

軽量コンクリートの建築への応用

平 賀 謙 一

(建設省建築研究所第4研究部長)

まえがき

軽量コンクリートは古くから遮熱用とか防水押え等軽微なものに使われていたが漸次その力学的性質が明かになるにつれて構造用として進出するようになった。軽量コンクリートは軽くなるにつれて一般に強度は小さくなるが、建築構造学的にみると前者の有利が後者の不利を凌ぐので結局構造上有利に用いられることになる。この材料は日本でも欧米でも初めはブロック造を目的として発達したがこれがいまのような機械化量産になったのは欧米では戦時中、わが国では昭和26年頃からであつた。軽量コンクリートを普通コンクリートと同様に構造用として建築で現場打ちとして用いるようになったのは欧米でも主として戦争後であつてその歴史は新しい。しかしそれまでかなりの力学的研究はあつたようで戦時中すでに試作建物が完成した報告がでている。

わが国での軽量コンクリートの一体式構造への利用研究は少しおくれて戦後に初まつた。後で述べるようにわが国では昭和25年初めてこの材料を用いた建物が試作されたが、本格的に用いられるようになったのは昭和28年東急会館、続いて鉄道会館、東京都庁舎等の高層建築に用いられてからである。その歴史は非常に新しい。

軽量コンクリートは現在建築では遮熱用、被覆用その他の非構造材としても、ブロックあるいは現場打用の構造材としても広く進歩して沢山の種類のコンクリートができているがここでは主として構造用として用いる現場打軽量コンクリートの建築への応用について述べる。なお現在構造用として用いられている骨材は大島、榛名および浅間火山砂利が主であり、研究対照もこれに主力が注がれているのでこれから述べようとする軽量コンクリートはこれらについて主に述べられることを予め御断りしておく。まず最初にこれらの力学的諸性質ならびにその他の性質を簡単に紹介し続いて建築にこの材料をどんな風にして実用化までもち来したか、その成果はどうであつたか等についてかなり多角的に述べてみたい。このような角度からの記述はかえつてこの材料そのものを理解していたどくのに役立つだろうと思うし、またこれを通して建築へ応用されるまでに耐震的考慮も払わねばならずまたわが国独自の軟練り施工法(スランブ20~22)の要求も充さねばならない等わが国なりのかなりの苦心があつたことを理解し

ていただくこともできようと思う。

(1) 軽量コンクリートの力学的諸性質

ここでは本邦の代表的骨材大島、浅間および榛名火山砂利を使用したコンクリートについて述べる。

A) 軽量骨材の諸性質

軽量骨材の真比重、見掛比重、空隙率、吸水率（24時間）を代表的骨材について求めた結果を第1表に示す。

B) 軽量コンクリートの諸性質（その1）

1 種類

軽量コンクリートは一般に混合骨材の名を冠して呼ばれる。たとえば浅間軽石コンクリート類である。この中骨材が全部軽量のことを軽石軽砂コンクリート、川砂を配したものを川砂軽石コンクリートと呼んで区別している。

第1表 骨材の諸性質

a 大島火山砂利

粒 度	20~10	10~5	5~2.5	2.5~1.2	1.2~0.15
真 比 重	2.87	〃	〃	〃	〃
見 掛 比 重	1.63	1.68	1.88	1.96	2.2
全空隙率 % V_{o1}	43.1	41.5	34.5	31.7	23.3
最大吸水率 % w_t	26.4	24.7	18.3	18.3	10.6

b 榛名火山砂利

粒 度	20~15	15~10	10~5	5~2.5	2.5~1.2	1.2~0.6	0.6~0.15
真 比 重	〃	〃	〃	〃	2.58	〃	〃
見 掛 比 重	0.98	1.05	1.13	1.18	1.35	1.63	1.83
全空隙率 % V_{o1}	62.0	59.3	56.2	54.2	47.7	36.8	29.1
最大吸水率 % w_t	63.3	56.5	49.7	45.9	35.2	22.6	15.9

c 浅間火山砂利

粒 度	20~10	10~5	5~2.5	2.5~1.2	1.2~0.6	0.6~0.15
真 比 重	2.62	〃	〃	〃	〃	〃
見 掛 比 重	0.94	0.99	1.14	1.26	1.53	1.87
全空隙率 % V_{o1}	64.1	62.2	56.4	51.8	41.5	28.6
最大吸水率 % w_t	68.2	64.0	44.5	41.2	27.2	15.6

2 重量

配合によつて異なるが浅間（または榛名）軽石軽砂コンクリートの比重は大体1.3～1.4、浅間（榛名）川砂軽石コンクリートの比重が1.65～1.70、大島川砂軽石コンクリートの比重が1.8～1.9程度である。非構造材としてわが国で用いられている真珠岩あるいは軽石コンクリートの比重は大体0.4～0.8程度である。

