

平成 23 年東北地方太平洋沖地震による歴史的土木構造物の被災状況に関する調査報告*

A Report of the Survey on the Damage of Civil Engineering Heritages by the 2011 Earthquake off the Pacific Coast of Tōhoku

阿部貴弘**・依田照彦***

By Takahiro ABE, Teruhiko YODA

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震とそれに伴う津波により、東日本の広範囲にわたる歴史的土木構造物も甚大な被害を受けた。土木学会土木史研究委員会では、委員会内に東日本大震災特別小委員会を設置し、文化庁との連携のもと、歴史的土木構造物の被災状況に関する調査を実施した。

第一次調査として、「重要文化財（建造物）」、「登録有形文化財（建造物）」、「土木学会選奨土木遺産」となっている歴史的土木構造物を調査対象として、被災の有無に関する調査を実施した。第一次調査結果を踏まえ、第二次調査として、調査の優先度の高い施設に対して、被災状況に関する現地調査及び管理者等へのヒアリング調査を実施した。

本報は、小委員会の設置から調査の実施に至る、平成 23 年度の一連の活動経過及び調査結果について報告するものである。

1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震とそれに伴う津波により、東日本の広範囲にわたる歴史的土木構造物も甚大な被害を受けた。土木学会土木史研究委員会では、平成 23 年 5 月 23 日に、委員会内に東日本大震災特別小委員会（以下、小委員会）を設置し、文化庁との連携のもと、歴史的土木構造物の被災状況に関する調査を実施した。

本報は、小委員会の設置から調査の実施に至る、平成 23 年度の一連の活動経過及び調査結果について報告するものである。

2. 東日本大震災特別小委員会の設置

(1) 設置の経緯

これまで、土木史研究委員会には、地震等の大規模な自然災害に伴う歴史的土木構造物の被災状況調査に関して、組織的な調査のノウハウが十分には蓄積されていなかった。そのため、小委員会の設置にあたっては、土木学会事務局や文化庁との協議を踏まえつつ、土木史研究委員会及び幹事会において、設置目的や委員構成等について協議が行われた。協議の結果、平成 24 年 5 月 23 日に土木史研究委員会の承認を受け、小委員会が設置された。

表-1 に、小委員会設置に至る経緯について、土木史研究委員会の関連活動等とともに整理する。

表-1 東日本大震災特別小委員会設置に至る経緯

年月日	主な活動内容
平成 23 年 4 月 12 日	○土木史研究委員会幹事会の開催 ・緊急に幹事会を開催し、東日本大震災に係る土木史研究委員会としての活動について協議 →すぐに取組める活動として、過去の土木史研究論文から、災害・復興に関する論文を抽出し、そのリストを委員会ホームページに掲載することとする →中長期的な活動については、復旧・復興の状況を見ながら、幹事会で継続的に協議することとする →6 月の土木史研究発表会において、東日本大震災に係る討論会を企画・実施し、中長期的な活動について討論することとする
平成 23 年 4 月 13 日	○東日本大震災被災文化財建造物復旧支援事業（文化財ドクター派遣事業）への協力打診 ・文化庁が実施予定の東日本大震災被災文化財建造物復旧支援事業（文化財ドクター派遣事業）に対して、土木史研究委員会の協力について文化庁より打診
平成 23 年 4 月 15 日	○災害・復興に関する論文リストの HP 掲載 ・災害・復興に関する論文のリストを委員会ホームページに掲載
平成 23 年 4 月 16 日～	○東日本大震災被災文化財建造物復旧支援事業への協力に関する協議開始 ・東日本大震災被災文化財建造物復旧支援事業に対する土木史研究委員会の協力について、協議を開始
平成 23 年 5 月 7 日	○災害・復興に関する論文リストの更新 ・委員会ホームページに掲載した災害・復興に関する論文リストを更新
平成 23 年 5 月 19 日～	○東日本大震災特別小委員会の設置に関する審議 ・委員会メンバーリストにて、東日本大震災特別小委員会の設置に関する審議を開始
平成 23 年 5 月 23 日	○東日本大震災特別小委員会設置の承認 ・委員会メール審議を経て東日本大震災特別小委員会の設置を承認

(2) 設置目的

以上の経緯を踏まえ、以下の項目を小委員会の設置目的として設定した。

- ・東北地方太平洋沖地震による歴史的土木構造物（土木遺産）の被災状況の把握
- ・被災した歴史的土木構造物の修理・復旧に向けた助言及び技術支援（管理者等から要請があった場合）
- ・歴史的土木構造物（土木遺産）の被災状況調査及び修理・復旧に係る事例・ノウハウの蓄積

* keyword：東北地方太平洋沖地震、歴史的土木構造物、被災状況調査

** 正会員 工博 日本大学 理工学部 社会交通工学科 准教授
(〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)

*** 正会員 工博 早稲田大学 理工学術院 社会環境工学科 教授

表-2 東日本大震災特別小委員会委員構成

職区分	氏名	所 属 (当時)	専門分野
委員長	依田 照彦	早稲田大学 理工学術院社会環境工学科	構造
幹事長	阿部 貴弘	国土交通省国土技術政策総合研究所	土木史・景観
委員	上島 顕司	国土交通省国土技術政策総合研究所	海岸・港湾
委員	小川 紀一郎	アジア航測株式会社	地盤
委員	小野田 滋	財団法人鉄道総合技術研究所	鉄道・土木遺産
委員	紅林 章央	東京都 建設局	橋梁
委員	知野 泰明	日本大学 工学部 土木工学科	土木史
委員	矢野 和之	株式会社文化財保存計画協会	文化財

(3) 委員構成

小委員会委員の設置にあたっては、以下の観点から委員の人选を行った。

- 被災の可能性のある歴史的土木構造物は、幅広い分野に及ぶことが想定されることから、各分野の専門家を委員として招集する。
- 小委員会の主要な活動内容は被災状況の調査であり、また、供用中の歴史的土木構造物が被災している可能性があることから、実務の現場に通じている実務者を委員として招集する。
- 小委員会は、当面は調査の戦略を立てるいわばブレインとしての役割を担い、実際の調査の実施にあたっては、調査対象に応じて調査委員を補強することとする。そのため、小委員会の委員は、会議や打ち合わせの機動性を重視し、在京の研究者・専門家を中心に招集する。

その結果、小委員会は、表-2に示すとおり、土木史研究委員会に携わる研究者・専門家のうち、構造、橋梁、地盤、海岸、港湾、鉄道、景観、土木遺産、文化財など、各専門分野における在京の実務者を中心に構成した。

(4) 活動経過

表-3に、小委員会設置後の活動経過について、土木史研究委員会の関連活動等とともに整理する。

3. 調査方法

(1) 調査方法の検討

小委員会の設置時点（平成23年5月23日）において、歴史的土木構造物に関する被災の有無に関して、土木史研究委員会として正確に情報を把握することができていない状況にあった。こうした状況を踏まえ、文化庁とも情報交換を行いつつ、小委員会において、被災状況調査の調査方法について検討した。

調査方法の検討にあたっては、特に以下の点に配慮した。

- 東北地方太平洋沖地震の被災地域は、東日本の太平洋岸のみならず、内陸部にも及ぶきわめて広範囲であり、さらに多岐の分野にわたる土木構造物が被災していることが想定される。また、土木構造物は、単独で規模が大きいものや延長が長いもの、あるいは構成する要素が広範囲にわたるものもある。そのため、歴史的土木構造物に関する大規模で悉皆的な現地調査は、十分な調査員の確保が難しいことなどもあり、現実的ではない。
- 歴史的土木構造物の管理者及び所有者（以下、管理者等）は、国や地方公共団体が中心であり、特に供用中の現役施設においては、調査にあたり管理者等の協力が不可欠である。

