

研究成果報告書

研究開発課題名	農業水利施設に向けた低コストのステンレス鋼矢板および加工製品の開発
研究総括者	日鉄建材株式会社 土木開発技術部 土木・防災技術室長 大高 範寛
研究開発組合	日鉄建材株式会社 日鉄ステンレス株式会社
試験研究機関	国立研究開発法人農研機構

1 事業の実施内容

1. 1 事業の背景及び目的

基幹的農業水利施設のうち農業用排水路の延長は約4万9千kmであり，その内訳は用水路が約3万7千km，排水路が約1万1千kmである．（「水土とは？」農林水産省より）さらに，基幹的用水路以外の農業用水路はこの10倍の約40万kmのストック量があるとされている．排水路についても同様に推定すれば，全国には約10万kmの排水路があると考えられる．また，軽量で施工性の良い軽量鋼矢板や鉄鋼二次加工製品は，農業水利施設において古くから数多く使用されてきており，鋼矢板の使用量は，約4,000kmに及ぶと推察される（過去の納入実績等からの推測値）．排水路は，低平地などの排水不良の改善を目的に設置される．特に地盤が軟弱な地域（代表的な地域としては新潟平野）では鋼矢板を用いた護岸型の排水路が多く採用されてきた．しかし，設置後30年以上が経過した施設の中には鋼材の腐食が進み，図1.1.1のように鋼矢板に大きな孔が空き背面土砂が流出する状態や，さらに劣化が進行し，図1.1.2の様に鋼矢板が傾倒することが懸念される箇所も増加し，鋼矢板の補修・補強対策と長寿命化が大きな課題となっている．

しかし，農業水利施設での既設置の鋼矢板への抜本的な補修・補強対策は難しいため，本研究開発事業では，改築の際に使用される鋼矢板について，素材の耐食性を抜本的に改善する．素材の改善により，施設としての長寿命化を図り，ライフサイクルコストのミニマム化を実現することを目標とし，低コストのステンレス鋼矢板および加工製品を開発する．

鋼矢板水路の劣化の主な要因は鋼材の腐食である．鋼矢板の腐食が進行すると，鋼矢板

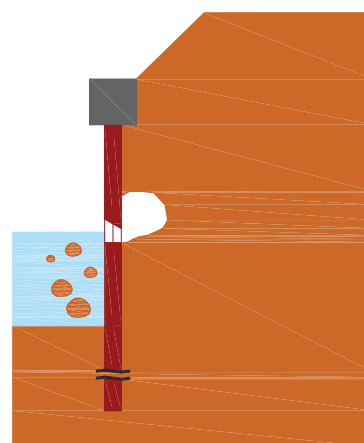


図 1.1.1 背面土砂の流出

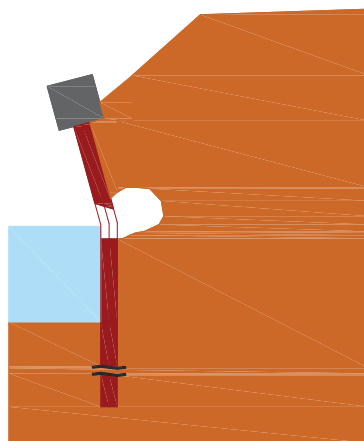


図 1.1.2 鋼矢板の傾倒

の補修・補強対策は格段に難しくなり費用も増加する。このような問題を解決するためには、鋼矢板の材料に耐食性の高い材料を使用し腐食進行が遅い鋼矢板を製造すれば良い。しかし、高耐食性鋼の代表的な材料であるステンレス鋼の典型的鋼種の価格は普通鋼（SS400）の4～5倍であり、コスト面で鋼矢板への適用は困難とされてきた。また、通常のステンレス鋼は普通鋼よりも硬く成形が困難なため、普通鋼同様の社内規格値に収める成形技術の確立も必要とされる。本研究では低コストかつ成形が可能なステンレス鋼矢板を開発する。

1. 2 事業の内容及び実施方法

（1）低コストのステンレス鋼矢板および加工製品の製造開発

普通鋼より成形が困難なステンレス鋼において、成形時の圧力の調整など、普通鋼におけるこれまでの知見を活かしたステンレス鋼矢板の試作を行うことで、普通鋼同様の形状寸法等を社内規格値内に収める成形技術を確立した。

【実施方法】

軽量鋼矢板の成形は、ロールフォーミングを用いる。コイルと呼ばれる鋼板を何重にも巻いた原材料から何段ものロールを用いて少しずつ成形を行う方法である。成形精度はロールの加圧制御、材料を成形する速度などによって決められる。このようにロールフォーミングには、成形性を左右する要因が様々にあるが、数種類の鋼種を試す場合には、切板を溶接でつなぎながら成形する方法が経済的であるため、切板（板厚 5mm，長さ 10.0m）を用いて試成形を実施した（図 1.2.1）。平成 30 年度は、前年度の試成形の結果より成形性について向上が見込まれたため、本生産も考慮したコイルからの試成形を実施した。また、切板からの試成形では、切板同士を繋ぐ部分の成形精度が悪化する傾向も確認されたため、より実際の成形に近い方法での成形性の確認を行った。

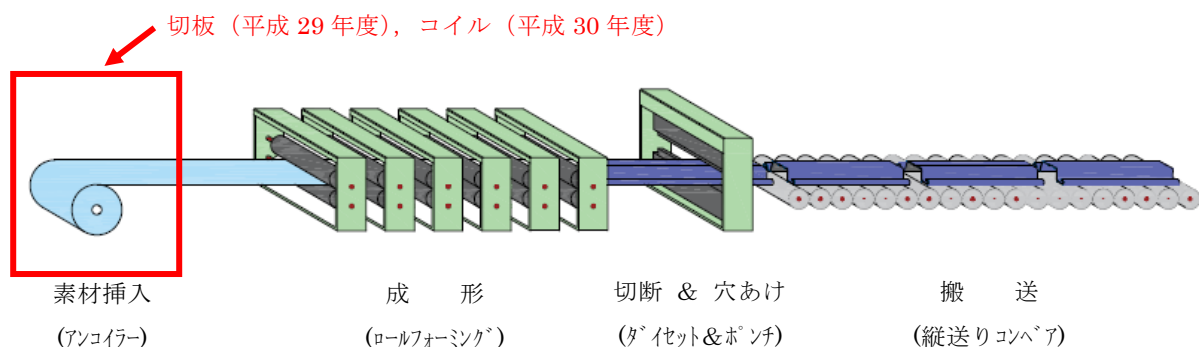


図 1.2.1 鋼矢板成形の流れ

(2) 農業水利施設の腐食環境に応じた低コストのステンレス鋼の材料設計技術の開発

ステンレス鋼の成形性の確認と並行し，農業水利施設の腐食環境の調査，環境条件に適合したステンレス鋼の成分設計および製造を行った．農業水利施設の腐食環境は海水などの環境に比べて緩やかと想定される．また，ステンレス鋼の腐食形態は普通鋼とは異なり「腐食はするが大きな孔は空かない」という特徴がある．これらの環境条件と特徴を考慮すれば，従来のステンレス鋼に比較してクロムやニッケルなどの高価な成分を減らし，コストを抑えながら農業水利施設の環境に適合した耐食性を有する鋼材の材料設計が可能と考えた．具体的には，農業用排水路の流下水の水質分析等の水質調査を行うとともに室内腐食促進試験および現場での暴露試験を実施し，排水路の腐食環境条件の把握とそれに対応したステンレス鋼の鋼種選定を含めた材料設計を行った．

【実施方法】

1) 試験体

試験体には，鋼種選定したステンレス鋼 10 鋼種と普通鋼の試験片を用いた．それぞれの鋼種と選定理由については，表 1.2.1 に示す．

表 1.2.1 鋼種一覧表

鋼種			特徴	試験
フェライト系 ステンレス鋼	1	SUH409L, SUS410S	低廉鋼	・ クーボン試験 (暴露試験，室内促進試験) ・ 試成形 ・ 試験施工
	2	NSSC FW1	低Crの改良鋼	
	3	SUS430	汎用鋼	
	4	NSSC FW2 (SUS430LX)	SUS430改良鋼	
	5	SUS436L	高耐食鋼	
	6	SUS445J1	高耐食鋼	
二相 ステンレス鋼	7	SUS821L1	高強度鋼	
	8	SUS323L	高強度鋼	
オーステナイト系 ステンレス鋼	9	SUS304	汎用鋼	
	10	SUS316L	高耐食鋼	

なお，SUH409L と SUS410S は同等の耐食性を持つ鋼種として研究開発および評価を実施した．

2) 室内促進試験

表 1.2.2 室内促進試験の概要

試験方法	耐食性の高いステンレス鋼の腐食促進のため、乾湿繰り返し環境の促進時試験として国内で広く採用されている JIS K 5600-7-9 の「サイクル腐食試験方法-塩水噴霧／乾燥／湿潤」に準拠.
試験条件	8 時間サイクル試験繰返しとし、下記の手順で行う. <pre> graph TD A[5%NaCl 溶液, 35℃, 2 時間噴霧] --> B[相対湿度 20~30%, 60℃, 4 時間乾燥] B --> C[相対湿度 95%, 50℃, 2 時間保持] C --> A </pre>
サイクル数	100 回, 200 回, 300 回
評価項目	腐食外観(有無), 腐食程度
評価結果の活用と目標	実暴露試験での腐食程度と室内促進試験の腐食程度との対応, 相関関係を定量的に考察・評価し, 暴露環境に応じた適用鋼種の決定および腐食しろ(板厚減少による強度低下)の決定.

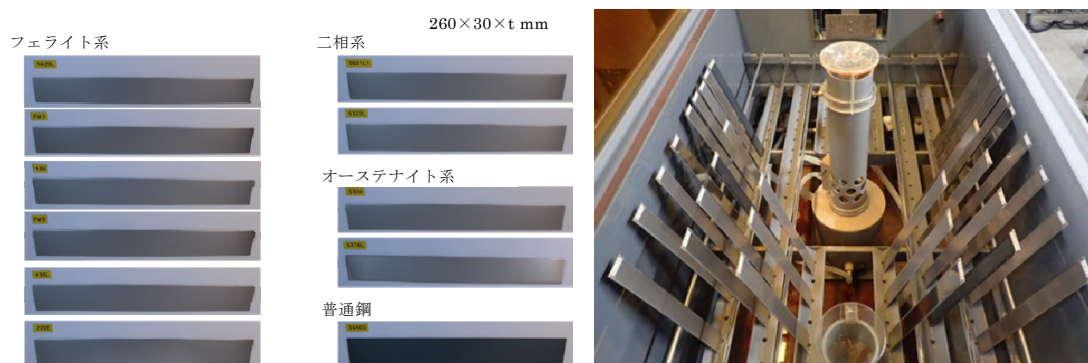


図 1.2.2 室内促進試験用のクーポン試験片と試験実施状況

3) 暴露試験（クーポン試験）および実物実証試験の機能監視結果との相関

室内促進試験と暴露試験（クーポン試験）の結果から、鋼矢板の設計に必要な腐食しろを算定する。ステンレス鋼と普通鋼では腐食形態が異なるため、平均板厚減に置き換えた評価を行った。

(3) 実証試験

実証試験は、新たに成形したステンレス鋼矢板と標準の軽量鋼矢板を用いて行った。農研機構敷地内でのステンレス鋼は、3 鋼種（試成形を行った SUS410S, SUS430, SUS436L）を使用し、それぞれ標準の軽量鋼矢板とステンレス鋼矢板との嵌合を行い、異種金属接触腐食の状況についても観察する。実証池は、バックホウバイブロによる打設にて各種鋼矢板で成形し、水質を定期的に測定する。また、実際の水路にて実証試験を行った新潟県の大石排水路と山崎排水路では 2 鋼種（SUS410S, SUS430）を用いた試験を行った。

【実施方法】

1) 農研機構敷地内

実現場に設置した矢板は経過観察が難しくなるため、経過観察のしやすい農研機構敷地内にて 2 つの実証池を造成し、淡水と汽水環境を模擬した低濃度の塩水（塩化物イオン濃度 500ppm 程度）の 2 水準で試験を行った。

異種金属接触腐食の調査のため、ステンレス鋼矢板と普通鋼矢板を直接嵌合させる箇所とステンレス鋼矢板に塗装を行い、電気的回路の抵抗が長くなる嵌合箇所を設け、経時による比較を行っている。また、構築された池の水をそのまま循環させた大型水槽を 2 水準それぞれに構築し、異種金属接触腐食のより詳細なデータ収集を行っている。なお、本試験は、ステンレス鋼矢板の初めての打設工事であることもあり、標準の軽量鋼矢板との嵌合性についても確認を行い問題なく施工できることを確認した。

