

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2021-134477

(P2021-134477A)

(43) 公開日 令和3年9月13日(2021.9.13)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
EO2D 27/34 (2006.01)	EO2D 27/34 Z	2D046
EO2D 27/52 (2006.01)	EO2D 27/52 Z	2D118
EO2B 3/06 (2006.01)	EO2B 3/06 301	

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2020-28416 (P2020-28416)
 (22) 出願日 令和2年2月21日 (2020.2.21)

(71) 出願人 000006655
 日本製鉄株式会社
 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
 (74) 代理人 100099759
 弁理士 青木 篤
 (74) 代理人 100123582
 弁理士 三橋 真二
 (74) 代理人 100187702
 弁理士 福地 律生
 (74) 代理人 100162204
 弁理士 齋藤 学
 (74) 代理人 100160705
 弁理士 伊藤 健太郎

最終頁に続く

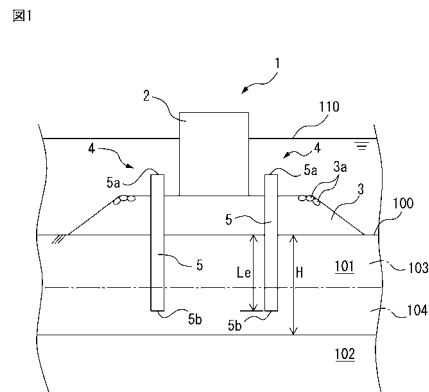
(54) 【発明の名称】 支持構造、重力式防波堤及び重力式防波堤の施工方法

(57) 【要約】

【課題】地震に強い支持構造、重力式防波堤及び重力式防波堤の施工方法を提供する。

【解決手段】重量構造物2と液状化層101上に設けられて重量構造物2を支持するマウンド3とを有する重力式防波堤1の支持構造4が、重量構造物2の前面側及び後面側の少なくとも一側において重量構造物2から離間し且つ重量構造物2の延在方向に沿って配置された、鉛直方向に延在する複数の支持構造体5を具備し、複数の支持構造体5の上端5aがマウンド3内に位置するか又はマウンド3から上方に突出している。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

重量構造物と液状化層を含む地盤上に設けられて前記重量構造物を支持するマウンドとを有する重力式防波堤の支持構造であって、

前記重量構造物の前面側及び後面側の少なくとも一方側において前記重量構造物から離間し且つ前記重量構造物の延在方向に沿って配置された、鉛直方向に延在する複数の支持構造体を具備し、

前記複数の支持構造体の上端が前記マウンド内に位置するか又は前記マウンドから上方に突出していることを特徴とする支持構造。

【請求項 2】

前記複数の支持構造体の下端が液状化層内に位置していることを特徴とする請求項 1 に記載の支持構造。

【請求項 3】

液状化層の上面から前記複数の支持構造体の下端までの距離を L_e とし、液状化層の間隙比を e とし、液状化層の層厚を H としたときに、 $L_e > e / (1 + e) \times H$ の関係式を満たす請求項 2 に記載の支持構造。

【請求項 4】

隣接する前記複数の支持構造体が互いに離間して整列している請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の支持構造。

【請求項 5】

前記複数の支持構造体の上端が、前記マウンドから上方に突出し且つ前記重量構造物から離間しており、前記複数の支持構造体の前記マウンドから突出した部分と前記重量構造物との間に配置された充填材をさらに具備する請求項 4 に記載の支持構造。

【請求項 6】

前記充填材が前記マウンドと同等の透水性を有する請求項 5 に記載の支持構造。

【請求項 7】

前記複数の支持構造体の上端が、前記マウンドから上方に突出し且つ前記重量構造物から離間しており、前記複数の支持構造体の前記マウンドから突出した部分と前記重量構造物との間に充填材が配置されていないことを特徴とする請求項 4 に記載の支持構造。

【請求項 8】

前記重量構造物と、
液状化層上に設けられて前記重量構造物を支持する前記マウンドと、
請求項 1 乃至 7 のいずれか一項に記載の支持構造と、を具備することを特徴とする重力式防波堤。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の重力式防波堤の施工方法であって、
前記複数の支持構造体を打設する打設工程を含み、
前記打設工程が、先端ビット付ケーシングパイプを回転圧入させて前記マウンドを打抜く工程と、打抜いた部分に砂利又は砂を投入する工程と、前記打抜いた部分に前記複数の支持構造体を打設する工程と、を含む重力式防波堤の施工方法。

【請求項 10】

請求項 8 に記載の重力式防波堤の施工方法であって、
前記複数の支持構造体を打設する打設工程を含み、
前記打設工程が、前記複数の支持構造体の先端に硬質ビットを取り付ける工程と、前記硬質ビット及びウォータージェットを併用したパイプロハンマにて前記マウンドを貫通して前記複数の支持構造体を打設する工程と、を含む重力式防波堤の施工方法。

【請求項 11】

請求項 8 に記載の重力式防波堤の施工方法であって、
前記複数の支持構造体を打設する打設工程を含み、
前記打設工程が、前記複数の支持構造体の先端に硬質ビットが取り付ける工程と、前記

10

20

30

40

50

複数の支持構造体の回転圧入によって前記マウンドを貫通して前記複数の支持構造体を打設する工程と、を含む重力式防波堤の施工方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、支持構造、重力式防波堤及び重力式防波堤の施工方法に関する。

【背景技術】

【0002】

港湾の外郭に配置される防波堤として、重力式防波堤が広く知られている。重力式防波堤は、コンクリート製のケーソン等の重量構造物を、海底の地盤上に直接的に設置するか、又は、地盤上に捨石又は砂を投入して築造されたマウンド上に設置することによって構成される。重力式防波堤は、津波や波浪による外力に対して、重量構造物と設置面との摩擦で以て抵抗することによって、防波堤として機能する。

10

【0003】

津波や波浪は一定の波高を有するので、重力式防波堤の天端の高さを維持することが重要である。しかしながら、長年に亘る繰り返しの波浪の影響によって又は地震によって発生した地盤の液状化の影響によって重力式防波堤、すなわち重量構造物が沈下し、重力式防波堤の天端の高さが大きく低下してしまう場合がある。波浪の影響による重力式防波堤の沈下は、長期的な変化であることから計画的な対策を行うことが可能である。他方、地盤の液状化の影響による重力式防波堤の沈下は、突発的な変化であることから、予測及び対策が困難である。特に、重力式防波堤の直下の地盤に液状化層を含む場合、地盤の液状化によって重力式防波堤が大きく沈下してしまう。例えば、1995年に発生した兵庫県南部地震では、神戸港の防波堤が液状化現象によって1.4～2.6m程度沈下した。

