

〔農工研技報 213〕
117～143, 2012〕

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震による 宮城県内の頭首工および水門の被害

渡嘉敷勝*・浅野 勇*・森 充広*・西原正彦*

目 次

I 緒 言	117	V 個別構造物の状況	125
II 東北地方太平洋沖地震の概要	117	1 頭首工（被害有り）	125
III 頭首工の被害	117	2 頭首工（被害無し）	132
1 過去の地震における頭首工被害	117	3 水門	135
2 被害の概要	119	VI 結 言	140
IV 水門の被害	122	参考文献	141
1 過去の地震における水門被害	122	Summary	143
2 被害の概要	123		

I 緒 言

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震は、三陸沖を震源とするマグニチュード 9.0 の地震であり、宮城県栗原市で震度 7 が観測されたほか、岩手県から茨城県にかけての太平洋岸の広い範囲で震度 6 強や 6 弱が観測された。震度 7 が観測されたのは、1995 年兵庫県南部地震（M7.3）、2004 年新潟県中越地震（M6.8）に次ぐ 3 度目となる。また、地震によって発生した津波では、北海道から千葉県にかけて大津波が押し寄せ、青森、岩手、宮城、福島、茨城、千葉の 6 県 62 市町村の浸水範囲面積の合計は 561km²にも及んだ（国土地理院、2011）。

本調査は、宮城県内の頭首工および上下開閉式ゲートを有する頭首工可動堰と構造が類似した水門について、地震および津波による被害の状況を確認するために地震発生 4 カ月後に実施したものである。調査に当たり、東北農政局および宮城県農林水産部の多大な協力を得たことを付記して感謝いたします。

II 東北地方太平洋沖地震の概要

平成 23 年 3 月 11 日 14 時 46 分、三陸沖の北緯 38° 06.2′ 東経 142° 51.6′、深さ 24 km を震源とする M 9.0 の地震が発生し、宮城県栗原市で震度 7 を観測したほか、宮城県内全域で震度 6 強～4 を観測した（Fig.1）。また、

この地震に伴い、宮城県石巻市鮎川で高さ 8.6 m 以上の非常に高い津波を観測するなど、宮城県沿岸部の広い範囲で津波を観測した（気象庁、2011）。この地震において、防災科学技術研究所の強震観測網観測点の K-NET 築館（宮城県栗原市）で最大加速度 2,933.7 gal（合成）が観測された。

III 頭首工の被害

1 過去の地震における頭首工被害

過去に発生した地震による頭首工の被害状況について、以下、地震別に記述する。なお、ここでは頭首工と機能および構造が類似した国土交通省（旧建設省）所管の堰についても記載した。

a 昭和 39 年（1964 年）

新潟地震（M7.5, 最大震度 5）

三品・佐藤（1965）は、東北農政局管内の 3 箇所の頭首工で若干の亀裂・沈下などを生じたことを報告しているが、被害状況の詳細については明らかでない。

土木学会新潟震災調査委員会（1966）は、被害の発生部位および状況については明らかでないものの、被災後に六ヶ江頭首工の堰が復旧されたこと、また、大規模な頭首工であっても長場頭首工のように砂地盤に杭を打ち込んである施設は無被害と報告している。

b 昭和 53 年（1978 年）

宮城県沖地震（M7.4, 最大震度 5）

杉田・田村（2007）は、阿武隈川大堰および旧北上大堰においてゲート戸当りの変形が生じたことを報告している。

c 昭和 58 年（1983 年）

日本海中部地震（M7.7, 最大震度 5）

* 施設工学研究領域施設機能担当

平成 23 年 12 月 14 日受理

キーワード:平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震, 津波, 頭首工, 水門

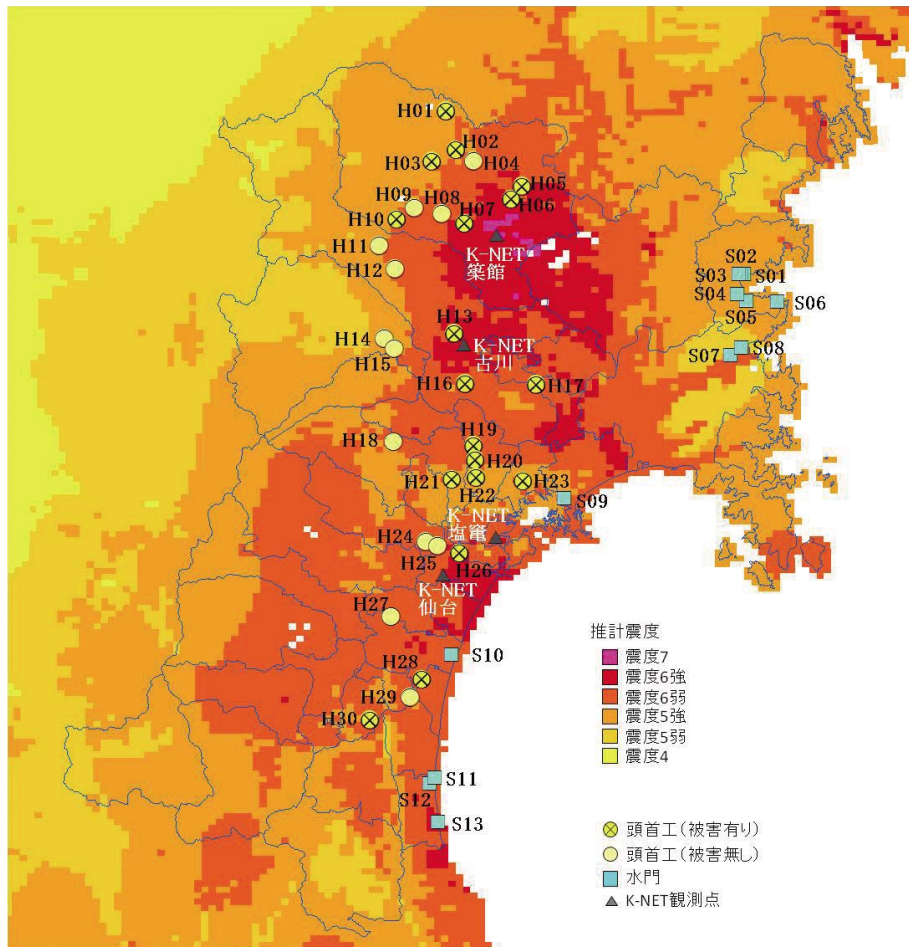


Fig. 1 東北地方太平洋沖地震推計震度分布 (気象庁), 調査構造物の位置と K-NET 観測点
 Estimated seismic intensity distribution map (JMA) of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, location of investigated structures and K-NET observation sites

東北農政局 (1984) は、被害を受けた頭首工が 22 箇所であり、その内訳は、固定堰 12 箇所、可動堰 7 箇所、サイホン式取入口 3 箇所と報告している。被災箇所別では、護岸 8 箇所、取入口 5 箇所、堰体 4 箇所、ゲート 3 箇所、護床 1 箇所、その他 1 箇所となっており、また、堰柱には被害が無かったことも報告されている。

秋田県農政部 (1985) は、秋田県内で被害を受けた頭首工が 14 箇所であり、規模の小さな固定堰、沈床等が被害を受けており、新しい技術により築造された規模の大きな施設には被害が無かったことを報告している。被害の内容としては、水叩き部の亀裂が 2 箇所、護岸工の損傷が 11 箇所、操作室が被災し屋内の操作盤が損傷を受けたためにゲート操作が不能となった 1 箇所としている。

d 平成 5 年 (1993 年)

北海道南西沖地震 (M7.8, 最大震度 5)

安中ら (1996) は、被害を受けた頭首工は 15 箇所であり、それらは震度 5 を観測した地域に分布しており、震度 4 の地域では被害はないこと、また、被害は「堰柱・ゲート部」と「護岸工」に多く発生していることを報告

している。堰柱・ゲート部の被害は、ゲート壁を兼ねている河岸擁壁が堰軸方向に傾倒し、転倒ゲートが開閉不能となった頭首工が 4 箇所あること、また、護岸工の被害は、高水敷ブロックや斜面の張ブロックの沈下およびひび割れであったことを報告している。

e 平成 7 年 (1995 年)

兵庫県南部地震 (M7.3, 最大震度 7)

兵庫県農林水産部農地整備課 (1996) は、被害を受けた頭首工が 18 箇所であることを報告している。その 1 事例として、太郎兵衛井堰の表面のみ約 50 cm の厚さのコンクリートで保護された固定堰コンクリートに 34 m の亀裂が生じ、下流側の水叩き先端から多量の漏水があったことが報告されている。

兵庫県南部地震技術検討委員会 (1996) は、被害を受けた頭首工のうち 6 箇所を調査し、被害が固定堰部の一部破損や漏水、また、操作室壁の亀裂などでいずれも軽微であり、堰体異常や取水に支障をきたすような大きな変状は見受けられなかったと報告している。そして、被害のあった頭首工の大半が古い年代の築造であり、老朽化の進行で従前からの微小な変状が強い地震動により増

