

建物軽量化における組立鉄筋コンクリート構造について

後 藤 一 雄^{*})

大量生産の要領は、材料に高度の加工を人手間無しに加え、材料を節約しつつ優れた性能を発揮せしめることである。¹⁾最近のコールドロールフォーミングによる軽量鋼材類等はその良い例であろう。

材料の節約は、とりも値さず軽量化に通ずるものであつて、特に強度の割に重いコンクリート²⁾では、その効果が非常に大である。工場生産では、デリケートな形状が成型可能である事と、精度や生産管理が良いので安全率を小さく出来るので、現場打より軽くなるのであるが、また加工の巧みさを利用して、異質の材料のコンビネーションを行い、この点で軽量化する事も可能である。

ところで現場打コンクリートは案外高効率なもので、特に規模の大きいものに至つては最初の段取さえ付けば、一挙に相当大きい物をCast出来るから、工場生産で重いコンクリート材³⁾を2重運搬したり、工場設備資金の金利、減価消却等を算入するものに比し、案外安価に行えるのである。

また、現場打コンクリートでは鉄筋の接合は40d重ねただけで良く、こんな簡単で便利な方法は、ちよつとやそつとの機械化で重ねを無くし、鉄材を節約した程度では合わないのである。

従つて工場生産コンクリート建築が如何にしてその効果を発揮するかというと

1. 工期の短縮
2. 資材の節約による軽量化

の点によつてである。特に軽量化は建物の応力を減少し、更に資材の節約を促し、これによつ

^{*}) 東京工業大学工業材料研究所員 助教授 工博

1) 後藤一雄：工場生産住宅の実用性、建築雑誌 1949年7月 15頁

後藤一雄：大量生産へのあこがれ、建築雑誌 1952年8月 1頁

2) 鉄の重量対降伏点強度は $3.2 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ 、コンクリートの重量対強度は $4 \sim 5 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ で鉄の1.5倍程重い。

3) 現場打コンクリートが「材料取得場所→現場」であるに対し、工場生産は「材料取得場所→工場→現場」となる可能性が大きい。

て軽量化が更に進展するという効果がある。この事は地盤の悪い所や、地震の強い地方には一層顕著である。

しかし一方、構造に耐火性を与えようとする場合、この軽量化と大きな矛盾を生ずるのである。何となれば現在のコンクリートの建物の耐火性というものは主としてコンクリートの熱容量による温度上昇の遅延によつて得られているからで、従つて、軽量化はそのまま耐火性の減少になる（軽量コンクリートが案外耐火性の少い事は御存知の事と思う）。

こゝにおいてコンクリートの建物を工場生産化によつて如何に軽量化し、次にその重量を増すことなしに耐火力を与える方針について報告する。

今、岩間氏の調査報告⁴⁾によればコンクリート建築の各構成部におけるコンクリート使用量について、12の各種用途の建物を平均した結果は次の通りである。

基 礎	22.0%
柱	13.3
は り	16.9
床 板	22.4
壁	25.4

コンクリートの量がほとんど建物の重量とみなせば、この調査の結果は建物の重さの大部分が壁、床板、基礎で占められることを示すものである。この中、基礎は上部構造が軽くなれば、それに応じて小さくなるものであるが、壁と床は、それより上部構造の重量とは無関係のものである。従つて壁と床自身を軽くする事が大切で、これが建物の重量を軽くすることのキーポイントであろう。これを軽くすれば必然的にはり・柱・基礎も小型になり軽くなる。

床を如何にして軽くするか

床をPre-Cast Concreteとしてデリケートのものとすれば軽くなるはずであるが、下手をすると失敗する。それは、日本では日本人の器用さも手伝つて、現場打コンクリートも結構薄いものを作っているからである。日本の規準は現場打の床の最少厚を8cm以上、主要スパンの1/40以上として居り、9cm厚程度(220kg/m²)のものはしばしば存在する。従つて外国で実用的だから日本でもという訳には行かない。たとえば図-1の様な床ではその実

4) 岩間正孝：建築物の軽量化、経済化並に工期短縮化について、建築雑誌 1954年2月 1頁

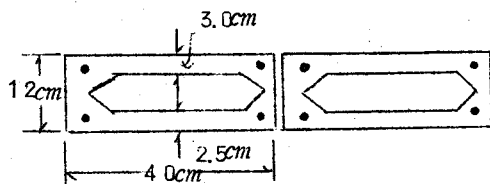


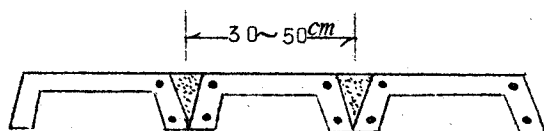
図 - 1

質的平均厚は8cm以上で9cmに近い。これは強度の上から shell をそうは薄く出来ない事、リブの巾がヒフクの上から限定され、またたわみの関係(特に1方向支持のために)で高さを餘り低くする訳に行かない事からである。

Pre-Stress を与えたピ

アノ線コンクリート — 以下PSCと略称 — でも軽くならず値段が高くなるだけ損である。それは床の場合強度よりもたわみでおさえられるため、床の総高さはPSCの方が普通筋のPre-Cast Concrete — 以下PCCと略称 — より高さを大きくせねばならないからである。

図-1の例で判る様に2重シェルの床は軽くならないから、従つて床の形は π 、L、T型ということになる。しかして図-2は π 型の床の例であるが、これも決して軽くはない。これはリブの所が相当の重量になつているからである。すなわちリブはどうしても巾が5~6cm必要



