

0391

建材情报资料

总第8133号

水泥类 4

水泥和混凝土工业 节约能源的途径译文汇编

(下 辑)

建材部技术情报标准研究所

1981年6月

总 目

一、混凝土技术中的节省资源与省能——日美科学技术合作讨论会

“混凝土技术中的节省资源与省能”论文摘要:

《混凝土技术中的节省资源与省能》

1. 混凝土技术中节省资源与省能现状..... (1)
2. 日本混凝土技术中节省资源与省能展望..... (2)
3. 混凝土构筑物设计中的省能..... (2)

《充分利用资源节省资源与节能》

4. 日本高炉矿渣的生产与利用..... (3)
5. 使用水淬高炉矿渣粉末后混凝土的质量..... (6)
6. 废弃物、付产品的使用标准..... (7)
7. 以水淬高炉矿渣粉末代替波特兰水泥..... (9)
8. 关于水泥熟料中添加工业废弃物的分析与评价..... (11)
9. 水泥生产中石膏的有效利用..... (14)
10. 用高炉矿渣作集料..... (16)
11. 波特兰水泥的改善与节能..... (17)
12. 日本粉煤灰的使用与存在的问题..... (20)
13. 粉煤灰作混合材的作用机理..... (22)
14. 煤的燃烧付产物利用..... (24)
15. 关于利用解体混凝土作为混凝土再生集料的研究..... (25)
16. 回收废水在预拌混凝土工厂的利用..... (28)

《实行混凝土高性能化以节省资源与节能》

17. 利用聚合物使混凝土高性能化..... (29)
18. 流化剂对水泥拌和物流变学特性的影响..... (32)
19. 使用高性能减水剂改善混凝土性能的实例..... (33)
20. 高性能减水剂在蒸汽养护的粉煤灰混凝土中的应用..... (34)
21. 利用膨胀剂改善混凝土性能..... (36)
22. 粉煤灰和高性能减水剂的并用与节省资源和节能..... (37)

二、混凝土工业节能有关杂志文章选译:

1. 从节能看水泥混凝土..... (39)

2. 面对能源竞争的商品混凝土工业	(45)
3. 混凝土集料与资源和能源问题	(56)
4. 轻质混凝土结构与能源问题	(65)
5. 混凝土构筑物与能源问题	(76)
6. 从使用周期看建筑物的能量收支	(83)
7. 能源问题与混凝土制品	(90)

一、日、美科学技术合作讨论会“混凝土技术中的节省能源和资源”(报告摘要)

日本学术振兴会与美国科学基金会共同举办的日、美科学技术合作讨论会的本次会议于79年9月10日至13日在美国旧金山召开。在自然科学、工程学等方面,每年大约要召开二十次日、美科学技术合作讨论会,但有关混凝土的讨论会却不多。67年在东京召开过“关于混凝土构筑物耐震性的基础研究”讨论会,68年召开过“关于各种混凝土基础性能的研究”讨论会,71年召开过“预制混凝土构筑物的设计、施工及其使用性能”讨论会。这次是第四次,关于“混凝土技术中的节省能源和资源”的讨论会。这些讨论会都是由日本混凝土工学协会与美国混凝土协会共同组织的。本次讨论会有47名专家学者参加,日方23名,美国24名(名单从略)。会上交流了两国的技术情报并收集了许多重大科研成果。由于会议不公开,在此仅就发表的报告概要介绍如下,共三个分集22篇论文。

论文摘要由长渥重义、友沢史纪、鱼木健人等作出,在《コニクリートエ学》杂志80年5、6、8期上连载刊出。

《混凝土技术中节省资源与省能》

1.混凝土技术中节省资源与省能的现状

Robert E. Phillico

随着能源与资源的不足,混凝土工业也受到来自二方面的影响。其一,混凝土与其它构筑材料相比,能源消耗较为分散,它是由地壳上大量存在的各种材料所构成。由此,各国都将主要构筑材料转向混凝土。其二,虽说混凝土不是集中消耗能源的材料,但其主要成份是水泥,而美国的水泥工业与其它先进国家相比,能效很差,政府有关部门对此正在予以重视。因此在美国,水泥设备的问题几乎比能耗费用以及人事费用等问题更为重要。例如:美国半数以上的窑是湿法窑,363台水泥窑中带预热器的仅有41台。虽然美国的水泥设备比1972年能量利用效率提高了9%,但与其它先进国家相比还是相当低的。

粉煤灰过去主要用作混合水泥和混凝土的混合材料,现在已更多地用作熟料的原料。此外,对于高炉水淬矿渣的水硬性能也日益予以重视,并且水渣作为混凝土的混合材料已开始在市场上出售。

混凝土用集料工业,由于集料的缺乏而受到很大影响。能源费用高涨给轻集料工业造成惨重的打击。并且,由于原有集料采掘场的资源枯竭,对新建采掘场又有严格的限制,从而使集料工业受到不利影响。迫于这种形势,对利用废混凝土作为集料的方法,进行了数年的研究,今天已大规模用于生产。

2. 日本混凝土技术中节省资源与省能的展望

国分正胤

日本国的混凝土工业界，三年前就把节省资源与省能作为重要的问题予以重视。并且，对解决这一问题的各种方法和途径，进行了积极的调查研究。其中包括关于利用粉煤灰和高炉水淬矿渣减低波特兰水泥熟料消费量的研究和关于把高炉水淬矿渣作为集料资源以及混凝土高强度化的研究等等。

粉煤灰从1917年开始用作粉煤灰水泥和混和材料，但随着燃料从煤转向石油，其产量也大幅度地减少。石油危机之后，煤作为燃料得到复兴，从而使粉煤灰的产量再次增加。估计到1985年，粉煤灰的年利用量将达 2.5×10^6 吨。

