

文 献 抄 録

文献調査委員会

極低温における鉄筋コンクリートばりの強度
 (コンクリートおよび鉄筋コンクリート ソ連)/青柳征夫
 LPによる構造物の最適設計法
 (Proc. of A.S.C.E., ST)/宮原 玄
 開水路におよぼす大型粗度の影響
 (Proc. of A.S.C.E., HY)/細井将右
 揚水量の減少する井戸についての修正解
 (Proc. of A.S.C.E., HY)/荻原国宏
 管路に発生した空洞現象による圧力伝播
 (Proc. of A.S.C.E., EM)/荻原国宏
 Cincinnati 市の流出雨水の汚濁度
 (Jour. of Water Pollution Control Federation)/中田 肇

極低温における鉄筋コンクリート ばりの強度

“Прочность Изгибаемых Железобетонных
Элементов при Низких Отрицательных
Температурах”

д-р техн. наук Бердинчевский, Г.И инж
Свиридов Н.В.

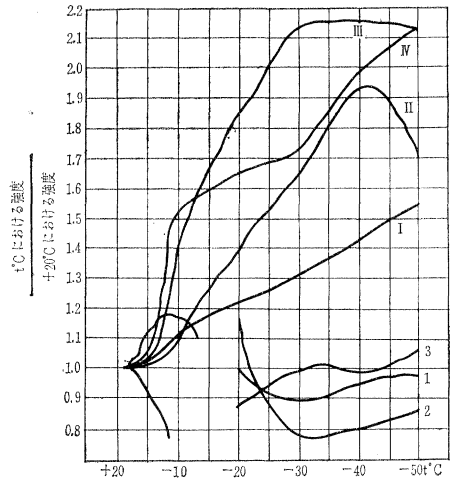
Бетон и Железобетон, pp.16~21, 1月号(1965)

極寒地帯に鉄筋コンクリート構造を本格的に用いるためには、極低温における鉄筋コンクリート部材の性状を知る必要がある。本論文は、 -50°C までの低温におけるコンクリートの機械的性質の変化ならびに鉄筋コンクリート(RC)ばりおよびプレストレスト コンクリート(PC)ばりの性状について実験した結果を述べたものである。

(1) コンクリートの試験

実験に用いたコンクリートは $w/c=0.40$ 、セメント量 490 kg/m^3 で、骨材として砕石および砕砂を用いた。試験時の常温における立方体強度は $400\sim 500\text{ kg/cm}^2$ である。各種強度の試験は $+20^{\circ}\text{C}$ における強度を基準値として、 -10°C から -50°C までの温度において試験を行なうとともに、これらの温度で凍結させたコンクリートを常温で融解させたコンクリートについても試験を行なった。実験結果は図-1に示すようである。すなわち、 -50°C で凍結させた場合、立方体強度、角柱強度、曲げ引張強度は常温のときに比べそれぞれ約1.5倍、1.7倍、2倍になっていることがわかる。鉄筋とコンクリートの付着強度も約2倍になった。しかし、コンクリートの初期ヤング係数は温度によってほとんど影響を受けな

図-1 各種強度比



I : 立方体強度
 II : 角柱強度
 III : 曲げ引張強度
 IV : 付着強度
 } 凍結時
 1, 2, 3 : それぞれ融解後の強度

いことが認められた。

$-30^{\circ}\text{C}\sim -50^{\circ}\text{C}$ で一度だけ凍結させ、融解させるとコンクリートの強度は平均 15% 程度減少することが認められた。

(2) はりの試験

$9.5\times 21\times 310\text{ cm}$ のRCばりおよびPCばりをそれぞれ12本ずつ試験を行なった結果、破壊性状、ひびわれ幅、たわみは温度によってほとんど影響を受けないことが判明した。また破壊モーメントも低温によるコンクリートの強度の増加を考慮しても、これを無視しても、実験値と計算値は実用上はほぼ一致することがわかった。ただし低温におけるコンクリートの曲げ引張強度にもとづいて計算したひびわれモーメントは実験値よりかなり大きく

実験値
計算値
は常温の場合は1.1程度であったが、たとえば -40°C の場合にはPCばりで0.85、RCばりで0.6程度であり、低温による強度増加を考慮せず、常温における曲げ引張強度を基準として計算したほうが実験値とよく一致することが認められた。

-40°C までに気温が低下するシベリヤにおいて冬期戸外に150日間放置したはり、常温下に置かれていた同じはりに比べ、曲げ耐力、ひびわれ強度、曲げ剛性などが5~20%低下していた。このことから、極低温の戸外に置かれるRCおよびPC部材の設計に際して耐力減少係数として0.85を乗ずるのが適当であるとしている。

(委員 青柳 征夫)

LP による構造物の最適設計法

“Optimum Structural Design Using Linear Programming”

Moses, F.

Proc. of A.S.C.E. ST., Vol. 90, No. 6, pp. 89~104, December (1964)

今日までは、構造物の設計計算がやっかいな作業であるために、せいぜい数回の計算を比較検討するにとどまり、最も経済的な構造物を設計することはできなかった。しかし、電子計算機の発達や非線型OR問題を解析するために開発された cutting plane 法の応用によって、構造物の最適設計を系統的に行なうことが可能となった。

構造物を解析する場合、断面積や断面二次モーメントのように設計に関連のある変数と応力や変位のように構造物の挙動に関連のある変数があり、これらの変数には何らかの制限条件がある。そして、力の平衡条件式や変形の連続条件式の中には、変数同志の積という形で非線型関数がでてくる。したがってこれを単純なLP問題として解くわけにはいかない。

すなわち、構造物の最適設計は、条件式

$$g_i(x_i) = 0 \quad \dots\dots(1)$$

$$L_i \leq x_i \leq U_i \quad \dots\dots(2)$$

のもとで $M(x_i)$ $\dots\dots(3)$

を最小にするという形式の問題になる。ここに x_i は各種の変数、式(1)は非線型関数で示された力の平衡条件式と変形の連続条件式、式(2)は変数に与えられた制限条件、式(3)は非線型関数で示された目的関数である。

このような非線型計画法の問題は、非線型関数をベクトル $[x_0]$ —第一次近似解—において Taylor 展開を行ない、その第一項をとって線型化関数とし、これらに Simplex 法を適用してベクトル $[x_i]$ を求める。ただし、 $[x_i]$ がもとの問題を満足するには、数回にわたってこの操作をくり返さなければならない。

すなわち、式(1)、(2)、(3)を線型化すればつぎのようになる。条件式

$$\sum_{i=1}^n \frac{\partial g_i}{\partial x_i}(x_i - x_i^0) = 0 \quad \dots\dots(4)$$

$$L_i \leq x_i \leq U_i \quad \dots\dots(5)$$

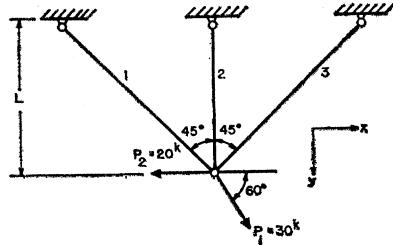
のもとで $M(x_i^0) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial M(x_i^0)}{\partial x_i}(x_i - x_i^0)$ $\dots\dots(6)$