表-3 東日本大震災特別小委員会の活動経過

年月日	主な活動内容
平成23年6月10日	○第1回東日本大震災特別小委員会の開催 ・調査対象及び調査方法について協議
平成23年6月18日	○土木史研究発表会「討論会：東日本大震災に関する土木史研究委員会の活動」の開催 ・東日本大震災特別小委員会の設置及び活動内容について報告 ・選奨土木遺産の被災状況の報告
平成23年6月18日	○被災状況調査方法に関する協議 ・第一次調査の方法及び第二次調査の実施時期等について協議
平成23年6月21日	○被災状況調査票（第一次調査）の発出 ・選奨土木遺産の被災状況に関する第一次調査として、北海道・東北・関東の各支部に対して、調査依頼及び調査票を発出
平成23年7月15日	○重要文化財（建造物）の指定の一部解除 ・文化審議会が、重要文化財石岡第一発電所施設を構成する10の建造物のうち、水槽1所について重要文化財の指定を解除することを文部科学大臣に答申
平成23年7月19日	○第一次調査結果の受領（文化庁）
平成23年7月20日	○第一次調査結果の受領（関東支部、東北支部）
平成23年7月26日	○第一次調査結果の受領（北海道支部）
平成23年7月28日	○第2回東日本大震災特別小委員会の開催 ・第一次調査結果を確認するとともに、第二次調査の調査対象施設及び調査体制を検討
平成23年7月28日	○文化庁との協力関係締結に関する協議 ・土木学会及び文化庁との間で、協力関係を締結することを確認
平成23年8月1日	○調査協力依頼の発出 ・小委員会委員以外の専門家に対し、第二次調査にあたっての調査協力依頼を発出
平成23年8月31日	○第二次調査の調査対象及び調査体制の確定
平成23年9月1日～	○第二次調査の調査対象施設管理者に対する協力依頼及び調査日程調整の開始
平成23年11月1～2日	○第二次調査の実施（石井閘門、北上川分流施設群、野蒜築港閘門施設）
平成23年11月4日	○第二次調査の実施（横利根閘門、霞ヶ浦湖岸施設）
平成23年11月8日	○第二次調査の実施（石岡第一発電所施設水槽）
平成23年11～12月	○第二次調査結果の取りまとめ
平成24年3月24、29日	○調査結果の報告 ・建築学会が主催する「文化財ドクター派遣事業・報告会」において、小委員会の調査結果について報告
平成24年5月（予定）	○調査結果の報告（予定） ・文化庁が主催する「文化財ドクター派遣事業・報告会」において、小委員会の調査結果について報告
平成24年6月16～17日（予定）	○土木史研究発表会「東北地方太平洋沖地震による歴史的土木構造物の被災状況に関する調査報告」の開催（予定） ・小委員会の調査結果について報告

しかし、国や地方公共団体はインフラの復旧に奔走している状況にあることから、本調査による管理者等への負担に十分に配慮する必要がある。

こうした点に配慮したうえで、検討の結果、以下の方針で調査を実施することとした。

- 本調査の調査対象は、北海道及び東北地方各県に加え、関東地方のうち地震及び津波による大きな被害が想定される茨城、栃木、群馬、埼玉、千葉の各県、さらに長野県に所在する歴史的土木構造物とする。
- 本調査は、悉皆的な調査ではなく、一定の価値付けがなされている「重要文化財（建造物）」、「登録有形文化財（建造物）」、「土木学会選奨土木遺産」に調査対象を絞って実施する。ただし、調査の過程において、これらの候補となりうる歴史的土木構造物の被災が確認されれば、調査対象に含めることとする。
- 本調査は、第一次調査及び第二次調査の2段階で調査を実施する。

表-4 第一次調査の調査項目及び回答方法

調査項目	回答方法
所有者の氏名又は名称	記入式
① 被災状況確認の有無	選択式 1: 確認済み 2: 未確認 (今後確認予定) 3: 未確認 (確認できない／ 確認予定なし)
② 被災状況	選択式 1: 被災有 2: 被災無
③ 被災状況	記入式
④ 被災状況確認者	選択式 1: 管理者／所有者が確認 2: 市町村教育委員会が確認 3: 県教育委員会が確認 4: 専門家等が確認 5: 市民団体等が確認 6: 確認者不明
⑤ 被災状況の分かる資料の有無	選択式 1: 資料有 2: 資料無

- ・第一次調査は、書面もしくは電話、Email 等により、管理者等に被災の有無を確認する調査とする。
- ・第二次調査は、小委員会委員等による被災状況に関する現地調査とする。
- ・第二次調査の調査対象は、第一次調査の結果を踏まえ、以下の施設のうち、小委員会で調査の優先度を検討し、優先度の高い施設から調査を実施することとする。
 - －第一次調査において被災有りと報告を受けた施設
 - －第一次調査において被災無しとの報告を受けた施設のうち、所在地の震度分布等に照らして調査が必要であると考えられる（被災が疑われる）施設
 - －当該施設の管理者等もしくは教育委員会が被災状況を確認することができない施設

(2) 調査方法及び調査対象の設定

a) 第一次調査の調査方法及び調査対象

第一次調査は、北海道及び東北地方各県に加え、関東地方のうち被災の程度が大きいと想定される茨城、栃木、群馬、埼玉、千葉の各県、さらに長野県に所在する「重要文化財（建造物）」、「登録有形文化財（建造物）」、「土木学会選奨土木遺産」となっている歴史的土木構造物を調査対象として実施することとした。

このうち、「重要文化財（建造物）」及び「登録有形文化財（建造物）」については、文化庁のほうで、文化財保護法の規定に基づき、県及び市町村の教育委員会を通して、被災の有無を確認することとした。

一方、「土木学会選奨土木遺産」については、土木学会選奨土木遺産選考委員会と連携し、土木学会各支部（北海道、東北、関東、中部）を通して、被災の有無を確認することとした。調査の実施にあたっては、各支部の担当者から管理者等へ、書面もしくは電話、Email 等で問い合わせを行うか、担当者が現地に赴き目視により確認することとした。本調査は、まず、小委員会から土木学会選奨土木遺産選考委員会を通して各支部担当者へ調査票を发出し、調査結果を記入後、調査票を小委員会へ返送する手続きとした。また、調査項目については、管理者等への負担に配慮し、表-4 に示す調査項目について、主に選択式の回答方法で回答を求めることとした。

表-5 第一次調査の調査対象の件数（道県ごとの内訳）

道 県	件数			
	重要	登録	選奨	計
北海道	1	15	26	42
青 森	1	2	3	6
岩 手	0	4	3	7
宮 城	1	5	4	10
秋 田	3	2	3	8
山 形	0	35	5	40
福 島	0	16	4	20
茨 城	2	12	4	18
栃 木	1	21	6	28
群 馬	2	23	6	31
埼 玉	0	6	6	12
千 葉	0	1	8	9
長 野	1	15	3	19
計	12	157	81	250

表-6 第一次調査の調査対象の件数（構造物種別ごとの内訳）

構造物種別	件数			
	重要	登録	選奨	計
堰 堤	0	68	5	73
橋 梁	0	24	23	47
鉄 道	2	27	5	34
河 川	3	7	12	22
発電所	2	12	5	19
水 道	3	7	8	18
港 湾	0	0	10	10
トンネル	0	6	1	7
ダ ム	0	4	2	6
水 路	0	1	4	5
鉱 山	2	1	1	4
道 路	0	0	3	3
下水道	0	0	1	1
測 量	0	0	1	1
計	12	157	81	250

第一次調査の対象とした歴史的土木構造物の件数は、表-5 及び表-6 のとおりである。なお、「重要文化財（建造物）」及び「登録有形文化財（建造物）」に関して、調査対象とした歴史的土木構造物は、重要文化財（建造物）の種別うち「近代／産業・交通・土木」に該当するものの中から交通・土木に係るもの、さらに、登録有形文化財（建造物）の種別のうち「土木構造物」に該当するものを抽出した。

b) 第二次調査の調査方法及び調査対象

第二次調査は、第一次調査の結果を踏まえ、調査の優先度の高い施設に対して、被災状況に関する現地調査を実施することとした。また、実施にあたっては、調査対象施設の施設分野や被災状況、さらに推定される被災要因等を踏まえ、小委員会委員のほか、必要に応じて各分野の専門家を調査員として調査体制に加えることとした。

調査内容は、調査員の目視による被災状況等の確認調査のほか、管理者等に対して、被災状況、被災直後の応急復旧の内容及び経緯、本格復旧の内容・経緯もしくは今後の方針等についてヒアリングを実施することとした。

これらの調査結果については、調査員ごとに調査シートに取りまとめ、小委員会に提出することとした。なお、調査シートにおいて記載する項目及び内容は、表-7 に示すとおりである。

