

## 建築における資源の有効利用に関する研究\*

—その1. 建築における資源問題—

平居孝之\*\*

### Study on Effective Use of Resources in Architecture

—Part 1, Problems on resources in architecture—

By Takayuki HIRAI

Department of Architecture, Faculty of Engineering,  
Oita Institute of Technology

#### Abstract

In the past, Japan has had better resources concerning with construction materials, wood, lime, clay and aggregate except iron for a poor country on natural resources.

But recently the circumstances have changed because air pollution and collection of wood and aggregate start to indicate the destruction of nature and life environment. Therefore, we have to consider the use of resources from the point of view — maintenance of environment, save of energy and save of resources.

Now in Japan there is a typical evidence on resources that is about Gypsum. We import a huge amount of petroleum, three hundred million k/ a year, and a large number of sulfate contained in the petrohum are discharged into the atmosphere as sulfurous acid gas, and they lead to air pollution. To maintain the environment from air pollution, sulfurous acid gas is reductioned by lime into gypsum. So there appeared new big resources of gypsum and finding out the effective use of this new resources becomes important social requests.

From these matters the author has carried out some experimental studies concerning with the utilization of gypsum and the results are going to be reported in next papers.

#### 1. 建設資源の変貌

我が国の天然資源が乏しいことは周知のことであるが、その主要資源量を、建設資材・エネルギー・鉱物・食料・繊維等について表1の如く、輸入依存度（輸入－輸出／生産＋輸入－輸出）をパラメーターとして見ると、資源の豊富なアメリカはもちろん、先進諸外国の中

では資源の少ない西ドイツに比較しても、我が国の方が資源が少ない。

このような資源事情にある我が国ではあるが、建設資源についてはこれまで比較的めぐまれていた。鉄とアルミニウムを除いて、木材・川砂・川砂利・セメントの原材料である石灰石と粘土等は、めずらしく豊富であった。ところが、建設投資が国民総生産の15%前後の割合

\* 昭和51年4月21日受理 \*\*工学博士 建築学科講師

表1 主要資源の輸入依存度比較<sup>1)</sup> 1973年, 単位%

主要資源		国名	日本	アメリカ	西ドイツ
建設資材	木材*		50.0	0.2	20.9
	鉄 鉱 石		99.4**	34.1	94.1
	ボーキサイト		100.0	87.9	100.0
エネルギー	石 炭		63.6	0.0	6.3
	原油		99.7	19.2	93.5
	天然ガス		34.9	4.0	37.5
その他の 鉱物資源	銅		89.0	16.0	93.0
	鉛		72.0	28.0	89.0
	亜鉛		63.0	46.0	97.0
	錫		97.8	100.0	100.0
	ニッケル		100.0	90.0	100.0
	磷 鉱 石		100.0	0.0	100.0
食料	小麦		95.1	0.0	27.2
	とうもろこし		99.5	0.0	84.7
	穀物全体		49.0	0.0	24.7
繊維	脂つき羊毛		100.0	26.9	96.1
	綿花		100.0	0.0	100.0

\* 1971年度 \*\* 1974年度

で伸び巨大な額になってきたため、図1のように建設投資が10兆円を越えた昭和43年頃から、省資源・省エネルギーということが建築研究者の間で言われ始めた。さらに、ここ数年において、材料消費量が膨大になると、後で詳しくふれるように、替在資源量は豊富であっても、自然破壊の防止・環境保全という点で材料採取に制約を受け、建設材料の価格騰貴・品質低下・供給量の不足が表面化し、深刻な問題となっている。

表2. 木材需給の推移<sup>3)</sup> (単位 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>)

昭和年度	需 要				総 数	供 給		輸入率 (%)
	製材用	パルプ用	合板用	その他		国 産	輸 入	
41	50.4	16.4	6.3	3.9	76.9	51.8	25.0	32.6
43	59.0	20.2	8.9	3.7	91.8	49.0	42.8	46.7
45	62.0	24.9	13.1	2.7	102.7	46.2	56.4	55.0
47	63.6	25.2	14.3	2.4	106.5	43.9	62.6	58.7
49	60.7	35.0	14.5	2.9	113.0	39.5	73.6	55.1

