

日本地震工学会誌

Bulletin of JAEE

No.24

Feb.2015

特 集：過去に学び、未来に備える
第5回「活断層について考える(その1)」



<http://www.jaee.gr.jp/>

公益社団法人 日本地震工学会
Japan Association for Earthquake Engineering

〒108-0014 東京都港区芝5-26-20 建築会館
Tel:03-5730-2831 Fax:03-5730-2830

日本地震工学会誌 (第24号 2015年2月)

Bulletin of JAEE (No.24 February.2015)

INDEX

巻頭言：

特集「過去に学び、未来に備える」

第5回「活断層について考える(その1)」について／久田 嘉章 1

特集：活断層について考える(その1)

活断層評価の現状と課題／山崎 晴雄 2

地震・活断層とトンネル／大島 洋志 8

土木構造物における地震断層対策の姿勢と実務／常田 賢一 14

上町断層帯地震に対する建築設計用地震動／林 康裕 20

シリーズ：TOHOKUナウ 復興に向けて(6)

石巻市の沿岸被災地の小学校における復興教育／佐藤 健 24

学会ニュース：

2014年チリ北部地震におけるイキケ市の津波避難／村上ひとみ、奥村与志弘 27

第14回日本地震工学シンポジウム開催報告

／山崎 文雄、能島 暢呂、堀 宗朗、境 有紀、塚本 良道 30

若手研究者座談会 開催報告／志波由紀夫、藤原 広行 35

Eーディフェンス震動台見学会 開催報告／佐々木智大 37

講演会「津波荷重評価の最前線」開催報告／松富 英夫 38

「大地震時における超高層マンションの揺れと被害

ー東日本大震災の経験を踏まえてー」の開催報告／境 茂樹 39

日本学術会議主催学術フォーラムに参加して／安田 進、志波由紀夫 41

学会の動き：

東日本大震災合同調査報告 42

本学会に関する詳細はWeb上で／会誌への原稿投稿のお願い／問い合わせ先 43

編集後記

特集「過去に学び、未来に備える」 第5回「活断層について考える（その1）」について

久田 嘉章

●会誌編集委員会 委員長／工学院大学 教授

1. はじめに

今年で1995年兵庫県南部地震から20年を迎えるにあたり、特集「過去に学び、未来に備える」では、「活断層について考える」を2回連続で連載します。我が国には2000を超える活断層があり、震災対策上避けて通れない様々な課題を抱えています。本特集では、活断層に関する過去の被害や強震動、対策等に関する最新の知見をその分野の第一人者に解説して頂きました。

2. 活断層と強震動、および、それによる被害

地表に断層が出現するような大規模な活断層帯の地震では、どのような対策が可能でしょうか？この課題が今回の特集のテーマです。直感的には「打つ手なし」とも思えそうですが、著者はいくつもの被害調査の経験から様々な対策が可能だと考えています。活断層帯による地震の震源近傍では、指向性パルスとフリングステップという非常に特徴的な破壊力ある強震動や地盤変状が現れる場合があります。前者の典型例は1995年兵庫県南部地震の神戸市で観測され、多くの構造物を倒壊させたため、キラールパルスとも呼ばれた強震動です。但し、主な被害は老朽化した構造物に集中し、新しい耐震基準でしっかり設計・施工された大多数は無被害でした。一方、後者は断層すべりそのものであり、永久変位を伴うステップ関数状の変位波形が現れます。この典型例として、写真1は2011年福島県浜通り地震で出現した約1mの地表地震断層とその直上の伝統木造建築の被害を示します。この寺院本殿は大きく変形していますが、木造建築に特有な変形追従性能を示し、倒壊を免れています。一方、地表断層の直上を除き、その近傍では殆ど顕著な被害はありませんでした¹⁾。同様な事例は、1999年台湾・集集地震や2014年長野県神城断層地震などで何度も確認されています。地盤変状による被害は逃れることはできませんが、現実問題として避けることが出来ない場合、この程度の変形ならば、万が一のための様々な減災対策は工学的に可能ではないでしょうか？

3. 第5回「活断層について考える（その1）」

今回の特集では、まず活断層評価の現状と課題を山崎氏より解説頂きます。活断層を理解し、過度に恐れ

ることなく、共存する必要性を力説されています。続いて土木と建築の分野から活断層対策の歴史や現状、課題に関する最先端の話題を提供頂きます。1930年北伊豆地震の丹那トンネルの被害など、活断層地震による過去のトンネルの被害や対策の現状（大島氏）、国内外の土木構造物の地表断層対策（常田氏）、さらに大阪・上町断層帯地震に対する建物の設計用地震動評価に関する最新の取組みを解説して頂きます（林氏）。



写真1 2011年福島県浜通り地震で出現した地表地震断層と、その直上の木造建物の被害¹⁾

4. おわりに

活断層帯の地震に関して、「過去に学び、未来に備える」ため様々な取組みが行われており、今回の特集がこの活断層を理解し、有効な対策への一助になればと考えています。なお、次号でも引き続き「活断層について考える」を特集しますので、もし希望される内容や、紹介して頂ける記事などをお持ちでしたら、会誌委員または事務局まで一報頂けると幸いです。

参考文献

- 1) 久田嘉章ほか：日本地震工学会論文集、Vol.12、No.4、pp.104-126、2012.



久田 嘉章

1984年早稲田大学卒業後、同大修了・助手、南カルフォルニア大学助手、工学院大学専任講師・助教授を経て、現職。工学博士、専門は地震工学・地震防災

活断層評価の現状と課題

山崎 晴雄

●首都大学東京都市環境科学研究科 教授

1. 大地震と活断層研究

約4半世紀前だと思うが、あるアンケートがあった。「地震研究の発展のためには何が必要か?」という趣旨だったと思う。それに対して私は不謹慎だとは思いつながら『大地震』と答えた。問うた方は予算や施設、あるいは組織などという答えを期待していたのだろう。もちろん研究発展のためには資金や組織が必要なことは確かだが、近代以降の日本の地震防災に関する研究は、1891年濃尾地震以降の耐震研究、1923年関東地震以降の地震観測と発震機構研究などが大地震、大震災を契機に大きく発展したことは事実である。

そして丁度20年前、1995年1月17日未明に明石海峡付近を震源とする1995年兵庫県南部地震(M7.3)が発生し、当時としては戦後最大の阪神・淡路大震災が引き起こされたのである。以下、本論では地震については兵庫県南部地震、引き起こされた震災については阪神・淡路大震災と区別して用いる。

この地震は、それまで発生が心配されていた東海地震のような、太平洋側のプレート沈み込みによる海溝型巨大地震ではなく、日本列島の内陸部に存在する活断層の運動によって引き起こされた都市直下地震であった。M7級の内陸地震でも、大都市の下で発生すればM8級の海溝型地震に匹敵する大きな災害が引き起こされることが明らかになり、そのため内陸地震の原因となる活断層に対する社会的な関心が急激に高まった。1995年7月に地震防災対策特別措置法が制定され、それまでの地震予知研究推進本部を改編した地震調査研究推進本部(推本)が設置され(当初は内閣府、現在は文科省所管)、国の防災研究推進体制が整備された。そして、推本の主導により全国の主要98活断層の評価が始まったのである。なお、ここでの「評価」という言葉は「予知」に替わって使われるようになったもので、活断層の地形地質調査などを通じて過去の活動履歴を明らかにして、将来の断層活動が発生する位置や変位量、引き起こされる地震の規模、震度分布、発生確率などを長期的な視点で推定することを意味している。

このように、1995年兵庫県南部地震は日本における地震防災研究の主軸を地震の短期予知から長期評価にシフトし、その中で活断層の位置付けを確固たるも

のにした地震となったのである。しかし、その16年後、2011年3月11日に今度は海溝型超巨大地震の東北地方太平洋沖地震が発生し、巨大津波により戦後最大の東日本大震災が引き起こされた。この津波で福島第一原子力発電所では浸水により全電源を喪失して、原子炉の冷却が不能になった。そして、燃料のメルトダウンと水素爆発が起き、大規模な放射性物質の飛散事故が発生したのである。この地震も今後の地震防災研究に大きな影響を与えられるが、津波研究を除いてまだ大きな変化は見えてこない。本稿では20年前の兵庫県南部地震が地震防災研究、特に活断層研究に与えた影響について見てみよう。

2. 兵庫県南部地震と活断層

2.1 地震断層と活断層

1995年の兵庫県南部地震は、六甲山地の南東側を限り明石海峡を抜けて淡路島の北西縁に続く、六甲淡路断層帯と呼ばれる北東-南西走向の活断層群の活動によって引き起こされた。活断層群というのは、走向や活動様式が似た、断続する数本の活断層で構成されるグループのことである。構成する断層が単独で活動する場合もあるが、多くは近接する断層が連動して同時に(もちろん多少の時間のずれはあるが)活動すると考えられている。松田¹⁾は活断層の末端同士の間隔などが5km以内の場合は連動して活動して大きな地震を引き起こす可能性があると考えた。上記推本の活断層評価でもこの考え方(いわゆる5kmルール)が踏襲されている。

兵庫県南部地震では地震波の解析や余震分布から六甲淡路断層帯に沿う長さ60kmほどの震源断層(地下約3km以深の硬い地震発生層の中にある断層で、活動して地震の強い揺れを発生させた)の存在が推定されている²⁾。そして、地表では震源断層の一部と見られる地震断層が淡路島北西岸の江崎灯台から富島(としま)までの約10kmに亘って出現した³⁾。地震断層とは地震時に地表に現れる断層の総称だが、地滑りや地割れなど、表層の重力作用による非構造的な断層は含めない。観察された地震断層の最大変位量は右横ずれ2.1m、東側隆起1.2m(いずれも野島平林付近)であり、地震波の解析から導かれた震源断層の変位量と大きな

違いが無いことから、震源断層のずれが地震発生層の上限を突き抜けて、さらにその上の厚さ数kmの被覆層を抜けて地表にまで達したものと考えられる。

この地震断層の出現部分は地震発生前の1990年に刊行された1/5万地質図⁴⁾に野島断層という活断層として記載されていた。これは東側の花崗岩と西側の下部更新統大阪層群の間を、明瞭な破碎帯を伴って境する断層で、累積変位量は500mに達すると考えられる。また、断層に沿っては高さ約300mの急峻な断層崖が形成されている。

このように、兵庫県南部地震の地震断層＝震源断層は、前期更新世以降の大きな累積変位量を示す断層が再活動したもので、断層崖の存在から判るように、最近の地質時代においてもこのような活動を繰り返してきたのである(図1)。



図1 A:淡路島の地震断層＝活断層野島断層の位置 B:野島断層を横切る東西断面。地震断層は急崖の麓の断層破碎帯に沿って現れ、断層の両側で大阪層群の分布高度も大きく食い違っている⁵⁾。

2.2 家屋被害と活断層

淡路島における地震被害は家屋の倒壊が主なものだが、特に富島などの沖積低地で大きかった。図2は富島付近において地震断層と直交する測線を設け、その測線に沿う10m区間毎の被害率の分布を示したものである。

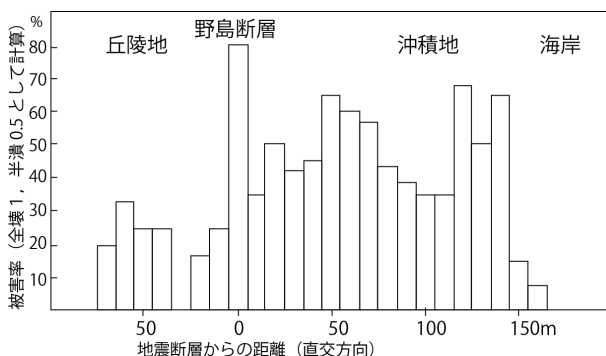


図2 野島断層を横切る測線上での10m毎の家屋被害率の分布⁶⁾。詳細は本文参照。

断層の出現位置に被害率が最大の部分があるものの、主に沖積低地や若い段丘が分布する断層の西側地域では、断層出現位置から150m程度離れても被害率はそう小さくはない。一方、断層の東側は土砂採取のため丘陵地を切り崩した地域で基盤の花崗岩が露出している。こちら側では断層の直近から明瞭な被害率の低下が認められる。

このことは断層上では断層の剪断変位により家屋被害の多少の増加はあるにしても、断層の東側と西側の被害率の違いは、建物や地盤地質、地形条件(丘陵と低地の違い)によるものであり、家屋の被害に断層のずれが大きく影響しているとは考えられない。

六甲山南東麓の神戸市街地では、家屋の倒壊や火災などで大きな地震災害が発生した。しかし、この神戸側では地下深部で震源断層が活動したものの、地表に地震断層は出現しなかった。このことは波形インバージョンなどの地震波解析を通じて求められた震源断層面上でのスリップ・ベクトルの分布から説明できる。すなわち、淡路島側では変位量の大きなスリップ・ベクトルが深さ10km以浅の浅い部分に集中するのに対し、神戸の下では深さ10km以深の部分に大きな変位ベクトルが集中している²⁾。つまり、淡路島側では震源断層面上のアスペリティが浅いところにあったのに、神戸側ではそれが深い位置に存在していたのである。アスペリティとは、震源断層面上で周囲よりも強く固着しているところで、小さな力では動かないが固着強度の限界に達するような大きな力が加わると大きくずれ、強震動を発生する部分である。このため、淡路島

には地震断層が出現したのに、神戸側は震源断層の浅い部分での変位量が小さかったために地震断層が出現しなかったのである。

しかし、神戸市内では、木造家屋の倒潰率が30%以上に達する震度7の地域が、市街地の中に帯状に出現した。嶋本⁷⁾はこれを「震災の帯」と呼び、その原因は神戸市街地の下にある伏在活断層が活動したためと考えた。池田⁸⁾も墓石転倒方向が震災の帯の北と南で逆になることから、震災の帯の下に伏在断層が存在する考えた。確かに、震災の帯は地盤条件とあまり関係なく、六甲山麓と平行に扇状地や台地を連続して横切って市街地の中を延びており、活断層と考えたくなる気持ちは理解できる。

だが、地盤の研究者からは全く別の考えと証拠が提示された⁹⁾。震災の帯の原因は、基盤上に階段状の段差がある神戸の地下構造のために、六甲山麓の下の震源断層から射出された地震波が屈折して、平野側の特定の地域に集中して地震動が増幅された（これを焦点効果という）というのである。実際、神戸市街地の余震観測結果では、震災の帯の地域はその北側の地盤の堅固な地域や、南側の埋め立て地盤地域に比べて、どの余震でも揺れが大きかったのである¹⁰⁾。これから、震災の帯は伏在活断層の活動では無く、神戸の地下地質構造のために、レンズの焦点のようにある地域に地震波が集中して生じたと考えられるのである。

こうしてみると、阪神・淡路大震災は確かに活断層が活動して生じた地震動やそれに続く火災によって引き起こされたものだが、断層変位に直接関係して生じた被害は実はあまり多くないことが判る。

3. 兵庫県南部地震以降の活断層の諸問題

3.1 活断層に関する誤解と風評化

阪神・淡路大震災以降、地震の原因となった活断層に社会的な関心が高まり、自治体を巻き込んだ活断層の全国調査が行われるようになった。その時、活断層の定義についてよく質問されたが、学術的に明確な活断層の定義は無いのである。強いていえば、昭和初期に『活断層』という言葉をもっと使った多田文男¹¹⁾による『極めて近き時代迄地殻運動を繰返した断層であり今後も尚活動す可き可能性の大なる断層を活断層と云う』が活断層の説明に用いられる。つまり、最近の地質時代に繰返し活動した断層は、将来も活動する可能性があるということである。当時は地震が断層運動で引き起こされることは証明されていなかったもので、地震のことは言及されていないが、現在の目で見れば、活断層は将来も再活動し、地震を引き起こす可

能性のある断層、と考えるべきであろう。

この様な断層は、最近までの断層運動の繰返しで作られた断層地形を伴っているのが普通である。活断層とはこのように地表に変位・変形が現れているものを指す。しかし、最近では地表に全く姿が認められない震源断層についても、「未知の活断層が動いた」などと報じられるようになった。しかし地震は全て断層のずれが原因と考えられるので、毎日起きている小さな地震も全て未知の活断層ということになってしまう。これは明らかに、活断層の誤った理解であり、活断層とは地表付近の大きなずれを持った、すなわち地表に過去の活動の痕跡が認められるものに限定すべきである。マスコミが「未知の活断層」などと、「活断層」と言う言葉を使いたがるのは、活断層には怖い、恐ろしいというイメージがあり、話題がセンセーショナルに伝わり易いからであろう。

このイメージが国民の間に定着したのは阪神・淡路大震災以降のことである。しかし、活断層は本当にそんなに怖く恐ろしいものなのだろうか。内陸地震の原因は確かに断層運動かも知れないが、災害を大きくしているのは地震動や地盤条件、火災である。しかし、活断層でいつもセンセーショナルに取り上げられるのは断層のずれによる被害である。つまり、活断層については本当に怖い地震動や火災が活断層のずれによる災害にすり替わってしまっているのである。これによってさまざまな風評も起きている。活断層の風評化は兵庫県南部地震以降の大きな変化である。

3.2 活断層の活動時期の判定方法と判定期間

活断層を判定する過去の活動について、多田¹¹⁾の説明では『極めて近き時代』のように、過去の断層活動の有無を判定すべき期間が曖昧である。そのため過去の活断層調査では、調査者が調査の目的に応じてその期間を定めていた。例えば『日本の活断層』¹²⁾や『新編日本の活断層』¹³⁾では活断層として怪しいものでもできる限り多く拾うために、第四紀以降に繰返し活動した証拠のあるものを活断層としている。これに対し、最近の調査では第四紀後期（後期更新世以降）の活動が認められるものを活断層とする場合が多い。これは紀伊半島東部の中央構造線のように古い時期に活発に活動を繰返していても、第四紀の前期や中期の間に活動を止めてしまった例が多く見つかったことや、新しい時期の地層の年代決定精度が上がり、詳細な活動時期の特定が可能になったこと等が理由である。

活断層の過去の活動時期を特定する手段は、トレンチ発掘調査である。これは断層を横切って深さ数mの

溝（トレンチ）を掘り、側面に認められる断層による地層の変位・変形から、断層の活動時期を特定する方法である。1980年代の初め頃からこの方法が開発されてきたが、兵庫県南部地震以降完全に実用化され、現在に至るまで全国各地の活断層について多数の調査が行われている。しかし、この方法は決して万能では無い。地震断層の地表への出現形態を理解していないと全く無駄な調査や大変な過ちを犯すことになる。地表付近の地震断層変位は地下3km程度以深の硬い地震発生層の中で生じた断層のずれが、表層付近の軟らかい被覆層の中を突き抜けて地表に達したものである。地表直下で歪みの解放や断層の破断が生じるわけではないのである。

したがって地震断層の地表への出現形態は表層付近の堆積物の固結度や厚さなどによって大きく変化する。硬い地層が地表近くまで分布していれば、地表には破碎帯を伴った明瞭な断層崖が出現する。野島断層はこのような例である。しかし、もし地表部に未固結の厚い礫層などが分布しているときには、断層のずれはその中で分散したり複数に分岐したり分散してしまう。未固結の堆積物が厚ければ、地表では撓曲と呼ばれる、地層が切れずに緩く撓み曲がる変形が生じる。撓曲ではトレンチ調査をしても断層の活動時期に関する情報は得られない。

2013年3月に明らかになった立川断層のコンクリート材を破碎帯と誤認した事件は、単なる観察事実を誤認したために起きたことでは無い。調査者が撓曲という現象を理解していないために、そこでトレンチを掘ったり、あるいは出るはずの無い破碎帯があったと思い込んでしまったのである¹⁴⁾。その背景には、活断層と言う言葉は世の中に広く知られるようになったが、その実態に関する知識は一向に社会に浸透していなかったことが挙げられよう。

3.3 活断層からの地震発生確率

阪神・淡路大震災以降、活断層調査に基づいて過去の活動履歴が解明されるようになった。その結果、活動履歴を基に大地震を最後に発生した断層の活動時期と、断層運動の活動周期（活動間隔）を求めることができるようになったことである。これが詳しく求められて、最後の活動時期以降の経過時間と1周期の間の地震（断層運動）発生の確率分布モデルがあれば、将来の一定期間（普通30年間）における断層運動（＝大地震）の発生確率を推定することができる。ただし、この確率値は断層の再来間隔に大きく影響され、発生間隔の短い（百～数百年）海溝型地震に比べ、周期が千

年以上（大部分が数千年）と言われる活断層では、今後30年間の発生確率はせいぜい数%にとどまってしまう。このような低い数値となる活断層からの大地震発生の確率値を実際の防災にどう利用して活かすかが、今後の大きな課題である。

4. 原子力と活断層問題

現在、活断層をめぐる大きな問題は、活断層の有無が3.11の東北地方太平洋沖地震以降運転を停止している原子力発電所の再稼働に大きく関連していることである。阪神・淡路大震災を経験して旧原子力安全委員会の「発電用原子炉の耐震設計審査指針」（以下旧指針）が2006年9月に改訂された。しかし、その後に起きた2011年東北地方太平洋沖地震と福島第一原子力発電所の事故を受けて、新たに発足した原子力規制委員会は旧指針を改訂し、2013年7月に「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」（同規則の解釈を含めて以下新規則と呼ぶ）が施行された。

この新規則では活断層に関する取り扱いが大きく変化した。それはこの中で、重要施設は変位が生じる恐れのない地盤に設置しなければならない、という文言と共に、活断層と言う表現が無くなり、「将来活動する可能性のある断層」という言葉に替わったのである。活断層も将来活動する可能性のある断層なので、それぞれの用語を見ればそう大きな変化は無いように見える。しかし、この新規則の将来活動する可能性のある断層には、旧指針では扱っていなかった小断層（地震を起こすような活断層では無い小規模な断層）や地すべり性の断層なども含まれるのである。旧指針では施設の安全性に影響を与えるものとしては活断層のみを挙げていた。小断層や地滑りの変位は、施設の耐震裕度の中で十分吸収できたり、あるいは防止工事での対応が可能と考えて、特にその評価などは求めていなかったものが、新たに問題となってきたのである。

さらに新規則では将来動くかどうかの判定基準として、従来と同じ後期更新世以降という言葉は使われているが、13～12万年前という数字が付け加わった。小規模な断層が13～12万年前以降に動いていないことは、13～12万年前の指標となる地層を見つけ、それが小断層で動いていないことを証明せねばならない。多くが古い基盤が露出しているところに立地し、人工改変も受けている原子力発電所の構内やその周辺では、余程の幸運がない限り13～12万年前の指標を見つけ出すのは困難である。