表-7 第二次調査の調査項目（土木学会選奨土木遺産）

調査項目	記載内容
被災状況・要因	・目視及び管理者ヒアリングにより把握した 被災状況、及び、考えられる被災要因に関する所見
応急復旧状況	・調査実施時点における復旧・修理の状況、及び、復旧・修理に係る課題に関する所見
本格復旧に向けた課題・提案	・今後の復旧・修理にあたっての課題、及び、考えられる復旧・修理方法等に関する所見
その他	・その他、特記すべき事項 ・今回の調査を踏まえ、主に土木史研究委員会として、今後、調査・研究すべき事項や、管理者に提案・情報提供すべき事項、あるいは今回の調査実施上の課題など、今後の委員会活動の向上につながる意見
写真	・部材名・箇所 ・損傷の種類 ・メモ

表-8 重要文化財（建造物）に関する第一次調査結果

施設名	所在地（所有者）	被災内容
石岡第一発電所施設水槽 (平成20年12月2日指定)	茨城県北茨城市 (東京電力ホールディングス株式会社)	・斜面前落に伴い大破 ・重要文化財（建造物）指定解除 (平成23年7月15日)
石井閘門 (平成14年5月23日指定)	宮城県石巻市 (国土交通省)	・被災しているが現状維持 ・躯体の被災状況は未確認
横利根閘門 (平成12年5月25日指定)	茨城県稲敷市 (国土交通省)	・横利根閘門、利根川治水水利記功碑及び利根川造神像が被災
那須疏水旧取水施設 (平成18年7月5日指定)	栃木県那須塩原市 (那須疏水土地改良区、那須塩原市)	・石積目地にズレ及び亀裂

表-9 登録有形文化財（建造物）に関する第一次調査結果

施設名	所在地（所有者）	被災内容
米内浄水場緩速系着水井 (平成11年9月7日登録)	岩手県盛岡市 (盛岡水道事業管理者)	・着水井外壁のひび割れ ・マンホール蓋の石枠のズレ
米内浄水場緩速系通池 (平成11年9月7日登録)	岩手県盛岡市 (盛岡水道事業管理者)	・内部壁面タイルが剥離
青下第2ダム (平成11年7月19日登録)	宮城県山形市青葉区 (山形市水道事業管理者)	・護岸の積り石が一部脱落
小里川発電所余水路 (平成16年11月29日登録)	茨城県常陸太田市 (東京電力ホールディングス株式会社)	・余水路法面の一部が崩落
徳田発電所余水路 (平成16年11月29日登録)	茨城県常陸太田市 (東京電力ホールディングス株式会社)	・余水路法面の一部が崩落
宇都宮市水道今市水系第六号接合井 (平成18年11月9日登録)	栃木県宇都宮市 (宇都宮市上下水道局)	・飾り柱上端部が1箇所脱落

表-10 土木学会選奨土木遺産に関する第一次調査結果

施設名	所在地（所有者）	被災内容
野蒜築港関連事業	宮城県 (国土交通省等)	・野蒜築港関連事業の各施設（野蒜築港跡地、石井閘門、北上運河、東名運河、貞山運河）に被災あり
北上川分流通施設群	宮城県石巻市ほか (国土交通省)	・北上川分流通施設群のうち、福地水門、釜谷水門、月成第一水門、月成第二水門に被災あり
品井沼干拓関連施設	宮城県松島町ほか (国土交通省等)	・品井沼干拓関連施設のうち、鳴瀬川、品田川等河川に被災あり
霞ヶ浦湖岸施設	茨城県稲敷市 (国土交通省)	・護岸スロープのコンクリート板が崩落
宇都宮市水道施設群	栃木県宇都宮市 (宇都宮市上下水道局)	・構造物各所にひび割れ、ズレ、煉瓦等の落下があり
黒川発電所排水路橋	栃木県那須町 (東京電力ホールディングス株式会社)	・開渠と水路橋の接続部からの漏水が増加 ・水路橋脚部（柱、筋交い等）及び石積部にクラックが発生
利用池運河	千葉県流山市ほか (国土交通省)	・石積部防波段に亀裂があり

表-11 第二次調査の調査対象施設及び調査体制等

調査対象施設（群）	被災の 主要因	調査体制 (所属はいつでも当時)	調査 実施日
石井閘門 (重要文化財（建造物）)	津波	<調査員> ○東北大学 後藤 准教授 ○日本大学 知野 准教授 ○JR 東日本 島村 氏 ○財団法人建設技術研究所 小野田 氏 ○文化庁 西岡 文部科学技官 <小委員会> ○早稲田大学 依田 教授 ○国土交通省 国土技術政策総合研究所 阿部 研究官	平成23年 11月1日 ～2日
野蒜築港関連事業 (土木学会選奨土木遺産)			
北上川分流通施設群 (土木学会選奨土木遺産)			
横利根閘門 (重要文化財（建造物）)	液状化	<調査員> ○早稲田大学 赤木 教授 ○株式会社建設コンサルタント 伊納 氏 ○文化庁 田中 文化財調査官 <小委員会> ○国土交通省 国土技術政策総合研究所 阿部 研究官	平成23年 11月4日
霞ヶ浦湖岸施設 (土木学会選奨土木遺産)			
石岡第一発電所施設水槽 (重要文化財（建造物）指定解除)	斜面崩落	<調査員> ○早稲田大学 赤木 教授 ○アジア航測(株) 小川 氏 ○(株)文化財保存技術協会 欠野 氏 <小委員会> ○国土交通省 国土技術政策総合研究所 阿部 研究官	平成23年 11月8日

4. 第一次調査の調査結果

(1) 重要文化財（建造物）に関する調査結果

第一次調査の結果、重要文化財（建造物）については、表-8の4件の施設について、被災があることが判明した。このうち、石岡第一発電所施設水槽は、斜面崩落に伴い大破し、平成23年7月15日に重要文化財（建造物）の指定が解除された。

(2) 登録有形文化財（建造物）に関する調査結果

第一次調査の結果、登録有形文化財（建造物）については、表-9の6件の施設について、被災があることが判明した。

(3) 土木学会選奨土木遺産に関する調査結果

第一次調査の結果、土木学会選奨土木遺産については、表-10の7件の施設について、被災があることが判明した。

5. 第二次調査の調査結果

(1) 調査対象施設の選定と調査体制の構築

第一次調査の結果を踏まえ、小委員会における検討の結果、第二次調査の調査対象施設として、津波による甚大な被害を受けた野蒜築港関連事業（土木学会選奨土木遺産）及び石井閘門（重要文化財（建造物））、さらに北上川分流通施設群（土木学会選奨土木遺産）、液状化による被害を受けた横利根閘門（重要文化財（建造物））及び霞ヶ浦湖岸施設（土木学会選奨土木遺産）、地震に伴う斜面崩落により大破した石岡第一発電所施設水槽（重要文化財（建造物）指定解除）を抽出した。

第二次調査の調査体制の構築にあたっては、調査対象施設の施設分野や被災状況、さらに推定される被災要因等を踏まえ、小委員会委員のほか、主に土木史研究委員会に携わる各分野の専門家に協力を仰ぎ、調査体制を整えた。

第二次調査の調査対象施設及び調査体制等は、表-11に示すとおりである。

(2) 調査結果の取りまとめ

第二次調査結果については、表-7に示す調査項目ごとに、a) 被災状況及び被災要因、b) 応急復旧の状況、c) 本格復旧に向けた課題及び提案、d) その他、の各項目で取りまとめる。

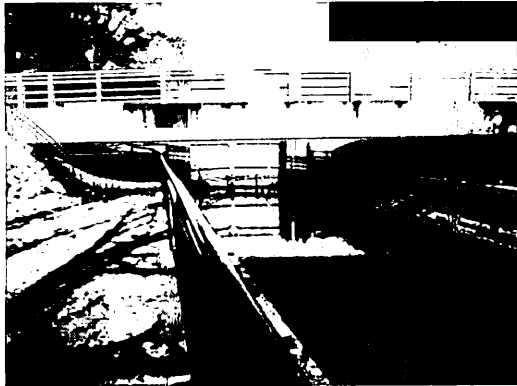


写真-1 石井閘門の現況（北上運河側左岸から撮影）
（撮影：阿部，2011.11.1）

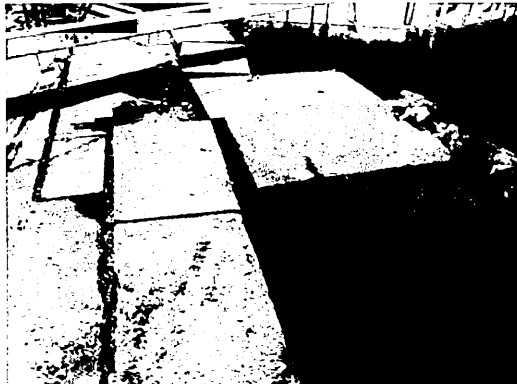


写真-2 閘尾部（右岸側）の笠石の乱れ
（撮影：阿部，2011.11.1）



写真-3 閘頭部（右岸側）の隅石の剥離
（撮影：阿部，2011.11.1）



写真-4 閘頭部の門扉の状況（北上運河側右岸から撮影）
（撮影：阿部，2011.11.1）

(3) 石井閘門に関する調査結果

石井閘門は、オランダ人技師ファン・ドールンの計画に基づき、1878（明治11）年に起工、1880（明治13年）に竣工した。石造の閘室、門扉を収容し閘室の旧北上川側に接続する煉瓦造の閘頭部と、閘室の北上運河側に接続する閘尾部からなる。

