

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

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,エクレール御池707号)

²神戸大学都市安全研究センター 内陸直下型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)

“海震で船舶が損壊するときの波は粗密波である,という海震の常識が忘れられている。”のキャッチフレーズの下に,海震関連の現象を調べ,兵庫県南部地震での橋脚の特徴的な破壊事例等を紹介し,その破壊原因を見直して,過去2ヵ年本研究発表会等で報告してきた。その結果,地震時の破壊的衝撃動の存在と特徴をかなり明らかにできた。さらに破壊事例を紹介し考察を加えて,地震時衝撃動の特徴を整理する。この問題の波動はまだ地震計で捉えられていないので早急に捉える目的と,減災の基本事項である地震直前予知の実用化について述べる。

キーワード 地震時衝撃動, 衝撃破壊, 地震直前予知, 地震予報, 電磁波, 地下天気図

1. はじめに

地震時の強烈な衝撃的震動については,まだ地震計で把握されていないので,その正確な正体は不明である。兵庫県南部地震の直後に構造物の衝撃的な破壊について注目¹⁾されたが,その後この話題は下火になった。

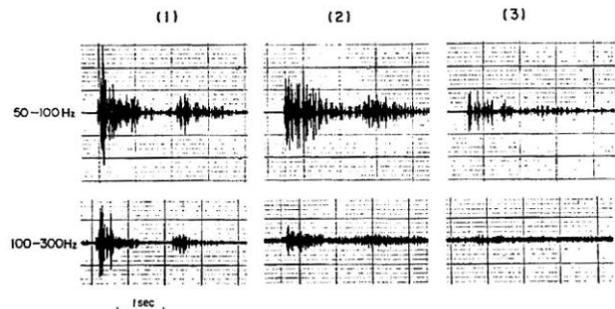
しかし船舶工学の専門家から,冒頭の要旨で述べたキャッチフレーズの前半が指摘されて,過去2ヵ年本研究発表会等で,海震の現象と,兵庫県南部地震での橋脚の衝撃破壊的な事例と住民の証言等を紹介する中で,このフレーズが形成され定着した。過年度の発表では地震時の衝撃的震動(以下衝撃波という)の存在を明らかにし,その特徴的な破壊事例の要点を紹介してきた^{2,7)}。

本論文では,海震現象から得られた資料と知見を整理し,橋脚の数多くある特殊な破壊事例の中から,特色がある事例を選択し考察を補足して,破壊状態から見た地震時衝撃波の特徴を述べる。そして,問題の強烈な衝撃波は簡単には計測できないので,その正体を早急に把握するには,地震直前予知を実現させ,計器を震源断層付近に配置して観測する必要がある。一方,防災と減災の分野では,地震直前予知は必須の事項なのに,あまり取り上げられていない。そこで最近得られた有用な地震予知の手法を紹介し,実用化に向けての展望を述べる。

2. 海震現象が示す地震時衝撃波の特徴

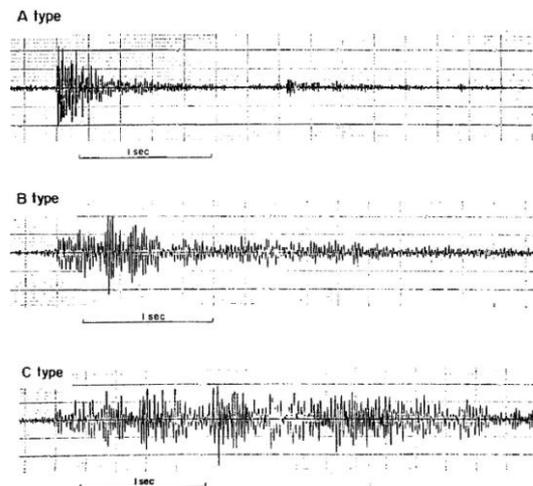
以前に報告した海震現象に関する資料の内,重要な図

表を本文にも再掲する。図-1と図-2は茂木先生達によるハイドロホンでの観測(伊豆半島東方沖地震, M6.7, 1980)の周波数帯別観測例と波形の拡大図である^{6,7,8,9)}。



