

2011 年東北地方太平洋沖地震 岩手県南部第二次調査報告（その 3）

Second Reconnaissance Report of Geotechnical Damage in the southern Area of Iwate Prefecture
due to the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (Part 3)

岡村 未対（おかむら みつ）

大角 恒雄（おおすみ つねお）

愛媛大学大学院理工学研究科 教授

徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部 教授

岡村 洋（おかむら ひろし）

（株）地研

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分に発生した東北地方太平洋沖地震（ $M_w 9.0$ ）では、東北地方沿岸部を中心に強い揺れと津波により、土木構造物の多くに壊滅的な被害が生じた。津波が遡上した河川では、津波により、堤防の決壊や法面の洗掘などが確認された。そこで、東北・四国支部第二次調査団 C チームでは、岩手県沿岸南部の中規模河川を対象に現地調査を行い、河川堤防の被害状況を把握し、被害メカニズムを分析した。調査対象地域を図-1 に示す。現地調査は、2011 年 6 月 5 日～6 日の 2 日間である。調査対象は、津波の影響を受けた河川堤防や盛土構造物である。主な調査地点は陸前高田市の気仙川右岸堤防（河口からドラゴンレール大船渡線までの約 4.5 km 区間）、綾里川河口水門付近、三陸町越喜来泊地区の三陸リアス線盛土、および釜石市唐丹町本郷地区の国道 45 号線道路盛土である。

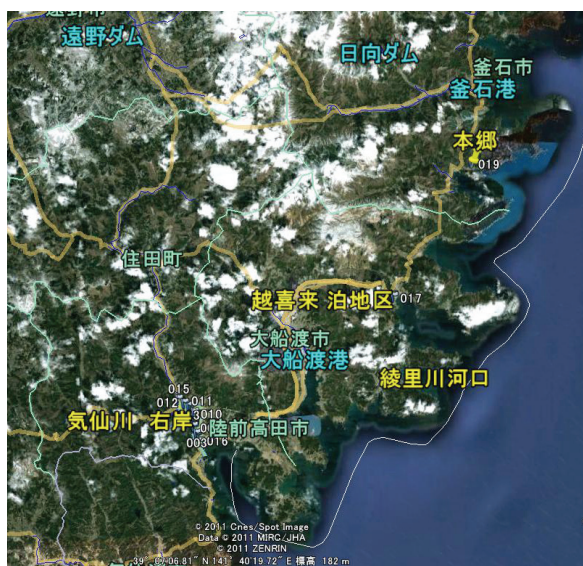


図-1 調査ルートと主な調査地点

2. 調査結果

2.1 気仙川右岸

図-2 に気仙川右岸における調査箇所を示す。調査箇所は、河口から上流に向けて、(1)河口付近の津波が越流下堤防（図-2 中の 016 地点）、(2)河口から約 0.5 km の気仙大橋取り付け部、(3)姉歯橋上流部の堤防（図-2 中の 001 地点）、(4)河口部から 1.8 km の堤防（同 008 地点）、(5)河口から 3.6 km の堤防（同 013 地点～014 地点）、(6)河口から 4.2 km の堤防（同 011 地点～012 地点）、および(7)ドラゴンレール大船渡線鉄道橋が架かる地点の鉄道盛土（同 015 地点）の 7 地点である。

(1) 河口付近（気仙中学校前：016 地点）の被災状況

図-3 に堤防の被災状況を示す。この地点では、気仙中学校前の 3 面貼り堤防が約 95 m にわたり決壊していた。破堤区間のすぐ下流部が山付きの堤防になっており、海から直接堤内地に津波が流入することはないため、破堤区間の堤防を津波が越粒し、それにより破堤したものと

