

廣井ブリケットについて

ON THE HIROI BRIQUETTES

林誉命¹・佐々木秀郎²・浅田英祺³
Takanori HAYASHI, Hideo SASAKI and Hideki ASADA

¹工修 北海道開発局 小樽港湾事務所 (〒047-0008 小樽市築港2番2号)

²正会員 北海道開発局 港湾空港部 (〒060-8511 札幌市北区北8条西2丁目)

³正会員 北海道総合研究所長兼旭川大学経済学部講師 (〒069-0853 江別市大麻高町19-4)

During construction of the north breakwater of the port of Otaru, Dr. HIROI conducted tensile strength tests using various types of mortar briquettes. This paper presents material research conducted concerning these tests Dr. HIROI conducted, as well as clarifies the background, place of commencement, purpose and period of testing. We also began to investigate the size, characters on the surface and markings of all the HIROI briquettes (mortar briquettes produced under the guidance of Dr. HIROI) kept at the Otaru Port and Harbour Office. This paper reports on an overview of a comprehensive study concerning the briquette, which was initiated to clarify the details of the tests conducted under the guidance of Dr. HIROI.

Key Words : Dr.Isami HIROI, the HIROI briquettes, Long-time tests of Portland cement , tensile strength test , sea water resistance , volcanic ash

1. はじめに

建設から100年を経過した小樽港北防波堤は、現在でも第1線防波堤として機能し続けている。本防波堤(延長1,542m)のうち延長1,289mの部分は、初代小樽築港事務所長廣井勇博士の指揮の下、1897年(明治30年)から11年の歳月を費やして建設された。当時、国内外において港湾に用いたコンクリートが崩壊する事件があり、コンクリートを海水工事に用いることには賛否両論が存在することになった。このような状況の下、廣井博士は防波堤工事の主要な材料としてセメントを用いるための各種試験を実施した。防波堤に用いることの出来るコンクリート製造方法を確立するとともに、その長期耐久性の確認を目的としたものと、みなされていて、試験結果の概要は、各種報文や論文に残されている。また、試験に用いられた廣井ブリケット(廣井博士の指導で製造された各種試験用のモルタルブリケット、写真-1)の一部が現在も小樽港湾事務所に保存されている。

しかしながら、現在でも有名な抗張力試験について検討してみると、その目的・内容・方法・結果に

ついてすら、確かな評価基準を確認できない事項が多く、中には事実誤認としか判断できない事項、事例が存在する。更に現存するブリケット自体についても不明な点が存在する。

本稿は、抗張力試験を中心に、廣井博士の指導の下で実施されてきたセメント試験の全容を明らかにするため開始した文献及び廣井ブリケット等の第一次調査の概要を報告するものである。

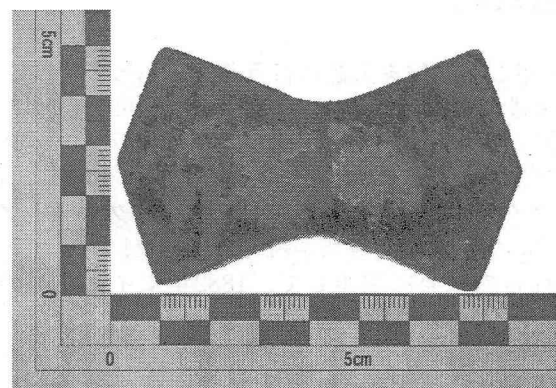


写真-1 廣井ブリケット

2. 調査方法

(1) 文献調査

廣井博士は、セメント試験の方法および結果を「函館港湾調査報文」¹⁾、「小樽港湾調査報文」²⁾、「函館港改良工事報文」³⁾、「小樽築港工事報文前編」⁴⁾(写真-2)に記載したほか、抗張力試験の結果を基に海洋工事に用いられるセメントの挙動に関する論文を米国土木学会誌および東京帝国大学研究紀要に発表している。これらの文献を基に廣井博士が実施したセメントに関する試験の目的・内容・方法・結果について調査を開始した。

