

大規模地震動を受けた長沼ダムの挙動（水門取り合い部） Behavior of the Naganuma Dam as a result of seismic excitation by the Tohoku Region Pacific Coast Earthquake

加藤 隆弘* 名久井 裕**
Takahiro Kato Yutaka Nakui
浅沼 秀雄***
Hideo Asanuma

要 約

東北地方太平洋沖地震の大きな地震動を受けた長沼ダム堤体の被災状況を報告する。他社施工の水門と堤体との取合部については、当社提案・設計に基づき、堤体沈下によるコンタクト部の遮水性低下防止を目的とした水門形状・構造に変更していた。当該地震により、取り合い部天端には堤体の揺すり込み沈下などに起因する開口クラックが観測されたため、当該箇所の試掘調査を行った。調査の結果、開口クラックは上部1m以内で収束し、それ以深のコンタクト部では十分な密着性と遮水性のあることが確認され、設計・施工の妥当性が検証された。

目 次

- § 1. 長沼ダムの概要
- § 2. 既設水門と堤体盛立の接合部に関する問題点
- § 3. 水門接合部盛立に関する対策工
- § 4. 震災に対する効果と妥当性

§ 1. 長沼ダムの概要

長沼ダムは、迫川総合開発事業の一環として宮城県登米市迫町北方地内に建設される均一型アースフィルダムである。

ダムの建設目的は、1級河川迫川と県内第1位の大きさを誇る長沼を連結して出水の一部を導水路(延長約2.7km)を介して長沼に導水し、迫川下流の洪水防御を図るとともに、周辺耕地への不特定用水の供給、長沼川の維持流量の補給、湖面利用(レクリエーション)を目的としている。

長沼ダムの特徴は、全国的にも稀な天然の湖沼を利用した湛水池である。堤体基礎地盤は、平均N値2.3、一軸圧縮強度 51 kN/m^2 の非常に軟弱な地盤が最大で30m程度(No.3+50測線付近)にも達している。このため、盛立部にはグラベルコンパクション工法、水門部は深層混合処理工法(CDM)、取合部は改良率を変化させた深層混合処理工法(CDM)を採用し、基礎地盤の沈下に対



図一 長沼ダム建設位置図



写真一 長沼ダム全景写真

* 北日本(支)津軽ダム(出)
** 北日本(支)震災蒲生(作)
*** 北日本(支)土木課

する追随性と地盤の安定を図る計画となっている。

当社は、長沼ダム建設工事の内、長沼ダム本体築造（盛立）工事を平成17年度に受注し、平成23年3月に竣工・引渡した。図一1に長沼ダム建設位置図、図一2に全体平面図、写真一1にダム全景写真、表一1にダム諸元を示す。

§2. 既設水門と堤体盛立の接合部に関する問題点

水門接合部の盛立形状は、当初設計では、図一3に示す水門勾配変化点が堤敷き高さ（KP+6.5 m）とされており、堤体沈下による遮水性低下防止などの配慮がなされていた。

しかし、CDM、グラベルドレーン、プレロード等の軟弱地盤対策の過程における大深度軟弱地盤の圧密沈下の影響と水門構築（他社施工）時に施工したと考えられる埋戻土及びCDM脆弱部を撤去することにより健全な堤敷き高さがKP+4.6 mと確認された。

また、KP+4.6~KP+6.5までの間は垂直壁部であることも確認され、KP+6.5 mでは、凸型の勾配変化点が生じることになり、接合部の遮水性を確保するためには、何らかの対策工が必要であることが予想された。

このため、水門形状や盛土形状、施工形態、基礎地盤の地盤改良状態を考慮して二次元FEMによる弾塑性解析を実施した。この結果、図一4に示すように水門勾配変化点で相対鉛直変位7 cm、相対水平変位10 cmの大きな不等変形の発生することが判明し、ダムの遮水性に問題の生じることが判明した。