長された可能性もあるとしている。また、被災地域に堰高が高く長大な径間を有する大規模な頭首工が無かったことが頭首工の被害件数が少ないことに影響していること、大規模な頭首工である他事業施工の加古川大堰等でも軽微な被害に留まっていたことから、大規模な頭首工においては耐震設計が実施されており、安全性は高いと考えられると報告している。

農林水産省農村振興局整備部設計課（2008）は、地震発生時に加古川大堰のゲートが塗装作業のために吊り上げられており、扉体自重の慣性力で軽構造部（取り外し）戸当りのローラ当たり面に最大 24 mm の変形が生じたと記述している。

f 平成 16 年（2004 年）

新潟県中越地震（M6.8, 最大震度 7）

新潟県長岡地域振興局農林振興部（2005）は、被害を受けた新潟県内の頭首工は 63 箇所と報告している。しかし、その被害状況の詳細については示されておらず、小千谷頭首工の護岸ブロックおよび底部工の破損箇所の張り替えが復旧の 1 事例として報告されている。

中ら（2006）は、被害を受けた頭首工として、小千谷頭首工の取水樋門周辺護岸ブロックの破損および堤防の沈下、渋海川頭首工の扉体サイドローラと戸当りの破損および護岸亀裂、黒川頭首工の護岸亀裂について報告している。

岡井・津幡（2005）は、被害を受けた妙見堰について報告している。妙見堰では、右岸の管理支所の地表面の最大加速度が、NS 成分：1,450 gal, EW 成分：1,529 gal, UD 成分：798 gal に達していること、また、水平成分の加速度応答スペクトルは、周期 0.05～0.7 秒で 2,000 gal を越えており、道路橋示方書の標準加速度応答スペクトルを大きく越えていることを指摘している。その結果、堰の 7 号堰柱（以下、P7 などと称す）および P8 の門柱部においてコンクリートのかぶりが剥落し、鉄筋露出を生じる損傷を生じたこと、また、P0 の堰柱部および P1～P6 の門柱部にひび割れが発生したことを報告している。

杉田ら（2006）も妙見堰について報告している。被害程度が比較的大きかった P7 および P8 は、門柱が 4 本の RC 柱から構成され、RC 柱の基部または中間部でコンクリートが剥落して鉄筋が露出しており、P8 では 1 本の鉄筋が破断していたことが報告されている。なお、門柱および堰柱の損傷が地震後のゲート操作に影響を及ぼさなかったこと、また、損傷した門柱が曲げ破壊先行型の構造であることから、鋼板巻き付けによる補強対策が実施されたことが報告されている。

杉田・田村（2007）は、1964 年新潟地震から 2004 年新潟県中越地震までの主要な地震による河川構造物の被害事例を報告し、コンクリート構造物の被害件数は盛土構造物と比較して明らかに少ないとして、コンクリート構造物では比較的早くから中規模地震動相当の地震荷重

が考慮されてきたためであると述べている。また、妙見堰の損傷については、最大加速度が 1,500 gal を越えていること、さらに、加速度応答スペクトルも短周期側で 1995 年兵庫県南部地震における神戸海洋気象台の地震動を上回ったことから、実際の地震動が設計荷重を大きく上回る場合にはコンクリート構造物でも大きな損傷を生じることを指摘している。

g 平成 19 年（2007 年）

能登半島地震（M6.9, 最大震度 6 強）

林田ら（2008）は、被害を受けた頭首工の護岸工について報告している。当該頭首工の下流部の護岸工は、現場打ちコンクリート擁壁とその直上の張りブロックから構成されており、地震時の基礎地盤の液状化によりコンクリート擁壁が河川側へ傾倒し、張ブロックが崩落したと報告している。

石川県（2009）は、頭首工の転倒堰の破損、頭首工側壁の崩壊による戸当りの破損などが生じたことを報告している。

以上の報告から、過去の地震における頭首工の被害の特徴は次のようにまとめられる。

- ①盛土部の沈下、または、これらに伴う護岸工の変形事例が多い。
- ②護岸擁壁とゲート戸当り部が縁切りされていない場合には、護岸工の変形に伴い、ゲート開閉機能が低下する可能性がある。
- ③古い築造の頭首工は、破損や亀裂等の損傷を受ける事例が多い。
- ④堰柱・門柱コンクリートの被害報告は少ない。
- ⑤設計荷重を大きく上回る地震動では、堰柱・門柱コンクリートにも大きな損傷を生じさせる可能性がある。

2 被害の概要

調査対象とした頭首工は計 30 箇所であり、その位置関係は Fig.1 のとおりである。30 箇所の内訳は、宮城県農林水産部から資料提供いただいた被害頭首工計 35 箇所のうち、現地調査時点で位置が特定できた 16 箇所とその近傍に位置する受益面積 100ha 以上の頭首工 14 箇所である。頭首工の諸元および被害発生部位の状況について Table 1 に示す。

全ての頭首工が推計震度 6 強～5 強の地震動を受けているものの、そのうち被害を受けたのは 18 箇所であり、無被害は 12 箇所である（Table 2）。推計震度 6 強の 3 箇所は全て被害を受けており、6 弱および 5 強では約半数程度が被害を受けている。ただし、推計震度の精度は 1 階級程度異なることもあるとされているため、上記の推計震度と被害数との関係は参考に留めたい。

頭首工の被害を被害発生部位別に見ると、「堤防」が多く、続いて「操作室・管理棟」、「固定堰」、「ゲート・

Table 1 頭首工の諸元および被害発生部位
Specification and damaged portion of head works

記号	名称	完成年度	堰長(m)	構造			推計震度	被害有無	被害発生部位								
				固定堰	洪水吐ゲート				土砂吐ゲート(門)	固定堰	堰柱門柱	エプロン	ゲート戸当り	機側操作室	操作室管理棟	堤防	
					鋼製(門)	ゴム製(門)											
H01	上田頭首工	平10	41	有			1	5強	有		△						○
H02	岩淵頭首工	平20	43	有				6弱	有	○							
H03	一の堰頭首工	平05	62			2		5強	有					○			
H04	軽辺頭首工	昭56	78	有			1	6弱	無								
H05	板倉頭首工	平04	43			1		6強	有					○		○	
H06	熊川頭首工	平20	28				1	6強	有								○
H07	秋山頭首工	平20	80				2	6弱	有							○	
H08	伊豆野頭首工	平08	82			3		6弱	無								
H09	四ヶ村頭首工	平09	15	有				6弱	無								
H10	川台頭首工	平08	27			1		6弱	有			○	○				
H11	二ツ石頭首工	平16	91				2	5強	無								
H12	大堰頭首工	平17	270	有		2		6弱	無								
H13	清水川頭首工	平17	138				3	6弱	有								○
H14	館前頭首工	平21	81				2	5強	無								
H15	上川原頭首工	平21	226	有			2	5強	無								
H16	桑折江頭首工	平15	87			2		6弱	有								○
H17	鳴瀬川下流頭首工	平14	120			3		6弱	有								○
H18	大堰	平08	37			1		6弱	無								
H19	行井堂堰	昭48	47	有				6弱	有	○							
H20	山崎堰	平05	19				1	6弱	有								○
H21	幕柳堰	昭23	12			1		5強	有								○
H22	十文字堰	明43	17	有		1		5強	有	○							○
H23	高城揚水機場	昭47	38			3		6弱	有				○	○			
H24	薄ヶ沢堰	昭57	59					6弱	無								
H25	宝堰	昭59	94			3		6弱	無								
H26	中野堰	昭39	48			1		6強	有							○	
H27	名取川頭首工	昭60	134			3		6弱	無								
H28	矢野目堰	昭52	17				1	6弱	有				○				
H29	三ツ又水門	昭53	10			1		6弱	無								
H30	稲荷山堰	昭42	129	有		1		6弱	有	○	○	○				○	
計										4	2	2	3	3	4	8	

現地調査結果および宮城県資料に基づき作成

機側操作室：門柱の上に設けられるゲート操作室

操作室・管理棟：門柱以外の堤防等に設けられるゲート操作室および管理棟

堤防：護岸・高水敷保護工および河川堤防

○：被害有り， △：被害が疑わしい

Table 2 推計震度別の頭首工被害数
Relationship between estimated seismic intensity and the number of damaged head works

推計震度	頭首工箇所数	被害	
		有	無
6強	3	3	0
6弱	20	11	9
5強	7	4	3
計	30	18	12

戸当り]、「機側操作室」,「エプロン」,「堰柱・門柱」の順となる。以下では、被害発生部位別の状況について記述する。

a 固定堰

固定堰では、コンクリート継目からの漏水および亀裂の発生が報告されているが、調査時点では水面下にあるものが多く、その詳細を確認することはできなかった。被害を受けた固定堰 4 箇所のうち、明治時代に築造されたのが 1 箇所、昭和 40 年代に築造されたのが 2 箇所、残りの 1 箇所も平成 20 年度に改修を受けた昭和 37 年度竣工の固定堰であり、古い年代に築造された固定堰が被害を受けたと判断される。今後は詳細な調査により、固定堰に生じる亀裂位置および形態の把握と発生メカニズムの解明が必要と考える。

b 堰柱・門柱

上田頭首工の門柱において、水平方向のひび割れを複数確認した。土地改良区への聞き取りでは、このひび割れがいつ生じたのかは不明であり、平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震の際に生じた可能性もあるとのことであった。今後、地震動に起因したひび割れであるかの検証が必要である。