20

【0004】

特許文献1及び特許文献2には、液状化現象による重量構造物の沈下を低減するように構成された重力式防波堤が開示されている。

【0005】

特許文献1には、重量構造物の前後において外方且つ下方に離間した砂質土層内に、重量構造物の延在方向に沿って対向する一对の不透水又は難透水性の地中壁を配置した重力式防波堤が開示されている。特許文献1の重力式防波堤では、重量構造物直下の砂質土層に液状化が発生しても、地中壁による剪断変形の抑止効果によって一对の地中壁間の砂質土層の体積変化が抑制される。その結果、重量構造物の沈下が抑制されるように構成されている。

30

【0006】

特許文献2には、重量構造物直下の砂質土層の上面、すなわちマウンドの下面から所定深さに至る部分に、地盤改良用の薬液又はセメント系固化材を注入させることにより、液状化現象の生じない所望厚さの盤状をした水平地盤改良層を造成した重力式防波堤が開示されている。特許文献2の重力式防波堤では、重量構造物直下の砂質土層に液状化が発生しても、マウンドの下に造成された水平地盤改良層によって液状化する範囲が低減される。その結果、重量構造物の沈下が抑制されるように構成されている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2008-019561号公報

【特許文献2】特開2008-019562号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

特許文献1の重力式防波堤では、上述したように、重量構造物の延在方向に沿って配置された一对の不透水又は難透水性の地中壁によって地中壁間の砂質土層の体積変化が抑制

50

されるものの、液状化の発生は許容しており、過剰間隙水圧が発生する。ここで、地中壁は不透水又は難透水性であるため、過剰間隙水圧は消散しにくい。他方、一对の地中壁の外側では液状化は発生するものの、地盤が半無限に広がっているため、地中壁間よりも液状化の程度は相対的に小さく、過剰間隙水圧は消散しやすい。このように、地中壁を境に液状化や過剰間隙水圧の発生の程度が異なる結果、地盤抵抗力も異なり、地中壁の移動や重量構造物の沈下又は傾斜を招く場合がある。さらには、地中壁間では地震後の液状化現象の沈静化が遅くなり、地震によって誘発された津波の襲来時において、重量構造物直下の地盤の支持力が回復せず、津波に対する本来の機能を十分に発揮できない可能性がある。

【0009】

例えば、2016年に発生した熊本地震では、大きな地震が3日間に2回発生しており、1回目の地震により沈下した重力式防波堤の修復が完了する前に、2回目の地震によってさらなる被害を受けている。このように短期間に複数回の大きな地震が発生した場合、その間に重力式防波堤の修復を完了させることは困難である。

10

【0010】

特許文献2の重力式防波堤では、水平地盤改良層の造成が広範囲となり、工費及び工期がかかる。特に、既設の重力式防波堤に適用しようとする場合、重量構造物直下の造成となるため、重量構造物及びマウンドが障害になる。そのため、重量構造物を打ち抜く施工、又は、マウンド周辺からの重量構造物直下の砂質土層に対する広範囲な施工となるため、さらに工費及び工期がかかる。

【0011】

本発明は、地震に強い支持構造、重力式防波堤及び重力式防波堤の施工方法を提供することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明の一態様によれば、重量構造物と液状化層上に設けられて前記重量構造物を支持するマウンドとを有する重力式防波堤の支持構造であって、前記重量構造物の前面側及び後面側の少なくとも一方側において前記重量構造物から離間し且つ前記重量構造物の延在方向に沿って配置された、鉛直方向に延在する複数の支持構造体を具備し、前記複数の支持構造体の上端が前記マウンド内に位置するか又は前記マウンドから上方に突出していることを特徴とする支持構造が提供される。

30

【0013】

前記複数の支持構造体の下端が液状化層内に位置していてもよい。液状化層の上面から前記複数の支持構造体の下端までの距離を L_e とし、液状化層の間隙比を e とし、液状化層の層厚を H としたときに、 $L_e > e / (1 + e) \times H$ の関係式を満たすようにしてもよい。隣接する前記複数の支持構造体が互いに離間して整列していてもよい。前記複数の支持構造体の上端が、前記マウンドから上方に突出し且つ前記重量構造物から離間しており、前記複数の支持構造体の前記マウンドから突出した部分と前記重量構造物との間に配置された充填材をさらに具備してもよい。前記充填材が前記マウンドと同等の透水性を有してもよい。前記複数の支持構造体の上端が、前記マウンドから上方に突出し且つ前記重量構造物から離間しており、前記複数の支持構造体の前記マウンドから突出した部分と前記重量構造物との間に充填材が配置されていなくてもよい。

40

【0014】

本発明の別の態様によれば、前記重量構造物と、液状化層上に設けられて前記重量構造物を支持する前記マウンドと、上述した支持構造と、を具備することを特徴とする重力式防波堤が提供される。

【0015】

本発明のさらに別の態様によれば、上述した重力式防波堤の施工方法であって、前記複数の支持構造体を打設する打設工程を含み、前記打設工程が、先端ビット付ケーシングパイプを回転圧入させて前記マウンドを打抜く工程と、打抜いた部分に砂利又は砂を投入する工程と、前記打抜いた部分に前記複数の支持構造体を打設する工程と、を含む重力式防

50

波堤の施工方法が提供される。

【0016】

本発明のさらに別の態様によれば、上述した重力式防波堤の施工方法であって、前記複数の支持構造体を打設する打設工程を含み、前記打設工程が、前記複数の支持構造体の先端に硬質ビットを取り付ける工程と、前記硬質ビット及びウォータージェットを併用したパイロハンマにて前記マウンドを貫通して前記複数の支持構造体を打設する工程と、を含む重力式防波堤の施工方法が提供される。