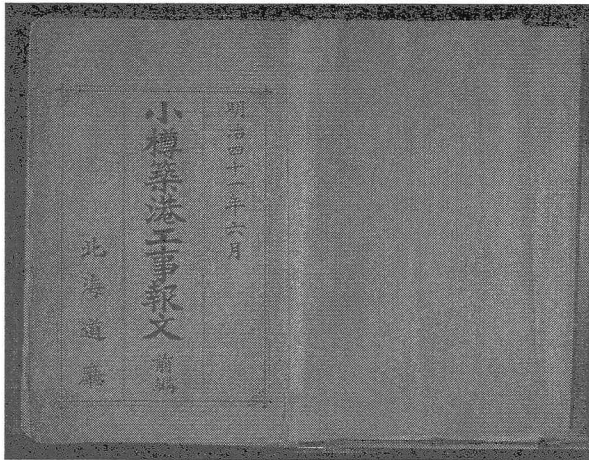


写真-2 小樽築港工事報文 前編
(小樽港湾事務所所蔵)

(2) 小樽港湾事務所保管廣井ブリケット調査

現存する廣井ブリケット表面にはおおむね製造年月日が記載されており、その製造年月日別に空気中及び淡水、海水に浸された状態に分類して保管している。また、製造年月日の識別が出来ないブリケットも、まとめて保管されている。これらのブリケットを管理するとともに今後詳細な調査を実施するため、全数に個別の識別番号を付与して写真撮影を行い、ブリケットの寸法(長さ、厚み、幅)および表面に記載されている事項の記録をした台帳の作成に着手した。

3. 調査結果

(1) セメント試験を入念に行う必要があった背景

小樽港北防波堤の建設が開始される1897年(明治30年)以前に、ロシアのオデッサ港、オランダのアムイデン港、イギリスのアバディーン、フランスのマルセイユ等で海水中に用いられたコンクリートブロックの亀裂・崩壊現象が続発していた。⁵⁾⁶⁾

これらの現象に関連して、1882年にイギリスのHenry Faijaは「海水中の塩類がセメントに及ぼす有害な作用」について発表し⁷⁾、また、1897年にドイツのWilhelm Michaelisは「石灰を多く含むポルトランドセメントは海洋工事に適さない」と発表す

るなど⁸⁾、主に欧州において、セメントに及ぼす海水の有害な作用が注目されていた。

一方、国内においては、1878年(明治11年)起工の野蒜港工事、また、1889年(明治22年)に着手した横濱築港工事においても、海水がセメントに悪影響を及ぼしたのではないかと強い疑念を抱かせた事例が発生した。⁵⁾⁶⁾⁹⁾横濱築港工事は英国人技師団の指揮のもと実施されたが、1892年(明治25年)に1700個余りのコンクリートブロックに亀裂が生じる事件が発生したからである。この事件は、ただちに帝国議会でも取りあげられ政界をまきこむ大問題に発展した。

また、日本では1875年(明治8年)に初めてセメント製造が開始されたばかりで、セメント会社によっては、その生産量・品質ともに問題があった。¹⁰⁾

築港工事を成功させるためには、海水に耐えうるコンクリートの配合・施工方法を確立するうえで有効な原理の究明にとどまらず、日本製セメントを使用するさいの阻害要因となっていた、セメントの品質を実際の現場において判定するための試験方法を曲りなりにも確立する必要があったのである。

(2) 抗張力試験の目的

廣井博士が用いたセメント試験法は、セメント成分、乾燥期間、粉末度、凝結開始時間、凝結時の形状及び体積変化に加え、モルタルブリケットの抗張力試験を加えた6項目の試験である。

いずれも、海水のセメントに及ぼす影響を長期的に把握するために実施された各段にわたる試験であるが、廣井博士の論文において使用されているデータは抗張力試験の結果が中心である。

抗張力試験の目的は、廣井博士の著書「築港巻之一(初版)」⁵⁾から読みとることができる。

海水のセメントに及ぼす作用は、数年来、専門家の苦心研究を重ねるにも拘わらず、未だ十分なる成績を得ざる所以のものは他なし。

試験の数年に亘らざるを得ざるを以てなり。著者もまた、函館及び小樽において50年に亘るべき試験を施しおれり。これが結果によりては、重ねて本問題に付報することあるべし。

また、1913年の米国土木学会誌に掲載された「On Long-Time Tests of Portland Cement」¹¹⁾では、「港湾工事に用いるコンクリートブロック施工の信頼性を増すため、強度に影響を及ぼすと思われる重要なポイントを全て含んだ試験をおこなった。」との記述がある。海水のセメントに及ぼす作用を広範囲にわたって調べることを目的とした試験を組織したのである。