石井閘門は、明治政府が建設を進めた野蒜築港事業の代表的遺構であるとともに、我が国における近代閘門の嚆矢であり、明治期から大正期にかけて全国に建造された近代閘門の規範を示すものとして土木技術史上価値が高い¹⁹⁾。

a) 被災状況及び被災要因

管理者によると、津波が北上運河を遡上し、石井閘門から北上川に抜けたため、門扉の駆動部が破損し、被災当初は閘頭部及び閘尾部の門扉が開いたままの状態であったとのことであったが、調査実施時点では、門扉は手動により閉じた状態にあった。また、周辺地盤は、地震後全体的に80cm程度沈下したとのことであった。

調査実施時点で、閘頭部及び閘尾部の煉瓦躯体には、大きな損傷は見られなかった。また、閘室部の石積についても、それほど大きな損傷は見られなかった（写真-1）。閘室部石積の側面に若干の凹凸は見られたが、大きな飛び出しはないことから、地震動の大きさがそれほど大きくなく、地盤沈下が石積に影響を与えたと考える。

笠石や階段部の石積の乱れ及び亀裂（写真-2）は、地盤沈下により構造物全体が沈下し、その際にひずみが集中した部分に生じたものと推定するが、今後、経年変化のデータとの比較等により、これらが地震による被災かどうか特定する必要がある。

さらに、こうした亀裂は、笠石と煉瓦の目地部、石積みの一部が開口したものと考えるが、今後、開口部が躯体内部に及んでいないかどうか確認する必要がある。なお、隅石や煉瓦の一部に剥離が生じていたが（写真-3）、これらは躯体の強度を低下させるものではないと判断できる。

一方、閘門の門扉については、津波の圧力を受け、その影響が駆動部に現れたと解釈できる。しかし、門扉に大きな変形が見られないことから、門扉の安全率を大きく超える圧力は受けなかったと推定する。さらに、門扉表面の損傷が少ないことから（写真-4）、重量物の漂流・衝突もなかったと推定する。

なお、本調査では、基部の洗掘など閘門底部の被災状況は確認できなかったが、今後、底部についても被災状況の確認を行う必要がある。

b) 応急復旧の状況

調査実施時点では、門扉の駆動部が破損したことから、手動により門扉が閉じられた状態にあった。その他については、本格的な調査・点検、復旧等は実施されていなかった。

閘門躯体に大きな損傷がなかったことから、緊急の補修・補強の必要性は小さく、応急復旧の着手よりも、現状の調査を優先すべきであると考ええる。

なお、閘頭部付近の左岸側護岸は、土嚢等により損壊箇所の応急復旧が行われていた。

c) 本格復旧に向けた課題及び提案

本格復旧・修理にあたり、構造的な側面から必要な調査・検討事項は、以下の6項目である。



写真-5 新成瀬川下の橋橋台の被災状況 (右岸側から撮影)
(撮影：阿部，2011.11.2)

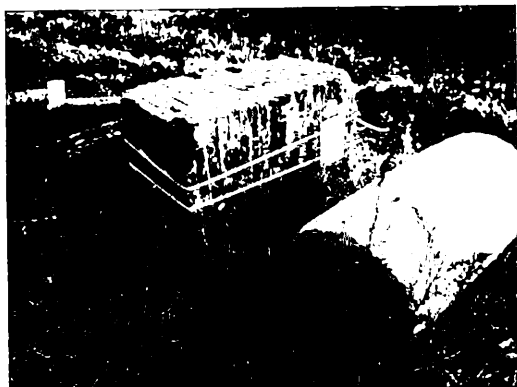


写真-6 野蒜築港跡地保存物の被災状況
(撮影：阿部，2011.11.2)

- ①周辺の地盤沈下の調査
- ②石積のゆがみの測定
- ③煉瓦躯体のひび割れの状態把握
- ④閘門の背面からの水分の浸入状況の確認
- ⑤石・煉瓦の材料劣化の診断
- ⑥閘室底面の損傷や基部の洗掘の有無の確認

これらの調査・検討にあたっては、まず測量を実施する必要がある。図面と照合して、閘門全体の形状変化、周辺地盤の沈下の程度等を測量する必要がある。その後、構造物としての石積・煉瓦積の損傷部を入念に調べる必要がある。

できれば、閘門内の水を排除して、底面付近の損傷の状態を把握することが望まれる。関連して、被災前のデータとの比較が望まれるが、少なくとも、今回の調査データを時系列と空間領域別に詳細に整理しておくことが望まれる。

また、本格復旧・修理にあたっては、総合的・横断的見地から慎重な検討を実施する必要がある。構造工学的側面だけではなく、水理学、地盤工学、地震工学、津波工学、文化財、土木史など、多面的な検討が必要である。特に、地域のあり方との関係では、地域計画や地域防災計画との融合が望まれる³⁾。

一方、地盤沈下により閘門扉上部が計画高水位以下になると、治水機能を維持するうえで、門扉への付加設備の設置、あるいは、閘門自体の代替施設が必要となることが懸念される。

d) その他

閘門の復旧が実施されることはもとより、治水計画上、閘門の代替施設が必要となった場合においても、現在の躯体の保存方法に関する丁寧かつ十分な検討が必要である。



写真-7 防潮堤の洗掘の状況
(撮影：阿部，2011.11.2)

また、機械部分は後年に設置されたものであるため、文化財的価値はないが、石井閘門は「稼働する閘門としては現存最古」の土木遺産であることから、機械部分を今後も可動状態で保存するかどうかについて、慎重な検討が必要である。

(4) 野蒜築港跡地(野蒜築港関連事業)に関する調査結果

野蒜築港は、オランダ人技師ファン・ドールンの提言に基づき、日本初の洋式近代築港として明治政府が建設を計画したものである。また、野蒜築港に関連して、北上、東名、貞山の各運河が建設され、これらは、北上川と阿武隈川を結ぶ総延長約46kmに及ぶ国内を代表する運河群である。

野蒜築港関連事業のうち、野蒜築港跡地に関する調査結果は、以下のとおりである。

a) 被災状況及び被災要因

調査の結果、以下の被災を確認した。

○新成瀬川煉瓦橋台

- ・新成瀬川の煉瓦橋台のうち、中の橋の橋台が水没しており、水没位置は確認することができなかった。潜水調査が実施されたとのことであるが、すでに泥土に覆われるなどして、発見には至っていない。
- ・下の橋の左岸橋台は、全3基中下流側2基が流失し、残る1基も上部が欠損していた(写真-5)。
- ・下の橋の右岸橋台は、3基とも残存していたが、上部及び取付け部が欠損し、特徴とされた笠石部分の「のこぎり型飾り積み」による装飾が失われていた。
- ・これらの被災は、地震動で被災したか、津波で被災したかは判断としないが、周辺は地震により地盤沈下と考えられ、地震動とその後襲った津波により被災したと推定する。

