【研 03】
2012 年 9 月 5 日(水)
16:15-18:15

平成 24 年度土木学会全国大会
研究討論会

東日本大震災の復旧・復興の現状と課題

地震工学委員会・地震被害調査小委員会

川島一彦（東京工業大学）
大友敬三（電力中央研究所）
星隈順一（土木研究所）
富田孝史（港湾空港技術研究所）
高橋良和（京都大学）

土木学会全国大会研究討論会

東日本大震災の復旧・復興の現状と課題

2012年9月5日
16:15－18:15

地震工学委員会
川島一彦、大友敬三、星隈順一、富田孝史、高橋良和

基本認識

Mw9.0という大規模地震であったことから、従来の地震にはない被害を与えた。

●広域的に強震動に見舞われたが、1995年兵庫県南部地震や2004年新潟県中越地震等で経験した地震動を上回るものではなかった。

●地震動の継続時間は長く、この影響が現れた構造物（主として、長周期構造物）がある。

●断層域が東西に広かったことから、1896年明治三陸地震津波、1933年昭和三陸地震津波、1960年チリ地震津波に比較して、津波が高く、甚大な被害を生じた。

●東京湾岸地域を含む、広範囲な地域で液状化が発生した。

基本認識（2）

●地震動による被害は限定的。従来の耐震設計法の向上や耐震補強の効果が出ている。この方向をさらに推進すべき。しかし、震源断層がもっと近い場合の耐震性は、今後、検証が必要。断層変位に対する対応は未だ取られていない。

●液状化対策が十分実施されていない木造建物や堤防、盛土等の土構造物を除くと、液状化や流動化を考慮して建設された構造物では、液状化による被害は限定的。この方向を今後さらに推進すべき。

●津波に対する対策は効を奏した箇所もあったが、高い津波に対応できなかった箇所が多数ある。

基本認識（3）

●原子力発電所の被害に対する国民の不信が高く、これが技術全般に対する信頼性を損なう結果となっている。原子力という巨大システムのリスクを考える際には、全体と個別要素を分けることは適切ではないが、まずは、土木技術者が担当した施設について、技術の果たした役割、今後の信頼性を改善するための方策を考えるべき。

被害を振り返って

●被害として、なにが予想されたとおりであり、なにが新しい被害であったか？ 成功した点は何か？失敗した点は何か?

●“想定外の地震”と言われるが、設計外力(地震力、津波、・・)が小さすぎた当然の結果として、被害が出続けただけではないか？ 来るべき東海、南海、東南海地震でまた同様の被害が生じることはないか？

復旧

●今後の耐震性を向上させるために、なにが新しく復旧段階で考慮されたか？ 単なる原形復旧か?

●なにが復旧技術として重要であったか?

●新しい復旧技術は適用されたか?

復興

●安全、安心を求める国民の強い声に応えた復旧、復興となっているか?

●技術は社会に革新をもたらすが、技術的対応を超える、無理な対応を技術者は強いられていないか?

✓大都市圏の人口、産業の集中に伴うハイリスク

✓V字型湾の奥にできた都市、集落

✓ソフト対応で対応可能か?

●与えられた条件で最善を尽くすことは重要であるが、与えられた条件の過酷さをどのように社会に伝えるか?

時間配分

●討論会の趣旨紹介(川島、6分)

●話題提供

川島（9分）＋星隈、高橋、富田、大友氏（各15分）

以上、75分

●話題提供者間のディスカッション（30分）

●フロアーからの問題提起、質疑(15分）

以上、120分

土木学会全国大会研究討論会
東日本大震災の復旧・復興の現状と課題

今後の耐震設計や復旧に考慮すべき事項

2012年9月5日

東京工業大学
川島一彦

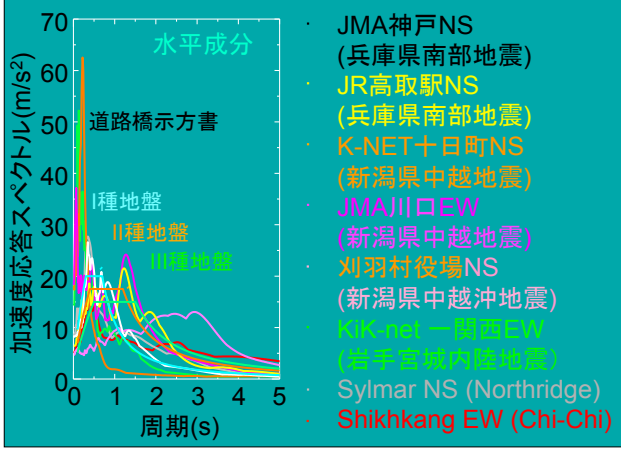
今後の耐震設計や復旧に考慮すべき事項

- ●設計外力が小さすぎないか?
- ●大地震時に崩壊防止という弱腰な性能目標で、本当に、崩壊は防止できるのか?
- ●技術が細分化され、全体を見通せなくなっていないか?
- ●われわれは、安全、安心を求める国民の声に応えているか?

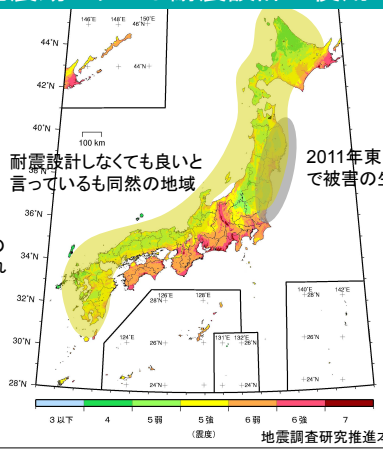
設計外力が小さすぎないか?

- ●本来、外力はそれを上回る作用が生じる確率が低いレベルに設定すべき。風荷重では、きわめて大きな設計風速が考慮されている(たとえば、70m/s)。設計地震力はちょっとした地震の度にこれを上回る地震動が生じる程度のレベルでしかない。
- ●設計地震動を上回っても、変形性能があれば直ぐに倒壊しないと言われているが、塑性域に入った構造物の応答がどこまで達するかはきわめて微妙で、そのコントロールは名人芸。
- ●私たちは、不十分な設計外力しか見込んでいないくせに、“大丈夫、被害はないから”と言わされることに不感症になっていないか？

最近の断層近傍地震動の加速度応答スペクトル



確率地震動マップは耐震設計に使用可能か?



地震調査研究推進本部地震調査委員会

小さな地震動しか与えない、確率地震動マップ

ポアソン過程に基づく限り、現実に地震が起ってみれば、その地震動はかならず確率地震動よりも大きくなる

- ●確率地震動評価

  地震動強度x1年間に発生する確率

- ●シナリオ地震動評価

  地震動強度x発生する確率(=1.0)

研究が進展すれば、順次、地震動が大きくなる矛盾

●現状の知見に基づく最新の情報ではあっても、新しい被害地震が起る度に、大きくなる地震動

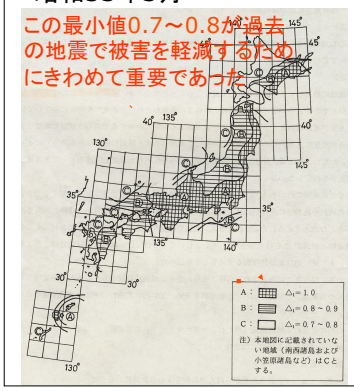
●我々の知識が不十分で、わからないことがあるのだから、これを安全率によって設計に導入した先人の知恵に学ぶべき。

●地震調査推進本部のマップにはこの知恵が入っていない。“国がこれで良いと言った”と受け止められ、被害が生じる度に、非難されることになる可能性大。

●我々の設計地震動や津波評価にはこのような問題点はないか?

