

津波に関する防災・減災について(東日本大震災からの教訓)

日本マクロエンジニアリング学会シンポジウム(2014年11月8日)

講演要旨

北見辰男

はじめに

東日本大震災を振り返り、得られた教訓を基に津波災害に関する防災、減災について若干の提案をします。

目次

- A 黒い津波
- B 津波に抵抗する都市計画(案)
- C 役立つ地震予知技術の可能性
- D 帰らざる人々を出さないようにしよう

A 黒い津波

東日本大震災のテレビに映された津波は異様に黒かったのが印象的であった。津波が黒いのは、海底玄武岩の粉砂が海水中に拡散しているからではないかと考える。海洋プレートの沈み込みで発生、拡散し海溝や海底に堆積した玄武岩の粉砂が津波にまき込まれて海岸まで運ばれたのではないか。玄武岩は海底の基盤になっており、鉄分も含み黒色である。専門家によると、鉄分が海水中に溶け込むと植物プランクトンが増殖するということである。この鉄分の多い海水が三陸の豊かな水産業の発達に関連しているのではないか。また、東日本の海岸に多い砂鉄は、日本列島が形成された太古より繰り返された津波と関係があるのではないかと考える。

A-1 津波はなぜ黒いか(推測)

- 玄武岩の粉砂ではないか。
- 海底は主に玄武岩である。玄武岩は黒色である。
- プレート境界でプレート間摺動により発生した粉砂か。
- 海洋プレートの滑り込み時発生した海溝堆積物中の粉砂か。
- 地下の高温とプレート間摩擦熱等で生成したマグマ(溶融物)が地震発生とともに、断層面から水中に噴出、水砕現象で粉砂となり海水に拡散したとも考えられる。
- 水中で拡散した粉砂が津波とともに海岸に運ばれたのではないか。

- 粗い砂は、海溝、途中の海底に沈積する。過去の津波で海底に堆積した粉砂が津波でまきあげられたか。

A-2 岩石の溶融（参考）

- 地下の温度は、100m ごとに約 2.5 度前後高くなる。地下 30—40km では、通常でも 700℃前後となる。地下 30km ぐらいでは 1200℃になると岩石は溶融する (magma[1]museum.sci.kyushu-u.ac.jp internet 博物館)。
- 地上で岩石は、1000℃くらいから溶融が始まる。1900℃でほとんどの岩石は溶融状態となる。
- 石綿は 1350℃から 1500℃、鉄は 1536℃、磁鉄鉱は 1597℃で溶融する。
- 陸上で、焼却灰溶融炉等で溶融したスラグを水中に放出すると水砕現象で溶融スラグは、黒っぽい粉砂となり水中に拡散。粒径は、0.5 mmから 4~5 mm。
(ただし、海溝底の高圧化で水砕現象が起きるのかどうかは不明。)

A-3 黒い津波と漁業（参考）

NPO 法人「森は海の恋人」畠山重篤 理事長の9月26日、日本財団—海洋フォーラムでのご講演より。

- 畠山氏は、カキの養殖業を営んでいたが津波で大被害を受けた。
- カキは植物プランクトンを餌とする。それは、上流の森からやってくる。
- 植物プランクトンは、鉄分の多い海で増える。
- 調査の結果、津波後、植物プランクトンが以前にも増して多くなった。
- 現在、気仙沼の海は、エビやメバルなど魚類が驚くほど豊富になった。
- カキの養殖は完全に復帰、漁獲量と品質は津波以前より向上した。
- それは、黒い津波の影響か。黒い津波が栄養分を運んできたようだ。

A-4 砂鉄浜（参考）

- 日本の砂鉄産地は、海岸地帯に多い。(砂鉄浜が多い。)
- 太平洋側の久慈、船越半島、山田湾、八戸、たたら浜(横須賀)、等に砂鉄浜がある。
- 東北ではかつて砂鉄を用いた“たたら製鉄”の玉鋼より日本刀が作られた。
- 現在も南部鉄器が有名。
- マグマには、玄武岩マグマ、安山岩マグマ、デイサイトマグマ、流紋岩マグマがある。海底の岩石は主に玄武岩である。
- 玄武岩には磁鉄鉱(FeO,Fe₂O₃)が含まれる。磁鉄鉱は黒い。

