

研究成果報告書

研究開発課題名	ため池の簡易耐震性能照査技術の開発
研究総括者	NTCコンサルタンツ株式会社 水土事業部 技術部 参事 立石 卓彦
研究開発組合	NTCコンサルタンツ株式会社 日本工営株式会社 内外エンジニアリング株式会社 株式会社三祐コンサルタンツ
試験研究機関	独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所

1 事業の実施内容

1. 1 事業の背景及び目的

(1) 事業の背景

1) ため池の耐震設計に関する課題

2011 年の東日本太平洋沖地震は、複数の活断層の連動による長時間の震動を広域にもたらした。同様な地震動は東海・東南海・南海地震にも想定され、農村地域の基幹的な施設群の広域激甚災害に対する安全性を照査し、地域の減災を進めることが重要であると考えられる。特に、農業用のため池は農村地域に大きな影響をもたらす極めて重要な施設であるが、耐震設計が整備される以前に設計・築造されたものも多い。盛土やため池の貯水構造物は、日本海中部地震から 30 年間の 6 回の大規模地震でも甚大な損傷と被害が発生しており、これらの基幹的な水利施設の耐震性を確認し適切な対策を講じることが早急の課題となっている。

ため池の耐震設計では、震度法に基づく簡易な評価手法から堤体の破壊を考慮した弾塑性応答解析まで様々な手法が開発されているが、それらの適用限界や解析結果の定量的な評価を与える指標整備が十分でない。このことが、レベル 1 地震動やレベル 2 地震動に対するため池の具体的な耐震性評価の実施に大きな障害となっており、耐震対策の必要性和その効果について議論ができない主な原因となっている。

(2) 事業の目的

本研究開発事業では、老朽ため池の簡易な耐震性能照査技術の開発を目的として、老朽度に応じたため池の地震時挙動の解明や多様な堤体材料のため池の挙動特性を震動実験によって詳細に解明し、老朽ため池の標準的な地震時挙動を表すコントロールモデルを整備する。このコントロールモデルを検証対象として、準静的解析手法（震度法など）による照査技術の適用性の検証を進め、地震動の規模や堤体材料の特性を適切に反映することのできる技術として高度化を図る。また、実際のため池を対象とした適用性の検証を実施して、経済的で簡易に実施することのできる耐震性能照査技術を確立する。

1. 2 事業の内容及び実施方法

(1) ため池の簡易耐震性能照査技術の研究開発

①ため池の震動実験等によるコントロールモデルの構築

老朽ため池の地震時挙動を予測しその安全性を照査する場合に、第1に老朽度に応じた堤体の地震時の基本的な挙動を正確に整理し類型化することが重要である。堤体の安全性を考える上で最も重要な指標である、堤体の変形や亀裂の発生などの局所的な損傷と堤体全体の変形に注目した分析を実施することが課題となる。さらに、震動実験では堤体天端や内部の加速度応答と上記の指標との関連性を厳密に検証し、分析する必要がある。このため、堤体築堤直後の貯水前を基本モデルとして、満水時のモデルや水位急降下によって堤体中腹部に貯水位がある場合を比較検証モデルとする。堤体構造は、最も基本的な挙動を検証する事を目的として均一型堤体を基本モデルとする。その他、傾斜遮水層型や中心コア型の堤体なども検討対象として、解析検証用のコントロールモデルを確定し、それぞれのモデルの震動実験を実施する。実験の再現性やスケール効果についても検討することがデータの信頼性を保証するので、1 G場の震動実験や遠心場での震動実験を実施する。

②簡易耐震性能照査手法の開発等

フィルダム等の地震時挙動を予測する手法は、いくつかの動的応答解析手法が提案されている。堤体材料の特性を線型として地震時応答を求める手法や堤体材料の破壊を考慮した高度な応答解析などが、地震時挙動の解明に使用される場合がある。しかしながら、これらの高度な解析手法は、堤体諸元の詳細な情報が不可欠であり、多くの調査と土質試験を要求するため、膨大な数のため池の耐震性評価に適用するには、実施期間や経済性の観点から最も効果的な検証システムとは考えにくい。

一方で中小規模の既設ため池に限定しても、その老朽度に応じた耐震性能を照査する準静的な解析手法については、定量的な適用限界等が明確にされておらず、不用意にため池の耐震設計に用いられる場合がある。このため、本事業ではため池整備指針等に記載されている静的、準静的な解析手法の特徴を整理し、これまでの研究成果や解析事例をもとにその適用範囲などを概略分類する。さらに、その予測能力を定量的に明らかにするために比較対象となるコントロールモデルとの整合性についても検討する。

③コントロールモデルとの比較による簡易耐震性能照査手法の検証

老朽ため池の地震時挙動解析手法の予測能力を検証する。対象とする解析手法は静的及び準静的手法（ニューマーク法系）の他に大規模地震動に対応できる複数の動的応答解析手法（既往の解析コード）である。本研究では地震中の強度低下を考慮できる準静的な簡易耐震性能照査手法として、当初は鳥居・沖村・豊福ら（2005）により提案された、過剰間隙水圧の上昇と強度低下を考慮したニューマーク系手法を想定していた。しかし、この簡易法は宅地造成などへの適用にとどまり、堤体形状や水位条件等が異なる老朽ため池などの貯水施設への適用に対して不確定な要因が残っていた。そのような状況で事業を実施していく過程で、H23年3月11日の東北地方・太平洋沖地震で決壊した福島県藤沼ダム

の原因究明や新規ダムの耐震性能照査に適用され、妥当な成果を得ていたニューマーク D 法（詳細法：動的応答解析+強度低下を考慮した塑性すべり解析）の存在が明らかになった。

そこで、本研究においてもこのニューマーク D 法（詳細法）の採用に切り替え、この手法を基本とした簡易耐震性能照査手法、つまりニューマーク D 法（簡易法：動的応答解析が不要な準静的解析）の開発を目指すことになった。ただ、この簡易法の検証にはニューマーク D 法（詳細法）による検証が不可欠であり、さらに、堤体材料の強度低下パラメータを設定するために、非排水条件における「繰り返し載荷+単調載荷」試験を新たに実施する必要性が生じた。以上の経過により、H25 年度はニューマーク D 法（詳細法）による検証と「繰り返し載荷+単調載荷」試験を実施する方針となった。

一連の解析手法の検証では、震動実験や遠心場震動実験によって整備した老朽ため池の基本挙動を示すコントロールモデルを比較対象として、堤体材料の土質パラメータを用いた解析を実施して、解析結果と実験結果の精度や課題を整理する。比較検討するコントロールモデルは、最も基本となる築堤完了直後、すなわち不飽和状態の堤材をベースとして、満水状態や水位急降下時の状態を検証モデルとする。精度および有効性の検証には、堤体の変形挙動や加速度応答、間隙水圧応答などの複数の項目の挙動を総合的に比較することによって、解析手法に内在する課題や特徴を整理する。

④実ため池の地震時挙動と簡易耐震性能照査手法の検証

実際のため池で損傷した事例を収集整理し、簡易耐震性能照査手法を適用できる対象を抽出する。東北地方太平洋沖地震などで大きな被害を記録したため池等も検討対象として、地震記録や堤体材料の特性を収集する。抽出されたため池については、コントロールモデルで予測能力の検証を実施した簡易耐震性能照査手法を用いて、堤体の安全性や損傷規模を明らかにしその予測能力と課題を整理する。必要に応じて土質試験も実施して、必要なパラメータを準備する。

⑤多様な耐震性能照査手法の性能検証システムの確立

老朽ため池の老朽度に応じた地震時挙動は、明らかになっておらず全体の解析を実施してその結果から安全性に関する問題点を抽出し、詳細解析を追加して総合評価していた。本課題では、これらの検証スキームの効率化を図るために、老朽ため池の老朽度に応じた基本的な特徴を再現するコントロールモデルを構築し、次にこの高精度の震動実験によって得られたコントロールモデルを比較対象として、耐震性能照査手法の予測能力の検証と有効性などの特性を明らかにする「照査検証システム」の手順を確立する。このことによって、老朽ため池の地震時挙動の基本的な挙動を具体的な実験結果を元に確認することができ、その結果得られる状況に応じたウィークポイントに注目した耐震性能照査を実施することで、迅速・簡易にかつ統一的で整合性が取れた耐震性能評価が可能となる。

