

研究成果報告書

研究開発課題名	プレキャストコンクリート製ため池底樋の耐震性向上技術に関する研究開発
研究総括者	株式会社 ホクコン 有田 淳一
研究開発組合	株式会社 ホクコン 大和クレス 株式会社
試験研究機関	国立大学法人神戸大学大学院農学研究科 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究部門

1 事業の実施内容

1. 1 事業の背景及び目的

全国には約 20 万箇所のため池が存在し、図 1 ため池の築造年代に示す通り、70%は江戸時代以前に築造されており、老朽化の進んだため池は、底樋周辺部分からの漏水や堤体の浸食をうけていることが多く、底樋及びその周辺の安全性向上が求められている。

その様な状況下、新潟中越地震・東日本大震災で、図 2 ため池の被害の推移に示す通り、ため池の被害発生が報告されている。また、平成 28 年 4 月に発生した熊本地震では震度 7 の地震が連続して発生した。

さらに、近い将来に南海トラフの巨大地震が予想されており、図 3 ため池の分布状況と南海トラフの巨大地震モデル検討会資料に示す通り、大きな震度が予想されている瀬戸内海及び近畿地域にため池が多く存在するため、ため池の改修に伴う底樋の耐震性向上のニーズが高まっている。

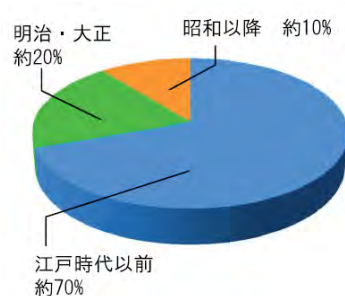
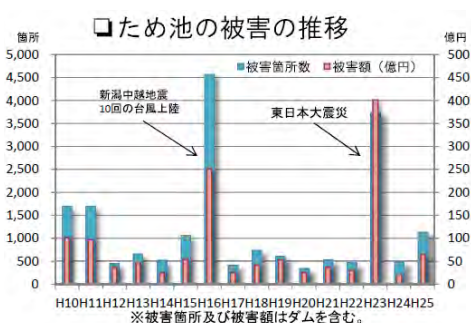


図 1 ため池の築造年代

(引用：農林水産省 HP)



※平成23年度資料は岩手県、宮城県、福島県を除く。

図 2 ため池の被害の推移

(引用：農林水産省 HP)

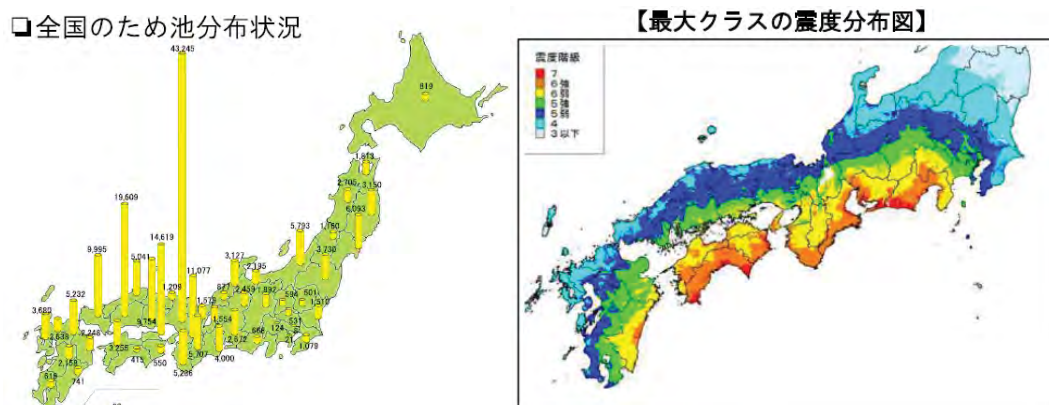


図3 ため池の分布状況と南海トラフの巨大地震モデル検討会資料（内閣府）（引用：農業水産省 HP）

土地改良事業設計指針『ため池整備』底樋の構造の改訂では、不同沈下に対する可とう性及び耐震性が求められてきている。図4 一般的なため池底樋の構造図に一般的な鉄筋コンクリート構造（内型枠として既製管を用いて設計する場合）の底樋を示す。

① 平成 12 年 2 月度

「底樋は、内水圧及び外水圧などに対して安全で、かつ水密性及び耐久性を有する構造とする。

一般的に鉄筋コンクリート構造とするが、内型枠として既製管を用いて設計する場合には、応力集中や水密性の保持について別途検討しなければならない。

底樋は原則として堅固な地盤に設置するものとし、特に縦方向の安定性については、支持力及び不同沈下の可能性とその対応について、十分検討するものとする。」

② 平成 18 年 2 月度

「底樋は、内水圧及び外水圧などに対して安全で、予想される不同沈下に対しても十分追従でき、かつ水密性及び耐久性を有する構造とする。

一般的に鉄筋コンクリート構造とする型式と既製管（ダクタイル鋳鉄管）を単体で用いる柔構造型式がある。鉄筋コンクリート構造で内型枠として既製管を用いて設計する場合には、応力集中や水密性の保持について別途検討しなければならない。

底樋は原則として堅固な地盤に設置するものとするが、十分な支持力が期待できない場合には、置換、地盤改良などの適切な処理を施すものとする。」

③ 平成 27 年 5 月度

「底樋は、内水圧及び外水圧などに対して安全で、予想される不同沈下に対しても十分追従でき、かつ水密性及び耐久性を有する構造とする。

一般的に鉄筋コンクリート構造とする型式と既製管（ダクタイル鋳鉄管）を単体で用いる柔構造型式がある。鉄筋コンクリートで内型枠として既製管を用いて設計する場合には、応力集中や水密性の保持について別途検討しなければならない。

底樋は原則として堅固な地盤に設置するものとするが、十分な支持力が期待できない場合には、置換、地盤改良などの適切な処理を施すものとする。この場合、改良部と非改良部に大きな沈下ひずみ差が生じないように注意する必要がある。底樋は、地震による被災を受けた際の普及が困難なことから、耐震性能についても検討しておく必要がある。」

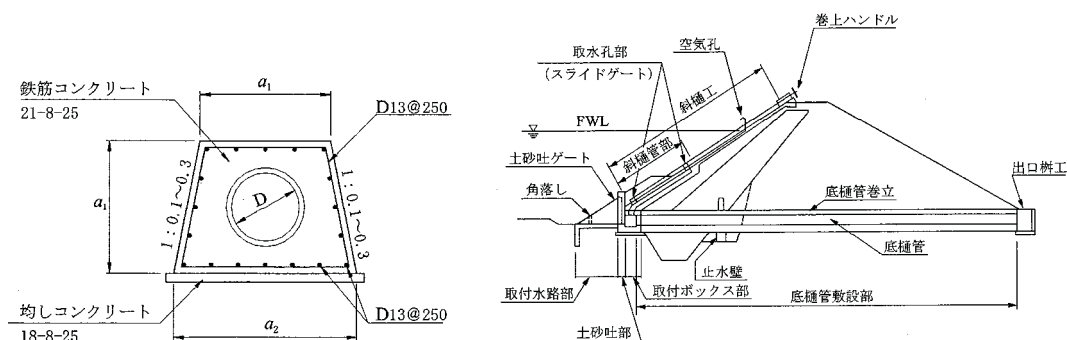


図4 一般的なため池底樋の構造図 (引用：土地改良標準設計指針「ため池整備」H27.5版)

ため池底樋の改修は、非かんがい期の限られた期間に実施して、かんがい期にまでに用水を貯める事が必要であることから、短期間での施工が求められる。

また、土木・建設業における熟練工の高齢化、人材不足の状況は極めて深刻化しており、現場打ちコンクリートによる施工が困難な状況となってきた。

図5 ダクティル鋳鉄管を用いたため池底樋に示す通り、土地改良事業設計指針『ため池整備』で耐震性を考慮したダクティル鋳鉄管を用いたため池底樋が掲載されているが、形状が円形であることから、熟練工の不足に伴う底部の確実な埋戻しが課題となっている。

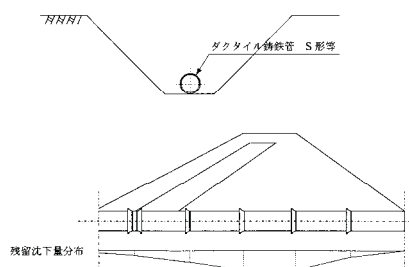


図5 ダクティル鋳鉄管を用いたため池底樋

(引用：土地改良標準設計指針「ため池整備」H27.5版)

本研究開発組合は、工期短縮に対応し、埋戻しの確実性及び施工性を考慮した図6及び図7に示す鉄筋コンクリート構造形式（プレストレスにより緊結した剛構造など）で馬蹄形のプレキャストコンクリート製ため池底樋を開発済みで施工実績を有しているが、耐震性（レベル2地震動）を考慮していない仕様である。

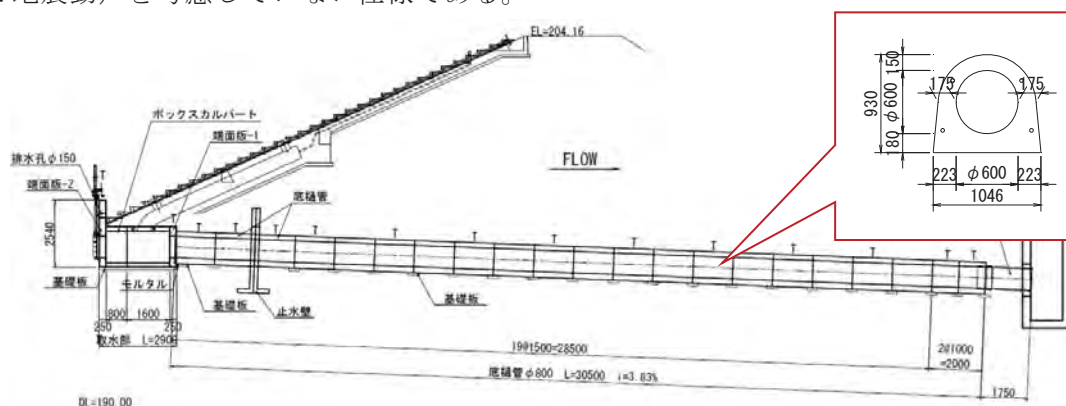


図6 プレキャストコンクリート製ため池底樋の施工実例図



図 7 プレキャストコンクリート製ため池底樋の施工実例

以上の状況を踏まえ、土地改良事業設計指針『ため池整備』（平成 27 年 5 月制定）を満足する、工期短縮に対応し、埋戻しの確実性・施工性に優れたプレキャストコンクリート製品による耐震性（レベル 2 地震動）を有したため池底樋（P C a ため池底樋）を、試験研究機関（神戸大学・農研機構）と連携して開発することが本事業の目的である。

ここで、本研究開発組合らは、プレキャストコンクリート製ため池底樋のブロック断面設計及びずれを生じさせないブロック継手の連結構造（プレストレスによる緊結など）については知見を有しているが、プレキャストコンクリート製ため池底樋における不均等な土かぶりの堤防築堤時の沈下や地震動に対するブロック及び継手の挙動、円形でないブロックに作用する土圧などについて知見を有していないことから、試験研究機関の指導を得て研究開発を進める。