地域的に最小値を足切りするため、実務的に重要な役割を果たしている地域別補正係数

昭和53年3月



●当時までに公表されていた地震危険度に関する12例の研究に加重平均を加えて求められた再現期間100年の地震危険度区分

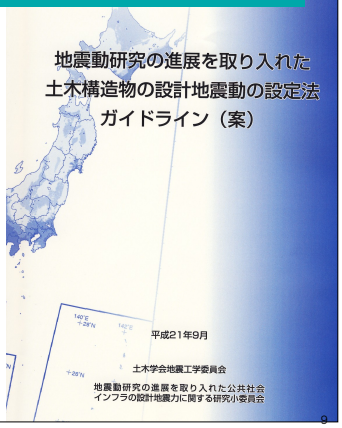
●現在に至るまで、土木、建築分野で、広く採用されてきている

●確率地震動マップの値は使わずに、別途定めるシナリオ地震による地震動を地域別補正係数で補正する。

地震応答スペクトルに基づいた設計地震力評価が重要

耐震設計では使ってはならない気象庁震度

●土木学会地震工学委員会の中に設けられた「地震動研究の進展を取り入れた公共社会インフラの設計地震動に関する研究小委員会」で、平成18年度～20年度の3年間にわたって、検討された成果



地震動研究の進展を取り入れた土木構造物の設計地震動の設定法ガイドライン（案）

1. 設計地震動の設定の基本方針
2. 断層近傍地震動の特性
3. 短周期地震動が土木構造物に与える影響
4. 長周期地震動の特性
5. 震源断層を特定した地震動の推定手法とその利用
6. 確率論的な地震動評価とその利用
7. 設計地震動の設定に使用してはならない気象庁震度階
8. 設計地震動の設定と工学的判断

付属資料

なぜ、気象庁震度に基づいて設計地震動を定めることが不適当か？

気象庁震度は5強であった

↓

地震の揺れの大きさを表す指標

この地区の被害は、気象庁震度6弱相当よりも弱かった

↓

被害レベルを表す指標

構造物の被害レベルは、地震の揺れの大きさだけでなく、当然、構造物の応答、強度によって異なってくる

大地震時は崩壊防止という弱腰な性能目標で崩壊は防止できるか?

●絶対に崩壊させないという性能目標で設計しても、その通りに行かないのがモノ造り。

●結局、基準通りに造ってあれば、崩壊しても免責だというのが土木技術者の本音ではないか。

●耐震性を高めるとコストが跳ね上がるというのは本当か?

●変形性能に期待する設計の方向に向かっているが、不静定次数の低い構造では、一度塑性域に入ればこれを制御することは難しい。

●次の大地震に備えて、安全代がどれだけあるかを検討すべき。

技術が細分化され、全体を見通せなくなっていないか?

●医療と同じで、地震動、応答解析、耐力の他、材料別、部所別に専門が細分化され、構造物全体を見ることのできる技術者が存在できなくなってしまった。

●結果として、ある部分がおかしいと思っても、自分だけの判断では対応できないし、また、これをしようとすると、その到達まであまりにも距離がありすぎて、達成できない。

●もう一度、全体を見通せる技術者を育てるべきではないか。

われわれは、安全、安心を求める国民の声に応えているか?

●技術開発や耐震技術の向上に責任を負っているのは技術者であるが、一方、現状通りで良いと、なかなか現状を変えようとしないのも技術者である。

●次の巨大地震や首都圏直下型地震に対する対応の時間が無くなってきていると言われている現在、対耐震技術、津波防災技術を大きく変化させることのできるこの絶好のチャンスを、我々は有効に活用しようとしているか?

平成24年度土木学会全国大会
研究討論会
2012.9.5　16:15－18:15

東日本大震災後の復旧・復興の現状と課題
～原子力安全・原子力土木の立場から～

電力中央研究所
大友敬三

内容

- 被害を振り返って
- 用いられた復旧技術
- 震災後の安全性向上への取組み～浜岡原子力発電所の事例～
- さらなる安全性向上に向けて～原子力安全土木技術特定テーマ委員会からの提言～

被害を振り返って
＜予想されたとおりの被害＞

- 敷地内埋戻し地盤の変状（女川原子力）
  - 設計用基準地震動超の観測地震動
  - 安全上重要でない構築物への影響
  - 中越沖地震による柏崎刈羽原子力と同様
  - ただし，一部の構築物基礎は対策済み

引用元：土木学会誌2012年4月号p.96

被害を振り返って
＜新しい被害＞

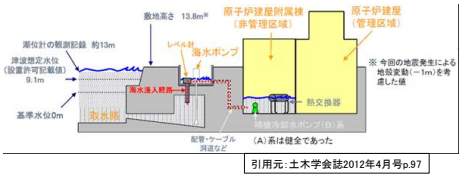
- 津波浸水による重油タンク浮上（女川）
- 津波の波力，洗屈などによる構築物損傷や破壊（福島第一，福島第二）
- 津波の原子炉建屋・タービン建屋への浸水（福島第一，福島第二）

被害を振り返って
＜成功した点＞

- 応急対応面
  - 免震重要棟の設置と機能（福島第一，福島第二）
  - 原子炉を「止める」機能発揮（女川，福島第一，福島第二，東海第二）
  - 原子炉を「冷やす」機能発揮（女川，福島第二，東海第二）
- 事前対応面
  - 津波推計に対する余裕を見込んだ敷地高さ（女川）
  - 土木施設（基礎地盤，周辺斜面，屋外重要土木構造物）の耐震設計（女川）
  - 非常用海水ポンプエリア開口部の側壁設定による津波対策（東海第二）

被害を振り返って
＜失敗した点＞

- 取水路からの原子炉建屋への海水侵入（女川）
- 基準津波を超える事象への対策未着手（福島第一）
- 外部電源供給施設の耐震性確保（福島第一，女川）



引用元：土木学会誌2012年4月号p.97

用いられた復旧技術

- アクセス道路の確保と原水運搬（女川）
- 空路と陸路によるポンプとケーブルの運搬（福島第二）
- 36時間に及ぶ作業員による総延長9,000m仮設ケーブル敷設（福島第二）

特段新しい復旧技術が適用されたわけではなく，「通常」の土木復旧技術が活用された．

震災後の安全性向上への取組み ～浜岡原子力発電所の事例～

- 震災後の状況
- 発電所敷地内浸水防止＜浸水防止対策1＞
- 建屋内浸水防止＜浸水防止対策2＞
- 緊急時対策の強化＜全体像＞

震災後の状況

- 津波緊急安全対策
- ストレステスト
- 東京電力福島第一原子力発電所事故の技術的知見に関する30の安全対策
- 発電用原子炉施設に関する地震・津波に対する安全設計審査指針
- 発電用軽水型原子炉施設におけるシビアアクシデント対策規制の基本的考え方について

