

# 地質調査

'12 第4号  
(通巻134号)

編集／一般社団法人全国地質調査業協会連合会

## 巻頭言 今後の大規模地震対策の方向性

関西大学社会安全研究センター長・教授 河田惠昭

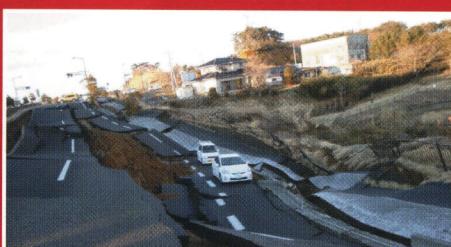
被災の状況



国道45号 宮城県石巻市鹿又



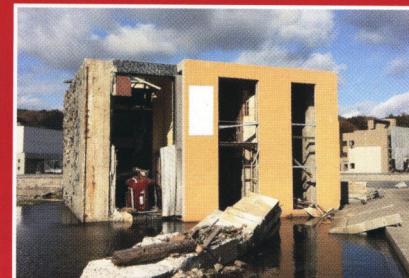
国道6号 福島県双葉郡富岡町



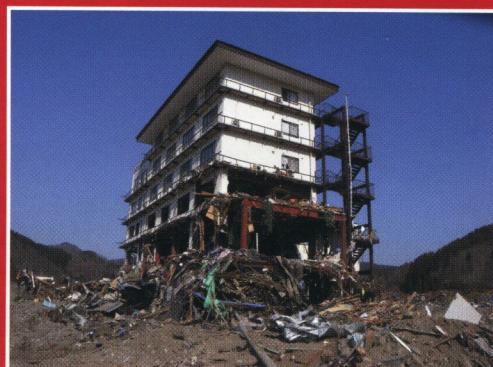
国道6号 福島県広野町



金具のはずれによる天井の脱落



RC造建物の転倒被災事例



鉄骨造建物の津波被害の例

## 小特集 東日本大震災・その2

地震予知・発生予測とハザード予測 平田 直

東日本大震災を踏まえた河川堤防の耐震性向上の考え方 佐々木哲也

道路構造物における大規模地震への備えと設計の考え方 宮武裕昭

港湾、海岸保全施設における大規模地震・津波への備えと設計の考え方 菅野高弘

鉄道構造物の耐震設計基準の改訂とその考え方 室野剛隆

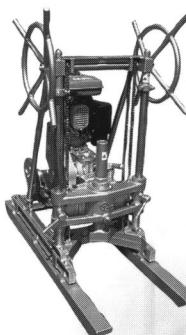
建築構造物における大規模地震への備えと対策の方向性 佐藤俊明

教養読本…時刻歴応答解析に必要な設計用入力地震動(模擬地震波)の作成について 佐々木誠二  
やさしい知識(1)…静岡県における被害予測と防災への取り組み

—減災社会の構築に向けた静岡県の取組みと課題— 岩田孝仁

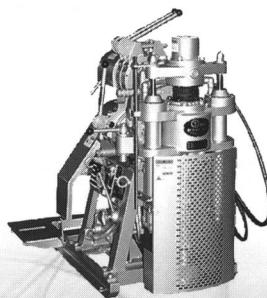
やさしい知識(2)…高知県における被害予測と防災への取組み 北川 尚

YHP-1

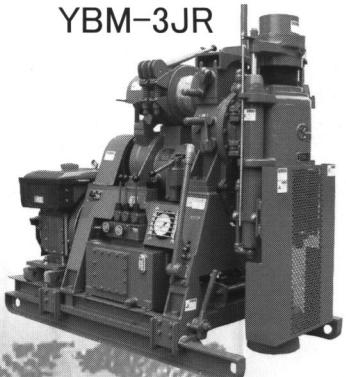


(ニッケル鉱調査 フィリピン)

YBM-05DA-2



YBM-3JR

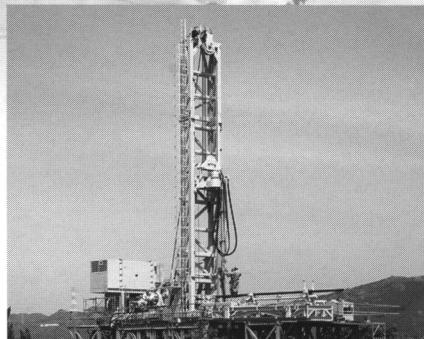


## 資源探査、環境調査、土木建設の基礎調査 世界で活躍するYBMのボーリングマシンとツールス

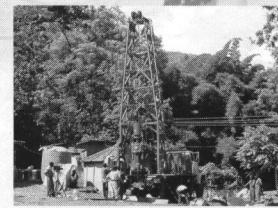
大口径ボーリングマシンから、超軽量ボーリングマシンまで、  
幅広いニーズを満たす製品を取り揃えております。



ワイヤーライン工法用削孔機  
TYW-50



地熱開発用コンパクトリグ  
HC-2000R



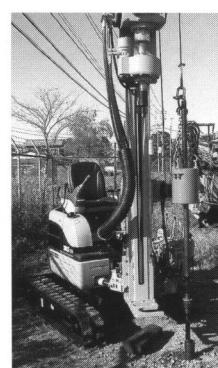
（鉱物資源調査  
マラウイ）  
トラックマウントドリリングリグ  
YSD-500BV



ワイヤーライン  
工法調査機

YWL-200

スピンドル回転数  
2速切換の為、  
低速回転での口元  
ケーシング掘削も  
可能。



標準貫入試験作業風景



バイブロドリル  
ECO-1VIII

土壤・地下水汚染調査 など

バイブロ機能を活  
かして回転せずに  
土中に貫入可能。



ポータブル  
表層土壤調査機  
ハンディECO  
表層土壤汚染調査 など

**ybm**

株式会社

ワイビーエム

本 社／〒847-0031 佐賀県唐津市原1534 TEL (0955) 77-1121

<http://www.ybm.jp/>

東京支社 〒104-0032 東京都中央区八丁堀3丁目22-11八重洲第三長岡ビル2F TEL (03) 6280-4789  
東京支店 〒342-0005 埼玉県吉川市川藤3062 TEL (048) 982-7558  
大阪支店 〒578-0964 大阪府東大阪市新庄西5-4 TEL (06) 4309-2921

東北営業所 〒981-3133 宮城県仙台市泉区泉中央3丁目27-3日泉ビル202号室 TEL (022) 343-1210  
名古屋営業所 〒468-0043 愛知県名古屋市天白区菅田1丁目1208 TEL (052) 804-4841  
広島営業所 〒732-0802 広島県広島市南区大州1丁目1-25第一ふじビル1F TEL (082) 285-3824  
インドネシア事務所 Room No. 343 3F, PPHUI, JL. HR. Rasuna Said Kav. C-22 Jakarta Selatan 12940 TEL (+62) 21-52921131

卷頭言	今後の大規模地震対策の方向性	関西大学社会安全研究センター長・教授 河田 恵昭	1
小特集	東日本大震災・その2		
	地震予知・発生予測とハザード予測	平田 直	3
	東日本大震災を踏まえた河川堤防の耐震性向上の考え方	佐々木 哲也	11
	道路構造物における大規模地震への備えと設計の考え方	宮武 裕昭	18
	港湾、海岸保全施設における大規模地震・津波への備えと設計の考え方	菅野 高弘	23
	鉄道構造物の耐震設計基準の改訂とその考え方	室野 剛隆	28
	建築構造物における大規模地震への備えと対策の方向性	佐藤 俊明	34
教養読本	時刻歴応答解析に必要な設計用入力地震動 (模擬地震波)の作成について	佐々木 誠二	40
やさしい知識 (1)	静岡県における被害予測と防災への取り組み —減災社会の構築に向けた静岡県の取組みと課題—	岩田 孝仁	46
やさしい知識 (2)	高知県における被害予測と防災への取組み	北川 尚	50
(地質関連研究所・部門)紹介コーナー	活断層・地震研究センター	岡村 行信	54
私の経験した現場	土壤・地下水汚染が顕在化したサイトの調査事例	西川 隆夫	59
大地の恵み	明治の札幌建築を彩った札幌軟石 <札幌軟石は支笏火山の贈りもの>	若松 幹男	63
各地の残すべき地形・地質	JR 陸羽東線沿線	向山 栄	65
各地の博物館巡り	鳥取県立博物館	舞立 剛志	67
会 告	全地連「技術フォーラム 2012」について		69
	地質情報管理士登録更新について		73
	「道路防災点検技術講習会」の開催		73
	地質リスク学会主催「第3回地質リスクマネジメント 事例研究発表会」の資料公開について		73
	平成24年度上半期の事業量 400億円		74

**小特集テーマ 産業副産物における地盤材料へのリサイクルと現状**

産業副産物におけるリサイクルの現状について

産業副産物のリサイクルの有効利用

産業副産物におけるリサイクル材の種類

①建設発生土・泥土

②石炭灰

③スラグ

④コンクリート塊（バラスト他）

⑤自然由来の汚染掘削土（重金属系など）

**関連トピック 災害廃棄物処理の現状と課題について**

**教養読本 最終処分場の現状と課題**

**やさしい知識 放射能汚染地域における地質調査手法**

〈地質関連研究所・部門〉紹介コーナー

私の経験した現場

大地の恵み

各地の残すべき地形・地質

各地の博物館巡り

# 今後の大規模地震対策の方向性

## 【Key Word】

南海トラフ巨大地震、住宅の耐震化、津波避難、最悪の被災シナリオ、強くてしなやかな社会

関西大学社会安全研究センター長・教授 河田 晃昭

東日本大震災では、なぜ地震と津波が大きくなつたのかを整理しておこう。まず、地震が大きくなつたのは、三陸沖から茨城沖まで約400kmにわたって、地震マグニチュード9.0のプレート境界地震が起つたからである。そこでは、上盤の北米プレートの下に太平洋プレートが年間10cmの速度で潜り込んでおり、上盤が跳ねて逆断層型の地震が起つた。三陸沖の水深1,500mの海底に設置してあつた波高計は、約1.8mの津波を観測している。その直後に海溝軸に沿つて津波地震が発生した。海底の大量の土砂が日本海溝に向かって動いたのである、水平方向に最大57m、鉛直方向に10m移動したことがわかつてゐる。これで約3mの津波が発生した。そして、この津波の伝播速度は、前者の浅い海域で発生した津波の伝播速度よりも早いために追いつき、2つの津波が合体し、高さが約4.8mの津波となって浅海域を伝播し、波高を増大させながら沿岸各地を襲つたのである。

地震マグニチュードが9.0であったにもかかわらず、地震による直接の犠牲者が125人にとどまつたのは、地震波の伝播する地層が柔らかく、したがつて地震のエネルギースペクトルの形状がほぼフラット、すなわち際立つた卓越周期が発生しなかつたことが原因である。地震の揺れが原因と考えられる家屋の倒壊や全壊が、驚くほど少なかつたのはこの理由による。やや長周期の地震波だけが、あまり距離減衰せずに伝播して、内陸の東北自動車道や国道4号線沿いの地域で大型装置型の製造拠点が被災し、浦安などでは液状化被害が発生した。

このような「想定外」のメカニズムによって巨大地震と津波が発生したのである。そして、同じようなメカニズムで地震マグニチュード9.0の南海トラフ巨大地震が起つて得ることが明らかとな

つた。発生する津波の高さは東日本大震災と同程度であるが、地震の揺れは東日本大震災に比べて、被災地全域で激しくなることがわかっている。なぜなら、中部地方から以西の地域では地層が固く、エネルギーが卓越する地震波の周期が複数個、出現するためである。被害想定によつて、地震の揺れによる全壊建物棟数が62万7千棟に達するのはこの理由による。この対策の方向性は、住宅の耐震補強しか考えられない。事実、政府は現在の79%の耐震化率が90%になれば、全壊建物棟数は4割減、95%になれば6割減になると試算している。問題は、古い住宅の建て替えによつて耐震化率が増加することであり、古い住宅は相変わらず危険な状態が続いていることである。

住宅の耐震化が進まない最大の原因是、住宅の耐震化を家屋全体に施工し、経費が高くなることである。しかも、耐震化工事をやっても不動産価格が上がらないことも問題であろう。前者は、公的な耐震補強工事費補助が当初から住宅一棟を丸ごと耐震化することを対象としたためである。これを変更すれば、そもそもこの工事仕様に問題があつたことになり、それは国土交通省の住宅官僚の論理から不可能なのである。しかも、官僚だけの問題ではなく建築士の多くもそれを当然と考えたことである。これでは住宅の耐震化が進まないのは当たり前である。

そもそも住宅の耐震化の目的は、地震によつて住民が犠牲にならないことである。それがいつの間にか、地震で住宅が全壊しないことが目的となつてしまつた。極端には、住宅が全壊しても死ななければよいのである。そうであれば、よく使う部屋から、一部屋ごとに時間をかけて耐震化を進めていけばよいのであって、そうであれば年金生活している高齢者でも可能であろう。すでに著者らは「壁柱工法」を開発し、特許も取得している

が、前述した官の論理が壁となって普及が阻害されているのである。大阪市西成区は、老朽木造密集市街地の全国ワースト1である。そこでは、棟割り長屋がここかしこに存在しているが、この耐震化は現状ではほぼ不可能となっている。命を落とさない耐震化を進めるためにはどのようにすればよいのか、という制度設計が十分議論されていないのである。

つぎに、津波である。前述したことからわかるように、単なるプレート境界地震であれば、「防災」は可能である。しかし、これと津波地震が同時に起これば、津波は巨大となり、「減災」を採用せざるをえない。しかし、現状では前者のいわゆるレベル1の津波対策も完全とは言い難い。粘り強い海岸護岸や津波防波堤への改良など緒についたばかりである。いきなり、20mを超えるような津波対策が実施できるわけがないのである。しかも、次にやって来る津波が必ず巨大とは限らないのである。それを巨大であると考えれば、避難しても無駄であるとなってしまう。本当にそうであろうか。

南海トラフ巨大地震では、最大22万4千人が津波で死亡すると想定されている。しかし、現行でも、地震後5分で避難を開始し、津波避難ビルに避難すれば、犠牲者は7割減の5万2千人になり、7割減ると考えられている。問題は、5分以内に10mを超える津波が来襲すると想定される場合である。この場合は、その地域への新規の居住は禁止し、高台への移転くらいしか方法は残されていないのであろうか。

そこで、まず「想定外」ということを改めて考えてみよう。東日本大震災では2つの想定外があった。一つは外力である地震と津波が想定外の大ささであったことである。ほかの一つは被害も想定外となったことである。そして前者の想定外

は、それが起こるかどうかが問題であって、私たちの防災・減災の努力とは無関係である。ところが、被害の想定外は、私たちの努力次第では変わるのである。すなわち、想定外としないことが可能なのである。筆者はそれと「最悪の被災シナリオ」を結び付けて、後者が起こらないような努力こそが必要であると主張してきた。なぜなら、想定外がいつも起こるとは限らず、大抵の場合は想定内の災害であり、何度かに一度は最悪の被災シナリオが起こるのである。

これまでの防災や減災対策では、被害が発生しない、拡大しない努力を継続してきた。しかし、災害が起こったときにその対策が有効であるかどうかは起こってみなければわからないところがある。しかも、やればやるほどそれが有効であるかのような錯覚や思い込みにつながる。これを確証バイアスと呼んでいる。東日本大震災が起こったとき、ほとんどすべての防災関係者は宮城県沖地震が起こったと思い込んでしまったことはその例である。最悪の被災シナリオとは、記録に残る明治三陸津波を凌駕するような津波が来襲するとして、被害最小化の対策、すなわち減災対策を講ずるのである。それは完全ではないかも知れない。しかし、最悪の事態が不意打ちに来ることだけは避けられるのである。最悪としない努力は“強くてしなやかな”社会（Resilient Society）づくりにつながるのである。

従来より、大災害の発生は、ある意味で、社会変革のチャンスでもあると指摘してきた。しかし、人的、経済被害が未曾有になることを前提としたような考え方は、到底、私たちの社会に受け入れられるわけではない。むしろ、最悪の被災シナリオの出現を阻止するような対策やまちづくりを先行させることが、想定外の被害を発生させないことにつながることを強調したい。

# 地震予知・発生予測とハザード予測

## 【Key Word】

地震予知、長期予測、前兆すべり、ゆっくり滑り、GR則のb-値

平田 なおし  
ひら た なおし  
直\*

## 1. はじめに

2011年3月11日に東北地方の太平洋岸で発生した地震はマグニチュード(M)9.0の我が国最大の地震であった。この地震では、強い揺れの他、高い津波が発生し、約2万人の死者・不明者がもたらされた。大災害発生の一因に、適切な地震発生予測が行われなかつたことが挙げられている。このため、国はこれまでより大きく安全側に舵をとり、その後の大震災の想定に際して大きな想定をしている。小論では、こうした想定の背景と今後の地震災害予測の方向について考察する。

## 2. 地震と震災

昨年発生した地震は気象庁によって2011年東北地方太平洋沖地震と命名された。発生した震災は東日本大震災である。日本のメディアでは、地震の名称と災害の名称が混同されることがしばしばある。震災の予防や軽減という観点からはこの二つは厳密に区別されるべきであるが、大手の新聞でも混同しているのは残念である。

### 日本の地震災害

我が国では大きな地震災害（震災）がこれまで度々発生してきた。東日本大震災は戦後最大規模であった1995年阪神淡路大震災を上回る大災害となった。こうした大震災は希にしか発生しないと思われがちであるが、実際にはしばしば発生している。

1000人以上の犠牲者・不明者を出した震災は、明治時代以降120年間には12回発生している（表1）。つまり、10年に1回の頻度で発生しているので、決して低頻度の現象ではない。しかし、近年の50年に限れば、阪神淡路大震災（1995年）と東日本大震災（2011年）の2回だけである。第2次

世界大戦直後の南海地震（1946年）、その2年後の福井地震（1948年）の後27年間、大震災が発生しなかつた。これは、この間被害を発生させるような大きな地震が都市の側で発生しなかつただけの偶然であるが、そのおかげで、戦後の復興期と高度経済成長期に、震災に対応する必要がなかつた。日本にとって幸いなことではあったが、一種の油断が発生した可能性もある。

### 災害と災害誘因（ハザード）

自然災害による被害、つまり死者数あるいは経済損失の大小は、(1) 自然現象としての地震による揺れの強さや津波の高さと、(2) その影響を受ける人口や建物数、(3) 揺れなどに対する耐震性、(4) 社会の回復力などの総合的な要因に依存している。この内、自然現象としての(1)を災害誘因と言い、英語ではハザード（hazard）と表される。それに対して、(2)から(4)は社会そのものの性質を表し、災害素因と言われる。自然災害は、災害誘因（ハザード）としての自然現象と、それによって引き起こされた社会・経済現象である。このことから、2011年東北地方太平洋沖地震（ハザード）によって、東日本大震災が引き起こされたと表記するのである。

### ハザードの予測と対策

自然現象としての地震を制御することは現在も近い将来もできない。しかし、社会が適切な備えをすれば自然災害としての震災を防ぐ、あるいは減じることができる。つまり、ハザードに影響をうける人口（暴露人口）を減らし、建物を耐震化し、社会の回復力（レジリアンシー）を増大させることによって、震災による被害を少なくすることができます。その為には、まず、地震が発生した時に自然現象として何が起きるかを予め予測することが重要である。

\* 東京大学地震研究所 教授

表1 明治以降、我が国で1000人以上の死者・行方不明者を出した地震・津波

	発生年月日	M (*1)	地震名(震災名)	死者 行方不明者 (*2)	津波	最大震度 (*3)	最大震度を観測した 観測点(地方)
1	明治24(1891)年10月28日	8	濃尾地震	死者 7,273	—	(6)	岐阜、愛知、滋賀、三重県の一部
2	明治29(1896)年6月15日	8.2	明治三陸地震	死者 21,959	○ (2~3)	岩手県を中心とした北海道、東北地方	
3	大正12(1923)年9月1日	7.9	関東地震 (関東大震災)	死・不明 10万5千余	○ (6)	東京都 東京など6点	
4	昭和2(1927)年3月7日	7.3	北丹後地震	死者 2,925	○ 6	京都府 宮津測候所など2点	
5	昭和8(1933)年3月3日	8.1	昭和三陸地震	死・不明 3,064	○ 5	岩手県 宮古市鍬ヶ崎など6点	
6	昭和18(1943)年9月10日	7.2	鳥取地震	死者 1,083	— 6	鳥取県 鳥取市吉方	
7	昭和19(1944)年12月7日	7.9	東南海地震	死・不明 1,223	○ 6	三重県 津市島崎町など2点	
8	昭和20(1945)年1月13日	6.8	三河地震	死者 2,306	○ 5	三重県 津市島崎町	
9	昭和21(1946)年12月21日	8	南海地震	死者 1,330	○ 5	和歌山県 串本町潮岬など17点	
10	昭和23(1948)年6月28日	7.1	福井地震	死者 3,769	— 6	福井県 福井市豊島	
11	平成7(1995)年1月17日	7.3	兵庫県南部地震 (阪神・淡路大震災)	死者 6,434 不明 3	○ 7	神戸市等阪神淡路地域	
12	平成23(2011)年3月11日	9.0	東北地方太平洋沖地震 (東日本大震災)	死者 16,278, 不明 2,994【平成24年3月13日現在】	○ 7	宮城県 栗原市	

\*1 地震の規模(マグニチュード)

\*2 被害数は理科年表、総務省消防庁の資料による。上段は死者数、下段は行方不明者数を示す。死者・行方不明者の合計数を記載する場合は「死・不明」としている。

\*3 1925年以前の地震の震度については気象庁の震度データベースには収録されていない。

これらの地震の最大震度については、地震報告・地震年報・気象要覧(中央気象台)によるものを括弧付きで掲載した。

なおこの期間の震度は、微・弱・強・烈の階級で記載してあるので、これに対応する震度を、1~6におきかえて表現してある。

出展:(気象庁ホームページによる)<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/higai/higai-1995.html>  
東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)は、日本付近で発生した主な被害地震(平成8年~平成24年3月)(気象庁)による

例えば、地震が発生して強い揺れが生じる場合、どの程度の揺れの強さであるかが予め分かり、それに耐えられる建物を作ることができれば、地震による建物倒壊被害をなくすことができる。ここで、揺れの強さがハザードである。耐震化する建物の優先順位を考える為には、地震ハザードの発生頻度を知る必要がある。日本の中で、どこが、どの程度の強い揺れに見舞われ、その頻度がどの程度であるか、例えば、10年に一度の事象なのか、100年に1度、1000年に一度であるかが分かれば、それに備える対策が検討できる。

もし、強い揺れがある地域を襲う時期が特定できれば、その間人々が避難したり、列車の運行を制限したりすることで、人的な被害を減らすことができる。例えば、東海地震が発生した際、不意に地震が発生したときと、予知できて対応をとれたときでは、死者の数は後者では前者の四分の一になるという試算もある<sup>1)</sup>。

### 3. 地震予知と発生予測

地震の予知とは、地震の3要素、つまり時期、規模、場所を予め予測することであると考えられている。時期の予測を何月何日という狭い時間幅

で指定することが、地震予知である。一方、今後30年以内に発生する確率が○○%であるという場合は、地震発生の長期予測と言われている。この説明は、現在の地震発生予測の現状に即しているが、地震防災という観点から考え直す必要がある。

筆者は、現在考えられている地震予知と、長期予測の考え方の中間的な方法が必要であると思っている。直前の予知から長期的な予測までの時間的な幅を連続的に変化させる情報とすべきである。類似の例は、天気予報のような、短期的・長期的な現象の確率予測である。地震発生については、数日の内に確率が大きく変化する余震や群発地震の予測と、数百年から数十年にわたって確率がゆっくりと変化する場合などがあり、ハザード予測という観点からは、情報の使い方に今後の研究が必要である。

### 伊豆東部の地震活動予測

現在気象庁が行っている地震の予知・予測は、想定東海地震の予知と、伊豆東部火山群の地震活動予測の二つある。まず、伊豆東部火山群の予測について紹介する。この情報は、気象庁が2011年3月31日から正式に公表することとしている。

る<sup>2)</sup>。情報のポイントは、

1) 地震活動に先行する地殻変動を検出し、地下のマグマの動きと量を推定し、

2) 地震活動が始まり活発化する前に、

①マグニチュード1以上の地震回数、

②最大地震の規模と震度、

③震度1以上の地震回数、

④活発な活動期間

を予測することである。

この情報は、「地震活動の予測」と呼ばれているが、地震の発生時期、規模、場所を予め予測しているので、所謂地震予知とほぼ同じである。この例では、伊豆東部火山群での地震発生の仕組みが理解されていて、予測に必要なデータがリアルタイムで監視可能になったから実現したものである。ただし、この情報についても、「過去の地震活動から抽出した特徴を基にとりまとめたものであり、過去の活動と同様の形式で発生する地震活動を予測する手法である。そのため、過去の活動とは異なる形で地震活動が発生した場合は、本手法による予測の適用外となることに留意する必要がある。」と報告書で述べられている<sup>3)</sup>。

### 東海地震の予知

東海地震については、大地震の前に発生する「前兆滑り」を検出することで予知できると考えられている。これは、東海地震の発生に至る過程は、次のように考えられているからである。通常は、フィリピン海プレートの沈み込みにより、陸側のプレートが引きずられ、地下ではひずみが蓄積する。東海地震の前には、この固着していた領域の一部でゆっくりとした「前兆滑り(プレスリップ)」

が始まる。ゆっくりとした滑りが急激な滑りに進展して、東海地震が発生する(図1)。この考えは、実験室の観察によって得られた結果を物理モデル化して数理モデルにまとめられた理論<sup>5)</sup>に基づいている。

しかし、前兆滑りが検出されて、必ず予知できるのだろうか? 気象庁のホームページには、以下のように書いてある。

「残念ながら、その答えは「いいえ」です。前兆すべりが急激に進んでその始まりから地震発生までの時間が短い場合や、前兆すべりの規模が小さかったり、陸域から離れた場所で起こったりして、それによる岩盤のひずみが現在の技術では捉えられないほど小さかった場合などには、東海地震に関連する情報を発表できずに地震の発生に至ることがあります。では、どのくらいの確率で前兆現象を捉えることができるのでしょうか? これも残念ながら「不明」です。」<sup>6)</sup>

つまり、前兆滑りは実験室では再現されて理論モデルができているが、実際の東海地震で観測されたことがないので、実際に理論的な予測のとおりのことが起きるかは不明である。このため、例えば静岡県では、東海地震に関連する情報が発表されたとき、警戒宣言が発せられたとき、突然大きな地震が発生したとき、それについてとるべき行動を周知している<sup>7)</sup>。

もし、予知情報に基づく警戒宣言が発令されてから発災した場合、事前の避難・警戒行動により、東海地震による犠牲者の数は、被害が最大ケースの場合、約9,200人から約2,300人に減少するとされている<sup>1)</sup>。つまり、予知できれば死者数は四分の一にすることができる。

さらに、経済被害は予知情報が出すに

突発的に発災した場合には約26兆円であるが、予知情報に基づいて警戒宣言が出た場合には約22兆円となる。一方、警戒宣言に伴い避難警戒体制に移行すると、震源域周辺で産業活動や東西幹線交通が停止し日本全国へ影響が波及し、1日あたり0.2兆円の影響が出る。警戒宣言による経済的被害の軽減効果(約4兆円)は、避難警戒体制による影響(1日0.2兆円)と比べても大きな効果がある<sup>1)</sup>。しかし、もちろん、警戒宣言が出て数日経っても地震が発生しなければ、1日0.2兆円の損失が続けるのを覚悟するか、警戒宣言を解除して突発的な発災のリスクを覚悟するかの厳しい決断を

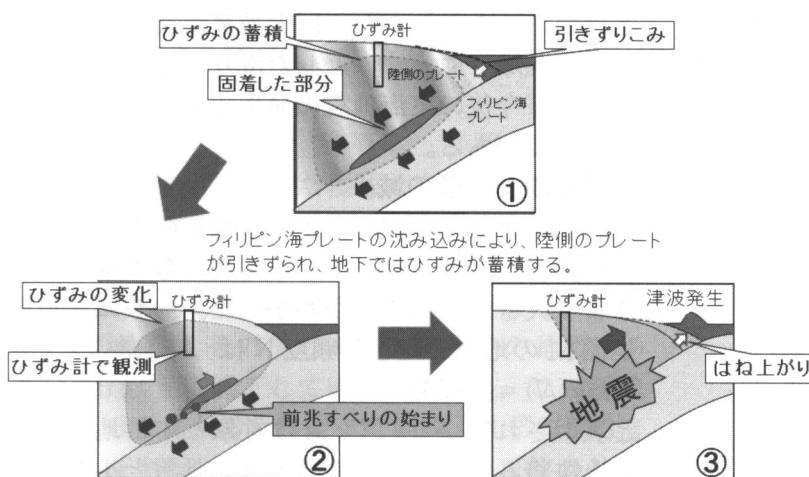


図1 東海地震発生の仕組みと前兆すべり

(出展:気象庁ホームページ「前兆すべり(プレスリップ)」とは)  
[http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/tokai/tokai\\_eq4.html#4\\_c](http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/tokai/tokai_eq4.html#4_c)

迫られる。警戒宣言が1ヶ月続ければ、被害の軽減効果を上回る影響が出る。

東海地震に対する備えは以上のように、法律に基づいて厳密に規定され、最終的には行政的・政治的な判断にゆだねられている。しかし、実際の運用では、予知に失敗することを覚悟しなければなるまい。現在の気象庁の監視能力では、フィリピン海プレートで前兆滑りのようなゆっくりとした滑りが発生すれば、その規模がマグニチュード6程度であればリアルタイムで検出することができる。震源域の深部延長上のプレート境界では、年に数回は地震にならないゆっくりとして滑りが発生して、これは気象庁によってリアルタイムでモニターされている<sup>8)</sup>。もし、実験室で起きているとおりに前兆滑りが発生すれば、見逃しなく捕捉することができる。しかし、前兆滑りの規模が小さかったり、前兆滑りの発生から東海地震の発生までの時間が数時間であったりすれば、警戒宣言の発令が間に合わないこともある。近年の研究では、そのような可能性のあることがわかっている。ただし、検出可能な規模の前兆滑りが発生して東海地震にいたる可能性もあることを忘れてはならない。

### 東北地方太平洋沖地震の発生予測可能性

東北地方太平洋沖地震の前に、この地震の発生を予測することの出来る現象は起きていたのであ

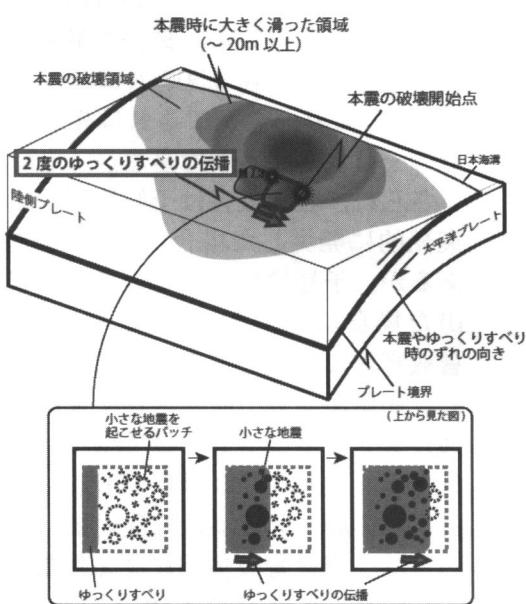


図2 2011年東北地方太平洋沖地震前のおよそ1ヶ月間に発生したゆっくり滑り。本震の破壊開始点へ向かうゆっくりすべりの伝播が、ほぼ同じ領域で2度にわたって起きていた。これらのゆっくりすべりの伝播が引き起こす力の集中により、本震発生が促進された可能性が考えられる。

ろうか。残念ながら、地震発生の前に明確にM9.0の地震を予想できるデータは得られていなかった。しかし、「今から思えば」地震発生の前に起きていた特別な現象が幾つかあった。

### 本震に向かっていったゆっくり滑り

その一つは、3月9日に発生したM7.3の地震とその後の地震活動である(図2)。これらは3月11日のM9.0の地震の前震活動である。ただし、M7.3の地震が前震であると判断できたのは、M9.0の地震が起きたからであり、事前の予測という観点からはこの地震活動を用いることは出来なかつた。前震と考えられるのは、この地震活動の空間的な広がりがM9.0の震源断層の広がりに比べて狭かつたことによる。さらに、前震活動は、2月半ばから始まっていた。気象庁によって決定された前震より小さな前震を、地震波形記録から直接検出して調べると、M9.0の地震の前に、震源域近傍の前震活動は、北から南に移動していることが分かった。さらに、ほぼ同じ場所で発生する小繰り返し地震と呼ばれる地震の解析によって、3月11日のM9.0の地震の前に2回震源近傍でゆっくりした滑りが発生していたことが分かった。1回目の滑りも、2回目の滑りもM9.0の震源(破壊開始点)に向かって滑りが発生して本震に至った<sup>9)</sup>。この研究は、本震が起きた後に地震前のデータを解析して得られた結果であるが、もし、リアルタイムで結果が得られ、東海地震の予知のシナリオをそのまま適用したとしても、M9.0の地震発生を予測することは難しかつた。東北地方太平洋沖で発生したゆっくり滑りは、東海地震の予知で期待されている前兆滑りと似ている点はあるが、M9.0の本震発生の直前に滑りが加速することはなかつた。しかし、巨大地震が突然発生せずに、震源域でゆっくりとした滑りが発生したという点は、今後の東海地震の発生予測の判断にも生かす必要がある。

### 長期的なb値の減少

東北地方太平洋沖で発生する地震の大きさと頻度の関係を調べると、大きな地震の数の割合が通常より大きかつたことがわかつた。一般に、地震規模Mの地震の起きる頻度Nは

$$\log(N) = a - bM$$

と表わされる。ここで、aは対象とする地震の総量を決める定数、bはMの大きい地震と小さい地震の割合を決める定数である。bが小さく大きい地震の数が、小さい地震の数に対して相対的に多くなる。この法則をG-R則という。3月9日のM7.3とその後の地震のb値は顕著に小さかつ

値が減少し、最近起きた最大の地震である 2003 年十勝沖地震 (M8.0) のあとでも、 $b$  値は下がったままである事が分かった。この地域の歪みエネルギーが解放されていない可能性を示している。

#### 4. 巨大地震後の地震・火山活動の予測 地震後の地殻変動

2011 年東北地方太平洋沖地震の発生後 1 年半以上たった今でも、東北日本は地震後の地殻変動が続いている。2011 年 3 月 11 日以前は、東北地方は東西に毎年 1~2 cm の割

合で縮んでいたが、地震時の 3 分間に数 m 東西に引き延ばされ、現在でも 1 ヶ月に数 cm の速さで引き延ばされている（図 5）。この地殻変動は、東北から関東にかけての太平洋沖のプレート境界で、地震時と同じ方向に滑り（余効滑り）が続いているためであるが、その他にマントルの粘弾性緩和の影響も重なっている可能性がある。

今後 10 年以上にわたってこの地殻変動が続く可能性が高い。その結果、内陸の地震活動や火山活動が活発化する恐れがある。数百年に一度と考えられる超巨大地震の性質を、引き続き進行する余効的活動を含めて正しく理解することは、今後日本全土で数多く起きる地震による災害を軽減化するために不可欠である。しかし、現状では陸上の観測データから、海底下の現象を推定しているために不確かなことが多い。これを解決するには、海底での観測が必要である。海底測地・地震データの収集によって、沈み込むプレート運動やプレート境界の性質を理解することが重要である。東北から関東にかけての太平洋沖で計画されている海底地震津波観測網は、津波防災のためとプレート境界で進行する現象の理解の両面で貢献できる。

#### 余震と誘発地震

大きな地震（本震）が発生すると直後から本震の震源断層の周辺で中小の地震が頻発する。2011 年東北地方太平洋沖地震ではおびただしい余震が発生した。2012 年 10 月末までに M5.0 以上の余震は約 700 回、M6.0 以上は約 100 回を数えている。M7.0 を上回るものは、2011 年 3 月 11 日の本震直後に 3 回、2011 年 4 月に 2 回、2011 年 7 月に 1 回の計 6 回発生した。これまで、日本周辺の海域で発生した大地震、例えば、1994 年北海道東方

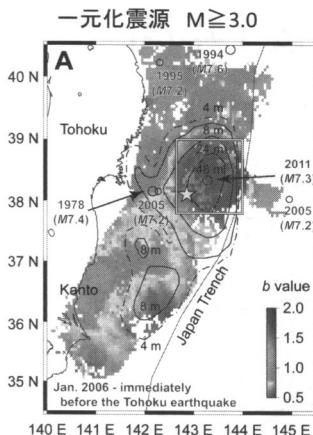


図 3 (A)  $b$  値が低い地域と 2011 年東北地震のすべり量が大きい地域に相関があることが分かる。(B) 震源域付近の低  $b$  値の領域（図 A の四角の領域）では、 $b$  値が時間とともに低下したことが明瞭に見える。

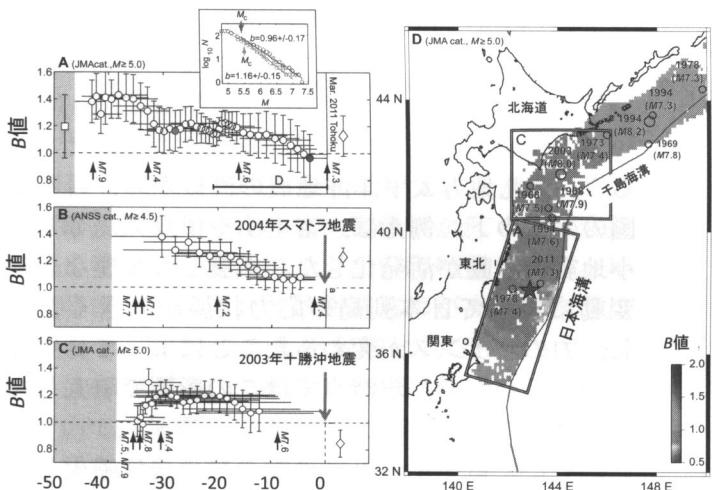
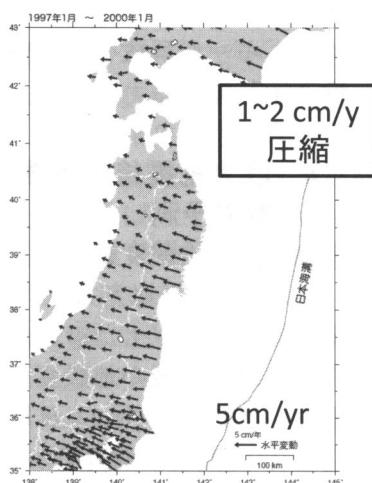


図 4 (A) 2011 年東北地震と (B) 2004 年スマトラ地震では、地震発生時期へ近づくに従って  $b$  値は減少し、地震発生後に  $b$  値は回復したことが分かる。(C) 2003 年十勝沖地震の発生以降も  $b$  値の減少が継続していることが分かる。(D) 1990 年 1 月から 2011 年東北地方太平洋沖地震直前までの地震による  $b$  値の分布。2011 年東北地震の震源域付近、および北海道太平洋沖では、 $b$  値が低いことが分かる。

た。 $b$  値が減少していた領域は本震で大きく滑った領域に集中するように、1965 年ころから地震直前まで減少していた。1965 年というのは、解析できる記録のある最も古い時期である。3 月 9 日の M7.3 の地震とその後の本震直前までの地震の  $b$  値は 0.5 以下に低下していた。本震後、この領域の地震の  $b$  値は 0.8 程度まで回復した<sup>10)</sup>（図 3）。この様な十年以上にも及ぶ長期的な  $b$  値の減少は、2004 年スマトラ地震 (M9.1) でも観測されて、M9 クラスの巨大地震の発生に特有な現象である可能性がある（図 4）。この解析の副産物として、北海道十勝沖の海域でも十年以上にわたって  $b$

