

海波尔加气混凝土手册

〔日〕 海波尔技术资料编辑委员会

甄文彬 译 相义恭 校

全国建材工业硅酸盐建筑制品专业科技情报网
国家建工总局东北建筑设计院

一九八一年六月

• 内部交流 •

发行：建工总局东北建筑设计院情报室

印刷：建工总局东北建筑设计院印刷厂

定价：1.70元

目 录

第一篇 海波尔

一 绪论.....	1
(一) 概要.....	1
(二) 海波尔的化学反应与结构.....	2
(三) 制造工艺.....	6
(四) 特性.....	6
(五) 产品介绍.....	9
(六) 产品生产标准.....	9
(七) 日本工业标准 (JIS)	17
二 性能.....	23
(一) 容重.....	24
(二) 强度.....	25
(三) 弹塑性.....	27
(四) 吸水导湿性.....	29
(五) 声学性能.....	32
(六) 热工性能.....	33
(七) 透气性.....	35
(八) 耐火性.....	36
(九) 耐久性.....	38
(十) 防射线能力.....	42
(十一) 局部强度.....	43
(十二) 板的强度.....	45
(十三) 安装强度.....	50
(十四) 抗震性.....	55

第二篇 设计部分

三 标准与规范.....	57
--------------	----

(一) 海波尔与规范	57
(二) 关于结构标准	58
(三) 关于结构规范	65
(四) 关于耐火规范	74
(五) 关于隔声规范	83
四 设计要点	85
(一) 一般事项	85
(二) 屋面	86
(三) 楼板	88
(四) 墙	89
(五) 隔墙	90
(六) 设计布置法	91
五 装修	97
(一) 防水	97
(二) 外墙装修	101
(三) 内墙装修	102
(四) 天棚装修	105
(五) 地板装修	107
(六) 有关材料	108
六 设计资料	111
(一) 荷载	111
(二) 风荷载	114
(三) 雪荷载	115
(四) 隔声	116
(五) 防结露	120
(六) 传热	120
(七) 洞口加固	122
第三篇 参考详图	
七 安装详图	125

(一) 板材建筑	125
(二) 屋面(带女儿墙的屋面)	128
(三) 屋面(挑出屋面)	129
(四) 楼板(一般)	130
(五) 楼板(柱周围加固)	131
(六) 横装墙板(装饰金属盖板及其作法)	132
(七) 横装墙板(螺栓固定及银入作法)	133
(八) 竖装墙板(插筋作法1)	134
(九) 竖装墙板(插筋作法2)	135
(十) 竖装墙板	136
(十一) 隔墙(钢结构)	137
(十二) 隔墙(钢筋混凝土结构)	138
(十三) 屋檐	139
(十四) 女儿墙	141
(十五) 排水	142
(十六) 外转角内转角	143
(十七) 金属门窗	145
(十八) 木制门窗	147
(十九) 其它	149

第四篇 施工部分

八 施工	151
(一) 海波尔与建筑施工	151
(二) 施工检查表	152
(三) 海波尔施工管理	155
(四) 标准说明书	161
九 专用辅助材料	170
(一) 毛路塔克	171
(二) 海波尔胶	171
(三) 海代特	172

(四) 海波尔涂料	173
(五) 海波尔密封胶	174
十 安全法规	175
(一) 有关施工管理的安全法令	175

蒋宝金同志参加了第四篇翻译。

第一篇 海 波 尔

一、绪 论

(一) 概 要

多孔混凝土的历史

现代化建设要求建筑生产工业化。为此，我国从1960年起就从欧洲一些国家引进了几种多孔混凝土制品生产技术，并开始进行了工业性生产。多孔混凝土这一名称一般是指料浆中含有气泡的轻混凝土的总称。其历史已相当悠久，早在罗马时代就已将轻质石材用于寺院的墙壁和圆顶上，以求减轻重量。

