

資料番号	5
新技術の名称 官民連携	フィルダム、ため池補修のための表面遮水工法の開発

# 研究開発の概要(フィルダム、ため池補修のための表面遮水工法の開発)

## 1、研究開発の概要

フィルダム、ため池の表面遮水工法は、従来より、ゴムシート遮水工法、アスファルト遮水工法等が一般的な工法とされてきたが、より一層のコスト縮減と耐久性、遮水性の向上を図るため、新たな遮水工法の開発に取り組むものである。

## 2、導入効果

- 1) 特殊鋼板により耐久性、遮水性の向上
- 2) 建設コスト及び維持管理費の縮減

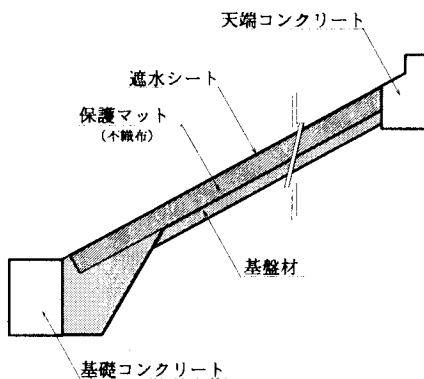
## 3、研究開発期間

平成10年度～平成11年度

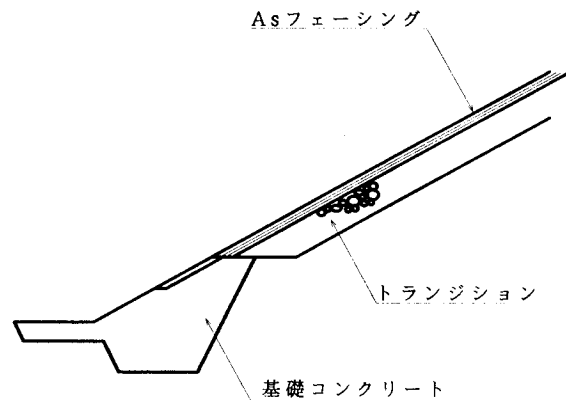
## 4、従来技術との比較

従来技術

遮水シート（ゴム系）工法

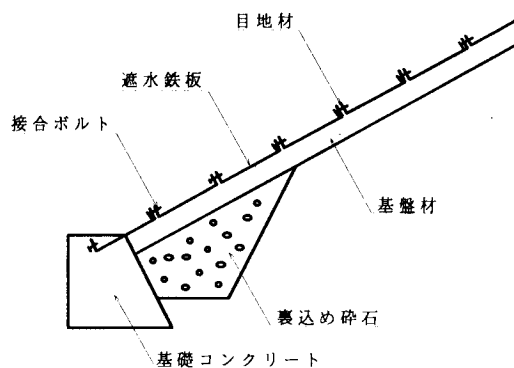


アスファルト遮水工法



新技術

鉄板遮水工法



## 実証試験

### 1、実証試験概要

室内予備試験の結果より次項図にしめす実験用ため池を農業工学研究所敷地内に造成した。

### 2、実証試験の内容

試験は盛土内側法面部4面と底盤部に、溶融亜鉛めっき鋼板（W2.2m×B1.1m×H6.1cm）を敷設して、鋼板をプレスジョイントで接合し止水性と耐久性を確認すると共に、溶融亜鉛めっき鋼板とコンクリート構造物との付着性・止水性・耐久性を確認する。

止水性の確認として、盛土と鋼板の間に遮水シートと中間保護材を敷設し、遮水シートの法尻部分に硬質塩ビ管を設置し堤外に排水し漏水量を測定する。

ため池規模は外周幅B×延長W=15.8m×20.2m、高さH=2.0m、外周法面勾配1:1.0（ $\theta=45^\circ$ ）、内側法面勾配1:1.5（ $\theta=33.7^\circ$ ）の規模の盛土を行う。

### 3、実験目的

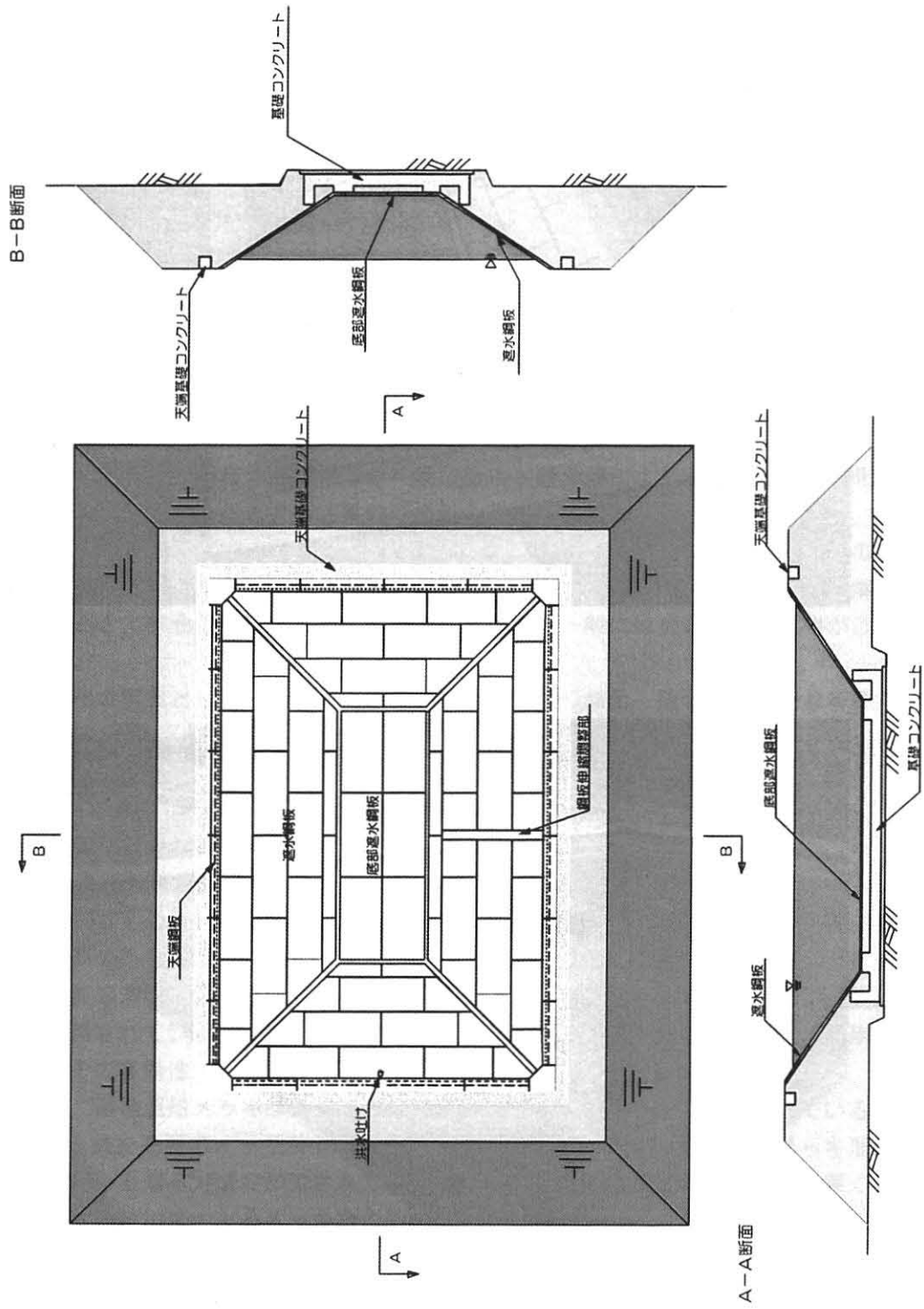
- a、施工方法の検討
- b、歩掛りの収集
- c、水密性の確認
- d、耐久性の確認