○保存物

- ・築港跡地中央部に存置されていた、黒澤敬徳の碑、築港整地ローラー、案内柱、測候所煉瓦構造物などが、津波により移動転倒していた(写真-6)。

○北上運河

- ・北上運河の海側防潮堤上の松林が部分流出し、さらに防潮堤自体が津波により大規模に洗掘されていた(写真-7)。

○東突堤、西突堤

- ・津波によると推定される欠損が見られた。

○選奨土木遺産記念碑

- ・選奨土木遺産記念碑が、基礎のみ残り、石碑部は近傍に転倒していた。



写真-8 貞山運河の被災状況（仙台市若林区藤塚地区）
（撮影：阿部，2011.11.2）



写真-10 貞山運河の被災状況（多賀城市）
（撮影：阿部，2011.11.2）



写真-9 護岸石積みの被災状況（仙台市若林区藤塚地区）
（撮影：阿部，2011.11.2）

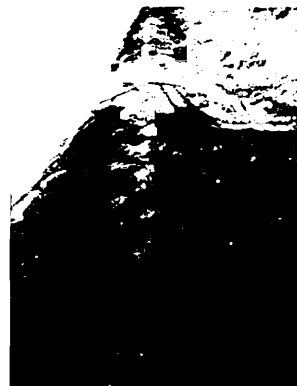


写真-11 護岸石積みの被災状況（多賀城市）
（撮影：阿部，2011.11.2）

b) 応急復旧の状況

保存物については、跡地中央部から移動した各施設が、転倒したまま中央部に戻されていた（写真-6）。

その他については、被災状況のまま残置されていた。

c) 本格復旧に向けた課題及び提案

○新成瀬川煉瓦橋台

- ・煉瓦橋台の特徴の一つであった笠石の装飾部分が失われたことは大きな損失であるが、水没したと考えられる損傷部分を引き揚げるなどして、できる限り往時の構造の保存が望まれる。
- ・また、橋台笠石部分の装飾の一部と考えられる部分が、跡地陸上部で発見されており、笠石部分は、橋台の近傍ではなく、広範囲に流出した可能性がある。発見された装飾部分は、煉瓦の大きさ、質感、刻印などを調査し、橋台のものであるかどうか照合する必要がある。
- ・橋台の欠損・倒壊部分は、引き続き搜索する必要があるが、すでに震災前から上部構造などの主要部分は失われていたことから、残存部分を存置保存することにより、土木遺産としての価値を継承することができると考える。震災の痕跡を後世に伝える意味も含めて、安易な復元などは行わず、現状の姿を後世に伝えることが最善であると考え。
- ・今回の被災により、具体的に橋台のどの部分が喪失したのか記録に残しておくことが重要であり、現存する過去の調査データ等と照合し、その事実を調査しておくことが望まれる。
- ・さらに、橋台の基礎部分の構造についても、復旧に際して把握しておくことが望まれる。

○保存物

- ・主要な保存物は確保されている状況にあるが、他に流失した保存物が無いかどうか、改めて確認する必要がある。

d) その他

津波により新たな遺構として暗渠下水道跡が発見されるなど、震災前の調査では明らかではなかった事実が、震災を機に発見される場合もある。復旧にあたり、築港跡地全般にわたっての旧状と現状との比較検証が望まれる。

(5) 貞山運河（野蒜築港関連事業）に関する調査結果

野蒜築港関連事業のうち、貞山堀に関して、仙台市若林区藤塚地区及び多賀城市において調査を実施した。調査結果は、以下のとおりである。

a) 被災状況及び被災要因

i) 仙台市若林区

運河路線は維持されているが、兩岸部の護岸が欠損した状況にあった（写真-8）。護岸石積みに崩壊が見られるが（写真-9）、石積みはほぼそのままの状態で原位置に残存しており、津波による流出などの被害はなく、地震動と地盤沈下により滑落、変形したものと推察する。

また、運河沿いの松林の多くは、津波により欠損した状況にあった。根元から折れて倒伏したり、幹や大枝の途中から折損した幹の太い個体が見られた。一方、津波に耐えて残存した立木の状態は、おおむね健全であった。

ii) 多賀城市

多賀城市内の貞山運河は、旧日態を留めているが、護岸の数箇所において損壊が見られた（写真-10）。貞山運河が二股に分かれる中洲の護岸石積みには、仙台市若林区の護岸石積みと同様の崩落が見られた（写真-11）。一方、中洲の針広混交林の緑地帯は、津波の遡上により水をかぶったはずであるが、目だった被害は見られなかった。

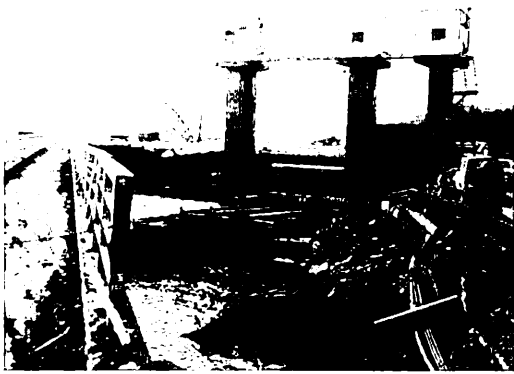


写真-12 月浜第二水門の被災状況（下流側から撮影）
（撮影：阿部，2011.11.1）

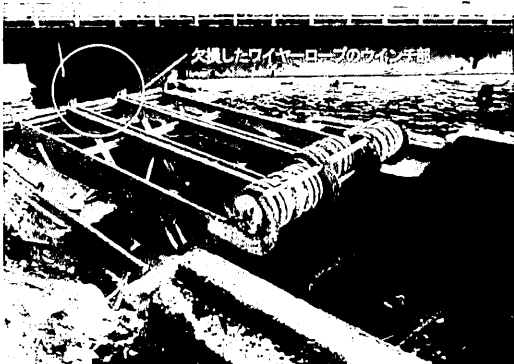


写真-13 月浜第二水門の被災状況（上流側から撮影）
（撮影：阿部，2011.11.1）



写真-14 被災前の釜谷水門（下流側から撮影）
（撮影：知野泰明（日本大学准教授），1995）



写真-15 釜谷水門の被災状況（北上川左岸側から撮影）
（撮影：阿部，2011.11.1）

b) 応急復旧の状況

一部で土壌による被災護岸の応急復旧や、沿線の仮設道路の設置等が行われていたが、貞山運河及び運河施設は、ほぼ被災状況のまま残置されていた。

c) 本格復旧に向けた課題及び提案

貞山運河の路線は維持されているが、損壊した運河施設は復旧の必要がある。特に、沿線の松林の復旧は、防災面の機能も考慮しつつ、可能な限りの復旧が望まれる。

一方、護岸石積みの崩落は、運河周辺の地盤沈下に伴い、石積みが全沈下したための変形であると推定する。そのため、広域にわたる地盤沈下であることから、石積みの旧態の復元は難しいと考える。当面は、変形の特に著しい部分の石積みを再構築するなど、局所的な補修などの対応が現実的であると考える。

また、本調査では、貞山運河全体の広域的な被災状況は把握できていないため、たとえば空中写真による被災前後の比較等により、特に地盤沈下による水没した範囲の特定や地形の改変状況の把握などが必要である。

d) その他

復旧にあたっては、時代考証を丁寧に行い、文化財として裏付けのある形状修復が望まれる。同時に、行政単位の区間割による復旧ではなく、運河全体を見通した修復計画の下での復旧が重要である。

また、復旧にあたっては、防災機能の強化と併せた議論も必要であり、文化財としての価値と防災施設としての価値を両立させる方向の検討が望まれる。

(6) 北上川分流通施設群に関する調査結果

北上川分流通施設群は、戦前の大規模分水事業である北上川第一期改修工事にて建設された施設で、我が国の分水堰技術の黎明期に選定された希少なゲート形式群を誇る³⁾。

北上川分流通施設群に関しては、津波により被災した北上川河口部の月浜第一水門、月浜第二水門、釜谷水門、福地水門について調査を実施した。調査結果は、以下のとおりである。

a) 被災状況及び被災要因

i) 月浜第一水門

月浜第一水門は、2006（平成18）年の新水門の設置にあたり、旧水門のゲート1門が、月浜第二水門の近傍に移設保存されていた。この移設された旧水門のゲートは、原位置から移動している状況にあった。また、ゲートの上部構造に破損が見られたが、原型はほぼ維持されていた。これらの被災は、津波が要因であると考えられる。

ii) 月浜第二水門

水門本体の外形は維持されていたが、各所に破損が見られた（写真-12）。特に、バランスゲートを引き上げるワイヤーロープのウインチ部が欠損していた（写真-13）。また、水門右岸の脇堤防も欠損していた。これらの被災は、津波が要因であると考えられる。