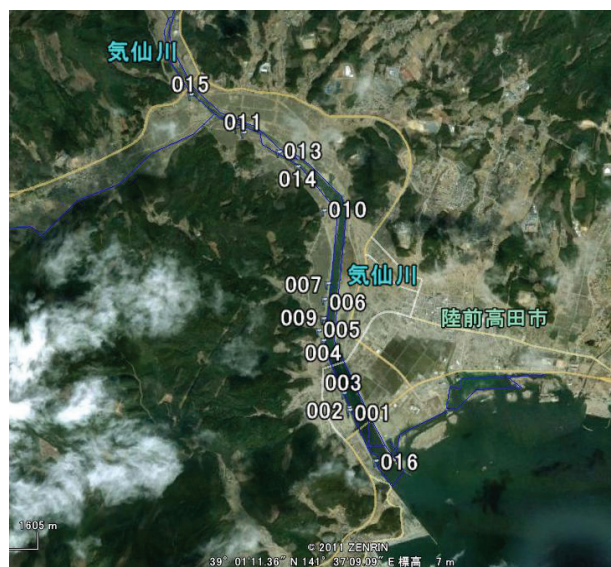


図-2 現地調査箇所（気仙川右岸）



図-3 気仙川河口付近右岸堤防

考えられる。河口での津波高さは約 16 m，堤高が約 5 m であり，越流深は約 11 m である。

(2) 気仙大橋の橋台脇部の被災状況

河口から約 600 m の地点で気仙川を渡る国道 45 号線の気仙大橋と堤防の接合部（気仙大橋の上流側）で堤防が破堤していた。被災状況を図-4 に示す。破堤区間長は橋の上流側 44 m（写真 A）。国道 45 号線盛土の上流側法尻に大きな落堀れがあり，この落堀れは堤防に近づくほど大きく，深くなっている（写真 B，C）。道路盛土の上流側法面大きく浸食されているが（写真 A），法面には草が残っており浸食は限定的である（写真 D）。また，破堤区間は国道 45 号線盛土と堤防の交差部の上流側である。接合部の下流側堤防は，堤内側に落堀れや堤体の浸食はほとんど見られない。

この破堤区間の位置，および道路盛土に沿った落堀れの位置から，下流川から遡上した津波はこれよりも下流で堤防を越流し，堤内側を遡上して道路盛土に達し，道路盛土を越流した。また，道路と堤防接合部の上流側でも越流した。これら河川堤防と道路盛土を越流した津波によって大きな落堀れが生じ，これによって道路盛土と堤防が崩壊したものと考えられる。推定される越流の方向を図-5 に示す。

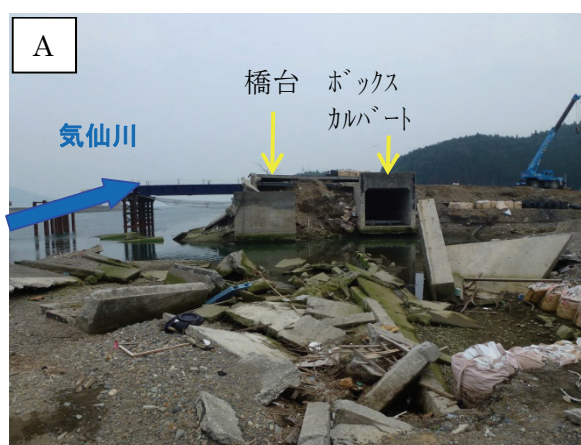


図-4 気仙大橋取り付け部での被災状況



図-4 気仙大橋取り付け部での被災状況（続き）

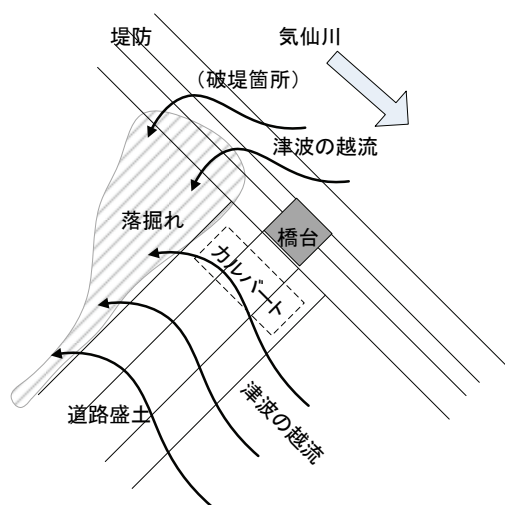


図-5 推定される越流の方向

(3) 姉齒橋上流部の被害状況

姉齒橋の約 200 m 上流の右岸堤防は図-6 に示す断面形状の 3 面貼りの堤防である。堤内側法面のコンクリートが 25 m にわたって剥離しており、堤内側法尻に大きな落掘れがある。この上下流にも落掘れがあるが、この箇所では特に大きい。この地点は図-2 中に示した 001 地点および 002 地点であり、堤防の縦断線形が僅かに川側にふくらんでいるために津波が越流しやすかった可能性があると考えられる。堤内地の家屋や立木に残る津波の痕跡から、この付近での津波の高さは堤防天端よりも約 8m 越えた規模と推定される。

