



連 携 記 事

国土強靱化に資する鋼矢板

Steel Sheet Piles Contributing to Building National Resilience

(一社) 鋼管杭・鋼矢板技術協会  
鋼矢板技術委員会  
委員長 芥川博昭  
Hiroaki Akutagawa

(一社) 鋼管杭・鋼矢板技術協会  
鋼矢板技術委員会  
委員 西山輝樹  
Teruki Nishiyama

1 はじめに

「水を制する者、国を制する」という言葉に象徴されるように、治水対策は国のインフラ整備の根幹であり、国土強靱化を図るうえでの重要施策である。鋼矢板は治水対策に用いられる主要な資材として、都市河川の護岸改修工事を主として広く用いられてきた。

我が国における鋼矢板の歴史は、大正12年（1922）の関東大震災の災害復旧工事のために世界各国より大量の鋼矢板が輸入されたことから始まり、昭和初期には毎年数万トン規模で輸入されるようになった。

昭和6年（1931）には官営八幡製鉄所で初めて国産鋼矢板の生産販売が開始され、昭和30年代には鉄鋼各社での生産販売が開始、1960～70年代の高度成長期には生産量が100万トンを超えるまでに至った。

現在は都市河川の護岸工事もあらかた済んだこともあり、リース用途を含め国内向けとしては年間40～50万トン程度の生産量で推移している一方、主に東南アジア諸国に向けた輸出量が年々増加し、現在では年間10～20万トン超を輸出するまでに至っている。

国産鋼矢板の生産が開始されて90年弱が経過したが、その間に我が国の鋼矢板はその性能や利用技術の進化を遂げてきた。

まず、形状性能の向上としては、従来有効幅が400mmのU形鋼矢板が主流であったのに対し、1997年に有効幅600mmの広幅型U形鋼矢板の生産販売を開始、2005年には有効幅900mmのハット形鋼矢板の製造販売を開始した。図1に各種矢板の断面形状を示す。これらは矢板有効幅を広げることで、効率的な打設を行うことができるほか、特にハット形鋼矢板については継手位置を壁体の最外縁に配置することで継手効率を100%見込める形状とし、壁体としての断面性能を従来矢板と同等に保ちつつ単位壁面積あたりの鋼材質量を低減することができるため、建設コスト削減に大きく寄与するものである。

また、規格についても1967年に制定されたJIS A5528（熱間圧延鋼矢板）に加え、2000年には溶接性能に配慮し成分規定や靱性を示すシャルピー規定を付したJIS A5523（溶接用熱間圧延鋼矢板）が制定された。加えて矢板強度についても降伏点耐力295N/mm<sup>2</sup>に加え390N/mm<sup>2</sup>、430N/mm<sup>2</sup>まで拡充するなど高強度化が図られている。

さらに、鋼矢板そのものの性能向上に加えて新規利用技術の開発も盛んに行われており、（一社）鋼管杭・鋼矢板技術協会より各種技術資料が発刊されている。本稿ではこれらの鋼矢板工法の中から、東日本大震災を契機に設計法の見直しや

表1 鋼矢板に関する主な動き

| 年号          | 鋼矢板に関する主な動き                |
|-------------|----------------------------|
| 大正12年(1922) | 関東大震災の復旧工事のために鋼矢板を輸入       |
| 昭和 6年(1931) | 官営八幡製鉄所でU形鋼矢板の製造販売開始       |
| 昭和42年(1967) | 「JIS A 5528 鋼矢板」が制定        |
| 昭和58年(1983) | 「JIS A 5528 熱間圧延鋼矢板」に改訂    |
| 平成 9年(1997) | 広幅型U形鋼矢板製造販売開始             |
| 平成12年(2000) | 「JIS A 5523 溶接用熱間圧延鋼矢板」が制定 |
| 平成17年(2005) | ハット形鋼矢板製造販売開始              |