(3) 抗張力試験目標期間

現在も小樽港湾事務所には製造日から100年を経過したブリケットが保存されている。「廣井博士が

小樽港で行った長期試験」といえば、「100年間にわたる試験」との誤解が一部に根強く存在する。

しかしながら、「築港卷之一」における記述内容から判断しても、また、「On Long-Time Tests of Portland Cement」¹¹⁾における「15年以上前に港湾工事に用いられるセメントの挙動に関する一連の実験を開始し、耐久試験は50年以上に亘ることを意図している」との記述から、函館・小樽で行われていた試験の目標期間は100年ではなく50年であったことを再確認できた。

(4) 抗張力試験開始場所

次に、廣井博士が小樽港で開始したと称されてきた長期間にわたる抗張力試験の開始場所について検討したところ、「函館港湾調査報文」(1894年(明治27年))には、函館港湾改良工事並びに砲台先埋立その他附帯工事に使用するポルトランドセメントの適否を定める試験の記録が記載されていた。そればかりか、抗張力試験の試験方法が詳細に記載されている。

「小樽港湾調査報文」(1896年(明治29年))には、小樽港の修築工事に先立って実施された試験工事について記載されている。この試験工事の試験項目の一つに「コンクリートブロックの耐海水質」があり、その試験方法は、函館港湾調査の際に定めた方法によったことが記述されている。

これらのことと3(2)に引用した記述より、セメントの耐海水性に関する試験は、小樽からではなく、函館で開始されたこと、その後、同じシリーズの試験が小樽においても開始されたとことが明らかになった。

(5) 抗張力試験内容

函館及び小樽で行われた耐海水性に関する一連の試験の内容について以下に取りまとめる。

表-1 調査報文における試験条件

	函館港湾調査報文	小樽港湾調査報文
配合	セメント1：砂3	
セメント種類	上磯セメント	上磯セメント 浅野セメント 山口セメント
浸水日数	1, 4週間	1, 4, 8, 15週間
浸水状態	淡水, 海水	

表-1は「函館港湾調査報文」及び「小樽港湾調査報文」に記載されている抗張力試験の条件を示している。函館及び小樽ともに函館港湾調査で定めた試験方法で、それぞれのセメントの抗張力試験を実施し、セメントの基本的性能を確認している。

函館港改良工事及び小樽築港工事の際には、セメントの性質試験のほかに、様々な条件で抗張力試験を実施している。

表-2は「函館港改良工事報文」及び「小樽築港工事報文」に記載されている抗張力試験の試験条件を

まとめたものである。試験条件は多岐にわたり、実際に施工する際に問題になる配合、施工方法及び施工時期の違いによる影響、並びに混和材の混用による効果を検証する応用的な試験が行われている。

これらのことから、廣井博士は工事着手前に発達途上にあった製造法による日本製セメントの品質を確認することによって工事に使用出来るセメントを選定し、工事着手後は実際の工事で課題となった事項、新しい知見などの内外情報を現地で確認しながら、実際の工事に活用していったようである。

表-2 工事報文における試験条件

函館港改良工事報文	小樽築港工事報文
・製作方法(搗固法, 練込法) ・混和砂の粒径	・製作方法(搗固法, 練込法) ・混和砂の粒径及び浸水状態(空中, 淡水中, 海水中) ・混和砂の量
・混和砂の量及び混和水(淡水, 海水)	
・浸水状態(空中, 淡水中, 海水中)及び時間 ・練込場所(空中, 淡水中, 海水中) ・混和水の量 ・混和水(淡水, 海水)及び浸水状態(空中, 淡水中, 海水中) ・浚渫粘土の混用 ・少量粘土の混用 ・純セメントへの粘土の混用 ・製作時期(10月, 2月)	・セメント(浅野, 北海道) ・火山灰混用 ・火山灰混用及び浸水状態(淡水中, 海水中) ・火山灰及び石灰の混用

(6) 火山灰の使用

「小樽築港工事報文」においてセメントに混ぜる材料として火山灰の記載がある。「小樽港のセメント試験は、火山灰を混ぜるために行われた。」との見方も一部に存在するが、火山灰を用いた試験は小樽港の試験とは別のシリーズで企画されたもののようであり、さらに基本データの収集が必要である。

