

見落とされてきた破壊的鉛直地震動の現象とその特徴 — 地震予知の効果的な普及に向けて —

前原 博¹・櫻井 春輔²

¹地球システム総合研究所 上席研究員（〒604-8106 京都市中京区丸木材木町671,エクレース御池707号）

²神戸大学都市安全研究センター 内陸直下地震における耐震問題研究会代表（〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1）

強烈な衝撃的鉛直震動には地震の初期または最中に起きるものと、主震動の後から起きるものとの2種類があることを、過去4回の当研究発表会で明らかにし、昨年の日本地震学会秋季大会にも報告できた。これらの強烈な波は地震計でまだ正確に観測できていない。東日本大震災で大津波による原発事故が生じ、その耐震脆弱性が露呈した。原子力施設の安全性には強烈な鉛直震動も考慮する必要がある。本文ではこれらの波が存在する論証の要点と、波の特徴を纏めると共に、熊本地方での大地震の連鎖発生を受け、正確で綿密な観測と防災対策の充実を促すために、既存の有効な地震短期予知法を普及さす事にも言及する。

キーワード 地震, 海震, 衝撃的震動, 衝撃破壊, 局在波, 地震予知

1. はじめに

2011年3月11日の東日本大震災で原発事故が発生し、耐震脆弱性が露呈した。大津波だけでなく耐震安全性には強烈な鉛直地震動の現象も考慮しなくてはならない。しかし、この問題の現象は地震計でまだ正確に観測されていない。それゆえ構造規準等はこの現象の影響が反映できていないだけでなく、その存在に関する認識が欠けている。

この認識を補うには海震の事例を研究するのが効果的なので、橋脚等の損壊事例の他に海震の資料を集め、過去4ヶ年順次発表してきた¹⁻⁸⁾。その結果強烈な鉛直地震動には、地震時の初期または最中に起きるものと、主震動の後から起きるものとの2種類があることがわかった。前者の地震動には多くの証言があり、比較的広い範囲で生じている。後者の地震動は多くの場所で生じているが局地的に生じており、局在波的な形態を示している。この現象の発見は従来の地震波の通念を変える発見であり⁷⁾、関連

する話題と共に昨年の日本地震学会秋季大会（阪神淡路大震災20周年記念大会）に報告できた⁹⁻¹¹⁾。

本文では問題の波が存在する論証の要点と、最近の資料も紹介し、その波の特徴等を纏めることを当初の目的としていた。ところが4月下旬に、熊本地域から別府地域で大地震が連鎖的に発生した。他にも大地震の誘発が懸念されるので、この問題の波を正確に観測する事と、防災対策を急ぐ必要があるので、既存の有効な地震短期予知法を普及さす事を優先し、5回の発表の締め括りとして4章で言及する。

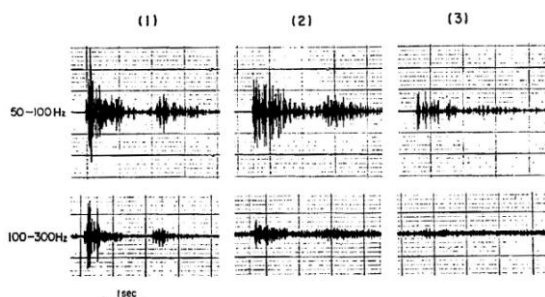
なお、この研究は従来の研究成果を否定するものではなく、それらに加えて必要なことを意味する。