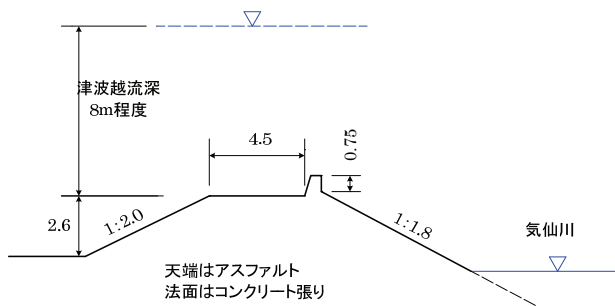


図-6 堤体の断面形状と推定津波高さ



図-7 堤防の被災状況と落掘れ

(4) 河口から 1.8km 地点の被害状況

図-2 中の 006 地点～009 地点である。堤体の形状と寸法は(3)と同じで 3 面貼りの堤防である。堤内側に 40 m に渡って深さ 20 cm 程度の浅い落掘れがある。006 地点から上流側には無い。天端の堤内側法肩ではアスファルトが一部剥離し、堤内側の裏面は浸食されて勾配が急になっている。このすぐ下流(100 m)の今泉天満宮大雷神社での津波痕跡は堤防天端から 8.6 m 上であった。

大雷神社前で山付堤防となっており(図-2 の 005 地点)、堤内側下流から堤内地を遡上した水は止まり、この位置では川からの津波の越流が発生し、それによって落掘れが生じたものと考えられる。



図-7 浸食されて急勾配となった堤内側法面

図-8 に盛川河口から約 1km 上流部の右岸堤防の被災状況を示す。津波が越水した個所では、局所的にアスファルト舗装の剥離が見られ、法肩部の堤体土が洗掘・流

(5) 河口から 3.6 km 地点の被災状況

図-8 に河口から 3.6 km 地点の右岸堤防の被災状況を示す。近傍の立木に残された津波の痕跡から、津波高さは堤防天端を約 1.7 m 越えた規模と推定される。

堤体は天端のみ舗装されている土堤（兼用道路）で約 200 m に亘り堤内側法尻部に最大深さ 1.6 m の落掘れがあった。天端は、堤内側の法肩部が幅 50 cm 程度剥離し、堤内側、堤外側共に法面が浸食されている。

図-2 でこの付近の地形を見ると、この区間の前後で山付き堤防となっており、堤内側下流から堤内側を遡上した浸水は止まり、この位置では川からの津波の越流が発

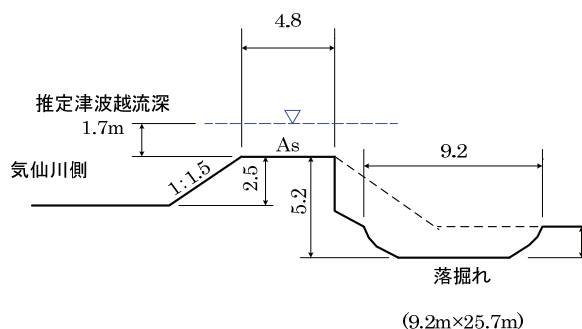


図-8 被災状況の写真と堤体断面図

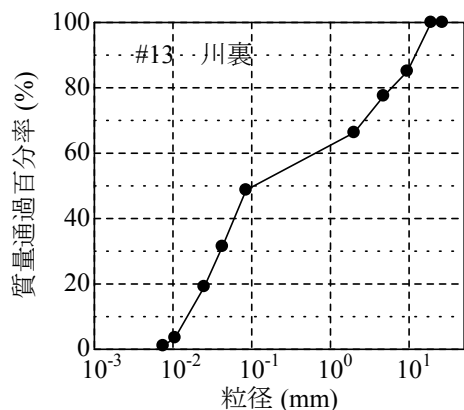


図-9 堤体表層土の粒径過積曲線

生したものと考えられる。堤外側の法面は河川を遡上した津波の流れによるものなのか、あるいは引き波時の堤内地からの越流によるものかは不明である。堤外側法尻には落ち掘れはみられない。