浸水防止対策1　発電所敷地内浸水防止（浸水防止対策1）

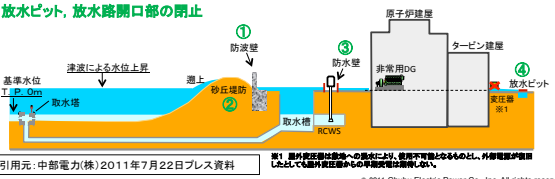
中部電力

◆発電所敷地内への浸水を防止します。

（1）津波が発電所敷地内に直接浸入することを防ぐ「浸水防止」を図ります。
（2）津波による海水面上昇により、取水槽等の水位が上昇し、そこから海水が溢れても問題ないよう、「溢水対策」も行います。

「浸水防止」としては、津波が発電所敷地内へ浸入すること自体を防止するため、
① 発電所敷地海側へ防波壁（天端高さT.P.+18m）の設置
② 発電所敷地前面の砂丘堤防および東側西側盛土の嵩上げ

「溢水対策」として、
③ 海水取水ポンプエリアへの防水壁（高さ：1.5m）の設置
④ 放水ピット，放水路開口部の閉止



※1 屋外変圧器は浸水への備えにより、使用不可能となるものとし、外部電源が復旧したとしても屋外変圧器からの早期変電は期待しない。

引用元：中部電力(株)2011年7月22日プレス資料

© 2011 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

浸水防止対策2　建屋内浸水防止＜浸水防止対策2＞

中部電力

敷地内浸水時においても、海水冷却機能の維持と建屋内への浸水を防止します。

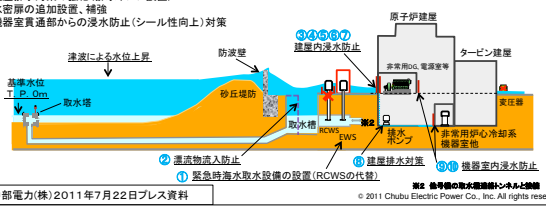
◆仮に津波が防波壁を超え、敷地が浸水した場合を想定、この場合、
・屋外に設置してある海水取水ポンプが水に浸かって停止し、海水を利用した原子炉施設の冷却機能が失われるおそれがあります。（海水冷却機能喪失）
・また、建屋内が大きく浸水してしまうおそれがあります。

◆以上から、「浸水防止対策②」として、
（1）海水冷却機能の維持、（2）建屋内浸水防止、（3）機器室内浸水防止　の対策を行います。

（1）海水冷却機能の維持
① 緊急時海水取水設備(EWS)の設置（原子炉機器冷却海水系（RCWS）の代替）
② 取水槽への漂流物流入防止対策

（2）建屋内浸水防止
③ 建屋外壁の防水構造扉の信頼性強化
④ 建屋外壁の給排気口（開口部）からの浸水防止対策
⑤ 建屋貫通部からの浸水防止（シール性向上）対策
⑥ 地下配管ダクト点検口、入口扉等閉止
⑦ 建物構造強化（4,5号海水熱交換器建屋）

（3）機器室内浸水防止
⑧ 建屋排水対策の強化（排水ポンプ設置）
⑨ 水密扉の追加設置、補強
⑩ 機器室貫通部からの浸水防止（シール性向上）対策



※2 他号機の取水路連絡トンネルと誤認

引用元：中部電力(株)2011年7月22日プレス資料

© 2011 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

緊急時対策の強化＜全体像＞

中部電力

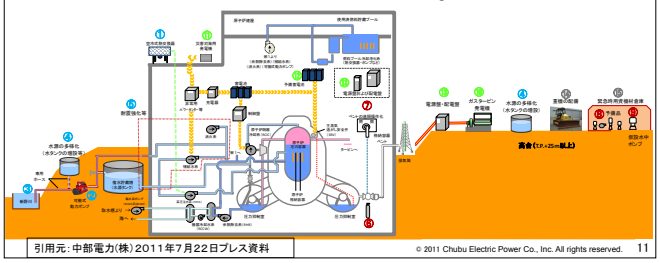
緊急時対策の強化　「冷却機能の確保」

（1）注水設備対策（淡水）
① 高圧注水系を運転可能とするための機器冷却の代替確保（空冷式熱交換器設置）
【電源は非常用交流電源装置より供給】
② 可搬式動力ポンプの確保
③ 取水源の多様化（新野川からの取水）
④ 水源の多様化（水タンクの増設等）
⑤ 補給水系等の耐震強化、注水配管の追加設置

（2）除熱設備対策
⑥ 格納容器ベント弁操作用窒素ボンベの設置
⑦ 格納容器ベントの遠隔操作化
⑧ 原子炉機器冷却海水系（RCWS）、原子炉機器冷却水系（RCCW）、余熱除去系（RHR）ポンプおよび電動機の予備品確保
⑨ 仮設水中ポンプの確保（RCWSポンプの代替）

（3）電源設備対策
⑩ 非常用交流電源装置（ガスタービン発電機）の高台設置
⑪ 災害対策用発電機の建屋屋上への設置
⑫ 予備蓄電池の確保
⑬ 電源盤および配電盤の上層階または高台への設置

（4）その他
⑭ ブルドーザ等の重機の配備
⑮ 緊急時用資機材倉庫の高台設置



引用元：中部電力(株)2011年7月22日プレス資料

© 2011 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

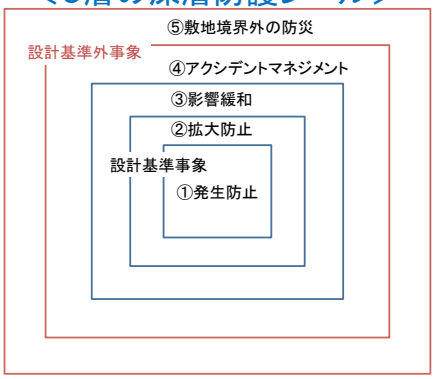
さらなる安全性向上に向けて
～原子力安全土木技術特定テーマ委員会からの提言～

- 土木学会東日本大震災フォロー委員会における原子力安全土木技術特定テーマ委員会の活動（委員長：当麻純一）
- 原子力発電所のあるべき姿に関する提言（土木工学からの提言）

原子力発電所のあるべき姿に関する提言（土木工学からの提言）

- はじめに～反省と教訓～
- 新たな耐震設計・耐津波設計への提案
- 地域の視野から求められる原子力安全土木技術の役割
- 原子力安全における土木技術の役割

原子力安全の基本概念 ＜5層の深層防護レベル＞



はじめに～反省と教訓～

- 極めてまれな基準値（基準地震動，基準津波）は，基準値を超える事象への対策とセット
- 基準値の設定には自然科学的合理性だけでなく社会的合理性の観点
- この基準値を設計上の参照ポイントとし，それ以下およびそれ以上を想定
- 従来の安全性能に加えて運転継続性と危機耐性という新たな概念