3 圧縮強度

軽量コンクリートにおいてはセメントの種類、強度、セメント量、骨材量、水量その他骨材粒度、粒度配列も強度を支配する。筆者の研究によると軽量コンクリートの圧縮強度は次式によつて近似的にあらわすことができる。

$$F = \frac{K X}{\frac{w}{Bc} + \frac{L}{c} \left[1 - \frac{\bar{\rho}}{\rho_o} \right] a}$$

上式で F：コンクリート強度

K：規格セメント強度

X：セメントによつて定まる常数

$B = e^m$

m：セメントの種類によつて定まる常数

w：水量

a：軽量骨材の絶対容積

L：軽量骨材の種類によつて定まる常数

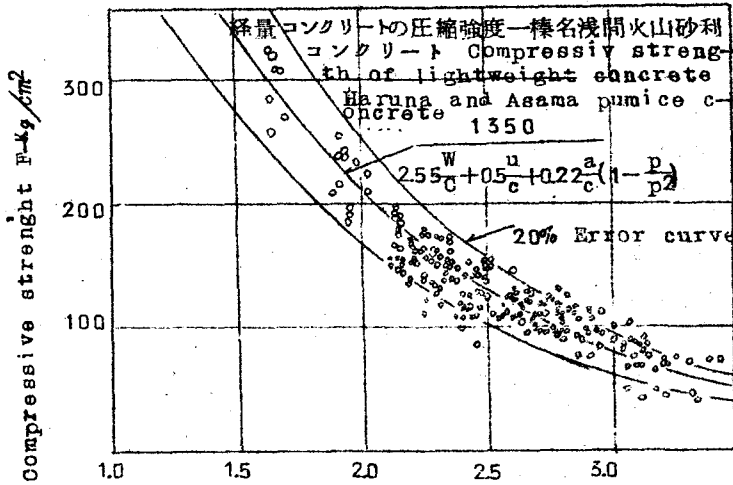
ρ_o ：軽量骨材の真比重

$\bar{\rho}$ ：軽量骨材全体の平均見掛け比重

上式で軽量骨材がモルタル強度より強い場合は $L=0$ となり F は水セメント比のみの函数となる。K, X, B は普通コンクリートのそれと同一の値をとる。c, w, a, ρ_o , $\bar{\rho}$ は測定できる数で L のみ未知である。筆者の実験によると浅間、榛名火山砂利では $L=0.22$ 、シンダーはその種類にもよるが中強度のもので $L=0.28$ 、Haydite は $L=0.13$ となる。大島火山砂利は、コンクリート強度 500 Kg/cm^2 以下では近似的に $L=0$ とおける。第1.2.3図はそれぞれ浅間（榛名）コンクリート、大島コンクリートおよび Haydite コンクリートの実験値と上にかゝげた強度式の関係を示したもので