其后，1820年曾利用高炉矿渣、1890年利用炉渣、1918年又使用粘土或页岩焙烧膨胀的人造轻骨料等，使轻混凝土得到发展。

多孔混凝土的制造方法有“化学反应发气法”、“泡沫剂混合法”和“预先制备泡沫混入法”等三种类型。蒸压加气混凝土（ALC—Autoclaved Lightweight Concret 蒸压轻混凝土）的发气方法也属最早的类型，据说是由 Aylsworth 和 Dyer 于1914年发明的。这种方法是在硅质物质中将铝粉或其它金属粉同石灰混合的方法，至今还是制造多孔混凝土的主要方法，现在正为世界各国广泛采用。

蒸压加气混凝土和多孔混凝土

蒸压加气混凝土正如其名称含义所示，其最大特点是，在制造工艺中采用蒸压养护。

多孔混凝土的养护方法，除了采用180℃蒸压养护之外，还有常压蒸气养护和自然养护。但是，蒸压养护的制品与非蒸压养护的制品在质量上有很大差别，蒸压养护的加气混凝土制品质量大大超过其它养护方法养护的制品。

采用具有一定压力的蒸压釜进行蒸压养护的方法，是德国的米哈爱里斯教授1880年发明的，其作法是把石灰、砂混合物放在具有8个气压的蒸压釜中养护，成功地制造了灰砂砖。虽然这是蒸压加气混凝土的前身，但那时还不能制造比砖更大的制品；在质量方面也不如混凝土。这项发明虽然被用来制造灰砂砖，但并不很发达。

海波尔

海波尔是以硅质原料（硅砂、水泥）和钙质原料（生石灰、水泥）制造的，通过高温高压蒸气养护而制成的一种加气混凝土。普通混凝土中的砂子和石子仅是水泥浆的掺加料，而海波尔里的硅砂和石灰则与它不同，它们直接参加反应而生成一种新的坚固物质。这种物质比混凝土有更多的优点。

旭化成原是一家综合化学公司，正由原来的衣、食业向住宅业发展，它注意到了加气混凝土作为建筑材料的优良性能，于1961年开始着手了加气混凝土的工业化生产。1966年又与发明蒸压釜的西德的具有30年历史的海波尔公司建立了技术协作，以谋求进一步提高质量，而制造了现在的海波尔。在加气混凝土中，海波尔常常以其最优良的性能而引以自豪，这是因为它具有这样的历史和优越的技术作后盾的缘故。

旭化成现在在千叶县松户和茨城县、岐阜县穗积的三个工厂生产海波尔，对我国的建筑业作出了贡献。

(二) 海波尔的化学反应与结构

蒸压养护前的化学反应

1. 原料

海波尔的原料为硅酸盐水泥、生石灰、硅砂（结晶良好的石英），以及水和铝粉。如果大致按其化学作用划分一下，这些原料可分为硅质原料、钙质原料和发气剂。

(1) 硅质原料

硅质原料系指用湿法磨细的与硅酸盐水泥具有同等细度的硅砂，以及硅酸盐水泥中含有的硅酸三钙($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ，约占水泥的68%)和硅酸二钙($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ，约占水泥的8%)等化合物中的二氧化硅(SiO_2)成分。

(2) 钙质原料

钙质原料系指用干法磨细的生石灰和硅酸盐水泥中含有的硅酸三钙($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)及硅酸二钙($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)化合物中的氧化钙(CaO)成分。

2. 原料混合搅拌

海波尔是将上述的硅酸盐水泥、生石灰、硅砂、水、铝粉，以及气泡稳定剂和坯体切割后回收的料屑等配入搅拌机，经过充分混合、搅拌后，浇注到组装着钢筋网片的模具中制造的。在浇注的料浆中，A式表示生石灰水化生成消石灰，B式表示硅酸盐水泥水化生成消石灰，C式表示反应产生氢气(H_2)。由于产生氢气，在料浆中形成气泡，料浆膨胀到规定的体积。