新たな耐震設計・耐津波設計への提案

- 新たな耐震・耐津波設計の枠組み
  - 危機耐性
  - 運転継続性
- 基準地震動・基準津波のハザードレベル
- 新たな被災シナリオ
- モニタリングの活用

新たな耐震設計・耐津波設計への提案 ＜危機耐性と運転継続性＞

- 危機耐性
  - 基準地震動・津波を超過し，安全性能が損なわれても緊急手段を可能としてシステム全体として破局的状況を避けられる性能
  - ④アクシデントマネジメント，⑤敷地境界外防災
- 運転継続性
  - 多段階ハザードレベルに応じて損傷を容易に修繕し、速やかに運転再開できる性能
  - ①発生防止，②拡大防止，③影響緩和，④アクシデントマネジメント，⑤敷地境界外防災

新たな耐震設計・耐津波設計への提案
＜基準地震動・基準津波のハザードレベル＞

- ハザードレベル評価の高度化
  - 確率論的評価手法の一層の高度化
  - 評価結果の設計やリスク管理への積極的な活用
- 低頻度事象への対処
  - データが限られることによる信憑性（credibility）を高めることと明示すること
- ハザードレベルの決定方法
  - 特に，「危機耐性」に対しては確率的よりも定性的シナリオで定義する方が適する？

地域の視野から求められる
原子力安全土木技術の役割

- 危機管理・応急復旧に不可欠な拠点や関連インフラの整備
  - 危機管理・応急復旧の拠点
    - オフサイトセンター等の公的施設の耐性向上
  - 応急復旧・復旧資材の供給
    - 交通インフラ、アクセスルート、情報・水などのライフラインシステム耐性向上
  - 深層防護の確保状況に応じたリスクアセスメント
    - 広域ならびに超広域の応援・支援体制
- 修復・復旧に関わる概念の構築
  - 関連自治体の防災計画への位置づけ
  - 関連機関のプラットフォーム再構築

原子力安全における土木技術の役割

- 土木技術者の得意とする領域
  - 自然現象への対処
  - 地点選定のノウハウ
  - 現場における不確定要素への対処
- 東日本大震災における土木技術により被害の発生や拡大防止，影響の緩和に成功した事例

土木学会全国大会研究討論会

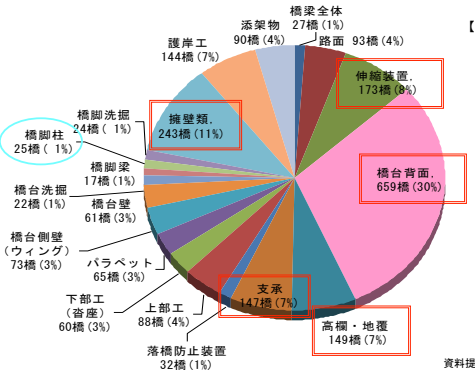
東日本大震災の復旧・復興の現状と課題
＜道路橋の復旧，復興の観点から＞

2012年9月5日16:15－18:15

（独）土木研究所　構造物メンテナンス研究センター
星隈　順一

東北地方整備局が管理する道路橋での被害の発生箇所

耐震補強により橋脚躯体部に生じる被害は明らかに減っている



【注記】
- 岩手県，宮城県，福島県内の直轄国道11路線上の1,572橋（本線橋及び本線橋に並列した歩道橋）に対する点検結果
- 点検対象の1,572橋の内、960橋において地震により何らかの損傷が発生
- 1橋で複数個所に損傷が生じている場合には複数カウントをして集計

資料提供：国土交通省東北地方整備局

耐震補強された橋とその近傍の耐震補強されていない橋

岩手県
奥州市
付近

可動支承における
桁の振動跡

段落し部の損傷（地震後全面通行止め）

地震後の交通機能確保に貢献した耐震補強された橋

地震後の道路の交通機能の回復状況

- ✓ 地震発生翌日までに東北道、国道4号から太平洋沿岸主要都市へのアクセスルートを11ルートを確保
- ✓ 地震発生4日後までに同15ルートを確保

交通機能が短期に回復できた理由

- ✓ 橋梁の耐震補強対策により、落橋等の致命的な被害が生じなかったこと
- ✓ 「くしの歯作戦」により、16ルートの道路啓開に集中したこと
- ✓ 災害協力協定に基づき地元建設業等の協力が得られたこと

被害を振り返って

1．地震動による道路橋の被害

○古い基準で設計され耐震補強が必要な構造形式であるが，まだ耐震補強がされていなかった橋において従前と同様な被害が発生
○耐震補強されていた橋は速やかに機能を回復
○橋へのアプローチ部（橋台背面土）の被害が相対的に目立ってきた

●橋脚躯体と支承部に耐震補強がなされた橋であっても，基礎の変状により機能回復が速やかに果たせなかった橋があった
●ゴム支承の損傷に対する備え，診断技術
●制震装置等の受け手側取り付け部の損傷

制震装置の受け手側取り付け部の損傷

ゴム支承に生じた亀裂

3径間連続橋の固定支承を有する下部構造の変状と周辺地盤の液状化痕跡

被害を振り返って

2．津波による道路橋の被害

○2004年12月に発生したスマトラ島沖地震によるインド洋津波においても，橋桁の流出等の被害は生じ，この分野の研究も始動
○我が国では，戦後津波による橋の流出被害はないものの，洪水による橋桁の流出被害は生じている

●大規模な津波に対して，道路橋も含めた道路（路線）が，地域の防災減災という観点からどういう役割を果たさなければならないかという議論

被害を振り返って

3. 設計外力の大きさの課題だけではない

➢技術基準では，自然災害のような上限がわからない事象に対して「設計外力」を決めている

※「未曾有と想定外」：畑村洋太郎著
人はなにかを企画したり、計画したりといった「考えをつくる」ときは、まず自分の考える範囲を決めます。
この境界を設定し、考えの枠を決めることが「想定」なのです。
想定外のことが起こったのではありません。何も「考えていなかった」だけなのです。

➢「設計外力」を決めると，その大小に関わらず「考えの枠」が決まっている

➢「考えの枠」を超えると何が起き，その時に何が求められるのかを考える

想像すること，思考停止しないこと，放棄しないこと，先送りしないこと

小 ⟷ 作用する外力 ⟷ 大

道路橋の場合だと・・

- 許容応力度に収まる
- 部材の耐力で抵抗し損傷させない
- 部材の損傷を許容しつつも速やかな機能回復には影響を生じさせない
- 速やかな機能回復は困難であっても構造物は損壊させない
- 構造物が損壊しても当該構造物以外のシステムで機能を確保

