

研究成果報告書

研究開発課題名	開水路の構造安全性評価のための現位置試験方法の開発
研究総括者	株式会社栗本鐵工所 化成品事業部 技術開発部長 裕昌也
研究開発組合	株式会社栗本鐵工所 サンコーテクノ株式会社
試験研究機関	国立大学法人鳥取大学 国立大学法人島根大学

1 事業の実施内容

1. 1 事業の背景及び目的

幹線で約 4 万 k m、支線を含めると約 40 万 k mに及ぶ農業用水路は、農業用水を農地に供給する上で不可欠な施設であり、水路の機能低下による水路網の断線は確実に避けなければならない。水路の主要な建設材料はコンクリートであり、時間の経過と共に徐々に劣化が進行することで機能低下を引き起こすことが顕在化している。我が国の農業用水路は、高度経済成長期から建設され続け、現在において施工後数十年を経たものが多くなっている。そのため、将来にわたり施設が有する機能を確保するためには現状の診断と劣化予測に基づいた補修・補強による対策を行う必要がある。この背景のもとで、農林水産省は「農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【開水路補修編】」や全国土地改良事業団体連合会は「簡易な水路補修の手引き」などのマニュアルを整備してきた。しかし、これらのマニュアルでは、開水路における耐久性の評価や回復・向上に関する内容が主であり、構造物の安全性や剛性の評価および回復に関しては十分な記述がなされていない。

そこで、本研究開発事業では、コンクリート開水路(柵渠等は除く)の構造安全性を評価するための手法の確立を目的とした。水路壁載荷装置を新たに開発し、装置による物理的な作用によって、既設水路の構造安全性を評価する水路壁載荷法を確立する。水路壁載荷法は、水路壁に対して垂直方向に載荷し、載荷荷重による水路壁の変形量を測定するものである。そのことにより、現地での測定直後に評価結果が得る事が可能となる。また本手法は非破壊試験であるため、試験後の現状復旧などを特に必要としない。

1. 2 事業の内容及び実施方法

当官民連携新技術開発事業テーマでは、日本国内の農業用開水路を対象とした構造安全性評価手法を開発し、その評価結果を補修・補強の時期決定と工法選定にフィードバックするために以下の内容で進めるものとした。

(1) 水路壁載荷装置の開発

図 1 に示すように、水路壁載荷装置は水路壁の上端部に載荷し、変形量を測定するものである。荷重—変形量曲線を描き水路壁の曲げ剛性を算出することによって、開水路の構造安全性を評価するための装置を開発した。

様々な断面の開水路を対象とした数値解析を実施して、必要な載荷能力や変位の測定精度を明らかにしたうえで、十分な性能を持つ装置を設計・製作した。

(2) 載荷結果を評価する手法の開発

載荷によって生じる変形は、主に水路壁のたわみによって生じると考えられる。荷重の大きさと変形量から側壁の曲げ剛性を算出することによって、側壁の構造安全性を評価する手法を開発した。

(3) 水路壁載荷装置を用いた開水路単体の挙動評価

水路壁載荷装置を用いて地上に置いたベンチフリュームの挙動を評価し、この手法の有効性を確認する。そのうえで、水路に損傷を与えずに、測定と評価を行う手法と基準を明らかにした。

(4) 背面土圧を考慮した構造安全性評価手法の確立

土中に埋設したベンチフリュームに水路壁載荷法を適用し、土圧が作用する状態での構造安全性評価を試みる。外面方向の載荷と内面方向の載荷による評価結果を比較することを通して、埋設型の開水路に対する構造安全性手法を確立した。

(5) 実証試験

現地における非灌漑期と灌漑期のコンクリート開水路に水路壁載荷法を適用し、土圧と内水圧が作用する状態での構造安全性評価を実施した。

1. 3 事業着手時に想定した技術的問題点への対応

(1) 基礎となる試験研究の概要

これまでに明らかになっている本研究開発事業に関わる知見は、次のとおりである。

1) 管水路における内面載荷法の適用性評価

農業用管水路の耐力評価手法として、鳥取大学、島根大学、栗本鐵工所の共同研究により、内面載荷法を提案している。そのメカニズムは、内面載荷装置を用いて管内面から管外面方向に載荷した場合は、載荷方向の直角方向に対して、管径が減少することを利用したものである。つまり、ひび割れなどが存在した場合は健全管と比較して、低荷重で変形量が大きくなるため、目視確認が困難な構造安全性を定量的な指標で評価するものである。この提案の発展的な利用用途として開水路における水路壁載荷装置を開発した。

2) 実証試験地の確保

申請者らはこれまでに、官民連携新技術研究開発事業や共同研究などを通して、数多くの現地試験を実施している。本手法の開発にあたって必要となる実証試験は、鳥取県内のフリューム水路で実施した。

(2) 技術的問題点と対応策

1) 水路壁載荷装置の軽量化および水路壁との接触部材	
課題	対応策
本手法は、少人数かつ簡易な測定資機材で構造安全性の評価を目指しているため、資機材の軽量化が求められる。また、水路壁の外面向への載荷は容易であるが、内面向への載荷を可能とする接触部材の開発が求められる。	装置に求められる荷重の大きさを数値解析で検討することによって、必要かつ最小限の性能を持たせることで、装置の軽量化を図る。また、載荷部に必要となる剛性を抑え、運搬及び計測における作業上の安全性も確保するために、載荷部と測定部を分離する。装置の重量は 50kg 未満を想定しており、2 人での搬入並びに計測を考えている。また、計測に要する時間は、1 回の測定が設置並びに撤去を含めても 15 分程度を想定しているため、短時間で複数箇所の計測を実現することができる。水路壁載荷装置と水路壁が接触する位置の部材形状を検討し、水路壁の外面向、内面向への載荷を可能とする構造を付与する（図 1，図 2 参照）。また、水路幅は現場によって異なることが想定されるため、各水路幅に対応するために水路壁載荷装置の可変ストローク機構についても併せて検討する。
2) 載荷による水路壁の損傷	
課題	対応策
水路壁載荷法は、水路壁に対して直接的に載荷する手法である。そのため、載荷時に新たな損傷が発生する可能性がある。	載荷によって水路壁が損傷すると曲げ剛性の低下や変形量の急激な増大が発生する。これら为了避免するために、荷重と変形量をリアルタイムでモニタリングし、損傷が生じる前に試験を終了できるようにする。また、損傷が疑われた際に速やかに除荷できる構造とする。
3) 水路壁載荷法により得られるデータの安定性	
課題	対応策
安定した荷重—変形量のデータを取得するためには、適切な載荷条件を設定し、それを実現する必要がある。	適切な載荷条件（載荷位置，載荷方向，載荷速度，荷重保持時間など）を確立し，それが安定して実現できるような装置を開発する。また，本手法は人力で運搬および計測し，小型のロガー等で計測結果を記録する予定であるため，導入コストは大きくならないと考えている。

4) 安全性評価の具体的手法	
課題	対応策
水路壁載荷法により水路壁の曲げ剛性が得られる。その大きさから、水路壁の状態を推察することができるが、具体的な構造安全性を評価する手法は今のところ存在していない。	側壁の曲げ剛性を低下させる要因には、材料の劣化、ひび割れ、減肉など様々なものがある。使用材料と構造寸法から求められる健全な場合の曲げ剛性と測定された曲げ剛性を比較することで現況の健全性を定量的に評価する。つまり、同じ水路区間において荷重－変形量の傾きに着目し、いくつかのサンプリングポイントと相対比較することで、剛性の低下している箇所を判断する予定である。健全性が損なわれている場合には、詳細調査から剛性低下の要因を推定し、その程度を把握する。低下の要因と程度がわかれば、進行性であるか否かの判断と劣化予測により構造安全性が損なわれる危険性の有無と、その時期を評価する。

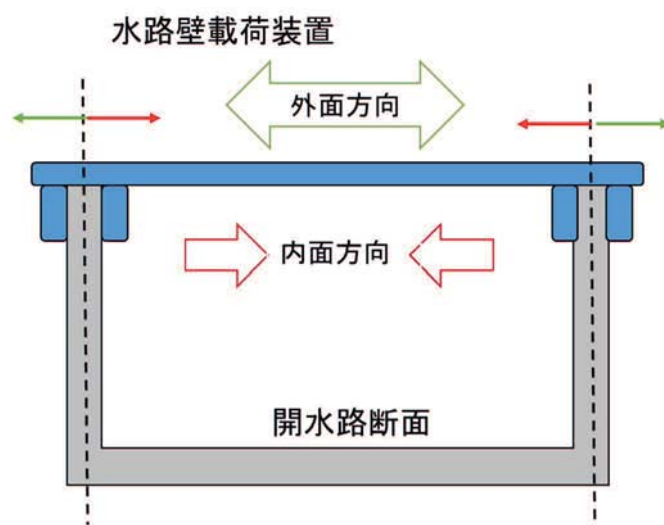


図 1 水路壁載荷装置の設置状況イメージ図

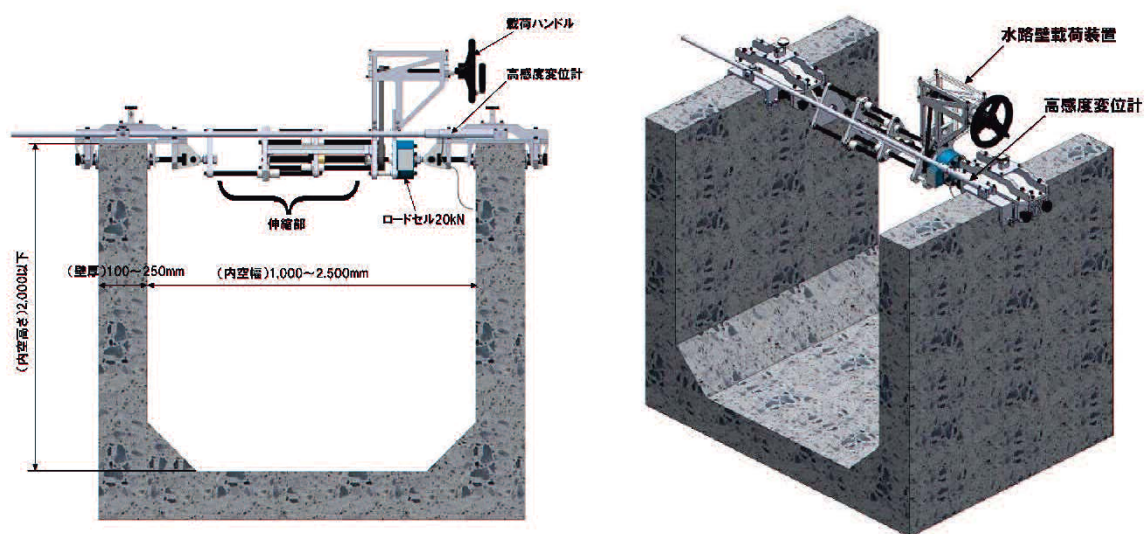


図2 水路壁載荷装置のイメージ図

1. 4 事業の実施体制

研究開発の項目	事業実施主体 (新技術研究開発組合)		試験研究機関	
	栗本鐵工所	サンコー テクノ	鳥取大学	島根大学
水路壁載荷装置の開発	◎	◎	◎	◎
載荷結果を評価する手法 の開発	◎	◎	◎	○
水路壁載荷装置を用いた 開水路単体の挙動評価	◎	◎	○	○
背面土圧を考慮した 構造安全性評価手法の確立	◎	○	◎	◎
実証試験	◎	○	○	○

(注) ◎は主担当, ○は担当

1. 5 事業の年度計画と実績

研究開発の項目	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
水路壁載荷装置の開発						
載荷結果を評価する手法の開発						
水路壁載荷装置を用いた開水路単体の挙動評価						
背面土圧を考慮した構造安全性評価手法の確立						
実証試験						

(注)  は計画  は実績

1. 6 研究開発の概要、結果、課題等

1. 6. 1 水路壁載荷装置の開発

(1) 対象水路の選定

土地改良計画設計基準及び運用・解説 設計「水路工」(平成 26 年 3 月)の 422 頁には、開水路は図 3 のとおり構造的に分類されている。今回対象とする水路は、ライニング水路や無ライニング水路は除外し、擁壁型水路の鉄筋構造物とする。また、その中でもフルーム、プレキャストコンクリート及び排水、大型フリームを対象とした。

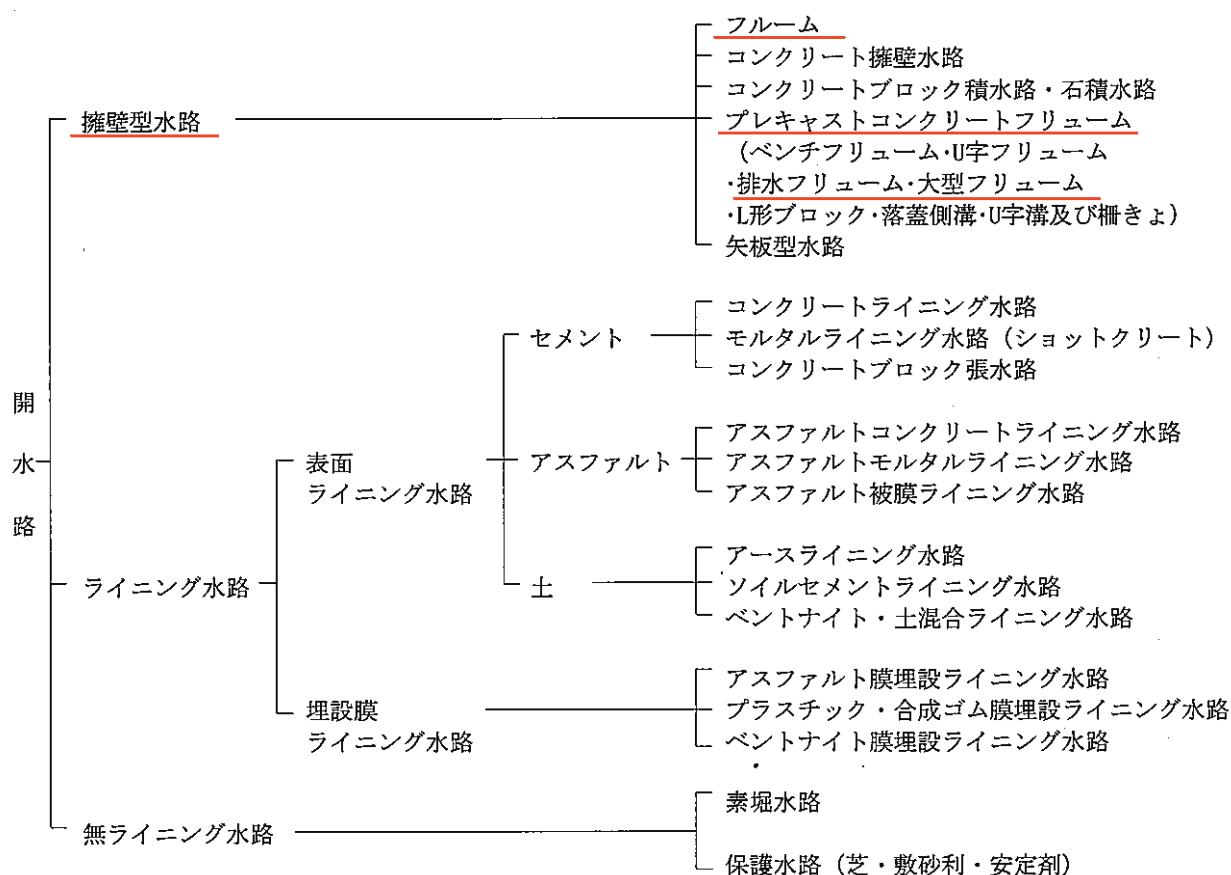


図 3 開水路の分類

(2) 開水路の劣化要因

土地改良計画設計基準及び運用・解説 設計「水路工」の 787 頁には、開水路の鉄筋コンクリートにおける変状の種類及びその要因が図 4 のように記載されている。

既設水路に発生している変状の要因は、単独要因が作用するよりは複合的な要因が作用することで構造的耐力が低下していると想定されるため、図 4 の全般について取り組んでいくものとする。ただし、特定地域に起因する凍害については、今回の検討から除外するものとする。