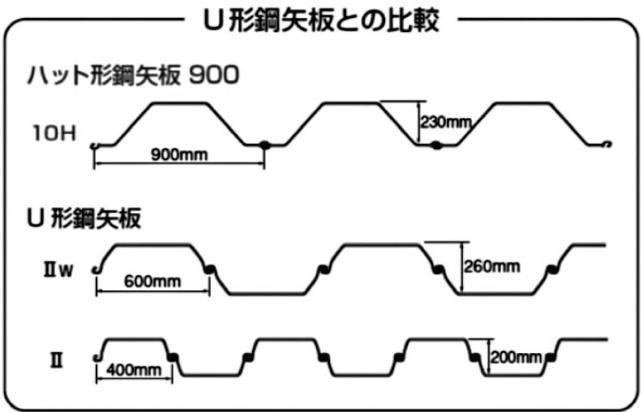


図1 各種矢板の断面形状

再評価がされた工法として、「河川堤防の液状化対策とそのマニュアル改訂」と、「鋼矢板二重式工法（芯壁堤）」の構造適用事例について紹介する。

## 2 鋼材を用いた河川堤防の液状化対策工法

液状化による被害は、1964年に発生した新潟地震において多数の施設が被災したことで問題が顕著化した。

河川では、1996年1月に発生した兵庫県南部地震において、淀川下流左岸で基盤面の液状化により約2kmに渡り堤防が崩壊した。これを受け、全国の河川堤防の耐震点検が実施されるとともにその各種対策工法を示す『河川堤防の液状化対策工法設計施工マニュアル（案）<sup>2)</sup>』（土木研究所資料第3513号）（以下、「旧マニュアル」という）が1997年10月に策定され、1998年の部分改訂<sup>3)</sup>を経て永らく使用されてきた。このマニュアルは、主にレベル1地震動における液状化対策技術を対象としており、今後到来が懸念される南海トラフ等の巨大地震への備えとしてレベル2地震動を対象とした対策工法の評価技術の整備が求められて来たこと、また、2011年に発生した東北地方太平洋沖地震では基盤面の液状化だけでなくそれまで対策対象とされていなかった堤体そのものの液状化による被害が顕在化したこと等の課題が時代背景とともに明らかになり、それらの設計手法の確立を目的として『河川堤防の液状化対策の設計手法検討委員会』が設置され、2016年3月に約20年ぶりに『河川堤防の液状化対策の手引き<sup>4)</sup>』（土木研究所資料第4332号）（以下、「手引き」という）が策定、更には同8月に『河川堤防の液状化対策の手引き＜設計計算例＞<sup>5)</sup>』（以下、「設計計算例」という）が刊行された。

（一社）鋼管杭・鋼矢板技術協会においても、本手引きによる鋼材を用いた対策工法の設計における一助となるべく『鋼材を用いた河川堤防の液状化対策工法 技術資料<sup>6)</sup>』（以下、「JASPP技術資料」という）を2018年1月に取りまとめた。本書では、手引きにおける鋼材を用いた液状化対策工法の解説や設計計算例を補充するとともに、設計実務者からお問い合わせの多い事項をQ&Aとして紹介し幅広く活用できるように努めた。

本章では、この手引きの概要、特に鋼材を用いた対策工法の設計について、JASPP技術資料の内容とともに紹介する。

### 2.1 手引きにおける設計の手順と取り扱い工法

手引きにおける液状化対策の設計の手順を図2に示す。旧マニュアルに対し、レベル2地震動に対する設計手順として耐震性能照査が追加された。また、浸透に対する安全性が有意に低下する場合には浸透対策

を検討することが定められた。

また、取り扱い工法は、表2に示すように、基礎地盤への液状化対策を行う場合には締固め工法、固結工法および鋼材を用いた工法の3工法が、堤体への液状化対策を行う場合には押え盛土工法およびドレーン工法の2工法が対象となっている。液状化する部分（基礎地盤なのか堤体なのか）、環境条件（振動や騒音、施工による地盤変位の程度、地下水遮断の有無）、地盤条件（粒径、液状化層厚）、経済性等により適切な対策工法を選定する。

鋼材を用いた工法には、自立（鋼管）矢板工法および自立（鋼管）矢板工法（排水機能付き）がある。液状化による堤防の被害を軽減することが目的で、その対策位置はのり尻直下地盤を基本としている。

### 2.2 手引きにおける鋼材を用いた対策工法の概要

#### 2.2.1 対策の原理

鋼材を用いた対策工法の原理を図3に示す。堤防下の地盤の液状化によって盛土が大きく変形することを、鋼材の剛性と根入れ部の地盤抵抗などによって抑制する。また、排水機能付き鋼材を用いた場合には、鋼材周辺の過剰間隙水圧の発生を低減することにより、鋼材に作用する側方流動力の低減および地盤反力の増加を図り、鋼材の剛性と根入れ部の地盤抵抗などと合わせて堤防盛土の変形を抑制する。