(2) 実証試験

本研究では実証試験の実施はなし。

[実証試験を実施しなかった理由]

候補に予定していた損傷ため池では、管轄の自治体において復旧が最優先されたため、一定期間、被災状態を維持して詳細な調査、試験を実施することは困難であった。

また、災害査定時の調査結果を収集、整理した結果、堤体材料及び基礎地盤の基本的な物理特性、力学特性は明らかとなっており、本研究で行う簡易耐震性能照査手法による検証に十分なデータは得られていることが明らかとなった。

(3) 機能監視

本研究では機能監視の実施はなし。

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
老朽ため池の耐震性能評価手法の適用性を定量的に検証するためには、その比較対象となる信頼性の高いため池モデルの震動実験結果を整備することが重要	左記の問題点に対し、以下の2種類の震動実験を実施し、ため池の耐震解析手法の適用性検証のためのコントロールモデルを構築。 ①1G 場実験 実物より小型であるが堤体全体の挙動の詳細を計測できる ②60G 場（遠心場）模型実験 60G 場（遠心場）により実物に近い寸法の再現が可能
老朽ため池の地震時挙動と安全性を照査するための耐震診断技術の適用性を検証して、合理的で正確な評価と診断のためのシステムを構築することが重要	既往の動的解析手法に加え、ため池の地震時挙動の特徴である地震動による強度低下を考慮できる新しい準静的解析手法を用いて、コントロールモデルの条件を模擬した解析を行い、その適用性について比較検討。 その結果をもとに、合理的で正確な評価と診断のための考え方とフロー（システム）を構築。

1. 4 事業の実施体制

(1) 研究開発組合内の役割分担

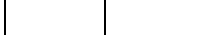
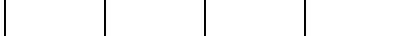
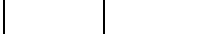
研究項目		開 発 研 究 組 合			
		NTC コ ンサル タンツ (株)	内 外 エ ン ジ ニ ア リ ン グ(株)	日 本 工 営(株)	(株)三祐 コ ン サ ル タ ン ツ
経費分担 (%)		2 5	2 5	2 5	2 5
①ため池の震動 実験等によるコ ントロールモデ ルの構築	1.ため池の特徴的条件の整理（貯 水状態、基礎など）	○	○	○	◎
	2.地震時挙動から見たため池の 堤体構造の分類	○	○	◎	○
	3.コントロールモデルの震動実 験(1G 場震動実験、遠心場震動実 験)	○	○	◎	○
②簡易耐震性能 照査手法の開 発等	1.塑性すべりに対する準静的解 析手法（主）	◎	○	○	○
	2.揺すり込み沈下計算手法の検 討（副）				
③コントロール モデルとの比較 による簡易耐震 性能照査手法の 検証	1.コントロールモデルの挙動分 析と整理	○	○	○	○
	2.簡易耐震性能照査手法による 挙動予測とその評価 ・準静的解析手法（ニューマーク D 法（簡易法）） ・複数の動的応答解析手法（ニュー マーク D 法（詳細法）を含む）	◎	◎	○	○
	3.照査手法の感度・予測能力、信 頼性の検証と確認	◎	○	○	○
④実ため池の地 震時挙動と簡易 耐震性能照査手 法の検証	1.実ため池の地震時挙動の分析 と整理（代表的ため池の抽出）	○	○	○	○
	2.簡易耐震性能照査手法による 地震時挙動予測とその評価	○	○	○	◎
⑤多様な耐震性 能照査手法の性 能検証システム の確立	1.想定地震動に応じたコントロ ールモデルの提示	○	◎	○	○
	2.実ため池の状況に応じた検証 モデル（コントロールモデル） の選択	◎	○	○	○

(2) 試験研究機関と研究開発組合の役割分担

研究項目		農 村 工 学 研 究 所	開 発 研 究 組 合			
			NTC コ ンサル タンツ (株)	内 外 エ ン ジ ニ ア リ ン グ (株)	日 本 工 営 (株)	(株) 三 祐 コ ン サル タ ン ツ
経費分担 (%)			25	25	25	25
①ため池の震 動実験等によるコント ロールモデルの構築	1.ため池の特徴的条件の整理(貯 水状態、基礎など)	○	○	○	○	◎
	2.地震時挙動から見たため池の 堤体構造の分類	○	○	○	◎	○
	3.コントロールモデルの震動実 験(1G 場震動実験、遠心場震動実 験)	◎	○	○	◎	○
②簡易耐震性 能照査手法 の開発等	1.塑性すべりに対する準静的解 析手法(主)	◎	○	○	○	○
	2.揺すり込み沈下計算手法の検 討(副)					
③コントロール モデルと の比較による簡易耐震 性能照査手 法の検証	1.コントロールモデルの挙動分 析と整理	◎	○	○	○	○
	2.簡易耐震性能照査手法による 挙動予測とその評価 ・準静的解析手法(ニューマー ク D 法(簡易法)) ・複数の動的応答解析手法(ニ ューマーク D 法(詳細法)を 含む)	○	◎	◎	○	○
	3.照査手法の感度・予測能力、信 頼性の検証と確認	○	◎	○	○	○
④実ため池の 地震時挙動 と簡易耐震 性能照査手 法の検証	1.実ため池の地震時挙動の分析 と整理(代表的ため池の抽出)	◎	○	○	○	○
	2.簡易耐震性能照査手法による 地震時挙動予測とその評価	○	○	○	○	◎
⑤多様な耐震 性能照査手 法の性能検 証システム の確立	1.想定地震動に応じたコントロ ールモデルの提示	◎	○	◎	○	○
	2.実ため池の状況に応じた検証 モデル(コントロールモデル) の選択	◎	◎	○	○	○

1. 5 事業の年度計画と実績

表-1 本事業における年度計画

研究項目	研究内容	平成 24 年度		平成 25 年度		平成 26 年度	
		上期	下期	上期	下期	上期	下期
①ため池の震動実験等によるコントロールモデルの構築	1.ため池の特徴的条件の整理（貯水状態、基礎など） 2.地震時挙動から見たため池の堤体構造の分類 3.コントロールモデルの震動実験（繰り返し載荷＋単調載荷試験、1G 場震動実験、遠心場震動実験）（（1G 場震動実験、遠心場震動実験））		 				
②簡易耐震性能照査手法の開発等	1.塑性すべりに対する準静的解析手法（主） 2.揺すり込み沈下計算手法の検討（副）		 		 		
③コントロールモデルとの比較による簡易耐震性能照査手法の検証	1.コントロールモデルの挙動分析と整理 2.簡易耐震性能照査手法による挙動予測とその評価 ・準静的解析手法（ニューマーク D 法（簡易法）） ・複数の動的応答解析手法（ニューマーク D 法（詳細法）を含む） 3.照査手法の感度・予測能力、信頼性の検証と確認				 		
④実ため池の地震時挙動と簡易耐震性能照査手法の検証	1.実ため池の地震時挙動の分析と整理 2.簡易耐震性能照査手法による地震時挙動予測とその評価		 		 		
⑤多様な耐震性能照査手法の性能検証システムの確立	1.想定地震動に応じたコントロールモデルの提示 2.実ため池の状況に応じた検証モデル（コントロールモデル）の選択					 	

注)  は計画、 は実績。

1. 6 研究開発の概要、結果、課題等

1. 6. 1 ①ため池の震動実験等によるコントロールモデルの構築

1. 6. 1. 1 ため池の特徴的条件の整理（貯水状態、基礎など）

日本におけるため池の状況と特徴的条件について、下記の文献をもとに整理した。

・谷茂、堀俊和：日本におけるため池を含めた農業用フィルダムの地震災害に関する研究、農工報、37、pp.51-902.

