

明 細 書

発明の名称： 組合せ鋼製壁

技術分野

[0001] 本発明は、土留め工、締切工、護岸、埋立、堤防等で用いられる組合せ鋼製壁に関する。

本願は、２０１２年９月７日に、日本に出願された特願２０１２－１９６８９９号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 組合せ鋼製壁とは、複数の鋼矢板の連結により構築される壁体にＨ形鋼や鋼管等の補剛材を組み合わせて構築される剛性が高められた壁構造であり、高い壁高が求められる現場などにも適用することが可能である。また、隣り合う鋼矢板を継手部で嵌合させて壁体を構築することで、継手の遊間が比較的大きい鋼管矢板に比べて、止水性を向上させることが可能になる。

組合せ鋼製壁の中でも、鋼管を補剛材として適用した場合は、施工上の様々な長所を有する。Ｈ形鋼を補剛材として用いる場合、Ｈ形鋼を地盤に打ち込む際に地盤の抵抗によりフランジ部分が変形しやすい等の問題がある。しかしながら、鋼管の場合はＨ形鋼のフランジのように突出部分を有していないため、埋め込み時に変形が起こりにくい。また、鋼管は回転させながら地盤に埋め込むこともできる。

鋼管と鋼矢板とを組み合わせてなる鋼製壁の一例として、特許文献１、特許文献２、及び特許文献３に記載のものが知られている。

[0003] 特許文献１に記載の鋼製壁では、鋼矢板の表裏面の少なくともいずれか一方の面に補剛材嵌合用の加工治具を設け、この加工治具を介してＨ形鋼や鋼管矢板などの補剛材を設置する。補剛材として鋼管矢板を適用する場合には、補剛材嵌合用に鋼矢板に取り付けた加工治具に、鋼管矢板の継手を嵌合させて壁体を構成する。鋼管と鋼矢板との荷重伝達は鋼管矢板の継手を介して行われる。

特許文献2、特許文献3に記載の鋼製壁は、複数の鋼矢板が継手により連結されて壁体が設けられるとともに、前記壁体の全てまたは一部の前記鋼矢板に鋼管がその長手方向を前記鋼矢板の長手方向に沿わせて接していることを特徴とする。鋼管と鋼矢板とを組み合わせた壁体とすることで、高い止水性と高い剛性を兼ね備えた鋼製壁を提供することができる。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：日本国特開2005-299202号公報

特許文献2：国際公開第2011/142047号パンフレット

特許文献3：国際公開第2011/142367号パンフレット

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 特許文献1、特許文献2、及び特許文献3では、1つの実施形態として鋼管などの補剛材のピッチを飛ばす構成が記載されている。壁体として必要な剛性・耐力に応じてピッチを飛ばす構成は、鋼管やH形鋼などの補剛材を選択することで実現可能であるが、一方で、ピッチの設定に関しては次のような課題がある。

(a) 鋼管のピッチを飛ばし過ぎると、壁体が不安定な挙動を示し、所用の性能を発揮できなくなる可能性がある。

(b) 鋼管のピッチを小さくし過ぎると、鋼矢板と補強材の両方で土圧を適切に分担して受け持つことができず、いずれか一方で荷重を集中的に分担する不経済な構造となってしまう。

[0006] 鋼矢板と補剛材を組み合わせた壁体の剛性・耐力は、厳密には補剛材の設置位置やその近傍と、隣り合う補剛材の中間付近など場所によっても異なるが、これを平均化した剛性で評価できると仮定すれば、1本あたりの鋼管径やH形鋼のサイズを大きくして、ピッチを大きくするほど、使用する鋼材重量を低減することができる。

しかし、補剛材のピッチを大きくしていくと、鋼矢板壁に対する補剛効果が均等に及ばなくなり、隣り合う補剛材の中間付近で鋼矢板壁の変形が大きくなって、壁体としての変形は壁延設方向（水平方向）に不均一になる。また、補剛材のピッチをさらに大きくし過ぎると、もはや隣り合う補剛材の中間付近の鋼矢板には、補剛効果が及ばない状態になる。すなわち、補剛材近傍では鋼矢板壁と補剛材とを組み合わせた剛性の高い壁として挙動するが、隣り合う補剛材の中間付近では鋼矢板壁単体としての挙動、あるいはそれに近い挙動を示すことになる。この場合、壁体としての剛性を平均化して取り扱うことはできず、隣り合う補剛材の中間付近では、鋼矢板壁が塑性変形したり、場合によっては局所的に過度な変形を生じて、壁体としての安定性を維持できない事態も考えられる。

[0007] 一方、補剛材のピッチを小さくしていくと、鋼矢板壁で負担する土圧が小さくなり、補剛材のみで土圧に抵抗する状態に近づいていく。すなわち、補剛材と鋼矢板を組み合わせで用いているにも関わらず、鋼矢板壁の持つ剛性や耐力を活用できない状態となる。補剛材と鋼矢板とを組み合わせで用いるのであれば、鋼矢板壁と補剛材の両方の剛性や耐力を活用して作用する土圧に抵抗するのが合理的な構造と言える。

前記既往の発明では、鋼矢板壁に対して補剛材の効果が適切に得られるピッチや補剛材と鋼矢板壁の両方を活用して土圧に抵抗できるピッチの範囲などについては言及されていない。

[0008] そこで本発明は、壁体としての安全性、健全性を確保でき、更には、鋼管と鋼矢板の両方の剛性・耐力を活用できる合理的な構造を有する組合せ鋼製壁を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明は、上記目的を達成するために以下の構成を採用する。

（１）本発明の一態様は、複数の鋼矢板が継手により連結されて壁体が構成され、その壁体は延設方向に間隔をあけて複数の凹部を備え、前記壁体を挟んで低い側の地盤面に、前記凹部に一部が収容された状態で前記地盤面に前