木材輸入量が世界の全輸入量の50%以上も占めること<sup>4)</sup>を考え合すると、木材輸出国の資源と環境の保全に対する要請が強まれば、我が国の木材供給に大きな制限を受けることは必至である。このような背景から、昭和49年

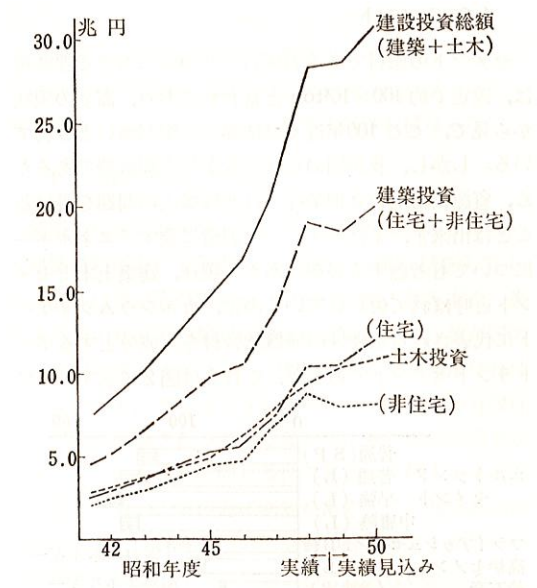


図1 建設投資の推移<sup>2)</sup>

#### 1.1 木 材

我が国における木造住宅の着工床面積は、鉄筋コンクリート造や鉄骨構造等と比較してはるかに大きく、木材は建築において広く使われているが、その需給の推移に問題が生じている。すなわち、表2のように需要量の増加に対し、国内供給量が激減している。1973年に改訂された我が国の木材の長期需給見通しに関する閣議決定によれば、現在国有林と民有林合せて約2,100×10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>の木材蓄積があり、今後さらに造林に力を注ぎ、50年後に木材蓄積が3,000×10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>になってはじめて需要総量と国内供給が釣合う見込みになっている。したがってここ数十年の間は木材を輸入にたよらねばならず、現在の我が国の

より通産省のもとで、木材代替材料の研究が着手され、可燃性の木造住宅に代わる不燃性の無機質材料による建材と、その構法の開発が試みられている。



1.2 セメント

セメントの原料である石灰石の我が国における埋蔵量は、確定で約400×10<sup>9</sup>tonと言われており、需要の現状から見て、ここ100年近くは枯渇の心配が無いとされている。しかし、我が国の石灰資源が集中埋蔵型であるため、資源供給上の立地条件と自然破壊上の問題を避けることは出来ず、まだセメントの製造に要するエネルギーについても考慮する必要がある。現在、建築土木でセメントと呼ばれて使われているのは、カルシウムシリケートに代表される水硬性の無機結合材を主成分とするポルトランドセメントであるが、これらは図2に示すように

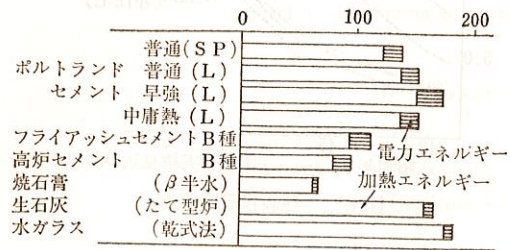


図2 無機セメント1 t当たりの平均製造エネルギー原単位<sup>5)</sup> (石炭換算, 単位kgCE/t)

表 3. 建築における構造体の材料必要総量 (S.47)<sup>6)</sup>

横造	着工床面積 (×10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup> )	セメント (×10 <sup>6</sup> t)	砂 (×10 <sup>6</sup> t)	砂利 (×10 <sup>6</sup> t)	鋼 (×10 <sup>6</sup> t)	木材 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
鉄筋コンクリート	55.9	10.1	23.5	33.5	4.5	3.5
鉄骨・鉄筋コンクリート	23.0	4.2	9.7	13.8	2.8	1.3
鉄骨	66.2	8.0	18.5	26.5	9.9	2.8
木造	93.8	2.3	5.3	7.5		23.5
合計		24.6	57.0	81.3	17.2	31.1