自重約180~250 kg/m²

図 - 2

で、これがダブリ、更に目地にコンクリートが充填されるからである。リブがダブラぬ様にするには図-3の形状がある。

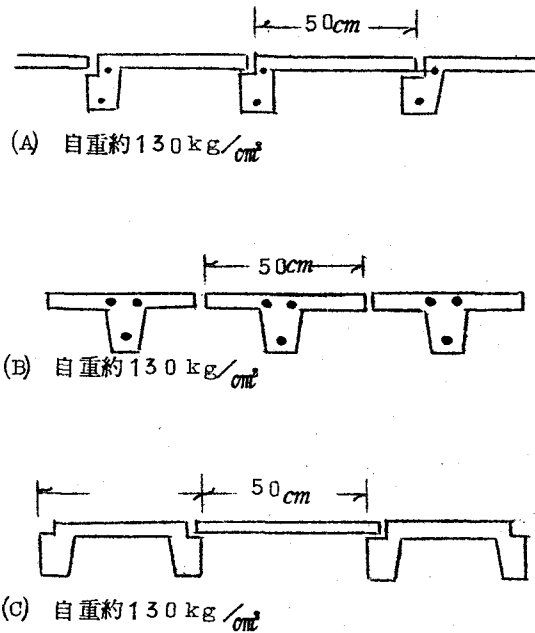


図 - 3

これによれば自重はスパン4 mの床で 130 kg/m^2 程となり、現場打コンクリートの半分程度となる。しかし図-3の床には大きい欠点がある。それは1ヶの床が荷重によつて単独にタワむ傾向があり、従つて計算上同一タワミとしておいても実際に当つては載荷重は局部に加えられるものであるから、図-2の床に比してはるかに剛性を少く感ずるのである。

5) タワミを $1/400$ 程度に押えた場合

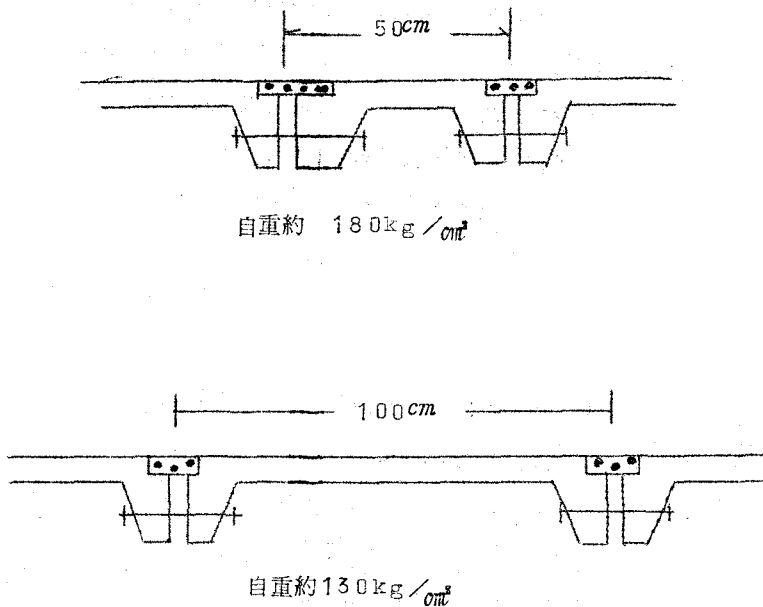


図 - 4

しからばどうすれば良いかと言えば、その一つの解決策はリブとリブの間隔をシエルを厚くせずになるべく離すのである。図-4は π 字型で巾 50 cm のものと 1 m のものとを比較したが、図-2の 250 kg/m^2 に対して 180 kg/m^2 、 130 kg/m^2 と低下している。

シエルの厚さは生産誤差及び打抜き強度等から普通 3 cm が長少限度と思える。この場合リブの間隔は $1 \sim 1.3 \text{ m}$ 位が限度の様であり⁶⁾(なおこの際主リブに直角な副リブを 1 m 置きに設ける必要がある)、従つてこの形式において 130 kg/m^2 の値が限度近いと言える。

これにより更に軽くするには、軽量コンクリート、或は其の他の特殊なコンクリートの使用を考える必要がある。

- 6) このシエルの強度計算は、等布荷重に対しては、曲げ応力計算によるより、シエル内にアーチ状の部分を想定し、この圧縮耐力と、この反力によつて4周のリブが水平に変形し、その結果シエル下端にキレツを生ずる限度を求めて行ふのが実際に則する様である。またパンチ耐力に対しては傾斜 60° 程度の円ズイをシエル中に想定し、この円ズイ面が周囲から剝離するに要する耐力を求めれば大体差つかえない様である。