記鋼矢板の長手方向に沿って複数の鋼管が立設され、前記壁体と前記鋼管とが、前記鋼矢板の長手方向の少なくとも一部において接続され、互いに隣り合う前記各鋼管の中心間距離が最大となる第 1 鋼管及び第 2 鋼管間の中心間距離である最大間隔 L (mm) と、前記壁体の高さ H (mm) と、前記第 1 鋼管及び前記第 2 鋼管のそれぞれの半径を合計した寸法 D (mm) とが、以下の数式 (A) を満たす組合せ鋼製壁である。

[数1]

$$D \leq L \leq (1/2) \times H \quad \dots (A)$$

(2) 上記 (1) に記載の組合せ鋼製壁では、前記壁体と前記鋼管とが、互いに接触することによって接続されてもよい。

(3) 上記 (1) に記載の組合せ鋼製壁では、前記壁体と前記鋼管とが、連結用部材により連結されることによって接続されてもよい。

(4) 上記 (3) に記載の組合せ鋼製壁では、前記連結用部材が、前記鋼矢板及び前記鋼管の少なくとも上部を連結してもよい。

(5) 上記 (1) ~ (4) のいずれか一項に記載の組合せ鋼製壁では、前記最大間隔 L (mm) と、前記壁体の高さ H (mm) と、前記鋼矢板の降伏応力 σ_y (N/mm²) と、前記鋼矢板の断面係数 Z_s (mm³) と、前記壁体に作用する最大曲げモーメント M_{max} (N・mm) とが、以下の数式 (B) を満足するように、前記最大間隔 L (mm) が設定されてもよい。

[数2]

$$\frac{(3H-4L) \times (2L)^2}{H^3} \times \frac{M_{max}}{Z_s} \leq \sigma_y \quad \dots (B)$$

(6) 上記 (1) ~ (5) のいずれか一項に記載の組合せ鋼製壁では、前記最大間隔 L (mm) と、前記壁体の高さ H (mm) と、前記鋼矢板の降伏応力 σ_y (N/mm²) と、前記鋼矢板の断面係数 Z_s (mm³) と、前記壁体に作用する最大曲げモーメント M_{max} (N・mm) とが、以下の数式 (C) を満足するように、前記最大間隔 L (mm) が設定されてもよい。

[数3]

$$0.3 \times \sigma_y \leq \frac{(3H-4L) \times (2L)^2}{H^3} \times \frac{M_{max}}{Z_s} \quad \dots (C)$$

(7) 上記(1)～(6)のいずれか一項に記載の組合せ鋼製壁では、前記長手方向から見た場合に、前記各凹部は、前記壁体に等間隔で形成され、前記各凹部に対して一つおきに前記鋼管が配置されてもよい。

(8) 上記(1)～(6)のいずれか一項に記載の組合せ鋼製壁では、前記長手方向から見た場合に、前記各凹部は、前記壁体に等間隔で形成され、前記各凹部に対して2つ以上おきに前記鋼管が配置されてもよい。

発明の効果

[0010] 上述の構成によれば、隣り合う鋼管の中間付近における鋼矢板の発生応力を低減し、鋼管と組み合わせる効果を発揮できるとともに、壁体延設方向にわたって鋼矢板が降伏することはなく、壁体としての安全性、健全性を確保でき、さらには、鋼管と鋼矢板の両方の剛性・耐力を活用でき、より合理的な構造とすることができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1A]組合せ鋼製壁の鋼管のピッチについて検討するために実施した室内模型試験装置の概略平面図である。

[図1B]図1Aに示す室内模型試験装置の概略側断面図である。

[図2]試験1、試験2、試験3の概要を示す図である。

[図3]各試験における鋼管の鉛直方向のひずみ分布を示すグラフである。

[図4]各試験における鋼矢板の鉛直方向のひずみ分布を示すグラフである。

[図5]鋼矢板に最深部から鋼管のピッチ分の高さ(L)まで土圧が作用していると仮定した計算方法を模式的に示した図である。

[図6]鋼管を鋼矢板に接触させて前面側に配置した試験1、試験2における鋼矢板の鉛直方向のひずみ分布と、鋼矢板に最深部から鋼管のピッチ分の高さまで土圧が作用していると仮定して計算した場合の計算値との比較を示すグ

ラフである。

[図7]鋼矢板に最深部から鋼管のピッチ分の2倍の高さ（2L）まで土圧が作用していると仮定した計算方法を模式的に示した図である。

[図8]鋼管を前面側に配置した試験1、試験2、試験3における鋼矢板の鉛直方向のひずみ分布と鋼矢板に最深部から鋼管のピッチの2倍の高さまで土圧が作用していると仮定して計算した場合の計算値との比較を示すグラフである。

[図9A]本発明の第1実施形態に係る組合せ鋼製壁の一例を示す概略平面図であり、ハット形鋼矢板3枚に対して鋼管1本を配置した構成を示す。

[図9B]本発明の第1実施形態に係る組合せ鋼製壁の一例を示す概略平面図であり、ハット形鋼矢板2枚に対して鋼管一本を配置した構成を示す。

[図9C]本発明の第1実施形態に係る組合せ鋼製壁の一例を示す概略平面図であり、矢板継手部に鋼管を配置した構成を示す。

[図10A]本発明の第2実施形態に係る組合せ鋼製壁を示す概略平面図である。

[図10B]図10Aに示す組合せ鋼製壁の概略側面図である。

[図11A]本発明の第2実施形態に係る組合せ鋼製壁の変形例を示す概略平面図である。

[図11B]図11Aに示す組合せ鋼製壁の概略側面図である。

発明を実施するための形態

[0012] 本発明者らは、上述の課題を解決するために、鋼管と鋼矢板との組合せ鋼製壁において、壁体を挟んで地盤面の低い側（本明細書においては、「前面側」と呼ぶ場合がある）に鋼管を配置し、鋼管のピッチを飛ばした構造に対して、室内模型試験を行い、鋼矢板壁に対して鋼管の補剛効果が適切に得られるピッチや、鋼管と鋼矢板壁の両方を活用して土圧に抵抗できるピッチの範囲について検討を行った。