さらに新規則では「わからないものは安全側に評価

する」という一節がある。これも字面では当たり前の文言のように見えるが、実際、13～12万年前の指標を見つけるのは不可能に近いので、新規則では大部分のところで将来の活動可能性は判らないということになってしまう。わからないものを安全側に判断するということは、将来活動する可能性のある断層と見なす、ということで、原子炉や重要施設の下にこの様な小断層があれば、事実上廃炉ということになってしまう。

小断層の活動なら変位量は小さく、対策工事が可能と思われるが、新規則の断層に関する部分には対策工事に係る要求はまったく無く、活断層に対する工学的な対策を全く認めないのである。この点は、同じ新規則の中でも機器・配管系の耐震要求と大きな違いがある。動くかどうか判らない小断層を事実上の活断層と見なし、廃炉を迫るこの新規則は、どう見てもバランスを欠いたものと思えるのである。私はこの新規則のパブリックコメントがあったとき、この規則は「活断層は危ないので安全なものを作ろう」という発想では無く、「活断層は危ないので原子炉を止めるのが一番安全」という発想で作られていると感じたが、時間が経つにつれ、ますます、その確信を深めている。

このように原子力規制委員会が活断層（あるいは将来活動する可能性のある断層）の危険性を強調する背景には、断層活動は誰も止めることはできず、その上のは皆破壊されるので、対策としては断層の上を避けるべきだ、と言う考えがあるようだ。しかし、阪神・淡路大震災では活断層の地表でのずれが大震災の直接の原因になった訳ではない。2011年東北地方太平洋沖地震でも活断層は大震災に全く関係していない。しかし、地震後のいろいろな対策の見なおしの中で、活断層が真っ先に取り上げられ、基準の改訂によって原子力発電所の再稼働が進まない状態になっている。このことに、活断層の風評化の恐ろしさと政治のにおいを強く感じるのである。

5. 活断層との共存と今後の課題

活断層は我々の生活と切っても切れない関係にある。危険があるからといってそれを避けたり、逃げたりする方向は明らかに誤っている。例えば沖積平野の開発にしても、そこは本来雨が降れば川は洪水を起こし流路の移動が頻繁に起こるところであり、頻繁に命の危険にさらされるところであった。しかし、その一方で、低地は水の便がよく、農業を行うにしても物資の移動を行うにしても台地や丘陵地に比べて非常に有利な地域である。そのため、低地から逃げるということではなく、知恵を働かせ、災害の影響をできる限り小さく

していくという方法を選択したのである。現在の都市は多くがこのような低地に立地しているが、そこには洪水から身を守り、安全な土地を作っていく多大な努力があったのである。

一方、活断層は自然災害に関して低地と同じような条件にある。災害の頻度でいえば、活断層自体が引き起こす災害は水害よりもずっと低頻度である。しかし、上記のように活断層についての対策としては、まず避けるという方法しか提案されていない。カリフォルニアやニュージーランドでは断層上の土地利用を規制する法律がある。日本においても活断層上の土地利用規制が提案はされているが、それについての規制等が実施に移された例はごくわずかである。それは、この方法が、低頻度の自然災害への対応として、メリット、デメリットを考えたとき、あまりにデメリットが多く、現実離れしているからであろう¹⁵⁾。狭い国土の中にたくさんの人がいて、多数の活断層が存在する日本では外国とは異なり活断層を避けるという道では無く、活断層と共存する道を探るべきである。

しかし、東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）以降、状況が大きく変化してしまった。原子力における活断層問題がクローズアップされ、同時に活断層の風評化が進んできたのである。

2014年11月の長野県北部の地震では神城断層沿いの一部の地域で住宅被害が発生した。ここでは断層運動と家屋被害の関係が安直に結びつけられ、テレビのワイドショーでは防災の専門家と称する人から、活断層の防災は断層の上を空き地にしておくべきだ、というような発言も見られた。地震後、私は現地調査を行ったが、地元の人々からは、もし上記の防災専門家が言うような規制がかけられたら、この住みやすい土地にもう住めなくなるのではないかと心配する声が多く聞こえた。家屋被害のあったこの地域は昔の湖の後に隣接する地域で、同じ断層沿いの他の地域と比べ地盤条件はあまり良くないことは事実である。しかし、実際の家屋被害地域は活断層上、あるいは活断層と平行に広がっているわけでは無い。むしろ断層の走向と直交する方向の山際に沿って集中しているように見えるのである。これは地盤条件や地形による地震動特性が家屋被害に大きく影響している可能性があり、工学的な安全対策が可能である。

活断層については、怖い、恐ろしいというイメージが先行し、活断層の怖さが社会に正しく伝えられていないことが問題である。そのため活断層の風評化が進み、社会の発展を阻害するケースが現れは始めている。

原子力規制委員会の新規則は将来活動する可能性の

ある断層に対して工学的な対策による対応を全く認めていないが、一昨年、我々は原子炉を断層が横切る場合でも、対策があることを示してきた¹⁶⁾。また、有志の研究者や技術者と共同して、活断層があってもそれを正しく評価し、問題を克服する技術や材料の開発を目的とした新学問領域、『活断層理工学』の構築を提唱している。日本社会の健全な発展のために、多くの方々の協力とご支援をお願いする次第である。

参考文献

- 1) 松田時彦：最大地震規模による日本列島の地震分帯図、地震研彙報、65、pp.289-319、1990.
- 2) 吉田眞吾ほか5名：強震計記録、遠地実体波、地殻変動データの同時インバージョンによる兵庫県南部地震の震源過程、日本地震学会講演予稿集、No.2、A76、1995.
- 3) 栗田泰夫ほか5名：1995年兵庫県南部地震に伴って出現した地震断層、地質ニュース、No.486、pp.16-20、1995.
- 4) 水野清秀・服部 仁・寒川 旭・高橋 浩：明石地域の地質、地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)、地質調査所、90p、1990.
- 5) 山崎晴雄：活断層と地震防災、地質学論集、No.51、pp.135-143、1998.
- 6) 山崎晴雄：兵庫県南部地震と活断層、町田 洋・小島圭二編新版日本の自然8自然の猛威、pp.227-243、岩波書店、1996.
- 7) 嶋本利彦：“震災の帯”の不思議、科学、65、pp.195-198、1995.

- 8) 池田安隆：神戸の直下で伏在断層が動いた、科学朝日緊急増刊、pp.30-31、1995.
- 9) 源栄正人・水野雅之：不整形地下構造を考慮した兵庫県南部地震における神戸市の地震動増幅特性解析、日本地震学会講演予稿集、No.2、A101、1995.
- 10) 岩田知孝・畑山 健・川瀬 博・入倉孝次郎：地震被害地域における1995年兵庫県南部地震余震の増幅特性、日本地震学会講演予稿集、No.2、A102、1995.
- 11) 多田文男：活断層の二種類、地理学評論、3、pp.980-983、1927.
- 12) 活断層研究会編日本の活断層－分布図と資料－、東大出版会、363p、1980.
- 13) 活断層研究会：新編日本の活断層－分布図と資料－、東大出版会、440p、1991.
- 14) 山崎晴雄：立川断層「誤認」の深層、エネルギーフォーラム、702、pp.52-53、2013.
- 15) 山崎晴雄：富士山はどうしてそこにあるのか、NHKカルチャーラジオ「科学と人間」テキスト、NHK出版、162p、2014.
- 16) 山崎晴雄・鈴木義和：敷地内断層評価の背景と実施の経緯、エネルギーレビュー、2014年2月号、pp.7-8、2014.



山崎 晴雄 (やまどき はるお)

1976年東京都立大学大学院理学研究科地理学専攻修士課程修了。通産省工業技術院地質調査所主任研究官、東京都立大学助教授、教授を経て2005年より大学名変更により現職理学博士 専門は地震地質学、第四紀学、地形学

地震・活断層とトンネル

大島 洋志

●国際航業(株)技術開発センター最高技術顧問

1. はじめに

筆者は新幹線開業40周年を祝った直後の新潟県中越地震(2004年10月)で被災した上越新幹線等のトンネル現場を調査した後、求めに応じ私見を発表¹⁾、さらに中越地震と新幹線脱線事故を土木の視点で分析した単行本の中で地質とトンネルの部分を執筆した²⁾ことがある。そういう筆者の経歴に期待されたのか、当該編集関係者から「活断層とトンネル」をキーワードにした執筆を求められた。

筆者は東海道新幹線開業の翌年、当時の国鉄に地質技術者として入社し、この三月末で就職満50年になるが、一貫してトンネル建設と共に過ごしてきた。若い頃、文献や先輩等の話から「トンネルは地震に強い」という神話の存在を知った。それは、施工中に関東大震災(1923年9月)と北伊豆地震(1930年11月)という二つの大地震を経験した丹那トンネル(7,841m)の事例や、新潟地震(1964年6月)時に震源近くの羽越本線の諸トンネル等に見られた多くの事例をもとにしたものであった。自らが関わった施工中のトンネルで、地震を経験したのは兵庫県南部地震(1995年1月)の本四連絡道舞子トンネル(3,293m)と鹿児島県北西部地震(1997年3, 5月)の九州新幹線北薩地域のトンネル群であるが、そこでもトンネルの被害は皆無で、トンネル神話を実感した。

しかし、地震で上越新幹線が脱線した一件は大きな衝撃を与え、同時にJR上越線と国道17号線の両和南津トンネルや上越新幹線の魚沼トンネル(8,624m)などが被災したことで、世間に「トンネル神話」への疑念を抱かせることとなった。私見の発表^{1,2)}はそれに対する反論的な意味合いで執筆したものであった。

その後も我が国のトンネルは多くの地震を経験しているが、筆者はトンネルと地震に関しては、10数年前の主張^{1,2)}はそのまま通用できるという基本的スタンスを持ち続けている。そこで、その主張を中心に、筆者自身がその後得た知見や、現在抱いている地震学への疑問などを交えながら編集子の要請に応えたい。

2. 施工中に二つの地震を経験した丹那トンネル

トンネル工事と地震との関係に触れた文献は多々あるが、1917から1933年まで16年もの工事期間中に関東

大震災と北伊豆地震を経験した丹那トンネルほど克明に記録^{たとえば3),4),5)}が残されたものはない。本章では、それらの文献をもとにトンネルと地震に関わる興味ある記述を、できるだけ原文趣旨に沿って紹介する。*

2.1 北伊豆地震の前兆³⁾

1930年の3月頃から伊東熱海方面は連日の地震に悩まされていた。震源地は伊東の沖合とされ、ひどいときには1分おきに揺れていた。大地震の前兆だと恐れられていたが1ヶ月余りこんな様子が続いた後、いつともなく静かになった。しかし11月の初めになるとまたぶり返して連日の地震となった。震源が近いせいか、坑内でも山鳴りが聞こえ、上下動を感じる程であったが、皆慣れっこになって、そのうち静まるだろうと思っていたところ11月26日の払暁いつになく大きな地震(本震)が起きた。

2.2 坑内は地表より振動が小さい

①³⁾ 関東大震災の時には、西口から4,950呎の断層を掘っていた時で、坑外では大騒ぎした。坑内では切羽崩壊の音かと思えるゴーという山鳴りが聞こえたので、皆あわてて逃げ出したが、山は別に異状もなく、電線が揺れるのをみてはじめて地震だと気がついた。

②⁵⁾ 地震の最中隧道内を巡視中であったが、坑内では何ら震動を感じず、被害はもちろんなかったのに拘わらず、坑外に出て初めて地震のあったことを聞いて驚いた経験をもっている。このようなことは成層状態の緩んだ沖積地や埋立地では被害が大きいのに拘わらず、岩盤上では大して被害がないという事実と同様に、地震波の性質から当然のことであろうが、実地経験としては極めて興味ある事柄であった。

③ 北伊豆地震の時は坑内で山鳴りや上下動を感じたが、地表に比べると小さかった。地震後、地震研で地表と直下の水抜坑に設置した地震計での計測では、同じ地震でも地下では1/3しか揺れなかった³⁾。石本博士(第二代地震研所長)は地下30mに設置した地震計と地表のものとを比較によって、地表の震動は地下30mの約10倍に当たることを突きとめた⁵⁾。

④³⁾ 丹那トンネルは2つの激震を被ったが、覆工が終了していたコンクリート巻の部分に少々の亀裂が

*：単位は以下のように極力原文標記に従う。

呎(1呎≒0.303mと1foot≒0.3048mがほぼ等しい長さであることから、feetを表す漢字として、尺に口偏をつけた「呎」なる漢字を明治の先達が創作したと聞く)、哩(同様にmileを現す漢字。約1.61km)、寸(1尺の1/10)、分(1寸の1/10)

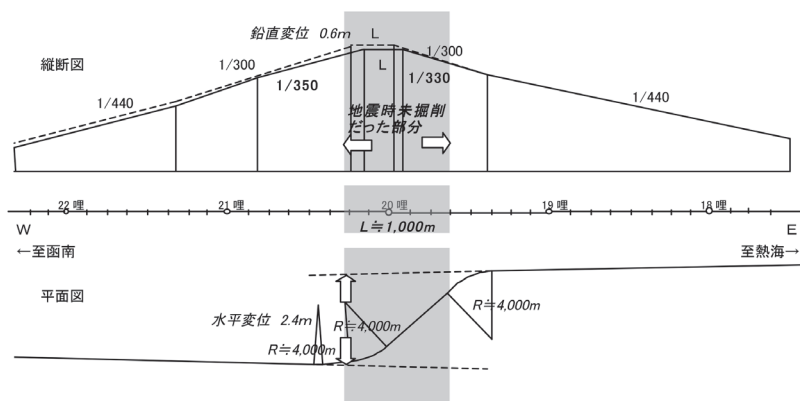


図1 地震後の測量をもとにトンネルの平面縦断形を変更⁴⁾を筆者が編集

生じた程度で、トンネルが潰れるようなことはなかった。世間の人は、ただでさえ恐ろしい地震が、あの不気味なトンネルの中で起きたら直ぐにでも潰れてしまう位に考えているけど、トンネルの中では地震はほとんど感じないのが普通であることがわかった。

⑤⁵⁾ 坑内で地震被害があったのは断層部分だけで、そこから約30mも離れた部分には被害はなかった。

2.3 地震による坑内の地盤変位^{3), 4)}

北伊豆地震時には、函南方西口からの掘削は12,000呎の丹那盆地直下（土かぶり100m余）の丹那断層部に到達しており、熱海方東口からの切羽との間には約1kmの未掘削部分が残っていた（図1）。

① 西口の南側第2水抜坑は丹那断層に初めて挑んでいた南側水抜坑が崩壊した後新たに掘り込んだ坑道であって、大きな土圧で掘進困難となった。そのため、掘削を中止し、松丸太を充填して土留めとし、さらに先の地質を調べるため水平に60m程の先進ボーリングをなし、そのためのケーシング管が松丸太の間に残ったままであった。この坑道を地震後調査したところ、図2のように、正面を向いているはずの松丸太とケーシング管が、一様に45°位南に向きを変えていた。しかも突出部が長かったケーシング管はその端が側壁部に抑えられていた。その後木材を取り除いたところ、南側の地山が左側に押出しているのを確認できた。これらのことから奥方が左（北）側に手前が右（南）側に動いたことが確認できた。

② 掘削を断念した第2水抜坑の南に近接して掘削した南側第3水抜坑は、断層部まで掘進し、手前までコンクリートを打設した状態で地震に遭遇した。切羽は地質不良のため鉄製の支保工が建てられていた。地震後は支保工が途中で切断され、正面にはほぼ水平な条痕がついた断層鏡面が現れた。

③ これらから、丹那断層を境に、西の地塊が東の

地塊に対し南に8呎位ずれたことが分かった。

④ 熱海・函南の両口から坑奥へ1哩間は平面的な直線が維持されていると仮定して相互に延して相対に中心の差異を求めた結果、西口で6呎程、東口では9呎近い変位となった⁴⁾。

⑤ 函南方坑口付近の基準点をもとに水準測量した結果、坑奥に向かって次第に沈下量が増し、2呎以上にも及んだところもあった。また、西口の方が東口より4寸1分下がっていた。鉄道省では、坑

内の模様と丹那盆地の被害の状況から、東側は動かず、西側が動いて、沈下したのと考えたが、藤沢から静岡付近までを対象に陸地測量部が行った測量では、西側は動かず、東側が上がったとされたのは疑問点である⁴⁾。

⑥ 地震後、地震研究所の手で種々の測定が行われた。此の結果は凡て絶えず大地の動きを示してその量は僅少であるが、大地が絶えず動き続けていることを確認した。しかしこれらの動きは徐々に鈍り一年後においては大体安定した。鉄道省が行った2、3ヶ月おきの水準測量では、坑奥2哩の地点が漸時沈下し、2分ほど下がったが、これも1年程で安定した。勿論測量エラーもあるので断定はできないが、我々の測りうる程度でも沈下を続けたことは明瞭である⁴⁾。

⑦ こうして生じたずれを繕って一本の鉄路とするため、未掘削の約1km間にR=4,000mの反向曲線を挿入し、縦断勾配の変更もなされた⁴⁾（図1）。

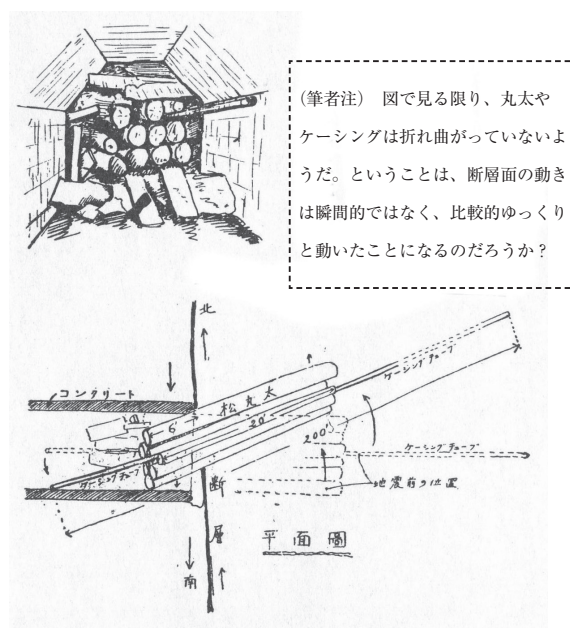


図2 地震後の西口12,000呎第2水抜坑切羽状況³⁾

3. トンネルは何故地震に強いのか？

第1～2章の記述や吉川⁶⁾などの過去の事例調査・研究などからも明らかであるが、トンネルは耐震性に優れた地下構造物であるという「トンネル神話」が、何時の頃からごく自然に言われるようになった。

地盤や建造物に直接的な震害を及ぼす地震波はP・S波から遅れて地表を伝わってくる表面波であるが、この波は海面の波と似ており、嵐のとき、海上は大荒れでも海の深部は意外に静かであるように、地震による地盤深部の揺れも、地表面と比べ非常に小さいのである。青函トンネルに大学人として関わった足立は、「青函トンネル周辺の陸地表面および海底部に設置した地震計の加速度を比較すると、木古内、増川など地表面に対して海底部は1/10～1/4である」⁷⁾と、2.2節の③に記したのと同様な傾向が青函トンネルでも認められることを記している。以上から、トンネルが地震に対して強いとされる一つ目の理由として、地下の揺れが地表よりも小さいことがあげられるだろう。

二つ目の理由は、トンネル(覆工)が地震時には地盤と一体で動くため、地盤との覆工との間に相対的な変位をほとんど生じないことであろう。

4. 地震時のトンネルのアキレス腱はどこか²⁾

しかし、トンネルの地震被害が全くないわけではない。そこで、地震時に問題となるトンネルのアキレス腱はどこなのかについて地盤条件の面から考えてみる。

4.1 地震時に揺れやすい地盤の弱部

筆者は新潟地震後に羽越本線などのトンネル被災状況を調査した高橋(鉄道技研地質研究室長)から、「基本的にトンネルは地震に強いものであるので、トンネルの地震被害を調査する場合、坑口部を含む土かぶりの小さい部分を別とすれば、施工中に苦勞した断層破碎帯などの不良地山部分を重点的に調べれば、大きく間違えることはない」と教わったことがある。2.2節の④⑤で紹介した丹那トンネルの事例等も参考にした経験談だったと思う。

兵庫県南部地震で被災した山陽新幹線六甲トンネル(16,250m)を調査した朝倉は、「アーチ部のせん断破壊、天端の曲げ圧縮破壊、逆巻き側壁迫め部のせん断破壊が当トンネルの特徴的な被害形態であった。…地震動に伴う地山の変形挙動の結果、トンネル幅が広がった区間、狭くなった区間がある。…断層破碎帯のように地質条件が悪く、また構造条件に問題がある箇所を選択的に被害が生じる、と考えて良いであろう。…トンネルと交差する著名断層に残留変位を伴

うようなずれは生じていない。」⁸⁾と紹介している。

さらに朝倉は新潟県中越地震時の上越新幹線トンネル群(最大被災は魚沼トンネル)についても述べている。その中に地震の規模と地震断層面からの距離と地震被害の程度を関係づけた図⁹⁾を用いて「この地震では地震規模に応じた被害範囲の関係が従来の実績から大きくはみ出していた」⁸⁾という興味ある記述がある。この特異点は、従来活断層が知られていない場所で、しかも明瞭な連続性が確認されていない3個の震源断層が順次動いたとされる奇怪な地震であったため、距離算定が甘かったということの説明がつくのだろうか。

筆者も調査に関わった魚沼トンネルの被災箇所は猪倉山断層がトンネルと斜交する地質不良部であり、覆工の激しい崩落や路盤の隆起などが見られた。しかし、本震々源がトンネルの直下約10kmという直近の断層であるにも拘わらず震源断層として活動した形跡(ずれ)はなかった。したがって、当該トンネル被災の主因は、近傍の川口で1,722ガル(本震)、2,515ガル(余震)といった重力の加速度を遙かに超える下から突き上げるような激震(跳び石現象が多々見られた)による断層破碎帯部の異常な揺れにあると考える¹⁾²⁾。

以上から、トンネルのアキレス腱は地震時に揺れやすい場所と考えて良い。すなわち土かぶりが小さな場所(例えば坑口付近)や、土かぶりは十分でも断層破碎帯のように周囲に比べて軟質な地山部分がアキレス腱となる。そのうえで、覆工背面に空隙があるなどのトンネルに何らかの構造的欠陥が重なる箇所が、地震により被災しやすいと考えて良い。