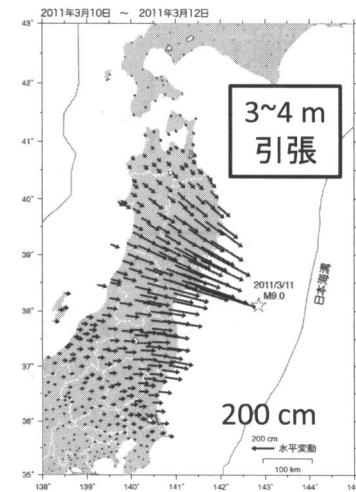
## 地震前3年間

1997.1- 2000.1



## 地震時

2011.3.10- 2011.3.12



## 地震後1年間

2011.3.12- 2012.3.12

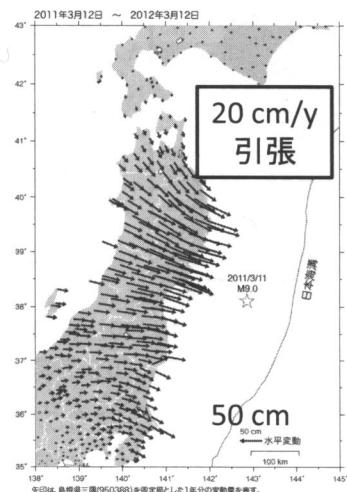


図5 東北地方の地震前、地震時、地震後の地殻変動。

(出展：国土地理院ホームページ <http://www.gsi.go.jp/cais/chikakuhendo40012.html>)

沖地震（M8.2）では、M5.0 以上の余震発生数が 150 回程度であることを考えれば、この地震の余震がいかに多いかが分かる。今後 1 年程度は大きな余震が発生する可能性があると考えるのが妥当である。M7 程度の余震でも陸域に近い浅い地震であれば津波や揺れによる被害の恐れがあり、十分備える必要がある。現在、東北地方太平洋沿岸の地域では、強い揺れと津波の危険が、通常よりはるかに高いことに注意すべきである。

さらに、3 月 11 日以降日本列島の広い範囲で地震活動が活発になった。広域に発生した地震は誘発地震といわれる。例えば、長野・新潟の県境では、2011 年 3 月 12 日に M6.7 の被害地震が発生し、同年 3 月 15 日には静岡県東部の御殿場の下 10 km で M6.0 が発生した。首都圏でも同年 3 月 11 日の前後の半年間の地震数を比較すると地震後には 6~7 倍となった。しだいに地震数は減少しているが地震後 1 年半たっても地震前の 2~3 倍の状態が続いている。これらの活動は、本震と大規模な余効変動によって日本列島の応力状態が大きく変化し、力のバランスが変わったことによって発生している。中小地震だけでなく、被害をもたらすような内陸の大地震の発生の可能性も否定できない。

### 火山噴火の可能性

20 世紀以降これまで、M9.0 以上の超巨大地震は、東北地方太平洋沖地震を含めて 5 回発生した。M9.0 を超える地震が発生した地域では、いずれも近くの複数の火山が数年以内に噴火してい

る<sup>11)</sup>。東北地方太平洋沖地震の直後から、日本全国の火山の下、例えば、富士山や伊豆大島等で微小地震の活動が活発化した。本震と大規模な余効変動によって日本列島の応力状態が大きく変化し、力のバランスが変わったことによって発生している。ただし、現時点ではこの影響で噴火した火山はない。

過去に、富士山が巨大地震の発生後に噴火した例としては、約 300 年前の宝永地震（M8.6）と富士山宝永噴火がある。1707 年 10 月 28 日、遠州灘沖から紀伊半島沖にかけての広い範囲で発生した宝永地震の 49 日後の 12 月 16 日に富士山が爆発的噴火を起こした。現時点で富士山が噴火する兆候は得られていないが、火山活動を監視する必要がある。

## 5. 災害予測と被害想定

### 東京都の首都直下地震の想定

東京都は、東日本大震災の経験を踏まえ、首都直下地震など東京を襲う大規模地震に対してより確かな備えを講じていくため、2006 年 5 月に公表した「首都直下地震による東京の被害想定」を見直し、2012 年 4 月に新たな被害想定を公表した<sup>12)</sup>。東京都は、防災対策を講じるに当たって、起きたり得る被害像を科学的知見に基づき分析し、被害を軽減するための実効性ある手立てを検討していく重要性を強調している。最近のプレート構造に関する知見<sup>13)</sup>を採用することで、想定東京湾北部地震（M7.3）の震源が約 10 km 浅くなった。

その結果として犠牲者が最悪のシナリオで9,700人と、2006年度想定の1.5倍となった。さらに、東京都地域防災計画を修正し、被害に対する対策と減災目標を示した。例えば、消防団の体制強化や防災隣組など共助の推進、木密地域不燃化の推進、公共建築物やマンション等の耐震化促進によって、死者数を6,000人（約6割）減少させる目標を立てている<sup>14)</sup>。こうした取り組みが効果を上げるには、自助・共助・公助のバランスのとれた地震に強いまちづくりを進める必要がある。

### 中央防災会議の南海トラフの地震の想定

内閣府は、南海トラフの地震による被害想定を行うにあたって、科学的に考え得る最大級の地震（M9.0～9.1）を仮定し、2012年8月に、南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ（第一次報告）<sup>15)</sup>を公表した。最悪の場合32万人の犠牲者が出ることを予想した。この被害想定では、最大で34m（高知県土佐清水市）の大津波が押し寄せると予想されている<sup>16)</sup>ため、津波による犠牲者が23万人と甚大な見積となっている。ただし、この数字は、津波到来時の早期避難率が低く、津波避難ビルなどが有効活用できない時の値である。早期避難率が低い場合と早期避難率が高い場合を比較すると、津波による死者数に約2.0倍～約8.6倍の違いがある。つまり、津波避難ビルが整備されていて、地震発生後直ちに避難すれば、津波による犠牲者を5万人程度に減らすことができる。住民の自主的かつ迅速な避難が極めて重要であることを示している。このための意識啓発、避難計画策定や防災教育の推進が急務である。

この超巨大な地震・津波は、次に必ず発生する地震ではないことも報告書では強調されている。現在の知見では発生確率を評価することは困難であるが、その発生頻度は極めて低いものである<sup>15)</sup>。一方、従来から指摘されている、東海地震（M8.0程度）、東南海地震（M8.1程度）、南海地震（M8.4程度）が今後30年以内発生する確率は、それぞれ88%，70%，60%程度と大変高いことに注意する必要がある<sup>17)</sup>。8クラスの地震による被害も甚大であり、かつ発生の可能性が高いので、これらに対する備えは一刻の猶予もない。

## 6. おわりに

巨大地震や津波による被害を軽減するには、事前に災害誘因としてのハザードの予測が重要である。いつ発生するかということは最も難しい課題であるが、それ以外にも意義あるハザードの予測には、地震の揺れや津波の規模、頻度などがある。

地震発生を予知できれば人的被害を減少させることができるが、現時点では限られた場合にしかできない。これらの情報は、発災時に何が起きるかを事前に予測して、それにどのように備えるかを考える根拠となる。首都圏や南海トラフで発生する大地震によっては、極めて甚大な被害が予想されている。膨大な数字に絶望して手をこまねいているのでは、ハザードと被害の予測を行う意味はない。低頻度であるが極めて甚大な被害の災害と、発生の可能性が高いと予想されている災害のどちらに対しても、基本的な備えにそれほどの差はない。仮に、30mの津波が襲ってきても、10mの津波の襲来を予測して普段から備えておくことは確実に役に立つ。10mという数字にこだわらず、津波が来ると分かったら直ちに避難する必要があると言うことを一人一人が意識することが何より重要である。地域の防災力を高めて、公の防災対策を合理的に進めることは、一人一人の自助力を高めることをより促進する方向で進めなければならない。

## 〈参考文献〉

- 1) 中央防災会議「東海地震対策専門調査会」(2003), 東海地震に係る被害想定結果について  
<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/tou-tai/soutei2/kisha.pdf>
- 2) 気象庁（2010年）「伊豆東部の地震活動の予測手法」報告書の公表と今後の対応について（平成22年9月9日報道発表），  
<http://www.jma.go.jp/jma/press/1009/09b/100909yosoku.html>  
静岡県公式ホームページ  
<http://www.pref.shizuoka.jp/bousai/izutoubukazan/gunyosokujoujou20110331.html>
- 3) 気象庁（2010）「伊豆東部の地震活動の予測手法」報告書  
<http://www.jma.go.jp/jma/press/1009/09b/003shiryou.pdf>
- 4) 気象庁ホームページ. 東海地震の予知について  
[http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/tokai/tokai\\_eq4.html#4\\_c](http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/tokai/tokai_eq4.html#4_c)
- 5) Kato, N. and T. Hirasawa (1997), A numerical study on seismic coupling along subduction zones using a laboratory-derived friction law, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 102, 51–68.
- 6) 気象庁ホームページ. 「東海地震は必ず予知できるのか？」  
[http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/tokai/tokai\\_eq4.html#4\\_d](http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/tokai/tokai_eq4.html#4_d)
- 7) 静岡県公式ホームページ：東海地震に関する情報

「その時あなたは？」

[https://www2.pref.shizuoka.jp/all/file\\_download/101600.nsf/pages/8DD5AD53B45369C6492576B60075C2F2](https://www2.pref.shizuoka.jp/all/file_download/101600.nsf/pages/8DD5AD53B45369C6492576B60075C2F2)

- 8) 小林昭夫・山本剛靖・中村浩二・木村一洋 (2006), 歪計により観測された東海地域の短期的スロースリップ (1984~2005 年), 地震 2, 59, 19-27.
- 9) Kato, A., K. Obara, T. Igarashi, H. Tsuruoka, S. Nakagawa and N. Hirata (2012), Propagation of Slow Slip Leading Up to the 2011Mw 9.0 Tohoku-Oki Earthquake", Science, 335, 705-708, doi:10.1126/science.1215141
- 10) Nanjo, K.Z., N. Hirata, K. Obara, and K. Kasahara (2012), Decade-scale decrease in b value prior to the M9-class 2011 Tohoku and 2004 Sumatra quakes, Geophys. Res. Lett., 39, L20304, doi:10.1029/2012GL052997.
- 11) 藤井敏嗣 (2012) 大地震は火山噴火を誘発する!?, NHK そなえる防災, コラム <http://www.nhk.or.jp/sonae/column/20120622.html>
- 12) 東京都防災会議 (2012), 首都直下地震等による東京の被害想定報告書 <http://www.bousai.metro.tokyo.jp/japanese/tmg/>

assumption\_h24.html

- 13) 平田直, I 首都圏周辺でのプレート構造調査, 首都直下地震防災・減災特別プロジェクト総括成果報告書, 7-14, 2012. <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/shuto/report/soukatsu/1120327.pdf>
- 14) 東京都地域防災計画 (平成 24 年度修正) 素案 <http://www.bousai.metro.tokyo.jp/japanese/tmg/h24-soan.html>
- 15) 中央防災会議・防災対策推進検討会議・南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ (2012), 南海トラフ巨大地震の被害想定について (第一次報告) 平成 24 年 8 月 29 日 [http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/taisaku\\_nankaitrough/pdf/20120829\\_higai.pdf](http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/taisaku_nankaitrough/pdf/20120829_higai.pdf)
- 16) 南海トラフの巨大地震による津波高・浸水域等 (第二次報告) 及び被害想定 (第一次報告) について資料 1-2 都府県別市町村別最大津波高一覧表〈満潮位〉 [http://www.bousai.go.jp/nankaitrough\\_info/1\\_2.pdf](http://www.bousai.go.jp/nankaitrough_info/1_2.pdf)
- 17) 地震調査研究推進本部 (2012), 主な海溝型地震の評価結果 (2012 年 2 月) [http://www.jishin.go.jp/main/p\\_hyoka02L.htm](http://www.jishin.go.jp/main/p_hyoka02L.htm)

# 東日本大震災を踏まえた河川堤防の耐震性向上の考え方

**[Key Word]**

佐々木 哲也\*・石原 雅規\*\*・谷本 俊輔\*\*\*

河川堤防、地震、液状化、堤体液状化、液状化対策

## 1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災では、東北地方から関東地方の広範囲にわたって河川堤防が被災した。このなかには、堤防機能を失うような大規模な被災も生じた。今回の地震による河川施設の被害は、特に東北地方の河川において、津波によって破堤等の甚大な被害が生じたことに加え、地震動による被害が広域的に生じたことである。

この地震による河川堤防の被災は、過去の地震による堤防の被災と比較して、範囲も規模も甚大であったことから、国土交通省では、「河川堤防耐震対策緊急検討委員会」<sup>1)</sup>が設置され、東日本大震災で得られた河川堤防の被災に関する知見を整理し、今後の耐震対策手法の改善等に反映させるべく検討が行われた。この委員会で整理された知見を踏まえ、「河川構造物の耐震性能照査指針」<sup>2)</sup>の改定および「レベル 2 地震動に対する河川堤防の耐震点検マニュアル」<sup>3)</sup>の策定がなされている。

ここでは、直轄河川の堤防の被害の内、地震動による被害の特徴、被害を踏まえた取り組みと今後の課題について紹介する。

## 2. 地震動による堤防被害の概要

図 1 に今回の地震の被害箇所を、表 1 に水系毎の被災箇所数を示す。直轄河川の堤防の被害は、東北地方 1,195 箇所、関東地方で 920 箇所の計 2,115 箇所で確認された<sup>4)</sup>。また、直轄管理区間の被災箇所 2,115 箇所の中で特に被害の大きかった箇所（東北地方整備局管内 29 箇所、関東地方整備局管内 24 箇所）では緊急復旧工事が実施された。

\* (独) 土木研究所 地質・地盤研究グループ 上席研究員

\*\* 同 主任研究員

\*\*\* 同 研究員

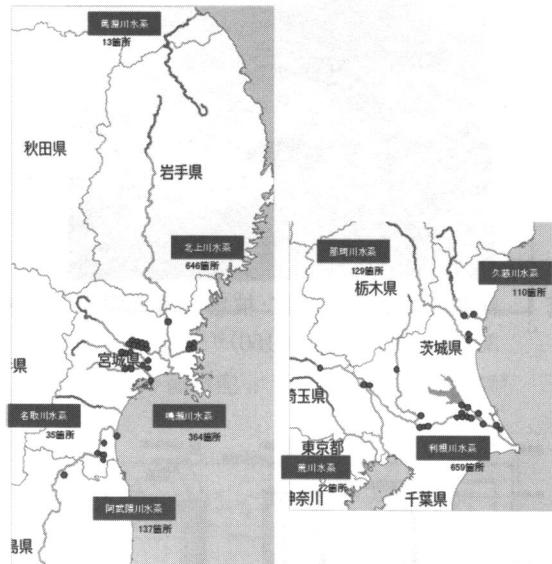


図 1 被災箇所位置図<sup>1)</sup>

表 1 各河川の被災・緊急復旧実施箇所数<sup>4)</sup>

地整名	水系名	被災箇所数	緊急復旧箇所数
東北	馬淵川	13	0
	北上川	646	14
	鳴瀬川	364	9
	名取川	35	0
	阿武隈川	137	6
合計		1,195	29
関東	久慈川	110	2
	那珂川	129	2
	利根川	659	20
	荒川	55	0
	合計	920	24
合計		2,115	53

さらに本格復旧については、平成 24 年度出水期までに完了させる予定としている。

堤防機能を失うような大規模な被災の原因は液状化であり、液状化の発生や程度には地震動の強度、継続時間の長さや繰り返し回数の多さが影響したと考えられる。特に、従来から被害の形態として想定されていた基礎地盤の液状化を原因とす

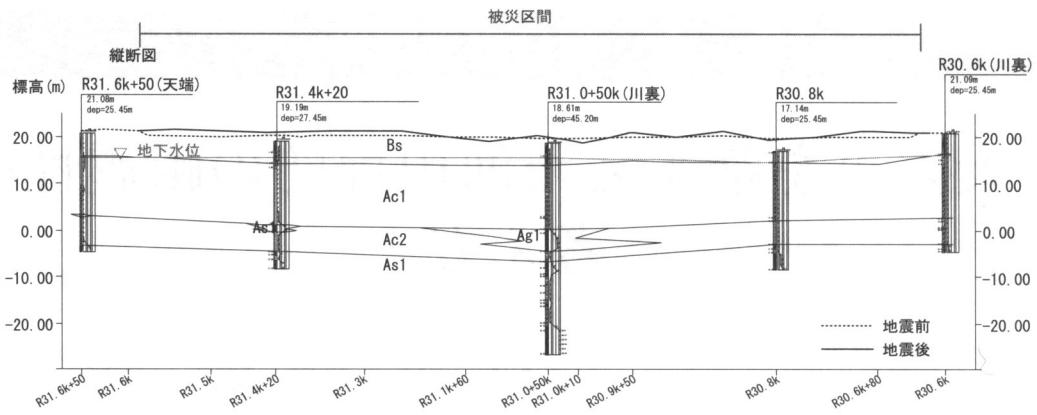


図3 被災箇所の地質縦断図（東北地方整備局提供資料に加筆修正）



写真1 河川堤防の大規模な被害（阿武隈川下流右岸30.6 k + 34～31.4 k + 160）<sup>5)</sup>

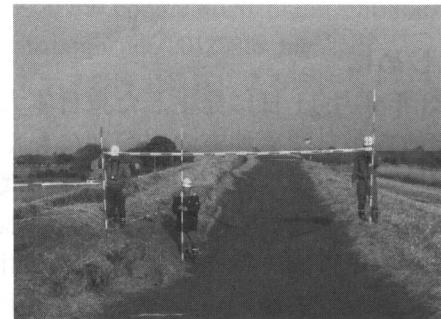


写真2 利根川・歩の天端の被災状況（関東地方整備局提供）

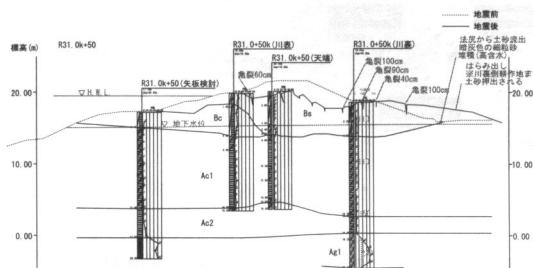


図2 被災箇所の断面図（阿武隈川下流右岸30.6 k + 34～31.4 k + 160）（東北地方整備局提供資料に加筆修正）

るもののが多数発生した他、これまで地震による堤防の被災として主眼が置かれていた堤体の液状化による被災が多数発生した。

### 3. 代表的な被災事例<sup>5, 6, 7)</sup>

ここでは、今回の地震において地震動による被害として特徴的であった、堤体液状化による被害の事例について紹介する。

#### (1) 阿武隈川・枝野地先

堤体液状化による被害の代表的な事例として、阿武隈川下流右岸30.6 k + 34～31.4 k + 160（宮城県角田市枝野地先）の被災事例を紹介する。当該箇所では延長約800 mに渡り、沈下や縦断亀裂、はらみ出しが発生した。被災後の状況を写真1

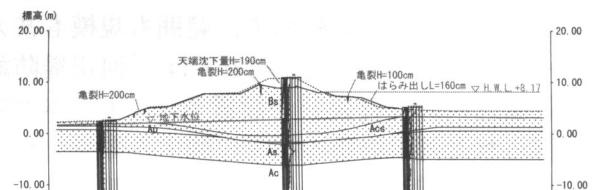


図4 利根川左岸 68.0 k の断面図（関東地方整備局提供資料に加筆修正）

に、地震後の地盤調査に基づいて作成された断面図、縦断図を図2、図3にそれぞれ示す。特に大きな変状が生じた付近では写真1に示すように、堤防天端に沈下、陥没が生じるとともに複数の縦断亀裂が生じた。天端の沈下量は最も大きなところで約2.9 mである。また、裏のりに大きな水平変位が生じ、裏のり尻部の水平変位量は3 mに達するところもあり、崩土は隣接する農地を覆った。このような大きく崩壊した箇所ののり尻付近や堤体の亀裂底部に多数の噴砂痕が確認された。ほとんどの変状が表小段から川裏側にかけて確認されており、表小段から下には目立った変状は見られなかった。さらに、のり尻のごく近傍を除き、川裏側周辺の耕作地等において、特段の変状や噴砂痕は確認されていない。

基礎地盤には層厚15 m程度の軟弱粘性土が存

在する。堤体は粘性土を主体とする旧堤とその後嵩上げ腹付された砂質土を主体とする新堤部分からなり、変状は砂質土を主体とする新堤部分に集中していた。また、堤体が軟弱粘性土地盤に下にめり込むように沈下し、地下水位が堤体内に存在している。**図3**に示した通り、被災区間では堤体内に水位が存在するが、被災区間の上記の外側の無被災区間では、地下水位は基礎地盤内にあり、堤体内には水位が確認されていない。

被災状況及び地盤調査結果より、砂質土を主体とする新堤部分の地下水位より下の範囲が液状化したことが被災原因であると考えられる。

## (2) 利根川・歩地先

利根川左岸 67.25 k-67～68.00 k-25 (茨城県河内町竜ヶ崎町歩) では、約 600 m にわたり天端やのり面に縦断亀裂が生じ、**写真2**に示すように天端が大きく沈下し、天端の沈下量は、最も大きなところで約 1.9 m に達した。川表側ののり面は全体的に川側に移動し、川表側の小段には陥没が生じた区間も存在する。川裏側の変状は、川表側に比べると相対的に軽微であった。

**図3**に横断図を示す。基礎地盤の 5 m 以深には、粘性土層が存在し、築堤に伴う圧密沈下により堤体下部が基礎地盤にめり込んでいる。地下水位は川裏側ののり尻高さ付近にあり、砂質土からなる堤体が広い範囲で飽和していたと考えられる。したがって、堤防の変状に、堤体の液状化が大きく影響したものと推定される。また、粘性土層の上には、As 層や Asc 層が存在し、いずれも地下水位よりも深い位置にあるため、液状化した可能性がある。ボーリング調査結果から、Asc 層は横断方向に厚さと性状が変化していることが分かり、川裏側ほど薄く粘性分が増える傾向にあり、川裏側の被災程度が川表側の被災程度に比べ相対的に軽微であったことと整合する。これより、堤

体の液状化だけでなく、Acs 層の液状化も変状に寄与した可能性がある。このように、堤体の液状化と基礎地盤の液状化が複合し、被災が発生するパターンも見られた。

## 4. 堤体の液状化事例に関する分析<sup>8)</sup>

堤体の液状化による被害は、堤体内が液状化しやすい砂質土であること、堤体内に水位があることが要因と考えられるが、東北地方太平洋沖地震による東北地方及び関東地方の直轄河川堤防の被災箇所のうち、堤体自体の液状化が一因と考えられる箇所と近傍の無被災箇所を対象として、被災に及ぼす諸要因を分析した。

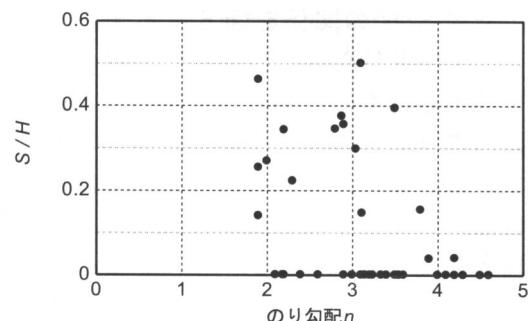


図5 のり面勾配nと沈下率S/Hの関係<sup>8)</sup>

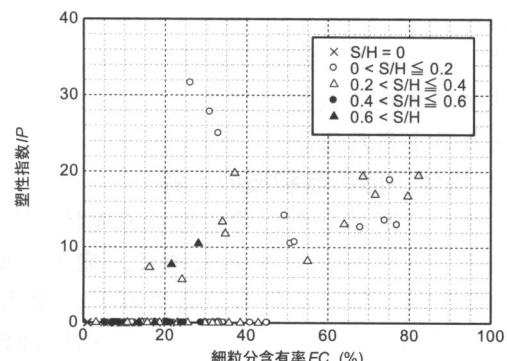
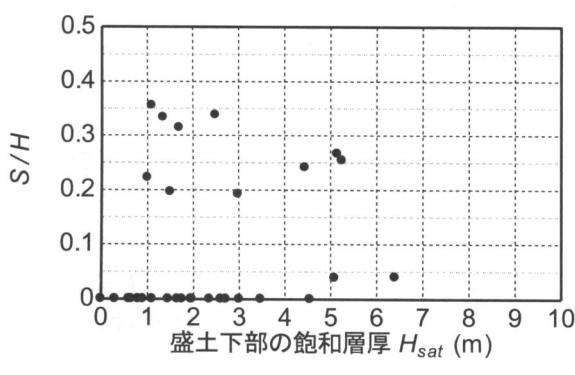
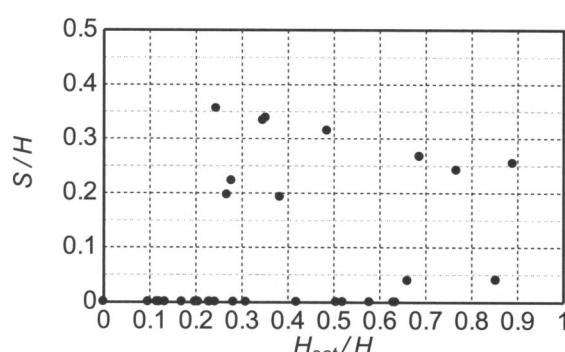


図6 堤体下部の飽和域の細粒分含有率FC・塑性指数IPと沈下率S/Hの関係<sup>8)</sup>



(a) S/H・H<sub>sat</sub> 関係

図7 堤体下部の飽和層厚 H<sub>sat</sub> と被災程度の関係<sup>8)</sup>



(b) S/H・H<sub>sat</sub>/H 関係

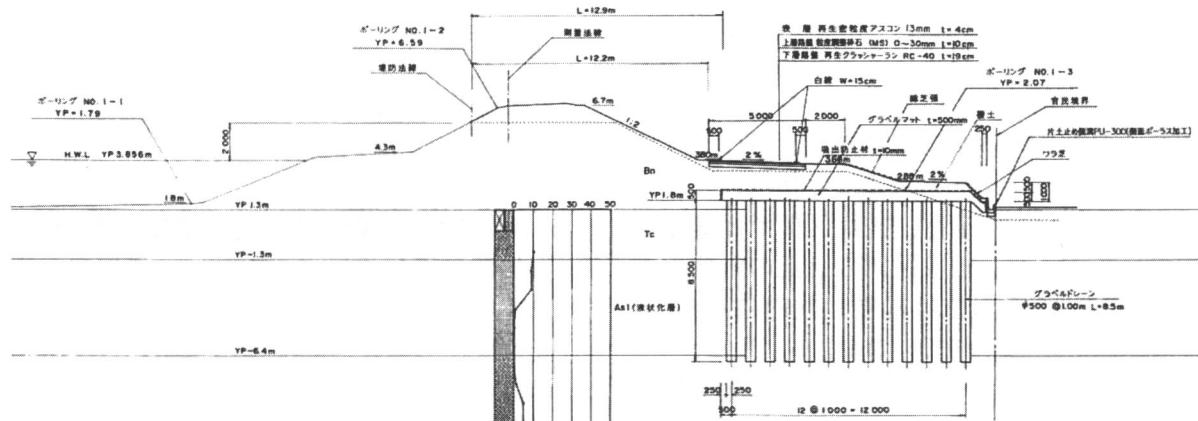


図8 利根川右岸 27.75 k-51 m～28.0 k-1 mにおける断面図（グラベルドレーンによる対策）<sup>1)</sup>

### (1) のり面勾配と沈下量の関係

堤体液状化による被災事例を対象に、のり勾配  $n$  と沈下率  $S/H$  の関係を図5に示す。のり勾配  $n$  は、変状が生じた方ののり面における平均のり勾配を抽出したものであり、平均のり勾配は当該のり面ののり肩とのり尻を結ぶ直線の勾配として求めている。また、両側ののり面に変状が見られる場合は、いずれか緩い方ののり勾配を抽出してプロットしている。

同図によれば、のり勾配が3割でも大きな沈下が生じた事例が存在するものの、4割であれば非常に小さな沈下率にとどまっていることが分かる。図5の  $S/H=3\sim 5$  の範囲に見られる  $S/H$  の上限は、堤体下部に液状化が生じても、のり勾配が緩ければ変状が天端まで達しにくい傾向を示していると考えられる。

### (2) 堤体下部の飽和域の土質

特に変状に関与したと考えられる堤体下部の飽和域の土質を明らかにするために、変形、亀裂、噴砂の発生状況等から総合的に判断し、変状に関与した可能性が考えられる箇所を多めに抽出し、細粒分含有率  $FC$ ・塑性指数  $IP$  を沈下率  $S/H$  ごとにプロットした（図6）。細粒分含有率  $FC$  は細粒分（0.074 mm 以下）の量、塑性指数  $IP$  はその材料が有する粘性の程度（細粒分の質）を概略表す指標と考えたものである。

点の多くは  $FC \leq 45\%$ ,  $IP = 0$  であり、非塑性の砂質土が変状に関与しているケースが多い。一方で、数は相対的に少ないものの  $FC \leq 35\%$  あるいは  $IP \leq 20$  の広い領域にも分布しており、現在の液状化判定<sup>2)</sup>の対象とされている  $FC \leq 35\%$  あるいは  $IP \leq 15$  よりも少し広い範囲の土質が変状に関与した可能性を示す結果となっている。しかし、堤体下部の飽和域が必ずしも厚くないため、1 ボーリングあたり 1 深度程度の試料に対する試験結果であるケースが多い。このため、この数値



写真3 液状化対策実施箇所の状況（利根川右岸 27.75 k-51 m～28.0 k-1 m）<sup>1)</sup>

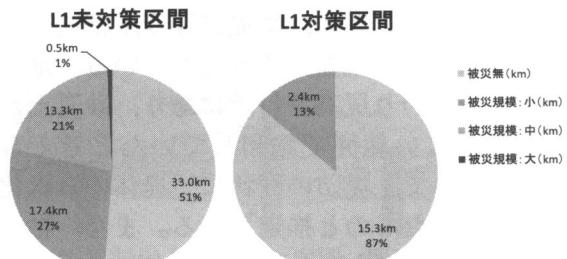


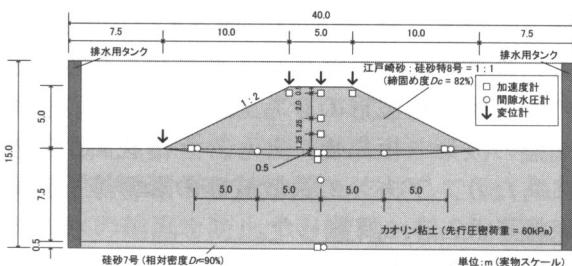
図9 レベル1 地震動に対する要対策区間における堤防の被災状況<sup>1)</sup>

が真に変状に関与した箇所の土質を十分に反映できていない可能性も考えられる。この点については、さらに詳細なデータの蓄積が必要である。

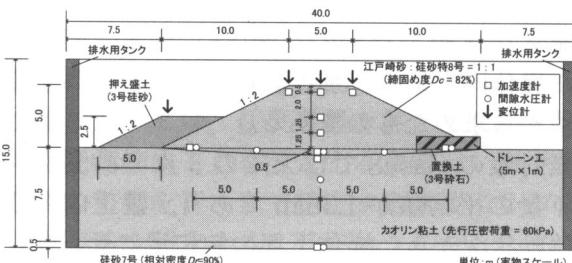
### (3) 堤体下部の飽和層厚と沈下量の関係

堤体下部の飽和域の層厚  $H_{sat}$  が明らかになっている地点を対象に、 $H_{sat}$  と被災程度の間の関係を調べた結果を図7に示す。堤体内水位をボーリングにより把握するにあたり、堤体を構成する砂質土の下方に難透水層が存在する場合、堤体下部の宙水が飽和域を形成しているケースが考えられるため、掘進時に難透水層を突き破ることで宙水を逸失しないよう、調査は慎重に行われている。堤体下部の飽和層厚  $H_{sat}$  は断面内で飽和した盛土の厚さが最大となる位置での値とした。

同図からは、盛土下部の飽和層厚  $H_{sat}$  が 1 m、あるいは堤防高さとの比である  $H_{sat}/H$  が 0.24 を

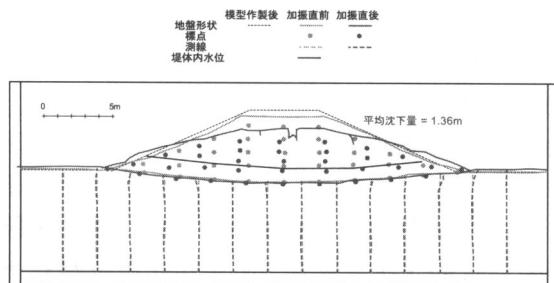


①無対策 (Case8)

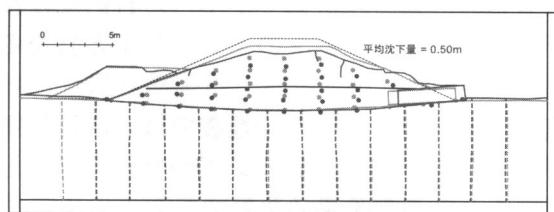


②のり尻対策 (Case7)

図 10 模型概要<sup>10)</sup>



①無対策 (Case8)



②のり尻対策 (Case7)

図 11 加振前後の変形状況<sup>10)</sup>

下回れば、天端の沈下が生じていないことが分かる。水平成層地盤を例に考えると、粘性土地盤の圧密問題と同様に、地震動により飽和砂質土の過剰間隙水圧が上昇した後に水圧の消散に要する時間は、飽和砂質土層厚の2乗に比例する。ここで検討対象としている盛土下部の液状化の問題は水平成層地盤ほどに単純ではないが、水圧の消散に対して飽和層厚が大きな影響を与えることを考慮すると、飽和層厚がある程度よりも小さくなると過剰間隙水圧が上昇した状態を保持することができず、堤防の変状がほとんど進行しなくなることが考えられる。

堤体内の水位が高くなる条件としては、基礎地盤の圧密沈下や窪地等を埋めて築堤された場合など、堤体の基礎地盤へのめり込み量が大きい箇所や、干拓地堤防等のように平常時より外水位が高く、常に堤体内に浸透している箇所が考えられ、実際にこのような条件の堤防で堤体自体の液状化と考えられる被害が発生している<sup>5)</sup>。

## 5. 既設対策工の効果

1995年兵庫県南部地震以降、堤防の液状化対策が進められてきた。堤防において現時点で実施されている耐震対策は、その多くが中規模地震（現在でいうところのレベル1地震動相当）を設計外力として設計されたものであるが、東北地方太平洋沖地震では、このような対策がなされた堤防での被災がほとんど見られなかった<sup>1)</sup>。

図8、写真3に代表的な対策箇所の断面図、被災後の状況を示す。当該箇所では川裏側のり尻部にグラベルドレーンによる液状化対策が実施され

ている。被災後の状況から、目立った変状は認められていない。

図9は、中規模地震動に対する耐震点検により対策が必要と判定された箇所のうち、対策済み箇所と未対策箇所における、今回の地震における被災程度の割合を整理したものである。未対策箇所においては何らかの被災が49%に生じ、大規模および中規模被災を合わせて22%程度生じているのに対し、対策箇所では小規模被災が13%生じているのみで、大規模、中規模被災は生じていない。今回の地震では、一部の地域ではレベル1地震動を大きく超える地震動が観測された地域もあるが、兵庫県南部地震以降に進められてきたレベル1地震動に対する液状化対策が、今回の地震に対して効果を発揮したといえると考えられる。中規模地震に対する対策工の設計は、改良範囲内に液状化を生じさせないことや、対策工が外的・内的に安定することを照査しており<sup>9)</sup>、中規模地震動に対して十分な安全余裕を確保するように設計されていたため、結果として、大規模地震動に対しても対策効果を発揮したものと考えられる。

## 6. 堤体の液状化対策に関する模型実験<sup>10)</sup>

堤体の液状化被害の対策としては、液状化しない堤体とするために、新たに築堤する場合には液状化しにくい材料を選定すること、よく締め固めること、既設の堤防には堤体内の水位をドレン工によって低下させることが基本的な対策と考えられる。

しかし、既設の堤防においては、堤防と堤内地側の排水路の高さの関係から十分な水位低下が図

れない場合もあり、このような場合でも既設堤防に対して効果を発揮する対策技術が必要となる。そのような工法の1つとして、堤体が液状化してもりり尻部の変形を抑制するようり尻部にドレン工<sup>7)</sup>や押え盛土を設置する対策工法が考えられ、その効果を検証するため動的遠心模型実験を行った。この工法でも地下水位低下と同様にドレン工を用いるが、副次的に地下水位低下は期待するものの、地下水位低下が主たる目的ではないことが、堤体内水位低下のドレン工と異なる点である。

実際、東北地方太平洋沖地震では、浸透対策で設置した裏のり尻のドレン工が変状を抑制したと考えられる事例もある<sup>1)</sup>。

### (1) 実験方法

実験は、50 G の遠心力場の下に行われた。以降に示す数値は全て実物スケールに換算したものである。模型概要を図10に示す。基礎地盤はカオリソ粘土により、堤体は江戸崎砂と東北硅砂特8号を1:1の比率で混合した材料により、締固め度  $D_c = 82\%$  で作製した。無対策のCase8は、粘性土層厚が7.5 m、堤防高さが5.0 m、のり勾配が1:2である。軟弱粘性土地盤上の盛土は、粘性土上面を下に凸の形状（堤防中央で0.5 m）に掘り込み、そこに堤防模型を作製した。

Case7は対策工を設けたケースであり、表のりに押え盛土、裏のり尻にドレン工を設けた状況を模擬している。押え盛土については、押え盛土自体に液状化を生じさせず、かつ降雨後に上昇した堤体内水位の表のりからの排水を妨げないように、粗砂（3号硅砂）により模擬した。また、ドレン工の下部には基礎地盤にめり込んだ一部の堤体材料が存在するが、これがさらに液状化することを避けるため、粘性土上面までの範囲を3号硅砂により置き換えた。

堤防模型を作製した後、遠心加速度にあわせて水の50倍の粘性を有するメトローズ水溶液を用いて、脱気槽内で周辺地盤G.L.+1.8 m程度まで水位を上昇させることで堤体下部を飽和させた。その後、遠心加速度を50 Gまで上昇させ、再圧密が完了した後に排水用タンクを介して盛土両側の水を土槽外に排水し、堤体内水位が所定の高さになった時点で加振を行った。無対策であるCase8の堤体内水位は、実際に見られたような被災状況を再現できるように試行錯誤により、堤体下部の飽和層厚が1.3 mとなるように設定した。Case7においてはドレン工によって堤体内水位の低下も副次的に期待できるため、浸透流解析から求め

た低下した水位を、加振時の地下水位に設定した。

入力地震動は、道路橋示方書に示される地表面での動的解析用波形のうちL2タイプI地震動・II種地盤の波形（板島橋）とし、土槽底面からの入力にあたり、下方への逸散減衰の影響等を勘案して振幅を0.7倍に調整した。

### (2) 実験結果

土槽ガラス面における加振前後の盛土の変形状況をスケッチしたものを図11に示す。同図に示した堤体内水位は、加振直前における間隙水圧計測値から求めたものである。

無対策のCase8では天端の3点で計測された沈下量の平均値が1.36 mであり、盛土内の標点の移動状況から、堤体下部の飽和域にせん断ひずみが集中している様子が分かる。天端には著しい縦断亀裂、陥没が生じていた。

これに対し、Case7では天端の平均沈下量が0.50 mに抑制された。特に、表のりの押え盛土に変形はほとんど見受けられず、良好に対策効果を発揮している。ただし、裏のり尻のドレン工に生じた0.7 m程度の水平変位に伴い、裏のりの変形がやや大きい。天端、のり面には亀裂が生じたものの、Case8に比べると軽微であった。

既設堤防における堤体の液状化による沈下、変形に対しては、ドレン工や押さえ盛土によるり尻部の変形抑制が一定の効果を期待できると考えられる。

## 7. 今回の被災を踏まえた対応

今回の地震による被害を踏まえ、「河川構造物の耐震性能照査指針・解説」<sup>2)</sup>の改定および「レベル2地震動に対する河川堤防の耐震点検マニュアル」<sup>3)</sup>の策定がなされている。

第3節（3.）で紹介したとおり、今回の地震ではこれまで地震による堤防の被災として主眼の置かれていなかった堤体の液状化による被災が多数発生した。また、沿岸域においては、河川を遡上した津波が河川堤防を越えて沿川地域に甚大な被害をもたらした。さらに、東北地方から関東地方の太平洋沿岸を中心に地殻変動に伴う地盤沈降が観測された。このような地盤沈降によって、浸水被害が拡大・長期化した地域もある。これらを踏まえ、今回の改定では、主に、堤体の液状化、津波、地殻変動に伴う広域な地盤沈降の3項目について改定がなされている。

堤体自体の液状化については、堤体の液状化による被災メカニズムは十分に明らかになっていないが、これまでの基礎地盤の液状化による沈下、

変形の照査とは別に、4. で紹介した今回の被災箇所の事例から堤体材料、堤体内の水位等の条件に基づき、堤体液状化による沈下・変形の発生の有無を判定する手法が盛り込まれた。

河川堤防の耐震性能の照査においては、地震後の河川水の越流を防止する観点から、地震後の堤防高が耐震性能の照査において考慮する外水位（以下、照査外水位という）を下回らないことを照査する。ここで、照査外水位については、津波の影響を受ける場合には津波高を考慮する。中央防災会議においては、住民避難を柱とした総合的防災対策を構築する上で設定する津波と、海岸保全施設等の整備を行う上で想定する津波に2つのレベルの津波を想定することが示された。これを踏まえ、地震の発生に伴い津波の遡上が予想される場合には、耐震性照査で考量する津波として、施設計画上の津波高を考慮することとされた。また、広域な地盤沈降については、照査において外水位との比較を行う場合等においては、広域な地盤沈降による河川構造物全体の沈下を考慮することとされた。

対して設計された対策や浸透対策として実施した対策が、今回の地震において一定の効果を發揮した<sup>1)</sup>。これらを踏まえ、レベル2地震動に対する、効果的な対策工法・設計法の開発を進める必要がある。また、堤体液状化に対する合理的な対策手法の開発も必要である。

(4) 堤防の耐震性には、基礎地盤の条件、築堤材料、堤体内の地下水位が大きく影響するが、河川堤防は膨大な延長を有し、また長い年月をかけ数々の改築を繰り返して現在に至っており、築堤材料と基礎地盤条件が複雑であるもののその情報が十分でない場合も多い。特に、堤体の液状化による変状の有無は、堤体下部の飽和層厚によって敏感である可能性が高く、堤体内の地下水位は季節変動や降雨などにより上下し、堤防縦断方向にも変化する場合もある。このため、これらのより合理的な調査法の開発と経済的な耐震診断技術の開発が重要な課題である。

#### 〈参考文献〉

- 1) 河川堤防耐震対策緊急検討委員会：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報告書，2011.
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局治水課：河川構造物の耐震性能照査指針・解説，2012.
- 3) 国土交通省水管理・国土保全局治水課：レベル2地震動に対する河川堤防の耐震点検マニュアル，2012.
- 4) 国土交通省水管理・国土保全局治水課：河川の被災状況及び復旧状況，河川，2011-9, 2011.
- 5) 国土交通省国土技術政策総合研究所、(独)土木研究所：平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震 土木施設災害調査速報、国総研資料第646号、土木研究所資料第4220号，2011.
- 6) 関東地方河川堤防復旧技術等研究会：河川堤防における地震対策の検討とりまとめ，2011.9.
- 7) 国土交通省東北地方整備局、北上川等堤防復旧技術検討会：北上川等堤防復旧技術検討会 報告書，2011.12.
- 8) 谷本俊輔、石原雅規、佐々木哲也：東北地方太平洋沖地震における堤体液状化の要因分析、河川技術論文集，第18巻，2012.6.
- 9) 谷本俊輔、林宏親、石原雅規、増山博之、佐々木哲也：堤体盛土の液状化対策に関する動的遠心力模型実験、第47回地盤工学研究発表会発表講演集、pp. 1349-1350, 2012.7.
- 10) 建設省土木研究所：河川堤防の液状化対策工法設計施工マニュアル(案)、土木研究所資料、No.3513, 1997.
- 11) 国土交通省液状化対策技術検討会議：「液状化対策技術検討会議」検討成果、2011.