変状の種類		変状の要因								
		初期欠陥	中性化	塩害	応(ASR)	凍害	化学的腐食	疲労	磨耗・風化	構造・外力
初期欠陥	ジャンカ	○								
	コールドジョイント	○								
	内部欠陥(空洞等)	○								
	砂スジ	○								
	表面気泡	○								
	非進行性ひび割れ ・乾燥ひび割れ ・乾燥収縮ひび割れ ・温度ひび割れ	○	◆非進行性ひび割れは、施工中、または完成後早い時期に処理を行えば、耐久性に問題は生じない。放置しておいた場合は、他の劣化要因と複合し、進行性のひび割れに変わる場合もある							
材料劣化 (内部要因によるものが多い※)	ひび割れ	鉄筋腐食先行型		○	○					
		ひび割れ先行型				○	○	○	○	○
	浮き・剥落			○	○	○	○	○		○
	錆汁			○	○	○	○	○		
	エフロレッセンス					○			○	
	変色				○	○	○		○	
	すりへり(磨耗)								○	
	断面欠損			○	○		○	○		○
	曲げ・せん断ひび割れ									○
構造劣化 (外部要因によるものが多い※)	たわみ							○		○
	変形			○	○	○		○		○
	振動(剛性の低下)			○	○	○		○		○

「コンクリート診断技術」((社) 日本コンクリート工学協会) を参考に整理

※ 材料劣化は主に内部要因、構造劣化は外部要因によるものが多い。しかし、材料劣化の場合には、疲労や構造外力のような外部要因でもひび割れなどの変状・劣化が生じる。

図 4 鉄筋コンクリートの変状の種類とその要因

(3) プレキャストコンクリートの外圧試験

本開発を進めるにあたり、品質が安定しているプレキャストコンクリート製品による検証から進めた。そこで、プレキャストコンクリート製品であるフリュームの外圧強度を把握し、水路壁載荷試験装置に反映させるものとした。

1) 試験体

試験体は微振動成形による高流動コンクリート（粉末系）にて成形した、ケイコン株式会社製U型水路（幅 1000mm×高さ 1000mm×厚さ 150mm×長さ 1000mm）を使用した。試験体の詳細図、設計条件及び配合は、図 5、表 1 及び表 2 に示すとおりである。

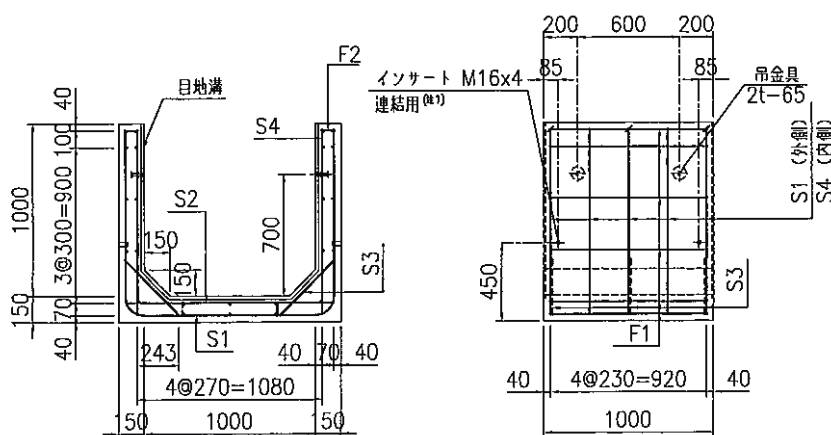


図 5 試験体詳細図

表 1 試験体の設計条件

種類	項目	設計条件
コンクリート	設計基準強度	30MPa
	許容圧縮強度	10MPa
	許容剪断応力度	0.45MPa
鉄筋 (SD295)	許容引張応力度	160MPa

表 2 試験体の配合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランブ フローの 範囲 (mm)	500mm フロー到 達時間 (s)	空気量 (%)	水 結合材比 (%)	水粉体容 積比 (%)	単位粗骨 材絶対容 積 (m ³ /m ³)	細骨材率 (%)
20	500±75	3～12	2.0	34.0	106.0	0.38	41.0
単位量(kg/m ³)							設計基準 強度 (MPa)
水	セメント	混和材	細骨材 (山砂)	粗骨材	混和剤	A E 剤	
170	430	70	680	1039	3.75	—	42

2) 試験方法

曲げ試験は JIS A 5372「プレキャスト鉄筋コンクリート製品推奨仕様 G-1 ケーブルトラフ G-1.7 製品の曲げ耐力試験」に準拠して、試験を行った。図 6 に示すように試験体を設置し、長手方向に一様に負荷されるよう 1mm/秒の速度で荷重を加え、荷重と変位の関係及びクラック発生状況を確認した。また、クラックの発生位置及び状況についても観察する。変形量は、データロガーにより計測した。

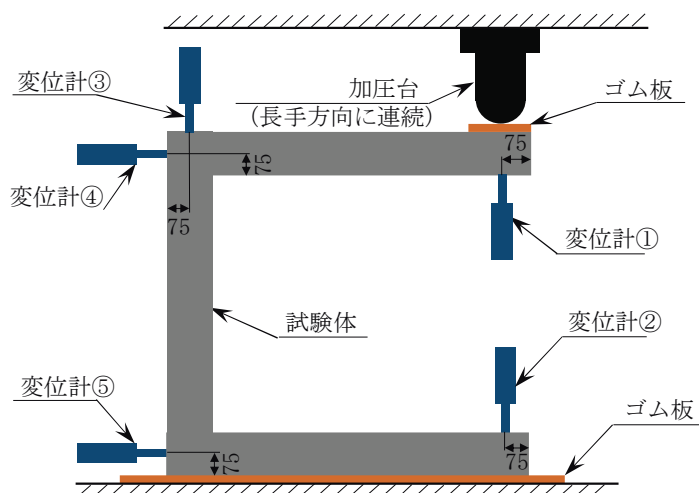


図 6 曲げ試験概要図

3) 試験結果

試験結果を図 7 に示す。試験体は、20kN 付近が最終破壊する結果となった。

また、2kN 付近（たわみは 3mm 付近）で荷重の変曲点が発生するため、水路壁載荷装置の設計は、暫定ではあるが、載荷荷重の上限値は弾性域と見なせる 5kN 以内、変形量の上限値は 5mm 以内とした。

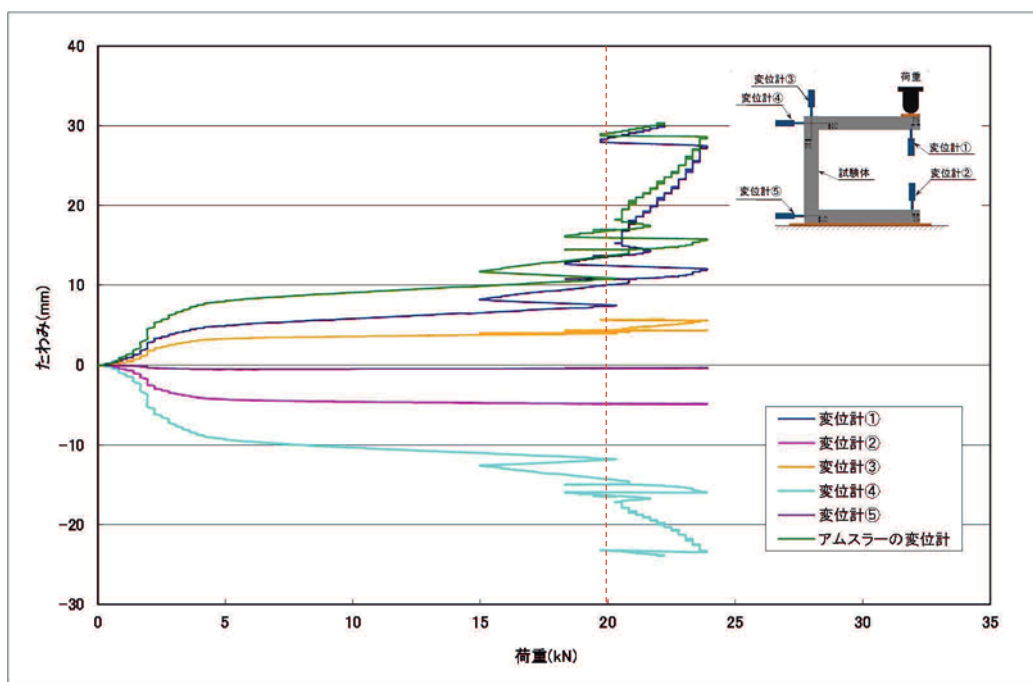


図 7 試験結果（荷重－たわみの関係）

(4) 水路壁載荷装置の設計

1) 載荷方法の検討

安定した載荷を実現するため、一定の載荷速度での載荷を可能とし、載荷停止時に載荷荷重の低下が発生しないことを条件とした結果、ねじ締め式載荷方法で容易に載荷する解決策を検討することとした。ねじ締め式載荷方法を選定した理由は、以下のとおりである。

表 3 載荷方式のまとめ

載荷方式	内容	判定
電動油圧式載荷	・必要な載荷能力を確保することが容易 ・一定の載荷速度を確保することが可能 ・安定した電源の確保が必要	△
電動ねじ締付式載荷	・必要な載荷能力を確保することが容易 ・一定の載荷速度を確保することが可能 ・安定した電源の確保が必要	△
手動油圧式載荷	・油圧式は断続的な載荷となるため、安定したデータの確保が困難 ・電源が不要 ・油圧ポンプの特性として載荷停止時に若干の圧力低下が発生するため、荷重の保持が困難	×
手動ねじ締付式載荷	・載荷停止時の荷重保持が容易 ・荷重とが大きいと人力による載荷が困難なため、トルクを低減する検討が必要 ・電源が不要	○

2) 載荷補助機構の検討

ハンドル径を大きくすることで、載荷に必要なトルクを低減することは可能である。また作業性を考慮し、水路の外側でハンドルを回転させる部品構成で考え、異なる歯車数のプーリーとタイミングベルトを組み合わせる方法とした。期待する効果が得られるのかを実証するため、(図 8, 写真 1)を製作し、手動油圧ポンプを用いた載荷方法と、載荷補助機構を用いたねじ締め式載荷で評価した。評価用載荷装置の主要部品の構成としては、 $\phi 120$ のハンドルとプーリーの歯車数比を 1:3 とした。

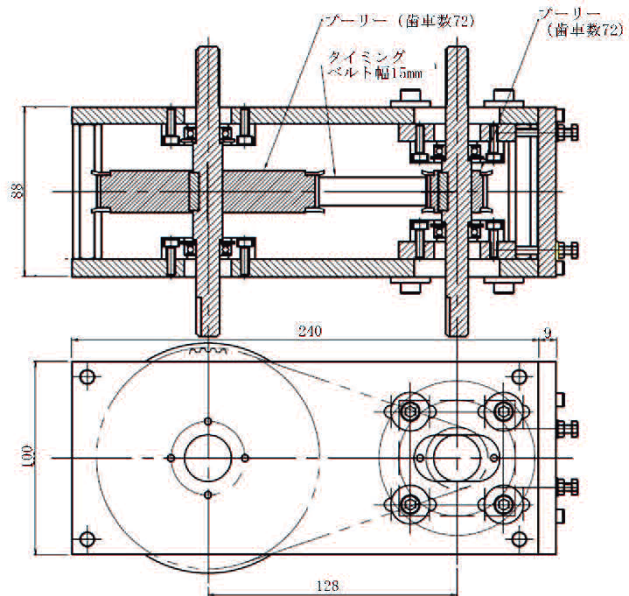


図 8 評価用の载荷補助装置



写真 1 評価用の载荷補助装置

3) 载荷機構の確認

手動油圧式载荷とねじ締め式载荷について比較検討した結果を表 4 及び図 9 に示す。

表 4 载荷機構の比較

項目	手動油圧式载荷	ねじ締め式载荷
载荷停止後の荷重保持	载荷停止後 (20.35kN), 131 秒経過後の荷重は 19.10kN となり, 荷重の低下は, 約 2 分間で 1.25kN であった。	载荷停止後 (20.23kN), 155 秒後の荷重は 20.16kN となり, 荷重の低下は, 約 2.5 分間で 0.07kN であった。
人力载荷による操作性	容易に载荷ができることを確認した。	载荷補助装置では若干負荷が増加したと感じられた。そこで, $\phi 120$ のハンドル方式からラチェットスパナ方式に変更して評価を行った結果, ハンドル径は $\phi 180$ を使用することで容易に载荷できることを確認した。
载荷時の微調整	荷重の微調整が困難である。	荷重の微調整が容易である。
総合判定	△	○



写真 2 载荷方法の試験状況 (左: 油圧式载荷, 右: ねじ式载荷)

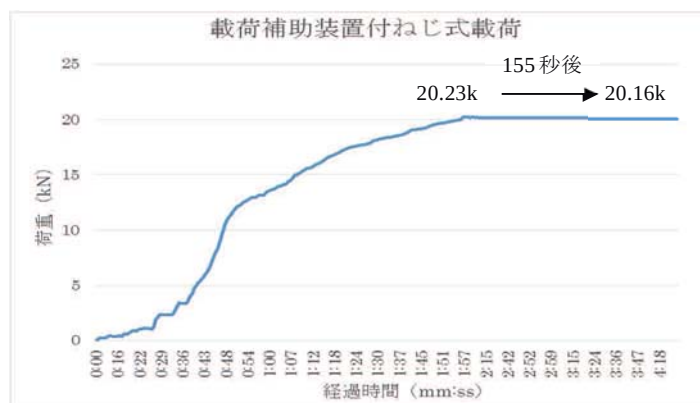
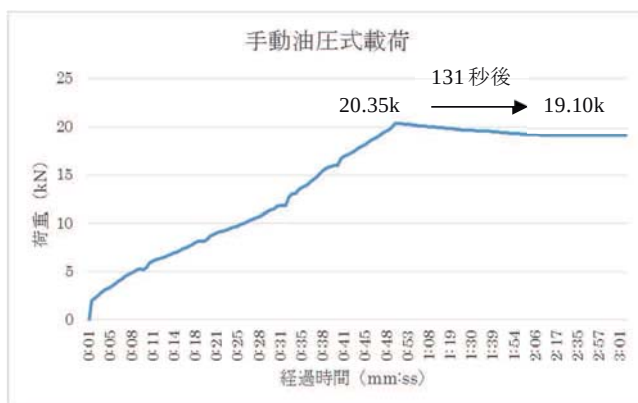


図 9 荷重保持と時間の関係 (左: 油圧式载荷, 右: ねじ式载荷)

4) 変位計の設置について

現地での試験作業時間を短縮化を図るため、変位計を水路壁載荷装置に組み込むことが望ましいと考えた。そこで、水路壁載荷装置試作後に装置の挙動を確認し、変位計を本装置に組み込むかの検討を実施した。

5) 試験方法

写真 3 に示すとおり、鉄骨とボルトを用いて引張方向および圧縮方向の確認ができるような架台を組み立て、水路壁載荷装置を取り付けて試験を行う。変位計の測定箇所は、水路壁の挙動に近い水路壁つかみ部（載荷用ハンドル側を手前とする）と、ロードセルを固定しているプレートの部品、載荷時に移動する台形ネジ用ナットが取り付けられているプレートの 4 ヲ所に変位計を取り付けた。

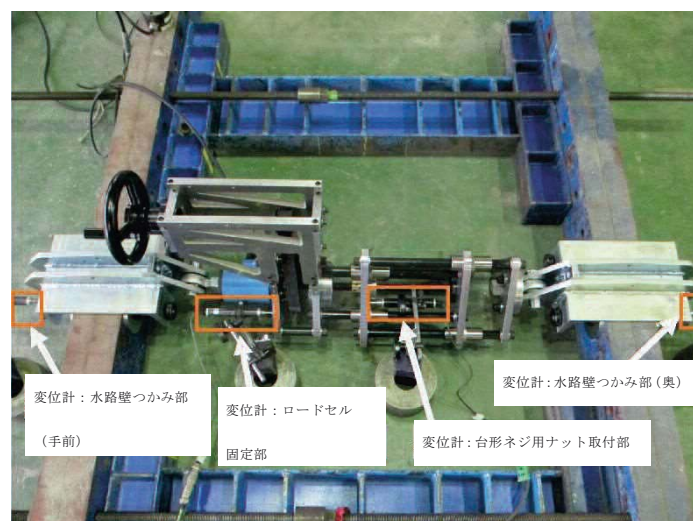


写真 3 試験状況

6) 試験結果

荷重-変位曲線（図 10）にて水路壁載荷装置の挙動確認試験結果を示す。なお，ロードセルの引張方向をプラス（+）とし，圧縮方向をマイナス（-）とする。表 5 に試験から得られた結果を示す。