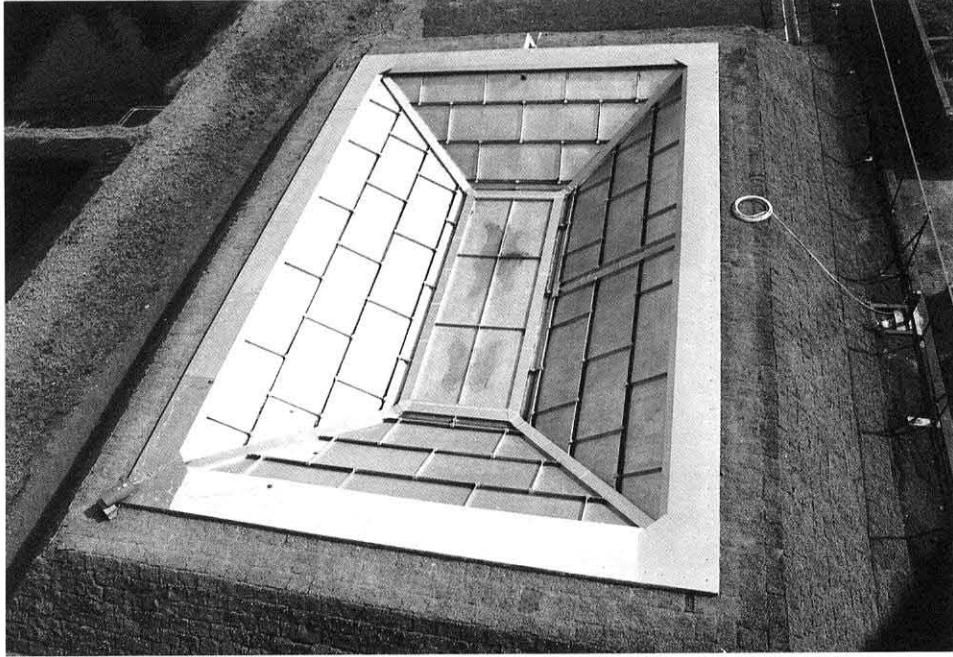
### 4、実証試験工事数量

工事数量表

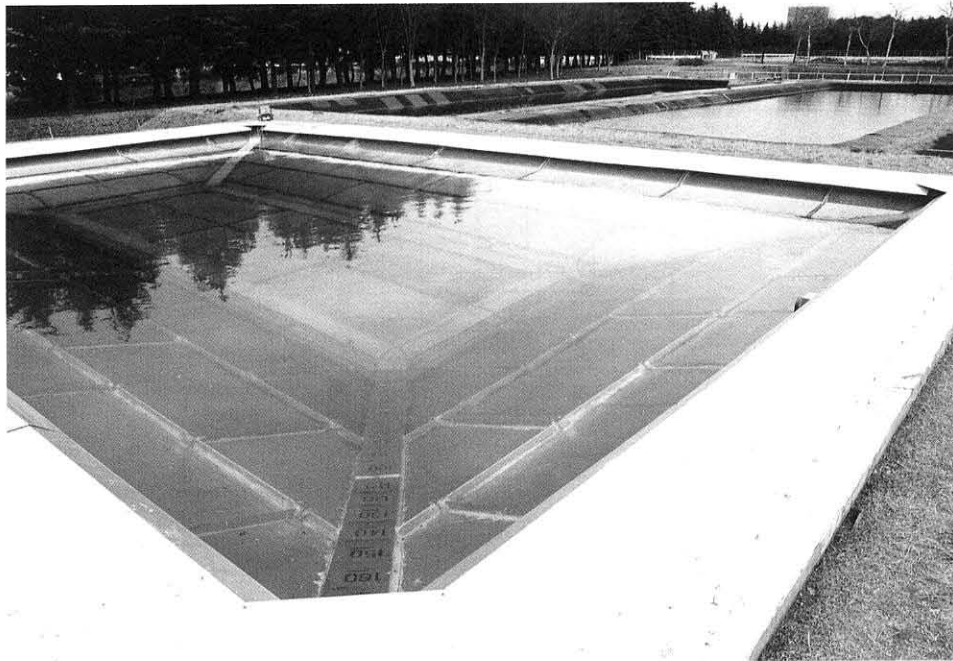
名 称	細 目	単 位	数 量	適 用
基礎掘削	関東ローム	m <sup>3</sup>	85.0	ベース部
盛土	粘性土	m <sup>3</sup>	430	安定処理（固化材80kg/m <sup>3</sup> ）含む
鉄筋	D13	kg	825	
	D10	kg	125	
型枠	均し	m <sup>2</sup>	2.8	
	躯体	m <sup>2</sup>	50	
コンクリート	均し	m <sup>3</sup>	8.0	天端4.3m <sup>3</sup> 含む
	躯体	m <sup>3</sup>	21.0	法面構造3.0m <sup>3</sup> 含む
碎石	1号道路碎石	m <sup>3</sup>	4.4	
合成シート		m <sup>2</sup>	130	
不織布		m <sup>2</sup>	130	
鋼板	ダイマジンク	m <sup>2</sup>	192	
排水設備	U300	m	12.4	
	U400	m	20.6	
	集水樹	箇所	1.0	U400用
漏水観測設備	塩ビ有孔管	m	55.0	呼び径50
	塩ビ管	m	85.0	呼び径50
フェンス	h=1800	m	90.0	
弾性シーリング材	MS-2000	kg	13.0	
ポリマーモルタル	マグネライン	m <sup>3</sup>	0.4	1:5仕様

