

V-23 91年経過した小樽港モルタル供試体の試験結果

北海道開発局土木試験所 岡村 武
大橋 猛
根本任宏

1. まえがき

コンクリート構造物は、一般に永久構造物であると認識されていた。しかし近年コンクリート構造物の劣化、損傷が大きな社会問題となつて、これらに関する多くの研究報告がなされている。一方、明治、大正、昭和初期に構築され、現在も十分その機能を果している構造物も多い。小樽港の防波堤は、第1期工事の北堤が明治30年(1897)工事に着手し同41年(1908)に完工し、第2期工事の南堤は明治41年(1908)から大正10年(1921)において構築されている。小樽港は工事に着手してから90年の歳月を経過した現在も、なお防波堤としての機能を全く損うことなく供用されている。本報告は、小樽築港防波堤工事に関して、明治29年より昭和12年に至る長期間に製作された約6万個といわれるモルタル供試体の一部について、経時の変化を調べたものである。

2. 工事概要

小樽築港工事報文によれば、明治4年開拓使本庁が札幌に置かれて、小樽を海陸運輸の拠点と定め小樽、札幌間に道路、鉄道を敷設し手宮に棧橋を架設し船入場を構築したことにより小樽港は海陸産物運輸の要港として隆盛を示すに至った。しかし小樽港は湾口が広く北西風による波浪は激烈を極め停泊中の船舶をはじめ陸上の家屋、道路などを破壊する被害がしばしば生じ、それによる損失は非常に大きなものであった。明治25年小樽港の重要性を確認し修築の必要を認められて、同27年より防波堤工事に対する調査を始め30年に第1期工事が着手されている。防波堤の概要を表-1に示す。

3. 使用材料

表-1 防波堤工事概要

	第一期北堤	第二期南堤外
施 工 年 次	明治30～40年	明治41～大正10年
防波堤延長 (m)	1 2 8 9	2 2 6 6
総事業費 (円)	2 1 8 9 0 6 6	5 0 8 0 3 9 6
コンクリート総量 (m ³)	8 3 7 0 0	1 7 3 8 0 0
セメント (t)	2 2 5 0 0	3 3 2 0 0

防波堤工事に用いられたセメントは、殆んど浅野セメントであるが、着手時は国内セメントが払底の折で、やむなく外国製品を輸入し用いられている。明治33年以後は、すべて国内産が用いられている。モルタル供試体については、当時セメントの試験規格がなく、特に海中工事に用いるセメントについて明治27年横浜築港工事での亀裂発生の事例から十分な予備試験の必要を感じて各種のセメントについて試験を実施するようになった。細骨材は天然砂、試験砂、細砂、並砂の4種類を用いている。また海中工事に適質の火山灰を混入することにより、耐久性が向上するとして明治35年より道内外の火山灰を用いて多数のモルタル試験を実施している。セメントの種類と条件分類数を表-2に、細骨材の規格を表-3、火山灰の種類と条件分類数を表-4に示す。

表-2 セメントの種類と分類

セメントの種類	条 件 分類数	セメントの種類	条 件 分類数
浅 野	3 5 5	アルゼン	1 0
北海道	5 4	土 佐	6
小野田	1 6	磐 城	5
水硬石灰	1 2	浅野ペロ	4
八幡高炉	1 1		

表-3 細骨材の分類

天然砂	海浜において採取した天然のままの砂
試験砂	天然砂の中の1cm ² に60網目を有するフルイを通過し220網目に止まるもの
細 砂	天然砂の中の225網目を通るもの
並 砂	試験砂と細の中間にあたるもの

表-4 火山灰の種類と分類

火山灰の種類	条 件 分類数	火山灰の種類	条 件 分類数
熊 雄	7 5	五 島	9
九 州	3 8	札 幌	9
小 樽	3 8	駒ヶ 岳	4
登別 (白)	2 1	登別 (黄)	3
余 市	1 2	唐 津	2