既往の大規模地震による被害教訓を踏まえた対応
＜道路橋示方書での規定＞

2．1　耐震設計の基本方針

(1)橋の耐震設計は，設計地震動のレベルと橋の重要度に応じて，必要とされる耐震性能を確保することを目的として行う。

✓設計で考慮する地震動を上回る強度の地震動，極めて大きな津波，橋の周辺地盤における大規模な断層変位の発生，地すべりなどに対する考え方

- ・耐震設計では考慮していないが想定されうる地震に伴って生じるリスクの影響が小さくなるような路線計画
- ・減災機能が強化されるよう，道路ネットワークの多重化による補完性を確保できるような計画とすること等を，当該地域の防災計画と一体となって検討
- ・仮に橋に機能的な損失が生じる場合に対して，構造計画の観点から，ソフト及びハードの両面から総合的に検討することが重要
  - ①できる限り早期に復旧できるような構造形式を採用
  - ②その復旧のための計画や資材等の整備について事前に検討

既往の大規模地震による被害教訓を踏まえた対応
＜道路橋示方書での規定＞

2．1　耐震設計の基本方針

(2) 耐震設計にあたっては，地形・地質・地盤条件，立地条件，津波に関する地域の防災計画等を考慮した上で構造を計画するとともに，橋を構成する各部材及び橋全体系が必要な耐震性を有するように配慮しなければならない。

✓道路橋の設計においては，その地域の防災計画等に基づいて設定される当該路線に求められる性能に応じて，適切な構造計画を検討することが重要

✓構造計画の考え方の例

- ・津波に関する地域の防災計画等を参考にしながら津波の高さに対して桁下空間を確保すること
- ・津波の影響を受けにくいような構造的工夫を施すこと
- ・上部構造が流出しても復旧しやすいように構造的な配慮をすること　　等

✓流出する状況を考える、想像する
✓最悪の場合でも最終的にどのような姿の破壊のさせ方が最も復旧しやすいかという観点
→ キャパシティデザインによる破壊制御の重要性

被災時の迅速な道路啓開

■和歌山県の紀伊半島沿岸部の高速道路の未整備区間では、高速道路を利用した道路啓開が出来ないため、国道42号を利用した道路啓開を実施。
津波により流出される可能性のある橋梁を抽出し、応急復旧の備えを実施。

国道42号の道路啓開及び応急復旧

※22橋（標高約10m以下かつ、河口からの距離が500m以下で、迂回路のない20橋＋河口部付近の川幅が大きく、内陸部（500m以上）まで津波が遡上するおそれのある2橋（日置橋、日置大橋）津波想定が見直された場合は、別途検討

出典：国土交通省近畿地方整備局HP

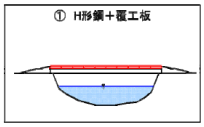
被災時の迅速な道路啓開

■標高や河口からの距離、迂回路の有無等に基づき、津波発生時に仮復旧が必要と想定される橋梁を想定し、仮復旧の方法をあらかじめ検討。
流された橋梁の復旧は現位置又は近傍上流の迂回路ルートに仮復旧。
仮復旧の方法は、川幅などの現地状況により選択。
必要な資機材は、今後計画的に備蓄。

応急復旧の方法検討と資機材の備蓄

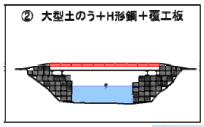
川幅が狭い場合

① H形鋼＋覆工板



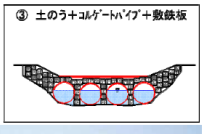
川幅が少し広い場合

② 大型土のう＋H形鋼＋覆工板



川幅が広い場合

③ 土のう＋ｺﾙｹﾞｰﾄﾊﾟｲﾌﾟ＋敷鉄板



■仮復旧に必要な資機材

H形鋼、覆工板、コルゲートパイプ、大型土のう、応急組み立て橋など

※資機材は、主要な箇所に分散して保管

出典：国土交通省近畿地方整備局HP

応急的な機能回復を速やかにするための復旧対応
＜応急復旧では機能の観点から最速な方法を選択＞

迂回路の確保

沼田跨線橋の例

歌津大橋の例

写真・図提供：国土交通省東北地方整備局

橋桁や橋台背面土が流出した橋の応急復旧
＜構造条件がマッチする応急復旧橋を速やかに架設＞

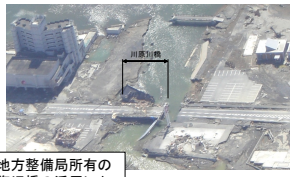
応急復旧橋の緊急架設

水尻橋の例

自衛隊の架橋機材の活用
による短時間での架設
（3月19日に1車線確保）

仮橋の架設
（7月6日に2車線確保）

川原川橋の例



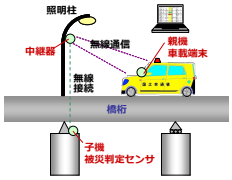
北陸地方整備局所有の
応急復旧橋の活用による
短期間での架設
（3月25日に2車線確保）

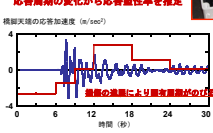
写真・図提供：国土交通省東北地方整備局

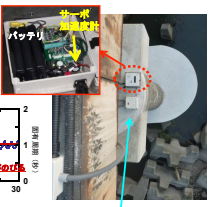
地震時被災度判定システムが復旧した橋の監視対策として活用

橋梁の地震時被災度判定システムを活用

早期復旧の前提となる点検を速やかにする技術

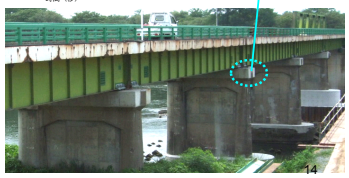






記憶型検知センサーによる地震
被害判定システムを開発

地震の揺れに伴う周期の変化を感知し、
その変化によって橋脚の変状を無線通信
により端末に伝送するシステム

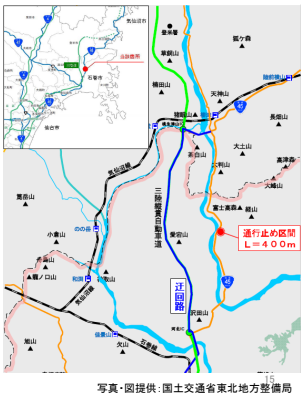


東北地方太平洋沖地震により下部構造に被災が生じた橋への適用

ちなみに，国道45号線における被災の中で
全面通行止め解除に最も時間を要した被災とは

50,000m³に及ぶ斜面崩壊

平成24年2月3日に1車線を確保
（片側交互通行）



写真・図提供：国土交通省東北地方整備局

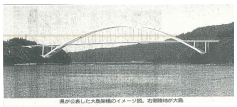
防災機能を備えた復興道路「三陸沿岸道路」

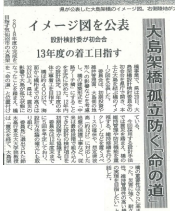
- ➢津波浸水区域を回避
  95%が津波浸水区域を回避したルート
  浸水区域を通過する場合でも高さのある橋で通過
- ➢復興まちづくりと一体となった計画
  アクセス性の確保、利便性を考慮し、出入り口を配置
- ➢避難機能の強化
  災害時の避難機能（避難階段の設置等）の具備
  「釜石の奇跡」

