

1. はじめに

2011年3月11日、平成23年東北地方太平洋沖地震及びそれに起因する巨大津波が発生した。現在、我が国では多くの研究者や行政機関等によって津波被害調査が行なわれているが、常田ら¹⁾は、越流時に堤防背面が洗掘されて生じる落堀に着目し、「落堀は津波減勢特性を有する可能性がある」と指摘している。しかしながら、一般に落堀は堤防を破壊する要因として捉えられているため、津波減勢特性は検証されていないのが実情である。よって、本研究では平成23年東北地方太平洋沖地震による津波で生成された落堀の津波減勢特性について、数値解析により評価することを目的とする。なお、落堀という用語は、河川工学において、破堤した堤防の背後が洗掘されて形成される堀で定義されるが、本文では津波の越流によって堤防背面に形成された堀が、落堀と類似した現象と考えて落堀と呼ぶことにする。

2. 解析条件及び解析手法

仙台平野沿岸部の井土浦における現地調査²⁾をもとに、図1に示す通り落堀有モデルと落堀無モデルを作成した。ただし、本解析において落堀構造は予め設定しており、また、越流により盛土の侵食、地盤の洗掘は生じないと仮定している。なお、土堤であるため境界条件としてマンニングの粗度係数を0.020とした。次に各堤防前面において、海底勾配は仙台沖の海底勾配をもとに1/150とし、マンニングの粗度係数は0.025とした。

津波の造波手法はダム破壊法を採用し、図2に示す通り今次津波と同程度の津波を作用させた。同図は図3の汀線部の水位変化である。なお、数値計算は沿岸技術研究センターにより作成された二次元数値波動水路(CADMAS-SURF 2D)V5.1³⁾を用いた。基礎方程式には二次元非圧縮性粘性流体を対象とした連続式及び Navier-Stokes 方程式をポーラスモデルに基づいて拡張した(1)(2)(3)式を用いている。格子分割は、鉛直方向は全領域においてdZを1mとし、水平方向は堤防、落堀付近においてdXを1m、堤防、落堀から離れた比較的流速、水位変化が穏やかな地点においてdXを5~15mとした。

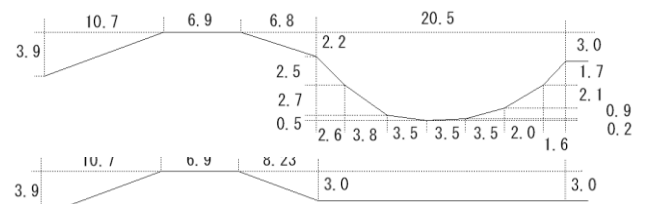


図1 落堀の有モデル(上図)と無モデル(下図)

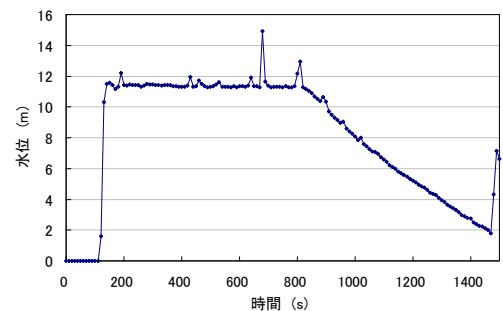


図2 造波津波(計測断面1における水位)

$$\frac{\partial \gamma_x u}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_z w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\gamma_v \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial \gamma_x u u}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_z w u}{\partial z} = -\frac{\gamma_v}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \gamma_x \nu_e \left(2 \frac{\partial u}{\partial x} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \gamma_z \nu_e \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right\} - R_x \quad (2)$$

$$\gamma_v \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial \gamma_x u w}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_z w w}{\partial z} = -\frac{\gamma_v}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \gamma_x \nu_e \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \gamma_z \nu_e \left(2 \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right\} - R_z - \gamma_v g \quad (3)$$

- ここに、t: 時間(s) x,z: 水平, 鉛直座標(m)
- u,w: 流速の水平, 鉛直成分(m/s) ρ: 密度(kg/m³)
- p: 圧力(N/m²) g: 重力加速度(m/s²)
- ν_e: 分子動粘性係数と渦動粘性係数の和(m²/s)
- γ_v: 空隙率 γ_x, γ_z: 水平, 鉛直の面積透過率

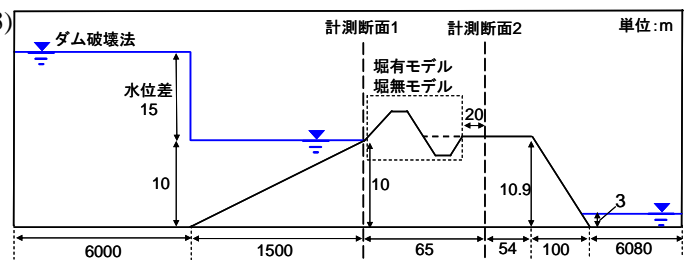


図3 計算領域(概略図)

3. 解析結果

各ケースにおいて計測断面 2(図 3 参照)における流速, 水位を図 4, 図 5 に示す. 津波到達初期段階における津波の衝突と準定常状態後の減衰段階の影響を除外した 200~700 秒において平均値を算出した. それにより, 表 1 に示す通り落堀構造の存在により流速が平均的に 3.9m/s 減少し, 水位は 1.9m 上昇することが確認された. 従って, 落堀構造は流速低減効果と水位上昇作用を持つことが確認された. また, 水位上昇は背後地の被害拡大を招く一方, 流速低減は被害軽減に寄与するため, 個別の評価ではなく両方を勘案した評価指標が必要である. そこで, 両指標を用い, 且つ構造物の破壊に直接的に影響を及ぼす抗力を用いて津波減勢特性の評価を試みた. なお, 抗力は(4)式により算出される.

