

大阪大学大学院工学研究科 学生会員 ○嶋川 純平
 大阪大学大学院工学研究科 学生会員 谷本 隆介

大阪大学大学院工学研究科 正 会 員 常田 賢一
 大阪大学大学院工学研究科 正 会 員 秦 吉弥

1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震津波により防潮堤等の土木構造物は甚大な被害を受けた。一方、写真-1 で示すような仙台平野において盛土が津波越流に耐え残存した事例¹⁾から“盛土は耐津波性を有する場合がある”という知見を得た。経済性、点検補修性等の盛土の利点を踏まえると、津波対策構造物としての盛土の積極的な利用が考えられる。従って、盛土の耐津波性の評価が必要である。そこで本研究は、越流時の浸潤現象に着目し、津波越流時の盛土の浸潤特性の把握および盛土の残存要因の推定を目的として、今次津波の再現計算および一次元浸潤模型実験を実施した。

2. 津波越流時に盛土地表面に作用する圧力の評価

検討対象地は井土浦の盛土(写真-1)とし、解析対象断面を図-1に示す。解析ケースは、落堀の有無による2ケースとした。解析プログラムは二次元数値波動水路²⁾を用いた。ここで、本解析での計算領域内の地形モデルおよび初期水位を図-2に示す。横軸原点は汀線から557m地点、盛土表法先としている。格子条件は盛土付近で0.5m間隔とした。造波手法は津波氾濫ピーク時の流れを再現可能なダム破壊法とした。ダムの水位差は、井土浦汀線付近で津波高10mとなるよう、12mと設定した。境界条件は反射波を防ぐため計算領域の右端をFREE境界とした。また、陸域は相当粗度 $ks=0.046$ (マニングの粗度係数 $n=0.025$ 相当)とし、その他はSLIP境界とした。ただし本解析において、堤体の洗掘・侵食・浸潤は考慮せず、落堀は予め掘削されていると仮定している。

図-3に津波氾濫ピーク時、即ち準定常時の水位および流速を示す。同図には、東北地方太平洋沖地震津波調査グループによる津波痕跡高³⁾および映像解析を用いた津波氾濫流速⁴⁾を併記している。同図より、Case.1については計算結果と実測値が概ね一致と判断した。しかし、Case.2では流速を2倍程度過大評価していることがわかる。この理由は、本解析では保安林のモデル化を行っていないことが挙げられる。ここで、盛土地表面の圧力水頭を図-4に示す。同図より、盛土部分では堀の有無による差異は小さく、地表面に作用する圧力水頭は2~10mであったと推定された。



写真-1 井土浦の被災状況



図-1 解析対象断面(井土浦)

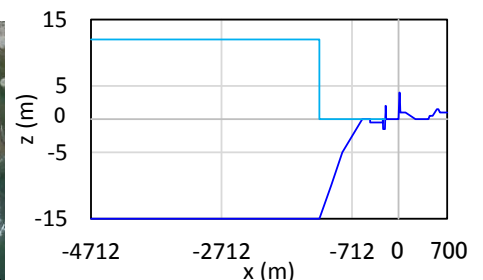


図-2 地形および初期水位
(一例、Case.1)

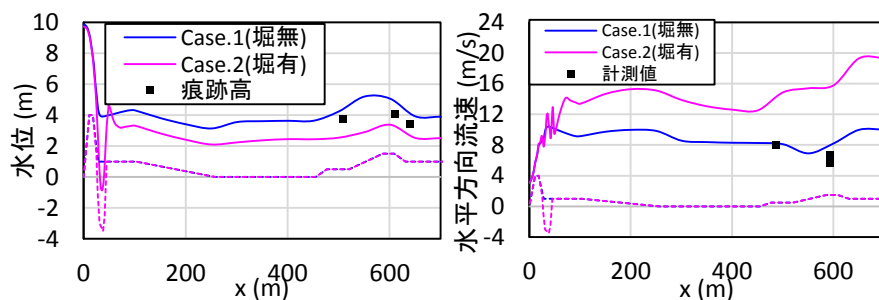


図-3 準定常時の流れ(左；水位，右；流速)

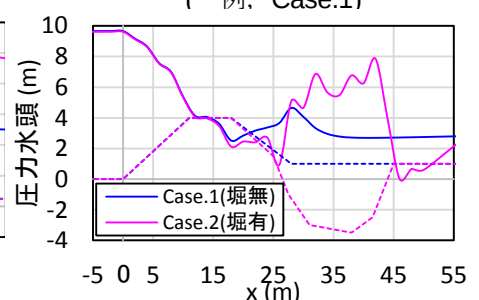


図-4 圧力水頭分布

3. 一次元模型実験による浸潤特性の検討

本実験においても前章同様井土浦の盛土を主な検討対象とした。従って、実験において盛土高さは現地と同程度の4mを想定した。ここで実験模型を図-5に示す。表層0.75mは土層、以深3.25mは間隙空気のみを空気タンクとしてモデル化した。実験ケースを表-1に示す。地表面の圧力、初期飽和度、間隙空気封入の有無が浸潤挙動に及ぼす影響を把握するため、上記3つ条件を変化させた合計12ケースとした。模型地盤は、井土浦の築堤材料と粒形加積曲線が類似した桐生砂を用い、最適含水比程度の試料を締め固め度95%で締め固めた。初期飽和度65%以外のケースでは自然乾燥により飽和度を調整した。計測は、土層内部の飽和度、空気タンク空気圧、土中への浸透量である。実験時間として、宮城県沖GPS波浪計において今次津波第一波プラス部分が25分程度⁵⁾であるため、30分の浸透挙動に着目した。