4. 工事用セメントの規格

日本において、最初にセメント試験方法が公式に制定されたのは、明治38年2月の農商務省告示第35号による「ポルトランドセメント」試験方法である。小樽港の工事に着手した当時においては、諸外国における試験方法が幾多見られたが、特にドイツ政府の規定を参考に「小樽築港用セメント試験法」を作成し、セメント10樽（1樽170kg以上）から50樽ごとに試験を実施している。その規格は次の通りである。

「イ）粉末の程度 セメントは、 1cm^2 に900網目（線径0.127mm）のフルイを通過し、その残留は全量の10%を超過すべからず。

ロ）礫 土 セメントは、礫土8%以上を含有すべからず。

ハ）不溶解物 セメントは、不溶解物3%以上を含有すべからず。

ニ）凝結時間 セメントは、混和後1時間以内に凝結を始むべからず。

ホ）形 積 セメントは、凝結するにおよび、これが形積を変すべからず。

ヘ）凝集力 セメント1砂3の配合にて造りたる供試体の抗張力は1週間を経て 1cm^2 に9kg以上に達し暫次増加して4週間後において12kgを下るべからず。ただし抗張力の増加は2kg以上たるべし。」小樽港では、この規格に対して全項目又は一部について適宜実施することとしているが、イ）～ホ）の項目について試験記録は、ほとんど見当たらない。本報告ではモルタル供試体のみについて配合推定、塩分量、中性化、および抗張力強度の経時変化について検討してみた。なお、モルタル供試体の成形方法は次のとおりである。「凝集力はセメント1試験砂3（重量）の配合にて混和し、水凡そ10%を入れ能く攪拌し型枠に充実し重量凡そ800gの泥鰯にて押し且つたき水のやや上面に顯れるまで詰め込み型に倣い切り均し此の如くにして供試体10個を作り函中に囲い置き24時間を経て海水に浸し5個を1週間の後に残り5個を4週間の後に試験し上位4個の平均を取り当該凝集力とす。」

5. モルタルの配合推定

試験は、セメント協会コンクリート専門委員会報告F-18「硬化コンクリートの配合推定」に示されている方法に準じて行った。セメントおよび骨材のCaO並びに不溶残分を仮定して求めた配合推定試験結果を表-5に示した。これによるとセメント量は、 $427\sim498\text{ kg/m}^3$ 、砂（絶乾）は $1180\sim1247\text{ kg/m}^3$ となっている。セメント量に対し水量が多量に推定されたことから、当時のセメントは、粉碎程度が悪く今日に比べると相当に粗いものであって、小樽築港用セメント規格において、 1 cm^2 に900網目およそ0.2mmを90%通過するもので、したがって微粉量も少なく、モルタル内に多数の微小空気が存在しているものと思われる。

表-5 モルタルの配合推定値

番号	単位量 (kg/m^3)		
	セメント	水	砂
1	427	421	1125
2	498	377	1180
3	434	372	1247

6. 塩分量および中性化

硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法により行った塩分量（全塩素によるNaCl換算値）は表-6である。海水養生を継続したモルタルのNo.1および2からは、1.048～1.058%と大量の塩分を検出した。これは海水中的 MgO 、 SO_3 、 Na^+ はモルタルの表層にとどまるのに対し、 Cl^- は深く侵入することによるものと考えられる。また淡水養生のモルタルからも比較的多量な0.258%の塩分が検出されている。中性化試験は、モルタル供試体を縦方向に切断し、その断面にフェノールフタレイン1%溶液を吹付け、中性化部分（無色）、非中性化部分（赤色）との境界線を求めたが、いずれも全面赤色を呈し、中性化は認められなかった。これは、モルタルが水中浸漬されていて、供試体表面が緊密な CaCO_3 および $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 皮膜で被れていたため炭酸化