火山灰の使用はセメントの耐海水性が向上する効果があるとされ、ドイツのミハエリスにより唱道されていたが、1898年にシルト島で実施された試験によりその有効性が証明された。これを受け、廣井博士は、小樽築港工事においても火山灰使用に向けた試験を開始したのであろう。1902年(明治35年)に実際の工事に使用することを決定している。

火山灰の使用は、欧州では既に研究されていたが、防波堤のような重要構造物の工事に使用されるのは小樽築港工事が世界で初めてのところみであった。またその効果は、耐海水性の向上にとどまらず、セメントの代替品として使用するために、工費を抑制することが可能となった。

火山灰の使用を通じて、廣井博士が工学上未解明とされる国際的な課題に取り組む姿勢を垣間見ることができる。耐海水性の向上という国際的な課題に対し、その所在の在りかを含めて、ドイツ、イギリ

ス、フランス等の技術の情報収集に余念がなく、入手した著作、論文をもとに、各種の追試を自ら企画し、自ら徹底的に分析している。小樽築港工事の技術水準を国際水準のまま維持するうえで、また、工費節約技術の導入による経済的効果をもたらした有力な要因にあげられよう。

(7) 試験に用いられたブリケット

ブリケットとは、英語で「小さい煉瓦」という意味で、ここでは抗張力試験に供試するものの異称である。工学会誌第115巻セメント試験法¹²⁾によると、写真-3のブリケットはドイツで使用されていたものである。形状がひょうたんに似ていることから「ひょうたん型」と呼ばれてきた。

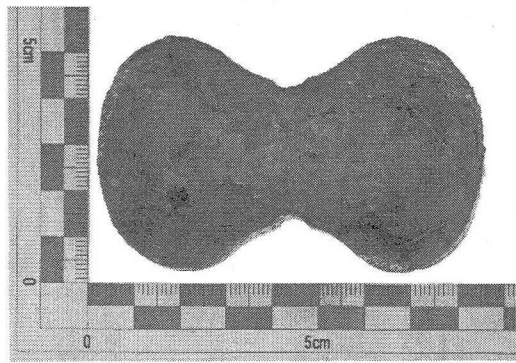


写真-3 ひょうたん型ブリケット

ドイツ式のブリケットの実験には重秤桿式（ダブルリーバー）の試験機械を用いることが多く、両側から引っ張ることによって破断した時の荷重を破断した面積で除することにより抗張力を計測するものである。

現在、小樽港湾事務所にはこのひょうたん型ブリケットが約4000個現存している。このブリケットの表面に記載されている製造年月日のうち最も古いと判断されるものは1899年(明治32年)7月18日のもので、100年以上前のものである。

一方、廣井博士が使用したものとしては、ひょうたん型ブリケットとは別タイプのイギリスで主に用いられた剣菱型(写真-1)が知られており、実験機械も全く別種である。この形状はイギリスのグラント氏によって考案されたものとされ、紋所の剣菱に形状が似ていることから、ひょうたん型に対し、剣菱型と呼ばれている。剣菱型ブリケットも、ひょうたん型同様に空气中、淡水中、海水中に分類されて保管されており、約140個存在する。剣菱型に記載されている製造年月日は1897年(明治30年)10月から1898年(明治31年)4月6日までで、現存するひょうたん型のうち製造年月日が明らかなものよりも全て古いものになっている。

ブリケットの形状によって、試験の結果が異なることは、工学会誌第115巻セメント試験法においても記述されており、この2種類のそれぞれ導入経緯などは、今後の精査が必要であろう。

小樽港湾事務所において2種類のブリケットが現存しているが、廣井博士は論文ないし著述に使用したブリケットの形状等について特段の記述はしていない。「函館港湾調査報文」によると、「切断した断面は全て1平方インチ（約6.45平方センチ）であった」との記述があるのみである。

小樽港湾事務所に現存するブリケットのうち形状変化の見られない空气中保存のもので、製造年月日の古いものからひょうたん型47個、剣菱型35個のものについてくびれ部分の幅及び厚さの計測値から断面積を算出した。その結果、どちらもある程度のばらつきはあるものの、1平方インチより若干大きかった。当時のブリケット製作に用いられた型枠や実験器具も遺されていないため、この大きさだけでは有意な結論は得られない。