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho u^2 A \quad (4)$$

ここに, F_D : 抗力(N) C_D : 抗力係数 ρ : 密度(kg/m³) u : X 方向流速(m/s) A : 投影面積(m²)

計測断面 2 における単位幅あたりの抗力を図 6 に示す. ただし, 密度 ρ を 1030(kg/m³), 抗力係数 C_D を 2 とした. 同図より落堀の生成によって抗力が減少することが読み取れる. また, 流速, 水位と同様に平均値を算出すると表 1 に示す通りとなり, 落堀の生成により抗力が平均的に 179kN/m 減少することが確認された. 抗力は流速 u の二乗と水位 h の積に比例するため, 落堀の流速低減効果が水位上昇作用よりも大きく影響したと考えられる. また, 堀有無モデルの抗力平均値を F_p , F_{np} とし, 抗力低減率を(5)式により定義すると, 抗力低減率 δ_F は 34%であることが確認された.

$$\delta_F = \frac{F_{Dnp} - F_{Dp}}{F_{Dp}} \times 100 \quad (5)$$

4. おわりに

仙台平野沿岸部の井土浦で計測されたデータをもとにした落堀の有・無モデルについて, 数値解析により落堀の津波減勢特性の評価を試みた. 得られた知見は以下の通りである.

落堀構造には流速低減効果と水位上昇作用があることが確認された. 水位の上昇は背後地の被害拡大を招く一方, 流速の減少は被害軽減に寄与する. そこで両方を勘案した抗力による評価を試みた. 落堀構造によって抗力は 179kN/m 減少し, 抗力低減率は 34%であることが確認された. 今後は, 背後地の津波減勢に資する落堀に類似した構造(例えば, 水路等)の構造特性について検証する予定である.

【参考文献】

- 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(その 2), 地盤工学会誌, Vol.59, No.9, pp36~39, 2011.
- 2) 谷本隆介・常田賢一・秋田 剛: 2011 年東北地方太平洋沖地震の津波により形成された落堀に関する現地調査, 第 31 回土木学会地震工学研究発表会講演論文集, No.5-163, pp.1-12, 2011.
- 3) 財団法人沿岸技術研究センター: CADMAS-SURF 実務計算事例集, 沿岸技術ライブラリーNo.30

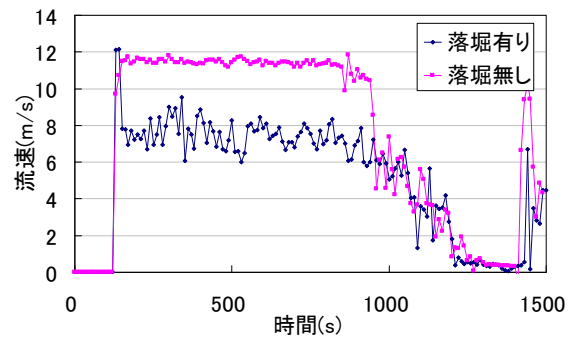


図 4 流速の時間変化

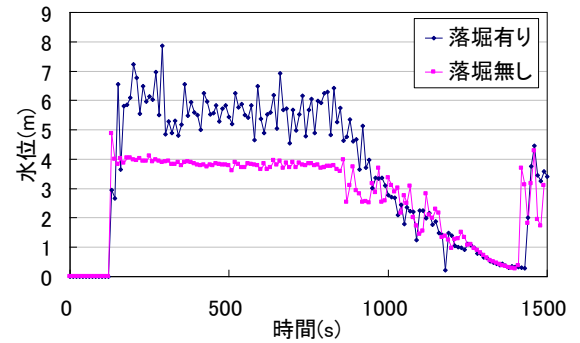


図 5 水位の時間変化

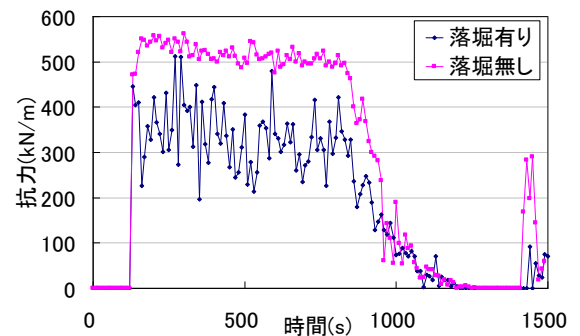


図 6 抗力の時間変化

表 1 流速, 水位, 抗力の平均値と低減率

	流速u(m/s)	水位h(m)	抗力F _D (kN/m)
堀無モデル	11.5	3.8	519
堀有モデル	7.6	5.7	340
減少量	3.9	-1.9	179
低減率(%)	34	-50	34