# 道路構造物における大規模地震への備えと設計の考え方

## 【Key Word】

土工構造物の耐震設計、傾斜地盤の盛土、地すべり・崖錐上の盛土、軟弱地盤上の盛土、腹付け盛土、横断構造物取付け部

みや たけ ひろ あき  
宮 武 裕 昭\*

## 1. はじめに

本稿では、「道路土工要綱」<sup>1)</sup>、「道路土工-盛土工指針」<sup>2)</sup>、「道路土工-カルバート工指針」<sup>3)</sup>、「道路土工-擁壁工指針」<sup>4)</sup>、「道路土工-軟弱地盤対策工指針」<sup>5)</sup>（以下、道路土工指針と呼ぶ）における地震対策の基本的な考え方を紹介し、その上で、東日本大震災における道路土工構造物の被害を例に土工構造物の地震への備えについて述べる。

## 2. 土工構造物の耐震性の基本的考え方

土工構造物の耐震設計は、想定地震動のレベルと土工構造物の重要度に応じて要求性能を設定し、想定地震動に対する土工構造物の状態が要求性能を満足することを照査することを原則とした。

従来の経験に基づいた標準仕様設計の流れを維持しつつ、性能規定型設計の枠組みを導入している。これに伴い、要求される事項を満足する範囲で従来の規定によらない解析手法、設計方法、材料、構造等を採用する際の基本的考え方を整理して示している。

土工構造物の地震時の安定性を調査や試験、力学的計算の結果に基づいて定量的に評価することは難しく、既往の実績・経験等に照らし合わせ、さらに施工や維持管理の影響も考慮して総合的に判断しなければならないことが多い。土工構造物の設計では経験的技術が重視されてきており、例えば、盛土の標準のり面勾配はその一例である。盛土自体の条件及び盛土周辺の地盤条件等が所定の条件を満たし、かつ適切な排水工の設置及び適切な施工がなされれば、我が国の自然環境のもとで交通に大きな支障となる被害が避けられる基準としてこれまでの実績に基づいて設定されたもの

である。

このような標準仕様による設計法は、地震の影響のみならず、基本的には豪雨の影響も考慮されているものと見ることができる。しかし、土工構造物が崩壊した場合には社会的な影響が大きく復旧が困難な場合や近接して重要な諸施設がある場合等は、各種の調査・試験や安定解析法等によって要求性能に基づいた設計とそれに対応した施工管理、観測施工等により対応することとしている。

そこで、土工構造物の要求性能は、安全性、供用性、修復性の観点から、想定する地震動レベルと重要度に応じて設定することとした。

ここで、要求性能の水準は以下を基本とした。

**性能1**：想定する作用によって土工構造物としての健全性を損なわない性能

**性能2**：想定する作用による損傷が限定的なものにとどまり、土工構造物としての機能の回復が速やかに行いうる性能

**性能3**：想定する作用に対する損傷が土工構造物として致命的とならない性能

重要度の区分は以下のとおりとし、土工構造物が損傷した場合の土工構造物および道路の交通機能への影響と、隣接する施設等に及ぼす影響の重要性を総合的に勘案して定めることとした。

**重要度1**：万一損傷すると交通機能に著しい影響を与える場合、あるいは、隣接する施設に重大な影響を与える場合

**重要度2**：上記以外の場合

土工構造物の要求性能は、想定する地震動レベルと重要度に応じて上記の要求性能の水準から適切に選定することとし、その目安として表1を例示した。

表1に例示した要求性能は、地震動の作用に対する土工構造物の要求性能を一律に設定することは困難な面があること、膨大なストックを有する

\* 独立行政法人土木研究所 地質・地盤研究グループ  
上席研究員（施工技術）

表1 地震動の作用に対する要求性能の例

重要度 想定する作用		重要度 1	重要度 2
地震動の 作用	レベル 1 地震動	性能 1	性能 2
	レベル 2 地震動	性能 2	性能 3

土工構造物の耐震化対策には相応のコストを要すること等を考慮したものである。

重要度1の土工構造物についてはレベル2地震動に対して性能2を要求した。一般に盛土等の土工構造物は橋梁・トンネル等の他の道路構造物と比較して修復性に優れているが、山岳部の高盛土等の早期の復旧が困難な盛土、緊急輸送道路等に設置された盛土のうち構造物取付け部の盛土等の応急復旧により迂回路等の確保が困難な盛土等では、レベル2地震動に対して早期の復旧を可能となる範囲の損傷に留めることが要求される。

設計に当たって、要求する事項を満足するかの判断は、論理的な妥当性を有する方法や実験等による検証された手法、これまでの経験・実績から妥当と見なせる手法等、適切な知見に基づいて行うことを基本とした。従来から多数構築されてきた形式の土工構造物については、慣用的に使用されてきた設計・施工法があり、長年の経験の蓄積により、所定の構造形式や規模の範囲内にあれば所定の性能を確保していると見なせるものとした。道路土工各指針ではこれらの従来からの設計・施工法の位置付けを示している。

地震等に対する土工構造物の安定性は、基礎地盤の処理、盛土材料の品質、締固めの程度、水の処理に極めて強く依存し、特に、地震時の盛土の崩壊事例では、排水処理に問題がある場合が多い。このため、道路土工指針では特に土工構造物の変状・崩壊を誘因別に分類して示している。地震動の作用による盛土の変状としては以下があり、盛土工の実施に当たって常に留意することとしており、経験に依存するところの多い照査方法を補完している。

#### ①傾斜地盤（傾斜地盤、集水地形）上の盛土の崩壊

片切り片盛り等の斜面上に盛土した場合や沢部等の集水地形上の盛土において、地山からの湧水、浸透水、表面水が盛土内に浸透し盛土内の地下水位が高い状態で地震動を受けると、流動的な崩壊を起こすことがある。

#### ②地すべり・崖錐上の盛土の崩壊

基礎地盤が地すべり地のように不安定な場合や、崖錐や崩積土が堆積している場合には、地震時に基礎地盤とともに盛土が崩壊することがある。

#### ③軟弱地盤上の盛土の崩壊

沖積の緩い飽和砂質地盤上に構築された盛土は、地震時に基礎地盤の液状化に伴って大きな被害を生じることが多い。

#### ④腹付け盛土の変状・崩壊

のり面表層部の締固めが不足している場合や、旧盛土の腹付け盛土をした場合には、地震時に表層部分や腹付け部分の沈下・すべり崩壊が起こることがある。

#### ⑤横断構造物取付け部・切り盛り境部の盛土の沈下

地震時にのり面のすべりや崩壊は見られなくても、盛土自体ないし基礎地盤のゆすり込み沈下により、橋梁やカルバート等の横断構造物の取付け部や切り盛り境部に段差が生じ、道路の交通機能に影響を与えることがある。

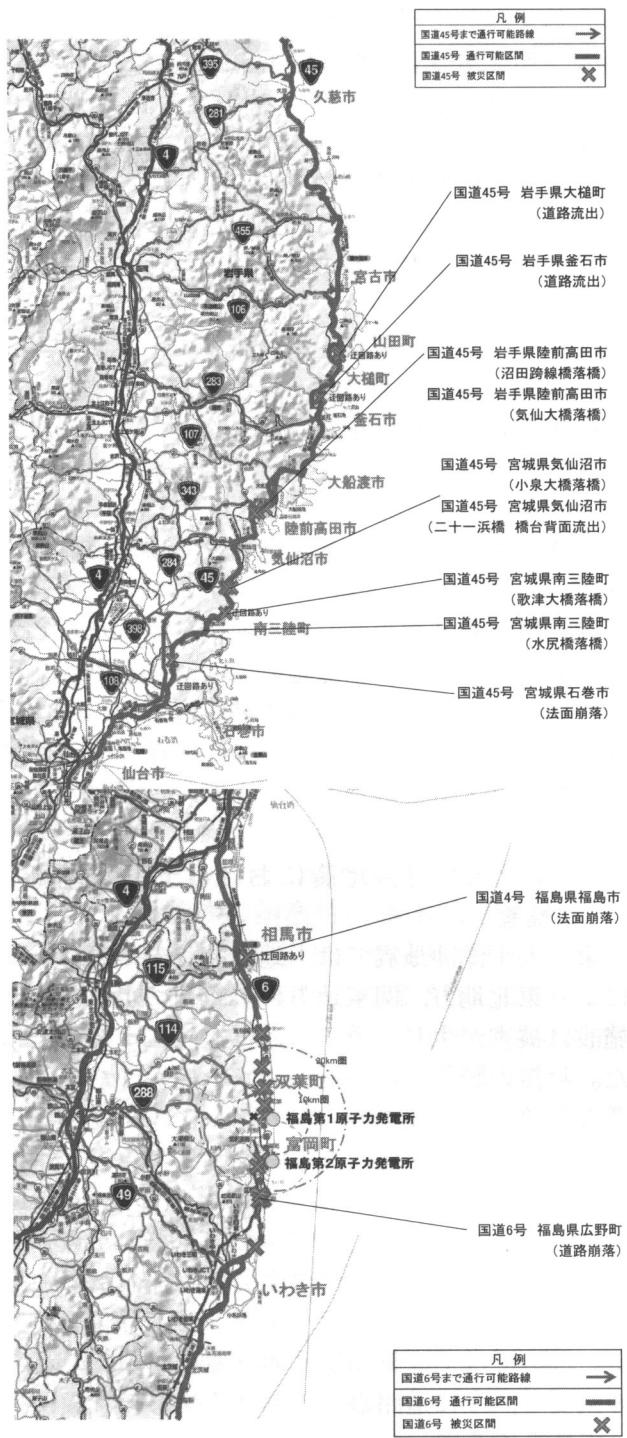
### 3. 東北太平洋沖地震における土工構造物の被害

東北太平洋沖地震では、地震動及び津波の影響により東北地方、関東地方の広範囲にわたり道路施設に被害が生じ、道路の通行機能に支障が生じた。救援の緊急車両や支援物資の輸送のために必要な緊急輸送路の早期確保のために、「くしの歯」作戦に代表される懸命な道路啓開、応急復旧が行われた。震災後の緊急輸送路の確保のためには、道路施設の耐震性向上と震後の応急復旧が重要であり、復旧にあたっては再度災害防止のための被災要因を踏まえた強化復旧を行うことも必要である。ここでは、直轄国道における道路施設の被害の概要と、主に道路盛土における被害の特徴について紹介する。

#### （1）道路の被害の概要

東北太平洋沖地震では、東北地方、関東地方の広範囲にわたり、地震動及び沿岸部においては津波で大きな被害が生じ、高速道路15路線、直轄国道69区間、補助国道102区間、県道等536区間で被災により通行止めとなった<sup>6)</sup>。図1は直轄国道の主な被災状況を示したものである<sup>7)</sup>。通行に大きな支障となった主な道路施設の被害としては、津波による橋梁の流出、橋台背面盛土の流出、地震動による盛土区間及び自然斜面ののり面崩落等である。

道路土工区間の被害としては地震動によるもの



と、津波に起因するものに分類されるが、直轄国道における地震動による主な被害としては、集水地形上の盛土の崩壊、軟弱地盤上の盛土の崩壊、地山の緩んだ斜面の崩壊、道路に隣接する谷埋め盛土の崩壊による道路閉塞であった<sup>8)</sup>。また、橋梁やカルバート等の構造物接続部の段差が多数生じた。構造物取付部の段差については、比較的早期に交通開放が行われているものの、一般盛土部での沈下及び崩壊では、交通開放に1週間程度以上を要した箇所も発生している。自然斜面の崩壊

による通行止めについては、直轄国道では国道45号（宮城県石巻市）で生じた。なお、東京湾岸の埋立地等で広範囲にわたり液状化被害が生じたが、直轄国道においては路面クラックや段差等の軽微な損傷が一部で生じたが、数時間で応急復旧がなされている。

津波による道路土工の被害としては、津波の越流による盛土の流出が生じ、特に橋台取付部の盛土流出の割合が高かった。また、護岸が倒壊に伴い、背面の道路盛土が流出した事例も見られた。

## (2) 道路土工区間の被害の特徴と復旧

道路盛土の地震動による被災箇所のうち代表的な箇所の特徴について紹介する。

直轄国道においては、災害査定の申請対象とされた道路土工被災のなかで、比較的被災規模が大きく、走行性に支障を及ぼす被害が9件見られ、これらのうち8事例が盛土部の被災である。残り1件は自然斜面の崩壊によるものであった。道路盛土の被災形態としては、①水が集まりやすい地形条件で盛土内の水位が高かったことが要因と考えられるもの、②水が集まり安い地形条件で基礎地盤が液状化したと考えられるもの、③平地部の軟弱地盤上の盛土で盛土材自体が液状化したと考えられるもの、④不安定な傾斜地盤上に構築したことが要因と考えられるもの、に大きく分類することができる。以下では、①～④の分類について代表的な被害事例を紹介する。

①水が集まりやすい地形条件で盛土内の水位が高かったことが要因と考えられる被災事例（国道6号福島県双葉郡富岡町）

2004年新潟県中越地震や2007年能登半島地震で多発した集水地形上の盛土の被害は、今回の地震においても発生しており、走行性に支障を及ぼす被害の要因としては最も多かった。

ここ富岡町では、盛土高約17mの沢部を埋めた盛土が、延長約20mに渡り、上下線と不可車線の計3車線を含み崩壊した（写真1）。図2に崩壊箇所の断面図を示す。崩土末端部は盛土のり尻から水平に約50m程度移動していた。被災後の調査結果から、盛土材料は礫まじり砂質土であり、盛土基礎地盤表層には沢の堆積物と考えられる、砂質シルトが堆積していた。崩壊箇所には多量の湧水が見られ、崩土内には地下水位が観測された。水が集まりやすい地形条件で盛土内の水位が高かったことが被災の要因であると考えられる。

②基礎地盤が液状化したと考えられる被災事例（国道6号福島県広野町）

当該箇所は、沼地のある公園沿いの国道盛土で



写真1 被災後の状況 (国道6号福島県双葉郡富岡町) (東北地方整備局)

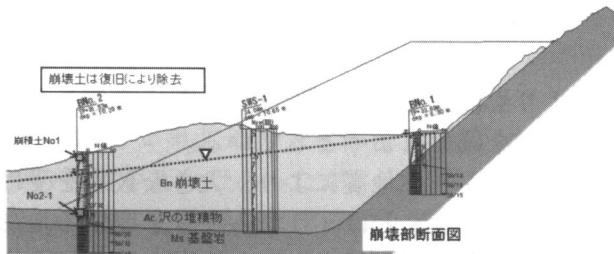


図2 崩壊箇所の断面図 (国道6号福島県双葉郡富岡町) (東北地方整備局)

あり、基礎地盤となる沼地に接する公園造成盛土とともに、道路盛土が延長約70mに渡り崩壊した(写真3、写真4)。盛土高は10m~15m程度である。被災箇所は、元は沼地脇の丘陵部を切土してその前後的小規模な沢を埋めた箇所に構築した4車線の道路で、道路拡幅の際に沼地側のり面に公園造成盛土を基礎地盤として腹付けした盛土部と推察される。また、終点側の元地形は沢地形となっており、一部沢を埋めた盛土となっている。沼に接する盛土の基礎地盤の公園造成盛土は、沼の縁に設けられた柵の移動量から推定すると約20m沼地に向かって側方に流動し、道路盛土の腹付け部が上り線側の2車線を含んで崩落した。

道路盛土内には地下排水工が敷設され、また、のり尻にふとんかごが設置されており、盛土内の排水対策は行われていたようである。ただし、調査時の崩壊箇所の状況を見ると道路盛土内は乾燥しているが、ふとんかごが設置してある盛土部のり尻以深の基礎地盤部はかなり湿っており、盛土の基礎地盤部の水位は常時高かったと考えられる。

図3に被災後の地盤調査結果に基づく崩壊箇所の断面図を示す。道路盛土及び公園造成盛土の盛土材料は細粒分含有率12~25%程度の砂質土で、地下水位は基礎地盤表層付近に観測されている。以上から、沼地に接する道路盛土基礎地盤の公園造成盛土の液状化により基礎地盤が流動した結果、腹付け拡幅部の道路盛土が崩壊したものである。



写真3 被災後の状況 (国道6号福島県広野町) (東北地方整備局)



写真4 被災後の状況 (国道6号福島県広野町)

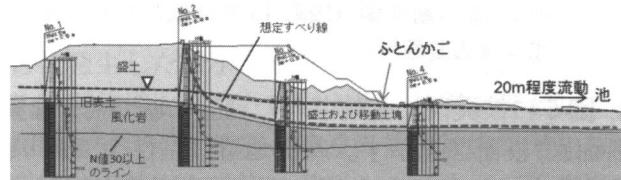


図3 崩壊箇所の断面図 (国道6号福島県広野町) (東北地方整備局)

### ③軟弱な基盤部での拡幅道路のすり付け盛土の被災事例 (国道45号宮城県石巻市鹿又)

当該箇所は軟弱地盤上の平地部盛土で、右折レンーンを設けるためにEPSによる軽量盛土により拡幅した区間が崩壊した(写真5)。基礎地盤が軟弱であるため道路拡幅部は既設盛土のり面上にEPS軽量盛土により構築されており、EPS盛土の基礎となっている盛土のり面がEPS盛土を含めてすべりが崩壊した。盛土の崩壊に伴い、盛土のり尻部の側溝の側壁を押し倒した。盛土前面の民地部のブロック塀や周辺地盤部には目立った変状は認められない。崩壊した区間の前後を含めて盛土の全体的な沈下に伴う路面の沈下が見られる。崩壊部と反対車線側ののり尻部には、腰留め擁壁の傾斜や噴砂痕が見られた。

被災後に地盤調査が行われ、また、復旧にあわせて崩壊箇所のトレンチ調査が行われている。図



写真5 被災後の状況（国道45号（宮城県石巻市鹿又）（東北地方整備局）

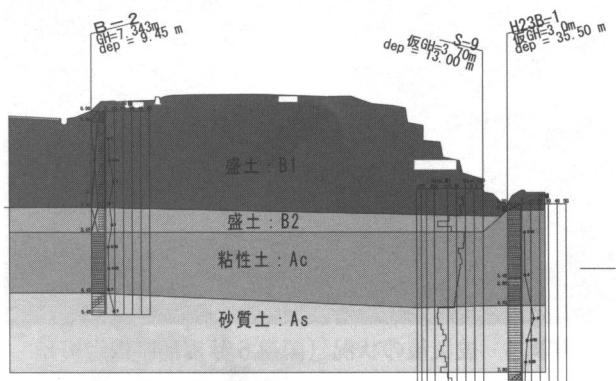


図4 崩壊箇所の断面図（国道45号宮城県石巻市鹿又）（東北地方整備局）

4. 図5に被災後に実施された調査に基づく、地質断面図、縦断図を示す。基礎地盤は粘性土であり、盛土下のサンドマット層と盛土層が基礎地盤にめり込むように分布しており、水位は盛土内に確認された。道路縦断方向については、周辺の未崩壊箇所と比較すると崩壊区間は窪んだ地形で、厚いサンドマット層が盛土下に確認されている。これらの状況から、地下水位以下のサンドマット層及び盛土部が液状化したことにより、崩壊が生じたものと推定される。なお、今回の地震においては、粘性土地盤上の河川堤防において堤体自体の液状化による被害が多発している<sup>8)</sup>、本事例はこれらと同様のメカニズムによるものと考えられる。

#### 4.まとめ

道路土工の大規模地震に対する考え方は、想定する地震動のレベルと土工構造物の重要度に応じて要求性能を設定し、想定する地震動に対する構造物の状態が要求性能を満足することを照査することにより行うことを原則としているものの、照査方法に従来の経験に基づく仕様設計の考え方を取り入れている。その結果として、具体的な照査

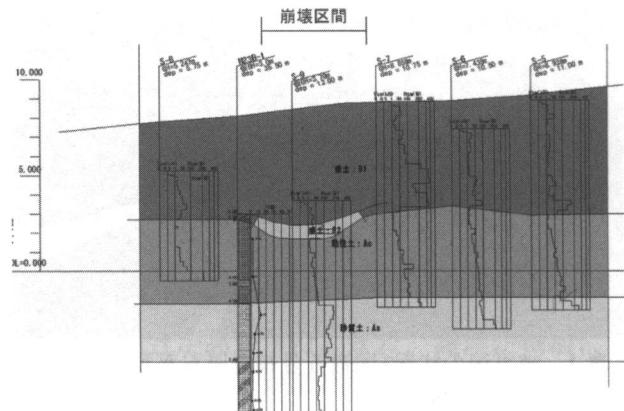


図5 崩壊箇所の縦断図（国道45号宮城県石巻市鹿又）（東北地方整備局）

方法よりも注意を要する地形等を明示することで耐震性能を確保しようとしている。

東日本太平洋沖地震により、大きな被害を受けた構造物のほとんどは、これら注意を要する地形における、ある程度想定された形態の被害であったといえる。本稿で紹介した事例では復旧にもかなりの時間を要したが、それ以外の事例では速やかな復旧による早期の交通解放がなされており、現在の基準において特に挙げられている地形要件などに十分な配慮をすることで、レベル2地震動に対しても性能2を達成していると考えられる。

道路土工指針は、本年度にすべての指針の改訂を終えたが、その大規模地震に関する考え方は東日本太平洋沖地震に対しても有効なものであったと考えることができる。

#### 〈参考文献〉

- 1) (社)日本道路協会：道路土工要綱, 2009.
- 2) (社)日本道路協会：道路土工-盛土工指針, 2010.
- 3) (社)日本道路協会：道路土工-カルバート工指針, 2010.
- 4) (社)日本道路協会：道路土工-擁壁工指針, 2012.
- 5) (社)日本道路協会：道路土工-軟弱地盤対策工指針, 2012.
- 6) 国土交通省道路局：東北地方太平洋沖地震における道路の被災状況について, 2011.  
(<http://www.mlit.go.jp/road/bosai/20110404/pdf/1.pdf>)
- 7) 東北地方整備局：「東日本大震災と道路」パネル展～救急・救助のための緊急輸送路確保～  
([http://www.thr.mlit.go.jp/road/jisinkannrenjouhou\\_110311/panel/pdf/panel.pdf](http://www.thr.mlit.go.jp/road/jisinkannrenjouhou_110311/panel/pdf/panel.pdf))
- 8) 国土技術政策総合研究所, (独)土木研究所：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震土木施設災害調査速報, 国総研資料第646号, 土木研究所資料第4220号, 2011.

# 港湾、海岸保全施設における大規模地震・津波への備えと設計の考え方

すが の たか ひろ  
菅 野 高 弘\*

## 【Key Word】

地震と津波の複合被害、減災、性能設計、性能照査

## 1. 地震と津波による被害<sup>1)</sup>

平成23年東北地方太平洋沖地震においては津波の被害が甚大であったが、大規模な断層運動に伴い発生した地震動と津波の両者が作用し被害が生じたものと考えられる。岩盤や地盤を媒体として伝播する地震動は、硬い岩盤では7km/s程度の速度に対して、津波の場合水深に依存し $v=\sqrt{g \times h}$  (g:重力加速度, h:水深), 例えば水深4000mとすると約200m/sとなる。このため、多くの地点で地震動が作用した後に津波が作用することになる。東北地方から関東地方にかけて広域で被害が発生しているが、津波については岩手県と宮城県の県境を中心として北は宮古、南は相馬付近で特に高く10m以上の痕跡高となっている。三陸地方の海岸保全施設は、主に明治三陸津波(1896年)を既往最大として整備が進められていることが多いが、岩手県南部より南の地域では、約2倍近くの痕跡高が観測された。一方、地震動による被害については、地震規模が大きかったことから地震動の継続時間として数分から3分間程度作用し施設に被害が発生している。

## 2. 地震と津波による被害

### 2.1 被害要因の整理

地震動による被害の原因として、

- a) 大きな加速度が作用することによる被害
- b) 構造物の固有周期と地震動の卓越周期が近いことによる共振に起因する大きな応答加速度が作用することによる被害
- c) 繰返し作用する地震動による構造物を構成する部材、材料の劣化による被害

などが考えられる。一方、津波による被害の要因

としては、

- d) 津波波力による構造全体あるいは部材被害
- e) 流れによる基礎部などの洗掘被害
- f) 浮力作用による被害
- g) 漂流物の衝突による被害
- h) 水位急変に伴う地盤の過剰間隙水圧の上昇による被害

が挙げられる。

各々の現象は従来から確認されているが、実際の被害は、ある一つの要因による被害では無く、複数の要因が複雑に絡み合った被害が発生しているものと考えられる。例えば、地震動によって部材に発生した微小クラックが、津波時に水圧破碎する可能性がゼロとは言えず、地震被害としては軽微な被害が、地震と津波の複合被害を考える場合には、甚大な被害に発展する可能性が否定出来ないものと考えられる。

### 2.2 地震と津波の複合被害の概要<sup>1)</sup>

港湾施設の主要な施設の一つとして、「岸壁」が挙げられる。岸壁は海と陸の境界を形成し、対象船舶に応じて設計水深が異なるが、船舶の接岸のため直立壁であり、抗土圧構造物であることが特徴と言える。

既往の地震動のみによる被害（津波が発生しなかった地震あるいは津波高が比較的小さかった地震）の特徴としては、岸壁のはらみ出し、背後地盤の沈下が挙げられる。はらみ出しについては、岸壁端部の変位量が岸壁中央部と比較して小さく、緩やかな弧を描くことが多い。はらみ出し量と調和的に背後地盤の沈下量が大きくなる傾向にある。同一の断面構造を有することから、背後地盤や基礎地盤の土質が均一であればこの様な形態となることが多い。地震動により損傷が発生した施設に、津波が作用すると、津波により液状化の痕跡が消失、地震動によるクラックが津波作用に

\* 独立行政法人 港湾空港技術研究所 特別研究官（地震防災研究担当）

より増大、津波の流れや波圧による構造破壊が生じることから、地震・津波作用後の現地調査による地震と津波の複合的な被災を分析することは困難である。

八戸港、久慈港においては、地震動による被害は確認されず、津波による漂流物が港湾荷役施設（コンテナクレーン、アンローダー等）に損傷を与えたものが確認された。釜石港、大船渡港においても、津波被害は大きなものであったが、地震動に起因する被害としては、ケーソン背後において数センチ程度の段差が発生したものが挙げられる程度である。

石巻港においては、津波被害が顕著であり地震動による被害を特定することは困難である。岸壁法線の直線性が保たれている施設が多いことから大規模な液状化が発生した可能性は低いと考えられるが、一部荷捌きヤード部（写真1）で沈下・舗装の損傷・舗装のめくれが確認された。舗装が健全な部分では大きな変状は確認されないことから、地震前から舗装に何らかの損傷があった部分が、津波によって舗装版がめくれ上がり、路盤・路床部が洗掘され損傷したものと考えられる。舗装が健全であれば構造物としての被害程度は小さかったものと考えられる。



写真1 被災したエプロン舗装の変状（石巻港）

相馬港における施設被害として、1号ふ頭において、鋼矢板岸壁（-5.5 m）の法線の直線性は確保されているが、写真2に示すように隅角部において矢板継手が破損し開口しており、土砂の流失、エプロン舗装版に亀裂、沈下がみられる。一般的に地震のみによる被害の場合は、潮位変動に伴う土砂の吸い出し現象によって、背後のエプロン部に損傷・沈下が発生するが、当該施設では津波作用も大きく影響しているものと考えられる。破損範囲は隅角部から  $28\text{ m} \times 17\text{ m}$  の三角形の形状を示しており、陥没量は 1.7 m 程度である。地震時に裏埋土に液状化が生じ開口した可能性が大きい

が、その後の津波の作用により洗掘が生じたため大規模な変状となったものと想定される。鋼矢板岸壁（-7.5 m）の全長 390 m のうち、約 140 m 区間で緩やかに矢板がはらみ出しているが、一ヵ所だけで矢板継手が破損しており開口（写真3）している。開口部より裏埋土が流失しており、幅 30 m  $\times$  15 m の範囲で舗装版が破損、最大 2.8 m 程度陥没している。当該地点においてタイ材（タイワイヤー）の破断が確認されているが、他の部分の被災程度が軽微であるため船舶の接岸、荷役が可能であり、従来の地震動のみによる被災と異なった事象である。地震時に液状化が発生し、舗装面に損傷が発生したことが想定されるが、これに津

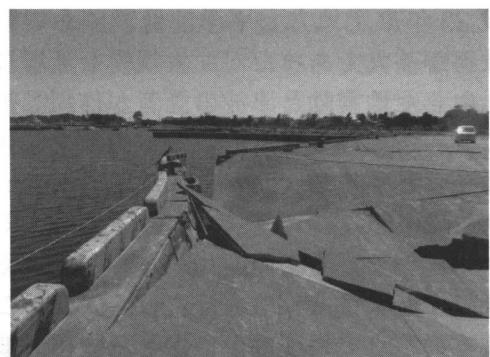


写真2 矢板岸壁（1号ふ頭）隅角部（相馬港）



写真3 矢板岸壁（1号ふ頭）直線部分（相馬港）

波の作用が加わり被害程度を大きくしたものと考えられる。例えば、排水口が開口していた場合、排水口から流入した津波による管路破壊によって舗装が損傷する可能性なども否定できない。2号ふ頭においても同様の被害が発生している。

3号ふ頭は、現在整備中であり、津波作用によりパラペットや上部工が転倒・破損・陸側に移動している。また、隅角部のケーソン1函が海中に移動（写真4）している。津波が当該構造物周辺で大きく流れを変えることから基礎部（基礎地盤および捨石）が洗掘を受け、不安定な状態になっ



写真4 隅角部ケーソンの倒壊

たものと想定される。さらに引き波時に基礎部の洗掘が発生する可能性があり、発生引き波時あるいは余震時に大きく移動・転倒したものと考えられる。

5号ふ頭は、相馬共同火力発電所の専用施設であり、十分な調査は出来なかつたが、地震時に石炭運搬船が2隻接岸しており1隻が荷役中であつた。連続式アンローダー2機が石炭運搬船の船倉内から石炭を揚炭中であった。他の1隻は接岸中ではあったが、荷役作業は実施していなかつた。強震動に伴い荷役機械オペレータが避難、津波警報発令後に石炭運搬船が離岸作業を開始したが、津波による水位上昇に伴い石炭運搬船が浮き上がつたため、右側2機のアンローダーの揚炭部が引きちぎられ船倉内に落下、アンローダー本体は陸側に倒れ込み、本来水平であったブームが鉛直になつた状態となつてゐる。揚炭部を船倉に積んだまま、当該船舶は沖合に避難できたことである。他の接岸中の石炭運搬船は陸側に流されて座礁、船体が破損している。この様な事例は、茨城県内の港湾においても発生している。船舶、荷役機械、港湾施設の地震及び津波時の緊急対応については人命優先ではあるが、迅速な復旧のためにアンローダーの休止姿勢への自動制御などの技術開発が望まれる。

小名浜港においても、相馬港と同様に隅角部の被害が発生している。3号ふ頭では大規模な液状化現象が発生して荷役機械レール部（杭基礎）とエプロン部に段差が発生した。大剣ふ頭のケーソン式岸壁（-10m）コンテナバースでは、法線の直線性は概ね保たれており、最大20cm程度はらみ出している。海側レール基礎とエプロンの境界部に亀裂が認められ、エプロン舗装版（無筋コンクリート）がケーソン肩を中心として背後が沈下したため、境界部で浮き上がりが生じている。陸側レールが支持層に根入れされた直杭基礎であることから、エプロン海側・陸側に段差が生じてい

る。コンテナクレーンの海側脚が変形していることからレールスパンが拡大していると考えられる。

茨城県内の港湾においても、相馬港・小名浜港と同様の被害形態となっている。例えば、茨城港日立港区のケーソン式岸壁の隅角部が大きく損傷を受けている。これらの原因も、地震時に若干海側へ移動したケーソンに対して、港内に侵入した津波の強い流れによって基礎部（捨石マウンドおよび基礎地盤）が洗掘され不安定になったために



写真5 北埠頭重力式岸壁（-12 m）レールの湾曲

ケーソンが転倒したものと考えられる。茨城港常陸那珂港区においては、写真5に示すようにケーソン式岸壁に設置されたコンテナクレーンレールがケーソンブロック毎の変位差により屈曲した。ケーソン式岸壁のはらみ出し量の出入りとして見ると、10cm程度の凸凹であり、軽微な被害と判断できコンテナクレーンを用いない緊急物資輸送用の船舶の接岸・荷役であれば当該岸壁は供用可能である。一方、コンテナクレーンを用いた荷役を実施することは難しい。この様に、各施設に求められる要求性能の観点から、今回の被害の見直しが必要と考えられる。

### 3. 復旧および今後の耐震・耐津波設計へ向けて

#### 3.1 被害調査から何を学ぶべきか

今回の地震・津波では、防波堤等の防護構造物の設計における作用外力よりも大きな外力が作用し、構造物を損傷した。さらに、高い津波が構造物を大規模に越流し、基礎地盤などを洗掘し構造物の安定性を減少させた。しかし、被災した防波堤であっても、背後地域における津波被害を一定程度であるが低減する効果<sup>1)</sup>（減災）が認められた。現行の設計思想は、性能設計であり、目的、要求性能、性能規定、性能照査の4階層のプロセスを経るものである。現時点では、設計対象施設

表1 耐震設計と耐津波設計の概念

作用	定義	施設整備の目標（要求性能）	備考
レベル1 地震動	施設の設置地点において供用期間中に発生する可能性の高い地震動	軽微な修復を行うことにより速やかに機能が発揮できるようにしたい（使用性）	港湾の施設の技術上の基準・同解説 <sup>2)</sup> （ハード中心）
レベル2 地震動	施設の設置地点において発生が想定される最大規模の地震動	ある程度の修復が必要となるが、比較的短期間のうちに機能を再び発揮することが可能にしたい（修復性）	港湾の施設の技術上の基準・同解説 <sup>2)</sup> （ハード中心、一部復旧資機材準備等のソフト対策）
発生頻度の高い津波の波源域を震源とする地震動	想定する津波に先行して施設に到達する地震動	耐津波設計において求められる要求性能を、対象施設が発揮できる程度の損傷程度（使用性）	設定手法は、港湾の施設の技術上の基準・同解説 <sup>2)</sup> に準拠（私見）
最大級の津波の波源域を震源とする地震動			
破壊にいたる地震動	施設の破壊過程を確認するための地震動	施設の損傷程度について、使用性～修復性～破壊にいたる過程を設計者が把握し、説明する	私見
発生頻度の高い津波	施設の供用期間や社会経済的な観点を考慮し、その地点において概ね数十年から百數十年に一回程度発生する規模の津波	・人命を守りたい ・財産を守りたい ・経済活動を継続させたい	中央防災会議 防災（私見） (ハード・ソフト・多重防護)
最大級の津波	施設の設置地点において概ね数百年から先年に一回程度の頻度で発生する規模の津波	・人命を守りたい ・経済損失を軽減したい ・大きな二次災害を防止したい ・施設の早期復旧を図りたい	中央防災会議 減災（私見） (ハード・ソフト・多重防護)
破壊にいたる津波	施設の破壊過程を確認するための津波	施設の損傷程度について、使用性～修復性～破壊にいたる過程を設計者が把握し、説明する	私見

に求められる「目的」については概ね検討が進んでいるものと考えられる。例えば、耐震強化岸壁であれば、大規模地震直後に船舶の接岸、係留、荷役が出来る事が「目的」となる。「要求性能」については、レベル1 地震動に対して使用性、レベル2 地震動に対して使用性が求められる場合と修復性が求められる場合がある。

「性能規定」については、要求性能を工学的な指標に翻訳する必要があり、例えば岸壁法線の変位が30 cm 以下等の数値を設定することになる。「性能照査」については、精度の確認された手法（模型実験や数値解析）によって、性能規定を満足することを照査することになる。耐震設計に関しては、平成7年兵庫県南部地震以降、約15年間に精力的な検討、技術開発が実施され実務に定着しつつある。

地震と津波の複合被害については、現象把握すら十分では無い技術レベルと考えられる。一方、平成23年東北地方太平洋沖地震・津波によって被災した施設の復旧は急務であり、かつ、今後発生する可能性が大きい東海・東南海・南海地震などの巨大地震および津波に対する対策も急務である。性能設計体系の流れにおいて、「目的」部分については、国民・行政・技術者・研究者らの概ねの合意は取れているものと考えられるが、今後、現象把握、現象把握に基づく対策の提案、被災調査に基づく要求性能および性能規定の整理、実務精度を確保した実験技術、シミュレーション技術開発などを進めながら、現地の復旧を実施していく必要があるものと考えられる。