稲荷山堰においては、取水ゲート門柱にひび割れ 2 本が生じたことが報告されている。調査時点では複数のひび割れを確認したが、地震時に発生したとされるひび割れを特定することはできなかった。また、同堰においては、堰柱・門柱とは異なるものの操作室の柱構造にひび割れが発生する被害が生じた。これについては、「f 操作室・管理棟」の項で後述する。

上田頭首工および稲荷山堰以外の頭首工においては、堰柱・門柱の被害が報告および確認されておらず、今回の調査の範囲内では頭首工の堰柱・門柱は損傷が少なかったと言える。

c エプロン

川台頭首工においてエプロン部のひび割れが報告されているが、被害額が 200 千円（7 月 4 日時点、ゲート目地部の補修含む）と低額であることから、軽微な被害と判断される。

稲荷山堰においては、エプロン部で約 30 m 破損したと報告されているが、調査時点では水面下にあることから確認はできなかった。

d ゲート・戸当り

川台頭首工において報告されているゲート目地の損傷については、調査で被害箇所を特定することはできなかったが、上述のように被害額が低額であることから、ごく軽微な被害と判断される。

高城揚水機場においては、ゲート戸当りおよび扉体の沈下が報告されているが、調査時点では、状況を確認することはできなかった。

河口から 4.3 km に位置する矢野目堰においては、ゴム堰が津波荷重を受けて、袋体が河川側壁の取り付け部

において破断および固定金具から抜け出し（Fig.2）、起立状態にないことが確認された。水面下の袋体の状況については、濁水のために確認できなかった。宮城県資料では津波によるゴム堰の全壊で補修は不可能と記載されている。ゴム堰の袋体を河川に固定する方式には、袋体の上流側を 1 列で固定する方式と上下流の 2 列で固定する方式があり、防潮堰などで下流水位がある場合や波浪などによって下流側からの力を受ける場合は 2 列固定方式とする必要があるとされている（農林水産省構造改善局建設部設計課, 1999）。矢野目堰は、1 列固定方式と見受けられたことから、河川津波に対する耐性が低かったと推測される。また、宮城県資料には、別のゴム堰 1 箇所が同様に津波により全壊と記載されている。今後は、河川津波の遡上が想定される範囲内に位置する頭首工のゲート方式等の選定については、河川津波荷重を考慮する必要があると考える。

e 機側操作室

一の堰頭首工、板倉頭首工、高城揚水機場の機側操作室では、外壁がパネル構造のパネルの脱落（Fig.3）やひび割れの発生が確認された。一方、コンクリート構造の壁については、明確な変状は見受けられなかった。



Fig. 2 ゴム堰袋体の端部の破断
Broken end of rubber tube



Fig. 3 外壁パネル脱落状況
Falling of external wall panels of control room



Fig. 4 操作室の柱基部にひび割れ
Crack at the base of the pillar of the control room

f 操作室・管理棟

中野堰では、河川堤防上に設置されていた操作室（幅 5 m × 奥行き 2.5 m 程度）が倒壊しており、調査時点では撤去されていた。また、詳細は明らかではないが、板倉頭首工においても管理棟の破損が報告されている。

稲荷山堰では、操作室の柱の地表から高さ約 60 cm の位置に柱を周回するひび割れが確認された (Fig.4)。このひび割れは、一部にかぶりコンクリートの剥落は見られるものの鉄筋等の露出は確認されなかった。これは地震荷重による曲げ先行破壊のひび割れと推定されるが、かぶりコンクリートの剥落もなく、補修あるいは補強対策により十分修復可能な損傷レベルであった。

g 堤防

桑折江頭首工、鳴瀬川下流頭首工、清水川頭首工などにおいて、河川堤防の沈下による管理橋の取り付け部の段差や管理棟周辺のアスファルトの亀裂被害が確認された。また、護岸ブロックの崩壊・ひび割れ・段差、護岸擁壁の変位等も確認された。これらは、堤防の沈下やすべり破壊に伴い生じた変状である。

h 地震動特性と頭首工被害

頭首工の被害を作用荷重の観点から考察すれば、津波被害を受けたゴム堰を除けば、地震動が主たる荷重である。これは、頭首工が農業用水取水のために河川の上流部に設置されるため、河川津波遡上地点よりも上流側に位置する箇所が多いからである。

Fig.5 に宮城県内に設置されている K-NET の築館、古川、塩竈、仙台、また、2004 年新潟県中越地震により門柱のかぶりコンクリートが剥落して一部鉄筋が破断した妙見堰近傍の K-NET 小千谷の加速度応答スペクトル (減衰定数 $h = 0.05$)、さらに道路橋示方書 (日本道路協会, 2002) で示される標準加速度応答スペクトルを示す。加速度応答スペクトルの形状は、観測地点の相違により大きく異なる。これらの加速度応答スペクトルを比較すると、門柱に損傷を生じた妙見堰近傍の小千谷の応答加速度値は、周期約 0.4 秒から 1 秒の間で宮城県内 4 箇所および道路橋示方書で示される標準加速度応答スペクトル

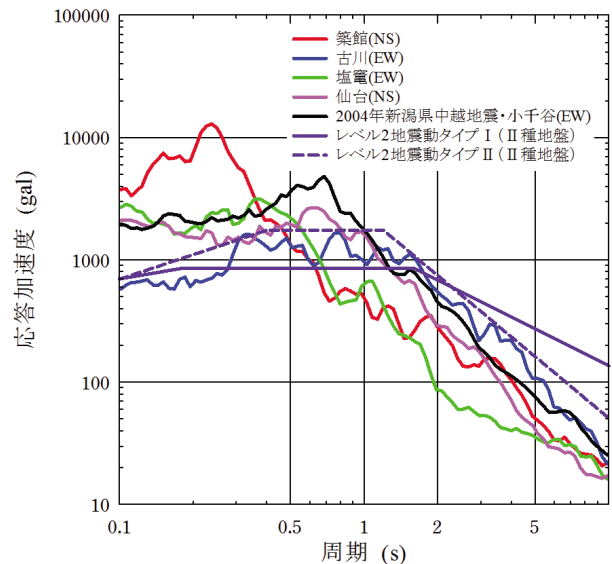


Fig. 5 K-NET 観測点の加速度応答スペクトルおよび道路橋示方書の標準加速度応答スペクトル

Acceleration response spectrum of strong-motion data from K-NET and standard acceleration response spectrum of Specifications for Highway Bridges

ルの値を全て上回っている。小千谷の応答加速度値は、築館の値と比較して周期 0.4 秒以下の短周期側において大きく下回る傾向を示したものの、周期 0.4 秒以上の領域においては築館を上回る。また、周期 1 秒以上の長周期側の領域においては、小千谷と仙台あるいは古川との応答加速度値はほぼ同程度である。応答加速度値が周期約 0.4 秒から 1 秒の帯域で卓越する地震動では妙見堰の損傷が発生したが、その帯域での応答加速度値が小さな今回の地震動で宮城県内の頭首工の損傷が見受けられなかった調査結果から、周期約 0.4 秒から 1 秒の間の応答加速度が頭首工に被害を与える可能性が推測される。しかしながら、地震動による頭首工の被害には、地震動の特性のみならず、地盤の動特性、頭首工の地震応答特性などが関係するため、今後はこれらも含めて詳細に検討する必要がある。なお、築館は計測震度 7 を示したが、構造物の被害はほとんど見られなかったのに対し、古川は計測震度 6.1、最大加速度 586 gal にもかかわらず、木造建築物が甚大な被害を受けたことが報告されている (森川・後藤, 2011)。このような現象が見られることも地震動の周波数特性と構造物の破壊が関係することを示している。

IV 水門の被害

1 過去の地震における水門被害

水門の地震および津波に関する被害事例の報告は少ない。土木学会 (1986) は、1983 年日本海中部地震における地震および津波による河川構造物の被害について報告しており、河川堤防、護岸、樋門・樋管に被害が生じ

たが、水門・堰には被害が認められなかったとしている。

2 被害の概要

水門については、13 箇所 (Fig.1) を調査し、全箇所において被害が確認された (Table 3)。なお、各施設で示す浸水高は、東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ (2011) が公開した津波痕跡調査速報値から、施設付近の計測値を選定したものである。浸水高は、同グループが被災後に行った現地調査により陸上での津波の痕跡の高さから推定した津波の高さであり、津波来襲時の天文潮位を基準面として、そこから津波の水位上端までの高さを表したものである。