三陸縦貫自動車道（山田道路）　織笠高架橋
桁下空間が確保されており，津波の影響は確認されなかった

復興のシンボル「大島架橋」と要求性能

- ➢災害に強く耐久性に優れた橋梁
  台風や地震(津波)などの自然災害に対して、緊急輸送路としての機能を満足し、100年を超える期間十分な強度を持って耐える橋梁を目指す。
- ➢維持管理に優れる橋梁
  建設コストや維持管理コストといった、
  LCC がミニマムとなる構造の選定と
  施策の構築を行う。




大島架橋 孤立防ぐ「命の道」

イメージ図を公表
設計検討委が初会合
13年度の着工目指す

出典：宮城県HP

土木学会全国大会研究討論会
2012年9月5日　16:15～18:15
名古屋大学

東日本大震災の復旧･復興の現状と課題

津波災害からの復旧・復興の現状と課題
～港湾を例として～

港湾空港技術研究所
アジア・太平洋沿岸防災研究センター
富田孝史

東北地方太平洋沖地震津波の特徴

① これまで経験したことのない巨大津波

② 防護構造物の過信と避難の遅れ

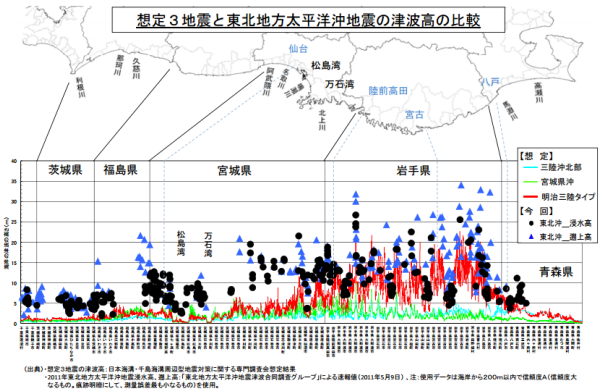
③ 広域的な港湾の被災による産業・物流への影響

①これまで経験したことのない巨大津波

➔ 歴史的、地球科学的に**最大規模の津波の想定**
- ✓ 古文書の調査
- ✓ 堆積物調査
- ✓ 地震の発生メカニズム

◎ **起こりうる災害のイメージ力のUP**
- ✓ 地形に特徴により異なる浸水特性
- ✓ 様々な漂流物の発生と被害の拡大

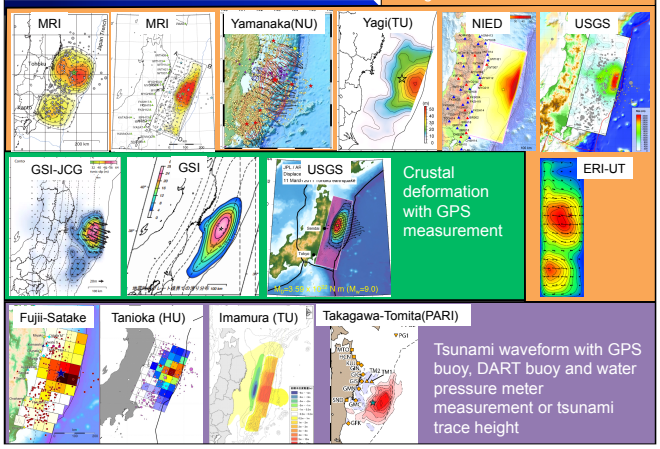
浸水範囲と痕跡
被害想定と今回の津波の浸水高、遡上高の比較



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（第１２回）資料より

断層モデル

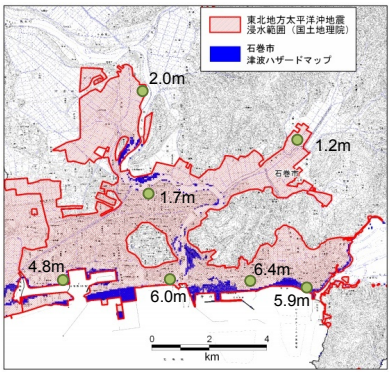
Teleseismic waves and strong seismic wave



Crustal deformation with GPS measurement

Tsunami waveform with GPS buoy, DART buoy and water pressure meter measurement or tsunami trace height

平地における浸水



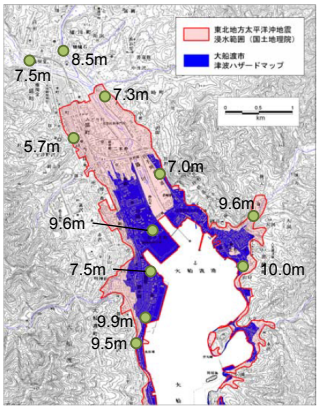
石巻市

浸水：
- 面積556km2の内73km2

死者・行方不明者：
- 3890人(H23年9月26日現在)
- 浸水域人口の3.5%

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」資料に津波高（東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループによる公表値【2012年4月25日版】）を加筆

リアス式海岸における浸水

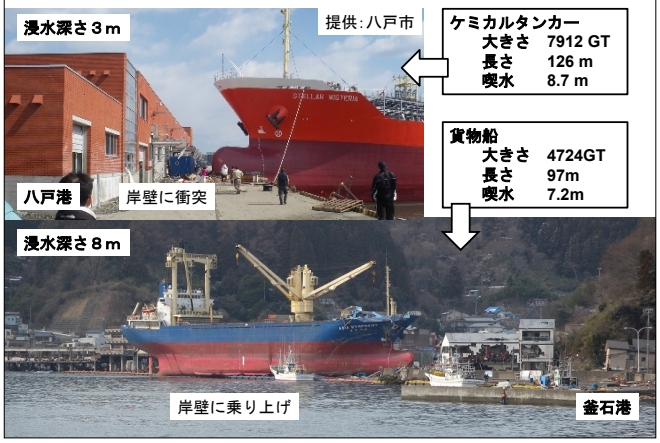


大船渡市

浸水：
•面積323km2の内8km2

死者・行方不明者：
•451人(H23年9月26日現在)
•浸水域人口の2.4%

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」資料に津波高（東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループによる公表値【2012年4月25日版】）を加筆



ケミカルタンカー
大きさ 7912 GT
長さ 126 m
喫水 8.7 m

貨物船
大きさ 4724GT
長さ 97m
喫水 7.2m

仙台塩釜港

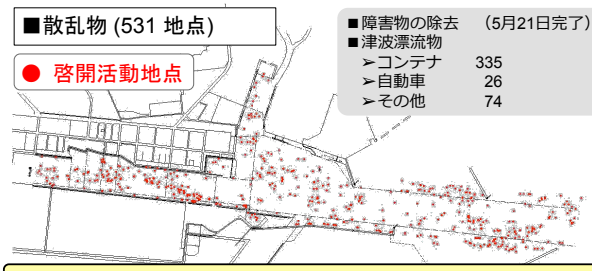
港内水域の障害物

仙台塩釜港（仙台地区）

■散乱物 (531 地点)