表 4. 構造体床面積1 m<sup>2</sup>当りの材料必要量<sup>6)</sup>

横造	建 材					素 材				
	コンクリート (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	鉄筋 (t/m <sup>2</sup> )	鉄骨 (t/m <sup>2</sup> )	型わく (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	木材 (含造作) (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	セメント (t/m <sup>2</sup> )	砂 (t/m <sup>2</sup> )	砂利 (t/m <sup>2</sup> )	鋼 (t/m <sup>2</sup> )	木材 (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )
鉄筋コンクリート	0.60	0.08	—	4.5	—	0.18	0.42	0.60	0.08	0.063
鉄骨・鉄筋コンクリート	0.60	0.07	0.05	4.0	—	0.18	0.42	0.60	0.12	0.056
鉄骨	0.40	0.05	0.10	3.5	—	0.12	0.28	0.40	0.15	0.042
木造	0.08	—	—	—	0.25	0.024	0.056	0.08	—	0.25

砕石は川砂利コンクリートとほぼ同じ性能が得られるものとして利用されているが、天然岩石のを原料としているため、川砂利同様、自然破壊を無視して用いることは出来ず、資源的にかぎられたものである。

高炉スラグを空冷して砕いたスラグ砕石も骨材として

無機結合材のなかでも製造時のエネルギー消費量が多いので、省エネルギーまた焼成時の排ガスによる環境汚染防止の上からも不利である。このため、エネルギー消費の少ない無機セメント類の製造と、その利用が研究されてきている。特に石膏は後で述べるように、産業廃棄物の再利用の面で、その有効利用に力の注がれている資源であるが、焼成エネルギーを節約出来るという可能性の点でも、今日注目されている無機結合材である。

1.3 骨 材

骨材は建設材料のなかで最もたくさん使われている。建築の構造別に単位床面積当りに使われる建材の量を(表4)着工床面積より、躯体工事に使われる材料を計算すると、表3のように昭和47年度で骨材は砂と砂利を合せて1億tonを軽くオーバーしている。骨材は建築のほかに土木にも使われており、図1の建設投資の伸びを合せて考えると、早晚資源面できびしい制約を受けることに疑問の余地は無い。粒度と品質が良い川砂利と不純物の心配の無い川砂を自由に使えた時代は遠くすぎさり、現在では、深刻になりつつある骨材不足を補う方法の研究が行われている。

利用可能で、外国ではすでにスラグ砕石コンクリートとして利用されているが、我が国ではスラグ砕石コンクリートの委員会が組織された段階である。違わずスラグ砕石の利用が実現されるであろうが、原料となる高炉スラグの絶対量が年間3,000万ton程度であるから、骨材

資源として多くを望めないものである。

細骨材の不足については非常に困っており、川砂が底をついた現在、島国の日本では海砂が重要な細骨材資源となるが、海砂に含まれている塩分の影響で鉄の発錆と腐食が促進されるため、コンクリートにした場合、鉄筋の防食をいかに保つかが問題になる。現在では海砂に含まれる塩分を洗い落とすか、あるいは防錆剤を混和して使っているが、海砂コンクリートの耐久性は、これからの研究問題である。海砂の利用はコンクリート骨材の資源問題にとって最重要課題であるが、海砂もまた資源として限られたもので、海岸と海底の破壊や漁業におよぼす公害をふまえて対処していかなければならない。

人工軽量骨材は、原石を粉砕焼成膨張させたもので、コンクリートの軽量化の点でも有望である。現在のところ骨材全体に対し1割程度しか利用されておらず、早急に天然骨材の不足を補うことは困難であるが、製造と利用の技術が進めば、従来の構造用コンクリート骨材に代

替するものとして大量に使えるようになるであろう。

このように骨材資源はすべて限りのあるもので、いずれは既存の構造物をこわして出来る廃コンクリートを、骨材資源として利用することも考えなければならない。

1.4 鉄とアルミニウム

建築では非木造建築、なかでも鉄骨構造の伸びが著しく建築材料における鉄鋼の必要量は急速に増加している。表5は我が国の鉄鉱石と原料炭の輸入依存度を、表6は各国の鉄鉱石の輸入依存度の比較であり、我が国の鉄鉱石資源の状況はきびしく、100%輸入にたよらなければならないのも、そう遠くない状態にある。資源の有限性が世界的に認識されつつあるなかで、我が国の鉄需要が増大した将来も現在と同じ条件で鉄資源を輸入出来るという保証は無い。資源面に制約があると、当然供給価格が影響を受け、鉄消費型の構造物の建築コストが近い将来急騰する事態を予測しておかねばならない。