実証試験細板敷設平面図





実証試験全景



実証試験湛水全景

## 設計参考資料

### 1、使用材料・構造検討概要

#### (1) 事業概要

本事業は、新設及び既設ため池補修の維持管理コスト縮減と、特殊鋼板による表面遮水工法の開発を目的として行われた。研究開発内容は以下のとおりである。

- ① 室内試験による鋼板継手構造と遮水性及び耐久性の確認
- ② フィールドでの実証実験
- ③ 設計・施工の技術資料の作成

#### (2) 遮水材料（鋼板）の検討

##### ① 金属の物性と腐食のメカニズム

金属は、天然には通常金属単体としては存在せず、酸化物や硫化物等の安定した化合物として存在（一般名称は鉱石）する。一般の腐食は水中等に含まれる酸化剤（水素イオン・溶存酸素）が金属表面で還元されて、それ相当の金属が酸化（イオン化）して失われることで、金属自体が常に水分・炭酸ガス・酸素等により元の安定した酸化物等の化合物の状態に戻ろうとする性質の結果から生じた腐食現象が『さび』となる。

金属の腐食形態には、水分に伴う電気化学的腐食と、水分と伴わないその他の腐食がある。電気化学腐食とは、金属が降雨、海水、結露などで濡れたり、その他電解質と作用したときに非金属性の化合物に変化する現象で、一般には金属腐食の大半がこれに相当する。

その他の腐食として、高温や低温時における金属の酸化・硫化・窒化現象等の科学的腐食（乾食）、バクテリア等による生物的腐食などがある。

##### ② 亜鉛メッキ鋼板

鋼材の発錆、腐食を抑制する方法は以下のとおりである。

- ・電解質を材料から遮断する。
- ・素材の局部電池の発生を現象させる。

代表的なものとして亜鉛メッキがある。亜鉛を利用して表面を被覆すると、単なる皮膜効果のみならず、犠牲防食作用が期待できる。亜鉛による防錆法には、電気亜鉛メッキ・亜鉛溶射・高濃度亜鉛末塗料等があるが、熱間圧延された鋼板には溶融亜鉛メッキが多用されている。溶融亜鉛メッキは土木・電力・通信・農水産等で広く利用されており、その有効性が認められている。

一般に溶融亜鉛メッキは鋼材加工後に亜鉛メッキ（後メッキ）が施されている。後メッキは、鉄を高温のメッキ浴中に数分程度保持させ、Fe-Zn合金層がメッキ層の半分以上の厚さとなる方法で加工されている。しかし、この合金層は脆いため、厚く生成していると曲げ加工によるメッキ層の剥離による発錆の要因となる。

### 2、特殊鋼板の特性

本事業で採用した特殊鋼板（極厚目付高耐久性溶融亜鉛めっき鋼板）は、連続溶融亜鉛メッキ設備（ゼンジミア式）で製造した、合金層が少なく亜鉛の密着性が大変優れた鋼板で、亜鉛にマグネシウム及び、アルミニウムを添加したものを主成分にした溶融亜鉛メッキ（Zn-Mg-Al）である。

この特殊鋼板のメッキ付着量は、片側450g（両面900g）のメッキ層中に、0.5%のマグネシウムを添加し高耐久性とFe-Zn合金層を極めて薄くすることで、一層高い耐久性を有した特殊鋼板である。

### 3、機械圧縮接合

#### (1) 鋼板の厚さ

特殊鋼板は1.2～6.0mm厚さのメッキ加工が可能であるが、軽量化を考慮して1.2mmの鋼板厚さとする。

#### (2) 鋼板の接合方法

鋼板の継手方法は、機械圧縮継手・溶接継手、ボルト継手で比較検討を行った。

ボルト接合など異種の金属が接触・接合されると局部電池が形成される。金属を電解質溶液中に挿入したとき、金属または溶液が不均一であると場所によって異種の電極が作用する場合があります、このとき電池の構成となる微小電池を局部電池とよばれる。このような局部電池の形成による電位反応により一方の金属が腐食・溶出することが金属腐食の原因の1つで、一般には異種金属接触腐敗（電食）とよばれ、ボルトによる接合ではこの電食による「さび」の発生が危惧される。

また、溶接ではメッキ層を破壊（溶解）して接続するため、防食性能が問題なる。

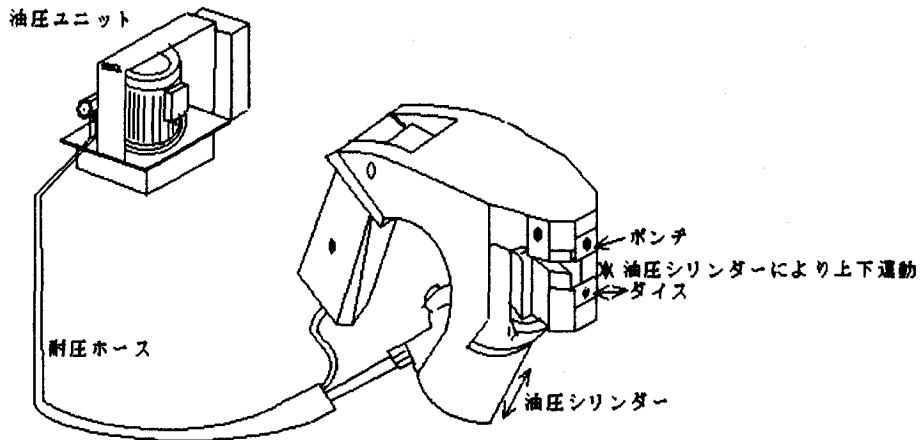
以上の比較結果より、鋼板の接合は遮水性・耐久性確保のため鋼板を機械的に連結・接合できる機械圧縮継手（プレスジョイント接合）を採用した。