を最小にする。これらの式に Simplex 法を適用して、ベクトル $[x']$ を得ても、式(1)を満足するとは限らない。このような場合には、設計に関連のある変数を式(1)に代入して構造物の挙動に関連のある変数を求め、新しいベクトル $[x'']$ とする。 $[x'']$ 中の構造物の挙動に関連のある変数が式(2)を満足していなければ、ベ

クトルの要素に適当な修正を加えてベクトル $[x''']$ を得る。 $[x''']$ は式(1)、(2)を満足しているから最終結果として良いが、目的関数式(3)により良く適合させたい場合には、 $[x''']$ を $[x^0]$ として同じ操作を行なう。

例題として、図-1 に示すトラスを解く。

図-1



格点における力の平衡条件式として

$$g_1 = \sigma_{11}A_1 \cos 45^\circ - \sigma_{31}A_3 \cos 45^\circ - P_{X1} = 0 \quad \dots\dots(7)$$

$$g_2 = \sigma_{11}A_1 \sin 45^\circ + \sigma_{21}A_2 + \sigma_{31}A_3 \sin 45^\circ - P_{Y1} = 0 \quad \dots\dots(8)$$

$$g_3 = \sigma_{12}A_1 \cos 45^\circ - \sigma_{32}A_3 \cos 45^\circ - P_{Y1} = 0 \quad \dots\dots(9)$$

$$g_4 = \sigma_{12}A_1 \sin 45^\circ + \sigma_{22}A_2 + \sigma_{32}A_3 \sin 45^\circ + P_{Y2} = 0 \quad \dots\dots(10)$$

変形の連続条件を整理して、

$$g_5 = \sigma_{11} - \sigma_{21} + \sigma_{31} = 0 \quad \dots\dots(11)$$

$$g_6 = \sigma_{12} - \sigma_{22} + \sigma_{32} = 0 \quad \dots\dots(12)$$

式(7)、(8)、(9)、(10)を線型化する。

$$\begin{aligned} & \sigma_{11}^\circ \cos 45^\circ (A_1 - A_1^\circ) - \sigma_{31}^\circ \cos 45^\circ (A_3 - A_3^\circ) \\ & + A_1^\circ \cos 45^\circ (\sigma_{11} - \sigma_{11}^\circ) - A_3^\circ \cos 45^\circ (\sigma_{31} - \sigma_{31}^\circ) \\ & = 0 \quad \dots\dots(13) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \sigma_{11}^\circ \sin 45^\circ (A_1 - A_1^\circ) + \sigma_{21}^\circ (A_2 - A_2^\circ) \\ & + \sigma_{31}^\circ \sin 45^\circ (A_3 - A_3^\circ) + A_1^\circ \sin 45^\circ (\sigma_{11} - \sigma_{11}^\circ) \\ & + A_2^\circ (\sigma_{21} - \sigma_{21}^\circ) + A_3^\circ \sin 45^\circ (\sigma_{31} - \sigma_{31}^\circ) \\ & = 0 \quad \dots\dots(14) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \sigma_{12}^\circ \cos 45^\circ (A_1 - A_1^\circ) - \sigma_{32}^\circ \cos 45^\circ (A_3 - A_3^\circ) \\ & + A_1^\circ \cos 45^\circ (\sigma_{12} - \sigma_{12}^\circ) - A_3^\circ \cos 45^\circ (\sigma_{32} - \sigma_{32}^\circ) \\ & = 0 \quad \dots\dots(15) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \sigma_{12}^\circ \sin 45^\circ (A_1 - A_1^\circ) + \sigma_{22}^\circ (A_2 - A_2^\circ) \\ & + \sigma_{32}^\circ \sin 45^\circ (A_3 - A_3^\circ) + A_1^\circ \sin 45^\circ (\sigma_{12} - \sigma_{12}^\circ) \\ & + A_2^\circ (\sigma_{22} - \sigma_{22}^\circ) + A_3^\circ \sin 45^\circ (\sigma_{32} - \sigma_{32}^\circ) = 0 \quad \dots\dots(16) \end{aligned}$$

この例題の目的関数は、重量についてたてられた線型関数である。すなわち、

$$M = \rho L (\sqrt{2}A_1 + A_2 + \sqrt{2}A_3) \quad \dots\dots(17)$$

ρ : 材料の密度 $\dots\dots(17)$

また応力の制限条件として

$$-15 \leq \sigma_{Kj} \leq 20 \quad \dots\dots(18)$$

式(11)~(18)を Simplex 法によって解き、ベクトル $[x']$ を求める。

$$[x'] = [A_{K'}', \sigma_{K_j'}'], A_{K'}' = \begin{bmatrix} 1.056 \\ 0.536 \\ 0.606 \end{bmatrix}$$

$$\sigma_{K_j'}' = \begin{bmatrix} 19.85 & -15.0 \\ 20.0 & 5.0 \\ 0.15 & 20.0 \end{bmatrix}$$

$A_{K'}'$ を式 (7)~(12) に代入して応力を求めれば、

$$[x''] = [A_{K''}', \sigma_{K_j''}'], A_{K''}' = \begin{bmatrix} 1.056 \\ 0.536 \\ 0.606 \end{bmatrix}$$

$$\sigma_{K_j''}' = \begin{bmatrix} 20.2 & -15.21 \\ 20.3 & 5.03 \\ 0.1 & 20.24 \end{bmatrix}$$

$\sigma_{K_j''}'$ が式 (18) を満足しないから、 $A_{K''}'$ を 20.3/20 倍して $[x''']$ を得る。

$$[x'''] = [A_{K'''}', \sigma_{K_j'''}''], A_{K'''}' = \begin{bmatrix} 1.071 \\ 0.545 \\ 0.615 \end{bmatrix}$$

$$\sigma_{K_j'''}' = \begin{bmatrix} 19.9 & -15.0 \\ 20.0 & 4.95 \\ 0.1 & 19.95 \end{bmatrix}$$

これを $[x^\circ]$ として、くり返して演算を行ない、最終結果

$$A_K = \begin{bmatrix} 1.072 \\ 0.544 \\ 0.612 \end{bmatrix}$$

を得る。

なお、添字 K は部材番号を、 j は荷重状態を示す。
(委員 宮原 玄)

開水路流れにおよぼす大型粗度の影響

“Large-Scale Roughness in Open-Channel Flow”

Herbich, J.B. and Shulits, S.

Proc. of A.S.C.E., HY, Vol. 90, No. 6, pp. 203~230, November (1964).

