評価)

## (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

公的機関と大規模民間組織の最近の耐震設計基準による社会基盤施設(中・高層建築物/産業施設/新幹線等鉄道・道路の補強土擁壁/近代的ロックフィルダム/耐震補強していた河川堤防)は 被害は無いが軽微  
⇒地盤工学・耐震設計が活きた!

しかし、各種の地盤災害が各所で被害・・・・・・



## ■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

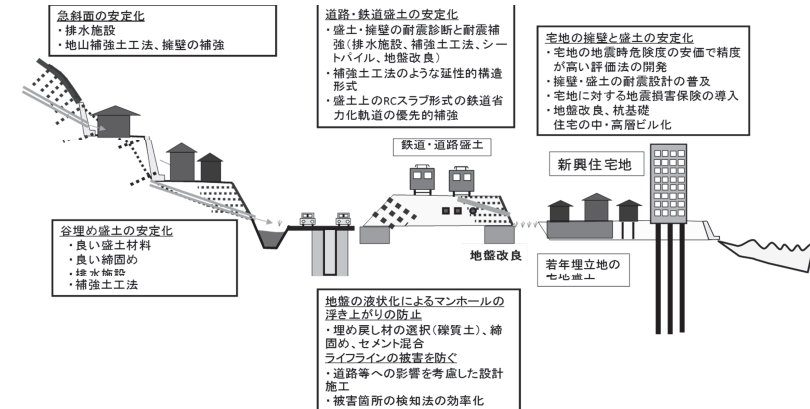
■新設土構造物 ⇒ 耐震設計

■既設の土構造物と自然地盤・斜面 ⇒ 耐震診断・耐震補強

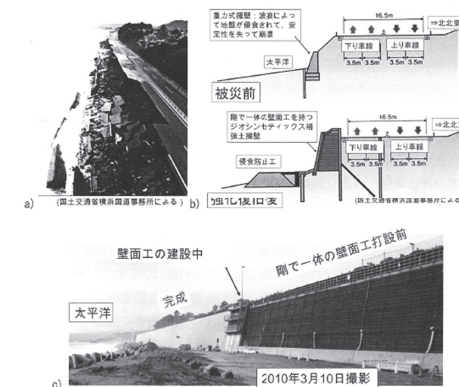
■被災した土構造物と崩壊した自然斜面 ⇒ 強化復旧

・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

・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



## ■神奈川県西湘バイパスの台風の波浪で崩壊した重力式防波堤のジオシンセティック補強土擁壁による強化復旧(龍岡教授提供)

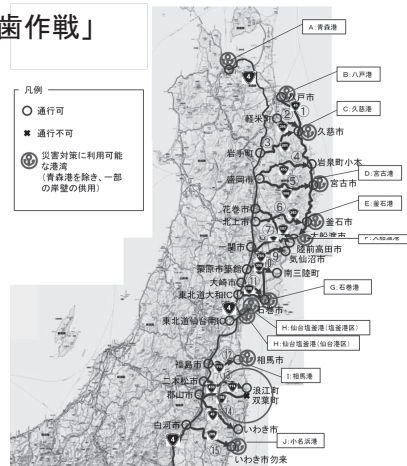


公益社団法人 地盤工学会 地震時における地盤災害の課題と対策  
2011年東日本大震災の教訓と提言(第一次)



## (7) システムの機能障害とBCPの重要性(特に道路ネットワーク)

### (1) 「くしの歯作戦」



東北地方整備局ホームページ くしの歯作戦(11/05/02)

### (2) NEXCO東日本による極めて迅速な道路復旧



東日本高速道路株式会社関東支社プレスリリース(常磐自動車道)より

### 外国メディアは次のように伝えた

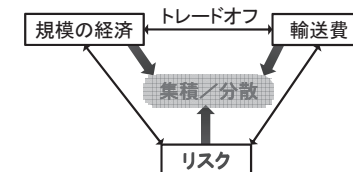
The Japanese road repaired SIX days after it was destroyed by quake



東日本高速道路株式会社関東支社プレスリリース(常磐自動車道)より

### (3) 空間経済学の立場から見ると(藤田昌久教授らによる)

空間経済学とは、多様な人間活動が近接立地して互いに補い合うことで生まれる集積入力(生産性と創造性の向上)に注目し、都市や地域、国際間の空間経済システムのダイナミックな変遷を分析する経済学の新分野



東日本大震災は、地震、津波、原子力事故、電力供給障害および大規模なサプライチェーン(素材の部品調査から製品納入までのモノの流れ)の寸断を伴った、歴史上初めての巨大な複合災害であった

藤田昌久著 日本経済新聞8月31日朝刊および経済産業研究所ホームページスペシャルレポート

#### (4) BCPに必要な道路ネットワーク(ネットワーク・システムの重要性)

- 「道路ネットワーク」は、人の命・生活・安全を守り、維持し、社会・経済・文化を繋ぐ血管(ライフのライン)である。
- 「道路ネットワーク」は、常時のB/C評価のみでなく非常時のネットワーク効果(耐災害性,多重性)まで含んだ評価もすべきでは(国土交通省社会資本整備審議会事業評価会資料及び大石久和氏講演)

→ 東海・東南海地震・南海や首都圏直下地震では？

→ タイ国大洪水による企業活動ストップ(サプライチェーンの寸断)

→ 施設・地域・国・国際ネットワーク全体の防災・減災・BCPへ

### 3. 結論

東日本大震災から以下の結論が明らかになった。

- (1) 最近の地盤工学の成果(指針・規準・法令・調査・予測法・設計・施工・対策工法)は有効であり、その徹底した実施により地盤災害は低減できる。
- (2) 埋立て地や造成宅地では、過去、地盤工学の成果適用の実施不足・不徹底があり、今回の地震で被害を増大させた。
- (3) 今後は、広域多所災害も念頭に入れ、土構造物の耐震診断・耐震補強とともに、安価な対災補強工法の技術開発が求められる。
- (4) 災害に対しては、システムとして考えることが基本であり、いろいろなレベル・範囲のBCPとネットワークの考え方が重要である。特に非常時の道路ネットワークの耐災害性・多重性は注目に値する。

これらの結論は、今後発生が危惧される東海・東南海・南海3連動地震に対しても基本的に有効であるが、地域特性は考慮すべきであろう。

宮城県亶理郡山元町(2011年4月)



地盤工学会倫理綱領

【社会に対する貢献】:安全で豊かな社会の持続的発展に寄与するために、地盤工学の専門知識と技術を積極的かつ適切に活用する。

宮城県南三陸町志津川地区(2011年4月)



職員・遠藤未希さんの“高台に逃げて下さい”の声が  
今でも聞こえそうだ—まさに殉教者

避難所となった山形市桜田小学校 山形新聞 2011年3月12日



当たり前の事が当たり前じゃない



地盤工学は人々や社会のために何ができるか？

御清聴ありがとうございました。

〔なお本件をまとめるに当たり、龍岡文夫東京理科大学教授  
のアドバイスを受けました。御礼申し上げます。〕