(1) 浅発型, (2) 中間深さ型, (3) 深発型

図-1 海震の観測波形・周波数帯別同時観測の例^{6,7,8,9)}



A 浅発型, B 中間深さ型, C 深発型, 横棒長さ=1秒

図-2 海震の観測波形・3分類の波の拡大例^{7,8,9)}

表-1 海震の体験例^{3,7,12,14)} (昭和8年三陸地震, 1933. 3. 3)

船名	トン数	状況
1 もんてびあ丸	9,700	エンジンの racing のような強い振動 4 分間.
2 小倉丸	7,270	激動、3 分間.
3 摩耶丸	3,145	激動、3 分間. 全速でエンジンを後退したよう.
4 平安丸	11,500	上下の激動、5 分間、羅針盤が跳び出すかと思うほど.
5 得撫丸	220	強烈な振動、1 分間.
6 誠進丸	50	上下の激動、5 分間、船が折れるかと思うほど.
7 東星丸	5,484	激動、3 分間. 2 秒、その後 2 回の微動. (余震)
8 光洋丸	8,000	強い上下動、3 分間. (余震)

表-2 海震による損壊例^{7,12,14,15)}

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	ノルウェイの 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	カムチャッカ沖	M8.25~8.4 の地震、ハッチ コー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

この図-1, 図-2は余震時に約一千例観測された内の、数少ない貴重な公表波形記録の一部で、浅発型・中間深さ型・深発型の 3 種類がある。これらの波が観測船を突き上げている¹⁰⁾。

雑音が多いとの理由で、周波数分析はされてない¹¹⁾ため、波形図から卓越周期は60~70Hz, 120~140Hzと推定した^{2,3,6,7)}。このような周波数の地震波は普通の強震計では記録できない。そして重要な現象として、本震に先行して生じた群発地震ではこれらの波は観測されなかった¹⁰⁾。

表-1は昭和三陸地震(M8.1, 1933)での海震の体験記録である。本震でも余震でも強烈な震動を長い時間受けている^{3,7,12,14)}。他にも海震の体験記録は多く伝えられており^{12,13)}、海震の威力はかなり強い事がわかる。しかし海震で船本体が破壊した例は国内にはなく、国外での損壊例に、兵庫県南部地震でフェリーのシャンデリア 2 個が落下した例を加え、表-2に海震による損壊例を纏めた^{7,12,14,15)}。まれば海震が大型船を損壊する事を示している。

図-3は兵庫県南部地震時の明石海峡付近のフェリーの位置図^{5,6,7,16)}で、その中のあさぎり丸とクイーンダイヤモンド号の詳しい位置図を図-4に示す^{3,6,7)}。両船は海震の衝撃を 2 度受けており、2 度目の方が衝撃力が大きい¹⁷⁾。クイーンダイヤモンド号での 2 度目の衝撃は、本船が大きく翻弄された時に受けている¹⁷⁾。当時の気象は無風状態なので、大型船を翻弄した波は、海岸が本震で揺れ起きた表面波が伝わり船を翻弄し、その時鉛直衝撃波を受けたと解釈し、この地震での津波の波源域を推定した図-5^{6,7,18)}から平均波速を求め、離岸距離から到達時間を求めると約 3 分後となる^{6,7)}。この時間差はあさぎり丸で 2 度目の衝撃を受ける迄に行った点検¹⁷⁾の時間に馴染む値である。鉛直衝撃波は本震の約 3 分後に生じている。

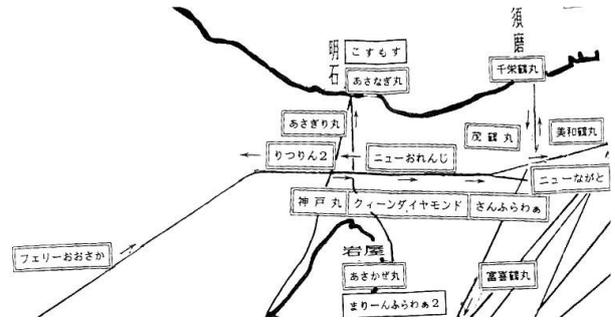
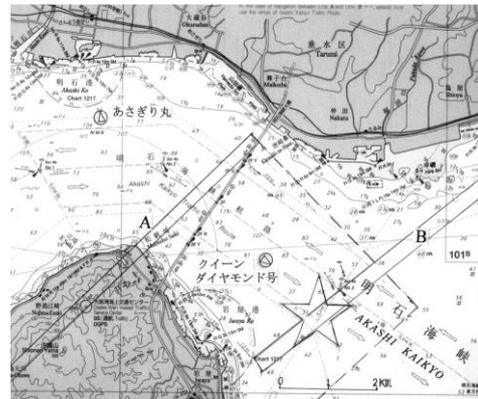