发气的同时，如B式所示，硅酸盐水泥水化时生成胶状矿物质($3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$)，引起料浆硬化。利用生石灰的消化热(A式)促进硅酸盐水泥的水化。这种料浆的发气硬化平衡，是海波尔生产的重要因素。

如果不能保持这种平衡，就会使膨胀了的料浆发生下沉，或者使硬化的坯体产生龟裂。料浆经3~4小时硬化结束，硬化了的坯体即可获得足够的搬运强度。为了保持这种发气和硬化平衡，以及获得足够的搬运强度，混合使用硅酸盐水泥和生石灰，是海波尔在化学反应方面的一大特点。硬化的坯体经钢丝切割、侧面加工，送入180℃、10个大气压的饱和蒸气的蒸压釜中进行养护。蒸压养护之前硅砂与石灰是不起化学反应的。

A 式	$\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 \cdots \cdots \text{放热反应}$ 生石灰 + 水 $\longrightarrow$ 消石灰
	$2(3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2) + 6\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O} + 3\text{Ca}(\text{OH})_2$ $\cdots \cdots \text{放热反应}$ 硅酸三钙 + 水 $\longrightarrow$ 水化硅酸钙·胶状矿物 + 消石灰
B 式	$2(2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2) + 4\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O} + \text{Ca}(\text{OH})_2$ $\cdots \cdots \text{放热反应}$ 硅酸二钙 + 水 $\longrightarrow$ 水化硅酸钙·胶状矿物 + 消石灰
	$2\text{Al} + 3\text{Ca}(\text{OH})_2 + 6\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + 3\text{H}_2\uparrow$ 铝粉 + 消石灰 + 水 $\longrightarrow$ 水化铝酸钙 + 氢气
C 式	$2\text{Al} + 6\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}_2\uparrow$ 铝粉 + 水 $\longrightarrow$ 氢氧化铝 + 氢气

蒸压养护中的化学反应

蒸压养护中的化学反应，是在溶液中溶解的氧化钙或水化硅酸钙(例如B式中生成的 $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 等)同从硅砂表面溶出的二氧化硅(SiO_2)发生的表面化学反应。由于高温高压蒸汽养护，促进了硅砂表面二氧化硅(SiO_2)的溶解度，使之容易起表面化学反应，生成在常温下难于生成的化合物。从这一反应机理可知，表面化学反应初期的生成物是高钙化合物，随着反应的继续进行，变成低钙化合物。对于海波尔来说，只有在蒸压养护中生成足够的板状托勃莫来石结晶($5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)，才能对其强度的增长起到重要的作用。

下页图1、2示出了表面化学反应的初期生成物(高钙化合物)，图3示出了板状托勃莫来石结晶($5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)扫描电子显微镜照片。

海波尔的结构

未起反应的硅砂约占硅砂用量的40%，这些未起反应的硅砂起骨料作用，如上述，由于在骨料(硅砂)表面上生成有胶结作用的矿物(图1.2.3)，因而它是密实性非常好的骨料。因此，它有很高的强度(海波尔的抗压强度，容重为0.5时，平均为40公斤/厘米²)。

此外，海波尔的孔隙率约占其体积的80%，其中由于铝粉发气生成的气泡约占50%，其余30%是原料颗粒之间的和水化生成物中生成的微气孔(图1.2.3)。这些气孔决定了加气混凝土具有优良的轻质、隔热和耐火性能。