また、開発しようとする耐震性を有する P C a ため池底樋は、【ため池底樋工法の要求事項】を満たすともに、耐震性能は、最も重要度の高い「重要度区分 A」の構造物とし、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説『パイプライン』で示された以下の耐震性能とする。

- ① レベル 1 地震動 健全性を損なわない ⇒ 設計水圧によって計画流量が流せる
- ② レベル 2 地震動 致命的な損傷を防止する ⇒ 静水圧で漏水が生じない。

【ため池底樋工法の要求事項】

- ① ため池底樋の工事期間が短いこと。ため池全体の改修工期を大幅に短縮できること。
- ② ため池底樋周辺の埋戻しが容易で確実にできること。
- ③ 堤体の不同沈下などに対して追従可能であること。
- ④ 地震動に対してため池底樋の機能を保持できる構造であること。
- ⑤ 熟練工が不要な工法であること。

1. 2 事業の内容及び実施方法

（1）従来のため池底樋の実態と問題点に関する研究開発（平成 29 年 1 月）

従来のため池底樋の問題点は、ため池底樋の不同沈下や地震による破損・漏水、ため池底樋周囲の不同沈下や地震による空隙の発生と水みちの形成による堤体の破損などが考えられる。加えて、ため池底樋改修時の施工性、効率性などの問題も推察されるが、従来のため池における底樋の実態や問題点に対する発注者や施工業者からの意見や発注者などが実施した被災調査報告書なども収集できておらず、現状の把握が不足している。

加えて、これまでに施工されているプレキャストコンクリート製ため池底樋の施工後の状態の調査と問題点の整理がされていないため、試験研究機関や発注者の協力を得て、従

来の底樋及びプレキャストコンクリート製ため池底樋の実態と問題点の調査整理を実施した。

【実施方法】

試験研究機関の協力を得て、発注者（兵庫県・兵庫県土地改良事業団体連合会など）に対し、既存のプレキャストコンクリート製ため池底樋を含む従来のため池底樋について聞き取り調査を行うと共に、許可を得て、聞き取り調査からピックアップしたため池底樋について現地調査を行う。

聞き取り内容は、従来のため池底樋の問題点・改良を期待する点、具体的な被災や損傷例などとする。また、現地調査は、ため池底樋のたわみ量（不同沈下量）・目地の変位や変状・漏水の有無・コンクリートの変状）に加えて、設計図書（構造図・土質柱状図）や被災歴の確認などを行う事とする。

なお、 $\phi 800$ mm未満の人の入れないため池底樋の場合は、カメラ調査と組合せて行う。

（２）P C a ため池底樋ブロック及び継手の挙動解明（平成 29 年 2 月）

土地改良事業設計指針『ため池整備』（平成 27 年 5 月）が改訂され、「底樋管は、地震による被災を受けた際の復旧が困難なことから、耐震性能についても検討しておく必要がある。なお、耐震の検討については土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計『パイプライン』（平成 21 年 3 月）第 9 章第 1 項に準拠する。」とある。

しかし、本研究開発では、図 8 標準的な P C a ため池底樋の断面図に示す P C a ため池底樋ブロックが、埋戻しの確実性及び施工性の向上を考慮した馬蹄形を想定しており円管とは異なる形状である事、ブロック長がパイプラインで使用する製品に対して 1500 mm と短い事、耐震性を有する継手構造もパイプラインとは同じ構造の採用は難しい事から、築堤時の不同沈下や地震時の変形を土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計『パイプライン』に準拠して設計することの妥当性確認に問題がある。

よって、挙動解明による P C a ため池底樋に対応した設計法の確立を行った。

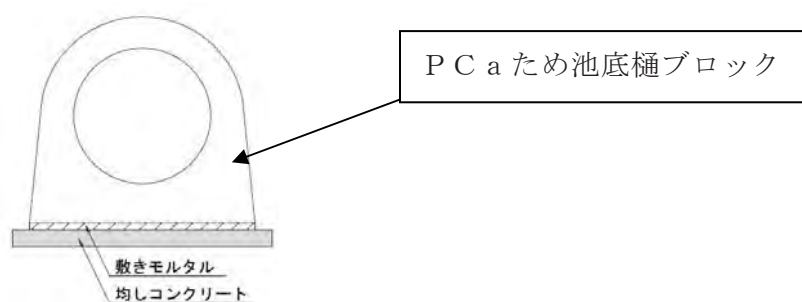


図 8 標準的な P C a ため池底樋の断面図

【実施方法】

● P C a ため池底樋の適用範囲の決定

築堤に使用される土質、及び堤体（最大高・最大幅など）形状など P C a ため池底樋の適用範囲を決定する。

● 築堤時及び地震時の P C a ため池底樋に生じるたわみ量の算定

土地改事業設計指針『ため池整備』に準拠して設計計算・解析を行い、P C a ため池底樋の適用範囲から、築堤時（埋戻し時）の地盤の不同沈下量を算定する。

また、土地改事業設計指針『ため池整備』で指示されている土地改事業計画設計基準及び運用・解説 設計『パイプライン』（平成 21 年 3 月）に準拠して設計を行い、レベル 2 の地震動に対して設定した P C a ため池底樋のブロック長（1500 mm）で継手に生じる変形量を算定・解析すると共に、地盤の不同沈下量と合算して最大たわみ量を算定する。

なお、最大たわみ量発生時の P C a ため池底樋ブロックの継手に発生する変位量（伸縮・屈曲角度など）を算定しておく。

● 静的模型実験の実施

算定されたため池底樋のたわみ量から、静的模型実験を計画立案・実施する。

なお、静的模型実験は、図 9 静的模型実験に示す通り、多分割した P C a ため池底樋ブロックの模型を、それぞれが下方に移動可能な基盤の上に並べ、上部に上載荷重（土嚢など）を載せた上で、基盤を強制的に沈下させて最大たわみ量を再現し、図 10 P C a ため池底樋がたわんだ場合の継手の状態図に示す継手の状況を確認する。

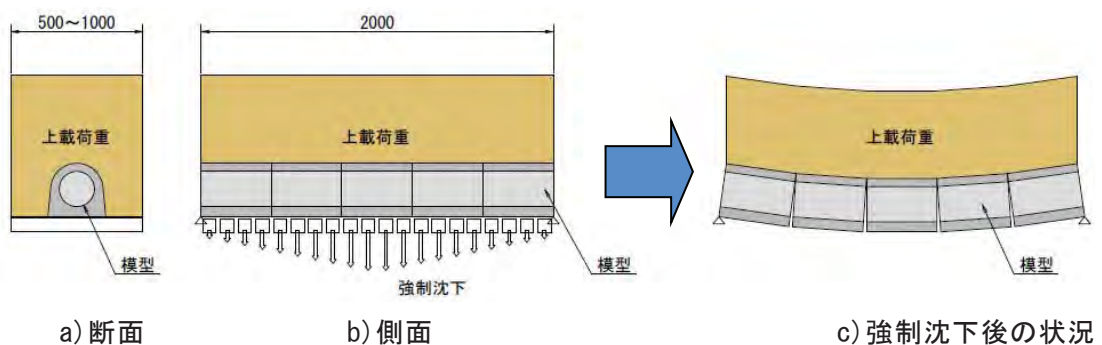


図 9 静的模型実験

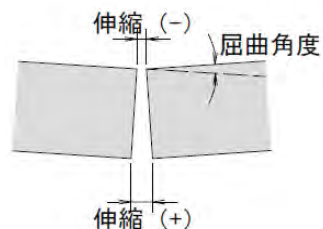


図 10 P C a ため池底樋がたわんだ場合の継手の状態図

● P C a ため池底樋ブロック及び継手に必要な性能の決定

静的模型実験による P C a ため池底樋ブロック模型と継手の挙動（伸縮・屈曲角度など）を確認し、P C a ため池底樋ブロックの継手の要求性能（伸縮・屈曲角度など）を

設定する。

この時、基本としたブロック長 1500 mm の妥当性を確認し、必要があれば、ブロック長を変更する。

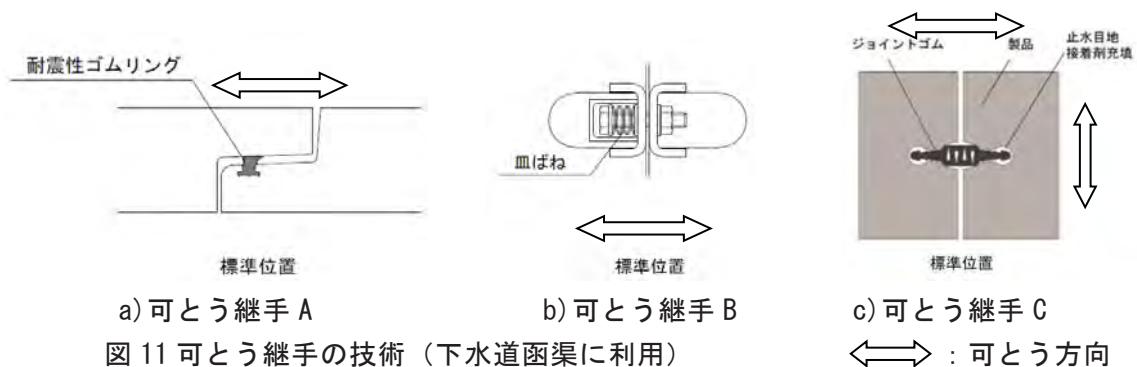
(3) P C a ため池底樋ブロック及び継手構造の開発（平成 29 年 3 月～10 月）

静的模型実験及び数値解析の結果より、ブロックを連続して敷設・接合した P C a ため池底樋の築堤時や地震時の挙動を解明し、必要な継手性能（伸縮・屈曲角度など）を満足する P C a ため池底樋の研究開発を行う。

ここで、本研究開発組合らが保有する図 11 可とう継手の技術に示す下水道函渠用の可とう性継手の技術は、盛り土地盤に設置する事や上載盛り土が不均等な築堤部に設置する事などの使用条件が想定されていないため、そのまま適応することは難しい。また、土地改良事業設計指針『ため池整備』（平成 27 年 5 月）では、引張に強いダクタイル製のため池底樋の継手について、「地盤の沈下曲線（即時沈下量＋圧密沈下量）と管路の位相差が最大で 50 mm 以内を目標とする。」とあるが、そのまま P C a ため池底樋に適用すると引張に弱いコンクリートの継手が部分的破損する可能性も考えられる。

また、想定している馬蹄形のブロックに作用する土圧、及びブロックに発生する応力度も円管と仮定して設計しており、最適なブロック形状やその形状対応した設計方法が確立していない。