図-3 フェリーの位置図^{5,6,7,16)} (明石海峡付近地震発生時、部分を編集)



☆ 震央、A 野島断層、B 須磨断層

図-4 クイーンダイヤモンド号とあさぎり丸の位置図^{3,6,7)}

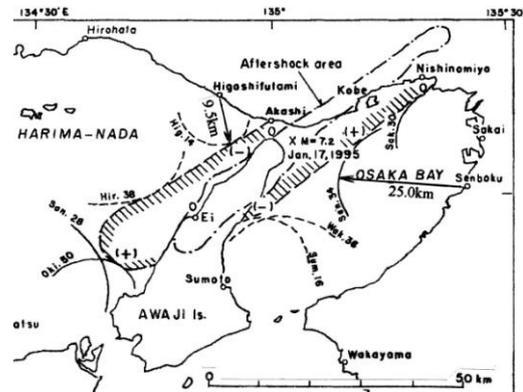


図-5 波源域の推定図^{6,7,18)} (波速の推定測線を記入、部分を編集)

3. 橋脚の破壊状態が示す地震時衝撃波の特徴

地震時衝撃波による橋脚の破壊状態には、引張破壊と圧縮破壊の 2 種類がある。図-6は両方の破壊形態が生じた区間の構造の横断面図である^{3,19)}。同じ橋脚番号で独立したコンクリート柱二本(山側, 海側)が、上部工の桁の剛な横梁を支え、柱の横断方向幅は1mに統一してある。

図-7はコンクリート柱の先端が引張破壊をした代表例(神P465・山側)^{23,67)}で、柱の鉄筋籠が露出し、内部コンクリートが跳び出して、向こうが透けて見える。図-8(a)(神P472・海側)^{23,67,19)}ではコンクリートがなくなった所まで横桁が落下している。しかし柱片面の鉄筋が裸で直立している。

この状態はこの破壊が起きた時に、水平力は働いてな

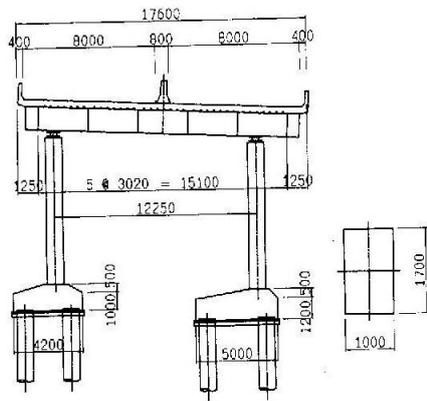
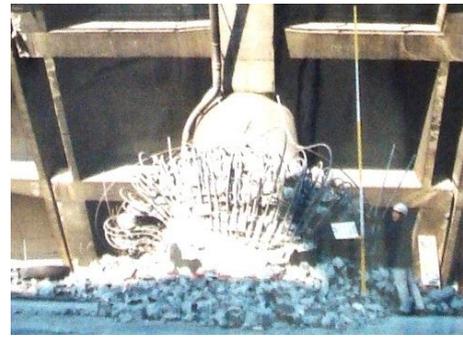