### 3.2 設計の考え方（私見）

本稿執筆段階では、オーソライズされた設計の考え方が全て固まっていないことから、著者の私見として設計の考え方を整理している。

海底地滑りや岩盤崩落・氷河の崩落・隕石等を除いて、海底の断層運動により地震が発生し、津波も発生することが多く、地震動と津波の複合的な作用を考慮する必要がある。

ここで、地震と津波について表1のように整理をしてみた。設計対象施設に応じて、作用の組合せを考える必要があるが、耐震設計の部分については平成7年兵庫県南部地震以降にレベル1、レベル2 地震動という2段階の入力地震動を用いた耐震性能設計が実務的には確立している。耐震設計は主にハード面を中心として照査技術も実務上の精度を確保できるようになってきている。一方、耐津波設計については現在様々な機関で議論がなされている最中であるが、耐震設計とは異なりハードとソフトを組合せ、かつ多重防護の思想で構築されつつある。

作用の組合せについて、例えば、特定：緊急物資輸送を目的とした耐震強化施設の耐震設計であれば、レベル2 地震動と最大級の津波を考慮することになるものと考えられる。例えば、耐震強化岸壁の設計においては、レベル2 地震動作用時に修復性が求められる。設計対象施設にレベル2 の照査用地震動を作用させ損傷の程度を確認し、修復性が確保されるか検討することになる。この場合、修復性が確保されるまで設計断面を調整する作業となり、設計が終了する。

**表1**における「最大級の津波」部分の要求性能として、「施設の早期復旧をはかりたい」と記してきるが、例えば、設計対象施設を防波堤と仮定した場合に、地震および津波が作用した後に、早期復旧を実現するためには港内の静穏度の確保が必要となることから、発災後に所定の堤体高が保たれている必要があるということになる。また、**表1**に敢えて付け加えた「想定を越えた地震動」という作用については、例えば、レベル2地震動作用時に想定した損傷レベルに留まることを確認した時点で設計を終了するのではなく、入力地震動を大きくし対象施設が破壊するまでの過程を、設計者が把握しておくことが必要かもしれないとの思いである。

耐津波設計に関しては、現時点での使用性・修復性・安全性といった用語の定義が難しく、かつ、洗掘現象等を考慮できる性能照査手法や、地震動との複合作用に関する知見が少ないことが課題と考えられる。**表1**のなかで、破壊に至る地震等および津波については、設計担当者が、設計対象施設の終局状態を把握した上で、要求性能を満足した施設を設計し、万一設計条件を上回る作用（地震や津波）による施設の崩壊が発生した場合について、説明責任を果たすべきとの筆者の思いである。

#### 4. おわりに

平成23年東北地方太平洋沖地震による地震と

津波被害は甚大であった。青森県・岩手県の港湾においては、地震動の特性からも港湾施設が被害を受け易い周波数帯（0.3 Hz～1.0 Hz程度）と比較して比較的短周期成分が卓越したため、地震動による被害程度は小さかったものと考えられる。一方、宮城県・福島県・茨城県の港湾施設では液状化現象の発生が確認されており、施設被害が大きかった。また、過去の地震動のみによる被害形態と比較して、異なった被害形態（隅角部、バース全長の一部のみの被害等）が確認され、地震動が作用した後に津波が作用した複合的な被害と考えられる。すなわち、土砂等の洗掘や流出に伴う施設の不安定化、さらに、津波の波圧や圧力差など流体に起因する被害が発生したものと想定される。個々の現象は従来から確認されたものであるが、これらの現象が複合的に作用した場合の被害程度の評価が課題と考えられる

性能設計体系での整理が重要であり、性能規定、照査において定量的な取り扱いが必要となるため、現象把握に基づく地震と津波の複合的な損傷過程の解明、調査、研究、技術開発が急務と考えられる。

#### 参考文献

- 1) 高橋重雄他：2011年東日本大震災による港湾・海岸・空港の地震・津波被害に関する調査速報、港湾空港技術研究所資料、No.1231, 2011年, 200 p.
- 2) 国土交通省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説、日本港湾協会、2007年。

# 鉄道構造物の耐震設計基準の改訂とその考え方

## 【Key Word】

耐震設計、鉄道構造物、性能照査、構造計画、危機耐性

むろ の よし たか  
室 野 剛 隆\*

## 1. はじめに

従来の「鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計）」（以下、平成11年標準）は、平成7年の兵庫県南部地震の際に生じた鉄道構造物の大被害を契機にとりまとめられたものである。その後、急速に整備された地震観測網により多数の強震動が記録されるとともに、地震工学分野の研究は大きく進展した。さらに、鉄道の技術基準は、平成13年12月に発出された『鉄道に関する技術上の基準の定める省令（国土交通省令第151号）』（以下、技術基準省令）により、仕様規定から性能規定化された。これらを受け、平成17年度より「耐震設計標準に関する委員会（委員長：佐藤忠信・神戸学院大教授）」において耐震標準の改訂に関する審議を重ね、平成23年春の時点では成案が得られていた。そのような中、平成23年3月11日に東北地方太平洋沖地震が発生した。この地震は、従来の耐震標準では想定もしていない巨大な地震であったことから、「鉄道構造物耐震基準検討委員会（委員長：佐藤忠信・神戸学院大教授）」を発足させ、この地震に対する耐震標準の適用性について検証した。以上の経緯を経て、平成24年7月に国土交通省鉄道局より技術基準省令の解釈基準として規定されている「鉄道構造物等設計標準（耐震設計）」が改訂され、更に、新しい「鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計）」<sup>1)</sup>（以下、改訂耐震標準）がこの度刊行されたので、その骨子について報告する。

## 2. 改訂のポイント

### 2.1 性能照査型設計への移行

技術基準省令が性能規定化に移行するとともに、関連する国際基準が性能設計に移行する中で、

耐震標準も性能規定化に対応することとした。性能照査型設計へ移行することによる意義は以下の通りである。

#### ①国際標準への適合

耐震設計に関する国際基準としては、ISO2394等があるが、特に重要なのはISO23469「構造物の設計の基本—地盤基礎構造物の設計に用いる地震作用」である。ISO23469は、「経験豊かな」設計技術者および基準策定関係者が地盤基礎構造物の設計に用いる地震作用を定める際に遵守すべき指針の体系を示したもので、いわば、codes for code writersとして書かれたものである。今回の改訂により、これら国際標準との整合性を確保した。

#### ②柔軟な対応

性能のみを規定化する体系では、これまでの仕様に捉われず、自由な発想で設計が可能となる。そのため、新技術の導入に対して柔軟な対応が可能となる。また、これにより、コストダウンやより性能の高い新技術の開発へのインセンティブとなることが期待される。

### 2.2 地震動の見直し

土木学会の第3次提言を受けて、L2地震動の定義を見直した。また、平成11年標準以降、急速に発展した強震観測網により、多数の地震記録が得られており、これらを使うことにより、設計地震動の標準スペクトルを見直した。なお、東北地方太平洋沖地震への対応は後述する。

### 2.3 応答値算定法・照査法の高度化

応答値算定方法として、一体型モデルによる動的解析法と分離型モデルによる静的解析法を標準的な手法として位置づけた。それぞれについて、近年の成果を参考にしつつ、応答値の算定方法の高度化を図った。

特に、動的相互作用問題として、慣性相互作用

\*（公財）鉄道総合技術研究所 耐震構造研究室 室長

の他に、幾何学的相互作用を重視した。例えば、原則として深い基礎に関しては、地盤種別によらず地盤変位による強制変形を地震作用として考慮した。また、幾何学的相互作用による入力損失効果についても考慮した。

#### 2.4 新しい性能照査方法への取組み

限界状態設計法によらない、新しい指標を用いた照査方法の可能性についても言及した。これは土木学会地震工学委員会でも提唱されているもので、復旧性については、初期建設コストと設計耐用期間における地震後の復旧コストと間接被害の期待値の和、すなわちトータルコストを最小化することを照査指標としたものである。

#### 2.5 地震随伴事象や危機耐性への配慮

東北地方太平洋沖地震では、設計地震動を越えたとしても、そのことが構造体またはシステムとしてのカタストロフィックな被害に直結させないことの重要性を学んだ。この点については、構造計画の段階で十分な配慮をすることとした。

また、地震動以外に地震に付随して発生し得る地震随伴事象に対しては、未解明な部分も多く設計手法も確立していないことから、性能を定めて照査をする対象とせず、線路計画を含めて構造計画の段階で適切に配慮することとした。

### 3. 内容

#### 3.1 性能照査の方法

構造物の性能照査においては、使用目的に応じた要求性能を設定し、適切な照査指標を用いて要求性能を満足することを照査するものとした。地震時における要求性能は安全性について設定し、重要度の高い構造物については復旧性についても設定することとした。

安全性は、想定される作用のもとで、構造物が使用者や周辺の人の生命を脅かさないための性能で、構造物の構造体としての安全性と機能上の安全性を考慮した。この性能は全ての構造物に対して要求される。

構造体としての安全性は、L2 地震動に対して、構造物全体系が崩壊しないための性能とする。機能上の安全性は、車両が脱線に至る可能性をできるだけ低減するための性能で、少なくとも L1 地震動に対して構造物の変位を走行安全上定まる一定値以内に留めるための性能とする。

復旧性は、構造物周辺の環境状況を考慮し、想定される地震動に対して、構造物の修復の難易度から定まる損傷等を一定の範囲内に留めることにより、短期間で機能回復できる状態に保つための

性能である。

なお、重要度の高い構造物とは、新幹線鉄道および大都市旅客鉄道の構造物、または開削トンネル等の被害が生じた場合に復旧が困難な構造物である。

安全性のうち、構造安全性は L2 地震動に対して、機能上の安全性は L1 地震に対して確保するものとする。以上をまとめると表 1 のようになる。

表 1 鉄道構造物の地震時の要求性能

性能	地震動	内容	適用
安全性	L2 地震動	崩壊防止	全て
	L1 地震動	走行安全に係る変位	全て
復旧性	復旧性照査地震動	修復性	重要度の高い構造物

#### 3.2 設計地震動

設計地震動は、平成 11 年標準と同様に 2 つの地震動を考えることとし、以下のように定義した。なお、設計地震動は耐震設計上の基盤面上で定義した。

● L1 地震動：設計耐用期間中に数回程度発生する確率を有する地震動

● L2 地震動：建設地点で想定される最大級の地震動

L2 地震動については、ISO23469 および土木学会の第 3 次提言を受け、定義を見直した。L2 地震動については、近年では、揺れの予測に必要なパラメータが順番に与えられ、同じ情報から誰がやっても一定の信頼ある予測結果が得られるような工夫（レシピ）がなされている。このような現状を踏まえ、鉄道構造物の耐震設計でも、L2 地震動の設定においては、この手法を用いて個別に地震動を設定することを基本とした。ただし、詳細な検討を必要としない場合（近傍に大規模な震源断層が存在しない地域や深層地盤構造による地震動の増幅が著しく大きいと判断されない地域）については、設計の便を考えて標準地震動（スペクトル I と II）も用意した。

L2 地震動の標準応答スペクトルは、海溝型地震を想定したスペクトル I ( $M_w = 8.0$ , 断層最短距離 60 km) と内陸活断層を想定したスペクトル II ( $M_w = 7.0$ , 直下) を設定した<sup>2)</sup>。また、急速に発展した強震観測網により、多数の地震記録が得られており、これらを使うことにより、L2 地震動の標準スペクトルを見直した。具体的には、上記のマグニチュード  $M$  と震源距離  $R$  になるように

補正した観測記録群に対して非超過確率が90%になるように設定した。

図1にスペクトルIIの標準スペクトル（耐震設計上の基盤面）の平成11年標準と改訂耐震標準との対比を示す。なお、復旧性照査地震については、当面は図1に示すスペクトルII地震で代用することとしている。

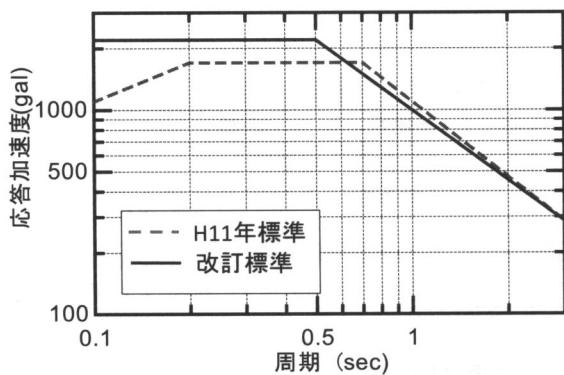


図1 L2 地震動の標準スペクトル（スペクトルII）

### 3.3 応答値の算定

#### ①地盤の挙動評価

設計地震動に対する地盤の挙動評価は「地点依存の地盤応答解析」によるものとした。地盤応答解析法としては、「動的解析法」を基本とした。ただし、詳細な検討が必要な場合には、実務的な手法として「簡易法」を提示した。

動的解析法による場合、注意を要するのが土の非線形特性のモデル化である。従来は、土の非線形モデルにMasing則を用いることが多く、せん断ひずみとともに、土のせん断応力 $\tau$ ～せん断ひずみ $\gamma$ 関係が紡錘型からスリップ状に変化する特徴を表現できなかったが、改良Masing則を用いることにより上記の特性を表現できる実用的なモデルを提案した<sup>3)</sup>。これにより、小さいひずみか

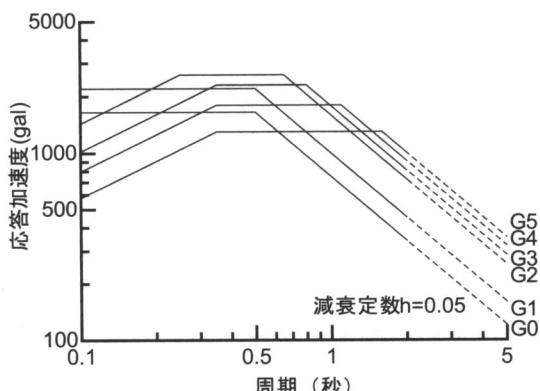


図2 地表面地震動の標準スペクトル  
(L2 地震動・スペクトルII)

ら大きなひずみレベルまで地盤挙動を評価できるようにした。また、本モデルに用いるパラメータを標準化し<sup>3)</sup>、設計実務での適用性を高めた。

簡易法では、地盤の固有周期に応じて地盤をG0～G7地盤に分類し、各地盤毎に地表面設計地震動（標準スペクトル）を設定した（図2）。なお、G6地盤、G7地盤については、超軟弱地盤に相当するので、簡易法の適用外とし、標準スペクトルは示さなかった。

#### ②構造物の応答評価

応答値算定方法として、一体型モデルによる動的解析法と分離型モデルによる静的解析法を標準的な手法として位置づけた。

動的解析では、図3に示すように構造物系と地盤系を並列し、それを相互作用ばねで連結したモデルを標準モデルとした。なお、地盤系は自由地盤を表現したものであり、構造物の存在による影響を受けないように、フーチング面積の100倍程度の広さを有する土柱としてモデル化している。

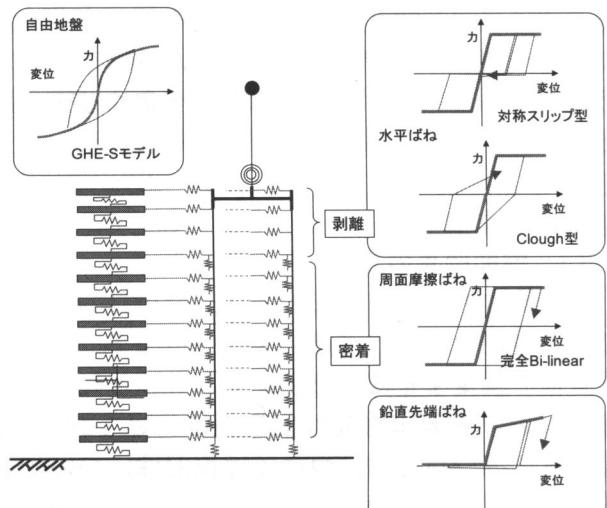


図3 橋梁・高架橋の一体型モデルの標準的な例

静的解析法では、非線形応答スペクトル法を標準的な方法として位置づけた。非線形応答スペクトル法を用いる場合には、構造物全体系の降伏点と骨格曲線をどのように定義するかが重要である。そこで、種々の構造形式について詳細な検討を行った結果、これまで慣用的に用いられているような、初降伏点を構造物全体系の降伏点と考える方法では、適用に限界があることが分かった。そこで、非線形応答スペクトル法で応答値を算定する場合は、荷重～変位曲線上の明確な折れ曲り点を構造物全体系の降伏点として定義（図4）することにより、合理的に応答値を評価できるよう

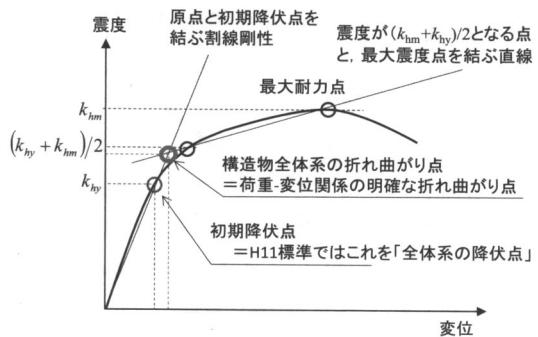


図4 非線形スペクトル法に用いる降伏点の定義

になった<sup>4)</sup>。

また、鉄道構造物の設計では、従来から地震時に慣性力（慣性相互作用）だけでなく、地盤変位によって基礎に応力が発生（幾何学的相互作用）することにも着目しており、その影響は応答変位法により評価している。ただし、平成11年標準では、応答変位法は地盤変位が大きくなるG4地盤以上にのみ適用が義務付けられていた。しかし、各種条件下での解析を行ったところ、実際には慣性力と地盤変位の相対的な大小関係で、どちらの相互作用の影響が大きいかが決定されることが分かった<sup>5)</sup>。例えば、免震橋梁や降伏耐力が低いラーメン高架橋などでは、良好な地盤中に建設されていても、上部工からの慣性力が低減される分、基礎の応力は地盤変位による応力が支配的となる。そこで、全ての深い基礎に関して、地盤変位による影響を考慮した。

このことは、性能規定型の設計体系ではとても重要なことであり、例えば、技術開発が大きく進展した場合に、非常に優れた免震工法や制振工法が開発される可能性があり、慣性力による寄与だけを考慮する設計では、基礎の応力を過小評価する危険性があるからである。従来の固定観念にとらわれず、実際に作用する荷重は、設計に陽な形で取り入れることが性能設計では重要である。

### 3.4 性能照査

#### ①安全性

性能照査は、限界状態設計法を基本とした。構造体としての安全性は、L2地震動に対して構造物全体系が破壊しないことを照査するものとする。一般に、「破壊」および「安定」に関して照査する。

単柱式橋脚のような静定構造物の場合は、脚柱の破壊と構造物の破壊は等価であり、部材の破壊が構造物の破壊となる。一方、構造物が複数の構造要素で構成されている不静定構造物の場合、構

造物全体系が破壊しないことに対する照査は、一部の構造要素が破壊しても構造物全体として破壊しないことを照査すればよい。しかし、耐震標準では、構造物の破壊を安全側に照査するために、構造物を構成する部材のいずれか一つが破壊の限界状態に至った場合を構造物の破壊と等価なものと仮定し、部材破壊の限界状態を照査することによって構造物の破壊の照査とした。部材の損傷レベルを定義し、各レベル毎に限界値を設定した(図5参照)。

また、基礎の安定に関しては、地震作用により基礎が構造物を支持できなくなり、構造物全体系での破壊に至ることがないことを照査するものとする。安定レベルを定義し、安定レベルごとに限界値を設定した。

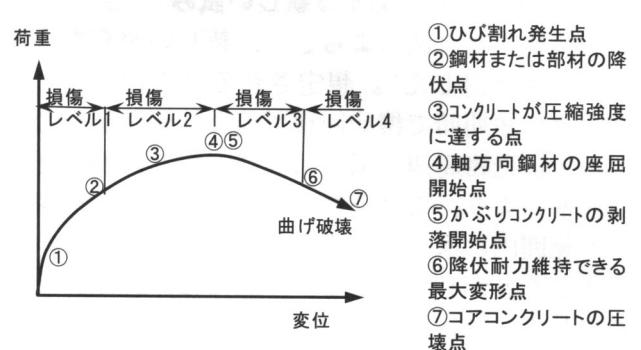


図5 RC部材の損傷レベルの概念図

#### ②復旧性

復旧性については、損傷した構造物への進入路の確保や、高架橋下等の構造物周辺の利用状況等により大きな影響を受けるので、これらの構造物周辺の環境状況を考慮した上で、構造物を短期間で機能回復できる状態に保つことを検討するものとする。

構造物を短期間で機能回復するためには、構造物が損傷を受けた場合の構造体の修復と機能の復旧の難易度等を考慮して、構造物を構成する部材等の個々の構造要素の損傷状態を設定する。例えば、一般的な橋梁および高架橋では、損傷が地中に生じた場合と地上部に生じた場合では、補修・補強の難易度が大きく異なることになる。したがって、構造物の復旧性を考える上では、可能な限り杭などの基礎部材よりも柱等を先行降伏させるなどの配慮が必要となる。また、支承部が損傷した場合は、一般に機能回復の補修が難しいため、可能な限り柱や橋脚等よりも先行して支承部を損傷させないなどの配慮が必要となる。

図6および表2にラーメン高架橋を例にして、以上の考え方を示す。

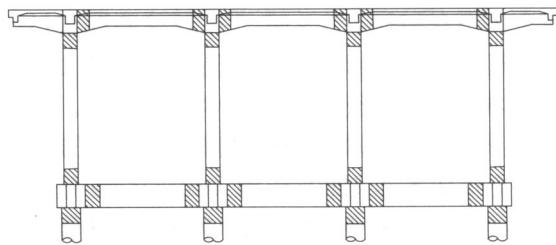


図6 ラーメン高架橋の損傷部位のイメージ

表2 要求性能と損傷レベル、基礎の安定の設定例

構造物の要求性能		復旧性	安全性
損傷 レベル	上層梁／地中梁	2	3
	柱	2~3	3
	その他の梁	3	3 (4)
基礎の安定レベル		2	3

### 3.5 性能照査に関する新しい試み

限界状態設計法によらない、新しい照査方法についても検討した<sup>6)</sup>。想定される地震動に対して構造物を短期間で機能回復可能な状態に保つためには、構造物周辺の環境状況を考慮し、適用可能な技術により、妥当な経費の範囲内で機能回復できる範囲内に構造物の損傷等の程度をコントロールすることが必要である。一般には、性能評価指標として、『部材の修復性』を『復旧性』に置き換えて議論されているが、より柔軟性のある考え方として、経済性に着目して考えることも可能である<sup>7)</sup>。つまり、「妥当な期間および経費で機能を回復できる」という性能を工学的に表現する指標として、「初期建設コスト  $C_I$  と設計耐用期間における地震後の復旧コストと間接被害の期待値の和  $\sum P_f \cdot C_f$ 、すなわちトータルコストの最小化 (TCM)」を考えることも可能である。式で表現すれば、式(1)となる。

$$TC = C_I + \sum P_f \cdot C_f \quad (1)$$

こうすれば、線区の重要度や地震活動度などに応じて、柔軟なきめ細かい設計が可能になる。

日本各地で地震危険度解析を行い、生起確率付地震動群を算定し、RC 橋脚を対象としてパラメトリックスタディーを実施し、TCM となる構造物を試算した<sup>6)</sup>。東京地区の例を図7に示す。図7によれば、じん性率  $\mu$  が 2 しかない構造物の場合、降伏震度は 0.6 度程度必要であることを示している。さらに、これらを網羅的に図化したノモグラムを用意したが、このノモグラムを用いれば、TCM になる構造物であるか否か容易に照査することが可能である。

### 3.6 地震随伴事象や危機耐性への配慮

津波や地表断層変位など、地震動以外に地震に

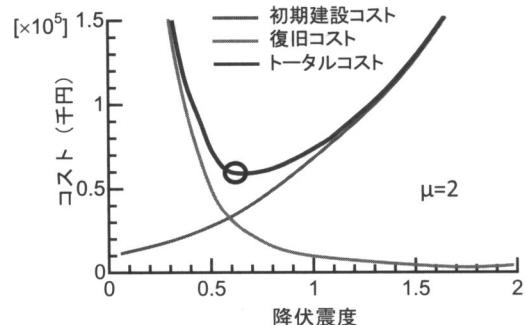


図7 TCM の試算例（じん性率  $\mu=2$  の場合）

付随して発生し得る地震随伴事象に対しては、未解明な部分も多く設計手法も確立していないことから、性能を定めて照査をする対象とせず、路線計画を含めて構造計画の段階で適切に配慮することとした。

また、東北地方太平洋沖地震でも経験したように、L2 地震動を越える地震動の発生の可能性は排除できない。しかし、鉄道構造物は一般に公共性が高く、円滑な機能の維持・確保が個人の生命や生活、社会・生産活動にとって非常に重要なことを考えると、表1のような性能を満足していることに加えて、想定以上の地震に対しても、構造物またはシステムとして、破滅的な状況に陥らないように設計する必要があると考えられる(危機耐性：図8)。ただし、このような想定を超えた状態に対する性能を直接的に定義し照査する体系は現段階では、構築されていない。そこで、各計画・設計段階でこれを配慮することとした。例えば、曲げ破壊型となるように配慮することや、構造物への進入路の確保などの構造物周辺の環境状況について配慮することは、上記の点から有益である。

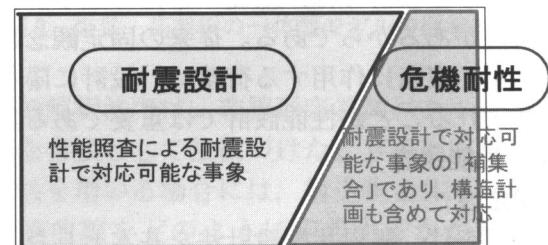


図8 危機耐性のイメージ

## 4. 東北地方太平洋沖地震への対応

### 4.1 平成 11 年標準で設計された構造物の安全性

東北地方太平洋沖地震において、平成 11 年標準により設計された高架橋では、柱のひび割れ～降伏程度の軽微な損傷に留まることを、被災調査

および解析により確認した。平成 11 年標準で設計された一般的な構造型式を有する高架橋であれば、東北地方太平洋沖地震に対しても十分な安全性を確保していることが確認できた。

#### 4.2 地震動について

良好な地盤において、短周期側で標準のスペクトル I および II を大きく上回ることが確認された。これは今回地震が観測されて地点が、地震基盤が浅い地域に存在しており、その結果、短周期成分が卓越したことが原因の 1 つであると推定された。そこで、このような地域に 0.3 秒よりも短周期の構造物を設計する際には、図 1 で示した標準地震動に加えて、別途、短周期が卓越した地震動<sup>1)</sup>についても検討することとした。

#### 4.3 液状化について

東北地方太平洋沖地震では、震源から離れた関東地方において、低加速度でありながら地震動が長時間継続することによって広範囲にわたり大規模な液状化が発生したことから、液状化判定法の検証を行った。

耐震標準では累積損傷度法を用いて液状化の判定を行っている。累積損傷度法では、地震動の繰返し回数により液状化強度を補正している。そこで、浦安周辺の地盤を模擬した人工材料に対して、液状化強度試験を行った。得られた液状化強度曲線を用いて、浦安で観測された地震波 (PGA は約 150 gal) に対して液状化判定を行った結果、液状化指数 PL = 26.1 と算出され、『顯著に液状化に至る地盤』と判定された。これは実際の被害状況を評価できており、累積損傷度法を用いた液状化判定によって低加速度・長継続時間地震動による液状化程度を評価出来ると考えられる。

#### 4.4 電車線柱について

東北地方太平洋沖地震において、高架橋上に建植されている多数の電車線柱で傾斜・折損等の被害が発生した。そこで、電車線柱の地震応答特性について検証し、電車線柱の応答値の算定方法について提案した。

現在の設計実務においては、土木構造物一電車線柱の一体モデルで設計を行うことは稀であり、基本的には、土木構造物と電車線柱を分離して計算（分離モデル）を行っている。しかし、分離モ

デルでは土木構造物のロッキング振動を考慮していないため、電車線柱の応答を過小評価している可能性が分かった<sup>8)</sup>。そこで、分離モデルにおいても構造物のロッキング成分による影響を簡易に考慮できる手法を提案した。

### 5. おわりに

耐震標準の改訂に合わせて、性能照査例および手引き類、性能照査プログラムの整備も進めており、今後、これらを順次提供していく予定である。

最後に、耐震標準の改訂案の作成および審議にあたられた「耐震設計標準に関する委員会」および「鉄道構造物耐震設計基準検討委員会」の佐藤忠信委員長・澤田純男幹事長（京都大学防災研究所）をはじめ、委員・幹事の関係者各位の長期間にわたるご尽力に対し、深甚なる謝意を表する次第である。

#### 〈参考文献〉

- 1) (公財) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計), 丸善出版, 2012.
- 2) 坂井公俊, 室野剛隆, 佐藤勉: 近年の地震記録に基づいた L2 地震動の考え方とその設定方法, 鉄道総研報告 Vol. 25, No. 4, pp. 5-12, 2011.
- 3) 室野剛隆・野上雄太・田上和也・坂井公俊: GHE-S モデルによる土の動的非線形挙動の評価方法, 鉄道総研報告 Vol. 25, No. 4, pp. 13-18, 2011.
- 4) 室野剛隆, 佐藤勉: 構造物の損傷過程を考慮した非線形応答スペクトル法の適用, 土木学会地震工学論文集, 第 29 卷, pp. 520-528, 2007.
- 5) 豊岡亮洋・室野剛隆・野上雄太・西村隆義: 構造形式の差異に着目した慣性力および地盤変位の影響評価, 鉄道総研報告 Vol. 25, No. 4, pp. 51-56, 2011.
- 6) 坂井公俊, 室野剛隆, 佐藤勉, 澤田純男: トータルコストを照査指標とした土木構造物の合理的な耐震設計法の提案, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 68, No. 2, pp. 248-264, 2012.
- 7) (社) 土木学会・地震工学委員会耐震基準小委員会, 経済性照査に基づく新しい耐震設計法の実施に向けての検討, 2008.
- 8) 加藤尚, 坂井公俊, 室野剛隆: 構造物一電車線柱一体モデルによる地震応答特性の評価, 鉄道総研報告 Vol. 26, No. 11, pp. 17-22, 2012.

# 建築構造物における大規模地震への備えと対策の方向性

## 【Key Word】

佐藤 俊明・金子 美香・眞野 英之・長谷部 雅伸\*

液状化、長周期地震動、超高層建物、非構造部材、津波避難ビル

## 1. はじめに

東日本大震災を引き起こした東北地方太平洋沖地震の建物の被害を概観すると<sup>1),2)</sup>、現行耐震基準に基づき設計された建物・耐震改修された建物は、主要構造体の安全性という観点から十分な性能を発揮したと考えられている。これは、同地震による地震動の強さが概ね建築基準法で設定されている極希のレベル（レベル2相当）程度であり、これまでに経験した地震動の中で必ずしも最大級の強さではなかったことと関係している。

ここでは、建物を対象として、東日本大震災の被害の大きな特徴である液状化による基礎と地盤の被害、長周期地震動による超高層建物・免震建物の被害、建物の非構造部材の被害、津波による建物被害と津波避難ビルに焦点をあて、被害の概要を述べ、それぞれに対して今後の備え・対策に関する国・学協会・民間の動向を述べる。

## 2. 基礎と地盤

### 2.1 東日本大震災における地盤と建物基礎被害の概要

東日本大震災における地盤および建物基礎に生じた被害は主に以下の4つである。<sup>①</sup>液状化による直接基礎建物の沈下・傾斜および杭基礎の被害、<sup>②</sup>地震時の建物の揺れによる杭基礎の被害<sup>③</sup>宅地造成地の滑り破壊による被害<sup>④</sup>津波による建物の転倒。

このうち、<sup>②</sup>の建物の揺れによる杭の被害に関しては、地震動成分に建物被害に影響が大きいとされる周波数成分が比較的少なかったことから、兵庫県南部地震に比べると大幅に数は少ない。杭基礎の被害が確認された建物は、新耐震設計法施行以前の既製コンクリート杭の建物が多い<sup>3)</sup>。

東日本大震災で特に被害が大きく、社会問題化したのは<sup>①</sup>の液状化による戸建て住宅を中心とした直接基礎建物の被害である。液状化被害は、東京湾岸や利根川下流域の埋立地を中心に広範囲で生じ、国土交通省都市局の調査によると全国で約27,000棟が被害を受けたとされる<sup>4)</sup>。

戸建て住宅でも近年べた基礎などの剛性の高い基礎が主流になってきており、上部構造の被害は軽微であるが、建物が全体的に大きく傾斜した被害が目立った（写真1）。また、液状化



写真1 液状化により大きく傾斜した建物



写真2 沈下した直接基礎建物（手前）と周辺地盤との間に段差を生じた杭基礎建物（奥）

\* 清水建設株式会社技術研究所

により支持力が大きく低下するため、より重量の大きい建物では、傾斜を生じるとともに地盤にめり込むような沈下を生じている例も報告されている（写真2）。杭基礎建物は、沈下をほとんど生じないため、液状化により周辺地盤が沈下した分、建物が相対的に抜け上がったような段差を生じた例が多い。また、施工中に地震に遭い、基礎部分しかできていない状態の杭に被害が生じた例が報告されている<sup>3)</sup>。上部構造物がないことから、液状化に伴う大きな地盤変位による影響と推測されている。

液状化被害が顕著であった地域でも、硬い支持層まで達する剛強な杭で支持された建物や、何らかの液状化対策を行った建物では、建物本体の被害はないか軽微にとどまっているものがほとんどであり、既往の液状化対策の効果が改めて確認されている。

地震動による被害が小さかったことから建物本体はほぼ無被害であったものも、外構やインフラ、附属構造物などが液状化により大きな被害を受け、建物機能の回復に大きな時間と費用が費やされた例が見受けられた。建物だけでなく敷地全体、更に街全体の液状化対策の必要性が改めて認識された地震であった。

## 2.2 液状化の評価・基礎への対策技術の動向

戸建て住宅に代表される比較的小規模な建物や外構などでは、建物や施設の建設に要する費用に比して、液状化対策に要する費用の割合が大きくなりすぎ、実際問題として対策を行うのが困難である。東日本大震災では、このような液状化に対して弱点となっている部分に被害が集中し、大きな問題となった。

液状化被害を防ぐには、その地盤が液状化に対してどの程度の耐力を有しているのかを正しく評価し、評価結果に応じて適切な対策を行っていく必要がある。

液状化抵抗を評価するには、地盤の硬さ・強度の他、土質、土の粒度分布、地下水位などの情報が必要になるが、戸建て住宅などでは、これまでスウェーデン式サウンディング試験に代表される地盤の硬さ・強度調査に主眼を置いた調査が主流であった。小規模建築物基礎設計指針では試験孔を利用して地下水位や簡易な土質試験を行うことで液状化被害程度を推定する手法も提案されているが、被害推定と実際の地震被害との関係を調査した結果では、標準貫入試験や土質試験を行う建築基礎構造設計指針の方法（図1）に比べ、小規模

建築物基礎設計指針に示されている簡易判定法ではまだばらつきが大きいこと（図2）が報告されている<sup>5)</sup>。このため、同一地点で各種の地盤調査を行い結果の比較を行う<sup>6),7)</sup>などを通じて液状化に対する簡易な調査法の開発が進められている。

また、液状化時には地震時地盤変位が杭に与える影響が特に大きいため、日本建築学会では、建物慣性力のみでなく地震時の地盤変位を考慮した杭基礎の設計法の指針への導入について委員会で検討が進められている。

液状化対策について、平成23年度第三次補正予算により公共施設と隣接宅地の一体的な液状化対策に関する事業が創設され、地下水位低下工法や地盤改良工法など街区単位での液状化対策の研究が大学や企業を中心に進められている。

これとは別に、液状化から建物機能を守るために附属構造物や外構などこれまで液状化対策があまり行われてこなかった施設を対象に安価な液状化対策の提案もなされてきている<sup>8),9)</sup>。図3、4に示すように構造物の下に礫層を設け、排水性を確

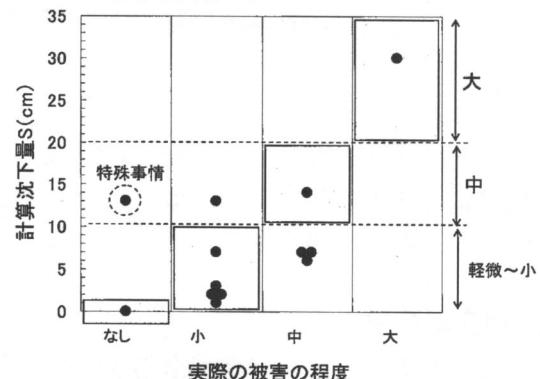


図1 建築基礎構造設計指針による推定被害と実被害の比較<sup>5)</sup>

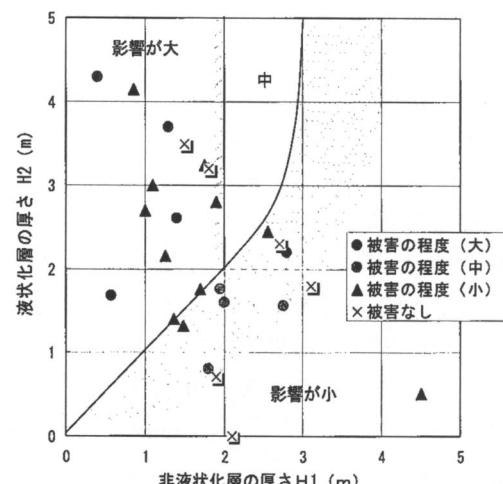


図2 小規模建築物基礎設計指針による推定被害と実被害の比較<sup>5)</sup>

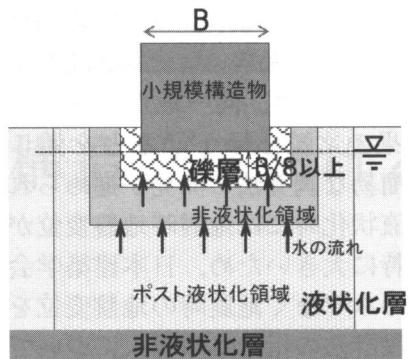


図3 小規模構造物対策の例<sup>8)</sup>

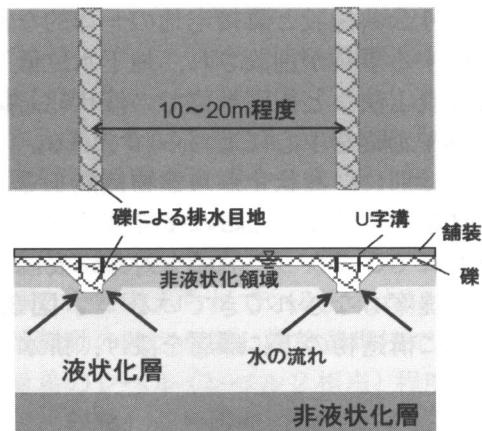


図4 外構の対策の例<sup>8)</sup>

保することで、液状化による地盤の崩壊を防止し、液状化による沈下は生じるが、傾斜はほとんど生じさせない工法などが提案されてきている。

### 3. 超高層建物と免震建物

東日本大震災では、長周期地震動により首都圏の超高層建物内で揺れが増幅し、天井などの非構造部材や家具、エレベータ等に被害が見られた。震源から離れた地表震度3の大阪においても、地震波の卓越周期と共に振した52階建ての超高層建物では、建物頂部で片側1mを超える揺れが観測され、壁や防火戸の損傷、エレベータのロープの絡まりによる閉じ込め等が発生した<sup>10)</sup>。

超高層建物の被害を低減する方法として、建物の揺れのエネルギーを吸収するダンパーと呼ばれる装置を建物内に組み込む方法が提案されており、日本建築学会の検討でもその効果が確認されている<sup>11)</sup>。図5は、慣性質量ダンパーと呼ばれる新しいタイプのダンパーで、ボールネジ機構により、装置両端の伸び縮みが錐の回転運動に変換される仕組みになっている。これにより、小さな錐で大きな慣性力を得ることができ、オイルダンパーと一緒に合わせて用いることで、オイルダンパー

単体で用いた場合よりも大きな応答低減効果を期待できる<sup>12)</sup>。今後は、新築の超高層建物は勿論のこと、既存建物でも、各種のダンパーを組み込んだ補強の需要が高まるものと考えられる。

また、東日本大震災では、首都圏や東北地方に建つ多数の免震建物で、室内も含めて被害が少なく、免震の効果が実証された一方、いくつかの問題点も指摘されている<sup>13)</sup>。1つは、免震部分と非免震部分を繋ぐエキスパンションジョイントの損傷で、両者の異なる動きに追従できずに損傷が発生した。設計上の問題点の他に、エキスパンション部の動きを阻害するような使い方をしている建物使用上の問題点も指摘されており、今後に向けた対策が急がれている。また、長い継続時間の影響と考えられる鉛ダンパーの亀裂、鋼材ダンパーの残留変形なども発生しており、将来発生する地震に対する影響をチェックする必要性がある。