開水路中の人工粗度について従来行なわれた研究は、粗度要素の高さが水深に比べて小さい場合が大部分である。

ここに抄録する論文は、粗度要素の高さが水深の0.53倍から1倍以上までという大きな場合の実験に関するものであり、実際への応用としては巨礫の転がっている溪流河川での水位の簡便な推定を目指している。

次元的に考えて

$$(1.49/n) \cdot (R^{1/6} / \sqrt{g}) = \phi(\theta, R_e, F_r) \dots\dots\dots (1)$$

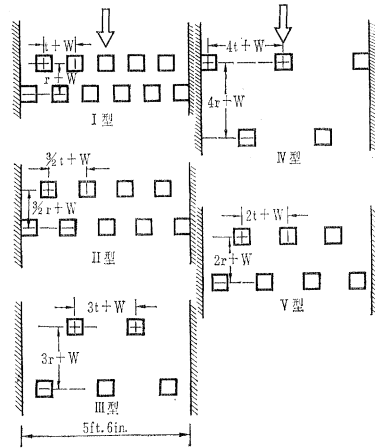
とし(ここで長さの単位は ft, R : 径深, n : マンニングの粗度係数, g : 重力加速度, θ : 粗度効果を表わすもの, R_e : レイノルズ数 $= 4RV/\nu$, V : 平均流速, ν : 動粘性係数, F_r : フルード数), そして

$$(1.49/n) \cdot (R^{1/6} / \sqrt{g}) = F_r / S^{1/2} \quad (S: \text{勾配}) \dots\dots (2)$$

なので、 F_r をのぞいて考え、 S, θ, R_e, q (単位幅当りの流量)、 d (水深)などの間の関係を求めることにした。

実験装置は幅 1.68 m (5 ft 6 in), 深さ 30.5 cm (1 ft) 長さ 16.2 m (53 ft) の長方形断面水路である。粗度要素はコンクリート製の 15.2 cm (6 インチ) 立方, 9.5 cm (3.75 in) 立方のブロックである。粗度要素たるブロックをまず図-1 のように対称的に配置した(プロ

図-1 粗度要素の配置



ックの幅、長さ、高さをそれぞれ w, l, k , 立方体なので、 $w=l=k$, 粗度要素の横方向の間隔を t , 流れ方向の間隔を r とする)。 θ としては、抗力係数の場合と似たような考え方で、ブロックの流れ方向の射影面積を河床面積で除したものをとった。すなわち、ブロックが水面下に完全に没している場合には、

$$\theta = (\sum kw) / [\{\sum(t+w)\} \{\sum(r+l)\}] \dots\dots\dots (3)$$

水面上に一部出ている場合には、

$$\theta = (\sum dw) / [\{\sum(t+w)\} \{\sum(r+l)\}] \dots\dots\dots (4)$$

とした。

図-1 の配置で流量、勾配を変えた実験結果は 図-2 のようになり θ と n の関係は 図-3 のようになった。

この研究は溪流への実際的应用を目指しており、それへの第一歩として、ブロックの位置は対称的で、向きだけ 45° 変えて (図-4), ブロックの流れ方向の射影面積から θ を求めて 図-1 の場合と比較すると、両者の水理関係はほぼ一致した (図-4 参照。図-4, 6, 8 の予想曲線とは 図-1 の配置での実験で得られた値)。

つぎに配置が乱れている場合、また、大小のブロックが入り混じっている場合について調べるために、乱数表により、図-5, 7 のような配置にし、それぞれ 図-6, 8 のような結果を得た。これらのことから、立方体を 図-1 のように配置した場合に得られた 図-2 の関係は、実際

図-2 q, θ, d の関係

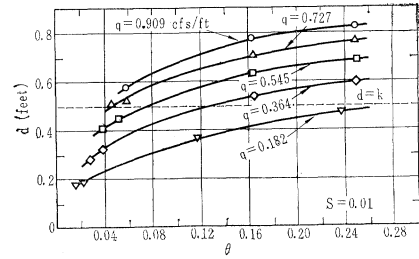
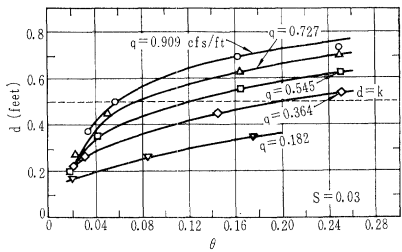
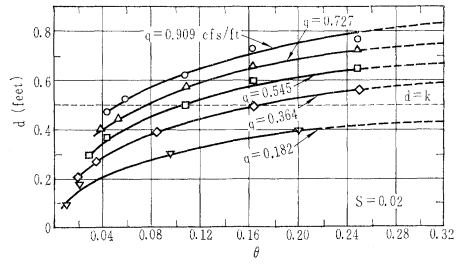
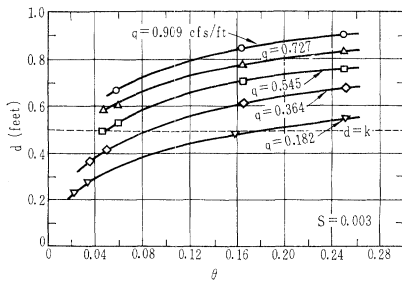


図-3

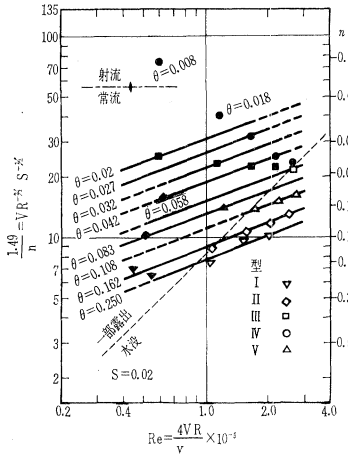


図-6

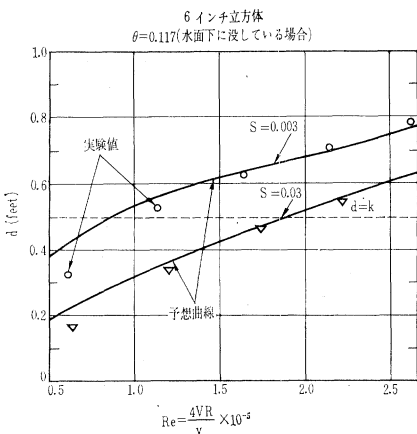


図-4

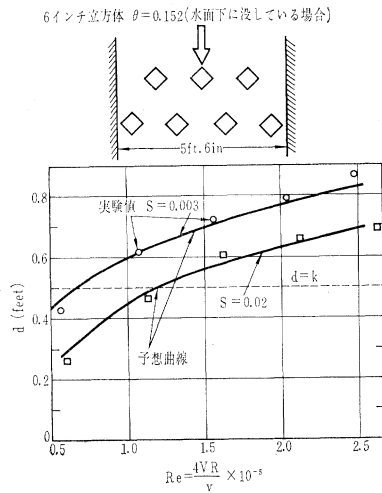


図-7

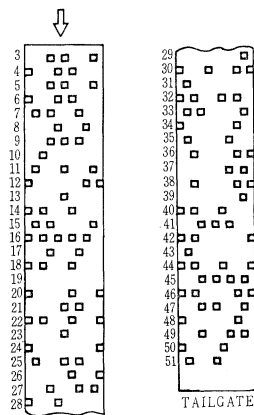


図-5

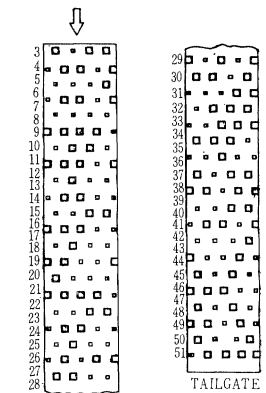
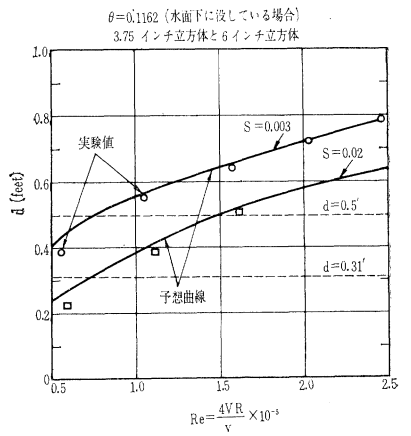


図-8



の溪流にも適用されると思われるが、今後、なお立方体以外の形の粗度要素について実験を行なうことを考えている。
(委員 細井 将右)

揚水量の減少する井戸についての修正解

“Modified Solutions for Decreasing Discharge Wells”

Abu-Zied, M. A., Scott, V. H.,
Aron. G.

