

明 細 書

発明の名称：ハット形鋼矢板

技術分野

[0001] 本発明は、冷間加工により成形され、地中に打設されて壁を構成するハット形鋼矢板（冷間ハット形鋼矢板）に関するものである。

背景技術

[0002] 熱間圧延により成形されるハット形鋼矢板は、工場設備などの制約上、型式の数及び／又は鋼矢板幅などの鋼矢板のサイズに限られる。このため、当該ハット形鋼矢板の断面形状は、各施工現場で必要とされる構造性能に対し、必ずしも最適で合理的でないことがある。つまり、熱間圧延によって形成されるハット形鋼矢板の場合、既存のサイズの中から、必要とされる構造性能により近いものを選択することが行われている。

[0003] ハット形鋼矢板には、冷間加工（曲げ加工）で成形されるものもある（例えば、特許文献１参照）。このような鋼矢板では、そのサイズを調整する自由度が比較的高いので、施工現場ごとに必要とされる構造性能に対し、最適に近い断面形状のハット型鋼矢板を提供することが可能である。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献１：実開平４－１０８６１９号公報

発明の概要

[0005] 冷間加工（曲げ加工）により製造されるハット形鋼矢板の断面性能向上、製造能率向上を達成するためには、板厚を薄くして断面形状を大きくすることが有効である。しかしながら、冷間加工（曲げ加工）で成形される鋼矢板は、その製法上、ウェブ部、フランジ部、アーム部のいずれの部位においても、ほぼ同一の板厚となる。このため、板厚を薄くした場合、以下のような問題が生ずる。

[0006] ハット形鋼矢板を地中に打設して壁構造を構成する際、壁体には土圧およ

び水圧により発生する曲げモーメントが卓越して作用する。壁体に曲げモーメントが作用した場合、ハット形鋼矢板において最も大きな応力が作用する箇所は、最外縁および最内縁に位置するウェブ部およびアーム部である。

[0007] ウェブ部とアーム部を比較すると、アーム部は、その先端部に継手が設けられていることから、ウェブ部に比べて断面剛性が大きくなるため早期の座屈は生じにくい。これに対して、ウェブ部は、断面剛性が小さい。板厚を薄くした場合、全ての部位でほぼ同一の板厚になる冷間加工で形成されるハット形鋼矢板では、ウェブ部は、弱点箇所に最もなりやすい。このため、曲げモーメントによる圧縮応力がウェブ部に作用した場合、早期に座屈が生じる。その結果、期待される降伏耐力（降伏モーメント）または全塑性モーメントよりも小さい荷重レベル（曲げモーメント）で、壁体が崩壊する危険性がある（変形性能の低下）。

[0008] なお、特許文献1の図1を見ると、ウェブ部の中央にU字状又はV字状に屈曲した屈曲部がある。この屈曲部は、冷間矢板の製造工程において、板中心の目印のために形成されるものである。屈曲部は、ごくわずかな凹みであり、後述する本願発明における突起形状部に比較するとその大きさが格段に小さい。屈曲部の目的作用は、本願発明の突起形状部の目的作用とは全く異なるものである。

[0009] 本発明は、上述した課題を解決するためになされたものであり、ハット形鋼矢板のウェブ部における早期座屈を防止し、変形性能を高めることで、薄肉大断面形状のハット形鋼矢板の断面性能を向上し、経済性、製造能率に優れたハット形鋼矢板を提供することを目的としている。

[0010] （1）本発明に係るハット形鋼矢板は、ウェブ部と、一对のフランジ部と、一对のアーム部と、一对の継手部と、を有する。ハット形鋼矢板には、ウェブ部の両端に一对のフランジ部が形成され、一对のフランジ部を構成するフランジ部の端部に一对のアーム部を構成するアーム部が形成されるとともに、アーム部の先端に一对の継手部を構成する継手部が設けられる。前記ハット形鋼矢板は、前記ウェブ部に、鋼矢板全長にわたって、以下の式（1）

および式（２）を満足する突起形状部を有することを特徴とするものである。

[数1]

$$V \geq B/16 \quad \dots\dots(1)$$

$$1.5 \leq \frac{4.1}{\left(\left(\frac{B \times (H/B)^{0.1} \times \sqrt{\epsilon_y}}{t + \frac{W \times V^{0.85} \times n}{B \times (H/B)^{0.1}}} \right)^2 - 0.25 \right)} \leq 10 \quad \dots\dots(2)$$

[0011] ここに、V：突起形状部の高さ（mm）、W：突起形状部付け根の幅（mm）（ $W < 5 \times V$ ）、n：突起形状部の数、H：鋼矢板段面高さ（mm）、B：鋼矢板ウェブ幅（mm）、t：鋼矢板ウェブの板厚（mm）、 ϵ_y ：鋼矢板の降伏ひずみ

