

土木学会平成25年度全国大会
研究討論会 研-17 資料

土木構造物の持続性を考慮した 300年プロジェクト

座長	上田 多門	北海道大学
話題提供者	古市 耕輔	鹿島建設(株)
	下村 匠	長岡技術科学大学
	杉浦 邦征	京都大学
	神田 尚樹	国土交通省小樽港湾事務所
	小林 正治	姫路市役所

日時	平成25年9月6日(金) 12:40~14:40
場所	日本大学生産工学部津田沼キャンパス
教室	37号館302教室 会場名: I-2

複合構造委員会

趣旨説明

北海道大学工学研究院

フェロー

上田 多門

世界中で地球のサステナビリティが議論されている中、多くの資源とエネルギーがその構築時に必要な土木構造物は、要求性能が満足された上でその供用期間をより長くするのが理想である。現実には、優れた機能、景観・美観を備えた土木構造物が100年以上供用されている例が見られる。その一方で、社会的に認知されて来ているように、多くの土木構造物においてその耐久性が問題となっており、供用停止や解体を余儀なくされているのも事実である。最近の新設の土木構造物においては、その供用期間を100年とするようになって来ている。中には、放射性廃棄物関連施設のように100年をはるかに越える構造物もある。

このような社会的背景のもと、土木構造物の長期耐久性を土木技術者が一般の市民とともに考える目的で、複合構造委員会は2012年度に「土木構造物の持続性を考慮した300年プロジェクト」を提案した。現在の土木技術で建設材料が300年の耐久性があるかどうかを300年かけて綿密に調査していくと言うものである。このプロジェクトを一般社会にも公開し、建設材料の長期耐久性の実態や維持管理の必要性、土木構造物の長期にわたる社会との関わり的重要性への理解を得ることを目指すものである。これからの土木構造物として100年の供用期間が普通に言われるようになって来ていることから、確実な耐久性を示すと言う目的で調査期間を300年としている。また、土木構造物の長期供用に関する技術の世代間の伝承をどのように図っていくかと言う視点でも、300年と言う期間が適切であると考えている。

複合構造委員会では、主に力学的な視点から最適な構造材料の複合を捉え、鋼、コンクリート、さらには、繊維、樹脂（それらを複合したFRP）等を対象として来ている。本プロジェクトでは現状普通に用いられている建設材料と現状技術で最も耐久性があると考えられる建設材料を対象とすることを想定している。これらの材料を同一の条件（暴露環境、調査期間・間隔・項目）で300年間試験を行い、その結果を広く周知するものである。

2012年度の土木学会の重点研究課題として、「土木

構造物の持続性を考慮した300年プロジェクトに関する研究」が採択されたのを受け、複合構造委員会内に「300年プロジェクト小委員会」が設置され、2012年度末にはその成果を報告書としてまとめた（その概要は、土木学会誌2013年7月号66頁を参照）。100年を超す期間（超長期間）使われている土木構造物はあるものの、超長期間の暴露試験はほとんど見当たらない。報告書では、国内における長期間供用された土木構造物の事例、調査事例を紹介した。また、100年近く暴露試験を実施し、今でも暴露供試体を保存している小樽港湾コンクリート防波堤や、55年間供用されたコンクリート桁の150年間暴露試験を実施中の土木研究所寒地土木研究所美々暴露実験場の事例を示した。これらの事例に基づき、実際の暴露試験実施法（材料選定基準、試験項目・方法、試験間隔）の提案とともに、実施に当たっての種々の課題（参画機関、設置場所提供者、材料提供者、試験費用、成果の帰属と公表）を提示し、実施のためには複合構造委員会に留まらない土木学会全体、さらには土木学会の枠を超えた産官学、市民を含めた広い議論と理解の必要性が認識された。

本研究討論会はそれを受けて企画されたものであり、以下の話題提供者をお呼びした。

1. 古市耕輔（鹿島建設） 300年プロジェクト委員会での検討概要
2. 下村 匠（長岡技術科学大学） コンクリート構造物における長期耐久性について
3. 杉浦邦征（京都大学） (仮)鋼構造物における長期耐久性について
4. 神田尚樹（国土交通省小樽港湾事務所） 小樽港と廣井勇博士の技術者精神
5. 小林正治（姫路市役所） 世界文化遺産・国宝姫路城の保存管理