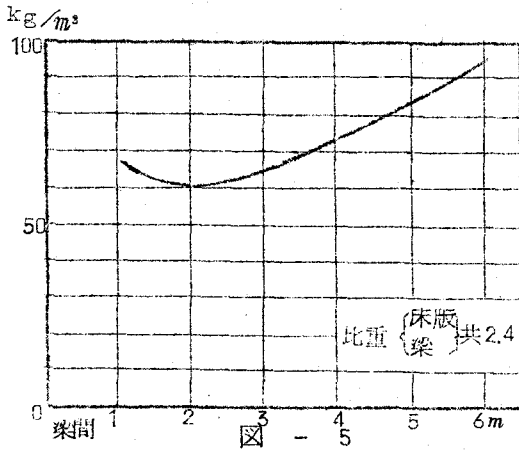
軽量コンクリートを考える場合、次の事を頭に置く必要がある。すなわち、軽量コンクリートの強度は一般に軽くなる割合以上に強度が落ちるという事である。この低下率は大体比重に対し $\frac{1}{3}$ 乗の割合である。これに対し、曲げ耐力及びパンチング耐力は厚さの2乗に比例し、その差はわずかである。従つて軽量コンクリートの効果を充分發揮するためにはなるべく軽いものを厚く使用するのが良い。生半可な使用では効果はほとんど發揮し得ない(最近の軽石軽量コンクリートが実用化している実状は、高強度コンクリートの許容耐力がセメントの強さに比して低く押えられている事と、最少断面の規定や、施行の関係で、強さに応じて小断面とする事が出来ない点に因るものが多い)。非常に軽いコンクリートに、泡コンクリートと、極軽量骨材によるコンクリート或は硬質木毛板等がある。これ等においては比重0.5、圧縮強度 30 kg/cm^2 位のものが得られる。この $\frac{1}{30}$ を許容せん断耐力または許容曲げ強度とすれば工場生産コンクリートの許容応力度に対し $\frac{1}{10}$ となり、その平方根倍の厚さとすればよい。すなわち床のシェルの厚さは $3 \text{ cm} \times 10 \div 10 \text{ cm}$ でよく、これによつて 3 cm シェルに対し、約 30 kg/cm^2 ⁷⁾程の重量を減少せしめ得られる。

たゞしこれ等の軽量コンクリートには、風化による鉄筋防錆力の劣化や、局部圧壊のおそれがある。そこで鉄筋自体は高強度コンクリート中に埋設し、この高強度鉄筋コンクリートで軽量コンクリートを取り巻いて保護する形が良いと思う。この様にした時、注意を要することは、泡コンクリートは相当長期に渉つて収縮することである。従つて泡コンクリートによるブロックを先に製作し、充分収縮を終らせてから、その周囲に高強度コンクリートを打つ様にせねばならない。これは大量生産の立場からは不利な事である。この点ドリゾール等の硬質木毛セメント板は良いが、非常に吸水するので、これに対する処置を構ておく事が必要である。この点バーライトコンクリートの様な極軽量骨材によるコンクリートは具合が良いようである。しかし、この場合、普通のミキサーでは骨材が破壊する可能性があり、或は骨材が浮上つてしまつたりするので、特種の混合法を行う必要があろう。またバーライトが今なお相当高価な点にも問題がある。一般にはバーライトと泡コンクリートを適当に配合して行うのが良さそうである。

また床の厚さはスパンが大きければ重くなり、小となれば軽くなる。しかしスパンが小さくなると小ばりの密度が大きくなり、結果として床全体は重くなる。今、経験的に小ばりが6 mのスパンで間隔4 mの場合 $9 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$ で充分な如くであるから、これを規準として、タワミ

7) 高強度コンクリートの比重を2.6とした。

を一定として小ばりの間隔に従い断面を変化せしめて⁸⁾理論的に計算すると、図-5の如くなる。



これによると小ばり間隔すなわち床スパン2mが最低値となる。しかし2mでは小ばりが多過ぎて手間がかかり、価格の点で不利となるから、大体3m位が適当である。これに従つて床を具体的に設計したのが図-6に示すものであつて、図-5の理論値よりやや重くなつた。しかしそれでもこの床はFCC床の中

で最も軽いものの一つになるであらう。⁹⁾普通コンクリート床の $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$ の重量である。なおこの床は目下試作を進めている段階であるが、軽量コンクリートの方になお研究を要する所がある。

8) 強度の方は鉄筋断面の加減でまかなえる。また巾の方はヒク等の関係で変化し得ない。従つて床の密実コンクリートの部分も小ばりも高さのみを剛性に合せて変動せしめた。

9) 建研牧野稔氏の調査に基く主としてフランスのFCC及びPSC床の重量は 122 kg/m^2 以上である。しかも 145 kg/m^2 以下のものは、やはり軽量コンクリートとのコンビネーションで行われている。

壁を如何にして軽くするか

壁といえども風圧が $120 \sim 300 \text{ kg/m}^2$ 加わるので、床と大差のない構造となる。たゞ異なる点は床のようにタワミに対して厳格になる必要がない事と、熱伝導抵抗が大きい事が望ましい事、雨仕舞、外観等も合せ考慮する必要のある事等である。

これ等を総合して考える時、高強度コンクリートの場合2重壁が良く、重量のみを問題とする時は1重壁となる。2重とする理由は雨仕舞に対し、1重では、厳重なバテエ法等を採らない限り困難である事が多い理由で、ほかに熱的性質遮音性の改善並に両面外観を等しくする等の意味がある。床と同じく軽量コンクリートとのコンビネーションによる方法は最も優れた方法となろう。

タワミが問題でないからPSCも使用して便利である。たゞ注意を要することは、PSCの場合、あまりコンクリートを薄くすると、生産を非常に厳密にせざる限り、Pre-Stressのアンバランスから反る傾向を生ずる。反らない程に厚くするとあえてPSCによらずともPCCで同じ効果を出し得る事が多いから、よく検討する必要がある。しかしてPSCの場合は弾力性があるので板も取扱い易く、反りに対しては下地と板の連絡方法とで強制的に修正する事が出来る。

2重壁では壁の重量は最低3cm 2枚として 156 kg/m^2 、(間隔を考慮すれば 175 kg/m^2) 軽量コンクリートを併用して図-6に準ずれば約 100 kg/m^2 位となる。これに対し、現場打コンクリートでは約 290 kg/m^2 、軽量ブロックのカーテンウォールでも壁用では 210 kg/m^2 の重量である。しかもブロックでは多くの場合は外面を仕上げねばならないから更に重くなる。公務員アパートの様なものは、壁の面積が多く、大体壁面積：平面積 = 2：1なので、約 200 kg/m^2 の重量軽減が可能である。