4.2 地震時にずれを生じる活断層通過部分

揺れによる被害のほかに、厄介な問題として、地震時のずれによる被害がある。これに関しては、北伊豆地震時に2m余の水平ずれを生じた丹那断層(活断層)の例が有名である。しかし、2.3節の⑥および図1で紹介したように、函南方切羽が丹那断層付近にあり、熱海方切羽との間に約1kmを残した施工中の被災であって、地震後の線形変更で問題解決しているので、ずれによる実害はほとんどなかったといえる。

では、地震時の活断層のずれによる被害事例はどの程度あるのだろうか。朝倉は、「伊豆大島近海地震(1978年)では、伊豆急稲取トンネル(906m)で数10cmの横ずれが生じている。また、兵庫県南部地震でも震源近くの塩屋谷川分水トンネルを横切る横尾山断層部に輪切り状のひび割れが生じている」⁸⁾と記載している。しかしこれらの変状は前節の事例で述べたものと比較して後々の対策に特別に困ったというレベ

ルのものではない。さらに、稲取トンネルのずれは斜面の滑動によるもので、活断層ではないという話を聞いたこともあるほどである。

もしも、北伊豆地震が丹那トンネル開通後に起きておれば、活断層によるずれで大災害になったトンネルとして事例を提供することになったかもしれないが、トンネルが活断層の活動で大きくずれて破壊したと特定でき、復旧に大きく手間取ったという事例は寡聞にして知らない。

したがって、活断層が横切る部分は間違いなくトンネルのアキレス腱といえるが、一般の断層部と比較してどの程度深刻な問題として考えなければならないのかについては明快な被災例はない状況といえる。

5. トンネルの耐震補強策

地震に強いとされるトンネルの二つのアキレス腱に対する耐震補強策について以下に私見を述べる。

5.1 地震時に揺れやすい地盤の弱部に対して

地震時に覆工が地山と一体になって動くようにすることで、覆工の大きな崩落を防止するという下記のような対策が主な昔からのメニューである¹⁾²⁾。

- ・覆工背面の空隙を裏込め注入で充填
- ・ロックボルトやアンカー等で地山に一体化
- ・覆工の鉄筋またはファイバーコンクリート化
- ・路盤部のインバートコンクリート化

最近では、地震時に覆工に生じる応力を低減させるために、覆工の剛性を低減させて地山の変形に追従させるといった補強策も検討されているようである。

5.2 地震時にずれを生じる活断層通過部分の対策

ずれを生じる活断層を通過するトンネルに対してどう対処したら良いかはかなり難解な課題といえる。

5.2.1 どの程度の周期でどの程度ずれるのか

ずれの程度： 地震によってできる断層の長さとするずれの程度は地震の規模（マグニチュード、M）に比例し、一般的にはM8で断層長100～150km、食い違い4～5mで、M6ではその1/10になるとされているようである。我が国で実測されている地表面のずれ量としては、濃尾地震(1891/M8.0)の際に根尾断層に生じた、断層長80km、水平変位8m、鉛直変位4mが最大である。兵庫県南部地震(M7.2)の際の北淡地震断層系では水平2.1m、鉛直1.4mの最大変位であったとされる。

活動の周期： 丹那トンネルの50m北側、5m上位に設けられた東海道新幹線新丹那トンネル（7,959m）は

その建設にあたって国鉄が、丹那断層の活動の可能性に関して東大の故久野久教授（箱根火山を専門とする世界的な火山学者）に相談している。その結果、約50万年前の溶岩層が丹那断層によって1km近く左横ずれしていることと、北伊豆地震での約2mの横ずれをもとに、溶岩層形成後に地震が500回程度あり、地震は1,000年に1回の頻度と考えてよく、当面断層活動の心配はない、という地質学的判断を頂き、不安を一掃して工事に臨んだと聞く。

活断層が大きくずれる活動周期に関しては、著名な断層であれば各種の調査によって大まかな推定がなされているが、いかにどの精度があるかは不明で、神のみぞ知るというレベルではなかろうか。4.1節の中越地震の例でも明らかなように、従来活断層が知られていない箇所で起きる地震も多々あり、この種の断層に対しては対応のしようがないというのが実態である。

5.2.2 どの程度の速度でずれるのか

では、ずれの速度はどの程度のものなのだろうか。地震のエネルギーは震源断層の滑動（固着体（アスペリティー）の解放/断層の突然の食い違い破壊）によって発生するという現在の地震学の常識に従えば、ずれは瞬時に生じるというものであろう。

しかし、ずれ速度の実測例があるかを調べてみると、意外にも明確な測定事例はないようだ。

施工中の切羽付近で大きなずれを経験した丹那トンネルの工事記録にも具体的記述はなかったが、ふと第2水抜坑の記述等（図1）を見ていて、ゆっくりとずれたのではないかと思った。もしも瞬時にずれたのであれば、丸太やケーシング管は折損してもいいはずだが、それほど痛んだ状態ではなかったからである。

一方、濃尾地震の際の根尾断層ではゆっくりと段差が出来ていったという伝聞が残されているらしい¹⁰⁾。関東大震災の際には、三浦半島南端の三崎では、地震と共に土地が25尺も隆起し、城ヶ島との間の水道に一滴の水もなくなった。この状況が3日程続いた後沈降に転じた。最初は2尺/日の速度で、その後減じたが、9月20日でも地震前より4尺7寸ほどの隆起量であった。という類の記録があるらしい。これは震源断層を境に段差ができるといったものではなく、風船が膨らんで後に萎むといった広域の隆起・沈降現象としか考えられない地盤変動に思われる。また、M7.3の北丹後地震(1927年)で動いた郷村・山田の両断層を挟んでの高低差長期測定では、前者は地震後約1年程度で停止したのに対し後者は3年を経過しても動いていたという。跡津川断層に関しても類似の動きがあるという。

このように、断層が動き出してから停止するまでの時間は様々であるみたいである。これらは断層の食い違い破壊で地震が発生するのではなく、地震の結果として断層が動いたとも解釈できるのである。このように、地震時の活断層のずれの速さも多様で、工学的に適用可能な答を導き出せるレベルにはないようだ。

5.2.3 ずれに対してどういう対策が考えられるのか

では、こういう活断層の危険性にどう対処してきたのか、どう対処すればよいかについて考えて見る。

対処策 1： まず、活断層を極力明かり区間でかつ土構造物として横断することでリスクを回避すれば良い。明かり区間であればずれがあっても被害も軽微で比較的簡単に復旧できるからである。トンネル建設費が高価で極力トンネルを短くするのが主流だった頃のトンネルでは結果的にそういう選定をしていたという事例は国府津・松田断層と交差する東海道新幹線の弁天山トンネル(1,335m)西口付近のように多々ある。

対処策 2： 参考文献3)には「…丹那大断層がもう一度動いたら…8 呎の食い違い…崩壊して通れなくなる…。その時恰度汽車が其処を通っておれば勿論脱線して…。併しそんな大地震は滅多にあるものではありません。恐らくこのトンネルの経済的利用価値のある間にはもう起こらないでしょう。また、たと起こったとしても、その悪い箇所を汽車が通り抜ける時間は数秒に過ぎないのです。一生に一度の数秒間の時間を丁度其処に居合わせて災難に出会ってもよくよくの不運と諦めて下さい。…いやそれよりも危険率からいったら、東京の市街で円タク**に乗る方が更に更に恐ろしいことです。そんな事は気にかけず、この本でも読みながら安心してトンネルを通して下さい。」とある。このような確率論的な話で逃げる対処策である。

5.2.1で紹介した新丹那トンネルの例のように供用期間中には確率的にずれは生じないという科学的判断でリスクを許容するという対処策もありうるだろう。

対処策 3： 対処策2よりは踏み込んで5.1節で紹介したような大規模なトンネル覆工の崩落を防止するか、短いスパンで覆工打設目地を入れるという考えなどで、もしずれたとしても被害を最小限に抑えるような対策を講じておくというものである。これは、一般の断層部と比較し活断層部特異の変状を経験していないこともあり、今取り得る現実的な対応策といえるのかもしれない。

対処策 4： ずれる可能性のある活断層部のトンネルに対して積極的に変位に追従する構造物にしてトンネルの機能を極力維持しようというものである。この

姿勢で対策を講じたトンネルの事例は少ない。筆者が知っている2例を紹介する。

事例1¹¹⁾： 京阪中之島線は上町断層(活断層)を横切る部分に可撓性を持たせたダクティルセグメントを採用したという。当トンネルに設けられた委員会の委員長を務めた足立から「トンネルは断層の上の厚い堆積層部分にあり、撓曲的に動くため切断される恐れは無く断層がずれてもトンネルが崩壊しないように、トンネル軸方向の剛性を低下させることにした」と伺ったことがある。断層の変位まで考慮してトンネルを設計するのは珍しい事例と考えるが、ある面を境に急激な段差が生じて、ある厚さの軟らかい堆積層中では変位が分散(座布団効果)するとした対策といえる。

事例2¹²⁾： サンアンドレアス断層を横切るカリフォルニアの上水トンネルは年間4.5mmのクリープによって覆工に破損が生じている。このままでは、地震後に成長が予想される2.3mの水平変位でトンネルが破壊すると送水不能となり、サンフランシスコなどの主要都市が水飢饉に陥る可能性があるので、種々検討の結果①～③の対策案をまとめたという。

① 変位が予想される区間のトンネル断面をずれ方向の反対側に変位予想分だけ幅広な空間とする、

② 幅広部分はトンネル路盤面とは縁切りしてスライドできるようにベアリングプレート状のローラーをもった送水管とする、

③ 変位する方向の壁に近接して送水管を設置する。

こうしておけば地震によりトンネルが変位したとしても、送水管は破損することなくトンネルの反対側に相対的に移動するだけで済む、という考えである。この構造をどの延長に採用するかが残された問題とのことだが、こんなことを真面目に考えていることに驚きを感じるが、このアイデアが実施に移されたかどうかは残念ながら確認できていない。

なお、山陽新幹線の新神戸駅は活断層が緩い角度で交差するため、基礎と床版とを剛結しない柔構造の高架駅として設計・施工された。活断層に積極的に向き合った最初の事例として有名な事例である。兵庫県南部地震で当断層にずれはなかったが、当駅は断層境界部の激震に耐え、無傷であった。設計・施工サイドで活断層にも対処できるという良き参考事例といえよう。

6. おわりに

施工中に2回の巨大地震に遭遇した丹那トンネルの工事において地震研究所との接点があったことには驚いた。こういう接点があったからこそ、後世に役立つ第一級の資料が執筆され残されたのであろう。当時の

**：丹那トンネル竣工前後の頃、料金1円で走っていたタクシーのこと。

鉄道省の工事関係者に敬意と謝意を表したいと思う。

地震・活断層とトンネルという与えられた課題に対する筆者なりの考えは5章に述べた通りである。それを要約すると下記のようなよう。

① トンネルは地表よりも揺れが少ない地中で、地山と一体となって揺れるので、地震に強いといえる。

② トンネルのアキレス腱はまず地震時に揺れやすい小土かぶり部や断層破碎帯などの地質不良部であり、5.2.1項で述べたように、地震時に地盤と一体となって動くような対策を耐震補強の柱に考えれば良い。

③ 二つ目のアキレス腱、活断層のずれに対しては、新神戸駅の事例のように活断層に工学的に向き合う姿勢も参考にしながら、5.2.1項に記した選択、5.2.3項に記した確率的な対処法、可撓性を持たせた覆工でその後の早期復旧性を重視する対処法等が考えられる。

②③を実施のうえで、地震を早期検知し、走行する車両を健全地山のトンネル部に誘導できればそこは地震時の避難箇所として最適・理想の施設と言ってよい。

地震学 (seismology) は筆者が学んだ地質学 (geology) と同様に接尾辞に -logy がつくことから分かるように、いろいろな現象を説明できる論理的 (logical) 仮説を打ち立てながら発展してきた学問である。仮説は、①完全に事実や観察に基づき、②多くの既知の事実や現象間の関係を取り組んでおり、③現在の科学水準に応じた説明が可能で、④かつ今後の研究の方向を指示し、それによって仮説そのものが点検しうるものでなければならぬ、とされている¹³⁾。

現在の地震学は、地震を「地下深部で突然断層の食い違い破壊 (震源断層) が拡大して地震波を放出する現象」と定義するプレートテクトニクス理論が主流である。しかし、当理論とは無関係のマグマ活動による火山性の地震とか、1940年代にアメリカで問題提起され、その後も世界各地で報告されているダムの湛水 (最近では炭酸ガスや水の地下深部注入) に伴う群発地震などもある。また、4.1節に記した中越地震の3つの奇怪な想定震源断層があり、さらにサンアンドレアス断層は、地震の後に動き出すということであるし、5.2.2項に記した濃尾地震や北丹後地震のゆっくりと動いた断層挙動もある。なお、地震学では、このような動きを、大地震後の長期間にわたる緩慢な地殻変動 (余効変動またはスロー地震) と説明している。

上述の諸現象に対しては、断層を地震の原因と考えるプレート論よりも、断層は地震の結果である (または、断層運動と地震は互いに原因結果の関係で連なるものではなく共通の原因の二つの違った現われであ

る) とする昔からの考え方に理があるようにも思える。地震の門外漢が踏み込む領域ではないが、トンネル地質技術者の一人としては、プレート論であろうとなかろうと何ら困らないのが現実である。実学分野の技術者として、現在の地震屋さんや活断層屋さんにはこのような物足りなさを感じており、トンネル工学分野に適用可能な問題にも取り組まれることを期待したい。

筆者のような老骨にこういう勉強の機会を与えていただいた編集関係者に謝意を表して結びとする。

参考文献

- 1) 大島洋志：それでもトンネルは地震に強い、JREAR なくがき帳、日本鉄道技術協会 2005.05、4p.
- 2) 監修仁杉巖：巨大地震と高速鉄道 第II章 (pp.44-89)、山海堂、2006.11、331p.
- 3) 鉄道省熱海建設事務所：丹那トンネルの話 1933.12、224p.
- 4) 鉄道省熱海建設事務所：丹那隧道工事誌、1936.3、602p.
- 5) 渡邊貫：地質工学 (増補版)、古今書院、1936、720p.
- 6) 吉川恵也：鉄道トンネルの震災事例調査、鉄道技術研究報告、No.1123、1979.9、63p.
- 7) 足立紀尚：トンネル、地震と断層と、トンネルと地下、Vol.43、No.4、2012、pp.7-9.
- 8) 朝倉俊弘：地震とトンネル、トンネルと地下、Vol.43、No.4、2012、pp.15-23.
- 9) 小島芳之・野城一栄：既設鉄道山岳トンネルの地震対策と震災復旧の考え方、トンネルと地下、Vol.43、No.12、2012、pp.53-60.
- 10) 山本寛：地震学のウソ、工学社、2011.6、215p.
- 11) T. Adachi et al. : Necessity of geotechnical data base and of reliable technical committee for subway construction under severe conditions, World Tunnel Congress 2013. Geneva, pp.142-149.
- 12) Shani Wallis : Finding faults-California's water supply, Tunnels & Tunnelling International June, 2002, Vol.34, No.6, pp.18-21.
- 13) V.V.ペロウソフ、構造地質学・3、築地書館 1963.4、339p.



大島 洋志 (おおしま ひろし)

1965年九州大学理学部地質学科卒業。国鉄技術研究所、(財)鉄道総研地質・防災研究室長を経て1993年より国際航業(株)。2013年より現職。首都大学東京客員教授、理学博士、専門分野：地質工学 (トンネル、地下水)

土木構造物における地震断層対策の姿勢と実務

常田 賢一

●大阪大学大学院 教授

1. はじめに

地表地震断層（以下、地震断層と呼ぶ）による土木構造物の被害が顕在化し、注目されたのは、1999年のトルコのコジャエリ地震や台湾の集々地震である。しかし、我が国では1891年濃尾地震を始め、地震断層の存在は意識されてきており、例えば、1995年兵庫県南部地震では、工事中の明石海峡大橋が主塔間の断層のずれにより橋長が約1.1m拡大し、2008年岩手・宮城内陸地震でも地表で断層線が確認されている。

さて、内陸部を震源とする地震の影響には、近い震源から伝わる強い地震動および地表部に出現する断層変位がある。前者はレベル2地震動とされ、性能規定型設計に移行しつつある基準類で取り込まれている。一方、後者については、具体的な地震断層の対応方法は個別検討に委ねられているのが実情である。

しかし、原子力発電所の立地の可否に関わる地震断層が注目されているが、長尺かつ地形・地質条件に関わる土木構造物では、地震断層の存在が無視できない状況も想定されるので、地震断層に対する工学的な姿勢および具体的な対策方法の明確化が必要である。

本文は、地震断層による土木構造物の被害と工学的な留意点、地震断層に対する基本的な取り組みの姿勢、対策の検討方法および対策例を示し、地震断層に対する工学的な立場を理解して頂く一助としたい。なお、本文は、参考文献¹⁾の抜粋であるので、詳細はそちらを参照して頂きたい。

2. 地震断層による土木構造物の被害

地震断層による被害事例は少ないが、近年、地震断層に起因して発生した土木構造物の被害は表1（表中の本書とは文献¹⁾）で例示できる（写真1、写真2など）。同表では、構造形態の違いによって、土木構造物を橋梁、堤防・道路盛土・平坦道路および埋設管・トンネルの3つに分類しているが、国内外を含めて最近30年間の事例である。なお、事例ごとに地震断層に関係した変位量を発生変位量と影響変位量で区別しているが、後述のように構造物の被害に関係する影響変位量を明確にするためである。

3. 地震断層に対する工学的な留意点

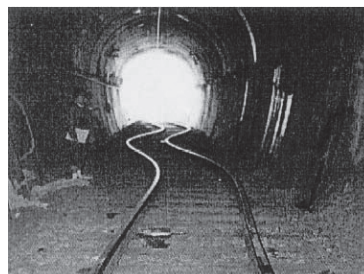


写真1 稲取トンネルの地震断層被害



写真2 稗豊橋の桁の落下および河床の段差出現

地震断層特性および被害事例によれば、土木構造物に対する地震断層の影響を踏まえた対応方法を考える場合の工学的な留意点は、次の通りである。

- i) 断層線は線状あるいは帯状であること：簡易的、便宜的に断層線を線で代表させることが一般的であるが、幅で考える場合もある。
- ii) 変位速度、変位は断層線方向に分布していること：構造物と断層線の位置関係により、想定されている変位（最大値）の調整（低減）が必要である。
- iii) 軟弱地盤では断層変位が低減すること：軟弱地盤の表面では、想定されている変位（最大値）を調整（低減）する必要がある。
- iv) 軟弱地盤では断層線の出現位置がずれること：軟弱地盤の表面における断層線の設定では、想定されている断層線の位置を調整する必要がある。
- v) 地震断層と構造物の相対的な位置関係により、影響度が異なること：現象として現れる変位量（発生変位量と呼ぶ）は、構造物と地震断層の交差角などの条件によって変化し、構造物に影響する変位量になる。この変位量（影響変位量と呼ぶ）が直接的に構造物の被害に関係するので、発生変位量との区別が重要である（図1参照）。
- vi) 土木構造物の形態により、地震断層の影響が異なる

表1 地震断層による被害事例

構造物	地震名	被害構造物	構造特性と被害	地震断層特性		影響変位量
				発生変位量	交差角度	
橋梁	1999年台湾集集地震	稗豊橋	1 3 径間単純桁：径間長約 2.5 m 3 径間が落橋	水平 6.0m 上下 3.0m	42° —	橋軸：水平変位 4.5m 橋軸直角：水平変位 4.0m
	1999年台湾集集地震	烏溪橋（旧橋）	1 7 径間単純桁：径間長約 3.0 m 2 径間が落橋	水平 3.1m 上下 1.8m	40° —	橋軸：水平変位 2.4m 橋軸直角：水平変位 2.0m
	1999年トルココジャエリ地震	Arifiye橋	4 径間単純 P C 斜橋 径間長 2.6 m	水平 4.0m	65°	橋軸：水平変位 1.69m 橋軸直角：水平変位 3.63m
	1995年兵庫県南部地震	明石海峡大橋	工事中 橋長 3,910 m が 1 m 拡大	水平 1.02m*	45°*	橋方向 0.78m 橋軸直角方向 0.82m
堤防・ 道路盛土・平 坦道路	1891年湊尾地震	根尾村水鳥の平坦道路	土砂道に段差発生	上下 6m 水平 2~4m	25°	上下 6m 横断方向 0.8~1.6m 程度*
	1999年台湾集集地震	石岡堰	重力式コンクリートダム：堤高 2.5 m 洪水吐の決壊	上下 10m	60°	上下 約10m
	2011年福島県東部を震源とする地震	林道	約2mの段差が横断	上下 約2m	—	上下約2m
	1990年フィリピンシルソン島地震	リサール郊外の平坦道路	コンクリート舗装道路	水平 5m	—	横断方向 2.5m 程度*
埋設 管・ト ンネル	1930年北伊豆地震	丹那トンネル	横ずれ	水平 約2.7m	—	(水平 約2.7m)
	1978年伊豆大島近海地震	稲取トンネル	軸線の移動・断面の変形・覆工 の抜け落ち等	水平 0.7m 程度	—	(水平 0.7m 程度)
	1995年兵庫県南部地震	塩屋谷川放水路トンネル	右ずれ正断層 覆工コンクリートの右ずれ・イン パートコンクリートの上方ず れ 土被り 80m	水平 1cm 鉛直 5cm	90°	水平10mm、84mm 鉛直65mm
	1998年岩手県内陸北部地震	湯根田第二発電所放水路 トンネル	側壁および天井の軸方向のひび 割れ、側壁・インパートの崩壊	鉛直0.3m 程度	—	—
	1999年台湾集集地震	送水管	鋼製：管径 φ 2 m Z 字型に変形	上下 7m	—	上下 7m 水平 3m (推定)
		ガス導管	φ 1 0 0 mm、φ 2 0 0 mm Z 字型に変形	—	—	上下 0.2m (推定) 水平 1.2m (推定)
		導水路トンネル	高さ4.1m／横径3.8m 右横ずれ・縦方向ずれ 土被り 5m	(水平3m) 鉛直3.5m	—	水平3m (鉛直3.5m)
	1999年トルココジャエリ地震	排水ヒューム管	コンクリート製：管径 φ 1.4 m 管の横ずれ	水平 3.5~4.3 m	90°	軸線直角：水平変位 3.6m