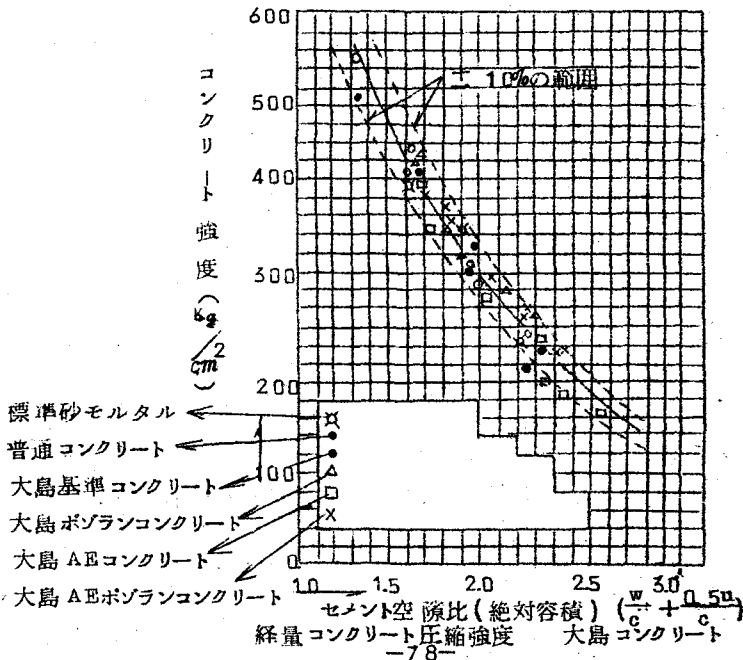
第 1 図

ある。この中Haydite コン
クリートの実験値は実
験によつたものである。

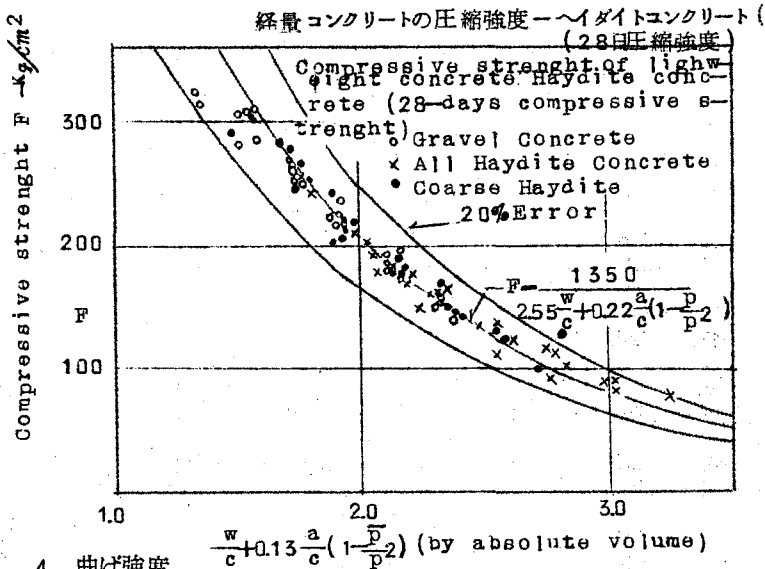


$$\frac{w}{c} + 0.5 \frac{u}{c} + 0.22 \frac{a}{c} \left(1 - \frac{p}{p^2}\right) \text{ by absolute volume}$$

第 2 図



第 3 図



4. 曲げ強度

配合、骨材の種類にもよるが大体圧縮強度の $1/4 \sim 1/5$ 程度である。

5. 引張り強度係数

浜田、狩野博士等の実験によると引張り強度係数は浅間コンクリートで圧縮強度の $10 \sim 13\%$ 程度である。ちなみに普通コンクリートでは $9 \sim 10\%$ 程度である。

6. 付着強度

軽量コンクリートと鉄筋との付着強度の実験値はかなりまちまちで最大 40% 最小 16% の値がえられている。浜田博士は平均 18.5% の値を提案している。

7. ヤング係数

軽量コンクリートのヤング係数は一般に同じ強度を有する普通コンクリートに比して小さい。第2表には代表的骨材の一般に使われる配合に対するヤング係数を示した。

第 2 表

コンクリート 1 m ³ 当り (Kg) (コンクリート絶対容積)(1)					w/c	s/c	v (%)	sl (cm)	コンクリート重量 (Kg/m ³)		圧縮強度 (Kg/cm ²) (ヤング係数) * E × 10 ³ (Kg/cm ²)			
c	B	G	W	仕上り					気乾	1 W	4 W	8 W		
大島砂利	(1)	355 (114)	785 (299)	500 (312)	219 (219)	615	490	56	200	1965	1830	111 (158)	182 (192)	209 (204)
	(2)	339 (111)	795 (303)	484 (302)	223 (223)	660	500	61	205	1950	1815	93 (153)	155 (187)	179 (196)
	(3)	324 (103)	815 (311)	476 (298)	225 (225)	695	510	62 62	205	1940	1805	76 (132)	127 (175)	144 (181)
榛名砂利	(4)	395 (125)	830 (317)	311 (324)	198 (198)	500	495	36	205	1885	1795	127 (119)	206 (146)	217 (151)
	(5)	336 (106)	858 (328)	315 (328)	202 (202)	600	500	36	210	1855	1690	89 (101)	127 (152)	173 (134)
	(6)	286 (905)	909 (347)	336 (339)	200 (200)	700	505	28	205	1875	1650	58 (885)	113 (123)	143 (130)
浅間	(7)	334 (109)	445 (305)	341 (310)	224 (224)	650	495	52	210	1615	1390	—	113 (892)	—
	(8)	330 (105)	448 (307)	338 (308)	226 (226)	700	500	54	200	1600	1370	—	84 (710)	—

8. 引張りヤング係数

圧縮ヤング係数と略同値である。

9. 圧縮破壊時の歪度

圧縮破壊時の歪度は普通コンクリートのそれより著しく大きい。第 3 表にはこの代表的値を示した。

第 3 表 圧縮破壊時の歪度

圧縮歪度 × 10 ⁻⁴	圧縮強度 Kg/cm ²	1 0 0	1 5 0	2 0 0	3 0 0
	普通コンクリート	1 1.1	1 3.1	1 4.6	1 6.8
	大島川砂	1 6.2	1 8.3	2 0.1	2 2.4
	榛名(浅間)川砂	1 8.5	2 1.0	—	—
	榛名(浅間)同軽砂	2 4.0	2 6.5	—	—