【0017】

本発明のさらに別の態様によれば、上述した重力式防波堤の施工方法であって、前記複数の支持構造体を打設する打設工程を含み、前記打設工程が、前記複数の支持構造体の先端に硬質ビットが取り付ける工程と、前記複数の支持構造体の回転圧入によって前記マウンドを貫通して前記複数の支持構造体を打設する工程と、を含む重力式防波堤の施工方法が提供される。

10

【発明の効果】

【0018】

本発明の態様によれば、地震に強い支持構造、重力式防波堤及び重力式防波堤の施工方法を提供するという共通の効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】図1は、本発明の第1実施形態による重力式防波堤の模式的な縦断面図である。

20

【図2】図2は、図1の重力式防波堤の平面図である。

【図3】図3は、重力式防波堤の支持構造の仕組みを説明する変形前の模式的な縦断面図である。

【図4】図4は、重力式防波堤の支持構造の仕組みを説明する変形後の模式的な縦断面図である。

【図5】図5は、液状化層と支持構造体の長さとの関係を説明する図である。

【図6】図6は、本発明の第2実施形態による重力式防波堤の模式的な縦断面図である。

【図7】図7は、本発明の第3実施形態による重力式防波堤の模式的な縦断面図である。

【図8】図8は、本発明の第4実施形態による重力式防波堤の模式的な縦断面図である。

【図9】図9は、支持構造体を打設する打設工程を説明する図である。

30

【図10】図10は、解析モデルを説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下、図面を参照しながら本発明の実施の形態を詳細に説明する。全図面に渡り、対応する構成要素には共通の参照符号を付す。

【0021】

図1は、本発明の第1実施形態による重力式防波堤1の模式的な縦断面図であり、図2は、図1の重力式防波堤1の平面図である。

【0022】

重力式防波堤1は、海底の地盤100上に設置される。地盤100は、表層の液状化層101と、液状化層101よりも下層に位置する非液状化層102とを含んでいる。重力式防波堤1は、重量構造物2と、海底の地盤100上に形成されて重量構造物2を支持するマウンド3と、支持構造4とを有している。支持構造4は、複数の支持構造体5を有している。

40

【0023】

なお、本明細書中では、重力式防波堤1又は重量構造物2において、陸地と反対側（港湾の場合は港の外側）を「前」側と規定し、陸地と対向する側（港湾の場合は港の内側）を「後」側と規定する。本発明における重力式防波堤1は、重量構造物2の前面側及び後面側が海に面しているものを指し、波除堤を含むものとする。

【0024】

50

重量構造物 2 は、例えばコンクリート製の箱状に形成されて内部に砕石材が充填されたケーソン又はコンクリートで形成された段積みブロック等である。重量構造物 2 は、自身の重量によって津波や波浪による外力に対して抵抗する。本実施形態において、重量構造物 2 は、略直方体状又は略立方体状に形成されたコンクリート製のケーソンである。

【 0 0 2 5 】

マウンド 3 は、海底の地盤 1 0 0 上に捨石 3 a を所定の高さにまで盛ることによって形成される。マウンド 3 の上面が平坦に整えられることによって、重量構造物 2 をマウンド 3 上に安定的に設置することができる。重量構造物 2 は、上端部が海面 1 1 0 から上方に突出した状態で、マウンド 3 上に設置されている。本実施形態では、図 2 に示されるように、複数の重量構造物 2 が所定間隔で整列され、横方向、すなわち重力式防波堤 1 の長手方向に延在している。

10

【 0 0 2 6 】

複数の支持構造体 5 は、重量構造物 2 の前面側及び後面側の両側において、重量構造物 2 から離間し且つ重量構造物 2 の延在方向に沿って並列に配置され、鉛直方向に延在している。すなわち、複数の支持構造体 5 は、重量構造物 2 の前面及び後面から外方に一定の距離だけ離間した位置において、マウンド 3 を貫通した状態で地盤 1 0 0 に打設されている。また、複数の支持構造体 5 は、重力式防波堤 1 の全長又は一部分に亘って配置されている。各列において、隣接する複数の支持構造体 5 は、互いに離間して整列している。複数の支持構造体 5 の上端 5 a はマウンド 3 から上方に突出している。複数の支持構造体 5 の下端 5 b は、液状化層 1 0 1 内に位置しており、非液状化層 1 0 2 に到達していない。

20

【 0 0 2 7 】

本実施形態において、複数の支持構造体 5 は複数の鋼管杭である。複数の支持構造体 5 は、後述するように、透水性を有する限りにおいて任意の支持構造体を採用可能である。例えば、複数の支持構造体 5 は、互いに離間して整列した複数の H 形鋼杭であってもよく、鋼管矢板又は鋼矢板に孔を開けた透水性鋼矢板であってもよい。

【 0 0 2 8 】

図 3 は、重力式防波堤 1 の支持構造 4 の仕組みを説明する変形前の模式的な縦断面図であり、図 4 は、重力式防波堤 1 の支持構造 4 の仕組みを説明する変形後の模式的な縦断面図である。

【 0 0 2 9 】

図 3 を参照すると、図 3 は地震発生直後の状態を示している。発生した地震の地震波 J によって、液状化層 1 0 1 において液状化現象が発生する。このとき、重量構造物 2 による荷重 P 1 を受けて、並列に配置された複数の支持構造体 5 間の液状化した液状化層 1 0 1 において、重量構造物 2 に対して前後方向、すなわち重量構造物 2 から互いに離間する、水平方向の過剰間隙水圧の消散 F 1 及び液状化層 1 0 1 の側方流動 F 2 が生じる。

30

【 0 0 3 0 】

複数の支持構造体 5 は、互いに離間して整列していることから、液状化によって生じた過剰間隙水圧の消散 F 1 は、隣接する支持構造体 5 間の間隙から流出する。したがって、支持構造 4 が設けられた液状化層 1 0 1 の部分は、支持構造 4 が設けられていない液状化層 1 0 1 の部分と比較しても、同等の透水性が確保される。したがって、並列に配置された複数の支持構造体 5 間の液状化した液状化層 1 0 1 における過剰間隙水圧の発生は抑制される。また、複数の支持構造体 5 は、重量構造物 2 から前後方向において離間して配置されていることによって、重量構造物 2 から互いに離間する水平方向の過剰間隙水圧の消散 F 1 のみならず、重量構造物 2 及び複数の支持構造体 5 間において上方向の過剰間隙水圧の消散 F 3 も生じる。したがって、水平方向の過剰間隙水圧の消散 F 1 に加え、上方向の過剰間隙水圧の消散 F 3 によっても透水性が確保され、過剰間隙水圧の発生が抑制される。