*：本書の推定による

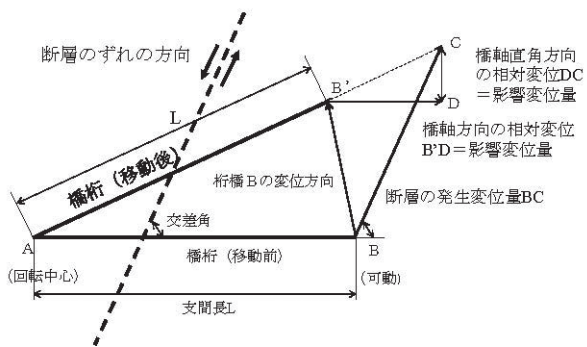


図 1 発生変位量と影響変位量の違い：橋梁の場合

ること：土木構造物には多様な構造形態があり、それらに対する地震断層の影響形態、影響度が異なる。

以上、土木構造物における地震断層の影響を考える際の地震断層については、理学的な発生変位量に留まらず、工学的な視点による影響変位量に読み替えが必要である。

4. 地震断層に対する取り組みの姿勢

4.1 基本姿勢

断層変位による変位は、前述の通り、発生変位量と影響変位量で考えるが、両者の関係は図2の概念図で表せる。同図のように、発生変位量が大きくても影響変位量が小さければ、工学的には問題にはならない場合がある。そして、発生変位量あるいは影響変位量に対する取り組みの姿勢は、「吸収する」、「追従する」および「避ける」の3つに分類できる^{2)~4)}。

これらの姿勢の概念について、橋梁などに用いる免震支承のように、影響変位量が支承の変形の許容範囲にあって、損傷が生じない場合は変位を「吸収する」と考える。ただし、変位後には、支承を元の位置に戻す矯正が必要となる。

次に、影響変位量に従って橋桁が移動しても、けた
かかり長の十分な確保により、支承が橋台などの天端
から逸脱するのを防止し、機能上問題とならない欠損

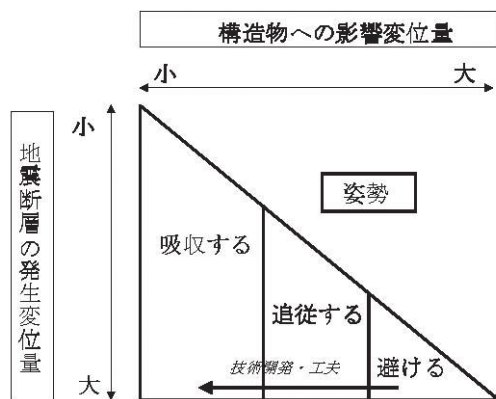


図2 地震断層に対する姿勢

に止める場合は、変位に従う構造物の損傷を許容することになる。この場合、構造物は致命的な破壊に到らないので、変位に「追従する」と考える。ただし、桁の再設置、桁の継ぎ足し、堤防の腹付けといった事後措置が必要となる。

さらに、地震断層を跨ぐ橋桁の落下、地震断層変位による建築物や埋設管の直接的な破壊など、致命的な被害が避けられず、かつ修復が困難で再構築が必要な場合は、断層から離れた場所に路線を迂回させる、あるいは構造物を移すことになるが、これは変位を「避ける」と考える。

ここで、「避ける」、「追従する」および「吸収する」の姿勢の順番は、技術的な対応の困難さに対応する。しかし、計画手法、設計法あるいは要素技術の開発、

向上により、「避ける」から「追従する」へ、あるいは「追従する」から「吸収する」へと制約条件を緩和させることができる。

以上のように、地震断層対策は地震断層変位、特に影響変位量に応じて多様な対応が可能であるので、“地震断層の有無＝対策の可否”の判断は早計である。

4.2 取り組みの流れ

新設構造物の場合、活断層対策の検討フローは図3のように体系化できる。まず、「概略設計」により構造物の基本的な位置、ルートおよび構造を検討する。次に、活断層特性を把握するため、構造物の計画地点において既往調査により、「活断層の有無を把握」する。該当する地震断層がある場合、未明な特性がある場合は、トレンチ調査などの「活断層特性の調査」を実施する。既往調査あるいは新たな調査の結果に基づいて、地震断層の位置、走行、傾斜角度、断層変位量および震源断層の深度、規模など、活断層対策の検討のための「地震断層および震源断層の基本特性を設定」する。

次に、地震断層の基本特性に基づいて、構造物の被害に係わる「設計断層変位量を設定」する。また、震源断層の基本特性に基づいて、当該地点の「設計地震動を設定」する。そして、設計地震動により当該橋梁の「耐震設計」を行うとともに、設計地震動に起因する橋梁の「応答変位量を設定」する。

一方、構造物の重要度、被災の影響度、迂回あるいは

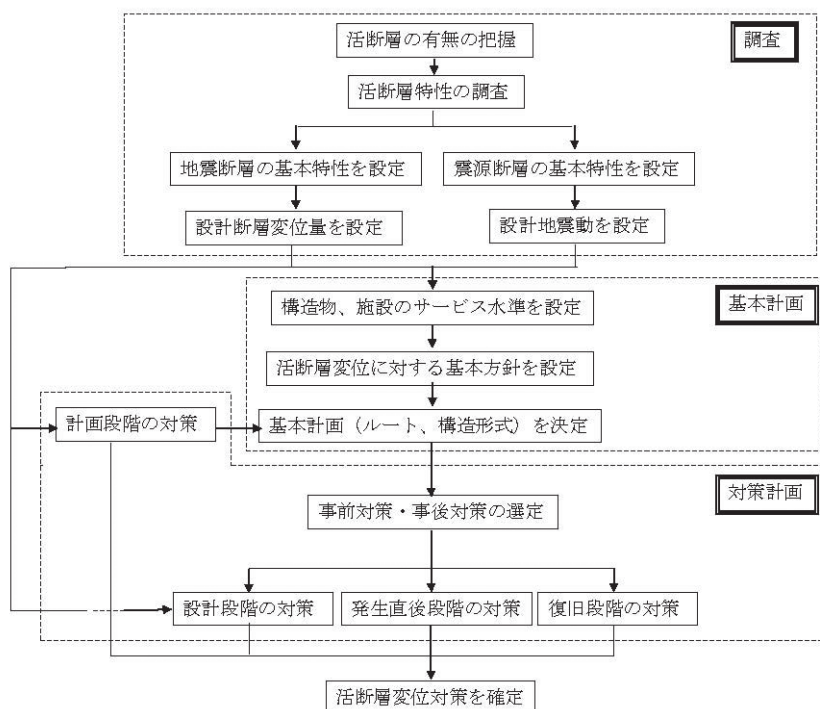


図3 地震断層対策の検討フロー

は補完的対応の有無などを鑑みて、「構造物のサービス水準を設定」する。このサービス水準は、構造物の管理者が明確にする地震断層への対応の基本姿勢であり、これにより地震断層対策の内容が左右される。さらに、被害想定およびサービス水準に基づいて、「活断層に対する取り組みの基本方針を設定」する。そして、当該構造物における活断層対策について、基本方針および「被害想定」に基づいて、事業の計画段階、設計段階、活断層の発生直後段階および復旧段階に対応した「事前対策あるいは事後対策を選定」する。選定した対策は、活断層による変位量の条件に対する構造あるいは経済性などの検証を行い、「対策を確定」する。

なお、事業の段階毎の対策は、事業段階に応じた事前対策あるいは事後対策について、単一あるいは複数の対策の組み合わせを考える。また、選定する対策によっては計画の変更あるいは構造の変更を行う。

以上において、「活断層の有無を把握」、「活断層特性の調査」および「地震断層および震源断層の基本特性を設定」は、理学分野に関わる。

5. 基準類における地震断層の扱い

地震断層対策を考える場合、ハード対策のための基準類の整備のほか、地震断層を避けるための土地利用の規制といったソフト対策もある。現在、我が国などでは、各種の基準類において地震断層に対する取り扱いが規定されているが、以下のように列記できる。ただし、地震断層に関する規定などは、具体的な設計法の提示までは至っていないのが実情であり、今後の調査・研究に委ねられている。なお、詳細は文献¹⁾、さらに各基準類を参照されたい。

- i) アルキスト-プリオロ特別調査地帯法⁵⁾
- ii) 西宮市の条例⁶⁾
- iii) 道路橋示方書 v 耐震設計編⁷⁾
- iv) 建築基礎構造設計指針⁸⁾
- v) 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計⁹⁾
- vi) コンクリート標準示方書¹⁰⁾
- vii) その他

6. 地震断層対策の事例

前述の通り、現時点では基準類も具体的な記述に至っておらず、個別に対応しているのが実情である。従って、地震断層への対応事例は未だ少ないが、国内外の事例は表2で例示できる。

同表の通り、対策は新設構造物および既設構造物を対象として、計画、設計、復旧の各段階で検討されており、計画段階で断層の影響を考慮して路線を見直し

た事例、設計段階で構造的な対応を措置した事例、復旧を主体とした事例、影響が小さく対策は不要とした事例など、各状況に応じた対応がとられている。以下に、各段階の代表事例を示す。

【事例1】路線を変更した事例：計画段階

台湾を南北に縦貫する鉄道の縦貫線の竹南～豊原間に延長7,200mの三義第一トンネル¹¹⁾ほかがある。この縦貫線は列車の速度向上、構造物の老朽化対策のために旧線の線区改良が行われ、新たに複線の新線として1998年10月に竣工した。新線のルートは、詳細な地盤調査の結果、トンネルを横切る三義断層の大変形の発生が予想されたため、図4のように当初の計画線を変更し、断層部を避けて計画された。同トンネルは、1999年集々地震の際に、無筋コンクリートの3箇所の総延長約260mの範囲で、覆工のひび割れや天端コンクリートの落下などの被害、約30cmの線路のずれが発生した。しかし、トンネル全体としての被害は比較的小さく、安全性が確保された。被災部分は、ロックボルト、吹き付けコンクリート、ケミカル注入、セメント注入などにより補修、補強の事後措置がされた。

仮にルートを変更しなかった場合は、甚大な被害が発生した可能性があるが、計画段階でとられた有効な地震断層対策と言える。

【事例2】構造を工夫した事例：設計段階

2003年11月に米国のアラスカ中部でM7.9の地震が発生した。この地震では東西方向に全長650kmのDenali（デナリ）断層が336kmの範囲で変位したが、同断層と交差してアラスカパイプラインが敷設されており、断層変位の影響を受けた¹²⁾。

パイプラインは全長1,287kmのうち、676kmが地上に設置され、その他の区間は地中埋設である。交差部の状況は図5の通りであるが、設計上のデナリ断層は

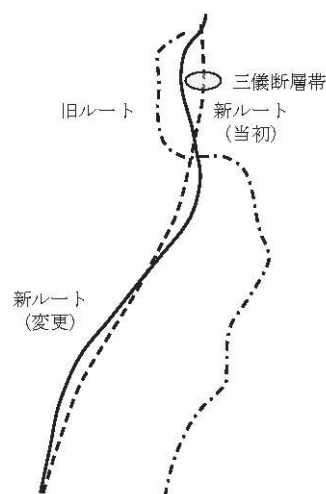


図4 ルートを変更した三義トンネル

幅579mのゾーンとして扱われている。設計で設定されていた断層の発生変位量は、水平方向6.0m、鉛直方向1.5mであるが、影響変位量を見るとパイプラインの軸方向の圧縮変位量で2.9m、軸直交方向の水平変位量で5.4mになる。

これらの想定した断層変位に対する設計として、交差ゾーンでパイプラインを地上化し、パイプが断層変位に追従して地表面に設置されたビーム（33箇所：ビーム長12m、設置間隔18m）上を移動する支持構造が取られた。地震断層変位の被害は、沓が破損してもパ

表2 地震断層対策の事例

構造物分類		場所等	国名	新・既	断層形態＊	想定断層変位量		対応段階	対応策
						水平(m)	鉛直(m)		
橋梁	道路橋	別府市・富士見通鳥居線1号橋（仮称）	日本	新設	正断層	1.09	3	設計段階	単純桁化・分散型ゴム支承・桁かかり長・落橋防止構造・変位制限構造
					逆断層			復旧段階	桁の移設・支承交換・線形修正
		別府市・浜臨跨線橋	日本	新設	正断層	1.09	3	設計段階	
		Coronado橋	米国	新設	（横ずれ断層）	0.5～0.8	～	設計段階	免震支承
		Benicia-Martinez橋	米国	新設	（横ずれ断層）	1.2	～	設計段階	FPB支承
		Corlon ^{インターチェンジ} 高架橋	米国	既設	（横ずれ断層）	不明	～	補強設計段階	橋脚の増設
		Thorndon橋	ニュージーランド [＊]	既設	（横ずれ断層）	5	～	補強設計段階	支持フレーム
	リオン ^{アンティリオン} 橋	ギリシャ	新設	（横ずれ断層／正逆断層）	2	2	設計段階	～	
	鉄道橋	東部丘陵線・リニアモーター高架橋	日本	新設	横ずれ断層	1.8	0	施工段階	落橋防止装置
堤防等	道路盛土	山形ニュータウン・道路盛土	日本	新設	逆断層	0	1.5 （面内）	設計段階 復旧段階	変位後の安定性照査 縦断・平面線形の矯正補修
地下構造物等	鉄道トンネル（山岳）	丹那トンネル（在来線：被災）	日本	復旧	左横ずれ断層	（耐用期間中には再活動しないとの判断）		地震直後段階 復旧段階	運転規制・巡回点検 覆工取り壊し・再覆工・Sカーブ設定による中心線食い違い措置
		新丹那トンネル（新幹線：在来線から50mの隔離）	日本	新設	左横ずれ断層	耐用期間中には再活動しないとの判断		設計段階 地震直後段階	インバートによる断面閉合・裏込め注入 対震列車防護装置（加速度センサー、緊急停車）
		稲取トンネル（被災）	日本	復旧	右横ずれ断層	近い時期に再活動がないと判断		復旧段階	盤下げ新断面・鉄筋補強・鋼繊維コンクリート覆工・断面全面閉合・背面セメント注入
		三義第1トンネル	台湾	新設	～	～	～	計画段階	ルート変更／軽微な損傷
	鉄道トンネル（地下鉄）	仙台市・地下鉄東西線	日本	新設	（撓曲断層）	0.5	0.5	計画段階	断面拡大
		大阪市・中之島新線	日本	新設	逆断層	0	4.0（延長600m）	設計段階	クタイトルコルゲート型セグメント／内空拡大0.1m
	道路トンネル	阪神高速道路公団	日本	新設	逆断層	0	0.9 （基盤位置） （面内）	設計段階	対策不要
	共同溝	横須賀市：シールドトンネル（内径3.05m）	日本	新設	右横ずれ断層	1.5	0	設計段階	伸縮可とう管：ステンレス製蛇腹鋼管と鋼管の組み合わせ／全長18m
	上水道トンネル	神戸市・大容量送水管	日本	新設	逆断層	1.6	0.32	計画段階 設計段階	ルート変更／直交化 伸縮可撓管
		クレアモント・導水トンネル	米国	既設	右横ずれ断層 （主断層幅60ft）	2.25 （7.5ft）	0.15 （0.5ft）	補強計画段階 補強設計段階	バイパストンネル 覆工増し厚／通水管
その他	石油パイプライン	アラスカパイプライン	米国	新設	右横ずれ断層 正断層	6	1.5	計画段階 設計段階	地上化 滑動支笈
		ダム	Clyde Dam（重力ダム）	ニュージーランド [＊]	新設	正断層	0	0.2	設計段階
	駅舎・ホーム	山陽新幹線・新神戸駅	日本	新設	正断層	～	5cm （1mm／年）	設計段階	余裕幅・自由支承構造・ブロック化

*：断層形態の（ ）は著者想定

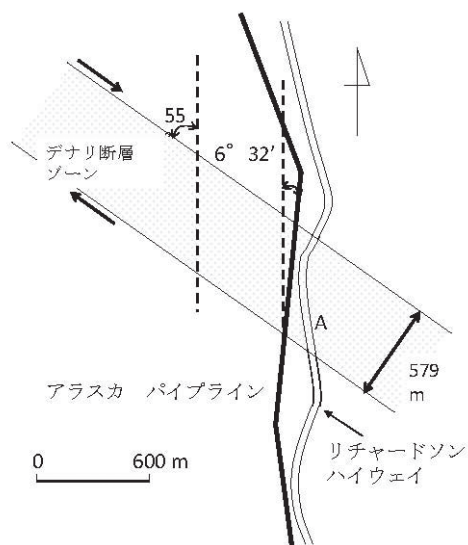


図5 デナリ断層と交差するアラスカパイプライン

イプ自身は重大な損傷には至っていないこと、移動した杓はビーム上に乗っており、致命的な被害は抑制され、断層変位対策の効果は十分に発揮された。

本事例は、建設後約30年が経過した後に地震断層対策の効果を実証されたが、その先見性に驚かされるとともに、今後、管路のような長尺な構造物の地震断層対策を考える参考になる。

【事例3】被災後に構造変更した事例：復旧段階

稲取トンネル¹³⁾は運用中の鉄道トンネルであったが、1978年伊豆大島近海地震の際、トンネルを交差する稲取一大峰山断層の右ずれにより、側壁付近の引っ張り亀裂、天端の圧縮座屈、インバートコンクリートのせり上がりによる被害が発生した(写真1参照)。早期の復旧が求められたため、別線新設や危険を伴う全面縫い返しは行われず、アーチ部をできるだけ手をつけない盤下げ新断面案が採用された。復旧では、旧トンネル以上の耐力保持などの条件を満足すること、トンネルの変形が不規則で改築する覆工厚が一定にできないことから、鉄筋補強のほか、鋼繊維(Steel Fiber)コンクリートが覆工コンクリートとして用いられた。これらの補強は4種類のトンネルの変状レベルに応じて実施された。

本事例は、地震断層による被害を受けた既設トンネルでの事後対策であるが、地震断層による被害後にとられた構造強化の対策である。なお、本復旧が完了したのは被害発生6ヶ月後である。

7. おわりに

以上、地震断層による土木構造物の被害から対策までを網羅して概観したが、必要以上に地震断層を恐れ

ることは無く、地震断層の特性(断層変位量など)が明らかにされれば、ハード対策の可否だけでなく、対応水準の検証が十分に可能である。例えば、現在、原子力発電所について、理学的視点から地震断層の有無だけ、言い換えれば、入口の議論だけで立地の適否が評価されているが、工学的視点によれば、入口からさらに進むことが可能となり、それにより対応の幅が広がり、展開の可能性が出てくる。つまり、理学に止まらず、工学との連携が必須である。

参考文献

- 1) 常田賢一、片岡正次郎：活断層とどう向き合うか、理工図書株式会社、188p、2012。
- 2) 常田賢一：地震防災・耐震技術の新たな視点、土木研究所資料第3773号、pp.61-80、2001。
- 3) 常田賢一：土木構造物における地震断層の工学的対応に関する考察、第11回日本地震工学シンポジウム、pp.947-952、2002。
- 4) 常田賢一：土木構造物における地震断層の工学的対応に関する考察、土木学会論文集、No.752 / I-66、pp.63-77、2004。
- 5) 中田 高：カリフォルニア州の活断層法「アルキスト-プリオロ特別調査地帯法(Alquist- Prioro Special Studies Zones Act)」と地震対策、地学雑誌、99-3、pp.81-90、1990。
- 6) 吹田浩一、黒木一彦：西宮市における活断層域の開発事例と問題点、(財)地域地盤環境研究所創立50周年事業、関西活断層シンポジウムー強災都市を目指してー講演論文集、pp.107-111、2010。
- 7) 日本道路協会：道路橋示方書 v 耐震設計編、pp.281-288、2002。
- 8) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針、p.57、2001。
- 9) 運輸省鉄道局：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計、pp.325-326、1999。
- 10) 土木学会：2002年制定 コンクリート標準示方書、耐震性能照査編、pp.4-5、2002。
- 11) 土木学会地震工学委員会：三義第1トンネル(台湾)、地下構造物の合理的な地震対策研究小委員会報告／シンポジウム発表論文集、pp.118-119、2006。
- 12) 土木学会地震工学委員会：アラスカパイプライン、地下構造物の合理的な地震対策研究小委員会報告／シンポジウム発表論文集、p.124、2006。
- 13) 吉川恵也：地震断層による鉄道トンネルの被害、土と基礎、Vol.30、No.3、pp.27-32、1982。



常田 賢一(ときだ けんいち)

大阪大学大学院 教授、博士(工学)、(独)土木研究所を経て2004年4月から現職、主たる研究課題：盛土の性能評価・強化補強、津波防潮盛土など

上町断層帯地震に対する建築設計用地震動

林 康裕

●京都大学 教授

1. はじめに

1995年1月17日兵庫県南部地震が発生し、未曾有の建築物被害が発生し、6000人を大きく超える人命が失われた。そして、兵庫県南部地震を契機として、日本は地震活動期に入ったと言われ、多くの被害地震が全国各地を襲っている。さらに、2011年3月11日には、東北地方太平洋沖地震が発生し、大津波や原子炉建屋の水素爆発が発生し、想定外の地震災害に備える必要性が広く認識されるようになった。

一方、超高層建物が林立する大阪市域中心部直下には上町断層帯が走り、想定を超えた建築物被害が発生しかねない。関西では、兵庫県南部地震の発生以降、同じく都市直下で発生する内陸地殻内地震である上町断層帯地震に関わる取組が精力的に行われてきた。本報告は、上町断層帯地震に対する設計用入力地震動作成に関わる経緯と現状をまとめたものである。

2. 大阪市H9年想定地震動

図1に示すように、大阪市域に建つ初期の超高層建物の多くには、観測地震動を最大地動加速度PGAで基準化して設計に用いられていた。「高層建築物の動的解析用地震動について(ビルディングレター (1986年6月号))」が示された後は、最大地動速度PGVで基準化されて用いられていたものの、PGVは40cm/sに抑えられていた。しかし、兵庫県南部地震後は、設計用入力地震動のPGVは50cm/sが用いられるようになった。

一方、兵庫県南部地震を踏まえ、「大阪市土木・建築構造物震災対策技術検討会」が組織され、建築物に

ついてはH9年に建築物の耐震性向上の指針¹⁾としてまとめ、サイト波(大阪市H9年想定地震動)を以下のように例示している。まず、ハイブリッド法と表層地盤の1次元等価線形解析により、地表38地点における予測地震動を作成する。そして、大阪市域を東側Hゾーンと西側Lゾーンに分割し(図2参照)、各ゾーンの基準化加速度応答スペクトルを算定する。これを基に、建築物の2次設計用地震荷重を設定する。一方、動的応答解析を行う場合のため、スペクトル特性を反映した地震動波形をH, Lゾーンについて2波ずつ想定地震動を示している。ここで、Hゾーンの想定地震動は、予測地震動を1/2程度に振幅調整している。これは、過大な予測地震動をレベル2地震動として用いた場合、従前どおりの設計クライテリアでは設計が困難となるため、従前どおりの設計用入力地震動レベルと同等に補正したと考えられる。