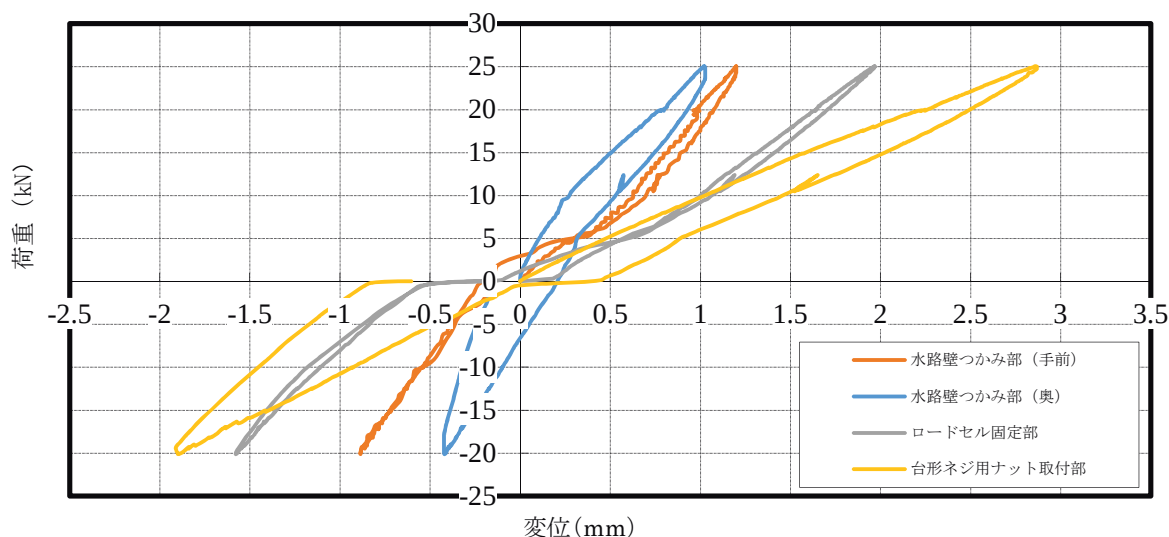


図 10 試験装置の挙動確認試験結果

表 5 試験結果とまとめ

結果	まとめ
各変位測定箇所は，類似する挙動を示さない。	水路壁載荷装置に変位計を組み込むのではなく，別途変位測定装置を設計する。
ロードセル固定部や台形ネジ用ナット取付部の装置本体部品は，水路壁つかみ部より変位量が大きくなる。	
載荷－除荷時の荷重変位曲線が類似している測定箇所は，ロードセル固定部である。	
引張から圧縮に載荷方向を変えた際，台形ネジと台形ネジ用ナットとのクリアランス，水路壁つかみ部と装置本体を接合するピンのクリアランスによる変位が発生する。	水路壁つかみ部（手前）－載荷装置（本体）－水路壁つかみ部（奥）を直線的に設置するための治具を追加する。
水路壁つかみ部は，載荷時に壁の傾きの影響を受けるため，水平方向の変位量に変化を生じやすい。	変位測定装置は水平方向に変位量を測定するため，水路壁の傾きの影響を受けないようにする。

(5) 水路壁載荷装置の仕様

水路壁載荷装置の仕様は、表 6 のとおりとした。

表 6 水路壁載荷装置の仕様

適用できる水路内空幅	経験上の最大ボリュームゾーンである 1000mm～2500mm とした。
適用できる水路内空高さ ※ 1	労働安全衛生法により 2000mm 未満とした。
適用できる水路壁厚	・コンクリート二次製品の壁厚は 100mm～200mm 程度 ・現場打ちコンクリートの厚さは未定
測定内容	荷重と変形量をコンパクトなデータロガー等にて自動計測する。荷重を載荷する方向は、内面及び外面載荷に適用することができる。
測定する長手方向の箇所数	測定する長手方向の箇所数は、1 バレル又は水路長さ当たり 1 箇所とした。(長手方向の中央)
装置の重量※ 2	労働基準法を参考に 50kg 以下とした。
載荷速度	人力にてハンドルを回し、一定速度を保持する。
載荷する方向	内面及び外面の両方向裁荷できるものとした。
載荷荷重の上限値	フリューム単体の弾性域内と見なせる 5kN 以内とする。
変位量の上限値	フリューム単体の弾性域内と見なせる 1mm 以内とする。

※ 1：労働安全衛生規則 第九章 墜落、飛来崩壊等による危険の防止（第五百十八条）には、「高さが二メートル以上の箇所（作業床の端、開口部等を除く。）で作業を行なう場合において墜落により労働者に危険を及ぼすおそれのあるときは、足場を組み立てる等の方法により作業床を設けなければならない。」と規定されている。

※ 2：労働基準法によると、「満 18 才以上の男子労働者が人力のみにより取り扱う重量は 55kg 以下にすること。また、当該男子労働者が、常時、人力のみにより取り扱う場合の重量は、当該労働者の体重のおおむね 40% 以下となるよう努めること。」と規定されている。

(6) 水路壁載荷装置の試作

水路壁載荷装置の1号機の概要は、表7、表8、図11から図13及び写真4に示すとおりである。

表7 水路壁載荷装置（1号機）の仕様

項目	内容
変位計	装置と変位計は、分割構造とする。
載荷方法	載荷ハンドルを正回転に回すと引張荷重、逆回転に回すと圧縮荷重を載荷する。
載荷原理	載荷ハンドルを回転させることで、プーリーおよび台形ネジを回転させ、ねじの螺旋形状を利用して、載荷装置を伸縮させる。
ロードセル	今回は、フリームの破壊も考慮し、50kN仕様とする。
設計時に検討した内容	水路壁のつかみ部と装置伸縮部の接合は、載荷時の水路形状を考慮し、球面型のベアリングとピンを用いたヒンジ構造とした。
	人力での載荷を可能とするため、歯車の違うプーリーと大径のハンドルを用いた。
	載荷時の負荷を軽減するため、軸力が発生する回転部にはベアリングを組み込み、装置伸縮時の摩擦軽減にリニアシャフトとリニアブッシュを用いた。
	軽量化を図るため、摩擦を生じない部品の材料は、主にジュラルミンを用いた。（現行の参考重量は約53kg）

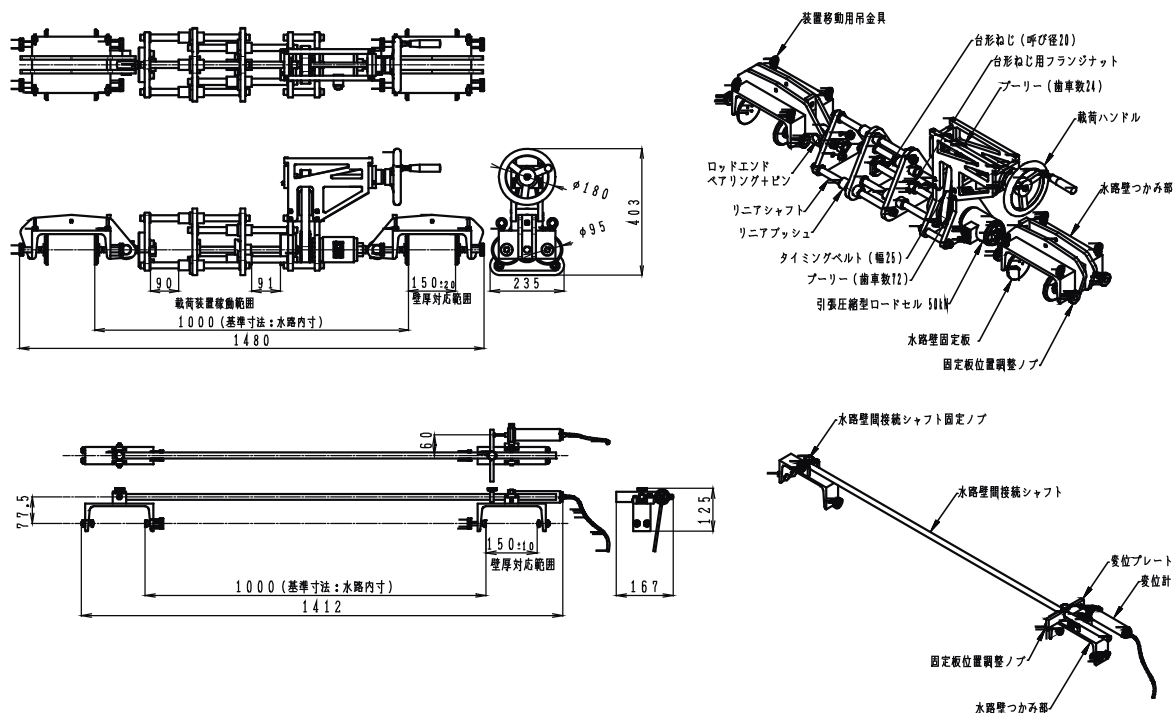


図11 水路壁載荷装置（1号機）の概要図

また、水路壁載荷装置の軽量化及び精度向上を図るために、水路壁載荷装置 2 号機について、表 7 の改良を実施した。

表 8 水路壁載荷装置（2号機）の改良内容

項目	内容
ロードセルの精度向上	ロードセルの容量を 50kN（ひずみ出力値 $21.62\text{N}/1\times 10^{-6}$ ）から、20kN（ひずみ出力値 $4.00\text{N}/1\times 10^{-6}$ ）に変更した。
装置の軽量化	各部品の寸法を見直し、材質をアルミ合金に変更した結果、装置の重さは 30kg となった。
装置の固定方法	装置を移動する際の金具を変更し、運搬作業の向上を図った。
装置設置の作業性向上	装置本体と水路壁固定部材との接合部形状を長孔に変更することで、装置本体の伸縮長さと水路壁間距離とのズレを吸収する構造とした。
変位計の測定精度向上	変位計の許容量を 50mm（ひずみ出力値 $0.005\text{mm}/1\times 10^{-6}$ ）から、25mm（ひずみ出力値 $0.002\text{mm}/1\times 10^{-6}$ ）に変更した。また、接続シャフトと変位計を同軸上に変更することで、設置時及び載荷時の縦・横方向の傾きによる誤差を防止した。
変位計の保護	変位計測定子の損傷を防止するために、変位計を装置部品内に組み込む構造とした。

載荷装置試作 2（20kN タイプ）

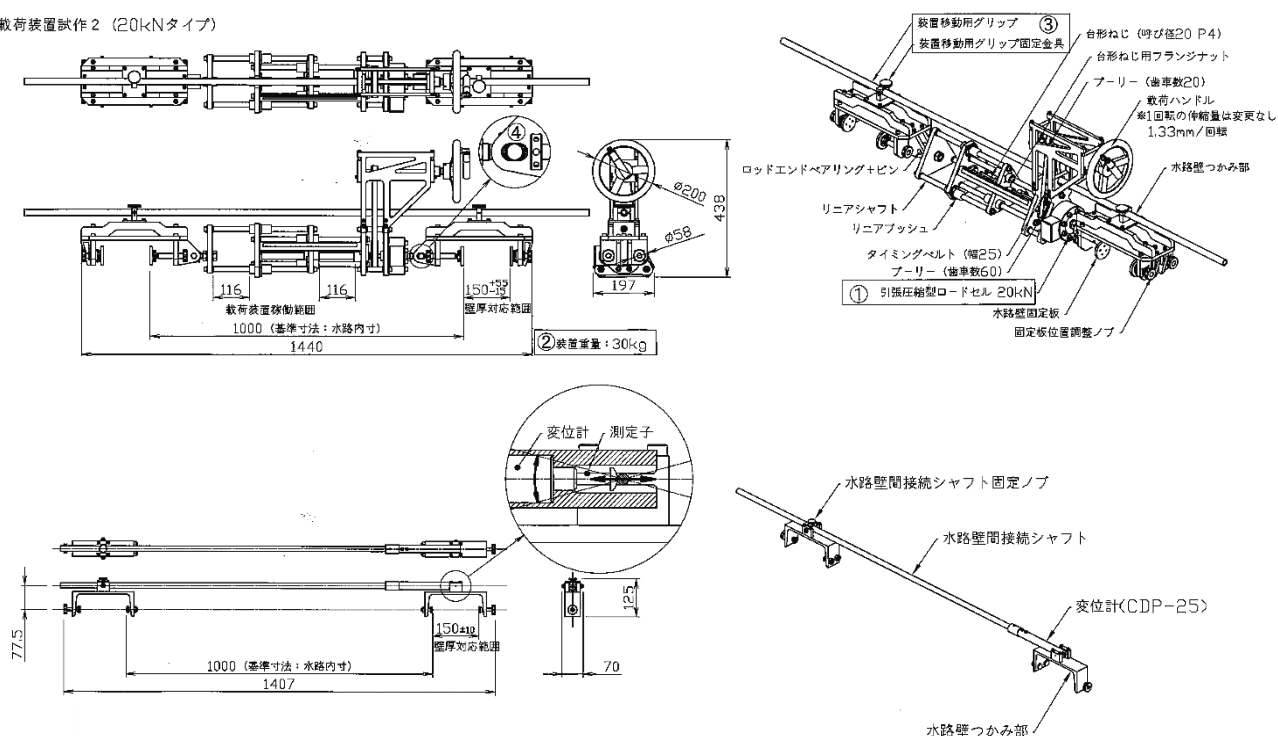


図 12 水路壁載荷装置（2号機）の概要図

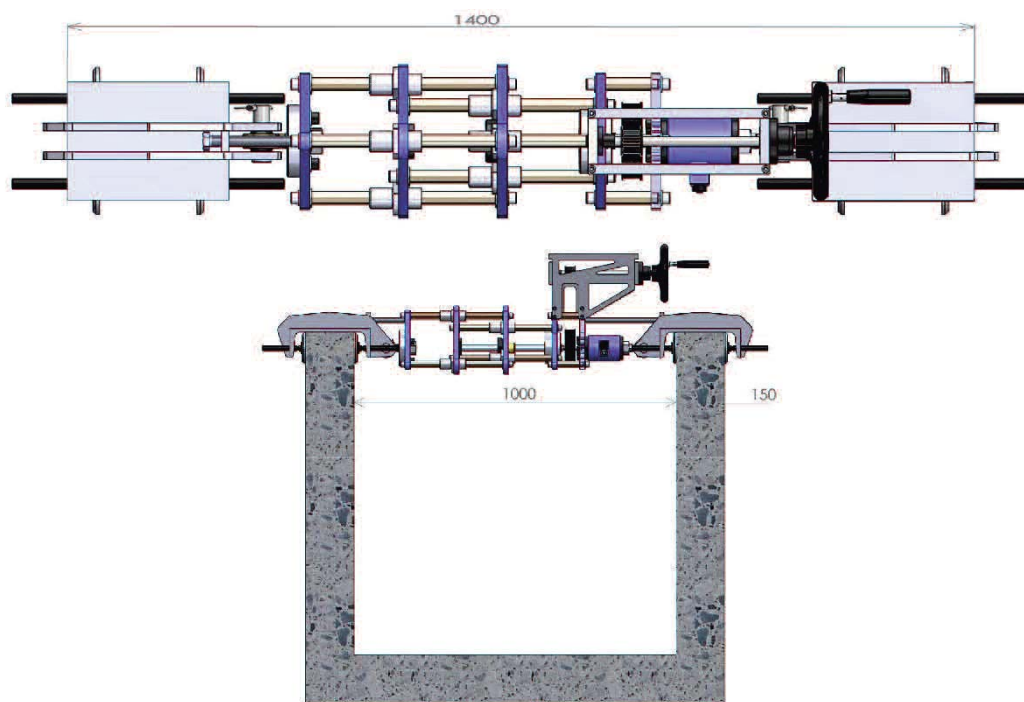


図 1 3 水路壁載荷装置の概要図

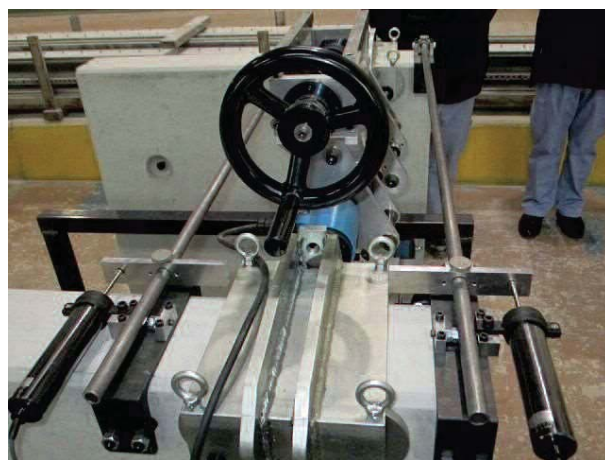


写真 4 水路壁載荷装置の試作状況

1. 6. 2 水路壁載荷装置を用いた開水路単体の挙動確認

(1) 水路壁載荷装置によるプレキャストコンクリートの外圧試験

水路壁載荷装置を使用したプレキャストコンクリート製品であるフリュームの外圧強度試験を実施した。

1) 試験方法

試験体の側壁部に発生する変形量は、試験体頂部に設置した水路壁載荷装置による載荷と同時に計測した。試験条件は、表 9 に示すとおりである。水路壁載荷装置による載荷は、装置に取り付けたハンドルを回転させることで行う。載荷速度は、人力にてゆっくり一定荷重を負荷させる速度としてハンドル 1 回転当たり 60 秒（約 0.054kN/秒）と設定した。また、速度による影響を確認するために、上記速度の 5 倍である 1 回転当たりの速度が 12 秒（約 0.113kN/秒）及び上記速度の 0.5 倍である 120 秒（約 0.026kN/秒）についても併せて検討した。装置の設置は、試験体の軸方向中央部とし、載荷方向は内面載荷（試験体の内面側から外面側に載荷）と外面載荷（試験体の外面側から内面側に載荷）について実施した。横断面における変位計の設置は、図 1 4 に示すとおりである。なお、横断方向の設置に関しては、変位計 C～K は装置の軸線下にあり、変位計 A 及び B は、装置との干渉をさけるために水平方向の離隔距離を 105mm とした。底版部からの変位計の高さは、A 及び B が 1,030mm, C 及び D が 810mm, E 及び F が 590mm, G 及び H が 370mm, J 及び K が 155mm とした。なお、荷重と変形量のデータは、データーロガー（東京測器研究所 TDS-530）により 2 秒間隔で計測した。