Proc. of A.S.C.E., HY., Vol. 90, No. 6 pp.
145~160 November (1964)

一般に地盤の水理学的特性(透水係数, 貯留係数)を解明しようとするときに, 井戸を作って揚水試験を行なって決定する方法が行なわれている。これには, 定常的な揚水試験による場合と, 非定常な揚水試験による場合とがある。後者に相当するものとして Theis の方法が知られている。これは, 井戸に地下水面まで水がたまっている状態より, 一定流量を揚水して, そのときの井戸の周囲の地下水面の低下量より透水係数を決定するものである。

しかし, 一般に現場実験では, 一定流量をかなりの時間にわたって揚水することは困難であり, 揚水量は時間の経過とともに減少する傾向を示す。この論文は, このような場合に対して, 井戸よりの揚水量を

$$Q = Q_0(\alpha + \beta e^{-at}) \dots \dots \dots (1)$$

と仮定して, これに対する Theis の解に匹敵する解を求めている。ただし, ここで α, β は $\alpha + \beta = 1.0$ となる定数である。すなわち, 基礎方程式(2)を, $t=0, h=H, r=\infty$ で常に $h=H, t>0, r=r_0$ で $Q_r=Q$ (式(1))の条件のもとに解いている。

$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial r} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t} \dots \dots \dots (2)$$

解は, 地下水面の下りの量を h' として ($h'=H-h$)

$$h' = \frac{Q_0}{4\pi T} \phi(A, B) = \frac{Q_0}{4\pi T} [\alpha W(B) + \beta e^{-A} f(A, B)] \dots \dots \dots (3)$$

ここで T : 透水係数, $B=b/t, b=\frac{r^2 S}{4T}, S$: 貯留係数 $A=at, c=ab$ であり, また $W(B)$ と $f(A, B)$ は次式によって定義される関数である。

$$W(B) = \int_B^\infty \frac{e^{-y}}{y} dy \text{ (Theis の井戸関数)}$$

$$f(A, B) = \int_0^1 \exp\left(Ay' - \frac{B}{y'}\right) \frac{dy'}{y'} \\ = \int_B^\infty \exp\left(-y + \frac{AB}{y}\right) \frac{dy}{y}$$

この理論解について, 以下の4つの場合に対する $f(A, B)$ の計算式を与えている。① $A < 0.2, B \leq 0.02$ (揚水開始後2~3時間の相当な広範囲をもうらする場

合。② $B > 1.0, C < 1.0$ (井戸よりの距離が遠く, 揚水開始後短い時間のとき)。③ β が α に比してかなり小さいとき。④ 揚水開始後, 相当な長時間を経過したとき。ここで, ③の場合は, いわゆる Theis の理論に一致する。

つぎに実験例にそって実際の解析法を示す。実験井は Patterson 市 (Calif.) にある井戸で, 浸透層の厚さは 9.2 m (30 ft) で, 地下水面は, 地表より 4.6 m (14 ft) の所にある。井戸わく径 35.5 cm (14 in) を 91.4 cm (36 in) の縁をつめた穴の中に入れて井戸を作っている。観測井は井戸より 5.4 m (18 ft) 間隔で 24 個作ってある。

解析法は, まず井戸よりの揚水量と時間の関係をグラフに表わして (図-1, 2), α, β, a, Q_0 を決定する。つぎ

図-1

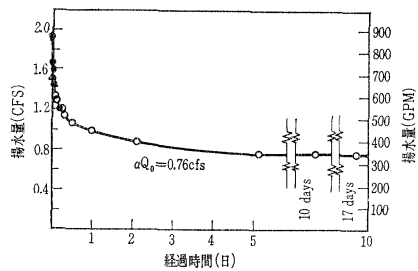
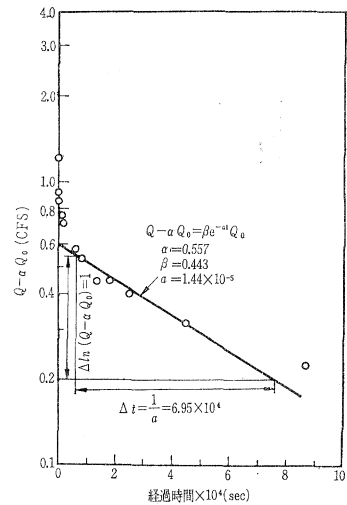


図-2



に観測時間に適応できる A を決定した後, 式(3)の $\phi(A, B)$ を求めるわけである。ここで $\phi(A, B)$ と B の関係を両対数方眼紙にプロットしておく(これを型曲線という)。一方実験観測値については, h' と r^2/t の関係を両対数方眼紙にプロットする。

すると, h' と $\phi(A, B), B$ と r^2/t とは, ある定数 $Q_0/4\pi T, S/4T$ を掛けた関係で表わせるので, 型曲線と実験値の曲線は, $\log Q_0/4\pi T, \log S/4T$ ずらせてやればかさなるはずである。かさなった曲線上の一点より, 両グラフの座標値を求めれば T, S が求められる。具体例を示すと, 前記の井戸で, 井戸より 16.4 m (54 ft) の観測井の水位低下量と r^2/t の関係は 図-3 に示されており, この実験に相当する $A=0.04$ と $A=$

表-1

	Q_0 ft ³ /sec	$\phi(AB)^*$	h^* ft	B^*	r^2/t^*	T ft ² /sec	S
Abu-Zied							
A=0.04	1.36	3.5	29.9	0.015 5	1.12	0.012 7	0.000 71
A=0.20		3.5	31.5	0.013 7	0.92	0.012 1	0.000 72
タ イ ス	Q_{ave}	$W(B)^*$					
	1.31	3.5	28.1	0.017 3	1.34	0.013 1	0.000 68

図-3

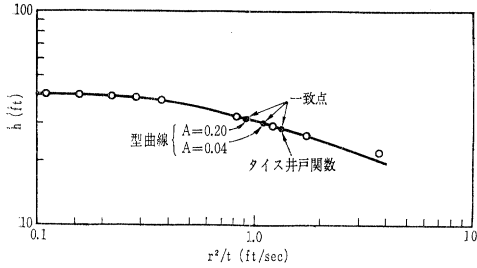
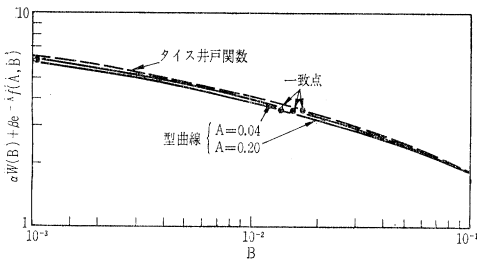


図-4



0.2 に対する型曲線は 図-4 に示してある。なお 図-4 には Theis の井戸関数も示されている。また両図をかきね合わせて、両曲線を一致させたとき、計算に使用した点を黒丸で示されている。それらの点の座標値および、それより計算した透水係数 T 、貯留係数 S は表-1 に示してある。ただし、ここで Theis の解の Q_{ave} は、5 時間の揚水量の平均値をとってある。

(委員 荻原 国宏)

管路に発生した空洞現象による圧力伝播

“Pressure Generated by Cavitation in a Pipe.”