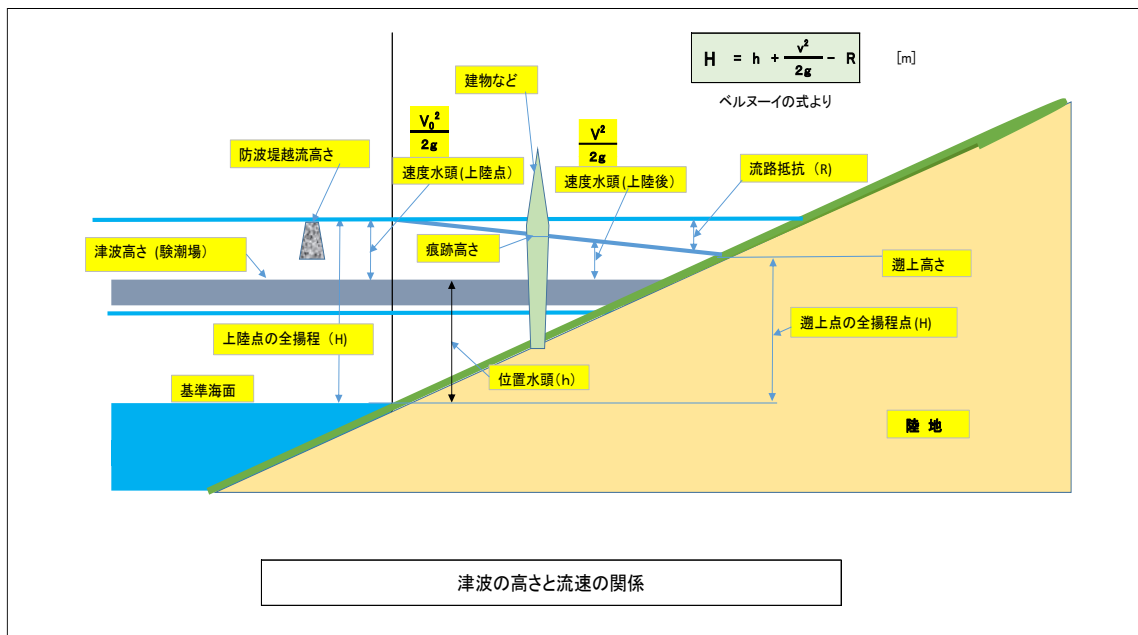
- 津波が太平洋沿岸の砂鉄浜の形成に関係か
- 2,000 万年から 1,600 万年くらい前に日本列島は大陸から分離、1万2千年から1万3千年前に現状に近い形となったといわれる。
- 当時からプレート運動があり、100 年に1度、巨大津波に見舞われたとすると、16 万回から 20 万回津波に見舞われたことになる。
- この繰り返しにより砂鉄浜が形成されたのではないか。
- 内陸から流れてくる砂鉄も、もともとは海洋性が多いのではないか。

B 津波に抵抗する都市計画（減災についての提案）

津波は、川があると内陸に向け川をさかのぼる。道路も津波が上陸すると川同様となる。津波の方向と同じ向きの川や道路では、水はまっすぐ内陸に向かい遡上する。川や道路は上陸地点の海岸線に比べ流路断面積狭くなるので、勢いが集中し流れが速くなる。そのため、遡上高さが増し、浸水域が広がる。遡上を低く抑えるためには水流の速さ、すなわち水の勢いを減衰させなければならない。流れの途中の道筋が複雑であり、凹凸があるとそれが流れに対する抵抗となり、流速を減衰させる。交差点などで流れ同士がぶつかり合うと流れのエネルギーが消費され流速が落ち浸水域が狭まる。この理論に基づき道路を全て流路方向と45度傾けて配置することを提案する。流れは交差点で互いに衝突しエネルギーが失われ、その勢いが衰え遡上高度が低くなり、浸水域を狭め、津波による災害を減少することが可能と考えられる。（都市の減災効果）

