

朝日頭首工の耐震性能照査 及び耐震補強工法の事例

札幌開発建設部 岩見沢農業事務所 第1工事課 ○三上 斗蒼
高玉 隆典
森田 一輝

国営かんがい排水事業幌向川二期地区で整備を行っている朝日頭首工は、造成から30年以上が経過しており、施設の劣化が進行している。本頭首工の整備にあたり、耐震性能照査とともに耐震補強設計等の検討を行った。本稿では、朝日頭首工における耐震性能照査に基づいた耐震補強工法及び施工計画について報告するものである。

キーワード：頭首工、耐震性能照査、耐震補強工法、施工計画

1. はじめに

(1) 地区概要

幌向川二期地区(図-1)は、北海道岩見沢市に位置する2,059haの農業地帯で、水稻を中心に、水田の畑利用による小麦、豆類等の畑作物、たまねぎ、はくさい等の野菜類を組み合わせた農業経営が展開されている。

地区内の農業用水は、国営幌向川土地改良事業(昭和47年度～平成2年度)等で造成された用水施設により配水されているが、造成後30年以上が経過しており、凍害等によるコンクリートのひび割れの発生や経年的な劣化

により維持管理に多大な費用を要している。

このため、本事業では、ダム、頭首工等の整備を行うことにより、農業用水の安定供給と維持管理の軽減を図り、農業生産性の向上及び農業経営の安定に資するものである。

本稿では、幌向川二期地区の基幹水利施設である朝日頭首工の耐震性能照査、耐震補強工法及び施工計画について報告する。

(2) 朝日頭首工の概要

朝日頭首工は、幌向川二期地区の前歴事業である幌向



図-1 施設位置図(事業概要図)

川地区において、平成2年（1990年）に造成された。

本頭首工は、一級河川幌向川の左岸側から最大取水量 $Q=3.272\text{m}^3/\text{s}$ を取水する本地区の基幹水利施設である。

朝日頭首工の基本的な諸元は以下のとおり

- ・かんがい面積：1,536ha
- ・形式：フィックスタイプ可動堰（直接基礎）
- ・堰 長：L=29.0m
- ・堰 高：H= 2.8m
- ・洪水吐：鋼製ローラーゲート (B16.5m×H2.8m×1門)
- ・土砂吐：フラップ付鋼製ローラーゲート
(B10.50m×3.0m×1門)
- ・エプロン：上流側 土砂吐20.0m 洪水吐9.0m
下流側 12.0m
- ・護床工：護床ブロックL=25.0m
- ・護岸工：鉄筋コンクリート擁壁及び積ブロック
- ・管理橋：幅員1.50m、橋長31.0m

(3) 朝日頭首工の重要度区分

表-1 頭首工の重要度区分（土地改良事業計画設計基準設計「頭首工」243P より）

区 分	内 容	判断する上での参考指標
重要度 AA 種 (原則すべての頭首工においてレベル2地震動を考慮する)	次の①～③の何れかに該当する施設 ①被災により治水上重大な影響を及ぼす施設。	・洪水ハザードマップによる被害想定区域等を勘案する。 ・河川整備計画等に基づく堤防の改修状況を勘案する。
	②被災により利用上重大な影響を及ぼす施設。	・生活用水や工業用水の利水状況を勘案する。 ・上部工を一般道路 ¹⁾ として供用している。 ・大規模な頭首工であり農業水利上重要な施設である。 (例えば、支配面積がおおむね 5,000 (畑 2,000) ha 以上 ²⁾ の施設。) ・被災により施設の機能復旧まで多大に時間を要する施設。(砂防指定地域等)
	③被災により災害リスク管理上重大な影響を及ぼす施設。	・上部工が地域防災計画に位置付けられている。
重要度 A 種 (原則すべての頭首工においてレベル2地震動を考慮する)	AA 種、B 種以外の施設	
重要度 B 種 (原則レベル1地震動を考慮する)	地震による被災の可能性が小さく、また被災した場合でも治水上の影響が極めて小さいと考えられるもの。	・固定堰や床止工等 ³⁾ 。 ・山間狭窄部や平野部において背後地盤が高い箇所 ⁴⁾ に設置された取水堰を設けない自然取入れ方式の取入口。 ・溪流取水工等。