40

【 0 0 3 1 】

過剰間隙水圧の発生が抑制されることによって、液状化現象は、軽減され且つ早期に沈静化する。その結果、地震によって液状化現象が発生したとしても、地震後の地盤 1 0 0

50

の支持力が早期に回復することから、重力式防波堤 1 は、地震によって誘発された津波に対して抵抗することができる。

【 0 0 3 2 】

マウンド 3 は捨石 3 a によって形成されていることから、個々の捨石 3 a 間の間隙が比較的大きい。したがって、マウンド 3 の透水性が高いことから、マウンド 3 において液状化現象は発生しない。そのため、液状化層 1 0 1 において液状化現象が発生し、液状化層 1 0 1 に位置する支持構造体 5 の部分の支持が失われても、マウンド 3 内に位置する支持構造体 5 の部分の支持は失われることはない。すなわち、マウンド 3 内に位置する支持構造体 5 の部分が捨石 3 a 間の挟持力 P 2 によって強固に固定されることによって、支持構造体 5 の支点が形成される。

10

【 0 0 3 3 】

次いで、図 4 を参照すると、図 4 は液状化現象の沈静化後の状態を示している。液状化層 1 0 1 内に位置する支持構造体 5 の部分が側方流動 F 2 を受けて、支持構造体 5 は、マウンド 3 によって支持された部分を支点到回転する。したがって、並列に配置された複数の支持構造体 5 は、下端 5 b が互いに離間する方向に回転する。詳細には、図 4 に示されるように、複数の支持構造体 5 は、下方に向かって下端 5 b が広がる。一方で、複数の支持構造体 5 は、上方に向かって上端 5 a が近接する。その結果、地震発生前は鉛直方向に延在していた支持構造体 5 が傾斜することから、支持構造体 5 は重量構造物 2 に対して斜杭を構成する。重量構造物 2 は、前面側及び後面側の両側から斜杭として構成された複数の支持構造体 5 によって支持される。すなわち、重量構造物 2 は、重量構造物 2 の荷重 P 1 に対し、支持力を回復した液状化層 1 0 1 から複数の支持構造体 5 が受ける抗力 P 3 によって強固に支持される。

20

【 0 0 3 4 】

液状化現象によって、複数の支持構造体 5 が自発的に姿勢を変えて斜杭となることから、重力式防波堤 1 は、修復を行うことなく地震によって誘発された津波及びその後の地震に対して抵抗することができる。且つ、支持構造 4 による補強効果及び耐震性を維持することができる。また、液状化の際に、複数の支持構造体 5 がマウンド 3 によって支持された部分を支点到回転することから、側方流動 F 2 による力が受け流され、側方流動 F 2 による複数の支持構造体 5 の損傷が低減される。

【 0 0 3 5 】

複数の支持構造体 5 の下端 5 b は、液状化層 1 0 1、特に土粒子層 1 0 4 に位置していることが好ましい。これについて、図 5 を参照しながら説明する。

30

【 0 0 3 6 】

図 5 は、液状化層 1 0 1 と支持構造体 5 の長さとの関係を説明する図である。図 5 では、所定の横断面積 A を備えた円柱状に切り出された液状化層 1 0 1 の部分を示している。液状化層 1 0 1 は、無数の土粒子と、間隙水とからなる。すなわち、地震前において、土粒子は、互いに当接することによって、土粒子間に間隙を形成しながら一体的な構造体を構成し、形成された構造体の間隙に間隙水が充填されている。地震発生時において、振動によって過剰間隙水圧が発生すると土粒子の構造体が崩壊する。その結果、土粒子と間隙水とが渾然一体となって、液状化層 1 0 1 は全体として流動化する。地震後において、過剰間隙水圧の消散と共に土粒子が間隙水中を沈降した結果、土粒子間の間隙がより小さくなり、液状化層 1 0 1 が沈下することになる。したがって、極端には液状化層 1 0 1 が、土粒子層 1 0 4 と間隙水層 1 0 3 とに完全分離される可能性がある。なお、間隙水層 1 0 3 は、空気を含んでもよい。

40

【 0 0 3 7 】

液状化層 1 0 1 の層厚を H とし、間隙水層 1 0 3 の層厚を H_v とし、土粒子層 1 0 4 の層厚を H_s とする。また、液状化層 1 0 1 の体積を V とし、間隙水層 1 0 3 の体積を V_v とし、土粒子層 1 0 4 の体積を V_s とする。また、間隙水層 1 0 3 と土粒子層 1 0 4 との体積比 V_v / V_s を間隙比 e とする。液状化層 1 0 1 の層厚 H 及び間隙比 e は、地盤調査を行うことによって求めることができる。間隙比 e は、例えば、採取した地盤を炉で乾燥

50

させ、水分量を測定することによって求めることができる。

【0038】

液状化層101内に位置する支持構造体5の部分の長さ、すなわち液状化層101の上面から支持構造体5の下端5bまでの距離を L_e としたとき、支持構造体5の下端5bが土粒子層104内に位置するための条件は、 $L_e > H_v$ (式(1))であり、以下のとおり求められる。

【0039】

すなわち、間隙水層103の体積 V_v は $V_v = A \times H_v$ で表され、土粒子層104の体積 V_s は $V_s = A \times H_s$ で表される。したがって、間隙比 e は、層厚の関係式として $e = H_v / H_s$ で表され、間隙水層103の層厚 H_v は $H_v = e \times H_s$ (式(2))で表される。液状化層の層厚 H は、式(2)を用いて、 $H = H_s + H_v = (1 + e) \times H_s$ で表される。したがって、土粒子層104の層厚 H_s は、 $H_s = H / (1 + e)$ (式(3))で表される。式(1)に対して式(2)及び式(3)を用いることによって、 $L_e > e / (1 + e) \times H$ の関係式 R を得る。