高炉矿渣过去主要用作海岸的填海拓地材料和地基材料，但从环境保护的角度来看是不能作为填充材料的。最近，利用高炉矿渣作为混凝土用集料的方法有所发展。特别是关东以西的地区，由于缺乏细集料而进行着利用高炉矿渣的研究。同时，炼钢厂也在为能够生产出优质的高炉矿渣进行着设备的改进。

仅仅利用高炉矿渣作为集料并不直接有助于省能。从省能的观点来看，高炉水淬矿渣作为水泥材料才是最好的方法。但是，日本生产的矿渣水泥，其使用量很少，仅占波特兰水泥的6%。另外，从省能的立场出发，采取了在波特兰水泥中混入粉煤灰、高炉水淬矿渣等的方法，并修改了水泥规范(JIS)，但波特兰水泥中混合材料的最大允许量为5%。

目前，大量生产石膏，并且为了省能而研究使用石膏制造早强水泥。

废弃的解体混凝土构筑物，每年约有 5×10^6 米³，目前正在研究把这些混凝土作为集料加以利用。另外，日本预制混凝土产量约占全部混凝土产量的60%，现在正在进行关于利用混凝土淤渣废水的研究，并已经实际利用回收水。

混凝土质量的提高，特别是高强度，可以减少混凝土的使用量。从某种意义上说，有益于省能。混凝土的高强度，一般采用添加高性能减水剂的方法。这种方法至今仍适用于预应力桩和混凝土桁架材料等予制产品。最近，又在研究用于现场浇注混凝土。

3. 混凝土构筑物设计中的节能

Arthur R. Anderson

混凝土构筑物设计中的节能，可以考虑采用高强度混凝土以减少构筑物的截面积，从而可以减少水泥的使用量。

这里，以钢材为例。如图-1所示。即使截面积完全相同，也就是使用同样的钢材量，但不同的截面形状设计，可以提高百分之三十的截面惯性矩。由此可见，在混凝土构筑物设计中也同样可以节能。

从图-2可以看出，在混凝土和钢材量相同的情况下，改变截面形状，梁的屈服强度也随之变化。另外，可以说，混凝土的强度增大，其屈服强度就会显著增大。

1957年华盛顿国家公路局制定了预应力混凝土梁的标准。这一标准考虑了汽车载重、经济性、梁截面效率等各方面因素。

图-3所示的I型截面设计，梁的长度最高可达40米以上，需要使用拖挂卡车进行搬运。1958年采用“bulb-T”截面设计(图-4)的梁，不仅能够使模板施工简化和减少桥板混凝土及钢

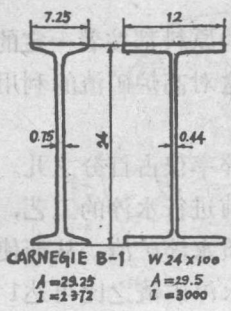


图-1 钢梁的截面积与截面惯性矩

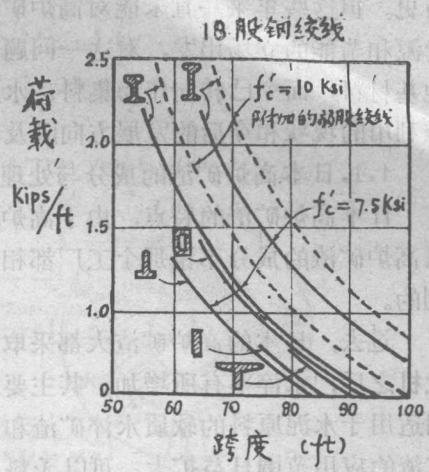
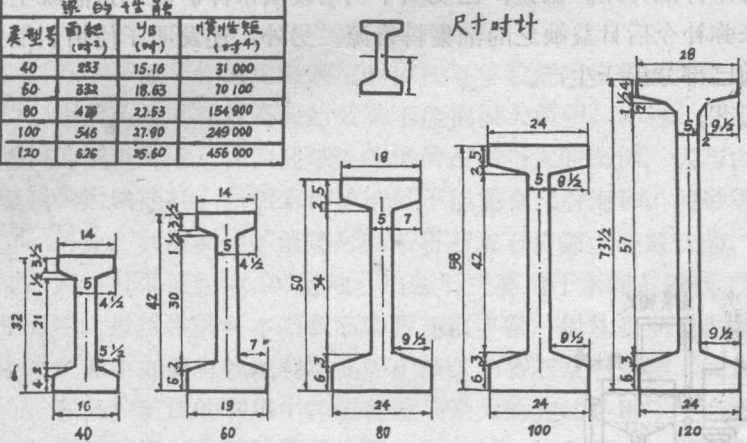
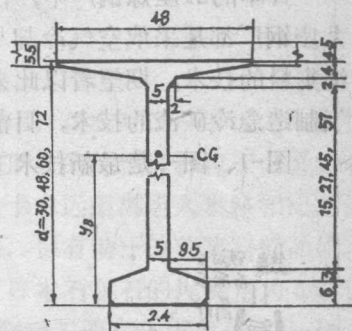


图-2 截面形状与梁的屈服强度

梁的型号	面积 (吋 ²)	YB (吋)	惯性矩 (吋 ⁴)
40	28.3	15.16	31 000
60	33.2	18.63	70 100
80	47.0	22.83	154 900
100	54.6	27.00	249 000
120	62.6	29.60	456 000



型号-标准跨度(呎)



高度 d (呎)	面积 (吋 ²)	YB (吋)	惯性矩 (吋 ⁴)
24	380	12.14	28 900
30	410	14.95	51 100
36	440	17.78	80 700
48	500	23.51	164 000
60	560	29.29	283 200
72	620	35.12	442 800

图-3 华盛顿州标准桥梁

图-4 Bulb-T型梁

材的使用量，而且，仅用一天时间就可完成桥梁的架设。

总而言之，混凝土的高强度化和改进设计，不但可以节省能源，还有利于美观、经济等各方面。

《充分利用资源以节省资源与节能》

4. 日本高炉矿渣的生产与利用

友沢史纪(建筑研究所)