表 9 試験条件

条件	載荷方向	載荷速度	変位計の位置
1	内面	60 秒/回転	中央
2	外面	60 秒/回転	中央
3	内面	12 秒/回転	中央
4	外面	120 秒/回転	中央

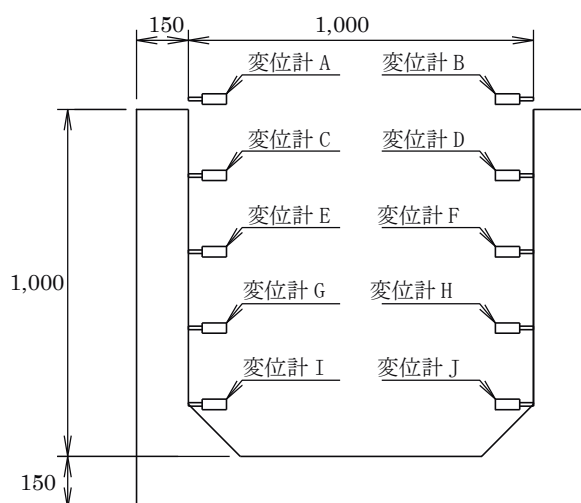


図 1 4 変位計設置断面



写真 5 試験実施状況

2) 試験結果

① 荷重時における左右側壁の挙動

水路壁荷重法を現場で適用するためには、健全な開水路に本手法を適用した際に左右側壁の挙動が等しくなる必要がある。条件 1 は、水路壁荷重装置及び変位計を試験体の中央部に設置し、内面荷重より変形量を測定した結果である。また、条件 2 は、条件 1 の荷重する方向を外面とした場合である。この時の変位計 A 及び変位計 B に発生した荷重と変形量の関係を図 1 5 及び図 1 6 に示す。変位計 A, B における近似直線の傾きは、それぞれ 14.0kN/mm であり、非常に高い相関を示すことを確認した。つまり、健全開水路に本手法を適用した際における左右の側壁は、内面および外面荷重に伴って、均等に変形していることを確認できた。

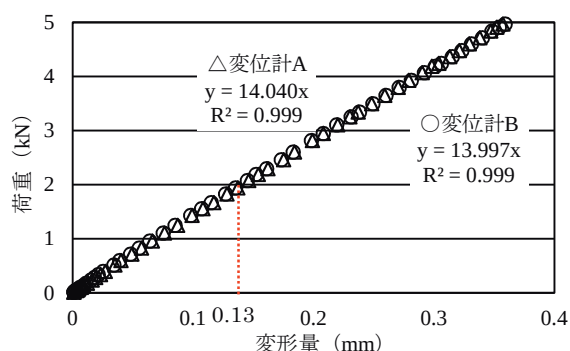


図 1 5 内面荷重における荷重と変形量の関係 (条件 1)

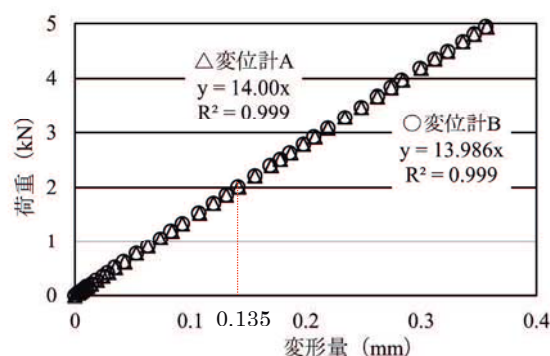
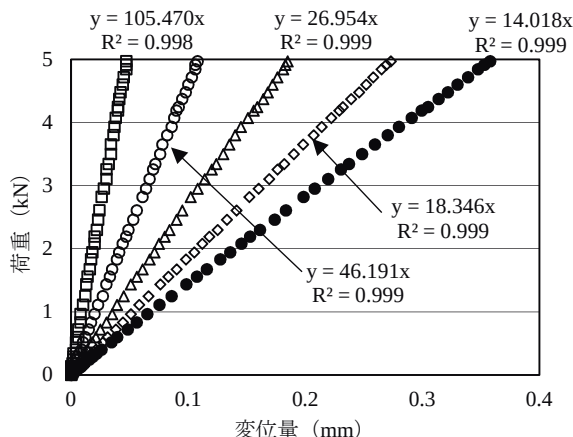


図 1 6 外面荷重における荷重と変形量の関係 (条件 2)

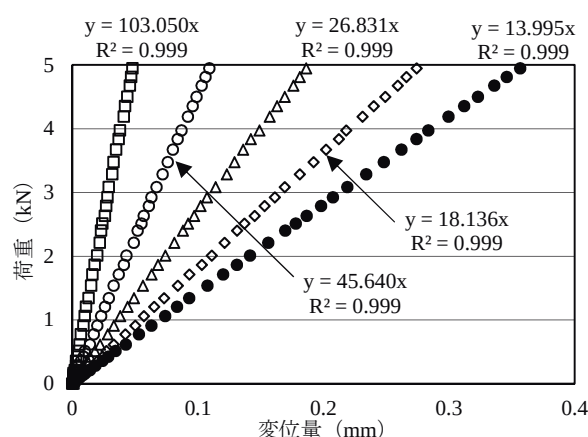
② 荷重方向が荷重-変形量の関係に与える影響

本研究で用いたフリュームはハンチを有している。ハンチの影響を確認するために、条件 1、条件 2 の内面荷重時および外面荷重時における全ての測定位置の荷重—変形量に対して考察を加えることにした。荷重—変形量の関係を図 1 7 と図 1 8 に示す。全ての測定位置における荷重と変形量の近似直線は、内面荷重及び外面荷重ともに、それぞれの決定係数が 0.998 以上と非常に高い相関を示した。各変位計における傾きは、変位計 A, B については前述したとおりであり、変位計 C, D では内面荷重が 18.3kN/mm、外面荷重が 18.1kN/mm とほぼ同じになった。変位計 E, F 並びに変位計 G, H, 変位計 J, K においても同様であり、内面荷重と外面荷重の両者において近似直線の傾きは概ね同じ値となることが確認できた。本実験で用いた試験体は、水路内面にハンチを有するコンクリート構造であるため、内面荷重時よりも外面荷重時の方が、変形に伴う荷重は大きくなると考えられていたが、内面荷重時と外面荷重時の変形量はほぼ同じ値を示した。そのため、ハンチにおける断面二次モーメントの増加効果は、変形量が 0.3~0.4mm 程度では発揮しないため、内面荷重と外面荷重により得られた荷重と変形量の関係は同様の傾向を示したと考えられる。



●変位計 A,B の平均値 ◇変位計 C,D の平均値
 △変位計 E,F の平均値 ○変位計 G,H の平均値
 □変位計 J,K の平均値

図 1 7 内面載荷における荷重と変形量
の関係 (条件 1)



●変位計 A,B の平均値 ◇変位計 C,D の平均値
 △変位計 E,F の平均値 ○変位計 G,H の平均値
 □変位計 J,K の平均値

図 1 8 外面載荷における荷重と変形量
の関係 (条件 2)

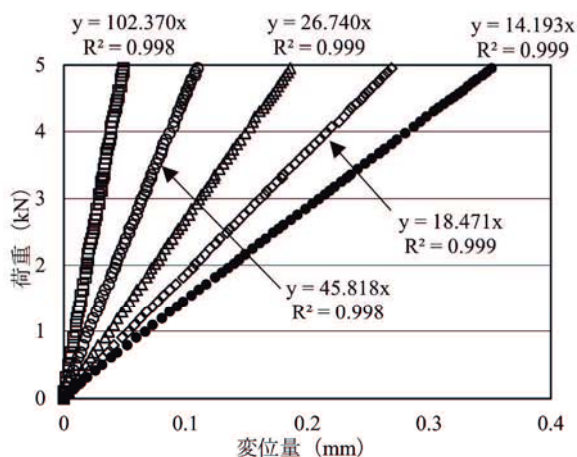
③載荷速度が荷重-変形量の関係に与える影響

既往の研究 (小山善行, 鈴木澄江, 早川光敬, 陣内 浩: 圧縮強度試験における荷重速度と強度レベルがコンクリートの強度・変形性状に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, 31, pp.409-414, 2009) によると, 荷重速度と静弾性係数の関係は, JIS A 1108 が示す載荷速度の範囲であれば, 速度が静弾性係数に与える影響はあまり大きなものではないと報告されている。コンクリートの圧縮強度試験方法である JIS A 1108 では, 試験時の速度は毎秒 $0.6 \pm 0.4 \text{ N/mm}^2$ と規定している。圧縮強度試験での最小載荷速度である 0.2 N/mm^2 に対して最大値は 5 倍の 1.0 N/mm^2 であり, 同様に割裂引張試験も最小値と最大値で 5 倍の違いがある。そこで, 本節では載荷速度が荷重-変形量の傾きに与える影響について評価した。目標とした載荷速度は, 条件 1 (0.026 kN/秒) に対して条件 3 (0.054 kN/秒) の約 2 倍となる速度, 条件 1 に対して条件 4 (0.113 kN/秒) は約 4.3 倍とした。この時の荷重と変形量の傾きを測定した結果をそれぞれ図 1 9 と図 2 0 に示す。変位計 A 及び B の荷重と変形量の傾きは, 内面載荷で 14.2 kN/mm , 外面載荷で 14.2 kN/mm となり, 載荷方向に関係なく同程度の値となる結果であった。以上から, 本内容とおおむね符合する結果となった。また, 条件 1~条件 4 の傾きとも近似する結果となった。このことから, 本試験条件における載荷速度の範囲内では, 荷重と変形量の傾きに与える影響は比較的小さいことを確認した。

(2) 弾性理論に基づく計算値と実測値との比較

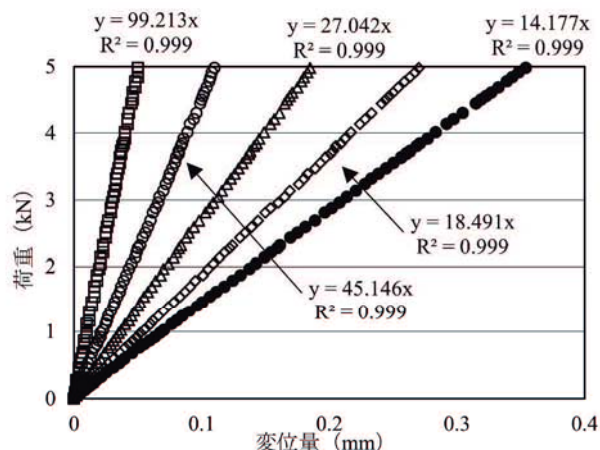
本試験条件は, 左右対称な試験体の中央部を基準とし, 内面及び外面載荷によって変形量を計測したものである。図 2 1 を用いて外面載荷における C 点の変形量の理論的計算方法を説明する。図 2 1 は, 試験体底版の中心部である A 点を固定端とし, 自由端である C 点に荷重 P を水平方向に加えたものである。

この時の C 点に発生する変形量は, A 点においては試験体の中央部であるためたわみ角



●変位計 A,B の平均値 ◇変位計 C,D の平均値
 △変位計 E,F の平均値 ○変位計 G,H の平均値
 □変位計 J,K の平均値

図 19 内面載荷における荷重と変形量
 の関係 (条件 3)



●変位計 A,B の平均値 ◇変位計 C,D の平均値
 △変位計 E,F の平均値 ○変位計 G,H の平均値
 □変位計 J,K の平均値

図 20 外面載荷における荷重と変形量
 の関係 (条件 4)

は 0 となり, B~BA2 間と B~BC2 間においては, 断面二次モーメントが過大な数値になると考えられるため, 変形量も非常に小さな数値になることから剛域と設定した。A~BA1 間と BA1~BA2 間については, たわみ角をそれぞれ計算した。その後, BC1~BC2 間及び BC1~C 間に発生するたわみ角を計算し, 最終的に C 点に作用する変形量の構造計算式を導いた。ただし, A~BA1 間と BC1~C 間においては, 壁厚は h で一定であるが, ハンチである BA1~BA2 間と BC1~BC2 間では, 壁厚が h から $2h$ まで変化する。そこで, BA1~BA2 間と BC1~BC2 間における断面二次モーメントは, 平均値を使用するものとした。A~BA1 間と BC1~C 間における断面二次モーメントは, 壁厚と試験体長さとの長方形断面であるため式 (1) のように導くことができる。一方, BA1~BA2 間と BC1~BC2 間における断面二次モーメントは, 上述のとおり, 壁厚が h から $2h$ と線形的に変化するため, 式 (2) により導いた。

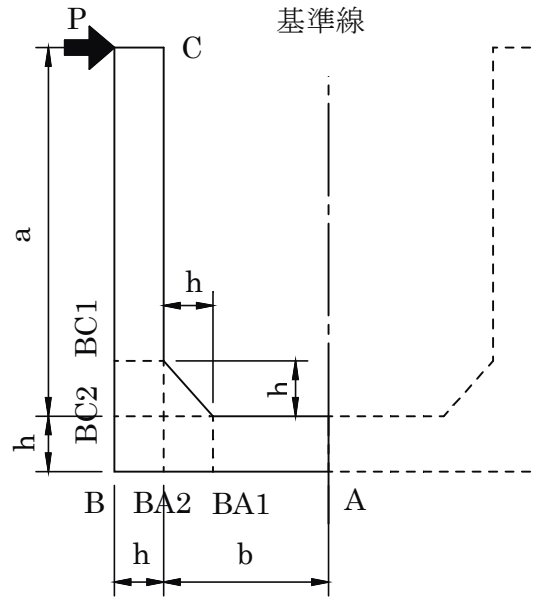


図 2 1 理論式検討概要図

A～BA1 区間における回転角 θ_{BA1} は、以下のように導くことができる。

$$M_{(x)} = P \cdot \left(b + \frac{1}{2} h \right)$$

$$\theta_{(x)} = \frac{1}{EI} \int_0^x M_{(t)} dt + \theta_{(a)} = \frac{1}{EI} \cdot P \cdot (b + 2h) \cdot x + 0$$

$$\theta_{BA1} = \theta_{(x=a-h)} = \frac{1}{EI} \cdot P \cdot \left(b + \frac{1}{2} h \right) \cdot (a - h)$$

BA1～BA2 区間における回転角 θ_{BA2} は、以下のように導くことができる。

$$M_{(x)} = P \cdot \left(b + \frac{1}{2} h \right)$$

$$\theta_{(x)} = \frac{1}{EI} \int_{a-h}^x M_{(t)} dt + \theta_{BA1} = \frac{1}{EI} \cdot P \cdot (b + 2h) \cdot (x - a + h) + \frac{1}{EI} \cdot P \cdot \left(b + \frac{1}{2} h \right) \cdot (a - h)$$

$$\theta_{BA2} = \theta_{(x=a)} = \frac{1}{EI} \cdot P \cdot \left(b + \frac{1}{2} h \right) \cdot h + \frac{1}{EI} \cdot P \cdot \left(b + \frac{1}{2} h \right) \cdot (a - h)$$