・内田和子：日本のため池 防災と環境保全、海青社、2003.

1) 形式

ため池の諸元型式ではアースフィルダムが最も多い（ため池地区数で全体の 76%）。

2) 築造年代

ため池の築造年代はため池地区総数の 45%が不明であるが、残り分で見ると、近世以前（ため池地区数：26%）と明治期（ため池地区数：15%、実受益面積：9 %）が多い。昭和 40 年代のものは地区数では少数ながら、受益面積では最大であって（ため池地区数：2%、実受益面積：26%）、近年のため池の大規模化が推測される。

3) 堤高

堤高の区分では、5～10m のものがため池地区数でも受益面積でも最も多く、ため池地区数では 5m 未満の 41%が、受益面積では 30m 以上の 28%がそれに次いでいる。

4) 有効貯水量

有効貯水量に関しては、ため池地区数では 5 千 m³ 未満が 39%と最も多く、1 万 m³ 未満を含めると全体の 59%に該当する。しかし、実受益面積では 10～100m³ が 21%と最大であるように、比較的大規模なため池の果たす役割が大きい。

5) 地質

兵庫県における主要ため池が立地する地点の地質を分類すると、沖積層が全体の 46%と最も多く、後述するように、兵庫県南部地震における被害件数も最も多い。

1. 6. 1. 2 地震時挙動から見たため池の堤体構造の分類

以下の文献をもとに、ため池の堤体構造または各種要因と地震挙動（被害）の関係について整理し、とりまとめた（表-1.6.1.2.1）。

- ・谷茂、堀俊和：日本におけるため池を含めた農業用フィルダムの地震災害に関する研究、農工報、37、pp.51-902.1998.

表-1.6.1.2.1 ため池の堤体構造（要因）と被害の関係 上記文献より

堤体構造/要因	整理、分析結果
■堤高	[十勝沖、宮城沖、日本海中部、男鹿、新潟地震] ・全体的にみて堤高 30m 以下は、おおむね堤高が大きくなるにつれて、被害率も大きい関係がある。堤高が 30m を超えると被害は発生していない。 ・決壊は 5～10m のものが大部分。10m 以上で決壊したのは十勝地震時の早掛ダム（堤高 12.0m）。
■堤頂長 ■形状係数 （堤頂長/堤高）	[十勝沖、日本海中部地震] ・堤頂長と被害の関係は特に見られない。 ・形状係数が 5 を超えると、被害率はほぼ同じになるのに対し、5 以下では被害率は小さくなり、特に 2.5 以下では被害は発生していない。（アバットメントの拘束効果と考えられる。）
■堤体土	[日本海中部地震] ・被害数では粘性土、砂礫質粘土が約 80%と砂質土に比べて多い。 ・全ため池に対する被害率は、<u>砂質土が約 20%となり</u>、粘性土、砂礫質粘土に比べ倍近い値を示す。 ・被害ため池は粗粒土の多い傾向があり、特に被害の大きかったため池は大部分が粗粒土に入る。 ・平均粒径（D50）が、液状化の可能性のある D50 の範囲（$0.02 \leq D50 \leq 2\text{mm}$）にあると、被害の割合が大きい。
■築造年代	[日本海中部地震] ・築造後 10 年位までのものの被害率が大きい。このうち、過去 3 年以内に築造されたものの被害率が特に高い。（築造後の自然圧密による堤体の安定性の向上が考えられる） [男鹿、新潟、十勝沖、宮城県沖地震] ・上記と同様、築造後 10 年位までのものの被害率が大きい。 *なお、築造年代が新しくて被害を受けたのは、設計基準が適用されていない、小規模なため池に限られている
■貯水率	[日本海中部地震] [男鹿、新潟、宮城県沖、日本海中部地震] ・地震時の水位と被害率の関係は地震によって傾向が異なり、一定の傾向はみられない。 ・日本海中部地震の決壊事例 10 箇所についてだけ見ると、その 70%のため池の貯水率が 0.75 以上であり、<u>貯水率の高いものが大きな被害に結びつきやすい</u>。
■その他	[日本海中部地震] ・過去のグラウトによる改修を行ったため池で、グラウトした近傍にクラックが発生

1. 6. 1. 3 コントロールモデルの震動実験

I 震動実験（1G 震動台実験および 60G 場（遠心場）実験）の全体計画

上記に示した既往実験条件を踏まえた、本研究における震動実験の計画を以下に示す。

（1）基本方針

- 以下の 2 種類の震動実験を実施し、ため池の耐震解析手法の適用性検証のためのコントロールモデルを構築。

①1G 場実験

実物より小型であるが堤体全体の挙動の詳細を計測できる

②60G 場（遠心場）模型実験

60G 場（遠心場）により実物に近い寸法の再現が可能

- 模型の構造は、堤体の最も基本的な挙動を均一型堤体を対象とし、築堤直後の貯水前及び満水位時を想定した基本モデルを構築。なお、ゾーン型の模型については、遮水ゾーンとランダムゾーンの材料特性の組合せケースが膨大であり、限られたケースで一般的な条件を設定することが難しいこと、また、模型の構造が複雑となり、貯水条件における精度確保が難しいことから、本研究の実施対象外とした。
- 模型作成の材料は、亀裂の発生、スベリ面の観察に対し、また、模型作成においても、水分管理、含水比や密度の均一化に対し、細粒分を含まず、粒径が均一な砂（けい砂）を対象とした。また、前述のように、堤体土の被害率は、砂質土で多いことから、砂による模型の挙動を明らかにすることが適切と考えた。
- 水位条件として、貯水前(非湛水)と満水時（湛水）の 2 ケースを想定した。
- 東北地方太平洋沖地震で決壊したため池においては、その決壊要因として、締固めの不足したゆるい堤体材料が、長時間の地震動を受け、強度低下を起こしたことが挙げられている。そのため、本研究では、堤体材料の密度の違いによる挙動に着目することとし、密度の異なる 2 種類のケース（揺る詰め、密詰め）を設定し、実験を行った。
- 以上より、実験ケースとして、以下の 6 ケースを設定した。

表-1. 6. 1. 3. 1 震動実験のケース一覧

1G場	実物より小型だが、多数の計器によるダム全体の詳細な挙動の計測	
ケース名		
1G-01-D-L	非湛水	ゆる詰め
1G-02-S-L	湛水	

60G場（遠心場）	実物のダムに近い寸法（拘束場）の挙動を計測	
ケース名		
60G-01-D-L	非湛水	ゆる詰め
60G-02-D-D		密詰め
60G-03-S-L	湛水	ゆる詰め
60G-04-S-D		密詰め

(2) 各実験の詳細

① 1G 場実験：

- ・ 実物より小型であるがダム全体の詳細を計測できるメリットがあるため、数値解析の妥当性を検討するための基本実験とする。
- ・ 計測センサーは加速度計、間隙水圧計を用い、ダム高さ方向に複数の計器を配置し、応答加速度や発生過剰間隙水圧等を計測する。
- ・ 震動によるダムの全体変形を画像解析により計測するために、ダム断面に全体変形を観察できるようなアクリル板等を用いた土槽を用いる。

② 60G 場（遠心場）模型実験：

- ・ 60G 場（遠心場）場での実験は実物のダムに近い寸法の再現が可能であるため、実物の破壊・変形挙動を把握することにより、数値解析の精度を向上させることを目的とする。
- ・ 60G 場（遠心場）模型実験の計測項目は加速度計、間隙水圧計、ダム全体の変形挙動（画像解析）等とする。
- ・ 入力加振レベルはレベル 1 地震とレベル 2 地震相当の加速度とする。