2. 今迄の発表内容の要点と新たな情報

(1) 海震の調査結果の要点

調査できた海震の特徴を以下に要約する。

図-1は伊豆半島東方沖地震(M6.7, 1980.6.29)の余震の海震をハイドロホンで観測¹²⁾した代表例で、別



(1) 浅発型, (2) 中間深さ型, (3) 深発型

図-1 海震の観測波形・周波数帯別の例¹²⁾

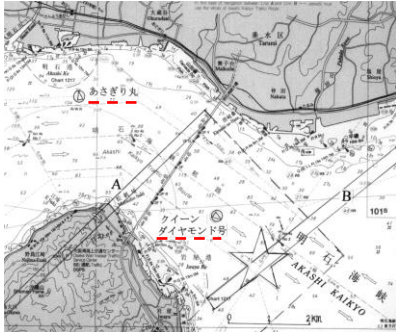
表-1 海震による損壊例¹⁴⁻¹⁶⁾

	日付	船 舶	場 所	状 態
1	1894.7.23 (明治 27 年)	ドイツの帆船 エンリエッテ号	ノルウエイの ロフ オテン諸島沖	強烈な海震(2 分間) 約 2 時間後に沈没
2	1952.11.5 (昭和 27 年)	米国貨物船 8000GT	カムチャツカ沖	M8.25~8.4 の地震、ハッチ コミングの両側に亀裂 (横浜で修理)
3	1969.2.28 (昭和 44 年)	タンカー 32,500T	ジブラルタル沖 西方 450km 水深 4900m	M8.0 の地震、船殻補強材 座屈、航海機器全損、パイ プ系破損
4	1995.1.17 (平成 7 年)	フェリーおおさか (9,000T 級)	播磨灘沖 (震央距離約 28km) 水深 30m	M7.2 の地震、強烈な上下 震動、吹抜け部のシャン デリア2個落下

表-3 ルドルフの海震震度階級²⁰⁾ (1898)



図-2 フェリーの位置図¹⁷⁾



(☆ 震央、A 野島断層、B 須磨断層)

図-3 あさぎり丸とクイーンダイヤモンド号の位置

表-2 最近の海震遭遇例²⁰⁾
2000.11.18 (5°S,153°E 付近)

遭遇時刻	水深 (m)	継続時間 (sec)	震度階級	
			ルドルフ	ジーベルグ
7:03	1100	15	4	2～3
10:16	2500	10	4～5	2～3
10:40	2500	10	2	1
12:05	5800	15	2	1

の拡大波形図から卓越周期は60-70Hzと判読した．この地震に先行した群発地震では観測されず，このような波が船底を突き上げていた¹³⁾．

表-1は海震による損壊例4点を纏めた表で、3点は国外の事例で^{14,15)}、4点目に兵庫県南部地震での播磨灘の大型フェリー(図-2参照)のシャンデリア2個が落下した事を加えた¹⁶⁾。船舶工学の専門家は「海震の粗密波(縦波)が船舶を損壊させることは常識である」と指摘している^{1,3,5,7)}。陸ではこの常識が関係者に現在すっかり忘れられており、構造規準等には強烈な縦波(粗密波)の影響は反映されていない。

図-2は兵庫県南部地震での明石海峡付近の旅客船

震度	説 明
1	単に一種に音響と感じる程度にして、多くは甲板以下に在る乗員のみに感得す。
2	睡眠中の乗員を醒ましむる位の程度にして、多くは甲板以下の人に感ず。
3	船体全部に震動を感じ、あたかも甲板上に重き器具を転落した様の感を起こさむ。
4	あたかも錨を深所に投じ、錨が急に繰り出される時に感じる震動に似たるもの。
5	船体が珊瑚礁、砂州、海底等に触れ、これ乗り越したる如く感じ、また他の小なる船体と衝突しこれ乗り越した様に感ず。
6	皿鉢などの食器またはコップ等が動き出し、ガチャガチャと鳴り響く程度の震動。
7	甲板上に直立するの不可能な程度の震動
8	帆柱、帆索、卓子など並びに甲板上の物体は、衝突に為に震動し、羅針儀、寒暖計などの破損することある程度。
9	船体が一方に押しやられ、震動を起こし、航行不可能となる程度。
10	甲板上の人は投げ出され、重き物体も投げあげられ、甲板の接合部は剥がれ難船することある程度。

表-4 ジーベルグの海震震度階級²⁰⁾ (1923)