[0012] （２）本発明に係るハット形鋼矢板は、ウェブ部と、一对のフランジ部と、一对のアーム部と、一对の継手部と、を有する。ハット形鋼矢板には、ウェブ部の両端に一对のフランジ部が形成され、一对のフランジ部を構成するフランジ部の端部に一对のアーム部を構成するアーム部が形成されるとともに、アーム部の先端に一对の継手部を構成する継手部が設けられる。前記ハット形鋼矢板は、前記ウェブ部に、鋼矢板全長にわたって、以下の式（１）および式（３）を満足する突起形状部を有することを特徴とするものである。

[数2]

$$V \geq B/16 \quad \dots\dots(1)$$

$$2 \leq \frac{4.1}{\left(\left(\frac{B \times (H/B)^{0.1} \times \sqrt{\epsilon_y}}{t + \frac{W \times V^{0.85} \times n}{B \times (H/B)^{0.1}}} \right)^2 - 0.25 \right)} \leq 10 \quad \dots\dots(3)$$

[0013] ここに、 V ：突起形状部の高さ（mm）、 W ：突起形状部付け根の幅（mm）（ $W < 5 \times V$ ）、 n ：突起形状部の数、 H ：鋼矢板段面高さ（mm）、 B ：鋼矢板ウェブ幅（mm）、 t ：鋼矢板ウェブの板厚（mm）、 ε_y ：鋼矢板の降伏ひずみ

[0014] （３）本発明に係るハット形鋼矢板は、ウェブ部と、一对のフランジ部と、一对のアーム部と、一对の継手部と、を有する。ハット形鋼矢板には、ウェブ部の両端に一对のフランジ部が形成され、一对のフランジ部を構成するフランジ部の端部に一对のアーム部を構成するアーム部が形成されるとともに、アーム部の先端に一对の継手部を構成する継手部が設けられる。前記ハット形鋼矢板は、前記ウェブ部に、鋼矢板全長にわたって、以下の式（１）および式（４）を満足する突起形状部を有することを特徴とするものである。

[数3]

$$V \geq B/16 \quad \dots (1)$$

$$2 \leq \frac{4.1}{\left(\frac{B \times (H/B)^{0.1} \times \sqrt{\varepsilon_y}}{t + \frac{W \times V^{0.85} \times n}{B \times (H/B)^{0.1}}} - 0.25 \right)} \leq 4 \quad \dots (4)$$

[0015] ここに、 V ：突起形状部の高さ（mm）、 W ：突起形状部付け根の幅（mm）（ $W < 5 \times V$ ）、 n ：突起形状部の数、 H ：鋼矢板段面高さ（mm）、 B ：鋼矢板ウェブ幅（mm）、 t ：鋼矢板ウェブの板厚（mm）、 ε_y ：鋼矢板の降伏ひずみ

[0016] 本発明のハット形鋼矢板においては、ウェブ部に所定の突起形状部を設けることで、最適な鋼矢板断面性能（変形性能）が得られる。その結果、経済性、製造能率に優れた板厚の薄いハット形鋼矢板が実現できる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]本発明の実施の形態に係るハット形鋼矢板の形状を説明する説明図であ

る。

[図2]本発明の実施の形態に係るハット形鋼矢板の形状を規定する式の導出過程を説明する説明図であって、対象としたハット形鋼矢板の形状の説明図である。

[図3]本発明の実施の形態に係るハット形鋼矢板の形状を規定する式の導出過程を説明する説明図であって、突起形状部の有り無しの変形性能に与える影響を示すグラフである。

[図4]本発明の実施の形態に係るハット形鋼矢板の形状を規定する式の導出過程を説明する説明図であって、有効な突起形状部高さの範囲を求めるのに用いた解析結果のグラフである。

[図5]本発明の実施の形態に係るハット形鋼矢板の形状を規定する式の導出過程を説明するのに用いた角型鋼管の断面図である。

[図6]本発明の実施の形態に係るハット形鋼矢板の形状を規定する式の導出過程を説明する説明図であって、ハット形鋼矢板の形状に関する影響を見るための解析結果のグラフである。

[図7]本発明の実施の形態に係るハット形鋼矢板の形状を規定する式の導出過程を説明する説明図であって、ウェブ幅Bと断面高さHの比による影響を見るための解析結果のグラフである。

[図8]本発明の実施の形態に係るハット形鋼矢板の形状を規定する式の導出過程を説明する説明図であって、突起形状部の形状に関する影響を見るための解析結果のグラフである。