堤体法面から採取した堤体試料の粒度分布を図-9 に示す。盛土材料の粒度組成は、レキ分とシルト分をそれぞれ 2, 3 割程度含む比較的粒度の良い砂であるが、シルト分は非塑性シルトである。

(6) 河口から 4.2 km 地点の被災状況

この地点の堤体は天端のみ舗装されている土堤（兼用道路）である。被災状況は図-10 に示すように、約 200 m にわたり堤内側法尻部に落掘れがみられた。天端の舗装には変状ないが、堤内側、堤外側共に法面が浸食されている。

この区間の前後で山付き堤防となっており、堤内側下流からの水は止まり、この位置では川からの津波の越流が発生したものと考えられる。堤外側の法面は河川を遡上した津波の流れによるものなのか、あるいは引き波時

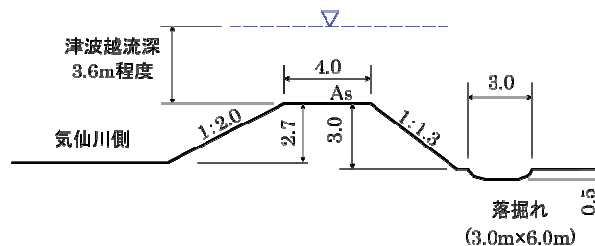


図-10 堤体断面図

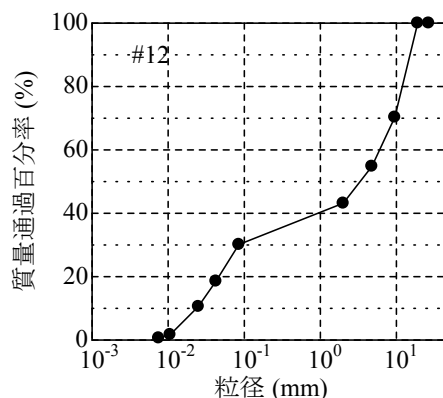


図-11 堤体土の粒径過積曲線

の堤内地からの越流によるものかは不明。堤外側法尻には落掘れはなかった。この区間の堤防近傍の家の津波痕跡は、堤防天端を約 3.6 m 越える規模であったと推定される。

(7) 津波越流による鉄道盛土の浸食

気仙川と交差する鉄道の盛土を津波が越流した。図-2 の 015 地点の右岸側の鉄道盛土は、橋台の高さから推定して河川近傍で高さは 2.4 m であったものと考えられる。被災状況を図-12 に示す。この盛土の天端は、南側（津波が来る下流方向）から中央部で 1.2 m 程度、北側法肩で

1.45 m 浸食されて低くなっている。北側法尻には幅約 5 m、深さ約 40 cm の落掘れがあった。南側法面には変状がな

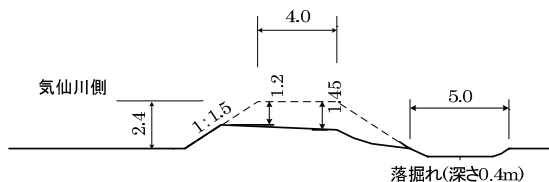


図-12 鉄道盛土（右岸側）の被災状況

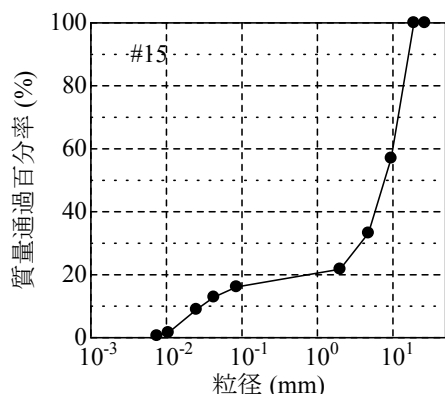


図-13 鉄道盛土（右岸側）材料の粒度分布

く、雑草が残っている。堤体材料の粒度分布を図-13 に示す。盛土材料は砂礫（レキ分が約 8 割）であった。一方、左岸側の鉄道盛土は、天端と裏法は浸食されているが、右岸側と比較し被害程度は軽い。左岸側鉄道盛土では、遡上した津波が河川堤防を越流してからこの鉄道盛土を越流したため、流速は右岸側の盛土における流速