図-6 橋脚(二本柱区間)の横断面^{3,19)}



神P465(山側柱)^{2,3,6,7)}
図-7 引張破壊の代表例

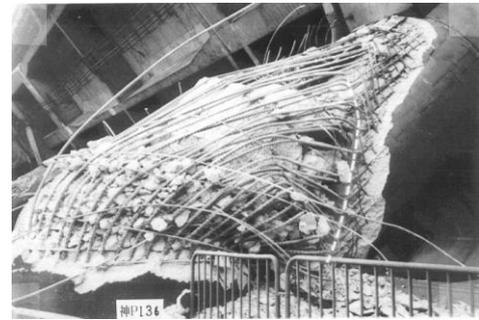


鉄筋が全周の外側に座屈
図-9 ピルツ橋脚の特殊破壊・神P133^{7,20)}



↑(b) 神P472(山側柱)³⁾
←(a) 神P472(海側柱)^{2,3,6,7,19)}

図-8 引張と軸圧縮破壊



引張域迄鉄筋の直角クビレが分布(白色破線)
図-10 ピルツ橋脚の特殊破壊・神P136^{5,6,7,21)}



図-11 神P150, 圧縮破壊だが裸鉄筋直立²⁰⁾

いことを示している。図-7や図-8(a)の破壊状態を爆裂破壊と呼ぶことにした。図-8(b)は同じ神P472橋脚の山側柱基部が圧縮破壊をした状況である。同じ橋脚番号の位置で山側と海側で異なる破壊形態が生じている。このような破壊状況は水平震動では生じない。強力な破壊力を持つ鉛直波動・衝撃波の存在を証明している³⁾。

図-9と図-10はピルツ橋脚の倒壊17基(神P126~P142)の中で、倒壊後柱の長さが短くなった4基中2基の破壊部の鉄筋の状況を示す。図-9は神P133橋脚の状況で鉄筋は全周に亘り外側に座屈している^{7,20)}。柱は軸方向に座滅破壊し、鉄筋は外側に提灯座屈した後に、北側に倒れている事を示す。図-10は神P136橋脚の状況で、倒れた状態の引張域迄鉄筋に直角クビレが分布している^{5,6,7,21)}。その部分に白色破線を付けている。この状況は倒壊前に、柱が鉄筋のクビレ線に沿った面で、軸圧縮によるせん断破壊を生じズレ落ちた事を示している。他の2基も柱が北西方向にズレ落ちており、この4基の軸圧縮破壊が、17基分が北側に倒壊する直接の原因になっている⁷⁾。

橋脚の時刻暦応答解析の結果は、主震動に対して鉄筋の塑性率は3程度²²⁾なので、損傷度は大きい柱は自立していた筈である。付近の住民の証言によると、主震動が治まった後で見た時計は5時48分で、その後階下に降りようとした時に大音響を聞いている¹⁷⁾。この大音響は鉛直衝撃波による柱の破壊と解釈すれば、時間的な経過も前章で述べた海震での現象と整合する。

裸鉄筋が直立している状況の橋脚の破壊は、別の場所でも生じており、その一例を図-11(神P150)²⁰⁾に示す。この破壊の形態は圧縮破壊だが先端の鉄筋が直立している。この状態が生じるには、突き上げ荷重状態で横梁側面部にある、柱の主筋を巻いていた帯筋を切断し、次の瞬間に下向き荷重状態になり、柱を圧縮破壊したと解釈される。一方、神戸大学海事科学部構内の大型コンクリート蓋の反転と書棚ロッカーの飛び跳ね現象から、地表面の鉛直速度は2.2~2.4 m/s が得られている²⁰⁾。

図-1(1)の様な波が、粒子速度2 m/sでコンクリートの柱下面に入射すると、図-8(a)の様に上端が飛び散る考察が文献³⁾にしてある。図-7や図-11も含め、高周波の衝撃波でないこうした状態は生じないと推察される。

平面的に見ると、橋脚の柱に対し強烈な力が局所的に働いており、非線形波動のソリトン(孤立波)の特徴を表していると思われる。地震時の衝撃波に関する現象には、発生原因は元よりその性質や正体等、安全対策上課題になる多くの未解明の事柄が残されている。

4. 地震直前予知の実用化の展望

(1) 電磁波伝播異常観測法の発達

兵庫県南部地震を契機として電磁波の伝播異常の観測から地震予測法が発達した。その代表的なものの三方法に仮の呼び名を付け、a.串田法^{24,25)}、b.森谷法²⁶⁾、c.早川法²⁷⁾と呼ぶことにし、各方法の概略を極簡単に紹介する。

図-12²⁶⁾に串田法と森谷法の概況と主な雑音源を示す。この両方法とも発信局の電波を直接受信しない場所で観測する形態(見通し域外観測)をしている。図-13に串田法(FM波)の観測波形の例を示す^{24,25)}。串田法は流星観測の補助的観測法から発展した方法で、この分野の観測の先駆けをなしている。FM局の周波数より100kHz程ずらして受信周波数を設定すると基線にいろいろな変化が生じる。