本研究討論会で300年プロジェクトの重要性がより多くの皆さんに認識され、世界初とも言える壮大なプロジェクトの是非から実現に向けて有意義な議論が交わされることを期待するものである。

300年プロジェクト委員会での検討内容

鹿島建設株式会社 古市 耕輔

1. はじめに

土木構造物は設計時点においては、ある耐用年数を設定してはいるものの、実際には要求される機能を満たす範囲で半永久的に供用されてきている。また、近年では、従来の鋼材とコンクリートなどのほかに、FRPなどの新しい建設材料が開発され適用されつつある。このような中、土木構造物の意義を一般の市民にも理解してもらうとともに、土木の魅力を次世代の土木技術者に伝えることを目的とした300年プロジェクトを提案した。このプロジェクトの具現化をめざし、複合構造委員会では2012年6月に「300年プロジェクト小委員会」を設置し、複合構造の専門家に、各種材料の専門家や、材料の耐久性研究に関連する技術者を交え、①暴露試験方法検討ワーキング、②既存情報の調査ワーキング、③プロジェクト実施方法検討ワーキングの3つのワーキングに分かれて検討を実施した。以下、その結果の概要について述べる。

2. 暴露試験方法に関する検討結果

暴露試験方法の検討においては、300年プロジェクトの趣旨に沿った2つの視点を考えた。1つ目の視点は、300年という超長期耐久性に対する挑戦である。土木構造物には伝統的な材料に加えて新素材の活用も図られてきている。それらの材料において、現在の最高技術を自負するものを選び、300年耐久性を目指すものである。こうした材料は特別な構造物に用いられる品、もしくは特注品のイメージである。

2つ目の視点は、現在の技術への説明責任である。土木構造物が100年を超えて供用される例もある中、現在の材料耐久性に関する知見を将来検証する必要・責任は小さくない。現在使われている普及品の300年に及ぶ超長期劣化に対する検討はこれに答えるものである。材料としては、通常の構造物に用いられている普及品の中でも上級な品のイメージである。2つの視点は同じく意義のあるものと考え、試験方法においても、グレード1「最も自信のある品」と、グレード2「上級の普及品」を対象とする試験方法を検討した。

試験方法の提案においては、材料の選定基準、材料種別ごとの試験方法、試験間隔、暴露試験場所の選定基準、そのほか、供試体形状などについて検討し案を示した。そのうえで、材料としてセメント系を例とした検討案を作成した。

3. 既存構造物の耐久性調査結果

既存の長期暴露試験の実施内容の調査、実際の暴露試験にあたっての方法、プロジェクトを推進する上での課題と対応方法について検討を行った。長期暴露試験の実施内容の調査においては、既存の暴露試験として超長期間のものはあまりなされていないことから、過去に建設された構造物の耐久性に関する検討結果を取りまとめた。ひとつは、建設後50年以上の実績がある橋梁(道路橋、鉄道橋)の調査であり、もう一つは既設構造物(コンクリート橋、合成桁橋)の耐久性に関する調査結果である。調査の結果、鋼橋では、100年以上供用されている橋梁はいくつか存在しており、主に、明治時代に造られたもので120年を超えて現在でも健在である。その多くは鉄道橋として海外で造られもので、その後、道路橋や人道橋として再利用された橋梁もある。このように、建設後100年を経過して、現在でも供用されているのは、維持管理が適切に行われ、定期的な点検、補修が実施されているためであると考えられる。一方、コンクリート橋については、明治40年頃に鉄筋コンクリート構造物、昭和20年代後半にはプレストレストコンクリート、昭和30年代からは合成桁や鉄骨鉄筋コンクリート構造物などの複合構造物が架設された。このような中で、鉄筋コンクリート橋の変状のうち鉄筋の腐食に関して、これの原因となるひび割れ、中性化および塩害について、実橋での調査が行われており、その例を取りまとめた。

また、委員会として長期暴露を実施している2施設の視察を行った。寒地土木研究所美々暴露実験場では、いくつかの供試体の長期暴露試験が行われている。そのうち、今回は初代十勝大橋の解体の際に実橋から切り