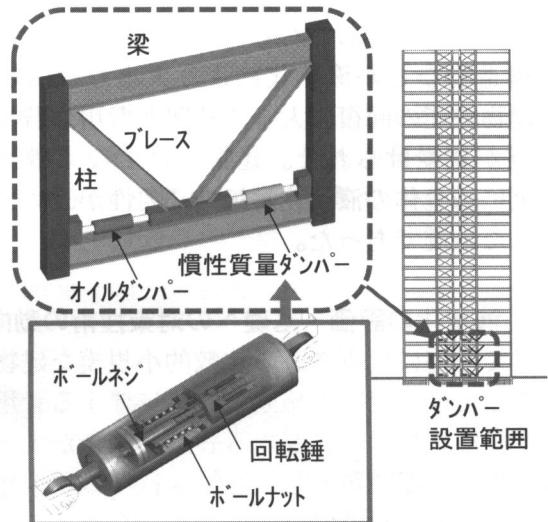


図5 慣性質量ダンパーの構造と超高層建物の制震補強例

### 4. 非構造部材の耐震化

東日本大震災では、構造躯体にはほとんど被害が無い場合でも、天井や間仕切壁などの非構造部材の損傷で継続使用に支障の生じた建物も多かった。特に被害が目立ったのは、写真3に示すような吊り天井で、大規模な崩落により人的被害が発生した例もあった。

現状では、天井の耐震性に関する法的な基準は無く、天井下地メーカーや施工業者は、各種団体が発行しているガイドラインや指針等<sup>例えば13), 14)</sup>を参考に仕様を決めている。国土交通省は、過去の天井の地震被害を受けて技術的助言<sup>15)</sup>を公表しているが、耐震設計上の具体的な方策を示したものでは無かった。東日本大震災による多数の天井被

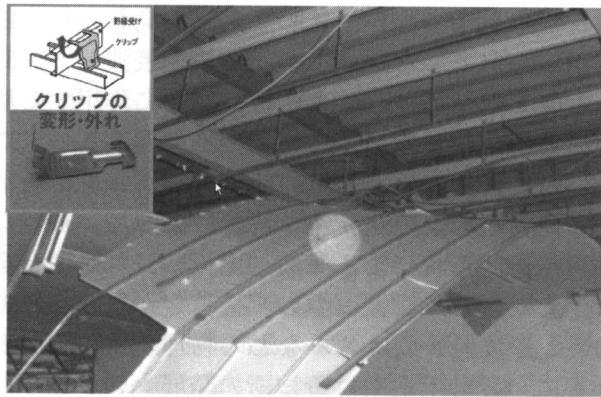


写真3 金具のはずれによる天井の脱落

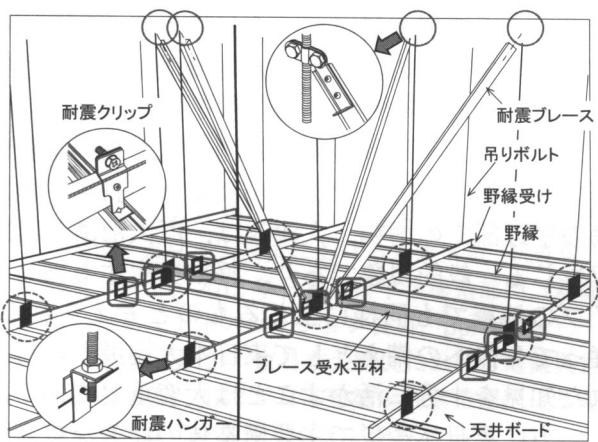


図6 天井の耐震化方法の例<sup>18)</sup>

害を受けて、国土交通省は、2012年7月に「建築物における天井脱落対策試案」<sup>[16]</sup>を公表し、意見募集を行った。試案では、6m以上の高さにある200m<sup>2</sup>以上の吊り天井を対象として、耐震性の検証が義務付けられている。今後、法制化される予定であるが、現時点での具体的なスケジュールは未定である。また、日本建築学会でも2012年12月までに「天井落下防止と解消に関するガイドライン（仮称）」<sup>[17]</sup>がまとめられる予定である。内容としては、天井の基本性能を必ず実現すべき「人命保護」と、必要に応じて実現する「機能維持」の2つのレベルに分類し、それぞれの実現の考え方などが整理される予定である。

今後は、これらの基準やガイドラインに沿って天井の耐震化が図されることになるが、東日本大震災以降、既に建設会社等から天井のさまざまな耐震化方法が提案されている。耐震化の方向性としては、①金具の補強等により天井下地の強度・耐力を増して損傷を防止する（図6参照）、②天井材を軽く柔かくして落下時の危険性を減らす、③落下時のフェールセーフ機構を設けることなどが考えられている。

## 5. 津波避難ビル

### 5.1 東日本大震災での建物被害の概要

東北地方太平洋沖地震では津波によって多くの建物が被害を受けたが、これまでの現地調査でその被災形態は地震によるものとは大きく様相が異なることが確認されている。例えば、鉄筋コンクリート造建物（以下、RC造建物と呼ぶ）では、写真4のように建物全体が転倒した被災事例が見られた。鉄骨造建物では写真5のように外装材が早期に流出することで津波荷重が低減し、構造骨組が残存する事例が典型的であった。その他、漂流物の衝突による損傷や、遡上流による地盤洗刷なども特徴的な津波被害形態として挙げられる。しかしながらRC造建物の多くは巨大津波にも耐えており、特に建築年代が新しい、4階建て以上の建物では躯体構造の深刻な損傷は皆無であった<sup>[19], [20]</sup>。なお、転倒した建物の多くは宮城県女川町など特定の地域に集中していることから、地盤の液状化に伴う基礎構造の損傷との複合作用の可能性も指摘されている<sup>[20]</sup>。



写真4 RC造建物の転倒被災事例



写真5 鉄骨造建物の津波被害の例

## 5.2 津波避難ビルの現状と課題

2011年の津波避難ビルに関する実態調査<sup>21)</sup>によると、全国の津波避難ビルの指定数は2011年6月時点で1,876棟であったのに対し、同年10月には3,986棟とほぼ倍増している。特に南海トラフ超巨大地震が懸念される東海地方を中心とした地域での増加が目立つ。一方で、2012年に公表された南海トラフ巨大地震による想定津波高さ<sup>22)</sup>は、図7に示すように従来の想定<sup>23)</sup>を大きく上回るものとなった。前出の実態調査では約75%の建物が4階建て以下であり(統計は2011年6月時点)、また、新たな想定津波高さに対し十分な高さの建物が存在しない地域もあるなど、整備計画に関する課題が生じている。さらに同実態調査では、現状の津波避難ビルのおよそ2割について耐震性が不明であり、耐震補強などの対策も行われていないなどの問題点も指摘されている。

## 5.3 津波に関する設計・評価技術の動向

これまで述べた津波による建物被害の実態や、巨大地震を対象とした新たな津波高さの想定を踏まえ、建物の設計津波荷重の評価手法についても見直しの動きがある。現状では2005年のガイドライン<sup>24)</sup>に示されているように想定津波高さの3倍の静水圧に相当する荷重を見込むことを基本とし、2012年には国交省より立地条件によって設計荷重の緩和を許容する暫定指針が公表されている<sup>25), 26)</sup>。今後も学会等を中心に津波荷重の評価手法について、さらなる検討が進められる予定である。

一方で、陸上での津波遡上流の挙動など津波荷重を決定づける物理現象についても解明すべき余地は多く、現状では上述のガイドライン等に示されている算定式でそれらの要因が十分に考慮されているとは言い難い。津波の遡上・伝播の予測に

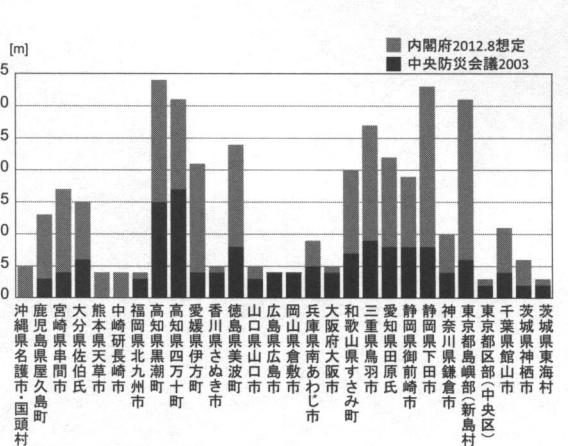


図7 南海トラフ巨大地震による想定津波高

は、従来は政府や自治体の想定津波高さの推定にも用いられている平面二次元非線形長波シミュレーションが活用されてきたが、建物に作用する津波荷重が直接算定できないという課題がある。これに対し最近では、スーパーコンピュータ等を活用した大規模な三次元流体解析によって、複雑な地形や街区形状による津波遡上流の流れの変化を考慮しながら、津波荷重の直接算定が試みられており<sup>27)</sup>、被災メカニズムなどの物理現象の解明とともに、設計手法や対策技術の発展への貢献が期待される(図8)。

## 6. おわりに

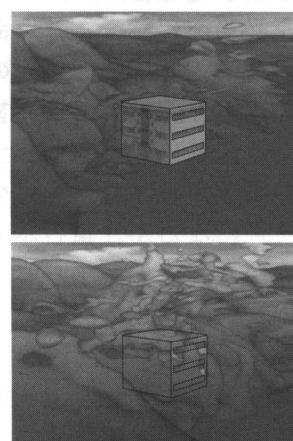
東日本大震災を受けて、大規模地震への建物の備えは、安全性のみの観点から機能維持を含む観点へと大きく移りつつある。

東北地方太平洋沖地震で観測された長い継続時間の地震動、遠方まで勢力が衰えない長周期地震動の平野部での増幅、大津波は、巨大海溝型地震で生じる一般的な現象であり、将来発生する同じタイプの地震でも同様に生じるものと考えられる。従って今後への備えとして東日本大震災から得られた知見を十分に活かすことは大変重要である。

一方、東日本震災で主要構造体の顕著な被害が

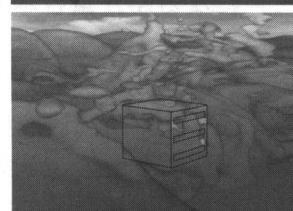


(a) 広域街区を対象とした遡上シミュレーション



(1)津波が衝突する瞬間

前面外側に大きな圧力が発生



(2)内部に浸水した段階

背面内側にも大きな圧力が発生

(b) 津波荷重の算定

図8 三次元津波シミュレーションの解析例

少なかったことは、東北地方太平洋沖地震の固有の特性、すなわち震源特性として建物被害に大きく影響する周期1～数秒の成分が大きくなかったこと、ならびに震源域が陸地から比較的離れていたことに起因することが指摘されている。南海トラフ沿いや相模トラフ沿いで今後発生する可能性のある巨大海溝型地震では、東北地方太平洋沖地震と比べて建物被害への影響がより大きな地震特性となる可能性もある。従って、新しい構工法で建てられた建物など未だ巨大地震を経験していない構造物の安全性などは改めて留意しておく必要があることを指摘しておきたい。

#### 〈参考文献〉

- 1) 建築研究所 (2012) 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震被害調査報告、建築研究資料、第136号
- 2) 建築雑誌 (2012) 特集:耐震の今:成熟から拡張へ、建築学会、Vol.127 No.1637, 2012年10月号
- 3) 日本建築学会構造委員会基礎構造運営委員会 (2012):東日本大震災における基礎構造(杭基礎)の被害リスト、2012年日本建築学会構造部門(基礎構造)パネルディスカッション資料、pp.61-89
- 4) 時松孝次 (2012):東日本大震災における地盤災害と基礎の被害、2012年日本建築学会構造部門(基礎構造)パネルディスカッション資料、pp.1-11
- 5) 井上波彦 (2012):震災後の行政の対応、2012年日本建築学会構造部門(基礎構造)パネルディスカッション資料、pp.38-43
- 6) 大島昭彦ほか (2012):浦安市における各種動的サウンディング試験の比較(その1～その9)、第47回地盤工学研究発表会、pp.131-148
- 7) 三村衛ほか (2012):浦安市における各種静的サウンディング試験の比較(その1～その8)、第47回地盤工学研究発表会、pp.149-164
- 8) 社本康広ほか (2012):排水効果を利用した液状化に伴う地盤の進行性破壊の防止対策(その1～5)、第47回地盤工学研究発表会、pp.1383-1392
- 9) 高岡雄二ほか (2012):建物の外構地盤における液状化被害低減型工法に関する研究(その1～2)、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.499-502
- 10) 大阪府 (2011) 咲洲庁舎の安全性等についての検証結果、大阪府ホームページ ([http://www.pref.osaka.jp/hodo/attach/hodo-06971\\_4.pdf](http://www.pref.osaka.jp/hodo/attach/hodo-06971_4.pdf)) (2012/10/25閲覧)
- 11) 日本建築学会 (2008) 長周期地震動対策に関する公開研究集会、2008年3月7日開催。
- 12) 磯田和彦ほか (2010) 過負荷防止機構をもつ慣性質量ダンパーの開発(その1～4)、日本建築学会学術講演梗概集、BII、構造2、pp.453-460。
- 13) 日本建築センター (2005) 体育館等の天井の耐震設計ガイドライン。
- 14) 日本建築学会 (2003) 非構造部材の耐震設計施工指針・同解説および耐震設計施工要領。
- 15) 国土交通省住宅局建築指導課 (2005) 地震時における天井の崩落対策の徹底について(技術的助言)、国住指第1427号、平成17年8月26日。
- 16) 国土交通省 (2012) 「建築物における天井脱落対策試案」に関するご意見募集について、国土交通省ホームページ ([http://www.mlit.go.jp/report/press/house05\\_hh\\_000332.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000332.html)) (2012/10/25閲覧)
- 17) 川口健一 (2012) 頻発する天井の落下防止と解消に向けて、2012年度日本建築学会大会社会ニーズ対応部門研究協議会資料、pp.1-9。
- 18) 鈴木健司ほか (2012) 鋼製下地在来工法天井の耐震性能に関する実験的研究、清水建設研究報告、第89号、pp.23-28。
- 19) 長谷部雅伸、佐川隆之、ファム・フック (2011):東北地方太平洋沖地震津波での建築物被害傾向に基づく転倒判定法の提案、清水建設研究報告、Vol.89、pp.51-56
- 20) 国土交通省国土技術政策総合研究所、(独)建築研究所 (2012):平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震被害調査報告、国総研資料第674号、建築研究資料第136号、pp.(6.1-1)-(6.3-9)
- 21) 国土交通省 (2011):報道発表資料「津波避難ビル等」に関する実態調査結果について(PDFファイル)、[http://www.mlit.go.jp/report/press/house06\\_hh\\_000070.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/house06_hh_000070.html)、2011/12。(2012/09/28閲覧)
- 22) 内閣府 (2012):南海トラフの巨大地震に関する津波高、浸水域、被害想定の公表について、[http://www.bousai.go.jp/nankaitrough\\_info.html](http://www.bousai.go.jp/nankaitrough_info.html)、2012/8、(2012/09/28閲覧)
- 23) 内閣府 (2003):中央防災会議、東南海・南海地震に関する専門調査会(第16回)、<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai/16/>、2003/12、(2012/09/28閲覧)
- 24) 津波避難ビル等に係るガイドライン検討会 (2005):津波避難ビル等に係るガイドライン(卷末資料②構造的要件の基本的考え方)、pp.6-10
- 25) 国土交通省 (2011):津波に対し構造耐力上安全な建築物の設計法等に係る追加的知見について(平成23年11月17日付け国住指第2570号国土交通省住宅局長通知)
- 26) 国土交通省国土技術政策総合研究所 (2012):津波避難ビル等の構造上の要件の解説、国総研資料第673号、1章、津波避難ビル等の構造上の要件の解説、pp.(I-1)-(I-38)
- 27) 清水建設(株) (2012):最先端の三次元解析により津波の挙動や津波荷重を詳細に予測、ニュースリリース2012年、[http://www.shimz.co.jp/news\\_release/2012/909.html](http://www.shimz.co.jp/news_release/2012/909.html) (2012/09/28閲覧)

# 時刻歴応答解析に必要な設計用入力地震動（模擬地震波）の作成について

ささきせいじ\*

## 【Key Word】

設計用入力地震動、告示波、サイト波、長周期地震動、応答解析

## 1. はじめに

東北地方太平洋沖地震以降、免震や制震設計の建築物が増加しており、今後も増加するものと予想される。超高層建築物も含め、これらの設計をする際には「時刻歴応答解析」を用いて構造設計が実施される。そのため「指定性能評価機関による評価（大臣認定のための大学の先生などで構成される委員会）」の審査が必要となる。

土木分野においても、橋梁やダムなどで地震動の挙動が複雑な場合には、時刻歴応答解析により耐震検討が実施されることがあり、その場合には地震動設定が必要となる。

時刻歴応答解析のためには、地盤情報としてPS検層や動的変形特性試験、常時微動測定などが必要となり、かつ設計用の入力地震動（模擬地震波）であるサイト波と告示波などの作成が必要となる。

小文では基礎的知識を整理するとともに、現在実務者の間で解析に用いられている主な設計用入力地震動の概要について述べる。

## 2. 設計用入力地震動の種類

設計用入力地震動の種類としては、表1に示す

表1 設計用入力地震動の種類

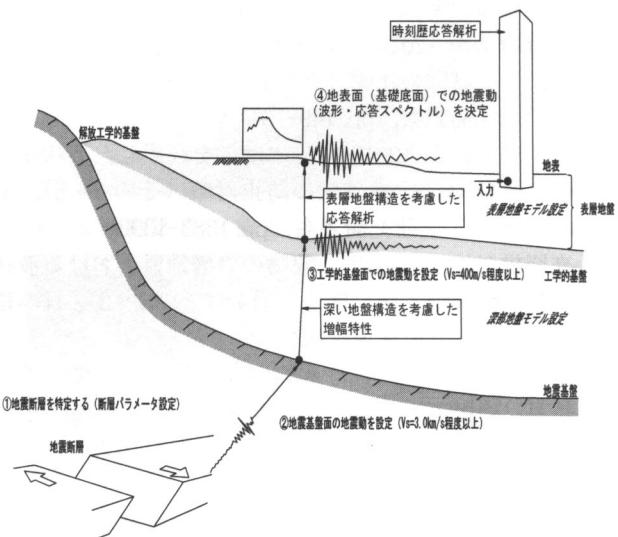
設計用入力地震動（模擬地震波）の種類	説明
告示波	平成12年建設省告示第1461号第四の規定による解放工学的基盤における加速度応答スペクトルに適合する地震波
サイト波	告示第四号イただし書きにより、建設予定地の内陸直下型地震、プレート境界型地震などを評価し、断層破壊モデルや地盤構造に基づき作成する建設地の模擬地震波
長周期地震動への対策試案 <sup>1)</sup>	「超高層建築物等における長周期地震動への対策試案について」国土交通省平成22年12月21日(平成23年2月7日訂正)に基づくもので、対象地震は、①想定東海地震(Mw8.0)②東南海地震(Mw8.1)③宮城県沖地震(Mw7.6)。解放工学的基盤での地震動、表層地盤へは応答解析などで增幅を考慮

ものがある。

まず、地震の発生機構と地震波の伝搬経路、工学的基盤から表層地盤の增幅、入力地震動の模式図を図1に示す。

告示波は、平成12年建設省告示第1461号第四の規定による建設地の解放工学的基盤における加速度応答スペクトルに適合する地震波で、応答解析によって表層地盤の增幅を考慮した地震波である。

サイト波は、告示第四号イのただし書きにより、建設地で発生する可能性のある内陸直下型地震、プレート境界型地震などを評価し、地震の破壊モデルや地震基盤からの深部地盤構造に基づき作成するもので、告示波と同様に表層地盤の增幅を応答解析で考慮した地震波である。

図1 地震動の伝搬模式図<sup>2)</sup>に加筆修正)

超高層建築物等における長周期地震動への対策試案<sup>1)</sup>は、国土交通省が平成22年12月21日に試案について意見を募集したもの（平成23年2月7日訂正）に基づくもので、次に掲げる3つの海溝

\* 株式会社東建ジオテック 技術本部 本部長

型地震を対象にしている。

- ①想定東海地震 (Mw8.0)
- ②東南海地震 (Mw8.1)
- ③宮城県沖地震 (Mw7.6)

関東地域、名古屋地域、近畿地域を区域1～区域9に区分し、解放工学的基盤における設計用長周期地震動を示している。表層地盤へは適切な方法で増幅を考慮することになる。また、対象の3つの地震以外の地震や連動型地震による長周期地震動の作成手法も示されている。

なお、ここでの工学的基盤とは、Vsが400m/s以上の地盤であるが、工学的基盤の定義は各機関で異なったVs値を用いているので注意が必要である。

### 3. 設計用入力地震動作成の検討項目

設計用入力地震動の作成に関わる検討項目としては、表2に示すように大きく分けて5つのものがある。

表2 設計用入力地震動の検討項目

作成に必要な地盤情報と検討項目	具体的な検討・解析項目
地質調査・地盤情報	地盤モデルの設定に必要な地質調査の実施。地盤構成の把握(工学的基盤を確認)、常時微動測定、PS検層、密度検層、動的変形特性試験などを実施。
地盤モデルの決定	地質調査結果に基づき表層地盤モデルを決定。既存資料や研究結果より、深部地盤モデルを決定。
地震環境の把握	建設予定地に影響を与える可能性のある活断層の分布状況や活動度、プレート境界型地震の発生頻度や規模など、想定する具体的な地震を検討する。
地震基盤でのサイト波・工学的基盤の告示波など地震動設定	具体的な想定地震の断層パラメータなどから、サイト波作成の方法を決定し、基盤での地震動を設定する。また、告示波は適切な位相により、工学的基盤の地震動を設定する。
工学的基盤以浅の応答解析	表層地盤構造(地盤モデル)により、地盤に応じた適切な地盤応答解析の方法を決定し、構造物への地震動入力位置(深さ)への応答解析を実施する。特に、液状化する地盤では、応答解析の方法に注意が必要。

#### 3.1 地質調査・地盤情報、地盤モデルの設定

地質調査で必要な内容は、PS検層、密度検層、動的変形特性試験、常時微動測定などであり、主に地盤モデルを設定するための地盤情報である。常時微動測定結果は、設定モデルでの重複反射による伝達関数(地表/地震基盤)との比較により深部地盤モデルの検討などに利用する。

地盤モデルの設定は、図1に示す地震基盤から工学的基盤さらに地表までの地震動の増幅を計算する地盤モデルを決定する作業である。地盤モデルの内、表層地盤モデルは、地層時代区分やPS検層結果、密度検層結果などを基に工学的基盤か

ら地表までの地層を区分し、各地層の動的変形特性曲線を設定する。深部地盤モデルは、微動アレー探査結果や地震調査研究推進本部などで発表されている深部地盤構造などから地震基盤から工学的基盤までの地盤区分と地盤定数を設定する。

地盤モデル設定の模式図を図2に示す。

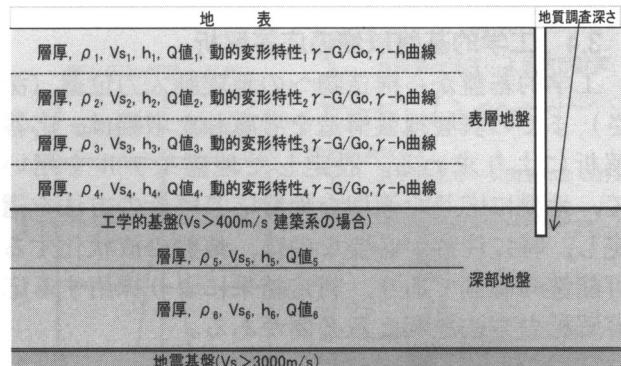


図2 地盤モデルの設定模式図

#### 3.2 地震環境の把握

歴史地震による地震環境、建設予定地に影響を与える可能性のある活断層の分布状況や活動度・発生確率、プレート境界型地震の発生頻度や規模などをいろいろな資料により調査し、想定する具体的な地震を検討する。

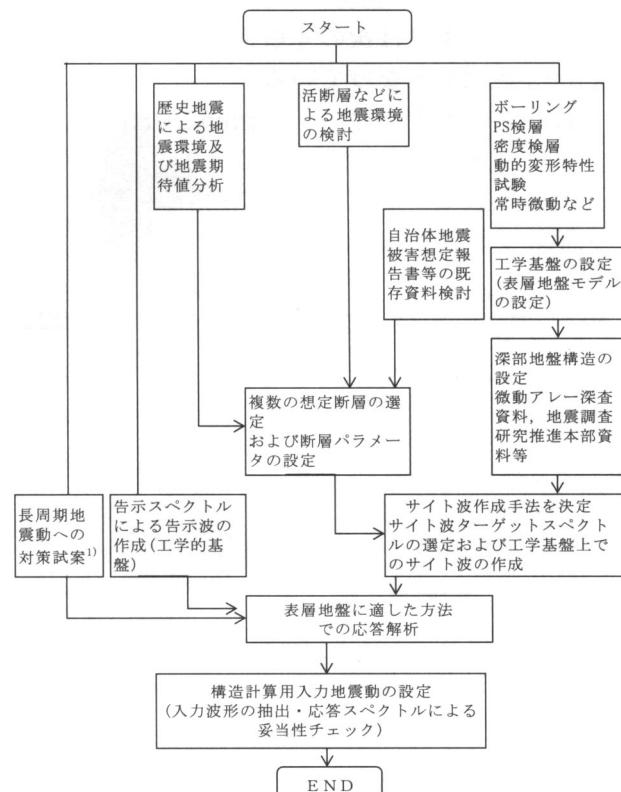


図3 設計用入力地震動作成の流れ図

#### 3.3 告示波・サイト波などの地震動設定

告示波は、適切な位相により、工学的基盤の地

震動を設定する。サイト波は、具体的な想定地震の断層パラメータなどからサイト波作成の方法を決定し、基盤での地震動の設定によりターゲットスペクトルを選定する。地震基盤から工学的基盤までの深い地盤構造の増幅は、伝達関数などを適切に評価して計算する。

### 3.4 工学的基盤以浅の応答解析

工学的基盤から構造物への地震動入力位置（深さ）までの表層地盤構造を考慮した増幅は、応答解析により求める。設定した地盤モデルを用いて、地盤に応じた適切な地盤応答解析の方法を選定し、特に注意が必要なのは、地盤の液状化する可能性の有無であり、判定結果により採用する応答解析の方法を変える必要がある。

## 4. 告示波の作成

告示波の作成は、図4の目標スペクトルに適合した正弦波合成法により、周期範囲は0.02~10秒とし、開始から終了までの継続時間は60秒以上とする。位相分布及び包絡関数の設定方法は以下の方法による<sup>3)</sup>。

①位相分布を乱数とし、図5に示す包絡関数を乗じる。

②位相分布に実地震動の記録波を用いる。

また、適合条件は次の4項目とし、作成する地震動は3波以上となっている<sup>3)</sup>。

- ・最小スペクトル比  $\varepsilon_{\min} \geq 0.85$
- ・スペクトル強度SI比  $\geq 1.0$
- ・変動係数  $v \leq 0.05$
- ・平均値誤差  $|1 - \varepsilon_{ave}| \leq 0.02$

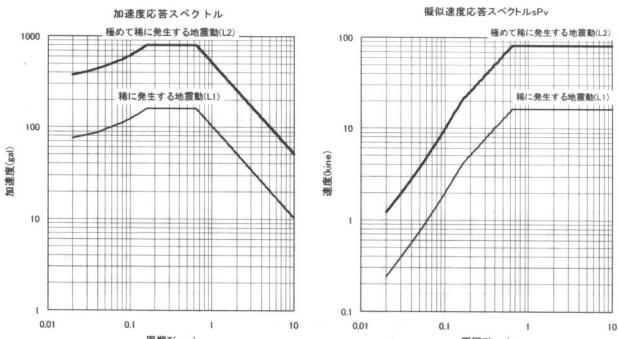


図4 告示第1461号四による解放工学的基盤における目標応答スペクトル<sup>3)</sup>

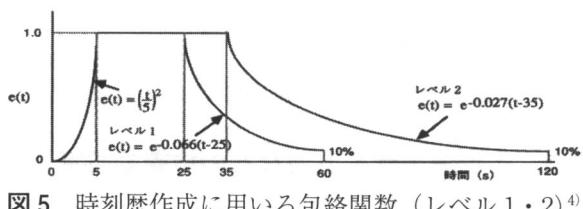


図5 時刻歴作成に用いる包絡関数（レベル1・2）<sup>4)</sup>

位相の実地震動記録によく用いる波形としては、活断層地震（内陸型）ではJMA Kobe1995やElCentor1940、プレート境界型（海溝型）ではHachinohe1968などがある。

告示波の作成例を図6に示し、それぞれの波形の応答スペクトル（トリパタイト）も記載する。

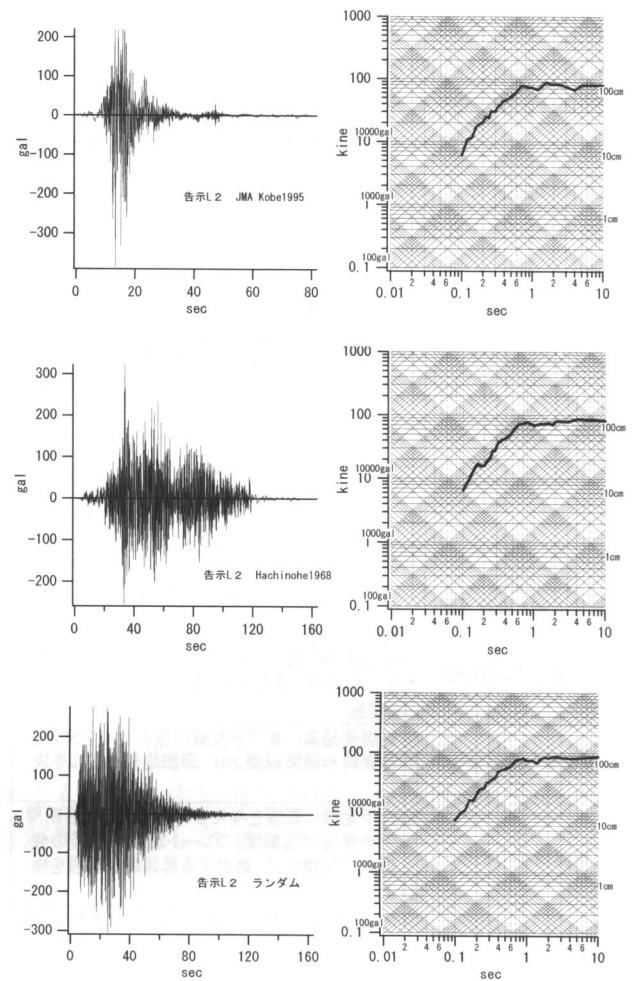


図6 振幅調整告示波L2工学的基盤面 ( $h = 0.05$ ) $2E^{(5)}$

## 5. サイト波の作成

サイト波の作成方法は表3に示すようにいろいろな方法が提案されている。

表3 サイト波作成手法の種類<sup>6)</sup>に加筆修正

サイト波作成方法	代表的な手法	特徴など
距離減衰式に断層の広がり効果を考慮した方法	翠川・小林の方法	断層震源モデルを定し、破壊伝播に応じて単位領域から波群が逐次発生すると考えられている。
半経験的手法	統計的グリーン関数法 経験的グリーン関数法	経験的グリーン関数法は、建設地で中小地震の記録が得られている場合に限られる。
理論的手法	有限要素法 有限差分法など	やや長周期の地震動が対象となる。
ハイブリッド法	半経験的手法と理論的手法を重ね合わせる方法	短周期から長周期までの地震動を含む。

翠川・小林の方法は、建築関係で広く用いられている方法で、距離減衰式に断層の広がりの効果

を考慮した方法で、工学的には断層モデルとして広く用いられてきた。震源から出るエネルギーを距離減衰式によって経験的に評価し、それを断面上に配分して地震基盤上の地震動（速度応答スペクトル）を評価するものである。

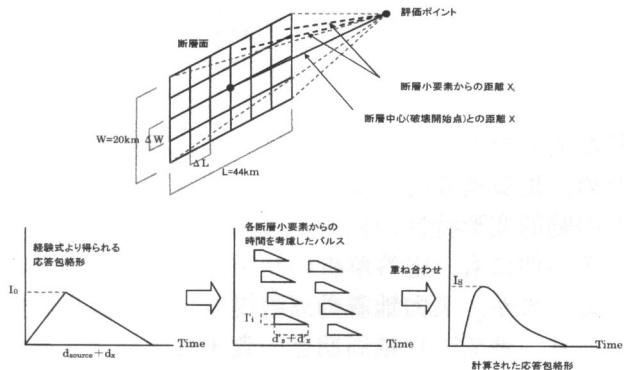


図7 翠川・小林の方法の断層モデルと計算手法の概念図<sup>7)</sup>

統計的グリーン関数法は、断層面を格子状に細片に分割し、断層の破壊過程に応じて各細片から観測点へ伝わる地震動を重ね合わせることで断層全体が破壊することによる地震動波形を求めるものである<sup>10)</sup>。この概念図を図8に示す。

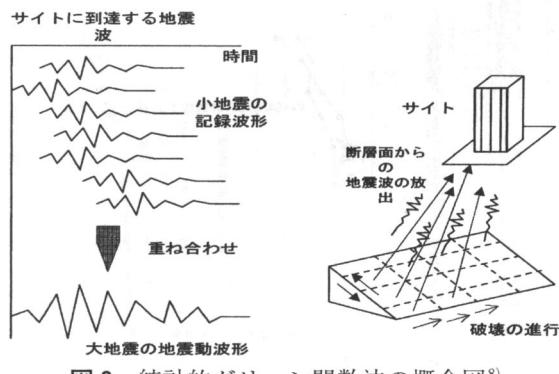


図8 統計的グリーン関数法の概念図<sup>8)</sup>

経験的グリーン関数法は、過去に発生した中小地震の観測記録をグリーン関数と考え、それを断層の破壊過程に重ね合わせることにより大地震を評価するものである<sup>6)</sup>。この概念図を図9に示す。

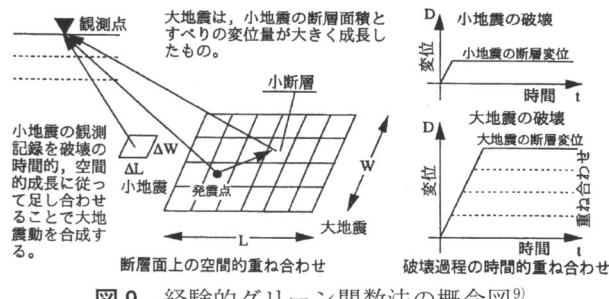


図9 経験的グリーン関数法の概念図<sup>9)</sup>

ハイブリッド法は、広い周波数領域を対象とした強震予測手法で、短周期側を半経験的な統計的グリーン関数法や経験的グリーン関数法を用いて求め、長周期側を弾性波動理論に基づいた有限差分法や有限要素法的計算法などの理論的手法を用いて求め、両者を波形合成する手法である<sup>11)</sup>。

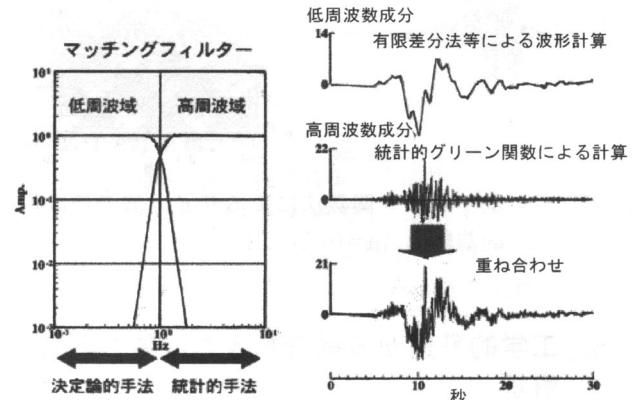


図10 ハイブリッド法の概念図<sup>11)</sup>

これらの手法の中で、広く用いられてきた翠川・小林の方法で作成した例を図11に示す。位相は、内陸型直下地震がランダム波(乱数)、プレート境界型地震がHachinoheの場合であるが、後者は非常に震源から遠方の建設サイトのものである。

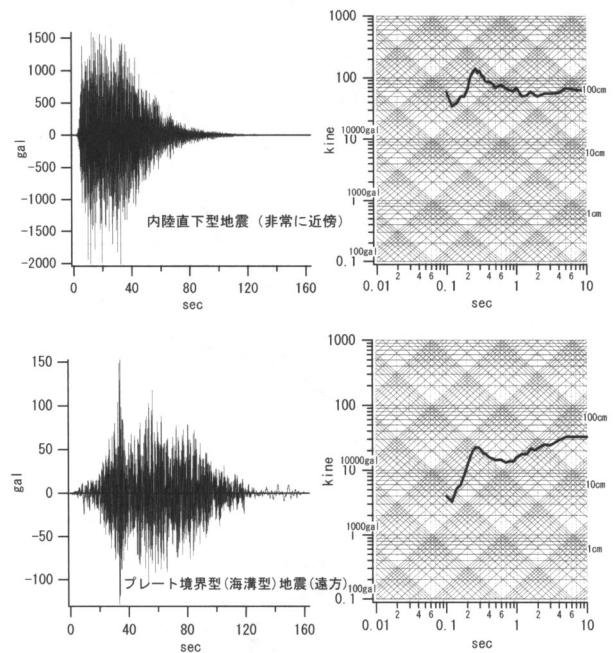


図11 翠川・小林の方法によるサイト波の作成例、工学的基盤面 ( $h = 0.05$ )  $2E^5$

次に、統計的グリーン関数法で作成した例を図12に示す。統計的グリーン関数波は地表波形に相当するため、観測地点での地盤データに基づき

応答解析で工学的基盤まで引き戻し波を求め、この引き戻し波を建設サイトでの工学的基盤波としたものである。

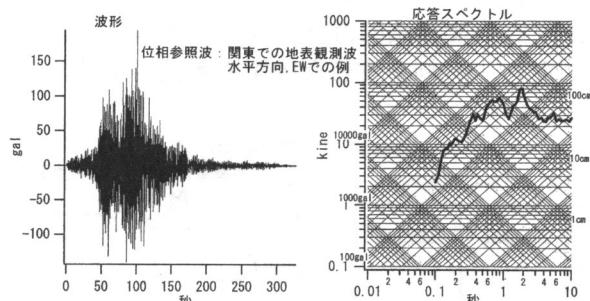


図 12 統計的グリーン関数法によるサイト波の作成例、工学的基盤面 ( $h = 0.05$ )  $2E^5$

## 6. 工学的基盤から構造物入力位置への応答解析

応答解析の種類は、表 4 に示すようにいろいろなものがある。図 13 に 1 例を示すが、地盤に応

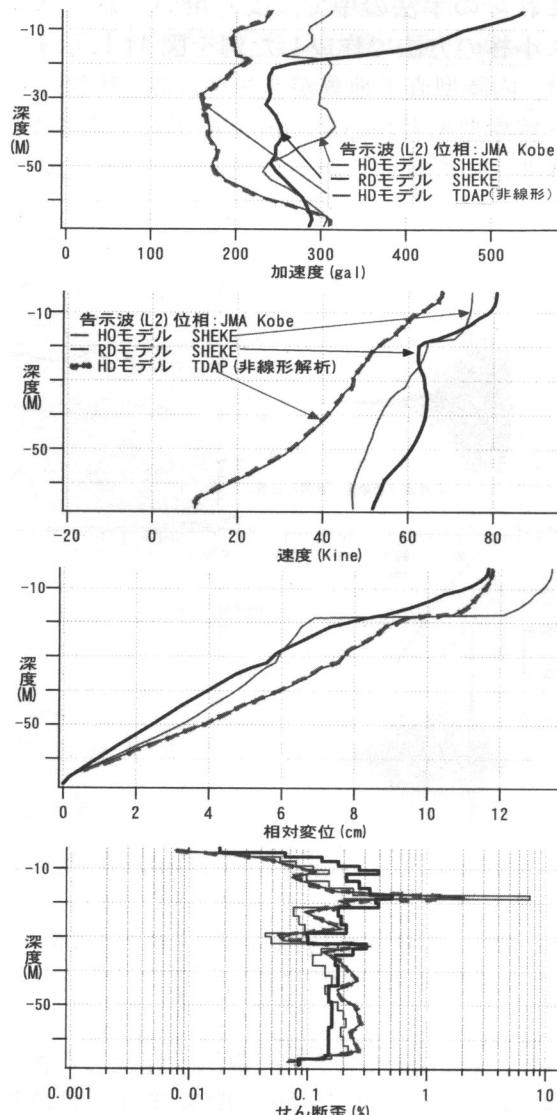


図 13 応答解析の実施例（最大値深度分布図）<sup>5)</sup>

表 4 地震応答解析の主な種類（方法）

応答解析の種類	解析方法		
	応力状態	変形の扱い	次元
SHAKE	全応力	等価線形	一次元
DYNEQ(吉田)	全応力	等価線形	一次元
FDEL(杉戸)	全応力	等価線形	一次元
YUSAYUSA	全応力, 有効応力	非線形	一次元
FLIP	有効応力	非線形	一次元～三次元
LIQCA	有効応力	非線形	二次元～三次元
FDAP	全応力	等価線形	二次元
TDAP	全応力	非線形	二次元