[図9]本実施の形態に係るハット形鋼矢板の形状の他の態様を説明する説明図である（その1）。

[図10]本実施の形態に係るハット形鋼矢板の形状の他の態様を説明する説明図である（その2）。

[図11]本実施の形態に係るハット形鋼矢板の形状の他の態様を説明する説明図である（その3）。

発明を実施するための形態

[0018] [実施の形態 1]

本発明の一実施の形態に係るハット形鋼矢板 1 は、冷間加工（曲げ加工）により製造された冷間ハット形鋼矢板である。図 1 に示すように、ハット型鋼矢板 1 は、ウェブ部 3、一对のフランジ部 5、一对のアーム部 7、一对の継手部 9、及び突起形状部 11 を有する。

[0019] ウェブ部 3 の両端に一对のフランジ部 5 が形成される。具体的には、ハット型鋼矢板 1 の幅方向 x におけるウェブ部 3 の各端部に、フランジ部 5 が設けられる。

[0020] 一对のフランジ部 5 を構成するフランジ部 5 の端部にアーム部 7 が形成される。具体的には、幅方向 x におけるフランジ部 5 の外側の端部に、アーム部 7 が設けられる。幅方向 x におけるフランジ部 5 の内側の端部は、幅方向 x におけるウェブ部 3 の端部と連なる。

[0021] 一对のアーム部 7 を構成するアーム部 7 の先端に継手部 9 が設けられる。具体的には、幅方向 x におけるアーム部 7 の外側の端部に、継手部 9 が設けられる。幅方向 x におけるアーム部 7 の内側の端部は、幅方向 x におけるフランジ部 5 の端部と連なる。なお、一对のアーム部 7 を構成する一方の継手部 9 と他方の継手部 9 とは、幅方向 x 及び高さ方向 y における断面視において、非対称であってもよい。

[0022] ハット型鋼矢板 1 は、ウェブ部 3 に、鋼矢板全長にわたって、突起形状部 11 を有する。具体的には、突起形状部 11 は、ウェブ部 3 に設けられる。突起形状部 11 は、ハット型鋼矢板 1 の高さ方向 y に突出した部分である。本実施形態において、突起形状部 11 は、高さ方向 y においてフランジ部 5 が配置される側（内側）に突出する。

[0023] 突起形状部 11 は、ウェブ部 3 においてハット型鋼矢板 1 の全長にわたって延びる。長さ方向 z における突起形状部 11 の長さは、長さ方向 z におけるハット型鋼矢板 1 の長さと同じである。なお、長さ方向 z は、幅方向 x 及び高さ方向 y に直交する方向である。

[0024] 突起形状部 11 は、以下の式（1）および式（2）を満足する。

[数4]

$$V \geq B/16 \quad \dots\dots (1)$$

$$1.5 \leq \frac{4.1}{\left(\frac{B \times (H/B)^{0.1} \times \sqrt{\varepsilon_y}}{t + \frac{W \times V^{0.85} \times n}{B \times (H/B)^{0.1}}} - 0.25 \right)^2} \leq 10 \quad \dots\dots (2)$$

[0025] ここに、V：突起形状部の高さ（mm）、W：突起形状部付け根の幅（mm）（ $W < 5 \times V$ ）、n：突起形状部の数、H：鋼矢板段面高さ（mm）、B：鋼矢板ウェブ幅（mm）、t：鋼矢板ウェブの板厚（mm）、 ε_y ：鋼矢板の降伏ひずみ

[0026] なお、V（突起形状部11の高さ）は、高さ方向yにおける突起形状部11の長さ（高さ）である。突起形状部付け根は、幅方向x及び高さ方向yにおける断面視において、幅方向xにおける突起形状部11の外側の端部である。従って、W（突起形状部付け根の幅）は、幅方向xにおける突起形状部11の長さ（幅）と等しい。H（鋼矢板段面高さ）は、高さ方向yにおけるハット型鋼矢板1の高さである。すなわち、Hは、高さ方向yにおけるウェブ部3からフランジ部7までの最大長さに等しい。B（鋼矢板ウェブ幅）は、幅方向xにおけるウェブ部3の長さ（幅）である。t（鋼矢板ウェブの板厚）は、高さ方向におけるウェブ部3の高さ（厚み）である。

[0027] 式（1）は、本発明の効果を奏するのに必要な突起形状部11の高さを規定する。式（2）は、鋼矢板断面の変形性能を規定する。式（2）により規定される値が1.0より小さいハット形鋼矢板は、降伏モーメントに到達する前に、弾性座屈により崩壊するレベルのものである。以下、式（1）及び式（2）を導出した経緯について説明する。

[0028] まず、図2（a）に示す突起形状部11のないハット形鋼矢板13及びそのウェブ部3に突起形状部11を設けた図2（b）に示すハット形鋼矢板1の変形性能について、解析により検討した。 $\varepsilon_y = 0.0016$ である。