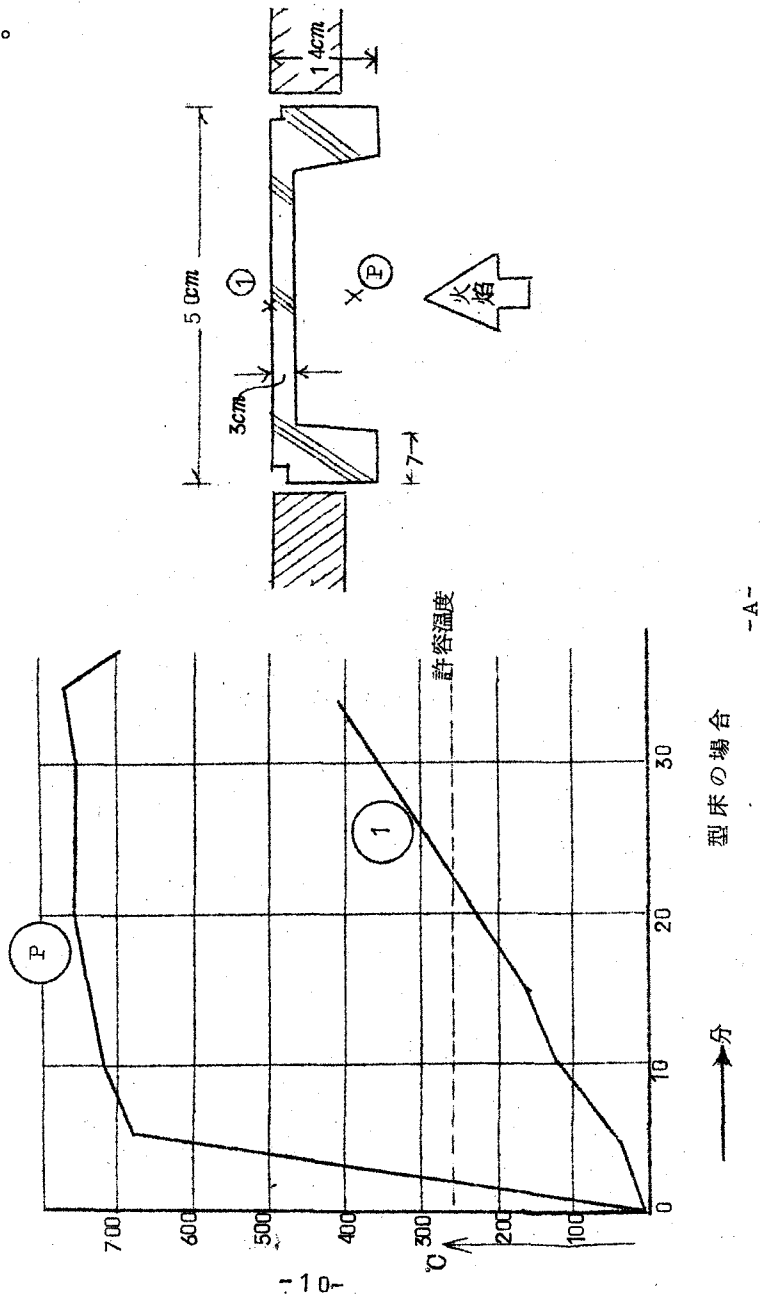
耐火性をいかにして得るか

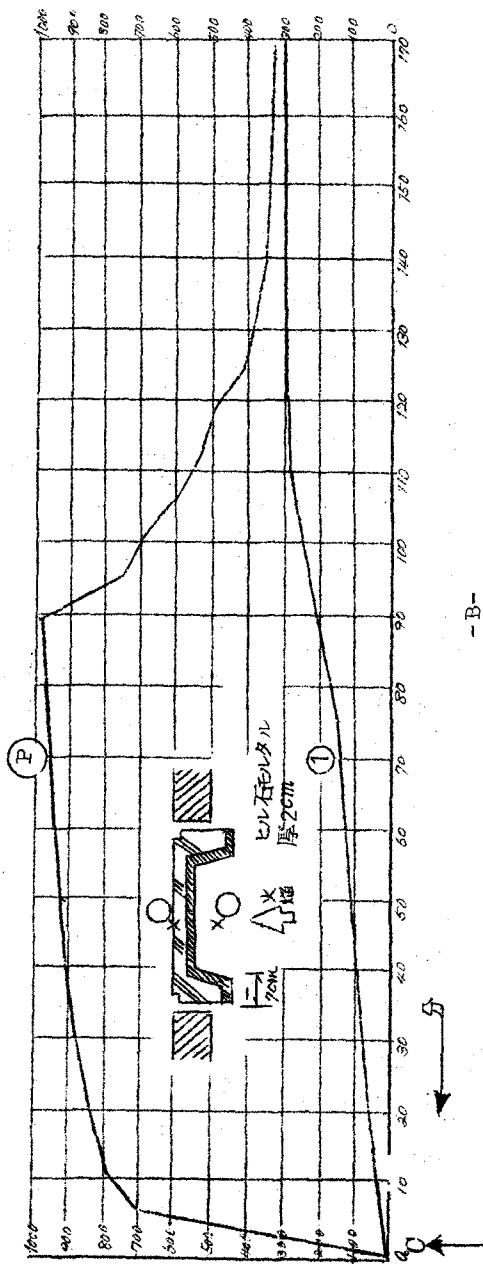
前述の如く、軽量化すなわち耐火性の低下となる。これを重量増加を大して行わずにいかにして耐火的とするかに問題がある。それには次の方法が考えられよう。

