福島県相馬港周辺における樹林帯と段落ち部の組合せによる多重防御効果

埼玉大学大学院　学生会員　金井　花笑
埼玉大学大学院　正会員　田中　規夫

1. 研究背景と目的

2011 年の東北地方太平洋沖地震津波は福島県相馬港周辺地域においても多くの犠牲者や構造物の破壊をもたらした．同地域の家屋被害については，津波により発生した漂流物（一部の海岸林から生成された流木，港湾区域から流失したトラック，破壊された構造物の瓦礫等）による複合的な影響も考えられる．特に，樹林帯が残存した箇所の内陸側は家屋が完全に流失したのに対し，樹木帯が残存した箇所では浮遊物がトラップされたことに加え，樹林帯背後の段落ち部（2m 程度）ではおっぽりが形成され，内陸側の家屋被害が少なかった地域が明瞭に存在した（**図-1**）．樹林帯は 20-50m 程度と薄かったことから，被害の差は 1)浮遊物トラップ，2)樹林帯と段落ちの組合せ効果，によってもたらされた可能性がある．上記を踏まえ，樹林帯のトラップ機能による津波への付加抵抗や，段落ち部の流れが地面にたたきつけられる効果を考慮し，残存した樹林帯と段落ちによる多重防御効果を検証することを本研究の目的とする．

2. 研究方法

(1) 数値解析モデル

津波遡上は田中ら[1]と同様に，断層モデルと非線形長波方程式を基本としたモデル（5 段階のネスティングにより，最小グリッドは 16.7m）に樹木と家屋の破断・流失判定を組み，下記(2),(3)の改良を加え，解析を行った．

(2) 樹木と捕捉された漂流物の抗力

2011年に行なった災害後の調査において，残存した樹林帯前面部にはコンクリートブロックを主体とした瓦礫が地面付近に多く集積されており，内部には樹木に捕捉されたトラックなどが存在していた．これらは津波に対して付加抵抗として働いた可能性がある．現地観測より1グリッドあたりの漂流物の投影面積が，樹木の投影面積の1割程度であることから，その投影面性の増分を数値解析では考慮した．よって，田中ら[2]により式(1)のように定義されている，樹木の鉛直構造を考慮した抗力$C_{d\text{-}all}$の係数kを1.1倍として計算を行った．

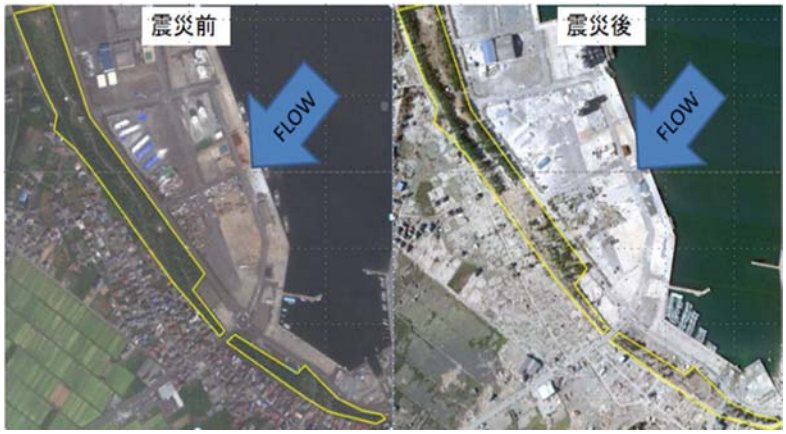

図-1 震災前後の相馬市相馬港付近（Google Earth より作成）

$$C_{d-all}=C_{d-ref}\frac{1}{h}\int_0^h\frac{b(z)}{b_{ref}}\frac{C_d(z)}{C_{d-ref}}dz=kC_{d-ref}\quad,\quad\alpha(z)=\frac{b(z)}{b_{ref}},\quad\beta(z)=\frac{C_d(z)}{C_{d-ref}}\qquad(1)$$

ここに，$C_{d\text{-}ref}$ は樹木の胸高における抗力係数，（対象地域の樹木はクロマツ・アカマツであり，枝が少なかったため，$C_{d\text{-}ref}$=1とする）$\alpha(z)$：樹形（幹・枝）の相違を表す付加係数で浮遊物による投影面積の増加を含む，$\beta(z)$：葉層による付加抗力等による抗力変化を表す付加係数である．