出したコンクリート桁の長期耐久性試験状況を見学した。1941年から1996年まで55年間供用された後、一部の桁をこの実験場において暴露し、長期耐久性試験が続けられている。解体時に行われた調査では、中性化、凍害による劣化はほとんど認められなかった。150年間の暴露試験プログラムが生まれ、定期的にコアを採取し、強度、物理化学試験を行うこととなっている。

小樽港湾事務所において廣井勇博士と小樽港北防波堤に関してヒアリングするとともに、展示室において、防波堤の模型、北防波堤の築造時に作製されたモルタルブリケット、その作製と載荷試験のための機器と、その後、モルタルブリケットを空調管理のもと保管している倉庫を見学した。



写真1 初代十勝大橋から切り出した
コンクリート桁の長期耐久性試験状況



写真2 小樽港防波堤に築造時に作製された
モルタルブリケット

4. プロジェクトの実施に係る検討結果

300年プロジェクトの実施へ向けて、①大学や研究機関および材料を提供していただくメーカーなどの課題、②実施費用と成果の帰属、③公募（周知）方法の検討についてヒアリングを行い、課題を取りまとめた。

a) **参加機関**：本プロジェクトの性格上、設置場所に関しては、300年に渡る長期の存続性が最重要である。我が国において教育機関が消滅することは想像できないものの現状の大学という機関の性格上、設置場所として供試体管理の観点から必ずしも適していないとの意見が大多数であった。そのため、わが国歴史的経緯を踏まえて、神社仏閣等宗教団体や長期に渡り施設を存続させる必要性がある機関と連携して検討するのが現時点では妥当と考えられる。

b) **材料提供者**：材料提供者に関しては、暴露試験の条件によって参加者が左右される可能性があるため、暴露試験要件とともに検討し、試験条件や参加後の経済的負担等の環境を整備することが肝要であるとする。たとえば、材料提供者は、300年の品質を保証することを絶対条件とせず、明確な品質保証期間の設定を参加条件とすることなどがある。

c) **成果の帰属と公表**：成果の帰属と公表について基本的な考え方をまとめた。ただし、成果の公表にあたっては、材料提供者の想定と異なる事態になった場合でも、情報の開示を妨げないこと等を事前に合意形成することが重要である。

d) **公募の検討**：本プロジェクトの性格上、複合構造委員会単独で企画実施する場合には限界があるため、学会のプロジェクトとして計画し、周知を図り公募するのがよいと考える。また、このことは参加試験期間や材料提供者にとっても、重要な事項であるとする。

5. おわりに

今回の300年プロジェクト小委員会での活動では、今後本プロジェクトを進める上で、参考となる事例の収集、試験方法の案を示すとともに、実施にあたっての種々の議論が出てくることを想定し、それらを概略でとりまとめた。今後は、より具体的な実施方針を検討し立案する必要がある。また、本プロジェクトの実現のためには、大きな課題が存在するが、現在の研究者や技術者の責務と考え、前向きな思考で検討することが最も重要と考える。

コンクリート構造物の長期耐久性について

長岡技術科学大学 下村 匠

「300年」という時間スケールをコンクリート構造物の寿命と対比して考察した。

コンクリートの物理的な寿命は300年よりも長く、約2000年前のローマ付近の遺跡から古代のコンクリートが発掘されている。土木学会コンクリート委員会でも調査を行った。現在のコンクリートに技術が継承されてきたわけではないが、セメントペーストのマトリックスの中に骨材を混入したものという点では現在のコンクリートと同じである。ただし、構造物の一部が物理的に残存していただけで、2000年の間構造物として使われてきたわけではない。



古代ローマコンクリート

約2000年前のローマの遺跡より発掘された古代のコンクリート



“Post-packed” concrete

レンガが骨材として使われていた



コンクリート壁

現在に続く、近代のコンクリート構造物の歴史は300年よりも短い。セメントが工業的に作られるのは19世紀のことである。今回の研究討論会で話題提供される小樽築港の100年コンクリートは初期のコンクリート構造物として有名である。橋梁に一般的に使われるようになるのは鉄筋コンクリートの設計、施工技術が整えられる大正から昭和初期にかけての頃である。また現在では、橋長の長いコンクリート橋には欠かせないプレストレストコンクリート構造が実用化されるのは、わが国では戦後昭和20年代後半である。したがって、現在のコンクリート橋梁の耐久性に関する実績は、RCでは100年弱、PCでは60年程度でしかない。もちろん、促進試験やシミュレーションにより耐久性についての検討はなされているが、その実証はまだ年月を要する。