B-1 津波の高さに関する表現(参考、下図参照)

- 津波の高さ
津波情報では港湾に設けられた験潮場、GPS 験潮場などの験潮場で測定した波の基準海面からの高さを津波の高さとしている。
- 痕跡高さ
津波が陸上の建物の壁などに残した水位の痕跡の高さ。津波の高さより高い場合がある。
- 遡上高さ
津波が到達した標高。



B-2 防波堤越流高さ（参考、上図参照）

- 津波の速度は水深 10m 程度の浅水域では時速約 36km、約 10m/sec である。
- 上陸した津波は、もはや波ではなく水流（流体）であるとして流体力学の基本方程式、ベルヌーイの式を適用すると、津波の実高さ（全揚程）を概算できる。
- 上陸地点での津波の全揚程 H (m) は、次のように表せる。（上図参照）

$$H_0 = h + V_0^2 / 2g$$
 (h = 津波の高さ m、 V_0 = 津波上陸地点における流速 m/sec、 g = 重力加速度、 9.8 m/sec^2)
- $V_0^2 / 2g$ は流れの勢い（動エネルギー）を高さ（揚程）に換算した値である。
- 上陸点の流速は、浅水域での津波の速度約 10m/sec と同じとみなす。
- 津波高さ 10m、流速 10m/sec の場合、
 上陸点付近の全揚程 $H_0 = 10 + 10^2 / (2 \times 9.8) = 15.1 \text{ m}$
- 上記の津波が越流しないためには高さ 15.1m 以上の防波堤（防潮堤）が必要。

東日本大震災で防潮堤を越えなかった例（参考）

- 岩手県下閉伊郡普代村の水門、長さ 205m、高さ 15.5m が村を救った
- 東日本大震災当日、水門は、途中で停電のため消防職員が手動で閉めたため一時水門の上流 200m まで水は上がったが津波による被害はなかった。
- 同村太田部地区防潮堤、長さ 130m、高さ 15.5m も津波は越えなかった。

B-3 遡上高さの概算法（参考）

前項同様、上陸した津波は、もはや波ではなく水流(流体)ととらえ流体力学の基本方程式、ベルヌーイの式と連続の式を適用することにより津波の遡上高さ(全揚程)を概算できる。

- (計算例1:海岸線に対し内陸部が狭まっていない場合)

この場合、ベルヌーイの式のみで概算する。

ベルヌーイの式から津波の遡上高さ H (m)は、次のように表せる。(前項参照)

$$H = h + V^2/2g - R$$

津波の高さ $h=10\text{m}$ 、流速 $V=10\text{m/sec}$ とすると

$$\begin{aligned} \text{遡上高さ } H &= 10\text{m} + 5.1\text{m} - R \\ &= 15.1\text{m} - R \end{aligned}$$

R は、上陸後の流路抵抗で遡上高さの減少分。流れの経路(流路)の途中に障害物や複雑な経路がある(抵抗がある)と流れの勢いがそがれて高い地点まで到達できなくなる。

R は、流路の抵抗を高さに換算した値で流速の関数である。 $0 < R < 5.1\text{m}$

津波が上陸したときの速度を $V_0=10\text{m/sec}$ とすると途中の流路抵抗により実際に到達する高度は $10\text{m} \sim 15.1\text{m}$ の間である。(上図参照)

具体的な R の値は、該当する土地の津波を受けたときの流速と遡上高さの記録から推定しなければならない。

- (計算例2:上陸地点に対し地形上流路が狭まっている内陸部の場合)

この場合、ベルヌーイの式と連続の式を用いて概算する。

ベルヌーイの式から津波の遡上高さ H (m)は、次のように表せる。(前項参照)

$$H = h + V^2/2g - R$$

流速 V は、次の連続の式から求まる。

$$V_0 A_0 = VA = Q = \text{一定} \quad (\text{連続の式})$$

$$V = V_0(A_0/A)$$

(A_0 =上陸地点の流路断面積 m^2 、 A =狭まった地点の流路断面積 m^2 、 V_0 = 上陸地点の流速 m/sec 、 V =狭まった地点での流速 m/sec 、 Q = 流量 m^3/sec =一定、 g =重力加速度、 9.8m/sec^2)