図-14に森谷法(VHF波)の観測波形の例を示す²⁶⁾。森谷法では見通し域外観測地点で、発信局の周波数に設定しておく、散乱波(地震エコー)が観測される。

早川法(VLF, ULF波)は成層圏以下で反射を繰り返して伝わる電波(オメガ波)の、夜間の平均振幅の変化を観測し、振幅の変化を標準偏差 σ の度合いで評価する。その観測データの例を図-15に示す²⁷⁾。各観測法の形態の特徴を表-1に、地震の推定法の要点を表-2に纏めている。串田法と早川法では会員制の地震情報が発信されている。

(2) 地下天気図(RTM法)

前節の例とは原理が異なり、長尾教授等により最近できた地震予測の手法に、図-16に示す地下天気図(RTM法)がある^{28,29,30)}。この方法は中小地震の発生状況を、地域R,時刻T,大きさM別に指標化し、その積の値を地図上に示して地下天気図と名付けている。これは多数の地震計が全国に配置され、それらが連続観測されるようになり作られた新しい予測方法である。

この方法の特徴は地震活動の活性度が高いとRTM値が正(赤色系)になり、低いと負(青色系)になり、通常は0で、その程度を地図上に示している。能登半島地震(M6.9, 2007)での例を図-16(a), (b)に示す³⁰⁾。地震は本震の前に通常静穏期があり、その特性を捉え本震の発生時期・場所・大きさを予測する。本震の震央は静穏度が大きい範囲の端に普通生じる。

(3) 加速器の運転管理が地震直前予知をしている例

高エネルギー加速器研究機構(KEK, つくば市)では粒子を互いに反対方向に加速し、1点で衝突させ素粒子の跳び出し状況を観察している。その加速器は延長が約3kmある。太陽や月の引力、潮汐の影響および気圧の大変動によって地殻が変形する。図-17に加速器の周長の変化をフーリエ分析した例を示す³¹⁾。中央の赤矢印の位置が潮汐の影響を示し、その変動量は約20 μ mである。

図-18は台風時(21号, 2002.10.1)の気圧と周長の変化の

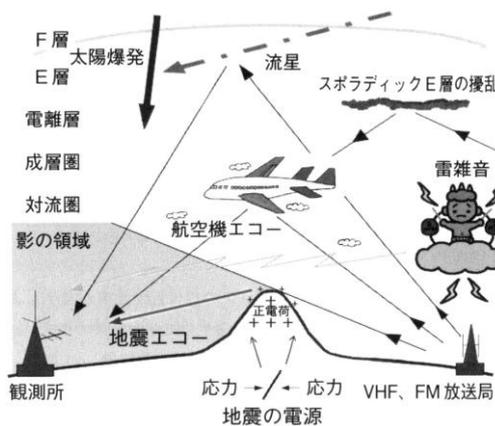
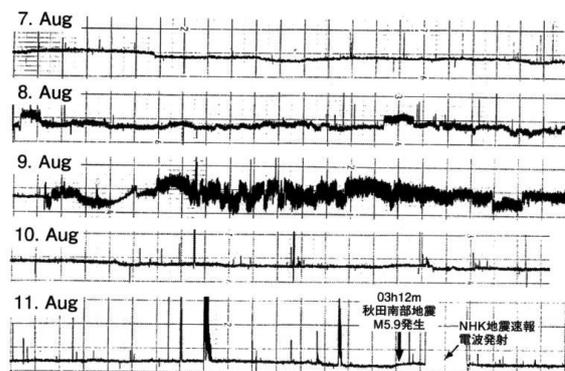


図-12 電磁波観測法の概況と主な雑音源²⁶⁾



1996年8月11日発生、秋田内陸南部地震M5.9の際の前兆観測例(BF変動に基線幅増大BTが加わった前兆変動例)