3. 大阪府市地震被害想定

大阪府は、H9年に地震被害想定を実施し、様々な防災対策に取り組んできた。その後10年近くが経過し、活断層や地盤構造などに関する調査・研究が進められ、地震動評価の基礎情報充実化が図られてきた。それらの新たな知見や成果の蓄積を受け、大阪府は大阪市とともにH17～18年度にかけて、地震被害想定²⁾を実施した。以下に、その概要を述べる。

大阪府・市における地震被害想定においては、種々

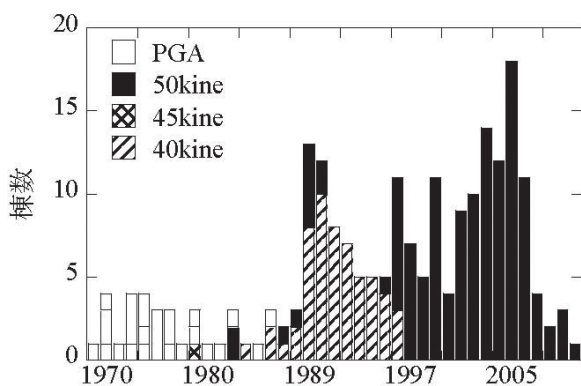


図1 設計用入力地震動レベルの変遷(大阪市域)

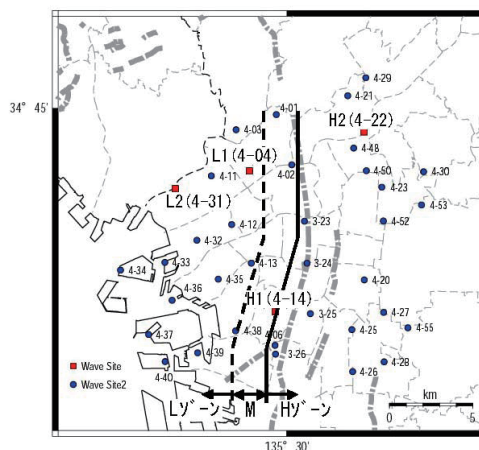


図2 大阪市H9年想定地震動のゾーン区分

の内陸活断層に対して段階的な検討を行いつつ、最終的に①上町断層帯地震(35 ケース)、②生駒断層帯地震(16 ケース)、③有馬高槻断層帯地震(9ケース)、④中央構造線断層帯地震(7ケース)、⑤六甲・淡路断層帯地震(5ケース)、⑥大阪湾断層帯地震(1ケース)の6断層73ケースの被害想定用地震動予測を行っている。上町断層帯地震の最大地動速度分布を図3に示す。予測地震動は500mメッシュで算定されている。

検討ステップは、下記の通りであり、

[ステップ1] 巨視的断層モデルと距離減衰式を用いて地表面震度分布を算出し、震度暴露人口を指標として大阪府域への影響を概略把握し、検討対象とする断層と破壊ケース(地震シナリオ)を選定している。

[ステップ2] 統計的グリーン関数法を用いてせん断波速度500m/s 相当以上の工学的基盤面における地震動波形を計算し、周波数依存を考慮した等価線形地盤応答解析により地表面地震動を算定し、府域への影響把握を行っている。

[ステップ3] ステップ2のうち、府域に影響の大きい地震について、ハイブリッド法を用いて地震動予測を行っている。

4. H20年標準地震動

大阪府・大阪市の地震動予測結果を踏まえ、H20年3月に、土木構造物ならびにため池等の耐震検討に使用することを目的とした設計用入力地震動(H20年標準地震動³⁾)が設定され、大阪市域の土木構造物の耐震検討に採用されている。

標準地震動の設定にあたり、まず、大阪府域のゾーン区分を行っている。その際、H8年度大阪府土木部が行っていたゾーン分割を基に、ゾーン境界の見直しやゾーンの再分割を行い、大阪府域を計32ゾーン(大阪市域は6ゾーン)に分割されている。次に、各ゾーンの標準地震動は、ステップ2の全73 ケースの地震シ

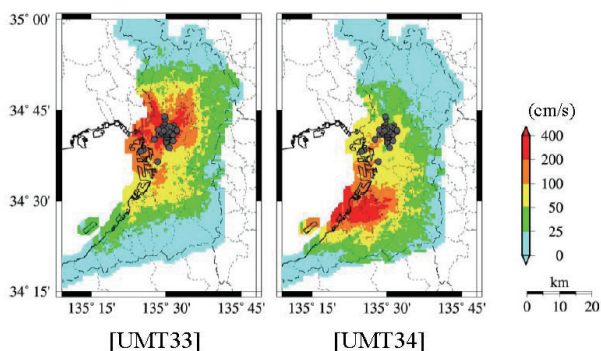


図3 大阪府市地震被害想定 of 最大地動速度分布²⁾(ステップ3)と超高層S造建物の立地地点

ナリオから最も影響の大きい地震シナリオを選び出した後、当該地震シナリオについて、ゾーン内全点の(平均+1 σ) 応答スペクトルを求め、これに近い地震動波形を選択したものである。ただし、a) 統計的グリーン関数法に基づくため、周期2秒までを対象としたものである、b) 建築構造物の検討に用いることの良否は判断できない、c) 2秒以上の長周期領域で応答スペクトルが大きくなる場合があるため、大阪市H9年想定地震動では十分でない、とされた。

5. 設計者主導の取組(「大震研」)

実務設計で用いられている「大阪市H9年想定地震動」は、見直しの時期にきていることが強く認識され、H21年11月、JSCA 関西((社)日本建築構造技術者協会関西支部)が事務局となり、「大阪府域内陸直下型地震に対する建築設計用地震動および設計法に関する研究会」(以下、「大震研」)を立ち上げ、5年間で設計用入力地震動の設定を行った。その成果は、報告書としてまとめられ、H27年1月に発行予定である。

研究会の目的は下記の通りである。

- 1) 上町断層帯等の大阪府域の内陸直下型地震による設計用地震動を構造設計者に提供し、最新の技術や研究成果に基づく構造設計法の基本的考え方を提示する。
- 2) 建築主をはじめとする一般建築利用者に対して、これら地震動に対する建物の安全性について理解を助けるための資料を提供する。

当該地域において建築構造設計および建築の発注等、関連する業務を行う団体(正会員、最終的に約60の企業・機関)で構成され、行政機関も協力会員として研究会に参画した。研究会に設置された委員会は、WG-1 地震動作成、WG-2 解析、WG-3 RC系構造、WG-4 S

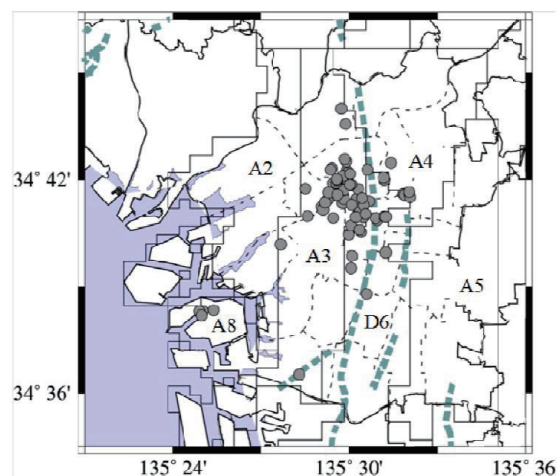


図4 上町断層帯の断層線、大阪府域のゾーン区分と超高層S造建物の立地地点

系構造、WG-5 免震構造、と5つで構成されている。

6. 大震研の設計用入力地震動

大震研における設計用入力地震動の概要を示す。

設計用入力地震動は、H20年に大阪府市・構造物耐震対策検討委員会が提示したゾーン別に地表面で定義する。その際、各ゾーン毎に最も影響の大きな地震シナリオに対応する想定地震（断層帯）を選ぶ。たとえば、大阪市域は6ゾーンに分割されており(図4参照)、すべて上町断層帯地震となっている。そして、想定地震に対するシナリオ地震（上町断層帯地震の場合には35ケース）について、地表面予測地震動の擬似速度応答スペクトル ρS_v の形状を俯瞰し、ピークが明瞭な①パルスタイプ地震動と、平坦なスペクトル形状を有する②フラットタイプ地震動、の2タイプに大別して、「水平方向設計用入力地震動」を作成している。作成する地震動は、後述するような3段階の各地震動レベルに対し、各方向3波ずつ提示されている。なお、フラットタイプ地震動は、 ρS_v スペクトルがフラットなターゲットスペクトルと予測波の位相特性を用いて作成した模擬地震動であり、パルスタイプ地震動は設定した ρS_v のピーク値を有する予測波としている。

また、設計者は、安全性・機能性・経済性を勘案しながら建築主等と協議し、3段階の設計用地震動レベルと2段階の設計クライテリアを、どのように組み合わせて設計するかを決定する(図5参照)。3段階の設計用地震動レベルは下記のように設定している。

<レベル3A> 想定地震を考慮する際の基準となるレベルで、シナリオ地震の平均的なレベルに相当する。
<レベル3B> 基準のレベルより高い安全性を求めて設定するレベルで、地震動のより大きなばらつき範囲をカバーするレベルで、シナリオ地震の70%程度を包絡する地震動レベル。

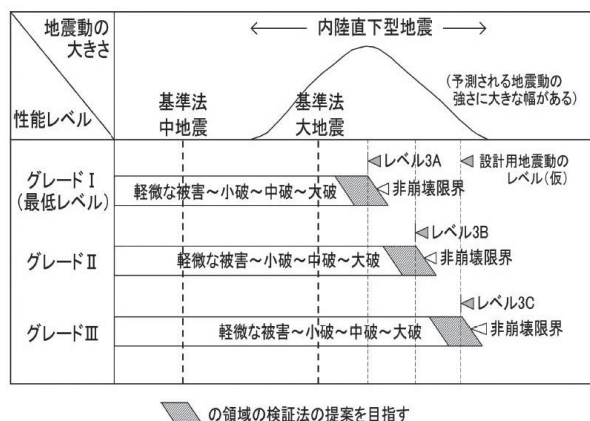


図5 地震動レベルに応じた性能設計(大震研)

<レベル3C> 基準のレベルに比べ、特段に高い安全性を求めて設定するレベルで、地震動のさらに大きなばらつき範囲をカバーするレベルで、シナリオ地震の85%を包絡する地震動レベル。

また、2段階の設計クライテリアを以下に示す。

[限界状態Ⅰ] 下記の限界状態Ⅱに対してある程度の余裕があり、非倒壊の保証を目標とする限界状態として設定する。本震でこの状態に留まっていればある程度の余震でも耐えることができ、一定期間の使用が可能な状態(応急対策が必要な場合もある)。

[限界状態Ⅱ] 最新の研究成果を踏まえて設定する建築物が倒壊しない限界の状態。

一方、水平方向設計用入力地震動と組み合わせて用いる上下方向設計用入力地震動は、水平方向設計用入力地震動がフラットタイプの場合には同じくフラットタイプの模擬地震動を、パルスタイプの場合には水平方向と対となる予測地震動を設定している。

さらに、水平方向設計用入力地震動に加え、初期設計段階で応答特性評価が容易な「検討用地震動」として、パルス性地震動を特性化した正弦波パルスを提供している。正弦波パルスの速度振幅 V_p は、レベル3Aで100cm/s、レベル3Bで125cm/s、レベル3Cで150cm/sとし、パルス周期 $T_p=1, 2, 3$ sをゾーン共通波として用いることとしている。

図6には代表的な予測地震動の速度波形を、図7には大阪府市域に建つ超高層S造建物立地地点における予測地震動の変位応答スペクトルを示している。大阪府地震被害予測波(ステップ3)については、PGVが最も大きかった速度波形を示している。大震研波について

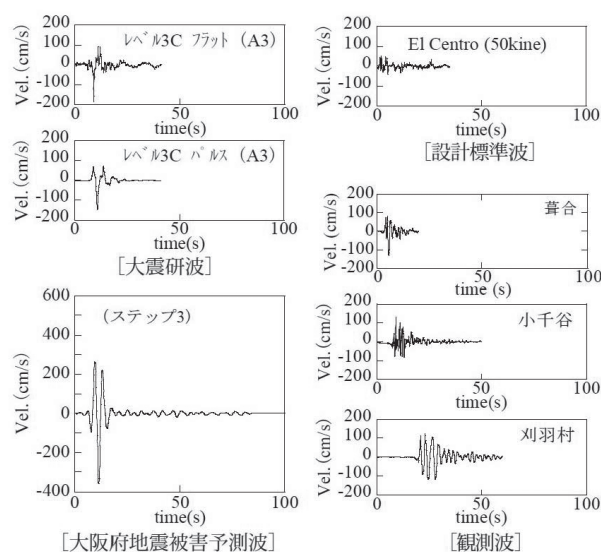
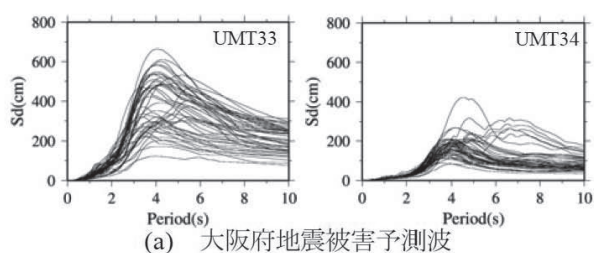


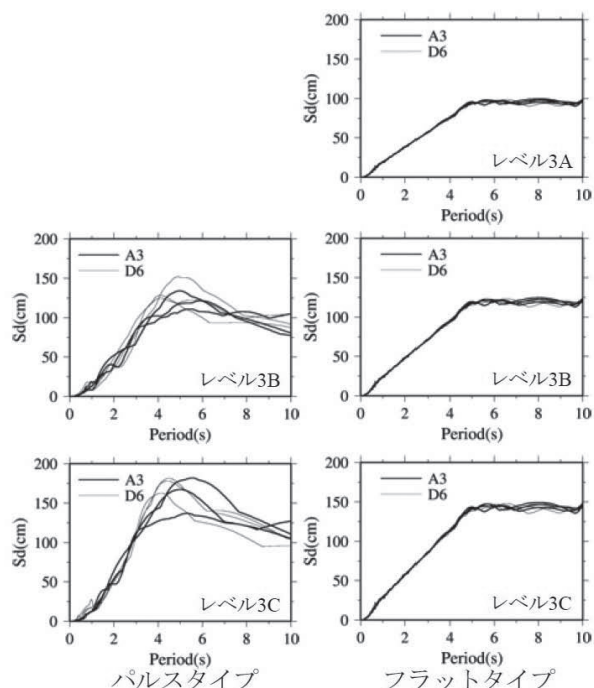
図6 設計用入力地震動や観測地震動・予測地震動の速度波形

はA3ゾーンの3Cレベルのうちの1波を示している。また、設計標準3波のうちのEl Centro波(NS成分)、1995年兵庫県南部地震のFUK(茸合)、2004年新潟県中越地震のNIG019(小千谷、EW成分)、2007年新潟県中越沖地震のKRH(刈羽村、NS成分)における観測記録の速度波形も、参考のために示している。

図6より、大阪府地震被害予測波は、大震研波や近年の観測記録と比べて、かなり大きな予測地震動であることが分かる。しかし、図7に示すように、建物立地地点や地震のケースによって、予測地震動のレベルには大きなばらつきを有している。その一方で、大震研波の最大地動速度はレベル3Cであっても既往の観測波と大差ない。また、殆どの超高層S造建物はA3ゾーンとD6ゾーンに立地しており、両ゾーンの変位応答スペクトルを比較すると、1秒以上の周期帯域では明瞭な差は確認できない。すなわち、超高層S造建物にとって、立地地点による大震研の設計用入力地震動の差は大きくない。



(a) 大阪府地震被害予測波



(b) [大震研波]

図7 変位応答スペクトル(予測地震動と大震研波)

7. おわりに

大震研の活動の意義を私見を交えてまとめると、以下のように要約できる。

- 1) 兵庫県南部地震以降に蓄積されてきた地震学的知見を反映した大阪府市の地震被害想定結果(予測地震動)と整合をとり、積極活用している。ばらつきの大きな予測地震動を基に、建築基準法で規定しているレベルを大きく上回る設計用入力地震動を、構造設計者自らが設定し、実務設計で活用可能とした。
- 2) 設計用入力地震動、各種構造に応じた設計クライテリア、解析法を一体として捉え、設計者が建築主等と協議のうえ選択可能な性能検証法を構築している。検証法の構築過程において、既存建物の影響解析や必要な技術開発を通じ、多くの設計者と研究者の間で情報共有や知識の蓄積がなされ、結果として地域の安全性向上に大きく貢献している。

参考文献

- 1) 大阪市：大阪市土木・建築構造物震災対策技術検討会建築物の耐震性向上の指針 解説編, H9.3.
- 2) 大阪府：大阪府自然災害総合防災対策検討(地震被害想定) 報告書, H19.3.
- 3) 大阪市・(財)地域地盤環境研究所：構造物耐震対策検討業務報告書-2 報告書, H20.3.

謝辞

本原稿は、「大震研」の活動成果の概要を私見を交えて紹介させていただいたものであり、研究会会員をはじめとする関係各位に感謝の意を表します。



林 康裕 (はやし やすひろ)

1982年京都大学卒、同大学院修士課程修了、清水建設(株)、2000年京都大学防災研究所・助教授、現在、同大学工学研究科・教授、専門は建築物の耐震構造、地域と生活空間の地震防災。

石巻市の沿岸被災地の小学校における復興教育

佐藤 健

●東北大学災害科学国際研究所 教授

1. はじめに

東日本大震災では、津波により多くの学校施設が被災だけでなく、教職員や子どもたちの尊い命も数多く奪われた。震災後の学校再開も沿岸部の学校ほど大きく混乱した。仙台市内の沿岸部を除く学校では、混乱の中でも例年とあまり変わらない4月11日に平成23年度のスタートを切ることができたが、5月10日に学校再開となった南三陸町立戸倉小学校のように、学校再開が大幅に遅れた事例もあった。

今もなお、他校の校舎への間借りや仮設校舎での学校運営を余儀なくされている学校が少なくなく、校庭も仮設住宅に占有されている状況からも、子どもたちの学習環境はなかなか改善しない。通学についても、多くの子どもたちが、仮設住宅やみなし仮設からスクールバスや保護者の車で送迎による通学が沿岸部の学校ではいまだ続いている。

さらに、復興まちづくりが遅れるほど、子どものいる世帯の沿岸被災地からの流出が増える。たとえ、これから防潮堤や土地のかさ上げが整備されたとしても、高齢化率が際立った年齢別人口構成が予測される地域の場合は、その持続可能性が懸念される。

このような状況の中、全国的には学校での防災教育の充実と強化が推進されている一方、甚大な被害を受けた被災地の学校がどのような防災教育を展開するのか、世界が注目している。ここでは、筆者らが平成24年度から関わっている石巻市立鹿妻小学校での復興教育の実践事例を紹介する。

2. 鹿妻小学校の概要と地域特性

石巻市立鹿妻小学校は、昭和61年4月1日に渡波小学校と湊第二小学校から分離して開校した学校である。北部には自然環境に恵まれた牧山丘陵を背負い、西側には北上川、南側には石巻湾、東部には田園地帯が広がっており、学校としての立地条件から見て静かな自然に恵まれた環境となっている(図1)。

学校区の南部と西部は石巻漁港に隣接する新興住宅地であったが、特に沿岸に近いエリアは、石巻湾から



図1 鹿妻小学校の地理的条件
(破線囲み部分が学校区を示す)

の直線距離で500～1,000メートル程度で標高も低いことから、津波により2メートル前後の浸水深となり甚大な被害が発生した。鹿妻小学校の校舎への津波浸水は、1階床上10cm程度であり、鹿妻小学校への避難者数はピーク時に約2,000人であった。

また、震災前(平成22年5月1日現在)の鹿妻小学校の学級編成と児童在籍者数は、特別支援2学級を含み、全15学級で432名であった。復興教育プログラムにはじめて取り組んだ平成24年度(平成25年1月現在)では、特別支援2学級を含み、全14学級で356名であったことから、約2割の子どもたちが転出などを余儀なくされたことになる。相当数の児童がスクールバスで仮設住宅などから通学している状況が続いているものの、他校に間借りをせずに平成23年4月21日に自校での学校再開を果たした。

3. 復興教育プログラムの概要

3.1 実践方法

石巻市教育委員会の協力のもと、筆者らが鹿妻小学校に対して復興教育プログラムの企画提案を行い、結果として第4学年の学年テーマ「復興マップづくり」として平成24年度から実践されることになった。毎年の4学年2クラスの全児童が学習者となり、平成26年度で3年目を迎えた。

初年度は総合的な学習の時間として20時間程度を活

用したが、2年目からは本プログラムを総合的な学習の時間の主テーマに位置付け、50時間程度に拡充された。

3.2 実践目的

石巻市立鹿妻小学校での復興教育の目的として、次の2項目を掲げた。

- (1) 地震と津波から立ち直りつつある鹿妻のいまのようすをまち歩きにより確認し、子どもたちが被災の経験と向き合い、復興プロセスに主体的に関わるきっかけをつくること。
- (2) 地震と津波から各経過時点での鹿妻の復興の記録を残し、これからも続く鹿妻の復興活動や、広く日本や世界の人々の今後の防災活動に役立たせること。

3.3 実践体制

実践体制は、石巻市教育委員会と鹿妻小学校の全面的な理解と協力のもと、2名のクラス担任と筆者らが実践主体となり、初年度は国際NGOのセーブ・ザ・チルドレン・ジャパンの支援を受けた。なお、後述する実践内容については、2名のクラス担任との定期的な協議を経て、子どもたちのこころのケアにも配慮しながら段階的に慎重なステップを踏むこととなった。

3.4 復興教育プログラムと復興情報の分類

復興教育プログラムの大まかな流れは、オリエンテーション、被災地である学校区内のまち歩き、まち歩きの振り返りを含む情報整理作業、復興マップづくり、成果発表を基本構成としている。本プログラムの一連の活動のようすを写真1に示す。