A は A_0 の $1/2$ に狭まっているとすると、

$$V = V_0(A_0/(A_0/2)) = 2V_0$$

したがって、

$$\begin{aligned} H &= h + V^2/2g - R \\ &= h + (2V_0)^2/2g - R \\ &= h + 4V_0^2/2g - R \end{aligned}$$

すなわち、流路断面積が海岸線に比べ半分になると、流速は 2 倍となり、その結果流速の高さ換算分は 4 倍となる。

津波の高さ $h=10\text{m}$ 、上陸流速 $V_0=10\text{m/sec}$ とすると

$$\begin{aligned}\text{遡上高さ } H &= 10\text{m} + 20.4\text{m} - R \\ &= 30.4\text{m} - R\end{aligned}$$

R は、流速の関数であり、 $0 < R < 20.4\text{m}$

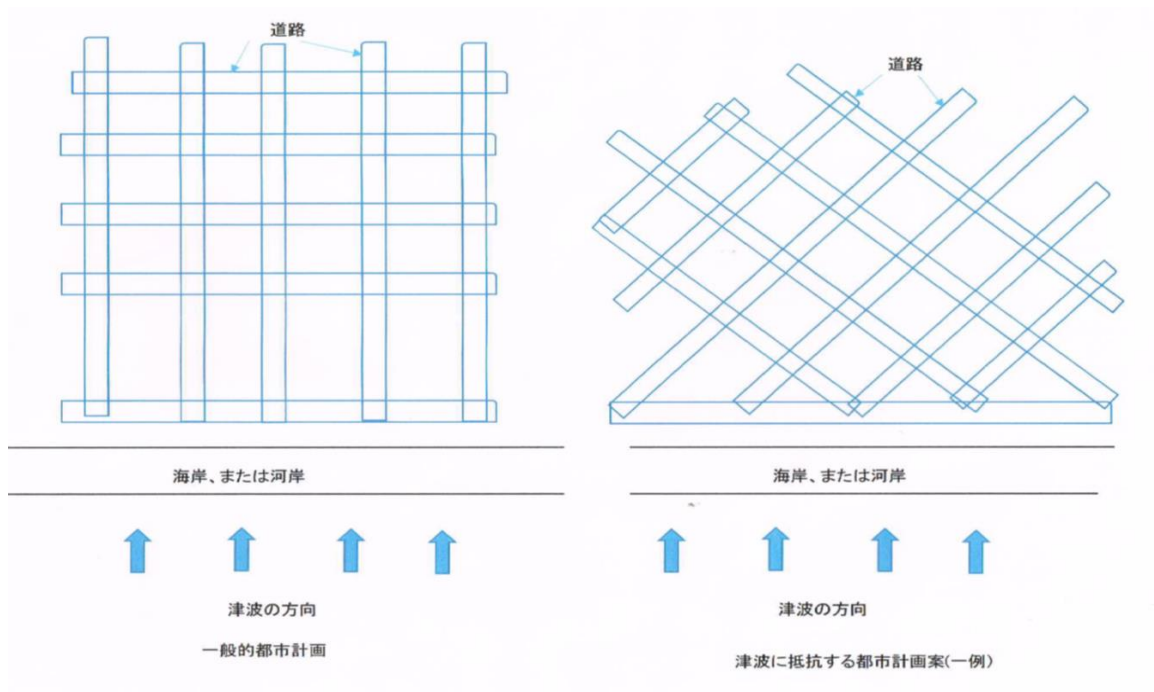
R が 0 に近い場合、津波は 30m 近くまで遡上する。

R の値は、前例同様、該当する土地において津波を受けた時の流速と遡上高さの記録から推定しなければならない。

B-4 津波に抵抗する都市計画（提案）

津波同志の衝突でエネルギー(勢い)が消耗し、後背地への遡上が低減し、浸水の範囲が狭まり、被害が減少するように、道路、都市全体を津波の上陸方向に対し45度に配置することを提案する。津波の上陸による流水は 45 度向きの道路を遡上するが、他の道路との交差部で互いに衝突しエネルギーを消耗する。(下図参照)