岛田骏作(日本钢铁联盟)

绍田晋一(新日本炼钢厂)

日本高炉矿渣的利用是与1901年八幡炼钢厂的高炉运转同时开始的，至今已有70多年的

历史。但这些年来一直未能对高炉矿渣进行完全的有效利用。1973年能源危机以来，从节省资源和节能的立场出发，对这一问题进行了认真地研究。过去高炉矿渣主要用作填充材料、地基材料，而今已转向作为集料、水泥代用材料等，从而更广泛地利用。这里就日本高炉矿渣利用的现状和今后的发展方向以及利用高炉矿渣在节省资源与节能方面的意义作一报告。

4.1.日本高炉矿渣的成分与处理方法：

日本高炉矿渣的特点，由于高炉运转稳定，并且经过精选的原料都按着一定的配比，所以高炉矿渣的成分不论那个工厂都相差无几，而且变化很小。这对高炉矿渣的利用是十分有利的。

过去，日本的高炉矿渣大都采取空气冷却(慢冷)处理，水淬率仅占百分之几。自从石油危机之后，水淬率有所增加。其主要原因是发明了在大高炉前进行水淬的工艺，得以制造出适用于水泥原料的软质水淬矿渣和适用于混凝土细集料的硬质水淬矿渣，从而使水淬高炉矿渣的应用范围日益扩大。可以预料，不久的将来慢冷矿渣与水淬矿渣之比可达1：1。目前还没有开始利用膨胀矿渣生产轻集料。

日本的21座炼钢厂中，仅有一座采用空气冷却方法，一座完全采取水淬的方法，其他十九座钢厂都是采取空气冷却与水淬法并用。最近，已发明了利用硬质水淬矿渣制造混凝土用细集料的技术，期望着以此来弥补今后日益缺乏的细集料资源。另外，还发明了使用压缩空气制造急冷矿渣的技术，目前已部分用于生产。

图-1、图-2是最新技术工艺。

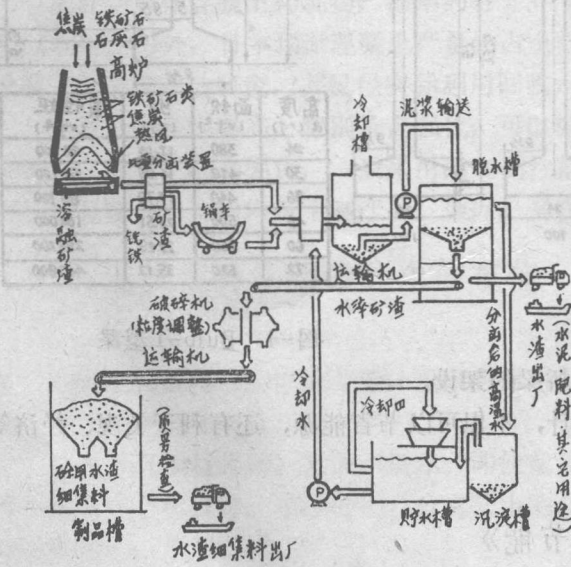


图-1 水淬矿渣生产工艺

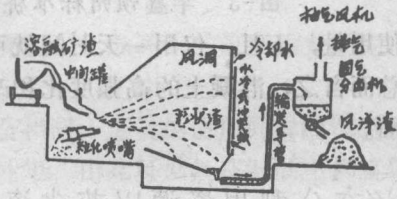


图-2 风淬矿渣生产工艺

4.2.日本高炉矿渣的应用途径

到目前为止，矿渣的主要应用途径还是作为路基材料和填筑材料。尽管今后水淬比率会有所提高，但水淬矿渣作为硬化性路基材料仍然会大量用于道路建筑上。其它方面的用途今后也会增加，如：混凝土用粗集料(慢冷矿渣)，细集料(水淬矿渣)以及用于水泥的水淬矿

渣等。

图-3是1977年与1978年高炉矿渣的利用统计图。

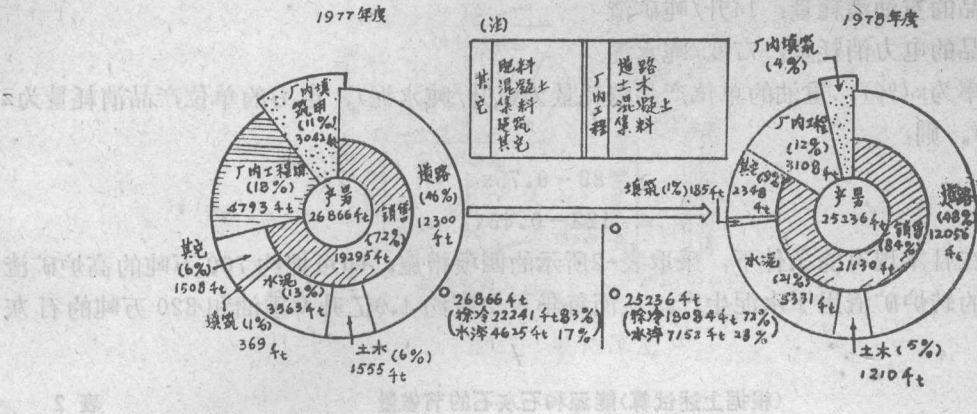


图-3、日本1977、1978年高炉矿渣利用统计

4.3.利用高炉矿渣来节省资源与节能

高炉矿渣可作为集料利用，但在每年数亿吨集料的需要量中，仅有1000~2000万吨的订货，因此，对其节省资源的效果不能抱很大希望。不过，几乎所有的炼钢厂都位于大量需要集料的城市附近，因而区域性的供给占相当大的比例，这与由卡车远距离运入集料相比，能够减少运输能耗。虽然水淬矿渣砂不能完全代替海砂，河砂等，但有助于改善集料的品质。