[0029] 図3は解析結果をグラフに表したものである。縦軸が（作用荷重／降伏荷

重)を示す。横軸が変形性能を示す。図3において、降伏荷重と同じ作用荷重のときに降伏する場合を変形性能1.0として表現している。

[0030] 図3より、突起形状部11のないハット形鋼矢板13である図2(a)のケースでは、変形性能が0.79(1.0未満、弾性座屈)である。一方、ウェブ中央に高さ27mmの突起形状部11を設けた図2(b)のケースでは、変形性能が1.67である。突起形状部11を設けられたハット形鋼矢板1では、変形性能が向上し、最大荷重が降伏荷重レベルを上回っていることが分かる。この場合の変形性能の増分率は、「 $0.79 / 1.67 - 1 (= 1.11)$ 」と表すことができる。

[0031] このように、ウェブ部3に突起形状部11を設けることで変形性能を増加させることができると判明したので、次に効果的な突起形状部11の高さについて検討した。具体的には、(突起形状部の高さV) / (ウェブ幅B)を、0.02から0.135まで変えたときの、変形性能の増分について調査した。

[0032] 図4は、この検討結果を示すものである。横軸が(突起形状部の高さV) / (ウェブ幅B)を示す。縦軸が変形性能の増分率を示す。(突起形状部の高さV) / (ウェブ幅B)が大きくなるほど、変形性能の増分率が大きくなる傾向にある。しかしながら、(突起形状部の高さV) / (ウェブ幅B)が1 / 16未満の場合、変形性能の増分率は微小(0.3以下)である。従って、十分な変形性能の向上が果たされない。そこで、本発明においては、必要な突起形状部11の高さを式(1)で規定した。

$$V \geq B / 16 \quad \dots \dots (1)$$

[0033] 次に、解析結果より、鋼矢板断面形状及び突起形状部11の形状と、ハット形鋼矢板1の変形性能と、の関係式を導くための検討を行った。

[0034] 本発明の対象であるハット形鋼矢板1の形状は、幅方向x及び高さ方向yにおける断面視において、直線状の板要素の両端が曲げられた形状に近い。すなわち、弱点箇所になるウェブ部3は、中央の直線状の部分に対応し、フランジ部5が板要素の両端が曲げられた部分に対応する。従って、ハット形

鋼矢板 1 の形状に類似する形状を有する構造体として、図 5 に示すような四角形断面を有する角型鋼管が挙げられる。すなわち角型鋼管における一辺に着目すると、直線状の板要素の両端が 90° に曲げられることにより、四角形が形成されている。角型鋼管は、直線状の板要素の両端を曲げられて形成されている点でハット形鋼矢板と類似している。

[0035] そこで、例えば文献「桑村仁「鋼構造の性能と設計」(2002年、共同出版)」などで既往の知見として示されている下記に示す角形鋼管(幅 B、高さ B、板厚 t、降伏ひずみ ε_y 、等辺形状)の変形性能 μ の評価式(5)を参照し、本式をもとに、ハット形鋼矢板断面形状(突起形状部 11 を考慮)の場合の変形性能評価式を導くこととした。

[数5]

$$\mu = \frac{5}{\left(\left(\frac{B \times \sqrt{\varepsilon_y}}{t} \right)^2 - 0.25 \right)} \quad \dots \text{式 (5)}$$

[0036] なお、ハット形鋼矢板 1 と角形鋼管とで異なる点としては、ウェブ部 3 の端部での板状要素の折り曲げ角度である。角型鋼管は、 90° の折り曲げ角度で曲げられているのに対し、ハット形鋼矢板 1 は、 90° より小さい折り曲げ角度で曲げられている。角型鋼管は、正方形が基本であるため、断面幅と断面高さは等価である。一方、ハット形鋼矢板 1 では、ウェブ部 3 の長さ(B)と、鋼矢板の高さ(H)は、異なるケースも想定する必要がある。

[0037] そこで、このような形状の違いの影響を見るため、ウェブ部 3 に突起形状部 11 を設けないハット形鋼矢板において、以下の条件にて解析した場合の、一般化幅厚比 β ($= B / t \times \varepsilon_y^{0.5}$) と変形性能 μ の関係を図 6 に示す。

- ・ハット形鋼矢板 1 のウェブ幅 B と断面高さ H の比 (H / B) : 0.71、1.00、1.57
- ・板厚 : 6 ~ 18 mm

[0038] 図6を見ると、ハット形鋼矢板1の変形性能 μ の解析値は、式(5)の角形鋼管の変形性能評価式をやや下回る傾向にあることが分かる。そこで、ハット形鋼矢板1の変形性能 μ の評価式として、式(5)の右辺の分子の値5を解析結果に基づいて修正すると以下の式(6)となる。