[0013] この室内模型試験は以下のとおりである。

図1A、図1Bに室内模型試験装置の模式図を示す。図1Aは室内模型試験装置の概略平面図であり、図1Bは、図1AのI-I線に沿って得られる

概略断面図である。この室内模型試験装置は、幅 1 9 5 7 m m × 高さ 1 0 0 0 m m × 奥行き 9 4 0 m m の剛な土槽 G 内の中央に、アクリルの供試体 K を接着剤により地盤に下端固定されて構成されている。アクリルの供試体 K は、鋼矢板を模擬した波形の矢板 K 1 と鋼管を模擬したパイプ K 2（外径 1 4 0 m m、肉厚 3 m m）の組み合わせで壁体を構成している。また、上部に両者を連結するコーピング（連結用部材）を設置することを模擬する場合には、図 1 B に示すように連結板 K 3 が貼り付けられる。尚、図 1 A に示す概略図では、簡略化のため連結板 K 3 を図示していない。

[0014] 室内模型試験では、供試体 K の両側にケイ砂 5 号（乾燥砂）を空中落下法により設置した。そして、この状態より、パイプ K 2 が設置されている壁体前面側（図 1 A、図 1 B の右側）のケイ砂 5 号を最深部まで掘り下げて壁体（アクリルの供試体 K）の挙動を確認した。ここで、ケイ砂 5 号が設置されている側の地盤を G H、ケイ砂 5 号を最深部まで掘り下げた側の地盤を G L とする。

[0015] 矢板 K 1 とパイプ K 2 の接触状況、連結板 K 3 の有無による影響について検討するために、図 2 にまとめたように条件を変えて試験 1、試験 2、試験 3 を実施した。

なお、矢板 K 1 とパイプ K 2 が接触していない試験 3 についても、矢板壁の中心にパイプ K 2 の外周面位置が一致するようにして矢板壁の凹部にパイプ K 2 の一部が入り込むようにした。すなわち、いずれの試験においても矢板壁の凹部にパイプ K 2 の一部が入り込む構成としている。

試験にあたり、パイプ K 2 に対しては、中央部に配置したパイプ K 2 の矢板壁設置反対側の外周面に、矢板 K 1 に対しては、隣り合う 2 本のパイプ K 2 に挟まれ、両パイプ K 2 から最も離れた矢板 K 1 のウェブ中央部にひずみゲージを貼りつけ、掘削後に発生したひずみを計測した。

また、中央部に配置したパイプ K 2 では、パイプ K 2 の上部に変位計測用の冶具を取り付けて、下端（地盤 G L）から 1 0 5 0 m m の位置で上部の変位を計測した。

[0016] 各試験について、パイプK 2に発生する鉛直ひずみの深度方向の分布を図3に、隣り合うパイプK 2の中間位置において矢板K 1に発生する鉛直ひずみの深度方向の分布を図4に示す。

図3に示すグラフでは、パイプK 2に発生するひずみについて圧縮側を正としている。

また、図4に示すグラフでは、矢板K 1に発生するひずみについて引張側を正としている。

なお、グラフ内には、矢板K 1とパイプK 2のそれぞれを下端固定の片持ち梁として、全土圧が作用すると仮定した場合に算出されるひずみについても併記した。その時のひずみ算出用の土圧については、別途矢板K 1のみで同様の試験を行い、その結果から土圧を算出している。

また、下記表1に中央に配置したパイプK 2の下端から1050mm位置で計測された変位を示す。

[0017] [表1]

	試験 1	試験 2	試験 3
中央に配置したパイプK 2の下端から 1050mmの変位	4. 5 mm	4. 6 mm	4. 0 mm

[0018] 図3より、パイプK 2の深部に発生する鉛直方向のひずみについては、試験1及び試験2ではパイプK 2に全土圧が作用した場合よりもやや小さな値となっているのに対して、試験3では試験1、試験2に比べてさらに小さな値を示している。また、表1に示すように、試験3では試験1、試験2に比べてパイプの変位が小さくなっている。

図4に示す矢板K 1に発生するひずみについては、矢板K 1とパイプK 2との接触条件、連結板K 3の有無によって発生量が異なるが、全ての試験において、最深部で最大のひずみとなり、そのひずみは矢板K 1のみに全土圧が作用するとして計算したひずみよりも小さい。すなわち、壁体延設方向に、隣り合うパイプK 2の中間付近であっても矢板K 1に発生するひずみを低

減することができ、矢板K 1とパイプK 2とを組み合わせた効果を発揮できていると言える。また、試験3は試験1、試験2に比べて矢板K 1のひずみが大きな値を示している。つまり、矢板K 1に荷重を分担させることでパイプK 2の分担を低減させることができる傾向にあると言える。

[0019] これらの実験結果を元に、鋼矢板壁に対して鋼管の補剛効果が適切に得られるピッチや、鋼管と鋼矢板壁の両方を活用して土圧に抵抗できるピッチの範囲を導出する。