図-14 鉄道盛土（左岸側）の被災状況

よりも小さいと考えられる。盛土材料はまさ土で塑性はほとんど無い。被害状況を図-14 に示す。

2.2 綾里川

綾里川河口では、綾里水門と海岸堤防が、津波が越流したものの被害の低減に大きく貢献したと考えられる。海岸での津波高さは、水門に残る痕跡より、海面から 14 m であると推定される。水門のおよそ 50 m 東の海岸堤防につけている歩行者通行用の門扉が引き波により開き、門扉前の海側に大きな落掘れ（堤防に並行方向 11 m、垂直方向 16 m、深さ 2 m 程度）が生じていた（図-15）。



図-15 綾里川河口付近の海岸堤防

2.3 泊地区の鉄道盛土

この地点では、三陸鉄道南リアス線の甫嶺駅と三陸駅の間、の鉄道盛土が津波の越流により被災した。小河川を渡る橋梁の南北の盛土を津波が越流した（図-16 の 017 地点、018 地点）。

(1) 南側の盛土（017 地点）

天端の沈下量は 0.6 m 程度（橋梁から 20 m の位置）であり、橋梁からさらに離れると沈下量がより大きい地点もある。軌道は天端では津波の押しにより陸側に流失していた。海側の法面が円弧滑り状に大きく変状し、法面

の張り石は流出している。陸側法面は浸食されて張り石は無くなっていった。津波の高さは、盛土と海岸堤防の間の松林の痕跡から、盛土天端を約3 m越えた規模であると推定される。

盛土の破壊は、天端と陸側の裏面については津波の越流による浸食が原因であり、海側法面は滑り破壊したものと考えられる。堤体材料は砂礫主体で粗砂を含む材料であり、細粒分はほとんど含まれない。盛土材料は、かなり大きなレキ（大きいものは500 mm程度）を含み20 mm以上のレキが主体（約7割）である。大きなレキを避けて2箇所（天端付近と法面中央付近）から試料を採取し粒度試験を行った結果を図-19に示す。これより、盛土材料の粒度は透水性が高く、津波越水の比較的短時間にも盛土内に水が侵入し、盛土がほぼ飽和状態になり、その



図-16 泊地区鉄道盛土の位置図



図-17 泊地区鉄道盛土（北側）の被災状況

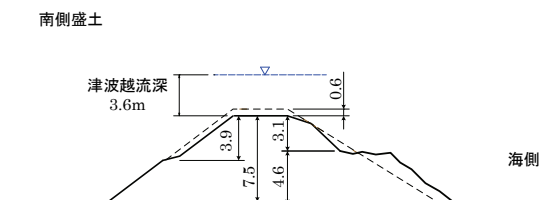


図-18 南側盛土の断面形状

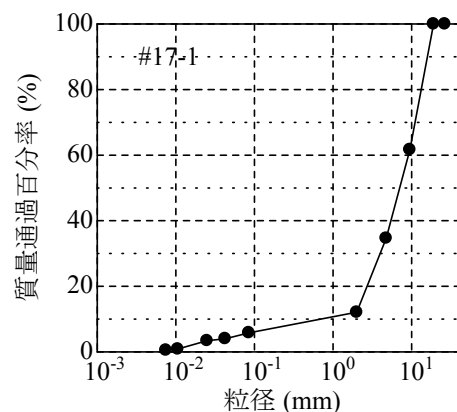


図-19 レキ分を除去した南側盛土材料の粒度分布

後の水位急低下時に法面の滑りが発生したことが考えられる。

(2) 北側の盛土（018地点）

北側の盛土では、盛土天端の線路は流失して、越流による陸側法面の浸食がみられた。海側法面は張り石と雑草が残っており、ほとんど浸食された形跡は見られない（図-20、図-21）。

盛土材の粒度分布を図-22に示す。北側盛土の材料は円弧滑りを起こした南側盛土と大きく異なり、20mm程度以下のレキを1/4程度含むが、細粒分を含む細砂主体であり、北が盛土とは透水係数が大きく異なるものと考えられる。そのため、盛土は津波越水の短時間に飽和することではなく、水位急低下時に円弧滑りを起こさなかったものと考えられる。