表-2 重要度A種の頭首工における構成要素ごとの耐震性能（土地改良事業計画設計基準設計「頭首工」245P より）

構成要素	レベル1地震動	レベル2地震動
1 取入口	健全性を損なわない	—
2 固定堰	健全性を損なわない	—
3 堰柱	健全性を損なわない	致命的な損傷を防止する
4 ゲート	健全性を損なわない	限定された損傷に留める ¹⁾
5 エプロン	—	—
6 魚道	健全性を損なわない	—
7 沈砂池	健全性を損なわない	—
8 護岸	健全性を損なわない	—
9 堰柱基礎工	健全性を損なわない	限定された損傷に留める

注1) ゲートでいう「限定された損傷に留める」とは、ゲートの開閉機能に支障をきたさない程度の損傷に留めることをいう。

本頭首工は全可動堰で、受益面積は1,536haと5,000ha未満であることから、「①被災により治水上重大な影響を及ぼす施設」、「②被災により利用上重大な影響を及ぼす施設」には該当せず、影響は小さいと考えられることから、重要度区分はA種と設定した（表-1）。

このため、本頭首工の保持すべき構成要素ごとの耐震性能は、レベル1地震動において「健全性を損なわない」、レベル2地震動において「致命的な損傷を防止する」となる（表-2）。