Li, W.H. and Walsh, J.P.

Proc. of A.S.C.E., EM, Vol. 90, No. 6, pp. 113 ~133 December (1964)

この論文は、図-1 に示されるような長い管路の中間にバルブが設置されている場合に、バルブを急に閉めて流れをしゃ断したときに、バルブの後方に生ずる空洞現象を取り扱ったものである。そして、この空洞による圧

図-1 バルブ部に生ずる空洞

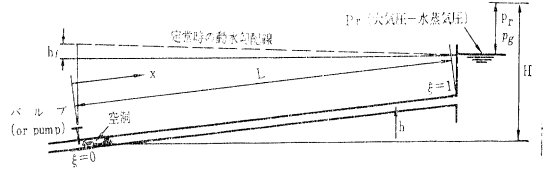
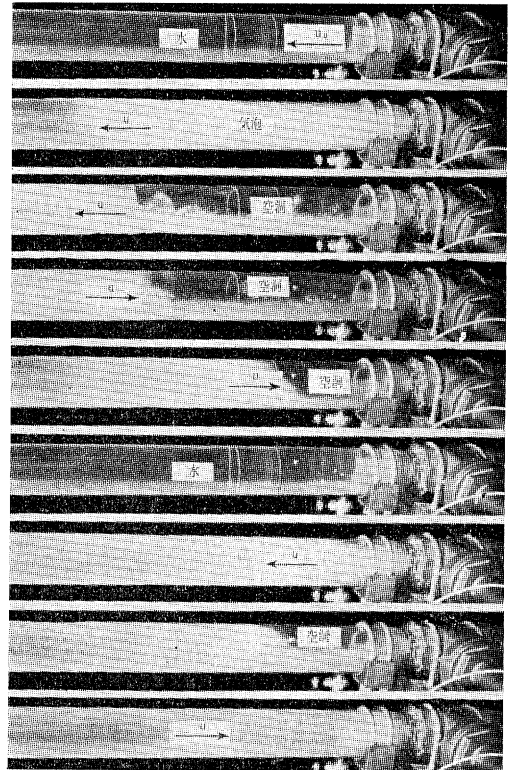


図-2 バルブ部に生ずる空洞



力変化がパイプ中を伝わり振動現象を生ずる。このような一例を 図-2 に示してある。これは、現象を 3/32 秒の間隔で連続的に写真撮影したものである。これからもわかるように、空洞は生じたり、消滅したりして、だいに減衰して小さくなってゆく。

理論的な解析を行なうに際して、つぎのような仮定をする。1) 水蒸気圧は常に一定である。2) 発生した空

洞は時間の経過とともに消滅する。3) 空洞の長さはパイプの長さに比べてかなり小さい。4) 定常流での損失水頭 h_f は水頭 H に比してかなり小さい (図-1 参照)。これらの条件のもとに、パイプ中の流体に関する運動の方程式、連続の方程式を作り、圧力と密度の関係 $\delta p = \delta P(\rho/K)$ を使うと、

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{P}{\rho} + gh \right) \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{P}{\rho} + gh \right) = -c^2 \frac{\partial u}{\partial x} \dots\dots\dots (2)$$

$$c^2 = \frac{1}{\rho \left(\frac{1}{K} + \frac{m}{b} \frac{D}{E} \right)}$$

$$m = \frac{\left[1 - \nu - 2\nu^2 + (1+\nu) \left(1 + \frac{2b}{D} \right)^2 \right]}{(2+2b/D)}$$

ただし、 u : パイプ中の流速、 D : パイプ径、 b : パイプ肉厚、 E : パイプの弾性係数、 ν : ポアソン比

さらに、 $\xi = X/L$, $\tau = ct/L$, $v = u/c$, $\phi = [(P/\rho) + gh]/c^2$ を使って式 (1), (2) を書きなおすと次式となる。

$$\frac{\partial v}{\partial \tau} = -\frac{\partial \phi}{\partial \xi}, \quad \frac{\partial \phi}{\partial \tau} = -\frac{\partial v}{\partial \xi} \dots\dots\dots (3)$$

この線形の方程式を境界条件、初期条件を満たすように解けば良い。一方現象は、バルブの閉鎖の方法にしがって、いくつかの段階にわかれる。ここでは、バルブを直線的に閉じる場合について考え。第1期は流量が減少し始めてより空洞の生ずるまで、第2期は生じた空洞の存続している期間、第3期は引続いて生ずる空洞の存続している期間、以下同様である。さて式 (3) の解を求める場合の境界条件は、貯水池で $\xi=1$, $\phi=\phi_0 = \frac{gH}{c^2}$ である。第1期での初期条件は、流速 $v_i = v_0 = u_0/c$, 圧力 $\phi_i = \phi_0 = gH/c^2$ とし、バルブ通過流速を $v = v_0(1-k\tau)U(1-k\tau)$, $\xi=0$, で表わす。 $1/k$ は閉鎖までの時間、 $U(1-k\tau)$ はステップ関数である。この期間の終りは $\xi=0$, で $\phi=0$ となるまでであり、その時間を τ_1 で表わすと、理論解は式 (4), (5), (6) となる。

$$\phi = \phi_0 + F(\tau - \xi) - f_1(\tau + \xi), \quad v = v_0 + F_1(\tau - \xi) + f_1(\tau + \xi) \dots\dots\dots (4)$$

$$F_1(\tau - \xi) = -Kv_0 [(\tau - \xi)U(\tau - \xi) - (\tau - \xi - \tau)U(\tau - \xi - \tau) + \dots - (\tau - \xi - 1/k)U(\tau - \xi - 1/k) + (\tau - \xi - 1/k - \tau)U(\tau - \xi - 1/k - \tau) \dots] \dots\dots (5)$$

$$f_1(\tau + \xi) = -Kv_0 [(\tau + \xi - \tau)U(\tau + \xi - \tau) \dots] \dots\dots (6)$$

この結果を図示すれば 図-3 のごとくなる。つぎに第2期では、新しく、第1期の終りを時間の起点と考えて、第1期の $\tau = \tau_1$ での ϕ, v と第2期での $\tau = 0$ の ϕ, v が等しいとして初期条件を与え、境界条件は第1期の場合と同じにして理論解を求めている。その結果は v のみ