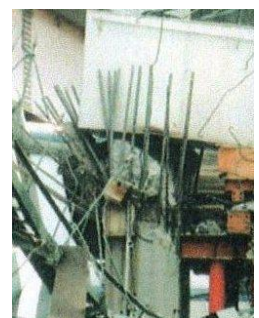
震度	説 明
1 (軽震)	海が静かなとき、船室の中でわずかに震動し隔壁が軽きしむ程度。
2 (弱震)	底触れまたは船体が岸壁をこえるときのような、あるいは錨鎖を急速に繰り出すときのような震動を感じる。船腹や構造物の震動がはっきりわかる。
3 (中震)	砂州、岩礁、または暗礁に乗り上げたとき、または衝突したときのような激動、あたかも甲板上に重量物を投げ出し、または棒を転がすような、あるいはスクリュウの翼が折れたときのような衝撃を感じる。吊下げ物がはなはだしく揺れる。索具や船体構造物が鳴動する。
4 (強震)	前記の状況がさらに強くなり船は縦横に動揺し、操舵員は舵輪を握る手に衝撃を感じるようになり、帆桁、デリック棒が鳴動し、座りの悪い器物は転倒転落する。
5 (烈震)	船上に立つことが困難となり大きい物体も位置がずれたり転倒したり、台から跳び出したりする。マスト、甲板構造等、全船鳴動し、構造の弱い部分は弛んでぐらぐらするようになる。船の航行が困難になることもある。
6 (激震)	船体が海中から跳ね上げられることもあり、縦じ目が離れたり、帆桁、マスト、甲板構造に損害が起くる。このために浸水し、甚だしいときは沈没に至ることもある。

の位置図¹⁷⁾で、この内のあさぎり丸(1千ト級)とクイーンダイヤモンド号(9千ト級)は、間隔をあけて海震の衝撃を2度受けた¹⁸⁾。両船の詳しい位置を図-3に示す。2度目の衝撃の方が遙かに強く、その時間間隔はクイーンダイヤモンド号の船長の証言から、地震の主震動が起こした海面の表面波(速度約700m/分)¹⁹⁾が、離岸距離(約2km)を渡り本船を翻弄した時に、同時に受けた衝撃として主震動の約3分後と推定した³⁾。他の船舶からは明確な2度の衝撃の体験記録がなく^{16,17)}、2度目の衝撃は局地的に生じている。

すなわち、主震動が治まった後でも衝撃的な鉛直震動は局地的に生じる事を意味している。

(2) 新たに入手した海震の資料

表-2は長崎大学の練習船鶴洋丸がシドニーに向か

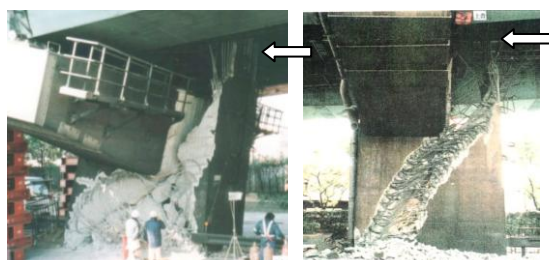
写真-1 独立二本柱橋脚の代表構造¹⁾

(a) 神 P465山側

(b) 神 P472海側

(c) 神 P477海側

写真-2 独立二本柱橋脚の裸鉄筋の直立¹⁾



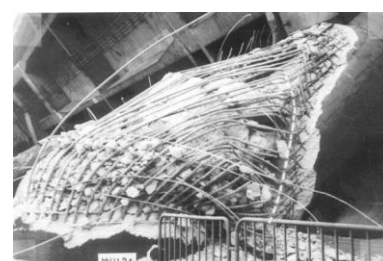
(a) 神 P150 (b) 神 P240
写真-3 T型と門型橋脚の裸鉄筋の直立(矢印部に直立裸鉄筋)^{7,8)}



T型橋脚・神P57
写真-4 柱の圧縮破壊^{7,8)}



(西) (縦向きの写真を横に図示) (東)
写真-5 倒壊区間の航空写真²¹⁾



(a) 神 P133 (全周で提灯座屈) (b) 神 P136 (斜め全断面に分布)
写真-6 倒壊区間内での軸圧縮破壊の痕跡^{3,4)} (↑白破線付記)

