

# 東北地方太平洋沖地震から 学び、活かす

大阪大学大学院教授 常田 賢一

3月11日の東北地方太平洋沖地震では、1995年の阪神淡路大震災を遙かに上回る規模の被害をもたらされました。今回の地震被害は、東北から関東までの広範囲に渡り、地震動だけでなく、津波さらには原発被災の放射能汚染による2次的被害といった従来の地震被害では経験していない多重の災害形態になっています。これまで、国土の基本インフラを整備し、保全する役割を標榜してきた建設分野は、その果たす使命を再確認することが必要です。

地震直後の3月13日に常磐自動車道の盛土崩壊箇所の調査を行い、同場所には全4回訪れましたが、ここを皮切りとして仙台平野の沿岸に3回、浦安に3回、千葉県旭海岸に2回、茨城県大洗海岸付近に2回、延べ17日の現地調査を実施しています。被害の全体は把握し切れていないので、これまでの現地調査の結果および他機関、他研究者あるいはマスコミの情報も踏まえて、今回の地震被害の特徴、特に仙台平野における津波被害特性および土構造物によるハード対策の可能性について得られた知見を紹介します。

まず、今回の地震被害について、次のように感じています。

1) 地震動関係は、3000gal近くの加速度が観測された箇所もあり、仙台平野でも1000galを超えています。しかし、基本的に加速度と被害は直接的には関係しないと考えており、今回の高速道路、新幹線、一般道路、河川堤防、下水道などの

土木構造物被害の根本的なところは、既往の地震で経験した範囲にあると思われる。つまり、津波被害を受けた沿岸部の地震動による被害は不明ですが、それ以外の地域（例えば、仙台市内）では、M9.0の規模の地震の割には被害が小さいと思われます。これは、震源から離れている（例えば、仙台市は175km）こと、耐震性が向上していることなどが考えられます。

2) 地震被害について、従来、経験しながら、手立てが十分には至っていなかったため、今回の地震で再認識された事項としては、住宅あるいは宅地の液状化および道路橋の取り付け盛土の沈下・段差があります。宅地の液状化は建築分野が対応することになりますが、橋梁については液状化による特別な被害が発生していないようですので、従来の対応の範囲にあると思われます。また、橋梁の取り付け盛土の沈下・段差も既往の地震で経験済みであり、道路のネットワーク機能を考えれば、橋梁と同レベルの取り付け盛土の耐震性が必要と思われます。なお、道路盛土のすべり崩壊について、高速道路盛土では皆無でしたが、一般国道では発生しています。これは、耐震設計あるいは補強が行われていないことから必然と言えます。2009年の東名高速道路盛土の被害を受けて、現在、国土交通省、NEXCO各社で緊急点検が行われており、いずれ重要な盛土では耐震補強が

計画されるものと思われます。近年、道路土工の関係の指針は性能評価の設計概念が導入されて改訂されましたが、道路盛土でも道路ネットワークの早期復旧のためにネックとなる盛土は、橋梁と同様に事前の補強が必要です。

3) 既往の地震でも津波による被害はありましたが、今回の地震では未曾有の被害となり、改めて津波が認識されることになりました。防波堤、防潮堤、橋梁およびアプローチ盛土、河川堤防などの土木構造物における津波被害が顕著でありましたが、今後の津波対策をどこまで、どのように考えるかが問われています。工学の立場では、設計条件としての津波高が決まらなければ、前に進みませんが、津波高を推定するための地震の想定が明確になっていないことから、地震学分野の速やかな対応が求められます。今回の津波被害が甚大であり、仙台平野では海岸線から5km前後の広い範囲で浸水被害が生じたためか、津波対策の要である砂浜と防潮堤、さらに防潮林という3重の防衛ラインがすべて効かなかったとも言われています。しかし、現地調査によれば、相応の防潮機能があることが確認できます。

特に、3) について、日頃、ハード対策に関わっている者として、土木構造物を主たる対象として、津波による現地の被害状況をきめ細かく把握し、人命に加えて財産

をも守る津波のハード対策に関する知見を明らかにすることを目的として、仙台平野、千葉県旭海岸および茨城県の大洗海岸を現地調査しました。

これらの調査では、①海岸護岸・防潮堤、②河川堤防、③保安林・防潮林、④高盛土、⑤水域、⑥土堤防・盛土、⑦道路盛土、⑧表面の被覆、⑨自然砂丘、⑩砂浜、⑪離岸堤、⑫消波ブロックの12種類の構造物などについて、被害の有無や防潮機能を見ています。