廣井博士はセメントの品質試験及び耐海水性に関する試験を前述のとおり多数実施した。それらの試験には複数のセメント、砂、火山灰などが使用されている。

また、先のブリケット表面に記載されている文字を調査した結果、製造年月日のほかにセメントや砂の種類を表すと考えられる記号が記載されていた(写真-4)。

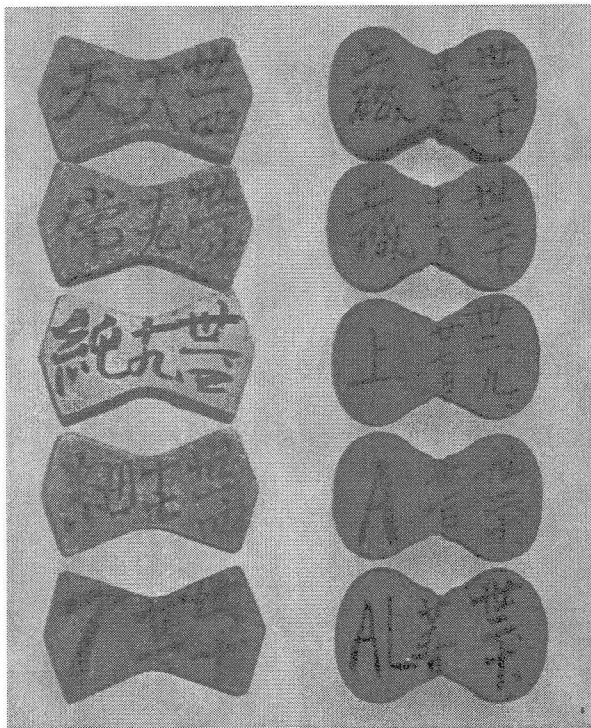


写真-4 廣井ブリケットの記載文字

表-3 ブリケット形状別の記載文字

形 状	ひょうたん型	剣菱型
記載文字	上, 上磯, A, AL	A, 1, 7, 純, 天, 常, 細
セメント種類	上, 上磯, A, AL	A
砂の種類		天, 常, 細
配合		純
不明		1, 7

表-3はブリケットに記載されている製造年月日以外の文字を形状別にまとめたものである。ひょうた

ん型のものには「上」，「上磯」，「A」，「AL」が記載されており，剣菱型のものには「A」に加え「1」，「7」並びに「純」，「天」，「常」，「細」という文字が記載されていた．また，1898年（明治31年）製の剣菱型については「1」または「7」の記号はなく，「純」，「天」，「常」，「細」が記載されていた．これらの記号は，廣井博士がまとめた試験結果のグラフの凡例などから判断すると，表-4に示す内容を表していると考えられる．

表-4 記号の表す意味

記 号	意 味
上，上磯	函館上磯産の北海道セメント
A	浅野セメント
AL	アルゼンセメント
純	純セメント
天	小樽地方の天然砂
常	函館地方大森産の砂，一定粒径
細	函館地方大森産の砂，一定粒径以下
1， 7	不明

これらのセメント及び砂を表す記号は，小樽築港工事の際に行われたセメント試験に用いられた材料と一致している．

(8) 試験結果

小樽港湾事務所ではブリケットの他に，試験結果が記録されていると考えられる「長期試験成績表」が全部で5冊現存している．これは，製造年月日毎に「配合及び材料の種別」，「保存方法」，「備考」，「記事」等が記載されており，重要な情報が含まれている可能性がある．

しかしながら「長期試験成績表」は，いつ，誰が，どのようなルールに従って記録したものなのか，不明な点が多く，今後詳細な検討が必要である．

廣井博士が始めた耐海水性に関するセメントの長期試験結果は，廣井博士が米国土木学会，東京帝国大学紀要などで中間報告している（図-1及び図-2）．

4. まとめ

廣井博士は函館港改良工事及び小樽築港工事を担当するに当たって，それ以前に国内で起きた外国人技術者の指揮による築港工事での失敗事例，国内外で発生した海水中に使用されたコンクリートの異状から，「セメントに対する海水の作用を知ること」，「セメントの品質向上」及び「確実な施工方法の確立」を課題と捉えた．これらの課題に対し，徹底的な事例分析と課題試験を組織することによって，懸念された海水中でのコンクリートの使用に関して，適切な配合・施工によって製造されたものは十分に耐えられることを証明しようと努力した．