水門の被害を被害発生部位別に見ると、「堤防」が多く、「管理棟」、「下部管理橋」、「開閉装置」、「上部管理橋」、「機測操作室」、「門柱」、「ゲート」の順となる。以下では、被害発生部位別の状況について記述する。

a 堰柱

全施設において堰柱の陸側水面上には、大きな変状は認められなかった。ただし、近傍の堤防の流出や、隣接する管理棟基礎部の洗掘が見られる事例もあり、堰柱基礎部における洗掘およびそれに伴う変状が生じた可能性がある。

b 門柱

門柱には、上部管理橋の落橋に伴う損傷 (Fig.6) および漂流物の衝突によると判断される損傷が見受けられる事例がある。上部管理橋が津波荷重を受けて桁ずれを生じ、門柱上部で管理橋との接続部である支承および落橋防止チェーンに応力が集中した結果、門柱上部コンクリートが破壊したものと推測される。

c ゲート

津波荷重による開閉装置の落下に伴うと見られるゲートの傾斜 (Fig.7) や、津波による浮き上がり判断さ

れるゲートの傾斜の事例も確認された。このような水門では水位調整機能が喪失したものと推定される。

d 開閉装置

上部管理橋上に開閉装置が設けられている構造におい



Fig. 6 上部管理橋の落橋に伴う門柱上部の損傷
Damage to the top of gatepost caused by dropped bridge



Fig. 7 ゲートの傾斜
Inclined gate

Table 3 水門の被害発生部位

Relationship between estimated seismic intensity and the number of damaged head works

記号	名称	ゲート (門)	推計 震度	浸水高 (m)	被害 有無	被害発生部位								
						堰柱	門柱	ゲート	開閉 装置	上部 管理橋	下部 管理橋	機側 操作室	管理棟	堤防
S01	新井田川防潮水門	2	6弱	16.5	有		○		○				○	○
S02	八幡川防潮水門	4	6弱	15.4	有		○		○	○			○	○
S03	水尻川防潮水門	3	6弱	14.3	有		○	○	○	○			○	○
S04	折立川防潮水門	3	5強	12.0	有				○				○	○
S05	水戸辺川防潮水門	3	5強	10.9	有		○		○	○			○	○
S06	長清水川防潮水門	1	5強	10.7	有							○		○
S07	月浜第1水門	3	6弱	10.2	有						○		○	
S08	月浜第2水門	2	6弱	6.3	有									○
S09	東名水門	3	6弱	3.4	有							△		
S10	貞山堀防潮水門	3	6弱	7.6	有			○			○		○	
S11	牛橋水門	4	6弱	10.6	有							○		○
S12	高瀬川防潮樋門	3	6弱	5.7	有						○		○	○
S13	坂元水門	3	6強	12.4	有						○		○	○
計						0	4	2	5	4	7	4	8	9

浸水高：「東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ」による調査速報値 ○：被害有り，△：被害が疑わしい



Fig. 8 ラックカバーのねじれ
Twisted rack cover



Fig. 10 陸側へ落橋した下部管理橋
Dropped lower maintenance bridge toward land direction

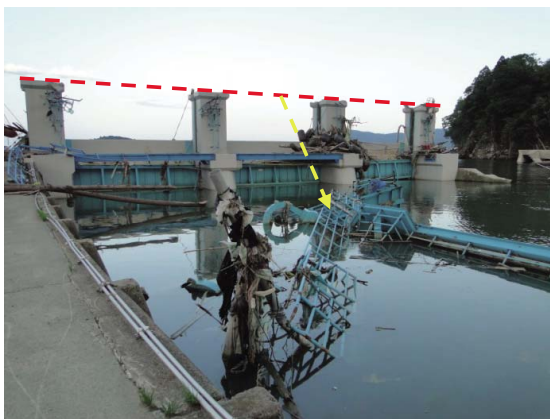


Fig. 9 海中に落橋した上部管理橋
Dropped upper maintenance bridge into the sea



Fig. 11 機側操作室外壁の破損
Broken wall of control room

ては、上部管理橋の落橋とともに開閉装置も落下している事例も確認された。また、上部管理橋が落橋していない場合においても、開閉装置のラックカバーが大きくねじれた状態 (Fig.8), あるいは機側操作盤が傾倒した状態となり、開閉機能を喪失している事例もあった。なお、機側操作室の外壁パネルが津波荷重で損傷した事例においても内部の開閉装置に外見上変状の認められない事例も確認された。今回の津波は水門の高さを超える極めて大規模なものであった。開閉装置は水門の推移調節に必要な不可欠な装置であり、今後、損傷および機能低下を回避するなどの検討が必要と考える。

e 上部管理橋

門柱上に操作台が設けられておらず、直接に上部管理橋が設けられている簡易な構造の上部管理橋は、津波荷重により、陸側へ落橋 (Fig.9) している事例が多かった。落橋が陸側であることから、押し波によるものと判断される。また、上部管理橋上に開閉装置が設置されている場合には、落橋とともに開閉装置も落下している。

f 下部管理橋

堰柱上に設置されている下部管理橋においては、津波荷重による落橋や桁ずれ、変形などの事例が多い。落橋においては、堰柱コンクリートの破損は見られず、支承



Fig. 12 機側操作室の窓およびドアの破損
Damage of the window and door of control room

固定金具の変形が見受けられた (Fig.10)。

g 機側操作室

機側操作室では、外壁がパネル構造の破損 (Fig.11) の事例が確認された。コンクリート構造の壁については、明確な変状は見受けられなかったものの、窓やドア部分は破損した事例も確認された (Fig.12)。

h 管理棟

管理棟では、基礎地盤の洗掘により、傾倒した事例

(Fig.13)や基礎杭が露出した事例(Fig.14)が確認された。管理棟内部の操作盤等は、浸水により使用不能となっている事例が多い。

i 堤防

水門近傍の堤防は、洗掘等により喪失している事例が多数見受けられた(Fig.15)。

j 津波荷重と水門被害

水門の被害においては、津波荷重の方が地震荷重に比較して卓越していたと判断される。堰柱、門柱には管理



Fig. 13 洗掘により傾倒した管理棟
Tilted administration building by scour



Fig. 14 洗掘により露出した管理棟の基礎杭
Exposed piles of administration building by scour



Fig. 15 右岸堤防の喪失および土嚢による復旧
Scoured and restored with sandbags at right bank

橋の落橋および漂流物の衝突などによる損傷以外は構造的な損傷は見受けられない。しかし、津波による管理橋の落橋、開閉装置の破損は、ゲートの開閉機能喪失に直結する損傷であり、水門の水位調整機能は著しく低下した。また、津波による管理棟の破損および浸水により、操作不能となった水門も多いことも今後検討が必要な課題と考える。

V 個別構造物の状況

本章では、今回の調査対象とした構造物の状況について、構造物別に記述する。なお、頭首工については、今回の地震で被害を受けた頭首工と被害を受けていない頭首工を分けて記述する。

1 頭首工（被害有り）

a 上田頭首工（栗原市栗駒沼倉，推計震度 5 強）

上田頭首工は、固定堰と土砂吐 1 門を有する堰長 41 m の複合堰で、その受益面積は 365 ha である(Fig.16)。

右岸門柱の右岸側に水平方向のひび割れを確認した(Fig.17)。ひび割れの上下に拡がるエフロレッセンスの進行状況から、このひび割れが比較的新しいものと推定された。しかし、地震動に起因したものであるかは不明



Fig. 16 全景（上田頭首工）
View of the whole structure

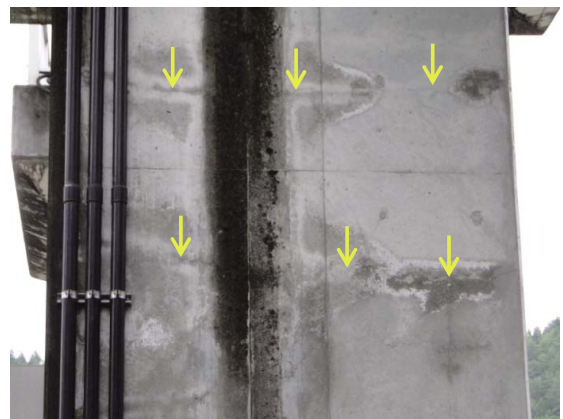


Fig. 17 門柱のひび割れ
Cracks on gatepost

であり、今後の検証が必要である。また、ひび割れが地震以前に生じていたとすれば、その発生要因および進行予測についても検討しておく必要がある。固定堰、堰柱、ゲート、戸当りには特段の変状は見受けられない。宮城県資料に記述されていた下流の左岸護岸ブロックには、地震荷重によると思われるひび割れが多数確認された (Fig.18)。



Fig. 18 左岸護岸ブロックのひび割れ
Cracks on left bank protection block

b 岩淵頭首工 (栗原市栗駒中野, 推計震度 6 弱)

岩淵頭首工は、堰長 43 m の固定堰で、その受益面積は 386 ha である (Fig.19)。



Fig. 19 全景 (岩淵頭首工)
View of the whole structure

宮城県資料では「目地からの漏水」とされており、固定堰部の魚道より左岸側に目地が 2 箇所あり、エラストイトがはみ出しているように見受けられた (Fig.20)。調査時には、越流状況にあったため、漏水状況については確認できなかった。

c 一の堰頭首工 (栗原市栗駒, 推計震度 5 強)