う途中の、ニュージーランド北東海域で遭遇(2000.11.18)した海震の報告²⁰⁾から、4回の海震を纏めたものである。この海震が最近の遭遇例と思われ、海震の粗密波(縦波)が相当な威力を持って深海から海面に伝わっている。表-3と表-4はその文献²⁰⁾にあるルドルフの震度階表(1898)とジーベルグの震度階表(1923)である。陸では現在忘れられている資料なのでここに転載した。海震は古くから経験されていた事を二つの震度階級表は物語っている。



写真-7 桑原浩治氏の路面の描画²³⁾

(3) 橋脚破壊事例の調査結果の要点

a) 衝撃的鉛直地震動による破壊の典型例

写真-1は鉄筋コンクリート(RC)の独立二本柱の橋脚が橋桁を支える区間(約650m)の構造を示す。兵庫県南部地震で生じた鉛直震動による、RC橋脚破壊の典型的な例を写真-2と-3に3例ずつ示す^{1,7,8)}。

写真-2の3例は写真-1の区間内、柱頭部のコンクリートが引張り力で壊されている。写真-2(a)ではコア・コンクリートが跳び出しており高周波の作用を暗示している¹⁾。写真-3の3例では橋脚の横梁が、柱上部コンクリートの一部と一緒に突き上げられて、梁側面部の柱の帯筋を切断した直後に、柱躯体を圧縮し、破壊している。上横梁は側方にずれていない。上記6例の裸鉄筋が直立していることは、この破壊には水平力が関与していないことと、この破壊が主震動の後で生じたことを表している^{1,7,8)}。

b) ピルツ橋区間の倒壊の真相

写真-4は柱の長さが約3m短くなる軸圧縮破壊をした橋脚の破壊状況である。柱が3m短い事を手掛かりにピルツ橋の倒壊区間を調べた。写真-5はピルツ橋脚の倒壊区間の斜め航空写真で²¹⁾、縦向きの写真を横向きに図示した。中央部から西側で高欄線が大

きく下がった部分が3ヶ所ある。そこでは4基の橋脚の柱長さが3m弱短くなっていた。その内の2基は写真-6に示すように、(a)神P133では柱鉄筋が全周で外方向に提灯座屈をし、柱は圧縮座滅破壊をした。(b)神P136では鉄筋の直角クビレが斜めの全断面にあり(白破線を付記)、この面に沿って落下し柱長さを短くした。柱の軸圧縮破壊の痕跡は倒壊の前に起きている³⁾。

付近の住民の証言¹⁸⁾では、主震動が治まった後に見た置時計は5時48分で、階下の孫2人が気になり、階下に降りようと屋外階段の踊り場に出た時に大音響を聞いて、その後にスローモーション的に倒れる高速道路の光景を見ている。この大音響は主震動で損傷した橋脚(鉄筋の塑性率3程度で自立)の内4基を、強力な鉛直震動が破壊して、この区間の倒壊(全17基)の引き金になった時の音とも考えられる³⁾。

(4) 新たに入手した高速道路走行者の証言と描画

この倒壊路面を西向きに走行していた桑原浩治氏の証言²²⁾を抜粋すれば、“道路がへびのように横にくねくねと揺れ、前輪と後輪が捻れるようでした。車は横にスリップし、十秒ぐらいしてから、今度は



写真-8 跳び笠石²⁴⁾



写真-9 タンクのダイヤモンド座屈²⁵⁾

縦に震動し始めました。道路の継ぎ目が上に行ったり、下に行ったりした。”と話されている。写真-7はその様子を描かれた絵²³⁾で、伸縮継ぎ手部で折れ、路面が上下変位をする状況が表されている。

同様な証言が、2径間の落橋部で墜落を免れた観光バス(スキーバス、神P40橋脚の上で前輪部張出し)の運転手の福本良夫氏の証言²²⁾にもある。証言を抜粋すると、“スピードは出ていませんでした。横揺れがきたので、とりあえず止まることと思いましたが、こんどは縦揺れで、道路が波打つんです。ブレーキをかけ、止まったとたん、前がバサッと落ちました。”と語られている。