另外，利用高炉矿渣还可以节省石灰石资源。一般认为，日本石灰石的埋藏量为540亿吨，其中可采量约为105亿吨。石灰石主要用于水泥、钢铁、化学工业，年需要量约一亿五千万吨。虽然目前日本石灰石资源还很丰富，但从长期观点来看，也不能说用之不竭。因此，上述产业中如何有效地利用高炉矿渣以节省石灰石资源，同样是重要的课题。

在高炉矿渣的利用中，省能效果最大的方法是用于生产水泥。其调查结果如下。

高炉矿渣可代替波特兰水泥的石灰石和粘土原料，同时可以减少石灰石和粘土分解时所需要的热能。(表-1)另外，转炉矿渣也可作为熟料的铁质原料。

矿渣代替熟料原料所能节省的重油量 表 1

代 替 方 法	节 省 C 重 油 量
高炉矿渣代替粘土	5.74升/吨熟料
转炉矿渣代替铁质原料	1.04升/吨熟料
高炉矿渣、转炉矿渣代替粘土、铁质原料	

注：C重油的实际发热量 9.2×10^8 千卡/升 窑的实际热转换率55%

再者，把具有潜在水硬性的水淬渣掺入波特兰水泥中作为混合材，更是直接和有效的节能方法。因此，应该增加矿渣水泥的利用。

考虑到日本的现状，根据实际可能利用于水泥生产的矿渣，试算其节能效果如下：
波特兰水泥的生产中，能源的单位产品消耗量：

单位产品的重油消耗量：89升/吨熟料

单位产品的电力消耗量：122度/吨水泥

水淬矿渣的干燥，粉碎过程中能源的单位产品消耗量：

单位产品的重油消耗量：14升/吨矿渣

单位产品的电力消耗量：77度/吨水泥

设矿渣置换率为 $x(\%)$ ，重油的单位产品消耗量为 y (升/吨水泥)，电力的单位产品消耗量为 z (度/吨水泥)，则：

$$y = 89 - 0.75x$$

$$z = 122 - 0.45x$$

据此，在日本现有的条件下，采取表-2所示的四项措施，即可把约700万吨的高炉矿渣和约60万吨的转炉矿渣用于水泥生产，从而每年可节省约4.9亿升C重油和820万吨的石灰石。

(根据上述试算)能源和石灰石的节省量

表 2

措 施	C重油节减量 (亿升/年)	石灰石节减量 (万吨/年)	所用高炉矿渣 (万吨/年)	所用转炉矿渣 (万吨/年)
①矿渣水泥占全部水泥10%	1.45	208	168	—
②在普通波特兰水泥中加入5%的水淬矿渣	2.92	422	340	—
③高炉矿渣代替粘土(10%)	0.42	139	172	—
④转炉矿渣代替铁原料(15%)	0.11	51	—	57
合 计	4.90	820	680	57
节减比率 (%)	6.8	8.4		
资源化率 (%)			25.2	4.1

5.使用细磨水淬高炉矿渣后混凝土的质量问题

柳田力(水泥协会)·太田实(土木研究所)

关于这一问题的论文，已发表在日本《混凝土工学》77年15卷4期上。本文是继上述论文之后，经过三年碳化试验，对混凝土试块状况所作的调查报告。

水淬高炉矿渣一直用作水泥的混合材料。规范中矿渣水泥的最大矿渣掺量为70%，但如果使用条件允许的话，可以更多地掺入矿渣。由于矿渣制造方法有所改进，因此，最近对矿渣掺量为90%的混凝土的和易性、强度、抗冻性、碳化以及发热量等方面进行了试验。试验所用的矿渣虽然来自一个工厂，但选用了碱度不同的二种矿渣。另外，为了与试制的组分为矿渣83%、石膏15%、波特兰水泥2%的水泥相比较，进行了强度和抗冻性试验。

碳化试验是在 $\varnothing 15 \times 30$ 厘米的试块中加入钢筋，放置于陆地上(东京的建筑物上)和海上(东京湾露天平台上)，三年之后，观查其碳化与生锈的情况。经过三年的试验，陆地上放置的试块在矿渣掺加量增至70%的情况下，其碳化深度是10毫米，约为掺加量30%时的2倍。

但是，海上的试块即使矿渣掺量为70%，其碳化深度仍然很小，约为3毫米左右。见图—1所示。

钢筋生锈的现象，仅在陆地上矿渣掺加量为90%的试块中可以看到。

关于碳化以外的其它调查结果，请参照前面所提到的报告。

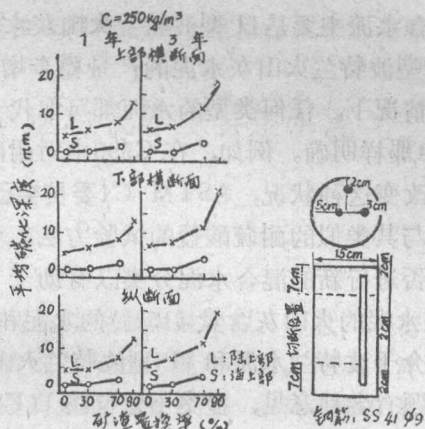


图-1 碳化深度

6. 废弃物、付产品的使用标准

Geoffrey Frohnsdorff 美国国家标准局

6.1. 序言

本报告所谈的内容是以低能耗材料取代波特兰水泥或波特兰水泥熟料时所存在的规范和标准问题，特别是对相当有影响的ASTM标准加以论述。

在波特兰水泥工业中，能耗量最大的是熟料的制造。减少其能耗的方法，有提高熟料生产效率 and 减少混凝土中的熟料用量。后者还可分为：(a)以粉煤灰或水淬高炉矿渣的混合水泥代替波特兰水泥；(b)以粉煤灰或水淬高炉矿渣粉末等无机混合材料代替部分波特兰水泥，或者使用少量水泥加用减水剂，其强度与减少水泥用量前的强度相同，从而减少混凝土中水泥的用量。上述这些方法虽然在美国都有所采用，但ASTM以及其它有关标准对此有着严格的限制。因此，从节省资源的观点出发，有必要研究修改水泥和混凝土的有关标准，以改变标准中某些不合理的限制。