註 絶対容積比 1 : 3 : 3 $\frac{w}{c} = 50 \sim 70\%$
1 : 3 : 4

10. 引張り歪度

実験は極めて少い。第4表は狩野博士の実験による。

第4表 引張り破壊時の歪度

	引張り強度 K_g/cm^2	引張り歪度 ($\times 10^{-4}$)
普通コンクリート	22~25	1.0~1.2
浅間軽石軽砂コンクリート	6~9	1.2~2.3

11. ポアッソン数

上村氏その他の実験によると圧縮強度の $\frac{1}{3} \sim \frac{2}{3}$ の範囲ではポアッソン数は普通コンクリートで5~6に対し4~5.5である。

12. 自由収縮率

拘束がなければコンクリートは自由収縮する。軽量コンクリートの自由収縮率は普通コンクリートのそれより遙かに大きい。第5表は武藤博士、田中、白山氏等の実験から選んだ代表的数値である。

第5表 自由収縮率

種 類	収縮率 (10^{-4})
普通コンクリート	4~7
大島川砂	6~8
浅間(榛名)川砂	8~10
浅間(榛名)同軽砂	10~13

13. 拘束に基づく収縮亀裂発生の限界収縮率

拘束された普通コンクリートおよび浅間軽砂軽石コンクリートテストピース(セメント量350 K_g/cm^3 , $W/C=50 \sim 70\%$ スランプ20 cm)が収縮亀裂によつて丁度破壊するときの同じコンクリートの自由収縮率(これを限界収縮率という)はそれぞれ $4 \sim 6 \times 10^{-4}$ および $8 \sim 12 \times 10^{-4}$ であつた。上記それぞれに対する引張破壊時の歪度は $1.0 \sim 1.2 \times 10^{-4}$ および $1.6 \sim 2.3 \times 10^{-4}$ 程度であるから、これを上記の限界収縮率から差し引いた残りはクリープで歪んでいたこととなる。限界収縮率以内の自由収縮率をもつコンクリートを作れば収縮亀裂は生じない。田中氏の報告によればこの実験中普通コンクリートは $\frac{11}{12}$ 亀裂を生じたが軽量コンクリートの亀裂は $\frac{6}{12}$ であつた。このような実験は極めて少いが、軽量コンクリートは自由収縮率が大きいにもかかわらず亀裂の生じ難い理由の1例として

参考のため掲げた。

なお軽砂軽石コンクリートは普通コンクリートの1.64倍、川砂軽石コンクリートで1.36倍程度のクリープがあるという坂静夫博士の実験がある。

II 軽量コンクリートの諸性質（その2）

1) 熱および湿度の伝導

軽量コンクリートの熱伝導率は普通コンクリートに比べて小さいので、これを用いて建てられた建築は夏は涼しく冬は暖かい。

軽量コンクリートの熱伝導率はコンクリートの重量が減ずるにしたがい低減する。浜田博士によれば熱伝導率は次式で与えられる。

$$K (\text{kcal}/\text{m}^2) = 0.22 - 0.20\rho + 0.24\rho^2$$

ρ : 気乾比重

この式は $\rho < 2.0$ に対してよく合う。

2) 耐火性

鋼材の防火被覆としての効果は普通コンクリートに比し軽量コンクリートの方が大きい。

すなわち内部温度を同じにするためのかぶり厚さは普通コンクリートに比し軽量コンクリート（比重1.3～1.6）は約70%となる。

3) 風化速度

軽量コンクリートの風化速度は普通コンクリートに比して同一配合では明かに大きい。現在進捗中の著者の浅間および篠名コンクリートの実験によると5年目で川砂軽石コンクリートでは普通コンクリートの平均2倍、軽砂軽石コンクリートで平均3倍程度となつている。また風化速度は明かにセメント量、水セメント比に左右されている。同一配合で水比50%と70%のときを比較すると普通コンクリートで大約2.5倍、川砂軽量コンクリートで大約2倍、軽砂軽石コンクリートで大約1.5倍の値を示している。

したがって軽量コンクリートではできるかぎり川砂軽石コンクリートを用いると同時に、ポルトランドセメントを使用し、セメント量を増し低い水セメント比を用いることが望ましい。著者の実験によると50%の水セメント比を有する浅間篠名軽量コンクリートは70%の水セメント比を有する普通コンクリートに大体匹敵する風化速度をもっている。なお上記実験はA・E材を用いない実験であるが、A・E材を用いれば可成り改善される。浜田博士、岸谷氏の実験によればA・E剤を用いた川砂軽石コンクリートはA・E剤を用いない普通コンクリート

に匹敵できる。

III 建築えの応用

軽量コンクリートが最初に建築に使われたしたのは鉄骨の被覆とか防水押えとしてであつたが漸次その力学的性質が明かになるにしたがつて構造用として利用しようという機運になつた。