近代のコンクリート構造物



内房線 山生橋梁
・大正13年のRC桁



万代橋(新潟市)
RC橋(昭和4年、1929年)



信楽高原鉄道 第一大戸川橋梁
・昭和29年、日本初の本格的PC桁



十郷橋(福井県)
PC橋(昭和28年、1953年)

さて、1980年代にコンクリート構造物の耐久性が社会的に大きな関心事となり、これに対応するためにコンクリート構造物の耐久性に関する研究、技術的検討が精力的に行われた。その結果、最良の材料、施工により、すべての構造物にメンテナンスフリー級の耐久性を期待する従来の考え方から、設計段階で耐久性照査を行い、かつ適切な維持管理を行うことで構造物の耐久性を確保する考え方が主流となった。そのためには、精度の良い劣化予測を行う技術が不可欠であるので、その方向の研究に力が注がれている。なお、現在では、設計において設定する構造物の設計耐用年数は一般には50年か100年であり、300年よりも短い。すなわち、300年先までその構造物を使うかは現在の設計では考えられていないし、その予測技術も確立されていない。

しかし、今回の研究討論会のテーマになっているように、今後は300年の寿命を具体的に考えることもあり得ることであろう。新しいコンクリート材料、構造には、それを可能ならしめるものもいくつか開発され、使用され始めている。超高強度鋼繊維補強コンクリート(UFC)は緻密な細孔組織を有するので、高強度であることに加え物質遮蔽性に優れ、高い劣化抵抗性を有することが室内実験で確認されている。また、コンクリート構造物の最大の劣化原因は内部鋼材の腐食であるので、鉄筋の代わりにステンレス鉄筋や連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の実用可能となっている。

小樽港と廣井勇博士の技術者精神

国土交通省 北海道開発局 小樽開発建設部
小樽港湾事務所長 神田尚樹

小樽港全景



廣井勇博士 (1862-1928年)



廣井 勇(初代 小樽築港事務所長)

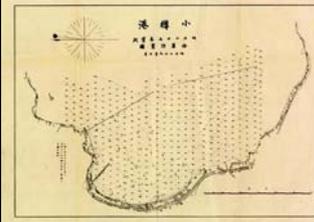
- ・1877年 札幌農学校入学(現 北海道大学) (第二期生)
- ・1881年 開拓史
- ・1883-1889年 渡米一ドイツ留学
 - ・河川、橋梁、鉄道的设计技師に付く
 - ・1887年 札幌農学校助教授(在米のまま)
 - ・ドイツ留学(土木、建築、水利工学の研究)一英・独の土木工事の視察
- ・1889年 札幌農学校教授
- ・1897-1908年 小樽築港事務所長(北防波堤着工から完成まで)
- ・1899年 工学博士の授与、東京帝国大学教授(現 東京大学)
 - ・港湾、水力発電、橋梁に関する指導
- ・1919年 東京大学退職
- ・1920年 東京大学名誉教授

實ニ技術者千歳ノ榮辱ハ懸テ設計ノ上ニ在リ

(技術者が千年に亘って開かれ続ける港と導めとは、設計の立て方にある。)

この言葉は、明治31(1898)年(小樽港北防波堤着工の翌年)に博士の著作「築港卷之一」の緒言に書かれており、日本人で初めて大海に伸びる防波堤に挑み、成功させた博士の技術者精神である。

M29小樽港湾調査報告「修築計画図」



小樽築港工事概況

- ・明治2年開拓史設置。
- ・明治4年に開拓史本庁を札幌に置く。
- ・明治11年に札幌～小樽、道路を築造。
- ・明治13年に札幌～手宮鉄道布設。
- ・明治19年北海道廳(S26まで内務省直轄)
- ・爾来、石炭・水産物・万物の進歩に伴い漁村は繁盛の地に変身。