1. 伝熱率の小さいもので被ふくする。
2. 結晶水の多い材料で被ふくする。
3. 空気層を設けて、その空気を吹払う。

まづ1の方法であるが、伝熱の小さいものは、必然的に熱容量が少い。従つて定常状態でな

く、温度の上昇速度が問題となる火災の場合は割合効果が少い。しかしたとえば発泡性の耐火塗料の様なものを塗布することは、外観、運搬上も支障がないから（軽量絶縁材は強度も弱いので、運搬中に破損し易い）。Pre-cat の完全成品として供給される場合には良い方法ではないかと思われる。しかし龍谷助教授の計算によると、15分位温度上昇が遅延する程度の様である。石綿、ひる石、パーライト等を現場で吹付けて被ふくすることも有利で、図-7¹⁰⁾にその効果を示す。





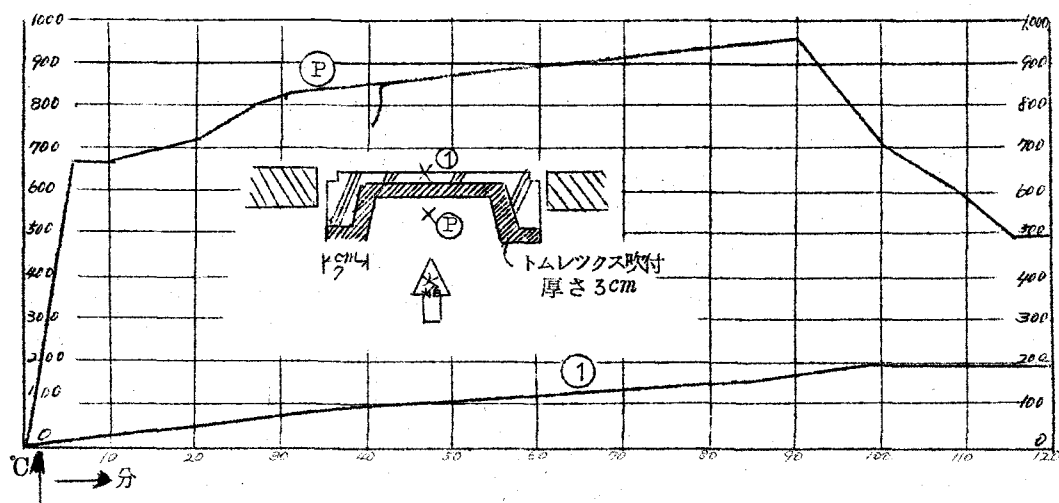


図 - 7

2.の結晶水の多い材料とは、主として石こう材料のことであるが、これは比較的軽く、結晶水もセメントよりはるかに多く含み、分解温度も低いから、脱水している間の時間中、温度の上昇を低い温度で押えることが出来、その後に断熱性の材料に変化するから更に有利である。しかしこれ等の被ふく塗装は火災中に剝離するおそれがあり、これに対する結合材の研究が行い得られれば有利な方法であろう。

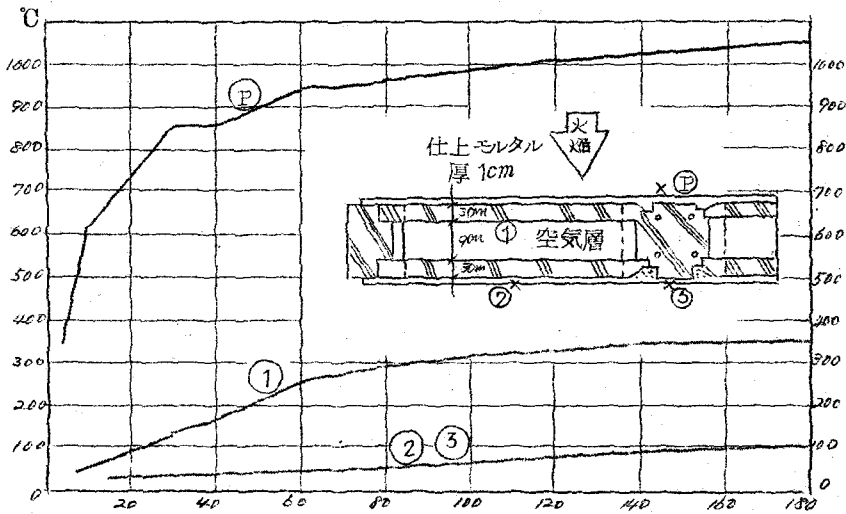
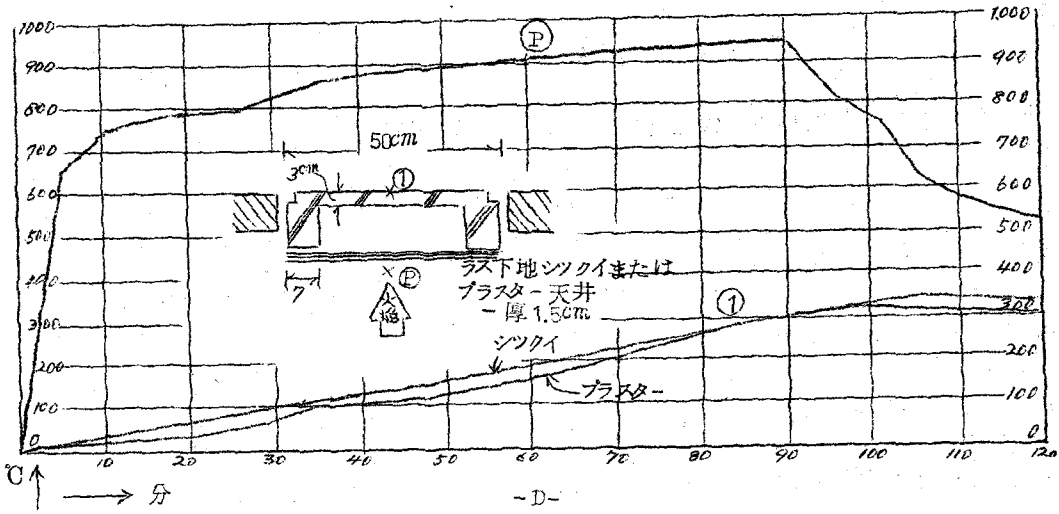
3.の方法は適当な不燃材で「はのを」を一度遮断し、中間の空気層にドラフトを附して、温まった空気を吹払い、温度の上昇を押える方法で、床の場合には不燃天井を設け、壁の場合は2重壁とする方法がこれである。この効果についても図-7に示した。なお図-7には石膏プラスターとしつくいとの効果の差が表れている。