6.2. 混合水泥的标准

如表-1所示，在 ASTM、C595 中，虽然有多种混合水泥已经标准化，但实际生产的混

ASTMC595中所规定的混合水泥的种类

表 1

种 类	名 称	火山灰 (%)		矿 渣 (%)	
		最 小	最 大	最 小	最 大
I(PM)	改性火山灰波特兰水泥	>10	15	—	—
IP	波特兰火山灰水泥	15	40	C	C
P	波特兰火山灰水泥	15	40	C	C
IS	波特兰矿渣水泥	—	—	25	65
S	矿渣水泥	—	—	60	<100

注：1)波特兰火山灰水泥虽然能与波特兰矿渣水泥进行良好的混合，但基本上不采用这种做法。

2)S型水泥是矿渣与熟石灰混合的水泥

合水泥量很少。目前生产的混合水泥主要是1P型波特兰火山灰水泥和1S型波特兰矿渣水泥。

1973年石油危机以来，1P型波特兰火山灰水泥的产量稳步增加，同时1S型波特兰矿渣水泥的产量也开始增长。一般情况下，任何类型的水泥都可取代1型改性火山灰波特兰水泥，但在C595中并不像C150中那样明确。例如，在C595中对耐硫酸盐混合水泥和耐碱集料反应的水泥就没有规定。为了改变这种状况，ASTM C1委员会已开始制定使混合水泥适用于碱集料反应的试验方法以及与其类似的耐硫酸盐的试验方法。

其它应考虑的问题，是能否进行新的混合水泥分类以有助于节省资源。目前考虑的新种类，有少于1P型波特兰火山灰水泥的火山灰含量（15%）的水泥和少于1S型波特兰矿渣水泥矿渣含量（25%）的水泥，以及介于波特兰水泥和1P型波特兰火山灰水泥，1S型波特兰矿渣水泥之间的水泥。关于这个问题有各种意见，提案中建议将I(PM)型改性波特兰火山灰水泥和I(SM)型水泥列入C595标准，前者已得到委员会的认可。

对C595标准提出修改并且通过的另一个建议是S型矿渣水泥由矿渣和石灰混合制成，以改变原来与波特兰水泥进行混合的方法。这与其它国家认可采用高炉水淬矿渣粉末作为混合材料的趋势是一致的。

6.3.混凝土用无机混合材的标准

ASTM标准中，C618是混凝土用无机混合材的主要标准。（参照表-2）

ASTMC68中所规定的火山灰种类 表 2

种 类	用 对 象
F	粉煤灰
N	烧成之后的天然火山灰或者原材料
S	凡符合标准材料

C618标准中应该详细说明的是加入粉煤灰后，对加气剂或其他有机混合剂的使用会有影响。加入粉煤灰之后的混凝土与不加粉煤灰的混凝土相比，前者缺少一定的空气量，因此须增加加气剂量。另外，粉煤灰混凝土的大气稳定性也比较差。

C618标准中，包括对火山灰反应的20天试验。但ASTM的C9委员会还在进行7天试验方法的研究，以期促进火山灰试验方法的发展。并且，该委员会不同意以与实际混凝土温度条件不同的高温状态进行试验。

在E38委员会的主持下，目前还在进行新的无机混合材料标准的研究。其主要目的是为了把水淬高炉矿渣粉末用作混凝土的无机混合材料。如果能对C595标准中S型矿渣水泥的组成进行修改的话，那么水淬高炉矿渣粉末就易于取代波特兰水泥了。

6.4.结论

经常不断地修改和补充ASTM标准，无疑有利于节省资源与节能。现在已经作为提案和正在进行研究的问题有以下几点：

- 1.含有少量粉煤灰和水淬高炉矿渣等无机材料的混合水泥。
- 2.要求混合水泥更易于使用，例如确定关于抗硫酸盐性或对于碱集料反应的适应性等各种特性及其标准试验方法。

3. 制定水淬高炉矿渣粉末用作混凝土混和材或者水泥原料的标准。

7. 以水淬高炉矿渣粉代替波特兰水泥

少林一辅(东京大学)

鱼本健人(东京大学)

7.1. 序

高炉矿渣的化学组成与波特兰水泥很相似, 并且, 进行急冷之后得到的水淬矿渣具有潜在水硬性。因此, 从节省资源与节能的观点来看, 使用水淬高炉矿渣作为混凝土的混合材料以代替一部分波特兰水泥是有效的节能方法。水淬高炉矿渣作为混凝土的混合材料, 不仅可以减少水泥原料石灰石的消耗, 而且能够节省波特兰水泥的烧成热耗。提高其置换率即可大幅度地提高节能效果。

本文基于上述观点, 对作为混凝土混合材料的水淬高炉矿渣粉所应具备的性质以及掺入水淬高炉矿渣粉之后波特兰水泥混凝土的特性, 加以论述。

7.2. 作为混凝土混合材料的水淬高炉矿渣粉的性质。

以碱度(JIS)、玻璃相量、细度作为矿渣质量的指标。并对石膏的添加量也加以探讨。

(1) 碱度和玻璃量

碱度和玻璃相量发生变化时, 混凝土抗压强度的变化情况见图-1、2。

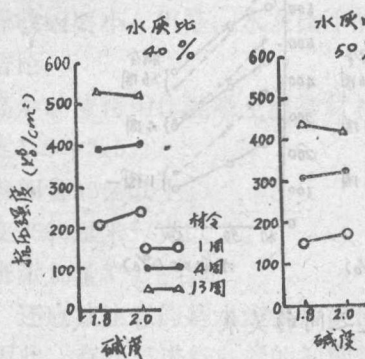


图-1 矿渣碱度对抗压强度的影响

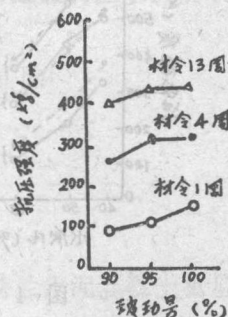


图-2 玻璃相量对抗压强度的影响

当碱度提高时, 矿渣的反应性也高, 从而使混凝土的早期强度有显著的增长, 但如图-1所示, 令期四周之后其强度几乎没有什么提高, 并且后期强度下降1~2%。因此, 可以说在碱度1.8~2.0的范围内, 对混凝土的强度没有什么明显影响。