- ・小樽港の整備は急を要する。
- ・水産、農作の生産だけでも3,200万円、将来人口10万人(*1)を超えその1/3を消化しても2,400万円は移出。貨物量も300万噸以上に達するであろう。(*2)
- ・明治26年には沿岸道路石垣破壊、港内の船沈没。翌年の移出減は9万円。
- ・よって、今、対策をしなければ本道の開拓に大障害となることを免れない。

max *1) 198千人(S35)、*2) 2,570万噸(H8)

防波堤の建設と埋め立て

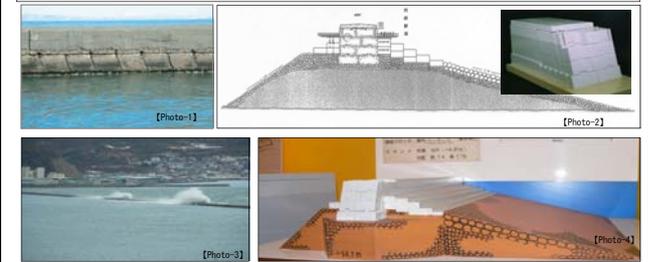


北防波堤の沿革

- 明治29年(1896年) 帝国会議で防波堤の修築予算案が成立
- 明治30年(1897年) 小樽築港第1期工事始まる(北防波堤着工)
- 明治41年(1908年) 小樽築港第1期工事竣工(北防波堤1,289mが完成)
- 同年4月には第2期工事に着手
- 小樽築港第2期工事竣工(北防波堤419m延伸)
- 平成12年(2000年) 北防波堤が土木学会選奨「土木遺産」に指定される
- 平成13年(2001年) 「小樽みなとと防波堤」で北海道遺産に選定される

北防波堤：構造

■小樽港北防波堤(1897年～1908年整備)は、日本人による初めての第一線防波堤で、100年経った現在も、北海道一本州間の物流・人流を担う小樽港で機能している。



幅7.3mの北防波堤の構造の工夫

- ①斜積みブロック【Photo-1.2.4】
 - ・相互のたれ合いにより、マウンドの沈下への追従とブロック間の摩擦増加で波力への抵抗力を高めている。
- ②高いマウンド【Photo-4】
 - ・石で造られるマウンドとブロックが接する面を均一にする重要な人力での水中作業が安全に行うこと、波で石が移動しにくい水深を追求した高さ、港外側の緩やかな斜面は、波が海岸で作る自然勾配(1:4～5)とし、将来的な安定を図っている。
- ③堤体を守るブロック【Photo-4】
 - ・港外側では階段状にブロックを設置することでマウンドの保護と段階的に波力を弱め、港内側では防波堤を越える波の衝撃からマウンドを保護する。
- ④波を正面から受けない【Photo-3】
 - ・波が防波堤に沿って移動することで最も低い高さの防波堤で港内への波の侵入を防いでいる。

北防波堤：建設（1897-1908年）

1. 確実な材料＝海風に強いコンクリートの製造

①小樽港工の5年前の1892年には横浜港で海中に設置した、防波堤用コンクリート・ブロックの一部に崩壊が発見されたこともあり、政府は小樽港工を容易に認める状況に無く、海風に強いコンクリート・ブロックの開発は緊急で重要なことだった。



③北防波堤のコンクリート・ブロックは現在でも当時のまま。

②廣井博士は素材から製造方法に関して、系統的に研究・実験し海水の影響を受けないコンクリート・ブロックを製造し北防波堤に着工。

2. 確実な施工体制＝機械化一環システム

①施工は大英帝国がコンボ港等で行った機械一環工法である“スローピング・ブロック・システム工法”を用いた。

・コンクリート・ブロック工場とブロックを運搬する軌道起重機（写真左）

・防波堤上にレールを敷き小型蒸気機関車で運ばれたブロックを設置する軌道積置機（写真右）



北防波堤：調査・研究、実施

1. 火山灰の使用による凝縮土の耐海水性増とコストカット

①コンクリートの亀裂は、欧州のアムデン、アバジーン、マルセイユ等においても発生しており、耐海水性の高いコンクリートの製造はフランスにおいてはカンツロー、ドイツではミハリス等によって研究が進められていた。

②1902年から凝縮土塊に火山灰を用い、工費の節約と耐海水性の向上を図った。火山灰の使用は欧州において研究・応用されていたが重大な工事に使用したのは当該工事が初めてであった。