わが国ではそれは丁度昭和22-3年頃からであつた。これの構造えの応用は普通コンクリートの構造計算方式をそのまま準用しさえすればよいので初めは至極簡単に実施できると思われた。しかし建築構造えの実施利用は実際面ではそう簡単ではなかつた。まず第1に当時では実験室で一応良質なコンクリートが出来たといつても、これを現場で連続に大量にどうして作るかの施工法がほとんど不明であつたし、また施工の裏付けとなる調合理論も確立されなかつた。第2にはまだまだこの材料の系統的な力学的諸性質の検討が足りていなかつた。さらに骨材の安定性、コンクリートの耐久性にも不安があつたし、調合、施工方法によつては収縮亀裂発生危険も十分予想され、わが国の如き地震国に果してこの材料が適当であるかどうかということにも大きな不安がもたれた。

当時は終戦直後でもあり海外との連絡も十年間途絶え漸く数少ない文献が手に入るころであつたが、その数少ない文献中には、建築構造えの力学的応用についてはかなり述べられてあつたにもかかわらずわれわれに必要な調合理論、施工法その他については殆んど述べられていなかつた。たとえあつたとしてもいま考えてもかなり粗雑なものであまり参考にならなかつた。特に軟練り工法(スランプ20~22^{cm})を採用するわが国建築の施工に対して参考になるものはほとんどなかつた。

当時軽量コンクリートの先駆をなすアツシユコンクリートがわが国ではようやく使われ始めていたが、それは非常に施工がそまつなもので評判が悪くそれと同様の施工的な難点をもつ軽量コンクリートも同じような運命に陥いるのではないかという不安は誰もがもつていた。それで施工をどういう風に改良するかという研究が軽量コンクリートの発展には第1に緊要で、これがこの材料を生かすか殺すかを決めるであろうと思われた。丁度その頃建設省営繕局(野平忠氏)では経済的設計の一方法として軽量コンクリートを取りあげ施工法の解決を第1要件として建築研究所との協力のもとに研究と試作を開始することになつた。これは当時の指導官庁としてはかなり思いきつた仕方であつた。しかしこれがやがてはわが国建築界えの軽量コンクリートの実現に當つて如何に多くの寄与をなしたか計り知れないことになる。なお当時東大材料研究室ではすでに浜田博士のもとで別に軽量コンクリートの研究が行われていたが未だ

その研究は実用に供して十分ではなかつた。

軽量コンクリートの施工が難しい理由は骨材の形状が悪いこと、軽いこと、極めて吸水しやすいことの三つの原因による。吸水能力がある状態で骨材を用いると混練途中および打込み途中で骨材が水を吸収するため軟度に変化し初め設計した調合と全く異つたものとなりとんでもない固いコンクリートができてしまう。これを調節しようと思つてこんどはミキサの中に水を余計入れすぎれば骨材が軽いので浮上り、コンクリートは分離してしまう。誠に手に負えない代物である。このまゝでは強度を均一に保つために非常に重要なファクターである水量を一定に保つことは施工上殆んど不可能である。施工を改良するためのまず第1の問題はこれを解決することであつた。それには誰でもすぐ気がつくように骨材を予め飽水しておいて用いればよいことは直ぐ考えられる。これによつて同時に骨材を重くすることもできるであろう。ところが実際の施工では骨材を大量にどうしてどの程度に飽水せしめるかが問題であつた。もう一つこれに附随して骨材の絶対容積をどうして求めるかという問題があつた。軽量コンクリートでは骨材の強さと同様に量も強度に大きく影響する。ところがこの容積を計算するために必要な空隙孔の多い骨材の見掛比重の測定方法が当時はできていなかった。これがなければ骨材の量の正確な計算はできないし、出来上りコンクリートの量も計算でききい。さらに飽水に必要な骨材の飽水率、吸水率、また施工時に必要な骨材の表面水率の計算もできない。施工の研究の第1の仕事は何はさておき先づ如上の問題を解決することであつた。もしこれができればおそらく軽量コンクリートの施工は普通コンクリートと全く同じ手法で施工しうるのであろうし、更にいままで分析できなかったセメント、骨材、水それぞれが強度に及ぼす影響をも空量的に明確になしうる希望があつた。

いくつかの研究の後昭和24年に軽量骨材の見掛比重の測定法が研究所において完成したが、これと同時に骨材の吸水能力、吸水速度等も詳細な研究によつて明確にされ、施工に必要な基礎的研究資料は大体そろつた。先づ骨材を現場で飽水せしめる簡単な方法としては、散水、表面乾燥 散水を数回くり返し、安全な飽水状態（少くとも20時間は吸水能力が停止する）にもち来す方法が選ばれた。骨材の吸水率、表面水率の求め方も完成した。これで施工上最も問題となる骨材の吸水による難問はようやく解決された。これによつて施工時の骨材の吸水をなくすることができるようになった。また骨材量、水量も普通コンクリートにおける場合と全く同じ仕方では絶対容積で計量することができるようになった。すなわち理論上では、普通コンクリートと全く同じ方法でコンクリートの施工ができるようになった訳である。あとに残つた問題