(a) まち歩き



(b) 情報整理作業



(c) 復興マップづくり



(d) 成果発表

写真1 復興教育プログラムの実践風景

このプログラムの基本構成は、日本災害救援ボランティアネットワークが開発したプログラム¹⁾をベースに、筆者らがアレンジと実践を重ねてきたものに基づいている。

まち歩きや復興マップづくりの活動はグループ活動の形態をとった。5名前後で1グループを編成し、全12グループで学校区内の担当エリアを分担した。

また、まち歩きの際の復興情報を整理するにあたり、調査項目をあらかじめ表1に示すような(ア)～(カ)に分類した。

表1 復興情報の分類

(ア)	震災の前にはなかったもので震災の後に新しくできたもの【青】
(イ)	震災の前からあったもので被害を受けたがこれまでに直されたもの【緑】
(ウ)	いま建設中、修理中のもの【黄】
(エ)	復興準備中のところ（がれきがなくなった更地は復興のスタート）【オレンジ】
(オ)	危険や不安に思う場所やもの【赤】
(カ)	その他、特に気付いた場所やもの（楽しい、きれい、自慢できる場所やもの）【金】

※表中の【 】内の色は、復興マップに貼り付けるシールの色を示す。

3.5 復興過程のモニタリング

2年目からは、子どもたちのまち歩きの中に、固定観測（モニタリング）ポイントを幾つか設定した。一例を写真2、写真3に示す。それぞれ左が平成24年9月時点、右が平成25年6月時点の写真であり、復興の移



(a) 平成24年9月



(b) 平成25年6月

写真2 再建された個人住宅



(a) 平成24年9月



(b) 平成25年6月

写真3 さら地

表2 復興情報の構成の変遷

記号	平成24年度 (N=12)	平成25年度 (N=13)	平成25年度 (N=8)
(ア)	8%	23%	38%
(イ)	17%	15%	
(ウ)	34%	8%	12%
(エ)	8%	15%	38%
(オ)	33%	8%	0%
(カ)	0%	31%	12%
計	100%	100%	100%

※エリア11担当のグループによる結果

り変わりやそのスピードを子どもたち自身が実感することができる。

学校区の中で比較的沿岸部に近いエリアを担当したグループによる復興情報の構成の変遷を表2に示す。

表2より、時間経過とともに、全調査ポイント数に占める「新しくできたもの(ア)」や「修理されたもの(イ)」の情報が増加し、「危険や不安に思う場所やもの(オ)」の情報が減少しており、地域の復興の状況と整合するような調べ学習が、子どもたちによって主体的に実現できたことを表している。また、例えば、「きれいな植物発見」といったような「楽しい、きれい、自慢できる場所やもの」の情報が初年度以外に現れていることから地域の復興感を感じ取ることができる。

3.6 学校と地域との連携

子どもたちのまち歩きにおいて、地域の方々に子どもたちからのインタビューにこたえてもらう形で協力を得ている。インタビュー先は事業を再開した学校区にある水産加工場や地元の商店などである。インタビューの質問には、震災時のようすや営業再開の時期などに加えて、「鹿妻をよりよくするために、私たちにしてほしいことはありますか」が含まれている。子どもたちに対する具体的な期待としては、「大人になっても鹿妻に住んでほしい」、「大人になったら水産関係の仕事についてほしい」、「10年後の石巻を良くするために大人もがんばるから、子どもたちは学校でいっしょうけんめい勉強してほしい」などといった地域の

大人からの期待を子どもたちが直接受け止めている。

また、インタビュー協力者や保護者を招待した子どもたちの成果発表会を毎年開催している。その参加者からの声として、「子どもたちのこの経験が無駄にならないように大人たちがもっと復興に前向きに真剣に取り組むべきと改めて思った」などの感想を得ていることから、地域関係者からも一定の評価を得ていると考える。

4. おわりに

平成24年度からスタートした鹿妻小学校の復興教育プログラムの実践事例を紹介した。ただし、被災地の復興の状況は場所によって大きく異なることから、どの場所でも鹿妻小学校のような復興教育の実践が可能な状況ではない。また、このような復興教育プログラムの学習効果の評価や、制作された復興マップを活用した豊かな復興教育や防災教育の実践に残された課題は少なくない。

個人の住宅再建が進みつつあっても、地域コミュニティの再構築には一定の時間が必要となる。災害に対して安全で持続可能な地域づくりのために、子どもたちの郷土愛をいかに醸成していくか、自然の「恵み」と「災害」の二面性を正しく理解する防災教育・復興教育を被災地において、いかに実践、蓄積、高度化していくかが問われている。

参考文献

- 1) NPO法人日本災害救援ボランティアネットワーク：わがまち再発見ワークショップ（防災編），第8回震災対策技術展資料，2004.



佐藤 健(さとう たけし)

1989年東北大学大学院工学研究科建築学専攻修了。(株)フジタ、宮城工業高等専門学校を経て、1996年より東北大学工学部災害制御研究センター講師。2012年より現職。博士(工学)
専門：地震工学・学校防災・地域防災

2014年チリ北部地震におけるイキケ市の津波避難

村上ひとみ / 奥村与志弘

●山口大学・准教授 ●京都大学・助教

1. はじめに

地球規模課題対応国際科学技術協力 (SATREPS) のプロジェクトとして、「津波に強い地域づくり技術の向上に関する研究 (相手国：チリ)」(2011年度～2015年度、代表：富田孝史・(独) 港湾空港技術研究所) が進行中である。筆者のうち村上はその中で、WG4 (防災教育・リーダー育成・避難促進、WGリーダー：三浦房紀・山口大学教授) に、奥村はWG2 (津波リスク評価、WGリーダー：高橋智幸・関西大学教授) に参加している。筆者らはチリ中部の2010年マウレ地震 (M8.8) で被災したタルカワノ市・トメ市にて避難アンケート調査を実施し、津波警報が出なかったにも関わらず、住民は迅速に避難して人的被害が少なかったこと、平坦で避難距離が長い郊外住宅地で車避難率が高かったことがわかってきた¹⁾。

2014年4月にはチリ北部イキケ沖でM8.2の大地震が発生し、津波警報がチリ沿岸全域、中南米、日本でも発令された。筆者らは同年4月末に現地調査を実施したので、その概要を紹介する。

2. チリ国イキケ市の地理環境と津波リスク

ペルーやボリビア国境に近いタラパカ州・イキケ市は、地震津波空白域にあることから、SATREPSチリプロジェクトでパイロットエリアに選ばれている。チリ北部では1877年に沖合プレート境界でM8.8の巨大地震と大津波の歴史記録がある。

イキケ市の人口は180,601人 (2012年センサス) で成長傾向にある。内陸鉱山からの鉱物資源の輸出や自動車等の輸入など、港湾が重要産業である。また、砂漠気候によりビーチリゾートとして観光客が多く、ホテルや高層マンションが増えている。ZOFRI (ソフリ) 免税特区を設け、物流やショッピングモールもにぎわっている。

イキケ市の市民津波防災マップを図1に示す。標高30m以下を津波危険地帯に指定し、標高30m以上を津波安全地帯に指定し、主な避難経路となる道路を明記している。市内を歩くと、津波危険地帯、避難経路、津波安全地帯の掲示が各所にみられる (写真1、2)。標高30mは2011年東日本大震災の大津波をうけて、チリ政府危機管理庁 (ONEMI) が、国土の海岸全域に指定



図1 イキケ市の津波防災マップ (2013年発行) <http://www.municipioiquique.cl/>

する基準となっている。なお、2013年8月にはONEMIとイキケ市主催で、イキケ市内で約76,000人（人口の42%）が参加する大規模な津波避難訓練が実施された。



写真1 津波避難路の街頭表示



写真2 津波危険ゾーン

3. 2014年イキケ沖地震 (M8.2) と津波避難

3.1 地震と津波

2014年3月16日（日）、現地時間の18時16分にM6.7の地震が発生し、津波注意報が発令された。多くの住民は警報を待たず、津波を恐れて避難したことが、ニュースやウェブ情報で発信されたことから、SATREPSのWG4では筆者らが4月にヒアリング調査を計画していた。

そこへ、現地時間で2014年4月1日（火）20時46分に、イキケ沖でM8.2の大地震が発生し、津波警報がチリ沿岸からペルー、コロンビア等に発令された。日本でも津波警報が発表され、厳重警戒態勢がしかれた。太平洋津波警報センターの報告によれば、イキケ港で2.11m（21時05分、地震から19分後）である。Tomita et al. (2014)の現地調査²⁾により、イキケの津波高は2.84m

～3.15m、浸水深としては0.40m～0.59mが確認されている。浸水エリアは港湾付近とバスターミナル付近に限定され、建物の浸水被害は少数であった。

強震記録（チリ大学観測網）によれば、イキケ病院で最大加速度0.32g（水平）が報告されている。港湾の被害、道路被害、建物外構や内装被害は各所でみられ、高台内陸のAlto Hospicio市では多くの家屋被害も多数発生した。火災3件がレストランから発生した。地震による死者は6名で、建物倒壊等によるものであり、津波による犠牲者はいなかった。

3.2 現地調査

2014年4月23日～25日、筆者らがイキケ市にて津波避難のヒアリング調査を実施した。対象は市役所危機管理担当、危機管理庁（ONEMI）タラパカ州事務所、3つのコミュニティ、大型ショッピングモールと非課税特区ZOFRI（ソフリ）運営会社である。調査結果は文献³⁾に報告している。

ONEMIタラパカ州事務所：タラパカ州には32本の防災無線の屋外拡声器があり、うち、17本がイキケ市内に設置されている。体感によるMM震度によりONEMI事務局長が判断して、首都サンチャゴの本部に連絡しながら、津波注意報のサイレンを鳴らした。地震観測に基づく正式な津波警報は海軍機関のSHOAから届き、地震の14分後くらいに津波警報のサイレンと避難指示のメッセージを鳴らした。

イキケ市災害対策本部：市役所危機管理担当官（女性）は津波安全地帯の自宅にいて、地震後2分ほどでサイレンを聞いた。すぐに避難者が高台に向かってきた。同僚の車で渋滞を避けながら、安全地帯のスタジアムに常設されている対策本部用コンテナに向かい、21時30分頃スタジアムに到着し、発電機で灯りを付け、無線で市職員に本部開設を通知した。市営ラジオ・テレビ局でも災害対応の市民向け放送を開始した。避難者や負傷者も来た。危機管理担当（男性）は地震発生時海岸近くに車で来ていて、停電、数秒後、人々は避難開始した。20：50～21：00頃、津波予報のサイレンが鳴った。車で安全地帯の対策本部へ向かった。

コミュニティ：市内北部Zone 1の、免税特区ZOFRIに近い低所得地区で住民約10名から地震当時の避難についてヒアリングを行った（写真3）。揺れが強く立っていられないほどだったので、多くの住民は津波が来ると思い、直ちに避難を開始した。一方、家を盗難から守るため逃げない人もいた。近所に体の不自由な高齢者もいたが、自分も家族がいて、手助けできなかった。自分たちはルールに従い徒歩で避難したが、自動車避難も多く、道路は渋滞してとても危険だった。幼



写真3 コミュニティでのヒアリング



写真4 免税特区ZOFRIモール

稚園の先生によれば、当日は夜間で子供が居なかったが、昼間なら、子供をカートに乗せての避難が危険とのことである。

免税特区ZOFRI社：特区は標高10m以下の海岸沿い低地に位置し、面積157haに産業地区、卸地区、小売りモール(写真4)が広がり、平日約3万人の従業員・お客が滞在する。本震の際には約9000人が滞在中であり、内、5000人がショッピングモールにいた。天井や照明の被害、什器転倒など被害の中、卸地区では天井や外壁落下等の被害があったものの、非常照明が点灯し、約15分で高台に避難した。ヒアリングの際、避難斜路の拡幅工事中であった。

4. おわりに

イキケ住民の多くが、立ってられない地震の際は津波が来るのですので避難するという教えを守り、避難を開始した。避難訓練への参加率が非常に高いなど、日本より優れた面がある。海岸の景観や環境を大切にし、高い堤防を築かない防災計画や土地利用も迅速な

避難に影響していると思われる。しかし、コミュニティでのヒアリングから、盗難防止のため家を守り逃がない人、高齢や障害により避難できない人が確実にいることがわかった。免税特区ZOFRIからのピーク時避難は大きな課題である。イキケのマイカー率は高く、車避難による渋滞や歩行者への危険も検討する必要がある。プロジェクトでは現地コンサルタントへの委託により、2014年8月～10月、津波危険地域の住民及びZOFRI従業員へのアンケート調査を実施した。アンケート調査票は筆者らが東北やチリ・マウレ地震の避難調査経験を踏まえて作成した。調査の目的は、避難できない人・避難しない人の実態、車避難の割合と選択要因、渋滞の実態を知ること、避難開始の遅れや避難所要時間の要因を知ることなどである。その速報を文献4)に報告している。東北との比較など、さらに分析を進め、今後の津波対策に役立てたい。

謝辞：本調査にあたり、JICAチリ支所、調整員・松井均氏、通訳鈴木ひろこ氏、佐瀬浩市氏(チリ国公共事業省港湾局)、イキケ市役所、ONEMI事務所、ZOFRI社等に協力頂きました。ここに謝意を表します。

参考文献：

- 1) Murakami, H., Ramos, L.: Tsunami evacuation questionnaire survey for cities of Talcahuano and Dichato in the 2010 Maule earthquake in Chile, Proc. 14th Japan Earthquake Engineering Symposium, 2014.
- 2) Tomita, T., Kumagai, K., et al.: Post field survey on the April 2014 Earthquake and Tsunami in Northern Chile, Proc. 14th Japan Earthquake Engineering Symposium, 2014.
- 3) 村上ひとみ・奥村与志弘：2014年チリ・イキケ地震の津波避難に関する研究—その1 行政・コミュニティ・商業地区のヒアリング調査—、日本建築学会中国支部研究報告集、No. 38、2015.
- 4) 村上ひとみ・長瀬裕也・他：2014年チリ・イキケ地震の津波避難に関する研究—その2 住民アンケート結果にみる移動手段と所要時間—、日本建築学会中国支部研究報告集、No. 38、2015.

第14回日本地震工学シンポジウム開催報告

山崎 文雄／能島 暢呂／堀 宗朗／境 有紀／塚本 良道
 ●千葉大学 ●岐阜大学 ●東京大学 ●筑波大学 ●東京理科大学

1. シンポジウムの趣旨

日本地震工学シンポジウム(JEES)は、4年に一度開催される我が国の地震工学分野の最大の研究集会です。これまでオリンピック開催年には、世界地震工学会議(WCEE)が開催され、直近では2012年9月にポルトガル・リスボンで15WCEEが開催されました。WCEEの中間年である2014年は地震工学の地域会議が多く開催された年で、7月にはアラスカで米国地震工学会議(10NCEE)が、8月にはトルコ・イスタンブールでヨーロッパ地震工学・地震学会議(2ECEES)が開催されました。このタイミングで、アジア地域を横断した地震工学会議の開催も模索しましたが、多様なこの地域を連帯する会議を開くには準備が足らず、今回は従来型の国内シンポジウムとして開催しました。

14JEESは、(公社)日本地震工学会を幹事学会として、(公社)地盤工学会、(公社)土木学会、(一社)日本機械学会、(一社)日本建築学会、(公社)日本地震学会、(一社)地域安全学会、日本活断層学会、日本災害復興学会、日本自然災害学会の計10学会の共同主催で行いました。一般論文セッションのほか、特定のテーマに関して集中的に討議するオーガナイズドセッション(OS)、海外からの招待講演を中心とした3つのテーマに関する特別セッション、さらに英語論文のみを集めたOS国際セッションも設けました。

シンポジウムの発表論文は前回に合わせて非査読としましたが、本シンポジウム終了後に、優れた論文を査読付きで集めた日本地震工学会論文集の特集号を、また英文論文に関してはJournal of Earthquake and Tsunamiの特集号を編纂します。これらへの積極的な投稿も期待しています。

間もなく、2011年東日本大震災から4年、1995年阪神・淡路大震災から20年です。近い将来には、西日本一帯を南海トラフ巨大地震が襲うことが確実視されていますし、その前の内陸地震の頻発も危惧されています。さらに、首都直下地震にも備える必要があります。今後の地震・津波による被害をできるだけ小さく抑えるために、本シンポジウムを情報交換の場として位置づけるとともに、国際交流の推進や若手研究者の育成にも役立つ場にしたいと考えました。

2. 概 要

第14回日本地震工学シンポジウム(14JEES)は、2014年12月4日(木)～6日(土)の3日間の日程で、千葉市美浜区の幕張メッセ国際会議場において開催されました。発表された論文は表1の通り、合計442編でした。また、3日間の登録参加者数は、表2に示すように合計709名でした。

シンポジウムは、初日の午前9時20分から山崎文雄運営委員長の開会挨拶で始まり(写真1)。

表1 発表論文数

一般論文セッション 内 口頭発表 ポスター発表	250編 (184編) (66編)
特別セッション	12編
オーガナイズドセッション	180編

表2 登録参加者数と参加費

項 目		参加者数 (人)	参加費(円)
論文発表	第一著者(一般)	333	20,000
	同 (学生)	97	10,000
	特別セッション招待	12	0
一般参加	(事前登録)	74	10,000
	(当日現地登録)	143	12,000
	(総合討論招待)	12	0
学生参加	(事前登録)	16	5,000
	(当日現地登録)	22	6,000



写真1 開会式で挨拶する山崎14JEES運営委員長

3. 内 容

3.1 一般セッション

一般論文250編、オーガナイズドセッション論文180編のあわせて430編の論文発表が行われました。この発表数は、前々回（第12回）の367編と、前回（第13回）の583編の中間的な数となっています。一般論文の発表分野に関しては、前回までの細分化された分類を廃止し、日本地震工学会年次大会とほぼ同様の構成としたうえで、投稿状況を踏まえて調整しました。表3に一般論文の分野別の発表件数を示します。

表3 一般論文の分野別発表件数

	発表分野	口頭発表	ポスター発表	計
1	震源特性	8	2	10
2	地下構造	6	1	7
3	地盤振動	36	18	54
4	地盤の液状化・斜面崩壊	8	4	12
5	津波・歴史地震・ハザード評価	7	1	8
6	地中構造物・ダム・杭および基礎構造	6	3	9
7	地盤と構造物の相互作用	9	4	13
8	土木構造物	8	4	12
9	建築構造物	37	11	48
10	機械設備系	2	3	5
11	免震・制振・ヘルスマニタリング	26	4	30
12	緊急速報・災害情報	6	2	8
13	防災計画・リスクマネジメントおよび社会・経済問題	18	7	25
14	被害調査・分析など	7	2	9
	計	184	66	250

論文募集の準備段階からシンポジウム開催までの概要は下記の通りです。まず運営委員会でシンポジウム論文の査読の有無に関して種々な観点から議論した結果、査読の実効性と作業量を考えて、前回（第13回）と同様に査読なしとし、地震工学・地震防災に関する論文や、進行中の研究や様々な調査・実験・事例報告なども幅広く受け付けることとしました。ただし、査読論文は大きなインセンティブとなることから、日本地震工学会論文集に14JEES特集号を設け、本シンポジウムで発表された和文論文は、改めて査読付き論文として投稿することを奨励することとしました（英文論文については英文ジャーナル "Journal of Earthquake and Tsunami"）。また論文フォーマットについては、後の特集号への投稿の際の便を考え、日本地震工学会の論文フォーマットとほぼ同じものとし、ページ数で4～10ページ、容量で5MB以内としました。

上記の方針に従って、2014年4月に執筆・応募要領をシンポジウムのウェブサイトに掲載するとともに、

各主催学会のニューズレターなどを通じて告知しました。2014年5月には論文申し込み受け付けを開始し、8月に論文投稿を締め切りました。その後、学術部会による簡単なチェックを経て発表論文を確定し、プログラムを編成しました。10月にプログラムをウェブに公開し、11月には参加者にDVD-ROM（特別セッションの12編とあわせて442編の全論文のPDFファイルを1枚に収録）、参加証など事前送付しました。

一般論文のうち、口頭発表については7会場で行い、3日間にわたるセッションの延べ数は23となりました。セッションのコマ割りに当たっては、特別セッションへの参加促進や、ポスター発表のコアタイム確保に配慮したことから、並行するセッション数や開始時刻についてはややイレギュラーな形になりました。口頭発表1件あたりの配分時間は、前回（第13回）は12分としていましたが、今回は15分（発表10分、質疑応答5分）として少しゆとりを持たせることができました。ポスター発表については1会場で、4日と5日の2日間で行いました。またポスターの掲示時間は12:00～17:00とし、そのうち14:20～15:00を討議のためのコアタイムとしました。また会期中は、プロシーディングスの会場内ネット配信も行いました。写真2、3に口頭発表およびポスター発表の様子を紹介します。

なお、日本地震工学会論文集の14JEES特集号の査読付き論文については、2015年1月に投稿受付を開始し、2015年3月末に締め切り、その後査読プロセスを経て、2015年12月には刊行を完了する予定です。



写真2 一般発表セッションの様子



写真3 ポスター発表セッションの様子

3.2 オーガナイズドセッション

表4に示すように、13のオーガナイズドセッション(OS)が企画され、計180の論文発表が行われました。前々回(第12回)の3セッション41編、前回(第13回)の7セッション71編と比較すると、かなり増加しており、一般論文の口頭発表件数に匹敵する規模となりました。

表4 オーガナイズドセッションの発表件数

	セッション名	発表数
OS1	超巨大地震による強震動と震源過程	19
OS2	活断層情報と強震動評価	7
OS3	拡散波動場の特性を活かした新しい地下構造探査手法	14
OS4	東日本大震災での液状化被害を考える	20
OS5	東日本大震災におけるライフライン被害の教訓	14
OS6	巨大地震に対する液体貯槽の防災と減災	12
OS7	津波荷重評価の最先端と課題	12
OS8	建築非構造部材の被害とその対策	6
OS9	原子力安全のための耐津波工学の形成	6
OS10	大地震から巨大都市をどう守るのか	22
OS11	東日本大震災における津波避難行動と今後の津波避難対策	12
OS12	地震・津波災害軽減のためのリモートセンシング応用	9
OS13	国際セッション	27
	計	180

OSについては、2013年9月に各主催学会に対して企画提案の依頼を行うとともに、シンポジウムのウェブサイトにおいてもテーマ募集を告知し、12月に応募を締切りました。その後、学術部会で調整を経て、13セッションを確定しました。

前回(第13回)に引き続き、本シンポジウムでは1人当たりの講演は1題に制限しましたが、オーガナイザーからの依頼による講演者については複数編の講演を可能としました。またOS9以外の12セッションでは一般からの論文公募も行われました。