iii) 釜谷水門（写真-14）

釜谷水門周辺の北上川右岸護岸は消滅し、周辺の堤内地一帯も水没した状況にあった。釜谷水門も水没し、バランスゲートの一部がかるうじて水面上に見られたが、原形をとどめない状況にあった（写真-15）。

iv) 福地水門

目視では、被災は確認できなかった。

b) 応急復旧の状況

i) 月浜第一水門

被災状況のまま、存置されていた。

ii) 月浜第二水門

水門本体は、被災状況のまま存置されていた。水門右岸の脇堤防の欠損部は、土壌による応急復旧が行われていた（写真-12）。



写真-16 横利根閘門の現況（左岸下流側から撮影）
（撮影：阿部，2011.11.4）

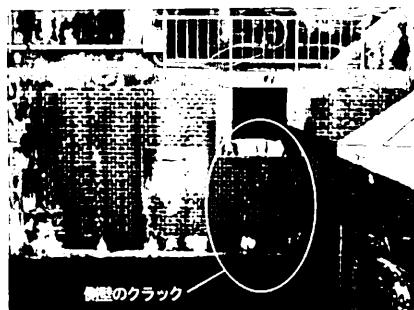


写真-17 横利根閘門の被災状況（横利根川側閘頭部左岸側壁のクラック）
（撮影：阿部，2011.11.4）



写真-18 横利根閘門の被災状況（側壁から護岸に及ぶクラック）
（撮影：阿部，2011.11.4）

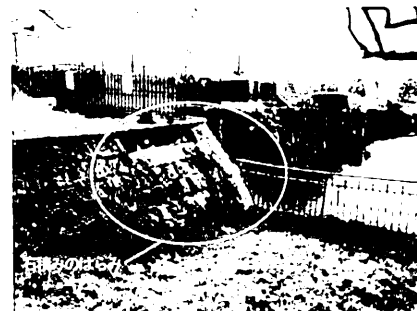


写真-19 横利根閘門の被災状況（横利根川側閘頭部左岸石積みのほらみ）
（撮影：阿部，2011.11.4）

iii) 釜谷水門

周辺を含め、復旧等は行われていなかった。

iv) 福地水門

被災がないことから、復旧・修理等は行われていなかった。

c) 本格復旧に向けた課題及び提案

i) 月浜第一水門

継続的に原位置に存置保存する場合は、被災箇所の形状修復を行うことが望まれる。

また、ゲート1門のみでも移設保存されたことは意義があるが、ゲートを支えるコンクリート支柱は原型と無関係であることもあり、現役時の様子を伝える説明版等を設置することが望まれる。

ii) 月浜第二水門

本格復旧にあたっては、計画堤防高との関係で、水門としての機能を維持できるかどうかの検討が必要であるが、今後も現役施設として維持されることが望まれる。水門としての機能が失われる場合でも、可能な限り原位置の保存が望まれる。

欠損したウインチ部については、復元を行わない場合であっても、写真展示などによる説明版等を設置することが望まれる。

iii) 釜谷水門

本格復旧には、本体及び周辺の河川施設の大規模な復旧事業が必要である。機能も含めた水門本体の復元は難しいとしても、部分的であれ、水門を現地保存することが望まれる。

iv) 福地水門

津波等による被災ではないが、中央扉部裏面に錆による老朽部分が広くみられるため、塗装も含めた形態の維持保存が望まれる。

(7) 横利根閘門に関する調査結果

横利根閘門は、内務省直轄の利根川改修工事における代表的土木構造物の一つで、1921（大正10）年3月に竣工し、霞ヶ浦沿岸地域の治水や、利根川流域の舟運の発達、地域経済の活性化等々に貢献した。我が国で最大級の規模を誇る煉瓦造の複閘式閘門で、土木技術史上、煉瓦造閘門の一つの到達点を示す遺構として重要である⁹⁾。

横利根閘門に関しては、閘門本体のほか、附指定の中川吉造胸像所について調査を実施した。調査結果は、以下のとおりである。

a) 被災状況及び被災要因

i) 横利根閘門

閘門周辺の護岸等に液状化の被害が見られたものの、閘門本体は、閘頭部及び閘室部とも躯体はおおむね健全で、平常通り稼働し、通船も行われていた（写真-16）。しかし、本調査の結果、2箇所の被災を確認した。

まず、横利根川側（上流側）閘頭部の小門扉の開閉ギアを納める左岸側躯体の側壁に、クラックが発生していることを確認した（写真-17）。管理者によると、クラックの幅は、3月11日の本震による被災直後の調査実施時よりも、広がっているようであるとのことであった。本調査の結果、このクラックは、外装煉瓦からコンクリート造の躯体、さらに護岸側の石積に至る深刻なものであることを確認した（写真-18）。また、クラックは、ギアを納める機械室の開口部から躯体の基礎に向かって発生していたが、水面下の状況は把握することはできず、クラックが基礎まで達しているかどうか確認することはできなかった。

このクラックは、以下のプロセスで発生及び進行したと推定する。

- ・ 閘門の上流側左岸の基礎地盤は旧河道であるため、地震動により、厚く堆積した軟弱な砂層に液状化が発生
- ・ 液状化による過剰間隙水圧の消散に伴い、地盤沈下が徐々に進行
- ・ 地盤沈下により、上流側左岸の閘頭部躯体に沈下や傾斜が生じ、躯体構造の中でも弱部となる機械室周辺でクラックが発生
- ・ 余震により、地盤沈下が進み、クラックが進行

一方、横利根川側（上流側）閘頭部の左岸側の石積み部分にも、石積みのほらみを確認した（写真-19）。この要因についても、クラックと同様、基礎地盤の液状化によるものと推定する。

ii) 中川吉造胸像所（附指定）

利根川右岸の護岸に設置されていた中川吉造胸像所が、河川護岸の堤内地側斜面の地震崩壊及び基礎地盤の液状化に伴い、沈下及び傾斜する被害を受けた（写真-20）。



写真-20 (左) 被災直後の中川吉造胸像所 (附指定)

写真-21 (右) 中川吉造胸像所 (附指定) 基礎部のコンクリート杭 (国土交通省関東地方整備局利用河川下流河川事務所提供写真に加筆)

b) 応急復旧の状況

i) 横利根閘門

閘頭部躯体側壁のクラックについては、本調査において深刻なものであることを確認したことから、調査実施時点では補修・修理等は実施されていなかった。

一方、左岸側石積みのはらみについては、すでに積み直しのうえ、コンクリートにて補修が実施されていた。

ii) 中川吉造胸像所 (附指定)

調査実施時点では、復旧に向けた地盤改良のため、胸像所は一時的に解体撤去されており、胸像及び胸像所の各部材は、近傍の倉庫に移設保管されている状況にあった。撤去に際し、胸像所の基礎部分にコンクリート杭が多数打ち込まれていることが判明した (写真-21)。調査実施時点で、現地では、胸像所の復旧に向けて、地盤の養生が行われている状況にあった。

c) 本格復旧に向けた課題及び提案

i) 横利根閘門

閘頭部躯体側壁のクラックに関しては、本格復旧にあたり、閘頭部躯体の沈下及び傾斜、さらにクラックの長さ・幅・深さについて、自動計測等により、一定期間モニタリングする必要がある。クラックの幅が、3月11日の本震による被災直後から徐々に広がっている可能性もあるため、日常の変化及び今後の余震後の変化を正確に計測することが重要である。

また、潜水調査による水面下の躯体のクラック深さの確認や、ギア類を一時的に取り外し、小型カメラなどによる躯体機械室内のクラックの状況把握などを実施することが望ましい。

モニタリングの結果、躯体の沈下や傾斜、クラックの進行が見られない場合には、クラック部分にエポキシ樹脂などを注入して応急処置を実施したり、外装煉瓦をいったん取り外し、クラック部分を補修したあと、外装煉瓦を積み直すといった処置が考えられる。

一方、躯体の沈下や傾斜、クラックの進行が確認された場合には、基礎地盤へのセメント注入による地盤改良などを実施し、クラックの進行を食い止める処置が必要である。

ii) 中川吉造胸像所 (附指定)

胸像所は、基礎部分に多数のコンクリート杭が設置されていたにもかかわらず、液状化に伴う深刻な被害を受けた。そのため、本格復旧にあたっては、基礎地盤について、杭基礎に準じる十分な対策が望まれる。

d) その他

中川吉造胸像所は、復旧に向けた地盤改良のため、一時的に撤去されたが、撤去に際し、胸像所の基礎部分にコンクリート杭が多数打ち込まれていることが判明した (写真-21)。これは、堤防上に胸像所を設置するため、建設当時、地盤改良の一種として施工されたものと推定する。