プレスジョイントの特徴を以下に示す。

- ①、特殊パンチとエクスパディングダイを使用した、冷間で副材料なしでワークピースを一工程で接合するジョイントシステム（DIN8593）。
- ②、冷間成形方法なので、熱による有毒ガス発生や板の表面状態への影響も無い。
- ③、異なる板厚のワークピースや各種金属の接合が可能で、スポット溶接が困難な亜鉛鋼板やプラスチックコーティング材、ステンレス鋼、アルミニウム等の接合に適している。
- ④、一工程の接合のため、エネルギー並びに作業時間を短縮できる。

鋼板接合方法比較表

評価項目	機械圧縮接合	溶接接合			ボルト接合
		アーク溶接	シーム溶接	ブレージング	
施工性	○	○	○	○	△
適用性	現場適用○	現場適用○	現場適用×	現場適用×	現場適用○
強度	小	大	小	小	大
品質	機械設定	溶接工の技量に左右される			機械設定
問題点	最大板厚 4mm ○	溶接箇所 防錆 △	工場加工×	適用困難△	電食△
材料費	無し	安価	無し	—	高価
機械費	安価	安価	高価	—	無し
補修	可能	可能	困難	—	可能
総合評価	◎	○	×	—	△
備考		融接方式 止水効果有	厚接方式 止水効果有	ろう付方式 止水方式有	



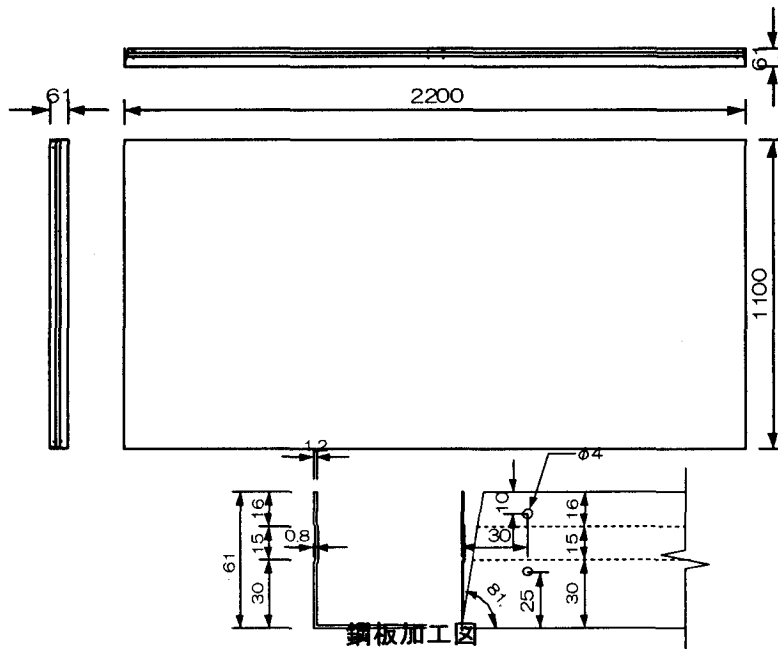
### プレスジョイント機

#### (3) 鋼板の形状・加工方法

鋼板の形状は、接合方法にプレスジョイントが採用されたので、4辺を直角に曲げてリブを造る構造とした。

鋼板の寸法は、鋼板の形状は現場での人力施工や加工性・運搬を考慮して、2. 2m×1. 1mとする。リブ部の折り曲げは61mmで直角に折り曲げる。

鋼板の加工は、折り曲げ加工とプレス加工の2案が上げられたが、鋼板加工コストの比較結果より、折り曲げ加工が選択された。





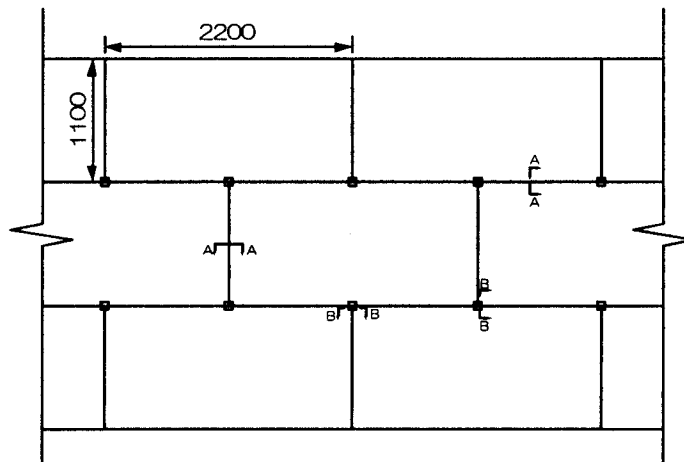
(4) 鋼板接合部の止水方法

鋼板の設置は千鳥配置を標準とする。また、鋼板継手部の止水構造は継手部に圧縮力を加えた加硫ゴムで止水する。ゴム系の止水材は紫外線に弱い性質を有しているため、直射日光に当たらない構造とした。