[0020] まずは、鋼矢板壁に対して壁体延設方向にわたって鋼管の補剛効果が得られるピッチについて検討する。

鋼管（パイプK 2）と鋼矢板（波形の矢板K 1）とを接触させて設置した場合（試験1、試験2）には、隣り合う鋼管の中間の鋼矢板に対しても上部にはほとんどひずみは発生しないが、概ね最深部から鋼管のピッチ分の高さ（360mm）の位置までひずみが発生する（図4）。これは、鋼矢板（波形の矢板K 1）の両側に設置した鋼管（パイプK 2）によって変形が拘束されるが、深部の隣り合う鋼管の中間付近の鋼矢板では鋼管による拘束が十分発揮されず、局所的に鋼矢板壁単体に近い挙動を示すためと考えられる。

そこで、図5に示すように鋼矢板のみの壁体に最深部から鋼管のピッチL分の高さ位置まで土圧が作用すると仮定してひずみを算出した。算出されたひずみの深度方向の分布（計算値）を図6に示す。なお、同図には図4で示した試験1、試験2の実験値も合わせて示した。

[0021] 図6より、計算値と実験値（試験1、試験2）はほぼ一致することから、鋼管と鋼矢板が長手方向に接して壁体前面側に鋼管を配置した場合には、鋼矢板のみの壁体に最深部から鋼管（パイプK 2）のピッチL分の高さ位置まで土圧が作用すると仮定して計算することによって、隣り合う鋼管の中間位置の鋼矢板（波形の矢板K 1）の鉛直挙動を表現できると言える。したがって、この構造においては、鋼管ピッチLが壁高と等しくなってしまうと、隣り合う鋼管の中間位置の鋼矢板（波形の矢板K 1）に発生する応力が、鋼矢板のみを適用した場合とほぼ同様の挙動を示し、部分的に鋼管による補剛効

果が及ばなくなる。言い換えれば、鋼管のピッチ L を壁高 H 以下にすれば（ $L \leq H$ を満たせば）、鋼管から離れた部分においても鋼矢板の発生応力を低減し、鋼管と組み合わせる効果を発揮できる。すなわち、鋼管のピッチを飛ばして、径の大きな鋼管を用いて、壁体に必要な剛性を稼ぐ構造としても、鋼矢板と鋼管は組み合わせる効果を発揮できる。

[0022] また、鋼管と鋼矢板が離れて設置され、上部で連結されている場合（試験 3）には、鋼管の一部が鋼矢板壁の波型の凹部に入り込んでいることで、鋼矢板壁として変形する時に、ある程度の拘束効果が発揮されるものの、直接的に接している試験 1 および 2 に比べて、鋼矢板に対する鋼管の拘束が小さくなり、見掛け上、試験 1 および 2 に比べて鋼矢板壁単体に近い挙動を示す深さ方向の範囲が大きくなる傾向があると考えられる。その時の土圧作用範囲を図 7 に示すように最深部から鋼管のピッチ L 分の 2 倍の高さ（ $2L$ ）位置まで土圧が作用すると仮定して鉛直方向ひずみを算出した。算出されたひずみの深度方向の分布（計算値）を図 8 に示す。同図には合わせて図 4 で示した試験 1 ～ 3 の結果も合わせて示した。図 8 により、前記最深部からの土圧作用範囲を $2L$ 以上とすると、最も鉛直ひずみが大きくなる試験 3 の場合でも、鋼管から最も離れた位置で鋼矢板の深部に発生する鉛直ひずみは計算値よりも小さくなる。

[0023] 以上から、鋼管と鋼矢板とを組み合わせる組合せ鋼製壁であって、壁体を挟んで地盤面の低い側（前面側）に鋼管を配置する構造を有する鋼製壁で、鋼管が鋼矢板壁の凹部に入り込んで、鉛直方向のいずれかの位置で鋼管と鋼矢板が接触または連結用部材によって連結されている、もしくは接触かつ連結用部材により連結されている構造であっては、 $2L \leq H$ を満たせば、隣り合う鋼管の中間付近の鋼矢板に発生するひずみを鋼矢板のみの場合に比べて低減できる。

つまり、鋼管のピッチ L が以下の式を満たせば、隣り合う鋼管の中間付近における鋼矢板の発生応力を低減し、鋼管と組み合わせる効果を見られる。つまり、壁体延設方向にわたって鋼管の補剛効果が発揮できるため、鋼管の

ピッチを飛ばして、径の大きな鋼管を用いて、壁体に必要な剛性を稼ぐ構造としても、鋼矢板と鋼管は組み合わせる効果を発揮できる。

[数4]

$$D \leq L \leq (1/2) \times H \quad \dots (1)$$

また、鋼管のピッチLが鋼管の径より大きければ、鋼管を鋼矢板壁に略並行に配置することが可能になる。従って、Lの下限値は、隣り合う2つの鋼管のそれぞれの半径を合計した寸法Dである。鋼管を鋼矢板壁に略並行に配置することができれば、鋼管と鋼矢板の組合せ壁体の壁幅を小さくすることができる。つまり、鋼管のピッチLが上記式(1)を満たせば、組合せ壁体の壁幅を小さくすることができる。

[0024] 次に、主要部材である鋼管が安全性、健全性を確保するように設定されている場合に、鋼矢板についても壁体延設方向にわたって壁体が安全性、健全性を確保するという観点から検討を加える。鋼矢板壁に対しては、隣り合う鋼管の中間付近で鋼管の補剛効果が最も小さくなり、その部分で大きな応力が発生する。前述の通り、壁体を挟んで地盤面の低い側（前面側）に鋼管を配置し、鋼管のピッチをLとし、 $D \leq L \leq (1/2)H$ とした場合は、隣り合う鋼管の中間付近の鋼矢板の応力は、図7に示すように鋼矢板単体に最深部から鋼管のピッチL分の2倍の高さ（2L）位置まで土圧が作用すると仮定した場合に算出される応力以下となる。すなわち、下式(2)が成り立つ。ここでは、図7の(a)のように壁体には最深部の荷重をpとする三角形分布荷重が作用するものとし、その時の最大曲げモーメントを M_{max} 、図7の(b)のモデルで算出された隣り合う鋼管の中間付近の鋼矢板に作用する最大曲げモーメントを M_{smax} 、最大応力を σ_{smax} としている。