以下に、調査結果から得られた、特に強調したい4つの知見を紹介するとともに、それらの知見から考えられる津波対策の考え方を紹介します。なお、12の構造物などの詳細は、参考文献を参照してください。

知見1：土堤は津波の越流に強いのではないか！

写真-1は越流深が3.85mと想定される堤防における、表法、天端および裏法の津波後（4/30）の状況です。裏法先に落堀（後述）が出来て、一部欠落していますが、表法、天端および裏法の侵食は軽微であり、破堤するような致命的な被害には至っていません。つまり、盛土でも津波に対して粘り強く、土構造であるので半永久的ですし、洪水の時のように越流による到命的な破堤には至らないと考えられます。

この事例によれば、土堤により、津波に対する防潮機能を担わせることができる可



写真-1 津波後（4/30）の盛土の状況：矢印は押し波の方向

能性が示唆されます。

## 知見2：落堀、保安林は津波の減勢に効く のではないか！

写真-2の手前は堤防であり、右側の保安林が残っている堤防の裏法先には、堤防を越流した津波により侵食されて、水たまり、つまり、洪水時の河川堤防と同じように、落堀（おっぼり）が出来ています。また、写真左側は落堀が出来ていない箇所であり、保安林が全て流出して、見通しが良くなっていることが分かります。さらに、この場所の衛星写真-3では、写真の左右の○の箇所に落堀が出来ており、その下方の背後では、粗密の差はありますが保安林が残存しており、さらに左側の背後にある住宅が残っています。また、中央の○で示した落堀の無い箇所は、写真-2で法先が洗掘されていない箇所に相当し、その背後の保安林は全て流出しています。

この事例によれば、堤防の裏法先に出来る落堀、さらに保安林には、津波の減勢効果があることが想像され、落堀に相当する



写真-2 津波後（4/30）の裏法先の状況



写真-3 津波後（4/6）の堤防の背後の状況

構造物あるいは保安林による津波対策の可能性が示唆されます。

## 知見3：高い土盛は津波の浸水を防ぐのではないか！

名取市の閑上漁港では海岸に砂浜がありますが、衛星写真-4のように津波前から高さ5.6m、天端幅24m、表法勾配1:2.7、延長150m程度（計測は7/9）の盛土がありました。写真-5は津波の襲来時の様子ですが、保護ネットが敷設された盛土により、津波の進入が抑制されていることが分かります。この盛土は津波対策を意図したものではなかったと思われませんが、その存在により背後の保安林が流出を免れ、保安林内の名取市サイクリングターミナルへの影響も抑制されたと思われま。また、写真-6は調査時（7/9）の表法ですが、地震後4箇月が経過しているものの、顕著な侵食は見られていません。なお、盛土の

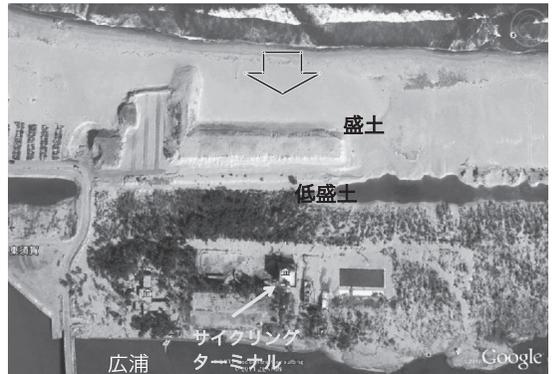


写真-4 浜辺に置かれた盛土：津波後（4/6）



写真-5 津波襲来時の盛土（3/11）：海上保安庁／時事通信社による



写真-6 盛土の表法 (7/9)

越流深は0.5m程度と推測しています。

この事例によれば、海岸線方向に150m程度の延長で設置されているものの、津波高に対して相応の高さがある土盛により、津波の進入は防ぐことができることが分かり、盛土による津波抑制の可能性が示唆されます。

知見4：道路盛土の津波抑制は、条件次第ではないか！

衛星写真-7は名取川の河口から左岸上流2.5km付近にある仙台東部道路の津波後の状況です。また、写真-8は仙台東部道路の山側の津波後の状況、他方、写真-9



写真-7 仙台東部道路 (中央左右)：上側が海

は海側の状況です。盛土高は5m程度ですが、盛土構造だけでなく、横断Boxおよび高架橋、さらには名取川に架かる橋梁で構成されていることが分かります。道路盛土の山側の浸水深は海側の約2/3になっており、また、道路盛土から望む海側の住宅被害や漂流物の状況が山側よりも顕著であるなど、道路盛土による津波の抑制効果は見られます。しかし、次の3条件が幸いしたと考えています。