II. 1G 場震動実験

(1) 基本方針

震動実験は、耐震性能照査手法が有すべき老朽ため池の特徴的な挙動を再現するもので、ため池の動的挙動照査手法の検証用のコントロールモデルとして活用する。

実験結果より、堤体の安全性を考える上で最も重要な指標である、堤体の変形や亀裂の発生などの局所的な損傷と堤体全体の変形と、堤体天端や内部の加速度応答との関連性を厳密に検証し、分析する必要がある。このため、堤体構造は、最も基本的な挙動を検証する事を目的として、均一型堤体の貯水前及び貯水後を基本モデルとする（それぞれ Case1G-01-D-L、Case1G-02-S-L）。

実験仕様、模型概要及び計器の配置図を図-1.6.1.4.1 に示す。

(2) Case1G-01-D-L の概要

＜実験仕様＞【Case1G-01-D-L Dr=65.2%】 2013/10/29 実施

60G 場（遠心場）加速度：1G 入力加振：50gal, 100gal, 300gal, 500gal, 600gal

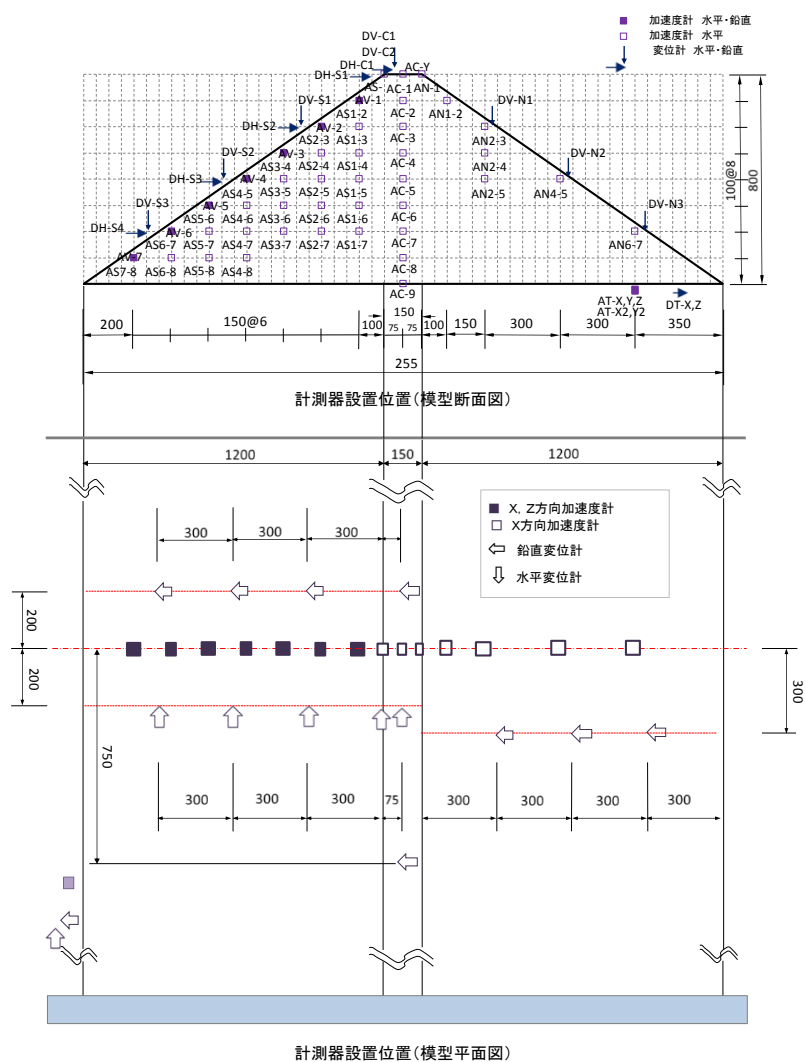


図-1.6.1.4.1 模型概要と計器の配置

<入力地震波>

入力波は、図-1.6.1.4.2 に示すような、10Hz の正弦波である。入力波の目標最大加速度を 50, 100, 300, 500, 600(cm/s²) の 5 種類に設定し、スベリの発生が目視で確認されるまで、入力波を順次大きくして加振した。

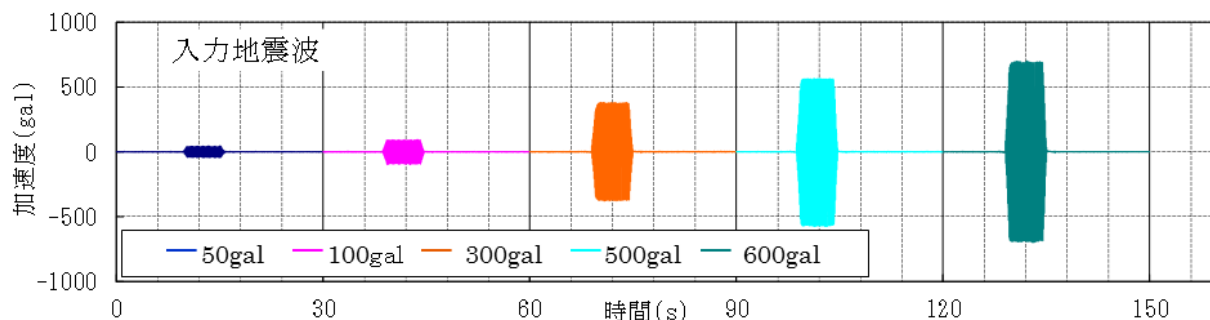


图-1.6.1.4.2 入力地震波

<実験結果>

実験終了後の状況と断面のスケッチ及び累積変位量を写真-4.1.4.1 及び図-1.6.1.4.3 から図-1.6.1.4.5 に示す。



写真-4.1.4.1 開削断面 (ガラス面からの距離：2800mm)

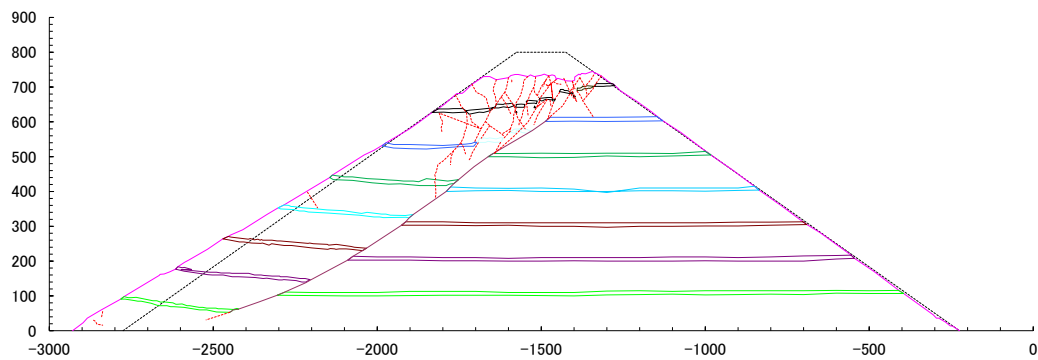


図-1.6.1.4.3 開削断面のスケッチ (ガラス面からの距離：2800mm)