注：下面的照片是用旭化成技术研究所的扫描电子显微镜(日本电子KK制，JSM2型)摄制的。

表面化学反应的初期生成物



图1—a 840倍

表面化学反应的初期生成物



图2—a 420倍

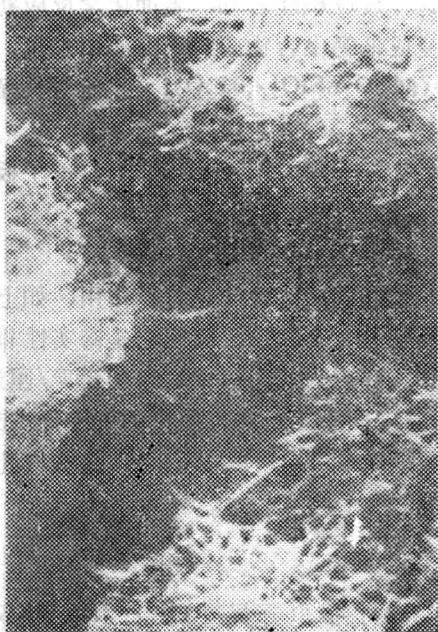


图1—b 上图的100倍



图2—b 上图的100倍

板状托勃莫来石结晶



图3—a 840倍

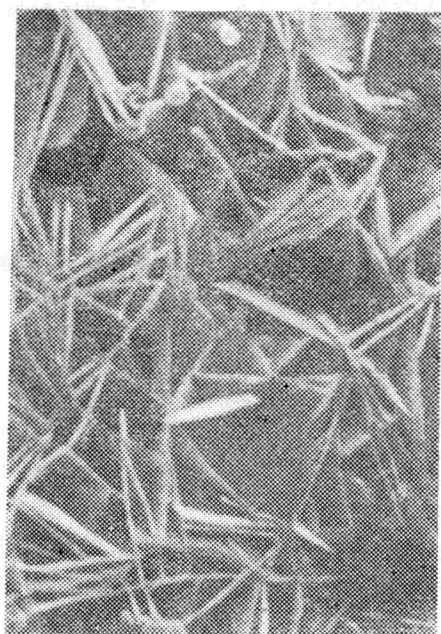


图3—b 上图的100倍

照片说明

图1—a 在原料颗粒表面上生成的苔状生成物

图1—b 可看到网状的初期生成物，并且生成几微米的微孔

图2—a 在照片下面可以看到铝粉发气生成的气泡

图2—b 可看到片状的反应初期生成物。该片状生成物比图1—b的网状生成物反应又进了一步，钙成分含量减少

图3—a 铝粉发气生成的气泡
侧面照片

图3—b 可看到结晶充分成长的2.3微米的板状托勃莫来石结晶
($5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)

(三) 制造工艺

原 料

海波尔的原料主要是二氧化硅 SiO_2 (硅砂、水泥)和氧化钙 CaO (生石灰、水泥),另外还有加气剂(铝粉)、水和气泡稳定剂等。

硅砂和生石灰用磨机粉碎,硅砂加水制成料浆,石灰制成粉状,铝粉与水配制成悬浮液,水泥贮存在筒仓里。

钢 筋

首先将盘圆调直、切断,用自动焊机焊成网片(钢筋网片制作工艺),再按每个模具一组,将网片组合(组装工艺),经防腐处理(防腐工艺)后,铺放入模具。

发气·凝固

将贮存的原料用自动计量器计量,投入自行式搅拌机,制成料浆(海波尔原液),浇注到铺放了钢筋的模具中。

料浆于模具中在加气剂的作用下渐渐膨胀,同时在石灰和水泥的作用下开始凝固。在预定的时间内,发气与凝固达到平衡,膨胀停止,这就决定了海波尔的板宽。

切割·成型

如此,经过3~4小时,料浆凝固成栗子羹那样的硬度,再送到切割机上,用并列的纵向钢丝按规定的板厚、尺寸,将坯体切割成型为海波尔制品。

养护·检验

将装有3~4模半成品的蒸压小车5辆一次送入直径3.2米、长32米的蒸压釜内(高温高压蒸汽养护釜),以约10气压 180°C 的蒸汽养护15~16小时,完成硬化反应,制成成品。