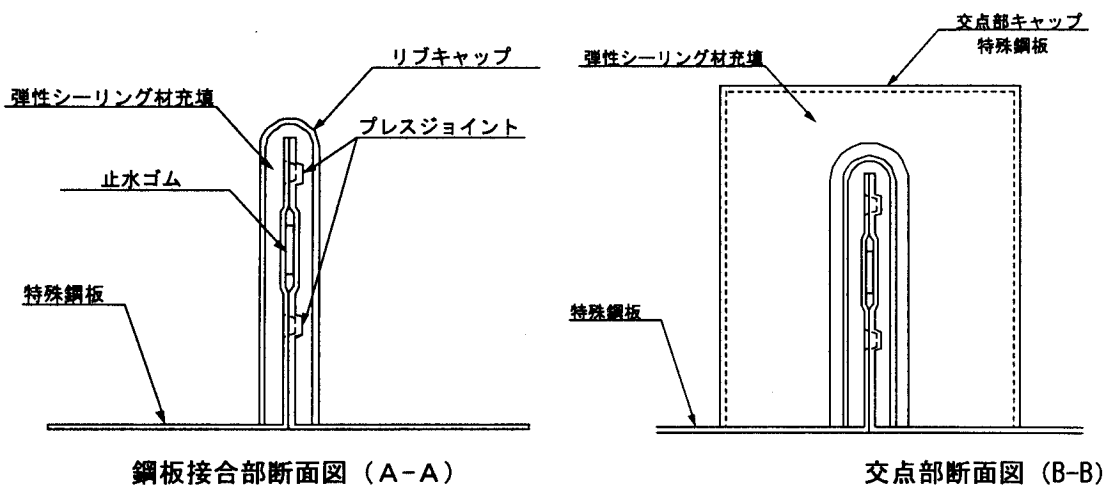
止水ゴムは非膨張性加硫ゴムと水膨張性ゴムを比較検討した結果、後者は膨張圧による止水効果が期待できるが、効果発揮までのTime Lagが発生するため、前者の非膨張性ゴムを約20%の圧縮力（体積変化率）を与える構造とした。

なお、一般鋼板接合部は、下記の項目を考慮して逆U型のキャップを被せる構造とした。

- ①実作業時に仮足場となって作業上衝撃がかかる恐れがある。
- ②作業時または、第三者が、転倒しても被災しない構造。



鋼板配置図

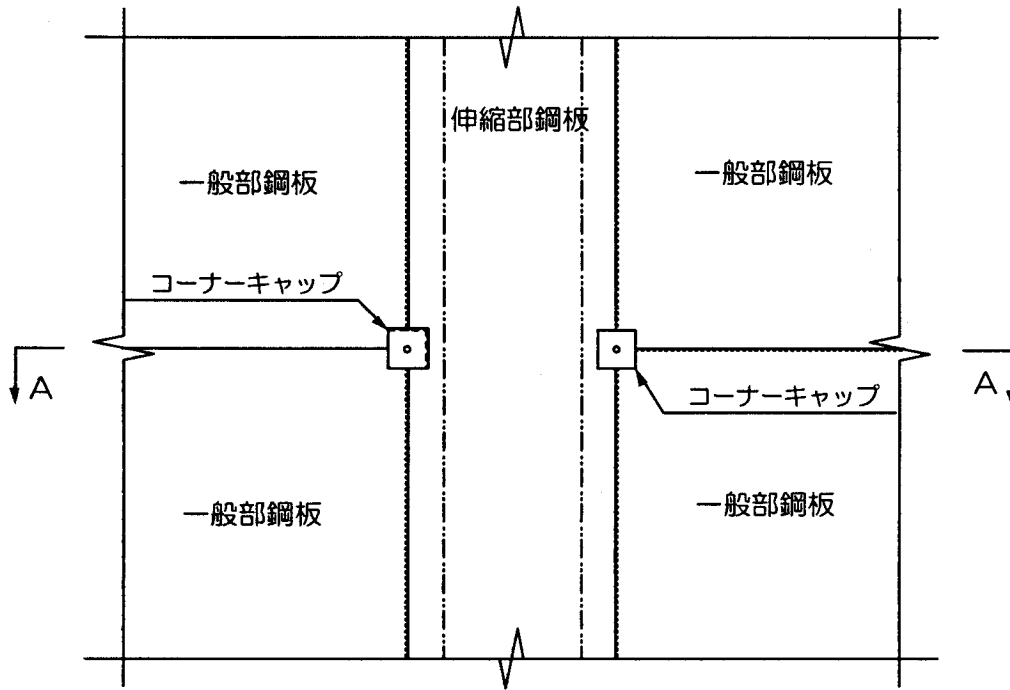


鋼板接合部断面図 (A-A)

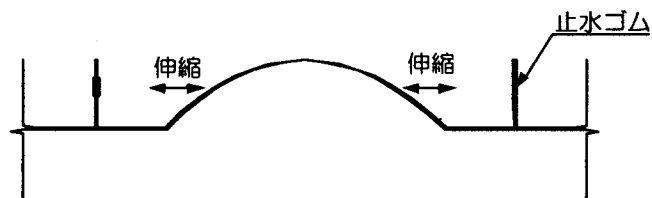
交点部断面図 (B-B)

(5) 鋼板伸縮調整部

温度変化に伴う鋼板の変形に追随できる構造として、図に示す円弧形鋼板を設置する。



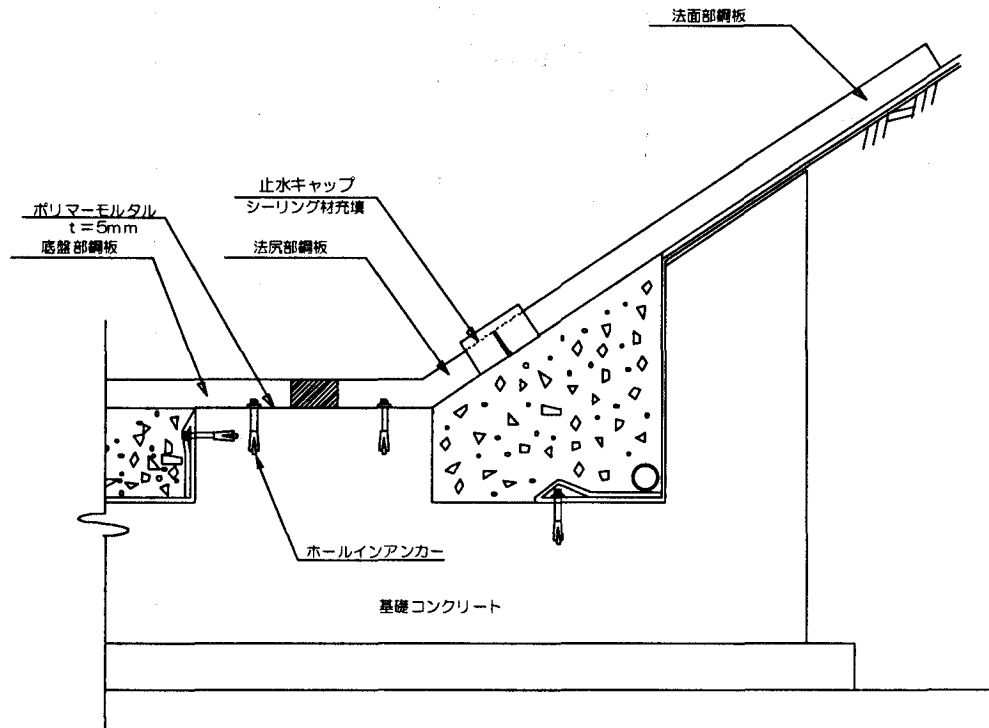
伸縮部鋼板敷設図



伸縮部鋼板敷設図 (A-A 断面)