#### 2.2.2 設計の基本方針・手順

鋼材を用いた河川堤防の液状化対策工法の設計手順は、図4を標準としている。

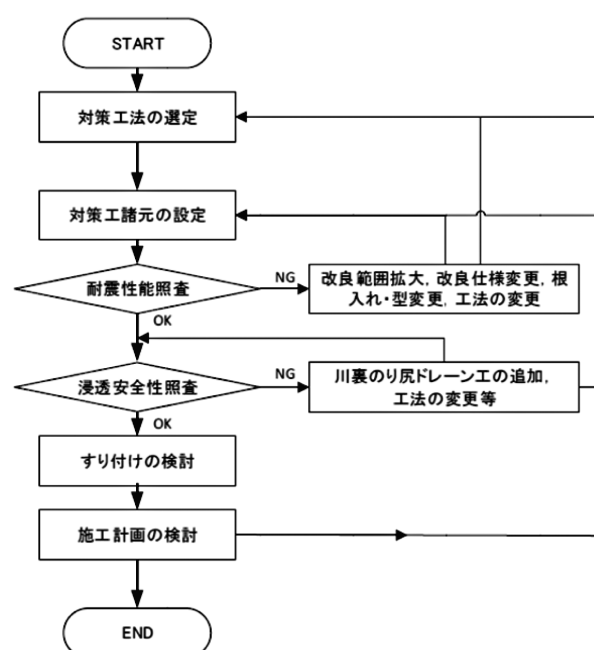


図2 液状化対策の設計の手順<sup>4)</sup>

表2 手引きでの取り扱い工法<sup>4)</sup>

| 対象       | 工法            | 大別                        | 位置      | 代表的な施工法                          |
|----------|---------------|---------------------------|---------|----------------------------------|
| 基礎地盤の液状化 | 締固め工法<br>(5章) | 液状化抑制(密度増大)／被害軽減          | のり尻直下地盤 | サンドコンパクションパイル工法<br>静的締固め砂杭工法     |
|          |               | 液状化抑制(密度増大)               | 堤体直下全体  | 砂圧入式静的締固め工法<br>コンパクショングラウチング工法   |
|          | 固結工法<br>(6章)  | 液状化抑制(固結)／被害軽減            | のり尻直下地盤 | 機械攪拌工法<br>高圧噴射攪拌工法<br>注入固化工法     |
|          |               |                           |         | 自立(鋼管)矢板工法<br>自立(鋼管)矢板工法(排水機能付き) |
| 堤体の液状化   | 押え盛土工法(8章)    | 液状化抑制(有効応力の増大、粒度の改良)／被害軽減 | のり尻へのり面 |                                  |
|          | ドレーン工法(8章)    | 液状化抑制(有効応力の増大、粒度の改良)／被害軽減 | 川裏のり尻付近 |                                  |

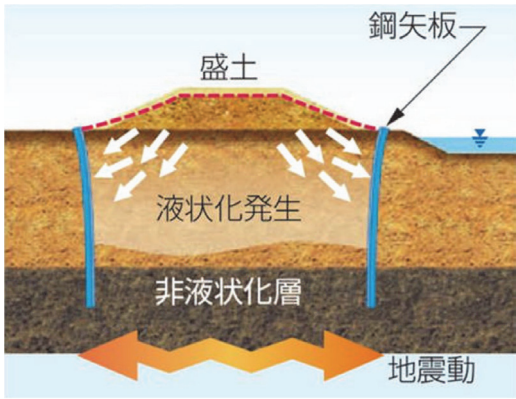


図3 対策の原理<sup>6)</sup>

また、設計の基本方針としては以下の通りである。

- ・堤防のり尻付近の基礎地盤に対して、鋼材を用いた対策工法を適用することを基本とする。
- ・設定した鋼材の仕様において、十分な根入れを確保し、対策工諸元設定用震度（レベル1地震動）に対して、鋼材に発生する応力度が所定の許容値以内となることを照査する。
- ・次に、鋼材を用いた対策工を含む液状化対策を施した堤防の地震後の堤防高さが、耐震性能の照査において考慮する外水位を下回らないことを照査する。