BC1～BC2 区間における回転角 θ_{BC2} 及び変形量 y_{BC2} は、以下のように導くことができる。

$$\begin{aligned}
 M_{(z)} &= P \cdot (b - h - z) \\
 \theta_{(z)} &= \frac{1}{EI'} \int_{-h}^z M_{(t)} dt + \theta_{BC1} (= \theta_{BA2}) = \frac{1}{EI'} \cdot P \cdot \left\{ (b-h) \cdot (z+h) - \frac{1}{2} (z^2 - h^2) \right\} + \theta_{BA2} \\
 \theta_{BC2} &= \theta_{(z=0)} = \frac{1}{EI'} \cdot P \cdot \left\{ (b+h) \cdot h + \frac{1}{2} h^2 \right\} + \theta_{BA2} \\
 &= \frac{1}{EI'} \cdot P \cdot \left\{ \left(b - \frac{1}{2} h \right) \cdot h \right\} + \frac{1}{EI'} \cdot P \cdot \left(b + \frac{1}{2} h \right) \cdot h + \frac{1}{EI} \cdot P \cdot \left(b + \frac{1}{2} h \right) \cdot (a-h) \\
 y_{(z)} &= \int_{-h}^z \theta_{(t)} dt + y_{BC1} = \frac{1}{EI'} \cdot P \cdot \int_{-h}^z \left\{ (b-h) \cdot h + (b-h) \cdot t - \frac{1}{2} t^2 + \frac{1}{2} h^2 \right\} + \theta_{BA2} \Bigg] dt \\
 &= \frac{1}{EI'} \cdot P \cdot \left\{ (b-h) \cdot h \cdot (z+h) + \frac{1}{2} (b-h) \cdot (z+h)^2 - \frac{1}{6} (z+h)^3 + \theta_{BA2} \cdot (z+h) \right\} \\
 y_{BC2} &= y_{(z=0)} = \frac{1}{EI'} \cdot P \cdot \left\{ (b-h) \cdot h^2 + \frac{1}{2} (b-h) \cdot h^2 - \frac{1}{6} h^3 + \theta_{BA2} \cdot h \right\}
 \end{aligned}$$

BC2～C 区間における変形量 y_c は、以下のように導くことができる。

$$\begin{aligned}
 M_{(z)} &= P \cdot (b - h - z) \\
 \theta_{(z)} &= \frac{1}{EI} \int_0^z M_{(t)} dt + \theta_{BC2} = \frac{1}{EI} \cdot P \cdot \left\{ (b-h) \cdot z - \frac{1}{2} z^2 \right\} + \theta_{BC2} \\
 y_{(z)} &= \int_0^z \theta_{(t)} dt + y_{BC2} = \frac{1}{EI} \cdot P \cdot \left\{ \frac{1}{2} (b-h) \cdot z^2 - \frac{1}{6} z^3 \right\} + \theta_{BC2} \cdot z + y_{BC2} \\
 y_c &= y_{(z=b-h)} = \frac{1}{EI} \cdot P \cdot \left\{ \frac{1}{2} (b-h) \cdot (b-h)^2 - \frac{1}{6} (b-h)^3 \right\} + \theta_{BC2} \cdot (b-h) + y_{BC2} \\
 &= \frac{1}{EI} \cdot P \cdot \left\{ \frac{1}{2} (b-h) \cdot (b-h)^2 - \frac{1}{6} (b-h)^3 \right\} + \theta_{BC2} \cdot (b-h) + y_{BC2}
 \end{aligned}$$

断面二次モーメントは、それぞれ以下のとおりである。

$$I = \frac{1}{12} L \cdot h^3 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$I' = \frac{1}{h} \int_0^h \frac{L}{12} \cdot (2h-x)^3 dx = \frac{5}{16} L \cdot h^3 \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、P：荷重（N）、a：側壁高さ（1,150mm）、b：底版幅の 1/2（650mm）、
h：壁厚（150mm）、L：有効長（1,000mm）、E：試験体の弾性係数（31,020N/mm²）、
I：辺 a と試験体の壁厚における断面二次モーメント（281,250,000mm⁴）
I'：辺 b と試験体の壁厚における断面二次モーメント（1,054,687,500mm⁴）

なお、コンクリートの圧縮強度は実測値で 40.1N/mm²（材齢 28 日）であったため、コンクリート標準示方書設計編（土木学会）の理論式から、静弾性係数を 31,020N/mm² と算

出した。

そこで、荷重が 2,000N 時に発生する C 点の変形量は、0.138mm となり、実測値である 0.135mm と近似する結果となった。

(3) 底版ひび割れモデルにおける検証

コンクリート開水路の診断は、主に水路の内面から目視により調査する方法が実施されている。よって、目視確認ができない異常については（水路の外面にひび割れ等が発生している場合等），的確な診断方法がないのが現状である。そこで、著者らは、水路壁載荷装置を用いた鉄筋コンクリート開水路の構造安全性を現地で評価できる非破壊診断手法の開発を進めている。本手法は、開水路の側壁を載荷した時に発生する変形量を測定し、荷重と変形量の関係から剛性を評価するものである。

そこで、鉄筋コンクリートフリームの外面にひび割れを発生させた試験体を製作し、新品との荷重と変形量の違いを検証した。

1) 試験体

試験体は、図 2 2 に示す農業土木事業協会型鉄筋コンクリート大型フリームの張り出し無しタイプとし、その寸法は、内空幅 1,000mm、内空高さ 1,000mm、長さは 2,000mm である。

試験体のひび割れは、底版の外面部に発生させた。その方法は、試験体側壁の天端、長手方向の中央に水路壁載荷装置を設置し、試験体の外面側から内面側に引き込み（外面載荷）、反力が低下するまで荷重を加えるものである。その結果、ひび割れの幅は約 0.3mm となった。このひび割れ幅は、農業水利施設の機能保全の手引きの鉄筋コンクリート開水路の施設状態評価表にある健全度ランクの S-4 に該当する。また、ひび割れの長さは、試験体底版の長手方向全体とした。

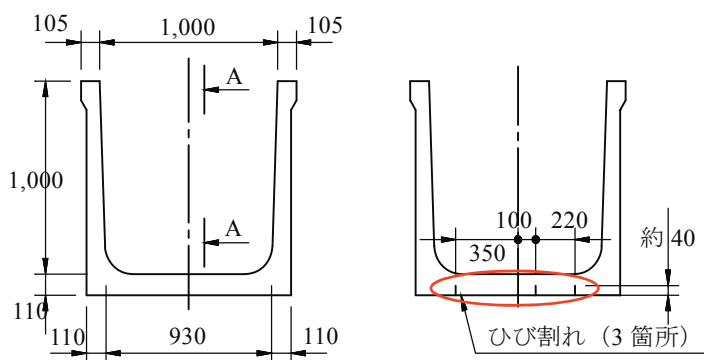
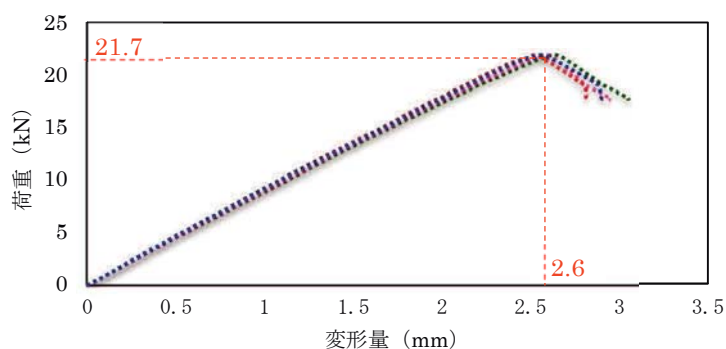


図 2 2 試験体概要図



写真 6 ひび割れ状況



..... 変位計1R 変位計1L 変位計2R 変位計2L

図 2 3 荷重と変形量の関係

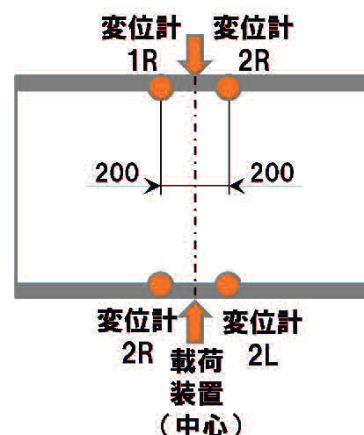


図 2 4 変位計設置概要図

なお、図 2 3 がひび割れを発生させた時の荷重と変形量の関係、図 2 4 が変位計の位置を示した概略図である。表 1 0 に示すとおり、ひび割れが発生した時の最大荷重は 21.7kN であり、その時の変形量は約 2.6mm であった。

表 1 0 ひび割れ発生時の最大荷重と変形量

最大荷重	変位計 1R	変位計 1L	変位計 2R	変位計 2L
21.7kN	2.65mm	2.60mm	2.54mm	2.57mm

2) 試験の概要

試験体に発生する変形量は、側壁頂部に設置した水路壁荷重装置によって徐々に載荷することで計測した。水路壁荷重装置は、試験体の長手方向中央部に設置した。載荷する方向は内面載荷（試験体の内面側から外面側に載荷）と外面載荷（試験体の外面側から内面側に載荷）の 2 方向とし、載荷速度はハンドルの 1 回転当たり 60 秒程度とした。変位計は、図 2 5 に示すとおり、装置を中心とした長手方向の前後 105mm 離れた位置（変位計 1, 2）とした。ただし、変位計は装置とは独立した状態で設置した。なお、変位計は接触式（東京測器研究所 CDP25、非直線性 0.1%RO）を使用した。試験条件を表 1 1 に示す。

表 1 1 試験条件

条件	状態	亀裂の状況		載荷方向	装置位置
		幅	位置		
1	新品	—	—	内面	中央
2		—	—	外面	
3	ひび割れ	約 0.3mm	底版部の中央付近及びハンチ付近の合計 3 箇所	内面	
4				外面	



写真 7 試験の実施状況

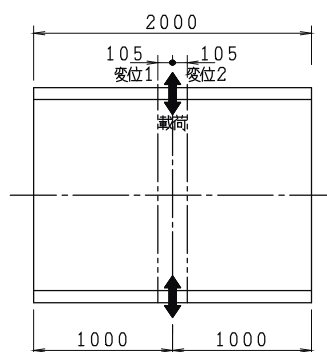


図 2 5 変位計の設置状況

3) 試験結果

試験結果は、図 2 6 から図 2 9 に示すとおりである。すべての試験体において、変位計 1 と変位計 2 は同じ値を示したことから、側壁長手方向の挙動は载荷装置の設置軸を中心に対称となることを確認した。一方、内面载荷による条件 1（新品）と条件 3（ひび割れ）の変位計 1 での荷重と変形量の傾きを比較すると、約 1.6 倍

($=10.13/6.36$) 異なった。外面载荷による条件 2（新品）と条件 4（ひび割れ）の変位計 1 での荷重と変形量の傾きを比較すると、約 1.1 倍 ($=10.01/8.81$) 異なった。载荷方向のみが異なる条件 1 と条件 2 の荷重と変形量の傾きが同じであることを考慮すると、条件 3 の傾きが条件 4 よりも大きくなったのは、条件 3 の外面载荷ではひび割れの幅が開こうとする方向に作用するため、ひび割れが閉じようとする条件 4 の内面载荷よりも同一荷重による変形が大きくなったためであると考えられる。

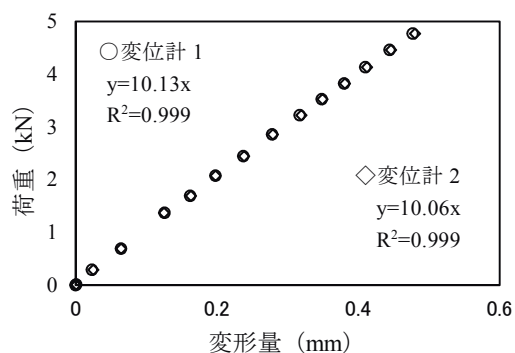


図 2 6 荷重と変形量の関係（条件 1）

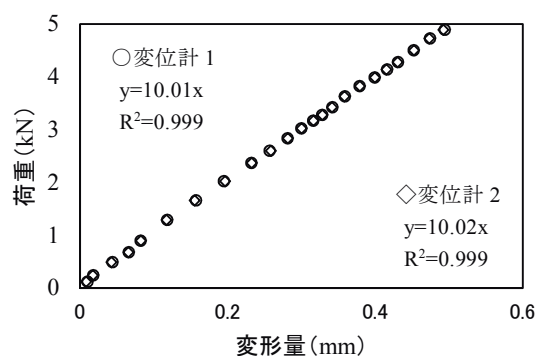


図 2 7 荷重と変形量の関係（条件 2）

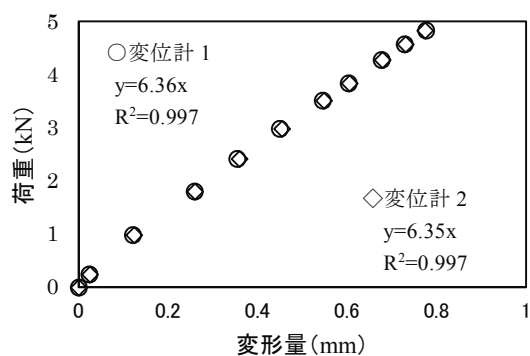


図 2 8 荷重と変形量の関係 (条件 3)

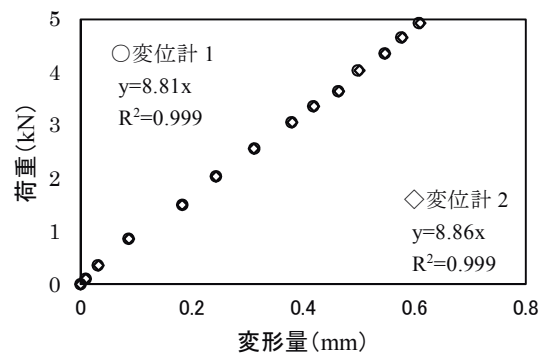


図 2 9 荷重と変形量の関係 (条件 4)

4) まとめ

今回、ひび割れを発生させた鉄筋コンクリートフリームに対して水路壁載荷法による試験を実施した結果、底版の外面部にひび割れが発生した試験体は新品と比較して、同一荷重における変形量が大きくなることを確認した。

以上から、水路壁載荷法は、内面からの目視調査では確認できない異常が発生したコンクリート開水路について、構造的な安全性を確認することができると思う。

(4) 側壁貫通ひび割れモデルにおける検証

1) 試験体

片側のフリーム側壁の中央部付近に貫通したひび割れを発生させたフリームについても試験を実施した。その方法は、鉄筋を損傷させないよう小径コアにて削孔後、ひび割れ誘発アンカーを埋め込み、ボルトを締結しアンカーを拡張させることで、ひび割れを発生させた。ひび割れ幅は、上記と同様に約 0.3mm となった。なお、ひび割れの長さは、側壁頂部からハンチ上までとした。



写真 8 小径コアによる削孔状況



写真 9 ひび割れ誘発アンカー



写真 10 ボルト締結状況



写真 11 ひび割れ発生状況

2) 試験の概要

試験体に発生する変形量は、側壁頂部に設置した水路壁載荷装置によって徐々に載荷することで計測した。水路壁載荷装置は、試験体の長手方向中央部（ひび割れ部に試験装置を設置）及び試験体の端部から 675mm に設置した。載荷する方向は内面載荷と外面載荷の 2 方向とし、載荷速度はハンドルの 1 回転当たり 60 秒程度とした。変位計は、図 30 に示す位置とした。ただし、変位計は装置とは独立した状態で設置した。なお、変位計は接触式（東京測器研究所 CDP25、非直線性 0.1%RO）を使用した。試験条件を表 12 に示す。

表 1 2 試験条件

条件	状態	亀裂の状況		载荷方向	装置位置
		幅	位置		
1	新品	—	—	内面	中央
2		—	—	外面	
3	ひび割れ	約 0.3mm	試験体中央の側壁にハンチ上まで貫通させた亀裂	内面	
4				外面	
5	新品	—	—	内面	端部
6		—	—	外面	
7	ひび割れ	約 0.3mm	試験体中央の側壁にハンチ上まで貫通させた亀裂	内面	
8				外面	