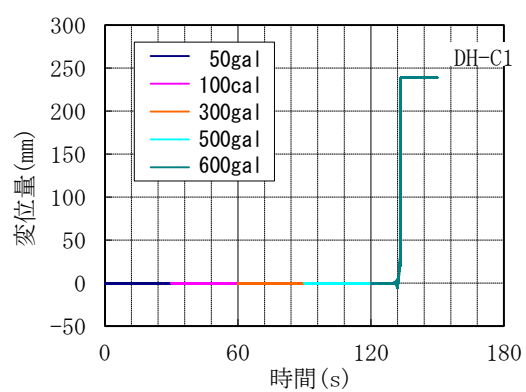


図-1.6.1.4.4 天端の累積水平変位量

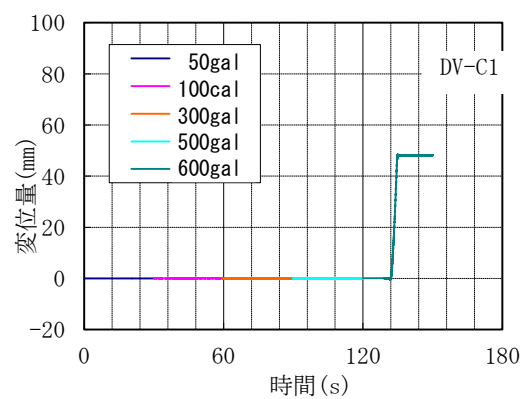


図-1.6.1.4.5 天端の累積鉛直変位量

(3) Case1G-02-S-L の概要

1) 実験仕様

【Case1G-02-S-L 緩詰め、Dr=65.2%】 2014/9/12 実施

- 60G 場（遠心場）加速度：1G
- 入力加振：300gal
- 入力周波数：正弦波、10Hz、5 秒間（+前後のテーパ波 5 サイクル）

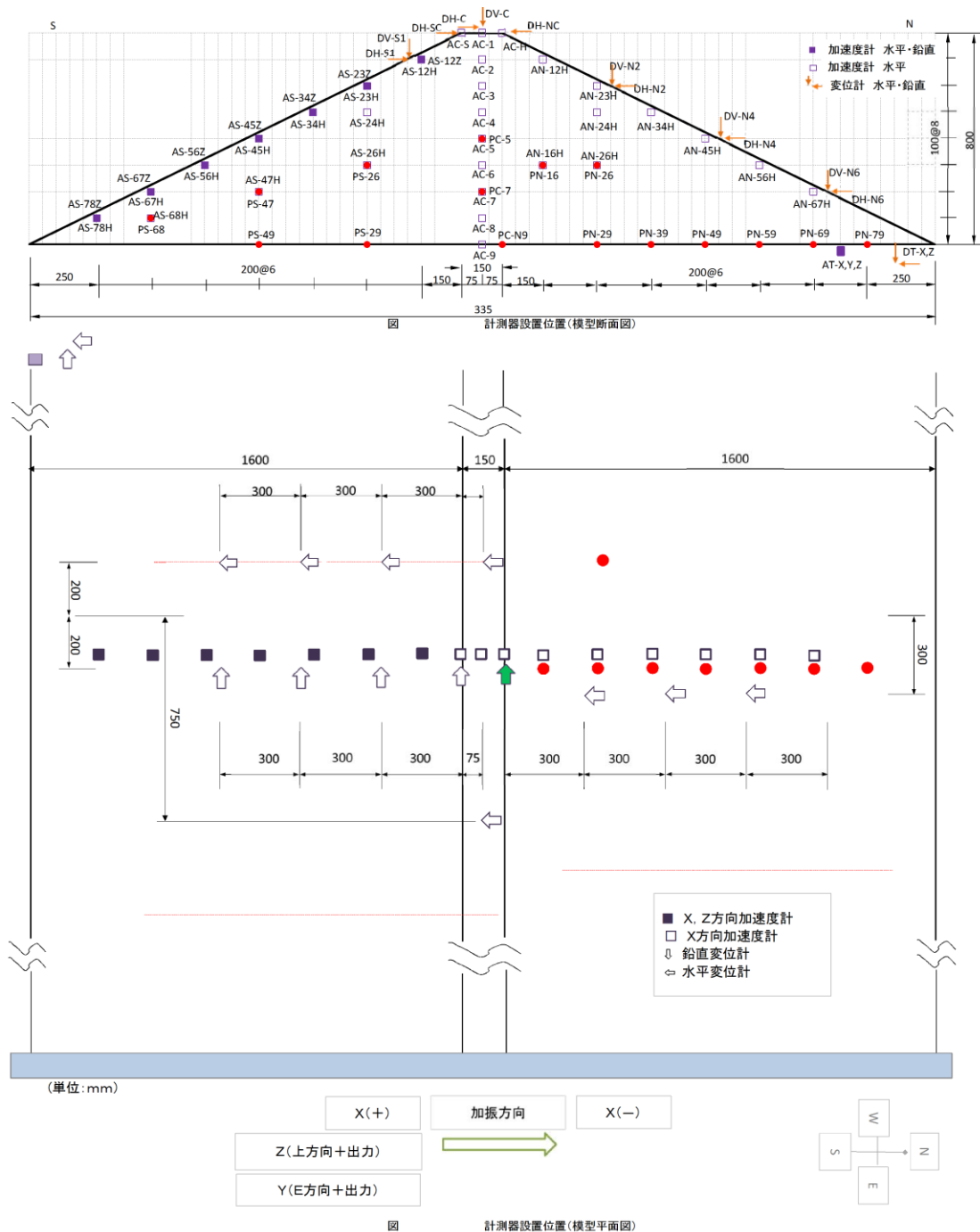
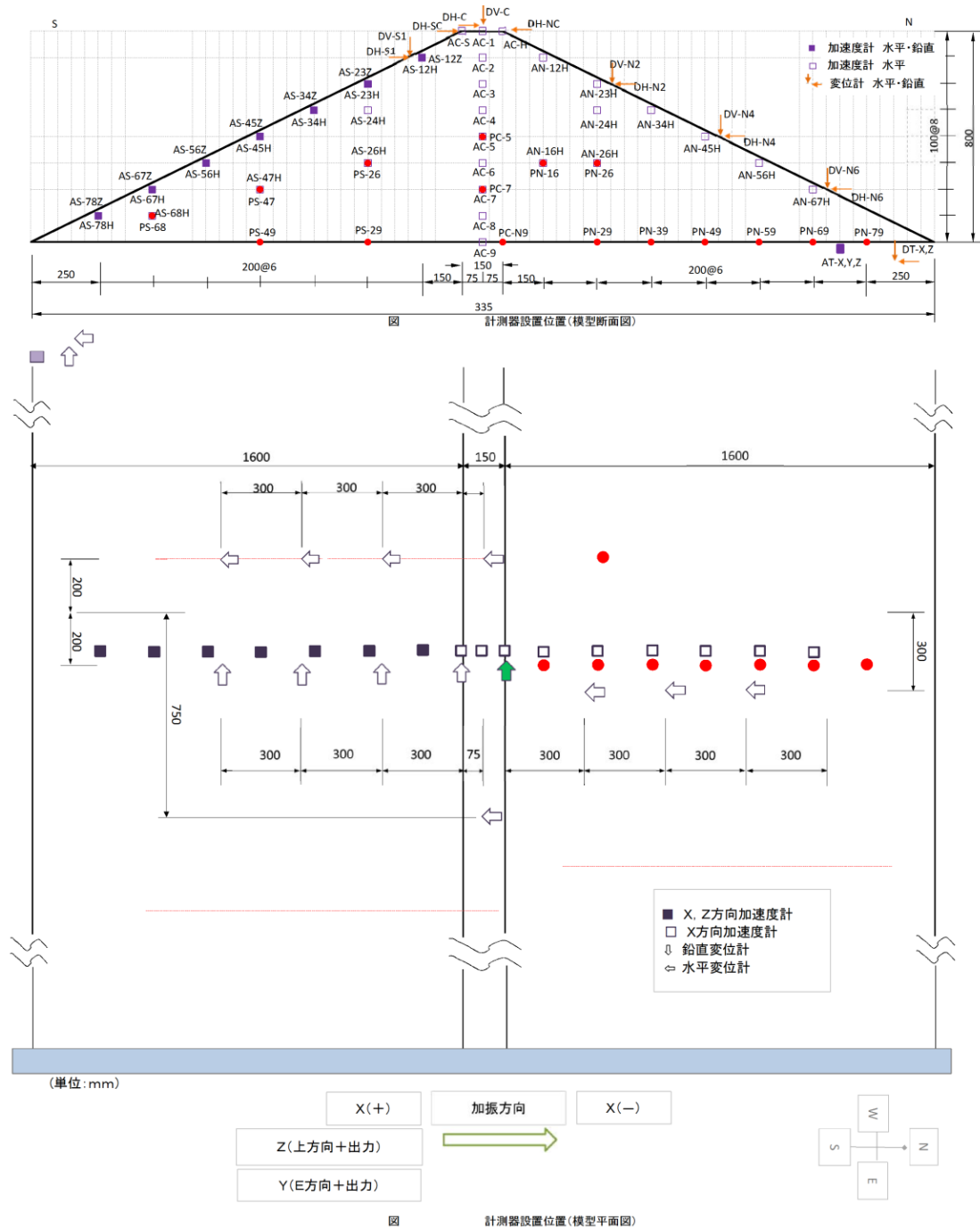