§3. 水門接合部盛立に関する対策工

3-1 水門接合部構造変更に対する基本方針

前節で示した遮水性低下に対する問題を解決するために、垂直壁部にKP+6.5上部と同じ勾配（1：0.5）を有するように増厚コンクリートを打設し当初設計とおり堤敷きまで一定勾配の水門構造として盛土を接合させる方法を採用した。

3-2 水門接合部構造変更に対する問題点と対応方針

増厚コンクリートを打設することにより、相対変位に対しての対策は可能である。その他の問題点として、基礎の沈下と遮水性に対する安全性を確認するため、増厚コンクリートの構造は、既設水門コンクリートと増厚コンクリートを密着させる方法と、分離させる方法の2パターンで検討を行った。

以下に各パターンにおける問題点を記述する。

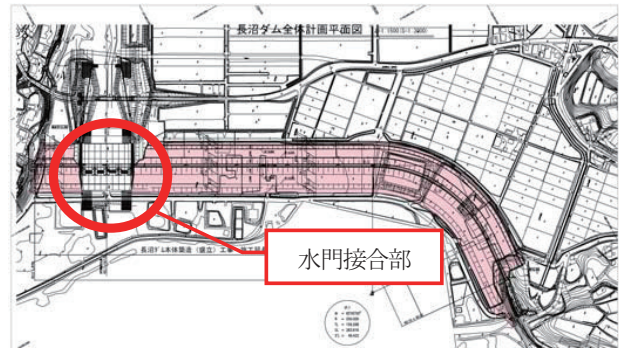
(1) 水門一体型（図一5）

① 基礎の沈下に対する問題点

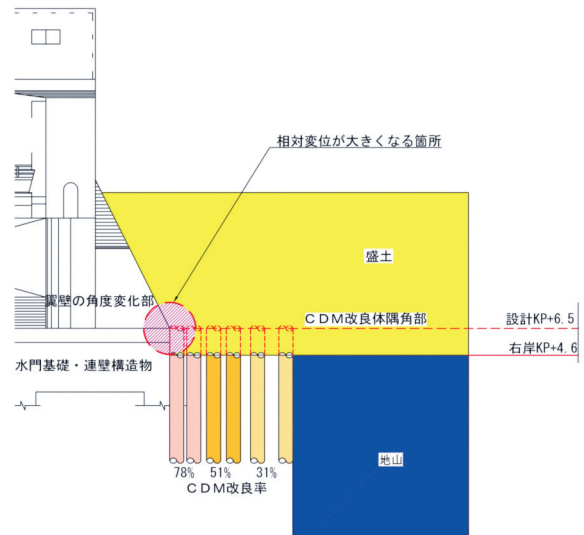
CDM改良部がわずかでも沈下した場合、変形に追従できず、増厚コンクリート下部もしくは接続箇所

表一1 ダム諸元

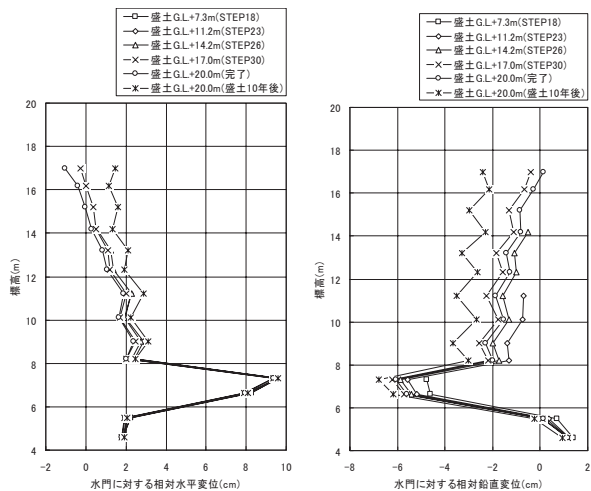
1) 貯水池諸元		3) 工事数量	
流域面積	586 km ²	施工延長	L=1,035 m
湛水面積	5.9 km ²	基礎掘削工	V=92,200 m ³
総貯水容量	31,800,000 m ³	仕上掘削工	A=38,600 m ²
設計洪水位	KP+14.30 m	本体盛立工	559,900 m ³
サーチャージ水位	KP+12.60 m	法面保護工	
常時満水位	KP+8.70 m	リップラップ工（上流）	A=39,780 m ²
最低水位	KP+6.50 m	土取場残土処理工	1式
2) ダム諸元		天端道路工	1式
形式	均一型アースフィル	管理用道路工	1式
堤高	15.3 m	観測計器工	1式
堤頂長	1,035 m	仮設工	1式
堤頂標高	KP+17.0 m		