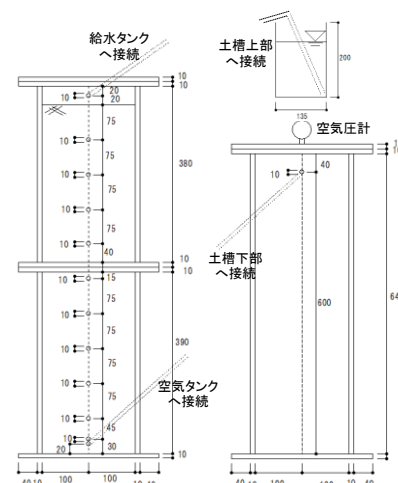


図-5 実験模型(単位:mm)

表-1 実験ケース

実験 ケース	地表面の 圧力水頭 H (m)	目標初期 飽和度 Sr (%)	空気圧タンク の条件
Case.1	2	35	CLOSE
Case.2			OPEN
Case.3-1	4		CLOSE
Case.3-2			
Case.3-3			
Case.4			
Case.5	6		OPEN
Case.6			CLOSE
Case.7	8		OPEN
Case.8			CLOSE
Case.9	10		OPEN
Case.10			CLOSE
Case.11	4	45	CLOSE
Case.12		65	CLOSE

図-6 に浸潤前線到達時間と距離の関係を示す。浸潤開始後 30 分に着目すると、地表面の圧力の増加に伴い浸潤前線到達距離が増加している。しかし、浸潤前線が 20cm 以深は、圧力水頭 1m 増加に対し浸潤前線到達距離は 1.5cm の増加に留まり、地表面の圧力水頭 10m の場合でも浸潤前線到達距離は約 35cm である。一方、初期飽和度 45, 65% の場合は浸潤前線到達距離が 70cm である。浸潤開始後 30 分の空気圧は全ケースで 5kPa 以下となり、また、今回の実験ケースにおいては、空気圧の有無と浸潤挙動の関係は明確ではなかった。

4. 井土浦の盛土における津波越流直後の水分状況の推定

津波襲来前 2 か月半は降水量が微小であることから、初期飽和度 35% であったと仮定する。従って、図-4 および図-6 等により井土浦における津波越流時の水分状況は図-7 のように推定される。なお、天端はアスファルト舗装のため流入は皆無としている。裏法面の浸潤領域の飽和度は 70% 程度に留まっているが、表法面については地表面の圧力が大きいため、飽和度 80% 以上の領域が存在することがわかる。しかし、いずれも盛土の高さに対しても表層の浸潤に留まることがわかる。

5. 結論

本研究により得られた知見は以下の通りである。

- 1) 浸潤前線到達距離は地表面の圧力よりも初期飽和度の影響を大きく受けるが、初期飽和度 35%、圧力水頭 10m の場合、浸潤開始後 30 分のそれは 35cm 程度である。
- 2) 浸潤開始後 30 分の間隙空気圧は 5kPa 以下に留まる。
- 3) 井土浦の盛土の浸潤前線到達距離は 35cm 以浅と推定され、表層の浸潤に留まったことが残存要因の一因と考えられる。

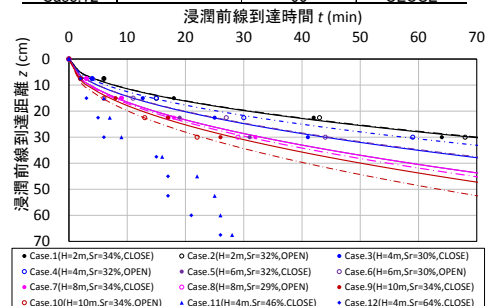


図-6 浸潤前線到達時間と距離

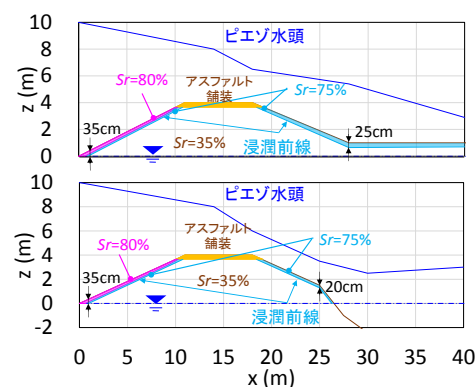


図-7 津波越流直後の水分状況

(上 ; Case.1, 下 ; Case.2)

【参考文献】 1) 常田賢一，谷本隆介：2011 年東北地方太平洋沖地震における土盛構造の耐津波特性および落堀の形成特性，土木学会論文集 A1, Vol. 68, No.4, pp.1091-1112, 2012, 2) (財) 沿岸開発技術研究センター：CADMAS-SURF 実務計算事例集，沿岸開発技術ライブラリー No.30, 2008, 3) 2011 年東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ (<http://www.coastal.jp/ttjt/>) によるデータ利用方針に基づく速報値，土木学会海岸工学委員会 HP, 2011. (last accessed:2014/2/24), 4) 林里美，越村俊一：映像解析による 2011 年東北地方太平洋沖地震津波の流速測定，土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.68, No.2, I_366-I_370, 2012, 5) 河合弘泰，佐藤真，川口浩二，関克己：平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震津波の特性，港湾空港技術研究所報告，Vol.50, No.4, 2011.