(1) 道路盛土の越流の有無

仙台東部道路は海岸線から離れていたため、津波は道路盛土を越流しませんでした。もし海岸線に近いところにあり、越流する場合は、交通管理面や構造上の配慮が必要となります。

(2) 河川からの越流の有無

今回は隣接する名取川からの越流は無かったと思われませんが、河川が近く、津波の遡上により、道路盛土より上流で越流した場合は、盛土の抑制効果は得られません。逆に、盛土の山側から浸水することになり、滞水し、引き波を阻害することにな



写真-8 山側の状況：4/30



写真-9 海側の状況：4/30

ります。

### (3) 道路盛土の平面線形の方向

仙台東部道路の平面線形は、海からの津波の進行方向に直角に近かったので、津波を防潮できましたが、もし平行に近い場合は、道路盛土の防潮効果は期待できないでしょう。

このように、今後の津波対策では、高架橋、横断ボックス、河川などの空間をどう扱うかなど、上記の3条件を踏まえることの必要性が示唆されます。

以上、現地調査などから得られた知見に基づくと、防潮堤以外の構造物の防潮機能を利用した、津波に有効と思われるハード対策が見えてきます。以下にその概念を紹介します。

復興構想では津波対策をレベル1とレベル2に分けていますが、前者では津波による越流や浸水はさせず、後者では越流が前提にあります。そして、ハード対策について、前者は既往の防潮堤などで対応し、後者では越流に対して粘り強い防潮堤、防災緑地や道路盛土などの多重防御、高台造成などが想定されています。

しかし、安全かつ安心な津波対策の具体化および効果の発現のためには、視点1：津波の連続性を認識すること、視点2：多様な防潮機能を活用することおよび視点3：津波対策の目標を明示することの三つが必要と考えています。

まず、視点1では、今後、2つのレベルがどう想定されるかが注視されますが、地震、地震動、津波は、本来、連続的な現象であるので、両レベルの中間事象の発生もあり得るので、その状態をどう考えるかが必要です。それを認識すると、視点3で考える目標が明確になり、より効果的かつ経済的な対策の可能性が出てきます。つまり、レベル1を超えたレベル2までは、避

難・高台移転までの過渡状態と位置付けて、地域に応じた重み付けでハード対策も併用し、柔軟に対応することにします。この場合のハード対策は、津波高に応じた防潮堤などを補完する防潮構造によることにします。

また、視点2は上記の補完構造に関わりますが、防潮堤以外の盛土構造、水路・水域、防潮林などの防潮機能を活用します。これらの防潮機能に大小の差はありますが、仙台平野の海岸、千葉県旭海岸の調査から可能性を確認しています。さらに、それらは分散しないで海岸に近い最前線に集約すると、背後の産業・農地エリアの有効利用が図れます。勿論、これらはレベル1相当の防潮施設として考えてもよいものです。津波に対する最良策は、津波を海に封じ込めることですが、レベル1の対策はこの考えに基づいています。例えば、海岸にある自然由来の崖は、津波により多少侵食されますが、津波を阻止しています。また、海沿いの砂丘を調べました（知見3）が、その侵食は僅かであります。

なお、盛土による津波対策の先進的な事例として和歌山県の広村堤防（図-1）があり、参考にできます。これは先人の浜口梧陵が安政南海地震（1854年）の津波後に造成し、昭和南海地震（1946年）の津波に対して効果を発揮したとされています。

さて、防潮堤および補完構造の防潮機能を活用して、入力条件である遡上高・流速を許容されるそれらまで減勢させる設計の概念は、図-2で例示できます。つまり、防潮堤だけでなく、また防潮堤を補完して、総合的な津波対策を考えるのです。さらに、防潮堤、土盛、樹林および水域を組み合わせた津波対策の概念として図-3が想定できますが、その実現のためには技術的な課題の解決が必要です。