本報告においては、朝日頭首工の堰柱を対象に絞り、耐震性能照査等について報告することとする。

2. 耐震性能照査等

(1) 朝日頭首工の現地調査

耐震性能照査を行うにあたっては、検討に必要な物理諸元である躯体形状・躯体健全性等に加え、躯体の劣化

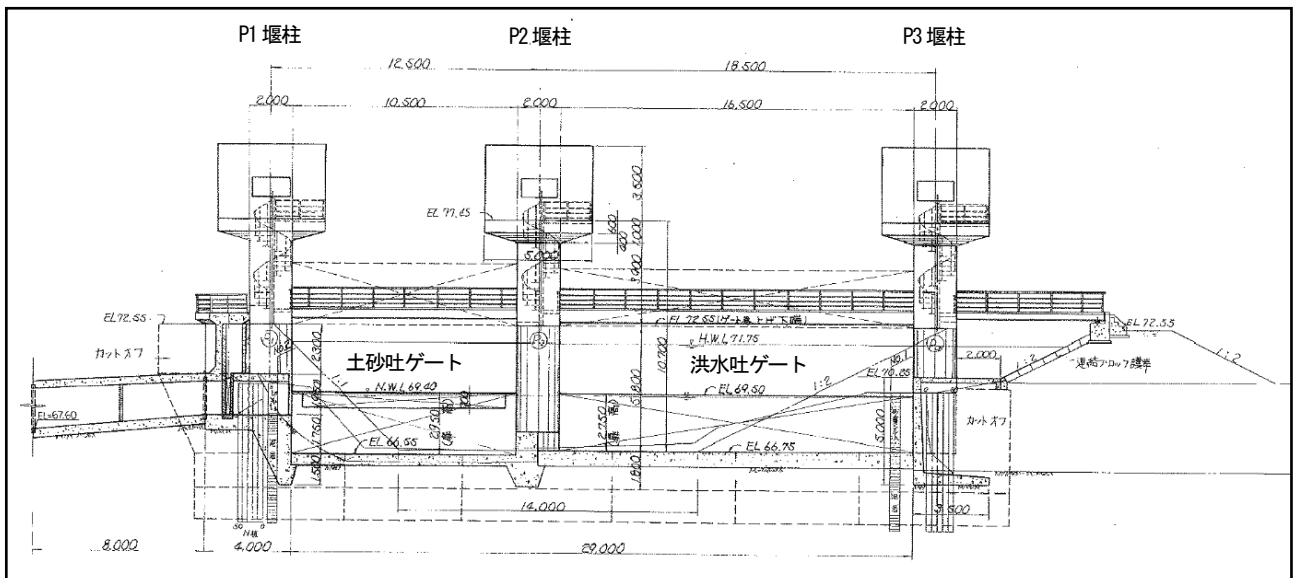


図-2 朝日頭首工正面図

(ひび割れ、スケーリング等) 状況の確認が必要である。このため、目視による現地調査とともにリバウンドハンマー試験等を実施し、劣化状況を確認した。

現地調査の結果、P1堰柱の下流護岸工との継目部においてコンクリートの欠損部を確認し、一部で帯鉄筋を確認するなどの被りコンクリートの剥落を確認した。

しかしながら、この劣化は被りコンクリート分の断面欠損に留まっており、有効部材厚を減じるような状態にはなっておらず、鉄筋の錆もみられるが、鋼材の腐食には至っていなかった。

また、リバウンドハンマー試験結果からは、平均して圧縮強度が 21N/mm^2 以上である 41.5N/mm^2 であったほか、中性化深さも最大で 8.8mm となっていたことから、コンクリートとしての健全性は確保されているものと判断した。

(2) 朝日頭首工堰柱の耐震性能照査

朝日頭首工の各堰柱は、ゲート1門または2門を支持する土木施設であり、頂版上に上屋を設けた2本柱構造の独立した直接基礎構造である。

各堰柱に作用する荷重については、雪荷重のほか、上屋、管理橋、付帯工重量（螺旋階段）とした。

a) 固有値解析結果を踏まえた照査方法

堰柱の固有値解析により、卓越する振動モードは2次～6次と複数の振動モードが卓越する振動特性を示した一方、有効質量比は38%と低い値もあった等のことから、地震時に複雑な挙動を示すと判断し、レベル2地震動においては動的解析による照査を行うこととし、時刻歴応答解析法によることとした。

b) レベル1地震動

堰柱に適用するレベル1地震動については、固有周期を考慮する場合に該当することとなり、その固有周期に応じた設計水平震度を求めた。

その結果、設計水平震度は $k_h=0.17$ となり、これを踏まえた安定計算や各部材の照査結果は、全ての堰柱及び

部材は許容値内となり、安全性が確保されていることを確認した。

c) レベル2地震動

レベル2地震動に対する動的解析は、前述のとおり部材の非線形性を見込んだ時刻歴応答解析法によることとしており、動的解析法による堰柱の耐震照査項目としては以下のとおりである。

①各部材の応答曲率 ϕ_r が許容曲率 ϕ_a 以下となることを照査する（曲げに対する照査）。②各部材の応答せん断力 S_r が、せん断耐力 S 以下となることを照査する（せん断に対する照査）。③堰柱の残留変位 δ_R が許容残留変位 δ_a 以下となることを照査する（変位に対する照査）。

このうち、②のせん断耐力についてはディープビーム効果を見込んだ上で、せん断に対する照査を行うこととした。

以上を踏まえたレベル2地震動の耐震性能照査の結果は、せん断耐力を超過する部材が確認された。

箇所としては、ワイヤロープや休止フックの配置のための箱抜きにより大きく断面が控除されている堰柱の頂版部において発生しており、P3堰柱では最大で 721.1kN のせん断耐力を補強する必要がある。

3. 耐震補強工法の検討

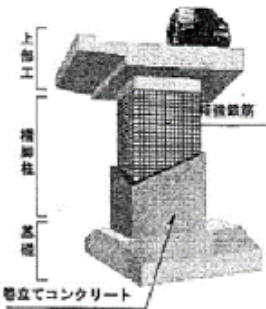
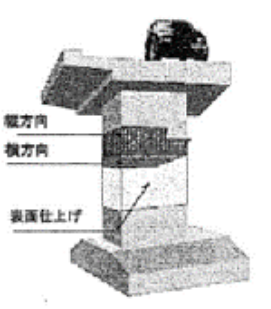
(1) 耐震補強工法の選定

耐震性能照査の結果より、せん断耐力を超過する断面があることから、耐震補強工法の検討を行う。

耐震補強工法の検討にあたっては、技術的に蓄積のある道路橋鉄筋コンクリート橋脚等を参考に検討した。

鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強は、RC巻立て工法を用いることを標準としながら、設計・施工上の制約条件