表 5. 主要製鉄原料の輸入依存度 (単位 10<sup>6</sup> ton)<sup>7)</sup>

昭和年次	鉄 鉱 石			製 鉄 原 料 炭		
	消費合計	輸入 鉄 費	輸 入 依 存 度	消費合計	輸入 炭 費	輸 入 依 存 度
45	97.0	94.5	97.3%	53.8	44.4	82.5%
46	106.0	103.9	98.0%	55.3	44.9	81.3%
47	107.3	105.5	98.3%	53.8	43.8	81.4%
48	130.0	128.8	99.0%	63.9	53.7	84.6%
49	131.2	130.3	99.4%	65.9	56.8	86.1%

表 6. 主要国の鉄鉱石輸入依存度 1974年 (単位 10<sup>6</sup> t)<sup>7)</sup>

国 名	生 産	輸 入	輸 出	見掛消費量 C : P+I-E	輸入依存度 I/C
	P	I	E		
日 本	0.8	130.3	—	131.2	99.4%
ア メ リ カ	85.9	48.8	2.4	132.4	36.9%
西 ド イ ツ	4.4	57.7	0	62.2	92.9%
イ ギ リ ス	3.6	19.7	—	23.3	84.5%
フ ラ ン ス	54.7	15.9	19.8	50.8	31.4%

鉄と同じく建築におけるもう一つの主要金属材料であるアルミニウムは、図3の如く、ここ10年間で飛躍的に使用量が増加した材料である。図4のようにアルミニウムは地球殻中に存在する元素のうち、鉄よりも多く金属材料のうちでは最も豊富な資源であるが、反応性が強く強固な化合物として存在するため還元精錬するのが困難で、高価格の材料となっている。価格の点を除き、アルミニウムは軽量・耐蝕性・加工性・気密性等すぐれた性質を持っており、高度化・多様化する建築への要求に

じられる素材として、これからますます重要になってくる。経済性という面においても、原材料の価格は鉄・木材に比べ高いが、耐用年限と使用期間中の冷暖房等のエネルギー節約量を比較すると、スチールサッシや木製窓枠よりアルミサッシの方が最終的に数倍有利である。このような点から、アルミニウムを建築に利用する方法を研究することは、これからの建築技術を進歩させる上で大きな意義がある。



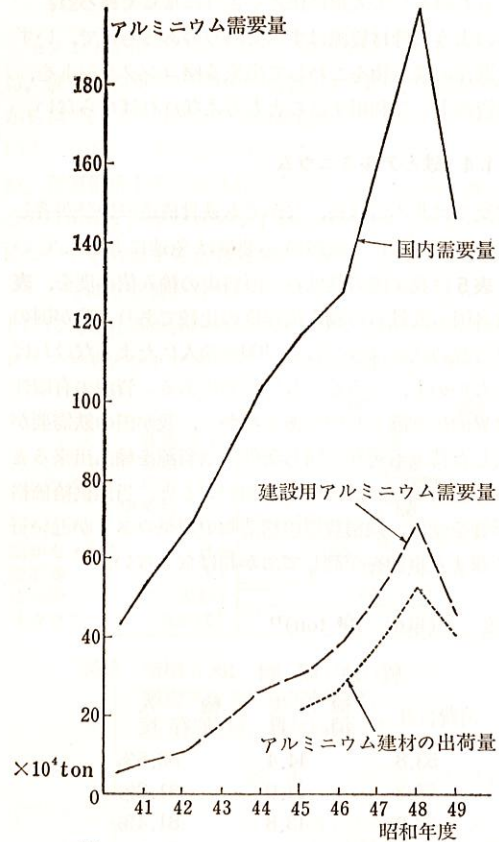


図3 アルミニウムの需要量の推移<sup>9)</sup>

2. 新しい資源 — 排煙脱硫石膏 —

2.1 亜硫酸ガスによる大気汚染

我が国は、アメリカ・ソ連につぐ世界第3位の石油消費国であり、表7のように膨大な量の石油を輸入することによって需要を賅っている。原油のなかには多量の硫黄が含まれており(表7)、これらの硫黄は昭和40年代の前半まで亜硫酸ガスとして大気中に放出されていた。と