一の堰頭首工は、洪水吐 2 門と土砂吐 1 門を有する堰長 62 m の可動堰で、その受益面積は 1,498 ha である (Fig.21)。

堰柱、門柱、ゲート、戸当りには大きな変状は認めら

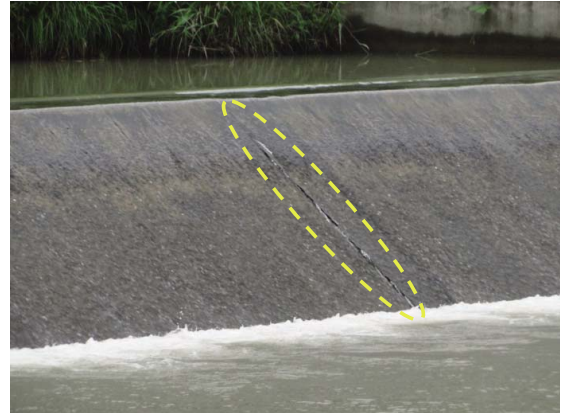


Fig. 20 目地漏水部と推定される箇所
Estimated point of the joint leakage



Fig. 21 全景 (一の堰頭首工)
View of the whole structure

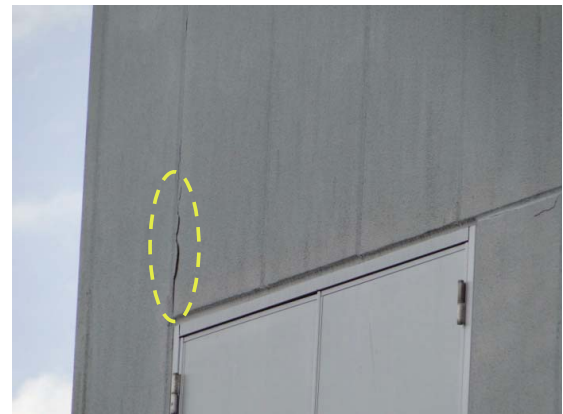


Fig. 22 操作室外壁パネルのひび割れ
Crack on external wall panel of control room

れない。P2 の操作室外壁パネルにひび割れが生じている (Fig.22)。

d 板倉頭首工 (栗原市金成沢辺, 推計震度 6 強)

板倉頭首工は、洪水吐 1 門と土砂吐 1 門を有する堰長 43 m の可動堰で、その受益面積は 1,162 ha である (Fig.23)。

堰柱、門柱、ゲート、戸当りには大きな変状は認められない。堰の P1 の操作室の外壁パネルが脱落している



Fig. 23 全景（板倉頭首工）
View of the whole structure

(Fig.24)。脱落パネルのいくつかは、管理橋上に置かれている。P2 および P3 の操作室の外壁パネル継目に段差およびひび割れが生じている。P2 操作室下面と門柱との取り付け部 2 箇所にひび割れらしきものが見受けられた。また、P1～P3 操作室の機械搬入用ドアの変形が確認された。



Fig. 24 操作室の外壁パネル脱落状況
Falling of external wall panels of control room

e 熊川頭首工（栗原市築館，推計震度 6 強）

熊川頭首工は、洪水吐（ゴム）1 門を有する堰長 28 m の可動堰で、その受益面積は 114 ha である (Fig.25)。



Fig. 25 全景（熊川頭首工）
View of the whole structure

護岸の現場打ちコンクリートの打ち継ぎ目にひび割れが生じており、ひび割れからはエフロレンスが滲み出している (Fig.26)。現場打ちコンクリートとブロックとの間には約 5 cm 程度の段差が生じている (Fig.27)。これらの発生原因は、堤防の沈下によるものと推察される。堰の袋体には特段の変状は見受けられない。



Fig. 26 コンクリート打ち継ぎ目のひび割れ
Cracks of concrete joint



Fig. 27 コンクリートとブロックとの段差景
Difference in level between the concrete and the block

f 秋山頭首工（栗原市一迫柳目，推計震度 6 弱）

秋山頭首工は、洪水吐（ゴム）2 門と土砂吐（ライジングセクターゲート）1 門を有する堰長 80 m の可動堰で、受益面積は 369 ha である (Fig.28)。

宮城県資料では、「壁、床にひび割れ多数」と記載があるが、操作室および機側操作室とも外観上は変状認められない。ゴム堰およびライジングセクターゲートにも変状は見受けられない。

g 川台頭首工（栗原市一迫長崎川台，推計震度 6 弱）

川台頭首工は、洪水吐 1 門と土砂吐 1 門を有する堰長 27 m の可動堰で、その受益面積は 2,440 ha である (Fig.29)。

堰柱、門柱、戸当り、操作室外壁には大きな変状は認められない。ゲート目地からの漏水およびエプロンのひび割れが報告されているが、状況については確認できな



Fig. 28 全景 (秋山頭首工)
View of the whole structure



Fig. 31 堤防の沈下による管理橋取り付け部の段差
Difference in level at the junction with maintenance bridge
caused by bank subsidence



Fig. 29 全景 (川台頭首工)
View of the whole structure

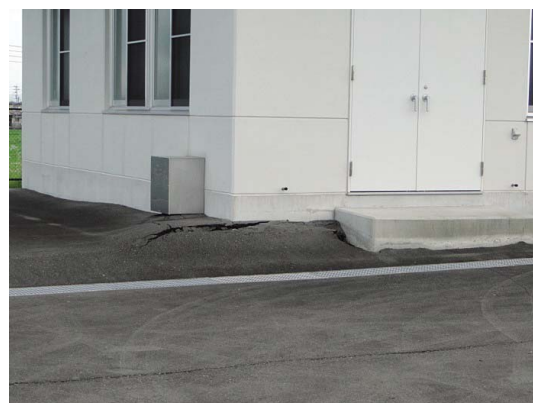


Fig. 32 管理棟周辺の地盤沈下
Subsidence around the administration building

かった。

h 清水川頭首工 (大崎市古川小泉, 推計震度 6 弱)

清水川頭首工は、洪水吐 (ゴム) 3 門と土砂吐 1 門を有する堰長 138 m の可動堰で、その受益面積は 579 ha である (Fig.30)。



Fig. 30 全景 (清水川頭首工)
View of the whole structure

堰柱、門柱、ゲート、戸当り、ゴム堰には大きな変状は認められない。操作台下面にひび割れらしき変状が見受けられ、今後確認する必要がある。管理橋と堤防との取り付け部で約 6 cm 程度の段差が生じている (Fig.31)。

また、管理棟周辺地盤も沈下している (Fig.32)。河川堤防のアスファルト舗装にも多数のひび割れが生じている。

i 桑折江頭首工 (大崎市三本木桑折, 推計震度 6 弱)

桑折江頭首工は、洪水吐 2 門を有する堰長 87 m の可動堰で、その受益面積は 1,303 ha である (Fig.33)。



Fig. 33 全景 (桑折江頭首工)
View of the whole structure

堰柱、門柱、ゲート、戸当り、操作室に変状は認められない。管理橋に堤防の沈下による段差が生じている (Fig.34)。



Fig. 34 管理橋に生じた段差
Difference in level at the junction with maintenance bridge

j 鳴瀬川下流頭首工

(美里町新一本柳, 推計震度 6 弱)

鳴瀬川下流頭首工は、洪水吐 3 門を有する堰長 120 m の可動堰で、その受益面積は 1,739 ha である (Fig.35)。



Fig. 35 全景 (鳴瀬川下流頭首工)
View of the whole structure

堰柱、門柱、ゲート、戸当り、操作室に変状は認められない。管理橋と堤防との取り付け部において、堤防の沈下による段差が約 20 cm 生じている (Fig.36)。管理橋のコンクリートが剥落している (Fig.37)。管理橋近くの堤防法面に設置されているコンクリート階段が折損している (Fig.38)。



Fig. 36 堤防の沈下による段差
Difference in level at the junction with maintenance bridge caused by bank subsidence



Fig. 37 管理橋のコンクリートの剥落
Dropped concrete from maintenance bridge



Fig. 38 堤防のコンクリート階段が折損
Breakage of concrete stairs on the bank

k 行井堂堰 (大郷町粕川, 推計震度 6 弱)

行井堂堰は、堰長 47 m の固定堰で、その受益面積は 303 ha である (Fig.39)。

宮城県資料には「堰本体の亀裂」とされているが、調査時に越流状況にあったため確認できなかった。



Fig. 39 全景 (行井堂堰)
View of the whole structure

l 山崎堰 (大郷町中村, 推計震度 6 弱)

山崎堰は、洪水吐 (ゴム) 1 門を有する堰長 19 m の可動堰で、その受益面積は 33 ha である (Fig.40)。

ゴム堰に変状は認められない。堰下流右岸の護岸ブロックが崩れている (Fig.41)。崩れた護岸ブロック下



Fig. 40 全景 (山崎堰)
View of the whole structure



Fig. 43 堰上流右岸擁壁の変位
Lateral displacement of retaining wall



Fig. 41 堰下流右岸の護岸ブロックの崩れ
Collapse of bank protection blocks at the right bank



Fig. 44 堰下流右岸擁壁の変位
Lateral displacement of retaining wall

部がはらんでいることから法面のすべりによるものと推察される。

m 幕柳堰 (大和町鶴巣, 推計震度 5 強)

幕柳堰は、角落とし堰と洪水吐 1 門を有する堰長 12 m の可動堰で、その受益面積は 60 ha である (Fig.42)。



Fig. 42 全景 (幕柳堰)
View of the whole structure



Fig. 45 法面のすべり
Landslide on a right bank slope

堰柱, 門柱, ゲートには変状は認められない。堰の上下流の左右岸の擁壁が河川側に押し出されている (Fig.43, Fig.44)。堤体法面ですべりが発生している (Fig.45)。

n 十文字堰 (大郷町東成田, 推計震度 5 強)