は骨材の形状による施工軟度の悪さを改良することであつたが、これはセメント量と骨材粘度の調節と水量の適当な配合によつてかなりの程度まで改良できた。実際には後に現場で使われた結果では不満足であつたが、

ところで以上の基礎的な研究の進行に平行して建設省営繕局ではとも角まず試作してみようということになり、私達の研究所と一緒に試作研究にうつつた。

昭和24年にわが国で初めて軽量コンクリートの建築が建つた。それは浅間壱石川砂コンクリート造2階建ての公務員テラスハウスであつた。しかしこれは、当時の現場労務者の技術低下も手伝つて実はひどくまづいものであつた。それは第1にやはり施工軟度の不足にあつた。第2に現場管理の不手際に原因した。しかしこの実験によつて現場打軽量コンクリートもさらに施工軟度が改良されれば十二分に使いこなせる確信をわれわれに与えた。丁度当時A・E・Aは未だわが国に輸入されていなかったがこれが軟度を改良するのに効果があるという海外文献に大変興味をそそられた。そこでこれによつて施工軟度を改良しようと思いつき早速飛行便でA・E剤をとりよせ研究を開始した。始めは水の多い軟練りコンクリートには不適當であるという非難があつたにもかかわらずこれは非常な成功で、この使用によつて軽量コンクリートの施工軟度は飛躍的に改良されるに至つた。

第2の試作実験(中野公務員宿舎、市ヶ谷荒川病院)が翌年この研究の完成と同時に行われたが、正確な現場管理とA・E・Aの効果はすばらしく結果は大成功であつた。病院には川砂標名軽量コンクリート、宿舎には川砂シンダー軽量コンクリートが使用されたが板一つなく普通コンクリートにも劣らないで強度も予想通りのものが得られた。この結果から現場管理さえ十二分であるならば研究の成果は十分期待できるものであることが証明され軽量コンクリートの施工法はこの試作を通して漸くここに確立するに至つた。

ところで施工法の進歩と平行して軽量コンクリートの力学的諸性質の究明は調合理論の究明とともに急速に進歩した。すでに骨材の見掛比重の測定法も飽和混合法も確立されていたのでセメント、水、骨材の絶対容積調合によつてそれぞれの定量的強度性質も容易に分析できるようになっていた。千数百本のテストシンダーによつて昭和25~26年には強度実験式も出^註き上つた。(前章にかかげた強度式は著者がこれとは別に後に理論から誘導したものである)。これによれば軽量コンクリートにおいてはセメント量・強度・種類、骨材量・強度・種類・粒度、水量(A-E量)のそれぞれが相関聊して強度に影響する。中でも w/c は普通コンクリートと同様に最も影響することが実証された。またセメント量と骨材量との比が影響すること

が分つた。このような実験式は偶然にも東大材料研究室からも同時に発表されたが、これらの関係式はかなり似たものであつた。これらの関係式が分つてみると施工において配合管理特に水量の管理が如何に重要であるか、また骨材の量のほか粒度までが影響する限りにおいてはこれの管理も至極重要で決して忽がせにできないことが痛切に分つてきた。

こうして施工法が調合理論の裏付けによつて理論的にも略完成し、力学的諸性質も次第に分つてきつゝあつたとき、東大材料研究室では別に軽量コンクリートの耐久性、骨材の安定性等について次次に研究調査を完成し、軽量コンクリートの建築への応用の地盤は急速に固まつてきた。

一方われわれの研究所では26年から28年にかけて、大島、浅間、榛名等の骨材を用い建設省所管のアパートの他、民間の病院、アパート、事務所等10棟近くの試作を終え、現場施工法は殆んど完成に近かつた。どれも出来が良かつた。昭和28年について我が国で初めて軽量コンクリートが高層建築物に應用された。それは渋谷の東急会館であつた。これは榛名火山砂利に川砂を配した軽量コンクリートで比重は1.65、所要強度平均 130 Kg/cm^2 、構造用として作られた。この建物は普通コンクリート8階建として設計せられすでに2階まででき上つていたので軽量化によつて11階に変更したのであつた。この建物には軽量レデーソックスドコンクリートが主として用いられたが最重の管理のもとで平均 140 Kg/cm^2 の強度がえられ、不良率は1%という成績をえた。これより若干遅れて鉄道会館が軽量コンクリートで施工されたがこれは被覆用として浅間軽石軽砂コンクリートが用いられた。これは東大材料研究室が指導に當つた。この二つの成功に非常なセンセーションを建築界にまき起したが、われわれの施工研究はこれを契機として更に進んだ。すでにこの頃までには大島コンクリートで 200 Kg/cm^2 、浅間（榛名）川砂コンクリートで 150 Kg/cm^2 の圧縮強度をもちスランプ $20 \sim 22 \text{ cm}$ の範囲で全く均一なコンクリートをうることは至極容易になつていた。フライアッシュの利用も行われるようになった。