【0040】

以上より、地盤調査によって容易に求めることができる液状化層101の層厚 H 及び間隙比 e 並びに関係式 R から、距離 L_e を容易に導出することができる。図4に示されるように、液状化現象の沈静化後に土粒子層104と間隙水層103とが完全分離された状態であっても、支持構造体5の下端5bが土粒子層104内に位置することによって、重量構造物2をより強固に支持することができる。したがって、重力式防波堤1は、修復を行うことなく地震によって誘発された津波及びその後の地震に対して抵抗することができ、且つ、支持構造4による補強効果及び耐震性を維持することができる。

【0041】

図6は、本発明の第2実施形態による重力式防波堤11の模式的な縦断面図である。重力式防波堤11は、第1実施形態による重力式防波堤1と比較して、支持構造体5の上端5aがマウンド3から上方に突出しておらず、マウンド3内に位置している点においてのみ異なる。

【0042】

本実施形態においても、マウンド3内に位置する支持構造体5の部分が、上述した捨石3a間の挟持力によって強固に固定されることによって、支持構造体5の鉛直方向における支点が形成される。したがって、上述した第1実施形態と同様の効果を奏する。

【0043】

要するに、第1実施形態及び第2実施形態では、複数の支持構造体5の上端5aがマウンド3内に位置するか又はマウンド3から上方に突出し、複数の支持構造体5の下端5bが液状化層101内に位置している。言い換えると、支持構造体5の上端5aは液状化層101よりも上方に位置している。その結果、上述したように、マウンド3内に位置する支持構造体5の部分によって支点が形成される。なお、支持構造体5の上端5aとマウンド3の上面とを揃えることによって、すなわち同一高さとすることによって、マウンド3による最大の挟持力を得ることができる。言い換えると、支持構造体5の上端5aがマウンド3から上方にさらに突出しても、支持構造体5の支点を形成する挟持力 P_2 は最大値から変化しない。

【0044】

図7は、本発明の第3実施形態による重力式防波堤21の模式的な縦断面図である。重力式防波堤21は、第1実施形態による重力式防波堤1と比較して、支持構造4が、支持構造体5に加え充填材6を有している点においてのみ異なる。

【0045】

充填材6は、重量構造物2の前面及び後面とマウンド3から上方に突出している複数の支持構造体5の部分との間に、上端5aの高さまで充填される。充填材6は、例えば砂利、碎石、捨石、又は、空洞や空隙を有した人工的なブロックであり、これらの混合物又は積層物であってもよい。また、充填材6がマウンド3と同等の透水性を有するように構成

10

20

30

40

50

してもよい。したがって、充填材 6 は、マウンド 3 を構成する捨石と同一の捨石であってもよい。充填材 6 は、隣接する支持構造体 5 間の間隙から漏出しないように、大きさ及び形状が決定される。例えば、隣接する支持構造体 5 の間隔を 250 mm とした場合、粒径が 300 mm ~ 600 mm 程度の捨石が用いられる。

【0046】

充填材 6 は、津波や波浪による外力を受けた重量構造物 2 からの水平方向の力を支持構造体 5 に伝達する。したがって、支持構造体 5 は、充填材 6 を介して間接的に重量構造物 2 から伝達された水平方向の力を受け止めることにより、重量構造物 2 を支持している。その結果、外力に対して粘り強く重量構造物 2 を支持する重力式防波堤を実現することができる。

10

【0047】

図 8 は、本発明の第 4 実施形態による重力式防波堤 31 の模式的な縦断面図である。重力式防波堤 11 は、第 1 実施形態による重力式防波堤 1 と比較して、複数の支持構造体 5 の下端 5b が、液状化層 101 を貫通して、非液状化層 102 内に位置している点においてのみ異なる。支持構造体 5 の下端 5b が非液状化層 102 内に位置することによって、重量構造物 2 をより強固に支持することができる。その結果、重力式防波堤 31 において、液状化現象による重量構造物 2 の沈下を低減することができる。

【0048】

ところで、複数の支持構造体 5 は、重量構造物 2 の前面及び後面から外方に一定の距離だけ離間した位置において、マウンド 3 を貫通した状態で地盤 100 に打設されている。仮に、複数の支持構造体 5 のマウンド 3 から上方に突出した部分が重量構造物 2 に当接した状態で配置された場合、マウンド 3、ひいては重力式防波堤が設置された地盤 100 に悪影響を及ぼす可能性がある。

20

【0049】

すなわち、地盤 100 上にマウンド 3 を形成し、マウンド 3 上に重量構造物 2 を設置した状態で、複数の支持構造体 5 を打設しようとした場合、支持構造体 5 の打設に伴う地盤性状の変化を重量構造物 2 自体が受けてしまう可能性がある。この場合、地盤 100 やマウンド 3 が緩んで重量構造物 2 が不安定な状態となったり、重量構造物 2 がマウンド 3 上において滑動しやすくなったりする危険性がある。その結果、これらを低減するための補強工事を行う必要性が生じてしまう。

30

【0050】

そのため、複数の支持構造体 5 は、重量構造物 2 の前面及び後面から外方に一定の距離だけ離間した位置において、マウンド 3 を貫通した状態で地盤 100 に打設されていることが好ましい。

【0051】

上述した実施形態では、複数の支持構造体 5 を重量構造物 2 の前面側及び後面側の両側に配置したが、複数の支持構造体 5 を重量構造物 2 の前面側及び後面側のいずれか一方側に配置するように構成してもよい。複数の支持構造体 5 を重量構造物 2 の前面側及び後面側の両側に並列に配置する場合、一方の列の複数の支持構造体 5 の上端 5a をマウンド 3 から上方に突出するようにし、他方の列の複数の支持構造体 5 の上端 5a をマウンド 3 内に位置するようにしてもよい。また、マウンド 3 から上方に突出する部分について、重量構造物 2 の前面又は後面との間に充填材 6 を充填してもよく、充填材 6 を充填しなくてもよい。

40

【0052】

複数の支持構造体 5 を重量構造物 2 の前面側及び後面側の両側に並列に配置する場合、各列における複数の支持構造体 5 について、下端 5b の位置、すなわち支持構造体 5 の挿入深さを揃える必要はない。例えば、液状化層 101 に傾斜がある場合、各列の下端 5b の位置を傾斜に応じて異ならせてもよい。また、同一の列であっても、液状化層 101 の傾斜に応じて隣接する支持構造体 5 の下端 5b の位置を異ならせてもよい。複数の支持構造体 5 の下端 5b の位置を異ならせる場合、すべての支持構造体 5 について上述した関係