十文字堰は、堰長 17 m の固定堰で、その受益面積は 19 ha である (Fig.46)。

固定部堰体の破損 (Fig.47), 護岸積み石の開き (Fig.48), 擁壁の押し出し (Fig.49) などが見受けられる。

o 高城揚水機場 (松島町高城, 推計震度 6 弱)

高城揚水機場は、洪水吐 3 門を有する堰長 34 m の可動堰で、その受益面積は 110 ha である (Fig.50)。

操作室の外壁パネルが脱落している (Fig.51)。地震荷重には起因していないが、コンクリート部にひび割



Fig. 46 全景（十字堰）
View of the whole structure



Fig. 47 固定部の破損
Cracked concrete

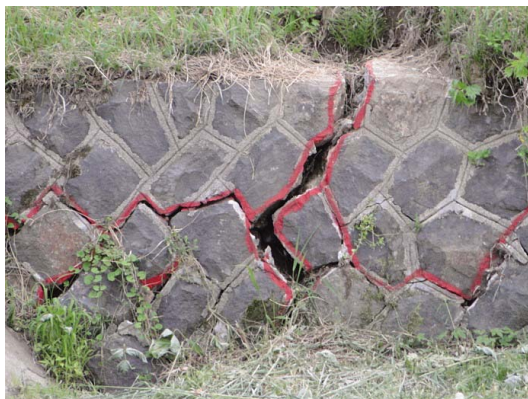


Fig. 48 護岸積み石の開き
Cracked bank protection stones



Fig. 49 下流右岸擁壁の押し出し
Lateral displacement of retaining wall

れおよびエフロレンスの浸出痕跡が多数見受けられる。ゲート戸当りおよび扉体の沈下、ゲート操作盤床の固定部破損が報告されているが、状況については確認できなかった。



Fig. 50 全景（高城揚水機場）
View of the whole structure



Fig. 51 操作室外壁パネルの脱落
Falling of external wall panels of control room

p 中野堰（多賀城市後新田，推計震度 6 強）

中野堰は、洪水吐 1 門と土砂吐 1 門を有する堰長 48 m の可動堰で、その受益面積は 304 ha である (Fig.52)。

堰柱、門柱、ゲート、戸当り、操作台に地震に起因すると考えられる変状は認められない。劣化によるひび割れ、発錆は見受けられる。宮城県資料では「操作室倒壊」とされているが、操作室の確認はできなかった。



Fig. 52 全景（中野堰）
View of the whole structure

q 矢野目堰 (岩沼市野郷, 推計震度 6 弱)

矢野目堰は、洪水吐 (ゴム) 1 門を有する堰長 17 m の可動堰で、その受益面積は 85 ha である (Fig.53)。

仙台空港の南東 2.8 km, 河口から 4.3 km に位置する堰であり、津波荷重により、ゴム堰の袋体が押さえ金具から外れ、堰の機能を消失している (Fig.54)。水中下での袋体の被害状況については、濁水のために確認できなかった。



Fig. 53 全景 (矢野目堰)
View of the whole structure



Fig. 54 ゴム堰袋体の端部の破断
Falling of external wall panels of control room

r 稲荷山堰 (柴田町槻木, 推計震度 6 弱)

稲荷山堰は、固定堰と洪水吐 2 門を有する堰長 129 m の複合堰で、その受益面積は 1,094 ha である (Fig.55)。



Fig. 55 全景 (稲荷山堰)
View of the whole structure

操作室の柱の地表から約 60 cm の高さに柱を周回するひび割れが生じている (Fig.56, Fig.57)。地震荷重による柱の振動でこの部分が塑性ヒンジとなり、ひび割れが発生したと推定される。この柱がどのような基準の基に設計されたかは不明であるため、今後、柱の耐震性について検証する必要がある。宮城県資料では「固定堰コンクリート継目からの漏水」、「エプロン部約 30 m 破損」とされているが、越流状況にあったため確認できなかった。また、取水ゲート門柱 2 本にひび割れが生じたことが報告されているが、現地調査で複数ひび割れを確認できたが、地震時発生ひび割れを特定することはできなかった。



Fig. 56 操作室の柱基部にひび割れ
Crack at the base of the pillar of the control room

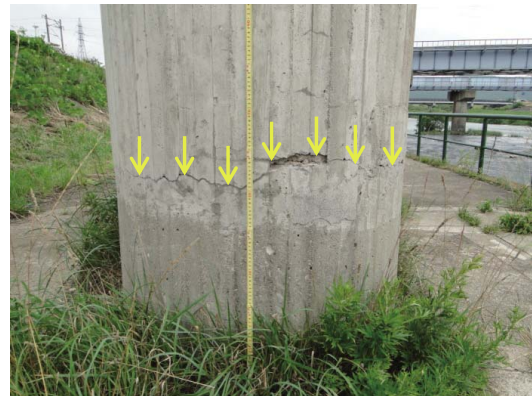


Fig. 57 柱を周回するひび割れ
Cracks around the pillar

2 頭首工 (被害無し)

a 軽辺頭首工 (栗原市栗駒岩ヶ崎, 推計震度 6 弱)

軽辺頭首工は、固定堰と土砂吐 1 門を有する堰長 78 m の複合堰で、その受益面積は 1,057 ha である (Fig.58)。

固定堰、堰柱、門柱、ゲート、戸当りには特段の変状は見受けられない。近隣の墓地においては、いくつかの墓石が転倒しているものの多くは問題無く、地震荷重が構造物に与えた影響が小さかったと判断された。

b 伊豆野頭首工 (栗原市一迫真坂, 推計震度 6 弱)

伊豆野頭首工は、洪水吐 3 門と土砂吐 1 門を有する堰長 82 m の可動堰で、その受益面積は 2,182 ha である (Fig.59)。



Fig. 58 全景（軽辺頭首工）
View of the whole structure



Fig. 59 全景（伊豆野頭首工）
View of the whole structure

堰柱，門柱，ゲート，戸当り，操作室には大きな変状は認められない。

c 四ヶ村頭首工（栗原市花山小滝，推計震度 6 弱）
四ヶ村頭首工は，固定堰と土砂吐 1 門を有する堰長 15 m の複合堰で，その受益面積は 317 ha である (Fig.60)。
門柱，堰柱，操作台，巻上機には大きな変状は認められない。ゲートの状況については，確認できなかった。



Fig. 60 全景（四ヶ村頭首工）
View of the whole structure

d ニツ石頭首工（大崎市岩出山池月，推計震度 5 強）
ニツ石頭首工は，洪水吐（ゴム）2 門と土砂吐 1 門を有する堰長 91 m の可動堰で，その受益面積は 600 ha で

ある (Fig.61)。

堰柱，門柱，戸当り，ゲート，ゴム堰には大きな変状は認められない。P2 操作室の上流側外壁パネルにひび割れが生じている。宮城県資料には記載されておらず，地震との関連は不明である。



Fig. 61 全景（ニツ石頭首工）
View of the whole structure

e 大堰頭首工（大崎市岩出山下，推計震度 6 弱）
大堰頭首工は，固定堰と洪水吐 2 門および土砂吐 1 門を有する堰長 270 m の複合堰で，その受益面積は 3,368 ha である (Fig.62)。



Fig. 62 全景（大堰頭首工）
View of the whole structure

堰柱，門柱に施工された表面被覆工の表面にひび割れが生じており，一部，錆汁やエフロレッセンスの痕跡が見られる (Fig.63)。表面被覆工のために，堰柱，門柱のコンクリートの状態については確認できない。ゲート，戸当りには大きな変状は認められない。



Fig. 63 表面被覆工の上に浸み出した錆汁
Rust fluid out of surface coating

f 館前頭首工 (加美町米泉, 推計震度5強)

館前頭首工は、洪水吐3門と土砂吐1門を有する堰長81mの可動堰で、その受益面積は592haである (Fig.64)。

堰柱、門柱、ゲート、戸当り、操作室、ゴム堰に変状は認められない。



Fig. 64 全景 (館前頭首工)
View of the whole structure

g 上川原頭首工 (加美町西佳原, 推計震度5強)

上川原頭首工は、固定堰と洪水吐 (ゴム) 2門および土砂吐2門を有する堰長226mの複合堰で、その受益面積は1,249haである (Fig.65)。

固定部、ゴム堰、土砂吐に変状は認められない。



Fig. 65 全景 (上川原頭首工)
View of the whole structure

h 大堰 (大和町吉田, 推計震度6弱)

大堰は、洪水吐1門を有する堰長37mの可動堰で、その受益面積は222haである (Fig.66)。



Fig. 66 全景 (大堰)
View of the whole structure

調査位置が限られていたため、左岸側の状況については確認できなかった。右岸側から見える範囲では、大きな変状は認められない。

i 薄ヶ沢堰 (仙台市泉区, 推計震度6弱)

薄ヶ沢堰は、洪水吐2門と土砂吐1門を有する堰長58mの可動堰で、その受益面積は469haである (Fig.67)。

堰柱、門柱、ゲート、戸当り、操作台に変状は認められない。

j 宝堰 (仙台市泉区, 推計震度6弱)