図-13 串田法の観測波形の例^{24,25)}

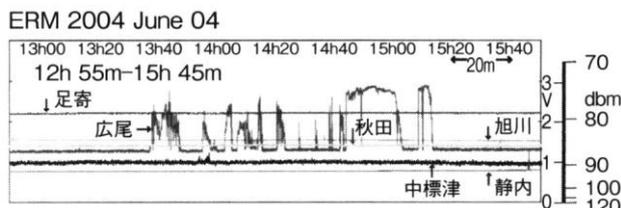


図-14 森谷法の観測波形の例²⁶⁾



図-15 早川法の観測データの例²⁷⁾

表-3 代表的な電磁波観測法と形態の特徴²⁴⁻²⁷⁾

観測方法(呼称)	電波帯域	観測法の基本的な形態・特徴
a. 串田法	VHF (FM)	・センターチューニングメーター(設定周波数±300kHz)とペンレコーダーを用いた観測。 ・基線の変化(BF, PBF, BT等の前兆)。 ・前兆期(発現・極大・収束)→静穏期→地震。
b. 森谷法	VHF (FM)	・地震散乱波(エコー)の観測(目標局周波数)。 ・前兆期(発現・断続・収束)→静穏期→地震。
c. 早川法	VLF (オメガ波) [ULF]	・夜間平均振幅の変化。 ・異常振幅の検出(2 σ , 3 σ)

・いずれも深さ約30km以深、M5.0程度以上(陸域)の地震を対象。

表-4 代表的な電磁波観測法の地震発生推定法²⁴⁻²⁷⁾

観測方法(呼称)	地震発生標準的推定法			備考
	位置	規模	時期	
a. 串田法	・対象候補局の受信可能領域の重複部	・PBFの継続時間計(TM)からMを推定(TMの値÷震源断層長L km).	・発現極大,収束,静穏の特微期間相互の経験比例式から算定.	・a, b.の観測は発信局の見直し領域外の観測. ・a.はBTの発現・収束時刻から地震発生時刻を推定.
b. 森谷法	・対象局と受信局間の対象局側領域	・地震エコーの発現時間計 Te から揺れの震度階 I を推定.	・収束後(静穏期)は0~9日.	・b.は北海道地域で発達した方法.
c. 早川法	・対象局と受信局間の受信領域の重複部	・2σ超→M5以上 ・3σ超→M6以上	・異常検出日から5~13日後.	・c.は近距離地震の震央推定を目指しULFの3成分観測を一部で実施.

・3観測法とも海域地震では影響度の減衰と発信局難から精度が低下(Mで0.5~1.0程低下).

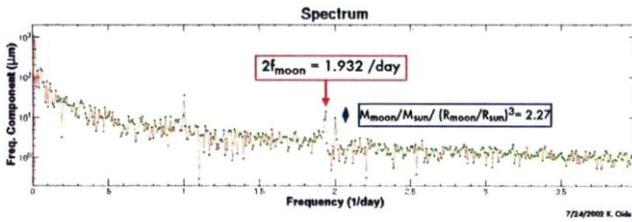


図-17 加速器の周長変化のフーリエ分析³¹⁾

関係を示した図である³¹⁾. 気圧が約 40 hpa 変化した時, 周長は約 0.25mm 変化している. 潮汐の影響の 10 倍以上の影響が出て, ピークを過ぎて加速器の運転を停止(約 200 μm 変動)している.

このような経験から, 気圧変動や潮汐の影響は事前の情報から影響量が予測できるが, 予測を超える事が時々生じる. 加速器の加速軌道が変わると衝突予定位置が狂い, よい観測ができないので, 軌道周長管理で既定値を超えると運転を停止する. この予測していない原因による運転停止をすればらくして地震が起きる. すなわちこの運転停止が事実上の地震直前予知を兼ねている³¹⁾.

図-19 は周長変化量から周期的変動量を除き, 2方向成分に分け変位の変化を示した図である³¹⁾. 地表の変位状況を表しており, 細かくは不規則なブラウン運動をしている. 大まかにはある方向に優勢な変位をしている.

地震観測所では普通延長 100m 程で地殻のひずみを観測しているが, それからは地震の直前予測はできていない. 計測単位当たりの測定方法は似た精度なので, 両者の違いは測定長さの違いが計測精度に反映していると思われる. 有用な超高精度の地殻ひずみの計測は, 加速器の直径程の長さで計測すればできる事を図-19 は示している. それに加え地震予測のノウハウを KEK では蓄積している. この予測法は従来の地震学での地震直前予知の定義とは趣が違い, その観測地点で有害な地震の揺れがあるかないかを判断する. しかし工学的にはその経験の有用性を活かす事が望まれる.