(6) 鋼板とコンクリート接合部

鋼板とコンクリート構造物との接合部はコンクリート上にポリマーモルタル ( $t = 5$  mm) を塗布し、鋼板をホールインアンカーで固定する構造とした。



コンクリート構造物との接合断面図

#### 4、水密試験

##### (1) 試験概要

特殊鋼板を遮水材として採用するにあたり、鋼板や躯体接合部の水密性や鋼板の耐久性の要素試験として中型水密試験を実施し、その結果をより模型実験として大型水密試験を行った。

##### (2) 中型容器水密試験

中型水密試験は、円筒容器（φ500mm）に鋼板試験片を基盤に設置し、水圧载荷する試験で、確認要素は以下のとおりである。

###### ① 鋼板接合部水密試験

- ・ 止水材の選定（水膨張性と非膨張性の選定）
- ・ 非膨張性止水材の圧縮率の検討
- ・ プレスジョイントのプレス力と漏水の関係
- ・ プレスジョイントの配置（間隔）

###### ② 躯体部分と鋼板接合部水密試験

- ・ 基礎コンクリートと鋼板の接合部の水密性

中型水密試験 一覧表

試験対象	試験片構造	最大水圧	载荷方法	ゴム圧縮率	かしめ圧力	かしめ間隔
プレスジョイント部	2枚継手	1.57Mpa	一定昇圧	20%	350B r	上下各 50mm 等間隔
プレスジョイント部	2枚継手	1.57Mpa	一定昇圧	20%	350B r	上下各 100mm 千鳥
プレスジョイント部	2枚継手	1.57Mpa	一定昇圧	10%	320B r	上下各 50mm 等間隔
コーナー部	3枚継手	0.15Mpa	繰返し载荷	20%	350B r	上下各 100mm 千鳥
コーナー部	3枚継手	0.15Mpa	繰返し载荷	20%	350B r	上下各 50mm 等間隔

##### (3) 大型容器水密試験

大型水密試験は中型水密試験で決定した事項を模型に展開して水密試験を行う。試験の確認要素は以下のとおりである。

- ・ 基盤沈下状態での、鋼板および接合部の水密性と耐久性

大型水密試験 一覧表

試験対象	試験片構造	最大水圧	载荷方法	ゴム圧縮率	かしめ圧力	かしめ間隔
遮水構造全体	現場仕様	0.05Mpa 0.10Mpa 0.15Mpa	繰返し载荷	20%	350B r	上下各 50mm 等間隔
基盤沈下状態	現場仕様	0.15Mpa	繰返し载荷	20%	350B r	上下各 50mm 等間隔

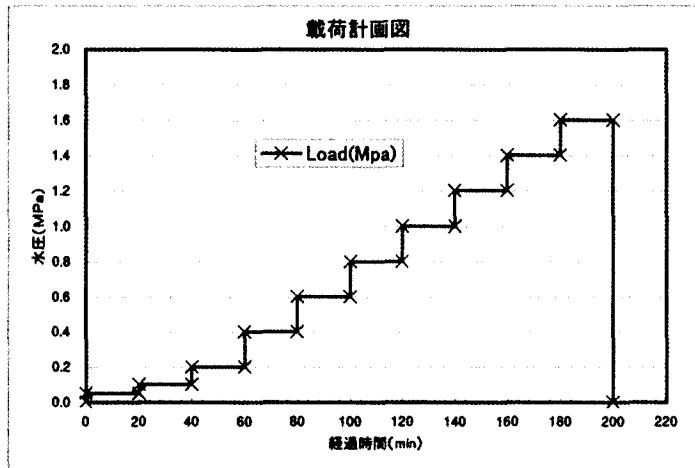
(4) 試験方法

① 中型水密試験

a、一定昇圧試験

対象のため池は堤長15mを想定しているので、載荷は0.15MPa (1.5kgf/cm<sup>2</sup>) だが、安全を考慮して10倍の1.57MPa (16kgf/cm<sup>2</sup>) の載荷を行う。

中型水密試験 一定昇圧載荷図



b、繰返し載荷試験

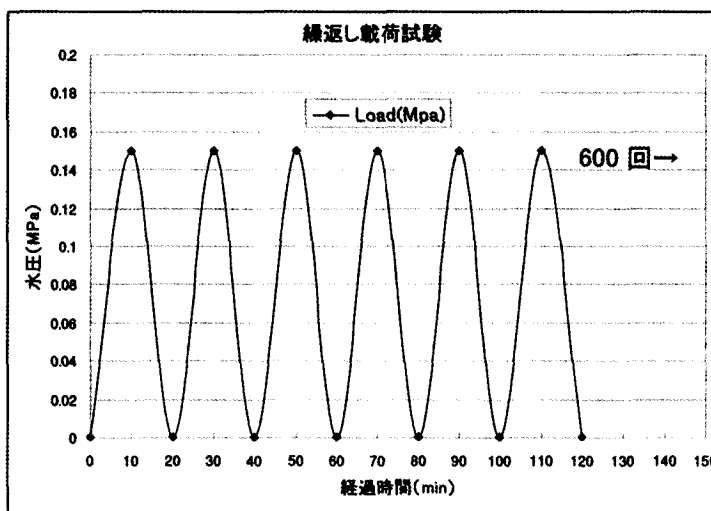
繰返し載荷試験は水位変動を想定し、載荷回数は下記条件より600回載荷する。

耐用年数 50年

水位変動回数 12回/年

試験回数 50年×12回=600回

載荷荷量は、実用水位の15mより、0~0.15MPa (1.5Kg/cm<sup>2</sup>) の繰返しとし、載荷インターバルは、20min/1サイクルで載荷試験をおこなう。