図-1.6.1.4.6 Case1G-02-S-L の模型概要と計器の配置

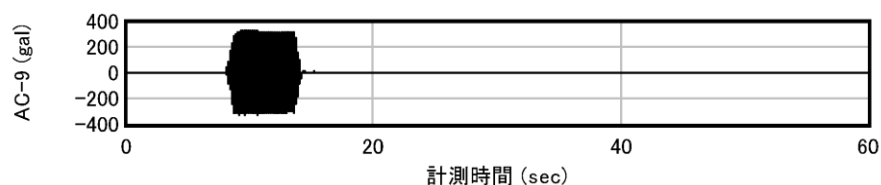
2) Case1G-02-S-L の実験結果

a. Case1G-02-S-L の波形の時系列

図-1.6.1.4.7 に Case1G-02-S-L の模型実験概要と計器の配置図を示す。図-1.6.1.4.8 ～図-1.6.1.4.13 に実験から得られた応答加速度と変位の時系列データを示す。

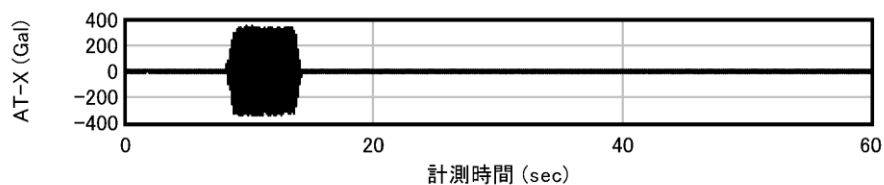


300gal 加振

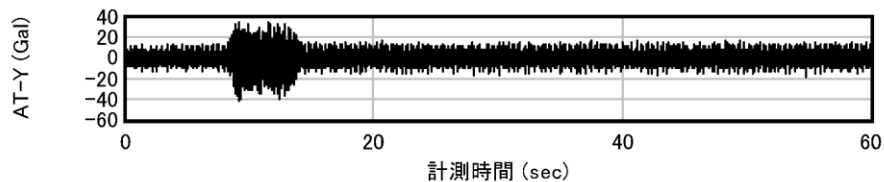


名前 :AC-9
 最大値:331.11
 最小値:-324.79
 平均値:0.73
 単位 :gal

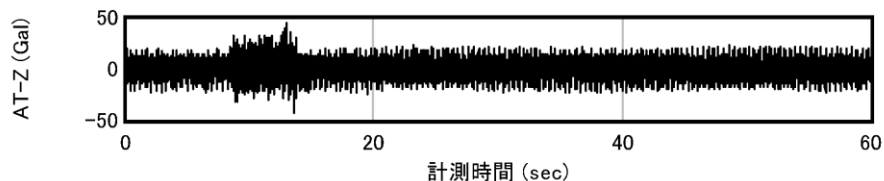
図-1.6.1.4.8 300gal 時の基盤の応答加速度【AC-9】



名前 :AT-X
 最大値:353.72
 最小値:-347.13
 平均値:-0.22
 単位 :Gal

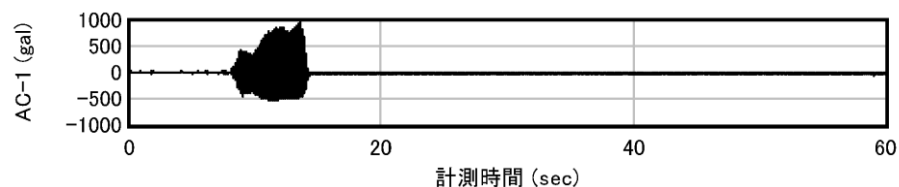


名前 :AT-Y
 最大値:34.19
 最小値:-42.74
 平均値:-0.06
 単位 :Gal

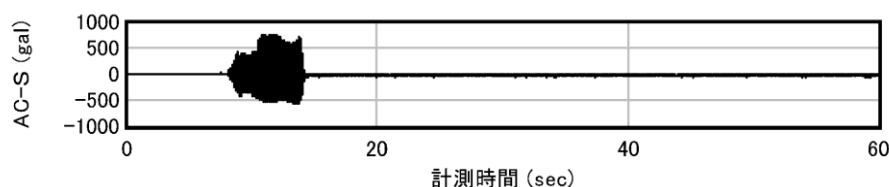


名前 :AT-Z
 最大値:44.94
 最小値:-42.80
 平均値:-0.02
 単位 :Gal

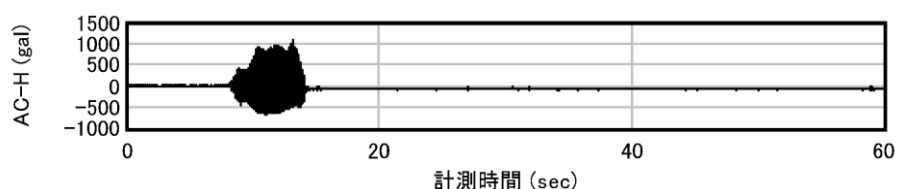
図-1.6.1.4.9 300gal 時の加振台の応答加速度【AT-X, Y, Z】