図一2 長沼ダム全体平面図



図一3 水門接合部での盛立断面図



図一4 二次元FEM解析結果

隙間が生じる可能性がある。

また、水門と増厚コンクリートが一体構造であるため、盛土施工時及び完了時の圧力により、水門構造物及び地中連続壁に悪影響を与える可能性がある

② 遮水性に対する問題点

既設水門コンクリートと増厚コンクリートの間及び増厚コンクリート下端と基礎地盤の間の2箇所止水性に問題が生じる。

既設水門と増厚コンクリートの間で、どこにひび割れが生じるか予想できないため、完全な止水は不可能である。また、増厚コンクリートと基礎地盤の間に隙間が生じた場合にも完全な止水を可能とする方法は無い。

(2) 水門可動型（図-6）

① 基盤の沈下に対する問題点

CDM改良部が沈下した場合、変形に追従して沈下するため、下部に隙間が生じることは無い。ただし、既設コンクリートと増厚コンクリートの境界部に、ズレもしくは開きを生じる可能性がある。

CDM改良体の上部にコンクリートを打設するため、CDM改良体への影響を検討する必要がある。このため、増厚コンクリートを打設した場合に、増加する上載荷重が安全率に対してどの程度の影響を生じるか確認した結果、CDM改良体の安全率は最低で7.53であり、CDM改良体への影響はほとんど無いと判断できた。

② 遮水性に対する問題点

既設水門コンクリートと増厚コンクリートの間にズレ又は隙間が生じる可能性がある。上下のズレに関しては、CDM改良体の上部に打設することを考慮して沈下解析した結果、5~15 mmであることが判明した。よって、この程度の沈下量で発生するズレに関しては、止水板設置が必要になる位置も特定できるため、伸縮性止水板を設置することにより、完全な止水が可能であると判断された。

また、増厚コンクリートを可動型とする場合、基盤の沈下に対して追従すると考えられ、下端に隙間は生じないため止水の必要性は無いと判断された。

以上を勘案して、水門接合部に水門可動型増厚コンクリートを施工し対応策とすることに決定した。

3-3 増厚コンクリートの構造

水門可動型とした場合、水門垂直壁部と増厚コンクリートの隙間にズレが生じることを許容する。よって、遮水性が確実に確保できる構造を検討した。

遮水性確保は、上下流方向への水道を遮断するように止水板を設置することで対応した。また、止水板は反応接着型止水板を使用し、平行して水膨張製止水板を設置した。図-7に増厚コンクリート構造図、図-8に止水板設置詳細図を示す。