● 啓開活動地点

■障害物の除去 （5月21日完了）
■津波漂流物
➢コンテナ 335
➢自動車 26
➢その他 74



5月31日までに、12 公共ふ頭（水深4.5m以上）が供用可能

② 防護構造物の過信と避難の遅れ

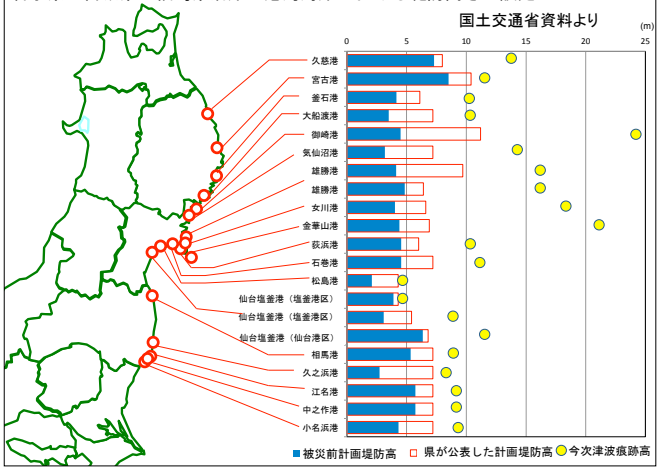
➔ 防護構造物の防護性能には限界がある
ことを市民に理解してもらい、避難を促進

➔ 粘り強い構造
- ✓ 設計津波以上の津波の作用に対して、変形を許容しつつも倒壊しない構造

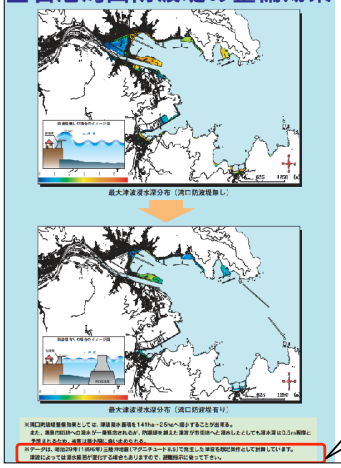
◎ バリエーションの提示
- ✓ 最大規模の津波
- ✓ 発生頻度の高い津波＜中防など＞
  or (到達)頻度の高い津波＜海岸＞

岩手県・宮城県・福島県沿岸の港湾海岸における堤防高さの設定

国土交通省資料より



釜石港湾口防波堤の整備効果



データは、明治29年（1896年）三陸沖地震（マグニチュード8.5）で発生した津波を想定条件として計算しています。
津波によっては浸水範囲が変化する場合もありますので、避難指示に従って下さい。

③広域的な港湾の被災による産業・物流への影響

- 港湾の被災
  - ✓ 臨海部立地企業の被災
  - ✓ 石油、石炭、ガスなどライフライン関連物資輸送機能の停止
  - ✓ 定期航路（コンテナ、RORO、フェリー）の休止または抜港
    - 津波被害を免れた企業や早期復旧した企業が代替輸送に頼らざるを得ない（輸送コスト）

➔ 港湾BCP
- ✓ 産業の復旧に対応した港湾の復旧

◎ 速やかに港湾機能を復旧させる技術

港湾における初動対応

国土交通省

地震発生　3月11日

建設業界との災害協定

八戸港から鹿島港に至る港湾機能が停止

3/13 津波警報・注意報解除

3/14開始

緊急物資輸送のための航路等の啓開

各地方整備局等で対応

港湾の一部復旧及び荷役作業体制の確保

航路等の啓開の継続

利用岸壁の追加

3/15 釜石港 茨城港（常陸那珂港区）
3/16 小名浜港
3/17 宮古港
3/18 鹿島港 仙台塩釜港（仙台港区）
3/19 八戸港、相馬港
3/20 久慈港 茨城港（日立港区）
3/21 仙台塩釜港（塩釜港区）
3/22 大船渡港
3/23 石巻港
3/24 茨城港（大洗港区）

大型浚渫船兼油回収船等による物資提供（白山、清龍丸、海翔丸等）

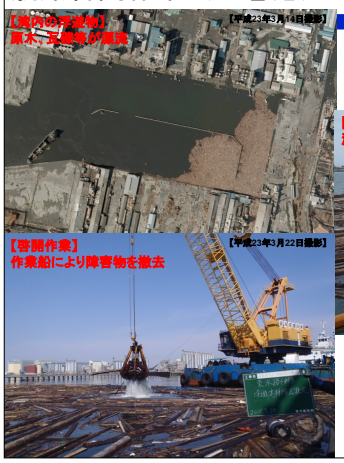
3/16 釜石港に清龍丸入港
3/16 宮古港に白山入港
3/17 仙台塩釜港仙台港区に海翔丸入港
3/23 大船渡港に清龍丸入港
3/24 小名浜港に海翔丸入港
3/25 相馬港に海翔丸入港
3/25 石巻港に白山入港
3/25 大船渡港に広域防災フロート入港
3/26 久慈港に白山入港
3/29 相馬港に広域防災フロート入港

(3/17～) 沖合で確認された漂流船の収容

ＴＥＣ－ＦＯＲＣＥの派遣 は3/12～7/15までで、延べ992人

航路啓開作業（石巻港）

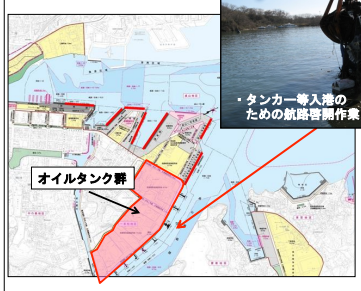
国土交通省



燃料油不足への港湾の役割（仙台塩釜港（塩釜港区 ）

国土交通省

地震・津波により東北・関東地方の太平洋側の製油所及び油槽所が被災し、東日本全体の燃料供給能力が激減。
・3月15日より航路啓開作業を開始し、3月21日には震災後初めて塩釜港区に石油タンカーが入港し、被災地の燃料油不足の解消に大きく貢献。



ガソリン、食料不足深刻

平成23年3月14日
読売新聞17面
(山形県版朝刊)

平成23年3月21日　石油タンカー入港
（写真提供 ：海上保安庁）

平成24年土木学会全国大会研究討論会
「東日本大震災の復旧・復興の現状と課題」
（2012年9月5日，於：名古屋大学）

４０代研究者としての東日本大震災

高橋良和
京都大学防災研究所

1995年兵庫県南部地震

1995年兵庫県南部地震

1995年1月は私にとって大学院修士1回生の冬.
阪神大震災を研究者（の卵）として見た最後の世代

2011年東北地方太平洋沖地震

- 中堅として，様々な責任を持ちながら活躍しなければならない40代での大震災.
- 地震直後の調査の印象
  - 津波による構造物の甚大な被害に対し，地震動による被害はそれほど大きくない.
  - 地震動による被害は，耐震補強されていない構造物に集中している.
  - 地震・津波・原発の複合災害

研究者・技術者の意識も，
この時点で思考停止しているのではないか？

2011年東北地方太平洋沖地震

- 阪神大震災以降進められてきた耐震基準の改訂や耐震補強によって，構造物の耐震性能が向上したことに疑う余地もない.
- しかし．．．
  - 耐震補強されていない構造物
    （＝耐震補強判定の結果，早急に補強の必要がないと判断された構造物）
  - 阪神大震災後の耐震基準において推奨されてきた積層ゴム支承の破断，亀裂