[数5]

$$\sigma_{smax} = \frac{M_{smax}}{Z_s} \leq \frac{(3H-4L)(2L)^2}{H^3} \cdot \frac{M_{max}}{Z_s} \quad \dots (2)$$

$M_{s \max}$: 隣り合う鋼管の中間付近の鋼矢板に発生する最大曲げモーメント

Z_s : 鋼矢板の延設方向 1 mあたりの断面係数

L : 鋼管のピッチ

p : 三角形分布荷重の最大値

H : 壁の高さ

$M_{\max}$: 壁体に発生する最大曲げモーメント ($= p H^2 / 6$)

[0025] (2) 式の右边が鋼矢板の降伏応力 σ_y 以下であれば、壁体を挟んで地盤面の低い側（前面側）に鋼管を配置し、鋼管のピッチを L とした場合、隣り合う鋼管の中間付近の鋼矢板に発生する最大応力は降伏応力 σ_y 以下となる。つまり、(3) 式が成立すれば、壁体延設方向にわたって鋼矢板が降伏に至ることはなく、壁体延設方向にわたって安全性、健全性を確保できる。

[0026] [数6]

$$\frac{(3H-4L)(2L)^2}{H^3} \cdot \frac{M_{\max}}{Z_s} \leq \sigma_y \quad \dots (3)$$

σ_y : 鋼矢板の降伏応力

[0027] 以上より、鋼管と鋼矢板とを組み合わせる「組合せ鋼製壁」であって、壁体を挟んで地盤面の低い側（前面側）に鋼管を配置する構造を有する鋼製壁で、鋼管が鋼矢板壁の凹部に入り込んで、鉛直方向のいずれかの位置で鋼管と鋼矢板が接触または連結用部材により連結されている、もしくは接触かつ連結用部材により連結されている構造であっては、鋼管のピッチ L に対して (1) 式及び (3) 式が成立すれば、隣り合う鋼管の中間付近における鋼矢板の発生応力を低減し、鋼管と組み合わせる効果を発揮できるとともに、壁体延設方向にわたって鋼矢板が降伏することはなく、壁体としての安全性、健全性を確保できる。

さらに、鋼管と鋼矢板との「組合せ鋼製壁」をより合理的な構造とするた

めに、鋼管と鋼矢板の両方の剛性・耐力を活用できるような実施形態（鋼管のピッチ）について検討を加える。

前述した通り、今回の室内模型試験においては、鋼管の深部に発生するひずみについては、試験１及び試験２では鋼管に全土圧が作用した場合よりもやや小さな値となっているのに対して、試験３では試験１、試験２よりさらに小さな値を示している。また、鋼管の上部の変位についても、試験３は試験１、試験２に比べて小さくなっている。それに対して、鋼矢板深部のひずみは試験３が大きな値を示している。つまり、鋼矢板の荷重分担が増える程、鋼管の負荷が軽減できている。つまり、鋼管のピッチを大きくして、構造安定性を失わない範囲で鋼矢板にも適度な大きさの荷重を分担させる構成とすることができれば、鋼管の負担する荷重を軽減し、鋼管と鋼矢板の両方の剛性・耐力を活用して作用荷重に抵抗する効率的な構造を構成できる。

[0028] 前述の通り、出願人らは、本発明の組合せ壁体を構成する鋼矢板においては、隣り合う鋼管の中間位置の深部で大きな応力を生じる傾向があり、その値は（２）式で表現できることを突き止めた。

（２）式によると、隣り合う鋼管の中間位置の深部に作用する曲げモーメントは、鋼矢板単体を適用した場合に作用する曲げモーメントに低減係数（ $3H - 4L$ ） $(2L)^2 / H^3$ を乗じた値以下となっている。

鋼管のピッチを大きくして、低減係数（ $3H - 4L$ ） $(2L)^2 / H^3$ の値が大きくなり過ぎると、鋼矢板の荷重分担が大きくなり、鋼矢板に応力が発生して降伏に至る可能性が出てくる。それを鑑みて鋼管のピッチの範囲を限定しているのが、前述の（３）式である。

[0029] 一方、鋼管のピッチを小さくすることで、低減係数の値が小さくなり過ぎると、鋼矢板に発生する応力が小さくなり、鋼矢板の荷重分担が小さくなる。その場合、鋼管のピッチを調整することで、低減係数の値を大きくすることができる。したがって、鋼管のピッチをある程度以上大きくできれば、鋼管の負担する荷重を軽減し、鋼管と鋼矢板の両方の剛性・耐力を活用して作用荷重に抵抗する効率的な構造を構成できる。ただし、施工法上の制約、矢板

幅などの形状条件、あるいは壁高などの構造条件などから、鋼管のピッチを大きく取ることが困難な場合もある。その場合には、鋼矢板の型式を小さくする、つまり鋼矢板の断面係数を小さくすることによって、鋼材の重量を削減して、合理的な構造とすることができる。例えば、延設方向にわたって壁高が変化する場合に、施工の観点から同一径の鋼管を適用して壁高の高い箇所鋼管によって高い耐力・剛性を確保しようとする、鋼管のピッチを小さく必要がある場合があり、その場合には鋼矢板が負担する荷重が小さくなる。そのような条件下では、鋼矢板によって鋼管の分担荷重を軽減する効果はさほど期待できないものの、鋼矢板が分担できる荷重の大きさに合わせた型式の鋼矢板を選定することができれば、使用する部材の性能を有効に活用する構成とすることができる。