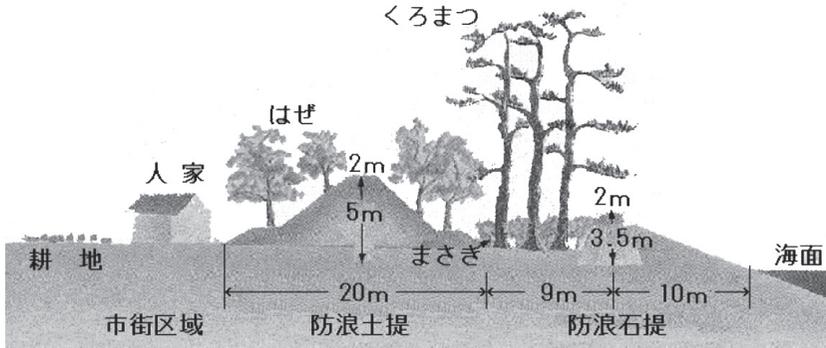


図-1 広村堤防の概念図：気象庁HPから

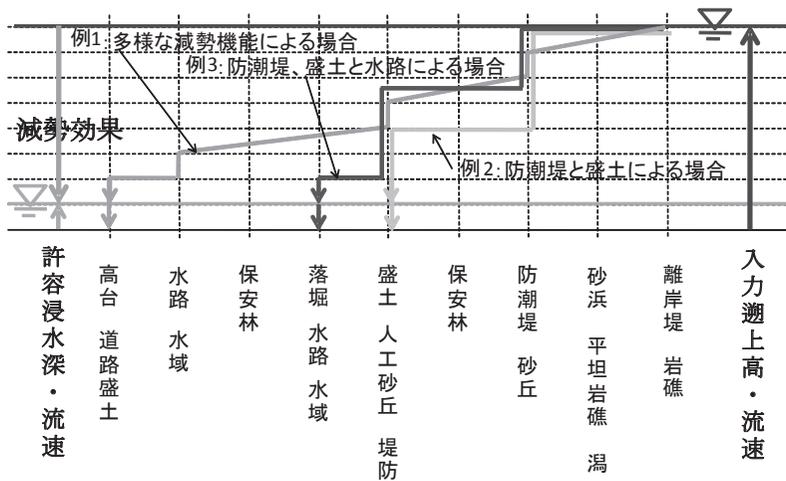


図-2 多様な防潮機能の活用の概念例

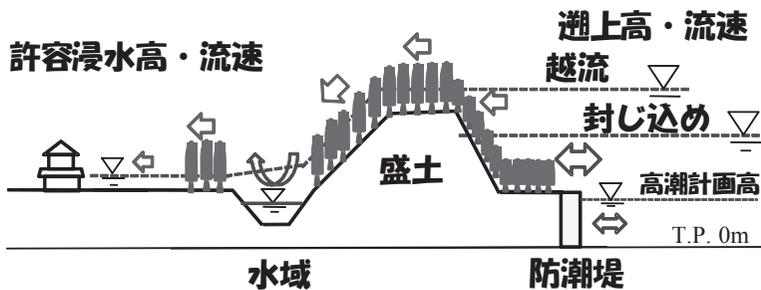


図-3 防潮堤、土盛、樹林および水域を組み合わせた津波対策の概念例

さらに、視点3は、特にレベル1を超える津波対策の目標の明確化です。防潮堤が破壊されないことが前提ですが、補完構造を含めて、何をどこまで守護するか、できるか、各対策の防潮性能の明示が必要であり、それにより対策が活きてきます。今回

の津波の被災後の状況を鑑みると、津波に対する守護の対象は「木造住宅」として、それが少なくとも「流されないこと」を目標にできないかと考えています。木造住宅が流されない条件（浸水深、流速）まで抑制するように、ハード対策を考えることが

できれば、家屋の流出が防止でき、復旧、復興も容易になり、再建の希望も持てるのではないのでしょうか。

以上の視点は、避難すれば、少なくとも「安全」は得られますが、家屋の流出に対する再建といった「安心」は得られず、そのためには、復旧、復興が容易な程度の資産、財産の被害レベルに津波を抑制できないか、そのためにはハード対策も必要であるとの思いから考えているものです。

ハード対策だけで解決はできないことは十分に分かっていますが、今回の津波で、ともすると否定されがちなハード対策について、選択は国民にあるものの、その効用と限界を明示することは技術者の使命であると思います。

#### 参考

- 1) 常田・小泉：津波被害からの知見とハード対策の方向性の考察，地盤工学会第二次緊急調査報告，地盤工学会HP，2011.5.24
- 2) 常田・小泉：津波被害からの知見とハード対策の方向性の考察（その1），地盤工学会誌，Vol.59，No.8.
- 3) 常田・小泉：津波被害からの知見とハード対策の方向性の考察（その2），地盤工学会誌，Vol.59，No.9.
- 4) 常田・小泉：津波被害からの知見とハード対策の方向性の考察（その3），地盤工学会誌，Vol.59，No.10.
- 5) 常田・谷本：津波被害からの知見とハード対策の方向性の考察（その4），地盤工学会誌，Vol.59，No.11.
- 6) 常田：安全かつ安心な津波対策のために，ACe建設業界：各人各説，2012.2
- 7) 衛星写真：©2011 Google，地図データ©2011 ZENRIN.
- 8) 海上保安庁：航空機MH906撮影，時事通信社.
- 9) 気象庁HP