中型水密試験 繰返し載荷計画図

②大型水密試験

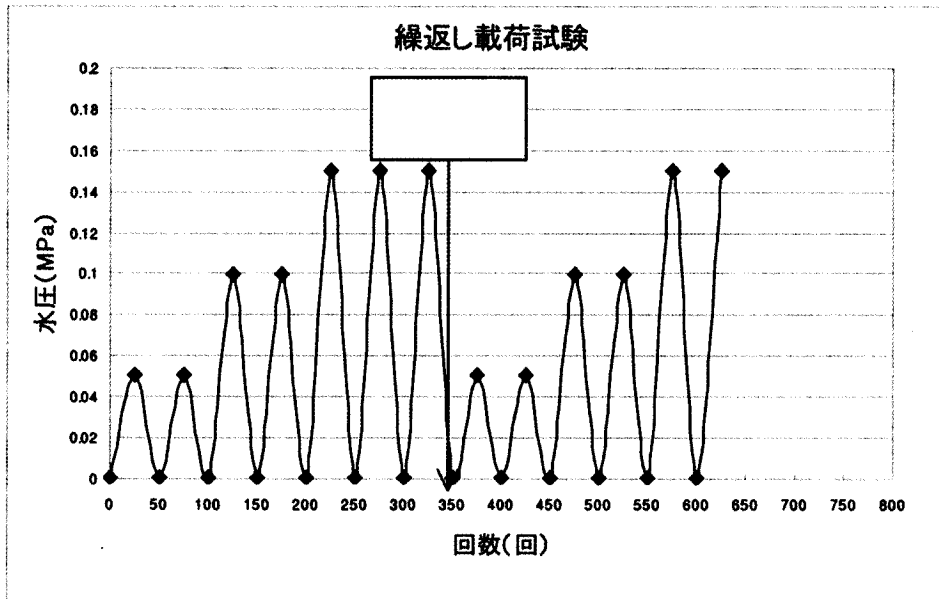
a、繰返し載荷試験

大型水密試験は図の装置で、現場仕様の鋼板を用いて繰返し載荷試験を行う。

繰返し載荷回数は、耐久性確認のため3段階載荷をおこなう。載荷計画図を図にしめす。なお、載荷インターバルは30min/1サイクルでおこなう。

大型水密試験載荷計画表

試験内容	基盤状態	載荷水圧	繰返し回数	備考
繰返し載荷	不沈下	0.05Mpa	100回	
		0.10Mpa	100回	
		0.15Mpa	100回	
繰返し載荷	沈下	0.05Mpa	100回	
		0.10Mpa	100回	
		0.15Mpa	100回	



大型水密試験 繰返し載荷計画図

(5) 試験結果

中型水密試験は、水圧14.7N/cm<sup>2</sup>での150回繰返し載荷試験では漏水は無く、接合部については、この構造とすることに決定した。

大型水密試験では、基盤を沈下させて600回繰返し載荷した結果は、鋼板が最大26mm沈下しているが、漏水量は増加せず耐用年数50年での水位変動に耐え得る構造と思われる。

## 5、実証試験の結果及び効果

### (1) 本事業の結果

要素実験および模型実験を通じ決定した事項は以下にとおりである。

- ①箱型鋼板の縦リブ部分に止水材を挟み込む溝を作る。溝形状は幅15mm、深さ0.8mmとした。
- ②使用する止水材は、非膨張性加硫ゴムを使用し、幅10mm、厚さ2mmとした。
- ③鋼板形状は、2200mm×1100mm×61mmとし、鋼板厚1.2mmとした。
- ④鋼板折り曲げ部のコーナーはVカットして、遮水効果を向上させる形状とした。
- ⑤鋼板の接合はプレスジョイントとし、止水ゴムを挟むように上下二段、間隔50mm、プレス圧 $350 \times 10^5 \text{ Pa}$ で施工する。
- ⑥コーナー部は鋼板キャップを施し、内部に弾性シーリング材を注入し固化させる。

以上の処理により、模型実験では漏水しないことが確認できた。一方、実証実験においては漏水量が13.8リットル/分であった。漏水の原因は必ずしも明確ではないが、この量は土の透水係数に換算すると $9 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ 程度であり不透水工法として扱えることは確認できた。

この鋼板遮水工法の主要な性能を、ため池高さ15mと設定してまとめると以下のとおりである。

**強度：**鋼板継手に作用する曲げモーメントは、4.4 (N・cm/cm) であり、許容曲げモーメントの約1/22で十分強度を有するものである。

**遮水性：**室内模型水密試験では、約 $7 \times 10^{-7} \text{ (cm/s)}$ の透水係数を有し、許容透水係数 $10 \times 10^{-6} \text{ (cm/s)}$ の7/10の値を示した。

実証ため池の透水係数は、 $9 \times 10^{-6} \text{ (cm/s)}$ であり、許容透水係数 $1 \times 10^{-5} \text{ (cm/s)}$ とほぼ同程度になった。

**変位性：**室内模型実験では、模擬地盤を20mm程度沈下させたが、遮水性を保持できた。

また、鋼板継手の強度計算は、同様な地盤条件58.8mmの沈下に対し十分な強度を有していることがわかった。

## (2) 事業の効果

### ① 摘要範囲

本事業で確認された工法は、ため池基準値 $H=15\text{m}$ 以下に適用可能であるので、ため池の約95%をカバーできると思われる。

### ② 経済性

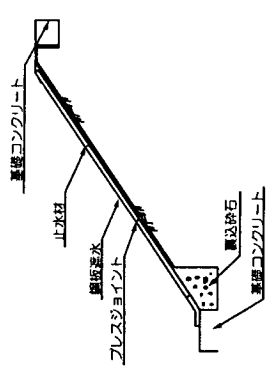
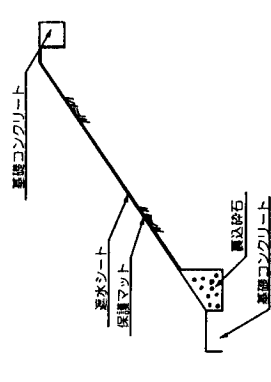
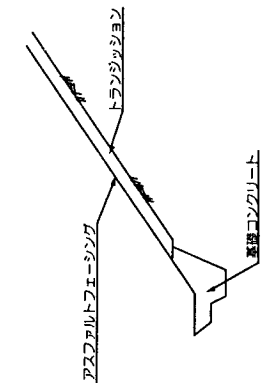
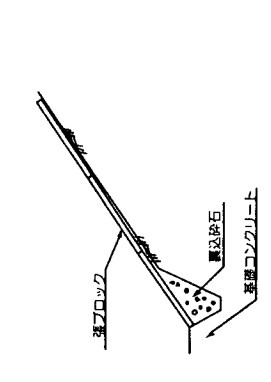
実証実験での $1\text{m}^2$ あたりの単価は、15,310円となった。しかし、実証実験は経済性を考えるには規模が著しく小さため、躯体との接合部など特殊構造に要する経費割合が高額となっている。施工面積が大きいほど標準化された作業が多くなり経済性が増すものと思われる。