同样, 玻璃相量提高时, 混凝土的强度也随之提高, 但四周龄期之后, 玻璃相量95%与100%的混凝土强度几乎没有什么差别, 因此, 一般来说, 矿渣中的玻璃相量在100%左右为最好, 但如果着眼于四周龄期之后的强度, 则以95%为好。

(2) 矿渣的细度

关于矿渣细度与混凝土强度之间的关系(图-3), 一般来说, 矿渣细度高就可得到高强的混

凝土，这种现象对混凝土早期强度尤为明显。但在四周龄期之后，细度3500厘米²/克与4000厘米²/克的强度几乎没有什么差别，甚至有细度3500厘米²/克时强度较高的情况。因此，如果细度在3500厘米²/克以上时，一般不受太大的影响。另外，还进行了关于干燥收缩研究。其结果发现矿渣混合率的影响大于细度的影响。

(3) 石膏添加量

对石膏添加量与混凝土强度之间的关系进行调查。结果发现石膏添加量大时混凝土的早期强度较高，但其后期强度则相反，石膏添加量越大，后期强度越低。

同样，对石膏添加量与干燥收缩之间的关系进行调查。结果是石膏添加量大时干燥收缩小。就上述结果来看，石膏添加量最好为矿渣的3%左右。

7.3. 用水淬高炉矿渣粉作混凝土混合材料时混凝土的质量问题

(1) 抗压强度

图-3 矿渣细度对抗压强度的影响

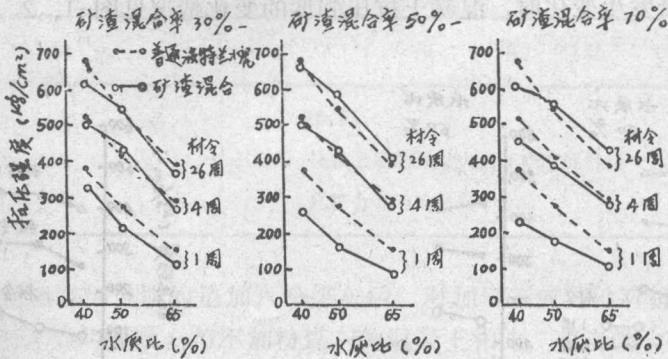
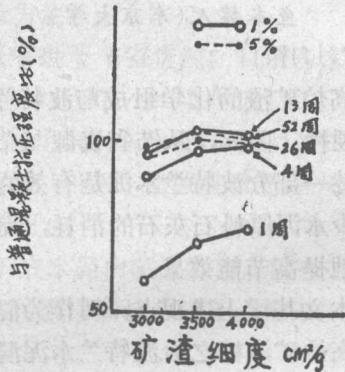


图-4 水灰比与抗压强度之间的关系

见图-4，与完全使用普通波特兰水泥制成的混凝土相比，在水灰比小的情况下，掺加矿渣之后的混凝土强度略低，水灰比大时其强度略高。也就是说，掺加矿渣之后，由水灰比造成的强度变化，小于完全使用普通波特兰水泥的混凝土。

矿渣掺加率与混凝土抗压强度之间的关系不仅与龄期有关，而且在很大程度上取决于水灰比。即：水灰比小时，矿渣掺加率高的混凝土其强度有所下降，但水灰比大时，其后期强度有所提高。

与普通波特兰水泥相比，养护温度和养护湿度对矿渣水泥抗压强度的影响十分明显。特别是高温水中养护和低温空气养护时，强度提高不大。(参照图-5)。并且，这种现象在矿渣掺加率高的混凝土中尤为显著，另外，初期养护时间短的混凝土强度提高较小。