であるが 図-4 に示される。これより、現象は $\tau=2$ のステップでくり返されている。また第2期の終りは、空洞の消滅する時点であるから、図-4 の斜線部の上半分と下半分が等しい時点をもって終了時と考えている。そのときの $\xi=0$ での流速を $|v_f|$ とし、 $|v_f|/\phi_0$ と v_0/ϕ_0 の関係を空洞発生までの時間 τ_1 をパラメータとして図示すれば 図-5 となる。またバルブ部分に生ずる最大圧

図-3 第1期の r と ϕ (A型)

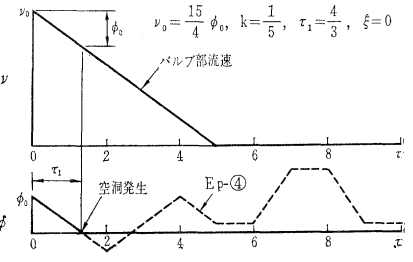


図-4 空洞の体積 (B型)

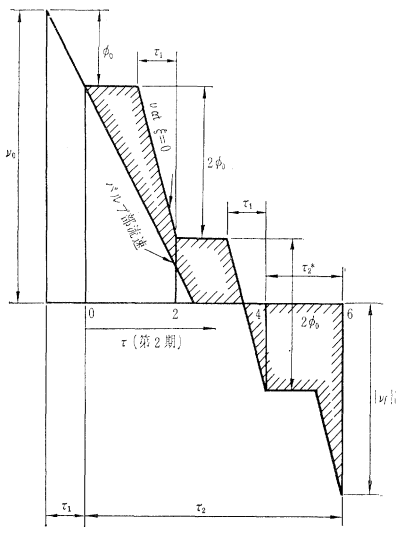


図-5 v_f と v_0 の関係 (B型)

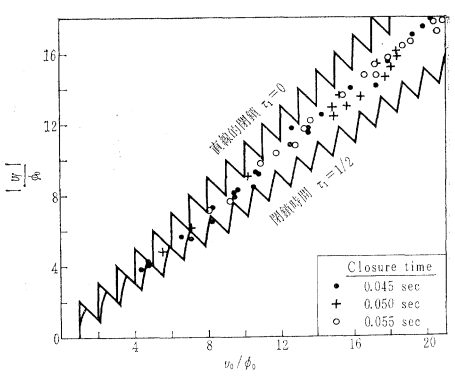
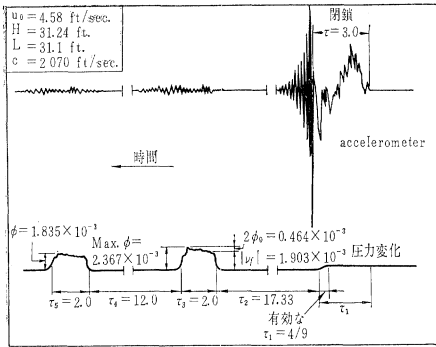


図-6 実験記録 (B型)



力は $|v_f| + 2\phi_0$ で表わせることも示している。

一方この理論を裏付ける実験は 2 in のプラスチックパイプで、バルブより下流の長さ 9.3 m (31.1 ft) の管路を使い、初期流速 u_0 は 2 fps~10 fps まで変え、バルブの閉鎖時間は 0.045 sec より 0.055 sec まで変えて行っている。その一例が図-6 に示してあり、バルブ変動は、加速度計により測定している。これらの実験と理論の比較として、先の図-5 中に実験値をプロットして、理論曲線 $\tau_1=0$, と $\tau_1=1/2$ の間に入っていることを確認している。なお本文では、他の変数についても比較を行なっている。(委員 荻原 国宏)

Cincinnati 市の流出雨水の汚濁度

“Urban Land Runoff as a Factor in Stream Pollution”

Weibel, S.R., Anderson, R.J. and Woodward, R.L.

Jour. of Water Pollution Control Federation, Vol. 36, No. 7, pp. 914~924, July (1964)

著者等は、アメリカ公衆衛生局 Taft 研究所に属し、オハイオ州 Cincinnati 市の流出雨水について約 1 年間にわたり汚濁度を実測した。調査した地区は面積約 11 ha, 人口約 240 人、住宅および商業地区で下水排除方式は分流式である。全面積の約 37% が屋根および舗装部分の不透水性で、残りは庭・芝生・公園となっている。土地の平均勾配は 2~3% で、雨水排水管内径 300~600 mm, 管末は一点に合流して川岸の雨水吐に続いており、流量測定と水質試料の採取はこの雨水吐個所で行なった。

1962 年 7 月より、翌 1963 年 9 月の観測期間中、冬期 1963 年 1 月および 2 月は、路面の積雪を溶解させるため

に食塩を撒布したのでこれをのぞき、残る 13 ヶ月についてみると、浮遊物質濃度 (SS) は平均 210 ppm で通常の下水の濃度に相当し、COD 平均 99 ppm, BOD 平均 19 ppm はともに、下水処理場における処理下水の程度であった (表-1)。

表-2 は、1962 年 9 月~11 月、1963 年 3 月~9 月の

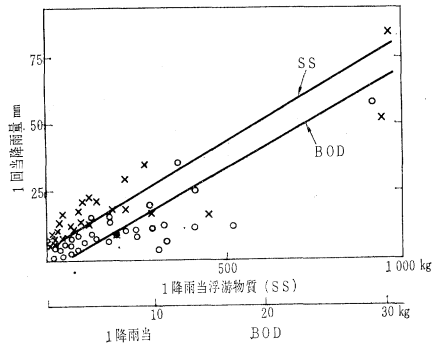
表-1 流出雨水の水質

	範 囲 (ppm)	平 均 (ppm)
S S	5-1200	210
C O D	20-610	99
B O D	2-84	19
NO ₂ -N	0.02-0.2	0.05
NO ₃ -N	0.1-1.5	0.4
NH ₃ -N	0.1-1.9	0.6
有機-N	0.2-4.8	1.7
PO ₄ -	0.07-4.3	0.8

表-2 降雨による流出

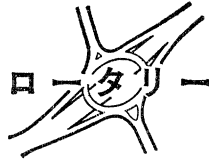
	年間流出量 (kg/h)
S S	818
C O D	269
B O D	37
総窒素	10
PO ₄ -	2.8

図-1



降雨量・流出量・水質の実測値と Cincinnati の年平均雨量 (約 1000 mm) を考慮して試験地区 1 ha 当りの年間流出量を算定したものである。浮遊物質 (SS) 流出量 818 kg/ha に対して試験地区の年間降塵量は 567 kg/ha であった。(委員 中田 肇)

高強度人工軽量骨材 「メサライト」

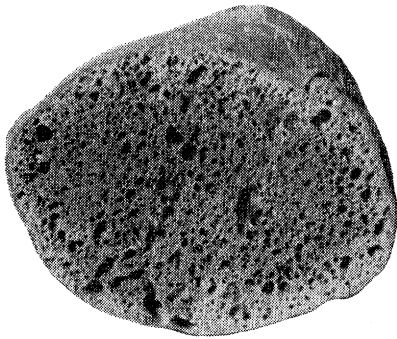


近年、構造物の高層化あるいは橋梁などのスパンの増大の要望が急激に高まり、それともない、コンクリートの軽量化が必要とされてきた。このようなコンクリートの軽量化に応えるものが、高強度人工軽量骨材である。