旧マニュアルでは、中規模地震動に対して安定性が確保できるように鋼材の仕様や根入れが設定されていた。今回の手引きでも、まず、鋼材の仕様や根入れ（矢板の安定性の確保）を旧マニュアルと同様の考え方で設定し、対策工諸元設定用震度（いわゆる、レベル1地震動）に対して鋼材に発生する応

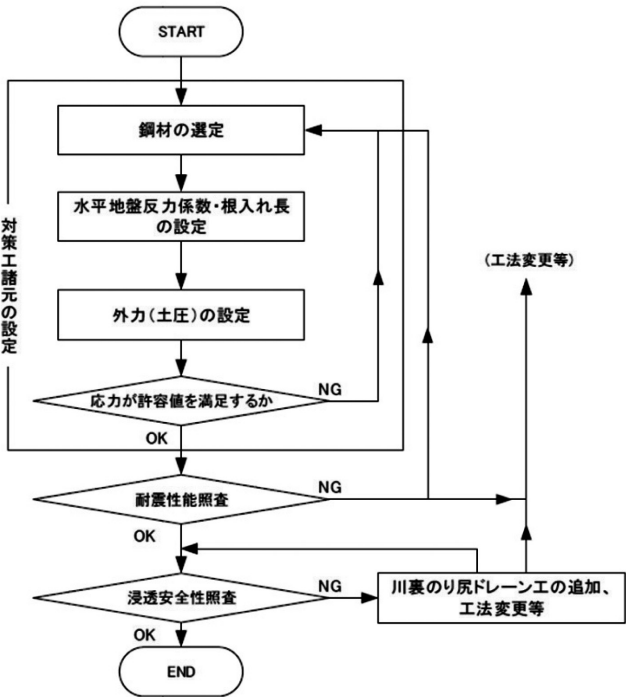


図4 鋼材を用いた工法の設計手順<sup>4)</sup>

力度が許容値以内となることを照査する。次に、レベル2地震動に対して堤防の耐震性能が満足すること、つまり、鋼材を用いた対策工を含む液状化対策を施した堤防の地震後の堤防高さが耐震性能の照査において考慮する外水位を下回らないことを照査する。これにより、鋼材が変形することによる堤防の沈下や堤防自体の変形を考慮した設計が可能となる。

具体的な設計法については、手引き、設計計算例、JASPP

技術資料等を参照されたい。

## 2.3 鋼材を用いた工法による設計計算例

液状化対策における実際の設計では、堤防や基礎地盤の条件により様々な検討ケースが存在し、それらの条件により必要となる鋼材の仕様（型式、規格、長さ等）は変化する。

JASPP技術資料では、設計計算例に記載されている2例を含め、様々な設計条件を設定した全5例の計算例をまとめている。これら5例のそれぞれの設定コンセプトを図5に示す。各ケースの設計の内容及び結果についてはJASPP技術資料を参照されたい。

| ケース   | 計算例1(土研資料の計算例5)                                                                                                              | 計算例2(土研資料の計算例6)                                                                                                                      |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 断面図   |                                                                                                                              |                                                                                                                                      |
| コンセプト | <ul style="list-style-type: none"> <li>・液状化層5mのオーソドックスタイプ</li> <li>・L1設計での根入れはDs層</li> <li>・L2照査でも10Hで変わらず</li> </ul>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・液状化層の間に粘性土のタイプ（下部はL2のみ液状化）</li> <li>・L1設計での根入れはAs2層</li> <li>・L2照査で根入れAc2層+25HでOK</li> </ul> |
| ケース   | 計算例3(液状化判定上限の20m)                                                                                                            | 計算例4(L1非液状化、L2液状化)                                                                                                                   |
| 断面図   |                                                                                                                              |                                                                                                                                      |
| コンセプト | <ul style="list-style-type: none"> <li>・液状化判定上限の20mタイプ</li> <li>・L1設計での根入れはAs3層+6L</li> <li>・L2照査でDg層根入れ+6LでOK</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・今まで無対策のタイプ</li> <li>・L2照査で液状化(As1)層が出てくる</li> <li>・L2照査でDg層根入れ+10HでOK</li> </ul>             |
| ケース   | 計算例5(特殊堤の扱い)                                                                                                                 |                                                                                                                                      |
| 断面図   |                                                                                                                              |                                                                                                                                      |
| コンセプト | <ul style="list-style-type: none"> <li>・液状化層の間に粘性土のタイプ（L1・L2ともに液状化）</li> <li>・L1設計での根入れはDg層</li> <li>・特殊堤→法肩矢板で対策</li> </ul> |                                                                                                                                      |