- 津波の上陸後は道路が川となり、津波の方向と同じ向きの道路では、水はまっすぐに遡上する。
- 道路は上陸地点の海岸線より流路断面積が狭くなるので流速(勢い=動エネルギー)が大となり、より高くまで遡上、浸水域が増大する。遡上高さを低減するためには水流の速さ(勢い)を抑えなければならない。流速(勢い)は流路の抵抗により減衰する。
- 道路を流路抵抗が多くなるように配置すると勢いが衰え遡上高度が低くなり、浸水域を狭め、津波による災害を減少することができる。(減災効果)



C 役立つ地震予知技術の可能性(防災への提言)

地震現象は、地下の力学的動きだけでなく、地下における岩石等の高温、高圧の下での状態変化も関係していると考えられる。その現象に伴う電磁現象も発生することはありうる。地下の力学的動きの解析だけでなく電磁現象も含めた物理化学的変化の研究により、住民にも役立つ予知技術確立の可能性が高くなると考える。

現在、電磁気学的予知法は科学的根拠が不明として国として採用されていないということであるが、被災者の立場にたち採用を検討すべきではないか。長期間の確率予測や、地震直前の数秒から数十秒まえの速報では、行政の長期的対策の計画や新幹線を止めることには役立っても、現実には被害を受ける住民には対策の取りようがなくほとんど役に立たない。東日本大震災のような大きな悲劇を繰り返さぬよう政府防災関係者による地震予知法の徹底的見直しを願うものである。

C-1 地震予知方法 (参考)

地震の予知方法には大別して次の3種類がある。

- 地下の動きを観測することによって地震を予知する方法。
- 電離層の擾乱をとらえて地震を予知する方法。

- 地電流を計測・解析することにより地震の発生を予知する方法。
- C-2 地下の動きの観測による方法（参考）
- 過去の地震記録、歴史的証拠および地底の動きの計測データなどを基に地震を数学モデル化、地震発生の確率を予測する。
 - 国家プロジェクトとして研究開発が進められている。
 - 地震直前の予知法は、地震の前ぶれともいえる前兆滑りを観測、地震を予知する。
 - 参考図書
「地震予知の科学」日本地震学会地震予知検討委員会、東京大学出版会、2008, 5
- C-3 電離層の擾乱検知による方法（参考）
- VLF 波(超長波)、LF 波(長波)で電離層の擾乱(みだれ)を検知する。
 - これまでの研究で、地震が発生する数時間から数日前に地震発生地の上空の電離層に乱れがあったことが報告されている。
 - この現象に着目して地震予知法を日本の民間研究機関「地震解析ラボ」が開発。
 - フランスでは国家プロジェクトとして人工衛星を用い電離層の擾乱を検知して予知につなげる方法を研究した。
 - 台湾、メキシコ、トルコその他の国でも研究されている。
 - 日本政府は、正式な予知法として認めていない。
 - 参考図書
「地震は予知できる」KK ベストセラーズ、早川正士、2011.12
- C-4 地電流の異常を検知して予知する方法（参考）
- ギリシャの研究グループが開発。3名の研究者の頭文字をとってVAN法ともいう。
 - 地震の前に岩石が微小破壊するときに電磁波を発生する。電磁波が発生すると地中に電流(地電流)が生じる。これを計測・解析することにより地震の発生を予知する。
 - 日本でも東京大学で研究されたが、日本政府は、正式な予知法として認めていない。
 - 参考資料・図書
「地震予知研究の歴史と現状」学士会会報、2007-IV No. 865, 上田誠也
「地震は予知できる」KK ベストセラーズ、早川正士、2011.12
- C-5 予知方法の徹底的見直し(提案)
- 地震・津波の予知は科学的根拠の明確な技術をもってすることが望ましい。ただし、現時点では科学的に説明できていない現象を基にする予知技術であっても現実的に