3. 新たな呼称：後発鉛直キラーパルス

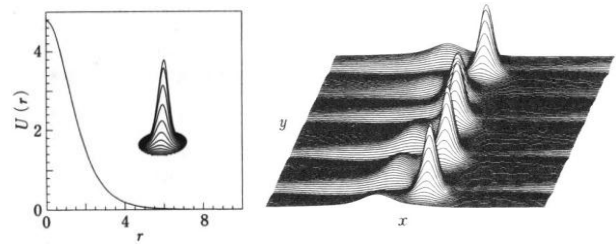
強力な鉛直地震動の存在を示す最近得られた資料に、写真-8の跳び笠石²⁴⁾と写真-9のタンクのダイヤモンド座屈²⁵⁾がある。この両写真は強力な鉛直地震動の存在を端的に物語っている。より強烈で複雑な鉛直地震動の痕跡があるのは、昨年紹介^{7,8)}した写真-10の函館大学校舎の破壊例²⁶⁾である。1階の柱は全面的に崩壊し、写真中央部の8パネルの間では4階建ての各階で柱が破壊している。それらが横方向にはらみ出していないことから、この破壊は主震動の後で起きていると判断できる。

前章で述べた海震と、橋脚の破壊事例から、強烈な鉛直地震動は主震動より10秒～3分程遅れて到達しており、その生じ方は場所により連続した破壊事例もあるが、写真-2,-3,-4,-6の例のように、多くは隣り合う橋脚で異なる破壊程度や形態を生じている。

その地震波は主震動が痛めた構造物をさらに破壊する波で、波の立体的なイメージは、エネルギーが



1階は全面破壊・中央部の柱は全階で破壊
写真-10 函館大学校舎の破壊例²⁶⁾ (1968)



(a) 切断図と立体図 (b) 列状の発生例

図-4 釣鐘型孤立波の例（ソリトン）²⁷⁾

局所的に集中した局在波の形態で、図-4に示す釣鐘型²⁷⁾の孤立波や列状の形が想像される^{7,8)}。

このような形態の波は従来の地震波とは、特に波長の規模が全く異なる波である。発生の時刻もずれていることから発生原因も異なることが予想される。さらに写真-10では非線形の波の可能性もある。

そこで従来の地震波とは区別する意味で、主震動の後から生じる強烈な鉛直震動を、“後発鉛直キラーパルス”と便宜的に呼ぶことにする。

4. 地震短期予知の早期実用化に向けて

4月14日～16日に熊本地域から別府地域にかけて発生した大地震の連鎖現象は、東日本太平洋沖地震の影響により、地殻の微妙な均衡を変化させていることが一因とも考えられ、日本列島全域が地震の活性期に入っていることを見せつけている。

前述の“後発鉛直キラーパルス”の正体を正確に掴むには、地震の短期予知の実用化が不可欠である⁵⁾。また地盤の歪み分布を詳細に把握しておれば、地震の発生と、発生後の展開も混乱なく的確に予測できるようになるはずである。

地表地盤の変化を超高精度で計測する事と同等の作業をしているのは、高エネルギー加速器研究機構(KEK)で、粒子加速器の運転管理の一環として地震の短期予知を実務上行っている²⁸⁾。その短期予知の手法を早急に普及させる必要があると考えたので、一昨年の発表⁵⁾より詳しくその要点を述べる。

a) 潮汐と気圧の変動による地表変位量

図-5は延長2.8kmの粒子加速器が周長変化をしているデータをフーリエ分析した図²⁸⁾で、中央部に潮

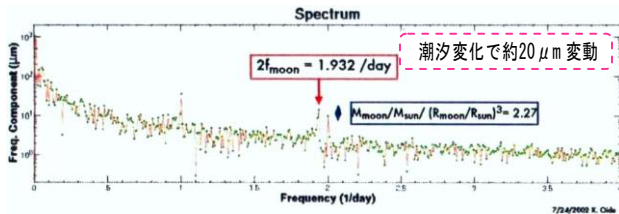


図-5 粒子加速器周長変化のフーリエ分析²⁸⁾ (一部加筆)