表-6 塩分量

番号	塩分量 (%)	養生
1	1.058	海水
2	1.048	海水
3	0.258	淡水

の進行が少なかったものと推定される。なお参考までに No. 2、No. 3 のモルタルから表皮を取り除いた試料について PH 測定を行った結果は、No. 2 が $\text{PH} = 11.15$ 、No. 3 は $\text{PH} = 11.46$ であり十分なアルカリ性が保たれていた。

7. 抗張力強度（凝集力）

モルタルの抗張力試験に用いた供試体は、図-1 に示すブリケット状である。供試体成形は小構築港用セメント試験法に準じて行われ、混和水はすべて淡水を用いて、成形時の淡水および室内温度は、 17°C を目標としている。供試体は型枠に充填完了後順次取外し 24 時間後、海水、淡水中に浸漬したものと室内空中放置状態の 3 種類の養生を実施している。全期間に成形されたモルタル供試体は、セメント、砂および火山灰の種別に加え配合、養生の相違など種々の条件に分類されていて、460 種以上の多岐にわたっている。本報告はこれらモルタル供試体の中から、浅野セメントと試験砂の組合せで配合比 1 : 3 について整理してみたものである。海水、淡水、空中養生による抗張力強度と材令の関係を図-2 ~ 5 に示す。

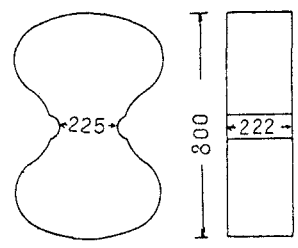


図-1 抗張力供試体 (1/10 mm)

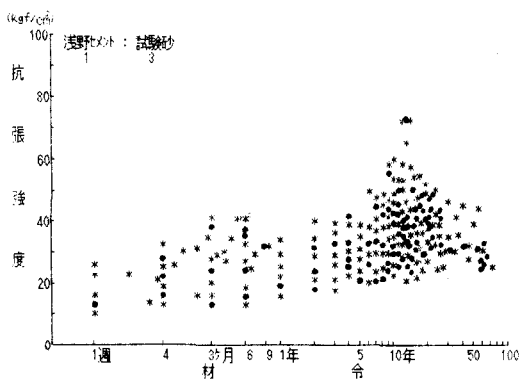


図-2 抗張力強度と材令 (海水養生)

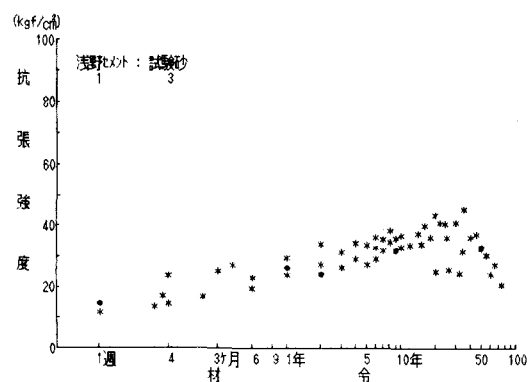


図-3 抗張力強度と材令 (淡水養生)

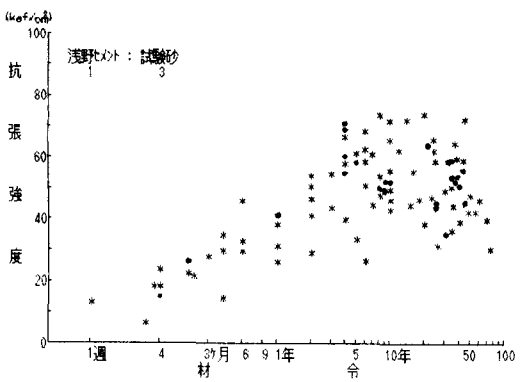


図-4 抗張力強度と材令 (空中養生)