[数6]

$$\mu = \frac{4.1}{\left(\left(\frac{B \times \sqrt{\epsilon_y}}{t} \right)^2 - 0.25 \right)} \quad \dots \text{式(6)}$$

[0039] また、同じ一般化幅厚比 β でも、 H/B が小さいほど変形性能は大きくなっている。ハット形鋼矢板1の場合にはウェブ幅 B と断面高さ H の比による影響があることがわかった。そこで、図6の横軸の一般化幅厚比 β に $(H/B)^{0.1}$ を乗じて、ウェブ幅の補正を行った。補正幅厚比 $\beta_2 (= B/t \times \epsilon_y^{0.5} \times (H/B)^{0.1})$ と変形性能 μ の関係を図7に示す。補正幅厚比 β_2 を用いた下記に示す変形性能評価式(7)と解析結果はよく一致した。

[数7]

$$\mu = \frac{4.1}{\left(\left(\frac{B \times (H/B)^{0.1} \times \sqrt{\epsilon_y}}{t} \right)^2 - 0.25 \right)} \quad \dots \text{式(7)}$$

[0040] 次に、ハット形鋼矢板1のウェブ部3に設けた突起形状部11の形状に関する影響を評価した。

[0041] ウェブ部3に突起形状部11を設けることにより、ウェブ部3の断面剛性が増大することから、ハット形鋼矢板1の変形性能向上がもたらされる。この効果について、変形性能評価式(7)においては、板厚 t を見かけ上、増大させることで表現できる。そこで、突起形状部11を設けることによるウェブ板厚増大効果分を Δt とすると、変形性能評価式は式(8)となる。

[数8]

$$\mu = \frac{4.1}{\left(\left(\frac{B \times (H/B)^{0.1} \times \sqrt{\varepsilon_y}}{t + \Delta t} \right)^2 - 0.25 \right)} \quad \dots \text{式 (8)}$$

[0042] ここで、 Δt に寄与する因子としては、突起形状部の高さ V 、突起形状部付け根の幅 W 、突起形状部の数 n 、鋼矢板ウェブ幅（ウェブ幅 B に $(H/B)^{0.1}$ を乗じて補正）が考えられる。これらを考慮して、解析結果との比較を行った結果、 Δt を式（9）で評価すれば、近似できることがわかった。

[数9]

$$\Delta t = \frac{W \times V^{0.85} \times n}{B \times (H/B)^{0.1}} \quad \dots \dots (9)$$

[0043] また、式（8）に式（9）を代入すると、ウェブ部 3 に設けた突起形状部 11 を考慮した変形性能評価式（10）が導かれる。

[数10]

$$\mu = \frac{4.1}{\left(\left(\frac{B \times (H/B)^{0.1} \times \sqrt{\varepsilon_y}}{t + \frac{W \times V^{0.85} \times n}{B \times (H/B)^{0.1}}} \right)^2 - 0.25 \right)} \quad \dots \dots (10)$$

[0044] 変形性能評価式（10）と解析結果の比較を図 8 に示す。

[0045] なお、ウェブ中央に突起形状部 11 を 1 つ設けたケースの他、図 9 に示すように、突起形状部 11 を 2 箇所設けたケースや、図 10 に示すように突起形状部 11 を 3 箇所設けたケースについても検討した。

[0046] 次に、式（10）で規定された変形性能 μ の上下限值について検討した。

[0047] ハット形鋼矢板 1 を用いた壁体構造は、仮設壁と本設壁（永久構造）とに大別される。一般に仮設壁においては、鋼矢板は弾性範囲内（降伏荷重レベル以下）での挙動を想定して設計される（弾性設計という）。一方、本設壁

（永久構造）では、供用期間が長いことから、大地震を受けた場合の設計が行われることもある。その場合には、降伏荷重到達以降の塑性域での挙動を想定して設計される（塑性設計という）。

[0048] そこで、本実施の形態では、仮設壁に供用される場合（弾性設計への適用）の変形性能 μ の上下限值について検討した。

[0049] 弾性設計においては、想定される作用力は降伏荷重以下であることから、図3に示す、作用荷重／降伏荷重と変形性能の関係を例にとると、変形性能 $\mu = 1.0$ （降伏荷重到達時）までの鋼矢板の性能を保証すれば良いこととなる。

[0050] しかし、鋼矢板の品質、形状のバラツキや、施工における誤差（傾き、回転、ずれなど）による、作用荷重の増加の可能性がある、降伏荷重を超えてすぐに構造物が崩壊するリスクもある。これらを考慮すると、弾性設計においても、鋼矢板の変形性能 μ は 1.5 を確保すべきである。