2011年東北地方太平洋沖地震

- 地震直後の調査の印象
  - 津波による構造物の甚大な被害に対し，地震動による被害はそれほど大きくない.
  - 地震動による被害は，耐震補強されていない構造物に集中している.
- 阪神大震災以降進められてきた橋梁における耐震工学の意義が問われている地震

社会から求められている公共構造物の耐震性能とは？

- 東日本大震災において，原子力発電所の被害が発生したことは，日本が誇るべき技術の危機であると感じた．新幹線は我が国の目玉となる技術の一つであり，新幹線が新潟県中越地震時のような脱線・被害が発生したとすると，我が国の技術は信頼されなくなるであろう．
- 一方で，阪神大震災では全線運転再開までに81日，新潟県中越地震では66日かかったのに対し，東日本大震災では49日間で運転再開できたことに対し，評価されている．

社会から求められている公共構造物の耐震性能とは？

- 技術者視点からすると，個人住宅に大きな被害が無いのに公共構造物が大きな被害を受けることは，その特性を踏まえて説明，理解することはできる．
- 社会から求められている性能は，「一般住宅が壊れたとしても，公共構造物は壊れない」というものではないのか？どのような議論がなされてきたのか？

現在の耐震工学においてパラダイムシフトとなりうる概念は何か？

- 圧倒的に不確定性の高い外的作用に対する構造屋からの戦略

鈍構造

想定外の地震が来ても損傷しない

想定外の地震が来て損傷しても気づかない（大きな影響がない）

想定外の地震が来ても反応しない

想定外の地震が来たら敏感に反応し，鈍感に振る舞う

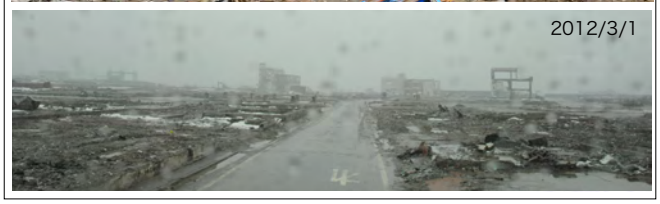
2008年，小国（慶応大），本田（東大），秋山（東北大），庄司（筑波大），白旗（東工大），高橋（京大）による討議の結果

地震後より提案されてきた復興計画

- 宮城県が東日本大震災で被災した沿岸１４市町に提案した街づくり復興案
  - 堤防の役割を果たす盛土した道路や、高層の避難ビルを設ける。
  - 水田や漁港、工場のある海岸部と住宅部とを景観を損なわないように道路や防災公園で分ける「未来想定図」となっている。
- 「復興構想会議」の復興への提言
  - 大災害の発生を前提に被害の最小化を図る「減災」の理念を打ち出している．

スマトラ島沖地震後の一年

東日本大震災後の一年



地震後，自分で復興計画を提案できるか考えてみた

- 残念ながら，全体に影響を与える発信ができなかった．
  - 部分に対する発信はできるが，それではCivil Engineerとしての特質を生かせていない．
  - （土木工学という狭い領域内でさえ）専門性が深くなりすぎた弊害．
  - 今回の大震災には打ち出せなかった全体構想を議論するための場が必須である．専門性にとらわれない枠組みでの本音の議論ができる場．

土木工学内の連携の模索

- 2011年4月18日より，京大関係の同年代の研究者を集め，「いま土木に何ができるのか？を考える会」をつくり，議論を重ねている．（構造系1名，計画系5名，水系2名）　→思いを述べるに留まり，迷走…
- 現在の議論の中心は，土木の現状を整理し，これをスタートラインとした「これからの土木について」発信すること．

学術全体の連携の模索

- 日本学術会議において，若手アカデミー委員会が発足．メンバーは理系・文系の40代前後の科学者．
- 地震直後より，連絡を取り合って，それぞれの立場を背景とした議論を重ね，シンポジウムを企画．
- 原子核物理・防災・医学・数理科学・科学コミュニケーション・心理学・哲学の研究者が登壇．

公開シンポジウム

若手研究者の考える、震災後の未来
――学術に何ができるのか――

3月11日の東日本大震災を対で，若手研究者達各々の立場から現場で思ったこと，
いかに思考したのか，学術に関係する者は何をなすべきか，
これからの日本の再興や豊かに向けて，学術に従いかなる力量ができるのか，
各分野の第一線で活躍する若手研究者が，広場の日本の城学を
真摯に入れながら，学術の未来を展開に討論する．

2011年6月26日（日）13:00-18:00
日本学術会議 講堂
（東京都港区六本木7-22-34　東京メトロ千代田線「乃木坂」駅5番出口）

13:00 開会挨拶
　梅谷 献一（日本女子大学理学部数学科・教授）
セッション1：若手研，私たちはどう行動したか
13:10-13:40「東北での被災・復ノ復物の研究者の立場」
　関口 正子（日本女子大学理学部物理学・教授）
13:40-14:10「東日本大震災現地調査有識者会議関ビ学」
　高橋 治郎（日本女子大学理学部物理・教授）
14:10-14:40「原子炉学（仮）」
　梅田 孟子（日本女子大学理学部物理学・教授）
　　（日本女子大学理学部物理学・教授）
セッション2：学術知識をどのように社会と共有するか
14:40-15:10「若手研の科学知の情報発信」
　横山 紀美（日本女子大学理学部物理学・教授）
15:10-15:40「避難」を「回風」，一東日本大震災における
「津波被害」と「心理現象」，に関する社会心理学的分析」
　関谷 直也（東京女子大学文学部・教授）
15:40-15:50 休憩
セッション3：未来への希望となる学術
15:50-16:20「若手から3ヶ月半
　　東北大学のこれまでを今後」
　住井 英二郎（東北大学大学院理学研究科・教授）
16:20-16:50「カタストロフィ（破滅学）」
　西山 敏之（日本女子大学理学部・教授）
16:50-17:50 パネルディスカッション
18:00 閉会挨拶
　司会：中村 征樹（大阪大学大学院文学研究科・教授）

主催：日本学術会議若手アカデミー委員会 若手アカデミー活動検討分科会
参加費無料，事前の参加申込不要（先着300名程まで）プログラム内一部は調整中です
【問い合わせ先】日本学術会議事務局運営一担当・山口　tel 03-3403-6286（平日）fax 03-3403-6440（海老，上原宛）

学術会議シンポジウム時の資料の一部

東日本大震災以降の防災工学

- 「防災」という言葉が，
  - わたしたちの免罪符になっていないか？
  - 社会に対する暴力になっていないか？
- 1000年に一度，ただ明日発生するかもしれない災害に対し，「構造物が倒壊する」ことが，公共構造物の性能のひとつとして許容されうるか？

日本人の精神性　もののあわれ

永続よりうつろい　自然は征服するものではなく共存するもの

我が国で大震災と呼ばれる2度の地震を耐震工学者として経験して

- 個々の専門知識の深化は当然として，それを横につなぐ仕組み作り．単なる協働ではなく，根底となる理念を共有した上での連携が不可欠．
- 本当に国民が求める公共構造物のあり方について，再度議論を進めたい．