■配合 ①セメント：砂：砂利 = 1：2：4 → ②セメント：火山灰：砂：砂利 = 1：0.8：3.2：6.4

■コストダウン セメント節約量38%（試算）

2. コンクリート長期耐久試験の開始

①廣井博士は、コンクリートに弾塑性を得るために、50年に亘る耐久試験を開始。

②試験体は海水・淡水・空気・保管され、それぞれの特性が比較できるようにされた（写真中央がミハリス抗力試験機）。

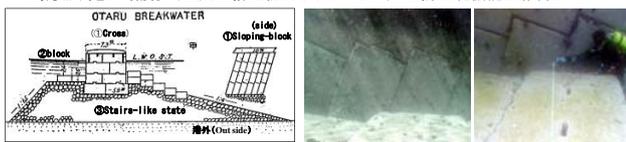


3. 公式

北防波堤は波力（波の高、向き）を設計に取り入れた日本初の洋防波堤。その後、廣井博士は小樽港での波の研究をもとに、世界的に使われる波圧計算式“廣井公式”を世に出した。



北防波堤の補修（歴史的建造物のオリジナリティーと防波堤機能の維持）



【Section Otaru North Breakwater（新築部はM32型工）】

【Section①：本体斜傾＝健全と判断】



【Section ②：港内側（異常部）】

【Section③：港外側（異常部）】

【Section④：港外側（正常部）】

港外 (Out side)

【His Multi Biam】

【Section ③（補修後）】

1. 本体部(①)の状況
 ・傾斜に欠けはあるが、クラックやコンクリートの劣化、ブロック間の大きな隙間は確認されず、素材、構造ともに堅強。
 ・斜傾部ブロック(②、③)の状況
 ・港内側：波の力により、ブロックが移動しマウンドの石が露出している部分。
 ・港外側：波の力により、階段状のブロックが移動した部分。
 2. 補修
 ・②、③(参照 Fig.1)のブロックの移動はマウンドの崩れ、本体への波力の増加により、全体が崩壊する危険が2005年から確認されている。
 ・補修方法は、崩壊部の再充填が必要が限られ、我が国初の洋防波堤の構造を原形を壊さずから後世に引き継ぐこととした。

小樽港活用＝観光資源

1. 小樽港周辺の港湾施設は観光や市民生活の場としても活用されている。

①小樽運河は、貨物船と倉庫群の間を“はしけ”で荷役を行うため、大正3年に着工し9年後の大正12年に完成した。【Photo-1】
 ②荷役が“はしけ”から岸壁での作業に変わり、小樽運河の利用は低下し施設の老朽化と水質の悪化が進んでいた。【Photo-2】
 ③その後、増加する交通対策のための道路とする埋立計画もあったが、保存に向けた市民努力から、散策路や水質改善等の環境整備がなされた。今日、周辺の歴史的な倉庫群の利用と合わせ、市民の憩いの場と小樽市の観光スポットとして年間約700万人が訪れる。【Photo-3, 4, 5, 6】

【小樽運河の海運利用】 【小樽運河整備前】 【小樽運河整備後】



・廣井博士の精神

博士の著書「築港巻ノ一」の語言。

①「著者幼時土州浦戸種崎に遊ヒ之ヲ故老二聽ク該地海峡を扼ヘル二個ノ波止アリ是レ我邦工学ノ泰斗タル野中兼山ノ築キシモノナリシト其種崎村ニ當ルモノハ久シク堆砂ノ裡ニ埋没シテ知ルモノ絶テナカリシニ後二百年余ヲ経安政元年ノ震災ニ際シ怒濤襲来シ種崎ノ一村今ヤ狂瀾ニ捲キ去ラントスル一刹那彼ノ波止露出シ茲ニ之ヲ防止シテ纜力ニ一村ヲ全フルコトヲ得タリト云フ於此兼山ガ施設ノ永遠ニ造ヒ其當ヲ得タルヲ証スルニ足ル」