試験に用いた試験体および構築した 2 つの池の平面図等を以下に示す。

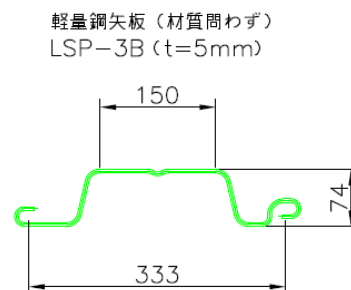


図 1.2.3 鋼矢板断面図（標準）

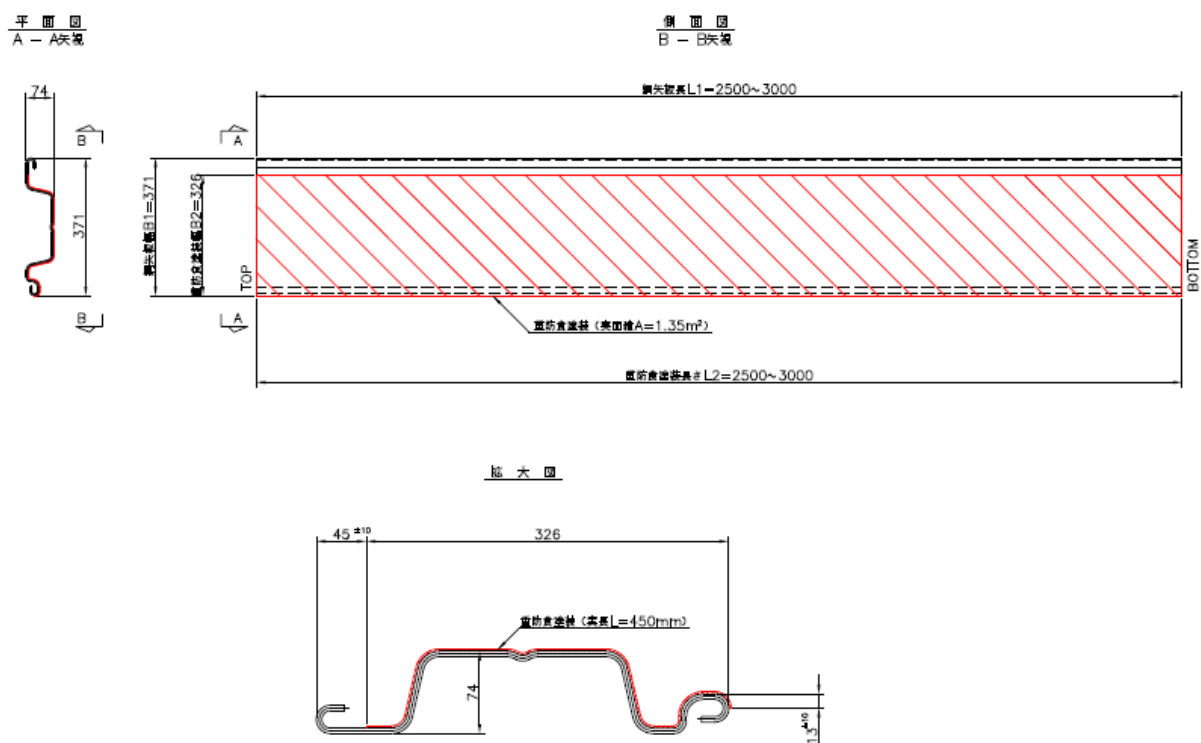


図 1.2.4 塗装ステンレス鋼矢板



図 1.2.5 塗装ステンレス鋼矢板



図 1.2.6 ステンレス鋼矢板



図 1.2.7 標準の軽量鋼矢板

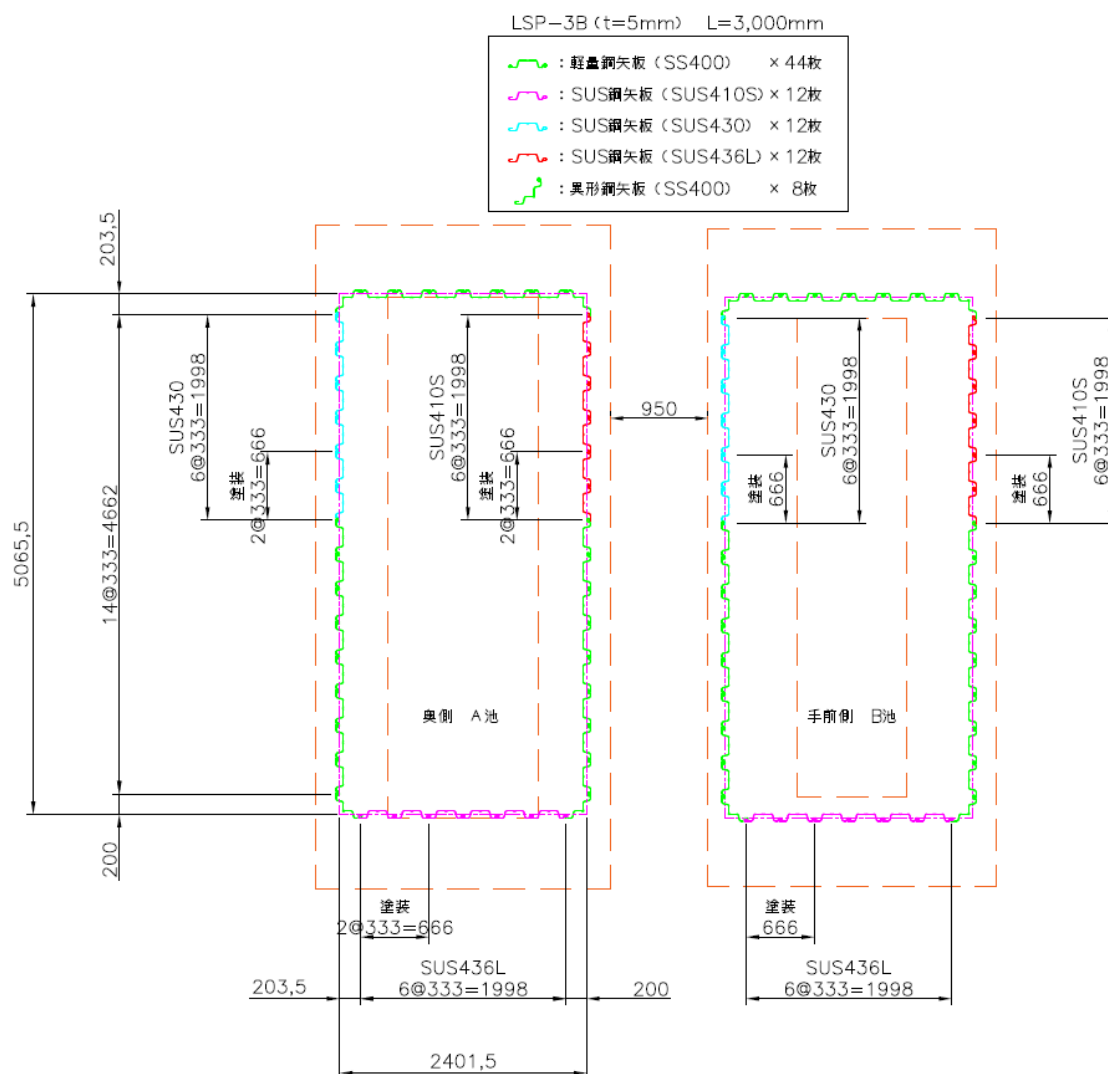


図 1.2.8 鋼矢板平面割付図



図 1.2.9 池造成 (完成)



図 1.2.10 大型水槽設置

2) 大石排水路・山崎排水路

実現場での施工性，歩掛り調査および経年調査を目的として，大石排水路および山崎排水路にて実証試験を行った．

実証試験には，LSP-3D（SUS410S,SUS430,SUS436L）（C型の型式）を用いた．詳細は型式を表 1.2.3，試験体の概要図を図 1.2.11 に示す．

表 1.2.3 ステンレス鋼矢板断面

形式 (区分)	板 厚	矢板 1 枚あたり			壁幅 1 m につき			有効 幅
		質量	断面二次 モーメント	断面 係数	質量	断面二次 モーメント	断面係 数	
	mm	kg/m	cm ⁴	cm ³	kg/m ²	cm ⁴ /m	cm ³ /m	mm
LSP-3D	5	19.3	212	39.0	57.9	2,000	272	333

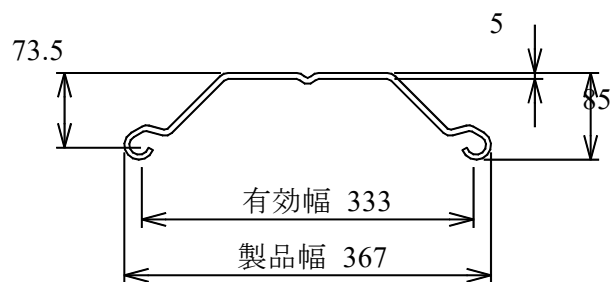


図 1.2.11 ステンレス鋼矢板断面

注) 大石排水路，山崎排水路の型式は同様（LSP-3D）となり，大石排水路の矢板長は 5.0m，山崎排水路の矢板長は 7.0m を使用した．

2-1) 施工フロー

ステンレス鋼矢板の打設は、実際の排水路に施工を行ったため、既設護岸構造物の撤去、復旧の工事を行った。施工手順については、図 1.2.12（大石排水路）、図 1.2.13（山崎排水路）に示す。