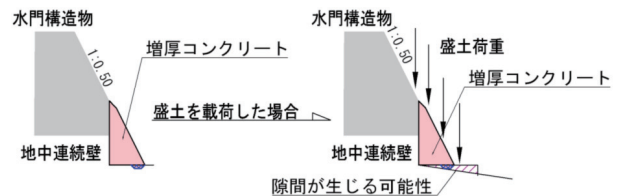


図-5 水門一体型

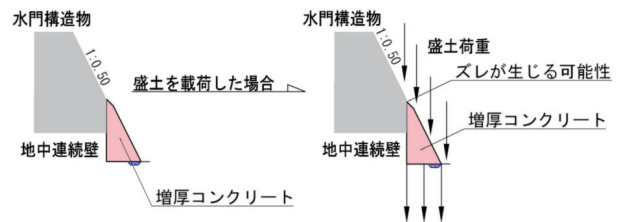


図-6 水門可動型

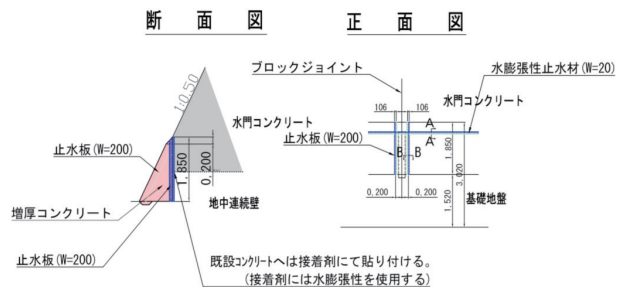


図-7 増厚コンクリート構造図

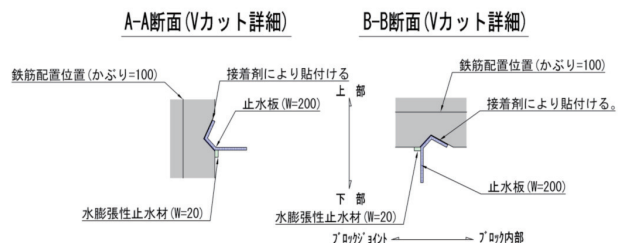


図-8 止水板設置詳細図

§ 4. 震災に対する対策工の効果と妥当性

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震では、登米市に隣接する栗原市で最大震度7を記録した。また、登米市でも震度6強を観測した。図-9に栗原市と長沼ダム（登米市）の位置関係を示す。

長沼ダムは、グラベルコンパクションパイルで改良された粘性土地盤の圧密沈下として盛立完了後最大2.7 m、地震による揺すり込みなどを考慮した堤体の圧縮沈下として、堤高及び基礎地盤の厚さに対し0.8%の余裕を見込むこととし37 cmが予想されている。

ダムの挙動観測には、50 m 間隔で沈下板が設置されており、そのうち3測線には、層別沈下計と間隙水圧計が

設置されている。地震直後の調査では、目視による異常の有無、上記観測計器の測定及びダム天端標高の計測を行った。沈下測定結果を表-2に示す。

震災により最大沈下量を記録した側線は、No.5+50 測線であり、基盤の沈下量：142 mm、盛土の揺すり込み沈下量 37 mmであった。また、標準的な盛土部では目視による異常は認められなかった。

しかし、基礎地盤まで地中連続壁を施工し基盤に着岩している水門構造物と堤体盛土の接合部（天端部分）では、10 cm 程度の段差が生じ、水門構造物と盛土着岩部に剥離が生じていることが確認された。

段差が生じた箇所の特徴は、天端橋梁の施工の影響で、天端から深さ約 50cm が部分的に直壁となっており、堤体盛土もその直壁に接合していた。なお、該当箇所も基盤部の検討時に問題が懸念されていたが、ダム天端部の一部分であり、サーチャージ水位よりも高標高部であることから、構造変更までは必要ないと判断された。

水門接合部（天端部分）での盛土の剥離は、その規模と影響範囲を調査するため、石灰溶液（石灰：水=1：2）を注入し注入完了約 3 時間後に試掘を行った。試掘の結果、直壁部に接合している箇所では、着岩材（コンタクトクレイ）が水門構造物から剥離していることが確認された。しかし、直壁となっている箇所より下部である水門構造物に勾配を有している箇所での着岩材は、水門接合部で密着しており剥離箇所は認められなかった。また、コンタクトクレイも湿潤状態を保っており、盛土材としての品質も確保されていることが確認できた（写真-2）。

この調査結果により、勾配を有しないコンクリート構造物に盛土構造物を接合させる構造では、直立壁の場合、振動特性の違いや水門と堤体の沈下量差によって剥離等の影響が生じるものの、適切な傾斜角を持った構造の場合、密着性を維持し遮水性を確保できるものと推定される。このことから、水門下部については、増厚コンクリートを打設して垂直部を廃し一定勾配としたことで、接合部での剥離等の影響は無いものと推測された。