じた適切な方法を選定しなければ応答値が異なるため、地質調査時には液状化の判定検討と地層ごとの動的変形特性の把握が重要となる。

その他にも、応答解析の結果に大きな影響をあたえるのが、入力地震動（地震波）の周波数特性であり、地盤の卓越周期と一致すれば、大きく増幅することになる。また、図 14 に入力加速度は同じでも波形が異なる場合の加速度応答値の深度分布図と、波形が同一でも入力基盤深度を  $V_s$  が  $540 \text{ m/s}$ （更新世砂礫）と  $V_s$  が  $1100 \text{ m/s}$ （花崗岩）

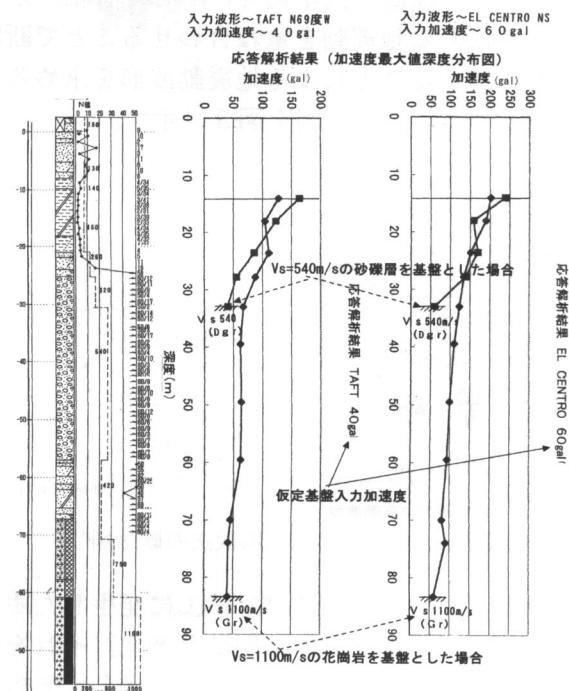


図 14 応答解析の実施例（波形・入力深さによる違い）

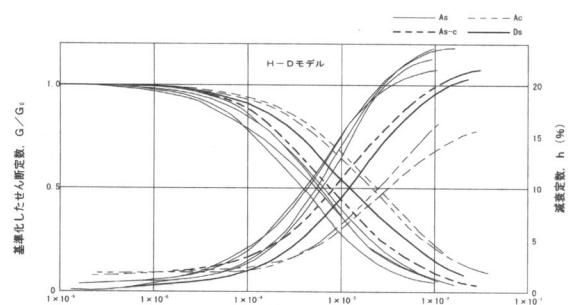


図 15 動的変形特性試験の実施例（広島市内）<sup>13)</sup>

岩)とした場合の加速応答値の深度分布図を示すが、地盤構成は同じでも入力波の違いが応答値に大きな影響を与えることがわかる。

図15に動的変形特性試験の実施例を示すが、土質や深さ、地質時代区分や地域によって動的変形特性は異なるため、応答解析結果に与える影響は大きく、地域や地層ごとの動的変形特性が必要となる。

このことは建設サイトごとに、地盤に応じた「設計用の入力地震動」を作成すること並びに工学的基盤の把握が重要であることがわかる。

## 7. おわりに

設計用入力地震動作成の基礎的な項目を記載したが、我々地質調査の実務技術者が業務において注意する必要がある項目としては、以下のようないもののが考えられる。

- ① Vsに基づき工学的基盤を明確にする。PS検層が困難な深さの場合には、微動アレー探査の実施も検討する。
- ②地盤モデルの設定と地層ごとの動的変形特性は既存データではなく、サイトの土質試験より決定する。
- ③動的変形特性試験の整理は、どのモデル(H-D, 修正R-Oモデルなど)を使用するかを応答解析の方法を考慮して設定する必要がある。
- ④地盤に応じた応答解析を実施する必要があり、小さな挟み層を含めて土質試験データに基づいて液状化判定検討を行う。

設計用入力地震動の作成は、大切な財産である建築物・構造物、そして最も大切な人命を地震災害から守るために基礎的な解析であり、地震環境や地質状況を適切に判断しなければならず、その基となる地質調査や解析に関わる技術者の役割は大きいと言える。

## 引用・参考文献、URL

- 1) 国土交通省:「超高層建築物等における長周期地震動への対策試案について」, 平成22年12月21日(平成23年2月7日訂正)
- 2) 埼玉県:平成19年度埼玉県地震被害想定調査報告書, pp.5-1-5-4
- 3) JSSI 社団法人日本免震構造協会:時刻歴応答解析による免震建築物の設計基準・同マニュアル及び設計例, 2010年3月, pp.66
- 4) 建設省建築研究所:設計用入力地震動作成手法技術指針(案), 平成4年3月, pp.60
- 5) 株式会社東建ジオテック社内資料
- 6) 国土交通省:国土技術政策総合研究所資料第458号, ダムの耐震検討用地震動設定への半経験的手法の適用, 平成20年3月, 第2章断層モデルを用いた半経験的手法の研究経緯 pp.4-5, 第3章半経験的手法の解説及びパラメータの設定方法 pp.7-9
- 7) 翠川三郎・小林啓美:地震断層を考慮した地震動スペクトルの推定, 日本建築学会論文報告集, No.282, 1978.8, pp.71-81
- 8) 中央防災会議:東海地震に関する専門調査会, <http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/tokai/2/1-2-3-01.html>
- 9) 香川敬生:(社)日本地震学会強震動委員会, 強震動予測—その基礎と応用, 第2回講習会資料, 4. 経験的グリーン関数法の考え方と実際の計算 2003.2.8, pp.80
- 10) 山口県:山口県地震被害想定調査報告書, 平成20年3月, pp.IV-9
- 11) 防災科学研究所:研究資料第258号, 地震動予測地図の工学的利用—地震ハザードの共通情報基盤をめざして—, 地震動予測地図工学的利用検討委員会報告書, 2.1.4 シナリオ地震に対する強震動評価, 平成16年9月
- 12) 佐々木誠二:日本建築学会中国支部, 建築基準法施行令・新検証法のための耐震セミナー, 第1部第5回資料, 2000年12月9日
- 13) 佐々木誠二:埼玉県地質調査業協会, 平成23年度技術講演会資料, ③地震動と地盤の関わり, 2011年11月9日

## 静岡県における被害予測と防災への取組み —減災社会の構築に向けた静岡県の取組みと課題—

### 【Key Word】

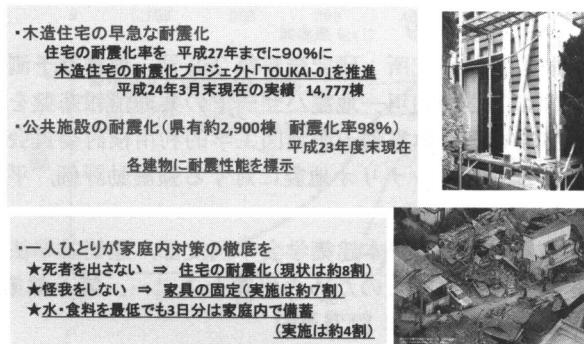
東海地震、広域激甚災害、自助・共助・公助、少子高齢化、  
第4次地震被害想定、減災社会

いわ たか よし  
岩田 孝仁\*

### 1. 元来、東海地震は広域激甚災害

東海地震発生の切迫性が1976年に指摘され、静岡県では県民挙げて地震対策に取り組んできた。その成果が、「自助」「共助」「公助」を軸とした静岡県の防災対策となっている。未だ十分とは言えないが、県民一人ひとりの「自助」として住宅の耐震化は約80%，家具固定の取組みは70%，家庭における3日分以上の非常食備蓄は40%の実施率である。「共助」の要である地域の自主防災組織はほぼ100%結成され、防災訓練の実施は

まずは「自助」  
災害時に避難しなくてもよい環境づくり



### 「共助」の要 静岡県内の自主防災組織の現状

- 組織数は 5,180で、組織率は約100% ⇌ 全国平均 75.8%
- ・自主防災組織への参加意識  
自主防災組織に入っているか？ 69.1%  
自主防災組織の活動は活発化か？ 活発 13.3%  
まあまあ活動 60.4%
- ・防災訓練の実施回数 7,928回/年  
1組織あたり 1.5回/年 ⇌ 全国平均 0.6回/年
- ・防災訓練の参加意識  
地域などでの防災訓練への参加 58.2%
- ・資機材の保有状況 例えば、  
可搬式動力ポンプの保有率は 73.3% ⇌ 全国平均 14.1%  
地方防災行政の現況(平成20年3月 総務省消防庁)より

共助の強化に向けた取組

\* 静岡県危機管理部 危機報道監

年平均1.6回、地域の自主防災組織の活動を認識している住民は、まあまあという評価も含めて74%である。

地域の防災力を支える「公助」の取組みとして、静岡県では1979年以来、精力的に地震対策事業に取り組んできた。これまでの事業費約2兆円は、学校・病院・社会福祉施設の耐震化、緊急輸送路の耐震化、津波対策の水門や防潮堤の整備、耐震性貯水槽の整備などに充ててきた。この結果、県有施設や学校校舎の耐震化はほぼ100%完了し、津波対策が必要な沿岸の90%に津波防潮堤や耐震水門が整備された。

### “東海地震説以来35年”地震対策の現状

- 県有建築物2,900棟の耐震化率 98%
- 木造住宅90万棟の耐震化率 80%
- 学校校舎・体育館の耐震化率 ほぼ100%
- 耐震性貯水槽 8950基(各自主防災組織に2基相当)
- 津波防護施設(防潮堤、水門など)の整備 沿岸の90%完了
- 津波避難ビル 約1,200棟が指定

死者は 8,100人 ⇒ 4,300人に減少と推定



#### 静岡県民の防災意識の変化は？

(2007年夏 2009年秋 2011年秋調査)

- |              |                       |
|--------------|-----------------------|
| ・東海地震への強い関心度 | 43.2% → 49.8% → 63.8% |
| ・非常食の備蓄3日分   | 32.3% → 34.9% → 39.6% |
| ・水の備蓄3日分     | 25.6% → 33.1% → 37.2% |
| ・家具の固定       | 62.7% → 69.3% → 69.8% |

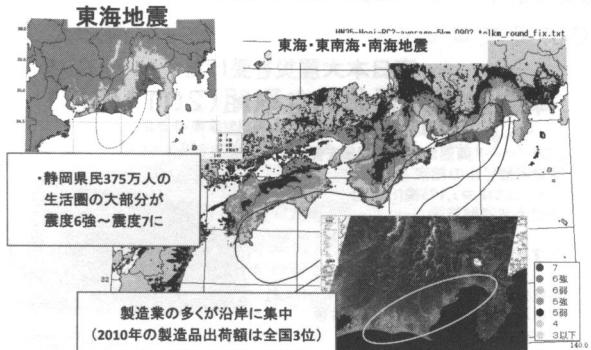
この様に、静岡県では地震災害軽減を目指した様々な取り組みを行ってきた。その原動力は、想定される東海地震が375万県民の生活圏である都市直下に震源域が拡がる海溝型巨大地震で、その被害は静岡県全域に及ぶ広域激甚災害であり、少しでも被害を減らさなければとの思いからである。

想定東海地震の規模はマグニチュード8程度、南北120km、東西70kmに及ぶ震源域は静岡県の中部から西部の陸域ほぼ直下に位置し、県内ほ

ほぼ全域で震度6強から震度7の揺れが想定される。また、5m～10mに達する大津波が地震発生直後に沿岸に襲来することから、「地震だ、津波だ、すぐ避難」をスローガンに地震発生から5分以内の避難を目標とした津波避難訓練を実施してきた。地震と同時に発生する土砂災害や地盤災害なども深刻な被害をもたらす可能性がある。

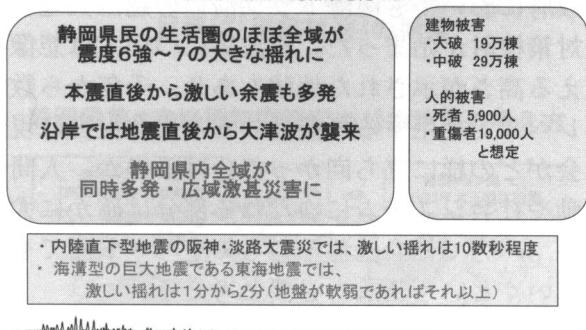
### 東海地震と東南海・南海地震による想定震度

(資料:中央防災会議)



### 東海地震は 「都市直下型の海溝型巨大地震」

静岡県の第3次地震被害想定では



### 東海地震は「都市直下型の海溝型巨大地震」 救出・救助、医療救護活動にも大きな支障が生じる

<救出・救助、医療救護活動の想定>

- 倒壊建物の下敷き、生き埋め20,000～28,000人　迅速救助が必要
- 高速道路や鉄道などでも、ひとたび事故が発生すれば数十人から数百人の死傷者発生の可能性
- 同時多発、要員不足などから救出の遅れ、隣近所の救助活動も限界に
- 医療施設の被災もあり、医療機能の大幅な低下

<緊急輸送活動の想定>

(緊急輸送路) 道路啓開作業のため、発災後1～3日は幹線の緊急輸送活動にも大きな支障が発生

(拠点港湾) 津波漂流物の除去などに3日程度を要し、岸壁の使用再開は4日目以降に

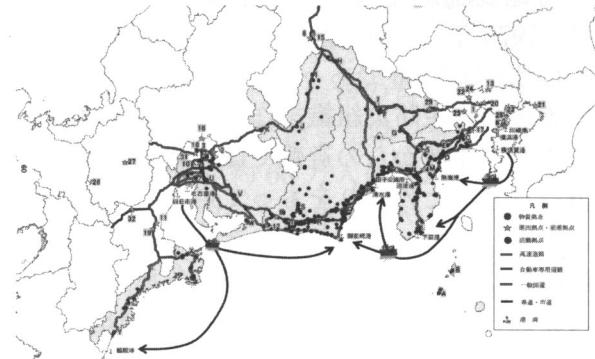
(ヘリポート) 避難者の存在による混乱、アクセス道路の障害発生

(2001:静岡県の第3次地震被害想定)

災害発生時の対応として、地域においては自主防災活動の充実や地域の事業所との連携を図って

きた。一方で、広域的な災害応急活動として全国から救助や救援などの応援部隊の派遣や緊急物資の輸送などを行う政府の災害応急活動を実効ある体制とするため、県外からの支援をスムーズに受けられるよう「静岡県広域受援計画」を策定している。これらは単に計画レベルで良とせず、日頃の防災活動において具体的な検証を行うことが重要である。例えば、自衛隊を交えた防災訓練においては災害時に応援に入る部隊が実際に進出ルートや活動拠点に入り、県や市町村職員と共に訓練や現地踏査を行い課題の抽出と改善を行っている。計画の実効性を高めるためには、このような平時の検証と取組が重要である。

### 政府の東海地震応急対策活動要領による 緊急輸送ルート・前進拠点・進出拠点・物資拠点



## 2. 浮かび上がってきた課題

日本の少子高齢化の進行は深刻な社会課題である。特に、地域のつながりや活力が脆弱になると、社会システムとして地域の相互扶助や補完機能が平時にはかろうじて維持されていても、災害などにより一旦破綻すると回復力がなくなってしまう。このため災害時に必要とされる対応力の欠如だけでなく、地域の復旧や復興にも重大な影響が及ぶことが考えられる。

2011年3月11日に発生した東日本大震災では、甚大な津波災害に見舞われた三陸の沿岸各地には震災直後には支援がほとんど届かなかった。人命救助や医療救護活動など、いわゆる災害応急活動そのものが届かず、そのため命を落とされた犠牲者も多くあったと聞いている。一方で、支援物資も届かない被災直後の過酷な状況にも関わらず三陸沿岸特有の地域コミュニティのつながりの強さに支えられた面もあると強く感じた。

筆者自身も震災直後から静岡県現地支援隊長として岩手県沿岸地域に支援に入り、地域の高齢者を住民皆で支え合い、乏しい物資を分け合う、必

## 多くの避難者でごった返す避難所

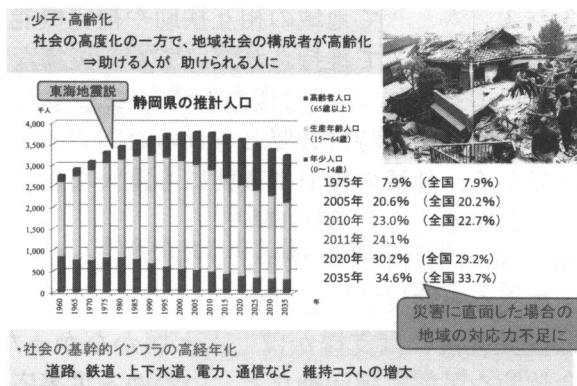
(山田町南小学校)



要以上の支援は望まない控えめな被災者の姿など、地域コミュニティのつながり「絆」の強さを様々な場所で垣間見た。

東海地震説が発表されたのは1976年である。当時(1975年)の静岡県内の高齢化率(65歳以上の人口比)は7.9%であった。この時代に、県民挙げて地域の自主防災組織を作り防災訓練に取り組んできた。津波からの避難では、地区の青年団が津波に見立てたのぼりをもって走り、それから逃れるためリヤカーにお年寄りを乗せ急いで高台の避難場所に向かう、そんな訓練も各地で行われていた。2012年の静岡県の高齢化率は23.8%、2020年には30%を超えると推計されている。高齢化社会の中で地域コミュニティの力をどう維持し災害に立ち向かえるのか、地域の自主防災組織に新たな取組みが求められている。

### 阪神・淡路大震災から18年＜顕在化してきた課題＞



同様に、災害対応力の観点から無視できない問題として、道路や水道、電気など主要なインフラの高経年化も大きな課題である。国土交通省が行った全国の道路橋の調査では、全国15万橋の内、多くが1960年代に建設され50年以上経過した橋は8%、10年後には28% 20年後には53%になるとの試算が示されている。社会インフラの被災が

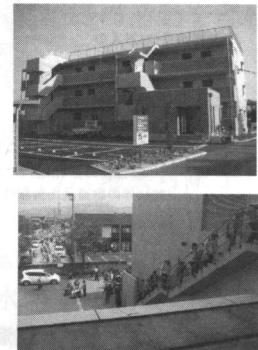
甚大になれば、災害時の対応力だけでなく復旧・復興に大きな支障が生じてくることは容易に想像できる。

東日本大震災を契機に、静岡県内でも津波対策について重点的に見直しと充実が図られてきた。昨年度1年間で全県的な緊急津波避難訓練を3回実施し、毎回、津波避難対象地区住民27万人の内約3割が参加した。津波避難ビルは震災前の508棟から1,175棟に、海拔標示は1,699箇所から9,355箇所に増えた。

### 東日本大震災を受けた 津波対策の緊急的な取組(2011年度)

津波対策アクションプログラム(短期対策編)を策定

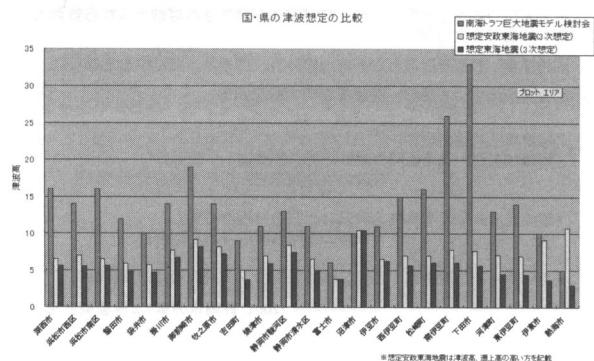
- ・ソフト・ハード両面から津波対策を見直す
- ・津波避難ビルの指定  
508棟⇒1,175棟(H24.8)
- ・民間津波避難施設  
0箇所⇒23箇所(H24.8)
- ・津波避難タワー建設  
7基⇒49基(H24予定)
- ・海拔表示 1,699箇所⇒9,355箇所(H24.8)
- ・海岸堤防の整備に企業から寄付金  
(300億円の基金設置)
- ・津波対策推進旬間を7月から3月に変更
- ・緊急津波避難訓練を実施  
5月21日 82,000人参加  
12月4日 地域防災訓練 63万人参加  
3月11日 75,000人参加  
(津波避難対象地区人口27万人の3割参加)



政府においても南海トラフ沿いの超巨大地震への対策検討が始まった。津波高については想像を超える高さが示された地域もあり、千年から数千年レベルで発生する可能性のある自然災害に現代社会がどの様に立ち向かっていけるのか、人間の行動や社会システムにゆだねる部分は確かに大きいが、一方で社会基盤そのものをハード面でも守っていくという議論も必要と考える。

さらに、千年から数百年に一度繰り返す内陸の活断層や火山の噴火についても同様のレベルで議論する必要がある。

### 内閣府の津波高推計と 静岡県第3次地震被害想定との比較



### 3. 課題の解決に向けて—減災社会の構築—

駿河トラフから南海トラフにかけては歴史的に100年から150年の間隔で巨大地震が繰り返し発生してきた。相模湾トラフでも1923年の関東大地震のように繰り返し発生する巨大地震がある。これら歴史的に繰り返し発生してきた巨大地震と、千年から数千年に一度、まれに発生する可能性のある超巨大地震を対象に、静岡県では2013年6月を目途に地震被害想定を見直し（静岡県第4次地震被害想定の策定）、地域防災計画の改定、新たな地震・津波対策アクションプログラムの策定を行うこととしている。

### 次の防災対策ステージに向けて

（平成24年度）

#### ・第4次地震被害想定の実施

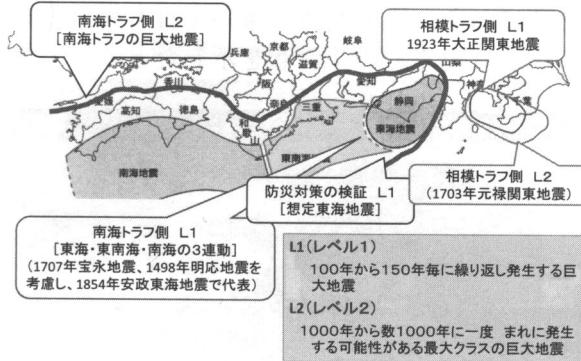
- ・東海・東南海・南海地震の連動発生を想定
- ・相模湾での大規模地震発生も想定
- ・富士山噴火などの連続灾害も想定の視野に
- ・東日本大震災の教訓を生かし、耐震化など予防対策や災害応急活動に関し、分野毎に14のWGを設置
- ・防災原子力学会議の地震火山対策分科会（新）、津波対策分科会での意見助言を反映

（平成25年6月を目指す）

- ・危機管理計画（地域防災計画）の改定
- ・地震・津波対策アクションプログラムの改定

目標は「減災社会」の構築

### 静岡県第4次地震被害想定の対象地震の考え方

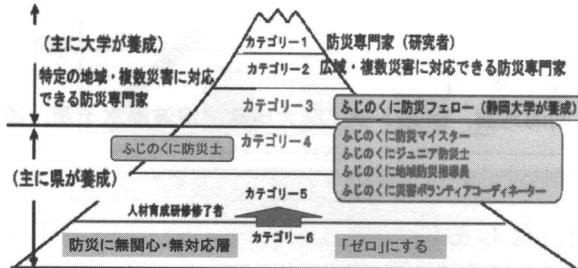


前提となる災害としては、これらの巨大地震に加え富士山の噴火が連続して発生することなどを視野に入れ、災害応急活動のプロセスや課題などを検討し、防災体制の組み直しを行うこととしている。

一方で、社会の防災力の維持・向上を図るため、学校や社会教育、職場研修、子育て世代、社会の一線からリタイヤを始めた団塊の世代等、様々な人々を対象に防災に関する人材育成研修を始めた。静岡大学や富士常葉大学など県内の6つの大学、気象台、報道機関が参加する静岡防災コンソ

ーシアムを立ち上げ、これらの機関の協力のもと定期的な防災講座や防災研修プログラムを実施し、静岡大学では大学院レベルの教育を目指した防災フェロー講座を開講し、防災の基礎素養から応用力まで備えた人材育成に努めている。

### 静岡県の ふじのくに防災に関する人材育成



地域社会の活動に若い世代が積極的に関与できる場として地域の防災活動がある。静岡県では毎年12月の第1日曜日に地域の自主防災組織が主体となった地域防災訓練を全県一斉に実施している。参加者は例年約60万人に及ぶ。この訓練に教育委員会の協力のもと中学生や高校生を積極的に参加させる取組みを始めて7年になる。各学校から出席カードを持たされた生徒が当初は半ば強制的に地域の防災訓練に参加する試みであったが、昨年は中・高校生のほぼ半数が参加し、大人に交って可搬ポンプの操作訓練や救出救助訓練、高齢者の見回りなどに参加する姿が目立つようになってきた。

・中・高校生の防災訓練への参加  
平成23年12月の地域防災訓練 625,000人の内  
中高生 約102,000人が参加（中高生の50%）



・事業所が地域の一員として防災に参加  
⇒事業所の社会貢献(CSR)

はじめての避難所運営



# 高知県における被害予測と防災への取組み

## 【Key Word】

南海地震、南海トラフ巨大地震、津波浸水予測、津波避難、発生頻度の高い地震

きた がわ  
北川 尚\*

## 1. はじめに

今後30年以内に60%程度の高い確率で南海地震が起こるとされている本県にとって、東日本大震災による深刻な被害は決して他人ごとではありません。県では、この震災から多くのことを学び、これまでの取り組みをもう一度検証しながら、「今すぐできること」と「抜本的な対策」の2つを大きな柱として、南海地震対策の加速化と抜本的な強化に取り組んできました。

さらに本年度は、「南海トラフ巨大地震対策のさらなる拡充と加速化」を図ることとしており、新想定を踏まえた対策の見直しを着実に実施することで、災害に強い地域づくりを目指しています。具体的には、医療機関、社会福祉施設、保育所等を利用する災害時要援護者の方々の命を守る対策の一層の加速化、民間活力を活かした防災対策の推進、津波防波堤の整備や堤防耐震化など防災・減災対策に資するハード事業等の推進を図り、最大クラスの地震・津波に備えることとしています。

## 2. 震度分布と津波高の第一次報告を受けて 3月末に内閣府から南海トラフ巨大地震による

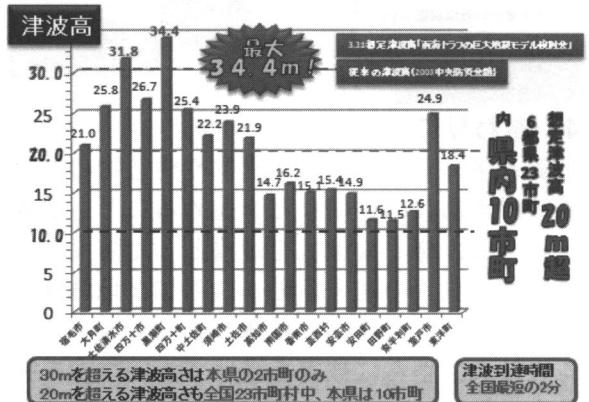


図1 高知県における津波高

\* 高知県危機管理部副部長

震度分布・津波高の第一次報告が公表されました。

発生頻度は極めて低いものの、発生すれば甚大な被害をもたらす最大クラスの震度や津波高であり、黒潮町や土佐清水市では想定津波高が30mを超えるなど、本県は全国で最も厳しい数値が示されました。

### 2.1 高知県版第1弾津波浸水予測

第一次報告によって県民の間に広がった不安やあきらめ感を払拭するには、内陸部における浸水域や浸水深、到達時間を早期に示す必要があると考え、5月10日には本県独自の第1弾となる津波浸水予測を公表しました。併せて、この最大クラスの津波に対しても県民の生命を確実に守ることを念頭におき、津波避難対策の1日も早い完成を目指し取り組んでいく決意を示したところです。



図2 第1弾の津波浸水予想図（高知市）

### 2.2 具体的な取り組み

今回の浸水予測により、新たに108の地域で津波避難計画の策定が必要となりました。市町村や各地域で具体的に避難場所の確保や見直しを進めるにあたり、県としては、さまざまな避難方法を排除することなく、実行可能性を多方面から検討

したうえでこれらの選択肢を示すなど、最大限の支援を行うこととしています。

## ① 津波避難シェルター

「津波から逃げる」場合にあっても、これまでの高台や避難ビルなどへの垂直避難に加え、津波が到達するまでの時間が短い場合には、速やかに避難するため下方向や横方向へ逃げ込むことができ、かつ如何なる津波高にも対応できる津波避難シェルターについて、産学官連携のもと技術的な検討を行ってきました。今後は、実際にシェルターを現地に建設し、データを蓄積しながら技術的検討を進め、実用化に繋げていきたいと考えています。

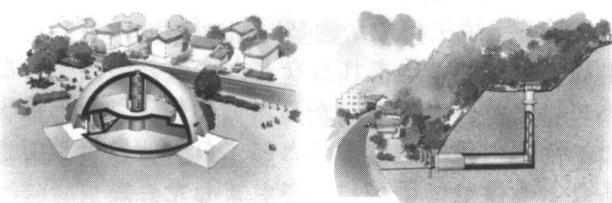


図3 津波避難シェルター（イメージ図）

## ② 財政支援制度の創設

津波避難計画を策定し、避難場所が選定できた地域では、住民が確実に避難できるよう、市町村が避難施設を整備することとなります。その際に、市町村の実質的な負担をなくす新たな財政支援制度を本年度に創設しました。

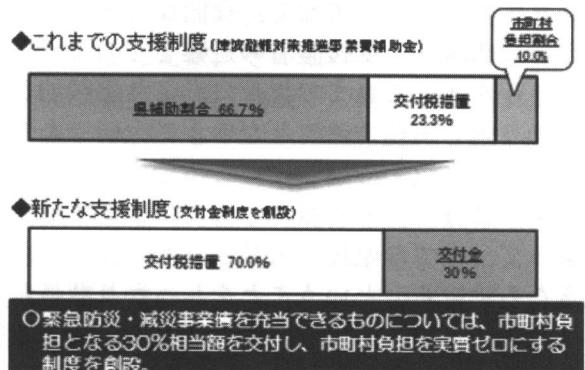


図4 県による新たな支援制度

この制度を最大限有効に活用することで、平成25年度末までには津波避難施設の整備を概成させたいと考えています。

こういった支援制度を創設したことや、新たな津波浸水予測を公表したこと、津波避難タワー等の整備が大幅に加速してきました。本年度に市町村が実施する津波避難対策事業は、津波避難タワー33基、避難路や避難場所326箇所などで、これに要する事業費は昨年度の10倍以上となる約80億円と激増しました。昨年度に整備した津波

避難施設は、避難タワーが8基、避難路や避難場所が87箇所でしたので、本年度はそれぞれ約4倍の施設を整備することとなります。

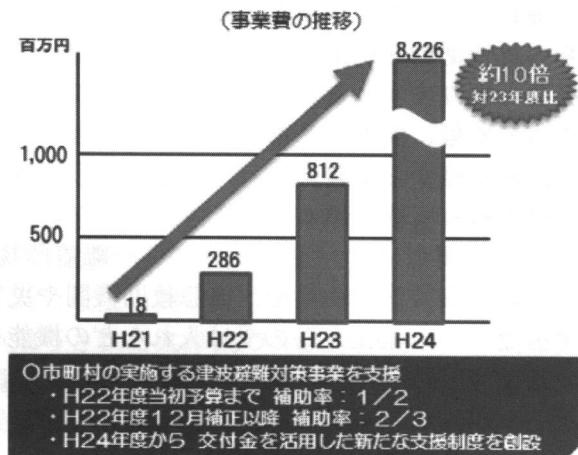


図5 市町村が行う津波避難対策事業

## ③ こうち防災備えちょき隊

地域の地震・津波への取り組みを県として積極的に支援する目的で、「こうち防災備えちょき隊」の隊員を地域の要請に応じて派遣する仕組みを創りました。この組織は、県の土木部や危機管理部の技術職員OBと日本防災士会高知県支部、県内大学の学識経験者で構成しており、隊員の持つ防災に関する経験やノウハウを、地域の防災力向上に活用しようとする取り組みです。

避難場所の選定や津波避難計画を策定する際に技術的なアドバイスを行ったり、避難訓練などにおいて実践的な防災アドバイスを行うなど、地域の特性や実情に応じてきめ細やかに対応することで、県民の安全度を日々高めていきたいと考えています。

## ④ 高台移転等

生命はもちろん、歴史や文化、地域に根差した産業など日々の暮らしを守るには、地震発生前の高台への移転や現位置での高層化も検討しなければなりません。集団移転にあたっては、何よりも住民の合意形成が重要で、地域が一体となった粘り強い議論の積み重ねが必要となります。とはいっても、災害時要援護者施設の高台移転は何をさておいても先行させなければなりません。このため、モデル施設を選定し高台移転や高層化における様々な課題を抽出したうえで、実現に際し必要となる制度の創設・拡充を検討するとともに、政策提言に繋げていきたいと考えています。

一方、津波防災地域づくりに関する法律に基づく計画の作成や警戒区域の指定といったまちづくりの観点を踏まえつつ、現行の防災集団移転促進事業における限度額の撤廃など補助要件の緩和

や、公益施設への補助対象の拡大・拡充についても、今後も引き続き国に強く訴えていきます。

## ⑤ 総合防災拠点

南海地震などの大規模災害時においては、全国からの支援活動を円滑に受け入れられる拠点施設が必要となります。このため、本年度中に総合防災拠点の整備に向けた基本構想をとりまとめたうえで、来年度からは整備に着手できるよう、スピード感も持って取り組んでいます。

総合防災拠点は、大型ヘリコプター離着陸場、物資備蓄や支援物資の集配、応急救助機関や災害派遣医療チーム(DMAT)の受け入れなどの機能を有する前方展開型の拠点施設を想定しています。

### 2.3 ハード施設の整備方針

海岸や河川堤防など県民の生命や財産を守るハード施設については、引き続き一刻も早い整備の完了を目指して取り組んでいます。その際には、発生頻度の高い地震への備えを基本に、最大クラスの津波に対しても避難時間を稼ぐなどの減災効果が發揮できる粘り強い構造とすることを基本方針として整備を進めています。

また、公立学校の耐震化は、一部の市を除き平成27年度中の完成に向け改修工事を前倒しして取り組んでおり、住宅の耐震化や橋梁の落橋防止などといった従来から進めてきた揺れ対策についてもしっかりと継続して行っています。

一方、これまで進めてきた土木施設や建築物などの揺れ対策も着実に実施しており、さらに、本年度からはブロック塀の耐震対策についても補助メニューに加えるなど、避難路の安全性確保にも取り組んでいます。

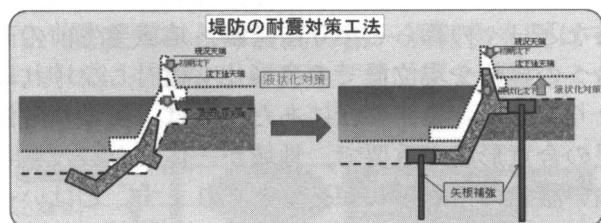


図6 堤防の耐震化・液状化対策

## 3. 浸水予測と被害想定の第二次報告を受けて

### 3.1 津波高・浸水域等

8月29日に内閣府から公表された津波浸水予測では、前回同様、全ての沿岸市町村で津波高が10mを超える、浸水面積も全国で突出するなど、極めて深刻な結果となっています。とはいっても、3月末に内閣府が示した第一次報告を受け、本県が独自に実施した第1弾の浸水予測と大きな

差異がないことから、これらを冷静に受け止めたうえで、今後も県民の皆様の生命・財産を守る対策をこれまで同様に全力で進めていくこととしています。

一方、併せて示された津波到達シミュレーションでは、本県の沿岸部に6時間以上も高い津波が繰り返し来襲する姿が示されており、避難場所の確保を急ぐとともに、長時間そこに居続けることを念頭に置いた対策も必要であることなどを再認識しました。

### 3.2 建物被害・人的被害想定

今回は、建物被害と人的被害も内閣府から公表されました。最悪のケースでの本県の被害は、建物の全壊・焼失棟数が約23万9千棟、死者数が約4万9千人と見込まれるなど大変厳しい結果となっています。しかしながら、この想定される被害は、防災対策を進めることにより大幅に軽減できることも併せて明確に示されました。

これによると、地震発生後、直ちに全員が避難を開始すれば死者数を約7割軽減でき、津波避難ビル等の有効活用や住宅の耐震化により、さらに死者数を大幅に軽減できるとされています。

このことは、地震発生直後の避難の迅速化が、いかに命を守るために重要であるかを如実に物語っています。県では市町村と連携して、津波避難施設の25年度末の概成を目指し全力で取り組んでいますが、これと併せて、夜間などあらゆる状況下での訓練や、要援護者の避難をどのように支援するかなど、これまで以上に、より実践的な訓練を繰り返し実施することがいかに大切であるかということを改めて感じたところです。

今後、こうした取り組みを確実に推進することによって、全ての県民一人ひとりが「強い揺れが起きたら逃げる」ということをしっかりと認識して行動に繋げていけるよう、徹底的に啓発活動を行っていくこととしています。

### 3.3 高知県版第2弾津波浸水予測

国の新たな想定を踏まえて、県の総合的な津波避難対策の根幹とするため、年内には第2弾の津波浸水予測の公表を予定しています。

その際には、最新の地形データや海岸施設などの構造物データを反映して、最悪のシナリオとなる「最終防潮施設等がない場合」と、整備目標である「最終防潮施設等が機能する場合」を併せて推計することとしています。さらに、今後の課題となりますのが、最終防潮施設の耐震・液状化対策

の状況も踏まえて推計することで、避難時間を確保するため優先的に堤防の耐震化等を実施する必要がある地域を特定させるなど、多重防御を検討するうえでの基礎資料にしたいと考えています。

また、的確な避難行動に繋げるための時間経過による浸水域の変化も推計したうえでCG化するとともに、過去に来襲した津波痕跡についても、古文書等の記録や津波堆積物調査の結果を津波浸水予測図に重ね合わせて表示するなど、単に津波浸水予測図を県民に提示するのではなく、津波の来襲状況や浸水範囲をより現実のものとして実感しやすい形に加工して伝えていきたいと考えています。

#### 3.4 発生頻度の高い地震・津波

県民の生命を守ることに直結する津波避難対策や災害時における医療救護活動、総合防災拠点の整備等については、当然のことながら最大クラスの地震に備えていきますが、防災対策全般を考えた場合、最大クラスを考えた対策だけでは、発生頻度の高い地震に対してむしろ十分な対応ができないこともあります。このため、応急・復旧復興対策は、最大クラスに加え発生頻度の高い地震も視野に入れた検討を行い、対策に幅を持たせることが重要と考えています。

海岸堤防などの最終防潮施設の整備は、日常生活の利便性、事業実施の期間や費用の面から、発生頻度の高い地震に備えることはこれまでにも言わされてきましたが、その他のハード施設についても、発生頻度の高い地震への対応を基本として整備を進めています。その際には、全て一律的な整備水準とするのではなく、例えば災害拠点病院など地震発生時に確実に機能しなければならない施設もあるので、施設の役割や重要性により整備水準に幅を持たせることとしています。