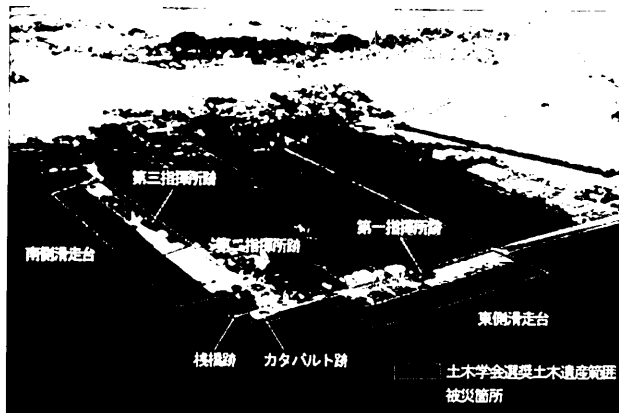


写真-22 被災前の霞ヶ浦湖岸施設 (国土交通省関東地方整備局霞ヶ浦河川事務所提供写真に加筆)



写真-23 霞ヶ浦湖岸施設の被災状況 (撮影：阿部，2011.11.4)

撤去にあたり、地上部の胸像や胸像所の各部材については、修復を前提として、図面も作成された。しかし、基礎部分のコンクリート杭については、胸像所底面のコンクリートと一体となった構造物であったことから、移設保管に際し、破壊せざるを得なかった。そのため、コンクリート杭の数や位置、大きさなどの詳細な記録は残されていない。もし、コンクリート杭の本数や配置、大きさなどの記録があれば、建設当時の地盤改良に対する考え方を推察することも可能であったと考える。

すなわち、今後、被災した歴史的土木構造物をやむを得ず撤去する場合でも、撤去する構造物の写真や図面、部材の数量、材料の特性などの記録保存を行うことが重要であると考えられる。

(8) 霞ヶ浦湖岸施設に関する調査結果

霞ヶ浦湖岸施設は、元鹿島海軍航空隊の施設として1937 (昭和12) 年に竣工し、航空戦における水上機の隊員教育及び施設計画の全容が現在も遺構として残存しており、戦前から戦中における我が国の航空戦史上固有かつ重要な歴史的価値を有している⁵⁾。霞ヶ浦湖岸施設は、竣工から70年経った現在でも、波浪による洗掘を防ぐ治水施設として機能しており、当時の土木技術水準の高さが伺える。

霞ヶ浦湖岸施設に関する調査結果は、以下のとおりである。

a) 被災状況及び被災要因

南側滑走台の西側及び東側滑走台の北側 (写真-22) において、主に湖側のコンクリートスロープが、陥没もしくはめくれあがっている状況にあった (写真-23)。これらは、基礎地盤の液状化に伴う湖側への流動により損傷したものであると推定する。

一方、同じ滑走台であっても、南側滑走台の東側及び東側滑走台の南側については、コンクリートスロープに被災は確認できなかった。こうした被災の有無については、過去の補修や災害復旧工事の影響等も考えられるが、その要因の特定には至らなかった。

なお、第一、第二、第三指揮所跡、棧橋跡、カタパルト跡及びカタパルト跡から東側滑走台続く石積み護岸については、被災は確認できなかった。

b) 応急復旧の状況

調査実施時点において、被災したコンクリートスロープは、段差部や基礎部が土壌等で応急復旧されている状況にあった。また、被災箇所は立ち入り禁止として、利用が制限されていた。

c) 本格復旧に向けた課題及び提案

管理者によると、本格復旧においては、被災した既設コンクリートスロープを撤去し、新たにコンクリートスロープを設置することであった。既設コンクリートスロープは、厚さ 20cm の玉砂利コンクリートによるものであるが、新設コンクリートスロープは、厚さ 20cm のうち、下層 15cm は通常のコンクリートで、上層 5cm のみ、既設コンクリートスロープの玉砂利コンクリートの意匠を継承し、玉砂利コンクリートとするとのことであった。また、新設コンクリートスロープの内部には、既設コンクリートスロープには用いられていない鉄筋を配し、補強を行うとのことであった。

復旧にあたり、被災した既設コンクリートスロープが撤去されることで、土木遺産としての価値が大きく失われることとなる。撤去にあたっては、スロープの基礎や先端部の処理方法、あるいは玉砂利コンクリートの材料特性など、できる限り記録保存を行うことが求められる。一方、被災していない箇所については、適切な対策を講じ、今後も継続的に保全されることが望まれる。

また、今回の復旧は、コンクリートスロープのみの復旧で、地盤改良は行わないとのことであったが、被災箇所の基礎地盤は、余震による再液状化が懸念されるため、基礎地盤の地盤改良等の施工が望まれる。

d) その他

被災した既設コンクリートスロープが撤去されることで、霞ヶ浦湖岸施設の土木遺産としての価値が、一部失われることになる。こうした場合、重要文化財（建造物）の指定解除もしくは登録有形文化財（建造物）の登録解除等の事例等を踏まえ、選定土木遺産としての対応について、今後検討していく必要がある。

同様に、復旧にあたっての記録保存の考え方や手法についても、今後検討していく必要がある。

(9) 石岡第一発電所施設水槽に関する調査結果

石岡第一発電所施設は、日立鉱山の電力需要の増加に対応するために建設された水路式発電所施設で、1911（明治44）年10月に竣工した。近代日本有数の銅山として知られる日立鉱山を代表する施設の一つとして、産業技術史上高い価値があり、また、施設全般にわたって、鉄筋コンクリート技術を用いたわが国で最初の発電所施設である⁶⁾。調査を実施した水槽（写真-24）は、重要文化財石岡第一発電所施設を構成する10（4所・3基・3棟）の建造物のうちの一つである。

石岡第一発電所施設水槽に関する調査結果は、以下のとおりである。

a) 被災状況及び被災要因

石岡第一発電所施設水槽は、設置された尾根とともに崩落し、大破していた（写真-25）。また、水槽崩落に伴う水の流出により、山林になっている山腹の土砂流出を引き起こし、下流の水田に土砂の堆積をもたらした。

管理者へのヒアリングに基づくと、2011（平成23）年3月11日14:46の本震発生から崩落までの経過は表-12に示すとおりである。



写真-24 被災前の石岡第一発電所施設水槽⁷⁾（下流側から撮影）
（写真提供：文化庁）

表-12 本震発生から水槽崩落までの経過（2011（平成23）年3月11日）

時刻	内容
14:46	・東北地方太平洋沖（M9.0、6弱）※
14:48	・石岡第一発電所停止
14:51	・福島県沖（M6.8、3）※
14:54	・福島県沖（M5.8、4）※
14:58	・福島県沖（M6.4、3）※
15:06	・岩手県沖（M6.4、3）※
15:08	・岩手県沖（M7.4、3）※
15:12	・福島県沖（M6.1、3）※
15:15	・茨城県沖（M7.7、5弱）※
15:25	・千葉県沖（M7.5、3）※
16:29	・岩手県沖（M6.5、3）※
17:30	・取水口の取水を停止
17:40	・福島県沖（M6.7、2）※
18:00	・水槽監視信号が得られるテレコン電源を切る ・この時点まで、水槽水位の異常を知らせる信号はない
19時頃	・水槽下流の地域住民が、ゴーという川の流れるような音を聞く ・この時点で、水槽の崩落が発生したと推定する
20:36	・岩手県沖（M6.7、2）※

※震源地（マグニチュード、高震における震度）
（資料提供：東京電力株式会社）

水槽及び尾根の崩落は、3月11日の本震及び余震により発生したものとする。しかし、水槽下流の地域住民が、ゴーという川の流れるような音を聞いた19時頃の時点で、水槽の崩落が発生したと推定するが、この時刻の前後ではM6程度以上の余震は発生していない（M6程度以上の余震は17:40と20:36に発生）。また、18:00の段階で水槽水位の異常を知らせる信号は届いておらず、この時点では水槽の崩壊はなかったと考える。