(4) 実現が望まれる地震直前予知

以上に述べた電磁波観測法, 地下天気図(RTM法),

2007年, 能登半島の地震 (M: 6. 9)

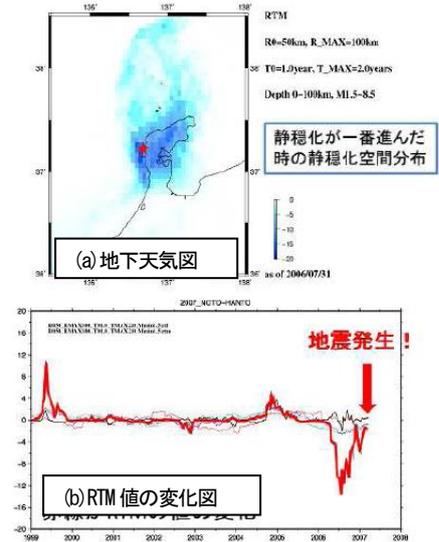


図-16 地下天気図と RTM 法の例³¹⁾

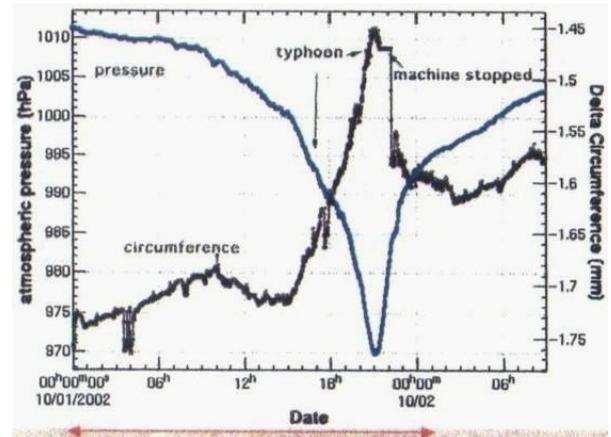


図-18 台風による気圧と周長変化の推移³¹⁾

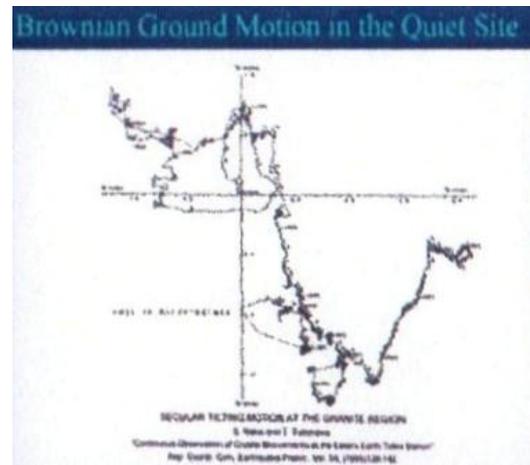


図-19 地表変位の状況³¹⁾

KEKの加速器運転実務の経験(地表変位状況図)等の地震予測の方法は, いずれも地震の直前予測方法を経験的に蓄積したもので決定論的に地震の予知をするものではない. またそれぞれに特有のまぎらわしい現象や未解明の

領域を抱えている。しかしこれらの3種類の手法はその原理が異なり、異なる3種類の方法を組み合わせると、結果が一致すればこれまでの予測精度を大きく改善できると考えられる³²⁾。また新たに開発されている手法³³⁾やGPSのデータを活用すると信頼性がより高くなる。

さらに超高精度のひずみ観測地点を、東海から九州にかけて何ヶ所か設ければ、地殻変動の状況を検証でき、南海巨大地震での大地震領域の連動の評価もできると思われる³²⁾。それができると地震予知情報(予報)が天気予報と同じように扱われる時代が到来する。

5. まとめ

本文の3章で述べた、地震時の強烈な衝撃波は、本物のキラパルスであるが、冒頭の要旨で述べた通り、海震の常識が地震の専門家のみならず、言論界や世間一般からも忘れられ、その正体はまだ掴まれていない。シビアアクシデントに対して安全な対策を講じるには、早急にその正体を把握しなくてはならない。そのためにも地震予知を実現させ、有効な観測態勢をしなくては必要がある。