図-20 北側盛土の被災状況

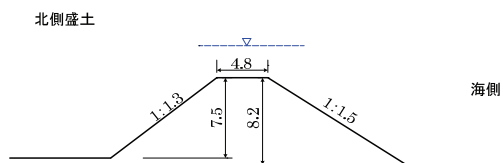


図-21 北側盛土の断面形状

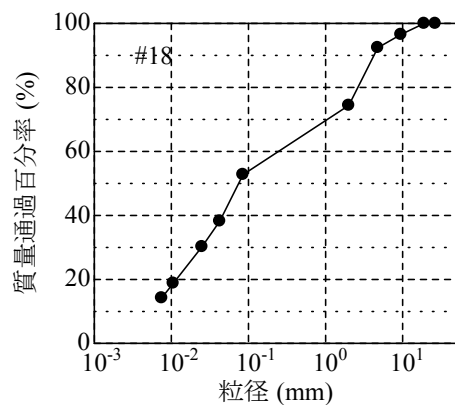


図-22 北側盛土の粒度分布

2.4 本郷地区の道路盛土

本郷地区では海岸堤防を越流した津波が海岸に並行している道路盛土も越流し、道路盛土の陸側の法肩が幅50cm程度浸食されていた。海側の法面は法肩が浸食されている以外には大きな変状はない。越流深さは道路盛土天端から4.5m（海岸堤防と道路盛土の間の木の痕跡から推定）。被害状況を図-23に示す。浸食された陸側の裏面から試料を採取し粒度分析したところ、10-20mmのレキを

1～2割含むが、これを除いて試料を採取した。盛土材料の組成は、レキ分が約5割、砂分が約25%、シルト分が約25%であった。



図-23 本郷地区盛土の被災状況

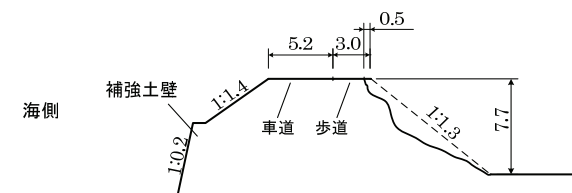


図-24 盛土の断面形状

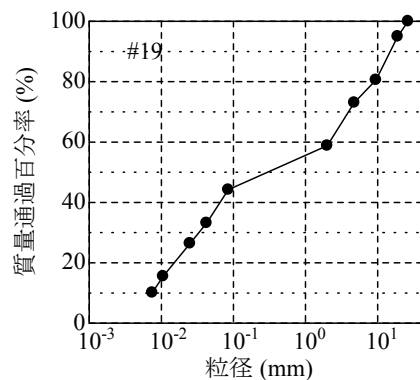


図-25 盛土材料の粒度分布

3. まとめ

気仙川右岸および綾里川から本郷地区までの間の河川堤防・鉄道盛土・道路盛土の津波による被災状況を調査した結果、以下の知見が得られた。

- 1) 気仙川右岸では、堤防が山付となっている箇所や横断構造物の取り付け箇所の上流側で被害が発生しやすい傾向が見られた。これは、堤内側を遡上する津波がなく、堤内地川の水位が上がり、いわゆるプール効果が発揮されるまでに時間を要するために越流水が法尻部を破壊しやすいためであると考えられる。
- 2) 堤防の縦断線形が僅かに川側にふくらんでいる箇所で、堤体の損傷や堤内地側に落掘れが形成された箇所があった。
- 3) 気仙川を横断する鉄道盛土では、右岸側と左岸側で堤体材料が異なり、細粒分を多く含む左岸川堤防の被害が小さかった。
- 4) 泊地区の鉄道盛土では、レキ主体の粗粒材料で構築された盛土の海側法面が円弧滑り破壊を生じていた。河川堤防やダムで見られる水位急低下時の滑り崩壊であると考えられる。津波のように数分から十数分で助下する水位変動の場合、かなりの粗粒土でも非排水状態に近く、滑り崩壊が生じることがわかった。

今回は限られた箇所の調査に留まったが、今後は多くの事例を収集し、外力である越流深や越流時間と抵抗力の指標である堤体材料が堤体の健全性に及ぼす影響を微地形やプール効果を含めて検討し、土構造物の越流に対する抵抗力を定量的に検討することにより、今後の津波や高水時の土構造物の耐越水性評価法の確立に貢献できるものと考えられる。