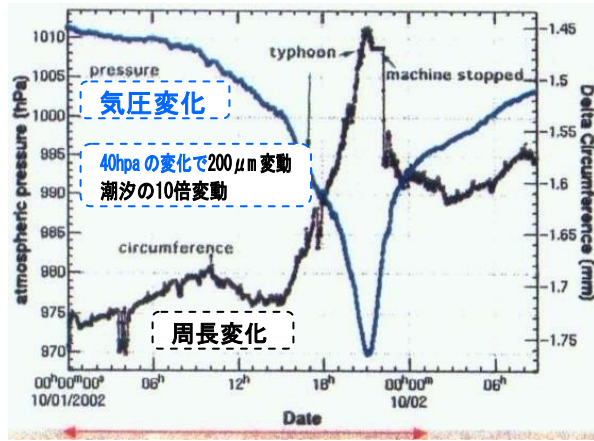


図-6 台風による気圧と周長変化の推移²⁸⁾ (一部加筆)

汐の変動が記してあり、約 $20 \mu\text{m}$ 変動している。

図-6は台風(2002.10.1,台風21号)による加速器の周長変化を示した図²⁸⁾で、 40hPa の変化に対し約 $200 \mu\text{m}$ 変動し、潮汐の10倍の影響量を示している。 $200 \mu\text{m}$ 余の変化で運転を停止している。

b) 高性能水管傾斜計による観測

周長変化を測る事は手間なので、その変化を代表して表す器具として高性能水管傾斜が考案された。

図-7は水管傾斜計のテスト計測をしている時に、兵庫県南部地震に遭遇した時のグラフ²⁸⁾である。中央部で大きくずれているところが地震の発生時で、その5日前から観測波形の下端が揃う現象が生じており、地震後は解消している。

すなわち、通常は大小の潮汐変化が疑似的軸対称の弾性変化をするが、地震発生時が近づくと軸非対称変化をする。この原因は震源断層が現れる近くの地盤が塑性化(非弾性化)するためとの仮説がある。

このグラフは非常に重要で、1例しか確認できていないのでこれ迄公表を控えてきたが、地震予知技術の現状を打破するために今回公表する事にした。

高性能水管傾斜計設備の制作と観測はそれ程高価ではなく、観測点を多く設定でき、相互のデータの検証がし易い利点がある。そして地震発生を数日前に予知できる価値は非常に高いものがある。

c) 超高精度地表変位観測

図-8はリング状の加速器の周長変化量から周期変動要因の量を除き、地殻変動要因のみの変化量をX、Y成分に分けて、変位が推移する状況を図示したものである²⁸⁾。地表は細かくはブラウン運動をしているが、時にはいろんな方向にも動きを示し、巨視的にはある優勢な変位方向がある事を示している。

この変位量は加速器の周長当たりの変位量なので、

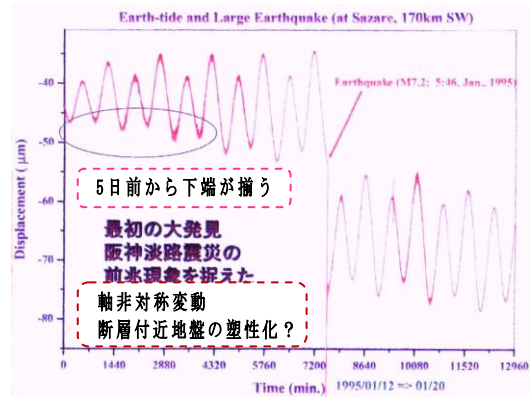


図-7 水管傾斜計の軸非対称変動²⁸⁾ (一部加筆)

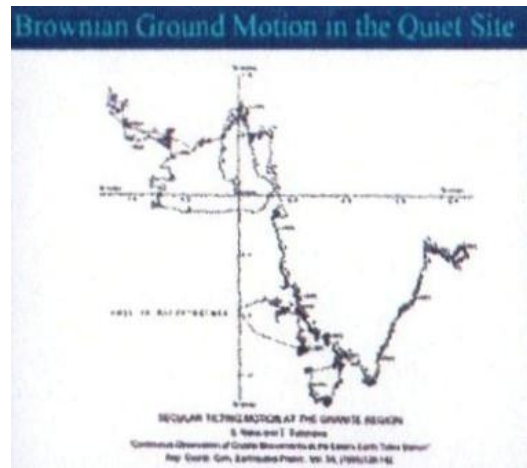


図-8 地表の2方向変位の状況⁸²⁾

この精度の変位を把握するには延長 1km 余のトンネルを2本直交させた計測設備がいる事になる。 1km を $1 \mu\text{m}$ の精度(10^{-9})で計測するので、 20km の距離を 1mm の精度(10^{-7})で計測するGPS観測より2桁精度が高く、この精度で実用的に有意な観測になる。