②「實ニ二技術者千歳ノ榮辱ハ懸テ設計ノ上ニ在リ之カ用意ノ慎重遠圖ヲ要スル亦タ以テ了スヘキナリ」。

①「忘れられていた波止(防波堤)が津波から村を救った。野中兼山の施設が永遠に効果を発揮した。」

②「技術者が千年にもわたって問われ続ける當れと専めとは、設計の立てかたにかかっているのである。そのための用意は、よく行きとどいて、遠大なばかりでなければならぬ。よろしく措るべきである」。

小樽港ゆかりの人物

廣井 勇 小樽港事務所長

小樽港に於ける小樽港事務所長としての功績は、小樽港の発展に大きく貢献した。その功績は、小樽港の発展に大きく貢献した。その功績は、小樽港の発展に大きく貢献した。

伊藤長右衛門 小樽港事務所長

小樽港に於ける小樽港事務所長としての功績は、小樽港の発展に大きく貢献した。その功績は、小樽港の発展に大きく貢献した。

小樽港建設の歴史を語る

小樽港事務所

みなとの資料コーナー

資料のご覧、ご質問を承ります。お気軽にご相談ください。

〒057-0801 北海道小樽市小樽港事務所
 小樽港事務所 小樽港事務所
 小樽港事務所 TEL: 0142-218-6111 FAX: 0142-218-1847

1. はじめに

姫路城は池田輝政の手により慶長6年(1601)に着手され、9年の歳月を費やし慶長14年(1609)年に完成しました。平成21年は姫路城完成後400年の節目の年に当り、大天守においては「昭和の大修理」以後、初の本格的な保存修理工事に着手したところです。姫路城には大天守を含め国宝8棟、重要文化財74棟、合計82棟が現存しており、これらの建造物については毎年城内いずれかの箇所において保存修理を行っています。本稿では「姫路城の日頃のメンテナンス」と題して文化財建造物の維持修繕についてご紹介します。



2. 「昭和の大修理」とそれ以前の修理

慶長14年に完成した大天守は現在までの間に度重なる修理が行われてきました。現在の天守台にはもともと秀吉が築いた三層の天守があり、輝政はその上に版築で2mほど盛土を行い現在の5層の大天守を築きました。このためか築城中に大天守の重量に起因すると思われる地盤沈下が起こっていました。竣工後15年を経た寛永3年(1627)には、一重軒に方杖を挿入する修理を行い、その30年後の明暦2年(1655)には心柱の根継、床面の不陸調整、土台取替え、梁下に添え柱・支柱を挿入するといった修理を行っています。以降、享和2年(1802)までの約200年間は不同沈下と重量に起因するとみられる構造補強を行っており、古文書に記載されているだけで22回を数えます。その後、文化5年(1808)から文久元年(1861)までの54年間に屋根修理の記録が9回残されています。明治期に入ると大天守は東南方向に大きく傾き、各部材の腐朽や老朽化も進んでいたようです。明治43、44年(1900, 1901)に一重軒が崩落したのを契機にこの部分の修理を行った上、傾斜の進行を止めようと各階全ての壁面に筋違が挿入されました。

いわゆる「昭和の大修理」は、大天守については昭和31年に着手されましたが、その他の建造物はこれより20年早い昭和10年から始まりました。前年の昭和9年6月20日の昼過ぎに連日の豪雨のために、西の丸の渡櫓からヲの櫓にかけて石垣が櫓もろとも崩壊する事故がありました。これがそもそも「昭和の大修理」の発端となったのです。以降大天守の修理が完了する昭和39年まで30年に渉る工事が挙行されました。(戦時中昭和19年から26年まで中断) この修理において、ほぼ全ての建造物は一旦全てをばらして組立て直す全解体修理が行われました。

3. 「昭和の大修理」以降の修理

昭和39年3月大修理完了後、昭和49年までは傷んだ箇所が現れたその都度に修理を行っていましたが、今日のように毎年継続的に修理(メンテナンス)が行われるようになったのは昭和50年からのこととなります。「昭和の大修理」初期に工事を終えた建造物ではすでに40年程度経過していますので、継続的な修理が必要になったものです。修理の内容は、破損瓦の差替えや屋根目地・壁漆喰塗替えなどの左官工事が主なものでした。