[0030] 一般に土木構造物では、作用荷重や材料強度のバラツキに配慮して、構造物を構成する部材にある程度の安全代を持たせるように設定されている。例えば、道路橋示方書・同解説（平成24年3月、社団法人日本道路協会）などの多くの設計指針では、鋼材の場合、降伏強度に $1 / 1.7$ (≈ 0.6) の安全率を乗じた許容応力度が設定されており、作用荷重や材料強度のバラツキに配慮する形となっている。

[0031] 本構造においても、作用荷重や材料強度のバラツキに対する安全性を考慮する観点からは、ある程度の余裕を持たせた範囲で、鋼矢板に荷重を発生させるのが適当であると考えられ、前記安全率を考慮した値の $1 / 2$ 程度以上の応力を鋼矢板に発生させる、つまり、鋼矢板に発生させる応力の範囲は、降伏応力の $0.3 \sim 0.6$ 倍程度が妥当であると考えられる。

一方で、現在一般的に使用されている鋼矢板には数種類の型式があり、必要とされる剛性、耐力によって使い分けることができる。（3）式の左辺の鋼矢板の応力が降伏応力の 0.3 倍を下回るのであれば、より小さな型式の鋼矢板を適用できる可能性が高くなり、構造合理化の余地があると考えられる。以上より、鋼矢板に適度な応力を発生させるという観点から下記（4）式を設定した。

[0032] [数7]

$$0.3 \sigma_y \leq \frac{(3H-4L)(2L)^2}{H^3} \cdot \frac{M_{\max}}{Z_s} \dots (4)$$

[0033] (4) 式が成り立つように設定することで、鋼管のピッチを飛ばして鋼矢板に荷重を分担させて鋼管の分担荷重を低減することができる、あるいは鋼矢板の分担する荷重が小さな場合には適切な鋼矢板の型式を選択することが可能になり、鋼材の持つ性能を活用して合理的な構造とすることができる。

以上より、鋼管と鋼矢板とを組み合わせる「組合せ鋼製壁」であって、壁体を挟んで地盤面の低い側（前面側）に鋼管を配置する構造を有する鋼製壁で、鋼管が鋼矢板壁の凹部に入り込んで、鉛直方向のいずれかの位置で鋼管と鋼矢板が接触または連結されている、もしくは接触かつ連結用部材により連結されている構造であっては、鋼管のピッチ L に対して（4）式を満たせば、鋼管と鋼矢板が持つそれぞれの剛性・耐力を活用でき、さらに合理的な構造とすることができる。

[0034] 以下、上述の新たな知見に基づきなされた本発明について、図面を参照して詳細に説明する。

図9A～図9Cは本発明の第1実施形態に係る組合せ鋼製壁3の例をそれぞれ示す。

図9A～図9Cに示すように、本実施形態に係る組合せ鋼製壁3は、ハット形鋼矢板1により構成される壁体4と、ハット形鋼矢板1の長手方向に沿って配置される鋼管2とが組み合わせられて構成されている。

鋼製壁3は、例えば、水平地盤への埋め込み後に鋼製壁3の片面側の地盤を掘削することにより、水平位置が高い側の地盤面と水平位置が低い側の地盤面との間に立設される。

[0035] ハット形鋼矢板は、ウェブ1aと、ウェブ1aの両側縁からそれぞれ互いに広がるように斜めに延出する一対のフランジ1bと、左右のフランジ1b

の先端からウェブ 1 a と平行に左右に延出する一対のアーム 1 c と、アーム 1 c の先端に設けられた継手 1 d とを備えている。

そして、壁体 4 は、隣り合うハット形鋼矢板 1 同士を互いの継手 1 d（連結用部材）により連結させて構成される。

すなわち、壁体 4 は、その延設方向（水平方向）に間隔をあけて、複数の凹部が形成されるように構成される。ここで言う凹部とは、（A）ハット形鋼矢板 1 のウェブ 1 a と一対のフランジ 1 b とにより形成される空間、又は、（B）隣り合うハット形鋼矢板 1、1 のアーム 1 c、1 c と、フランジ 1 b、1 b とにより形成される空間、を意味する。

[0036] 鋼管 2 は、この壁体 4 の凹部に一部が収容された状態で、ハット形鋼矢板 1 の長手方向に沿って、壁体 4 を挟んで水平位置が低い側の地盤に立設されている。

[0037] ここで、鋼管 2 は、ハット形鋼矢板 1 のフランジ 1 b に、鉛直方向に沿って連結用部材などを介さず直接接している。このように、鋼管 2 がハット形鋼矢板 1 に直接接する構成とする場合、ハット形鋼矢板 1 に作用する土圧・水圧などの荷重を鋼材どうしの接触によって水平力として伝達することができる。また、鋼管の外周面に連結用部材を配置する必要もなくなることから、鋼管の外周面の突起物が無くなり、鋼管を回転貫入することができる。

[0038] 鋼管 2 の配置に関しては、例えば、図 9 A に示すように、ハット形鋼矢板 1 を 3 枚に対して鋼管 2 を 1 本配置する構成、すなわち、壁体 4 の凹部に対して一つおきに鋼管を配置する構成、図 9 B に示すように、ハット形鋼矢板 1 を 2 枚に対して鋼管 2 を 1 本配置する構成、すなわち、壁体 4 の凹部に対して一つおきに鋼管を配置する構成であってもよい。

また、鋼管 2 は、図 9 C に示すように、ハット形鋼矢板 1 の継手 1 d に対面するように鋼管を配置してもよい。

[0039] 鋼製壁 3 の必要とされる剛性から必要に応じて鋼管 2 の径、板厚、ピッチ等を設定し、隣り合う鋼管 2 のそれぞれの半径の合計した寸法を D、鋼管 2 のピッチを L、鋼製壁 3 の高さを H とすると、 $D \leq L \leq (1/2) H$ となる