以上から、コンクリートの特性を踏まえた P C a ため池底樋ブロックに必要な継手性能（伸縮・屈曲角度など）を満足する継手の開発が問題点である。



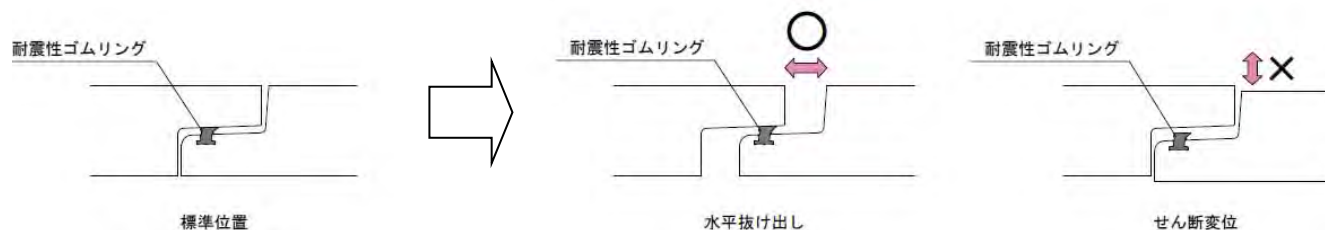
【実施方法】

● P C a ため池底樋ブロック及び継手構造の検討（平成 29 年 3 月～平成 29 年 4 月）

静的模型実験から設定した P C a ため池底樋ブロックの継手の要求性能を基に、P C a ため池底樋ブロック案及び継手案を検討する。

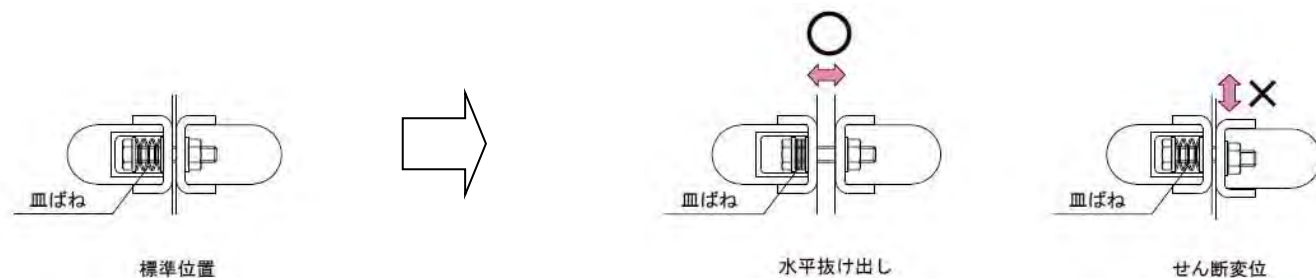
なお、本研究開発組合らは、図 12 本研究開発組合が保有する可とう継手技術に示す一定土かぶりを対象とした下水道函渠用の可とう継手技術を保有しており、保有技術の有効利用・改良及び新たな耐震性継手の開発を行って、設定した継手の要求性能（伸縮・屈曲角度など）を満足する継手構造を決定する。

また、土地改良事業設計指針『ため池整備』に準拠した設計計算からブロックの断面算定を行い、②の静的模型実験の結果を考慮して、ブロックの形状構造を決定する。



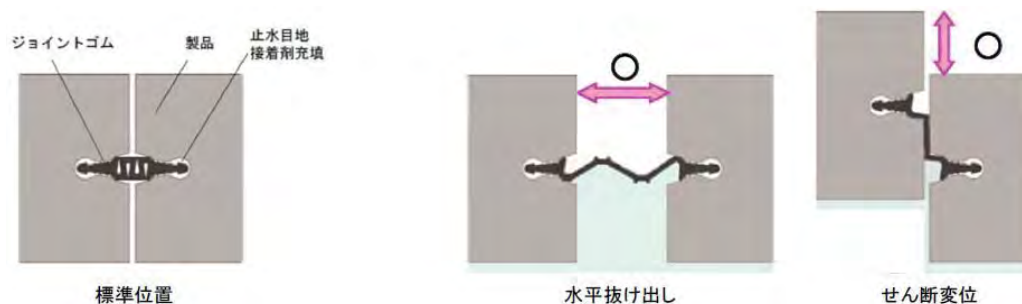
伸縮方向変位量 50 mm、屈曲角度：水平 $0.51 \sim 3.33^\circ$ 鉛直： $0.81 \sim 3.33^\circ$ 、せん断方向変位量：×

a) 可とう性継手 A



伸縮方向変位量 5 mm 以下、せん断方向変位量：×

b) 可とう性継手 B



伸縮方向変位量 20 mm 以下、せん断方向変位量 20 mm 以下

c) 可とう継手 C

図 12 本研究開発組合が保有する可とう継手技術（下水道函渠用）

● P C a ため池底樋ブロックの試作（平成 29 年 5 月～平成 29 年 8 月）

ブロックの形状は、本研究開発組合らの実績から図 13 P C a ため池底樋ブロックの基本案に示す馬蹄形を基本案とし、決定したブロックの形状構造及び継手構造を組み込んで、P C a ため池底樋ブロックを試作する。

ただし、基本案とした馬蹄形の妥当性は、以後の振動実験で確認する事とし、改良が必要であれば、改良して最適な形状に変更する。

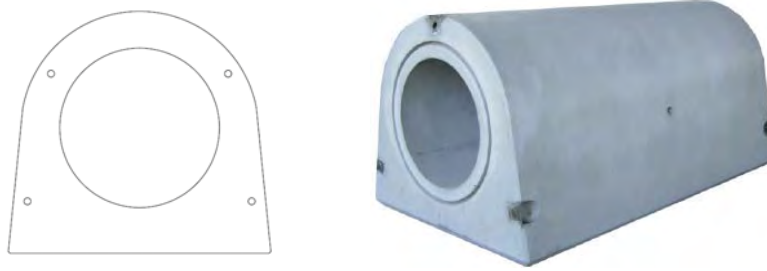


図 13 P C a ため池底樋ブロックの基本案

● P C a ため池底樋ブロック及び継手の性能試験（平成 29 年 10 月）

継手の性能試験は、**図 14 継手の性能試験**に示す通り、試作した P C a ため池底樋ブロックを 2 個つなぎ合わせ、P C a ため池底樋の適用範囲から設定した水圧を外部から保持した状態で、継手を変位（伸び・屈曲・ずれ）させ、継手性能と止水性を確認する。

設定した必要変形量に対し、止水性が確保できない場合や変形しない場合、また継手部のコンクリートに破損が生じる場合は、改良案の検討を行い、必要な継手性能を満足する P C a ため池底樋ブロックを完成させる。

また、継手性能試験の結果から、許容継手性能（伸縮量・屈曲角度・ずれ等）を決定する。

ここで、継手にゴムを使用する場合には、その耐久性の検証を行うものとする。

ブロックの性能試験は、土地改良事業設計指針『ため池整備』に記載されている「地震による被災を受けた際の普及が困難なことから、耐震性能についても検討しておく必要がある。」に配慮して P C a ため池底樋ブロックに求められる要求性能を設計計算で求めたブロックに生じる応力（常時・地震時）などから決定すると共に、**図 15 ブロックの性能試験**に示す通り、要求性能を再現する試験を実施し、P C a ため池底樋ブロックが要求性能を満足する強度を有しているかを確認する。

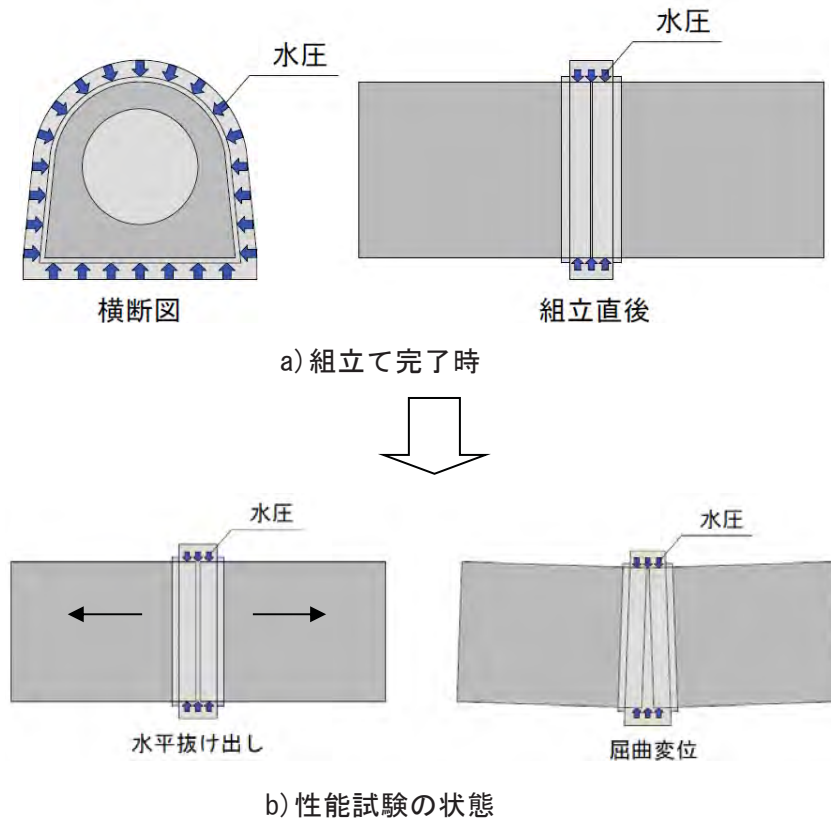


図 14 継手の性能試験

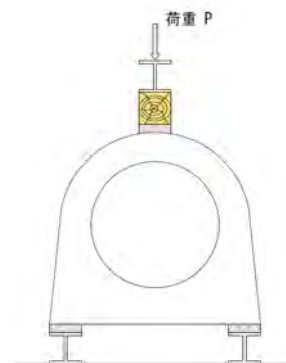


図 15 ブロックの性能試験

(4) 地震時の P C a ため池底樋の挙動把握と試作ブロックの妥当性検証（平成 29 年 10 月～平成 30 年 3 月）

P C a ため池底樋ブロックに必要な継手性能（伸縮・屈曲角度など）を静的模型実験や数値解析の結果から試作ブロックを作成するが、ブロックを連続して敷設・接合した P C a ため池底樋の地震時の挙動解明や地震動に対する P C a ため池底樋の妥当性を実証できていない事が問題点である。

また、地震時の P C a ため池底樋ブロックと周辺地盤との境界部分の状態や図 8 に示す P C a ため池底樋ブロック下に構築する基礎の周辺土への影響の把握とその対策が検討されていない事も問題点である。

実施工に出来る限り近い実験で、ブロックを連続して敷設・接合した P C a ため池底樋の地震に対する検証が必要である。

【実施方法】

● P C a ため池底樋ブロック下面の水みち防止対策の検討（平成 29 年 10 月）

施工性の面から、P C a ため池底樋ブロックの設置には、図 16 標準的な P C a ため池底樋の断面図に示す通り、基盤面に均しコンクリートを打設し、その上面でレベル調整用の敷きモルタルを敷いてブロックを設置する案で進めるが、均しコンクリートが施工時（埋戻し時）の不同沈下や地震動による変位に対して可とう性を有していないと P C a ため池底樋ブロックの可とう性は効果を発揮せず、均しコンクリート下面に隙間が出来る事となり、水みちの形成に繋がる可能性がある。