海波尔产品经严格检验后,向市场出售。

(四) 特 性

● 强 度

海波尔只有水重的60%,只是普通混凝土重的1/4,是一种非常轻的大型加气混凝土板材。气干状态下具有以下强度:

抗压强度 = 35公斤/厘米²

抗拉强度 = 5公斤/厘米²

抗弯强度 = 10公斤/厘米²

抗剪强度 = 5公斤/厘米²

弹性模量 = 1.75×10^4 公斤/厘米²

由于板中配有钢筋,作为结构材料使用是很安全的,它是一种正式的建筑结构材料。

从超高层建筑到个体住宅都在使用海波尔产品,但是为了更正确、更经济地使用它,设计时应首先充分了解其特性。

● 容 重

减轻建筑物的重量,对于建筑业的发展具有极为重要的意义,它

1. 可以降低基础和主体工程费用。
2. 可使施工合理和缩短工期。
3. 可促进建筑工厂化。
4. 容易实现建筑物的高层化等。

海波尔绝干容重为0.5, 气干容重为0.6(进行结构计算时, 包括钢筋和抹灰, 取容重为0.65), 由于容重这样小, 可以缩短工期, 降低工程造价, 并能提高建筑质量。从下页表可以看出, 与钢筋混凝土(RC)结构的重量相比, 海波尔还不到混凝土的 $\frac{1}{3}$, 显然将其用于超高层建筑、软弱地基上的建筑和大跨度建筑的屋面、楼板、外墙、间壁墙等, 是最适宜的。

● 隔 热

海波尔是一种包含有无数细小的、独立气孔的无机制品, 隔热性能良好:

绝干状态导热系数 = 0.08千卡/米·时·度

气干状态导热系数 = 0.13千卡/米·时·度

其热阻值约为普通混凝土的10倍。

下页表列出了钢筋混凝土结构与海波尔结构公寓的热损失的比较, 从表中可知, 用钢骨架海波尔建造的比用钢筋混凝土建造的房屋的热损失少 $\frac{3}{5}$ 以上。

海波尔良好的隔热性能不仅改善了居住条件, 防止结露, 而且有助于降低采暖致冷管理费, 创造出高功能的建筑。

特别适用于冷库、食品仓库、干燥室以及空调设备起着重要作用的各种工厂建筑。

● 隔 声

隔声是重要的建筑要素。但是, 声的特性很复杂, 正确地说, 不进行实验就不能确切地知道它。隔声指数表, 是根据计算求出的钢骨架海波尔和钢筋混凝土结构的隔声指数(Noise Insulation Factor), 试将其性能比较一下。

计算时, 资料采用的最多是1000赫时的吸声率和传递损失。一般来说, 轻的东西不利于传声, 但是, 海波尔结构尽管也轻, 其隔声指数差不多与钢筋混凝土结构相同, 钢筋混凝土结构的隔声指数为27.75分贝, 海波尔结构为27.92分贝。

不用说住宅, 即便是有更高要求的医院、学校、图书馆、旅馆、研究所、办公室等建筑, 也可广泛使用海波尔。

海波尔因为是无机质, 其隔热性、耐火性都非常良好, 发生火灾时不会产生有毒气体。它是一种公认的不燃材料, 同时, 在其一侧表面用1000℃以上的高温加热数小时, 其里侧温度也不超过100℃, 按工业标准经耐火试验合格, 全部产品均被建设大臣批准为耐火结构构件。

屋面	厚75毫米以上	30分
楼板	厚100毫米以上	1小时
楼板	厚125毫米以上	2小时
外墙	厚75毫米以上	2小时
隔墙	厚75毫米以上	2小时
耐火被覆层(梁、柱)	厚25毫米以上	1小时