一方、被災直後に撮影された水槽付近の写真-26を見ると、水槽が設置されていた尾根の崩落した斜面側で、水槽脇の地盤にクラックが発生していたことがわかる（調査実施時点では、応急復旧済）。また、崩落した斜面と反対側には、水槽に沿って余水吐けが設置されていたが、崩落した斜面側には余水吐けは設置されておらず、水槽は斜面に直接面していた。

以上の状況を踏まえると、水槽及び尾根の崩落は、以下のプロセスにより生じたと推定する。

- ・14:46に発生した本震により、尾根地形では振動が増大し、水槽周辺地盤にクラックが発生し、一部地盤が崩落
- ・その後の余震により、満水状態であったと想定される水槽内にスロッシングが発生し、余水吐けの無い斜面側で、水槽からの溢水が斜面のクラック内に浸透
- ・クラック内への水の供給により、クラックが徐々に拡大し、水槽底面基礎地盤内へ進展
- ・基礎地盤へのクラックの進展により、水槽は片持ち梁状態となり、満水状態の水槽重量に耐えられなくなり、本震発生約4時間後の19時頃に崩落
- ・水槽に貯留されていた水が、山腹の溪流に沿って、土砂とともに下流に流下

地震が発生したと同時に水槽が崩壊しなかった理由は、余震による溢水の繰り返しの地盤のクラックに水が供給されたものの、地盤の強度がある程度高く、地盤が破壊されるまでに時間がかったためであると考えられる。



写真-25 被災直後の石岡第一発電所施設水槽（上流側から撮影）
（写真提供：東京発電株式会社）



写真-26 被災直後の水槽脇の地盤のクラック（上流側から撮影）
（写真提供：東京発電株式会社）

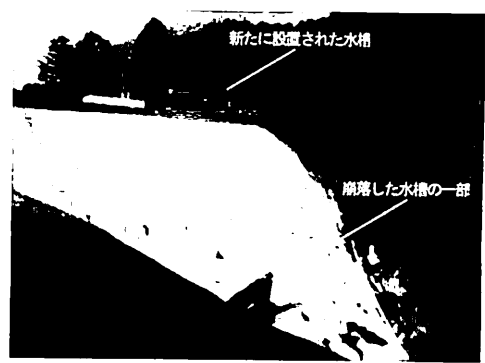


写真-27 崩落した斜面の復旧状況（下流側から撮影）
（撮影：阿部，2011.11.8）

また、発電所施設だけでなく、山岳地域ならびに中山間地域、あるいは軟弱地盤地域等に位置する文化財については、地震・火山噴火・風水害・土砂災害等の自然災害に対するリスクアセスメントを実施することも、重要な課題であると指摘できる。

6. 調査成果及び今後の課題

東日本大震災特別小委員会が実施した調査により、東北地方太平洋沖地震による歴史的土木建造物の被災状況をおおむね把握することができた。また、本調査を通して、地震をはじめとする大規模な自然災害にあたり、歴史的土木建造物の被災状況に関する調査を実施する際の調査体制や調査方法など、組織的な調査実施のノウハウを蓄積することができた。

一方、今回は、発災約8ヶ月後に現地調査を実施したことから、時間経過に伴い、歴史的土木建造物の破損等が当該災害による被災であるかどうか、判別できない場合があった。そのため、現地調査については、適切な実施時期を検討する必要がある。また、本調査の対象とした重要文化財（建造物）、登録有形文化財（建造物）、土木学会選奨土木遺産以外の歴史的土木建造物については、調査方法等を検討する必要がある。

今後、被災した歴史的土木建造物においては、本格復旧が実施されることとなる。本格復旧にあたり、小委員会あるいは土木史研究委員会として、技術的支援等を行うとともに、復旧・修理に係る技術等を研究・蓄積していく必要がある。さらに、被災により歴史的土木建造物をやむを得ず撤去する場合などの記録保存の考え方や手法、歴史的土木建造物に係る防災機能の再評価、歴史的土木建造物の自然災害に対するリスクアセスメント、歴史的土木建造物と周辺の地域計画等との防災面における連携等についても、今後の研究課題として指摘できる。

謝辞：調査にご協力いただいた施設管理者及び所有者の皆様、地方公共団体教育委員会の皆様、文化庁及び国土交通省の皆様、土木学会選奨土木遺産選考委員会及び土木学会各支部の皆様、東日本大震災特別小委員会委員及び調査員の皆様に、厚く御礼申し上げます。

参考文献等

- 1) 文部科学省文化庁データベース (<http://www.wdrk.go.jp/phys/vdx/pcsp/>)
- 2) 例えば、構造工学的側面からは、構造制震的効果と非線形接合による現地調査などの社会実務的課題のテーマになる。水理学的側面からは、地盤が崩壊して水が沈下したことによる石川門の閉門としての機能、運河としての機能、洪水調節機能などのように変化しなかに見極めることもテーマになる。地盤工学的側面からは、土質調査を基盤として、地盤の状況を確認するとともにコンクリートの腐食の必要量の算出がテーマとなる。地震工学的側面からは、石川門の構造の調査、土砂災害の大きさや予測をすることもテーマの一つとなる。その理由は、石川門は多くの建築物の支那を見る限り、地震は大きな被害を受けることが想定されていることによる。また、文部科学省の調査では、石川門の構造の調査とその他の調査を併せて行うことが必要である。地盤工学的側面からは、石川門は多くの建築物の支那を見る限り、地震は大きな被害を受けることが想定されていることによる。また、文部科学省の調査では、石川門の構造の調査とその他の調査を併せて行うことが必要である。
- 3) 土木学会：土木学会選奨土木遺産 北川町古民家群 (<http://www.jcsa.or.jp/selected/274.html>)
- 4) 文部科学省文化庁データベース (<http://www.wdrk.go.jp/phys/vdx/pcsp/>)
- 5) 国土交通省国土地理院：『河川事務所調査記録：『霞ヶ浦湖沼施設（元豊島海軍航空隊）－近代・土木遺産－』
- 6) 文部科学省文化庁データベース (<http://www.wdrk.go.jp/phys/vdx/pcsp/>)
- 7) 文部科学省文化庁データベース（平成23年7月15日現在）重慶文部科学省の調査の調査結果について

b) 応急復旧の状況

被災直後、夏場の電力不足が予想される中、電力供給の迅速な復旧が要請されたことから、水槽の復旧も急がれた。復旧にあたり、水槽下部の崩落工対策には相当な時間を要することが想定されたため、斜面崩落箇所はコンクリート吹きつけ工による仮押さえの法面保護工を実施し、崩落した水槽の上流部に新たに水槽を設置することとなった。その結果、被災から約3か月後の6月26日まで工事完了し、同29日に石岡第一発電所運転を再開した。

現地調査実施時点では、崩落した斜面は、すでにコンクリート吹きつけ工による応急復旧がなされていた。また、水槽を構成していたコンクリート建造物の部材は、崩落によりバラバラに破損した状態のまま、コンクリート吹きつけ工で斜面に埋められる形で現地に残存していた（写真-27）。

c) 本格復旧に向けた課題及び提案

崩落して大破した水槽は、コンクリート吹きつけ工で斜面に埋められており、すでに重要文化財（建造物）の指定も解除されている。今後、水槽の文化財としての本格復旧は難しいが、現地に説明版を設置するなど、文化財として何らかの顕彰を行うことが望まれる。

さらに、水槽は文化財指定を解除されたものの、石岡第一発電所施設全体では、沈砂池、第一号水路橋、第二号水路橋、水槽余水路、調圧水槽、本館発電機室、本館旧変圧器室、本館変電室が指定物件として残っており、これらの保存のための補強など、種々の調査を進めていく必要がある。

d) その他

斜面崩落箇所の法面保護工の実施にあたり、コンクリート吹きつけ工を実施する前に、崩落した水槽の各部材について、破損状況等を記録しておけば、被災の要因をより正確に特定することが可能であったと考える。また、被災要因が特定できれば、今後、同様の施設における地震等の災害への対策を講ずることも可能となる。すなわち、被災した歴史的土木建造物をやむを得ず撤去する場合でも、できる限り記録保存を行うことが重要であると考えられる。

一方、我が国では、文化財として発電所施設が指定・登録される事例は多く、それらの施設のうち、水槽や水路など、斜面あるいは尾根上に設置されている建造物も少なくない。今後、今回発生した海溝型の大規模地震だけでなく、内陸部の活断層による直下型地震の発生も懸念されるなか、そうした建造物に係る地震等の災害に対する総点検の実施が、重要な課題であると指摘できる。