そこで、図 17 P C a ため池底樋ブロック下面と基礎構造案 A に示す均しコンクリートにも適宜に屈曲可能な構造を持たせる方法、または、本研究開発組合らが技術を保有する図 18 P C a ため池底樋ブロック下面と基礎構造案 B に示す不連続のプレキャスト基礎版とブロックの間を膨張性のあるベントナイトを充填して空隙形成を防止する方法などから、P C a ため池底樋ブロックの基礎部の可とう性・水みち防止対策の検討を行って基礎案を決定し、振動実験でその効果を確認する。

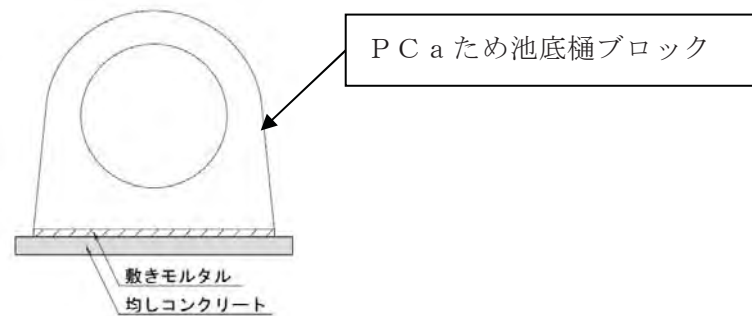


図 16 標準的な P C a ため池底樋の断面図

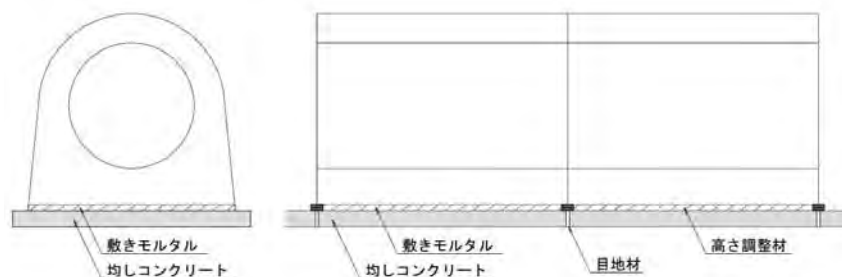


図 17 P C a ため池底樋ブロック下面と基礎構造案 A

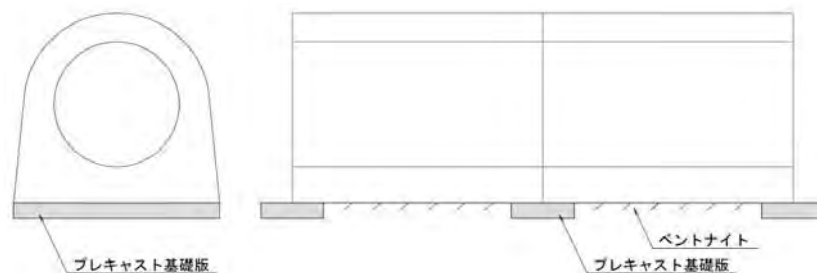


図 18 P C a ため池底樋ブロック下面と基礎構造案 B

● P C a ため池底樋を用いた振動実験の実施（平成 29 年 10 月～平成 30 年 3 月）

図 19 P C a ため池底樋の振動実験に示す通り、振動台上に土で基盤面を形成し、(3)で試作し、継手の性能を確認したブロックを敷設し、その上部にため池堤体を形成した上で、振動台を振動させた後にブロックなどの状態を確認する。

確認は、土地改良事業設計指針『ため池整備』で指示されている土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計『パイプライン』（平成 21 年 3 月）に準拠して行い、まず、レベル 1 地震動で P C a ため池底樋ブロックと継手の挙動 {ブロックの破損状況、継手の変位（伸縮・屈曲角度・ずれ）} を把握し、健全性が維持されている事を確認する。

その後、レベル 2 地震動で P C a ため池底樋ブロックと継手の挙動 {ブロックの破損状況、継手の変位（伸縮・屈曲角度・ずれ）、及びブロックと基盤面との界面状態（空隙の有無）} を把握すると共に、以下の通り（2）で求めた要求性能を満足することや許容継手性能以下であることを確認する。

継手伸縮量 ≤ 許容伸縮量（継手性能試験結果）

継手屈曲角度 ≤ 許容屈曲角度（継手性能試験）

ブロック下面に隙間が生じない

なお、P C a ため池底樋のブロック形状、継手構造、ブロック下面の水みち防止対策は、机上の検討（設計計算・数値解析）、静的模型実験、性能試験の結果から最良の案を決定して振動実験で妥当性を確認する方針であるが、状況に応じて、複数の案を振動実験で比較して最も良い方法を決定する場合も視野に入れるものとする。

また、設備の制限で実施できない項目がある場合は、実験結果と数値解析を組合せて結果を導き出し、妥当性を確認するものとする。

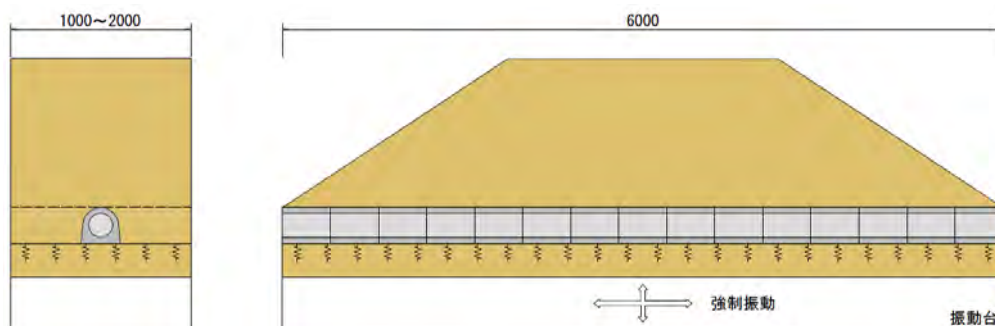


図 19 P C a ため池底樋の振動実験

(5) P C a ため池底樋の経済性の検証(実証実験)平成 30 年 10 月～平成 31 年 1 月)

ブロックを連続して敷設・接合した P C a ため池底樋を開発し、その普及を進めるためには、総合的な経済性（工事費・工期・耐久性など）の検証が問題点である。

また、「ため池底樋工法の要求事項」を満足させる施工を確実に実現させるための仕組み作りも問題点である。

【実施方法】

● 実施工による経済性（工事費・工期・品質）の検証（平成 30 年 11 月～12 月）

実証試験を行い、工事費、工期、施工歩掛り、出来形、品質などについて妥当性を検

証する。

●設計・施工マニュアルの作成（平成 30 年 4 月～平成 31 年 1 月）

実証試験で確認した事項及び留意点などについて、経済性の確保・品質の確保を実際の施工で実現可能とするために、設計・施工マニュアルを整備する。

実証実験においては、下記に示すように、実証実験の条件から評価基準項目を設定して実際の施工結果を比較検討し、その検討結果をマニュアルに反映するものとする。

（項目）	（評価基準項目）	（マニュアルへの反映）
【調査】		
a) 土質	土質の調査法 適用可能な土	⇒ 現地土質調査法・留意点
【設計】		
a) 不同沈下	土質条件からの設計たわみ量に対する実際値	⇒ 使用土質の制限 ⇒ 許容たわみ量の設定 ⇒ 使用する土質の制限
b) 構造設計	設計計算結果と実際の比較	⇒ 構造計算例 ⇒ 設計上の留意点
【施工】		
a) 施工性	ブロックの施工日進量・作業員数・作業機械	⇒ 施工歩掛・日進量 ⇒ 施工上の留意点
b) 周辺の埋戻し	埋戻し手順・チェック項目・埋戻し状態	⇒ 埋め戻しの手順・留意点
c) 出来形	完成時の寸法と許容差・たわみ量 継手のズレや漏水・許容変位量	⇒ 出来形管理（許容差） ⇒ 継手施工の留意点
d) 工事費	現打ちの場合の工事費	⇒ 積算資料

●設計・施工マニュアルの改訂

機能監視結果に基づき、設計・施工マニュアルを改訂して充実を図る。

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
P C a ため池底樋ブロックの挙動が明確になっていないおらず、実績を有する P C a ため池底樋ブロックの問題点が明確になっていない。	①現地調査を実施し、既存底樋管の損傷・変形状況を把握した。 ②静的試験を実施し、ブロックの継手構造の違いによる沈下特性の把握を行った。
P C a ため池底樋ブロックの継手構造が確立されていない。	①保有技術のノウハウに基づく新たな接手構造を有したブロックの試作確認。 ②試作したブロックの継手部の性能確認試験を実施し、所定の性能を有しているかの確認を行った。
P C a ため池底樋ブロックの地震時の挙動特性が解明されていない。	①振動台実験を実施し、P C a ブロックの挙動、水みち状況を把握した。
開発した P C a ため池底樋ブロックの施工時の留意点や計画に必要な調査項目や歩掛等が明確となっていない。	①実証実験を実施し、施工歩掛の計測ならびに留意事項等の抽出を行った。
P C a ため池底樋に関する技術マニュアルが整備されていない。	①現状調査から振動台実験の結果を踏まえ、P C a ため池底樋の設計手法を明確にした。 ②実証試験結果を踏まえ、計画、施工時の留意点を明確にするとともに、標準歩掛の設定を行った。

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】

研究開発項目	研究開発組合		試験研究機関	
	(株)ホクコン	大和クレス(株)	神戸大学	農研機構
①従来のため池底樋の実態と問題点の明確化	◎	◎	○	—
② P C a ため池底樋ブロック及び継手の挙動解明	○	○	◎	—
③ P C a ため池底樋ブロック及び継手構造の開発	◎	◎	○	○
④地震時の P C a ため池底樋の挙動把握と試作ブロックの妥当性検証	○	○	◎	◎
⑤ P C a ため池底樋の経済性の検証	◎	◎	○	○
⑥実証試験	◎	◎	○	○
⑦機能監視	◎	◎	○	○

1. 5 事業の年度計画と実績

項 目	平成 28 年度		平成 29 年度		平成 30 年度	
	上期	下期	上期	下期	上期	下期
従来のため池底樋の実態と問題点に関する研究開発						
P C a ため池底樋ブロック及び継手の挙動解明						
P C a ため池底樋ブロック及び継手構造の開発						
地震時の P C a ため池底樋の挙動把握と試作ブロックの妥当性検証						
P C a ため池底樋の経済性の検証(実証実験)						
マニュアル作成						
機能監視						

注)  は計画、 は実績。

2 研究開発の概要、結果、課題等

1) 現地調査

a) 調査の概要

現状のため池底樋の実態の把握を目的に、発注者の協力を得て既存のため池から、**表 1 調査対象のため池**に示す従来工法となる現場打ち構造とプレキャスト製ため池底樋管を対象とし、災害前後に構築された底樋管を選定し、ジャイロを搭載した自走カメラにより現地調査を実施した。

調査対象とした、ため池底樋の概要を**表 2 ため池底樋の概要**に示す。

表 1 調査対象のため池

底樋管の構造	築造時期		適用
	震災前	震災後	
現場打ち	A 池	B 池	
P C a 製	該当なし	C 池	TYPE-1
		D 池	TYPE-2

表 2 ため池底樋の概要

池名称	構造	内径 (mm)	延長 (m)	最大土被り (m)	築造時期
A 池	現場打ち	φ 800	26.4	6.9	震災前
B 池		φ 800	35.5	7.8	震災後
C 池	プレキャスト	φ 600	20.0	5.2	震災後
D 池		φ 1000	16.8	3.8	震災後