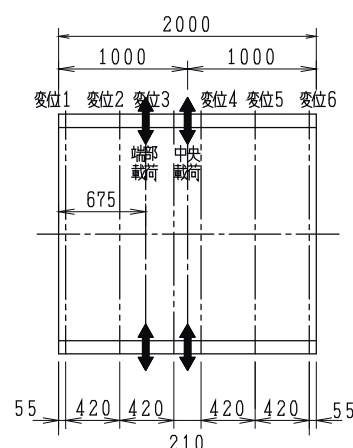


図 3 0 変位計の設置箇所

3) 試験結果

試験結果は表 1 3 に示すとおりである。条件 1 と条件 3, 条件 2 と条件 4, 条件 5 と条件 7 及び条件 6 と条件 8 の変形量及び荷重と変形量の傾きを比較した結果、フリュームの側壁部にひび割れを発生させたタイプ 2 は、新品とほぼ同じ挙動を示すことを確認した。

表 1 3 試験結果（荷重と変形量の関係）

条件		1	5	2	6	3	7	4	8
載荷方向		外面		内面		外面		内面	
載荷装置の位置		中央	端部	中央	端部	中央	端部	中央	端部
変位計1	近似式	y=12.82x	y=16.08x	y=11.74x	y=15.98x	y=12.96x	y=16.44x	y=13.11x	y=16.44x
	変形量	0.398	0.326	0.399	0.325	0.412	0.310	0.390	0.311
変位計2	近似式	y=11.37x	y=13.46x	y=11.21x	y=13.31x	y=11.17x	y=13.48x	y=11.29x	y=13.58x
	変形量	0.447	0.39	0.454	0.389	0.479	0.377	0.452	0.377
変位計3	近似式	y=10.13x	y=11.06x	y=10.01x	y=10.99x	y=9.74x	y=10.96x	y=9.90x	y=10.97x
	変形量	0.503	0.473	0.506	0.471	0.549	0.464	0.576	0.465
変位計4	近似式	y=10.06x	y=10.06x	y=10.02x	y=10.04x	y=9.60x	y=9.73x	y=9.77x	y=9.78x
	変形量	0.506	0.519	0.507	0.515	0.555	0.522	0.521	0.523
変位計5	近似式	y=11.18x	y=9.44x	y=11.10x	y=9.39x	y=11.09x	y=9.21x	y=11.38x	y=9.26x
	変形量	0.456	0.552	0.456	0.549	0.481	0.551	0.449	0.550
変位計6	近似式	y=12.63x	y=9.81x	y=12.52x	y=9.70x	y=12.77x	y=9.63x	y=13.04x	y=9.65x
	変形量	0.403	0.532	0.405	0.531	0.416	0.527	0.392	0.529

※近似式は、y 軸が荷重、x 軸が変形量とする。

4) まとめ

今回、ひび割れを発生させたフリュームに対して水路壁载荷法による試験を実施した結果、側壁に貫通ひび割れを発生した場合は、鉄筋が健全な状態であれば新品とほぼ同じ挙動を示す結果となった。よって、水路内面からの調査でひび割れが発生している場合、鉄筋が健全な状態であれば、早期に補修を実施することで、施設の延命化を図ることができる可能性が考えられる。

1. 6. 3 背面土圧を考慮した構造安全性評価手法の確立

(1) 現地に設置したコンクリートフリームの検証

幹線で約 4.9 万 km、支線を含めると約 40 万 km に及ぶ農業用水路は、農業用水を農地に供給する上で不可欠な施設であり、水路の機能低下による水路網の断線は確実に避けなければならない。水路の主要な建設材料はコンクリートであり、時間の経過と共に徐々に劣化が進行することで機能低下を引き起こすことが顕在化している。我が国の農業用水路は、高度経済成長期から建設され続け、現在において施工後数十年を経たものが多くなっている。そのため、将来にわたり施設が有する機能を確保するためには現状の診断と劣化予測に基づいた補修・補強による対策を行う必要がある。この背景のもとで、農林水産省では「農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【開水路補修編】」や農業水利施設の機能保全の手引き「開水路」などのマニュアルを整備し、施設の長寿命化とライフサイクルコストの低減を図るストックマネジメントの取り組みを行っている。しかし、これらのマニュアルでは、開水路における耐久性の評価や回復・向上に関する内容が主であり、構造物の安全性や剛性の評価および回復に関しては十分な記述がなされていない。この背景のもと、著者らはコンクリート開水路における構造安全性の評価手法として水路壁載荷法を提案している。水路壁載荷法は、開水路の側壁頂部に載荷装置を設置し、開水路の内面側から外面側に荷重を載荷（内面載荷）又は外面側から内面側に荷重を載荷（外面載荷）し、その時の荷重と変位量を計測するものである。既往の研究において、著者らは、地上部に静置した状態の鉄筋コンクリートフリーム（以下、フリームという）について、水路壁載荷法による試験を実施した結果、載荷方向に関係なく荷重と変位量の傾きが一致することを確認した。

今回、実現場の埋設環境に置かれたフリームについて本手法を適用し、荷重と変位量の関係について評価した結果を報告する。

(a) 水路内に水が滞留していない場合における検証試験

1) 試験体について

本研究で対象とした試験体は、大井手土地改良区（鳥取県鳥取市）が管轄している鉄筋コンクリート大型フリーム（コンクリート二次製品）である。なお、施設は農業土木事業協会型規格に準じており、試験体は、内空幅 1,800mm、内空高さ 800mm であり、R 形状（R=100mm）のハンチを有するフリームである。試験体の概要は、表 1 4 に示すとおりである。試験体が設置されている環境としては、試験体の両側は、図 3 1 に示すとおり側壁頂部まで発生土で埋設された状態である。

なお、今回、水路は落水した状態であったため、試験体には水が流れていない（滞水していない）が、底版部は湿潤状況下であった。

表 1 4 試験体の概要

内空部の幅 (mm)	1,800
内空部の高さ (mm)	800
頂部の壁厚 (mm)	100
有効長 (mm)	2,000
ハンチ	有 (R 形状)
水路の背面状況	未舗装 (発生土)

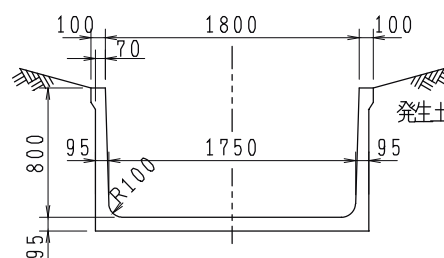


図 3 1 試験体の設置環境概要図

2) 試験方法

水路壁載荷法による側壁部に発生する変位は、接触式変位計（東京測器研究所製 CDP25、非直線性 0.1%RO）、荷重は、水路壁載荷装置に内蔵したロードセル（東京測器研究所製 TCLM-20KNB、非直線性 0.05%RO）にて測定した。載荷速度は 50N/sec を目安とし、測定間隔は 100Hz とした。水路壁載荷装置及び変位計の設置箇所は、図 3 2 及び表 1 5 に示すとおりである。

なお、変位計を載荷装置に組み込んだ場合、荷重によって載荷装置に生じる変形が変位測定に影響を及ぼすことから、載荷装置と変位計を分離して設置した。このとき、水路壁載荷装置の近傍に設置する変位計 1 は、設置に必要な離隔距離が 105mm となった。変位計 2 と変位計 3 の設置箇所は、試験体半分を対象とした 3 等分となる位置を目安に設定した。載荷方向は、内面載荷及び外面載荷とした。

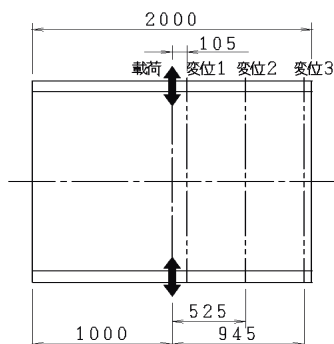


図 3 2 載荷装置と変位計の設置概要図

表 1 5 試験条件

載荷位置	載荷方向	変位計の位置 (載荷装置からの距離)	
		変位 1	変位 2
中央	内面載荷	105mm	525mm
	外面載荷	945mm	

3) 試験結果

水路壁載荷装置を試験体の中央に設置した時の内面および外面載荷より得られた荷重と変位量の関係を図 3 3 に示す。内面及び外面載荷ともに、荷重と変位量の関係は線形性を有することを確認した。荷重と変位量の傾きは、変位計 1 では、内面載荷の場合は 6.05 (kN/mm)、外面載荷の場合は 5.32 (kN/mm) であった。試験体は、ハンチ部を有していること及び試験体は埋設された状態であるため、土圧の影響を受ける内面載荷の方が外面載荷よりも大きな荷重、つまり荷重—変形量の傾きが大きくなると想定していたが、本実験で評価した試験体および埋設状況においては、影響が比較的小さいものとなった。

また、載荷点からの距離と変位量の間に関係があると仮定し、荷重が 2kN の場合について変位計 1 と 2 の変位から変位計 3 の変位を推定すると 0.175mm となる。これは表 1 6 に示した実測値と近く、また外面載荷においても同様の結果となる。

つまり、荷重点からの距離と変位量は、線形性を有する結果となることを確認した。

よって、試験体の異常箇所は、水路壁載荷装置と軸方向に複数箇所設置した変位計から計測されたデータを比較することで特定できる可能性を示せた。

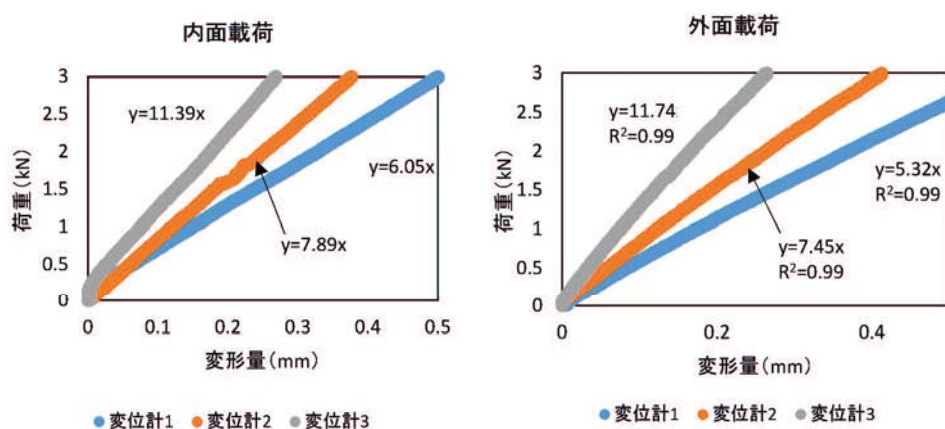


図 3 3 水路内に水がない場合の荷重と変形量の関係

表 1 6 3kN 時の変形量

載荷 位置	変位計の位置 (装置から離隔距離)		3kN 時の変位量	
			内面載荷	外面載荷
中央	変位計 1	105mm	0.488mm	0.484mm
	変位計 2	525mm	0.368mm	0.324mm
	変位計 3	945mm	0.198mm	0.196mm

4) まとめ

今回、埋設された実水路でのコンクリート開水路を対象として水路壁載荷法による荷重と変位量の関係を確認した結果、荷重と変位量の傾きは及び内面及び外面載荷の変位量は、地上部における試験結果と同様に、荷重方向に影響を受けないことを確認することができた。つまり、今回実施した変位量の範囲内では、土圧ならびにハンチの影響は比較的小さいと考える。

また、荷重点からの距離と変位量は、線形性を有することを確認することができたため、本手法は、水路壁載荷装置と変位計の設置位置を考慮することで、コンクリート開水路の異常箇所を特定することができる可能性を示すことができた。



写真 1 2 水路壁載荷装置の設置状況



写真 1 3 水路壁載荷装置の設置状況

(b) 水路内に水が滞留している場合における検証

試験体及び試験方法は、水路内に水がない場合と同様の条件にて実施した。水は、上下流を合板とパイプサポートを用いて堰き止めた後、水中ポンプにて水を滞留させた。この時の水の高さは約 6 割水深の高さ 50cm 程度であった。



写真 1 4 滞留水の状況



写真 1 5 滞留水の状況

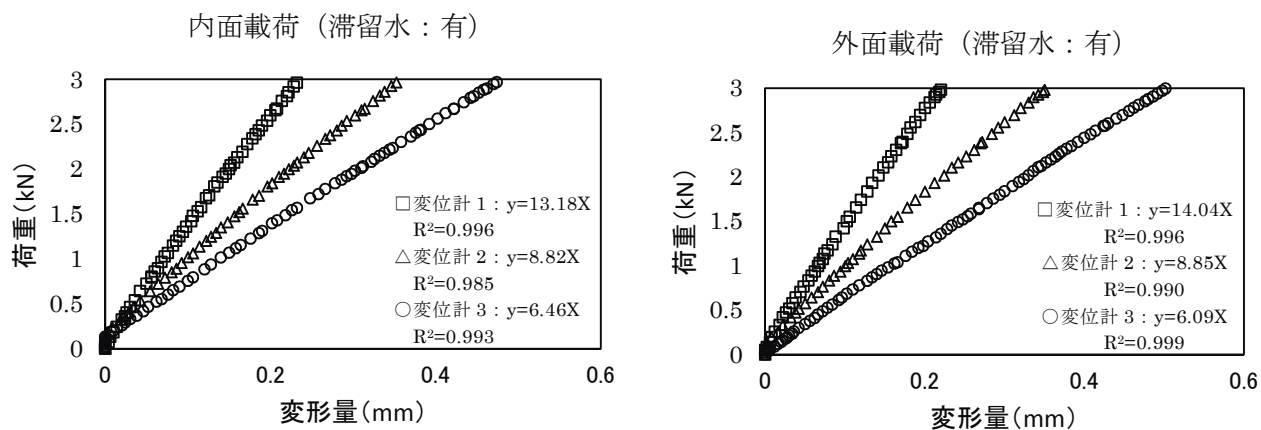


図 3 4 水路内に水を滞留させた場合の荷重と変形量の関係

表 1 7 3kN 時の変形量

載荷 位置	変位計の位置 (装置から離隔距離)	3kN 時の変位量	
中央	変位計 1	105mm	0.480mm
	変位計 2	525mm	0.356mm
	変位計 3	945mm	0.236mm

試験結果は図 3 4 及び表 1 7 に示すとおり、滞留している水がある場合においても荷重と変形量の関係は、大きな差が発生しなかった。また、載荷方向の違いにおける変形量の差も発生しなかった。

1. 6. 4 載荷結果を評価する手法の開発

載荷結果を評価する手法として、当初は荷重と変形量による傾きからコンクリート開水路の健全度についてランク分けすることを試みたが、コンクリート自体の弾性係数が把握できないこと、並びにその弾性係数バラツキも大きいことから、絶対評価ではなく相対評価で異常箇所を特定するものとする。

1. 6. 3 で実施した既設水路について荷重と変形量の関係を計測した結果を表 18 に示す。今回、7 スパン計測したが、内面と外面による載荷方向の違いによる変形量の差も小さいことから、計測した既設水路は健全であると考ええる。なお、変位計の誤差は、性能上 0.1mm 程度は想定する必要がある。

表 18 現場水路での計測結果 (mm)

水路 No.	内面載荷			外面載荷		
	変位計 1	変位計 2	平均	変位計 1	変位計 2	平均
1	0.500	0.508	0.504	0.486	0.514	0.500
2	0.522	0.534	0.528	0.482	0.548	0.515
3	0.524	0.544	0.534	0.568	0.564	0.566
4	0.570	0.568	0.569	0.576	0.576	0.576
5	0.564	0.564	0.564	0.552	0.554	0.553
6	0.534	0.534	0.534	0.530	0.542	0.536
7	0.558	0.552	0.555	0.578	0.574	0.576

※変位計は、装置の両側にそれぞれ 105mm 離れた位置に設置した。



写真 16 試験実施状況



写真 17 試験実施状況

以上から、コンクリートが健全であれば内面載荷及び外面載荷の変形量の差が大きくなると考えられる。また、変形量の差が現れる場合は、コンクリート開水路の内面からの目視では確認できない異常が発生している可能性があると考えられるため、詳細な診断を実施する必要があると考える。

1. 7 実証試験（現場適用）の概要，結果，課題等

（1）目的

土圧等の影響を受けない条件下において，背面底板部に亀裂を発生させたコンクリート製フリュームについて水路壁載荷法により荷重と変形量の関係を確認した結果，亀裂を発生させる前のフリュームよりも変形量が大きくなることを確認した。今回，実現場に設置されたフリュームを想定するために，埋設条件下におけるフリュームについて，同診断手法にて荷重と変形量の関係を確認し，背面土圧が与える影響を確認することを目的とした。