このように，綿密な計画で実施された廣井博士の実験ではあるが，廣井博士は室内試験の限界をこう述べている．

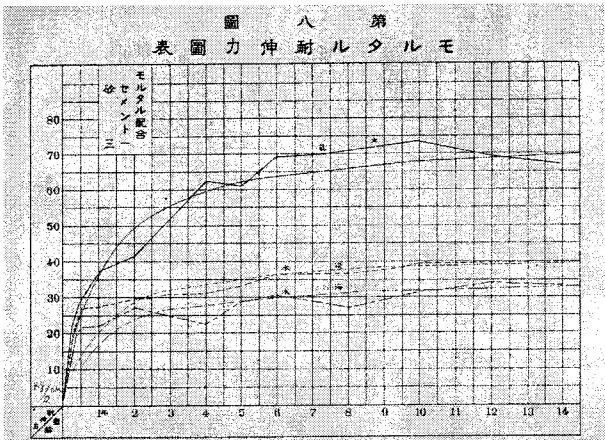


図-1 モルタル耐伸力図表
（廣井勇制作：「實用セメント學」42頁より掲載）

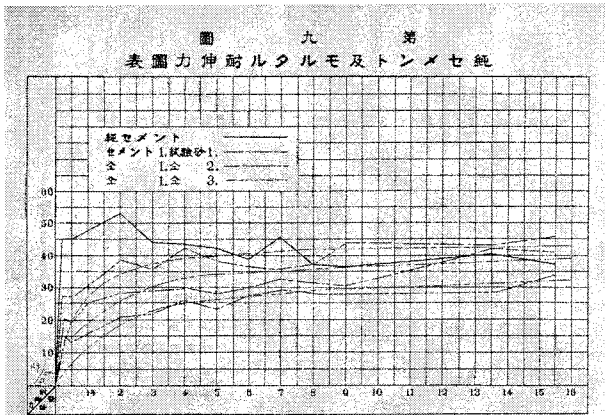


図-2 純セメント及モルタル耐伸力図表
（廣井勇制作：「實用セメント學」42頁より掲載）

「筆者は過去10年に亘り，12,000個以上の様々な大きさ，配合のコンクリートブロックを港湾工事に用いてきた．それらには，少しも破壊の兆候は見あたらない．かえって，動植物・ミネラル成分によってブロック表面がコーティングされ絶え間ない海象作用から身を守られているようである．自然によって，どちらかといえばひ弱な人工岩石に与えられたこの防護機能は，適切に作られれば使用材料の骨材である岩石と同様に長らえるということは，室内試験では知り得ない．」¹³⁾（和訳：安彦和之，栗田悟，浅田英祺）

参考・引用文献

- 1) 北海道廳：函館港灣調査報文，1894年12月．
- 2) 北海道廳：小樽港灣調査報文，1896年3月．
- 3) 北海道廳：函館港改良工事報文，1899年7月．
- 4) 北海道廳：小樽築港工事報文 前編，1908年7月．
- 5) 廣井勇：築港 卷之一，工學書院，1898年8月．
- 6) 廣井勇：日本築港史，丸善株式會社，1927年5月．
- 7) Henry Faija : Result of Experiments with Portland Cement gauged with Sea and Fresh Water under different conditions, Minutes of Proceedings The Institution of Civil Engineers, Vol.67, pp.350-

352,1882.

- 8) Wilhelm Michaelis : The Action of Sea-Water upon Hydraulic Cements, *Minutes of Proceedings The Institution of Civil Engineers*, Vol.129, pp.328, 1897.
- 9) 横濱築港工事用材料混凝土塊調査委員：横濱築港工事用材料混凝土塊調査報告書，工學會誌，第149巻，pp. 215-218, 1894年5月.
- 10) 田村浩一，近藤時夫：コンクリートの歴史＜ I 設計編 II 材料施工編＞，山海堂，pp. 225-226, 1984年7月.
- 11) HIROII : On Long-Time Tests of Portland Cement, *American Society Engineers Transactions* , pp.1027-1028, 1913.
- 12) 石橋絢彦：ポルトランド，セメント試験法，工學會誌，第115巻，pp. 469-470, 1891年7月.
- 13) HIROII : The Preparation and Use of Concrete Blocks for Harbour Works, *American Society Engineers Transactions*, pp.212, 1904.