(2) 干燥收缩

关于掺加矿渣之后混凝土的干燥收缩。水灰比大，矿渣混合率高的混凝土比普通波特兰

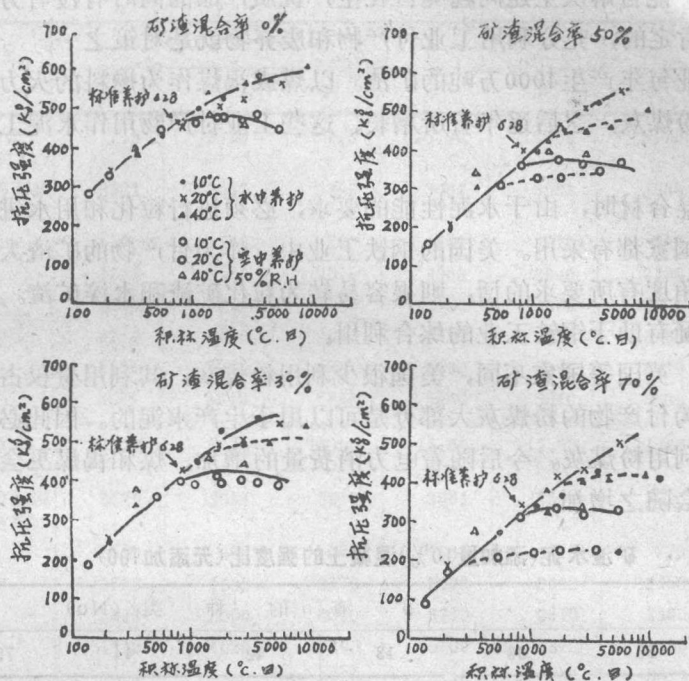


图-5 养护条件对抗压强度的影响

水泥的干燥收缩要小。但是，水灰比小的情况则相反，比普通波特兰水泥的收缩量大。

7.4. 结论

水淬高炉矿渣粉用作混凝土混合材料所应具备的条件如下：

- 1) 碱度 1.8~2.0。
- 2) 玻璃相量 95% 以上。
- 3) 细度 3500 厘米²/克以上。
- 4) 石膏添加量 3% 左右。

另外，还应该注意的是水淬高炉矿渣混凝土比普通波特兰水泥混凝土更易于受养护条件的影响，因此，有必要进行良好的初期养护。

8. 关于水泥熟料中添加工业废弃物的分析与评价

Kenneth E. Daugherty 南得克萨斯州立大学

美国的水泥销售量每年约以 3% 的比例增长，1978 年的水泥产量预计为 8000 万吨。今后的水泥工业为了满足需要量的增长就不得不增添生产设备。增加 1 吨生产能力需要 80~100 美元的设备费用。而一座水泥厂的建设需要三年左右的时间。目前，美国生产 1 吨水泥约要消耗 600 万 BTU 的热能，这还不包括原料和熟料粉碎的电耗。这一热能量相当于 500 磅（约 225）公斤煤所具有的热能。并且，水泥的生产还造成大气污染、粉碎、噪音等环境保护方面的问题。据报道，过去的几年间，美国有十二家以上的水泥厂因环境保护问题而关闭。目前的水泥工业中存在不少重大问题，如大量消耗天然资源、巨额投资，造成公害，特别是大量

消耗能源等。那么，能否解决上述问题呢？在生产优质产品的同时有没有方法应付增长3%的需要量？答案是肯定的，充分利用工业付产物和废弃物就是对策之一。

钢铁、铸造工业每年产生4000万吨的矿渣。以煤或褐煤作为燃料的火力发电厂1976年约产生出4600万吨的粉煤灰，之后逐年有所增长。这些工业付产物用作水泥工业的混合材潜力极大。

矿渣用作水泥混合材时，由于水泥性能的要求，必须进行粒化和用水进行急冷处理。这一技术，世界许多国家都有采用。美国的钢铁工业中，作为付产物的矿渣大都是空气慢冷矿渣。但如果从经济角度有所要求的话，则很容易转为粒化矿渣和水淬矿渣。这不仅有利于水泥工业，而且无疑有助于钢铁工业的综合利用。

与法国、波兰、英国等国家不同，美国很少利用粉煤灰，其利用量仅占总产出量的15%以下。然而这些作为付产物的粉煤灰大部分是可以用于生产水泥的。因此必须以现有的各种方法经济、充分地利用粉煤灰。今后随着电力消费量的增加，煤和褐煤更会大量使用，从而粉煤灰的产出量也会随之增加。

矿渣水泥(添加量10%)混凝土的强度比(无添加100) 表 1

龄 期 (日)	矿 渣 的 种 类 (No)						
	26	36	18	42	44	75068	103
7	105	131	101	131	120	143	139
28	95	99	89	88	92	103	105
60	101	99	96	99	100	107	112

粉煤灰水泥的混凝土抗压强度 表 2

粉 煤 灰		熟 料							
		1	2	3	4	5	6	7	8
无添加	F.A.添加量 (wt%)	0	0	0	0	0	0	0	0
	F.A.比表面积 (cm ² /g)	3560	3593	3529	3550	3448	3506	3579	3561
	1日龄期	1120	670	1410	840	850	730	1490	530
	3日龄期	2850	2120	2700	2060	2080	2100	3570	1760
	7日龄期	4010	3280	3840	2860	3450	3340	4410	2770
	28日龄期	5600	4720	3630	4630	5480	4750	4960	3890
	60日龄期	5700	5260	6230	4830	5780	5300	5630	4540
	90日龄期	6040	5400	5900	5730	6200	5310	5310	4760
“A”	F.A.添加量 (wt%)	11.25	15.00	11.25	11.25	11.25	15.00	15.00	3.75
	F.A.比表面积 (cm ² /k)	3535	3583	3531	3586	3501	3558	3545	3646
	1日龄期	580	550	720	700	950	760	1010	690
	3日龄期	2220	1870	2890	2130	3200	2537	2980	1800
	7日龄期	3410	3080	3890	3140	3530	3800	3880	2570
	28日龄期	4680	4380	4920	4470	4950	5060	4860	4400
	60日龄期	5380	4640	5620	5200	5180	5670	5210	6060
	90日龄期	5440	5310	5510	5040	5270	5600	4650	5330

粉 煤 灰		熟 料							
		1	2	3	4	5	6	7	8
“B”	F. A. 添加量 (cm ² /g)	7.5	3.75	7.5	15.00	11.25	3.75	11.25	3.75
	F. A. 比表面积 (Wt%)	3521	3547	3595	3684	3594	3550	3760	3607
	1 日龄期	550	560	790	810	710	900	1040	600
	3 日龄期	1720	1910	2510	2080	2000	2750	3000	1660
	7 日龄期	3140	2830	4030	3250	3070	3960	4090	2450
	28 日龄期	4210	4590	5890	4350	4820	5190	5030	4130
	60 日龄期	5180	5050	5810	5280	5670	5410	5550	5030
	90 日龄期	5560	5310	5850	5630	5810	5930	5040	5400
“C”	F. A. 添加量 (cm ² /g)	11.25	3.75	15.00	15.00	15.00	11.25	15.00	3.75
	F. A. 比表面积 (wt%)	3579	3581	3619	3684	3547	3520	3603	3754
	1 日龄期	590	680	650	1320	710	770	890	780
	3 日龄期	1720	1930	2170	2930	3960	2450	2470	1920
	7 日龄期	2810	3050	3520	3780	2810	3380	3080	3070
	28 日龄期	4610	4520	5200	5700	4310	4290	4280	4600
	60 日龄期	5520	5300	6130	6440	5250	5320	5420	5630
	90 日龄期	6080	5700	6130	6495	5670	5950	6180	5620