[0051] 一方、鋼矢板の剛性を高めて変形性能を高めていくと、大きな塑性変形が生じても鋼矢板の耐荷力は保持できる。しかしながら、今度は地盤の主働崩壊など別の要因で壁構造が壊れる可能性がある。一般に鋼矢板の降伏時の変形は、回転角 $1/50$ 程度である。鋼矢板の変形性能が 1.0 であれば、回転角は $1/50 \times 1.0 = 1/5$ である。回転角が $1/5$ 以上となる変形が生じると地盤の主働崩壊が生じるレベルとなる。したがって、地盤の主働崩壊を避けるという観点から変形性能 μ は、 1.0 以下であることが好ましい。よって、弾性設計を想定する場合は、ハット形鋼矢板1の変形性能 μ が $1.5 \leq \mu \leq 1.0$ となるようにすることが好ましい。

[0052] 以上から、式（2）（および式（1））を満足するよう、ウェブ部3に突起形状部11を設けることとした。

[数11]

$$1.5 \leq \frac{4.1}{\left(\left(\frac{B \times (H/B)^{0.1} \times \sqrt{\epsilon_y}}{t + \frac{W \times V^{0.85} \times n}{B \times (H/B)^{0.1}}} \right)^2 - 0.25 \right)} \leq 10 \quad \dots (2)$$

[0053] 以上のように、本実施の形態のハット形鋼矢板は、式（１）及び式（２）を満たす突起形状部１１をウェブ部３に設けたことにより、変形性能に優れる。その結果、仮設壁に供用した場合において降伏荷重を超えても、当該ハット形鋼矢板は、崩壊することなく、また地盤の主働崩壊を生ずることもない。

[0054] [実施の形態２]

上記の実施の形態１では、ハット形鋼矢板１を仮設壁として適用する場合であったが、本実施の形態では、本設壁（永久構造）として適用する場合（塑性設計への適用）の変形性能 μ の値について検討した。

[0055] 塑性設計において、鋼矢板に必要とされる変形性能のレベルは、構造物や環境しだいで様々である。しかしながら、鋼矢板の全塑性モーメント荷重に耐える性能は必須となる。そして、一般に変形性能 μ が２以上であれば、全塑性モーメント荷重レベルに達する。そのため、塑性設計を想定する場合は、ハット形鋼矢板１の変形性能 μ が $2.0 \leq \mu \leq 10$ となるよう、式（３）（および式（１））を満足するよう、ウェブ部３に突起形状部１１を設けるようにすればよい。

[数12]

$$2 \leq \frac{4.1}{\left(\left(\frac{B \times (H/B)^{0.1} \times \sqrt{\epsilon_y}}{t + \frac{W \times V^{0.85} \times n}{B \times (H/B)^{0.1}}} \right)^2 - 0.25 \right)} \leq 10 \quad \dots (3)$$

[0056] 以上のように、本実施の形態のハット形鋼矢板は、式（１）及び式（３）

を満たす突起形状部 11 をウェブ部 3 に設けたことにより、変形性能に優れる。その結果、本設壁（永久構造）に供用した場合において降伏荷重を超えても、当該ハット形鋼矢板は、崩壊することなく、また地盤の主働崩壊を生ずることもない。

[0057] 〔実施の形態 3〕

本実施の形態は、道路構造や港湾構造への適用に好適な鋼矢板に関するものである。

[0058] 道路構造、港湾構造の本設構造では塑性設計が行われる。一般に変形性能 $\mu = 4$ が要求性能の上限とされる。

[0059] したがって、道路構造や港湾構造に適用される場合には、ハット形鋼矢板 1 の変形性能 μ が 2. $0 \leq \mu \leq 4$. 0 となるよう、式 (4) (および式 (1)) を満足するよう、ウェブ部 3 に突起形状部 11 を設けるようにすればよい。

[数13]

$$2 \leq \frac{4.1}{\left(\left(\frac{B \times (H/B)^{0.1} \times \sqrt{\varepsilon_y}}{t + \frac{W \times V^{0.85} \times n}{B \times (H/B)^{0.1}}} \right)^2 - 0.25 \right)} \leq 4 \quad \dots (4)$$

[0060] 以上のように、本実施の形態のハット形鋼矢板は、式 (1) 及び式 (4) を満たす突起形状部 11 をウェブ部 3 に設けたことにより、変形性能に優れる。その結果、道路構造や港湾構造に供用した場合において降伏荷重を超えても、当該ハット形鋼矢板は、崩壊することがなく、また道路構造や港湾構造に要求される変形性能の上限値を満たしている。

[0061] なお、突起形状部 11 の付け根の幅 W が突起形状部 11 の高さ V の 5 倍より小さい ($W < 5 \times V$) ことが望ましい。 $W < 5 \times V$ とする理由は以下の通りである。