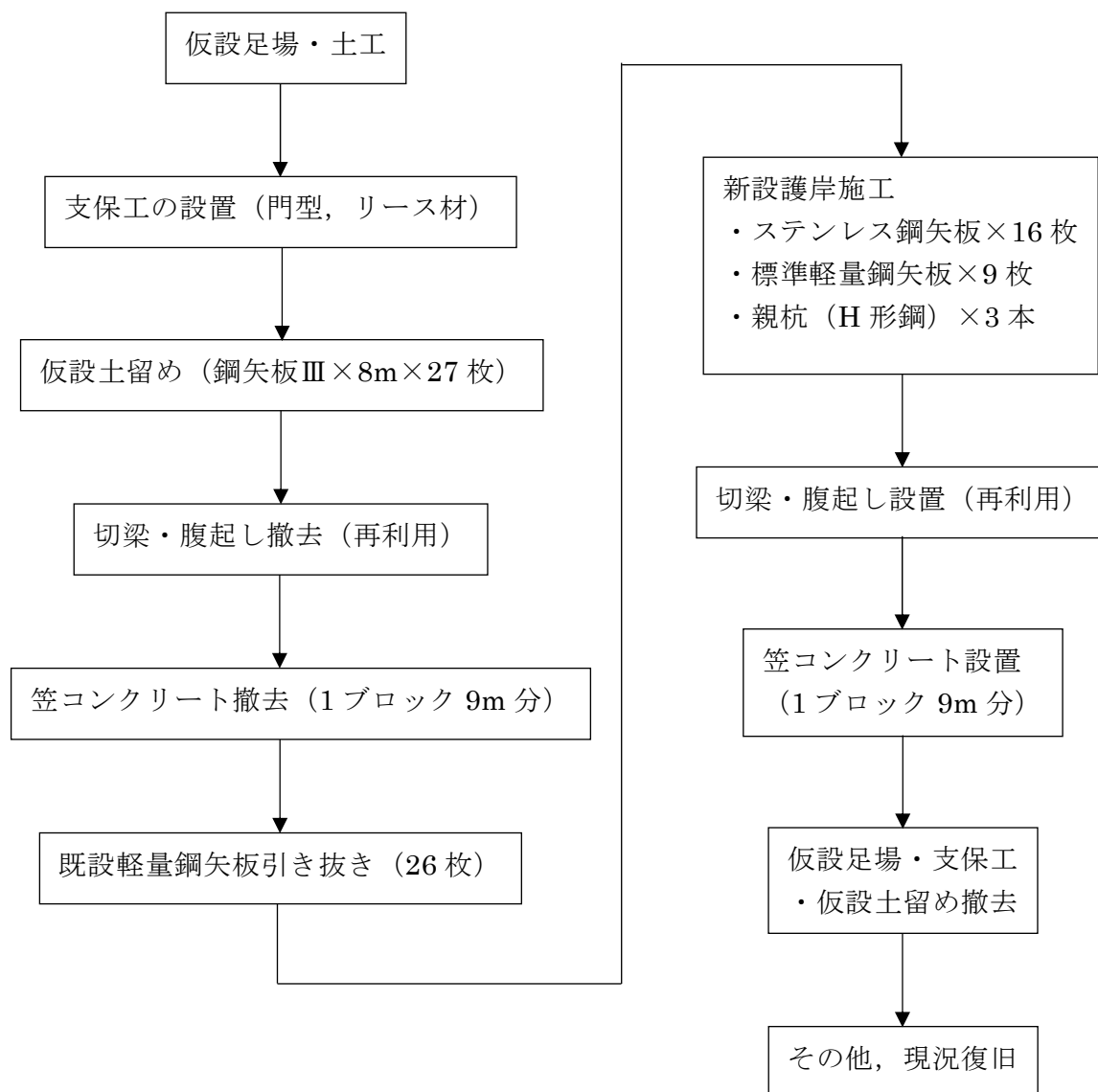


図 1.2.12 試験施工フロー（大石排水路）

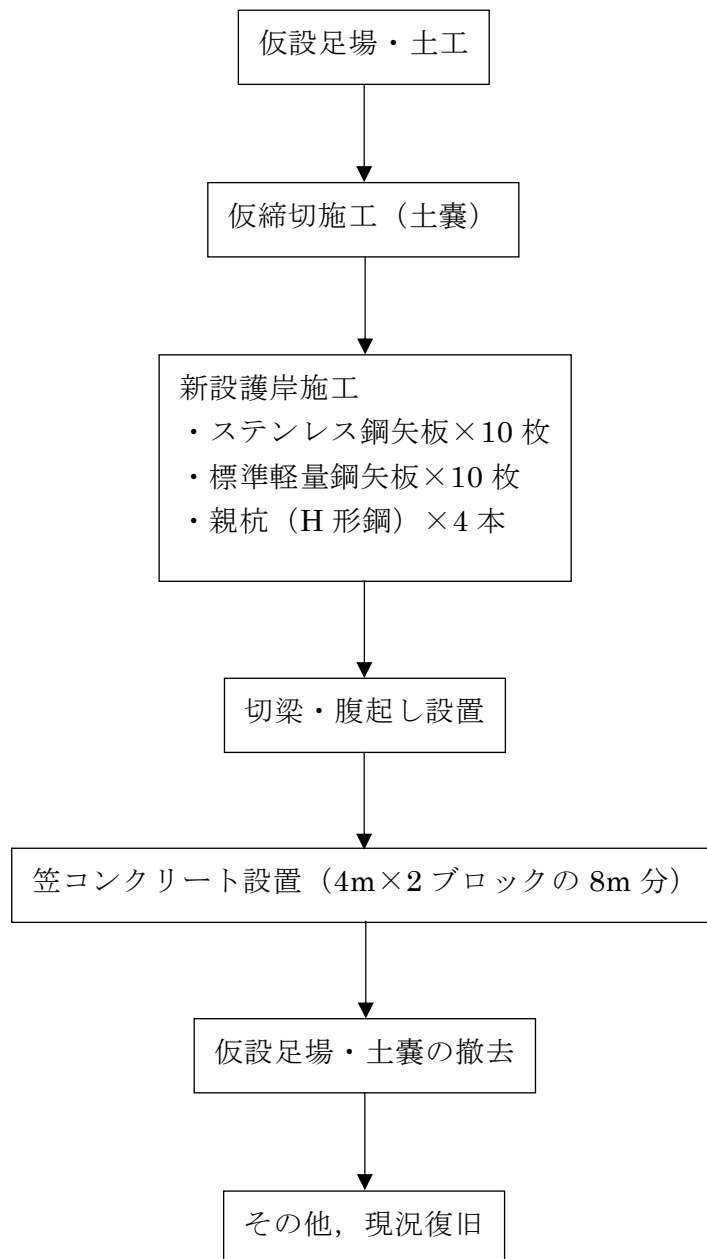


図 1.2.13 試験施工フロー（山崎排水路）

2-2) 施工計画図

大石排水路の施工計画図を図 1.2.14～1.2.17 に、山崎排水路の施工計画図を図 1.2.18～1.2.21 に示す.