ここに紹介するのは、三井金属鉱業KKが、アメリカの軽量骨材メーカーである Basalt Rock Co. より技術導入し、わが国ではじめて生産をはじめた「メサライト」という商品名を持った人工焼成ぼう張けつ岩骨材である。

この人工骨材は、原石であるぼう張性のけつ岩を粉碎、フルイ分けしてからサイズ別にロータリーキルンに投入し、高温で焼成ぼう張させたものを自然空冷する。それを、さらに粒度調整して、5 mm 以下の細骨材と、20 mm 以下の粗骨材として貯蔵、出荷される。ロータリーキルンにおける高温焼成の際、けつ岩に含まれている気化物質の作用により、内部は微細な独立多孔質となり、表面は熔融した密実な硬い被膜で一樣におおわれ、形状もローリング作用により、天然砂利、砂と同じような形を呈している（写真—1）。

写真—1 メサライト粗骨材の断面



以下に、この人工骨材、およびこれを用いた軽量コンクリートの特徴や、実施例などについて概要を紹介する。

1. 骨材の性質

表—1, 2, 3 に骨材としての各種の性質を示す。

粒度は土木学会の骨材標準粒度の範囲内にあり、良好な施工性を与えるよう調整してある。比重は、サイズにより異なり、細粒より粗粒になるほど小さい。吸水は普通の重量骨材よりも大きい。表面の硬質被膜によりさえざられるため、従来の天然軽量骨材よりは、はるかに小さい値である。

2. コンクリートとしての特徴

メサライトを用いた軽量コンクリートの性質については、構造用軽量骨材シンポジウム（コンクリート・ライブラリー第10号、土木学会）、および構造用軽量コンクリートシンポジウム論文集（日本 ACI）などにおいて、その研究成果が数多く発表されているので、ここにおいては簡単に概念のみを列記する。

（1）単位容積重量は、おおむね強度に比例して 1.5～1.7 t/m³ 程度となり、普通コンクリートの 70% ぐらいである。骨材の一部に普通骨材の併用も可能であるが、この場合には混入量の程度により重くなるのは当然である。

（2）圧縮強度は、実験室では 600～700 kg/cm² まで得られるが、ある程度の高強度になると、普通コンクリートよりセメント量の増加をきたし、実用経済的に 500 kg/cm² 程度のもので可能である。また、強度は水セメント比の法則にしたがい、配合設計は普通コンクリートと同じ方法でよい。

（3）ヤング係数は、軽量コンクリートの一般特性として、普通コンクリートよりも小さく、圧縮強度が 200 kg/cm², 300 kg/cm², 400 kg/cm², および 500 kg/cm² 程度のとき、ヤング係数はそれぞれ (13～18)×10⁴ kg/cm², (14～20)×10⁴ kg/cm², (16～22)×10⁴ kg/cm², および (20～25)×10⁴ kg/cm² の範囲であり、これは、同一圧縮強度の普通コンクリートの 55～60% 程度である（土木学会シンポジウムより 中央大学 西沢助教授の実験）。

（4）水密性は、このコンクリートがグリーンングが小さく、透水の原因となる水路ができにくいため、普通コンクリートより良好である。図—1 に都立大学で行なった透水試験結果を示す（土木学会シンポジウムより

表—1 メサライトの粒度の標準（フルイ通過率 %）

フルイの大きさ (mm)	25	20	10	5	2.5	0.3
細骨材	100	95～100	40～50	100	85～100	25～30
粗骨材				0～5		

表—2 メサライトの容量、比重、吸水

	絶乾単位容積重量 (t/m ³)	絶乾比重	吸水 (%)
細骨材	0.95	1.6	10
粗骨材	0.70	1.2	8

表—3 メサライトの有害物および安定性

強熱減量	0.3% 以下
無水硫酸 (SO ₃ として)	痕跡
塩化物 (NaClとして)	痕跡
酸化カルシウム (CaOとして)	5% 以下
有機不純物	なし
安定性減量	5%以下 (JIS A 5002 の分類甲に相当)

都立大学 村田助教の
実験)。

(5) 耐久性は、わが国一般の気象作用において実用上十分な耐久性が得られ、とくにメサライト細骨材は、きわめて耐久的な材料であることが実証されている。AE 剤の混入は、耐久性、施工性ともに顕著な効果を示す。とくに耐久性を必要とする高強度コンクリートの場合には、適当量の大粒砂利の併用はセメント量を減少する上からも有効である(土木学会シンポジウムより 東京大学 国分教授の実験)。

(6) クリープ乾燥収縮および鉄筋との附着強度は、普通コンクリートとほとんど差がない。

(7) せん断強度は、今までの実験結果によると普通コンクリートの 80% 程度と考えられ、とくにせん断耐力を必要とする部分は、せん断補強について、普通コンクリートよりも若干の考慮が必要である。

(8) 熱的性質は、この骨材が高温焼成された製品であること、および内部多孔質であることにより、種々の有利な特長を有している。すなわち、熱伝導率は普通コンクリートの 1/3~1/2 であり、また耐熱性は、普通コンクリートより優れている。図-2 に東京大学生産技術研究所で行なった加熱温度と、強度残存率の比較を示す(土木学会シンポジウムより 東京大学生産技術研究所丸安研究室の実験)。

図-2 加熱温度と強度残存率の比較

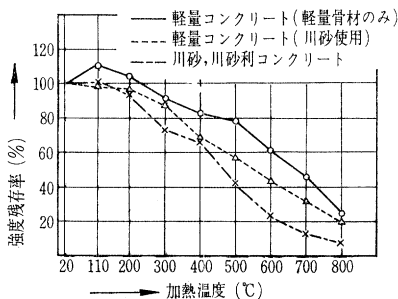
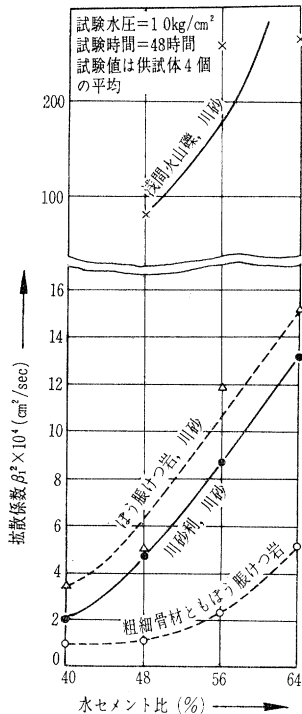


図-1 透水試験結果図



3. 施工および破壊試験実施例

(1) 首都高速道路公団高速道路 425 工区、および 324 工区(千代田区平河町)の実施例(昭和 39 年 5 月, 8 月施工)

鋼桁高架橋の床版に使用した。設計条件は $\sigma_{28}=270$ kg/cm², 鉄筋コンクリートとしての比重=1.9 t/m³, スランプ=6 cm であり、示方配合およびコンクリートの実験値の一例を表-4 に示す。

表-4 示方配合(324 工区)