オーガナイザーの皆様のご尽力によって時宜を得たテーマが設定され、多数の論文が投稿されたことにより、全般的にきわめて活発なセッションとなりました。各セッション名とオーガナイザーは下記の通りです。

- OS1 超巨大地震による強震動と震源過程：中原恒(東北大学)，野津厚(港湾空港技術研究所)
- OS2 活断層情報と強震動評価：吉岡敏和(産業技術総合研究所)，香川敬生(鳥取大学)
- OS3 拡散波動場の特性を活かした新しい地下構造探査手法：川瀬博(京都大学防災研究所)，松島信一(同)
- OS4 東日本大震災での液状化被害を考える：古関潤一(東京大学生産技術研究所)，桑野玲子(同)
- OS5 東日本大震災におけるライフライン被害の教訓：能島暢呂(岐阜大学)，鋤田泰子(神戸大学)
- OS6 巨大地震に対する液体貯槽の防災と減災：吉田聖一(横浜国立大学)，座間信作(同)
- OS7 津波荷重評価の最先端と課題：松富英夫(秋田大学)，有川太郎(港湾空港技術研究所)
- OS8 建築非構造部材の被害とその対策：清家剛(東京大学)，江口亨(横浜国立大学)
- OS9 原子力安全のための耐津波工学の形成：亀田弘行(京都大学名誉教授)，今村文彦(東北大学)，宮野廣(法政大学)，高田毅士(東京大学)
- OS10 大地震から巨大都市をどう守るのか：久田嘉章(工学院大学)，大原美保(土木研究所)
- OS11 東日本大震災における津波避難行動と今後の津波避難対策：後藤洋三(東京大学地震研究所)，市古太郎(首都大学東京)
- OS12 地震・津波災害軽減のためのリモートセンシング応用：松岡昌志(東京工業大学)，越村俊一(東北大学災害科学国際研究所)
- OS13 国際セッション：清野純史(京都大学)，小檜山雅之(慶応大学)

このうち、国際セッションは、過去2年にわたって日本地震工学会年次大会に合せて開催された国際シンポジウムの役割を兼ねたものです。日本国内の留学生や、14JEESに参加する外国人が初日と2日目は英語だけで参加できるセッションを設けようという趣旨です。特別セッションを途中に挟んで、2日間連続して1日中開催したため、建築研究所の研修生を始め、多くの参加者を得ることができました。日本の地震工学の国際化の一助として、今後もこのような企画を続けて欲しいと願っています。

3.3 特別セッション

特別セッションは、14JEESの新しい試みです。津波・新技術・防災というテーマで、3つの特別セッションを設け、インドネシア・タイ・米国・ニュージーランド・台湾・ペルー・チリから、計9名の発表者を招待し、全セッション英語で行いました(写真4)。津波防災・減災に関わる研究開発の現状と将来展望、地理情報システムや大型計算機を使う地震防災・減災の最新技術、そして社会に直結する防災・減災の研究開発と実践活動が紹介されました。海外からの招待者の発表は、盛りだくさんの内容であったものの、分かりやすいものでした。このため、全セッション英語でありながら、特別セッションの参加者の人数は多く、各々の発表に対し一般的なコメントから専門的な質問まで、活発な質疑が繰り返されました。海外からの招待発表者の発表に高い関心があったことが伺われました。



写真4 特別セッションの招待講演者(左からタイPennung教授、米国Eguchi氏、台湾Chang教授)

特別セッションを試行した大きな理由は2つあります。その1つは、2020年開催予定の第17回世界地震工学会議(17WCEE)の日本招致を意識したことです。17WCEEは、2017年1月チリにおいて開催される16WCEEで開催場所が決定されます。日本地震工学会は、17WCEEを日本で開催するという誘致活動をすでに始めています。17WCEEを日本で開催することで、我が国の優れた地震工学の技術や、蓄積された地震・津波の防災・減災の知見を世界に発信したいと考えています。招待講演者などを介して、現時点での我が国の地震工学全般のレベルの高さが世界に広がり、17WCEEの誘致に繋がることを期待しています。

特別セッションの試行のもう1つの理由は、特別セッションで発表された論文を国際誌の特集号としてまとめることです。国際誌の発表は、特別セッションで招待された発表者が、より良い論文を執筆する一助になることが期待されています。発表論文の数等を使った定量的な業績評価は定常化してきましたが、今後、国際誌への発表論文の数といった研究業績の質も評価の際には検討されることになると考えられます。地震工学の分野でも国際誌への発表を増やすことは重要な課題であり、シンポジウム等で発表された論文を国

際誌の特集号に掲載することは、この課題をクリアする1つの方法であると考えています。

3.4 懇親会

2日目の17時30分から201室において、一般参加者に加えて、国際セッション、特別セッションに海外から参加いただいた方々を招待して懇親会が開催されました。山崎文雄運営委員長の挨拶の後、主催幹事学会である日本地震工学会の安田進会長の乾杯の音頭で歓談がスタートしました。参加者は、一般70名、学生14名、招待10名、計94名で、地震工学に携わるいろいろな分野の方々の有意義な交流の場となりました(写真5、6)。会の半ばには海外から招待した方々の紹介があり(写真7)、最後は、長年、日本地震工学シンポジウムの開催に尽力された名古屋大学の武村雅之教授の挨拶で締めくくられ、全員で集合写真(写真8)を撮って終了しました。



写真5 懇親会での挨拶(左より安田会長、チリBonelli教授、武村教授)



写真6 懇親会の歓談風景



写真7 海外から招待した方々の紹介



写真8 懇親会での集合写真

3.5 技術展示

技術展示は、2階のメイン会場である国際会議室と201室前のロビーに25ブースを使って、シンポジウムの3日間催されました。出展いただいた21機関は、これまでの地震計や計測機器メーカーに加えて、大手ゼネコンの研究所、防災・地盤調査コンサルタント、さらには大学や独立行政法人の研究所などにも展示を行っていただきました(写真9)。

展示内容は大きく4つ程度に分類され、

- 1) 地震計の展示では、小型振動台によるデモンストレーションや超小型加速度計の紹介
- 2) 各種データと情報技術を活用したサービスでは、地盤情報の閲覧システム、高密度地震観測情報の配信、昨年末に更新された地震動予測地図などの紹介
- 3) 解析ソフトウェアでは、構造物の非線形解析等の高度な解析手法のソフトウェアや解析技術の紹介
- 4) 研究プロジェクトでは、巨大地震によるハザード評価や対応計画等に関する研究の紹介などが行われました。



写真9 技術展示風景

4. おわりに

長い歴史のある日本地震工学シンポジウムを今回も盛会に開催できたことを大変喜ばしく思います。新規

に企画した特別セッションでは、国外からも招待講演者を招き、有意義で活発な情報共有や意見交換ができました。オーガナイズドセッションでは、個々のトピックに焦点を当てて議論を深めることができました。とくに英語による国際セッションを2日間行ったことで、本シンポジウムの国際化への第一歩になったと思います。また、津波避難、首都直下地震を含む巨大地震、地盤液状化等のセッションが、多くの論文を集めたことが印象に残ります。今後も、いくつかの時機に合ったトピックについて、議論を重ねる機会を設けることが重要ではないかと感じています。

2011年東日本大震災から間もなく4年、1995年阪神・淡路大震災から20年になりますが、最近では2014年11月22日に長野県神城断層地震が発生しました。さらに今後、南海トラフ巨大地震や首都直下地震にも備える必要があります。これからも、地震工学に関係する幅広い分野を網羅する日本地震工学シンポジウムの開催は重要であると感じています。

謝 辞

14JEES運営委員会は、日本地震工学会を中心に10の主催学会から参加いただいた運営委員25名で構成されました。総務、学術、国際の3部会構成で、約2年前から準備に取りかかりました。ウェブサイトの順次更新、幕張メッセとの打ち合わせ、特別セッション、オーガナイズドセッション、技術展示など、一般プログラム以外の企画にも取り組んで参りました。本シンポジウムを成功裡に終えることができたことを、運営委員一同、安堵しているところです。

最後になりますが、ご協力いただいた10主催学会の関係者各位、本シンポジウムの企画・運営に適切な助言と事務作業をご担当いただいた日本地震工学会の鳴原毅氏、吹野美絵事務局長に厚く御礼申し上げる次第です。

若手研究者座談会 開催報告

志波由紀夫

●副会長、将来構想委員会 委員長

／藤原 広行

●理事、同委員会 幹事

1. 開催趣旨

将来構想委員会は、読んで字の如く、日本地震工学会の現状認識の上に立って将来の方向性を構想するとともに、それへ向けて今やるべき施策を提言するのを使命とした委員会である。過年度の活動において、当会が抱える課題として、50代以上の会員は多いが若い世代が少ない、維持可能で安定的な財務体制を確立する必要がある、創立時の理念に沿った分野横断的な活動に力を入れるべき、などが認識され、それらへの対応が模索されてきた。その一環として2013年度に、分野横断的な若手研究会（あるいはサロンの集まり）の立ち上げが構想され、その準備段階として、まずは若手から率直な意見を聴く機会を設けようということになったが、実施が持ち越されていた。今回、これを若手研究者座談会という形で実施に移した次第である。

2. 開催までの準備

この座談会では、建築、土木、機械、地震、地盤など分野間の連携をさらに深めた学会活動を推進していくことを念頭に、単に形式的連携ではない、「魅力的な研究活動を産み出す分野間連携とは」をテーマに据えた。次に参加者としては、議論のテーマからして地震工学関連の仕事にある程度の年数従事されている若手ということで、30代後半を中心に選定することにし、過年度に候補に挙がっていた人や各方面から推薦していただいた人、7人に趣旨を説明して参加を依頼した。また、今回はお互い初対面の参加者同士による座談会であるので、うまく話の流れをつくり、率直な意見が出やすい雰囲気でもらう司会進行役が欠かせない。この要の役には、当会会員で、こうした役柄の経験が豊かな入江さやかさん（NHK放送文化研究所）にお引き受け願った。入江さんには、事前に参加者から議論のテーマに沿ったアンケートを取り当日の進行案を用意するなど、入念な準備をしていただいた。

3. 開催日時・場所・出席者、そして会の始まり

座談会の開催日時、出席者（敬称は略させていただく）等は以下の通りである。

日時：2014年12月12日（金）16:00～18:45

場所：東京都港区芝5-26-30 専売ビル 8F 会議室

司会者：入江さやか

出席者（50音順）：

市村 強（東京大学地震研究所 巨大地震津波災害予測研究センター）

岩城麻子（防災科学技術研究所 社会防災システム研究領域）

津野靖士（鉄道総合技術研究所 地震解析研究室）

西村隆義（㈱ジェイアール総研エンジニアリング 構造技術部）

松岡太一（明治大学 理工学部機械情報工学科）

三浦耕太（㈱大林組 技術研究所構造技術研究部）

元木健太郎（㈱小堀鐸二研究所 地震地盤研究部）

アドバイザー：古屋 治（東京都市大学、当会理事）

ちなみに出席者7人の最年長は41歳、最年少は27歳である。また、当会の現状の説明などが必要になった場合のために、理事の中での若手であり将来構想委員会委員でもある古屋理事がアドバイザーで参加した。ほかに、本企画の担当者である志波と藤原、それに総務担当の新海元理事がオブザーバーとして同席した。

長机6つを口の字形に組み、事務局が用意してくれた銘銘の名札と若干の茶菓を置いて、座を設営した。ほぼ定刻に参加者が全員揃ったところで、司会の入江さんから開会が告げられ、座談会が始まった。

冒頭、志波が前記の開催趣旨を簡単に復唱するとともに、会誌に実施報告は書くが発言者名などは明記しないので、堅苦しくならず、当会の将来のために率直な意見を出し合ってほしいと要請した。続いて、全員



参加者の皆さん（撮影：藤原広行）

が自己紹介。これまでのキャリアや現在の仕事の内容、専門領域、本会への入会動機などを述べ合った。発言が一巡した頃には、堅さも少しとれ、座談会モードに。

4. 話し合われたことごと

ここから本題に入るが、約束どおり、誰の発言かは示さず、主な話題と要旨のみを以下にまとめる。

【日本地震工学会に入会している理由やメリットは？】

- ・建築と土木は似ているようで意外と違うところが多い。自分の専門分野以外の技術や情報に接することができて、業務上ありがたいし、刺激にもなる。
- ・理学系研究は現象の理解が原点だが、自分の仕事である地震という性格からすると、ピュアなだけ、独りよがりではだめで、出口として関連分野のことを知らないといけない。(3.11以降、理学と他分野との連携を求める声が強くなってきている。)

【分野間連携ということについて】

- ・専門分野が異なると言葉が通じないこともあるなど、連携はそう簡単ではない。やる気があり、基礎体力がある人がやらないと…。連携のための連携はうまくいかない。
 - ・過去には本四架橋のような国家的プロジェクトの遂行で分野間連携がうまく行われた。そういった大きなプロジェクトがあるといい。ただ、ファンドの切れ目が縁の切れ目になるかも。
 - ・小さいプロジェクトを沢山作ってもいいのでは。
 - ・なるようにしかならないと思っている。学会は必要に迫られて人が集まるのであって、会があるからどうこうしなければならないというのは違うと思う。地震工学会でなければできない意義があるなら会は存続するが、その価値がないのならば淘汰されていても仕方がない。
 - ・連携が必要になる条件として3つ考えた。抜けがなく全体としてバランスを求められることを考えるとき；複数の技術を組み合わせて新しい技術を作り上げるとき；ばらつきのある低頻度のリスクを重ね合わせていくような場合。あと、設計用地震動の作成は、地震動研究者だけではできず、施主と設計者の関与がないとできない。
 - ・分野間の境界に、いいことが隠れていると思う。
- ##### 【分野違いの仕事をするとき、どんな苦労があるか？】
- ・トータルな検討が必要なプロジェクトをやっていたときに、異分野のことで自分たち(チーム)に分からない問題が出て来て、前に進めなくなったことがある。そんな場合に、まあいいや、分かる範囲でやるしかない、ということになってしまう。

【海外から見た日本の地震工学コミュニティは？】

- ・日本の大学の先生は、いわば皆が社長で、横の繋がりが無い。ヨーロッパの人たちの方が連携しているように見える。

【人脈や知識を広げるのに、どういう場がいいか？】

- ・学会の大会やシンポジウムには、人が集まらない。それは魅力がないから。動員のために、お付き合いで参加しているようなところがある。
- ・会社員にとって学会に参加するというのは、知らないことも多くて、ハードルがある。しかし、誰かと交流したいという潜在的な思いもある。魅力がないことはなく、交流の場が頻繁に行われれば、そのうちに裾野が広がっていくのではないか。
- ・日本地震工学会を第一学会にしている人は少ない。尖っておらず、特色が薄い。
- ・学会として新しいものを生み出せていない。贅肉(若い人たちが疲れてしまうような行事)を削ぎ落とすだけでも、本当に必要なものを見つけて行かないと。
- ・地震工学論文集に投稿したことがあるが、日本語だし、他分野の人に自分の成果を知ってもらえるところがいい。特集号にいろんな分野の人が投稿すると思う。境界領域や複合災害の研究など。

【当学会の社会への貢献(公益性)に何がある？】

- ・研究者は研究者に向かってものを言っているが、エンドユーザーである一般の人に役に立っているのだろうか。耐震設計は“壊れない設計”と理解している人が多いと思う。正しい理解を伝える架け橋の役目が公益性に繋がるのではないか。
- ・地方自治体などの防災行政への貢献ができれば。
- ・横の繋がりがあんなら、規格の統一化をやる。
- ・地震被災地の住民の不安を取り除く情報の発信。
- ・無料のセミナーや講習会(学生向け)。
- ・地震工学の基礎体力を上げること、知の創出が本質的な社会貢献に繋がる。

5. 座談会を終えて

閉会に当たり古屋理事から、「いろいろな意見が聴けてよかった。やはりこうした異分野の若手が出会う場は必要だと思う。将来構想委員会では今回の結果を今後の企画に活かしていく」とのコメントが述べられた。

若手参加者のみなさん、入江さん、お忙しい中ご協力下さり、ありがとうございました。大変参考になりました。この場を借りてお礼申し上げます。

なお、蛇足ながら、座談会終了後に懇親会を催したところ、意外にも全員参加で、忘年会シーズンに重なったこともあってか、座談会に増して議論が弾んだ。

E-ディフェンス震動台見学会 開催報告

佐々木智大

●独立行政法人防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター 研究員

1. はじめに

日本地震工学会では、地震・耐震工学に関する国内実験施設とその研究に関する知識を深めることを目的として、世界最大の振動台実験施設である独立行政法人防災科学技術研究所(以下単に防災科研)が所有する三次元震動破壊実験施設(通称E-ディフェンス)における実験見学会を実施している。

今年度は、E-ディフェンス震動台が2005年より稼働を始めてから10年を迎えることもあり、防災科研では、加振機のメンテナンスやこれと震動台をつなぐ継ぎ手の交換工事を実施している。この工事は、今後もE-ディフェンス震動台の性能を維持し、今後も継続して実験を行うことができるようにすることを目的としたものである。

この工事では、運用以来初めて震動台を取り外した。これにより、鉛直方向の加振機、各加振機を動かすための配管、平常時に震動台を固定しておく着座台など、普段は震動台に隠れて見えない部分も確認できる状態となった。一般の見学では見ることが出来ない震動台を動かす各種機器類を見ることができる貴重な機会として実施したのが今回の見学会である。



写真1 震動台を外した状況

2. 見学会の様子

見学会では、18名の方にご参加いただいた。例年の見学会に比較して人数は少ないが、工事現場の見学と言うこともあり、安全対策上あえて人数は絞らせていただいた。

普段は見られない震動台が取り外された状態を間近で見学いただき、下に見える各種機器や、建物内に置いてある加振機の模型なども使って簡単な説明を行った。見学者の方々からは、震動台下にある機器類や実験棟内

に仮置きされている取り外された各種部材について、その構造や機能に関する様々な質問をいただきつつ、熱心にご見学いただいた。今回の見学会に当たり、工事関係者の方々にも安全に対する配慮などについて、ご協力いただいた。この場をお借りし関係各位に感謝申し上げます。

震動台の見学後は、現在施設周辺に仮置きされている実験後の試験体も紹介した。実験の見学会のときよりもより近くで試験体を見て頂くことができ、好評であった。



写真2 震動台設備の見学

3. 耐震工学研究に関する意見交換会

震動台の見学を終えた後、建物内へ移動し、耐震工学研究の今後の方向性と新しい実験設備のアイデアに関する意見交換会を実施した。震動台の回転入力がかこれまで活用されてこなかったことの指摘や、震動台としての枠にとらわれない、載荷装置としての利用などの提案の他、E-ディフェンスのような大規模施設を複数の実験者が共同・分割して使用できるような枠組みを作り、1実験者の負担を軽減させる体制を組むことができないかと提案されるなど、活発な討議が行われた。他の実験施設においても参考にしていただければと思う。



写真3 意見交換会の様子

講演会「津波荷重評価の最前線」開催報告

松富 英夫

●秋田大学大学院工学資源学研究科 附属地域防災力研究センター

1. はじめに

2011年4月に設置した「津波対策とその指針に関する研究委員会」(以下、委員会)は2014年3月末に満了した。本誌学会ニュース欄の委員会活動報告で予告したように¹⁾、委員会成果を社会に還元する講演会を2014年12月8日(月)に東京都港区芝浦の東京工業大学キャンパスイノベーションセンターで開催した。その概要を会員諸氏へ報告することにする。

2. 講演会の概要

講演会の題名は「津波荷重評価の最前線ー何がわかり、何が課題かー」、趣旨は委員会目的¹⁾に基づいて「防災施設、橋梁、建築物などの人工物や地盤、海岸林などの自然物に作用する津波荷重に関する最新の調査・研究成果と残されている課題を紹介し、津波荷重に関する知見の実務への活用法や今後の津波荷重評価に関する研究の方向を論じる。また、建築物の津波荷重指針の概要の解説も行う。」とした。参加者定員は50人としたが、実際の参加者数(参加申込者を含む)は61人、うち非会員が半数の30人、と講演会は盛会であった(写真1)。その内訳は民間40人、大学13人、研究所7人、官庁1人であった。主催者が考えていたよりも関心が高く、今後の津波防災に向けて心強く感じた次第である。少し残念だったことは、参加費を資料代未満に割引いたにもかかわらず、将来の担い手である学生の参加者が1人であったことである。

講演題目と講演者(敬称略)は次の通りである。

- ・講演1: 防護施設に作用する津波荷重と被災メカニズム(港空研 有川太郎)
- ・講演2: 橋梁構造物に作用する津波荷重(筑波大学 庄司 学)
- ・講演3: RC造建築物に作用する津波荷重(秋田大学 松富英夫)
- ・講演4: 建築物の津波荷重指針の概要(国総研 奥田泰雄)
- ・講演5: 構造物周りの洗掘現象への津波数値解析技術の適用(いであ 玉田 崇)
- ・講演6: 海岸黒松の被害条件(秋田大学 松富英夫)

講演1では、防波堤を中心に被災要因、被災メカニズムと構造物に作用する津波荷重が現地調査および大



写真1 講演会風景(講演2)

規模実験に基づいて論じられた。

講演2では、橋梁の被災要因、被災メカニズムと橋桁・床版に作用する津波荷重が現地調査および小規模実験に基づいて論じられた。

講演3では、開口率や入射津波条件をパラメータとした小規模実験に基づいて開口部を有するRC造建築物に作用する津波荷重の低減特性が論じられた。

講演4では、建築学会で検討中の「建築物の津波荷重指針(案)」が概説され、大きな関心が寄せられた。

講演5では、津波による洗掘に起因した構造物被害事例が示されたあと、津波による土砂移動の数値解析技術を実際へ適用し、解析技術の課題が論じられた。

講演6では、2011年東北津波時に浸水した三陸海岸黒松の倒伏、抜根、折損に関する現地試験データに基づいて海岸黒松の実用的な被害条件が論じられた。

3. おわりに

社会における関心度の判断を誤り、参加者数は定員オーバーとなった。参加者の皆様には物理的に窮屈な思いをさせてしまったが、その分を講演内容で償えたかは自信がない。また、午後の3時間開催であったため、十分な内容説明と質疑応答の時間確保ができなかった。参加者の皆様に心からお詫びする次第である。

本講演会で資料として使用した委員会報告書をご希望の会員諸氏は学会事務局に申し込みいただきたい。

参考文献

- 1)松富英夫: 津波対策とその指針に関する研究委員会報告、日本地震工学会誌、No.22, p.47, 2014.