表 8. 大気汚染物質の排出源・排出量<sup>11)</sup> (1970年の推定)

汚染物質	主なる人為的排出源	主なる自然的排出源	世界総排出量 (10 <sup>6</sup> t/年)	
			人為的 100 *	自然的 0
SO <sub>2</sub>	石灰・石油の燃焼	火山の噴火	100 *	0
H <sub>2</sub> S	化学工場, 下水廃棄物	沼沢地の生物の活動 火山の噴火	2	100
NOx	燃焼排ガス	土中でのバクテリアの活動	50	200
NH <sub>3</sub>	廃・棄物	生物の死骸	4	6000
N <sub>2</sub> O	なし	土中での微生物の活動	0	1000
CxHy (炭化水素)	燃焼排ガス, 化学工場 自動車排気ガス	生物活動	90	300 (主としてCH <sub>4</sub> )
粉じん	燃焼排ガス, 各種工場	火山の噴火, 強風	100*	100
CO	自動車排気ガス その他燃焼排ガス	山火事	200	200
CO <sub>2</sub>	燃焼排ガス	生物の死骸, 海洋からの発散	20,000	500,000

(\* 北緯30°~60°の区域を対象としている)

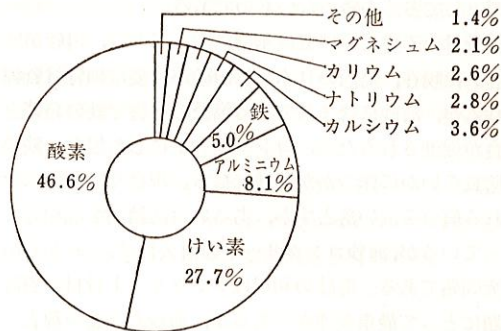


図4 地殻における元素の存在度<sup>9)</sup>

ところが大気中の亜硫酸ガスおよび硫酸ミストの濃度が増すと人体にきわめて有害であるため、硫酸化合物による大気汚染防止の対策を講じる必要が出てきた。表8は全世界における大気汚染物質の種類と排出量を示したものであるが、なかでも亜硫酸ガス SO<sub>2</sub> は自然排出量がゼロであるのに対して、人為的に大量に排出されている。いいかえれば、硫酸化合物による大気汚染は人工的なもので、産業廃棄物中の硫黄を除去すれば防止出来るわけである。

表7. 昭和40年代の我国の石油輸入量と硫黄含有量<sup>10)</sup> (\*は推定)

昭和年度	原油輸入量 10 <sup>6</sup> kℓ	平均硫黄含有率 o/wt	推定硫黄含有量 10 <sup>6</sup> ton
40	84.1	2.04	1.46
41	99.3	1.99	1.68
42	120.6	1.93	1.98
43	139.8	1.82	2.16
44	167.4	1.68	2.39
45	197.1	1.58	2.65
46	222.5	1.53	2.89
47	249.2	1.50*	3.18
48	289.7	1.50*	3.68
49	278.4	1.50*	3.55

2.2 大気汚染防止対策

石油消費産業界では硫黄問題と称して環境汚染防止の対策をたてる努力がなされ、特に四日市公害裁判で企業側の責任が表面化したことをきっかけとして、表9のように公害防止投資比率が大きくなってきている。具体的な対策としては、硫黄含有率の低い低硫黄原油と重油の輸入・液化天然ガスL.N.G.の導入・重油脱硫・排煙脱硫などが試みられているが、低硫黄石油資源ほど高価格で入手が困難であることから、最近では排煙中の亜硫酸ガス濃度の法令による規制に伴い、石油を燃料とする大型プラントでは、排煙脱硫を用いる場合が非常に多くなっ

表 9. 主要業種の大企業の公害防止投資比率の推移<sup>12)</sup> (支払ベース)