2012年8月に内閣府から公表された南海トラフ地震の被害予測では、死者の総数は32万人で、その内の23万人強が津波による死者数である。この数は地震後10分以内に2割しか避難の開始をしなかった場合である。10分以内に全員が避難をした場合は約1/5、4万人強まで減少できるとされている。

この予測死者数の差から地震予知が実現すれば19万人の生命が助かる事になる。さらに建物による死者数の軽減を加味すれば、20万人以上の生命を救えることになる。しかしながら、防災訓練などに安全対策の要諦であるべき地震予知の情報を、活かす配慮は少しもされていない。こうした状況は早急に改善しなくてはならない。

国による地震の直前予知は広域的には行われていないので、人命を救い被害を軽減するには、関係する地域が行動を起こし³⁴⁾、南海巨大地震に対する直前予知を実現することが望まれる。

参考文献

- 1) 地震予知総合研究振興会：材料・構造物の衝撃的破壊現象とその防止に関する調査 報告書、平成8年度科学技術振興調整費、平成9年3月。
- 2) 前原博、櫻井春輔：構造物の特徴的な地震時破壊例と関連事象による新しい見解、土木学会関西支部 平成24年度年次学術講演会、I-48、平成24年6月。
- 3) 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]
- 4) 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。
- 5) 前原博、櫻井春輔：兵庫県南部地震でのピルツ橋区間の倒壊原因の見直し、土木学会関西支部 平成25年度年次学術講

- 演会、I-30、平成25年6月。
- 6) 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。
- 7) 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]
- 8) 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、Fig.7(1)、15、1981.3。
- 9) Kiyoo Mogi：Experimental Rock Mechanics, CRC Press, pp267, 2006.11。
- 10) 茂木清夫：地震予知を考える、岩波新書、pp84、1998.12。
- 11) 東大付属図書館地震研究所図書室の回答：ノイズが多いため詳細分析せず(茂木望月氏に問合せ結果)、5/07/2012。
- 12) 佐藤孫七：海震の話、気象、pp6-9、1968.2。
- 13) 佐藤孫七：海震・体験あれこれ、気象、pp26-28、1978.1。
- 14) 馬場栄一・広島大学名誉教授(船舶工学)より提供の資料。
- 15) 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。
- 16) 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。
- 17) 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。
- 18) 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巻(1997)。
- 19) 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(投稿中)。
- 20) 阪神高速道路株式会社：震災資料保管庫 震災状況写真集(橋脚) No.13より該当部分を複写編集。
- 21) 前原博收藏の写真資料。
- 22) 阪神高速道路公団：大震災を乗り越えて—震災復旧工事誌一、pp191、平成9年9月。
- 23) 西岡俊久：衝撃的地震力による構造要素の動的破壊に対する基礎研究、神戸商船大学震災研究会研究報告 第2号、pp273-295、1997.1。
- 24) 串田嘉男：地震予報に挑む、PHP新書、2000年9月。
- 25) 串田嘉男：地震予報、PHP新書、2012年11月。
- 26) 森谷武男：地震予報のできる時代へ、青灯社、2009.11。
- 27) 早川正士：地震は予知できる、KKベストセラーズ、2011.12。
- 28) Nagao, T., A. Takeuchi and K. Nakamura：A new algorithm for the detection of seismic quiescence: introduction of the RTM algorithm, a modified RTL algorithm, Earth Planets Space, 63, 315-324, 2011。
- 29) 長尾年恭：次の南海トラフ沿いの地震は超巨大地震か〜見えてきた地震像と地震予知研究の最前線〜、ひょうご科学技術協会、第31回ひょうご科学技術トピックスセミナー講演資料、平成25年11月。
- 30) 長尾年恭：地下天気図—RTM法および関連する技術—、東海大学地震予知研究センターHP、2012.3。
- 31) 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。
- 32) 前原博、櫻井春輔：地震予知の実施例の紹介と実用化に関する展望、土木学会関西支部 平成26年度年次学術講演会、I-38、平成26年5月。
- 33) 日本地震学会地震予知検討委員会編：地震予知の科学、東京大学出版会、2007年5月。
- 34) 佃為成：東北地方太平洋沖地震は“予知”できなかったのか、ソフトバンククリエイティブ、p186、2011年6月。