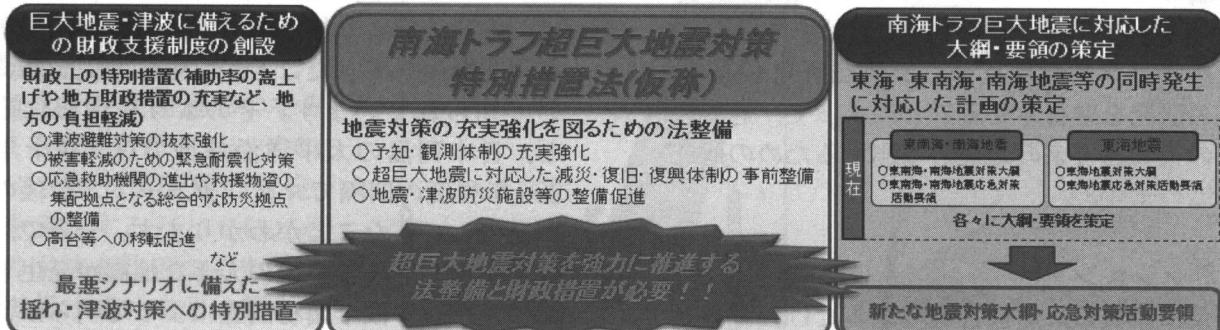


図7 南海トラフ超巨大地震対策特別措置法

#### 4. 南海トラフ特別措置法の制定に向けて

南海トラフを震源とする巨大地震対策を確実に進めていくためには、これを国策の中心に据え、強力に推進する体制を構築し、東海から九州に至る極めて広い範囲を包括的にカバーする特別措置法を制定することが極めて重要と考えています。

このため、これまでにも「東海・東南海・南海地震による超広域災害への備えを強力に進める9県知事会議」で政策提言を行うなど連携した取り組みを進めてきたところです。

新たな法の制定については、東日本大震災で思い知らされた大津波の脅威を教訓に、事前復興の観点も含む津波対策の推進や、そのための財源支援措置の充実、さらには南海トラフ沿いの全域での予知観測体制の早期確立などを柱に、是非とも実現しなければならないと考えています。

南海トラフ巨大地震対策特別措置法案は、6月に議員立法として国会に提出され、現在継続審議となっています。内閣府の8月末の第二次報告においても、法律の制定に向けて具体的な検討に取り組むことが明言されており、この特別措置法が早期に成立されることを期待しています。

#### 5. おわりに

県では、最悪レベルの津波が襲来したとしても、県民の生命を確実に守ることを第一に考え、今後も全力で地震や津波に立ち向かっていくこととしています。一方、県民には近い将来確実に起こると言われている南海地震を正しく理解し、これに備えるという意識を強く持つもらうことが重要と考えています。

「地震を防ぐことはできません。地震や津波の推計結果を冷静に受け止め、正しく恐れることができ大切です。」

# 活断層・地震研究センター

おか むら ゆき のぶ  
岡 村 行 信\*

### 1. はじめに

活断層・地震研究センターは、2009年4月に5年間の期限付き研究センターとして、地質学をベースとした地震研究を推進するために設置されました。設置後約2年の2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震が発生し、東北地方の太平洋沿岸が受けた甚大な被害に、日本社会全体も大きな衝撃を受けました。地震後、多くの地震の専門家は想定外と表現しましたが、その一方で当研究センターが仙台平野とその周辺で津波堆積物調査を行っていたことが大きな注目を浴びました。これによって、地層や地形に残された過去の地震記録の調査研究に対する関心が高まり、期待も膨らみました。

海洋プレートの沈み込み帯に位置する日本列島は、巨大地震から逃れることはできませんが、過去の地震を知り、適切な対応を取ることができればその被害を大きく軽減できるはずです。2011年3月11日に生じたような災害を繰り返さないためには、できるだけ古くまでさかのぼって過去の地震を明らかにする必要があります。活断層・地震研究センターは、産業技術総合研究所の地質分野に属するというバックグラウンドを活かして、地質の調査によって過去の地震活動を解明しつつ、地球物理学的な視点からの地震研究も進め、それらの研究を融合させることによって、過去の地震像の復元と将来の地震の予測するための研究を進めています。

### 2. ミッション

地震及び津波による被害をできるだけ軽減させることが活断層・地震研究センターのミッション

です。より正確に言えば、被害を軽減させるための防災対策の計画立案に使える地震に関する予測情報を社会に提供することです。残念ながら、現状では正確な地震の予測は困難です。予測精度を高めるための研究を進めるとともに、将来の地震についてどこまで予測できていて、何が予測できないかを伝えることが重要であると考えています。

地震の予測精度を向上させるためにはいくつの課題があります。内陸地震は活断層で発生することが1995年兵庫県南部地震によって広く理解され、全国の主要な活断層調査が着実に進められてきました。さらにその結果に基づいて、地震発生確率や地震動予測地図などが文部科学省から公表されてきました。残念ながら、兵庫県南部地震以降に発生したマグニチュード7前後の地震は、それまでに想定されていた主要活断層の活動ではなく、また発生した場所は大きな地震動に襲われる可能性が相対的に低いと予想される地域でした。このような現実を直視すれば、活断層の認定、地震発生履歴の解明、地震規模の予測などまだ解決すべき課題が多いことがわかります。

プレートの沈み込み帯で発生する海溝型地震は、内陸地震より短い間隔で、ほぼ同じ場所で繰り返し発生してきたことが、主に歴史記録に基づいて知られています。そのような情報に基づくと、日本列島の太平洋沿岸域では、数十年から200年程度の間隔でマグニチュード8前後の地震が発生してきたことがわかります。一方で、より長い間隔でさらに規模の大きな地震が発生していることが、津波堆積物調査によって明らかになりました。東北地方太平洋沖地震は、このような地質学に基づいた地震予測研究によって被害を大きく軽減できる機会にできる可能性がありました、実際には巨大津波の危険性が周知され

\* (独)産業技術総合研究所 活断層・地震研究センター  
センター長



図1 陸域及び沿岸海域の活断層調査

る前に地震が発生したために、研究成果を広く減災に活かすことはできませんでした。一方で、東北地方太平洋沖地震と津波堆積物調査から予測した地震規模にはかなりの差があり、地震規模の予測については今後も改善が必要であることがわかります。

以上のように、地質学的手法に基づいた地震の予測には多くの課題が残されており、それらを解決するために、6つの研究チームによってそれぞれの専門分野での研究を進めるとともに、異なる専門分野の連携による総合的な課題の解決を目指しています。

### 3. 研究体制

#### 活断層評価研究チーム

地質学及び変動地形学を専門とする研究者のグループで、野外において活断層の認定、評価を実施するとともに、それらの手法を改善するための研究を行っています。最も大きな仕事は、文部科学省からの委託に基づいて実施している、全国の陸域及び沿岸海域の主要な活断層の調査です(図

1)。この調査によって、活断層の位置及び形状と、活動履歴を解明し、活断層評価や地震動の予測の基礎データを提供しています。同時に、見えにくい活断層の評価手法、複数の断続的な活断層からなる断層系における連動破壊の評価手法の改善を目的とした研究を進めています。

#### 地震発生機構研究チーム

地震現象を物理学的に解明することを目的とした、地球物理学を専門とする研究者からなるグループです。研究対象は幅広く、微小地震の発生メカニズムの解明に基づいた応力場や地震発生メカニズムの研究、日本列島の地殻構造を数値

的に再現して、ひずみの集中域や地震発生サイクルシミュレーションを目指す物理モデルの構築(図2)、地表における微動観測による地盤構造解明手法の開発、活断層に沿った滑りの多様性を再現するための物理モデルの開発などを行っています。すぐには実現不可能ですが、活断層調査だけでは完全に明らかにできない、地震発生間隔の予測や規模の推定精度を向上させることが目標です。

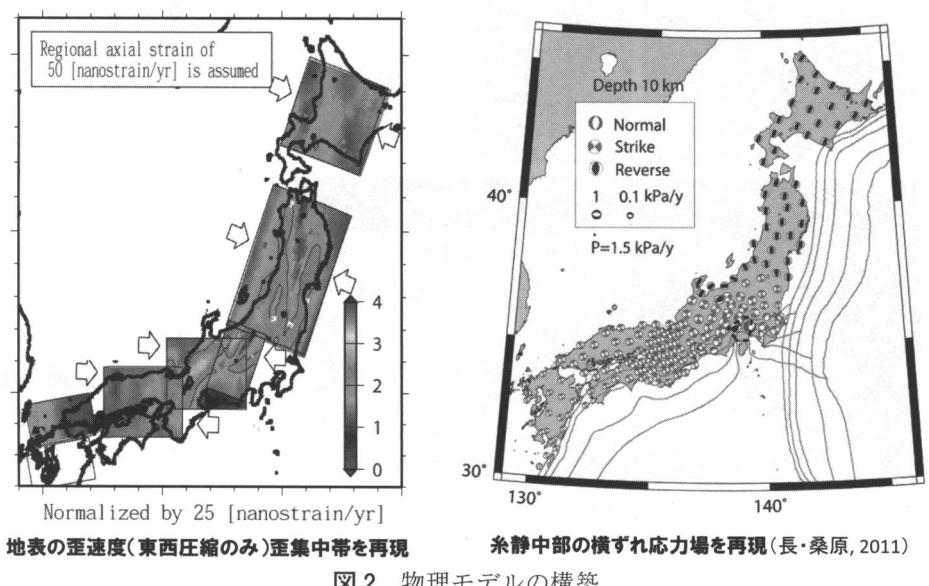


図2 物理モデルの構築

## 地震発生過程研究チーム

岩石の変形実験を通じて、断層すべりがどのように発生し、進展していくかを解明することを目的とした、基礎的な研究を行っている地球物理学と地質学の研究者からなるチームです。地震が発生する地下深部の温度・圧力条件を再現し、岩石に変形を発生させながら、様々な計測を行える実験装置を所有しています。また、常温での岩石破壊装置、断層面の高速滑りを再現する装置なども所有しています。それらの装置を用いて、地震発生の鍵を握っていると考えられる地震発生域よりやや深い条件での岩石変形様式、地震発生直前の

微小地震の発生パターンの変化、断層滑り時の摩擦特性の解明などを目的とした実験を行っています。

## 地震地下水研究チーム

南海トラフで近い将来発生する可能性がある、東海・東南海・南海地震の短期的な予測を目指した研究を進める地球物理学の研究者からなるチームです。東海地方から四国の地下深部ではフィリピン海プレートの沈み込みに伴って深部微動と呼ばれる地震や、ゆっくりとした滑りが時々発生しています。これを地下水位やひずみ計で観測することによって(図3)、プレートの沈み込みの状況をモニタリングでき、プレート間の巨大地震が発生する前には、これらの活動に変化が生じ、地震発生の前兆が見つかることが期待されています。地震予知に対して厳しい見方がされていますが、このような地震発生域より深部でのプレート運動を解明できる可能性は南海トラフ沿いしかないことから、

ことによって(図3)、プレートの沈み込みの状況をモニタリングでき、プレート間の巨大地震が発生する前には、これらの活動に変化が生じ、地震発生の前兆が見つかることが期待されています。地震予知に対して厳しい見方がされていますが、このような地震発生域より深部でのプレート運動を解明できる可能性は南海トラフ沿いしかないことから、

地震予知の可能性を追求しています。

## 海溝型地震履歴研究チーム

東北地方太平洋沖地震で一躍有名になった研究チームで、地形学、地質学、地球物理学の研究者からなるチームです。2004年頃までに北海道東部沿岸域で巨大津波が繰り返し発生していることを解明し、その後東北地方と西南日本の太平洋沿岸で、津波堆積物や地層に記録された過去の地殻変動の調査を行い、その結果に基づいて過去の津波規模を再現するための研究を進めています。東北地方の研究では西暦869年に発生した貞觀地震に伴う巨大津波を再現し(図4)、その成果は独自に公表するとともに、国の地震評価にも取り入れられ公開される直前でしたが、東北地方太平洋沖地震が先に発生しました。現在も、東北地方から関東地方の太平洋沿岸、静岡県から四国沿岸で津波堆積物や過去の地殻変動の研究を進めています。

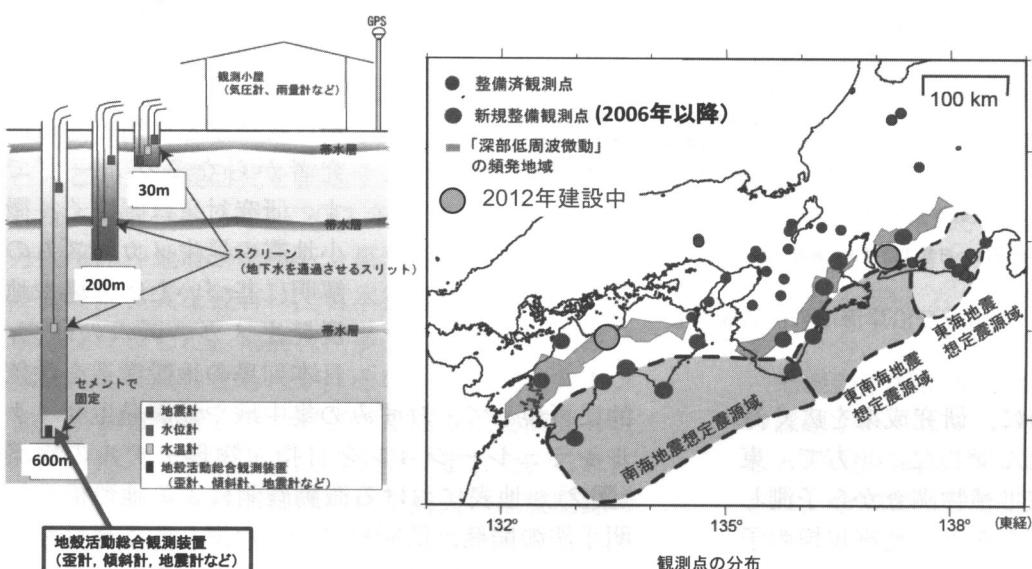


図3 東海・東南海・南海地震予測のための地下水等総合観測施設

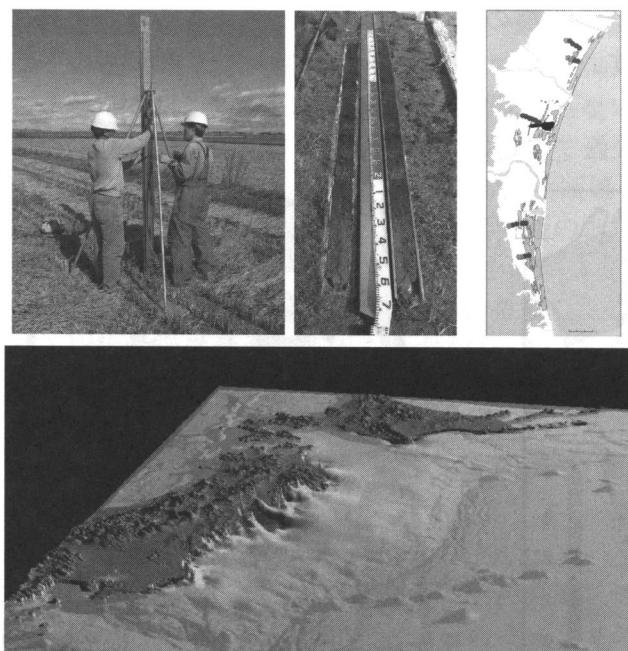


図4 野外での津波堆積物の調査(上左・中央)、その分布域(上右)とシミュレーションによる津波の再現(下)

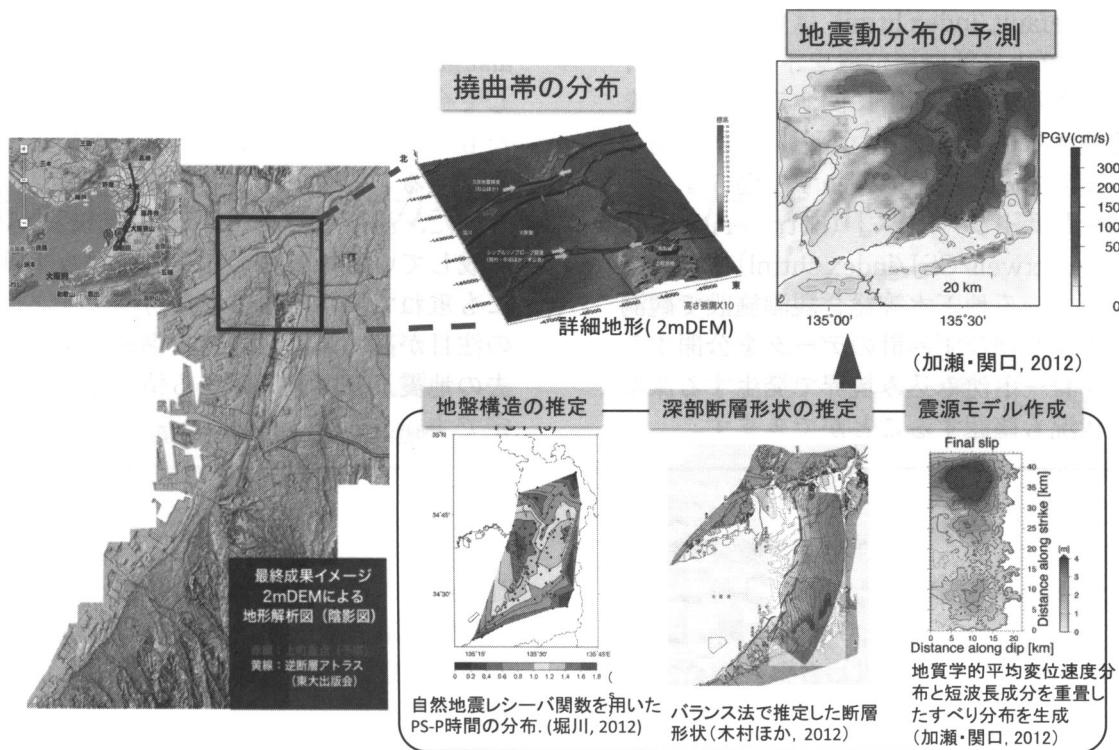


図5 上町断層帯の地震ハザード総合評価

## 地震災害予測研究チーム

地震の予測ではなく、地震による被害を予測するために揺れの強さや地盤の変形などを正確に予測することを目的とした、地球物理学と工学の研究者から構成される研究チームです。地震の揺れは、震源断層の破壊、地震波が伝わる地盤の構造によって変化し、特に地表付近の地盤に関する情報は重要です。また、活断層の活動は地表付近に大きなずれを生じ、そこに立地する構造物やライフラインに大きな被害を与えます。産総研が持つ地質情報をできるだけ活用して揺れの予測精度を向上させるとともに、地盤の変形を予測するために地下浅部の構造探査や数値計算による変形構造の再現に取り組んでいます（図5）。

## 4. 情報発信

活断層・地震研究センターが実施してきた調査・研究成果については、インターネットや出版物を通じて定期的に公表しています。当センターのホームページ（<http://unit.aist.go.jp/actfault-eq/index.html>）からはそれらの情報全てにアクセスできます。日常的な研究活動は毎月編集しているAFERCニュースで紹介しています。このニュースは上記の6つの研究チームが交代で編集を担当していますので、原則として年に2回、各チームの研究内容の紹介を行うとともに、毎月の特記事項を記述しており、上記のホームページから



図6 活断層データベース

ダウンロードできます。また、活断層や各種調査の詳しい内容は、「活断層・古地震研究報告」として年に1回印刷し、同時にPDFファイルをホームページで公開しています。

また、「活断層データベース」、「地下水観測データベース」、「地殻応力データベース」を公開しています。

「活断層データベース」(<http://riodb02.ibase.ac.jp/>)

aist.go.jp/activefault/index.html) は全国の活断層について、マップ上に活断層位置を示すとともに、今までに公表されている断層に関する調査結果をまとめて閲覧することができ、さらに日本列島の地下深部の速度構造も表示できます(図6)。

「地下水観測データベース」(http://riodb02.ibase.aist.go.jp/gxwell/GSJ/index.shtml) は、西南日本に設置している地下水等総合観測施設で観測している地下水及びひずみ計のデータを公開するとともに、プレート沈み込み境界で発生する深部微動の発生状況も確認することができます。

「地殻応力データベース」(http://riodb02.ibase.aist.go.jp/db106/index.html) は地震研究を目的として今までに実施された応力測定データを収集したもので、主要な活断層周辺における応力測定結果を見るることができます。

また、活断層データは地質調査総合センターで作成している地質図のインターネットサービス上にも重ねて表示することが可能です。今後、社会の注目が高い津波堆積物の調査結果を含めて、過去の地震及び津波に関する情報を公開していく予定です。

土木研究所資料 第4176号に準拠

## 土層強度検査棒

現場でC・φ



重量 4kg  
計測時間 約1~2分  
計測強度値 C, φ

SS試験と併用



Site 02  
2011年12月19日14:00~

(株)土木研究所 材料地盤研究グループ 地質チーム開発

安定解析・対策工設計

土質強度等入力	入力値	標準値
過剰間隙水圧高 $u_s$ (m)	30	30
単位体積重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	18.0	18.0
側面粘着力 $c_1$ (kN/m <sup>2</sup> )	99.0	99.0
側面内部摩擦角 $\phi'_1$ (度)	35.0	35.0
底面粘着力 $c_2$ (kN/m <sup>2</sup> )	0.0	0.0
底面内部摩擦角 $\phi'_2$ (度)	25.0	25.0

標準値と異なる値を入力した際には、入力値と標準値の間にマークが表示されます。

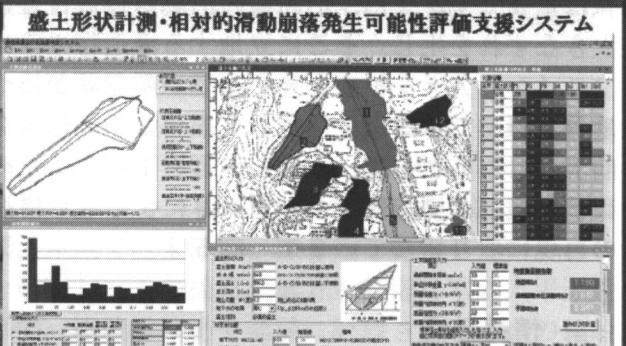
移動体体積の引当方法 「面積A×深さD」 or 「幅W×長さL×深さD」

幅W/深さD比 14.9

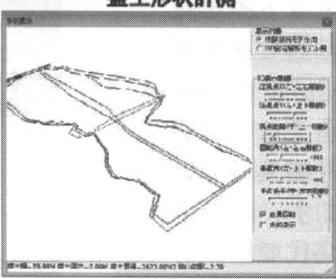
国土地理院技術資料H・1-No.10に準拠

## 滑動崩落危険度評価

盛土形状計測・相対的滑動崩落発生可能性評価支援システム



盛土形状計測



GISに出力; 谷埋め盛土ハザードマップ



有限会社太田ジオリサーチ <http://www.ohta-geo.co.jp>

# 私の経験した現場

## 土壤・地下水汚染が顕在化したサイトの調査事例

にし かわ たか お  
西 川 隆 夫\*

### 【Key Word】

土壤汚染、地下水汚染、土壤調査、油汚染調査

### 1. はじめに

土壤汚染という問題は、大気や水質の汚染に比べ、汚染メカニズムの困難さや土地の私有財産という観点から、制度や技術開発などの取り組みが遅れていた。しかし、20年前頃から土壤汚染問題が顕在化してきたことから、平成14年に土壤汚染対策法が成立し、土壤汚染問題が一般社会に認識されるようになった。しかし、油汚染の問題については同法の対象とはならなかったが、油臭・油膜による生活環境保全上の支障は生じていた。

ここでは、市街地における土壤・地下水汚染調査、漏洩事故に伴う油汚染調査、ガソリンスタンドにおける油汚染調査の3事例を紹介する。

### 2. 市街地における土壤・地下水汚染調査

#### 2.1 概要

某地域の市街地においてVOCによる土壤・地下水汚染が確認された。当該地域にはVOCの有機溶剤の使用が確認されたA事業所が存在し、主たる汚染原因者である可能性が示唆されていた。しかし、当該地域の水理地質構造や地下水流动状況が十分に解明されていなかったため、汚染源の特定には至らなかった。本業務では、既存調査結果等を踏まえ、土壤・地下水汚染の汚染源の特定、地下水流动及び汚染の拡散範囲の確定を行うことを目的に調査を実施した。

#### 2.2 調査内容

調査内容は以下のとおりである。

- ① 既存資料の評価・解釈
- ② 地質ボーリング調査・地下水観測井の設置
- ③ 地下水汚染濃度監視及び地下水位監視

これらの調査結果、データ解析のもとに、水理地質構造、地下水流动を解析し、汚染濃度分布状

況や汚染範囲を明らかにした上で、これらを総合的に評価して汚染源の特定を目指した。

#### 2.3 調査項目

主な調査項目は以下のとおりである。

- ① 地質ボーリング
- ② 土壤・地下水試料の採取
- ③ 土壤分析（オンサイトラボ分析）
- ④ 土壤・地下水分析（公定法）
- ⑤ 電気検層
- ⑥ 簡易用水試験
- ⑦ 地下水観測井設置

地質ボーリングではコア採取率の向上に努め、土壤分析試料は、図1に示すように1mコア試料に対して3箇所から採取した。オンサイトラボ分析としては、図2に示すように試料調整し、検知管式ガス測定器による簡易分析、PIDガスクロマトグラフを用いた簡易分析を行った。

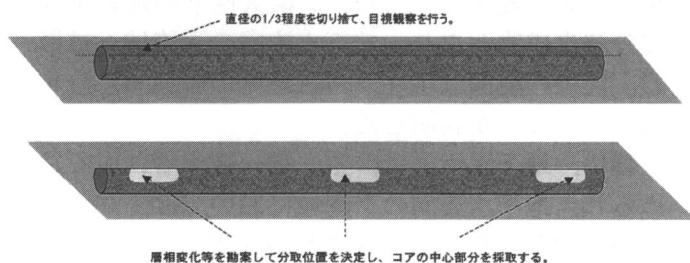


図1 分析に供する土壤試料の採取

これらの調査項目により明らかになった水理地質構造、汚染状況及び範囲、汚染源について以下に述べる。

#### 2.4 水理地質構造

当該地域は沖積低地に当たり、帶水層の構成は、層厚約10mの沖積砂・砂礫層からなる第一帶水層と、洪積砂・砂礫層からなる第二帶水層に区分され、前者は自由地下水、後者は被圧地下水となっている。両帶水層の間には難透水層の粘性土層

\* 中央開発株式会社 関西支社

が分布している。

第一帶水層の自由地下水の流動は、丘陵・平野や河川からの涵養を受けた地下水がA事業所付近に達し、河川護岸の矢板構造に影響を受けて河川に沿って市街地方向への流れとなっている。

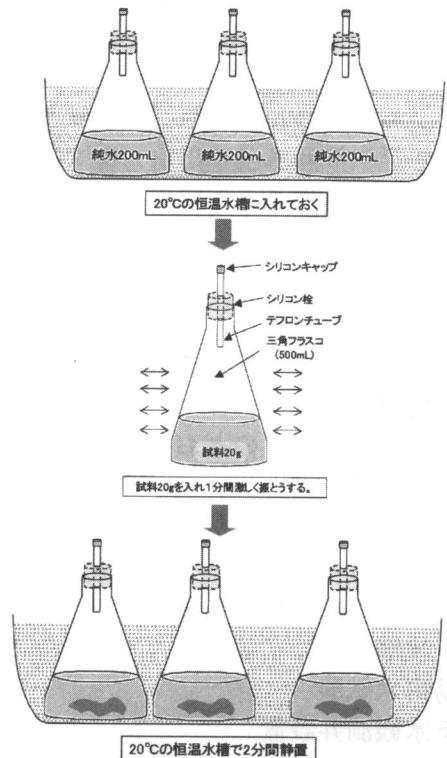


図2 オンサイトラボ分析試料の調整

## 2.5 汚染状況及び汚染範囲

汚染の状況は、A事業所から離れるに従って使用履歴のあるVOCの分解生成物が主な汚染物質となっていることが明らかとなった。また、A事業所で地下浸透したVOCが嫌気性下の地質条件で分解生成物となり、地下水流向の下流域へ拡散し、汚染の範囲は現在、当該地域に広域的に分布していることが判明した。

特に、地下水汚染は、主に第一帶水層に広く認められ、地下水流向の下流域においては、高濃度汚染地域が分布していることが確認できた。

## 2.6 汚染源

当該地域の平均的な地下水流速とA事業所から現在の高濃度地下水汚染の地点までの距離から推測した時期と、A事業所で使用履歴のあるVOCを管理不十分で多量に地下浸透があった時期が一致する可能性が高いことが認められた。

当該地域の地層の状況、地下水の流向、土壤汚染・地下水汚染の分布状況、汚染物質の使用履歴等の調査結果を科学的かつ総合的に評価・解釈した結果、当該地域に広域的に分布する地下水汚染の汚染源は、A事業所敷地内にあるという蓋然性

が非常に高いと判断した。

調査結果を踏まえ、効果的な浄化対策を検討するための実証試験を進めた。

## 3. 漏洩事故に伴う油汚染調査

### 3.1 概要

対象サイトは、隣接地の2つの油槽所で発生した油の漏洩事故による拡散によって油汚染が発現した。平成16年にB油槽所から「軽油」が漏洩したため、対象サイトにおいて土壌調査、浄化対策が実施されていたが、平成19年にC油槽所から「A重油」が漏洩した。そのため、C油槽所へ汚染責任を求めるところ、漏洩拡散による油汚染を認めなかった。

本調査は、油種分析によりA重油による汚染の存在を確認すること、A重油の漏洩による影響(拡散)範囲を把握することを目的に調査方針を立て実施した。なお、調査は平成21年から平成23年にかけて行ったものである。

### 3.2 調査方針

#### (1) 油種分析

対象サイトの油汚染にA重油が含有するか否かの油種判定をするために、地下水面上に浮く油層(油膜)を採取し、油臭分析を計画した。「環境中超微量有害化学物質の分析、検索技術の開発に関する研究」(岡山県環境保健センター年報)では、ベンゾ(a)ピレン、フェナנסレンがA重油の由来を特定するのに有効であると報告されている。この成果をもとに、油種分析は、これら2つの物質とA重油に添加されているクマリンを対象に計画した。3物質の特徴は以下のとおりである。

- ① ベンゾ(a)ピレン…A重油には含まれるが、軽油には全く含まれない物質である。
- ② フェナансレン…トリメチルフェナансレン類に属する物質で、トリメチルフェナансレン類は、A重油には含まれるが、軽油には少量しか含まれない。
- ③ クマリン…不正軽油の製造を防止する目的で識別材としてA重油に1ppm程度添加される物質である。ただし、既存化学物質安全性点検データによると、クマリンは分解性が良好であり、2週間程度でほぼ100%分解される性質を有する。

#### (2) 影響(拡散)範囲

対象サイトには33箇所の既設井戸(2箇所は蓋が開かず)が設置されていることから、これらの井戸を利用して地下水面上に溜まっている油層の厚さを測定することにより、A重油漏洩による影響

(拡散)範囲を推定することを計画した。

### 3.3 調査方法

調査地点は、C油槽所が起こした漏洩事故による油の拡散範囲(推定)を考慮して、2箇所においてボーリングを設定した。

2箇所のボーリングから土壤・地下水を採取し、TPH、ベンゼン、油膜・油臭(現地測定)を対象に土壤・地下水分析を行い、調査時点での汚染状況を把握した。

ボーリング孔を利用して観測井戸を設置した。井戸内の地下水面上に浮く油層(油膜)をできる限り地下水と分離した状態で採取し、上記3物質の油種分析を行った。

各既設井戸に対して、油層厚計測器であるインターフェース・メーター((株)インターナショナル・サーボ・データ製)を用いて油層厚さを測定するとともに、孔内水位も測定した。

### 3.4 調査結果

#### (1) 土壤・地下水分析結果

土壤に関しては、両地点とも地下水面前後において油膜・油臭が確認され、No.2地点ではTPH濃度(鉱油)が16,000 ppmという高い値を示した。一方、地下水に関しては、両地点とも油膜・油臭が確認され、TPH濃度(鉱油)が高い値を示した。よって、対象サイトは調査時点においても油による土壤・地下水汚染が顕在していることが明らかであった。

#### (2) 油種判定結果

油種分析の結果、表1に示すとおり、No.1地点では軽油には全く含まれないベンゾ(a)ピレンが検出され、また、両地点で明確にフェナスレンが検出された。

表1 油種分析結果一覧表

項目	単位	No.1	No.2
油層厚	(mm)	1以下	5
ベンゾ(a)ピレン	(mg/1)	0.008	0.004未満
フェナスレン	(mg/1)	0.02	0.18
クマリン	(mg/1)	0.004未満	0.004未満

A重油に含まれるクマリンが検出されなかつたが、クマリンは100%の分解度を示す分解性が良好な物質であるとともに、対象サイトの調査は漏洩事故から2年程度経過していたことや軽油汚染に対してバイオレメディエーションによる措置が行われていたことから、クマリンの分解促進に少なからず影響があった可能性も考えられる。

#### (3) A重油漏洩による影響(拡散)範囲

既設井戸の油層厚さ測定により、対象サイトで

は10 mm~140 mmの範囲で油層が分布していることが確認された。油層厚さ10 mm以上の分布範囲をみると、図3に示すとおりA重油は南南東から北北西に滞留していることが判明された。一方、既設井戸の地下水位の測定により図4に示すような地下水の流向が得られた。図3に示す油層の分布状況は、この地下水の流向に従ってA重油が漏洩箇所から拡散したことを明らかに示している。

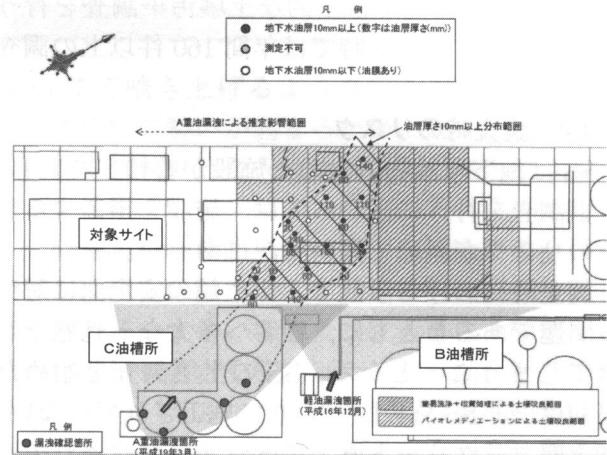


図3 油層厚さ測定結果

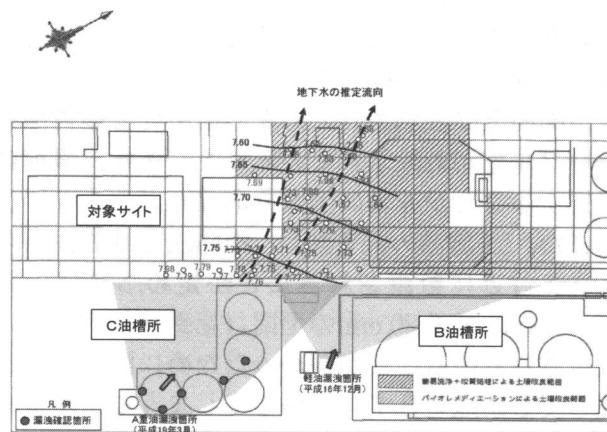


図4 地下水位測定結果

### 3.5 評価

C油槽所側は、クマリンが検出されていないことをもってA重油ではないと主張しているが、クマリンは調査時点においては既に分解されていたために検出されなかつた可能性があり、対象サイトがA重油による影響を受けているないと判断することはできない。

以上の調査結果を総合的に解析したところ、C油槽所の漏洩事故が対象サイトにおけるA重油による土壤・地下水汚染の汚染原因者である蓋然性が高いことが明らかであり、現状においても高い濃度で存在し、かつ油自体が滞留している状況にあり、早期対策が望まれている。

## 4. ガソリンスタンドにおける油汚染調査

### 4.1 概要

ガソリンスタンド（以下、SS）は、油という危険物を扱う施設であるとともに、油汚染の可能性が存在している。油は、土壤汚染対策法における特定有害物質の対象外であるが、油に含有するベンゼンや鉛は法の対象物質であり、また、油汚染は生活保全上の支障を生じさせる。このような状況の中で、事前に油汚染の有無を確認するために、営業中SSにおいて自主的な土壤汚染調査を行うことが多く、ピーク時では年間160件以上の調査を行った。

### 4.2 調査時のリスク

SSは地下埋設物も含めた施設が輻輳しており、土壤調査を行うに当たっては、施設を損傷する事故のリスクが極めて高い状況にあった。

調査時における事故は、作業員の安全面に対する問題であるとともに、顧客へ多大なる迷惑をかけてしまうこととなる。SSの土壤調査を始めた当初は、①SS施設図どおりに施工されていない、②土間コンクリート直下に配管類は敷設されていることの原因で事故が発生していた。9割以上の事故がこれらの原因で占めていた。

調査計画時点において、施設図面を徹底的に収集し、施設のない箇所を調査地点として選定したが、図面上に表示されていない箇所でも弱電関連ケーブル等が敷設されていることが多く、事前に察知することが非常に困難であった。

また、SS施設の配管類は、消防法上地表面から40cm付近に敷設されることが定められているが、実際は厚さ20cmの土間コンクリート直下に敷設されていることが多かったため、配管類に遭遇しても認識できず、損傷してしまうことが多々あった。

### 4.3 リスクの低減・回避のための対策

これらの事故を防止するために、①図面の徹底収集と検討、②現場での情報収集（視覚、聞き取り）、③施工方法（手順書）の厳守を重点において作業を進めてきたが、残念ながら事故は無くならなかった。少しでも事故を減少させるために、物理探査による配管類の調査手法を採用し、その適用性について現場において3機種（ロケーター、RCレーダー、地中レーダー）による実証を繰り返した。これらの物理探査手法を導入することによって事故は激減した。しかし、SSにおける土壤調査は危険と隣り合わせであり、一つ間違えば重大な事故に繋がるものであることから、常に危機感を持って望むことが大切であることを教訓

している。

### 4.4 漏洩した某SSの油汚染調査の事例

SS油漏洩事故は、地下タンクの老朽化等によりタンクに穴が生じ、ガソリン約900リットルが漏出したものである。SSは海岸沿いに立地し、周囲には住居が隣接していることにより、近隣住民から著しい油臭についての苦情があった。

SS周辺へ油汚染の拡散が懸念されたことから、行政機関（環境対応部署、保健所）との協議のもとに土壤調査計画を策定した。

調査手法は、ボーリングによる深度方向の土壤試料および地下水試料を採取し、目視観察並びに室内分析を実施した。また、地下水流向を推定するために、ボーリング孔を利用して観測井戸を設置した。調査地点は、SS内には2箇所を、SS周辺には3箇所を設定した。また、近隣住居に井戸が認められたことから、その井戸水も分析対象とした。調査対象物質は、漏洩した油（ガソリン）に含有している「ベンゼン」、使用履歴のあった有鉛ガソリンに含有する「鉛」とした。これらは土壤汚染対策法に規定されている特定有害物質である。また、生活保全上の観点から、油臭・油膜も現地測定した。調査深度は、潮位による地下水位の変動範囲（深度1.5m～2.5m）から深度5.0mを提案したが、行政機関により、深度10.0mの指導を受けた。

調査の結果、SS内の1箇所では、ベンゼン、油臭・油膜による土壤・地下水汚染が確認され、もう1箇所では明瞭な油臭・油膜が確認された。SS周辺の3箇所では、土壤・地下水汚染の発現は確認されず、SS周辺への汚染の拡散はない判断した。調査計画から調査結果並びに浄化対策案の報告まで約1ヶ月と可能な限り迅速な対応であったと考える。しかし、SS経営者サイドの方針決定や浄化工事業者の選定により、浄化工事開始までに2.5ヶ月が経過した。油汚染の拡散を考慮すれば、浄化対策の早期実現に向けた働きかけを配慮すべきであったと反省している。

## 5. おわりに

私がこの10年間で経験した現場の中で、土壤・地下水汚染が顕在化したサイトの調査事例を3つ紹介した。土壤汚染問題では、新たな汚染の発生を未然に防ぐことはもちろん重要であるが、土壤汚染の状況を把握し、人の健康被害を防止することも非常に大切な役割である。したがって、今後も汚染した土地の調査・対策のニーズは一層高まっていくと考える。