昭和年度	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
火力発電	4.8	7.3	7.9	8.5	11.8	12.8	15.3	26.0	29.2	33.8
紙・パルプ	3.7	3.2	6.6	4.8	7.3	6.1	10.8	15.9	23.6	26.9
石油精製	10.4	1.6	13.5	9.4	14.7	10.1	12.0	16.8	18.8	30.6
石油化学	2.5	1.6	2.6	3.2	4.1	4.5	3.9	9.0	10.9	17.8
鉄 鋼	3.2	2.8	3.2	3.5	4.8	6.2	9.0	10.1	14.7	15.4
全業種	3.1	2.9	3.5	3.7	5.0	5.3	6.5	8.3	9.9	14.6

2.3 排煙脱硫石膏の産出量と石膏の需給バランス

上述したような背景から、排煙脱硫石膏の国内産出量は、ここ数年で急激な増加が予想されている。排煙脱硫

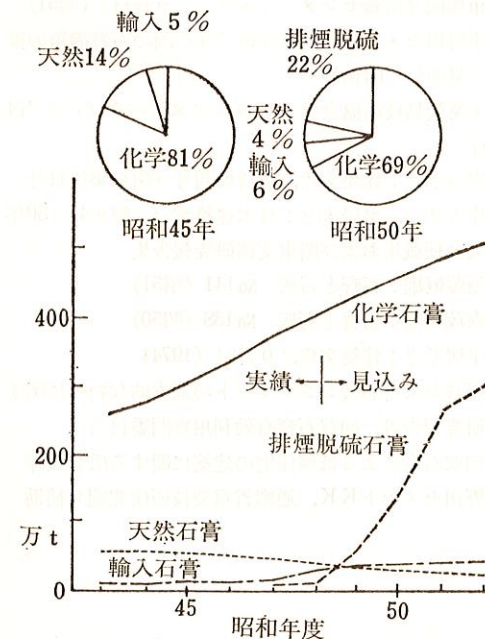


図5 石膏の供給量<sup>14)</sup>

てきている。排煙脱硫法には、石灰石膏法・亜硫酸法・アンモニア法などがあるが、これうち石灰石膏法は火力発電所など大容量のものに使われることが多く、全体の70%を占めるものと推定されている<sup>13)</sup>。石灰石膏法は、硫黄を石灰によって硫酸カルシウムすなわち石膏として回収する方法である。国内の石灰資源が豊富なこと、石灰法による排煙脱硫技術が進歩しつつあること、出来る石膏が硫黄化合物のなかで最も安定しており、人体に有害で無いこと、石膏の大量消費市場として建築材料の分野が非常に有望であることが、石灰石膏法を用いる理由である。

石膏の原料は石油に含まれる硫黄と、我が国では豊富にある石灰であるから、理論的には膨大な潜在石膏資源が国内にあることになる。例えば昭和48年度で試算を行うと、約2,000万tonの石膏になる。実際には脱硫装置の設置状況や硫黄回収生成物の種類、また装置の脱硫能力や稼働率などから、昭和55年度で300万ton程度の回収石膏が出ると考えられている。この結果、石膏の供給量は図5のように予測されている。

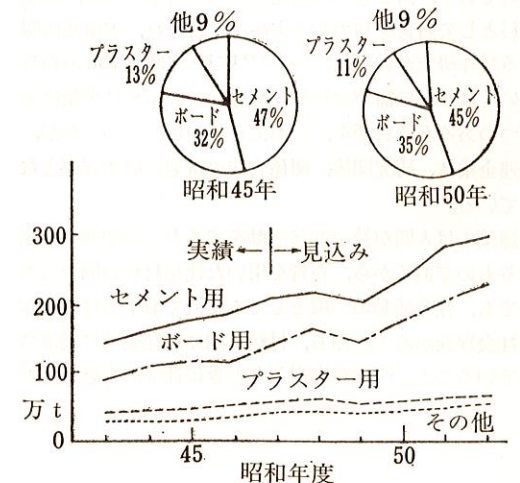


図6 石膏の需要量<sup>14)</sup>



石膏の需要は、図6のようにセメントの凝結調節用が第1位で次いでボード用、プラスター用となっている。セメントの凝結調節用には二水石膏がセメントの3.3~3.4%添加されるので、セメントの伸びに比例して需要が増加すると考えられ、またボード用石膏も住宅やビルの内装で建築の不燃化、工業化に適した材料として建築工事の伸びと共に需要が多くなるが、プラスターは現場施工における技術上の問題から建築工事量の伸び程は増加を見込まれていない。