加速器の運転管理では周長の変化が規定値を超えると運転を停止する。この規定値の変位を起こす要因が、数百 km 離れた断層近傍に限界歪みに近い変形を起こさせている現象を捉えていると想定される。

d) KEKでの地震短期予知手法の骨子

KEKでは加速器の運転管理で、超高精度地表変位量の観測(歪み蓄積の検出)と、高性能水管傾斜計の観測(破壊時期の推定)とで、有害な地震の影響を避けている。地震学が規定する地震予知の規格とは異なるが、その地点に有害な地震が起こるか起こらないかを判断できれば、実用的にはこの地震予知法で充分役に立つのである。

e) 地震短期予知法の普及に向けて

南海巨大地震の発生に対して高性能水管傾斜計でその兆候を掴むと有益である。この方法は現在確立した手法ではないが、広範囲の多数の地点で観測をした結果が有意なものと判断できれば、地震防災上大変役立つことになる。

延長 1km 余のトンネルを直交させた変位観測設備が拠点的に国内で10数ヶ所程できれば、GPSの観測

網を補え、国土全体の地殻歪みの正確な蓄積情報が徐々に整備できる。これは国土の保全と地震・火山防災にも、地震学の進歩にも不可欠の事業になる。

地震短期予知に関しては各種の電磁波観測法や東海大学で開発されたR T M法等と組み合わせる事でより精度を向上できる⁵⁾。

5. むすび

熊本地震でも鉛直震動による破壊例²⁹⁾が見られ、より強烈な破壊現象(写真-10)を考慮すると、緊急の課題としてウラン燃料棒の耐震安全性が危惧される。5年前に東日本大震災の発生で感じた、破壊的な鉛直地震動の現象に対する原子力施設への危惧が、熊本地震での大地震の連鎖的な発生を受けより深刻に感じられて、懸案の解決を急がねばならない事態になっている。

破壊的な衝撃的鉛直地震動の現象について、本文の2章と3章で新たに入手した資料も交えてその特徴の要点を説明した。主震動の後から起きる問題の地震波は従来の地震波とは特徴が異なるので、“後発鉛直キラパルス”と便宜的に呼ぶことにした。しかし、この現象を起こす地震波は地震計で、3次元的な構成形態を含め、正確にはまだ観測されていない。

これを正確に観測するには地震の短期予知の実用化が不可欠である。その有効な手法について、一部検証が不十分な情報も含むが、地震防災上からも早急に手を尽くす必要があるので、4章で高エネルギー加速器研究機構が行っている、有害な地震の影響を避ける地震予知法の要点を、一昨年の発表に加えて少し詳しく紹介した。この方法の効果的な普及が望まれる。

見落とされてきた破壊的鉛直地震動の現象に関連する課題が、一日でも早く解決されることを期待して、5回にわたる一連の発表のむすびとする。

参考文献

- 1) 前原博，櫻井春輔：構造物の地震時衝撃破壊の代表例について，国交省近畿地整局 平成24年度研究発表会，防災・保全部門No. 19，平成24年7月．[HPよりDL可]
- 2) 前原博，櫻井春輔：高架橋の柱の典型的な地震時衝撃破壊事例，第47回地盤工学研究発表会 745，2012年7月
- 3) 前原博，櫻井春輔：海震と証言による橋脚の地震時破壊原因の見直し，国交省近畿地整局 平成25年度研究発表会，防災・保全部門No. 13，平成25年7月．[HPよりDL可]
- 4) 前原博，櫻井春輔，園田恵一郎：地震時の破壊的な粗密波の存在と橋脚の破壊原因の見直し，安全工学シンポジウム2013，GS3-2，平成25年7月．
- 5) 前原博，櫻井春輔：地震時の破壊的衝撃動の特徴と地震直前予知の実用化について，国交省近畿地整局 平成26年度研究発表会，防災・保全部門No. 22，平成26年7月．[HPよりDL可]