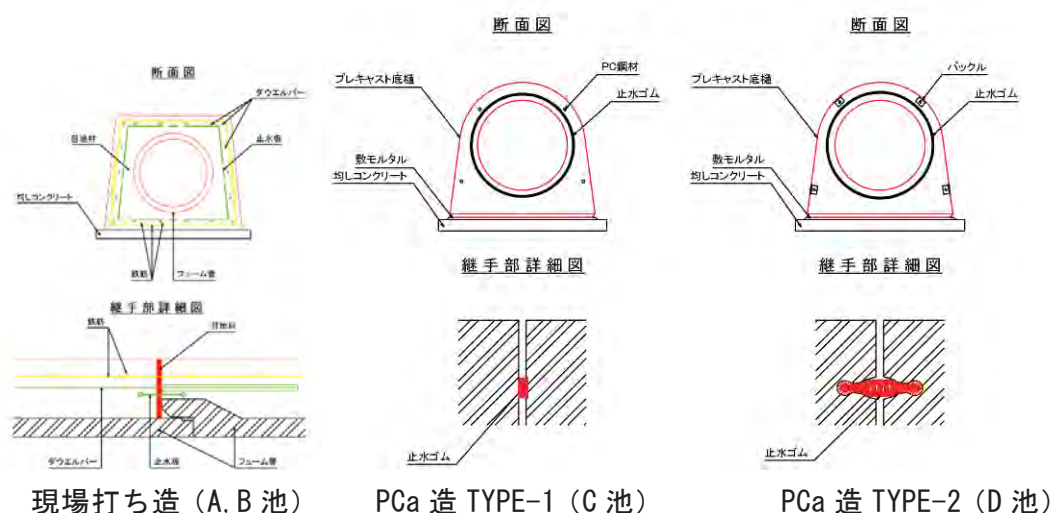


図 20 ため池底樋の構造形式図

b) 調査結果

調査の結果、底樋管の内面の目地部の離間の最大値は、現場打ち構造で 20 mm に対し、プレキャスト製では、5 mm 程度である事が確認された。

一方で、変形に伴う鉛直方向の相対変位差は、現場打ち構造で 25 mm に対し、プレキャスト製では、30 mm 程度である事が確認された。

また、漏水の状況では、いずれの構造形式でも漏水は生じており漏水箇所は止水壁近傍から遮水ゾーン周辺に集中していることが確認された。現場打ち構造での漏水状況は、ひび割れも確認され、部材の損傷からの漏水である事も推測される。一方、プレキャスト製の漏水は、製品の継手部からの漏水である事が確認された。



写真 1 調査カメラ



写真 2 調査状況

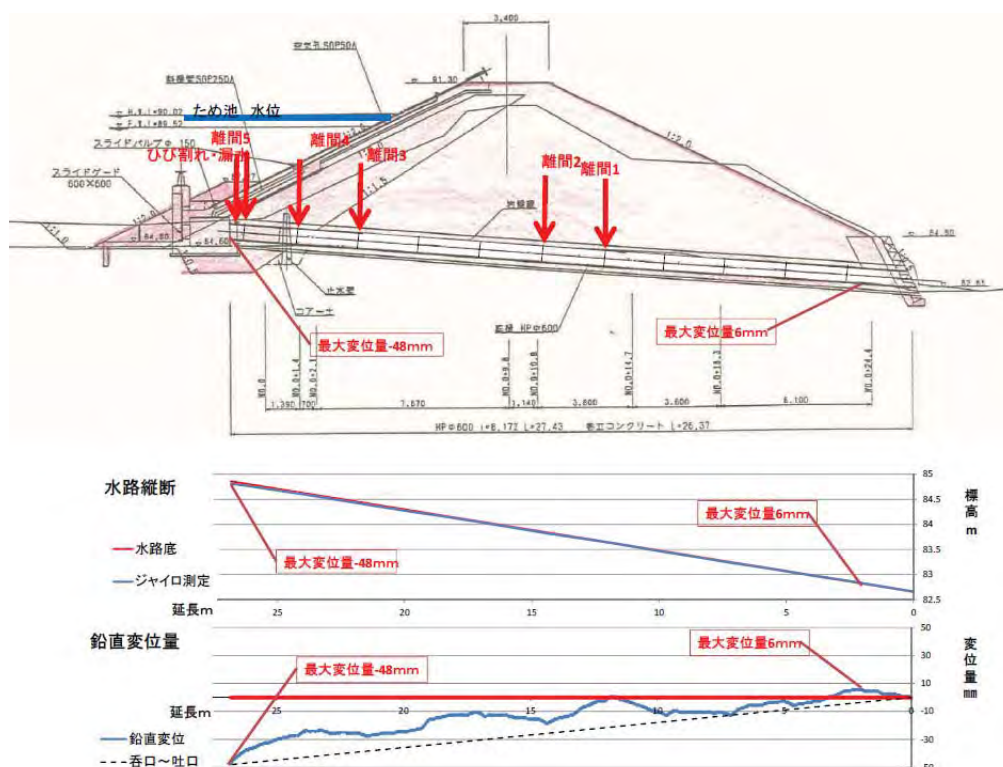


図 21 A 池変形状態（震災前・現場打）



写真 3 離間状況



写真 4 漏水状況

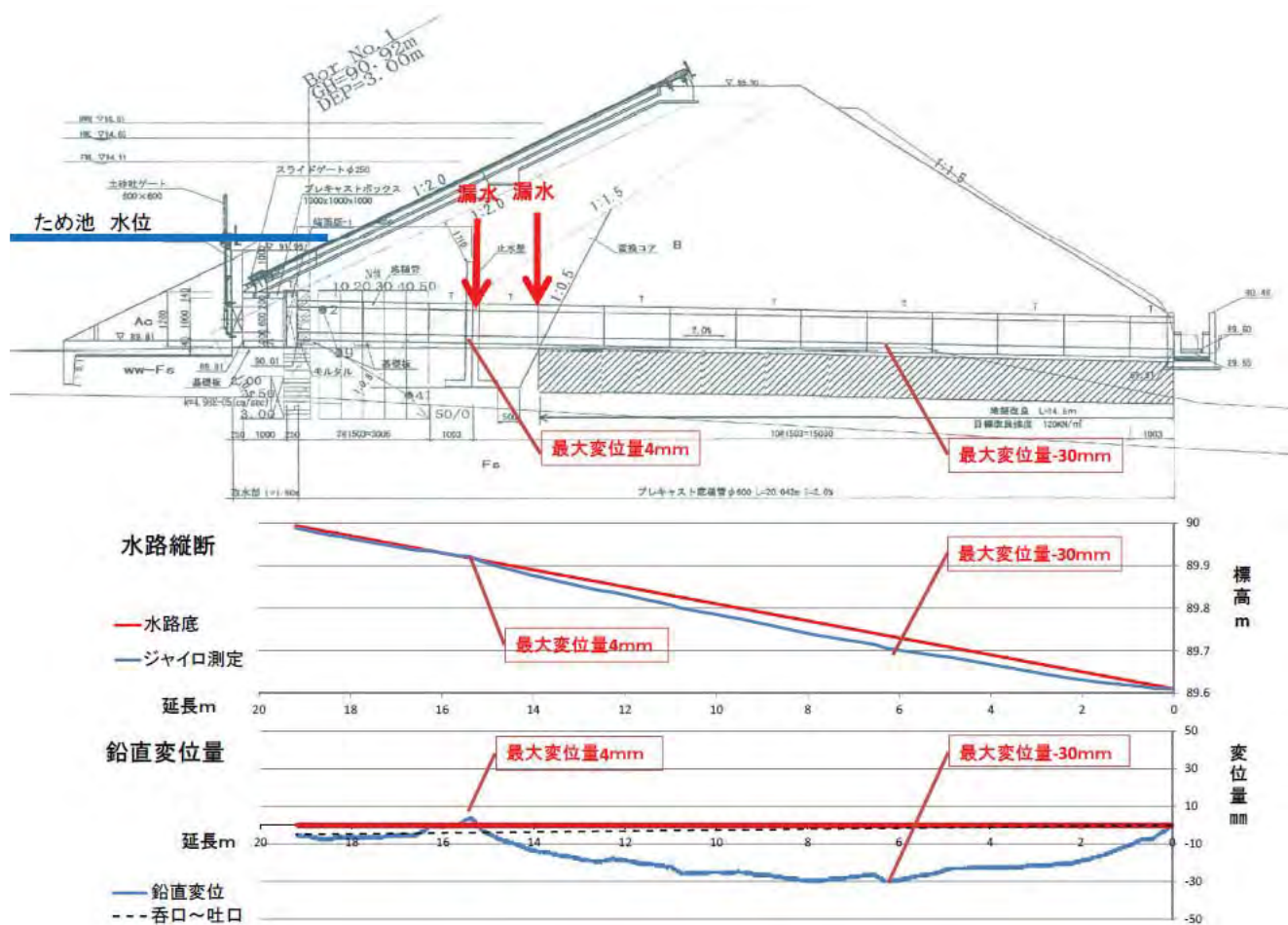


図 22 C 池変形状態（震災後・プレキャスト）



写真 5 離間状況

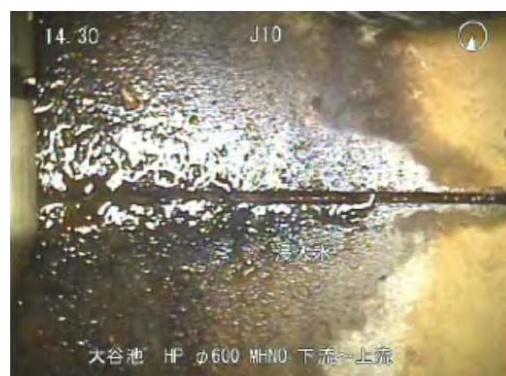


写真 6 漏水状況

2) 築堤時及び地震時の P C a ため池底樋に生じるたわみ量の検討

(1) 適用範囲

土地改良事業設計指針『ため池整備』で示されている範囲から、プレキャスト製ため池底樋の検討の対象とする適用範囲を決定した。(図 23 堤体の適用範囲)