このような石膏の供給と需要から、そのバランスは図7のように昭和50年度で100~200万tonの石膏が余ると予想されている。オイルショックに端を発した昭和40年代末の日本経済の沈滞により、排煙脱硫石膏の量は当初の予測より増加の速度が遅く、関係方面では“実際に石膏は余るのか”とたびたび言われたが、最近の情報によると昭和49年度末に85万ton余り、120万tonの在庫が記録されている。

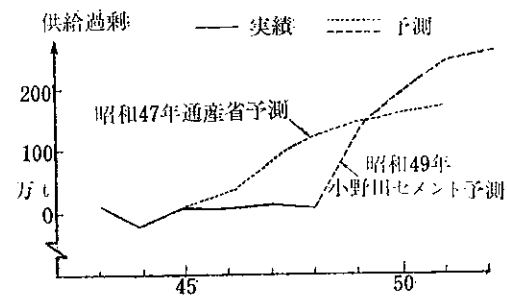


図7 石膏の需給過不足

#### 2.4 新しい資源—石膏—の有効利用

以上のように、資源的な観点から石膏の有効利用が望まれており、需要分野の開発における将来性から、建築材料として石膏を利用する方法が検討され、実用化に関する試作研究が行われている<sup>15-22)</sup>。200万tonの石膏といえば年間総需要の約4倍に当り、このように多量に余りつつある石膏資源を、いかに有効利用していくかが、関連企業、研究団体、関係省庁の重要な研究課題となっている。

建築とは人間が社会的な活動をするための空間を提供するものであるから、石膏を用いた建築材料の開発においても、社会活動の環境としてふまえておかねばならない社会理念がある。即ち、材料の開発が社会的に要求されていること。開発が実現したときに社会的害悪を引き

起こさないこと。科学技術の進歩発展につながるということ3つの理念である。このことを念頭において、石膏の有効利用方法について、これまで筆者の行なつた試験研究を中心に、(その2)以後で述べていきたいと考える。

#### 参考文献

- 1) 通産省「通商白書(昭和50年度版)」
- 2) 建設省計画局調査統計課資料 昭和50年12月改定試算
- 3) 農林省統計情報部「昭和49年木材需給報告書」農林統計協会
- 4) 林野庁「林業白書(昭和49年度版)」
- 5) 岸谷孝一、安藤達夫：日本建築学会 昭和50年度関東支部研究報告集
- 6) 岸谷孝一：セメントコンクリートNo.339, p. 65, (1975)
- 7) 鉄鋼統計委員会「鉄鋼統計要覧」(1975)
- 8) 軽金属協会「軽金属工業統計年報」(昭49)
- 9) 東京天文台編「理科年表(昭和49年版)」丸善
- 10) 重工業新聞社「排煙脱硫のすべて」(昭47)
- 11) Kreijger, P. C. "Environment, pollution, Energy and Materials" RILEM Bulletin, Materials and Structures, 6, (36) (1973)
- 12) 環境庁「環境白書」(昭49)
- 13) 市場開発情報センター「新せっこう建材」(昭51)
- 14) 小野田セメント中央研究所「我が国の石膏需給の推移と見通し」昭和49年
- 15) 工業製品技術協会「セミラックスデータブック '74 '75」
- 16) 岸谷孝一：建築文化、臨時増刊号(昭和48年11月)
- 17) 岸谷孝一、平居孝之：日本建築学会、昭和47~50年度大会梗概集および関東支部研究報告集
- 18) 須藤恒雄：石膏と石灰 No.141 (昭51)
- 19) 森茂二郎：石膏と石灰 No.138 (昭50)
- 20) 平居孝之：建築文化、9月号(1974)
- 21) 石膏および石膏コンクリートの基本的な物性に関する研究報告書、回収石膏有効利用専門委員会
- 22) 回収石膏による低層住宅の建築に関する研究試作 小野田セメントKK, 通産省重要技術研究開発補助