火災時の温度上昇速度を緩かにすることは、高強度のコンクリートの爆裂現象を防止する上においても必要な事で、PSCの如く 250 kg/cm^2 以上のコンクリート強度を持つものについては特に絶体に必要な見える。

実例について

図-8の様な3階建の事務所について現場打コンクリートと、Pre-Cast concrete

構造の一例であるPre-Con 式とで設計を行い重量を比較した。その結果は、表-1に示す¹¹⁾



縦ての空隙を有する2重壁の場合

-E-

11) 日本建築学会における「建築物軽量化に関する研究会」(主任研究者 二見秀雄)で行われた研究結果による。

仕 上 表

	1 階	2 階	3 階	屋 階	備 考
床	モルタル目地付	寄木張り	//	アスファルト 3層 防水	ペントハウス屋根
内 壁	シツクイ仕上げ	//	//		防水モルタル
外 壁	色モルタルスプレイ	//	//		外壁色モルタルスプレイ
巾 木	色モルタル仕上げ	//	//		壁室内側シツクイ仕上げ
天 井	シツクイ仕上げ	//	//		
階 段	色モルタル仕上げ 裏面シツクイ仕上 手摺 11/4 スチールパイプ				
便 所	床 腰 (高100 ^{cm} タイル張 壁シツクイ仕上げ)				
窓	スチールサツシュ 網入ガラス入				
ド ア -	外廻り及び階段廻り鋼製 窓は網入ガラス入				
シャッター	金鋼シャッター				

$$79.4 \text{ m}^2 \times 3 = 238.2 \text{ m}^2$$

表 - 1

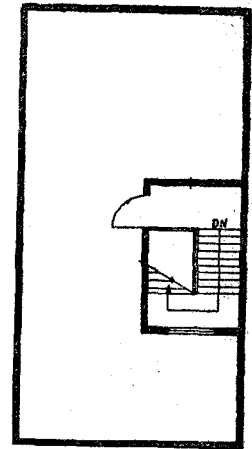
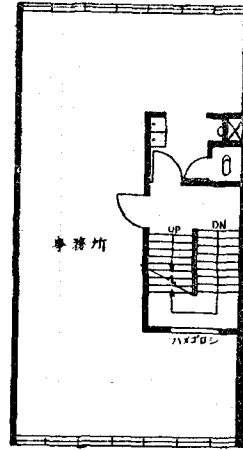
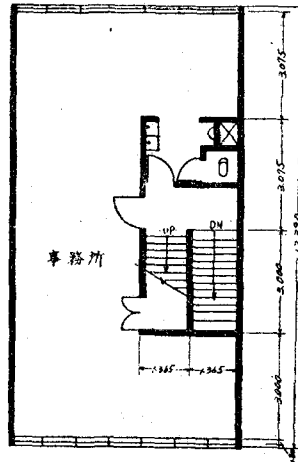
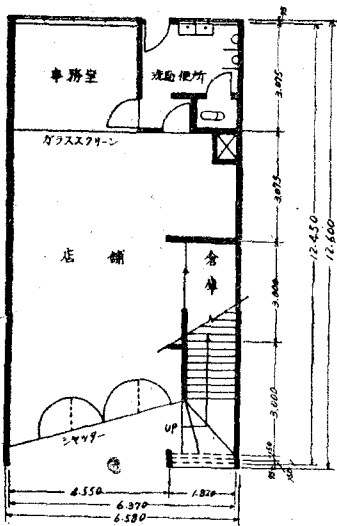
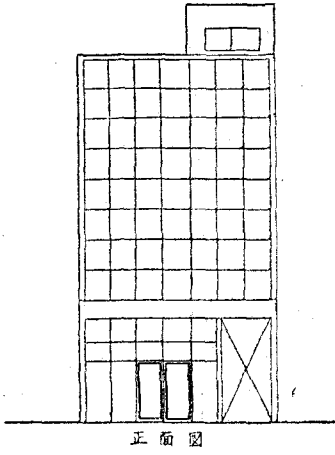
		普通ラ－メン耐震壁式	ブレコン式
床重量 (t)	ベントハウス	4.24	2.540
	屋 根	27.70	18.880
	3 階	25.60	16.800
	2 階	25.60	16.800
	小 計 ①	83.14	54.944
壁重量 (t)	ベントハウス	13.20	4.335
	パラベット	14.35	6.560
	3 階	55.55	19.760
	2 階	49.64	19.760
	1 階	62.60	19.760
	小 計 ②	195.34	70.175
はり重量 (t)	ベントハウス		0.685
	屋 根	13.21	8.600
	3 階	14.76	8.600
	2 階	15.74	10.146
	小 計 ③	43.71	28.031
柱重量 (t)	ベントハウス		1.350
	3 階	11.70	6.020
	2 階	13.94	6.380
	1 階	21.50	7.600
	小 計 ④	47.14	21.350
基礎 (t)	面積 (m ²)	82m ²	62.250
	重量 (t) ⑤	99.60	69.100
	そ の 他 ⑥	6.60	16.570 (階段による増量と1階床)
総 計		475.53	260.170
延面積当重量		1.90 t/m ²	1.04 t/m ²