- 6) 園田恵一郎，前原博，櫻井春輔：都市直下型大地震での公共構造物の被害の特徴－阪神大震災からの教訓－，安全工学シンポジウム2014，GS6-2，平成26年7月．
- 7) 前原博，櫻井春輔：阪神淡路大震災での衝撃的鉛直地震動とその局在波的特性，国交省近畿地整局 平成27年度研究発表会，防災・保全部門No. 19，平成27年6月．[HPよりDL可]
- 8) 前原博，園田恵一郎，櫻井春輔：見落とされている強力な衝撃的鉛直地震動の問題を考える，安全工学シンポジウム2015，GS6-2，平成27年7月．
- 9) 前原博，園田恵一郎，櫻井春輔：巨大地震での高架橋RC橋脚の鉛直衝撃破壊とその出現形態，日本地震学会 2015年度秋季大会 講演予稿集S22-13，pp48，2015年10月．
- 10) 櫻井春輔，Chouw Nawawi，石川信隆：兵庫県南部地震(1995)における上下動は存在した，日本地震学会 2015年度秋季大会 講演予稿集S22-14，pp48，2015年10月．
- 11) 園田恵一郎，櫻井春輔，野中泰二郎：直下地震における構造物への衝撃的突き上げ力，日本地震学会 2015年度秋季大会 講演予稿集S22-15，pp49，2015年10月．
- 12) 茂木清夫，望月裕峰：1980年伊豆半島東方沖地震の震源直上でのハイドロホンによる高周波震動の観測とそれによる地震断層の位置の推定，東京大学地震研究所彙報，Vol. 55-4，pp1017-1041，1981. 3.
- 13) 茂木清夫：地震予知を考える，岩波新書，pp84，1998. 12
- 14) 佐藤孫七：海震の話，気象，pp6-9，1968. 2.
- 15) 馬場栄一・広島大学名誉教授(船舶工学)より提供．
- 16) 大阪フェリー協会：窮して通ず，阪神大震災フェリー対策協議会活動記録，pp64，69-70，平成8年1月．
- 17) 神戸海運監理部運輸部運輸管理官：平成7年1月17日5時46分「そのとき旅客船は・・・」アンケート報告，pp3，22，平成7年8月
- 18) 園田恵一郎，小林治俊，長野圭：兵庫県南部地震一初期上下動の証言について，大阪市立大学工学部紀要・震災特別号 別刷，pp189-260，1997. 1.
- 19) 鳥羽徳太郎：1995年兵庫県南部地震津波の規模および波源域，pp461-466，地震 第2集第49卷(1997)．
- 20) 吉村浩，合田政次，村尾彰：ニュギニア東方海域で遭遇した海震と海震震度階級について，日本航海学会誌 149. 号，NAVIGATION pp107-110，平成13年9月．
- 21) 朝日新聞社：報道写真全記録大震災一年，pp4，1996年1月．
- 22) 佃為成：大地震の前兆と予知，ASAHI NEWS SHOP 朝日新聞社，pp65-67，1995年4月．
- 23) NHK 巨大地震メガクエイク，2010. 1. 17放映の画像
- 24) 竹内隆・元神戸新聞社情報科学研究所職員より提供
- 25) 消防庁編集：阪神淡路大震災の記録 第1巻，グラフシア pp7，(株)ぎょうせい発行，平成8年1月17日．
- 26) <http://www.setsunan.ac.jp/~cibata/Photo3.htm>
- 27) 川原琢治：ソリトンからカオスへー非線形発展方程式の世界ー，p161，朝倉書店，1993. 5.
- 28) 吉岡正和：大型加速器計画と岩盤工学，建設工学研究所，岩盤工学講演会資料，2009年2月．
- 29) 例えば熊本市内の1 階がパンケーキ型クラッシュのビル(千場歯科ビル，赤茶色のマンション・ビル等)