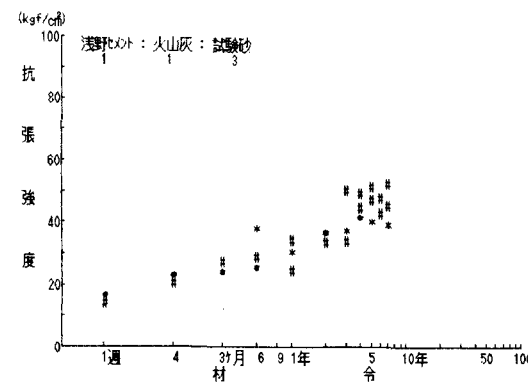


図-5 抗張力強度と材令 (海水養生)

これによると材令ごとの強度差が大きくとくに海水養生（図-2）、空中養生（図-4）のバラツキが大きい。これについては、イ）供試体の成形は、冬期、夏期をとおして年間の全期間にわたっていたため、養生温度に違いが生じ、その影響により強度発現性状が異なっている。ロ）供試体の填充は、手詰方法であり、仕事量に個人差が生じる。ハ）強度値の算出は供試体の実測断面積を測定せず型枠の最少断面積による換算表を用いている。しかし脱型後の供試体は上面が不均一な盛り上がり呈示していて、それぞれの断面寸法が異なっている。其他、砂の乾燥状態など不確定な要素が含まれていてバラツキが大きくなったものと考えられる。各材令におけるモルタル供試体の抗張力強度の関係をみると、10年位迄は材令が進むにつれて強さは増加し、以後増進あるいは停滞か判然としない時期を経て50年位より減少する傾向を示す。一般にモルタル及びコンクリートは、水分が十分に補給される環境においては、その水和過程は相当長期間続くものと考えられるので、強さの減少が以後どの様に推移していくのか興味が大きい。海中工事においてセメントに火山灰を混入するとコンクリートの耐久性が増大することに着目してモルタル供試体によって多くの試験を実施している。図-5は試験結果の一部を示したものである。これによると材令の進行による強さの増加は、火山灰無混入よりも顕著であって、混合セメントの特徴が見られる。海水、淡水、空中の各養生と抗張力強度について、単純平均を図示すると図-6の通りである。それぞれバラツキが大きいため定量的なことはいえないが、1年位迄は同じ傾向で強さは増加し1年以降において空中の強さの発現が海水、淡水に比しかなり大きい。これについて海水、淡水の養生水が冬期間に凍結したことが影響しているものと思われる。

8. あとがき

今回小樽港におけるモルタル供試体の膨大な試験資料の中から一部について整理して見たが、全般的に試験条件、精度の詳細に不明な部分があり因果関係を究明するに至らず、傾向のみを把握するに止ったが、これを要約すると次の通りである。

- 1) 配合推定試験によるとセメント量の平均 426 kg/m^3 、砂 1184 kg/m^3 で配合比はセメント：砂 = 1：2.8 となる。
- 2) 海水養生において1.05%と大量の塩分が検出され淡水養生においても0.26%の比較的多量の塩分が検出された。
- 3) 海水、淡水に長期間浸漬された供試体において中性化は認められない。またPHも11以上で十分なアルカリ性が保たれていた。
- 4) 抗張力強度はバラツキが大きく定量的なことはいえないが、10年位迄は材令とともに強さは増し50年位より強さは減少する傾向が見られる。セメントに火山灰を混合すると材令の進行による強さの増加は無混入より顕著である。養生において空中が海水、淡水に比し強さの発現が大きい。これについて確たることはいえないが凍結の影響と思われる。最後に工事を担当された広井博士の当時未知の分野といえるセメント、コンクリートに対し実験調査、研究を重ねて当時としては想像を絶する大事業をなしとげ北海道の港湾建設に寄与された功績をたたえとともに労苦を共にわかった先人に深い畏敬を感じるものである。

参考文献

広井 勇	小樽築港工事報文	明治41年 6月
伊藤 長右衛門	〃	大正13年 3月
北海道開発局港湾部	北海道港湾建設史	昭和53年12月