ついで昭和30年には東京都庁舎、昭和32年には防衛庁庁舎等の代表的建築物も軽量コンクリートで建てられるまでに至つた。これらは打放しコンクリートとして成功した点で画期的なものであつた。普通コンクリートによつてさえ軟練り打放しコンクリートは非常に難しいのであるから、軽量コンクリートがわが国建築界において実際に認められだしたのはこの頃からであつた。これを契機としてこゝ2・3年の間に高層建築物の軽量コンクリートによる軽量化は画期的に進んで現在に至つてゐる。現在では東京都の高層建築物事務所、デパート、病院、

ホテル、劇場等の大半は軽量コンクリートによつて建てられつゝある状態にある。

こうして軽量コンクリートが建築え実用化されるようになったが、この間建築学会材料施工委員会では軽量コンクリートの標準仕様書(JASS5) および解説を作成し、また工業技術院の委託によつて軽量骨材のJis 規格(A5002)を作つた。また特殊構造委員会では軽量コンクリートの構造規準を作成しこの実用化に貢献した。これらは次第に改良され現在ではかなり充実したものとなつている。これらは殆んど日本独自の研究成果からなつている点で特徴づけられている。

IV 経済的効果

さて軽量コンクリートがこうして応用されるようになると、この材料によつて軽量化がどの程度までできるか、これによつて経済的効果はどの程度あるかに関心が集つてきた。いままでの例からみると建築物の構造、その大きさ、仕上、積載荷重等によつてかなり左右されるが、その重量は普通コンクリートを用いたときに対し、大島コンクリート(比重1.9)を用いたとき10~15%、浅間(榛名)川砂コンクリート(比重1.65)を用いたとき15~20%軽減される。これに伴い鉄筋、鉄骨量は10~20%減となつている。

延坪10,000坪の高層建築における鋼材量を3,000屯とすれば10~20%の節約に対し300~600屯の鋼材が、軽量コンクリートを用いたことによつて節約できる。鋼材単価(加工を含む)5万円/屯とすればこれによつて1,500万~3,000万円の節約となる。この他軽量化による断面の減少によるコンクリート量の減少(全コンクリートの5%以上)、基礎杭の節約等が考えられる。基礎杭の節約は大きい。積載荷重を含み建物荷重坪当り4屯とすれば普通コンクリートでこの建物の全荷重は40,000屯となる。軽量コンクリートによつてそれが15%減少すれば6,000屯の減少となる。30屯の耐力ある杭では200本節約できる。一本8万円とすれば1,600万円節約できることとなる。軽量コンクリートを用いたときの経済的損失は材料そのものの単価が1 m^3 当り普通コンクリートよりは0.5袋程度セメント量が増加するためだけによる。骨材は東京では少し安い。坪当りコンクリート量1.6 m^3 が必要とすれば10,000坪の建築物では16,000 m^3 コンクリート量が必要となり、軽量コンクリートを使用したためのセメント増加量は、8,000袋となる。しかしコンクリート量そのものが断面の減少によつて7%減少したとすればこれは丁消しとなる。これらを合算すると坪当り3,000~4,500円程度安くなることとなる。これは一つの例であるが大体の目安とならう。

V 構造設計

鉄筋軽量コンクリートおよび鉄骨軽量コンクリートの構造計算の方法順序は普通コンクリートの場合と原理的に同じ方法で行っている。ただ異なるのは荷重、許容応力度、ヤング係数の数値、銲着長さ、鉄筋のかぶり厚さ等である。これらは建築では特殊構造計算規準中で規定されていて計算にはこれを用いればよいことになっている。

実際にいうと軽量コンクリートを用いた構造部材の実験は割合少ない。しかしいままでの実験によると終局強度理論計算値と破壊実験値とはよく合うので、普通コンクリート理論に準拠して計算することは大体妥当と考えられている。しかし現在の構造計算方式は弾性計算に基づくので多少問題点は残っている。現在問題になっているのは特に柱において弾性計算に基づく計算値が普通コンクリートのその計算値とは、それぞれの破壊強度値に対して同じ安全率をもっていないので少し低いこれを過少評価してはならないということに問題が集中されている。これはそれぞれのヤングモデュラスが異なるために帰着するが剛性に関聯し耐震性に関係するものなので慎重に目下建築学会軽量コンクリート構造委員会で検討されつつある。

この他では軽量コンクリートの構造設計については別に問題はないようである。

建築構造学者の最も心配しているのはやはり施工の難しさに基づくコンクリート強度の散らばり、不出来と収縮亀裂が多く出きそうであることにあるようである。もう一つこの材料が耐震経験をもっていないのも不安であるらしい。