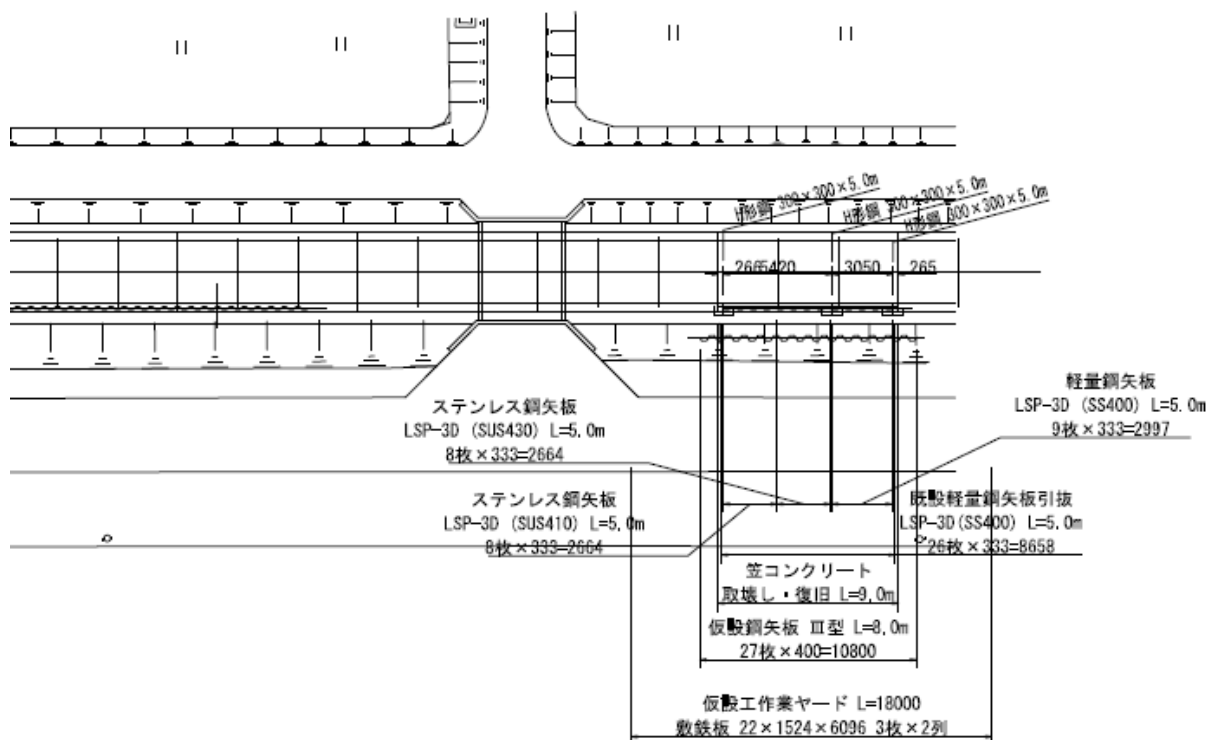


図 1.2.14 施工計画平面図

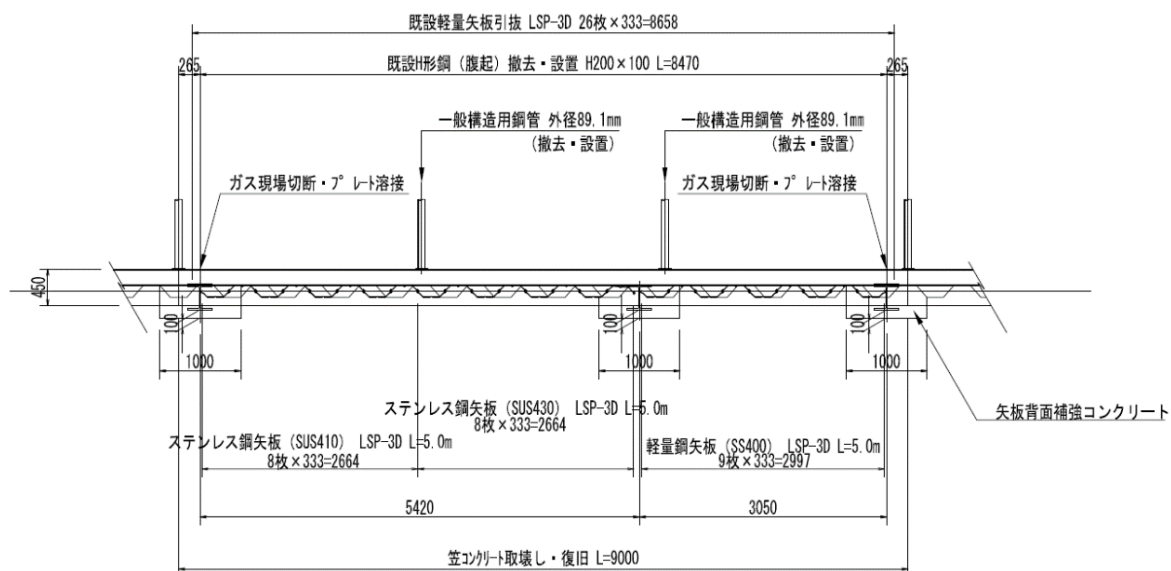


図 1.2.15 施工計画平面詳細図

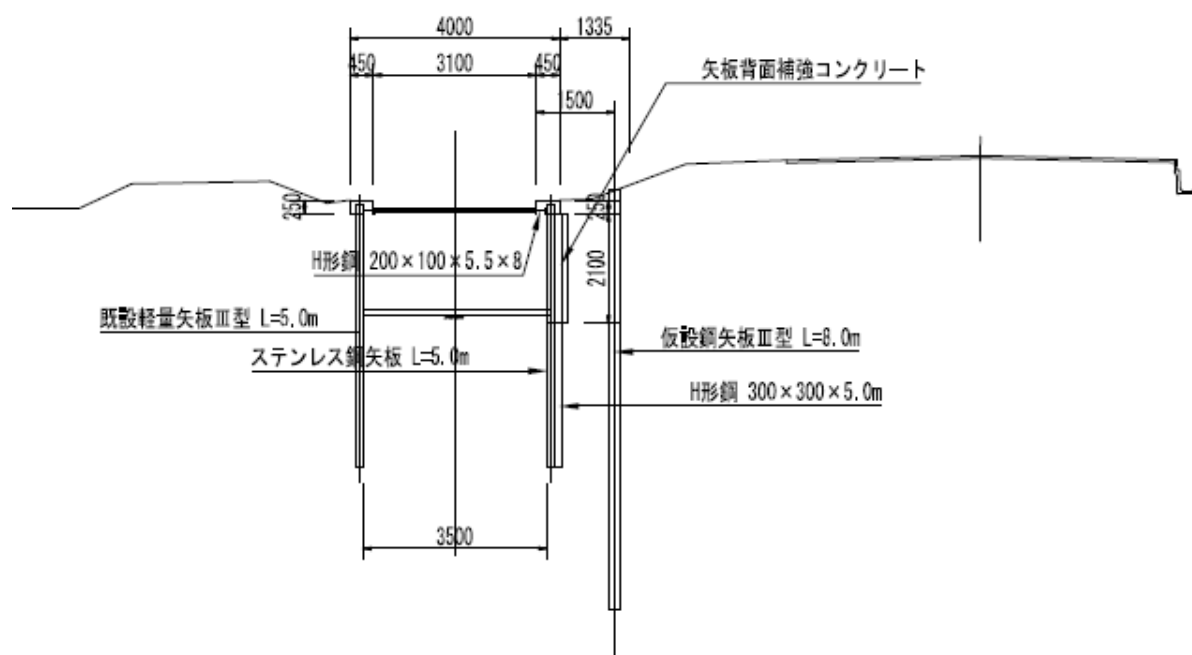


図 1.2.16 施工計画断面図

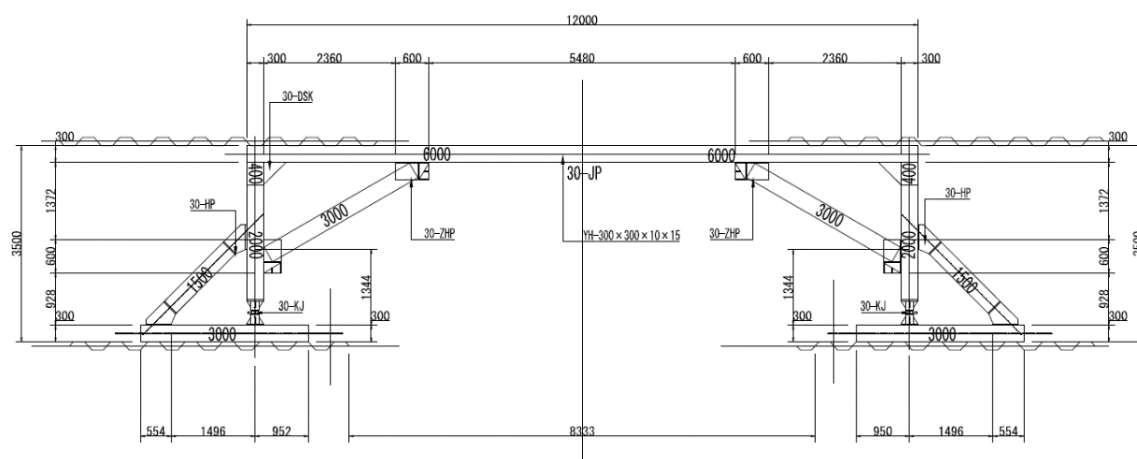


図 1.2.17 施工計画平面図（支保工）

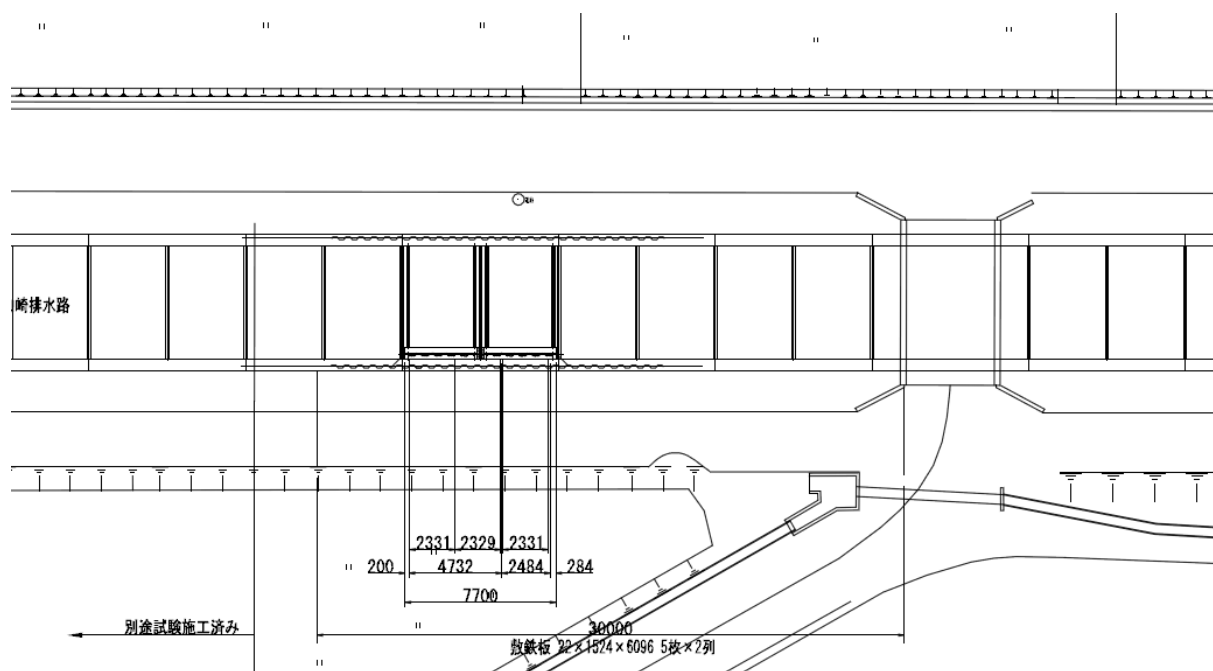


図 1.2.18 施工計画平面図

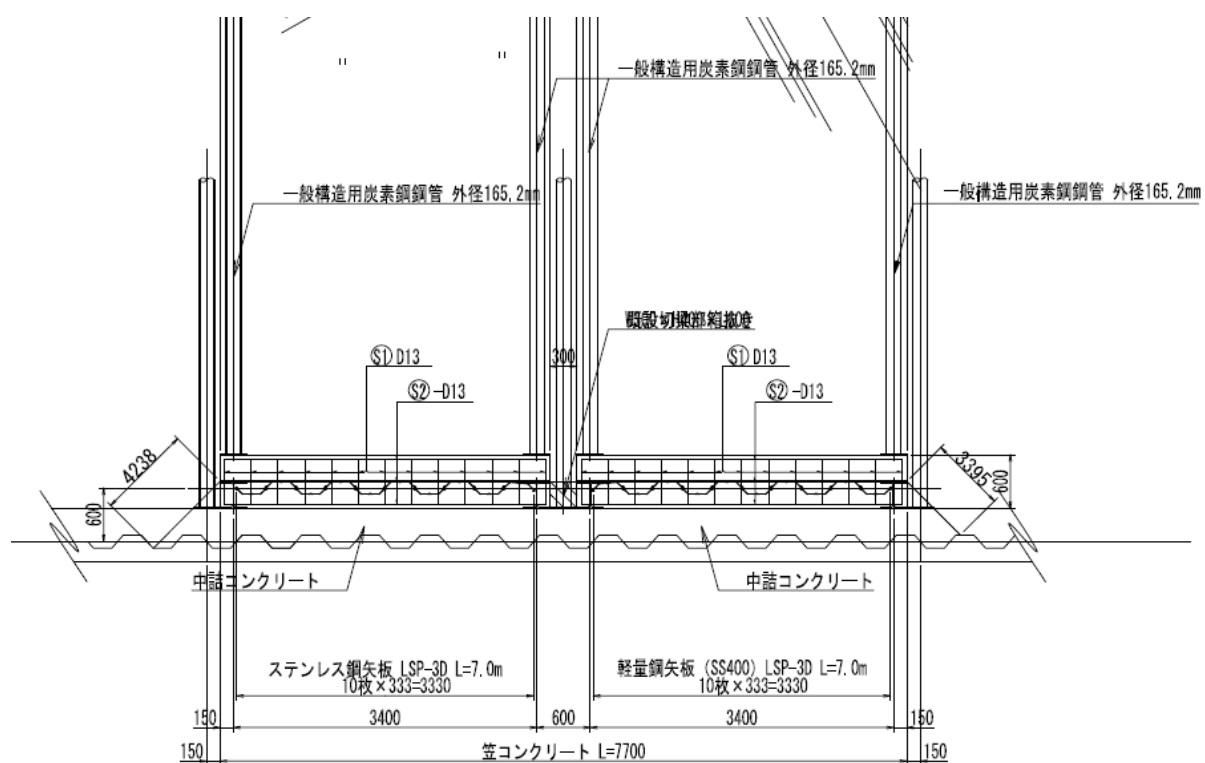


図 1.2.19 施工計画平面詳細図

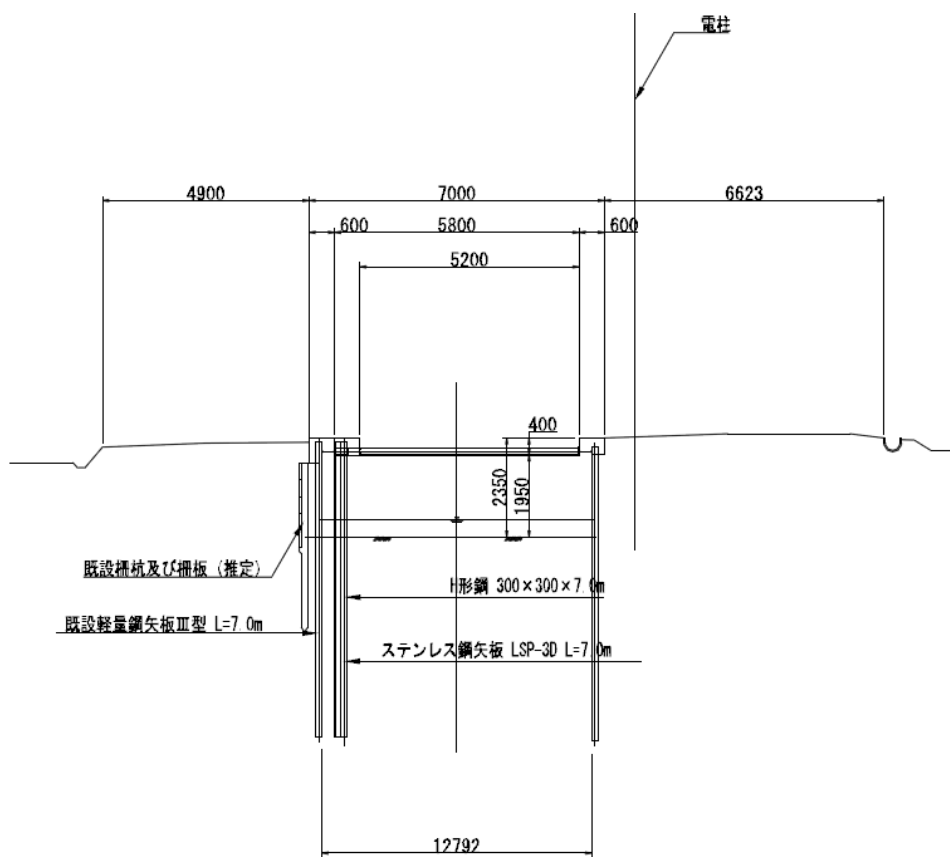


図 1.2.20 施工計画断面図

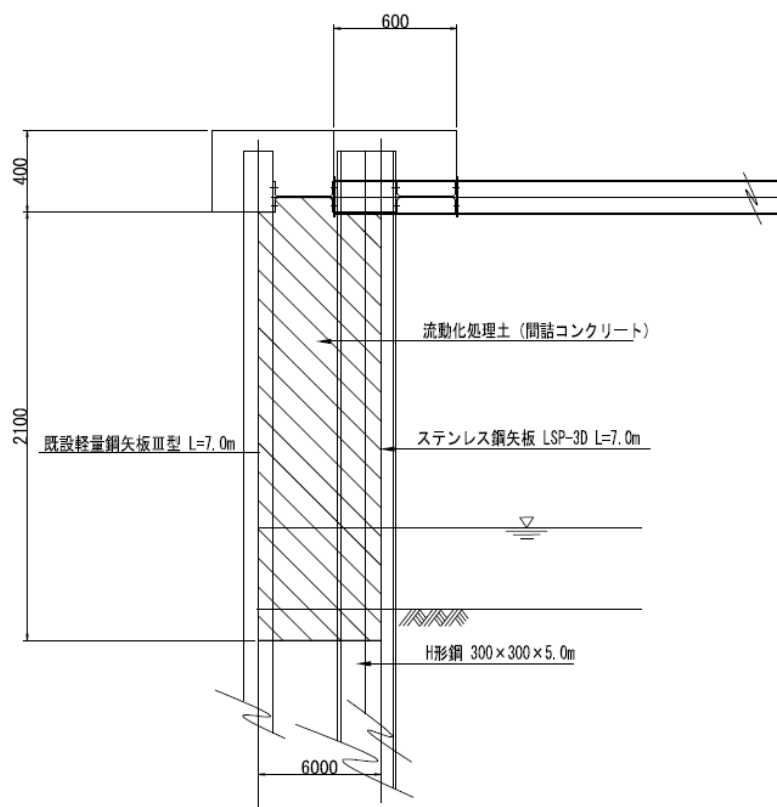


図 1.2.21 施工計画断面詳細図 (コンクリート打設)

(4) 機能監視

実現場に設置したクーポン試験および実物による実証試験の経年調査を行う。

【実施方法】

1) 暴露試験（クーポン試験）

選定した 11 鋼種（No.1～10：ステンレス鋼，No.11：普通鋼）を架台に取り付け、実際の水路や貯水槽に設置し、定期的に回収することで暴露環境（水質）ごとの耐食性について調査した。

暴露試験の実施場所は、千葉県の印旛沼（甚兵衛機場）と茨城県の農研機構敷地内、新潟県の亀田郷地区（山崎排水路，本所排水路，大石排水路）である。

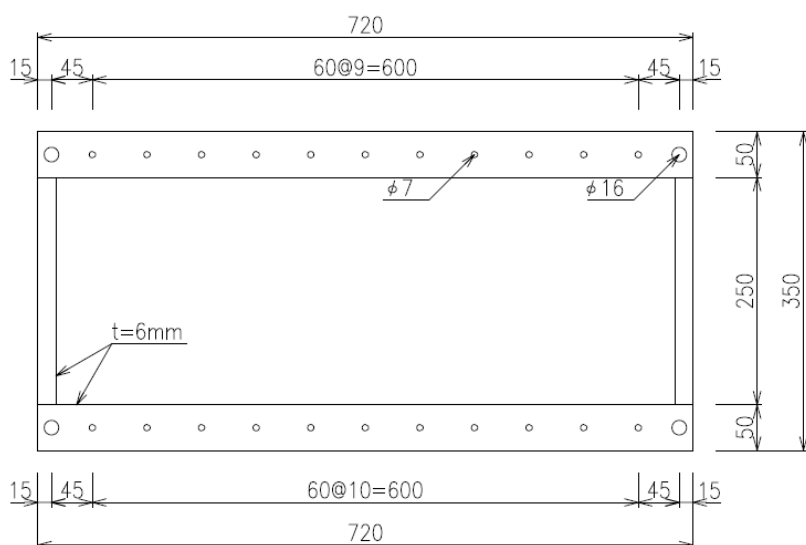


図 1.2.22 試験片取付け枠材

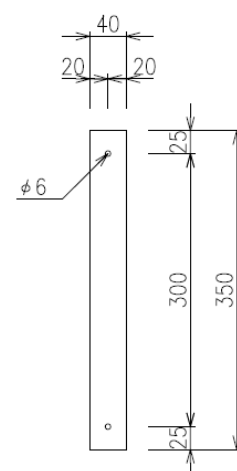


図 1.2.23 試験片

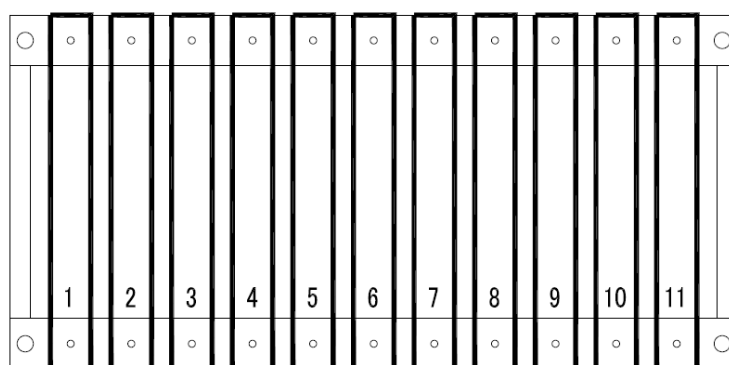


図 1.2.24 試験片の取付け順序

(No については表 1.2.1 を参照。No. 11 は比較材として普通鋼を設置)



図 1.2.25 試験片の取付け状況

各暴露試験実施場所の状況（クーボン試験）について以下に示す.