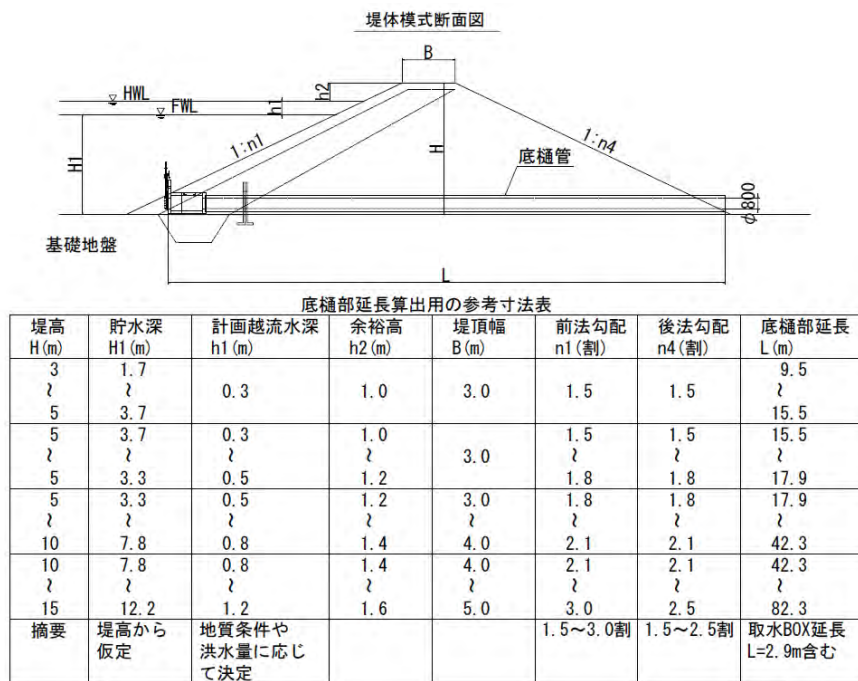


図 23 堤体の適用範囲

(2) 設計方針

設計条件の他、耐震設計ならびに沈下量の検討について既往の設計の検討事例や指針の整理を実施すると共に、代表となる検討ケースの設定を行った。(表3 検討ケース) 合わせて、堤体設計の現状を調査し底樋の設計との整合性についても検討を実施した。

検討の結果、本設計における地震時の解析は、管渠などの線状構造における地震時の検討手法である、「応答変位法」による解析とした。

また、プレキャスト製ため池底樋は、その断面形状が馬蹄形となっていることから、作用する土圧係数は、アーチカルバートを参考に 0.3 を採用することとした。

なお、試設計で想定するため池底樋管の規格は、土地改良事業設計指針「ため池整備」(平成 27 年 5 月)に記載される維持管理を考慮する最小径を参考に、底樋管の断面は $\phi 800$ を試設計断面に設定した。

表 3 検討ケース

CASE	堤体高さ (m)	底樋管 延長 (m)	堤体勾配	堤頂幅 (m)
- 1	5.0	15.43	1 : 1.5	3.0
- 2	10.0	42.30	1 : 2.1	4.0
- 3	15.0	82.23	1 : 3.0	5.0

また、設計方針の整理に際し、実状の設計事例を収集し以下の状況を確認した。

(3) 沈下量の算定

プレキャスト製ため池底樋に生じるたわみ量は、築堤時の即時沈下や圧密沈下の影響が大きく、共用時の増加たわみ量は、地震時の地盤変形に伴うたわみ量が支配的であるとする。

地盤の沈下量の算出は、「設計技術資料 柔構造底樋によるため池の改修」（平成 19 年 2 月 農村工学研究所）に示される検討方法により表 3 検討ケースの CASE-1 及び CASE-3 について沈下量を算出した。算出結果を、図 24 即時沈下量、図 25 圧密沈下量に示す。

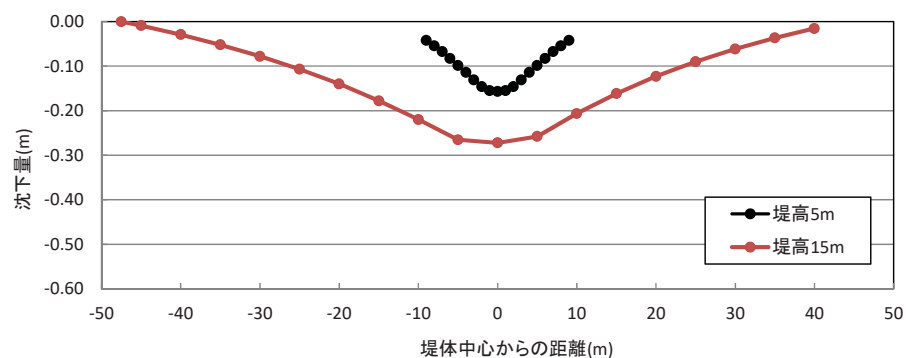


図 24 即時沈下量

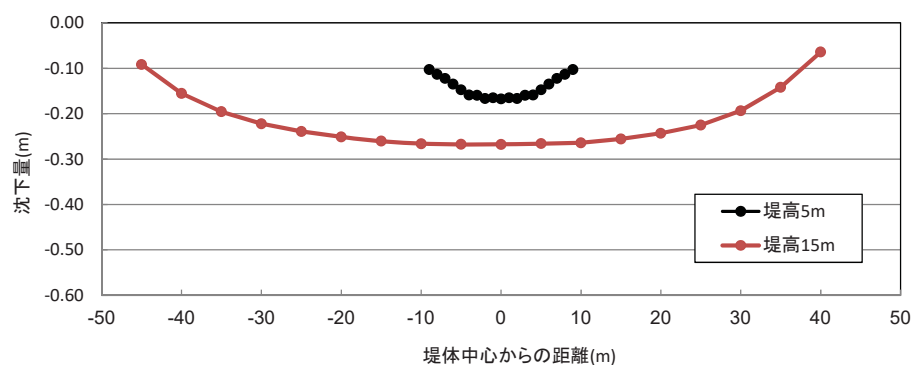


図 25 圧密沈下量

(4) 地震時の検討

地震時の検討は、土地改良事業設計指針『ため池整備』による「応答変位法」により検討するが、設計に用いる諸元値は、各指針により差異が生じている。その為、土地改良事業設計指針『ため池整備』で指示されている土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」（平成 21 年 3 月）、「下水道施設の耐震対策指針と解説」（公益社団法人 日本下水道協会 2014 年度）に基づき試設計を実施した。

検討した結果を、表 4 検討結果（パイプライン：Level. 2）、表 5 検討結果（下水道指針：Level. 2）に示す。

表 4 検討結果（パイプライン：Level. 2）

CACE	堤体幅 (B) (m)	振幅幅 (C) (mm)	屈曲 (mm) (屈曲角)	拔出量 (mm)	C/B	適用
- 1	18.0	25.44	0.82 (0° 2'19")	2.80	0.0014	鉛直
- 2	46.0	35.41	0.76 (0° 2'10")	2.99	0.0008	鉛直
- 3	57.5	47.40	0.66 (0° 1'52")	3.21	0.0008	鉛直

表 5 検討結果（下水道指針：Level. 2）

CACE	堤体幅 (B) (m)	振幅幅 (C) (mm)	屈曲 (mm) (屈曲角)	拔出量 (mm)	C/B	適用
- 1	18.0	64.28	2.43 (0° 6'52")	6.06	0.0036	鉛直
- 2	46.0	71.93	1.55 (0° 4'23")	5.12	0.0016	鉛直
- 3	57.5	75.84	1.05 (0° 2'59")	4.33	0.0013	鉛直

(5) 地盤応答解析

表 3 検討ケースの CASE-1 及び CASE-3 に関して、調査を実施した近傍のため池の設計事例を参考に図 26 堤体概要図及び表 6 地盤物性値に示す堤体概要条件を設定し、地盤の非線形性を考慮した地震応答解析を FLIP により実施した。

なお、解析に用いる入力地震動は、東海・東南海・南海地震動（図 28 入力地震動（東海・東南海・南海：52351025-NS））と、内陸直下型（図 29 入力地震動（内陸直下型：道路橋示方書地震動Ⅱ-I-1））のレベル 2 地震動とし、解析ではこれらの波形を解析モデル下面（基盤面）に直接入力した。検討結果を表 7 残留変位と残留ひずみ一覧（東海・東南海・南海）、表 8 残留変位と残留ひずみ一覧（直下型）に示す。

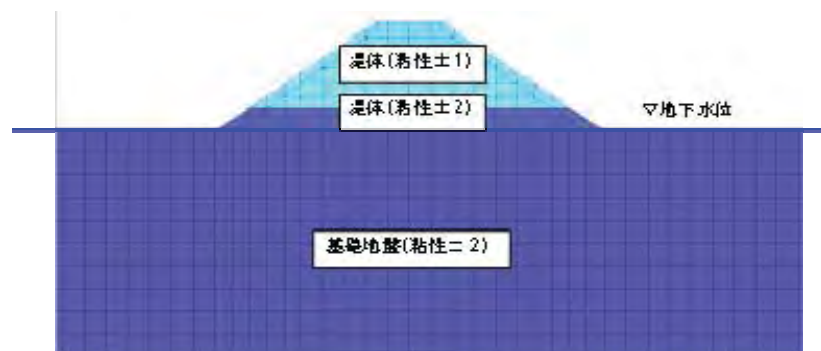


図 26 堤体概要図

表 6 地盤物性値

土 層		平均 N 値	単位体積重量 γ (kN/m ³)	粘着力 C (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (度)
堤 体	粘性土 1	2.5	17.5	10.4	25.4
	粘性土 2	3.0	17.1	13.0	14.6
基礎地盤	粘性土 2	3.0	17.1	13.0	14.6
基盤層	粘性土 3	59.5	18.0	372.0	0.0

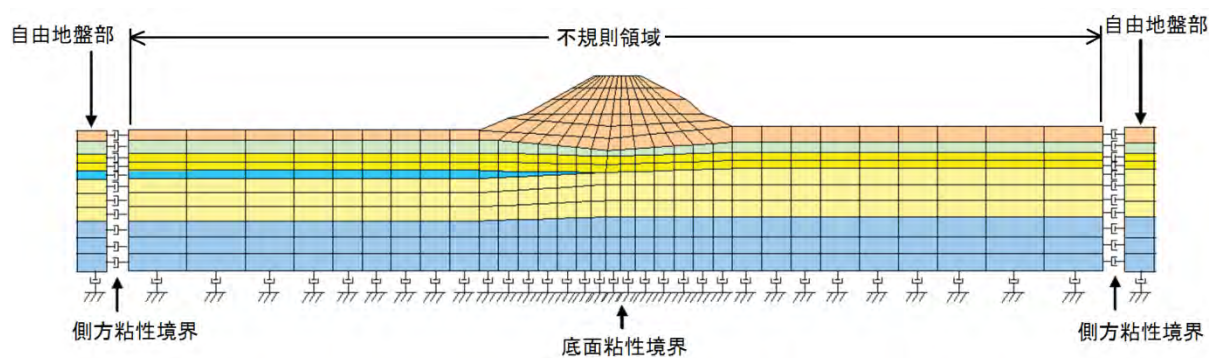


図 27 解析モデルのイメージ図（地震応答解析）

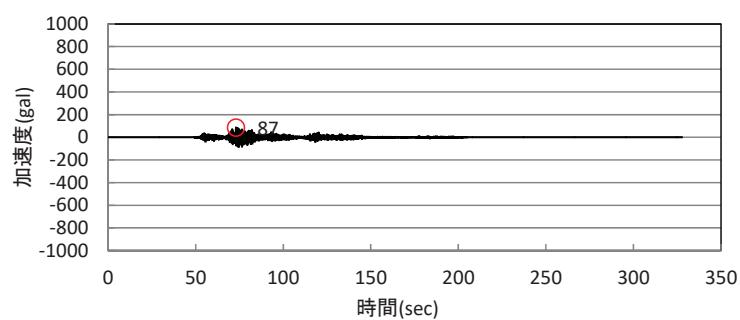


図 28 入力地震動（東海・東南海・南海：52351025-NS）

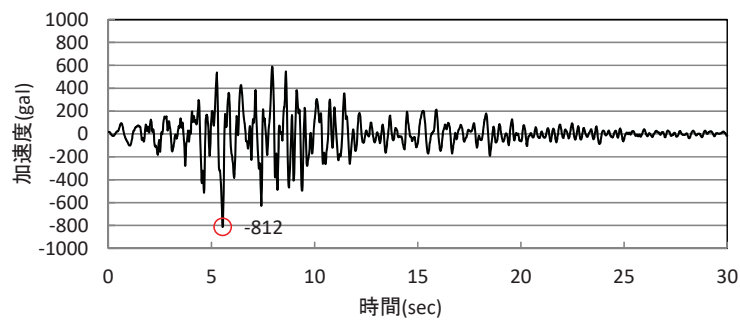


図 29 入力地震動（内陸直下型：道路橋示方書地震動Ⅱ-I-1）

表 7 残留変位と残留ひずみ一覧（東海・東南海・南海）

堤体高さ (H)	天端中央	堤体下面			
	沈下量 (m)	最大沈下量 (m) ①	最大隆起量 (m) ②	高低差(m) ①+②	水平最大 ひずみ(%) (平均)
CASE-1 5.0	0.04	0.02	0.01	0.03	0.69 (0.43)
CASER-3 15.0	0.19	0.08	0.13	0.21	1.66 (0.56)