[0062] 本発明では式 (1) によって $V \geq B / 16$ と規定しており、この式 (1)

に $W = 5 \times V$ （最大幅越え）を代入すると、 $W \geq B \times 5 / 16$ となる。これは突起形状部 11 の付け根の幅 W が、ウェブ幅 B に対して約 $1 / 3$ 以上を占めることとなる。ウェブ部 3 の中央にこのような突起形状部 11 を配した場合、幅方向 x における突起形状部 11 の両側のウェブ平行部の長さが付け根の幅 W を下回る。ウェブ部 3 に作用する土水圧がウェブ部 3 の全体にバランスよく伝わらなくなる懸念がある。また、鋼矢板壁方向に沿って切梁、腹起しを設置する際、十分な荷重伝達ができなくなる可能性がある。そこで、これを避けるため、 $W < 5 \times V$ とするのが望ましい。

[0063] 上記の実施の形態においては、突起形状部 11 の形状として図 1、図 8 及び図 9 に示すような V 字状のものを示した。しかしながら、本発明における突起形状部 11 の形状はこれに限定されない。例えば、図 11 に示すように、突起形状部 11 は、円弧状の丸みを有してもよい。すなわち、幅方向 x 及び高さ方向 y における断面視において、円弧状であってもよい。また、突起形状部 11 の形状は、台形状であってもよい。

[0064] 複数の突起形状部 11 を設ける場合には、突起形状部 11 の高さ V は同じである必要はない。複数の突起形状部 11 の高さ V は、異なってもよい。

[0065] 突起形状部 11 の突出する方向（張出し方向）について、上記の説明では、ウェブ部 3 の内面側、すなわち、高さ方向 y においてフランジ部 5 が配置される側に突出する（張出す）場合を例に挙げて説明した。しかしながら、本発明においては、突起形状部 11 の突出する方向はこれに限定されない。突起形状部 11 は、ウェブ部 3 の外面側、すなわち、高さ方向 y においてフランジ部 5 が配置されない側に突出してもよい。

[0066] なお、本発明では、ウェブ部 3 に突起形状部 11 を設けることが前提となっている。これに加えて、突起形状部 11 をアーム部 7 に設けてもよい。突起形状部 11 をウェブ部 3 とフランジ部 5 との変曲部分である隅角部に設けてもよい。突起形状部 11 をアーム部 7 とフランジ部 5 との変曲部分である隅角部に設けてもよい。

[0067] 鋼矢板断面高さ H が、ウェブ幅 B よりも大きい場合、突起形状部 11 をフ

ランジ部 5 に設けてもよい。その場合は、フランジ部 5 の中央付近につけてもよい。突起形状部 11 をフランジ部 5 の付け根近傍に設けてもよい。突起形状部 11 をアーム部 7 の付け根近傍につけてもよい。

[0068] [実施例]

実施の形態 1 ～ 3 に含まれる具体的なハット型鋼矢板 1 及び突起形状部 11 を設けていないハット型鋼矢板（比較例）を下記の表に示す。

[表1]

	断面高さ H(mm)	ウェーブ幅 B(mm)	板厚 t(mm)	降伏ひずみ ϵ_y	突起形状部高さ V(mm)	突起形状部幅 W(mm)	V/B	突起形状部の数 n	変形性能 μ	備考
比較例	350	350	6	0.0016	0	0	0.000	0	0.79	(突起なし)
本発明例1	350	350	6	0.0016	22	60	0.063	1	1.53	実施形態1を満足
本発明例2	350	350	6	0.0016	35	70	0.100	1	2.46	実施形態1、2、3を満足
本発明例3	350	350	6	0.0016	45	85	0.129	1	3.82	実施形態1、2、3を満足
本発明例4	350	350	6	0.0016	60	120	0.171	1	9.81	実施形態1、2を満足
本発明例5	350	350	9	0.0016	22	25	0.063	1	2.39	実施形態2、3を満足
本発明例6	350	350	9	0.0016	35	70	0.100	1	4.60	実施形態1、2を満足
本発明例7	350	350	9	0.0016	50	100	0.143	1	9.48	実施形態1、2を満足
本発明例8	450	500	9	0.0016	35	70	0.070	1	1.63	実施形態1を満足
本発明例9	450	500	9	0.0016	45	90	0.090	1	2.20	実施形態1、2、3を満足
本発明例10	450	500	9	0.0016	45	90	0.090	2	4.43	実施形態1、2を満足
本発明例11	450	500	9	0.0016	45	90	0.090	3	8.22	実施形態1、2を満足
本発明例12	250	300	6	0.0016	20	20	0.067	1	1.52	実施形態1を満足
本発明例13	250	300	6	0.0016	30	60	0.100	1	3.32	実施形態1、2、3を満足
本発明例14	250	300	6	0.0016	25	50	0.083	2	4.83	実施形態1、2を満足
本発明例15	250	300	6	0.0016	25	50	0.083	3	8.66	実施形態1、2を満足