（2）試験日他

- ①試験日：平成 30 年 10 月 15 日
- ②試験場所：鳥取大学農学部敷地内
- ③施工業者：有限会社大富工業
- ④立会者：(株) 栗本鐵工所，サンコーテクノ（株），鳥取大学及び島根大学

（3）試験体

試験体は，図 3 5 に示すミルコン社製農業土木事業協会規格鉄筋コンクリート大型フリュームとする。なお，有効長は 2,000mm とする。試験体の物性は，表 1 9 に示すとおりである。

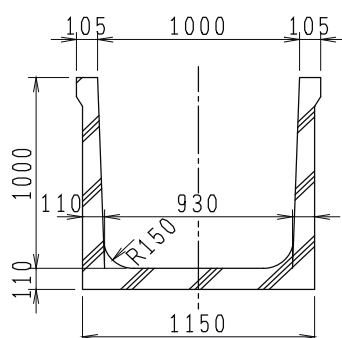


図 3 5 試験体の断面図

表 1 9 コンクリートの物性

試験体の材齢	14 日
圧縮強度（n=3 の平均値）	50.6N/mm ²
静弾性係数	27kN/mm ²

(4) 試験

1) 試験体の埋設

試験体の設置は、図 3 6 を参考に埋設するものとするが手順は以下のとおりとする。

- ①コンクリートカッターで上面のアスファルトを撤去する。
- ②図 3 6 を参考に掘削する。
- ③基床部の厚さは 200mm とし、砕石 C-40 にて転圧する。
- ④基床部上の所定箇所に試験体を設置する。
- ⑤試験体の両側は、基礎材の流出を防止するための、コンパネ及び土のうを設置する。
- ⑥基礎材をタンピングランマーで転圧する。基礎材は真砂土を使用するものとし、巻き出し厚さは 300mm 程度を目安とする。

※真砂土の締め固め度は、砂置換法土密度試験により確認する。

なお、基礎材（マサ土）の締め固め度は、砂置換法土密度試験では 88.7% であった。また、参考までにポータブルコーン貫入試験も実施したが、当試験方法は、軟弱地盤用の簡易計測機器であるため、正確な数値は計測できなかった。

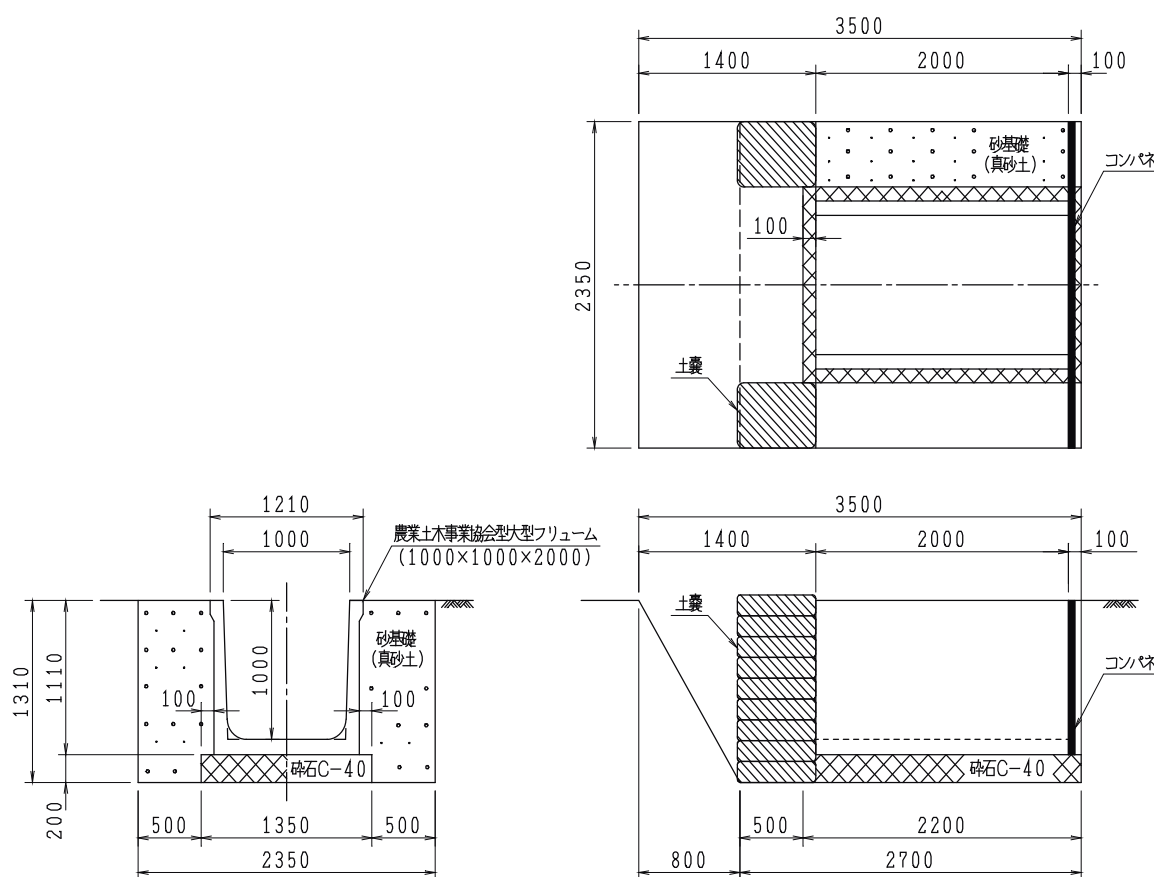


図 3 6 試験体の埋設概要図

2) 試験方法

試験は、表 20 の試験条件により以下の要領で実施した。

- ①試験体の側壁中央部に水路壁載荷装置を設置し、内面載荷及び外面載荷にて 5kN まで載荷し、荷重と変形量を計測する。埋め戻し前、埋め戻し直後及び 24 時間後について実施した。
- ②埋設 4 ヶ月後における荷重と変形量の間係を確認する。その後、外面載荷にて試験体背面の底版部に亀裂が発生するまで荷重を載荷する。ただし、この時の荷重と変形量の計測、並びに亀裂箇所の計測も実施する。なお、ひび割れ幅は、農業水利施設の機能保全の手引きの鉄筋コンクリート開水路の施設状態評価表（表 21）を参考に、健全度ランク S-4 の 0.2mm 以上～1.0mm 未満を目安とする。
- ③試験体の側壁頂部中央に水路壁載荷装置を設置し、内面載荷及び外面載荷にて 5kN まで載荷し、荷重と変形量の間係を確認する。荷重速度は、1 回転当たり 60 秒を目安とした。また、変位計は接触式（東京測器研究所 CDP25、非直線性 0.1%RO）を使用し、設置箇所は、試験体の側壁高さから 50mm の位置とし、長手方向の位置は図 37 に示す。なお、計測は載荷方向に関係なく、3 回連続して計測し、データが安定する 3 回目を採用するものとする。この時、荷重は完全に除荷せずに、0.5kN 程度負荷させた状態で 5kN までの荷重を往復するものとする。
- ④土圧計は、東京測器研究所製 KDE-500KPA（非直線性 2%RO）とし、その設置は、図 38 に示すとおりとする。土圧計は接着剤で固定した。

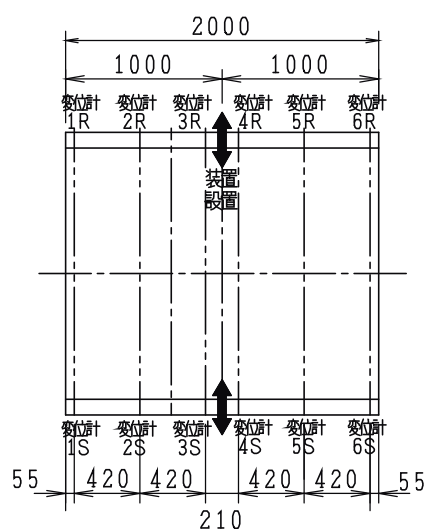


図 37 変位計の設置概要

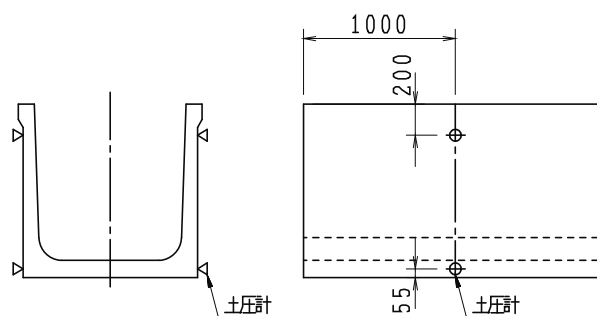


図 38 土圧計の設置概要図

表 2 0 試験条件

試験条件	状態	ひび割れ	載荷方向	荷重	備考
1-a	埋設前	無	内面	5kN	健全状態
1-b			外面		
1-c	埋設後		内面		健全状態
1-d			外面		
1-e	4 ヶ月後 (2 月)	有	内面	5kN	埋設後における変化
1-f			外面		
1-g			外面	ひび割れ荷重	ひび割れ発生まで載荷
1-h			内面	5kN	土圧の影響確認
1-i			外面		

表 2 1 鉄筋コンクリート開水路の施設状態評価表（農業水利施設の機能保全の手引き抜粋）

健全度ランク		S-5	S-4	S-3	S-2
形状と幅	タイプ：初期ひび割れ 形状：目地間中央や部材解放部の垂直ひび割れ 原因：乾燥収縮・温度応力	最大 ひび割れ幅 0.2mm 未満	最大 ひび割れ幅 0.2mm 以上 ～1.0mm 未満	最大 ひび割れ幅 1.0mm 以上	S-3 に該当する ものが全体的
	タイプ：劣化要因不特定のひび割れ 原因：症状が複合的であり劣化要因を特定できないもの 形状：特徴的な形状を示さないひび割れ	最大 ひび割れ幅 0.2mm 未満	最大 ひび割れ幅 0.2mm 以上 ～1.0mm 未満	最大 ひび割れ幅 1.0mm 以上	S-3 に該当する ものが全体的
	タイプ：ひび割れ先行型ひび割れ 原因：ASR や凍害などの劣化要因 形状：格子状・亀甲状などのひび割れ	最大 ひび割れ幅 0.2mm 未満	最大 ひび割れ幅 0.2mm 以上 ～1.0mm 未満	最大 ひび割れ幅 1.0mm 以上	S-3 に該当する ものが全体的
	タイプ：外力によるひび割れ 原因：構造物に作用する曲げ・せん断力 形状：側壁を横切るような水平又は斜めのひび割れ	最大 ひび割れ幅 0.2mm 未満	最大 ひび割れ幅 0.2mm 以上 ～1.0mm 未満	最大 ひび割れ幅 1.0mm 以上	S-3 に該当する ものが全体的

(5) 工程

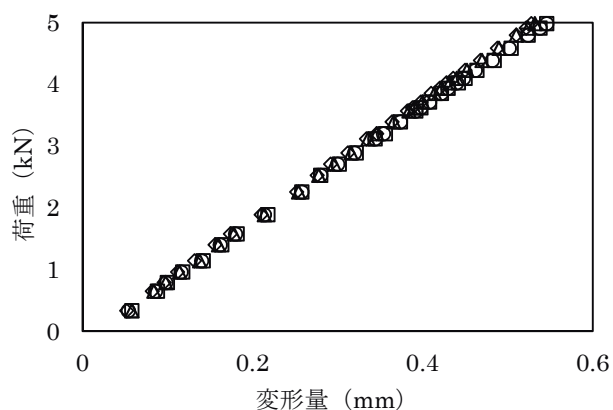
工程は、表 2 2 のとおり実施した。

表 2 2 実工程

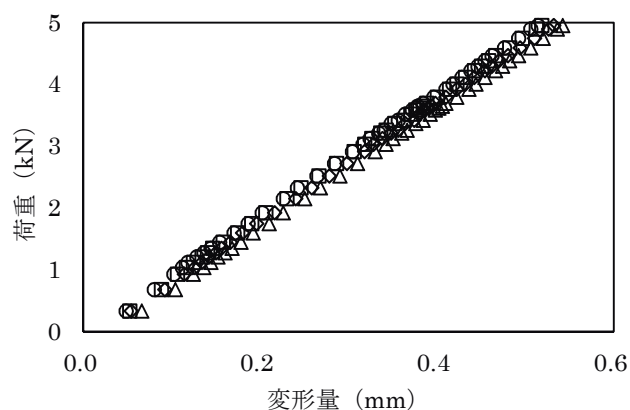
項目	10/14	10/15	10/16	10/17
試験準備（埋設前の計測等）				
掘削・試験体の埋設等				
埋設後の計測				
後片付け・撤去他				

(6) 試験結果

図 3 9、図 4 0 及び表 2 3 は、埋設前の試験体について荷重と変形量を表したものである。また、図 4 1、図 4 2 及び表 2 4 は、埋設後の試験体について荷重と変形量を表したものである。切片とは、縦軸を荷重、横軸を変形量とした時の近似曲線を示している。埋設後の変形量は、埋設前の変形量と比較して外面載荷で約 8 割、内面載荷で約 6 割程度となる結果となった。基礎材の締め固めの影響により、差が生じたと考える。



◇3R ○3L △4R □4L



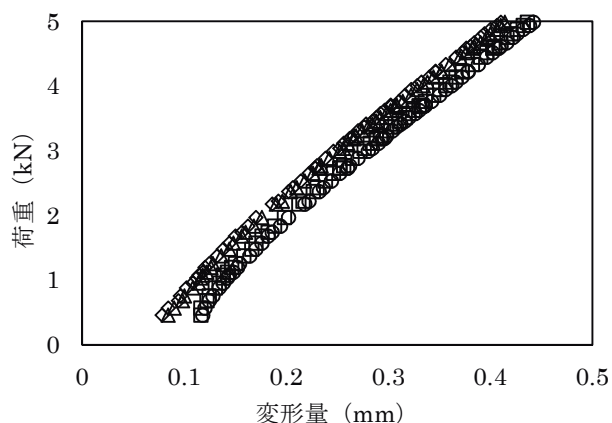
◇3R ○3L △4R □4L

図 3 9 荷重と変形量の関係（外面載荷）

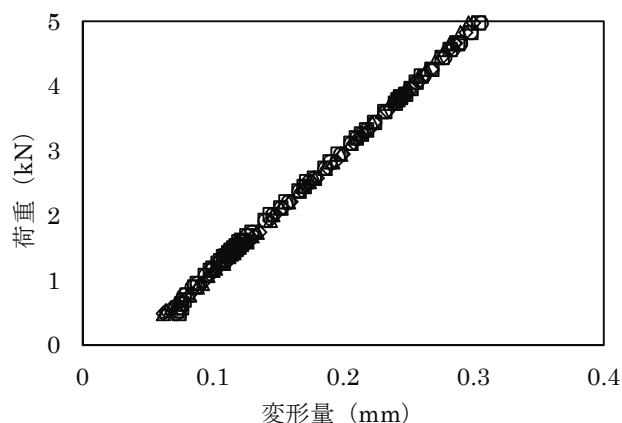
図 4 0 荷重と変形量の関係（内面載荷）

表 2 3 埋め戻し前における荷重と変形量の関係

変位計	外面載荷			内面載荷		
	切片	確定係数	5kN 時の 変形量 (mm)	切片	確定係数	5kN 時の 変形量 (mm)
変位計 3R	$y=9.35x$	0.99	0.532	$y=9.23x$	0.99	0.542
変位計 3L	$y=9.09x$	0.99	0.550	$y=9.61x$	0.99	0.526
変位計 4R	$y=9.28x$	0.99	0.536	$y=8.96x$	0.99	0.554
変位計 4L	$y=9.07x$	0.99	0.550	$y=9.51x$	0.99	0.530



◇3R ○3L △4R □4L



◇3R ○3L △4R □4L

図 4 1 荷重と変形量の関係（外面載荷）

図 4 2 荷重と変形量の関係（内面載荷）

表 2 4 埋設 1 日後における荷重と変形量の関係

変位計	外面載荷			内面載荷		
	切片	確定係数	5kN 時の 変形量 (mm)	切片	確定係数	5kN 時の 変形量 (mm)
変位計 3R	$y=12.04x$	0.98	0.412	$y=14.94x$	0.95	0.306
変位計 3L	$y=10.80x$	0.95	0.444	$y=15.06x$	0.96	0.312
変位計 4R	$y=11.84x$	0.98	0.418	$y=15.18x$	0.95	0.300
変位計 4L	$y=11.01x$	0.96	0.440	$y=15.08x$	0.96	0.310