表 8 残留変位と残留ひずみ一覧（直下型）

堤体高さ (H)	天端中央	堤体下面			
	沈下量 (m)	最大 沈下量(m) ①	最大 隆起量(m) ②	高低差(m) ① +②	水平最大 ひずみ(%)
CASE- 1 5.0	0.91	0.48	0.21	0.69	13.29 (8.43)
CASE- 3 15.0	1.86	0.49	0.59	1.08	9.51 (3.81)

(6) まとめ

① 地盤沈下の検討結果

「設計技術資料 柔構造底樋によるため池の改修」（平成 19 年 2 月 農村工学研究所）に示される検討方法準じ、堤体高さ 5.0m と 15.0m の状態における即時沈下量と圧密沈下量を算定した。算定の結果のまとめを、表 9 地盤沈下量の集計、図 30 即時沈下＋圧密沈下量に示す。

検討結果から、沈下曲線は 2 次曲線状の変形を示し、同一地盤条件では、即時沈下量と圧密沈下量は CASE-1、CASE-3 共に同量の値を示し、堤体高さの増加に伴い沈下量の増加が生じる事が確認された。

また、総沈下量と堤体幅の比は、CASE-1 では 0.018、CASE-3 では 0.0062 となり、地盤変位に伴う底樋管の継手部の屈曲角度は、CASE-1 が最も厳しい事が明らかとな

った。また、相対沈下量は、堤体高さ 5.0m では総沈下量の 0.53 倍、堤体高さ 15.0m では、0.82 倍となり、相対沈下量と堤体幅の比は、CASE-1 では 0.0095、CASE-3 では 0.0051 となる事が確認された。

表 9 地盤沈下量の集計

単位：m

堤体高さ (H)	堤体幅 (B)	即時沈下 (A)	圧密沈下 (B)	総沈下量 C=A+B	C/B (相対 C/B)
CASE-1 5.0	18.0	0.16	0.17	0.33	0.018 (0.0095)
CASE-3 15.0	87.5	0.27	0.27	0.54	0.0062 (0.0051)

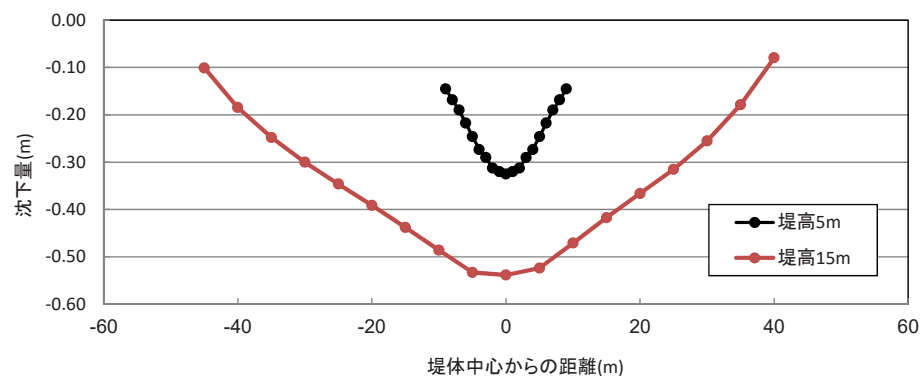


図 30 即時沈下＋圧密沈下量

② 地震時試設計の結果

地震時の試設計は、CASE-1～3 に対して、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」（平成 21 年 3 月）、「下水道施設の耐震対策指針と解説」（公益社団法人 日本下水道協会 2014 年度）に基づき試設計実施した。検討の結果以下の結果が得られた。

■ 振幅幅と継手変位量

レベル 2 地震動による振幅幅は、いずれの指針でも堤体高さが高くなるにつれ増加する事が確認された。また、規準の違いでは、「下水道施設の耐震設計指針と解説」による振幅幅は、「パイプライン」による値の 1.6～2.5 倍の値となり地盤変位量は「下水道施設の耐震設計指針と解説」が大きな値を示す事が確認された。

その理由は、指針の改定時期の差異から、「下水道施設の耐震設計指針と解説」は、東日本大震災以降に改訂がされ、安全率などの緒元が見直しされた事が理由に挙げられる。

上記の状況から、底樋管の継手に生じる変位状態は、「下水道施設の耐震設計

指針と解説」に基づく CASE-1 の状態で最も厳しい結果となり、屈曲量 2.43 mm ($0^{\circ} 6' 52''$)、拔出し量 6.06 mm (0.4% ひずみ) の継手性能が必要となる結果となった。

表 10 検討結果 (下水道指針 : Level. 2)

単位 : mm

堤体高さ (H)	堤体幅 (B)	屈曲量 (屈曲角)	拔出し量 (ひずみ)
CASE-1 5.0	18.0	2.43 ($0^{\circ} 6' 52''$)	6.06 (0.4%)
CASE-3 15.0	87.5	1.05 ($0^{\circ} 2' 59''$)	4.33 (0.2%)

③ 地震時の地盤応答解析の結果

地震時の地盤応答解析は、CASE-1 及び CASE-3 に対し、東海・東南海・南海地震動、内陸直下型のレベル 2 地震動を作用させ有限要素法により解析を行った結果、堤体直下では下方変位が生じ堤体側部では上方変位が生じる事が確認された。確認された変位は、東海・東南海・南海地震動、内陸直下型地震動共に、CASE-3 が最も大きい値を示す結果となったが、直下型地震動で生じる変位差は、東海・東南海・南海地震動で生じる地震動の 5.1 倍の値となる 1.08m の変異差が生じる事が確認された。直下型地震動での堤体天端の下方変位は、CASE-1 で 0.91m、CASE-3 で 1.86m の値となった。

一方、東海・東南海・南海地震動の堤体天端の下方変位では、CASE-1 で 0.04m、CASE-3 で 0.19m の値となり、直下型地震動では、堤体機能を保持していない状態が想定される結果となった。

以上から、底樋管に求める継手性能は、東海・東南海・南海地震動相当の範囲とする事が妥当であると判断し、その地盤変位の状態を表 11 地盤変位の状態 (東海・東南海・南海地震) に示す。

表 11 地盤変位の状態 (東海・東南海・南海地震)

単位 : m

堤体高さ (H)	堤体幅 (B)	下方変位 (A)	上方変位 (B)	総沈下量 C=A+B	C/B	水平ひずみ (%)
CASE-1 5.0	18.0	0.02	0.01	0.03	0.0017	0.43
CASE-3 15.0	87.5	0.08	0.13	0.21	0.0024	0.56

3) 静的試験

試験は、内高さ 0.60m、内幅 0.804m、内長さ 2.246m の土槽内の土槽底より 100 mm 上部の高さにプレキャスト製ため池底樋ブロック ($\phi 800$ 1/7.5 スケール) を埋設し、珪砂 ($\text{Dr}40$ $\gamma = 1.37\text{kN/m}^3$) を 480 mm の高さまで 100 mm 毎で積層充填する。

土槽上面には、土槽左右端で 200 mm、盛土天端で 400 mmの平坦面を有し、盛土勾配を 1 : 1.5 の台形盛土を土嚢により形成する。

ブロックの形式は、①継手のせん断拘束あり、②継手のせん断拘束なしの 2 ケースとし、各々、鉛直方向の地盤変位は、正弦曲線状の地盤変位量を最大 50 mmとして漸増させる。

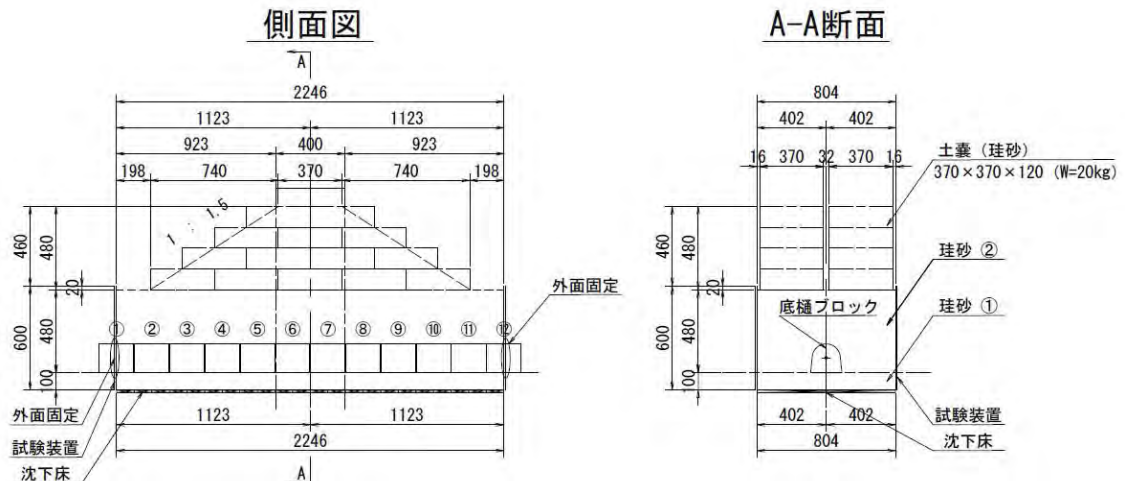


図 31 試験概要図

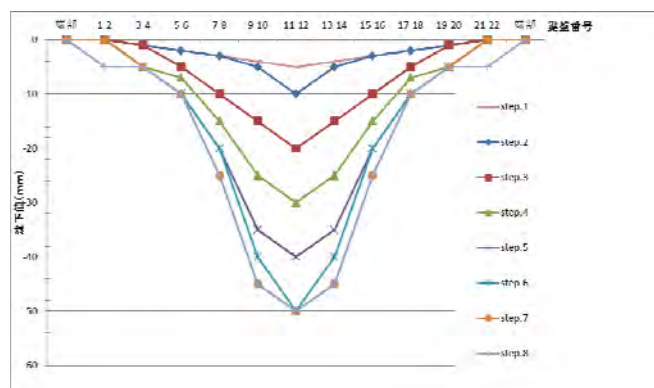


図 32 沈下状態図

本試験結果から、図 33 底樋ブロックの沈下比較図、34 継手部のせん断ずれ図から地盤の沈下に伴うプレキャストため池底樋ブロックは、沈下曲線の変曲点部では、せん断変形に伴う継手部のずれが生じる事が明らかとなった。せん断拘束を有する継手構造は、地盤変形に対するブロック継手部のずれに対し有効であると判断される。一方で、せん断拘束を有しない継手構造は、変曲点部のせん断変形が顕著となるとともに、不均等な変形が生じるとともにその変形量にも大きく差異が生じる事が確認された。その為、耐震性継手構造は、せん断拘束を有する継手構造とする必要がある。