① 印旛沼架台設置



図 1.2.26 架台施工状況



図 1.2.27 架台設置状況

② 農研機構敷地内架台設置

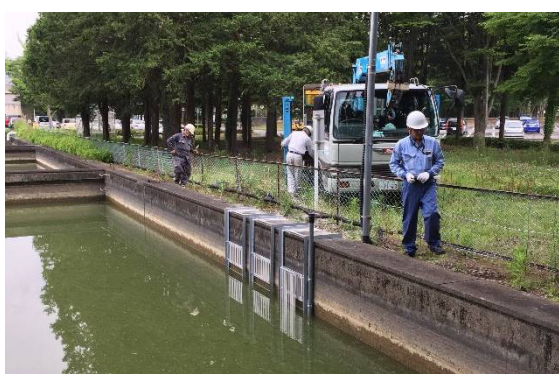


図 1.2.28 架台施工状況



図 1.2.29 架台設置状況

③ 新潟県亀田郷地区架台設置
【山崎排水路】



図 1.2.30 架台施工状況



図 1.2.31 架台設置状況

【本所排水路】



図 1.2.32 架台施工状況



図 1.2.33 架台設置状況

【大石排水路】



図 1.2.34 架台施工状況



図 1.2.35 架台設置状況

2) 暴露試験（鋼矢板）

農研機構敷地内に構築した 2 水準の池の鋼矢板および実際の水路に施工した鋼矢板について経年の外観調査を実施し、クーポン試験と合わせて状況を確認する。

1. 3 事業着手時に想定した技術的問題点への対応

技術的問題点	対応
ステンレス鋼は普通鋼に比べ硬い鋼種の物も多く，成形が困難なケースがある．	① 成形性に優れた鋼種の選定． ② ロールフォーミング成形に使用するロールの加圧調整． ③ これらの対応により，従来の軽量鋼矢板と同様の寸法計測において社内規格値を満足した．
農業水利施設の腐食環境について知見が無く，特にステンレス鋼の腐食挙動について関連するデータはほとんど無い．	① 暴露試験および室内促進試験の実施． ② 暴露試験地区における水質調査を実施． ③ 実証池を造成し，管理された環境に於ける異種金属接触腐食の確認． ④ これらのデータから耐食性区分を明確にし，マニュアルとしてまとめた．

1. 4 事業の実施体制

(1) 研究開発組合内の役割分担

(2) 試験研究機関と研究開発組合の役割分担

【役割分担表】

研究開発の項目	事業実施主体		試験研究機関
	日鉄建材(株)	日鉄ステンレス(株)	農研機構
高耐食性鋼の軽量鋼矢板を始めとする鉄鋼二次加工製品の開発	◎	○	—
使用環境に応じた鋼種選定に関する研究	○	◎	○
実証試験	◎	○	○
監視機能（モニタリング調査）	○	◎	○
構造物機能・性能経時変化把握	◎	○	○
素材腐食状況経時変化把握	○	◎	○

1. 5 事業の年度計画と実績

研究開発の項目	平成29年度		平成30年度		平成31年度	
	上期	下期	上期	下期	上期	下期
低コストのステンレス鋼矢板および加工製品の製造開発						
農業水利施設の腐食環境に応じた低コストのステンレス鋼の材料設計技術の開発						
実証試験						
機能監視（モニタリング調査）						
						
						
マニュアル作成						

注)  は計画,  は実績.

1. 6 研究開発の概要, 結果, 課題等

1. 6. 1 低コストのステンレス鋼矢板および加工製品の製造開発

(1) 概要

ステンレス鋼を用いてロールフォーミングによる試成形を実施した.

(2) 結果

平成 29 年度の試成形では, 切板同士の溶接箇所割れが生じ, 溶接個所の成形性が低下したが, 成形性の目途が立った. 平成 29 年度の試成形の結果から, 平成 30 年度は, 本生産を考慮したコイルからの試成形を行った. 結果, コイルからの連続成形が可能であることを確認でき, 精度も向上した. ただし, コイルから実施した試成形では, 手動切断 (プラズマ切断) を行ったため, 切断箇所ですべて標準の軽量鋼矢板を管理している社内規格値内であることを確認した. なお, 本生産では自動切断機による切断が可能のため, 切断箇所での成形の歪みは解消される.

(3) 課題

本事業内で成形性の確認ができた型式は一部の型式である. 最も成形が難しい型式での成形性確認が実施でき, その他の型式についても成形精度の見込みは立ったものの, 実案件に向けた作り込みは必要となる.

1. 6. 2 農業水利施設の腐食環境に応じた低コストのステンレス鋼の材料設計技術の開発

(1) 概要

試験体を選定したステンレス鋼（表 1.2.1 参照）を用いて室内促進試験，暴露試験を実施した．

(2) 結果

平成 29 年度は，鋼種特性(耐食性，コスト，強度)をもとに，暴露試験(クーポン，成形)のステンレス鋼種選定を行った．また，室内促進試験も開始した．

平成 30 年度は，促進試験において，いずれのステンレス鋼も，普通鋼に対して平均板厚減（腐食減量）で優位性があることを確認した．また，水路護岸での暴露試験体(クーポン，矢板)の設置・回収・調査を開始した．

令和元年度（平成 31 年度）は，約 1 年間の暴露試験結果から，普通鋼に対し，平均板厚減（腐食減量）で著しく優位性があることを確認した．1 年間の暴露期間ではステンレス鋼の平均板厚減（腐食重量減）は，検出限界程度にまで小さいため，長期間側の予測が難しかった．

このため，暴露試験から得られた，各鋼種および環境別の孔食深さ(ピンホール状の局部腐食)を用い，後述する仮定により板厚減(腐食しろ)の推定を行うこととした．

なお，暴露試験の腐食は室内促進試験に比べ微細であり，室内腐食促進試験との相関は確認できなかった．

(3) 課題

本事業内では期待される耐用年数(数十年単位)に対して暴露試験期間が 1 年間と極めて短期間であり，今後も調査を延長・継続することで腐食に対する予測精度の向上を進める必要がある．

1. 7 実証試験（現場適用）の概要，結果，課題等

(1) 概要

ステンレス鋼矢板の施工性および耐食性評価のため，農研機構敷地内，新潟県亀田郷地区の大石排水路，山崎排水路にて実証試験を実施した．また，新潟で実施した実証試験に於いては，経年の変化を把握するため，普通鋼の軽量鋼矢板を同時に施工し，比較検討を行う．比較検討においては，実物施工の構造物は詳細なデータを取りにくいいため，同工区に設置したクーポン試験片から詳細データを抽出し，実際の構造物としての耐食性の比較を行う．また，設置した普通鋼の軽量鋼矢板とステンレス鋼矢板は，H形鋼の杭を介し，吸出し防止兼絶縁仕様としているため，異種金属接触腐食が起こらない構造とした．なお，各試験実施場所の環境については，1.8 機能監視にて報告を行う．

(2) 実証試験の結果

1) 農研機構敷地内

普通鋼におよぼす異種金属接触の影響を確認するため，表 1.7.1 に示す 3 種類のステンレス鋼で試作した鋼矢板と，標準の軽量鋼矢板（比較材）を用いて農研機構内の実証池を造成した．平成 30 年 8 月に 2 つの実証池が完成し，それぞれ淡水環境と汽水環境を設定した．

実証池の製作に際し，異種金属接触による腐食の発現や挙動を確認する目的で，普通鋼(SS400)とステンレス 3 鋼種とがそれぞれ接触するように施工した．この状況を図 1.7.1 に示す．

腐食状況の調査は，ステンレス鋼および普通鋼の軽量鋼矢板の外観目視調査を基本とした．また，より細かな調査を行うため，大型水槽を実証池の横に併設し，池の水を大型水槽にポンプにより循環させ，異種金属（普通鋼とステンレス鋼）接点を含む大型サンプルなどの詳細調査ができるように工夫した．

なお，実証池では，水位，EC 計を設置し，環境測定を定常的に実施し，水質の管理を行っている．

1-1) 試験体の素材明細

表 1.7.1 試験体の機械的性質

鋼種		規格値		ミルシート値※	
		0.2%耐力 または降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	0.2%耐力 または降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)
ステンレス 鋼	SUS410S	205	410	283	438
	SUS430	205	420	361	492
	SUS436L	205	390	298	451
普通鋼	SS400	245	400	—	—

※実際の運用でもステンレス鋼の 0.2%耐力の下限値が普通鋼の規格値を下回らないよう特別管理された素材を使用する．

1 - 2) 鋼矢板（鋼種）の配置

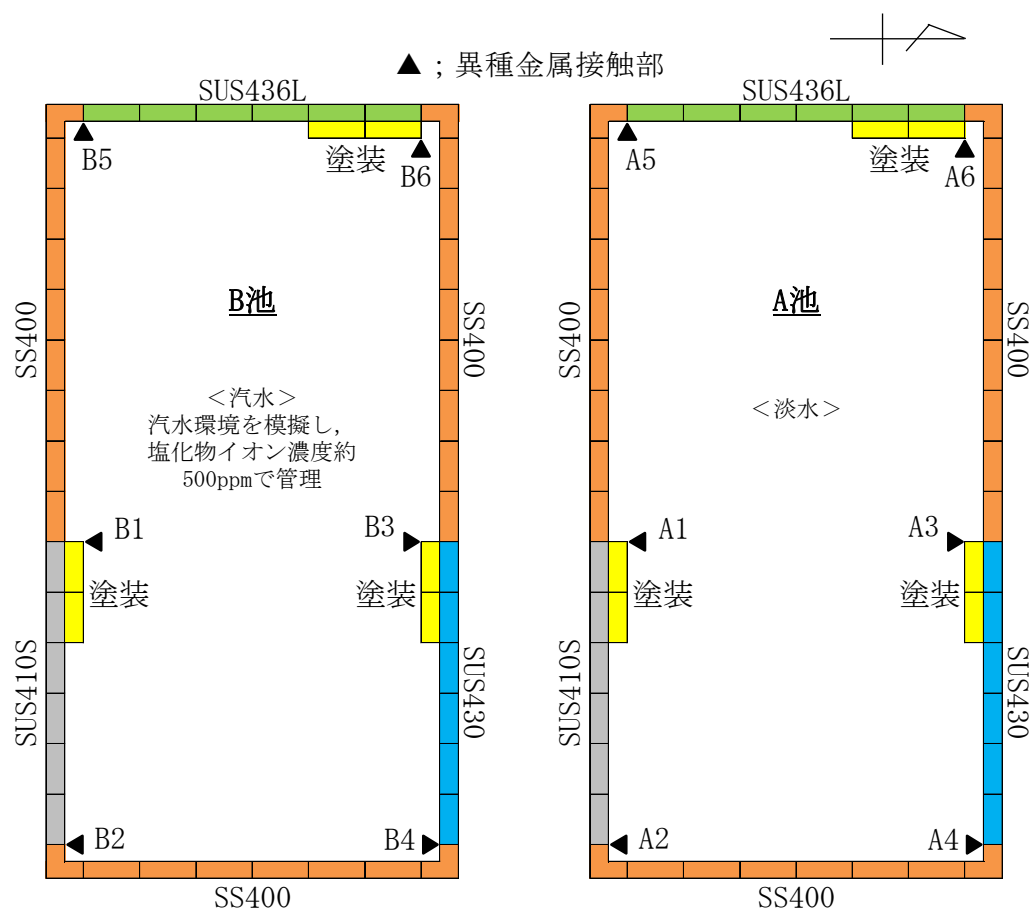


図 1.7.1 鋼矢板の並び（平面図）

1 - 3) 池の造成状況

平成 29 年度に実施した池の底面から水が排水され、貯水できなかったため、底面の地盤改良を行い、水密性を向上させた。水の蒸発や降水による水位変動および塩化物イオン濃度について管理を行い、試験を遂行。



図 1.7.2 平成 29 年度完了時（A 池）



図 1.7.3 平成 29 年度完了時（B 池）



図 1.7.4 底面の掘削



図 1.7.5 地盤改良 STEP 1



図 1.7.6 地盤改良 STEP 2



図 1.7.7 地盤改良 STEP 3



図 1.7.8 大型水槽設置



図 1.7.9 水を循環させ運用中

2) 大石排水路および山崎排水路

平成 30 年 12 月に新潟県亀田郷地区内の大石排水路，平成 31 年 3 月に同地区内の山崎排水路にて試験施工を実施した．本試験にて調査を行ったステンレス鋼矢板の施工時間を表 1.7.2 に示す．試験施工の打設速度は，全体の平均時間として，ステンレス鋼矢板と標準の軽量鋼矢板で 9 秒/m 程度の時間の差となる結果となった．時間差はほとんど無かったことから，試験施工の打設は計画通りに進み，施工性への影響は見られなかった．これにより，軽量鋼矢板同等の施工速度で施工可能であることを確認した．なお，打設時間の計測は，ヤードに置いてある鋼矢板のチャッキングから打設終了時のパイプロチャックを鋼矢板から外すまでの時間とした．

表 1.7.2 施工時間集計表

型式	施工場所	打設長	計測枚数	打設時間	単位当たりの打設時間	
		(m)	(枚)	(分)	(分/枚)	(分/m)
ステンレス 鋼矢板	大石	3.0	16	96	6.0	1.89
	山崎	4.5	10	80	8.0	
軽量 鋼矢板	大石	3.0	7	46	6.6	1.74
	山崎	4.5	10	69	6.9	