### ③ 今後の展望

高さ15m以上の貯水池および最終処分場における不透水材としての使用においては、鋼板厚の変更により、経済施工が可能になると考えられる。今後、農業工学研究所で耐久性確認試験が継続されるが、特殊鋼板で全面覆う構造で損傷しにくく、長期にわたって安定した貯水が期待できる。今後は、実証実験によって発生した漏水は長期継続するのか、完全な止水が可能かどうかについて、引き続き農業工学研究所において研究が進められているが、ため池は全国に24万ヶ所近く散在しており、この工法の優位性が確認できれば維持管理業務の軽減を通じ、農業基盤施設整備に果たす役割は大きいものと考えられる。



遮水工法比較表

遮水工法名	鋼板遮水工法	遮水シート工法 (ゴム系)	アスファルト遮水工法	プレキャストコンクリート遮水工法
工法概略図				
概算工事費	15,310円/m <sup>2</sup>	11,360円/m <sup>2</sup>	47,650円/m <sup>2</sup>	15,700円/m <sup>2</sup>
経済性	1.00	1.57	4.69	1.06
耐用年数	50年 メンテナンス 1回/25年	20年 メンテナンス 1回/7~8年	30年 メンテナンス 1回/10~15年	50年 メンテナンス 1回/25年
耐根性	気象条件にはほとんど左右されない。	自然暴露試験では、50年に相当する試験結果であるが、実績値では20年程度で表面にクラックが発生している。	乾燥寒暖作用による劣化現象に対して、比較的安全した物性を保持するが、劣化は他工法と比較して短期間で生じる。	長期において表面風化が見られる。特に厳しい気象条件下では、凍結融解作用による劣化が懸念される。
耐熱性	高温に対しても性状の変化はあまり見られない。	急激な温度低下により弾性が消失し、外力が集中し損傷を受けるが、その脆化温度は-30℃程度で種々地には不適である。	高温で物性が変化しやすい。	安定しているが、高温に対して劣化する。
耐寒性	低温に対しても性状の変化はあまり見られない。	完全遮水。シート接合に技術を要する。	低温(3℃以下)で物性が変化しやすい。	厳しい気象条件下では、凍結融解作用による劣化が懸念される。
その他	締付ボルト使用時は電食に対する検討が必要	弾性体であるため、地盤沈下などの下層地盤(堤体)の変動に対して追随性が得られる。	透水係数 K=10 <sup>-9</sup> cm/sec	透水係数 K=10 <sup>-8</sup> cm/sec 接合方法の検討を要す。
変形に対する追随性	追随性に乏しい	乾燥寒暖作用による劣化現象に対しては、他工法と比較して、最も安定している。	圧密沈下等により変形し、復元性が無く、変形が大きき場合はクラックが生じる。	地盤沈下、凍上によるひび割れの危険性がある。
気温変化に対する安全性	複雑な地形に対応が難しい。 軽量で、施工方法も簡易なため特殊技能を要しない。 施工が気象条件下に左右されず、工期短縮がはかれる。 高強度であり、草木の育成や突起物等外力による破損がほとんど無い。 塗装により環境保護の適用性が高い。 ダムへの適用の可能性が高い。 モルタル等の吹付により、強度や遮水性の向上が可能である。	乾燥寒暖作用による劣化現象に対して、比較的安全した物性を保持するが、劣化は他工法と比較して短期間で生じる。 温度変化による伸縮に対して、シートの柔軟性で容易に対応出来る。 シートが柔軟性に富み、又簡単に加工できるので複雑な地形にも簡単に対応出来る。 シート同士の間隙は接着剤または接合テープで出来るが技術を要す。 降雨時、多量の水が流出しない。又、基礎及び天端コンクリート打設後1~2ヶ月経過しないとシート接合が難しく工期が長くなる。 農機具、草木、直火によりシートが損傷する。 滑り易く、のり層に安全網が必要になる。	乾燥寒暖作用による劣化現象に対して、比較的安全した物性を保持するが、劣化は他工法と比較して短期間で生じる。	厳しい気象条件下以外では、安定した物性を保持する。 温度変化による伸縮に対しては、目地で対応できる。 重量が大きく安定感があるが、施工設備が大型になる。 施工性からブロック厚さが決定され、軽量化が難しい。 複雑な地形に対応が難しい。 乾燥膨張目地が必要で、目地からの漏水対策が必要である。
施工性				
信頼性				
その他				

## 導入に向けた留意点

- 1、 実証試験において盛土構造に対する表面遮水工法を想定し開発を行った。この条件下で水深15mまでの遮水は確認出来た。  
現地条件によっては、盛土部上の遮水だけでなく、切土部における遮水工法にも適用出来るものと考えられるが、地下水などによる揚圧力に対する設計上の確認は必ず実施しなければならない。
- 2、 水深15mを超える遮水工法にも適用は可能と思われるが、使用材料など（板厚、プレスジョイントの規格）の変更を伴うため、別途検証を要するものである。
- 3、 地盤沈下に対する遮水性については、沈下量20mmまでの実験を実施し確認している。実際の構造物は約60cm程度の圧密沈下が予想されるが、遮水性能は設計上十分安全を有していることは確認している。
- 4、 実証ため池の湛水量は約110m<sup>3</sup>の小さい規模のため、標準作業（鋼板1100mm×2200mmを布設・プレスジョイントする作業）が非常に少なく、端部などの特殊作業が多かったことが、1㎡あたりの単価15,310円となっているが、標準作業が多い実際のため池の場合、今回の実証実験よりコストダウンが見込まれると思われる。