50

式 R を満たしていることが好ましい。

【 0 0 5 3 】

重量構造物 2 の重心が一方側、例えば前側、すなわち港外側に偏っている場合、港外側の列の複数の支持構造体 5 の下端 5 b をより下方に、すなわち挿入深さをより深くしてもよく、港外側の列の複数の支持構造体 5 の剛性を高くしてもよい。それによって、重量構造物 2 をより安定的に支持することができる。

【 0 0 5 4 】

次に、重力式防波堤 1 の施工方法について説明する。まず、地盤 1 0 0 上に所定の高さのマウンド 3 を形成する工程と、次いで、マウンド 3 上に重量構造物 2 を設置する工程と、次いで、上述した配置及び態様で、支持構造 4 を設ける工程とを経て、重力式防波堤 1 の施工が完了する。支持構造 4 を設ける工程は、マウンド 3 及び地盤 1 0 0 に対して複数の支持構造体 5 を打設する工程を含む。さらに、支持構造 4 を設ける工程は、必要に応じて、重量構造物 2 の前面及び後面とマウンド 3 から上方に突出している複数の支持構造体 5 の部分との間に充填材 6 を充填する工程を含んでもよい。なお、重力式防波堤 1 の施工方法における支持構造 4 を設ける工程は、新設されたマウンド 3 及び重量構造物 2 に対して行ってもよく、既設のマウンド 3 及び重量構造物 2 に対して行ってもよい。

【 0 0 5 5 】

図 9 は、支持構造体 5 を打設する打設工程を説明する図である。図 9 の打設工程では、先端ビット付ケーシングパイプを回転圧入させてマウンド 3 を打抜く工程と、打抜いた部分に砂利又は砂を投入する工程と、打抜いた部分に複数の支持構造体 5 を打設する工程と、を含む。

【 0 0 5 6 】

具体的には、アウトリガー 2 0 1 を備えた自己昇降式作業台船 2 0 0 によって全周旋回機 2 0 2 を用いて打設作業が行われる。まず、支持構造体 5 を打設しようとする位置に全周旋回機 2 0 2 の掘削孔位置を合わせた状態で、アウトリガー 2 0 1 を地盤 1 0 0 に張り出して自己昇降式作業台船 2 0 0 を停泊させる。次いで、マウンド 3 及びマウンド 3 直下の地盤 1 0 0 を切削しながら、全周旋回機 2 0 2 に設置された先端ビット付きのケーシングパイプ 2 0 3 を回転圧入する（図 9 (A)）。次いで、ケーシングパイプ 2 0 3 の内部に堆積した切削物 1 0 5 をハンマーグラブ等で除去する（図 9 (B)）。次いで、切削物が除去されたケーシングパイプ 2 0 3 の内部の空間に、砂利又は砂 1 0 6 を投入する（図 9 (C)）。次いで、ケーシングパイプ 2 0 3 を引き抜き、投入された砂利又は砂 1 0 6 の部分に対して、全周旋回機 2 0 2 に設置された支持構造体 5 を打設することによって打設工程が完了する（図 9 (D)）。なお、図 9 (D)における支持構造体 5 の打設は、回転圧入工法やパイプロハンマ工法で行われる。

【 0 0 5 7 】

支持構造体 5 の打設工程は、他の方法、例えばジェット併用パイプロハンマを用いた方法であってもよい。具体的には、複数の支持構造体 5 の先端に硬質ビットを取り付ける工程と、硬質ビット及びウォータージェットを併用したパイプロハンマにてマウンド 3 を貫通して複数の支持構造体 5 を打設する工程と、を含む。

【 0 0 5 8 】

具体的には、先端に硬質ビットを取り付けた支持構造体 5 を、ウォータージェット併用パイプロハンマによって打設する。すなわち、支持構造体 5 の内部には配管が通してあり、支持構造体 5 の先端から高圧のウォータージェットを噴射できるように構成されている。パイプロハンマの振動によって支持構造体 5 の先端の硬質ビットでマウンド 3 の捨石を切削し、高圧のウォータージェットによる切削補助も働き、マウンド 3 及び地盤 1 0 0 を貫通させて、支持構造体 5 の打設が完了する。

【 0 0 5 9 】

支持構造体 5 の打設工程は、さらに他の方法、例えば回転圧入工法であってもよい。具体的には、複数の支持構造体 5 の先端に硬質ビットが取り付ける工程と、複数の支持構造体 5 の回転圧入によってマウンド 3 を貫通して複数の支持構造体 5 を打設する工程と、を

10

20

30

40

50

含む。

【 0 0 6 0 】

具体的には、先端に硬質ビットを取り付けた支持構造体 5 を、回転圧入によって打設する。回転圧入には、上述した自己昇降式作業台船 2 0 0 に全周旋回機 2 0 2 を配置するか、自走式の回転圧入機を用いる。回転圧入力によって、支持構造体 5 の硬質ビットでマウンド 3 の捨石を切削し、マウンド 3 及び地盤 1 0 0 を貫通させて、支持構造体 5 の打設が完了する。

【 0 0 6 1 】

上述した打設工程によれば、マウンド 3 を鉛直方向に打ち抜くことによって打設が行われ、さらにその範囲も重量構造物 2 の延在方向に沿って所定間隔で行われることから、例えば特許文献 2 に記載の施工に比べて工費及び工期を最小限に抑えることができる。

10

【 0 0 6 2 】

図 1 0 は、解析モデルを説明する図である。図 1 0 に示された解析モデルに対して、有限要素法による地震応答解析を用いて、本発明の効果の検証を行った。具体的には、地震応答解析プログラムとして F L I P (v e r . 7 . 3 . 0) を用いて、解析結果を重量構造物 2 の沈下量として求める。入力地震動として、1 9 9 5 年兵庫県南部地震のポートアイランド計測記録から作成された基盤入射波形を用い、その最大加速度は 5 4 4 g a l である。