【大石排水路】



図 1.7.10 既設鋼矢板護岸の状況



図 1.7.11 既設鋼矢板護岸の状況（拡大）



図 1.7.12 支保工設置状況



図 1.7.13 仮設土留め施工完了



図 1.7.14 既設鋼矢板の引き抜き



図 1.7.15 新設鋼矢板施工（普通鋼）



図 1.7.16 ステンレス鋼矢板施工



図 1.7.17 ステンレス鋼矢板施工完了



図 1.7.18 腹起し・切梁の施工



図 1.7.19 笠コンクリートの配筋施工



図 1.7.20 笠コンクリート打設



図 1.7.21 型枠の脱型



図 1.7.22 仮設土留めの引き抜き



図 1.7.23 背面盛土の整地



図 1.7.24 完成（施工後 2 週間）①



図 1.7.25 完成（施工後 2 週間）②

【山崎排水路】



図 1.7.26 既設鋼矢板護岸の状況



図 1.7.27 既設護岸の状況（仮締切）



図 1.7.28 新設鋼矢板の打設（普通鋼）



図 1.7.29 ステンレス鋼施工



図 1.7.30 新設鋼矢板の打設完了



図 1.7.31 腹起し施工



図 1.7.32 切梁施工



図 1.7.33 腹起し・切梁施工完了



図 1.7.34 笠コンクリート用鉄筋組立



図 1.7.35 型枠施工



図 1.7.36 笠コンクリート打設



図 1.7.37 笠コンクリート養生工



図 1.7.38 施工完了①



図 1.7.39 施工完了②

(3) 課題

開発当時からの懸念事項ではあったが，ステンレス鋼矢板は周辺の鋼材（支保工や既設鋼矢板など）が普通鋼となるため，もらい錆の要因が多く存在する．今のところ，著しい腐食促進は確認されていないが，外観を損ねる要因でもあり，周囲の普通鋼から流出した鉄分の付着（後述）が極力減るような工夫を考えることが課題となる．

1. 8 機能監視の概要，結果，課題等

(1) 概要

選定した暴露試験地にクーポン試験片および鋼矢板を設置し，試験片の回収調査および矢板の外観観察を行った。

また，調査結果（約 1 年間）を基に将来（40，50，100 年）の腐食量を推定した。

(2) 暴露試験結果

1) 暴露試験地

各暴露地を図 1.8.1 に示す。実際の水路護岸で淡水・汽水となる 2 水準の水質場所を選定し，実物の鋼矢板およびクーポン試験片を用いて実環境における腐食状況調査を行った。各暴露試験地の環境（水質）を，表 1.8.1 に示す。

今回は，一般の排水路環境で水質のパラメーターのみが変わる新潟市の亀田郷を元にデータを整理した。農研機構は管理された貯水槽，印旛沼は現在稼働していない機場付近で水が滞留している環境であるため，一般的な排水路環境とは異なり耐食性評価の対象から除外した。調査実施が容易であるため今後も調査を継続する。

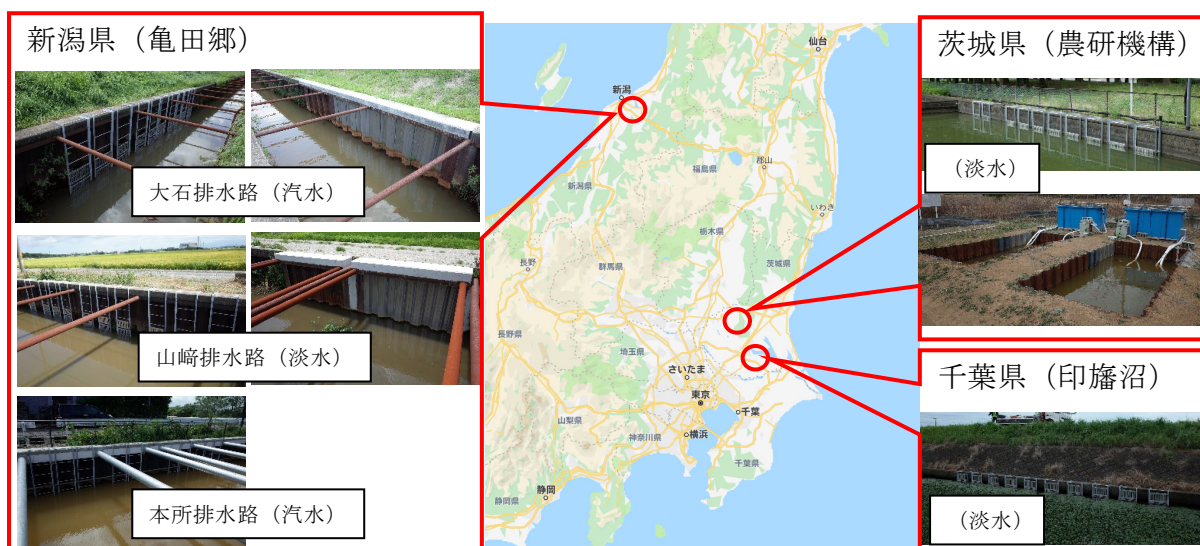


図 1.8.1 暴露試験地

表 1.8.1 暴露試験環境の概要

名称	農研機構 貯水池	印旛沼 (機場)	亀田郷		
			山崎 排水路	大石 排水路	本所 排水路
場所	茨城県 つくば市	千葉県 成田市	新潟市	新潟市	新潟市
期間	2018.6～	2018.9～	2018.9～	2018.9～	2018.9～
区分 (実測 ppmCl ⁻)	淡水 (17～22)	淡水 (29)	淡水 (18～48)	汽水 (150～410)	汽水 (229～800)
pH	中性 (6～8)	中性 (6～8)	中性 (6～8)	中性 (6～8)	中性 (6～8)

2) 暴露試験体外観(クーポン)

暴露試験体の回収架台およびクーポン(短冊)の例を図 1.8.2 に示す. 普通鋼の全面腐食に対し, ステンレス鋼は部分的な茶変にとどまっていた. この茶変分も写真で確認できる大部分はステンレスの錆ではなく鉄分の付着物であることが確認された.(図 1.8.3)

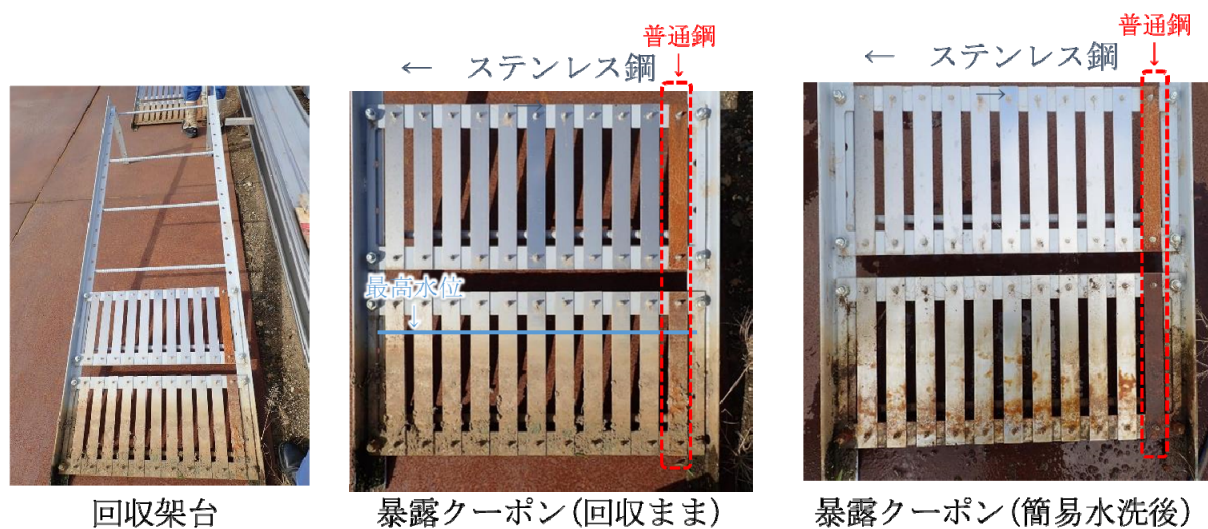


図 1.8.2 暴露試験体回収例 (新潟市/亀田郷山崎排水路/暴露試験 1 年の例)

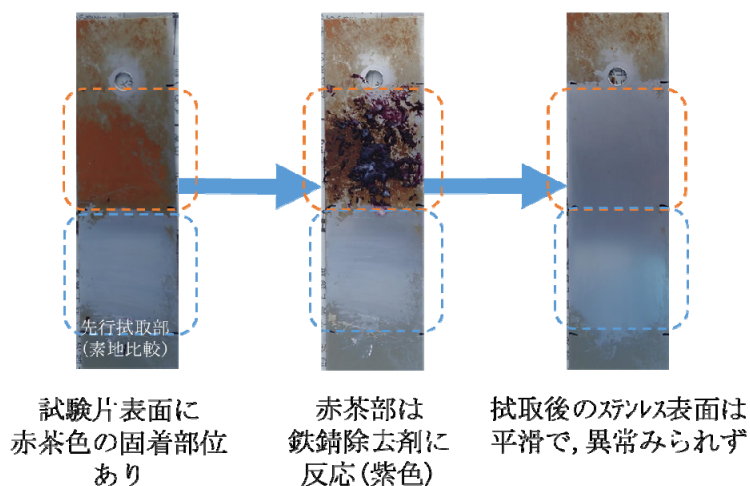
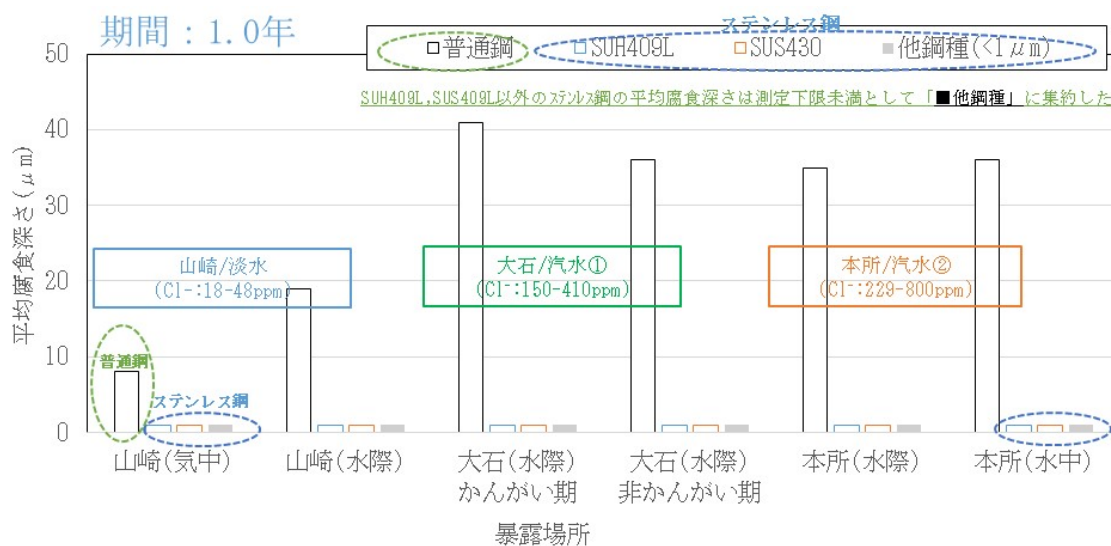


図 1.8.3 暴露試験体(クーポン)への鉄分付着の確認

3) 暴露試験体の腐食状況(クーポン)

回収サンプルにつき、平均腐食深さ(腐食減量)の測定を実施した。ステンレス鋼の平均腐食深さ(図 1.8.4:質量減から板厚換算)は、両面で $0.8\mu\text{m}$ (試験片面積 140 cm^2 あたり) 程度となり、普通鋼の両面で $40\mu\text{m} \sim 80\mu\text{m}$ (片面で $20\mu\text{m} \sim 40\mu\text{m}$) に対して、ステンレス鋼の優位性が確認された。



平均腐食深さ(質量減から板厚換算)は、片面 $0.4\mu\text{m}$ (両面 $0.8\mu\text{m}$) 程度

図 1.8.4 暴露各地区の平均腐食深さ

ここで、実際の試験片での腐食発生範囲は、水位変動の範囲に対応していたという事実(図 1.8.5)を加味して整理すると、試験片の面積の 20%程度に集中して孔食が起きているため、板厚減 $0.8\mu\text{m}$ (試験片面積 140 cm^2 あたり)は、 $4.0\mu\text{m}$ (試験片面積の 20%で計

算すると板厚減は 5 倍) に換算できる。

これは、リニアに腐食速度を想定しても 50 年後で約 $200\mu\text{m}$ 、100 年後で約 $400\mu\text{m}$ の結果（実測値から比例推定した平均腐食深さ）となり、将来的な腐食量も非常に小さいことが予想される。