図5 各設計例の設定コンセプト<sup>6)</sup>

### 3 鋼矢板二重式工法（芯壁堤）

#### 3.1 鋼矢板二重式工法（芯壁堤）の機能

前章まで堤防法尻に鋼矢板を打設した液状化対策工法を手引きの概要を通じて紹介したが、その他にも近年注目されている工法として鋼矢板二重式工法（芯壁堤）がある。

堤防崩壊の主たるメカニズムとしては、地震時の堤防基盤の液状化の他、洪水・津波時の堤防越水による堤防背面の浸食からの破堤、水位上昇が長時間にわたって続いた場合の堤防内・堤防基盤への浸透による破堤といった三つの要因が挙げられるが、鋼矢板二重式工法（芯壁堤）は堤防内に二重に鋼矢板を打設することにより、これらの要因全てに対応可能な工法である（図6）。

#### 3.2 高知県での採用事例

実際に鋼矢板二重式工法（芯壁堤）が採用された事例として、高知県の仁ノ海岸の津波堤防を紹介する。高知県では来たるべき南海・東南海地震に備え各地で津波対策が進められており、仁淀川の左岸河口に位置する仁ノ海岸では鋼矢板二重式工法（芯壁堤）による津波堤防が延長710mにわたり建設されている。

仁ノ海岸では南海・東南海地震時に液状化による2m程度の地盤沈下の発生が想定されており対策が必要であったが、堤防背後には主要県道と住宅地が隣接し、堤防前面も浸食海岸であること、また一帯がウミガメの産卵地であったことから、堤防を拡幅しての対策は困難であった。これらの制約条件をクリアする工法として、既存堤防と同程度の堤防幅を確保しながら対液状化、対津波性能を大幅に向上することのできる鋼矢板二重式工法が採用されたものである。仁ノ海岸における堤防標準断面図を図7に示す。