また、変形状態は、正弦曲線状の変形となり変曲点スパンは、中央部ブロック 3 本分の範囲である事が確認された。

ブロックの沈降状態では、沈床板の最大沈下量 50 mm に対し、ブロックの最大沈下量

は 55 mm となり、沈下量の 10% 増の変位が確認された。その要因は、土槽側面での摩擦により側面土が滞留し、充填砂の圧密度が Dr40 であったことから、ブロック下面土の側方流動が生じたものと推察する。

表 12 屈曲角(せん断拘束有り)

単位:°

底樋ブロック	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12
Step1	-0.01	-0.05	-0.14	-0.11	0.12	0.71	-0.11	0.29	0.08	-0.01	-0.21
Step2	-0.01	-0.04	-0.14	-0.32	-0.19	1.79	-0.44	0.29	0.06	-0.01	-0.21
Step3	-0.03	-0.61	-0.85	-0.05	0.33	2.85	0.00	0.59	-0.06	-0.51	-0.28
Step4	-0.43	0.14	-1.38	-1.39	1.38	4.36	0.60	0.01	-0.53	0.36	-0.85
Step5	-0.53	-0.26	-2.21	-1.72	2.17	5.60	1.07	0.07	-0.73	-0.01	-0.96
Step6	-0.53	-0.26	-2.25	-3.27	3.29	6.79	1.58	-0.68	-0.84	-0.02	-0.97
Step7	-0.51	-0.83	-2.88	-1.63	3.69	6.14	2.89	-0.82	-1.63	-0.24	-0.98
Step8	-0.04	-0.86	-3.00	-1.53	3.68	6.02	2.87	-0.60	-1.89	-0.09	-0.10

※ブロック底版側が開く状態を正とし、ブロック天端側が開く状態を負とする。

表 13 屈曲角(せん断拘束無し)

単位:°

底樋ブロック	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12
Step1	-0.34	-0.20	-0.47	-0.01	-0.29	0.16	-0.31	0.50	0.46	0.03	0.00
Step2	-0.34	-0.21	-0.51	-0.23	-0.57	1.09	-0.38	0.40	0.47	0.02	0.00
Step3	-0.39	-0.86	-1.46	-0.03	-0.14	0.92	0.43	0.87	0.56	-0.49	-0.07
Step4	-1.37	-0.11	-2.07	-0.90	-0.43	2.18	1.89	0.64	-0.08	0.58	-0.53
Step5	-1.45	-0.69	-2.39	-1.37	-0.06	2.57	3.23	0.45	-0.07	0.34	-0.66
Step6	-1.44	-0.69	-2.43	-2.50	0.14	3.16	4.08	-0.08	-0.10	0.32	-0.68
Step7	-1.40	-1.16	-3.67	-3.36	2.40	5.37	4.06	-0.51	-1.13	0.03	-0.68
Step8	-0.54	-1.47	-3.71	-3.30	2.44	5.23	4.07	-0.40	-1.67	0.71	0.67

※ブロック底版側が開く状態を正とし、ブロック天端側が開く状態を負とする。



写真7 ブロック設置状況



写真8 土嚢設置状況

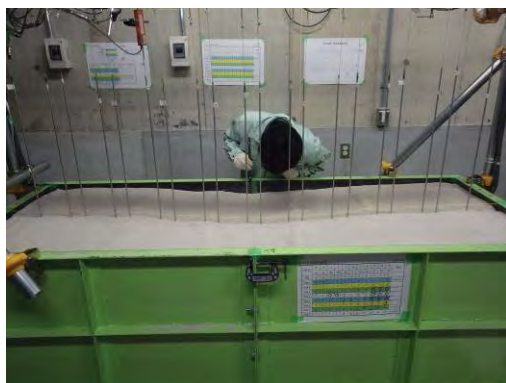


写真 9 沈床完了後

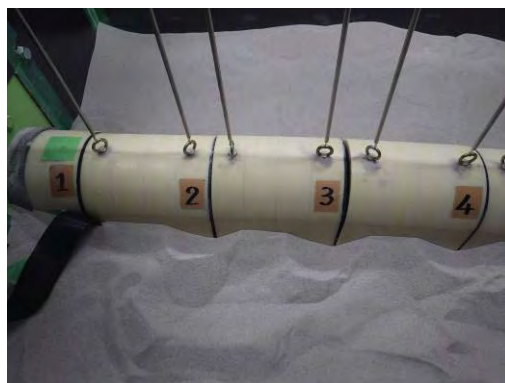
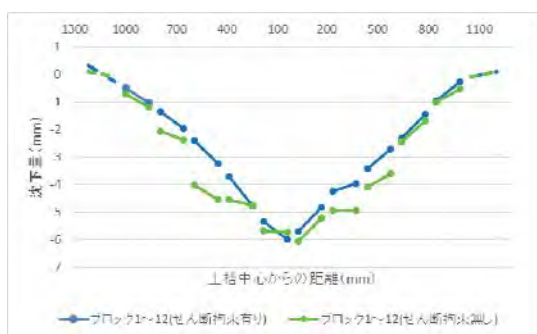
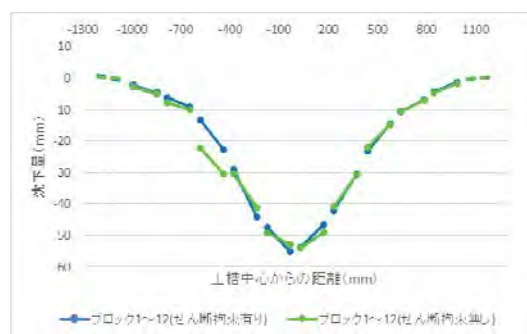


写真 10 埋設ブロック変位状況

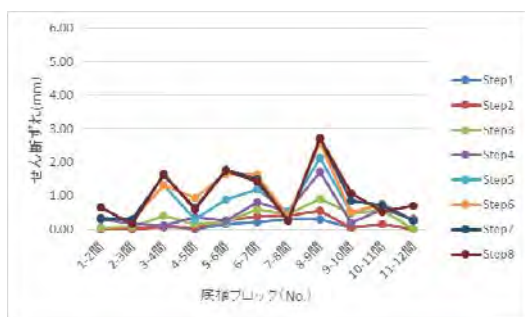


【Step1】

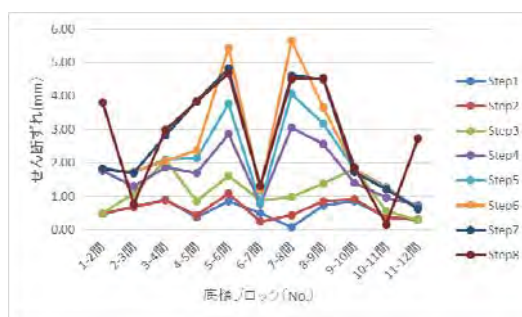


【Step7】

図 33 底樋ブロックの沈下比較図



【せん断拘束有り】



【せん断拘束なし】

図 34 継手部のせん断ずれ図

4) 要求性能の設定

従来のため池底樋管の設計は、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計『パイプライン』（平成 21 年 3 月）に準拠して設計され、レベル 2 地震動を考慮する場合、重要度 A 区分とし、耐震性能の定義がされている。（表 14 耐震性能の定義）

表 14 耐震性能の定義

耐震性能	定義（損傷度）
健全性を損なわない	設計通水能力を維持できること （設計水圧によって計画最大流用が流せる）
致命的な損傷を防止する	圧力管路を維持できること （静水圧で漏水を生じない）

（土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計『パイプライン』引用）

設計計算・解析結果から、屈曲状態については、堤体高さが低い状態となる検討 CASE-1 の状態が、継手部性能に最も厳しい状態となる事が確認された。

また、静的試験は、正弦曲線状の変形状態を再現し、2次曲線状の沈下状態（即時沈下＋圧密沈下）と地震時地盤変位量の和に相当する沈下量の想定は、下式による沈下量となり、中央部3ブロックの相対沈下量が 6.7 mmに相当するケースは Step 2 が該当する。以上から、継手の標準部に要する性能は、表 15 結果のまとめ（標準部）に基づき決定する。

$$\begin{aligned}
 \text{想定沈下量} &= 3 \times \text{ブロック長さ} \times (C/B) \\
 &= 3 \times 200 \text{ mm} \times 0.0112 \\
 &= 6.72 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

即時沈下量と圧密沈下量及び地震時の残留変位量の和となる最終状態での相対沈下量と堤体幅の比 0.0112 に相当する堤体幅 18mでの 2次曲線の曲線式を推定すると下記の式 ①となる。

$$y = 0.002489 \cdot x^2 - 0.2016 \quad \dots \text{式①}$$

ここで、ブロック長さを 1.500m とした場合、 $y = -0.1960\text{m}$ となり、屈曲角（ ϕ ）は、

$$\begin{aligned}
 \phi &= \text{ATAN} \left((0.2016 - 0.1960) / 1.500 \times 2 \right) \\
 &= 0.4278^\circ \quad (0^\circ 25' 40'')
 \end{aligned}$$

以上より、検討する継手構造は、地盤変形に伴い継手のズレを許容しない構造とし、継手の標準部に要する屈曲性能は、 0.500° （ $0^\circ 30' 00''$ ）とし、拔出し性能は、地盤解析ならびに耐震設計結果から、0.45%とする。

一方、現地調査結果から止水壁近傍では、底樋管の変位が拘束され継手部の変形が集中し、損傷や漏水の発生要因となっている事が確認された。その為、部材が拘束される箇所での継手性能は、堤体機能を損なう要因となる事も予測される。拘束部を有する底樋管の変形は、正弦曲線状の変形が予測される事から、静的試験のケースは Step2 の最大屈曲角となる 1.7884° （ $1^\circ 47' 18''$ ）（表 12 屈曲角（せん断拘束有り）から $1^\circ 50'$ （ 1.833° ）を要求性能とし、拔出し量は、標準部（0.45%）の 1.3 倍の 0.59%に設定する。

以上から、本事業で想定する継手部の要求性能として、屈曲、抜け出し及び止水性能を要求性能項目とし、表 16 要求性能に設定する。