表-3 選定可能な耐震補強工法の例

工法	RC 巻立て工法	鋼板巻立て工法	連続繊維シート巻立て工法
概略図			
概要	厚さ 25cm を標準として既設橋脚を鉄筋コンクリートで巻立てる工法で、①段落とし部の補強と②じん性の向上を主目的としており、③フーチングへのアンカー定着をした場合は橋脚躯体の曲げ耐力向上を図ることができる。	橋脚躯体全周に鋼板を巻立て、既設橋脚との間の充填材により補強部材との一体化を図る工法で、①段落とし部の補強と②じん性の向上を主目的とし、③フーチングへのアンカー定着をした場合は曲げ耐力の向上を図ることができる。	シート状に加工された炭素繊維またはアラミド繊維を、接着剤を含浸させながら橋脚に貼り付ける工法で、①段落とし部の補強と②変形性能を向上させることができる。
補強厚	25cm	4cm 前後	1～2cm

のほか、経済性・施工性を十分に勘案し、鋼板巻立て工法、連続繊維シート巻立て工法等を採用することとなっている（表-3）。

道路橋脚の耐震補強は、柱構造を補強することが中心になるためRC巻立て工法を標準としているが、頭首工の補強工法としては堰柱間にゲートがあること等から、巻立て工法より接着工法が適用可能な工法と判断される。また、本頭首工の耐震補強は頂版部であり、施設機械設備が配置されていることや重量増による影響を踏まえる

とRC増厚工法は採用できない。

本頭首工においては、せん断補強となることから、巻立て工法を接着工法としても補強効果は得られるものと判断し、「鋼板接着工法」と「連続繊維シート接着工法」が採用可能と考えられる。

一方、工業用水の池状構造物の耐震補強工事で用いられる補強工法として、近年施工実績の多い「鉄筋補強工法」があり、水門や堰などでの実績がある（表-4）（炭素シート接着工法は連続繊維シート接着工法と同様の工法）。

当該箇所は流水等による影響を受けないことから、耐磨耗性等の制約はないが、ゲート関連機器が配置されている箇所であり、ゲートの開閉操作に支障が生じるような補強材の配置は困難な中で、当該箇所の補強を行う必要がある（写真-1）。

表-4 選定可能な耐震補強工法の例（池状構造物）

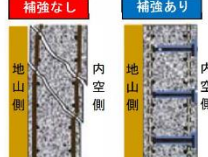
工法	炭素繊維シート接着工法	鉄筋補強工法 (後施工せん断補強鉄筋工法)
効果	曲げ耐力 せん断耐力向上	せん断耐力向上
対象部材	柱・梁・底版・壁	柱・梁・底版・壁
工法概要図		
実績及び特徴	- 道路橋等での補強実績が多い。 - 腐食がなく、長期的な耐久性に優れている。 - 水中施工の実績はない。 - 重量の増加がほとんどない。 - 施工性が良い。 - 面部材（壁、底版など）の補強効果は、一方向に限定される。	- 近年施工実施堰が増加している。 - 重量の増加はほとんどない。 - 補強鉄筋を既設断面内に設置するため、断面増加はない。 - 施工性が良い。 - 既設鉄筋に干渉しないよう考慮する必要がある。 - せん断耐力の向上のみに有効である。



写真-1 P2 堰柱の耐震補強範囲

また、本頭首工は開閉装置を更新することとしており、既設開閉装置を撤去した状態での施工が見込まれるため、施工上の制約はない。以上を踏まえ、耐震補強の選定は、①鋼板接着工法、②連続繊維シート接着工法、③鉄筋補強工法の3案を比較検討することとした。