名前 :AC-1
 最大値:960.36
 最小値:-543.60
 平均値:-18.45
 単位 :gal



名前 :AC-S
 最大値:764.33
 最小値:-581.84
 平均値:-21.85
 単位 :gal



名前 :AC-H
 最大値:1078.73
 最小値:-670.09
 平均値:-52.10
 単位 :gal

図-1.6.1.4.10 300gal 時の天端の応答加速度【AC-1, AC-S, AC-H】

b. Case1G-02-S-L の相対変位

図-1.6.1.4.14～図-1.6.1.4.16 に変位を示す。

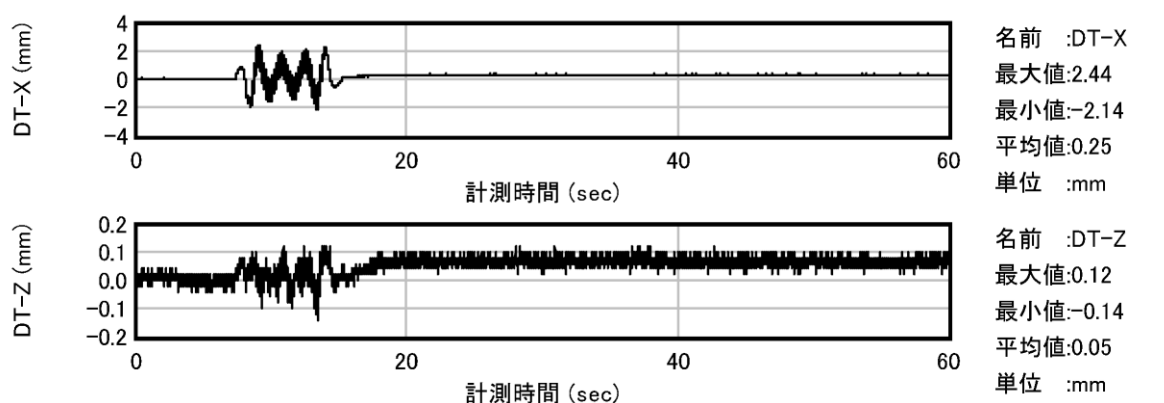


図-1.6.1.4.14 300gal 時の加振台の変位【DT-X, DT-Z】

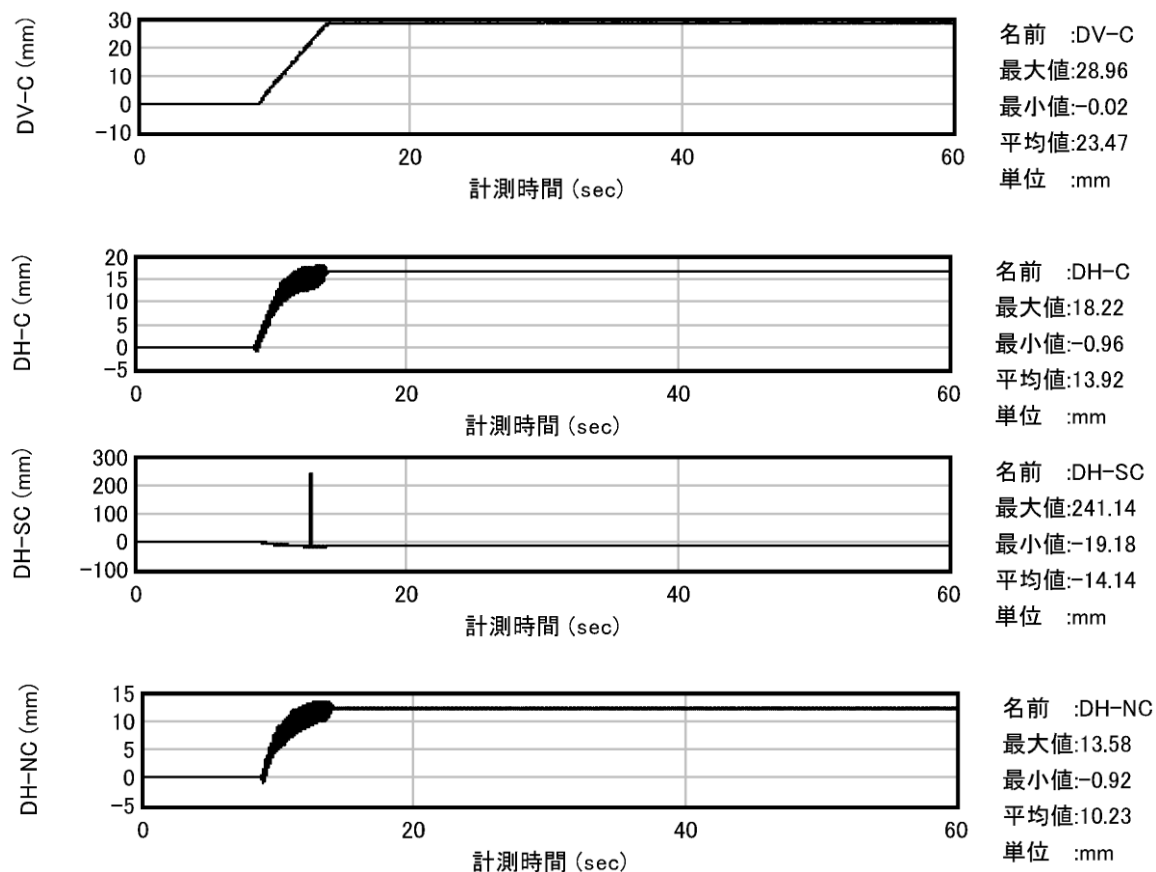


図-1.6.1.4.15 300gal 時の天端の変位【DV-C, DH-C, DH-SC, DH-NC】

Ⅲ. 60G 場（遠心場）震動実験

(1) 実験概要

60G 場（遠心場）模型実験は表-1.6.1.5.1 に示す 4 ケースの加振実験を実施した。模型実験の概要は図-1.6.1.5.1 に示す。実験は 60G 場（遠心場）加速度場 60G 場(1/60 モデル) で実施し、主な実験仕様は表-1.6.1.5.1 に示す通りである。

表-1.6.1.5.1 実験仕様

実験ケース	模型地盤条件	基盤の入力加速度	入力周波数
60G-01-D-L	Dr=65.2%、緩詰、 非湛水	100gal、200gal、300gal、 400gal、500gal、600gal	正弦波、1.5Hz、20 波
60G-02-D-D	Dr=95%、密詰、 非湛水	100gal、200gal、300gal、 400gal、500gal、600gal	正弦波、1.5Hz、20 波
60G-03-S-L	Dr=65.2%、緩詰、 湛水	300gal、400gal、500gal	正弦波、1.5Hz、20 波
60G-04-S-D	Dr=95%、密詰、 湛水	300gal、400gal、500gal	正弦波、1.5Hz、20 波

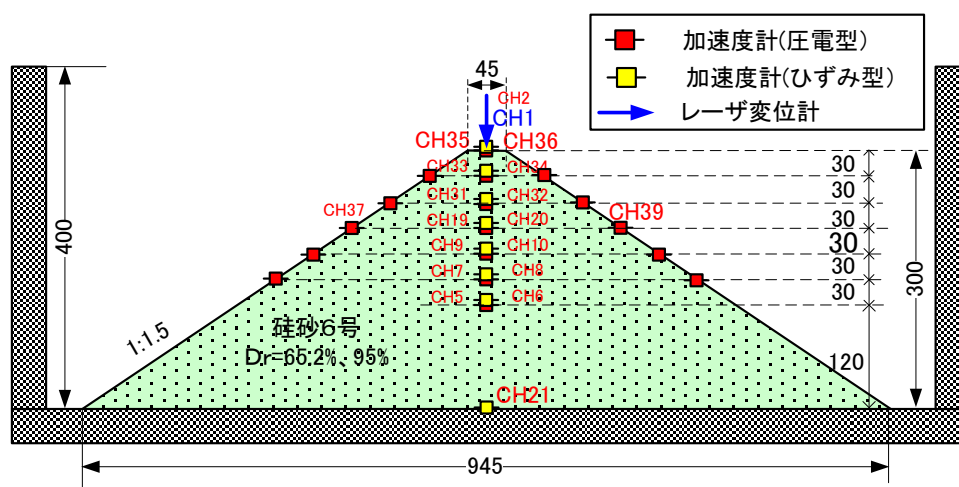


図-1.6.1.5.1 60G 場（遠心場）模型実験概要図（1/60 モデル） 単位:mm
(非湛水、ケース 60G-01-D-L とケース 60G-02-D-D)

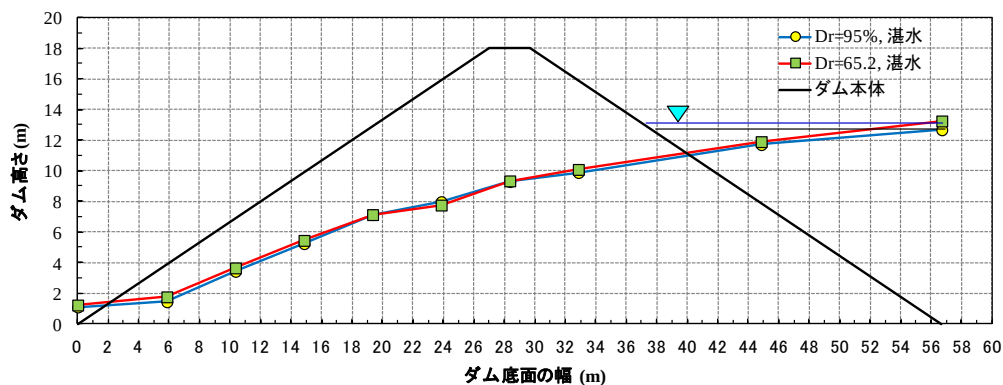


図-1.6.1.5.3 湛水のケースの水位と浸潤線（水位：13.2m）

図-1.6.1.5.4 にケース 60G-01-D-L とケース 60G-02-D-D における基盤の応答加速度と経過時間の関係を示す。100gal～600gal の目標入力加速度に対して、ほぼ同程度の応答加速度が出力されている。図-1.6.1.5.5 にケース 60G-01-D-L とケース 60G-02-D-D のダム天端の応答加速度の比較を示す。ダム天端の応答加速度では相対密度の大きいケース 2 の方が大きい傾向を示した。