【 0 0 6 3 】

支持構造体 5 として、外径が 1 2 0 0 m m で且つ板厚 1 4 m m の鋼杭を用いた。図 1 0 において、重量構造物 2 の高さ L 1 を 1 4 m とし、重量構造物 2 の前後方向の厚さ L 2 を 8 . 7 m とし、マウンド 3 の高さ L 3 を 5 m とし、支持構造体 5 の長さ L 4 を 2 0 . 7 m とし、マウンド 3 から突出する支持構造体 5 の長さ L 5 を 4 . 7 m とし、マウンド 3 及び地盤 1 0 0 内に位置する支持構造体 5 の長さ L 6 を 1 6 m とし、重量構造物 2 の前面及び後面からの支持構造体 5 の中心距離 L 7 を 3 m とし、液状化層 1 0 1 の厚さ L 8 を 2 9 . 5 m とする。なお、支持構造体 5 の下端 5 b は、液状化層 1 0 1 内に位置している。また、液状化層 1 0 1 の上面から支持構造体 5 の下端までの距離 L e は、上述した関係式 $L e > e / (1 + e) \times H$ を満たしている。

20

【 0 0 6 4 】

地震応答解析は、支持構造体 5 の配置及び充填材 6 の有無に応じて異なる次の 3 つのケースについて行う。ケース 1 は、図 1 0 に示されるように、重力式防波堤 1 が、重量構造物 2 の前面側及び後面側の両側に支持構造 4 を有する場合である。ケース 2 は、重力式防波堤が、重量構造物 2 の前面側及び後面側のいずれか一方側にのみ支持構造 4 を有する場合である。すなわち、ケース 2 は、図 1 0 に示された支持構造 4 の一方を省略した重力式防波堤 1 である。ケース 3 は、重力式防波堤が、重量構造物 2 及びマウンド 3 のみからなり、したがって支持構造 4 を有さない場合である。ケース 1 及びケース 2 については、充填材 6 の有無の違いについても解析を行った。

30

【 0 0 6 5 】

解析結果を表 1 に示す。表 1 は、各ケース及び充填材の有無に対応する重量構造物の沈下量を示している。なお、括弧内の数値は、充填材の有無に対応するケース 1 に対する沈下量の割合を示している。

40

【 0 0 6 6 】

【表 1】

	充填材無し時の沈下量	充填材有り時の沈下量
ケース 1	0. 9 5 m (1 0 0 %)	1. 0 7 m (1 0 0 %)
ケース 2	1. 2 2 m (1 2 8 %)	1. 3 0 m (1 2 1 %)
ケース 3	1. 7 9 m (1 8 8 %)	

【 0 0 6 7 】

50

表 1 を参照すると、充填材 6 が有る場合と無い場合のいずれも、支持構造 4 によって沈下量が低減され、液状化現象による重量構造物 2 の沈下が低減されることが明らかとなった。特に、両側に支持構造体 5 を配置したケース 1 と支持構造 4 を一切有さないケース 3 とを比較すると、ケース 3 はケース 1 と比較して沈下量が 88% も増加する。

【 0 0 6 8 】

なお、ケース 1 について充填材 6 の有無を比較すると、充填材 6 が無い方が、沈下量が低減される。これは、並列に配置された複数の支持構造体 5 の下端 5 b が図 4 に示されるように下方に向かって拡がる際に、支持構造体 5 のマウンド 3 から上方に突出する部分と重量構造物 2 との間に配置された充填材 6 が、その移動をある程度阻害するためと考えられる。その結果、支持構造体 5 の斜杭としての効果が低減されるが、上述したように充填材 6 によって水平方向の力に対する抵抗力は向上する。

10

【 0 0 6 9 】

以上より、上述した実施形態によれば、地震に強い支持構造、重力式防波堤及び重力式防波堤の施工方法を提供することができる。特に、第 1 実施形態及び第 2 実施形態によれば、重力式防波堤において、液状化現象による重量構造物の沈下を低減することができる。したがって、重力式防波堤は、修復を行うことなく地震によって誘発された津波及びその後の地震に対して抵抗することができ、且つ、支持構造 4 による補強効果及び耐震性を維持することができる。また、第 3 実施形態によれば、重力式防波堤において、津波や波浪による外力を受けた重量構造物を粘り強くしっかりと支持することができる。

20

【 符号の説明 】

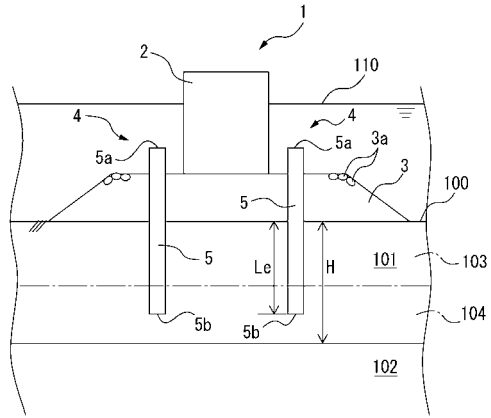
【 0 0 7 0 】

- 1 重力式防波堤
- 2 重量構造物
- 3 マウンド
- 4 支持構造
- 5 支持構造体
- 5 a 上端
- 5 b 下端
- 6 充填材
- 1 0 0 地盤
- 1 0 1 液状化層
- 1 0 2 非液状化層
- 1 1 0 海面