註、この値は仕上の重量を含んだ値である。

表-1に示されたものによれば、普通ラーメン現場打に比して、プレコンは約半分の重量である。

なお普通の現場打鉄筋コンクリート構造でも、床と壁とをPCCとする時は、工期の短縮と軽量化を達する事が出来る。しかしこの場合、現場打コンクリートとの取合いを工夫して、現場打コンクリートの不正確さに対して支障を生じない様にする事が大切である。

図 8



2. 「組立鉄筋コンクリート床版について」

33. 9. 5 大竹栄三

1. まえがき

現場打込の鉄筋コンクリート床構造の材料としては、必要な特性を適度にかつ普遍的にもっている。現状では最も優れた材料といえよう。

然し、特性に対する要求度が強い建築物にあっては、重量や現場施工の点で大きい欠陥とさえみられる場合がある。この欠点の改良の手段として組立工法が発生した。

組立工法は、現場で直接打込む代りに、プレカストした部品を現場で組立てて造る工法である。

2. 軽量化の手段としての組立工法

鉄筋コンクリート造建築物の全重量中、床版の占める重量は比較的多い。4階程度の住宅事務所建築では、40%～50%程度である。

単位床面積当り平均全重量 1.0～1.2
(基礎を含まない)

＝ 床部分の重量^{*} 0.4～0.6

(※ 仕上を含む床版の重量(D.L.)に積載荷重(L.L.)を加えたもの)

帳壁に既に開口部の増大、他の材料の採用などで、軽量化が普遍的になっている。床版については、鉄筋コンクリートという材料を変えないとすると、軽量化の方法としては

a リブ又は空洞を設けることによってコンクリート断面の縮少を計る。

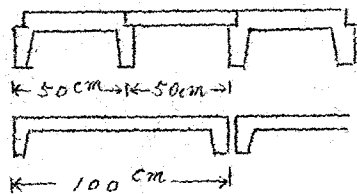
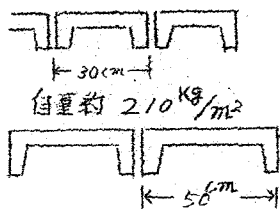
b. コンクリートの強度を上げ又はプレストレスをかけて断面の縮少を計る。

c 軽量コンクリート造とするか、又は普通コンクリートと軽量コンクリートその他材料との複合部材とすることによって比重低下を計る。

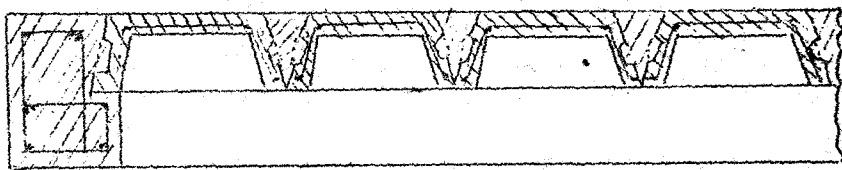
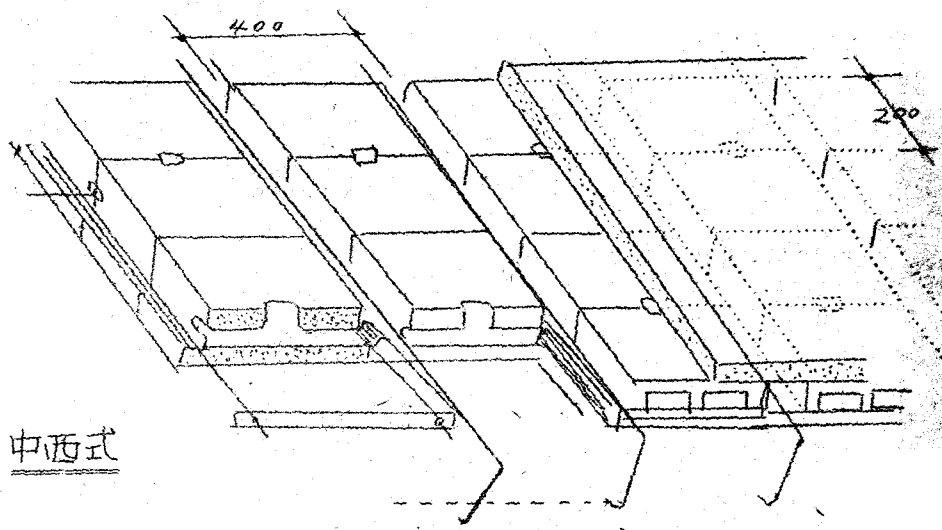
これらの方法は、工場（敷地内の工場も含む）でプレキャストすることによって効率が得られる。

