

小樽港北防波堤

日本第一座外海防波堤位於舊手宮高架棧橋附近，這道混凝土防波堤橫跨石狩灣，綿延 1289 公尺。小樽曾是北海道的航運樞紐港，北面的海岬為這座深水港提供了部分天然防護。然而，到了 19 世紀末期，大量船隻頻繁出入港口，冬季的風暴和惡劣的海況，讓船隻及其裝載的貨物蒙受了越來越多的損失。為了加強港口防護，被譽為「日本土木工程學之父」的廣井勇（1862-1928）於 1897 年開始興建防波堤。

馴服海浪

廣井勇推導出了一個全新的波浪力學公式，用來計算堤壩的最佳高度和角度。防波堤由單體重量介於 14~24 公噸之間的混凝土元件構成。廣井勇認為，按照一定的角度堆疊元件築成斜面，最能夠消解海浪衝擊的力量。最後建成的防波堤，如果單看露出海面的部分，只是一條寬 7.3 公尺的狹窄混凝土長堤，然而在水面下，堤壩朝向外海一側呈階梯狀逐漸向下加寬，將海浪牢牢擋在了海灣之外。

19 世紀時，日本人通常採用類似修築城牆壁壘的方式建造防波堤，將未經切割的大石塊直接堆砌起來，不用砂漿加固。廣井勇引入混凝土，設計出可以嚴密鎖合的建築元件，可以抵禦巨浪衝擊。當時日本國內的混凝土製造業剛剛起步，長崎縣佐世保市和神奈川縣

橫濱市在此之前都曾使用混凝土修建防波堤，但短短幾年後便開始出現裂痕。廣井勇提出在混凝土中加入火山灰以增加耐久性的想法，並試驗製作了總計大約 6 萬件不同成分配比的樣品。

現代土木工程學之父

廣井勇出生於土佐藩（今高知縣）的一個武士家庭，然而隨著 1867 年德川幕府退出歷史舞台，武士階層被廢除，他的家庭也失去了曾經的地位與收入。10 歲時，廣井勇到東京求學，借住在叔父家裡。15 歲前往剛剛起步開發的北海道，入讀札幌農學校。21 歲遠渡美國，先後參與了密西西比河的改造工程和多項鐵路橋梁設計。

在留美 4 年、留德 2 年後，廣井勇回到日本，進入札幌農學校擔任了兩年教授。後來赴東京帝國大學（今東京大學）出任教授。他的學生參與的工程遍佈全球各地，其中包括巴拿馬運河的建設。在長達 20 年的執教生涯中，廣井勇作為顧問在日本各地的建設項目中投注了心血與時間，包括大橋、堤壩，乃至水力發電站建設。小樽港北防波堤建成已逾百年，至今依然保護著港口免受巨浪侵襲。同樣，廣井勇的波浪力學公式直到 1980 年代還在全球各地的港口設計中被廣泛使用。