4. 計画的な保存修理～「平成中期保存修理計画」～

平成5年の世界文化遺産登録を契機とし、平成6年度から平成34年度まで29年に及ぶ「姫路城平成中期保存修理計画」が策定されました。この計画は、昭和の大修理以後の8期19年続いた保存修理を総点検し、新たに「世界の姫路城」としての役割を視野に入れ、「平成中期保存修理計画」として作成されたものです。この計画のうち、平成10年度までの5カ年は、現況破損調査により至急に修理を要する箇所を計画し、平成11年度以降は前回の修理年次を基本に、破損進行度を考慮し計画しています。計画の対象は大天守を除く81棟で、総事業費11億弱となっています。(大天守は別途、修理後50年程度で検討することとなっている) 毎年2～3棟ずつ、予算3～4千万程度の工事で7月頃に着工し3月末に完了しています。

5. 「平成中期保存修理計画」期間の意味

29年という計画期間に大切な意味があります。一つは建物が大きく破損する前に修理が行えることにあります。外壁下部の雨掛かりの激しいところは、漆喰と下地の土壁が剥離し、漆喰壁が剥落してしまうことが起こります。これは、外壁漆喰が石垣または地面まで塗られているため水分を吸込みやすい構造になっていることが大きな原因と考えています。またこの部分は跳ね水によって汚れやすく、黒カビも発生しやすいこともあり、漆喰の劣化に拍車をかけている要因にもなっています。条件の悪いところでは30年を待たず漆喰が剥落してしまう箇所もありますが、概ね30年が部分的に漆喰を塗り替える目安となります。この計画は、国庫補助を得て行っていますが、別途数百万円の市費を投入し小さな修理に対応しています。

二つ目は、修理工事を継続的に発注していくことにあります。これには伝統技術の保存継承という重要な意味があります。特に姫路城の場合は漆喰総塗籠造のうえ、屋根目地(丸瓦や熨斗瓦の継ぎ目)まで漆喰を塗っています。大壁や軒揚、屋根目地を塗ることに高度な左官技術が必要ですが、屋根の妻側の破風や懸魚、鰭、六葉など細かな細工を必要とする箇所も多々あり、さらに繊細で洗練された技術が要求されます。昨今、一般建築で漆喰を用いる湿式の工法は工期や経費面で敬遠され、左官工事が減少し職人が急激に減りつつあるとも聞きます。このような先細りの状況の中で、伝統技法を継承していくためには左官工事を継続的に提供していくことが重要になってきます。

この計画が終わる頃には初期に修理した箇所が悪くなっていることになり、修理はエンドレスで続けていくことが可能です。大きく傷まないうちに修理を行うことができ伝統技法も継承していくことができます。

6. 工事概要と修理周期

先にも少しふれましたが、工事の主な内容は、外壁・軒揚と屋根目地の漆喰塗替えです。屋根目地漆喰は全面塗替えています。外壁は石垣上端・地面から1m程度の範囲はほぼ全面、それ以外は部分的な塗替えとなっています。軒揚についてもごく一部の塗替えにとどまっています。屋根瓦は破損した物のみ取替えます。まれに雨漏りしている箇所が見つかりますが、その場合は、少しずつ瓦を剥いで、木部まで影響を及ぼしている最小範囲の野地、土居葺などの取替えと瓦の葺直しをしています。

文化財建造物の修理周期ですが、全ての構造材の解体を必要とするものを大修理、同じく半解体を必要とするようなものを中修理、前記2者には及ばない小修理と分けた場合には昭和の修理以降現在行っている修理は小修理に当てはまります。一般的な文化財建造物の修理サイクルを当てはめると次回の大修理は250年～300年後(初回350年の7～8割程度先)と予測されます。大修理～小修理～(小修理)～中修理～小修理～(小修理)～大修理といったサイクルが考えられます。

7. 漆喰材料の確保

姫路城の漆喰材料は、消石灰、貝灰、砂、スサ、角又(銀杏草)などを主原料とし練り上げます。貝灰や角又(銀杏草)は一般的にあまり馴染のない材料だと思います。貝灰は赤貝や牡蠣殻などを焼き粉末化したもので、角又(銀杏草)は海草の一種でこれを釜で焚き糊を作ります。貝灰や角又などはほとんど需要がなく、貝灰の製造は九州で1社、角又の販売も1社のみといった状況で、将来いつまで入手できるのか危惧されます。