現在日本で営業的に行われているものはプレコン式、中西式、パスギン式であるが、いずれも a の方法によるものである。屋根には、b に属するプレストレスドの平板や c に属する軽量コンクリート板が使用されているが、建築物の床版自体としては、殆ど実施されていない。

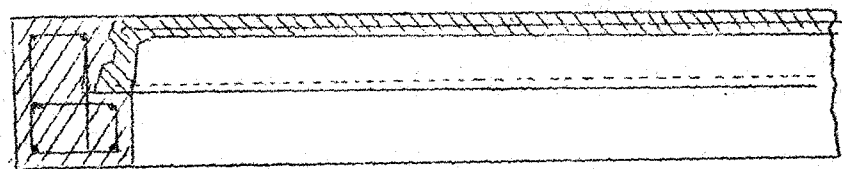
<図>



プレコン式



横断図



縦断図

パスキン床

aに属するものは、普通の鉄筋コンクリート造床版

(厚 12 ~ 15 cm) に較べて平均厚 6 ~ 8 cm 程度になるので、床版自体の固定荷重は半減されるので軽量化の効果は大きい。

床版厚 12 cm とすると、床部分の全量は

事務所建築	床版	0.29	t/m^2	}	t/m^2	}	t/m^2
	仕上	0.06			0.35		
	積載荷重	0.18					0.53

事務所建築を例にとると

$$\overset{D.L.}{(0.29 + 0.06)} + \overset{L.L.}{0.18} = 0.53 \frac{t}{m^2} \dots \textcircled{A} \text{ 現場打込み}$$



$$\begin{aligned} & (0.15 + 0.06) + 0.18 = 0.39 \dots \textcircled{B} \\ \text{又は} & (0.19 + 0.06) + 0.18 = 0.43 \dots \textcircled{B'} \end{aligned} \left. \vphantom{\begin{aligned} & (0.15 + 0.06) + 0.18 = 0.39 \dots \textcircled{B} \\ & (0.19 + 0.06) + 0.18 = 0.43 \dots \textcircled{B'} \end{aligned}} \right\} \text{組立式}$$

となり、床部分としては $\frac{\textcircled{A} - \textcircled{B}}{\textcircled{A}} = 26.5\% \sim 19.0\%$

軽量化され、建築物全体に対しては、

$$50\% \times 26.5\% = 13.2\% \sim 50\% \times 19.0\% = 9.5\%$$

となる。しかも、床版の D.L. の減少に伴い梁、柱、基礎部分の断面縮小による軽量化が得られるが、梁、柱については全重量に対する影響は少ない。(1~2%程度)

基礎については底面積が上記の割合で縮小できるのでその影響はより大きい。抗打基礎→ベタ基礎、又は独立基礎という風に基礎の種類の変更や、階数の増加が可能になるというような影響の方が効果的であるとされている。

3. 工場生産化のため組立工法

プレカストすることは、現場で組立工法をとることになるのであるが、その部材への分割の方法や形状寸法、組立法等は、工場生産化の目的によって異なる。

この目的を大きく分けると、

- A レデーモードの部材として見込む生産をやる場合……
部品規格化が行われる。しかも部品の形状寸法は小形化する。
- B 同一建築物の多量建設を行う場合……プレカストの目的が、形枠、仮設の節減、その他多量建設の経済的効果を求めているだけに、特殊部品として最も有利なように計画される。この極限としてデルトアップ工法がある。
- C 工期の短縮や特殊の施工状態の対策としてプレカス

材の採用の場合……設計者、施行者側の要求によるものである。Aのレデーメードの部品を利用したり、或は、準備作業を進めている間に特殊部品を工場で造ておき、短時間の中に現場組立を行う場合とか、足場支柱を簡略にするためクレーンその他の揚重機械で部品を刷り上げて取り付ける施工法をとったりする場合である。

（大スパン構造物や鉄骨構造、組立鉄筋コンクリート造への取り付けなどの場合）

組立床版の問題点

a 強度上

- ① 鉛直荷重に対して断面縮小に伴う撓みと振動障害の増大
- ② 地震力に対する剛性の確保の不明

現在の所、3階建以下の建築物に制限されている。従来の実験結果では、組立床版の最小断面厚に相当する現場打コンクリート造床の剛性の $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{3}$ とされている。

（学会研究報告、オ19号 浅野新一氏「組立鉄筋コンクリート床の水平剛性実験」、同オ31号、

竹之内清次氏「組立コンクリート床版の水平剛性について」)

通常の現場打鉄筋コンクリート造床の厚さは、組立床版の最小断面厚さ(3~3.5cm)の4~5倍あるので、これに相当する組立床版の剛性は、 $1/8 \sim 1/5$ 位になるわけであり、しかもこれは、静的試験の結果であり、繰返し荷重や動的荷重を受けた場合については更に部分的応力集中による破損の問題が確められてはいない。

⋈ 部材断面の縮小と繊細化による影響

特に考慮されなければならないのは次の事項である。

① 耐火性と耐久性……コンクリート被り厚さが最小限であり、更に小断面の凹凸があり、災害を蒙り易く、鉄筋腐し易くも受け易い。

② 運搬中の破損、又は取付後の衝撃による破損
破損し易いことと同時にその破損が致命的である。

c 結合の不完全

一体化の困難さから、結合面に障害が生じ易い。

目地の接着、鋼材接合等に特殊の工夫を要する。

d 生産上

d

- ・需要不足による割高な価格

- ・規格化

e 施工上

- ・施工機械と施工組織

- ・現場打コンクリートの必要な箇所との工事の分割

による不経済性