ように鋼管のピッチを設定すれば良い。

[0040] また、長手方向には上部で連結することが望ましい。上部であれば、鋼矢板と鋼管を別々に埋め込み後に連結作業を行いやすい上、鋼管と鋼矢板が互いに接する構造において、仮に埋め込み中に離れてしまったとしても、少なくとも上部では水平力を伝達することができる。さらに、上部を溶接接合や、コンクリートで結合すれば、鉛直方向のせん断ズレを抑制することも可能となり、壁体としての剛性や耐力を向上させることも可能となる。

[0041] 例えば、鋼製壁 3 の壁高 H が 5000 mm で、土圧による荷重は三角形分布で最深部での荷重 P が $27\text{ kN} \cdot \text{m}^2$ 、鋼矢板の降伏応力 σ_y を 295 N/mm^2 とした場合に、鋼管のピッチを 1800 mm とすれば、(1) 式を満たし、かつ (3) 式の左辺 $= 101\text{ N/mm}^2$ となり (3) 式も満たしている。このため、隣り合う鋼管の中間付近における鋼矢板の発生応力を低減し、鋼管と組み合わせる効果を発揮できるとともに、壁体延設方向にわたって鋼矢板が降伏することはなく、壁体としての安全性、健全性を確保できる。また、(4) 式も満たすため、鋼管と鋼矢板の両方の剛性・耐力を活用でき、さらに合理的な構造とすることができる。

鋼管のピッチを飛ばして鋼管を埋め込む場合、複数の埋め込み済鋼管から反力を取って鋼管を油圧圧入または回転圧入で施工しようとする、反力用の把持装置が大きくなる上、反力を取る鋼管と埋め込む鋼管との距離が長くなるため、施工が不安定となってしまうが、その場合は埋め込み済の鋼矢板を把持してそこから反力を取ることで、鋼管のピッチを飛ばしても安定した埋め込みが可能になる。

[0042] 図 10A、図 10B は本発明の第 2 実施形態に係る組合せ鋼製壁の例である。

図 10A、図 10B に示すように、この実施形態の鋼製壁 3 は、鋼矢板 1 と鋼管 2 を長手方向に離した状態で鋼管 2 の一部が壁体 4 の凹部に入り込むように設置して、上部、より詳細には、頂上部で鋼板 J を連結用部材として溶接することによって鋼矢板 1 と鋼管 2 を連結している。鋼管 2 の一部が壁

体 4 の凹部に入り込むように設置してあることで、壁体 4 に対して鋼管 2 の補剛効果が得られるとともに、鋼矢板の厚さ（ウェブ 1 a とアーム 1 c との離間距離）と鋼管直径との足し合わせよりも小さな壁厚とすることができ、施工スペースを低減、壁体 4 の壁厚を縮小して組合せ鋼製壁 3 を構築することができる。

この場合においても、（１）式および（３）式を満たすように設定することで、隣り合う鋼管の中間付近における鋼矢板の発生応力を低減し、鋼管と組み合わせる効果を発揮できるとともに、壁体延設方向にわたって鋼矢板が降伏することはなく、壁体としての安全性、健全性を確保できる。また、（４）式も満たせば、鋼管と鋼矢板の両方の剛性・耐力を活用でき、さらに合理的な構造とすることができる。

[0043] この場合、鋼矢板と鋼管が離れて設置されているので、施工上の騒音や振動を抑制し、施工中に鋼矢板と鋼管が接触して変形することもなくなる上、鋼矢板が鋼管と接触しないため、バイブロハンマ工法などの振動工法の採用も可能となる。また、鋼矢板と鋼管は嵌合用の冶具や継手などを設置せず、そのまま離れて設置されているため、鋼管を回転させて埋め込む回転圧入工法などを適用することも可能になる。

また、長手方向に少なくとも一部で鋼管及び鋼矢板が互いに接しているまたは連結用部材を用いて連結して水平力を伝達できる構造とすれば良い。連結用部材としては、鋼矢板と鋼管の両者に跨って設置したコンクリート、鋼矢板と鋼管の両者に溶接接合、ボルト、またはドリルねじで取り付けした鋼板または鉄筋、あるいはいずれかの組合せを用いることができる。また、溶接接合や、コンクリートで結合して、鋼矢板と鋼管との鉛直方向のせん断ズレを抑制すれば、壁体としての剛性や耐力を向上させることも可能となり、壁体の変位を低減し安全性を高め、より経済的な鋼管と鋼矢板の組合せを選択することができる。なお、鉛直方向のせん断ズレは上部で最も大きくなるので、上部でズレを抑制してせん断力を伝達できるよう連結することが望ましい。なお、鋼管及び鋼矢板を連結する場合には、断面内で２点以上または面

状に連結するのが望ましい。具体的には、図 10 A に示すように鋼管一本に対して断面内に連結用部材を 2 箇所以上設置する、または図 11 A、図 11 B に示す変形例のように鋼管と鋼矢板を上部で繋ぐようにして設置されたコンクリート C で結合すれば良い。

[0044] 図 10 B に示すように鋼矢板 1 と鋼管 2 の下端位置は別々に設定してもよい。壁体安定のために必要な根入れ長を鋼管 2 で確保した上で、鋼矢板 1 はボーリング、ヒービングや円弧すべりの防止を図る分だけ根入れさせる等、それぞれ必要な根入れ長を確保すれば良い。また、上部の位置についても、鋼管の上部位置を鋼矢板の上部位置から少し下げてもよい。それにより、鋼矢板を把持して鋼管を油圧圧入や回転圧入する場合に把持位置が既に埋め込み済の鋼管に当たらないように設定することもできる。