以上の結果より、水門接合部に施工した増厚コンクリートの施工は、大規模地震動を受けた場合でも水門構造物と堤体盛土の接合部での品質を確保することにつながったと判断できる。

謝辞：長沼ダムの施工は、基礎地盤が軟弱地盤という特殊条件から、着工当初より、担当コンサルタントである（株）パシフィックコンサルタンツ、並びに土木設計部、ダム委員会（順不同）等の本社・支店各部署の方々に様々な御指導、御支援をいただきました。ここに深く謝意を表します。

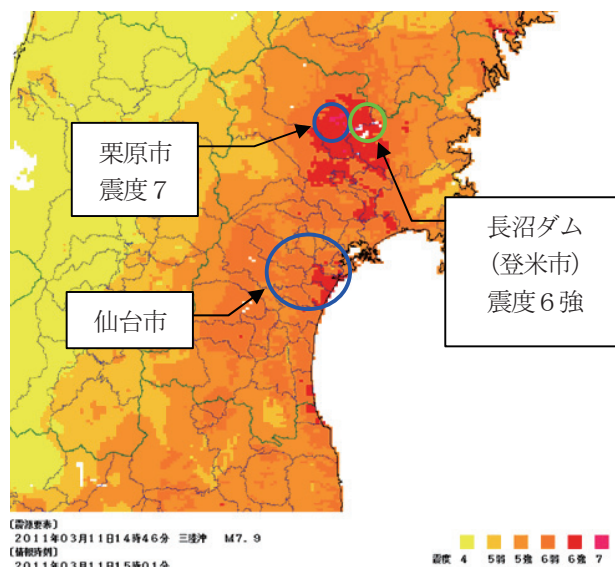


図-9 東北地方太平洋沖地震震度分布図

表-2 ダム軸縦断沈下測定結果

天端沈下量	測点	No.0+50	No.3+50	No.5+50	No.8	摘要
測定日	H23.2.25	17.367	18.043	17.508	17.253	※標高 (m)
	H23.3.28	17.342	17.920	17.329	17.128	※標高 (m)
地震による推定沈下量 (mm)		25	123	179	125	
基盤沈下量	測点	No.0+50	No.3+50	No.5+50	No.8	摘要
測定日	H23.3.9	0.054	1.732	1.163	0.637	※累計沈下量
	H23.3.18	0.054	1.829	1.305	0.742	※累計沈下量
地震による推定沈下量 (mm)		0	97	142	105	

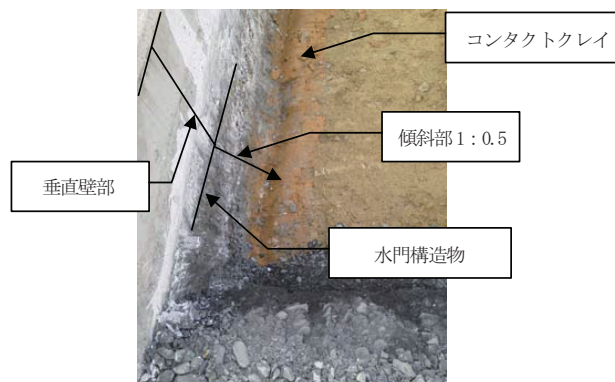


写真-2 試掘時状況写真（水門天端部分）

参考文献

- 1) 長沼ダム設計指針（案）
昭和 63 年 3 月 アースダム技術検討委員会
- 2) 平成 16 年度 長沼ダム 1-210 号 長沼ダム実施設計及び施工計画業務 実施設計報告書
平成 17 年 8 月 宮城県土木部、パシフィックコンサルタンツ株式会社
- 3) 平成 14 年度 長沼ダム 1-204 号 長沼ダム基礎地盤評価業務 報告書
平成 15 年 3 月 財団法人 ダム技術センター
- 4) 長沼ダム本体築造（盛立）工事 主ダム堤体構築時における基礎地盤圧密沈下に関する検討
平成 23 年 2 月 西松建設(株)土木設計部