## 明治の札幌建築を彩った札幌軟石 〈札幌軟石は支笏火山の贈りもの〉

### 1. はじめに

明治初期、開拓期における北海道の住宅は本州の木と紙といろりで造られた建物がそのまま移入されたものであり、寒地に住むには耐えられない代物でした。そのようなことから、明治4年に、お雇い外国人ケプロンによって北海道開拓の「事業着手ノ際、最モ緊急ナルモノ」として「薄紙様ノ家屋ヲ堅材或ハ石造ニ代ヘ、本道住宅ノ体裁ヲ改革スヘキ事」との提案がなされました。これを受けた開拓使は、以後、建築物を洋造にする方針を決め、そこでクローズアップされたのが“札幌軟石”でした。

### 2. 札幌軟石と支笏火山

札幌近郊には石造建築に適した花崗岩、大理石などの建材がなく使用に耐えうるものとしては安山岩を産するのみでしたが、札幌南方郊外で札幌軟石が発見され、明治の建築物を彩るようになりました。

札幌軟石は4万年前に支笏火山が噴煙を上空3



図1 支笏火碎流堆積物の分布

万mまで噴き上げるような巨大噴火をおこし、その噴煙柱の勢いが弱まった後に低地を埋めるようにして流れだした火碎流堆積物に相当するものです。

火碎流堆積物は北は石狩湾、南は太平洋沿岸まで達し、現在は図1に示す範囲に火碎流台地として残されています。このように大量に火碎流を流した跡が円形の古支笏湖（カルデラ湖）として残され、その“カルデラ火山”として風不死岳、恵庭岳、樽前山が次々と噴火して現在のひょうたん形をした支笏湖ができあがりました。

### 3. 札幌軟石の性質

札幌軟石は支笏火碎流堆積物が500~600°Cの高温で流れ、その温度で溶けた後に固結（溶結）してできた溶結凝灰岩です。

密度が1.5g/cm<sup>3</sup>程度、一軸圧縮強度が50~150MPaであり、軟岩に相当するのですが、耐火性、保温性、防音性に優れることから明治から昭和の初めにかけて多くの建築物に利用されました。

昭和の中頃からは、コンクリートやその他の建材に押され、札幌軟石の利用は少なくなりましたが、唯一、札幌市の常盤地区で碎石が行われ、建築家達に珍重されています（写真1）。

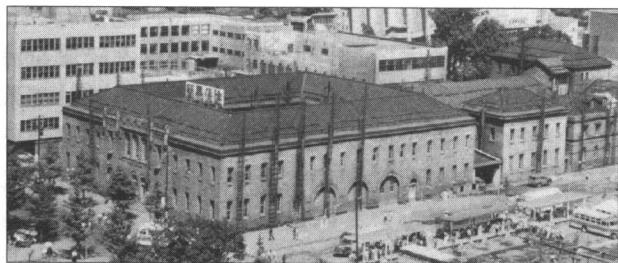


写真1 現在の札幌軟石採石場（辻石材工業 kk）

#### 4. 札幌軟石で造られた建造物群

札幌軟石は、主に、公共の建物（写真2, 3）などに用いられましたが、そればかりではなく、耐火構造の倉庫、石蔵（写真4）や保温性を活かした酪農家のサイロ（写真5）などにも利用されました。また、細工がしやすいこともあって、ブロック塀、敷石、墓石、お地蔵さん（写真6）などにも使われています。観光地として有名な小樽運河沿いの倉庫群もその多くが札幌軟石でできています。

写真2は、札幌軟石造りの建物が並んでいた昭和35年頃の札幌市大通2丁目の風景です。これらは既に撤去されていますが、その内の札幌電信電話局が愛知県犬山市の明治村に国重要文化財として保存されています。



札幌中央郵便局

札幌電信電話局

写真2 札幌軟石造が並んでいた大通 (S35頃)



写真3 札幌資料館 (旧控訴院) 大通 13丁目



写真4 石蔵を利用した料亭「杉の目」

札幌市内には、札幌軟石で造られた建物等が数千件以上残されているといわれていますが、古式豊かな景観を生かして料亭（写真4）や喫茶店、美術館などへの再利用にも使われています。また、札幌軟石は、鑿や彫刻刃で容易に細工できることから、最近は生徒たちがクラフト作りに利用したりしています。

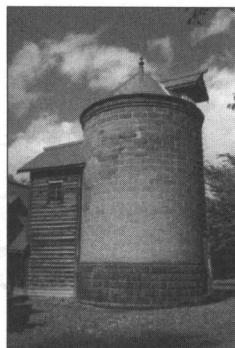


写真5

北海道大学旧第二農場に保存されているサイロ  
国重要文化財附指定  
大正元年築  
札幌軟石造現存最古のサイロ

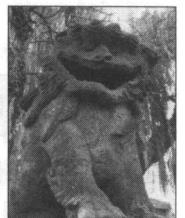


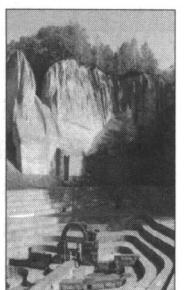
写真6 札幌軟石造のお地蔵さん, 駒犬さん

#### 5. 札幌軟石石切り場の跡地利用

札幌軟石石切り場の跡地は、市民に親しまれる公園として整備されています。そこには切り出した石材や切り出しの様子を示した写真、数々の道具などが展示されており往時を偲ぶことができます（写真7）。石山緑地にはローマの野外劇場を彷彿するような施設が設けられており、野外演奏会が模様されたりしております。



札幌軟石広場



石山緑地

写真7 札幌軟石石切り場跡地の公園

#### 6. あとがき

札幌軟石は、明治時代の札幌建築を支えたものであり、まさに、それは支笏火山の贈りものでした。

札幌へおいで際は、札幌軟石でできた建物群を探し、昔の札幌を偲んでみてください。

##### 参考文献

- 1) 札幌市教育委員会編：お雇い外国人 1981
- 2) 北海道大学総合博物館・北海道地質調査業協会他編：  
わが街の文化遺産札幌軟石 2011

[北海道地質調査業協会 若松幹男]

# 各地の残すべき地形・地質

## JR：陸羽東線沿線

### はじめに

陸羽東線は、宮城県遠田郡美里町の小牛田駅から山形県新庄市の新庄駅間を結ぶ東日本旅客鉄道の路線である。沿線には鳴子温泉郷などの温泉観光地を抱えて「おくのほそみち湯けむりライン」と呼ばれ、リゾート列車も季節運行されている。東北日本の脊梁山地を横断する路線の中では、北上線に次いで2番目に低い高度（海拔約340m）で分水嶺を超えるが、車窓には、山麓の広大な平野から、扇状地、峡谷、山間盆地、河岸段丘など、変化に富む風景が展開する（図1）。

陸羽東線は、1913年にまず小牛田・岩出山間が開業し、漸次山形県側と宮城県側から工事を進めて、1917年（大正6年）に全線が開通した。竣工後に新聞に掲載された建設工事概要の中では、鳴子温泉から西方の分水嶺に至るまで、「約六哩の線路は渓谷断崖の間を縫い、障壁を削り深壑を渡り或は山腹を穿ちて僅かに線路を形成する等工事の困難蓋し想像に難からず」、「瀬見付近に至れば小国川の両岸峠勢逼る処或は隧道を穿ち或は橋梁

を架し鳴子付近に次ぐの難工事を施行せり」と記されている。

### 小牛田～古川

陸羽東線の始点は小牛田駅であるが、観光列車の「快速リゾートみのり」などは仙台を始発駅とし、小牛田までは東北本線を走る。多賀城から塩竈を過ぎ、仙石線と並行すると、僅かの間、東側車窓に松島湾が見える。この付近でも、2011年東北地方太平洋沖地震の際には、津波が襲来しており、路線も一部で当時の浸水範囲内を通過する。

小牛田からは、東に石巻線を分けて、陸羽東線に入る。船形山から流下する鳴瀬川と、鬼首カルデラ・鳴子から流下する江合川が形成した蛇行原に広大な水田が広がっており、西方には船形山から栗駒山に描けての山なみが連なっている（写真1、写真2）。東北新幹線との交差点である古川は、穀倉地帯の中心地であり、舟運の起点として繁栄した。江合川は古川から上流側では勾配を増して網状流河川となり、大きな舟の運航は難しかった。

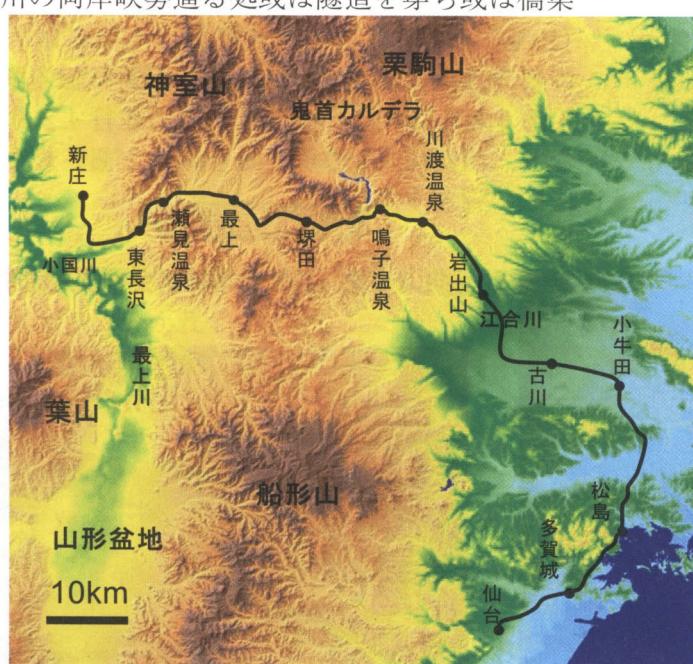


図1 陸羽東線（仙台～小牛田間は東北本線）と周辺の大地形（50 m DEM 標高段彩図）

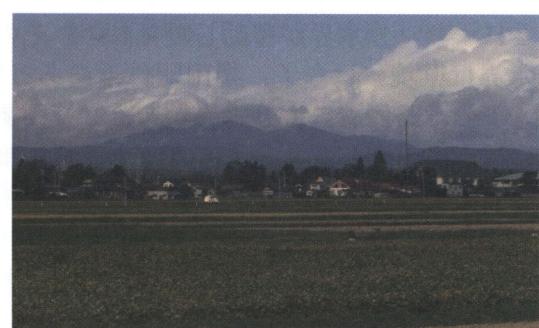


写真1 古川～岩出山間から栗駒山系を望む

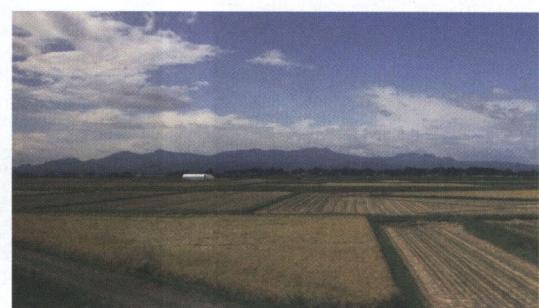


写真2 古川～岩出山間から船形山を望む

## 古川～鳴子温泉

古川から路線は江合川の谷底平野を北上する。路線の東西に広がる広大な緩傾斜地は、鬼首カルデラ付近を噴出源とする火碎流が形成する台地で、国土地理院による「典型的地形」の例に数えられている。岩出山駅東方の江合川左岸、台地上の座散乱木遺跡は、2000年に発覚した旧石器ねつ造事件の舞台の一つである。

路線は、川渡温泉駅付近から鳴子カルデラの中に入していく。鳴子カルデラは約7.3万年前と4.5万年前の火碎流噴火により形成された。鳴子温泉駅は、約2万年前以降にカルデラ内部に噴出した溶岩ドーム群の北麓に位置している。目の前は温泉街で、駅舎にも足湯の設備があり、リゾート列車も25分間停車する。駅の北側には、鬼首カルデラ縁に連なる山々の合間に流れ出す荒雄川が眼下に見え、対岸の斜面には、すぐ裏側に位置する荒雄湖（鳴子ダム：1958年完成）からの送水による発電所がある（写真3）。

## 鳴子温泉～境田

列車は鳴子温泉駅から荒雄川と分かれて鳴子峡のゴルジュに入っていく。トンネルが続き、明かり部から一瞬、国道47号の道路橋を仰ぐ地点は、観光ポスターにも使われる名所である（写真4）。中山平からは、出羽仙台街道中山越に沿って緩い上り坂となり、県境を越えると平坦地が続いて堺田駅に到着する（写真5）。この付近では、山地から流出する土石流によって深い谷が埋め立てられることにより、分水界が移動したらしい。そのため分水界は県境ではなく、堀田駅付近にあって、ホーム下の線路側溝にも分水界がある。堀田駅の北側には、1689年に松尾芭蕉が滞在し、奥の細道で「蚤虱馬の尿する枕もと」と詠んだ封人の家が解体復元されている。



写真3 鳴子温泉駅に向かいの鳴子発電所



写真4 リゾート列車は鳴子峡では徐行運転

## 堺田～瀬見

堀田駅から次第に幅を広げる谷底平野を下ってゆくと、小国盆地が開け、中心地の最上駅に到着する。小国盆地は、小国川の谷底低地と低い丘陵地から成る山間盆地で、北側には神室山を中心とする急峻な山岳地が迫っている。盆地の西端部で小国川は峡谷となり、路線も山麓斜面の急崖に沿って走る。トンネルを抜けると瀬見温泉駅である。瀬見は峡谷の中に僅かに開けた段丘面上の温泉地である。1927年2月には瀬見温泉駅付近での雪崩発生のため列車が遭難している。

## 瀬見温泉～新庄

瀬見温泉駅から、路線は小国川の峡谷を通過していくが、やがて東長沢駅付近で急峻な山地を出て谷が開ける。この明瞭な地形境界は地質境界でもあり、これより西方の基盤は、かつて大規模に採掘された亜炭を含む鮮新統となる。路線は河岸段丘面上を走るようになるが、小国側左岸に広がる高位段丘面は、活褶曲が日本で初めて水準測量の結果から確認された場所である。小国川沿いの段丘面の変形は、村田（1941）、大塚（1942）が指摘したが、杉村（1952）は10年間の水準点の変動からこれを実証し、変動が段丘と下位の地層の傾動と一致することを明らかにした。

その後に行われた新庄盆地内の段丘面には変位の累積が見られることや、段丘面の形成期間中も褶曲運動が継続していたことが明らかにされ、活断層の詳しい分布が、活断層研究会（1980）、鈴木（1988）などによって示された。

新庄盆地に出ると、路線は山形新幹線の車両が走るJR奥羽本線の標準軌軌道と並行するようになり、西側に月山や葉山を望みながら、終点の新庄駅に到着する。

[向山 栄（国際航業株式会社技術開発部）]



写真5 日本海と太平洋の分水界にある堀田駅左手のホーム上の看板に分水界の表示がある。

# 各地の博物館巡り

## 鳥取県鳥取市 鳥取県立博物館



鳥取県立博物館の全景

### はじめに

鳥取県立博物館は、県民の教育、学術及び文化の発展に寄与することを目的として、1972年10月1日に開館された総合博物館で、鳥取城の城跡である久松山の麓に建設されており、フレンチルネッサンス様式の西洋館で国的重要文化財である「仁風閣」のすぐ傍にあります。

鳥取県は、中国地方最高峰の大山をはじめとして、鳥取砂丘、浦富海岸の山陰海岸などの国立公園を擁しており、現在も豊かな自然を残しています。

2010年10月には、山陰海岸国立公園を中心として鳥取砂丘から兵庫県の但馬御火浦を経て京丹後市の経ヶ岬までの「山陰海岸ジオパーク」が世界ジオパークに認定されました。

一方で、山陰地方は、弥生時代の遺跡や古墳時代の古墳群が多く発掘されることで有名であり、鳥取県においても「妻木晩田遺跡」「青谷上寺地遺跡」など、日本の古代（原始時代）を研究する上で重要な遺跡が発掘されています。

### 展示室の概要

常設展示室は、自然展示室、歴史・民族展示室、美術展示室に分かれています。

また、常設展示室の他に、2室の特別展示室があります。

#### (1) 自然展示室

ここでは、鳥取県の地質の展示から始まって、鳥取砂丘の動植物、大山の動植物と、鳥取県の多様な自然の姿を紹介することを目的としています。

地質関係では、日本列島の形成過程とそれに伴って生成される岩石、鳥取県の地質模型、鳥取砂丘の生い立ちやサンプル、鳥取県内で産出される



写真1 鳥取砂丘をシート状に切り取ったサンプル。  
火山灰を境に下位は古い砂丘（古砂丘）となる。

化石などの展示などがあります。

この他に、自然展示室では、日本海、中国山地そして砂丘に生息する動植物の展示もあります。

動物の剥製や骨格標本、液浸標本、植物の標本が主な展示内容です。

その中でも興味深い展示としては、「本州のガラパゴス：鳥取」と題した展示でした。

生物の生息分布域を大きく隔てる様な地形が特に見当たらない鳥取県の鹿野町・三朝町を境に、「カワトンボ」や「フキバッタ」の生息分布が地理的に変異しているとのことでした。

過去には、「カメラ付き携帯電話でしらべる鳥取県の昆虫地理」と題して、博物館が住民参加型の調査を主催していた様です。

博物館がこの様な、住民参加型の調査を主催することは、非常に面白い試みだと感じました。



写真2 「本州のガラパゴス鳥取」と題した展示

## (2) 歴史・民族展示室

ここでは、旧石器時代から江戸時代までの郷土の歴史や人々の暮らしの様子と、現在も鳥取県内で行われている祭りや伝統行事などについて紹介することを目的とされています。

国内最大級の弥生集落遺跡である「妻木晩田遺跡」、弥生人の脳が出土したことで知られる「青谷上寺地遺跡」からの出土品をはじめ、古墳時代、古代～中世、近世へと鳥取県の変遷や歴史との関わりを中心に展示がされています。

様々な資料や品々が展示されているのですが、その中でも、古墳に立てる「石製品」で、本州で唯一出土された「石馬」が興味深いものでした（九州では数例ある様です）。

残念ながら、博物館で展示されている「石馬」はレプリカですが、古墳時代の鳥取県と九州との間に密接な交流があったことを伺わせます。



写真3 石馬のレプリカ

また、慶安3年（1650年）から現在に伝わる、「キリン獅子舞」や鳥取県西部で縁結びをつかさ

どる神として信仰されている「サイノカミさん」など、古くから伝わる「祭り」や「地方行事」も展示されています。



写真4 「キリン獅子舞」の展示

## (3) 美術展示室

美術展示室では、鳥取県ゆかりの、江戸時代から現代までの作家の作品を中心に、仏画から洋画、陶磁器や漆器などの工芸品、版画など、多岐にわたる美術品が展示しています。

この展示室では、写真撮影が禁止されているため、写真で作品を紹介出来ないのは残念ですが、是非とも来館されて、時代の流れと共に変化していく美術品の様子をご覧になって下さい。

### (1) 住所・電話番号

鳥取県鳥取市東町二丁目 124 番地

TEL: 0857-26-8042

### (2) 入館料

常設展

一般……180円（大学生以下（無料））

企画展

企画展ごとに別途入館料が必要。

### (3) 開館時間、休館日

9時～17時（4～10月までの企画展開催中の土曜日・日曜日および祝日は、9時～19時）

### (4) 休館日

毎週月曜日・国民の祝日の翌日

年末・年始（12月29日～翌年1月3日）

### (5) ホームページ

<http://site5.tori-info.co.jp/~museum/>

[アサヒコンサルタント株式会社 舞立剛志]

# 全地連「技術フォーラム 2012」について

第23回技術フォーラムが、9月20日(木)～21日(金)の2日間、新潟市で開催された。(行事の具体的な内容は、表1参照)

今回のフォーラムでは、「現場」へ戻ろう—ジオ・アドバイザーとしての役割—をメインテーマに、地元「北陸地質調査業協会」の全面的な協力と国土交通省北陸地方整備局、新潟県、新潟市の後援および独立行政法人土木研究所、独立行政法人産業技術総合研究所、日本情報地質学会、NPO 地質情報整備活用機構、一般社団法人日本応用地質学会、地質リスク学会、社団法人日本地

すべり学会、公益社団法人地盤工学会に協賛いただいた。

初日の特別講演会は、独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクトリーダーの金田義行氏に基調講演として「東北地方太平洋沖地震の実像と今後に向けての提言」というテーマでご講演いただいた。

技術発表会には、若手技術者を中心に全国から102編(表2参照)の応募があり、活発な質疑が行われた。

表1 行事内容

エリア 1 → 入場無料	エリア 2 → 有料
<b>第1日目 9月20日(木)</b> [受付開始]11:00～ [開場]12:30～ 会場:2F スノーホール	<b>第1日目 9月20日(木)</b> 会場:3F 4会場(7セッション27編)
開会式 13:00～13:30  開会挨拶 全地連会長 成田 賢 来賓挨拶	技術発表会 15:15～17:30  東日本大震災I、東日本大震災III、メインテナンス、 道路盛土、情報伝達、汚染土壤地下水調査、 グラウンドアンカー
特別講演会 13:30～15:00  「東北地方太平洋沖地震の実像と今後に向けての提言」 講師:金田 義行 氏 (独)海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクトリーダー	会場:3F 301号室  C-2 特別セッション 16:15～17:45  「地質リスクマネジメント 元年 -地質調査業の新しい役割-」 コーディネーター:瀧澤 法英 氏 高知工科大学 教授 / 地質リスク学会会長
同時開催展示会(フォーラム会場内で開催されます)  展示会(入場無料) 2F 201号(中会議室)	会場:ホテル日航新潟 技術者交流懇親会 [受付開始]17:30～ [懇親会]18:00～19:30
第1日目 9月20日 12:00～16:30 第2日目 9月21日 9:00～15:00	<b>第2日目 9月21日(金)</b> 会場:3F 4会場(12セッション75編)  技術発表会 9:00～15:00  現地調査I、現地調査II、現地調査III、岩盤評価、 室内試験I、室内試験II、斜面災害等I、斜面災害等II、 斜面災害等III、地下水調査孔、地下水対策/解析、物理探査

## 出展者一覧

出展者名	展示内容
<b>システム関連コーナー</b>	
応用リソースマネージメント(株)	Reportss-NET(住宅地盤調査報告書作成システム)
(株)測商技研北陸	Webモニタリングシステム、 Webカメラシステム
(株)藤井基礎設計事務/ (有)シンク・フジイ	勘定(標準貫入試験自動記録装置)、 DCのび太システム(無線式計測警報システム)、 雲太(リアルタイム騒音・振動計測システム)
<b>調査・探査機器関連コーナー</b>	
アース・スキャニング研究会	BIPシステム(孔壁観察装置)、 ミニシースネイク(孔内観察装置)、 スマートカメラ(孔内観察装置)
応用計測サービス(株)	多目的透水試験装置、 カラーカメラシステム(井戸内部の検査システム)
応用地質(株)	McsEIS-Ps(PS検層用データ収録装置)、 デジタルQテルト6000(新型挿入式孔内傾斜計)、 土検棒(簡易土層強度測定ツール)
<b>調査・探査機器関連コーナー</b>	
(株)興和	災害監視システム
(株)ジオファイブ	地下水流向流速計、鉄筋探査レーダー、 放射能測定器

出展者名	展示内容
自然地下水調査研究所	1M深地温探査測定器、多点温度検層測定器、 自然電位測定器
(株)東京電機	ひずみバトローラ「斜面のひずみ監視システム」、 土砂崩壊感知チッカー、 遠隔監視カメラ「みはる君」
曙ブレーキ工業(株)	IT傾斜計(地盤傾斜計測器)、 感振器(長周期地振動検知器)、 ジュークンダー(コンクリート充填検知器)
<b>関連コーナー</b>	
(株)タニガキ建工	フラットキャップ(ロックボルトの頭部定着材料)
明治コンサルタント(株)	Merex-X、 Merex-D(地盤の変位観測に威力を発揮する計測機器)
<b>特別展示コーナー</b>	
北陸地質調査業協会	協会活動報告
(社)全国地質調査業協会連合会	ピエゾドライブコーン(全地連「新マーケット創出・提案型事業」)
古今書院	書籍販売

なお、今回の優秀技術発表者賞には、各セッションから選抜された19名が受賞された。(表3参照)

2日間の総入場者数は、約500名となった。平成25年度の技術フォーラムは、関東地区(長野市)で開催する予定である。

表2 全地連「技術フォーラム2012」新潟 技術発表内容一覧

セッション／発表時間	論文No.	発表者	所属先	地区	題 目
A-1 東日本大震災 I 9月20日 15:15～16:15 302A会議室	1	齋藤 晴紀	(株)エイト日本技術開発	関東	東北地方太平洋沖地震に伴う液状化現象による地下水位変動について
	2	中村 千波	興亜開発(株)	関東	東日本大震災による千葉県旭市の液状化について
	3	奈須 徹夫	(株)ワイピーエム	九州	オートマチックラムサウンディングを用いた液状化判定手法の提案
	4	長谷川 智則	玉野総合コンサルタント(株)	中部	東北地方太平洋沖地震に伴う内陸部の液状化分布と盛土分布について
A-2 東日本大震災 II 9月20日 16:30～17:30 302A会議室	5	佐藤 仙一	応用地質(株)	東北	宅地地盤の地震被害調査における表面波探査の有効性について
	6	藤本 理	川崎地質(株)	東北	吉田川における格子張護岸下の空洞探査事例
	7	杉山 洋介	基礎地盤コンサルタント(株)	東北	東北地方太平洋沖地震により被災した河川堤防の開削調査事例
	8	下川 大介	川崎地質(株)	東北	津波による海岸堤防の被災状況調査
	9	萩 真次	(株)アサノ大成基礎エンジニアリング	関東	塩害を受けた水田における電気検層の適用
A-3 現地調査 I 9月21日 9:00～10:30 302A会議室	10	遠藤 理	(株)ダイヤコンサルタント	関東	活断層の活動履歴調査における群列ボーリングの効用
	11	藤井 一貴	(株)村尾技建	北陸	写真計測による河床材料調査の検討
	12	眞本 悠一	(独)海洋研究開発機構	関東	掘進中に小径コアを連続採取する新しいビットの開発
	13	山下 理代	(株)ダイヤコンサルタント	関東	溶存ガスを含む地下水の採取方法の開発
	14	蜂谷 菜穂子	(株)アサノ大成基礎エンジニアリング	関東	関東ロームの工学的特性について
	15	川久保 昌平	川崎地質(株)	関東	ボアホールジャッキ試験における地盤と載荷板の摩擦係数
	16	乾 一幸	(株)東京ソイルリサーチ	関東	実地盤における透水異方性調査方法について
A-4 現地調査 II 9月21日 10:45～12:15 302A会議室	17	高久 芳男	トキワ地研(株)	北海道	粘性土の透水係数の異方性の測定事例報告
	18	山田 友	応用地質(株)	九州	軟質な地質の透水係数の把握を目的とした低水圧ルジョンテスト
	19	千葉 伸一	応用地質(株)	関東	バックヤードを使用して砂詰めで設置した挿入式孔内傾斜計測結果の特徴
	20	松村 大志	応用地質(株)	東北	大深度孔内傾斜計設置に関して
	21	半田 英樹	(株)東京ソイルリサーチ	関東	鉄道施設内での地盤調査の現場管理
	22	増田 祐輝	(株)ダイヤコンサルタント	関東	積雪期における活断層トレレンチ調査の防雪対策
	23	昌谷 聰	(株)アサヒ地質研究所	中国	新興住宅地盤下における空洞調査の一手法について
A-5 現地調査 III 9月21日 13:30～15:00 302A会議室	24	神保 啓	(株)キタック	北陸	孔内カメラの活用事例
	25	塙釜 一誠	中部地質(株)	北陸	ボアホールカメラによる改良体の品質確認事例
	26	木村 好延	(株)タニガキ建工	関西	河川堤防における簡易動的コーン貫入試験の実施事例
	27	小林 豊	北海道土質コンサルタント(株)	北海道	簡易動的コーン貫入試験の適用性について(その2)
	28	長谷川 智史	(株)日さく	関東	地盤状況把握のためのサウンディング試験の検討
	29	瀬川 寿義	中部地質(株)	北陸	集水井の維持管理基準の試み
	30	犬飼 敏文	(株)東建ジオテック	関東	健全度調査を目的とした集水井の点検事例
B-1 メインテナンス 9月20日 15:15～16:15 302B会議室	31	川本 高司	(株)ホクコク地水	北陸	実効雨量と地下水位の関係を用いた横ボーリング工の効果判定事例
	32	内田 敬	川崎地質(株)	中国	地震計メンテナンス業務について
	33	竹村 裕	(株)ホクコク地水	北陸	地震で崩壊した能登有料道路盛土の盛土材料特性と現場転圧試験の検討事例
	34	桑田 英樹	大地コンサルタント(株)	北海道	北海道の泥炭地盤における嵩上げ盛土の調査・解析事例
B-2 道路盛土 9月20日 16:30～17:30 302B会議室	35	松本 和正	北海道土質コンサルタント(株)	北海道	網走地区に分布する珪藻土地盤の圧密沈下特性
	36	児玉 貴幸	(株)キタック	北陸	海成粘土地盤上に道路盛土を施工した場合の地盤拳動
	37	久住 浩穏	大地コンサルタント(株)	北海道	地すべり調査とコア観察の重要性
	38	竹内 佑佳	応用地質(株)	中部	LWLP工法を使った高品質コア採取による地質解析事例
B-3 岩盤評価 9月21日 9:00～10:30 302B会議室	39	宍戸 拓磨	川崎地質(株)	東北	ボアホールスキヤナ孔壁観察を利用した計画切土安定勾配の精度向上
	40	皿井 剛典	川崎地質(株)	関東	孔内局部載荷試験による岩盤物性評価に関する研究
	41	平岡 城栄	明治コンサルタント(株)	北海道	泥岩の物理的・力学的特性について
	42	山内 一則	北海道土質試験協同組合	北海道	粗粒材料の凍上試験について
B-4 室内試験 I 9月21日 10:45～12:15 302B会議室	43	小川 尚之	(株)キタック	北陸	火山灰質土の配合試験に関する一考察
	44	西 達也	(株)キタック	北陸	改良土のコーン指数と一軸圧縮強度の比較事例
	45	赤井 裕二	中部地質(株)	北陸	配合試験試料物性値から思うこと～試験結果及び今後の課題～
	46	島村 章吾	応用地質(株)	関西	砂・シルト分を多く含む地盤の非排水せん断強度決定法について
	47	沼倉 桂一	川崎地質(株)	関東	ごみ盛土地盤の力学特性に関する一考察
B-5 室内試験 II 9月21日 13:30～15:00 302B会議室	48	塙本 将康	川崎地質(株)	関東	微生物代謝により固化させた砂供試体のせん断特性と透水性
	49	京野 修	応用地質(株)	北陸	ダイレクトドライブ(DD)モータを利用した洪積粘土の漸増載荷圧密試験結果について
	50	川原 孝洋	応用地質(株)	関東	連続加圧方式による新しい保水性試験方法について
	51	久保 裕一	中部土質試験協同組合	中部	濃尾地盤の液状化特性における細粒分含有率の影響に関する考察

(表2つづき)

セッション／発表時間	論文No.	発表者	所属先	地区	題 目
C-1 情報伝達 9月20日 15:15～16:15 301会議室	52	齊藤 龍太	(株)藤井基礎設計事務所	中国	直感的にわかる模型実験シリーズの紹介
	53	河崎 博幸	日本地研(株)	九州	減災のための地質コンサルの役割
	54	本多 結	応用地質(株)	関西	防災教育を通じた災害対策への取り組みとCSRの意義～小学校理科授業への参画を例として～
C-3 斜面災害等Ⅰ 9月21日 9:00～10:30 301会議室	55	田窪 裕一	(株)愛媛建設コンサルタント	四国	スレーリングによる泥岩法面の崩壊事例
	56	徳間 伸介	川崎地質(株)	北陸	岐阜県東濃地方における豪雨による道路のり面崩壊の調査対策事例
	57	藤井 勇	(株)藤井基礎設計事務所	中国	民家裏斜面崩壊箇所における安全管理対応事例
	58	藤井 俊逸	(株)藤井基礎設計事務所	中国	巨大岩塊落下個所の3Dスキャナーを利用した発生源解析
	59	武政 学	基礎地盤コンサルタンツ(株)	中国	平成8年度の安定度調査結果を用いた未点検箇所の評価手法について
	60	久賀 真一	基礎地盤コンサルタンツ(株)	中国	道路防災カルテ点検の総合評価妥当性評価手法
	61	寅田 貴祐	(株)キタック	北陸	道路危険箇所見直し事例
C-4 斜面災害等Ⅱ 9月21日 10:45～12:15 301会議室	62	小林 昇	(株)ジオブレイン	中国	汎用GPS機器を用いた調査事例
	63	濱村 直弘	(株)村尾技建	北陸	景観に配慮した地すべり対策工の検討
	64	鬼武 裕二	(株)エイト日本技術開発	中国	65型貫入試験によるすべり面判定
	65	田中 剛	日本物理探査(株)	中部	孔内磁気センサを用いた地すべり面の検出
	66	小山 純二	川崎地質(株)	関西	兵庫県の地すべり調査事例
	67	井畑 龍也	(株)新協地質	北陸	砂防堰堤の地質調査事例
	68	藤井 健一	(株)ソイル・ブレーン	中国	現地発生土を利用して農地地すべり対策事例
C-5 斜面災害等Ⅲ 9月21日 13:30～15:00 301会議室	69	栗林 正樹	川崎地質(株)	関東	震災時の土砂災害現場における動態観測システムについて
	70	高澤 忠司	(株)興和	北陸	滝坂地すべり地での地質・亀裂発達状況と地下水状況の関係
	71	永原 信彦	(株)ホクコク地水	北陸	実効雨量解析による地すべり応急対策の検討事例
	72	妹尾 洋一	応用地質(株)	北陸	融雪期に発生した受け盤型地すべりの事例
	73	田中 康博	応用地質(株)	北陸	大規模地すべりにおける3次元モデル構築の試み
	74	蚊爪 康典	応用地質(株)	北陸	地形形成史に基づく大規模地すべりの移動量推定の試み
	75	山下 大輔	中央開発(株)	関西	台風12号豪雨における受け盤斜面での崩壊事例
D-1 汚染土壤地下水調査 9月20日 15:15～16:15 303+304会議室	76	石平 一男	(株)新協地質	北陸	新潟県中魚沼郡津南町トヤ沢川の土石流災害
	77	廣田 熱	明治コンサルタント(株)	関東	土壤掘削工事における拡散レーザー変位計・高感度傾斜計による安全管理
	78	櫛谷 知之	(株)藤井基礎設計事務所	中国	中性固化処理を施した浚渫土の耕作土利用に向けた検討
	79	小山 真樹	地盤環境エンジニアリング(株)	関東	オゾンマイクロバブルを用いた化学的酸化法による地下水浄化
	80	竹澤 弘久	川崎地質(株)	関東	切土法面における変状グラウンドアンカーの調査検討事例
	81	田口 浩史	日本地研(株)	九州	老朽化したグラウンドアンカー工の調査事例
	82	常川 善弘	(株)相愛	四国	グラウンドアンカーの維持管理調査事例について
D-2 グラウンドアンカー 9月20日 16:30～17:30 303+304会議室	83	伊藤 博信	(株)東建ジオテック	関東	健全度評価を目的としたグラウンドアンカーリフトオフ試験事例
	84	竹内 篤雄	自然地下水調査研究所	関西	地下水調査のためのボーリング孔の仕上げ方を検討する必要性
	85	秋山 晋二	国際航業(株)	関西	地下水調査を実施する上での層別地下水の考え方の必要性
	86	宮崎 基浩	芙蓉地質(株)	関東	地下水調査のためのボーリング孔の孔仕上げ－洗浄方法の違いによる測定事例－
	87	酒井 信介	(株)阪神コンサルタンツ	関西	地下水調査のための観測孔設置方法に関する室内実験の一考察
	88	黒木 研志	キタイ設計(株)	関西	地下水調査のためのボーリング孔のフィールド実験の事例
	89	武田 伸二	ハイテック(株)	関西	地下水調査のためのボーリング孔の仕上げ方(案)の提案
D-3 地下水調査孔 9月21日 9:00～10:30 303+304会議室	90	牧戸 邦浩	興亞開発(株)	関東	地下水位低下対策におけるリチャージウェルポイント工法の試験施工事例
	91	岡 弘	興亞開発(株)	中部	締切矢板内の湧水対策検討
	92	小西 裕樹	川崎地質(株)	九州	河川堤防における漏水対策のための調査事例
	93	杉野 友通	応用地質(株)	中部	河川堤防における強化対策工法の効果検証と防災情報の把握
	94	酒井 賢治	応用地質(株)	四国	三次元陸水シミュレーションによる予測計算結果の検証事例
	95	松川 尚史	協同組合関西医地盤環境研究センター	関西	フィルダムの劣化現象の物理・化学的調査
	96	保坂 瓦	東邦地水(株)	中部	非破壊探査を用いた基礎形状調査事例
D-4 地下水対策／解析 9月21日 10:45～12:15 303+304会議室	97	末宗 克浩	中央開発(株)	関西	橋脚の杭長調査事例
	98	山下 善弘	応用地質(株)	関東	地中レーダーを用いた橋梁床版コンクリートの健全度探査事例
	99	永野 賢司	(株)ダイヤコンサルタント	四国	高周波衝撃弾性波調査の活用例
	100	鈴木 敬一	川崎地質(株)	関東	宇宙線ミュー粒子による三次元トモグラフィの地盤密度精度の検討
	101	後根 裕樹	(株)エイト日本技術開発	関西	熊野層群におけるトンネル調査事例について
	102	須崎 敦史	応用地質(株)	関西	掘削用発破の観測による切羽前方探査の試み

表3 優秀技術発表者賞 受賞者一覧

セッション名	論文 No.	発表者	所属先	地区	題 目
A-1 東日本大震災 I	3	奈須 敬夫	(株) ワイビーエム	九州	オートマチックラムサウンディングを用いた液状化判定手法の提案
A-2 東日本大震災 II	5	佐藤 仙一	応用地質(株)	東北	宅地地盤の地震被害調査における表面波探査の有効性について
A-3 現地調査 I	13	山下 理代	(株) ダイヤコンサルタント	関東	溶存ガスを含む地下水の採取方法の開発
A-4 現地調査 II	19	千葉 伸一	応用地質(株)	関東	バッカーを使用して砂詰めで設置した挿入式孔内傾斜計測結果の特徴
A-5 現地調査 III	24	神保 啓	(株) キタック	北陸	孔内カメラの活用事例
B-1 メインテナンス	31	川本 高司	(株) ホクコク地水	北陸	実効雨量と地下水位の関係を用いた横ボーリング工の効果判定事例
B-2 道路盛土	36	児玉 貴幸	(株) キタック	北陸	海成粘土地盤上に道路盛土を施工した場合の地盤挙動
B-3 岩盤評価	37	久住 浩穂	大地コンサルタント(株)	北海道	地すべり調査とコア観察の重要性
B-4 室内試験 I	43	小川 尚之	(株) キタック	北陸	火山灰質土の配合試験に関する一考察
B-5 室内試験 II	49	京野 修	応用地質(株)	北陸	ダイレクトドライブ(DD)モータを利用した洪積粘土の漸増載荷圧密試験結果について
C-1 情報伝達	52	齊藤 龍太	(株) 藤井基礎設計事務所	中国	直感的にわかる模型実験シリーズの紹介
C-3 斜面災害等 I	59	武政 学	基礎地盤コンサルタント(株)	中国	平成8年度の安定度調査結果を用いた未点検箇所の評価手法について
C-4 斜面災害等 II	65	田中 剛	日本物理探査(株)	中部	孔内磁気センサを用いた地すべり面の検出
C-5 斜面災害等 III	74	蚊爪 康典	応用地質(株)	北陸	地形形成史に基づく大規模地すべりの移動量推定の試み
D-1 汚染土壤地下水調査	78	櫛谷 知之	(株) 藤井基礎設計事務所	中国	中性固化処理を施した凌漂土の耕作土利用に向けた検討
D-2 グラウンドアンカー	81	田口 浩史	日本地研(株)	九州	老朽化したグラウンドアンカーワークの調査事例
D-3 地下水調査孔	88	黒木 研志	キタイ設計(株)	関西	地下水調査のためのボーリング孔のフィールド実験の事例
D-4 地下水対策／解析	93	杉野 友通	応用地質(株)	中部	河川堤防における強化対策工法の効果検証と防災情報の把握
D-5 物理探査	97	末宗 克浩	中央開発(株)	関西	橋脚の杭長調査事例