(2) 耐震補強工法の決定

本頭首工堰柱の頂版部を補強するにあたっては、下記の点に留意する必要がある。

a) 鋼板接着工法

- ・鋼板接着工法を採用した場合、鋼板を不雑な形状の頂版に沿って配置する必要があるため、地震時のような繰返し交番荷重が作用した場合は、鋼板のはらみ出しなどが生じる恐れ
- ・鋼板は6mmの厚さを必要とするが、狭い現場条件の中で設置する必要があり、吊り込み等の作業にも戸当りなどの干渉部材があるため、施工の実現性に問題
- ・鋼板の腐食の恐れ

b) 連続繊維シート接着工法

- ・連続繊維シート接着工法を採用した場合、軽量の補強材料のため施工性が最も有利。ただし、鋼板同様吊り込み等の作業で戸当りなどの干渉部材があるため、施工の実現性に問題
- ・プライマーや不陸修正・シート塗布など作業工程が多いため工程上不利

c) 鉄筋補強工法

- ・鉄筋補強工法は、配置鉄筋延長が短いため、施工時間的な支障は少ない
- ・近年の施工実績が多く、NETIS登録技術も多数あり信頼性が高い。また、定着方法も改良されており、施工性は向上している。
- ・頂版上面で開閉装置が無い状態で施工することが可能。また、下面からの施工についても実績はあり、施工性の問題は無い

さらに、3案の中で最も経済性で優れているのはc)鉄筋補強工法（1.5百万程度。a)は1.4倍、b)は1.2倍程度）となり、以上を総合的に検討した結果、c)鉄筋補強工法を採用することとした。

4. 施工計画

(1) 工事概要

本頭首工における施工期間は、施工規模を考慮しつつ、非出水期となる11月1日から、2月28日までの120日間を対象とし、工期内の工事完了となるよう工事内容等を検討した。

本頭首工は堰長 $l=29.0\text{m}$ と中規模の可動堰で、施工時に確保できるスペースが狭く、重機を多数投入することは困難な立地条件となっている。また、土木工事と機械設備工事を同時に実施する必要があることから、単年度



写真-2 朝日頭首工周辺状況

で左右岸の切り替えを行いながら全工事を実施することは困難である。（写真-2）

以上のことから、半川締切により2か年で実施する方針とした。

以下に、施工計画の概要を示す。

- ・工 期：2か年
- ・仮締切流量： $Q_{\max}=90.0\text{m}^3/\text{s}$
- ・仮締切方法：大型土のう締切
- ・水 替 設 備：水中ポンプ＋釜場排水（濁水処理併用）
- ・施 工 箇 所：堰柱、上屋、取水口、管理橋橋台、ゲート（扉体塗替、水密ゴム、開閉装置）
機側操作盤等電気設備

(2) 堰柱耐震補強工法の概要

堰柱頂版部において、不足するせん断耐力は最大で721.1kN（P3堰柱）であることから、せん断補強筋を追加した場合のせん断耐力を算定し、挿入する鉄筋量を定めた（図-3）。

(3) 施工順序

本工事は、2か年での工事をするとしており、本頭首工地点においては上下流ともに、右岸側に大量の土砂堆積が確認されている。このため、右岸側に堆積している土砂を撤去した上で左岸側工事に着手する必要がある、施工順としては右岸側から先行して仮締切を行い、堆積土砂を撤去するとともに改修工事を実施することとした。

このことから、本頭首工堰柱の耐震補強は、第1期工事は右岸側のP3堰柱を行い、第2期工事において左岸側のP1堰柱、P2堰柱を行うこととなる（写真-3、図-4）。

5. おわりに

朝日頭首工では、本報告のとおり耐震性能照査を踏まえ耐震補強工を進めているほか、その他の機械設備についても改修を進めており、現在のところ滞りなく施工することが出来ている。