Fig. 67 全景 (薄ヶ沢頭首工)
View of the whole structure

宝堰は、洪水吐3門と土砂吐1門を有する堰長94mの可動堰で、その受益面積は342haである (Fig.68)。

堰柱、門柱、ゲート、戸当り、操作台に変状は認められない。

k 名取川頭首工 (名取市高館, 推計震度6弱)



Fig. 68 全景 (宝堰)
View of the whole structure

名取川頭首工は、洪水吐3門と土砂吐1門を有する堰長134mの可動堰で、その受益面積は3,014haである (Fig.69)。

堰柱、門柱、ゲート、戸当り、操作室に変状は認められない。

l ミツ又水門 (岩沼市阿武隈, 推計震度6弱)

ミツ又水門は、洪水吐1門を有する堰長10mの可動堰で、その受益面積は85haである (Fig.70)。

門柱上部および操作台上部モルタルにひび割れが存在するが、地震との関連は不明である。



Fig. 69 全景（名取川頭首工）
View of the whole structure



Fig. 72 上部管理橋が海側へ桁ずれ
Displacement toward sea side of upper maintenance bridge



Fig. 70 全景（三ツ又水門）
View of the whole structure



Fig. 73 漂流物の衝突によると考えられる損傷
Damage due to collision with flottage

3 水門

a 新井田川防潮水門

（南三陸町，推計震度 6 弱，浸水高 16.5 m）

調査時は，左岸側ゲートが開状態であり，右岸側ゲートが閉状態であった（Fig.71）。上部管理橋の右岸側が海側へ桁ずれを生じており（Fig.72），このために右岸側ゲートの開閉に問題が生じていると判断された。また，門柱に漂流物の衝突によると思われる損傷箇所があるが（Fig.73），それ以外の堰柱および門柱には変状は認められない。



Fig. 71 全景（新井田川防潮水門）
View of the whole structure

b 八幡川防潮水門

（南三陸町，推計震度 6 弱，浸水高 15.4 m）

調査時は，左岸側ゲート 2 門が閉状態であり，右岸側ゲート 2 門が開状態であった（Fig.74）。左岸側ゲート 2 門の・上部管理橋が陸側に落橋しており，このため，左岸側ゲート 2 門は開けない状態にある。また，落橋した上部管理橋が載っていた門柱上部が損傷している（Fig.75）。これは，上部管理橋が津波荷重を受けた際に支承に応力が集中してコンクリートが損傷したと考えられる。その部位以外の門柱および堰柱には変状は認められない。



Fig. 74 全景（八幡川防潮水門）
View of the whole structure



Fig. 75 上部管理橋の落橋に伴う門柱上部の損傷
Damage to the top of gatepost caused by dropped bridge

c 水尻川防潮水門

(南三陸町, 推計震度 6 弱, 浸水高 14.3 m)

調査時には, ゲート全 3 門が閉状態であった (Fig.76)。上部管理橋が全て陸側に落橋しており, ゲート開閉機能を喪失している。門柱上部にコンクリートの破損が生じているものの, その他の部位のコンクリート部に大きな変状は認められない。また, 右岸側ゲートの傾斜および下部管理橋の落橋が生じていた (Fig.77)。



Fig. 76 全景 (水尻川防潮水門,
海中には落橋した上部管理橋)
View of the whole structure



Fig. 77 右岸側ゲートの傾斜および下部管理橋の落橋
Inclined right side gate and dropped lower maintenance bridge

d 折立川防潮水門

(南三陸町, 推計震度 5 強, 浸水高 12.0 m)

調査時には, 左岸ゲートが閉状態, 中央および右岸側ゲートが開状態であった (Fig.78)。左岸側のラックカバーが大きくねじれており, このために開閉機能が喪失している (Fig.79)。門柱・堰柱には大きな変状は認められない。上部管理橋上の操作盤が傾倒している (Fig.80)。また, 地盤洗掘により, 管理棟が傾倒している (Fig.81)。



Fig. 78 全景 (折立川防潮水門)
View of the whole structure



Fig. 79 左岸ラックカバーのねじれ
Twisted rack cover on the left bank side



Fig. 80 操作盤の傾倒
Bended control panel



Fig. 81 地盤洗掘による管理棟の傾倒
Administration building tilted by ground scour

e 水戸辺川防潮水門

(南三陸町, 推計震度 5 強, 浸水高 10.9 m)

調査時には, ゲート全 3 門が閉状態であった (Fig.82)。上部管理橋が全て落橋しており, ゲート開閉機能を喪失している。門柱上部のコンクリートに大きな損傷が生じているもの (Fig.83), その他の部位のコンクリート部に大きな変状は認められない。下部管理橋も全て落橋している。



Fig. 82 全景 (水戸辺川防潮水門)
View of the whole structure



Fig. 83 門柱上部の損傷
Damage to the top of the gatepost

f 長清水川防潮水門

(南三陸町, 推計震度 5 強, 浸水高 10.7 m)

調査時には, ゲートは閉状態にあった (Fig.84)。堰柱,

門柱, ゲート, 戸当りには大きな変状は認められない。操作室の外壁が破損しており (Fig.85), また, 操作室の取り付け階段が流出している (Fig.86)。



Fig. 84 全景 (長清水川防潮水門)
View of the whole structure



Fig. 85 操作室外壁の破損
Damage of external wall of control room



Fig. 86 操作室の取り付け階段の喪失
Loss of mounting stairs toward the control room

g 月浜第 1 水門

(石巻市, 推計震度 6 弱, 浸水高 10.2 m)

調査時には, ゲート全 3 門が閉状態にあった (Fig.87)。堰柱, 門柱, ゲート, 戸当り, に大きな変状は認められない。下部管理橋に変形が生じている (Fig.88)。



Fig. 87 全景 (月浜第1水門)
View of the whole structure



Fig. 90 右岸堤防の喪失および土嚢による復旧
Scoured and restored with sandbags at right bank



Fig. 88 下部管理橋の変形
Deformation of the lower maintenance bridge

h 月浜第2水門

(石巻市, 推計震度6弱, 浸水高6.3 m)

調査時には, 左岸側ゲートが開状態, 右岸側ゲートが閉状態であった (Fig.89)。門柱および操作室外壁パネルにひび割れらしきものが見られたが, ひび割れであるか, また, 地震および津波との関連は確認できなかった。また, 右岸堤防を喪失しており, 土嚢によって復旧されていた (Fig.90)。



Fig. 89 全景 (月浜第2水門)
View of the whole structure



Fig. 91 全景 (東名水門)
View of the whole structure



Fig. 92 中央径間の操作台下部の両側にひび割れ
Cracks on both sides under the operation unit of the center span

i 東名水門(東松島市, 推計震度6弱, 浸水高3.4 m)
調査時には, ゲート全3門が閉状態であった (Fig.91)。中央径間の操作台下面に発生しているひび割れは, その規則的な形状から, コンクリートの打ち継ぎ目と考えられる (Fig.92, Fig.93) が, 地震との関連は不明である。また, この地点における浸水高が3.4 mと低いために津波との関連はないと考えられる。堰柱, 門柱, ゲート, 戸当り, 操作室外壁には, 変状は認められない。



Fig. 93 ひび割れの拡大
Macrograph of the crack



Fig. 96 管理橋の桁ずれおよび欄干の折損
Laterally displaced maintenance bridge girder and broken balustrade

j 貞山堀防潮水門

(名取市, 推計震度 6 弱, 浸水高 7.6 m)

調査時には, ゲート全 3 門が開状態であった (Fig.94)。中央径間ゲートの海側が上方方向に傾斜している (Fig.95)。また, 管理橋の桁ずれおよび欄干の折損が生じている (Fig.96)。堰柱, 門柱, 操作室外壁には, 変状は認められない。



Fig. 94 全景 (貞山堀防潮水門)
View of the whole structure



Fig. 95 中央径間ゲート海側が上方方向に傾斜
Inclined gate of center span



Fig. 97 全景 (牛橋水門)
View of the whole structure



Fig. 98 操作室外壁の破損 (海側)
Broken wall of machine room

k 牛橋水門(山元町, 推計震度 6 弱, 浸水高 10.6 m)
調査時には, ゲート全 4 門が開状態であった (Fig.97)。操作室の外壁が大きく破損しているものの (Fig.98), 開閉装置には変状は認められない (Fig.99)。堰柱, 門柱, ゲート, 戸当りには変状は認められない。



Fig. 99 開閉装置の状態
Gate opening and closing apparatus

1 高瀬川防潮樋門

(山元町, 推計震度 6 弱, 浸水高 5.7 m)

調査時には, ゲート全 3 門は開状態であった (Fig.100)。操作室外壁には, 津波の痕跡がなく, 浸水高は高くても操作台のレベルであったと判断される。堰柱, 門柱, ゲート, 戸当りには変状は認められない。管理橋の欄干が破損していた (Fig.101)。



Fig. 100 全景 (高瀬川防潮樋門)
View of the whole structure



Fig. 101 管理橋欄干の破損
Damage of balustrade of maintenance bridge

m 坂元水門

(山元町, 推計震度 6 強, 浸水高 12.4 m)