図-1.6.1.5.6 はケース 60G-01-D-L とケース 60G-02-D-D の加振時に発生したダム天端の累積沈下量と経過時間の関係の比較である。密度の小さいケース 60G-01-D-L の方が加振によって生じた天端の沈下量が大きくなっている。

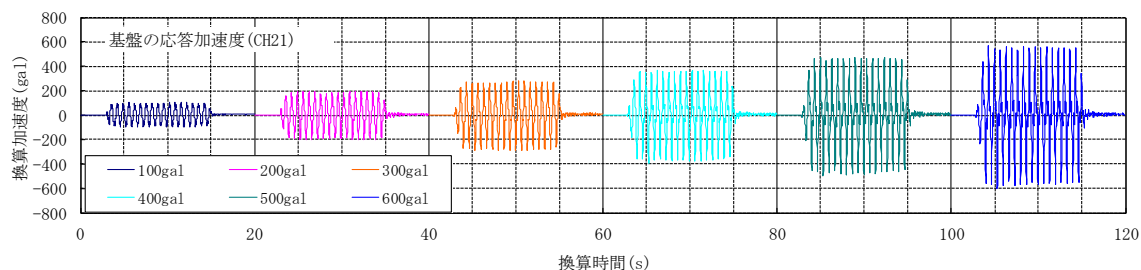


図-1.6.1.5.4 基盤の応答加速度(ケース 60G-01-D-L とケース 60G-02-D-D)

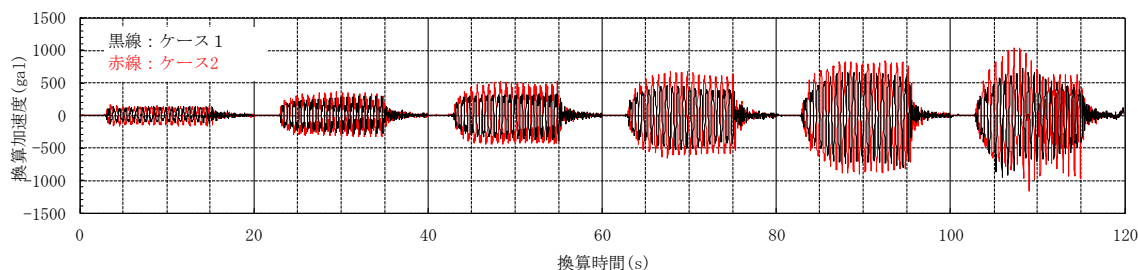


図-1.6.1.5.5 ダム天端の応答加速度(ケース 60G-01-D-L とケース 60G-02-D-D)

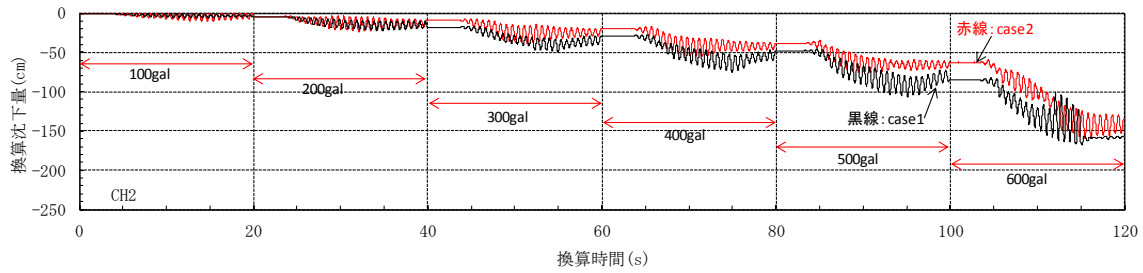


図-1.6.1.5.6 天端の累積沈下量（ケース 60G-01-D-L とケース 60G-02-D-D）

図-1.6.1.5.7 に湛水実験ケース（ケース 60G-03-S-L、ケース 60G-04-S-D）の基盤の応答加速度を示す。図-1.6.1.5.8 と図-1.6.1.5.9 はそれぞれダム天端の応答加速度と累積沈下量を示す。ダム堤体の密度大小による応答加速度と累積沈下量の比較は、非湛水ケース（ケース 60G-01-D-L とケース 60G-02-D-D）の結果と同じ傾向を示した。

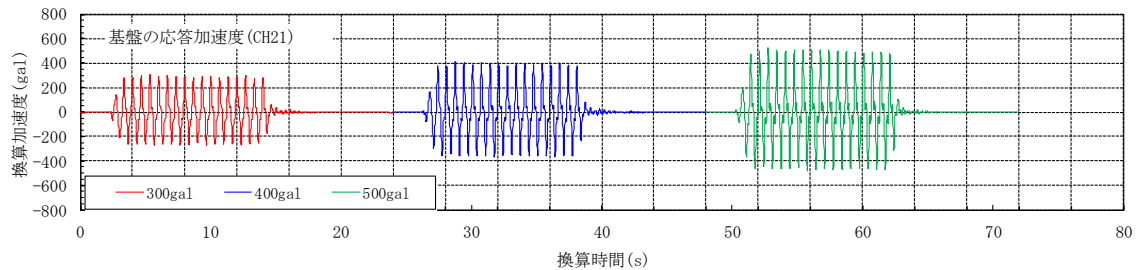


図-1.6.1.5.7 基盤の応答加速度（ケース 60G-03-S-L とケース 60G-04-S-D）

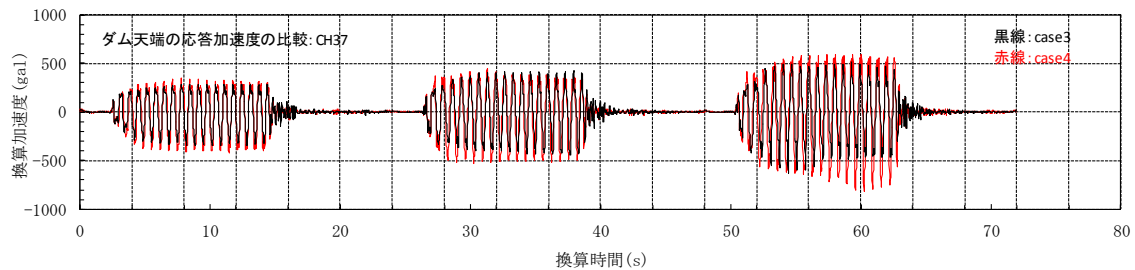


図-1.6.1.5.8 ダム天端の応答加速度（ケース 60G-03-S-L とケース 60G-04-S-D）

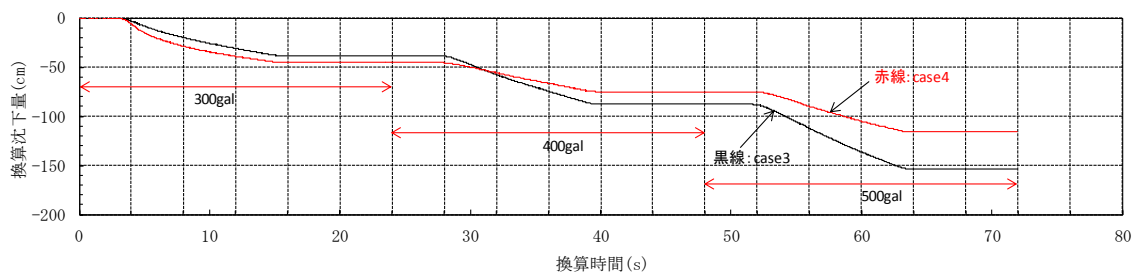


図-1.6.1.5.9 天端の累積沈下量（ケース 60G-03-S-L とケース 60G-04-S-D）