30

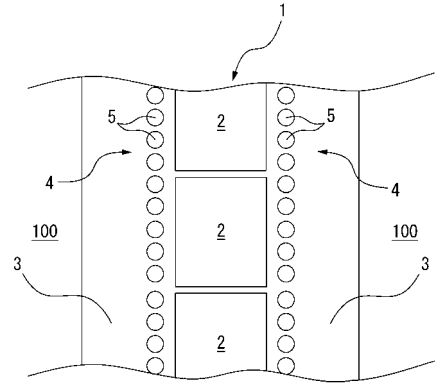
【 図 1 】

図1



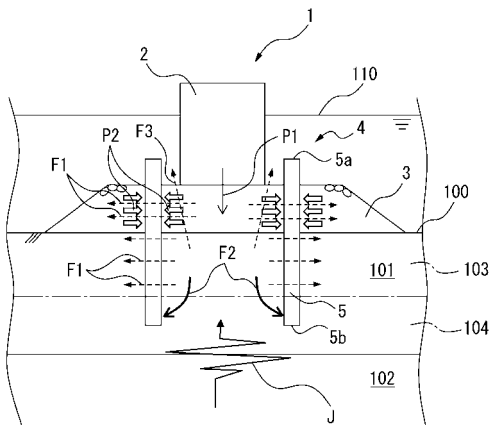
【 図 2 】

図2



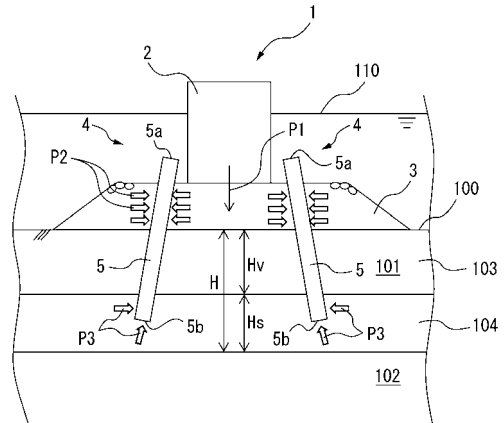
【 図 3 】

図3



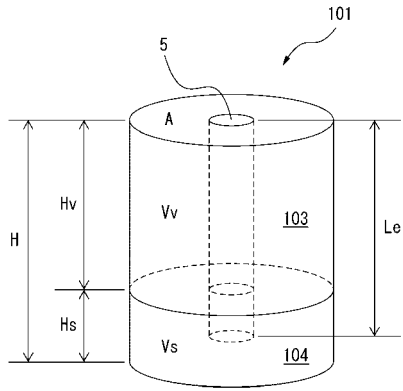
【 図 4 】

図4



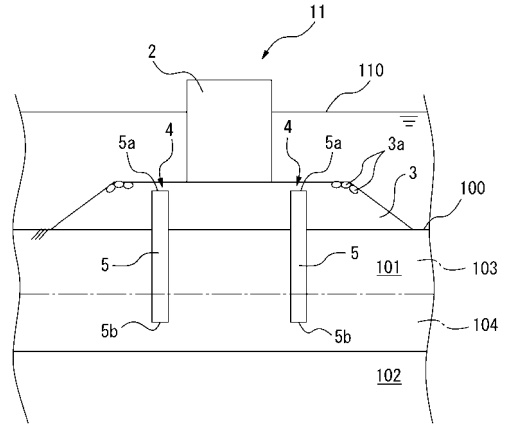
【 図 5 】

図5



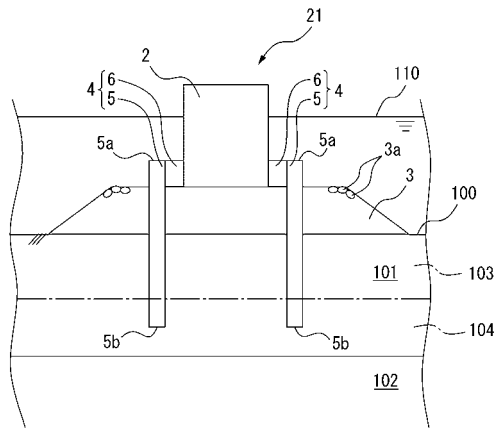
【 図 6 】

図6



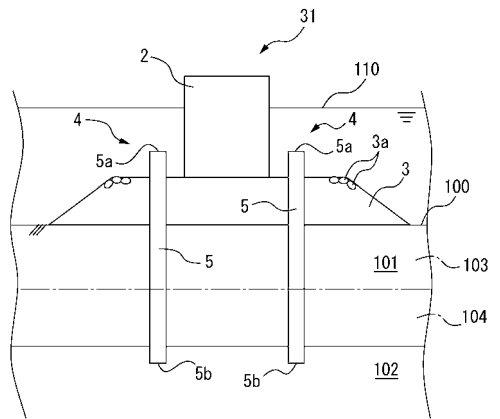
【 図 7 】

図7



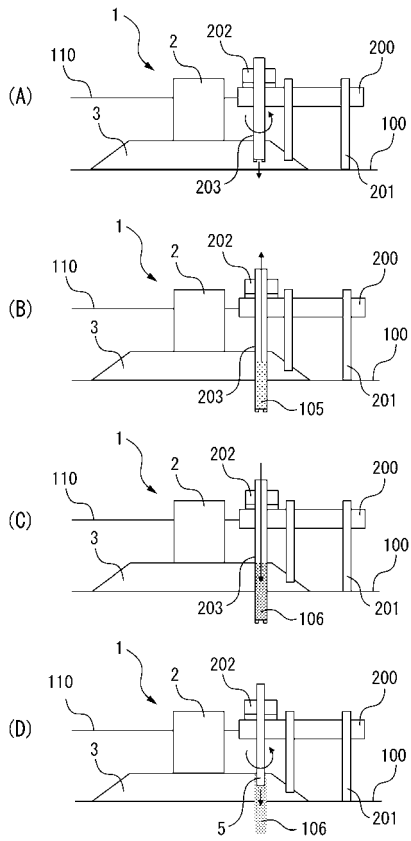
【 図 8 】

図8



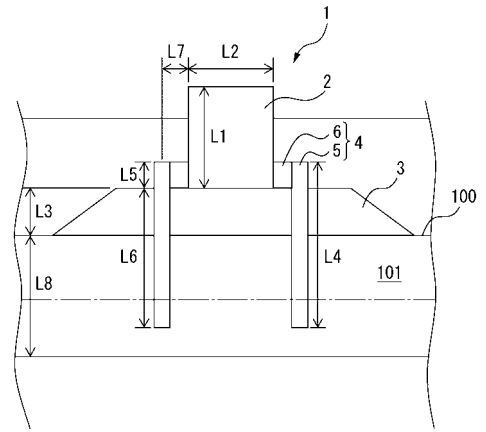
【 図 9 】

図9



【 図 1 0 】

図10



フロントページの続き

(72)発明者 森安 俊介

東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 日本製鉄株式会社内

(72)発明者 妙中 真治

東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 日本製鉄株式会社内

(72)発明者 及川 森

東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 日本製鉄株式会社内

Fターム(参考) 2D046 DA11 DA61

2D118 AA11 BA01 BA03 BA05 CA03 DA05 FB12 FB13 GA01 GA07

HA34 HB04