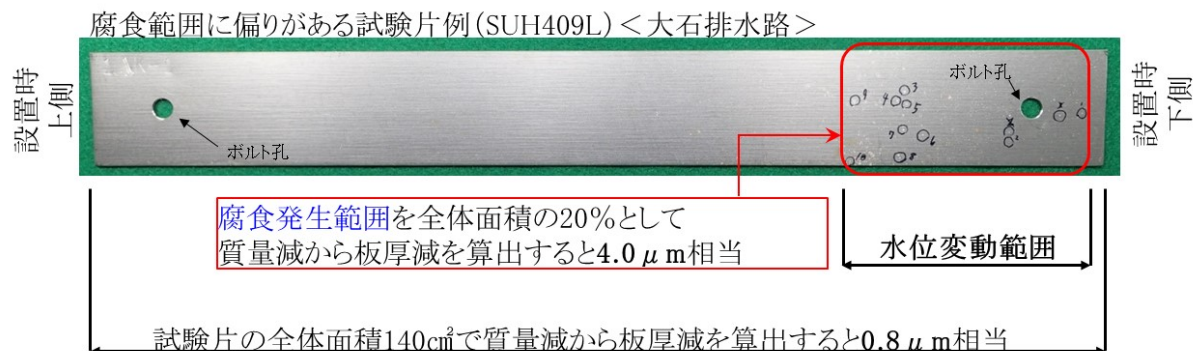


図 1.8.5 腐食発生範囲がほぼ水位変動範囲に対応していることを示す例

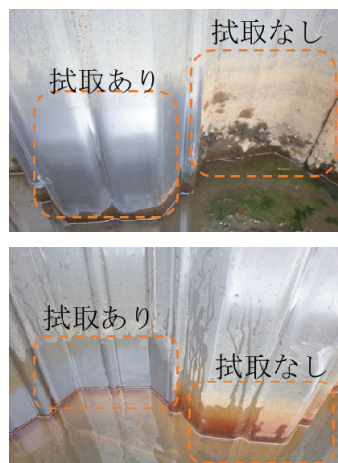
4) 暴露試験体の外観(矢板)

代表として、新潟市大石（汽水）の暴露試験結果を図 1.8.6 に示す。気中部には軽微な点錆が見られる程度であり健全であるが、水際部が赤くなっている。これは前述の暴露クーポンと同様にステンレス鋼の錆ではないことを確認した。（図 1.8.7）

その他、目立った変化は確認されなかった。



図 1.8.6 普通鋼およびステンレス矢板の様子（新潟亀田郷大石：暴露期間 0.5 年）



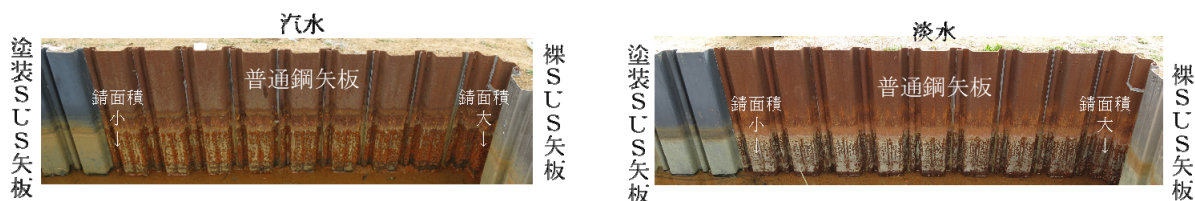
実物の確認においても
拭取後のステンレス表面は
平滑で、異常みられず

図 1.8.7 鉄分付着の確認（矢板：鉄錆除去剤を使用）

5) 異種金属接触腐食の検証(矢板・大板)

ステンレス矢板と普通鋼の鋼矢板で懸念される異種金属接触腐食について、モデル検証を農研機構内で実施しており、図 1.8.8 に写真を示す。ステンレスの裸材に接する側の普通鋼の部分で錆面積が大きく見られ、ステンレス鋼に塗装を行った側に接する普通鋼では錆面積が小さく見られる。また、汽水と淡水で影響範囲が異なる様にも見られる。

ただし、具体的な影響範囲までは明確になっていないため、現時点では、ステンレス鋼矢板と普通鋼の鋼矢板が接触する箇所については、絶縁を行うことで対応する。



農研機構(実証池)矢板の外観(6か月)

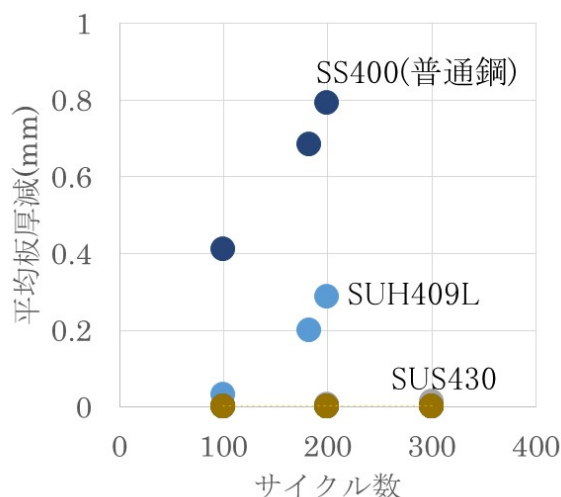
図 1.8.8 異種種金属接触腐食の確認

(2) 室内促進試験結果

1) 腐食減量

前述の暴露試験（1年間）において、低廉型ステンレス鋼の SUH409L であっても板厚減（重量減）が普通鋼に対し約 1/20 であったが、促進試験では、1/3 程度となった。

本試験方法は耐食性の高いステンレス鋼の腐食促進試験であるため、炭素鋼とステンレス鋼の耐食性が実環境（暴露試験）での相対差と同じ傾向を示さない可能性がある。今後、長期暴露試験の結果から検証を進めていく。



試験条件：JIS K 5600-7-9(5%塩水噴霧,乾湿繰り返し)

図 1.8.9 各鋼種の平均板厚減とサイクル数に関する結果

(3) 腐食量の予測方法

1) 目的

ステンレス鋼の腐食形態は普通鋼とは異なり、「孔食」と呼ばれる部分的に小さく腐食が発生するが、大きな孔は空かないという特徴がある。(図 1.8.5, 図 1.8.10)

本研究開発では、想定していたよりもステンレス鋼の腐食量が小さかったが、仮定をおくことで強度設計に必要な将来的な腐食量(片面)について予測を行った。なお、設計では「腐食しろ」は両面(2面)が均等に腐食した状態を仮定して検討を行うものとし、予測された腐食量を2倍した値を用いる。

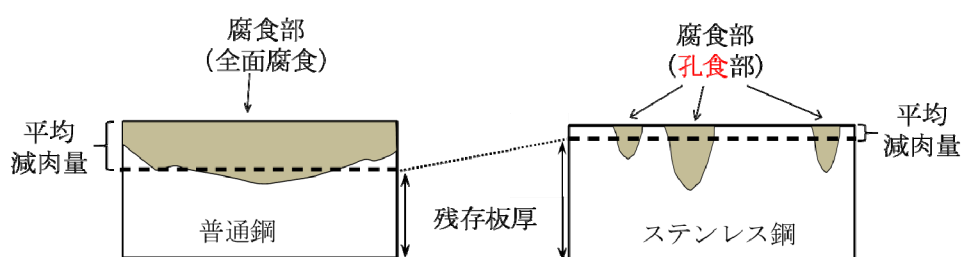


図 1.8.10 普通鋼およびステンレス鋼の腐食形態の比較模式図

2) 腐食量の設定：計算の仮定

(仮定1) 最大腐食深さとして孔食の深い方から10点の平均深さ(※1)を採用した。

※1) サンプル全面の深い10点の平均値を成長性孔食の平均腐食深さとした。

$$D=At^B \Leftrightarrow \log D=B\log t + \log A$$

ここで、

D：腐食深さ、A：係数、t：時間、B：腐食速度(乗数0.5を採用)、

(仮定 2) 孔食の形状は半球とし、腐食が喫水部全幅を覆い減肉(※2)する。

これを推定平均腐食深さとする。(図 1.8.11)

※2) 長期使用時のステンレス鋼の腐食(孔食)間は離れている可能性もあり、
安全側の検討となる。

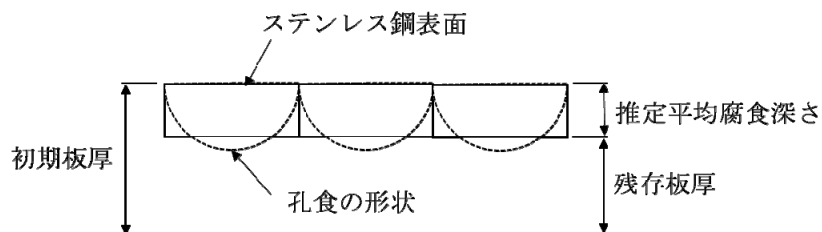
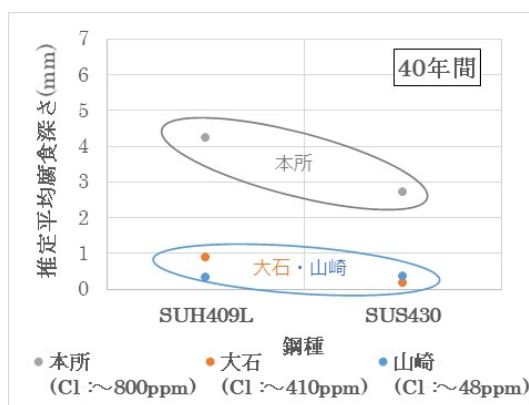


図 1.8.11 推定平均腐食深さの模式図 (安全側の腐食しろ)

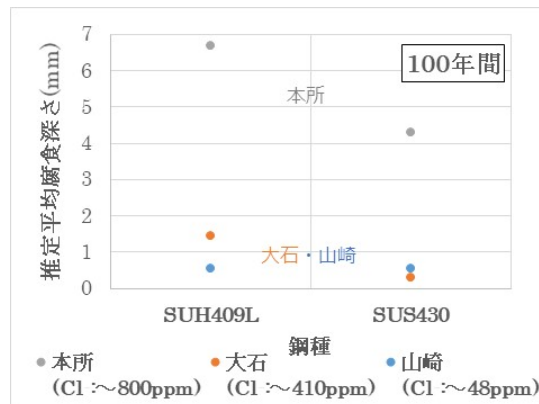
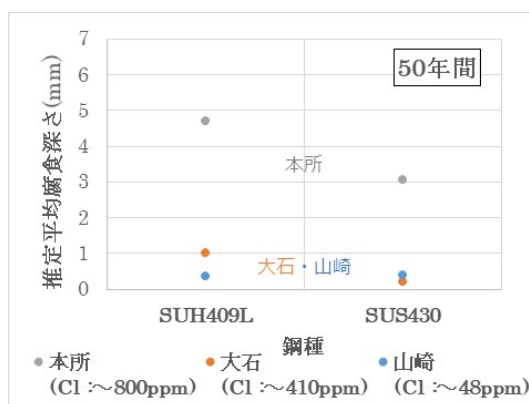
3) 腐食量の設定：計算結果

前述の仮定(安全側)の下、腐食深さを算出するため、各鋼種の水質環境(Cl⁻濃度)に対する耐用年数ごとの平均腐食深さを推定した。(図 1.8.12)

腐食深さは塩化物イオン(Cl⁻)濃度の相違により、「山崎・大石」と「本所」に分けられる結果となり、塩化物(Cl⁻)濃度が 0～500ppm, 500～1,000ppm のグループに分けて設計評価を行うこととした。



40年:現設計基準の上限



50年および100年:長寿命製品として設定

図 1.8.12 各鋼種に対する推定平均腐食深さ (腐食しろ)

4) 腐食しろの設定：適用検討

約 1 年の短時間データから 50 年、100 年の長期推定のため、図 1.8.12 の推定平均腐食深さを 2 倍（両面）し、腐食しろの設定を行った。

なお、Step1 で仮定した条件から安全側に腐食しろを算出、Step2 で実際に測定された結果と Step1 とを比較検討し、提案する腐食しろを推定した。

Step 1：腐食(孔食)が水際部付近に隙間なく発生すると仮定した場合（安全側試算結果）

※表 1.2.1 で述べた通り、SUH409L と SUS410S は耐食性同等として評価した。

表 1.8.3 腐食しろの仮定(安全側試算)

期待耐用年数50年の推定腐食しろ（両面）一覧表（仮定）			期待耐用年数100年の推定腐食しろ（両面）一覧表（仮定）		
	SUS410S	SUS430		SUS410S	SUS430
塩化物イオン(Cl-) 0～500ppm	2.1mm	0.8mm	塩化物イオン(Cl-) 0～500ppm	2.9mm	1.2mm
塩化物イオン(Cl-) 500～1,000ppm	10.0mm	6.2mm	塩化物イオン(Cl-) 500～1,000ppm	14.0mm	9.0mm

Step1 による検討結果では、1.8(1)3)暴露試験体の腐食状況(ケ-ポ-)の項に記載したように、SUS410S、塩化物イオン 0～500ppm の環境の実測値から比例推定した平均腐食深さで約 200 μ m/50 年、約 400 μ m/100 年(上表よりも小さな値)と乖離があり、安全率が過大であることが推定される。そこで、暴露試験結果に対し、土木部材として安全率 2（ ≈ 1.7 ）以上を確保する条件の下、上表の試算結果に一律の仮補正係数 α （ $=1/2$ ）を乗じて整理した。

Step 2：腐食(孔食)が水位変動範囲（例；図 1.8.5）に分布して発生すると仮定した場合

表 1.8.4 提案腐食しろ

期待耐用年数50年の推定腐食しろ（両面）一覧表（提案）			期待耐用年数100年の推定腐食しろ（両面）一覧表（提案）		
	SUS410S	SUS430		SUS410S	SUS430
塩化物イオン(Cl-) 0～500ppm	1.1mm	0.4mm	塩化物イオン(Cl-) 0～500ppm	1.5mm	0.6mm
塩化物イオン(Cl-) 500～1,000ppm	5.0mm	3.1mm	塩化物イオン(Cl-) 500～1,000ppm	7.0mm	4.5mm

2 事業の成果

2. 1 成果の内容

(1) ステンレス鋼矢板の成形性

⇒選定したステンレス鋼で成形可能であることを確認.