亀裂については先に述べた理由からわれわれは必しも軽量コンクリートは普通のものより亀裂が多いとは考えていない。事実調査によると正規の現場管理をした建物では現状では普通コンクリートと変わらない。むしろ逆の場合も多くみられるのである。施工に基づく強度の散らばりは普通コンクリートよりやや大きい数字がでてゐる。しかし散らばりを考慮した調合強度（設計強度 $2.5 \sim 3.5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ ）を与えて設計強度に不合格のものを5%以内におさめるようにしているので散らばりが大きいにもかかわらず不合格率は小さい。研究所で指導した12建築現場の強度不合格率は2.5%であつた。しかしこのような成績にもかかわらず施工の技術と管理が難しいのは確かにこの材料の欠点である。

わが国では火山砂利をそのまま用いるのが最も安いのでこれを粒度だけ調整して用いているがこのままではこれ以上の施工の改良は望めない。これ以上の進歩は形状のよい吸水率の極く小さい骨材を人工的に作る以外にはない。このような試みは諸々でなされつつあるが生産費が高いため仲々わが国では実用化されそうもない。研究所では火山砂利を薄く被覆加工しこのよ

うな骨材の製造に最近成功した。これは大体坪 10,000 円内外でできそうで目下大量生産の研究中である。軽量コンクリートは少くとも将来はこの程度まで進む必要があろう。

終りに望み良質は川砂利が活用しようとする今日軽量骨材の応用はなかなか重要な意味をもっていることをつけ加えておきたい。

主 要 文 献

1) 火山砂利を使用せる現場打軽量コンクリートの施工に関する研究とその実施報告

建築雑誌 昭 25.11~12

平賀謙一、藤沢和久

2) 軽量骨材の見掛比重測定法

軽量コンクリートの圧縮強度、弾性係数

軽量コンクリートの強度素因

昭和 26 年度セメント技術協会年報

平賀謙一

3) 軽量骨材の見掛比重と表面水率の測定法

材料試験 第 3 巻 第 14 号

平賀謙一

4) 構造用軽量材料に関する研究

建築学会論文集 37.4

東大材料研究室

5) 軽量骨材の試験方法

建築学会論文集 47.1

白山和久

6) 軽量骨材の強度、軟度特性の標準試験結果

建築学会論文集 49.14

白山和久

7) 軽量コンクリートの調合法の提案

建築学会論文集 51.1

白山和久

8) 普通および軽量コンクリートの風化と調合に関する実験

建築学会論文報告集 №57

平賀謙一 藤沢和久

9) 軽量コンクリート製造

丸善 昭31.6

浜田 稔

10) 軽量コンクリートの調合方法の検討

建築学会論文報告 54. 57

白山和久

11) コンクリートの乾燥による自由収縮と亀裂に関する研究

建築学会論文集 31.3

田中一彦

12) コンクリートおよび軽量コンクリートの強度に関する研究

建築研究報告 №22 建設省建築研究所

平賀謙一

13) 軽量コンクリートの強度および調合方法に関する研究

建築研究報告 №24 建設省建築研究所

白山和久

14) 軽量コンクリートの引張りに関する研究

昭和28年度建設技術補助建設技術報告

狩野春一

15) 鉄骨軽量コンクリート造と鉄筋軽量コンクリート造

建築雑誌 27.5

浜田 稔

16) 鉄骨鉄筋碎石及び軽量コンクリートの施工法に関する研究(主としてコンクリートの沈降性、附着性について)

建築学会論文集 52.24

大島久次

17) 鉄筋軽量コンクリート部材の断面計算図表

建築技術 昭30.4-8

上村克部

18) 軽量コンクリート構造の経済性

建築学会論文集 50

上村克部

19) 軽量コンクリートの中性化及び建物の実態調査

軽量コンクリートのポアッソン比及びヤング係数

軽量コンクリートのクリープ

鉄骨鉄筋軽量コンクリート構造に関する研究

軽量コンクリートの附着と定着に関する実験的研究

日本建築学会軽量コンクリート構造委員会

昭和31年度、建設技術研究報告

20) 軽量コンクリートを用いた建築物の亀裂実態調査

軽量コンクリート構造の耐力特性に関する実験的研究

軽量コンクリートと鉄筋の協力性に関する実験的研究

日本建築学会軽量コンクリート構造委員会

昭和32年度、建設技術研究報告

21) 日本建築学会建築工事標準仕様書 JASS5

22) 日本建築学会特殊構造設計基準

23) Jis A5002

24) 「東急会館」軽量コンクリート試験結果

建設省建築研究所パンフレット

平賀謙一、藤沢和久

25) 「東京都庁舎」軽量コンクリート試験結果

全 上