层数	部位	自重(吨)	方位	部位	面积 (米 ²)	导热系数 (千卡/米·时·°C)	热损失 数 (千卡/时)	部位	名称	面积 Si (米 ²)	透过损失 T _L (分贝)	透 过 率 τ _i	Siτ _i
4	屋外隔	174.3	N	外墙	15.06	3.12	843	外墙	混凝土	36.39	49.0	1.25×10 ⁻⁵	0.46×10 ⁻³
		110.5		窗	3.14	5.50	310		窗	12.60	25.0	0.32×10 ⁻²	
3	楼外隔	105.6	S	外墙	14.60	3.12	821	计					40.86×10 ⁻³
		110.5		窗	7.93	5.50	786						
2	楼外隔	108.5	W	外墙	6.73	3.12	380	部位	名称	面积 Si (米 ²)	吸 声 率 A _i	吸声能力 SiA _i (公制赛宾)	1.16
		110.5		窗	1.53	2.70	74		混凝土	58.00	0.02		
1	楼外隔	108.5	小计	〈热损失最小的中间楼层的 中间住户〉			3,219	外墙	混凝土	52.39	0.02	1.05	1.47
		110.5							混凝土砌块	12.60	0.12	0.19	
计		1110.5	E	部位	面积 (米 ²)	导热系数 (千卡/米·时·°C)	热损失 (千卡/时)	隔墙	木 结 构	54.00	0.07	3.78	23.23
		外墙		16.0	3.12	900	草 垫		26.80	0.50	13.40		
单位建筑面 = 1.01吨/米 ² 积平均重量			合计		〈热损失最大的顶层层最端部 住户〉		7,199	楼板	合成树脂地面砖	31.20	0.70	2.18	
注: 温差 = 18°C			隔声指数 = 10 log 10 23.23/40.83×10 ⁻³ = 27.75分贝										

与钢筋混凝土重量 = 1:0.33													
层数	部位	自重(吨)	方位	部位	面积 (米 ²)	导热系数 (千卡/米·时·°C)	热损失 (千卡/时)	部位	名称	面积 Si (米 ²)	透过损失 T _L (分贝)	透 过 率 τ _i	Siτ _i
4	屋 面 梁 · 柱 外隔 · 隔墙	42.0 9.6 35.2	N	外墙	15.06	1.04	283	外墙	海 波 尔 窗	36.39 12.60	40 25	1.00×10 ⁻⁴ 0.32×10 ⁻²	3.64×10 ⁻³ 40.40×10 ⁻³
				窗	3.14	5.50	310		计				44.04×10 ⁻³
3	楼 板 梁 · 柱 外隔 · 隔墙	39.4 13.6 35.2	S	外墙	14.60	1.04	273	部位	面 积 Si (米 ²)	吸 声 率 A _i	吸 声 能 力 SiA _i (公制赛宾)		
				窗	7.93	5.50	786		天棚	海 波 尔	58.00	0.08	4.64
2	楼 板 梁 · 柱 外隔 · 隔墙	42.5 14.4 35.2	W	外墙	6.73	1.04	126	海 波 尔 窗	52.39 12.60	0.03 0.12	1.57 1.47		
				窗	1.53	2.70	74		混疑土砌块	9.60	0.02	0.19	
1	楼 板 梁 · 柱 外隔 · 隔墙	42.5 14.4 35.2	小计	热损失最小的中间楼层的中 间住户			1,852	隔墙	木 结 构	54.00	0.07	3.78	
				方位	部位	面积 (米 ²)	导热系数 (千卡/米·时·°C)		热 损 失 (千卡/时)	E 外墙	16.0	0.86	249
计		359.4	合计	热损失最大的顶层层最端 部住户			2,751	楼板	合成树脂地面砖	31.20	0.70	2.18	27.23
				注: 温差 = 18°C			隔声指数 = 10 log 10 27.23/44.04 × 10 ⁻³ = 27.92分贝						
单位建筑面 = 0.33吨/米 ² 积平均重量													