(2) ステンレス鋼の腐食しろ

⇒ステンレス鋼の腐食は普通鋼に比べ非常に小さい.

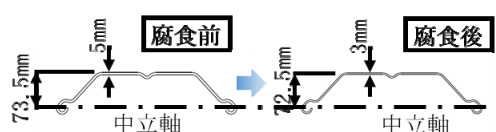
期待耐用年数50年の推定腐食しろ（両面）一覧表（提案）

	SUS410S	SUS430
塩化物イオン(Cl-) 0～500ppm	1.1mm	0.4mm
塩化物イオン(Cl-) 500～1,000ppm	5.0mm	3.1mm

期待耐用年数100年の推定腐食しろ（両面）一覧表（提案）

	SUS410S	SUS430
塩化物イオン(Cl-) 0～500ppm	1.5mm	0.6mm
塩化物イオン(Cl-) 500～1,000ppm	7.0mm	4.5mm

⇒本表により、標準の軽量鋼矢板の設計方法（土地改良基準）に準拠した計算が可能. ステンレス鋼を用いることで、「腐食しろ」の箇所のみ数値を変えることで、経済的な断面の設計を行うことが可能.



普通鋼の両面2mm腐食モデル（LSP-3Dの例）

※通常、腐食しろ設計は板厚を均等に低減させる

鋼種	本体 (mm)	腐食しろ (両面) (mm)	設計板厚 (mm)	耐用年数 (年)
ステンレス 鋼 (SUS430)	3.4	0.4 (mm/50年)	3.0	50
普通鋼	5.0	2.0 (mm/20年)	3.0	20

(3) ステンレス鋼矢板の施工性

⇒試験施工から標準の軽量鋼矢板と同等の施工性であることを確認

(4) 設計施工マニュアル（案）の制定

本研究開発の実施により得られた知見や実証試験により、「ステンレス鋼矢板の設計施工マニュアル（案）」を制定した.

2. 2 目標の達成度

(1) 成果から得られる効果

ステンレス鋼矢板の開発により以下の効果が得られる.

- ①普通鋼の軽量鋼矢板では長寿命が期待できない環境においても、平均板厚減が極めて小さく長寿命なステンレス鋼矢板が実用化できる.
- ②農業施設の腐食環境に応じた適切なステンレス鋼矢板の選定・施工方法が確立できる.
- ③鋼矢板が長寿命化することにより、鋼矢板の補修・補強費用を大幅に低減することができる.
- ④ステンレス鋼の「腐食はするが大きな孔は空かない」という特徴により、腐食

しても直ぐには構造的不安定には至らない安全性の高い鋼矢板が得られる。

⑤ステンレス鋼矢板を利用した新たな補修・補強技術の開発。

⑥ステンレス鋼を利用した農業水利施設向けの構造物への展開。

ステンレス鋼矢板の設計・施工マニュアルを作成することにより以下の効果が得られる。

①ステンレス鋼矢板の現場への普及を促進し、事業への早期の反映。

②ステンレス鋼の耐食性が把握でき、ステンレス鋼矢板以外にも、農業水利施設向けのステンレス鋼を用いた構造物の設計に適用が可能となる。

(2) 従来技術との比較

1) 比較する従来技術

普通鋼の軽量鋼矢板

2) 従来技術に対する優位性

①経済性

素材にステンレス鋼を用いるため、イニシャルコストは増加する。ただし、耐久性の高いステンレス鋼はランニングコストに優れるため、ライフサイクルコストが 67%に低減する。

②工程

板厚減少によって鋼矢板 1 枚当たりの重量が減少し、運搬効率が向上するため、工程が短縮される。

③品質

耐久性が向上することにより、護岸としての構造の長期品質維持が図れるため向上する。

④安全性

孔が空きにくいため、土砂の排出を防げるため向上する。

⑤施工性

標準の軽量鋼矢板と同等。

⑥周辺環境への影響

補修・更新等の工事が減らせるため、環境負担を軽減できる。

	新技術	比較する従来技術 (当初の工法・標準案)	比較の根拠
概要図			従来商品の素材を高耐久の新素材に改良した商品開発のため
工法名	ステンレス鋼矢板 (SUS430)	軽量鋼矢板	同じ設計方法 (適用地盤条件が同じ)
経済性(直接工事費)	9,174,600 (期待耐用年数50年)	5,452,350 (期待耐用年数20年)	ライフサイクルコストは向上 新技術 183,492円/年 従来技術 272,618円/年
工程	やや向上	標準	板厚減少による重量減のため、運搬効率が向上
品質	向上	標準	耐久性向上により、構造の長期品質維持を図れる
安全性	向上	標準	孔が空きにくく、土砂の排出を防止できるため
施工性	標準と同等	標準	標準品と形状が同じであるため
周辺環境への影響	向上	標準	補修・更新等の工事を減らせるため、環境負荷を軽減できる

なお、新技術（SUS430）と従来技術によって選定される鋼種（SUS304）において材料費における経済比較※を行うと、下表の結果となり約 34% のコストダウンが見込まれる。

	新技術 SUS430	従来技術によって 選定される鋼種 SUS304
材料費	7,920,000 円	11,956,350 円
比率	66%	100%

※従来技術によって選定される鋼種（SUS304）においては、施工について未実施のため、比較は材料費のみとする。

2. 3 成果の利用に当たっての適用範囲・留意点

(1) 適用範囲

自立式護岸 3m, 切梁式護岸 5m 以下程度の水路。

(標準の軽量鋼矢板と同等の応力度範囲。)

汽水環境 1,000ppm 程度までの水質環境。

(2) 留意点

本事業によって開発されたステンレス鋼矢板は「腐食しない（錆びない）」鋼矢板ではなく、設計時の腐食量を許容するステンレス鋼矢板となる。

なお、本報告の 50 年、100 年の腐食しろは、約 1 年の短期間暴露での極軽微な腐食量を基に p.35,36 に示す仮定 1, 2 及び p.37 の step 1, step 2 の前提を置いて推定したものであり、安全率を持って提案している。暴露試験の長期化により、腐食しろの推定精度の向上が可能となる。

3 普及活動計画

3. 1 想定される利用者

(1) 事業者

農林水産省農政局，国土交通省北海道開発局，都道府県，市町村，土地改良区等

(2) 民間企業

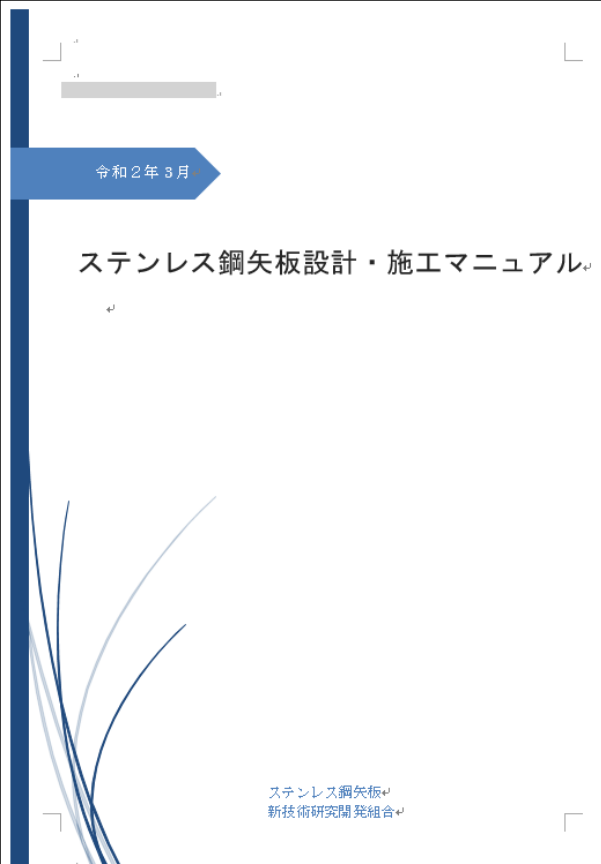
設計業者（設計コンサルタント），施工業者（ゼネコン）等

3. 2 利用者への普及啓発等の方法

- ① 学会等への新技術発表
- ② ARIC への情報公開
- ③ NETIS への情報公開
- ④ HP などのネット活用
- ⑤ 技術資料，カタログ，PR 資料の配布
- ⑥ 業界紙などへの広告掲載

3. 3 利用者に対するサポート体制，参考資料等

本開発製品の認知度向上のため，カタログ等の販売拡販資料を作成する．また，その他に，設計施工マニュアルを作成し，幅広い普及を目指す．なお，以下にマニュアルの表紙および目次例を示す．

	第1章ステンレス鋼矢板 1.1 形状および断面性能 1.2 材質 第2章ステンレス鋼と普通鋼の腐食 2.1 ステンレス鋼の腐食 2.2 普通鋼の腐食 2.3 ステンレス鋼と普通鋼の腐食の違い 第3章ステンレス鋼矢板壁の設計概要 3.1 設計条件 3.1.1 土質条件 3.1.2 荷重(上載荷重、盛土) 3.1.3 土圧・水圧 3.1.4 腐食代 3.2 構造形式 3.2.1 自立式 3.2.2 切梁式 第4章農業水路護岸の設計例 4.1 自立式 4.2 切梁式 第5章ステンレス鋼矢板の施工 5.1 施工計画 5.2 施工管理 5.3 施工方法 参考資料 参1 ステンレス鋼の腐食調査 クーボン試験 異種金属接触腐食 隙間腐食 参2 施工実績 or 施工事例 参3 施工歩掛り 参4 積算例
---	---

3. 4 特許・実用新案等の申請予定

- ① : 水利施設用フェライト系ステンレス鋼製部材
概要：農業水利施設向けステンレス鋼製部材の権利
出願：済み
申請者：日鉄ステンレス株式会社・日鉄建材株式会社
- ② : バイブロハンマ用チャック部材
概要：ステンレス鋼矢板用もらい錆防止部材
出願：令和 2 年 3 月予定
申請者：日鉄建材株式会社
- ③ : 異種金属接触腐食対策方法（絶縁工法）
概要：異種金属接触腐食を防止する施工方法について
出願：令和 2 年 3 月予定
申請者：日鉄建材株式会社
- ④ : 支保工取付治具およびセパレーター保持部材
概要：普通鋼部材との取り合い部用治具
出願：時期未定
申請者：日鉄建材株式会社

4 研究総括者による自己評価

審査の ポイント	着眼点	申請時計画目標 ^{注1}	自己評価 ^{注2}	自己評価 の理由 ^{注3}
目標の 達成度	・効果 (従来技術に対する優位性)	・ライフサイクル コストのミニマム 化	Ⓐ: 優れている B: 概ね妥当 C: 不十分	・耐食性について十分 な効果が期待できる ため.
	・信頼性 (品質, 精度, 安 全性, 耐久性等)	・耐食性 ・成形性	Ⓐ: 優れている B: 概ね妥当 C: 不十分	・従来品に比べ, 非常 に高い耐久性である ため. ・従来品と同等の成形 精度を確保している ため.
	・適用範囲・適用 条件等	・淡水～汽水環境 ・自立式護岸 3m 以 下, 切梁式護岸 4m 以下程度の水路	Ⓐ: 広範囲に適用 B: 概ね妥当 C: 限定的	・環境ごとの腐食代で 強度・耐久性を確保 しているため. ・従来と同等の断面性 能を有するため.
普及の 可能性	・想定される利用 者への普及啓 発の方法	・学会誌等への新 技術の発表 ・NETIS への情報公 開 ・HP などのネット 活用	Ⓐ: 十分な利用が見 込まれる B: 概ね妥当 C: 限定的	・実証試験の現場案内 として, 大学, 農政 局にご参加いただけ たため.
	・利用者に対する サポート体制 (設計・積算・施 工等の参考資料, 相談窓口等)	・技術資料の作成	Ⓐ: 十分に整備さ れている B: 概ね妥当 C: 改善が必要	・設計施工等に関する 資料整備が行われてい るため.
総 合 コ メント ^{注4}	過去の知見が無い状況で, 環境調査, 暴露試験を実施し課題に取り組み, 短期間で実施可能な技術が確立できた. 特に, 腐食しろ設計においては, ステンレス鋼の腐食形態が普通鋼と異なるという課題に対し, 標準の設計方法が使用できるよう提案ができた. 一方で, 暴露試験の実施期間が短い為, より精度の高い成果を得るために継続したデータの蓄積が必要となる.			

注1) 成果報告書に記載の研究開発目標を記載する.

注2) 評価結果欄は, A・B・Cのうち「A」を最高点, 「C」を最低点として3段階で記入(○付け)する.

注3) 自己評価の理由を記載する.

注4) 総合的なコメントを記載する.

5 今後の課題及び改善方針

本研究開発では、従来の軽量鋼矢板に比べ、非常に耐食性の高いステンレス鋼矢板を開発した。農業水利施設に向けた環境として、淡水環境、汽水環境での暴露試験を実施することで、これまでに無い知見を得ることができ、これらの情報から耐食性の評価並びに設計方法について提案することができた。

しかしながら、暴露試験の実施期間としては非常に短い期間となり、約 1 年の短期間データから 50 年、100 年の長期推定を実施するためには、耐食性評価について仮定と大きな安全率を設定せざるを得ない結果となった。今後、測定データの蓄積を増やすことで、さらに精度の高い耐食性評価を行い、より経済的な商品開発に努めていきたいと考える。