表 2 5 埋設 4 ヶ月後における荷重と変形量の関係

変位計	外面載荷			内面載荷		
	切片	確定係数	5kN 時の 変形量 (mm)	切片	確定係数	5kN 時の 変形量 (mm)
変位計 3R	$y=12.23x$	0.99	0.422	$y=16.45x$	0.95	0.286
変位計 3L	$y=12.61x$	0.99	0.402	$y=16.00x$	0.95	0.282
変位計 4R	$y=12.23x$	0.99	0.420	$y=16.58x$	0.94	0.294
変位計 4L	$y=12.58x$	0.99	0.402	$y=16.29x$	0.94	0.288

表 2 6 埋設 4 ヶ月後にひび割れを発生させた時の荷重と変形量の関係

変位計	外面載荷			内面載荷		
	切片	確定係数	5kN 時の 変形量 (mm)	切片	確定係数	5kN 時の 変形量 (mm)
変位計 3R	$y=11.47x$	0.99	0.444	$y=13.27x$	0.92	0.348
変位計 3L	$y=7.61x$	0.99	0.666	$y=9.98x$	0.83	0.484
変位計 4R	$y=11.50x$	0.99	0.444	$y=13.39x$	0.92	0.342
変位計 4L	$y=7.63x$	0.99	0.666	$y=9.00x$	0.83	0.484

表 2 7 は、表 2 4 と表 2 5 から、変位計 3R と 4R 及び変位計 3L と 4L における切片及び 5kN 時の変形量の平均値を示したものである。埋設後において、試験体が健全な場合は、切片と変形量は、ほぼ同じ値を示すことから、左右の側壁は、ほぼ同じ動きをしていることが考えられる。一方、底版部にひび割れを発生させた試験体（L 側のハンチ近傍に発生）の変形量は、載荷方向に関係なく L 側で約 1.6 倍、R 側で 1.1～1.2 倍の差が生じる結果となった。

以上から、埋設環境下においても底版部にひび割れが発生していれば、本手法で評価できることが確認できた。

表 2 7 荷重と変形量の関係（まとめ）

条件		項目	外面載荷		内面載荷	
			切片	5kN 時の 変形量 (mm)	切片	5kN 時の 変形量 (mm)
埋戻前	—	変位計 3R と 4R の平均	y=9.22x	0.541	y=9.42x	0.534
		変位計 3L と 4L の平均	y=9.18x	0.543	y=9.24x	0.542
埋戻後	1 日後	変位計 3R と 4R の平均	y=11.94x	0.428	y=15.06x	0.309
		変位計 3L と 4L の平均	y=10.91x	0.429	y=15.07x	0.305
	4 ヶ月後	変位計 3R と 4R の平均	y=12.23x	0.412	y=16.52x	0.284
		変位計 3L と 4L の平均	y=12.60x	0.411	y=16.15x	0.291
	ひび割れ	変位計 3R と 4R の平均	y=11.48x	0.444	y=13.33x	0.345
		変位計 3L と 4L の平均	y=7.62x	0.666	y=9.49x	0.484

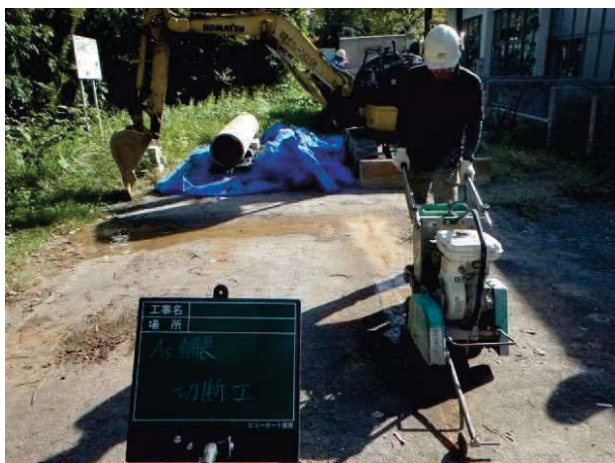


写真 1 8 舗装切断状況



写真 1 9 舗装取り壊し状況

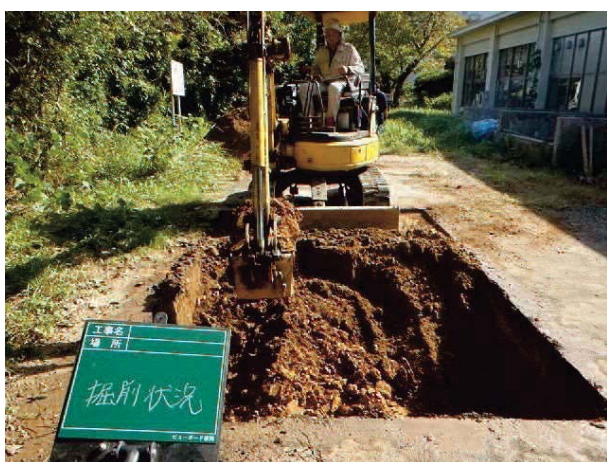


写真 2 0 掘削状況



写真 2 1 砕石巻き出し状況



写真 2 2 砕石巻き出し状況



写真 2 3 試験体設置状況



写真 2 4 試験体設置状況

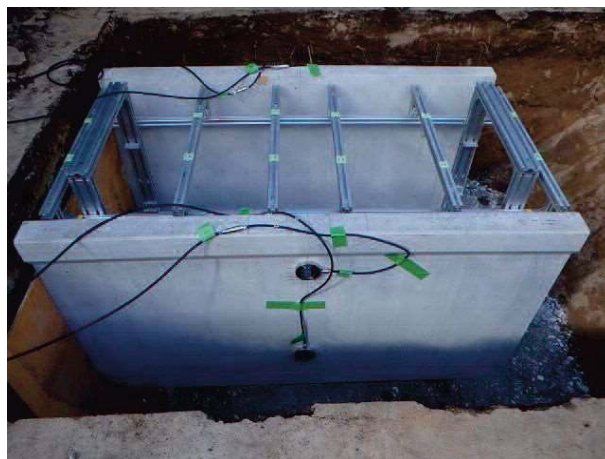


写真 2 5 試験体設置状況



写真 2 6 基礎材転圧状況



写真 2 7 施工完了状況



写真 2 8 ホータブルコン貫入試験状況



写真 2 9 砂置換法土密度試験状況

表 28 砂置換法による土の密度試験結果（実測値）

測 点				
資 料 番 号		1		
①	試験前(砂+容器)重量 g	8040		
②	試験後(砂+容器)重量 g	5260		
③	ベースプレート中の砂の重量 g	1225		
④	穴に詰めた砂の重量(①－②－③)g	1555		
⑤	砂の単位体積重量 g／cm ³	1.291		
⑥	穴の容積(④／⑤) cm ³	1204		
⑦	(湿潤土+容器)重量 g	2300		
⑧	⑦の容器の重量 g	0		
⑨	湿潤土重量(⑦－⑧) g	2300		
⑩	湿潤密度(⑨／⑥) g／cm ³	1.910		
⑪	(乾燥土+容器)重量 g	2140		
⑫	⑪の容器の重量 g	0		
⑬	乾燥土重量(⑪－⑫) g	2140		
⑭	乾燥密度(⑬／⑥) g／cm ³	1.777		
⑮	水の重量(⑨－⑬) g	160		
⑯	含水比(100×⑮／⑬) %	7.5		
⑰	最大乾燥密度 g／cm ³	2.003		
⑱	締め固め度(100×⑭／⑰) %	88.7		
	平均含水比 %			
	平均締め固め度 %			
備考	最適含水比 9.9(%)			

2 事業の成果

2. 1 成果の内容

コンクリート開水路を対象とした構造安全性を評価する非破壊診断手法は確立されていない。しかし、現状の目視による調査では検出することができない水路外面に異常が発生している場合についてその健全性を確認することができる診断手法を開発することができた。荷重と変形量の傾きは、水路底版の外面の長手方向にひび割れが発生している場合は、内面載荷と外面載荷の差が2倍程度生じるため、容易に検知することができる。計測方法は、バレルの中央付近に水路壁載荷装置を設置し、荷重（5kNを目安）を負荷させた時の変形量を計測し、荷重と変形量の傾きから相対評価にて水路の健全性を確認するものとする。計測数は、1バレルにつき1箇所とする。

水路壁載荷装置は、20kg未満と軽量であるため、人力による持ち運びが可能であり、取り扱いも容易である。また、診断結果も測定現場で即時に確認することができるため、作業性にも優れたものである。

2. 2 目標の達成度

(1) 成果から得られる効果

本診断手法は、開水路構造の安全性を確認できるだけでなく、内面からでは検知できない開水路の外面に発生した異常（ひび割れ）を確認することができるため、農業用排水路の長寿命化に繋げることができる。

(2) 従来技術との比較

1) 比較する従来技術

弾性波レーダーによる検査

2) 従来技術に対する優位性

表 2 9 工法比較表

工法名	(新技術) 水路壁載荷法	(従来技術) 弾性波レーダーによる検査
経済性	概算直接工事費 200,000 円	概算直接工事費 430,000 円
工程	概算所要日数：1 日 1 バレルにつき 1 箇所計測すること で評価する。 想定計測数：20 箇所／日	概算所要日数：6 日（調査＋解析） 想定計測数：20 箇所／日
品質	構造物としての強度を確認することが できる。	ひび割れ深さ、内部欠陥、圧縮 強度の推定等は可能であるが、 構造物としての強度を確認する ことができない。
安全性	構造物を傷つけることなく計測でき る。	同左

表 29 工法比較表（つづき）

工法名	（新技術） 水路壁載荷法	（従来技術） 弾性波レーダーによる検査
施工性	測定箇所の特別な表面処理は不要である。	同左
周辺環境への影響	非破壊診断であるため、影響はない。	同左

※従来技術は、農業水利施設保全補修ガイドブック又は新技術情報システム（NETIS）を参考に引用した。

2. 3 成果の利用に当たっての適用範囲・留意点

表 30 適用範囲及び留意点

開水路の種類	鉄筋コンクリート開水路を対象とし、無筋コンクリートや柵渠は適用外とする。
開水路の内空幅	1,000mm～2,500mm
開水路の内空高さ	2,000m 以下
開水路の壁厚	100mm～250mm
開水路の背面状況	舗装ではなく、土による埋め戻し又は露出の状況とする。
開水路内の状況	流水状況ではなく、落水後に試験を実施する。滞留水なら問題なし。
装置の設置箇所	水路長さ（バレル）の中央に設置する。変位計は試験装置の両側近傍に設置する。
装置の重量	約 20kg なので、人力による運搬が可能である。（取り扱いが容易）
判定方法（案）	相対評価により異常箇所を特定する。特定した水路は、詳細な診断を実施することで、健全度ランクを設定し、対策を講じる。（下記参照）
適用外の事例	①開水路の側壁頂部に試験装置を設置するため、側壁頂部の損傷が激しい箇所（装置の設置が困難な場合） ②水路側壁が既に変形している箇所 ③水路背面がコンクリート等で打設され、装置が設置できない箇所

判定方法（案）

水路壁載荷法によって取得したデータは、判定指標によって診断される。しかし、水路躯体の力学的安全性能の評価基準は、実在していない。そこで、評価基準として、以下の3つの方法を検討した結果、相対評価による判定方法を採用した。

①機能診断評価図による判定

評価対象とする開水路の領域を設定し、測定データと重ね合わせることで、現状の耐力を判定する。

ただし、水路の形状や状態等、様々であるため、領域を設定する機能診断評価図の作成には、膨大なデータが必要となる。

②推定式評価による判定

たわみの理論式で推定した評価表を作成し、現状の耐力を判定する。

ただし、推定式が複雑になること。また、①と同様に水路の形状や状態が様々であるため、膨大なデータとの整合性評価が必要になる。

③路線内相対評価による判定

路線内において荷重と変形量の傾きを測定し、相対評価により異常箇所を確認する。

ただし、同一路線内であれば、施工時期や施工材料・方法は同様となることが多いため、荷重と変形量の傾きは同程度となることが考える。そのため、現地調査により評価対象箇所を選定し、例えば、健全部と劣化部の測定した剛性又は変形量を相対的に比較することで異常箇所を特定することができる。その後、詳細な診断を実施し、開水路の健全度を設定し、対策を講じる。

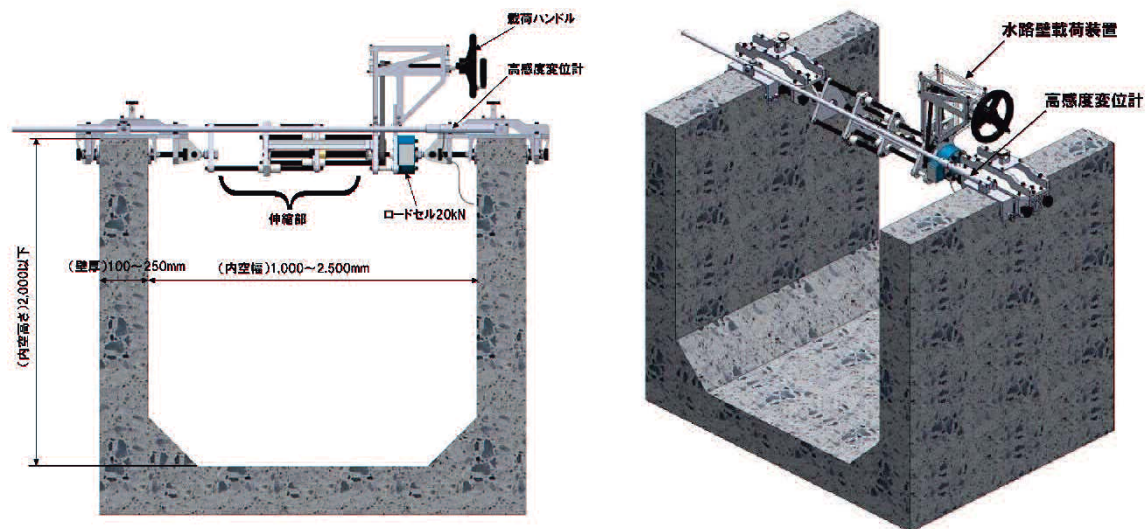


図 4 3 水路壁載荷装置の詳細図

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) 民間業者

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

（農業農村工学大会講演会，農業農村工学会中四国支部講演会）

②NETIS，NNTDへの情報公開

③H P，新技術検索エンジン対策などのネット活用

④公共事業における新技術採用に向けた拡販活動

⑤拡販資料（技術資料，P R 資料）の配布

⑥業界紙などへの広告掲載

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	自己評価	自己評価の理由
目標の達成度	効果 (従来技術に対する優位性)	コンクリート開水路の構造安全性評価手法の確立	A : 優れている B : 概ね妥当 C : 不十分	水路壁載荷法により、構造物自体の健全性を確認することができる。現地水路での測定結果により本手法の効果を確認することができた。
	信頼性 (品質, 精度, 安全性, 耐久性等)	載荷結果を評価する手法の開発	A : 優れている B : 概ね妥当 C : 不十分	非破壊診断なので、構造物を破損することはない。また、目視では確認できない異常をその場で検知することができる。
	適用範囲 適用条件等	適用範囲及び適用条件の整理	A : 広範囲に適用 B : 概ね妥当 C : 限定的	対象：鉄筋コンクリート水路 内空幅：1000～2500mm 内空高さ：2000mm 以内 壁厚：100～250mm
普及の可能性	想定される利用者への普及啓発の方法	・論文投稿 ・技術説明会への参加	A : 十分な利用が見込まれる B : 概ね妥当 C : 限定的	得られた成果については、農業農村工学会の学会発表や論文集にて公表できた。
	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)	施工マニュアルの整備	A : 十分に整備されている B : 概ね妥当 C : 改善が必要	施工マニュアルを作成する。サポートについては、本組合を中心に対応する。
総合コメント	現存しない非破壊診断手法の開発に取り組み、期初計画とおりに開発を進めることができたと考える。今後は、実現場での様々なコンクリート開水路や現場打ちコンクリートの計測データを蓄積することで、本手法の確立を更に進めていきたいと考える。			

5 今後の課題及び改善方針

今後の課題としては、コンクリート二次製品を主に検証を進めてきたので、現場打ちコンクリートや様々なサイズの開水路についても本手法の適用性を確認する必要があると考える。以上から、様々な開水路の計測データを蓄積していき、本手法の確立に努めていきたいと考える。

以上