調査時には, ゲート全 3 門が閉状態であった (Fig.102)。操作室の窓およびドアは大きく破損している (Fig.103) もの, 操作室の外壁に大きな損傷はなく, コンクリート部材が津波荷重に対する耐力を有していることが示された。また, 上部管理橋の支承付近のコンクリートが剥落している (Fig.104) もの, 上部管理橋の落橋はなかった。一方, 下部管理橋は全て陸側へ落橋している (Fig.105)。この相違は, 管理橋の固定方法にあると考えられる。下部管理橋が堰柱の上に載せられ, 支承のみで固定されていたのに対して, 上部管理橋は操作室のコンクリート外壁に差し込まれる構造をしている。このコンクリート外壁が津波荷重による管理橋の変位を抑制し, 落橋を防止したと考えられる。管理棟では, 洗掘により, 基礎杭が大きく露出している (Fig.106)。また, 管理棟 2 階のコンクリート胸壁が大きく喪失している。



Fig. 102 全景 (坂元水門)
View of the whole structure



Fig. 103 操作室のドアおよび窓の破損
Damage of the window and door of control room



Fig. 104 上部管理橋の支承付近でコンクリート剥落
Damage of concrete near the bearing support of upper maintenance bridge



Fig. 105 陸側へ落橋した下部管理橋
Dropped lower maintenance bridge toward land direction



Fig. 106 洗掘により露出した管理棟の基礎杭
Exposed piles of administration building by scour

IV 結 言

東北地方太平洋沖地震による宮城県内の頭首工および防潮水門の被害状況について現地調査を実施した。頭首工においては、地震荷重による堰柱および門柱コンクリートに構造安全性上問題となるような明確な損傷は認められなかった。また、頭首工周辺では、河川堤防の沈下およびすべりに伴う変状が多く見受けられたが軽微であり頭首工本体に影響を与えるような損傷は見受けられなかった。このように、今回の調査の範囲内では頭首工の地震による損傷の程度は小さいことが明らかになっ

た。しかし、頭首工が地震に対して損傷の程度が小さかった理由については十分明らかになったとは言えない。地震動による頭首工の破壊には、地震動の特性、地盤の動特性、頭首工の地震応答特性などが関係することから、今後はこれらを総合的に検討する必要がある。そのためには、頭首工の地震被害の詳細調査および数値解析などを用いた検証が必要となる。一方、津波荷重による頭首工の被害では、ゴム堰の損傷が生じた。津波荷重を受けたゴム堰は、起立不能となり取水機能を喪失した。河川津波の遡上による頭首工被害については従来の設計では考慮されていないため、このような被害調査に基づき、今後検討が必要な課題と考える。

水門の被害においては、津波荷重の方が地震荷重に比較して卓越していたと判断される。堰柱、門柱には管理橋の落橋および漂流物の衝突などによる損傷以外は構造的な損傷は見受けられないものの、管理橋の落橋、開閉装置の破損はゲートの開閉機能喪失に直結する損傷であり、津波により水門の水位調整機能は著しく低下した。さらに、管理棟の破損および浸水により、操作不能となった水門も多いことも今後検討が必要な課題と考える。

本地震においては、頭首工には大きな被害が発生しなかったが、津波により多くの水門が機能喪失した。これらの施設の今後の地震対策を考える際には、重要度に応じた耐震性能照査を実施し、必要な対策を講ずる必要がある。頭首工においては、河川津波の遡上が想定される範囲内に位置する頭首工のゲート方式等の選定については、津波荷重を考慮する必要があると考える。水門においては、今後も繰り返し発生すると想定される津波対策として、以下のことが必要と考える。

- ①操作室をコンクリート造として開閉装置を守る構造
- ②管理橋が落橋しない固定方法
- ③管理棟が被災しても操作可能とする構造

しかしながら、水門においては、本地震における津波浸水高に対応可能な仕様とすることは、コストおよび効果の面から現実的ではないと判断される。今回の津波により、多くの水門近傍の堤防が破壊されている状況を鑑みれば、水門と堤防を総合的に整備する必要があると、水門のみの整備では総合的な津波対策としての効果は限定的と考えられる。今後は、津波被災後の水門の継続利用を考慮したソフトとハードを一体とした対策が必要と考える。

地震および津波による農業水利施設の耐震対策を効率的に進めるためには、地震被災情報の蓄積も重要である。そのために、重要施設については以下の電子データによるデータベース整備を国レベルで実施する必要があると考える。

- ①施設データベース（施設諸元、位置座標など）
- ②被害データベース（農業水利施設が被害を受けた地震、被害を受けた施設、被害発生部位、被害状況、復旧方法など）

施設データベースについては、国、県において整備が進められているが、そのデータに施設の位置情報（緯度および経度）を取り込む必要がある。災害後の緊急調査時に施設名および所在地住所のみでは、調査時に施設まで辿り着くのに大幅な時間を要するためである。位置情報が既知であれば、GPS機能を用いて容易に施設に到達することができ、調査時間を大幅に短縮できる。

被害データベースは、過去における地震とその地震により生じた農業水利施設の被害状況をデータベース化したものである。このデータベースの整備は、地震と被害状況との関連を解明する際に大いに役立つことが期待される。このデータベース整備の手始めとして、まずは過去および今回の地震被害における災害査定書の収集とその電子化が望まれる。

参考文献

- 1) 秋田県農政部 (1985) : 昭和 58 年 日本海中部地震－農地・農業用施設の災害と復旧－, 29
- 2) 土木学会新潟震災調査委員会 (1966) : 昭和 39 年新潟地震震害調査報告
- 3) 林田洋一・増川晋・有吉充 (2008) : 平成 19 年 (2007 年) 能登半島地震による水路等コンクリート建造物の被害調査, 208, 43-59
- 4) 兵庫県南部地震技術検討委員会 (1996) : 平成 7 年兵庫県南部地震 農地・農業用施設に係る技術検討報告書, 113-118
- 5) 兵庫県農林水産部農地整備課 (1996) : 兵庫県南部地震 農地農業用施設震災記録誌, 108-117
- 6) 石川県 (2009) : 平成 19 年能登半島地震災害記録誌, 26
- 7) 気象庁 (2011) : 災害時地震・津波速報 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震, http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/saigaiji/saigaiji_201101/saigaiji_201101.pdf
- 8) 国土地理院 (2011) : 津波による浸水範囲の面積 (概略値) について (第 5 報), <http://www.gsi.go.jp/common/000059939.pdf>
- 9) 三品直樹・佐藤瑞夫 (1965) : 農業土木建造物の震害と地盤性状, 農業土木試験場技報 F, 1, 51-58
- 10) 森川仁・後藤浩之 (2011) : 地震動と地震動による被害の特徴, 土木学会誌, 96 (6), 6-8
- 11) 中達雄・後藤眞宏・樽屋啓之・田中良和・吉永育生・端憲二 (2006) : 平成 16 年 (2004 年) 新潟県中越地震による信濃川左岸地区の水理機能被害および施設復旧に関する調査, 農業工学研究所技報, 205, 25-36
- 12) 日本道路協会 (2002) : 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 16-19
- 13) 新潟県長岡地域振興局農林振興部 (2005) : 激震を乗り越えて－新潟県中越大震災 農地・農業用施設被害の記録－, 6-7
- 14) 農林水産省構造改善局建設部設計課 (1999) : ゴム引布製起伏堰施設技術指針, 農業土木事業協会, 30
- 15) 農林水産省農村振興局整備部設計課 (2008) : 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「頭首工」, 農業農村工学会, 631
- 16) 岡井春樹・津幡光朗 (2005) : 新潟県中越地震で被災した妙見堰 (信濃川) の復旧, Civil Engineering Consultant, 228, 40-43
- 17) 杉田秀樹・石原雅規・田村敬一 (2006) : 第 6 編 河川施設, 土木研究所報告, 203, 126-131
- 18) 杉田秀樹・田村敬一 (2007) : 大規模地震に対する河川建造物の耐震設計基準の動向, 土木学会地震工学論文集, 29, 1309-1312
- 19) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ (2011) : 津波痕跡調査速報値 (2011 年 11 月 28 日参照), <http://www.coastal.jp/ttjt/>
- 20) 東北農政局 (1984) : 1983 年日本海中部地震－土地改良施設の災害と復旧－, 63-66
- 21) 安中正実・谷茂・毛利栄征 (1996) : 平成 5 年 (1993 年) 北海道南西沖地震による農地・農業用施設の被害調査報告, 農業工学研究所報告, 35, 111-142

Damage of Head Works and Sluice Gates by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

TOKASHIKI Masaru, ASANO Isamu, MORI Mitsuhiro and NISHIHARA Masahiko

Summary

A field survey on head works and sluice gates in Miyagi prefecture was conducted in order to investigate the damage of these structures caused by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake. In the damage caused by seismic loads, the damage that would affect to the structural safety was not observed with weir pillars and gatepost clearly. Many deformations due to subsidence and landslide of the river embankment were found around the head works. In the damage caused by tsunami loads to the head works, the failure of rubber gate was observed. In the sluice gates, the damage that would affect to the structural safety was not observed, but the significant decrease in function of the gate operations was observed.

Keywords : the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, tsunami, head works, sluice gate