(3) 段落ち部におけるたたきつけ効果

残存した樹林帯の段落ち部背後には落堀が形成されていることが現地調査により確認された．本研究では，樹林帯によりせきあげされた流れが樹林帯背後の段落ちにより，地面にたたきつけられた効果が津波のエネルギーを減衰させたことにより，家屋流失に明瞭な差異を与えたと考え，段落ち部（**図-2**）に平板抵抗を加えることにより，その抵抗を地面へのたたきつけ効果として考慮した．なお，樹林帯背後に段差があっても段差直背後に家屋が存在した場所では，地面をたたく前に家屋抵抗が加わるため，段落ち抵抗を設定しなかった．

キーワード　津波、非線形長波、段落ち、海岸樹林帯
連絡先　〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255　埼玉大学大学院理工学研究科　TEL 048-858-3564 E-mail：tanaka01@mail.saitama-u.ac.jp

3. 結果および考察

(1) 各地点の水位の比較

段落ち抵抗組み込みの有無による相違を明らかにするために，図-2 に示す 3 地点における水位の時間変化を比較した（図-3）．地点 A，B では，段落ち抵抗を加えたことにより，内陸部の水位が減少している．地点 A よりも地点 B では，段落ち抵抗の有無による水位の差が最大水位において少ない．海岸林が破壊され，津波が直進して段落ち前後の水位が高い箇所ではたたきつけ効果が少ないことが見受けられる．

図-2　段落ち抵抗の追加箇所(赤枠)と計算水位出力点

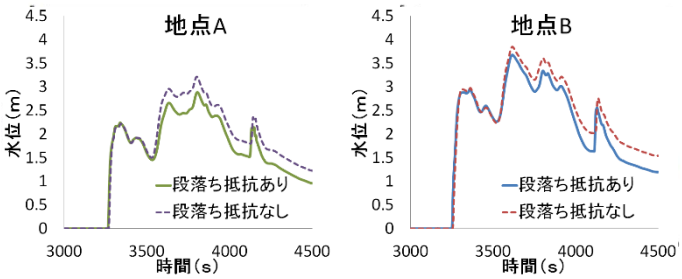

図-3　各地点の段落ち抵抗追加の有無による水位時間変化

(2) 家屋流失・残存状況の比較

段落ち抵抗を組み込んだ数値計算による家屋流失状況が，実際の現地調査結果と一致するかの比較を行った．図-4 に家屋の被害状況（緑：残存，黄：流失）を現地調査結果と比較して示す．図-4 (1)，(2) より樹林帯と浮遊物トラップによる抗力を追加しただけでは，背後家屋の被害状況を表現しきれなかった．しかし，段落ち抵抗を入れた図-4 (3) では段落ち背後において家屋の残存が四角枠内に見受けられ，より現地の被害状況に近い結果が得られた．水深積分型の二次元非線形長波モデルをモデルの前提である静水圧分布が成り立たない段落ち部に適用する場合には，エネルギー減衰が十分に表現されないと考えられる．家屋流失範囲を数値計算により求める際には段落ち抵抗の効果を考慮することが必要である．しかし，流速や水位が高かった図-4 の丸枠内では，段落ち抵抗の有無により背後の家屋の被害には差が表れなかった．段落ち抵抗の大きさは水理特性（段落ち部の水深と段差など）によって決定されると考えられるため，水理実験を行い，一般的なたたきつけ効果のモデル化を検討する必要がある．

一方，本地域においては樹林帯が残存した部分の段落ち抵抗が強く働いたと考えられ，多重防御の１つとしてこのような組合せも街づくりのオプションとして有効であるといえる．

図-4　家屋被害分布（緑：残存，黄：流失）　(1)現地調査　(2)解析結果：段落ち抵抗なし　(3)解析結果：段落ち抵抗あり

4. 結論

段落ち抵抗を平面二次元の数値計算に組み込むことで内陸部の水位は減少し，より現実に近い家屋流失実態を表現することが可能となった．家屋被害を軽減するために，樹林帯と段落ちによる多重防御効果を考慮することが有効であると考えられる．しかし，流速や水位の高い地域では家屋被害を表現しきれていないため，今後，水理実験などにおいて，一般的なたたきつけ効果のモデル化を検討する必要がある．

謝辞：本研究に，科学研究費補助金基盤研究 B（No. 15H02987，代表：田中規夫）を使用した．記して謝意を表します．

参考文献：1)田中規夫、八木澤順治、佐藤誠幸、細萱陽、河川技術論文集 18, pp.357-362,2012.
2)田中規夫、佐々木寧、水工学論文集，第 51 巻, pp.1445-1450, 2007.