符号の説明

- [0069]
- 1 ハット形鋼矢板
 - 3 ウェブ部
 - 5 フランジ部
 - 7 アーム部
 - 9 継手部
 - 1 1 突起形状部
 - 1 3 ハット形鋼矢板（突起形状部のないもの）

請求の範囲

[請求項1]

ウェブ部と、

一対のフランジ部と、

一対のアーム部と、

一対の継手部と、を有し、

前記ウェブ部の両端に前記一対のフランジ部が形成され、前記一対のフランジ部を構成するフランジ部の端部に前記一対のアーム部を構成するアーム部が形成されるとともに、前記アーム部の先端に前記一対の継手部を構成する継手部が設けられたハット形鋼矢板において、

前記ウェブ部に、鋼矢板全長にわたって、以下の式（１）および式（２）を満足する突起形状部を有することを特徴とするハット形鋼矢板。

[数1]

$$V \geq B/16 \quad \dots (1)$$

$$1.5 \leq \frac{4.1}{\left(\frac{B \times (H/B)^{0.1} \times \sqrt{\varepsilon_y}}{t + \frac{W \times V^{0.85} \times n}{B \times (H/B)^{0.1}}} - 0.25 \right)} \leq 10 \quad \dots (2)$$

ここに、 V ：突起形状部の高さ（mm）、 W ：突起形状部付け根の幅（mm）（ $W < 5 \times V$ ）、 n ：突起形状部の数、 H ：鋼矢板段面高さ（mm）、 B ：鋼矢板ウェブ幅（mm）、 t ：鋼矢板ウェブの板厚（mm）、 ε_y ：鋼矢板の降伏ひずみ

[請求項2]

ウェブ部と、

一対のフランジ部と、

一対のアーム部と、

一対の継手部と、を有し、

前記ウェブ部の両端に前記一対のフランジ部が形成され、前記一対

のフランジ部を構成するフランジ部の端部に前記一对のアーム部を構成するアーム部が形成されるとともに、前記アーム部の先端に前記一对の継手部を構成する継手部が設けられたハット形鋼矢板において、前記ウェブ部に、鋼矢板全長にわたって、以下の式（１）および式（３）を満足する突起形状部を有することを特徴とするハット形鋼矢板。

[数2]

$$V \geq B/16 \quad \dots\dots (1)$$

$$2 \leq \frac{4.1}{\left(\left(\frac{B \times (H/B)^{0.1} \times \sqrt{\varepsilon_y}}{t + \frac{W \times V^{0.85} \times n}{B \times (H/B)^{0.1}}} \right)^2 - 0.25 \right)} \leq 10 \quad \dots\dots (3)$$

ここに、 V ：突起形状部の高さ（mm）、 W ：突起形状部付け根の幅（mm）（ $W < 5 \times V$ ）、 n ：突起形状部の数、 H ：鋼矢板段面高さ（mm）、 B ：鋼矢板ウェブ幅（mm）、 t ：鋼矢板ウェブの板厚（mm）、 ε_y ：鋼矢板の降伏ひずみ

[請求項3]

ウェブ部と、
 一对のフランジ部と、
 一对のアーム部と、
 一对の継手部と、を有し、

前記ウェブ部の両端に前記一对のフランジ部が形成され、前記一对のフランジ部を構成するフランジ部の端部に前記一对のアーム部を構成するアーム部が形成されるとともに、前記アーム部の先端に前記一对の継手部を構成する継手部が設けられたハット形鋼矢板において、

前記ウェブ部に、鋼矢板全長にわたって、以下の式（１）および式（４）を満足する突起形状部を有することを特徴とするハット形鋼矢板。

[数3]

$$V \geq B/16 \quad \dots (1)$$

$$2 \leq \frac{4.1}{\left(\frac{B \times (H/B)^{0.1} \times \sqrt{\varepsilon_y}}{t + \frac{W \times V^{0.85} \times n}{B \times (H/B)^{0.1}}} - 0.25 \right)^2} \leq 4 \quad \dots (4)$$

ここに、 V ：突起形状部の高さ（mm）、 W ：突起形状部付け根の幅（mm）（ $W < 5 \times V$ ）、 n ：突起形状部の数、 H ：鋼矢板段面高さ（mm）、 B ：鋼矢板ウェブ幅（mm）、 t ：鋼矢板ウェブの板厚（mm）、 ε_y ：鋼矢板の降伏ひずみ