予知の確率が高いものであれば利用すべきである。

- 地震・津波の予知は人命の安全確保が最優先、学問的究明はその次である。
- 実利的発想：“黒い猫でも白い猫でもネズミを捕まえる猫はよい猫だ”の発想が必要。
- 軍事的発想：“あらゆる手段を使って敵の情報を収集、分析、判断、対応する軍事的発想が必要。（津波は海による攻撃とみなせる。）
- 予知は的中すれば多くの人命損失を防げる。外れた時の混乱や無駄は演習とみなせばよいことである。前者と後者のバランスを考えた場合どちらを優先すべきか明白である。
- 東日本大震災や阪神淡路大地震の悲惨な人的損失を二度と出さぬようあらゆる技術・知見を動員できる総合的予知機関の創設を提案する。

D 帰らざる人々を出さないようにしよう(減災への提案)

津波来襲時は、安全な場所への避難が最優先であることは言うまでもなく、そのための準備や訓練が各地で真剣に実施されている。それでも、2011年の東日本大震災では、1万数千人の人々が逃げ遅れたのもまた事実である。逃げ遅れた人々も助かるよう対策を真剣に考えなければならぬ。基本的に津波は、海難事故として考え、逃げ遅れた人を沈ませない手段を考えなければならぬ。浮けば助かる確率は高くなる。浮いて助かった事例は多々あるが沈んで助かった事例は聞かない。浮くためには、浮遊物を身に着ける、浮遊物にのる、または捉まえる必要がある。海難事故で最小限の必携品はライフジャケットである。津波来襲時、ライフジャケットを着用して避難に向かうよう普段の訓練にも取り入れることを提案する。とくに防災関係者のライフジャケット着用は義務付ける必要がある。また、車は身近な生活用品であり、車ごと流された人たちもいた。乗用車やバスなどの浮沈構造化も今後の検討課題として提案する。

D-1 沈まない自動車の開発(将来の減災に向けての提案)

東日本大震災の報道番組で車が波に浮いて漂う光景が度々映し出された。車は道路を使う移動手段であるが、密閉された小空間で救命ボートに近い形態をもつ、身近な生活用品である。この車、下記のようなコンセプトで浮沈構造化とすることにより、車ごと流される人たちのサバイバルにつながられないだろうか。下に示すコンセプトのように乗用車やバスなどの浮沈構造化を今後の減災に向けての検討課題として提案する。

- ボックスカー、マイクロバス、海岸沿い道路を運行するバスなどを不沈構造化とする。
- 浮力材を床下、シート、バンパー、ドアの空間などに注入して、車が浸水しても最小限

の浮力を確保する。

- 車室は水密構造として余裕浮力を確保する。
- 屋根に脱出口を設け、窓の一部は手動でも開閉可能とする。
- 車の形状を水に浮いたときに復元力のあるデザインとする。

D-2 ライフジャケット(ただちにできる減災法として提案)

基本的に津波は、陸上の海難事故として考え、逃げ遅れた人を沈ませない手段を考えなければならぬ。海難事故対策で最小限の必携品はライフジャケットである。

浮けば助かる確率は高くなる。浮いて助かった事例は多々あるが沈んで助かった事例は聞かない。逃げ遅れても浮くために、津波の恐れのある地域でのライフジャケットの普及を提案する。

- 防災関係者(消防隊員、警察官、自衛官、自治体職員)は、津波来襲時には必ずライフジャケットを着用すべきである。
- 海岸近くの園児、学童、先生たちにはライフジャケットを常備。
- 一般の市民に、ライフジャケットは物々しすぎると思われるのでダウンジャケットの準備を提案する。
- 水鳥の羽毛を素材とするダウンジャケットは浮く。
- 他の素材のジャケットでも羽毛と同等以上の撥水性のある素材を利用していれば浮く。
- ダウンジャケットであれば日常の利用も可能である。
- 東日本大震災でもダウンジャケットを着用していた女性が助かった事例があった。
- ライフジャケットやダウンジャケットは避難先での体温保持にも有効。
- ライフジャケットの普及は直ちに、低コストでできる減災方法である。

終わり