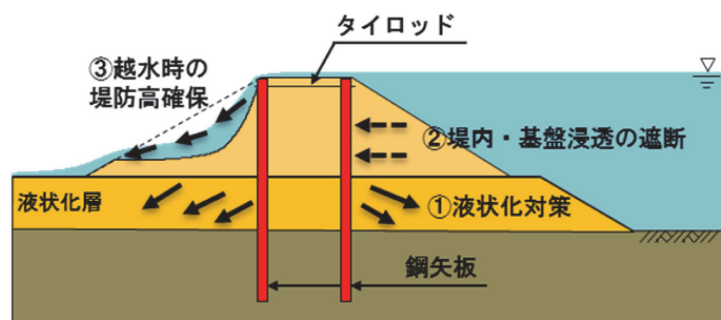


図6 芯壁堤の機能

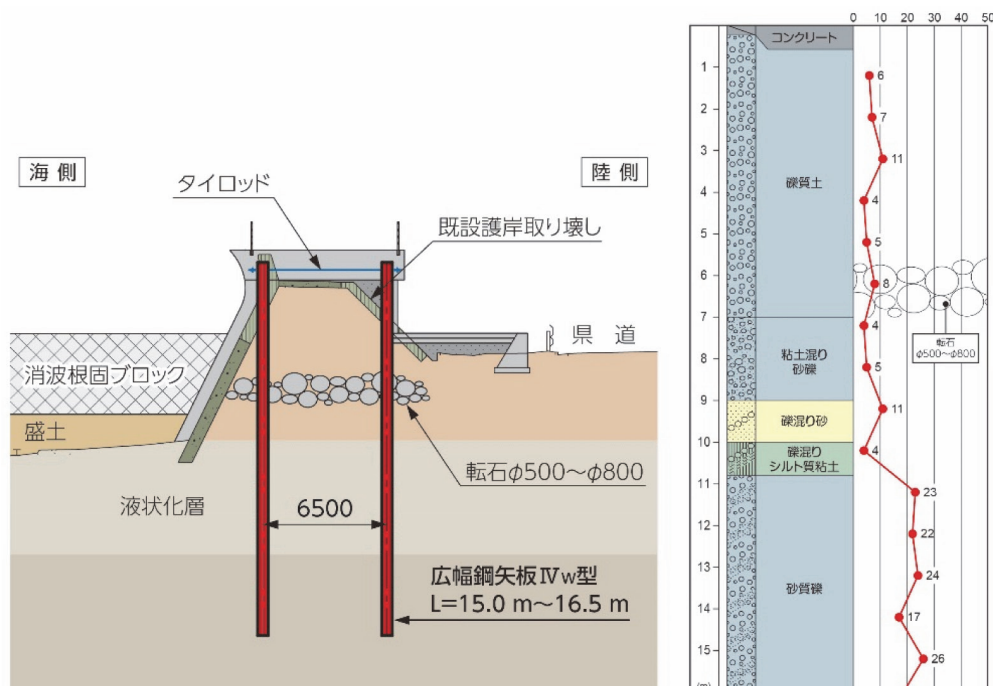


図7 仁ノ海岸における堤防標準断面図<sup>7)</sup>

仁ノ海岸では既存の堤防を挟むように6.5m間隔で二重に鋼矢板を打設し、鋼矢板上部をタイロッドで連結する。堤防を鋼矢板で挟むことで、堤防天端から7～10mの深さにある土層が液状化した場合でも堤防自体の沈下が最小限に抑制され、鋼矢板により堤防高を維持し続けることで地震に続けて津波が来襲した場合でも越波・越流を防ぐ構造となっている。仮に想定を超える津波襲来により越流を許してしまい堤防背面が浸食されたとしても、鋼矢板により堤防高さを維持できるため津波被害を最小限に抑えることが可能となっている。

### 3.3 今後の用途展開への期待

前述のように鋼矢板二重式工法（芯壁堤）は堤防崩壊を防ぐ有効な工法となりうるが、本工法の採用はこれまで海岸の津波対策堤防のみにとどまっている。一方で近年降水量の増加傾向が顕著で、時間降水量50mm以上の「非常に激しい雨」が近年30年間で約1.4倍に増加したというデータもある。これに伴い毎年各地で洪水被害が頻発しており、西日本を襲った平成30年7月豪雨では平成最悪規模の水害が発生したのは記憶に新しいところである。気象環境が年々変化する中、堤防強化に対する考え方も進化していく必要があり、河川堤防への鋼矢板芯壁堤の適用が待ち望まれるところである。

## 4 おわりに

以上のように、鋼矢板は古くからの建設材料ではあるものの、時代に応じて性能の強化、新規用途開発が進められ、即効性の求められる災害復旧用途のみならず国土強靱化に寄与

する主要な建設材料として長くその役割を担ってきた。歴史のある材料ゆえに今後は高度成長期に施工された鋼矢板の維持・補修・更新の動きも重要になることも想定される。

（一社）鋼管杭・鋼矢板技術協会では、引き続き鋼矢板利用技術の整備を進めるとともに、既設鋼矢板の効率的な維持・補修・更新方法についても提案していく所存である。

### 参考文献

- 1) 石黒健, 白石基雄, 海輪博之: 鋼矢板工法(上), 山海堂, (1982)
- 2) 建設省土木研究所耐震技術研究センター動土質研究室: 河川堤防の液状化対策工法設計施工マニュアル(案)(土木研究所資料第3513号), (1997.10)
- 3) 建設省土木研究所耐震技術研究センター動土質研究室: 河川堤防の液状化対策工法設計施工マニュアル(案) 部分改訂版(土木研究所資料第3513号), (1998.10)
- 4) (国研) 土木研究所地質・地盤研究グループ土質・振動チーム: 河川堤防の液状化対策の手引き(土木研究所資料第4332号), (2016.3)
- 5) (国研) 土木研究所地質・地盤研究グループ土質・振動チーム: 河川堤防の液状化対策の手引き<設計計算例>, (土木研究所資料第4346号), (2016.8)
- 6) 鋼管杭・鋼矢板技術協会: 鋼材を用いた河川堤防の液状化対策工法 技術資料, (2018.1)
- 7) 鋼管杭・鋼矢板技術協会: 明日を築く, No.82 (2014.3)

(2019年1月25日受付)