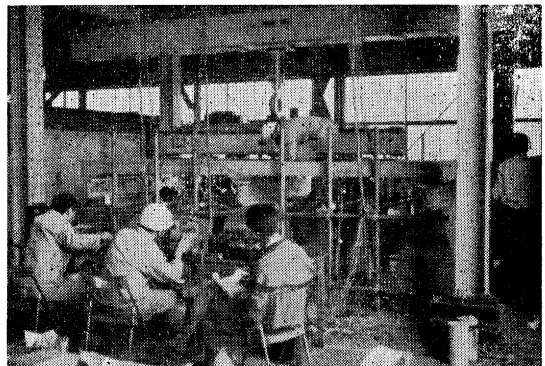
粗骨材の最大寸法(mm)	水セメント比(%)	単位水量(kg)	単位セメント量(kg)	総体積率(%)	メサライト細骨材量(kg)	メサライト粗骨材量(kg)	AE 剤ポゾリス No. 5(kg)	空気量(%)	スランプ(cm)
15	53	165	311	40	524	578	1.56	6	6
実測平均値									
スランプ(cm)	空気量(%)	単位容積重量(t/m ³)	σ_{28} (kg/cm ²)	σ_{28} の変動係数(%)					
5.98	5.37	1.611	302	9.7					

注:メサライト細,粗骨材量は,表面乾燥飽和状態である。

軽量コンクリートのはじめての施工であったが、圧縮強度の変動係数は予想よりも小さく、きわめてよい管理状況を示した。

本工事に先立ち、床版の安全性を確かめるため、東京大学大型構造物試験室で実大破壊試験を行なった(写真-2)。

写真-2 高速道路床版・実大破壊試験状況



その結果、鉄筋とコンクリートの応力度、および破壊荷重が理論計算値とよく合致することが実証された(日本 ACI シンポジウムより)。

(2) 国鉄中央線高円寺駅の実施例(昭和 39 年 4 月 5 日施工)

表-5 示方配合

粗骨材の最大寸法(mm)	水セメント比(%)	単位水量(kg)	単位セメント量(kg)	総体積率(%)	メサライト細骨材量(kg)	メサライト粗骨材量(kg)	川砂利量(kg)	空気量(%)	スランプ(cm)
20	47.5	190	400	40	500	258	489	6~7	4~8

注:メサライト細骨材 5 mm 以下 表乾比重 1.78
メサライト粗骨材 5~10 mm 表乾比重 1.25
川砂利(小倉川) 10~20 mm 表乾比重 2.61

プラットフォームの床版、およびラーメン構造 R C 桁に使用した。

表-6

設計強度 240 kg/cm^2 であり、示方配合を表-5 に示す。

施工は2回に分けて行なわれ、第1回の σ_{28} の平均は 315 kg/cm^2 、変動係数 10.3%、第2回はそれぞれ 306 kg/cm^2 、13.2% とかなりの成績であった(日本 ACI シンポジウムより)。

スラブ上面の耐摩耗性を調べるため、一部をアスファルト舗装をせずに露出して使用に供しているが、現在全く異常は認められない。

4. 経済性および用途

この軽量コンクリートを用いた構造物の経済性は死荷重の減少による構造物断面の減少、鋼材量の節約、あるいは基礎工事の簡素化(とくに軟弱地盤の場合に顕著である)などにより、コンクリート単価の増加分を補う場合に発揮される。

たとえば、耐震性を必要とする高層構造物、ある程度以上のスパンの R C 橋、P C 橋の駆体や、合成桁あるいはつり橋などの床版に使用する場合、その経済的効果は相当に期待できる。

また、プレファブ構造物における軽量化による部材の運搬費や、架設費の軽減、あるいは単位部材の大形化などは、十分に経済性に寄与するものである。さらに、断熱や耐熱性を要する構造物などにおいて、適切な構造材料であろうと思われる。

外国の例によると、軽量コンクリートを使用した鉄筋コンクリートの船やボートのけい留施設(軽量コンクリートポンツーン)があるが、このような浮力を利用した構造物にも発展されよう。普通コンクリートとこの軽量コンクリート構造物の経済比較の一例として、鉄道用 P C 桁の比較が行なわれているので表-6 に示す。鉄道用標準 P C 桁では架設重量 100 t 以内にするということで設計されており、このため従来の配合ではスパン 35 m のものまでしか設計できない。しかし、軽量コンクリ

コンクリート強度 σ_{28} (kg/cm ²)	コンクリートの比重	経済的な断面	最小桁高率 (m)	1 m 当りの単価比 (万円)	1 本当りの架設重量 (t)	コンクリート 1 m ³ に含まれる P C 鋼材量 (kg/m ³)	1 連当りのコンクリート量 (歩道コンクリートを除く) (m ³)	架設重量が 100 t となる支間の最大値 (m)
300	1.6		3.5	26.7 (95%)	68.4	29.1	234.5 (96%)	47.3
	1.9		3.6		82.1	29.5	234.5 (96%)	
	2.5		3.7	28.0 (100%)	120.0	33.9	243.9 (100%)	
400	1.6		3.2	25.4 (91%)	65.0	33.5	207.0 (85%)	
	1.9		3.3		78.0	37.1	207.0 (85%)	45.1
	2.5		3.4	27.0 (96.5%)	108.0	39.8	212.3 (87%)	
500	1.6		2.9	24.9 (89%)	60.0	36.4	206.4 (85%)	
	1.9		2.9		70.0	38.6	206.4 (85%)	
	2.5		3.0	27.2 (97%)	101.0	43.7	206.4 (85%)	39.5
700	1.6		2.6	24.3 (87%)	55.0	46.9	197.6 (81%)	
	1.9		2.7		66.0	46.9	197.6 (81%)	
	2.5		2.7	26.1 (93%)	91.5	46.9	197.6 (81%)	41.5

「注」骨材単位重量

ぼう張げつ岩…砂利(733kg/m³)、砂(1110kg/m³)
川砂利(1740kg/m³)、川砂(1640kg/m³)

σ_{28} (kg/cm ²)	比重	使用骨材
300	1.6	軽砂利・軽砂
400	1.9	軽砂利・川砂
700	2.5	川砂利・川砂

トを使用する場合には架設可能なスパンをかなりのばすことができる(土木学会シンポジウム 国鉄菅原 操氏の論文より)。

国鉄においては P C 桁の破壊試験も数回行ない、近く金山架道橋を実施することとなり、わが国最初の軽量 P C 鉄道橋の実現も間もないことである。

なおメサライトの価格は、東京およびその周辺地域において、粗骨材、細骨材とも 1 m³ 当り現場持込にて 3900 円である。

(連絡先: 高木克也(正会員)・東京都中央区日本橋室町 2 の 1 の 1・三井金属鉱業 KK 建材部・Tel (241) 4101~9)

コンクリート・ライブラリー第 10 号

構造用軽量骨材シンポジウム頒布

標記の図書は 1963 年 10 月に開かれた構造用軽量骨材に関するシンポジウムに提出された論文をとりまとめて紹介したものであり、コンクリートの軽量化というコンクリート界の基本的要請にこたえて、きわめて短期間に世界水準に達し一部ではすでに抜き去ったともいわれるわが国の軽量コンクリート研究の動向を知るためにもぜひ一読下さい。

体裁: B5 判 96 ページ 定価: 500 円 会員特価: 400 円 送料: 50 円