耐火被覆层(梁、柱)	厚50毫米以上	2 小时
耐火被覆层(梁、柱)	厚75毫米以上	3 小时

● 施工

海波尔是一种便于施工的工厂生产的预制构件，其本身可钉钉子，又可锯割，具有很高的加工性能。

下页图是按照集体住宅标准工艺建造的钢筋混凝土公寓与钢骨架海波尔公寓的工期及耗工数比较。从图中可以看出，用海波尔建的公寓的工期要快得多，耗用人工数也少得多。

可见，用海波尔有助于提高作业效率，有助于创造出经济性的建筑物。但为了更有效地利用其特性，在初步设计阶段，海波尔大板尺寸就必须采用标准化模数。

尤其，按照认真制定的施工计划施工，包括运输计划，安装误差的解决方法等，有可能大大地缩短工期。

(五) 产品介绍

海波尔制品有屋面板、楼板、外墙板、隔墙板，分别又有规格产品、标准产品和特殊订货产品。

规格产品材料费比较便宜，交货日期如后表所示，在短期内便可交货。所以，从计划一开始，就尽可能使设计合乎研究出的海波尔规格尺寸要求，才是济经的。

(六) 产品生产标准

旭化成在海波尔生产中规定了下面的《海波尔产品生产标准》，并以此为标准进行严格的质量管理，经常致力于提高产品的质量。

海波尔产品生产标准

●

1. 适用范围

本标准主要是对用于建筑工程的屋面、楼板、外墙和隔墙的海波尔板的规定。

2. 原材料

2·1 钙质原料

钙质原料是石灰或水泥，其质量要求如下：

(1) 石灰为符合日本工业标准 JIS·R 9 0 0 1 (工业用石灰) 的规定的石灰。

(2) 水泥为符合 JIS·R 5 2 1 0 (硅酸盐水泥) 的规定的的水泥。

2·2 硅质原料

硅质原料是含有 90 % 以上二氧化硅的硅砂，不得含有垃圾、泥土和有机物等有害成分。

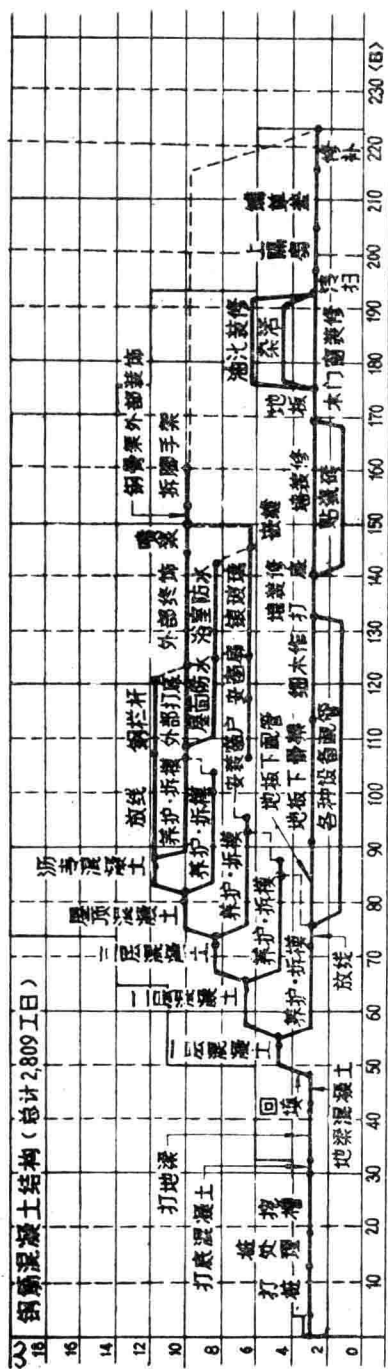
2·3 加气剂

作加气剂的铝粉具有适当的发气速度和均匀的发气能力。

2·4 填充料

除上述原料外，生产上需要的填充料要以不损害海波尔板材质量为标准。

2·5 钢筋



●工期=1:0.63●现场作业人数=1:0.63