[0045] なお、本発明は、上記実施の形態に限定されるものではなく、発明の趣旨を逸脱しない範囲において、種々の変更をすることが可能である。

例えば、上記実施の形態においては、3つのハット形鋼矢板 1 に対して鋼管 2 を 1 本配置する 2 つおきの構造と、2つのハット形鋼矢板 1 に対して鋼管 2 を 1 本配置する一つおきの構造を示したが、4つ以上のハット形鋼矢板 1 に対して鋼管 2 を 1 本配置する 3 つおき以上の構造としてもよい。

また、上記実施の形態においては、同一幅のハット形鋼矢板 1 と、同一径の鋼管 2 とを組み合わせ、鋼管 2 のピッチ L を一定に設定する場合について説明したが、ハット形鋼矢板 1 の幅、鋼管 2 の径については、任意に設定可能であるし、隣接する鋼管 2 のピッチ L についても任意に設定することができる。例えば、互いに隣り合う鋼管 2 の間隔を任意に設定する場合は、互いに隣り合う鋼管の中心間距離が最大となる第 1 鋼管及び第 2 鋼管間の中心間距離（最大間隔）を L とすればよい。また、異なる径の鋼管 2 を用いる場合には、隣り合う第 1 鋼管及び第 2 鋼管のそれぞれの半径を合計した寸法を D とすればよい。また、ハット形鋼矢板に限らず、U 形鋼矢板や Z 形鋼矢板を用いた組み合わせとしても良い。

また、鋼矢板 1 と鋼管 2 とを、上部において連結用部材により連結するか

どうか、コンクリートCにより結合するかどうかは、任意に設定することができる。

また、(2)式、(3)式を満足するかどうかは、任意に設定することができる。

産業上の利用可能性

[0046] 本発明によれば、壁体としての安全性、健全性を確保でき、更には、鋼管と鋼矢板の両方の剛性・耐力を活用できる合理的な構造を有する組合せ鋼製壁を提供することができる。

符号の説明

[0047] 1 : ハット形鋼矢板 (鋼矢板)

2 : 鋼管

3 : 鋼製壁

4 : 壁体

M_{smax} : 隣り合う鋼管の中間付近の鋼矢板に発生する最大曲げモーメント

Z_s : 鋼矢板の延設方向 1 mあたりの断面係数

L : 鋼管のピッチ

p : 三角形分布荷重の最大値

H : 壁の高さ

M_{max} : 壁体に発生する最大曲げモーメント ($= p H^2 / 6$)

請求の範囲

[請求項1] 複数の鋼矢板が継手により連結されて壁体が構成され、その壁体は延設方向に間隔をあけて複数の凹部を備え、

前記壁体を挟んで低い側の地盤面に、前記凹部に一部が収容された状態で前記地盤面に前記鋼矢板の長手方向に沿って複数の鋼管が立設され、

前記壁体と前記鋼管とが、前記鋼矢板の長手方向の少なくとも一部において接続され、

互いに隣り合う前記各鋼管の中心間距離が最大となる第1鋼管及び第2鋼管の間の中心間距離である最大間隔 L (mm)と、前記壁体の高さ H (mm)と、前記第1鋼管及び前記第2鋼管のそれぞれの半径を合計した寸法 D (mm)とが、以下の数式(1)を満たすことを特徴とする組合せ鋼製壁。

[数1]

$$D \leq L \leq (1/2) \times H \quad \cdots (1)$$

[請求項2] 前記壁体と前記鋼管とが、互いに接触することによって接続されている

ことを特徴とする請求項1に記載の組合せ鋼製壁。

[請求項3] 前記壁体と前記鋼管とが、連結用部材により連結されることによって接続されている

ことを特徴とする請求項1に記載の組合せ鋼製壁。

[請求項4] 前記連結用部材が、前記鋼矢板及び前記鋼管の少なくとも上部を連結している

ことを特徴とする請求項3に記載の組合せ鋼製壁。

[請求項5] 前記最大間隔 L (mm)と、前記壁体の高さ H (mm)と、前記鋼矢板の降伏応力 σ_y (N/mm²)と、前記鋼矢板の断面係数 Z_s (mm³)と、前記壁体に作用する最大曲げモーメント M_{max} (N・mm

）とが、以下の数式（２）を満足するように、前記最大間隔 L （mm）が設定されている

ことを特徴とする請求項１～４のいずれか一項に記載の組合せ鋼製壁。

[数2]

$$\frac{(3H-4L) \times (2L)^2}{H^3} \times \frac{M_{\max}}{Z_s} \leq \sigma_y \quad \dots (2)$$

[請求項6] 前記最大間隔 L （mm）と、前記壁体の高さ H （mm）と、前記鋼矢板の降伏応力 σ_y （N/mm²）と、前記鋼矢板の断面係数 Z_s （mm³）と、前記壁体に作用する最大曲げモーメント $M_{\max}$ （N・mm）とが、以下の数式（３）を満足するように、前記最大間隔 L （mm）が設定されている

ことを特徴とする請求項１～５のいずれか一項に記載の組合せ鋼製壁。

[数3]

$$0.3 \times \sigma_y \leq \frac{(3H-4L) \times (2L)^2}{H^3} \times \frac{M_{\max}}{Z_s} \quad \dots (3)$$

[請求項7] 前記長手方向から見た場合に、前記各凹部は、前記壁体に等間隔で形成され、

前記各凹部に対して一つおきに前記鋼管が配置されている

ことを特徴とする請求項１～６のいずれか１項に記載の組合せ鋼製壁。

[請求項8] 前記長手方向から見た場合に、前記各凹部は、前記壁体に等間隔で形成され、

前記各凹部に対して２つ以上おきに前記鋼管が配置されている

ことを特徴とする請求項１～６のいずれか１項に記載の組合せ鋼製壁。