注：“A”烧次煤得到的粉煤灰；“B”烧次煤灰或半无烟煤和沥青煤混合物得到的粉煤灰。“C”烧沥青煤得到的粉煤灰。

窑灰是生产波特兰水泥时产生的付产物。在水泥生产时，将石灰质和粘土质材料组成的料浆或混合十分均匀的干燥原料投入回转窑中。窑内排气与原料呈逆流状态对流。这时，排气会将微细粒子带至原料入口。在原料入口处收集到的这些粉状颗粒叫做窑灰。窑灰的发生量因工场而异，但大致为入窑原料的8~10%。窑灰量如此之大，以致在水泥生产中不可忽视。

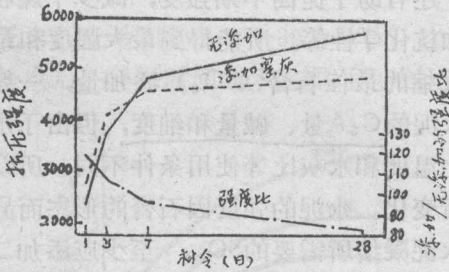


图-1

在水泥工业中，采用水泥熟料与矿渣、粉煤灰、窑灰等工业付产物混合粉磨的方法，可以大大减少生产能耗。并且不会影响水泥的质量。本研究使用了取自各个水泥厂的I型水泥（普通波特兰水泥）与各种矿渣、粉煤灰、窑灰进行混合，并对此进行了分析和评价。其目的在于促进水泥工业中充分利用工业付产物，生产混合水泥，同时对ASTM及有关部门进行呼吁，希望将节能型的混合水泥实行标准化。

本研究首先在于谋求以混合水泥的生产和利用来节省能源，如果美国国内工业付产物的利用有所发展的话，那么，就能够进一步减少水泥生产中的能耗。关于这个问题，波特兰水泥协会受联邦局(FEA)的委托，曾于1975年将有关报告发表在《水泥工业的节能潜力》上。

9. 水泥生产中石膏的有效利用

森仁明 (秩父水泥公司)

须藤仪一 (秩父水泥公司)

日本石膏的天然资源并不丰富,但由于化学工业的付产石膏和防止公害而产生的排烟脱硫石膏量日益增加,所以水泥工业界以此为重点,对如何有效利用这些石膏进行了研究。目前,水泥工业界在寻求原有各种水泥的石膏最佳添加量的同时,为满足市场的新要求还努力进行着利用石膏生产特种水泥的开发研究。特别是石膏与矾土成份组合而成的水泥,正作为高强水泥、快硬水泥投入生产。并且,用作土壤固化材料和工业废弃物处理材料的含有大量钙矾石的水泥需要量也有很大增长。

本论文就在水泥原料中添加石膏、水泥生产部门增加水泥熟料中石膏添加量的方法以及利用石膏生产各种特殊水泥的技术开发作一叙述。

从日本的石膏供需状况来看,1977年的供给量约为520万吨,其中80%以上是磷石膏和排烟脱硫石膏。从使用方面看,用于水泥生产的量最大,约有230万吨,即占总量的45%。水泥生产用的石膏种类近十几年变化很大。据最近的统计,排烟脱硫石膏已占总量的60%左右。

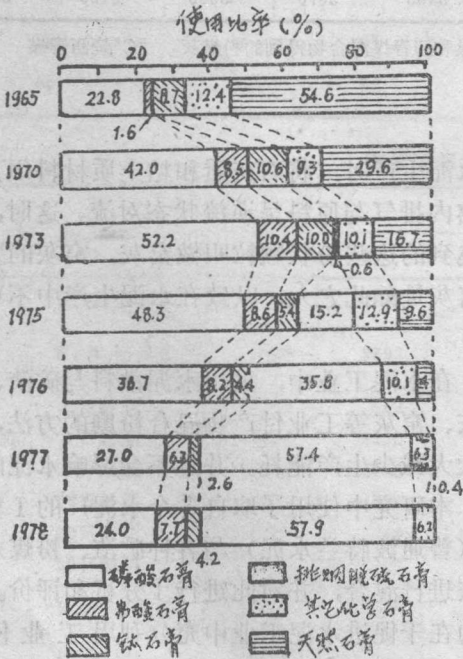


图1 各种水泥用石膏的使用比率

把少量石膏加入水泥原料进行烧成时,石膏起矿化剂的作用,促进着熟料矿物相的生成和发展。普通波特兰水泥原料中排烟脱硫石膏以 SO_3 计算加入3~6%,在1350℃条件下进行烧成,可使该熟料矿物相及水泥的质量有所改善。再者,原料中加入石膏和萤石经烧成生产出的熟料,可以制造具有良好早期强度的耐硫酸盐水泥。

水泥中的石膏除了具有调节凝结的作用外,还有助于提高早期强度,减少干燥收缩,增加抗化学性等。所能得到最大强度和最小干燥收缩的最佳石膏(SO_3)添加量,一般取决于水泥的 C_3A 量、碱量和细度,但由于水泥的水化温度和水灰比等使用条件不同,所以也会有所变化。水泥的强度因石膏的形态而异。调节水泥凝结所需要的 SO_3 ,至少应添加二水石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$),如果增大 SO_3 ,加入不溶性无水石膏($\text{II} \cdot \text{CaSO}_4$)可使水泥质量得到改善。特别是制造高细度、高 C_3A 的白色波特兰水泥时,上述方法十分有效。普通波特兰水泥 $\text{II} \cdot \text{CaSO}_4 / \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 比为70~100、最佳 SO_3 量3~4%时,具有很好的后期强度。

一般地,当混入水泥熟料的二水石膏量过多时,由于磨机的粉磨温度(105~130℃)和