「大地震時における超高層マンションの揺れと被害 ー東日本大震災の経験を踏まえてー」の開催報告

境 茂樹

●安藤ハザマ

1. はじめに

去る2014年11月7日に研究フォーラム「大地震時における超高層マンションの揺れと被害 ー東日本大震災の経験を踏まえてー」（主催：東京理科大学、共催：日本地震工学会・工学院大学・新宿駅西口防災対策協議会）が工学院大学3Fアーバンテックホールにて開催された。

この研究フォーラムは、2011年東北地方太平洋沖地震以降に発足した「超高層集合住宅地震観測合同研究会」（以下、本研究会と称す）の研究成果を公表する場としたもので、本研究会の外部講師にも、超高層マンションの室内被害に関連する話題提供をお願いした。

本研究会は東京理科大学の永野正行氏を中心となり、超高層マンションの強震観測を実施している関係機関で結成され、多数の超高層マンションで得られた強震記録の比較検討をはじめ、アンケート調査結果に基づく室内被害や人的被害と強震記録との対応調査、大地震時の損傷推定に関する検討を実施してきた。

開催当日は、耐震工学の専門家や設計技術者をはじめ、ディベロッパーや超高層マンションの一般居住者も含めて200名近い来場者があり、大盛況となった。

2. 講演会の概要

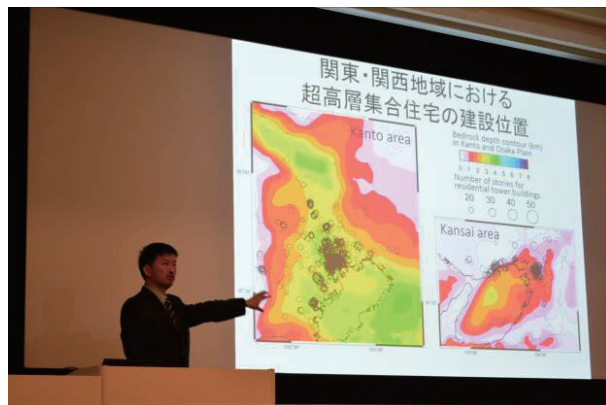
講演に先立ち、UR都市機構の田沼毅彦氏より開会の挨拶が述べられ、本研究会の発足経緯と研究体制、強震記録に関する情報の共有と記録を利用した研究と対外発表の促進、次の大地震に備えた対応の検討など、本研究会の概要について紹介があった。

講演の前半は、東京理科大学の永野正行氏と東京大学の肥田剛典氏、外部講師として気象庁の相澤幸治氏と東京消防庁の水村一明氏の4名の講演があった。

永野氏の講演では、大地震における超高層マンションの揺れについて、本研究会で対象とした超高層マンションの概要とこれら建物における2011年東北地方太平洋沖地震時の揺れについて紹介があり、建物の固有振動数や減衰定数の変化、建物の高層階より低層階の剛性低下率が大きいことについて説明があった。また、周期1.5秒～3.5秒の擬似速度応答スペクトルPSVを検討した結果、東京湾沿岸部の記録でその値が大きく、同じ首都圏でも場所によって揺れ方が異なること

が紹介された。

肥田氏からは、居住者アンケート調査に基づく室内被害と強震記録との対応について説明があり、人の行動難度や不安度は高層階ほど大きく、一方、内装材の亀裂などの被害は低層階ほど大きいことが示された。また、地震の揺れの最中の避難行動のしやすさは、床応答加速度が大きいほど行動しにくくなることや、本震時の建物の平均層間変形角（建物の頂部変形／建物の高さ）は、東京湾沿岸部の建物の方が内陸部の建物より大きかったと推定されることなどが紹介された。



永野氏の講演 (写真上) と会場の風景 (写真下)

気象庁の相澤氏は、東日本大震災時の超高層マンションの被害調査結果と地震情報による対策について述べられ、100～150mクラスのマンションの揺れが大きかったこと、超高層ビルの地震に関する情報としては、長周期地震動に対する関心度が7割以上と高く、マンションの居住者は、館内放送などを通じた情報伝達

の要求が非常に高いことを説明された。

東京消防庁の水村氏からは、東日本大震災の被害調査等に基づく室内安全対策について説明があり、震災による人的被害の3～5割が家具類の転倒・落下によるもので、救急搬送は転倒・落下が40%を占めたこと、マンションの高層階は低層階に比べて家具の転倒率が4～9倍高いことを示し、住戸内の家具類の転倒・落下・移動防止対策の重要性を強調された。

講演の後半は、京都大学の上林宏敏氏、戸田建設の山本健史氏、鴻池組の井川望氏の講演があった。

上林氏の講演では、超高層マンションの動特性分析の結果について、強震記録に基づく動特性の統計的評価と損傷度評価について説明があり、1995年兵庫県南部地震と2011年東北地方太平洋沖地震時の鉄骨造と鉄筋コンクリート造建物の揺れの増幅特性の違いと、固有振動数の変化について説明された。また、建物の最大応答時と初期微小振幅時の固有振動数の比と最大層間変形角との関係について示し、さらに、想定南海地震による大阪地域の層間変形角と長周期帯域の平均速度応答スペクトルとがよく対応することを示した。

山本氏は、超高層マンションのシミュレーション解析と今後の備えについて説明され、精度のよい地震応答シミュレーション解析を行うためには、建物の減衰モデルの評価、剛性・復元力モデル、動的相互作用の影響、過去に受けた地震の影響を考慮することが重要であることを指摘し、ロッキングモデルによる解析を行い、観測結果と良く一致することを示した。さらに今後の備えとして建物の即時損傷判定システムは、BCM(事業を継続させる取組み)やLCM(生活を継続させる取組み)に貢献する技術として期待できることを説明した。

井川氏より、超高層マンションの観測記録と応答評価と題して講演があり、32階建ての住居棟と立体駐車場が連結された建物を対象としたシミュレーション解析について紹介があり、建屋の剛性を25%高くし、減衰を1%の瞬間剛性比例型にしたモデルに基づく地震応答解析結果が観測結果とよく対応することが示された。

最後に招待講演として東京理科大学の北村春幸氏から、次の大地震への備えと題した講演があり、建物の地震観測の重要性と意義について説明があり、また、次の大地震への備えを考える場合、その時何が必要になるのかを時系列で整理し、シナリオを作って検証していくことが重要であることを述べられた。また、超高層マンションに対しては被災直後の避難に使用できる高耐震エレベータの導入や被災度判定の仕組みづく

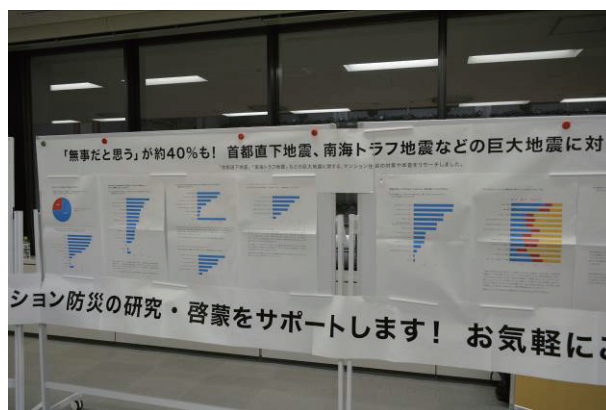
りの重要性を強調し、長周期地震動に対する備えの社会への啓発の重要性を指摘した。

また、会場のホワイエにおいては、超高層マンションの高層階の揺れを体験できるコーナーや首都直下地震・南海トラフ地震などの巨大地震に対する意識調査の展示コーナーが設けられ、地震工学研究の専門家と一般参加者との交流がより一層深められた。

3. おわりに

この研究会の成果は、2011年東北地方太平洋沖地震による多数の超高層建物における強震データの存在と強震観測を維持継続してきた各機関の地道な努力により得られたものである。この研究フォーラムにより、改めて建物強震観測の重要性が認識されたといえ、建物強震観測の継続的な普及・啓蒙活動の重要性を痛感した。

最後に、本研究会の発足と活動推進にあたりご支援いただいたUR都市機構の渡辺一弘氏に謝意を表するとともに、ご講演いただいた東京理科大学北村春幸氏、気象庁相澤幸治氏、東京消防庁水村一明氏、ならびに本研究会の関係者、参加された方々に心よりお礼申し上げます。



同時開催した高層建物の揺れ体験(写真上)と巨大地震に対する意識調査の展示コーナー(写真下)

日本学術会議主催学術フォーラムに参加して

安田 進

●会長 東京電機大学

／志波由紀夫

●副会長 榊塚研究所

1. はじめに

2014年11月29日に日本学術会議主催学術フォーラム「東日本大震災・阪神淡路大震災等の経験を国際的にどう活かすか」が六本木の日本学術会議講堂で開かれた。これは日本学術会議土木工学・建築学委員会と「東日本大震災の総合対応に関する学協会連絡会」(29の学会が連携した組織)の主催によるもので、東日本大震災後に連続して開催されてきたシンポジウムと学術フォーラムの第10回目にあたる。昨年度は本学会の当麻純一前副会長にご出席いただき、「大震災の教訓を南海トラフ地震対策に活かす」との題で発表していただいた¹⁾。本年は午前中に5つの講演が、また、午後は29学会の代表者によるパネルディスカッションが行われ、最後に共同声明の発表が行われた。



2. 5つの講演

開会後まず本フォーラムの趣旨説明および内閣府政策統括官と日本工学会会長の来賓挨拶があった後、5つの講演が行われた。講演題目だけ紹介すると「国連防災世界会議について」「日本学術会議の防災・Future Earthに関する国際活動」「世界工学会議について」「災害に強い国土と環境」「地球気候変動と防災・減災」である。

3. パネルディスカッション

午後は29学会と東京会議国内組織委員会(以下、組織委)によるパネルディスカッション「大震災の経験

を国際的にどう活かすか」が行われた。紙面が限られてはいるが、どのような学会が地震防災・減災・復興などに関係しているのか参考になると思えるので、あえて29の学会名を書いてみると、環境システム計測制御学会、空気調和・衛生工学会、計測自動制御学会、砂防学会、地盤工学会、土木学会、日本応用地質学会、日本活断層学会、日本機械学会、日本原子力学会、日本コンクリート工学会、日本地震学会、日本地震工学会、日本地すべり学会、廃棄物資源循環学会、こども環境学会、地域安全学会、地理情報システム学会、日本火災学会、日本計画行政学会、日本建築学会、日本災害情報学会、日本自然災害学会、日本集団災害医学会、日本造園学会、日本地域経済学会、日本都市計画学会、日本水環境学会、農業農村工学会となる。

パネルディスカッションでは、まず、東日本大震災・阪神淡路大震災をはじめとするこれまで自然災害から得られた知見を、世界の防災・減災にどう生かしていくべきかを焦点に、29学会+組織委を前半と後半に分け、各学会3分半の持ち時間で発表が行われた。この準備のために予め連絡会が5月と9月に開かれて各学会で和文と英文で1ページずつの活動報告の原稿を提出することが決められていた。それを印刷した冊子が当日配られた。本学会としても東日本大震災・阪神淡路大震災などに取り組んできた活動を整理して活動報告の原稿とし、それをもとに発表を行った。

前後半とも各学会の発表のあと1時間弱かけて、活発なディスカッションが行われた。種々の意見がだされたが、例えば、工学系・理学系・文系間の連携の大



切さや、復興にあたって全体をコントロールできるコーディネータが必要なこと、日本での復興のプロセスをまとめて世界に発信することが大切なことなどが指摘された。

4. 30学会による共同声明の発表

本フォーラムの最後に、29学会と学協会連絡会幹事を合わせた30学会共同声明「Global sharing of the findings from the Past Great Earthquake Disasters in Japan (英文)」が学協会連絡会幹事の日黒公郎教授(東京大学)から読み上げられた。これは2015年3月に仙台で開催される「国連防災世界会議」や、その準備のために1月に開かれる「防災・減災に関する国際研究のための

東京会議」、そして11月に京都で行われる「世界工学会議」の際にも発表される予定となっている。

なお、当日の資料(共同声明も含む)はウェブ²⁾で公開されている。また、冊子版が本学会の事務局に置いてあるので必要な場合には連絡していただきたい。

参考文献

- 1) 当麻純一：日本学術会議主催シンポジウム「南海トラフ地震に学界はいかに向き合うか」に参加して、日本地震工学会誌、No.21、p.42、2013.
- 2) 日本学術会議・東日本大震災の総合対応に関する学協会連絡会 <http://jeqnet.org/sympo/index.html>

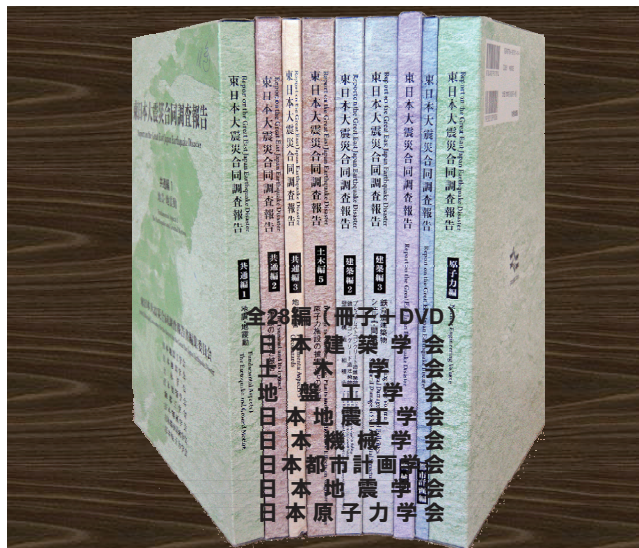
学会の動き

東日本大震災合同調査報告

〔東日本大震災合同調査報告書編集委員会〕

地震・地震災害に関わる8学会が協力して、2011年3月に発生した東日本大震災の記録の全貌を後世に伝えるべく、全28編の合同調査報告を作成・刊行しています。現在までに9編が刊行されました。地震工学・防災に携わる研究者・技術者にとって有用な資料として本書をご活用いただきたく、ご案内申し上げます。

下記の8学会のいずれかに所属されている会員の方は、全ての報告書を会員特価にてお求めいただけます。



刊行・刊行予定(冊子+DVD)

■共通編(3編)		
共通編1 地震・地震動(日本地震工学会発行)	2014年3月刊行	定価 ¥8,000+税
共通編2 津波の特性と被害(土木学会発行)	2014年6月刊行	定価 ¥7,000+税
共通編3 地震災害(地盤工学会発行)	2014年4月刊行	定価 ¥9,000+税
■土木学会発行(8編)		
土木編1 土木構造物の地震被害と復旧	2015年8月刊行予定	
土木編2 土木構造物の津波被害と復旧	2015年3月刊行予定	
土木編3 ライフライン施設の被害と復旧	2015年2月刊行予定	
土木編4 交通施設の被害と復旧	2015年12月刊行予定	
土木編5 原子力施設の被害とその影響	2014年8月刊行	定価 ¥6,000+税
土木編6 緊急・応急期の対応	2015年7月刊行予定	
土木編7 社会経済的影響の分析	2015年3月刊行予定	
土木編8 復興	2016年3月刊行予定	
■地盤工学会発行(2編)		
地盤編1 地盤構造物の被害、原因検討、復旧	2015年3月刊行予定	
地盤編2 被災調査の記録	2015年3月刊行予定	
■日本建築学会発行(11編)		
建築編1 鉄筋コンクリート造建築物	2015年4月刊行予定	
建築編2 プレストレストコンクリート造建築物/鉄骨鉄筋コンクリート造建築物/層式構造・組積造	2015年1月刊行	定価 ¥7,000+税
建築編3 鉄骨造建築物/シェル・空間構造	2014年9月刊行	定価 ¥10,000+税
建築編4 木造建築物/歴史的建造物の被害	2015年4月刊行予定	
建築編5 建築基礎構造/津波の特性と被害	2015年2月刊行予定	
建築編6 非構造部材/材料施工	2016年3月刊行予定	
建築編7 火災・情報システム技術	2015年7月刊行予定	
建築編8 建築設備・建築環境	2015年5月刊行予定	
建築編9 社会システム/集落計画	2015年5月刊行予定	
建築編10 建築計画	2016年10月刊行予定	
建築編11 建築法制/都市計画	2017年3月刊行予定	
■日本機械学会発行(1編)		
機械編	2013年8月刊行	定価 ¥8,000+税
■日本都市計画学会発行(1編)		
都市計画編	2015年1月刊行	定価 ¥8,000+税
■日本地震工学会発行(1編)		
原子力編	2015年1月刊行	定価 ¥9,000+税
■総集編(1編)		
総集編・資料編	2017年刊行予定	

(注文方法)

会員割引でのご注文は、下記の必要事項を記載の上、発行学会にお申し込み下さい。

- ・東日本大震災合同調査報告(編名・冊数)
- ・お名前・ご住所(ご所属)・電話番号・e-mail
- ・所属学会・会員番号
- ・その他連絡事項

※丸善出版(TEL: 03-3512-3256、FAX: 03-3512-3270)にて、一括販売を行っています(会員価格は適用されません)



本学会に関する詳細はWeb上で

日本地震工学会とは

日本地震工学会は、建築、土木、地盤、地震、機械等の個別分野ではなく、地震工学としてまとまった活動を行うための学会として2001年1月1日に発足しました。その目的は、地震工学の進歩および地震防災事業の発展を支援し、もって学術文化と技術の進歩と地震災害の防止と軽減に寄与することにあります。

ぜひ、皆様も会員に

本会では、これまでに耐震工学に関わってきた人々は勿論のこと、行政や公益事業に関わる人々、あるいは地域計画や心理学などの人文・社会科学に関する研究者、さらには医療関係者など、地震による災害に関わりのある分野の方々を対象とし、会員（正会員、学生会員、法人会員）を募集しています。本会の会員になることで、各種学会活動、日本地震工学会「JAE NEWS」のメール配信、地震工学論文集への投稿・発表・ホームページ上での閲覧、講習会等の会員割引など、多くの特典があります。ぜひ皆様も会員に、ホームページからお申込みください。

「学会の動き」欄は、下記のホームページでご覧いただくことにしました。

日本地震工学会の会則、学会組織、役員、行事、委員会活動、出版物の在庫案内など最近の活動状況などの詳しい情報はホームページをご覧ください。ホームページには、学会の情報の他に、最新の地震情報、日本地震工学会論文集など多くの情報が掲載されています。ぜひご活用ください。

入会方法や入会後の会員情報変更の詳細は本会ホームページ中の「会員ページ」に記載されています。

日本地震工学会ホームページ <http://www.jaee.gr.jp/>

会員ページ <http://www.jaee.gr.jp/members.html>



会誌への原稿投稿のお願い

日本地震工学会会誌では、「地域での地震防災に関する話題」、「地震工学に関連した各種学術会議・国際学会等への参加報告」、「興味深い実験や技術の紹介」、「当学会や会誌への要望や意見」等に関して、皆様からの原稿を募集しております。なお、投稿原稿は原則として未発表のものに限ります。また、「速報性を重視する内容（原則として年3回の発行であるため）」、「ごく限られた会員のみに関係する内容」、「特定の商品等の宣伝色が濃いもの」はご遠慮下さい。

投稿内容、投稿資格、原稿の書き方・提出方法等の詳細は、本会ホームページ中の「投稿・応募ページ」よりご確認ください。

日本地震工学会ホームページ 投稿・応募ページ <http://www.jaee.gr.jp/contribution.html>



問い合わせ先

不明な点は、氏名・連絡先を明記の上、下記までお問い合わせ下さい。

日本地震工学会 事務局 〒108-0014 東京都港区芝5-26-20 建築会館

TEL : 03-5730-2831 FAX : 03-5730-2830 電子メールアドレス: office@general.jaee.gr.jp

編集後記：

2015年最初の日本地震工学会誌を無事発刊できる運びとなりました。初めに、年末年始のお忙しい中、原稿を執筆していただきました著者の皆様に紙面を借りて厚く御礼申し上げます。また、校正作業にご協力いただいた編集委員会の皆様や関係諸氏に心より感謝申し上げます。

さて、2014年を振り返ってみますと、地震工学に携わる者としては11月に発生した長野県神城断層地震が思い起こされるのではないのでしょうか。この地震は糸魚川－静岡構造線断層帯北部の神城断層の一部が動いたことによるものとされており、2015年1月で発生から20年の節目をむかえた兵庫県南部地震と同様に活断層を震源とした地震です。今回の特集では「活断層について考える（その1）」と題して、活断層評価から活断層対策までの多岐にわたる内容について、4名の専門家の方々にご執筆を頂きました。本特集が活断層に関する知見を深め、同時に今後の活断層による地震被害を軽減する一助になればと期待しております。

地震以外に目を向けると、京都や兵庫などで発生した豪雨災害（8月）、広島市での豪雨に付随した土砂災害（8月）、さらには御嶽山の噴火（9月）など、2014年はまさに幾多の自然災害に見舞われた年であったと言えます。2015年が自然災害の少ない1年になるように祈りつつも、常に災害が起こったときのことを念頭に置きながら日々の研究を進めていく必要性を痛感しております。

最後に、日本地震工学会誌では、本号に続き次号でも活断層をテーマに特集記事を掲載する予定です。どうぞ期待ください。また、会誌への要望や特集記事のアイデアなどがございましたら、是非ともお寄せ頂ければ幸いです。

上田 恭平（鉄道総合技術研究所）

会誌編集委員会

委員長	久田 嘉章	工学院大学	委員	井上 修作	竹中工務店
幹事	上田 恭平	鉄道総合技術研究所	委員	桜井 朋樹	新エネルギー・産業技術総合開発機構
幹事	山口 亮	損害保険料率算出機構	委員	佐藤 健	東北大学
幹事	平井 敬	名古屋大学	委員	高橋 郁夫	清水建設
			委員	松岡 昌志	東京工業大学
			委員	松本 浩幸	海洋研究開発機構
			委員	山崎 義弘	東京工業大学
			委員	渡壁 智祥	日本原子力研究開発機構

日本地震工学会誌 第24号 Bulletin of JAEE No.24

2015年2月28日発行（年3回発行）

編集・発行 公益社団法人 日本地震工学会

〒108-0014 東京都港区芝5-26-20 建築会館

TEL 03-5730-2831 FAX 03-5730-2830

©Japan Association for Earthquake Engineering 2015

本誌に掲載されたすべての記事内容は、日本地震工学会の許可なく転載・複写することはできません。

Printed in Japan