右岸側工事は昨年度（R5）実施しており、今年度は第2期工事となる左岸側工事を終える予定である。

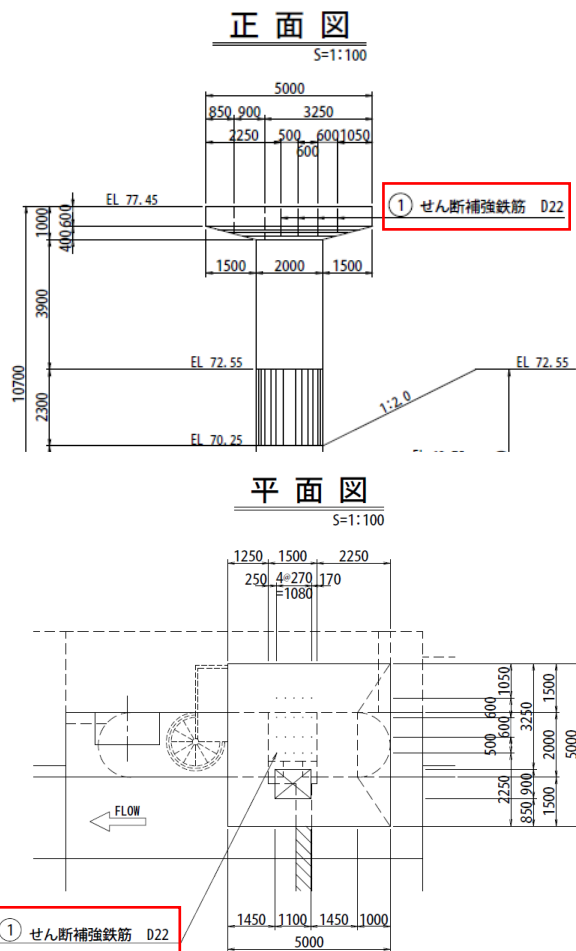


図-3 堰柱 せん断補強鉄筋施工図



写真-3 耐震補強施工状況（第1期工事）

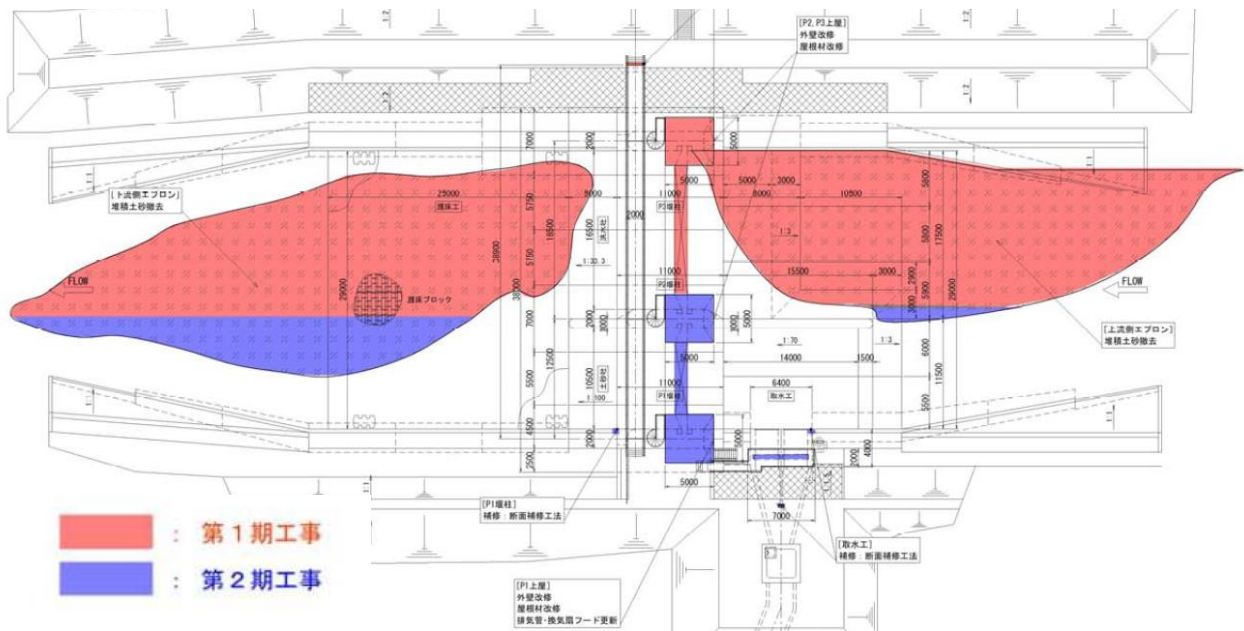


図-4 朝日頭首工施工年度区分